

## نحوه تشکیل و تحول کانال‌های خود ساخته آهکی و نقش آن‌ها در مورفولوژی زمین‌های آهکی (مطالعه موردی: سکوی تراورتنی تخت سلیمان)

محمدحسین رضایی‌مقدم، دانشیار ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز، ایران\*  
محمدرضا قدری، دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز، ایران

### چکیده

سکوی تراورتنی تخت سلیمان که در اثر نهشته گذاری چشمه‌های آهک ساز جدید به وجود آمده، در شمال غرب ایران قرار گرفته است. آب چشمه‌های دریاچه روی سکو که از دو دریچه به بیرون جاری می‌شود، دارای املاح زیادی است که به صورت نهشته‌های دیواری شکل در مسیر آبهای جاری ته نشین شده اند. این توده‌های باریک کلسیتی، مورفولوژی خاصی را در سطح زمین‌های آهکی به وجود آورده‌اند. هدف این پژوهش، شناسایی عوامل مؤثر در تشکیل این پدیده‌ها، دسته بندی و بررسی نقش آنها در مورفولوژی زمین‌های تراورتنی محدوده باستانی تخت سلیمان است. در این پژوهش، از کارهای میدانی، مانند: حفر ترانشه برای بررسی اجزای درونی کانال‌ها، اندازه‌گیری میزان ته نشست نهشته‌های کلسیتی، آنالیز شیمیایی آب‌های جاری و نمایش مورفولوژی کانال‌ها از طریق GIS استفاده شده است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد، پیدایش این کانال‌ها به عواملی، مانند سرعت آب، افزایش دما، فتوسنتز گیاهی و کاهش فشار جزیبی  $CO_2$  وابسته است. افزایش ارتفاع، فرو ریزی و جابه‌جایی کانال‌های خود ساخته، چشم انداز آهکی محدوده را به هم زده است. این کانال‌ها در روند شکل‌گیری، سه مرحله کودکی، بلوغ و پیری را سپری کرده‌اند. کانال‌های سنگی خودساخته در سطح و اطراف سکو از لحاظ مورفولوژی به چهار دسته تقسیم می‌شوند: نهشته‌های توفایی دیوار مانند، کانال سنگی فروریخته، کانال‌های خود ساخته روی سکو و کانال‌های خود ساخته بیرون از سکو.

واژه‌های کلیدی: تخت سلیمان، مورفولوژی، کانال‌های سنگ شده، کانال خود ساخته آهکی، نهشته‌های آهکی دیوار مانند.

### ۱- مقدمه

یکی از اشکال آهکی جدیدی که بر اثر نهشته گذاری آب‌های جاری و آشفته غنی از کربنات به وجود آمده است، نهشته‌های دیواری شکلی است، که در امتداد آب‌های جاری به صورت خطی تشکیل شده‌اند. در سطح رویی این توده آهکی جوی خشک شده‌ای قرار دارد که بستر و دیواره‌های آن از سنگ‌های کربناته بوده و از مواد محلول در خود آب تشکیل شده‌اند. سرریز نمودن آب

از شیار رویی دیوار به کناره‌های آن موجب گسترده‌گی آنها شده، دیواره‌های کانال، شکل عمودی پیدا می‌کنند (پنتکوست (Pentecost)، ۲۰۰۵: ۵۷). همچنین، نهشته‌های کربناته جدید، سطح رویی توده آهکی قدیمتر را می‌پوشانند. بین (۱۹۷۱) برای این توده باریک و

آن کم باشد. تופا نیز نهشته‌ای کربناته با فرمول شیمیایی تراورتن است، با این تفاوت که تופا از نهشته گذاری چشمه‌های آب سرد یا انباشته شدن در دریاچه‌ها به وجود می‌آید. تופا نرم بوده، فضای خالی بین ذرات تشکیل دهنده آن زیاد و اغلب در اطراف گیاهان تشکیل می‌شود. فشرده شدن ذرات تופا موجب می‌گردد که این نهشته کربناته در طول زمان سخت و به تراورتن تبدیل شود.

