

## پتانسیل توسعه کارست و مدل مفهومی کارست ساختگاه سد ایبورد با استفاده از مطالعات زمین شناسی ساختاری و ژئوتکنیک و روش سلسله مراتبی AHP

حسین محمدزاده<sup>۱\*</sup>، وحید ناصری حصار<sup>۲</sup>، بهنام رحیمی<sup>۳</sup>

دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۱۰/۱۲ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۵/۲۰

### چکیده

امروزه بسیاری از سدها در مناطق کارستی احداث می‌شوند، و معمولاً به دلیل هیدروژئولوژی پیچیده مناطق کارست، آب‌بندی این سدها سخت‌تر، طولانی‌تر و گرانتر از سدهای دیگر بوده و احتمال فرار آب از آنها بیشتر است. از این رو، بررسی نقش توسعه کارست در محل احداث سدها ضروری است. سد ایبورد از نوع خاکی با هسته رسی در نزدیکی روستای ایلانجق، به ارتفاع ۵۱ متر و حجم دریاچه ۴۳ میلیون مترمکعب احداث شده است. با توجه به ظهور چشمه‌ها در سازند آهکی کلات پایین دست سد ایبورد، پس از آبیگری موقت آن، امکان توسعه کارست بر اثر خروج آب، مهمترین مشکل سد به شمار می‌رود. در این مقاله با انجام مطالعات زمین شناسی، زمین شناسی ساختاری، نفوذپذیری ژئوتکنیکی و روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، پتانسیل توسعه کارست در محدوده و تکیه‌گاه‌های ساختگاه سد ایبورد، مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج، نشان می‌دهد که حدود ۲/۴ درصد از مساحت ۶۸۰ کیلومتر مربعی محدوده سد ایبورد، دارای پتانسیل بالایی در توسعه کارست می‌باشد و نشأت و فرار آب از سازند کلات در جناح راست و زیر سد ایبورد وجود دارد، اما هنوز کارست توسعه نیافته است. با توجه به مدل ساختاری - مفهومی تهیه شده از موقعیت سد ایبورد و محل قرارگیری مخزن سد نسبت به شیب لایه بندی سازند کلات، که همسو با یال جنوبی ناودیس ایبورد می‌باشد، امکان توسعه کارست در ساختگاه سد وجود دارد.

**کلید واژه‌ها:** سدهای کارستی، سد ایبورد، زمین شناسی ساختاری، ژئوتکنیک، AHP

۱. مدیر گروه پژوهشی تحقیقات آب‌های زیرزمینی و ژئوترمال (متأب)، پژوهشکده آب و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد (mohammadzadeh@um.ac.ir)

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد (vanahe@gmail.com)

۳. استاد گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد (b-rahimi@um.ac.ir)

\* مسئول مکاتبات

## ۱. مقدمه

از آنجائی که سازندهای کارستی با توجه به نوع دره‌ها و گسترش زیاد آنها جای مناسب جهت احداث سد می باشند و احداث سدها در این سازندها اجتناب ناپذیر است، لذا مطالعات دقیق بررسی پتانسیل توسعه کارست در ساختگاه و محدوده سدها ضروری می باشد. با آبرگیری سدها و با افزایش فشار ناشی از پر شدن مخزن سد و به دلیل نوسانات بعدی سطح آب مخزن، جوان سازی کارست های قدیمی با باز شدن مجراها و غارهای پر شده آغاز می شود و کارست مجدداً فعال می شود و به دنبال آن، آب شستگی و فرسایش می تواند نقش مخرب کلیدی ایفا کند. در حدود ۸۰ درصد از سدها کارستی، با مشکلات تراوش قابل توجهی در طول اولین پر کردن یا عملیات بعدی روبرو می شوند و بین چند ۱۰ لیتر تا چند متر مکعب در ثانیه نشتی دارند که یکی از مشکلات اصلی طراحان سدهای کارستی است (Milanovic, 2018).

کارستی شدن (Karstification) فرآیندی پیچیده است که شامل دو فرآیند متقابل (۱) انحلال شیمیایی توده سنگ و ایجاد مجراها و (۲) فروریزش یا فرسایش مکانیکی در نتیجه انرژی جنبشی آب‌های زیرزمینی می باشد، بدین معنی که کارستی شدن در نتیجه فرآیندهای دوگانه انحلال-خوردگی شیمیایی و فرسایش-تخریب فیزیکی صورت می گیرد (ولایتی، ۱۳۸۷). اولین مراحل کارستی شدن از انحلال آهک‌ها در امتداد ناپیوستگی‌های خطی مانند مرز لایه‌ها و یا شکستگی‌ها شکل می گیرد. کارست‌ها براساس معیارهای مختلفی توسط افراد مختلفی مانند سویچیچ (Cvijić)، سویتینگ (Sweeting)، هراک (Herak)، یوان (Yuan)، جیننگز (Jennings)، فرد و ویلیامز (Ford and Williams)، کوینلن (Quinlan)، کاتزر

(Katzer) و ... طبقه‌بندی شده اند (Milanovic, 2018). تا کنون سدهای زیادی در نواحی کارستی کشورهای نظیر آمریکا، ترکیه، چین، کرواسی، یونان، ایران، اسلونی، اسپانیا و یوگسلاوی ساخته شده اند که با مشکل از دست دادن آب روبرو بوده و برخی از مطالعات توسعه کارست و سد سازی در جهان و ایران در جدول (۱) ارایه شده است. در ایران مطالعات کارست از سال ۱۳۵۰ در حوضه‌های کارستی زاگرس آغاز شد، اما مطالعات جامع از سال ۱۳۶۹ با تأسیس مرکز مطالعات و پژوهش‌های کارست در شیراز آغاز گردید (ولایتی و خانعلی زاده، ۱۳۹۰). سد لار با فرار آب ۱۰/۸ متر مکعب بر ثانیه، سد مارون با ۹/۵ متر مکعب بر ثانیه، سد سیمره با ۷ متر مکعب بر ثانیه، سد کارون ۱ (شهید عباسپور) با ۶-۱ متر مکعب بر ثانیه، تنگ آب با ۳/۵ متر مکعب بر ثانیه، کارون ۳ با ۲-۳ متر مکعب بر ثانیه، کوثر (تنگ داک) با حدود ۳ متر مکعب بر ثانیه، کارون ۴ با ۰/۶ متر مکعب بر ثانیه و سلمان فارسی با ۰/۵ متر مکعب بر ثانیه از جمله سدهایی هستند که فرار آب داشته‌اند (Milanovic, 2018).

پس از اولین آبرگیری آزمایشی سد ایبورد (در سال ۱۳۹۸) و با مشاهده چشمه هایی در پایین دست، آبرگیری متوقف و عملیات حفاری و تزریق آغاز گردید. سد مخزنی ایبورد از نوع خاکی با هسته رسی در نزدیکی روستای ایلانجق بر روی یک آبراهه طبیعی (خشک‌رود) به ارتفاع ۵۱ متر و حجم دریاچه ۴۳ میلیون مترمکعب احداث شده است. بخشی از آب تنظیم شده از مخزن سد توسط یک خط انتقال به طول ۱۲/۶ کیلومتر جهت تامین آب شرب و همچنین آبیاری اراضی جنوب شرق شهر درگز

جدول ۱. برخی از سدهای مهم کارستی مطالعه شده در ایران و جهان و روش مطالعات

| Reference         | Study method                                                                                                                           | Dam name                  | Row |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|-----|
| Unal et al., 2007 | Study of water leakage volume and karst development, by injecting grout through piezometric boreholes and by water level measurements. | Ataturk in Turkey         | 1   |
| Laksiri, 2007     | Determining the leakage model and mechanism by measuring the water level in reservoir and piezometers during 15-year period, and       | Samanalaweve in Sri Lanka | 2   |

|                           |                                                                                                                                                                                                                   |                          |   |
|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|---|
| Turkmen et al., 2002      | hydrogeochemical and isotopic studies.<br>The study of water levels in borholes of the dam site and investigating the hydraulic connection between the dam reservoir and the new karst springs using dye tracing. | Kalecik in Turkey        | 3 |
| Hocini and Mami, 2011     | Water leakage study using isotopic, hydrogeochemical and hydrological variations and reservoir water level control using dams' piezometers.                                                                       | Beniharoun in Algeria    | 4 |
| Ghobadi et al., 2005      | Investigating the groundwater level fluctuations in boreholes and identifying the leakage paths in the karst limestone in the right abutment of the dam, with hydrogeochemical tests, dye tracing and XRF.        | Shahid Abbaspour in Iran | 5 |
| Mozafari and Raeisi, 2017 | Preparation of a conceptual model of the flow path of water leakage from the dam applying stable isotope, tracing and reservoir level variations and spring discharges studies                                    | Lar in Iran              | 6 |
| Mozafari and Raeisi, 2015 | Preparation of flow model for recharging springs by monthly measurement of springs 'water discharge rate, water level of dam reservoir and in observation wells, and study of geological formations.              | Kowasr in Iran           | 7 |
| Adinehvand, 2017          | Evaluation of water leakage potential from karstic dam using hydrogeochemical and stable isotopes data, water level variations, geological logs, permeabilities and fractured zones                               | Abolabbas in Iran        | 8 |

های اکتشافی ژئوتکنیکی و همچنین تهیه نقشه پهنه بندی پتانسیل توسعه کارست در محدوده مورد مطالعه با روش تحلیل سلسله مراتبی (Analytical Hierarchy Process (AHP)) انجام شده است.