بر خلاف بین وهانکوک که واژه تراورتن را برای این نهشته‌های کربناته به کار می‌برند، ما ترجیح می‌دهیم از اصطلاح تופا برای آنها استفاده کنیم، زیرا این نهشته‌ها متخلخل و نرم بوده، رشد بلورهای آنها نیز به اندازه‌ای نیست که به تراورتن تبدیل شده باشند. در واقع، هنوز مرحله تراورتن شدگی<sup>۱۲</sup> را سپری نکرده‌اند. لوزک<sup>۱۳</sup> (۱۹۶۳) و کواندا<sup>۱۴</sup> (۱۹۶۴) بر این باور هستند که تغییرات دیاژنزی توفاهای کربناتی ناشی از سفت شدگی آنها است که به وسیله پرشدگی فضاهای باز و بلور شدگی دوباره کلسیت صورت می‌گیرد. به این فشرده‌گی و تغییر شکل بلورهای کلسیتی، تراورتنی شدن تופا<sup>۱۵</sup> گفته می‌شود. مطالعات جزئی از بخش‌های پایین توفاهای سخت نشان می‌دهد، حتی فعالیت‌های کوچک پیرامون ریشه‌ها یا ساقه‌های متلاشی شده به وسیله کربنات‌های ثانویه نیز بدون پر شدگی باقی می‌مانند (زک<sup>۱۶</sup> و همکاران، ۲۰۰۲: ۱۴۱). در بررسی نمونه‌هایی

کشیده آهکی اصطلاح تراورتن کانالی خود ساخته<sup>۱</sup> را به کار برده است (هانکوک و همکاران، ۱۹۹۹، ۹۰۵). از آن به عنوان کانال آبیاری سنگ شده<sup>۲</sup> نام می‌برند. با توجه به اینکه توده‌های آهکی به وجود آمده در مسیر آب‌های جاری، شکل کشیده و خطی دارند، به علت متنوع بودن مورفولوژی این پدیده آهکی در منطقه مورد مطالعه، از آنها به عنوان کانال خود ساخته توفایی<sup>۳</sup>، کانال‌های سنگ شده<sup>۴</sup> و در بعضی جاها به عنوان نهشته‌های آهکی دیواری شکل<sup>۵</sup> نام می‌بریم که همه آنها در زیر مجموعه کانال‌های خود ساخته آهکی<sup>۶</sup> قرار می‌گیرند.

سلبی<sup>۷</sup> (۱۹۸۵: ۳۰۴)، فورد و ویلیامز<sup>۸</sup> (۱۹۸۹: ۵۳) و زومدال<sup>۹</sup> (۱۹۹۳: ۵۱۳) کاهش فشار جزئی  $CO_2$  را در ته نشین شدن عناصر آب‌های غنی از کربنات مؤثر می‌دانند. پتی جان<sup>۱۰</sup> (۱۳۷۹: ۹۴) و رحیم پور (۱۳۸۴) اشاره می‌کنند که رشد گیاهان در اطراف چشمه‌های آهک ساز و آب‌های جاری آنها، نقش زیادی در ته نشینی عناصر کربناته دارند.

تراورتن سنگ کربناته‌ای است که از نهشته گذاری چشمه‌های آب گرم تشکیل می‌شود (گودی<sup>۱۱</sup>، ۲۰۰۲: ۱۰۷۱). تراورتن نسبتاً سخت بوده و رشد بلورها تشکیل دهنده آن موجب شده است تا فضای خالی بین ذرات در

1 - self - built channel travertine

2 - petrified irrigation channels

3 - tufa self - built channel

4 - petrified channels

5 - wall - like calcareous deposit

6 - calcareous self - built channel

7 - Selby

8 - Ford & Williams

9 - Zumdal

10 - pettijohn

11 - Goudie

12 - travertinization

13 - lozek

14 - kovnda

15 - travertinization of tufa

16 - Zak

دریاچه‌ای به شکل بیضی تشکیل شده که کف آن دارای پستی و بلندی‌هایی است. لوتار<sup>۳</sup> و همکاران (۱۹۶۱: ۵۴) عمق دریاچه را در بخش‌های مختلفی اندازه‌گیری کرده‌اند. آنها عمق دریاچه را در بخش جنوبی ۴۶ تا ۴۹ متر و در بخش شمالی ۶۴ متر اندازه‌گیری کرده‌اند. همچنین عمیق‌ترین نقطه دریاچه در بخش شمالی که به صورت یک حفره می‌باشد، ۱۱۲ متر اندازه‌گیری شده است.