## ۲. مواد و روش

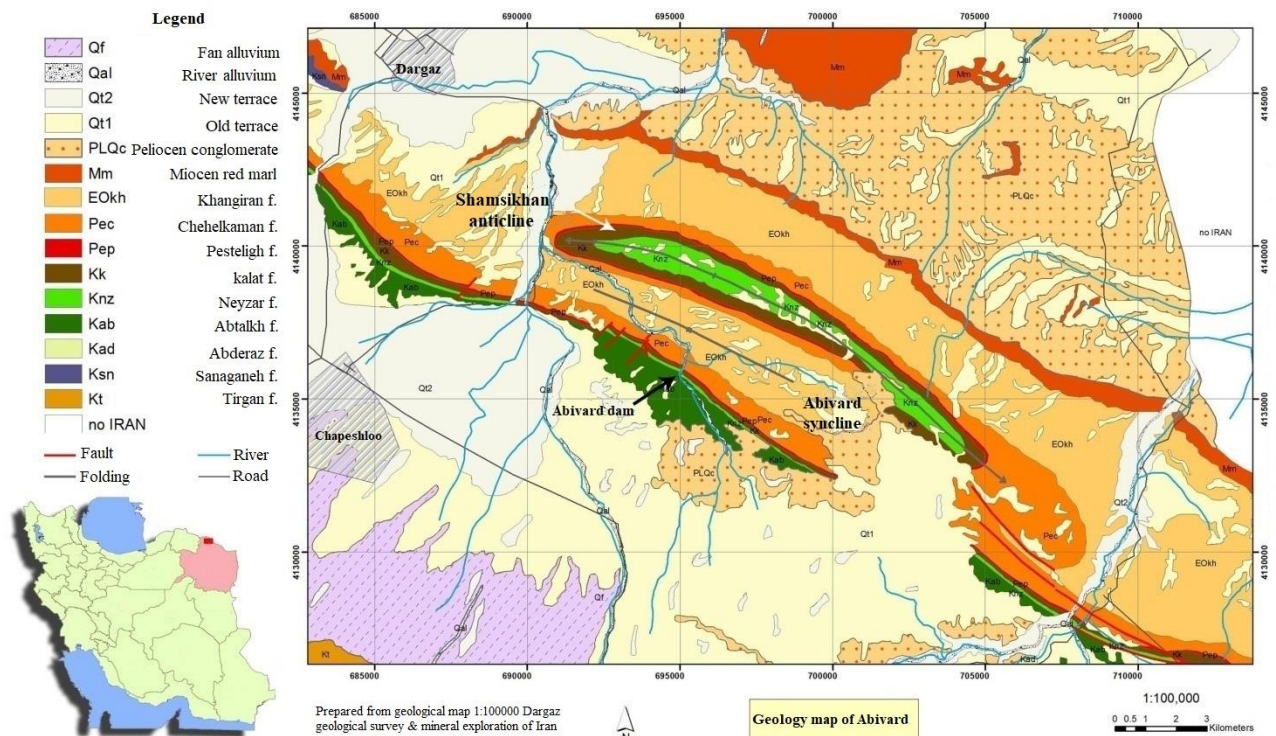
به منظور مطالعه پتانسیل توسعه کارست منطقه و تهیه مدل مفهومی کارست از تکیه گاه های محل سد ابیورد، از نقشه های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰، نقشه زمین شناسی منطقه سد ابیورد در محدوده نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ درگز (با اندیس ۷۸۶۴)، عکس های هوایی سه بعدی گوگل ارث، استفاده و همچنین چهار مرحله بازدید و پیمایش های صحرایی از محل سد، به منظور مطالعات چینه شناسی، سنگ شناسی، زمین شناسی ساختاری و درزه نگاری و بررسی پدیده های کارستی منطقه صورت گرفت. جهت مطالعات زمین شناسی ساختاری و درزه نگاری ابتدا مرز مناطق مورد مطالعه برای درزه نگاری مشخص، و سپس موقعیت ایستگاه-های اندازه گیری بر روی عکس های هوایی، با توجه به موقعیت نسبت به سد و نوع لیتولوژی، تعیین گردید. در بازدید و پیمایش صحرایی از منطقه مورد مطالعه، موقعیت

اختصاص یافته است. پروژه سد ابیورد شامل سد مخزنی خاکی، سد انحرافی بر روی رودخانه زنگلانلو، تونل و کانال هدایت آب اسپیان با هدف انتقال آب از رودخانه زنگلانلو به پشت سد مخزنی، شبکه آبیاری به وسعت هزار و ۷۷۰ هکتار و یک خط انتقال آب شرب به شهر درگز است (آب پوی، ۱۳۸۴). سد ابیورد در فاصله ۳۰ کیلومتری جنوب شرقی شهرستان درگز، در شمال استان خراسان رضوی (در مختصات UTM با طول جغرافیایی ۶۹۵۱۰۰ و عرض جغرافیایی ۴۱۳۵۷۶۰ در زون ۴۰) واقع شده است (شکل ۱). پس از طی ۱۷ کیلومتر از مسیر جاده درگز-کلات و عبور از چاپشلو، و پس از طی ۸ کیلومتر از دو راهی حسن آباد به سمت ایلانجق، پس از طی ۵ کیلومتر، سد ابیورد قابل دسترسی است.

هدف از این مقاله، (۱) مطالعه و بررسی پتانسیل توسعه کارست در محدوده سد ابیورد، (۲) ارائه مدل مفهومی کارست در محدوده و ساختگاه سد ابیورد، و (۳) تعیین مسیر احتمالی نشت آب در جناحین و بستر تکیه گاه سد ابیورد می باشد. برای این منظور، مطالعات سازندهای زمین شناسی، مطالعات ساختاری و درزه نگاری، بررسی نفوذپذیری لوژن در گمانه

با استفاده از نرم افزار dips ترسیم گردید. همچنین با ترسیم تمامی درزه ها، دسته درزه های غالب منطقه بر روی استریوت ترسیم و جهت امتداد و شیب آن بدست آمد. پس از آن با مقایسه دسته درزه های غالب منطقه با امتداد سد ابیورد و مقایسه با استریوت های درزه هر ایستگاه، امکان نفوذ آب از مخزن سد بررسی گردید. همچنین نقشه زمین شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰ برای منطقه مورد مطالعه تهیه گردید.

دقیق ایستگاه ها با توجه به اینکه رخنمون خوبی داشته باشد، انتخاب و موقعیت ایستگاه های برداشت درزه ها توسط GPS تعیین گردید. مطالعات درزه نگاری و برداشت درزه ها و شکستگی ها در ۷ ایستگاه (جدول ۲ و شکل ۲)، در یک فاصله ۲۰ تا ۳۰ متری، با تعداد ۴۰ تا ۵۰ برداشت، به روش پیمایش - فهرست نویسی انجام گردید. پس از برداشت درزه - ها برای هر ایستگاه رزیدیاگرام و استریوت درزه های منطقه



شکل ۱. موقعیت محدوده مورد مطالعه در ایران و نقشه زمین شناسی محدوده مورد مطالعه (اکرمی و همکاران، ۱۳۸۳)

### ۳. مواد و روش ها

مطالعه برای درزه نگاری مشخص، و سپس موقعیت ایستگاه - های اندازه گیری بر روی عکس های هوایی، با توجه به موقعیت نسبت به سد و نوع لیتولوژی، تعیین گردید. در بازدید و پیمایش صحرایی از منطقه مورد مطالعه، موقعیت دقیق ایستگاه ها با توجه به اینکه رخنمون خوبی داشته باشد، انتخاب و موقعیت ایستگاه های برداشت درزه ها توسط GPS تعیین گردید. مطالعات درزه نگاری و برداشت درزه ها و شکستگی ها در ۷ ایستگاه (جدول ۲ و شکل ۲)، در یک فاصله ۲۰ تا ۳۰ متری، با تعداد ۴۰ تا ۵۰ برداشت، به روش پیمایش - فهرست نویسی انجام گردید. پس از برداشت درزه -

به منظور مطالعه پتانسیل توسعه کارست منطقه و تهیه مدل مفهومی کارست از تکیه گاه های محل سد ابیورد، از نقشه های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰، نقشه زمین شناسی منطقه سد ابیورد در محدوده نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ درگز (با اندیس ۷۸۶۴)، عکس های هوایی سه بعدی گوگل ارث، استفاده و همچنین چهار مرحله بازدید و پیمایش های صحرایی از محل سد، به منظور مطالعات چینه شناسی، سنگ شناسی، زمین شناسی ساختاری و درزه نگاری و بررسی پدیده های کارستی منطقه صورت گرفت. جهت مطالعات زمین شناسی ساختاری و درزه نگاری ابتدا مرز مناطق مورد

ها برای هر ایستگاه رزیدیاگرام و استریونت درزه های منطقه با استفاده از نرم افزار dips ترسیم گردید. همچنین با ترسیم تمامی درزه ها، دسته درزه های غالب منطقه بر روی استریونت ترسیم و جهت امتداد و شیب آن بدست آمد. پس از آن با مقایسه دسته درزه های غالب منطقه با امتداد سد ابیورد و مقایسه با استریونت های درزه هر ایستگاه، امکان نفوذ آب از مخزن سد بررسی گردید. همچنین نقشه زمین شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰ برای منطقه مورد مطالعه تهیه گردید.

جدول ۲. مشخصات ایستگاههای درزه برداری در محل سد ابیورد (موقعیت ایستگاهها بر روی شکل ۲ مشخص است)

| Location                                 | Height (m.a.s.l.) | latitude (UTM) | Longitude (UTM) | Station |
|------------------------------------------|-------------------|----------------|-----------------|---------|
| Left abutment of dam                     | 575               | 4135722        | 691513          | 1       |
| Right abutment of dam                    | 591               | 5135598        | 695247          | 2       |
| Left abutment of dam                     | 610               | 4135751        | 695287          | 3       |
| Downstream of right abutment of dam      | 605               | 4135820        | 965422          | 4       |
| Downstream of Right side of the dam body | 678               | 4135873        | 695236          | 5       |
| Left abutment of dam                     | 618               | 4135917        | 695030          | 6       |
| Right abutment of dam                    | 604               | 4135574        | 695295          | 7       |

موقعیت سد در میان محدوده باشد، حوضه های آبریز سد را در برگیرد، و سازندهای شاخص و مهم که پتانسیل کارستی شدن را دارند شامل شود، انتخاب گردید. سپس با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، نقشه نهایی پهنه بندی پتانسیل توسعه کارست (Kp) محدوده ابیورد با تهیه نقشه رستری لایه های اطلاعاتی موثر در توسعه کارست (لیتولوژی-Lt، درزه و شکستگیها-J، دما-T، بارندگی-P، کاربری اراضی-Lu، شیب-S، جهت شیب-Sd، ارتفاع-H و فاصله از آبراهه-R؛ جدول ۳) و با اعمال وزن های به دست آمده برای هر لایه بر اساس کارشناسی و مطالعات مشابه محدوده (عارفی رضایی، ۱۳۹۹) و همپوشانی آنها با استفاده از رابطه ۱، در محیط GIS با استفاده از دستور Raster Calculator انجام گرفت.

برای بررسی رفتار توده های سنگی تکیه گاه های سد در مقابل آزمایش نفوذپذیری ژئوتکنیک و تحلیل رفتار هیدرولیکی جریان آب و توسعه کارست، ابتدا نتایج تست لوژن در هر ۱۵ متر از سطح تراز حفاری گمانه ها برگرفته از پروژه مطالعات سد ابیورد (آپوی، ۱۳۸۴) محاسبه، و سپس مقدار نفوذپذیری لوژن در ترازهای مختلف هر گمانه، بر روی پروفیل های طولی موازی با محور سد، ثبت گردید تا پروفیل تغییرات لوژن در گمانه های اکتشافی رسم و بهترین مسیر جریان آب از تکیه گاه ها بدست آید. همچنین به منظور تشخیص رفتار توده سنگی در مقابل فشار آب و نوع جریان، نمودارهای دی-زمان در آزمایش های لوژن گمانه ها، بررسی گردید (Milanovic, 2018).

جهت بررسی توسعه کارست در منطقه، ابتدا محدوده سد ابیورد، به مساحت ۶۸۰/۳۷ کیلومتر مربع، به ترتیبی که

$$Kp = [34.1Lt + 23.3J + 5.7T + 7.6P + 2.6Lu + 7.4S + 3.5Sd + 10.7H + 5.1R]/100 \quad \text{رابطه ۱.}$$

جدول ۳. لایه های اطلاعاتی مورد نیاز برای نقشه پهنه بندی توسعه کارست محدوده ابیورد

با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

| Layers weight | Preparation of layer raster maps                                                                                                                  | Data layers |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| 34.1          | By digitizing 1:100000 geological maps and identifying and classifying of formations according to their lithology (calcareous or non-calcareous). | Lithology   |

|      |                                                                                                                                         |                      |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| 23.3 | Extracting and drawing the map of fractures directly from Google Earth satellite images with a ground resolution of 30 meters.          | Joints and fractures |
| 5.7  | Using the correlation equation of height and temperature for Abivard area ( $T = -0.002h + 21.99$ ).                                    | Temperature          |
| 7.6  | Using the correlation equation of height and precipitation for Abivard area ( $R = 0.091h + 184.2$ ).                                   | Precipitation        |
| 2.6  | Using Landsat8 satellite photos with the combination of B3 and B5 bands in the Landwiwer environment.                                   | Land use             |
| 7.4  | Using the topographic map layer in the GIS environment.                                                                                 | Slope                |
| 3.5  | Using the topographic map layer in the GIS environment.                                                                                 | Slope direction      |
| 10.7 | Digital Elevation Map (DEM) of the topography of the regions using a digital topographic map with 10 m interval in the GIS environment. | Height               |
| 5.1  | Preparing the distance layer from rivers with the Buffer command in the GIS environment as a raster.                                    | Distance from rivers |

### ۳. هیدرولوژی، ژئومورفولوژی و زمین شناسی منطقه مورد

#### مطالعه

حوضه سد ابیورد بخشی از حوضه قره قوم و در مختصات جغرافیای  $37^{\circ}32'$  تا  $58^{\circ}25'$  طول شرقی و  $36^{\circ}55'$  الی  $37^{\circ}45'$  عرض شمالی واقع شده است. میزان رواناب ورودی به سد ابیورد از دو بخش آب ورودی از مسیر تونل انحرافی زنگلانلو و حوضه آبریز خود سد ابیورد می باشد. مساحت حوضه بند انحرافی زنگلانلو ۸۲۰ کیلومتر مربع، حداکثر و حداقل ارتفاع آن به ترتیب ۲۹۸۰ و ۹۲۰ (با ارتفاع متوسط ۲۰۰۳) متر از سطح دریا می باشد. بارندگی متوسط حوضه زنگلانلو بطور متوسط در هر سال ۳۶۰ میلی متر و درجه حرارت متوسط سالیانه آن ۸/۱ درجه سانتیگراد می باشد. میزان سیلاب حداکثر با دوره بازگشت ۵۰ سال ۸۲/۶ متر مکعب بر ثانیه برآورد شده است. مقدار رواناب متوسط سالانه این حوضه برابر با ۳۴/۰۸ میلیون متر مکعب برآورد شده است. مساحت حوضه سد ابیورد ۵۰ کیلومتر مربع، حداکثر و حداقل ارتفاع آن به ترتیب ۱۱۴۰ و ۵۸۰ (با ارتفاع متوسط ۷۲۹) متر از سطح دریا می باشد. بارندگی متوسط حوضه ابیورد بطور متوسط در هر سال ۲۳۲ میلی متر و درجه حرارت متوسط سالیانه آن ۱۵/۵ درجه سانتیگراد می باشد. میزان سیلاب حداکثر با دوره بازگشت ۵۰ سال، ۲/۵ متر مکعب بر ثانیه برآورد شده است. مقدار رواناب متوسط سالانه

این حوضه برابر با ۱/۲ میلیون متر مکعب برآورد شده است. در محل سد ابیورد مقدار ورودی رواناب متوسط سالانه به سد برابر با ۳۵/۲۸ میلیون متر مکعب، میزان تبخیر از سطح آزاد آب سد ابیورد، ۱۵۰۷ میلیمتر در سال و مقدار تبخیر از تشت، ۲۰۲۷ میلیمتر در سال برآورد شده است (آب پوی، ۱۳۸۴).