سکوی آهکی تخت سلیمان، از نهشته‌های چشمه‌های آهک ساز جدید در دوره کواترنر به وجود آمده است (علوی نائینی، ۱۹۸۲: ۷۳). برنارد دم<sup>۴</sup> (به نقل از جنیدی، جنیدی، ۱۳۴۸: ۳۰۰) ذکر می‌کند که این سطوح آهکی از پلیوسن به بعد به وجود آمده‌اند. چشمه‌های آهک سازی که این نهشته‌های آهکی را به وجود آورده‌اند، در راستای گسل‌های بزرگ و فعال منطقه تشکیل شده‌اند. یک گسل با امتداد شمال غربی - جنوب شرقی از روی این سکوی تراورتنی می‌گذرد که از نوع راست گرد بوده و به احتمال زیاد عامل اصلی تشکیل این سکو و چشمه‌های بستر دریاچه آن می‌باشد. نهشته‌های جدید تراورتنی باعث پوشیده شدن این گسل گردیده و به همین علت در روی نقشه‌های زمین‌شناسی به صورت گسل پنهان نشان داده شده است.

این پهنه تراورتنی، در مقیاس کلی، تحت تأثیر فرایندهای زمین ساخت بزرگتری قرار دارد که گسل رورانده قینرجه - چارتاق را به وجود آورده است (قدری، ۱۳۸۲: ۵۷). روند ساختمانی منطقه تابع فعالیت

که از قسمت‌های متلاشی شده سطح زمین، قسمت‌های درون ترانشه و قسمت زیر زمین که به وسیله خاک پوشیده مانده بودند، مشخص گردید که این سنگ‌ها متخلخل بوده و فضاهای خالی زیادی در بین بلورهای آنها وجود دارد. این سنگ‌های آهکی هنوز مرحله بلورشدگی دوباره پیدا نکرده و بهتر است واژه تופا را برای آنها به کار ببریم.

در روی سکوی تراورتنی تخت سلیمان و اطراف آن، به تعداد زیادی از این کانال‌های سنگی برخورد می‌کنیم که از لحاظ ارتفاع و محل تشکیل تفاوت زیادی با هم دارند. عامل اصلی تشکیل این کانال‌های سنگی، آب جاری شده از چشمه‌های کف دریاچه‌ای است که در سطح سکو قرار دارد. نهشته‌های چشمه‌های آهک ساز این منطقه بیشتر کلسیتی هستند (باباخانی و امینی، ۱۳۷۰، ۵۹).

این نهشته‌های کربناته از نوع کلسیت  $CaCO_3$  بوده که در سیستم رومبوئدرال<sup>۱</sup> متبلور شده، رشد آنها به صورت اسکالنوهدرال<sup>۲</sup> (دندان سگی) است.