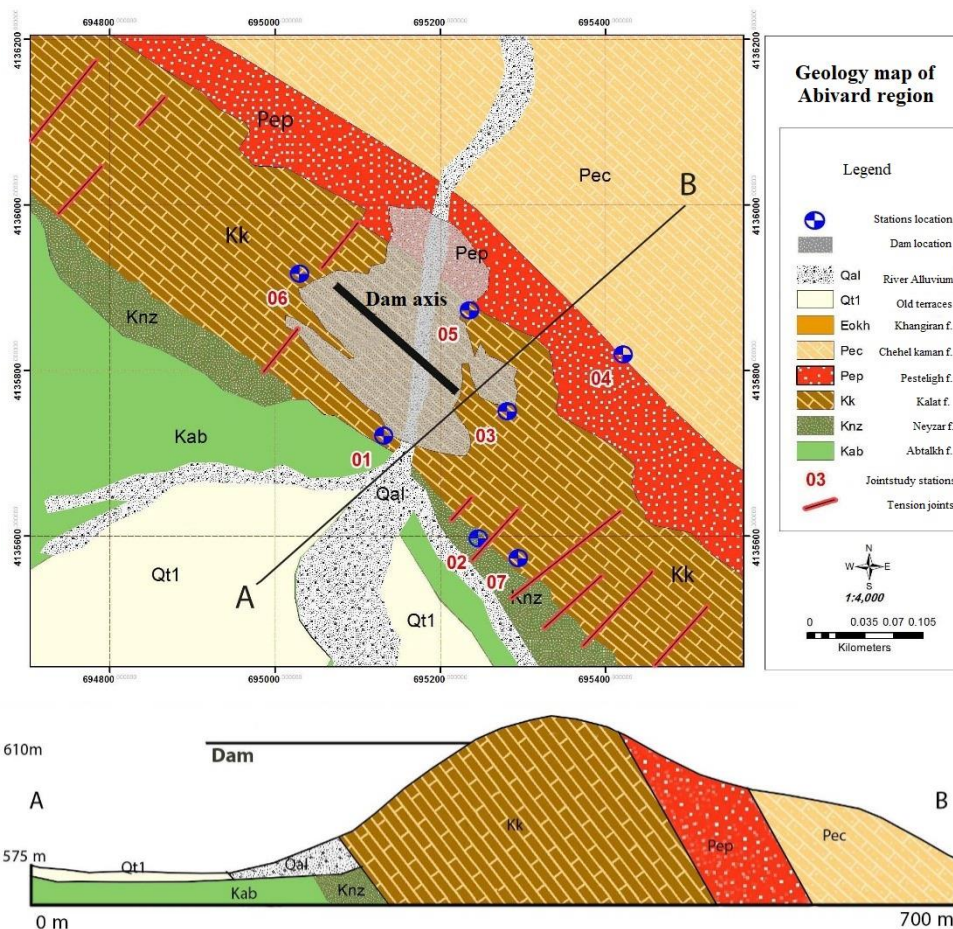
با توجه به قرار گیری منطقه مورد مطالعه در زون ساختاری کپه داغ، عوامل تکتونیکی شامل فشارش ورقه توران و ایران به همراه عوامل آب و هوایی، سنگ شناسی و زیستی، در شکل گیری ژئومورفولوژی کنونی موثر بوده اند. واحدهای سنگی مقاومی چون سنگ آهکهای سازندهای مزدوران، تیرگان، کلات و چهل کمان غالباً نواحی برآمده را درست کرده (صخره ساز) و واحدهای نامقاوم و فرسایش پذیری نظیر ماسه سنگها، شیل ها و مارنهای سازندهای شوربجه، سرچشمه و سنگانه نواحی پست تر را تشکیل می دهند. سازندهای صخره ساز کنترل کننده های اصلی مورفولوژی حوضه کپه داغ هستند. اختلاف مقاومت در سازندها موجب شکل گیری اشکال چین خوردگی متفاوت و همچنین ایجاد زمین لغزش و ریزش در منطقه است. گسله های فراوان در جابه جایی ها در محور تاقدیس و ناودیس ها، خردشدگی در سازندها، فرسایش و رخنمون سازندها، ایجاد پدیده های کارستی

و شکل گیری مورفولوژی کنونی موثر بوده اند. گسترش درزه های مختلف باعث تولید کارست و پدیده های لغزش، ریزش و تالوس شده است (کریمیان و همکاران، ۱۳۸۸).

در محدوده مورد مطالعه (شکل ۱) مهم ترین نهشته ها و سازندهای زمین شناسی به ترتیب درصد مساحت رخنمون عبارتند از: آبرفت های قدیمی Qt1 به صورت نهشته های مخروط افکنه و پادگانه های قدیمی در دامنه های پرشیب حدود ۲۷ درصد، کنگلومرا و ماسه سنگ های پلیوسن PLQC که مساحتی در حدود ۱۶ درصد، آبرفت جدید Qt2 از آبرفتهای جدید ۱۵ درصد، سازند خانگیران که اساساً شیلی و ضخامت آن زیاد است می تواند نشانه ای از آخرین پیشروی دریایی در مشرق و مرکز کپه داغ باشد و حدود ۱۳ درصد، پس از آن سازند چهل کمان به طور هم شیب بر روی سازند پستلیق و در محل سد جنس آن آهکی و مارنی و در حدود ۵ درصد از منطقه رخنمون دارد. سازندهایی که زیر ۵ درصد از وسعت منطقه را دارند شامل سازند آبدراز، آهکهای مارنی سفید تا کرم رنگ و شیره های خاکستری روشن تشکیل شده است و به طور پیوسته بین سازند آتامیر و آب تلخ قرار دارد؛ سازند آب تلخ، که دارای سنگ شناسی شیل و سیلتستون های خاکستری روشن تا آبی مایل به سبز است؛ و سازند نیزار، شامل ماسه سنگهای دانه ریز تا دانه متوسط که بیشتر در

جنوب منطقه گسترش دارد. سازند کلات در نزدیکی سد ابیورد در برش شمسی خان، دارای بخشهای الف- سنگ آهک زیرین ، ب- شیل زیرین ، ج- بسنگ آهک میانی ، د- شیل فوقانی، که شامل شیل آهکی به رنگ خاکستری مایل به سبز است، و ر- سنگ آهک فوقانی می باشد. از این ۵ بخش سازند کلات بخش زیرین تنها بخش گسترش یافته به سوی شرق و غرب می باشد و بخش های دیگر نازک شده و از بین می روند (کریمیان و همکاران، ۱۳۸۸). در محل سد ابیورد سازند کلات به صورت هم شیب بر زیر سازند پستلیق در جناحین و بستر سد دیده می شود. سازند کلات با زاویه ۶۰ درجه به سمت شمال شرقی رخنمون دارد. در منطقه مورد مطالعه سازند پسته لیق از طبقات ماسه سنگی قرمز و شیل رسی خاکستری مایل به قرمز تشکیل شده است و مرز زیرین آن عمدتاً با سازند کلات هم شیب اما فرسایشی است، و مرز فوقانی آن در این حوضه گاهی با سازند چهل کمان تدریجی و گاهی با سازند خانگیران است. در محل ساختگاه سد ابیورد همانطور که در پروفیل AB (در شکل ۲) آمده است، سازندهای آب تلخ، نیزار، کلات، پسته لیق، چهل کمان، آبرفت های قدیمی Qt1 و آبرفت رودخانه ای Qal هر یک با خصوصیات چینه سنگی متفاوت، رخنمون یافته اند.





شکل ۲. نقشه زمین شناسی تهیه شده، پروفیل زمین شناسی در راستای AB و موقعیت ایستگاه‌های برداشت درزه در محدوده سد ایبورد.

خوردگی ایجاد شده است. گسل‌های منطقه ایبورد به دو گروه عمده تقسیم می‌شوند: گروه اول گسل‌های راندگی با امتداد شمال غربی - جنوب شرقی و شیب حدود ۳۰ تا ۴۰ درجه به سمت شمال شرقی که این گسل‌ها همزمان با چین خوردگی لایه‌ها و در نتیجه لغزش طبقات در مکانیزم لغزش خمشی بوجود آمده‌اند، و گروه دوم گسل‌های راستالغز با دو امتداد کلی شمال شرقی - جنوب غربی و شمال غربی - جنوب شرقی و شیب نزدیک به قائم می‌باشد که بیشتر آنها موجب جابجایی چپ بر و راست بر طبقات چین خورده و گسل‌های راندگی شده‌اند. بنابراین نسبت به گسل‌های گروه اول جوان‌تر هستند (اکرمی و همکاران، ۱۳۸۳). اما دسته دیگر از درزه‌ها و شکستگی‌های منطقه از نوع درزه‌های کششی عمود با محور چین خوردگی هستند که درزه‌ها و شکستگی‌های یال

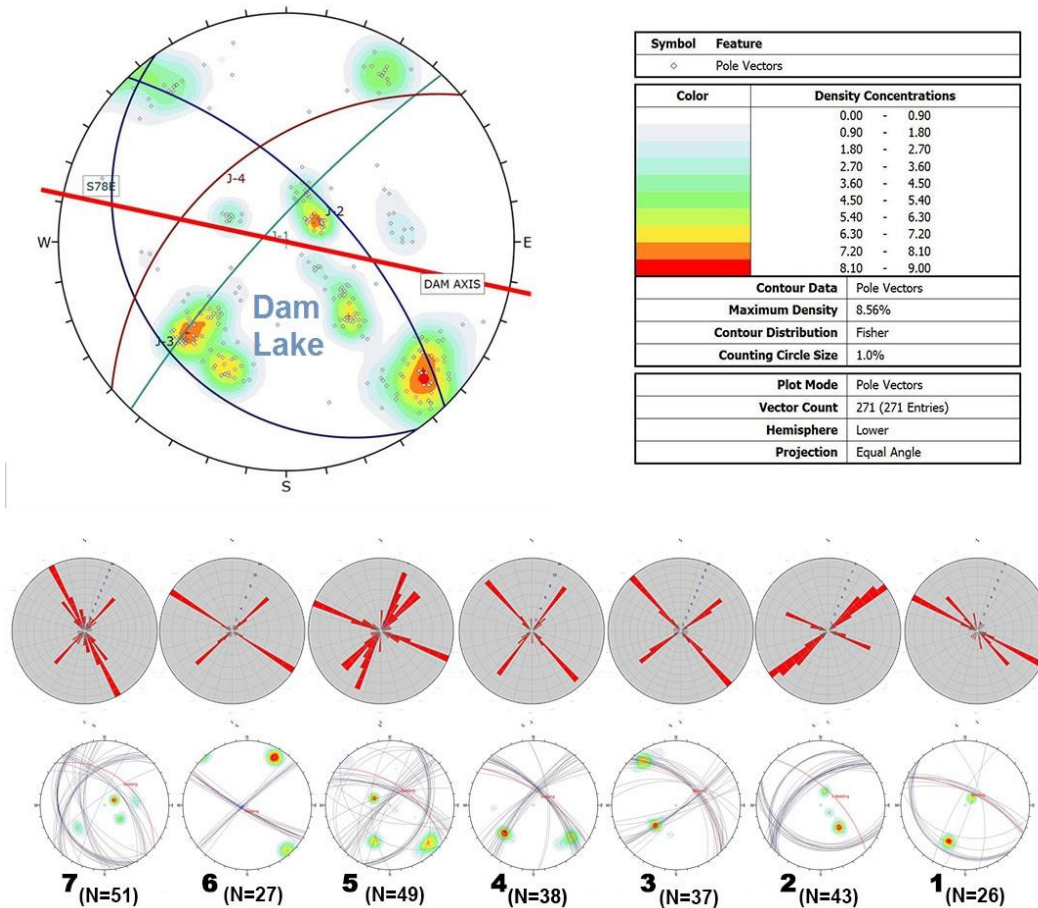
#### ۴. توسعه کارست بر اساس مطالعات زمین شناسی ساختاری و درزه‌نگاری منطقه

ساختارهای زمین شناسی منطقه سد ایبورد متأثر از حرکات تکتونیکی و ساختارهای عمومی حوضه کپه داغ می‌باشد. لذا هم جهت و هم امتداد با ابرساختارهای کپه داغ می‌باشند. تاقدیس شمسی خان از عوارض مهم زمین شناسی منطقه ایبورد است که در نزدیکی شهر درگز در حدود ۱۵ کیلومتری آن واقع شده است. از لحاظ ساختاری و زمین شناسی سد ایبورد بر روی یال جنوبی ناودیس ایبورد قرار گرفته است. ناودیس ایبورد و تاقدیس شمالی شمسی خان با روندهای تقریباً شمال غربی - جنوب شرقی به طول حدودی ۲۰ کیلومتر به علت وجود تنش فشارشی ایجاد شده‌اند و گسل‌های امتداد لغز بر اثر فرآیند فشارش بر روی یالهای چین



رزدیالگرامها نشان می‌دهد که دو دسته درزه اصلی در منطقه دیده می‌شود، درزه‌های موازی با محور چین خوردگی و درزه‌های عمود بر محور چین خوردگی که از نوع درزه‌های کششی هستند.

جنوبی ناودیس ابیورد در تکیه گاههای چپ و راست سد ابیورد از این نوع درزه‌ها هستند (شکل ۲). استریونت درزه‌های برداشت شده و رزدیالگرام درزه‌های هر یک از ۷ ایستگاه مطالعات درزه نگاری، در شکل ۳ ارائه شده است.

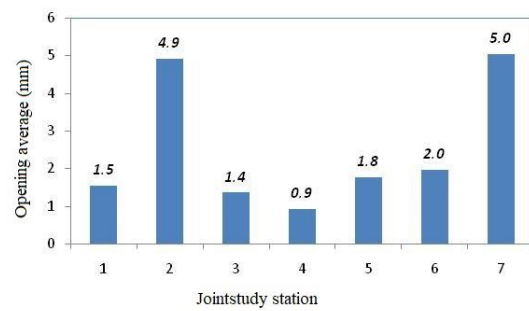


شکل ۳. استریونت کلی درزه‌های برداشت شده از منطقه ابیورد به همراه رزدیالگرام، تعداد برداشت و استریونت هر ایستگاه.

نشان می‌دهد که امتداد درزه‌ها با روند کلی ساختارهای تکتونیکی منطقه موازی می‌باشد، اما در دو ایستگاه ۲ و ۵ دسته درزه‌های عمود بر روند اصلی منطقه دیده می‌شوند. میزان باز شدگی درزه‌ها در ایستگاه‌های ۲ و ۷ که در جناح راست قرار دارند بیشتر از ایستگاه‌های دیگر است و انتظار می‌رود توسعه کارست از این جناح بیشتر انجام شود. میزان باز شدگی درزه‌ها در ایستگاه‌های ۲ و ۷ که در جناح راست قرار دارند بیشتر از ایستگاه‌های دیگر است و انتظار می‌رود توسعه کارست از این جناح بیشتر انجام شود (شکل ۴).

استریونت کلی چهار دسته درزه‌های غالب منطقه به همراه موقعیت امتداد محور سد ابیورد (EVAS) بر روی آن (شکل ۳)، نشان می‌دهد که شیب دسته درزه‌های J1 و J4 در تقاطع با محور سد و به طرف خارج مخزن و به سمت پایین دست سد است و مستعد فرار آب می‌باشد. شیب دسته درزه‌های J2 نیز به طرف خلاف جهت مخزن است و در مرتبه بعدی خروج آب قرار می‌گیرد. شیب J3 به طرف مخزن است و خروج آب از درزه‌ها را نخواهیم داشت. بررسی رزدیالگرام‌های برداشت شده در هر ایستگاه به طور مجزا

از نوع درزه های کششی موازی با محور چین خوردگی است و چون شیبی خلاف مخزن سد دارند می تواند سبب خروج آب و توسعه کارست گردد. با توجه به دسته های درزه در هر کدام از ایستگاه ها، درزه های ایستگاه های ۲، ۷، ۴ و کمتر ۶ با این سری دسته ها موازی هستند و امکان توسعه کارست در این قسمت ها بیشتر خواهد بود. همانطور که اشاره شد درزه های کششی بر روی یال جنوبی ناودیس ایبورد (سازند کلات) که ناشی از حرکات تکتونیکی فشارشی هستند، در تکیه گاه راست بالادست مخزن سد ایبورد دیده می شود (شکل ۵) که در امتداد این درزه های کششی انحلال و ریزش نیز دیده می شود.



شکل ۴. بازشدگی درزه ها در ایستگاه های برداشت سد ایبورد.

دسته درزه های J1 و J4 از نوع کششی و عمود بر محور چین ها هستند و چون عمود بر تکیه گاه های سد هستند می توانند سبب خروج آب از مخزن به خارج شوند، لذا انتظار می رود در این درزه ها توسعه کارست بیشتر انجام گیرد. درزه های J2



شکل ۵. درزه ها و شکستگی های جناح راست بالادست سد ایبورد (A)-درزه های موازی با محور چین (J2)، و B-درزه های عمود بر محور چین (J4).

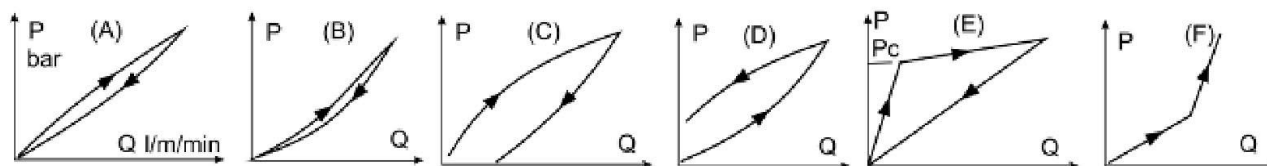
آب را در طول گمانه مشاهده نمود. با انجام آزمایشات نفوذپذیری لوژن در گمانه های اکتشافی، می توان نوع جریان در خلل و فرج توده های سنگی را تعیین نمود که با توجه به عدد لوژن و رفتار نمودار لوژن تا حدودی نوع جریان نیز مشخص خواهد شد (شکل ۶). با توجه به نتایج آزمایش لوژن (یک واحد لوژن یعنی مقدار آبی (لیتر) که در مدت یک دقیقه، مقطع یک متری گمانه در فشار ۱۰ بار جذب می شود) می توان به هدایت هیدرولیکی محیط متخلخل پی برد (Milanovic, 2018). هر چه عدد لوژن بالاتر باشد نشان

## ۵. توسعه کارست و نفوذپذیری بر اساس مطالعات ژئوتکنیک

به منظور شناسایی و درک وضعیت زیر سطحی پی سنگ و پیوستگی توده سنگ، نتایج حفر گمانه های اکتشافی در محور سد مورد بررسی قرار گرفته است (آب پوی، ۱۳۸۴). در مغزه های حفاری می توان گسترش پدیده کارست را از سطح زمین تا انتهای گمانه را تشخیص و در طول مغزه های گمانه های حفر شده، قطر حفره های کارستی، در صورت وجود، را بررسی و شناسایی نمود، و همچنین می توان تغییرات سطح

(جدول ۴).

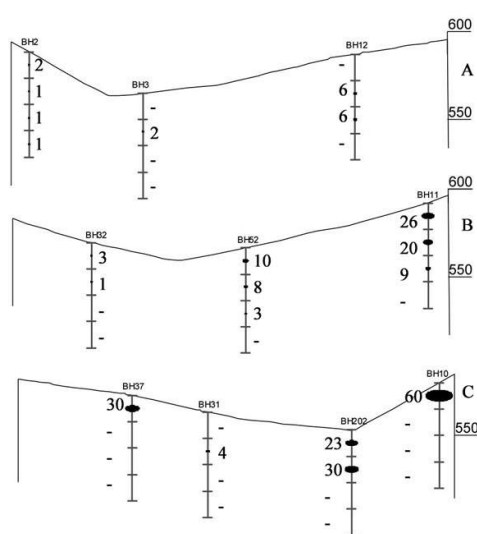
دهنده نفوذپذیری بیشتر توده سنگ و مجراهای بزرگتر، خلل و فرج زیادتر و در نتیجه توسعه کارست بیشتر خواهد بود



شکل ۶. نمودارهای آزمایش لوژن میزان جذب آب در گمانه نسبت به افزایش فشار. A: جریان خطی B: جریان آشفته- C: شکست هیدرولیکی- D: شستشوی درزه ها - E: پرشدن درزه ها- F: جریان احتمالی در اطراف پکر (Milanovic, 2018).

های سنگی رابطه مستقیم دارد (جدول ۴) و به تبع آن پتانسیل کارست شدگی و انحلال توده‌های آهکی افزایش می‌یابد. از آزمایشهای نفوذپذیری لوژن که در اعماق مختلف در ساختگاه سد ایبورد بدست آمده جهت این مقاله استفاده شده است (آب پوی، ۱۳۸۴).

در این مقاله از اطلاعات ۱۹ گمانه اکتشافی (شکل ۷- راست) که در زمان مطالعات مرحله دوم در محل محور سد ایبورد در امتداد محور و در راستای بستر و تکیه گاهها حفاری شده اند (آب پوی، ۱۳۸۴)، جهت بررسی توسعه کارست استفاده شده است. نتایج آزمون لوژن با میزان بازشدگی و نفوذپذیری توده



شکل ۷. موقعیت گمانه های سد ایبورد (راست) و پروفیل تغییرات لوژن در گمانه های اکتشافی در سه راستای مختلف (چپ).

در زیر بستر رودخانه در مسیر گمانه های BH52 و BH202 با نفوذپذیری پایین تر، مشاهده کرد، اما در تکیه‌گاه چپ فقط در گمانه BH37 نفوذپذیری داریم و جریان کمتری قابل پیش‌بینی است. همچنین با بررسی نمودارهای دبی-زمان در آزمایش‌های لوژن گمانه ها (جدول ۴) مشاهده می‌شود که در تکیه‌گاه راست جریان‌های آشفته و خطی و پس از آن در بستر رودخانه جریان خطی و مقدار کمتری آشفته‌گی جریان را

پس از بدست آوردن آزمایش‌های نفوذپذیری لوژن در اعماق مختلف در ساختگاه سد ایبورد، با ترسیم پروفیل‌های تغییرات لوژن در گمانه‌های اکتشافی (شکل ۷-چپ) می‌توان نفوذپذیری و مسیر جریان را تا حدودی تعیین کرد. از آنجائی که در مسیر سه گمانه BH12 و BH11، BH10 که هر سه تقریباً در یک تراز توده سنگی نفوذپذیری بیشتری دارند، می‌توان بهترین مسیر جریان را در تکیه‌گاه راست، و پس از آن



داریم و در تکیه گاه چپ بیشتر جریان خطی است که با افزایش فشار بازشدگی و آب شستگی اتفاق می افتد (جدول ۴).

جدول ۴. رفتار توده سنگی در مقابل فشار آب در آزمایشات لوژن در سد ایبورد (آب پوی، ۱۳۸۴).

| Flow type (percentage) |         |          |           |         | Location                |
|------------------------|---------|----------|-----------|---------|-------------------------|
| Filling                | Erosion | Dilation | Turbulent | Laminar |                         |
| ---                    | ---     | 25       | 37.5      | 37.5    | Right abutment          |
| 9.8                    | 12.56   | 21.3     | 24.6      | 31.4    | The river bed under dam |
| ---                    | 20      | 50       | ---       | 30      | Left abutment           |

#### ۶. پدیده های کارستی و نقشه پهنه بندی پتانسیل کارستی شدن در منطقه ایبورد

مهمترین اشکال کارستی منطقه ایبورد را می توان به صورت کارنها و میکروکارنهایی که در اثر بارش مستقیم باران بر روی سطح سنگهای انحلال پذیر و همچنین در اثر روانابهای ورقه ای و کانالی ناشی از بارش ایجاد می شوند را مشاهده نمود. با افزایش زمان جریان و انحلال، حفرات انحلالی و غارچه ها در راستای بازشدگیهای طبیعی مرتبط یا مجزا در سنگهای آهکی بوجود می آیند. یکی نمونه از این

حفرات انحلالی ناشی از انحلال آهکها در امتداد شکستگیها در سازند کلات در جناح راست پایین دست سد ایبورد در شکل ۸-ا دیده می شود.

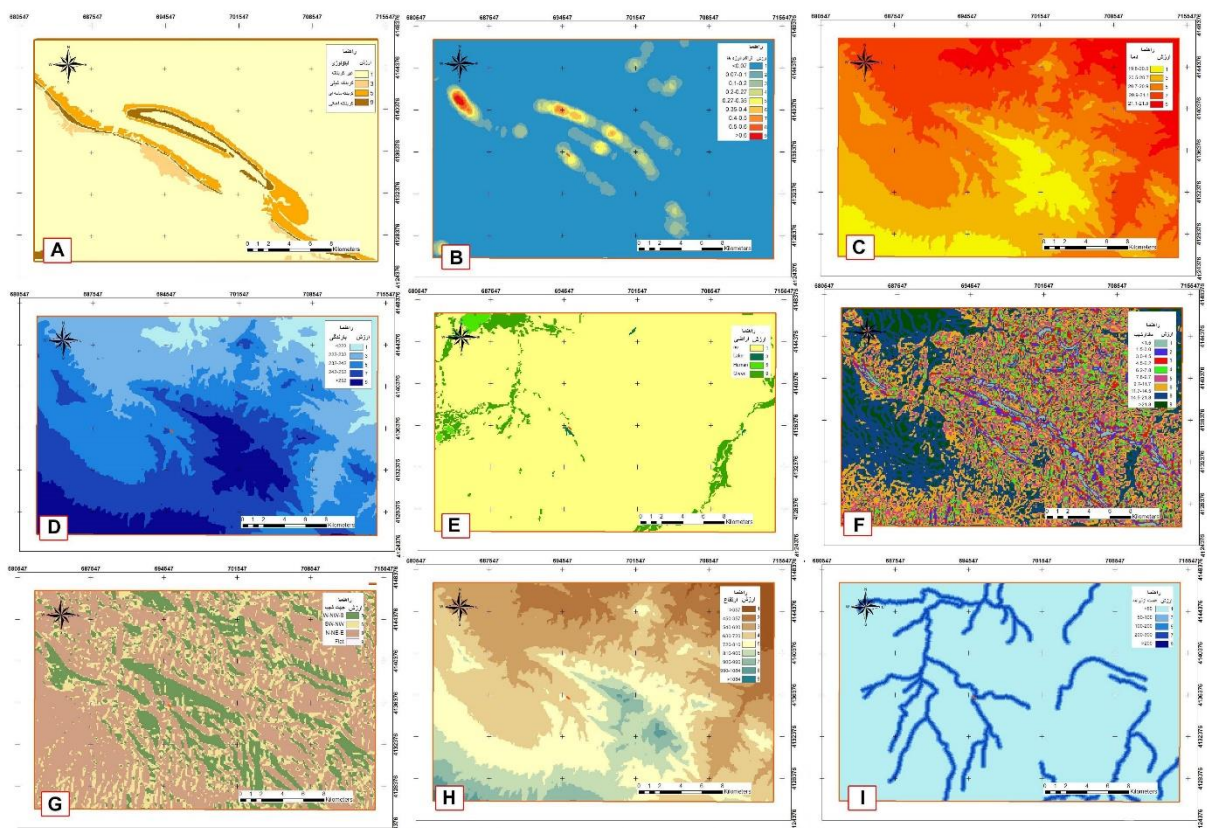
کارنها و میکروکارنهای خطی عمدتاً در محل درزه بندی و ترک خوردگی سنگ کارستی بوجود آمده اند، در حالی که کارنها یا لایه های کندوئی یا لانه زنبوری در سازندهای با انحلال پذیری متفاوت (در ماسه سنگ آهکی چهل کمان) بوجود می آیند (شکل ۸-ب).



شکل ۸. A- ایجاد حفره های انحلالی در راستای درزه های سازند کلات. B- کارنهای کندوئی سازند چهل کمان.

کارست (مطابق جدول ۳) برای منطقه ایبورد تهیه شد که در شکل ۹، ارایه شده است.

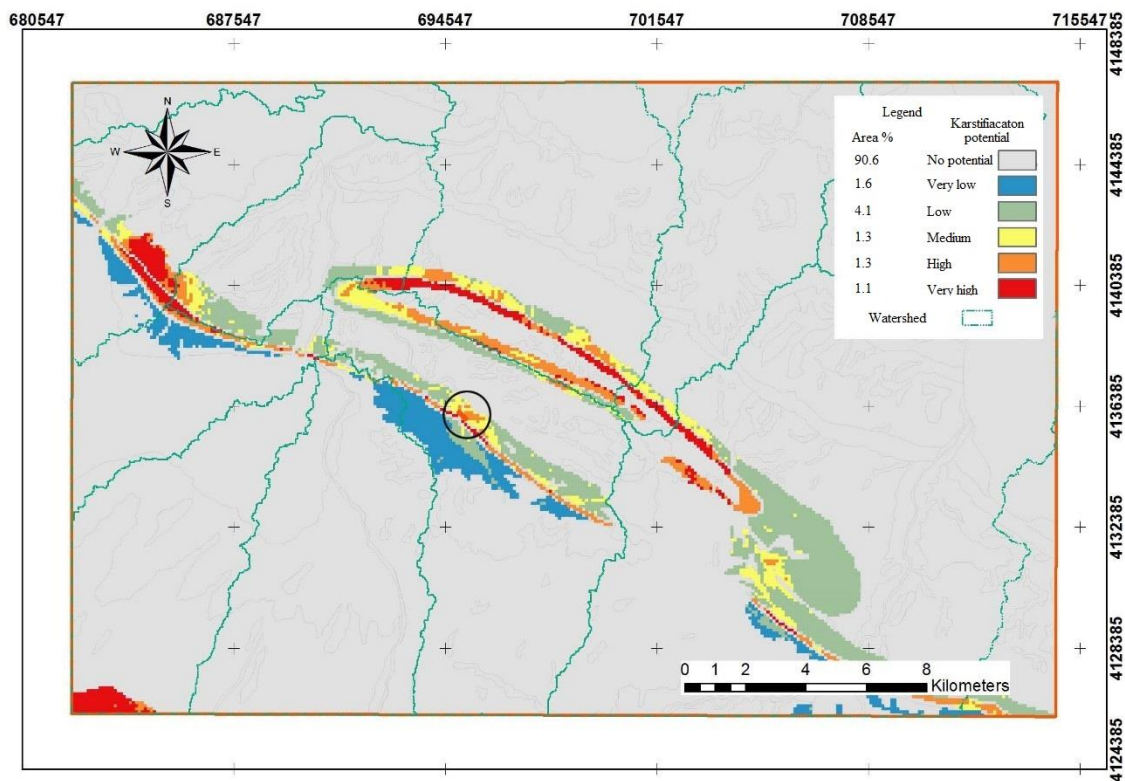
به منظور بررسی پتانسیل توسعه کارست، ابتدا نقشه های رستری برای هر یک از لایه های اطلاعاتی موثر در توسعه



شکل ۹. نقشه های تهیه شده برای مطالعه کارست به روش سلسله مراتبی در منطقه ایبورد: A- لیتولوژی (سازندهای کربناته و غیرکربناته)، B- درزه ها و شکستگی ها، C- هم دما، D- هم بارش، E- کاربری اراضی، F- شیب، G- جهت شیب، H- توپوگرافی (ارتفاعی)، و I- فاصله از آبراه ها.

است. نتایج بررسی مناطق مستعد کارستی شدن در منطقه ایبورد، نشان می‌دهد که در این محدوده سازندهای کلات و چهل کمان در امتداد شمال غربی - جنوب شرقی منطقه از لحاظ توسعه کارست و کارستی شدن مستعدتر از بقیه نقاط محدوده ایبورد می باشد. لذا با توجه به وجود سازند آهکی کلات در محل ساختگاه سد ایبورد و ایجاد دریاچه سد پس از آبیگری- که خود باعث افزایش پتانسیل توسعه کارست خواهد شد- ساختگاه سد دارای پتانسیل خیلی بالا در توسعه کارست خواهد بود.

شکل ۱۰، نقشه نهایی پهنه بندی پتانسیل توسعه کارست برای محدوده مورد مطالعه ایبورد، که ازهمپوشانی لایه های اطلاعاتی رستری به روش سلسله مراتبی بدست آمده است، را نشان می‌دهد. بر اساس اصول مبانی کارست و مشاهدات میدانی، نقشه نهایی حاصل از پهنه بندی پتانسیل کارستی شدن، به پنج طبقه: فاقد پتانسیل، پتانسیل پایین، متوسط، بالا و خیلی بالا طبقه بندی شد و مساحت و درصد طبقات پتانسیل توسعه کارست از کل محدوده مطالعه شده (به مساحت ۶۸۰/۳۷ کیلومتر مربع)، در جدول روی شکل ۱۰ ارایه شده



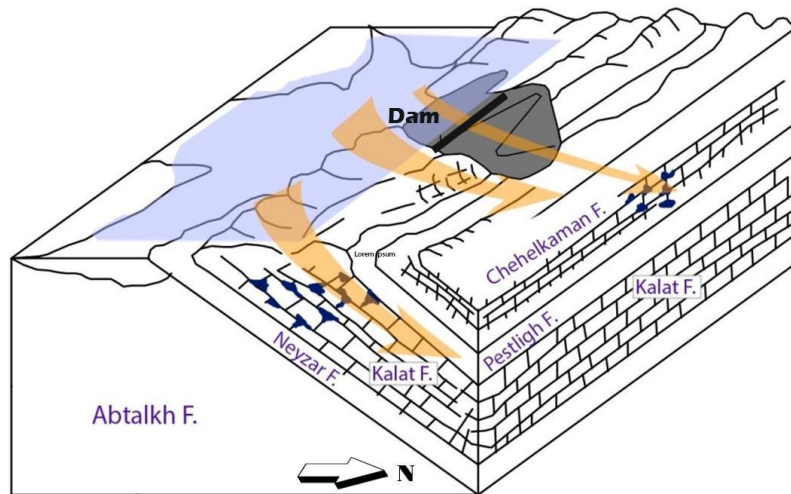
شکل ۱۰. نواحی مستعد کارستی شدن و نقشه پهنه بندی پتانسیل توسعه کارست در منطقه ایبورد بر اساس روش سلسله مراتبی-موقعیت سد به صورت دایره مشکی آمده است.

#### ۷. مدل مفهومی کارست در ساختگاه سد ایبورد

یکی از روش‌های تهیه مدل مفهومی، روش کارسیس است، که دارای سه مزیت است: کاهش هزینه‌ها و عدم انجام بررسی‌های زائد، تعیین چارچوب مطالعات تکمیلی و بهبود تفسیر داده‌های جمع آوری شده. اصول این روش بر پایه حرکت آب در محیط کارست توسط گرادیان هیدرولیکی و هندسه آبخوان مانند لایه بندی آهک کنترل می گردد و مدل مفهومی آبخوان ابتدا با ساختن مدل فرضی اولیه بر اساس سعی و خطا و سپس با داده های بعدی تکمیل می شود (کریمی وردنجانی، ۱۳۹۴).

بر اساس نتایج حاصل از برداشت‌های صحرایی، درزه نگاری، عکسهای هوایی و سنجش از دور، مطالعات زمین شناسی و

تفسیر داده های ژئوتکنیک (نفوذپذیری لوژن)، و با استفاده از روش کارسیس، مدل ساختاری - مفهومی از موقعیت سد ایبورد در تکیه گاه‌های کارستی تهیه و در شکل ۱۱ ارائه شده است. طبق این مدل، سد ایبورد بر روی یال جنوبی ناودیس ایبورد واقع شده است، با توجه به شیب لایه بندی سازند کلات به سمت پایین دست و نفوذپذیری گمانه های ژئوتکنیک، می توان انتظار داشت علاوه بر نقش لایه بندی در نشت و انتقال آب، درزه های کششی عمود بر محور چین خوردگی ها نیز باعث نشت آب از تکیه گاه جناح راست و زیر سد خواهد شد. که از لحاظ ساختمانی، احتمال وجود کارست از نوع زمین ناودیس (geosynclinal karst) می باشد. ورس (Veress, 2020).



شکل ۱۱. مدل مفهومی از جهت جریان و مسیر توسعه کارست در سد ایبورد.

## ۸. نتیجه گیری

نتایج حاصل از بررسی عکس‌های هوایی و سنجش از دور، برداشت‌های صحرایی، مطالعات درزه نگاری که نشان از همسو بودن جهت شیب دو دسته درزه تکیه‌گاه‌ها به سمت مخزن است و تفسیر نفوذپذیری گمانه های ژئوتکنیک (نفوذپذیری لوژن) که حاکی از نفوذپذیری در تکیه‌گاه‌های سمت راست و بستر سنگی سد می باشد، و با توجه به قرارگیری سد ایبورد بر روی یال جنوبی ناودیس ایبورد، و بررسی شیب لایه بندی سازند کلات به سمت پایین دست، همانطور که در مدل مفهومی آمده است، مسیر نشت آب از تکیه گاه راست و تکیه گاه از زیر بدنه سد می باشد. همچنین بررسی پتانسیل کارستی شدن به روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) در محدوده سد ایبورد نشان می‌دهد که ۲/۴ درصد از محدوده پتانسیل کارستی شدن دارند. این مناطق بیشتر شامل سازندهای آهکی محدوده مانند کلات و چهل کمان می‌باشند.

با توجه به موقعیت قرارگیری سد، ساختگاه سد ایبورد نیز پتانسیل بالایی در کارستی شدن و توسعه کارست دارد که با توجه به مدل مفهومی ارائه شده می توان انتظار داشت که با آبرگیری سد و افزایش ارتفاع و فشار آب، بخش زیادی از آب مخزن از درزه‌های لایه بندی سازند کلات و درزه‌های کشتی که ناشی از چین خوردگی های مربوط به ناودیس ایبورد است، نشت کند و این جریان باعث انحلال سازند آهکی کلات در مسیر این درزه ها و به دنبال آن توسعه کارست خواهد شد.

## تقدیر و تشکر

از معاونت پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد، بخاطر فراهم آوردن شرایط انجام پیمایش و عملیات صحرایی، و از شرکت آب منطقه ای استان خراسان رضوی، بخاطر در اختیار گذاردن اطلاعات طرح (در راستای قرارداد شماره KOGW99004-4) سپاسگزاری می‌گردد.

## منابع

- آقاجری، ل. ا.، علوی، س. ا.، قاسمی، م.، و کاوسی، م.، ۱۳۹۶، پهنه بندی ساختاری و ریخت زمین ساختی کپه داغ خاوری، علوم زمین، سال بیست و ششم، شماره ۱۰۴، ۱۳۴-۱۲۵.
- رضایی عارفی، م.، زنگنه، م.، بهنیا، ا.، و جوانبخت، م.، ۱۳۹۹، پهنه بندی تحول کارست با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (حوضه کوهستانی کلات)، فصلنامه علمی - پژوهشی و بین المللی انجمن جغرافیایی ایران، سال هجدهم، شماره ۶۴، ۷۹-۹۴.



- کریمی وردجانی، ح.، ۱۳۹۴، هیدروژئولوژی و ژئومورفولوژی کارست، انتشارات ارم شیراز.
- کریمیان طریقه، ا.، موسوی حرمی، س. ر.، محبوبی، ا.، ۱۳۸۸، چینه نگاری سکansı و تفسیر تاریخچه دیاژنری سازندهای کلات و پسته لبق در تاقدیس شمس در ناحیه درگز، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد.
- ولایتی، س.، ۱۳۸۷. هیدروژئولوژی سازندهای نرم و سخت (مبانی نظری و عملی)، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.
- شرکت مهندسین مشاور آب پوی، ۱۳۸۴. گزارش سیمای طرح مطالعات بند انحرافی و سد ابیورد.
- اکرمی، م.، ا.، شجاعی، ن.، بهرمند، م.، مافی، ا.، چایچی، ز.، حدادان، م.، ۱۳۸۳. نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین شناسی درگز، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- ولایتی، س.، خانعلی زاده، ف.، ۱۳۹۰. بررسی رابطه ساختارهای تکتونیک و اشکال کارستی (حوضه آبریز سد کارده). فصلنامه علمی - پژوهشی انجمن جغرافیای ایران، دوره جدید، سال نهم، شماره ۳۱، ۱۷۱-۱۸۹.
- Abdelouaheb, T., Boualem, R., 2018. The Problem of Water Leakage in BeniHaroun Reservoir (Algeria), Jordan Journal of Civil Engineering, 12(3):402-423.
- Adinehvand, R., 2017. Application of Hydrogeology, Modeling and Dye Tracing in Evaluation of Leakage Potential from Karstic Dam Sites Case Study: Abolabbas Dam, Southwest of Iran., School of Science Ph.D. Dissertation in Geology- Hydrogeology.
- Ghobadi, M., Khanlari, G., Dilalay, H., 2005. Seepage problems in the right abutment of the Shahid Abbaspour. Engineering Geology, 82: 119-126.
- Hocini, N., Mami, N., 2011. Detection of water leakage in the Beni-Haroun dam (Algeria). IAEA, Pub1580\_vol2\_web:359-365.
- Laksiri, L., 2007. Investigation of water leakage mechanism in the karstic site Samanalawewadam, Serilanka. department of engineering systems and technology. requirement for the degree of doctor of philosophy.
- Milanovic, P., 2018. Engineering karstology of dams and reservoirs. CRC press.
- Mozafari, M., Raeisi, E., 2017. Leakage paths at the Lar Dam site, northern Iran. Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, 50(4):444-453.
- Mozafari, M., Raeisi, E., 2015. Understanding Karst Leakage at the Kowsar Dam, Iran, by Hydro geological Analysis. Environmental and Engineering Geoscience, 21(4):325-339
- Turkmen, S., Ozguler, E., Taga, H., Karaogullarindan, T., 2002. Seepage problems in the karstic limestone foundation of the Kalecik Dam (south Turkey). Engineering Geology, 63: 247- 257.
- Unal, B., Eren, M., Yalcin, M., 2007. Investigation of leakage at Ataturk dam and hydroelectric powerplant by means of hydrometric Measurements. Engineering Geology 93:45-63.
- Veress, M., 2020. Karst Types and Their Karstification, Journal of Earth Science, 31(3): 621-634.