## ۲- معرفی منطقه مورد مطالعه

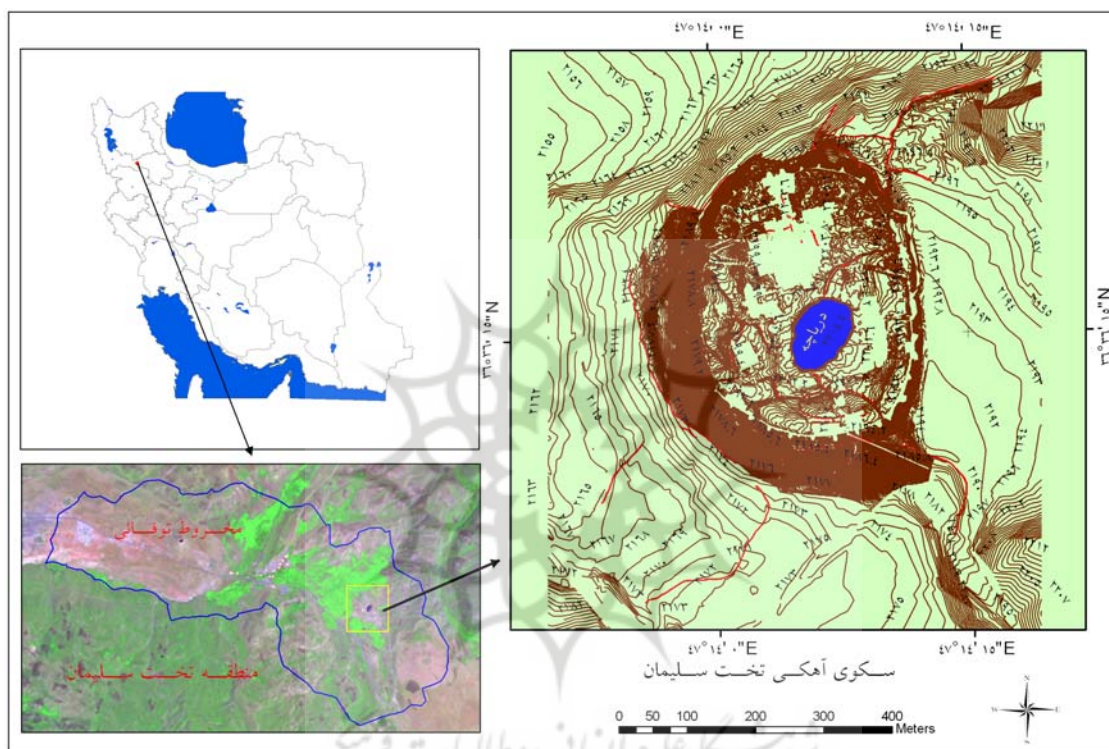
سکوی تراورتنی تخت سلیمان، در شمال غربی کشور ایران و در قسمت شمال شرقی شهرستان تکاب واقع شده است. این سکو، تقریباً بیضی بوده، نسبت به قسمت‌های اطراف ۱۰ متر ارتفاع دارد. شکل (۱) وضعیت توپوگرافی سکو را نسبت به زمین‌های اطراف خود نشان می‌دهد. در سطح این سکوی آهکی،

3 - Lotar  
4 - Bernhard Damm

<sup>1</sup> - rhombohedral  
<sup>2</sup> - scalenohedral

به صورت پوششی محدود با جهت شمال غربی - جنوب شرقی بر روی بستری از سنگ‌های قدیمتر میوسن قرار گرفته‌اند. این بستر رسوبی مارنی - ماسه سنگی علاوه بر بستر، پیرامون پهنه تراورتنی را نیز احاطه کرده‌اند.

این گسل و نتایج حاصل از آن است. این نهشته‌های تراورتنی بر روی رسوبات متناوب مارن و ماسه سنگ قرمز رنگ میوسن تشکیل شده‌اند. مارن و ماسه سنگی که بستر این نهشته‌های تراورتنی را تشکیل می‌دهد معادل بخش بالایی سازند قم است. سنگ‌های تراورتنی جدید



شکل ۱: نقشه موقعیت جغرافیایی سکوی آهکی تخت سلیمان

شیمیایی روی این آب‌ها صورت گرفته و هم با انتخاب چند مکان و نصب ابزار اندازه‌گیری، در مدت ۱۶۰ روز مقدار مواد کربناته ته نشین شده، برآورد گردید. برای بررسی مراحل رشد و تحول کانال‌های خود ساخته و عوامل مؤثر بر تشکیل آنها، نمونه‌های متفاوتی از آنها، شناسایی و با هم مقایسه شده‌اند. در روند مشخص نمودن نوع کانی کلسیتی از لحاظ توفا یا تراورتن بودن آنها چند نمونه از این کانال‌ها از زیر خاک بیرون آورده

### ۳- مواد و روش‌ها

برای شناسایی و بررسی کانال‌های خود ساخته آهکی، ابتدا محدوده مورد مطالعه در دو مقیاس ۱:۱۰۰ و ۱:۲۰۰۰ نقشه برداری گردیده است. با توجه به داده‌های به دست آمده از این برداشت‌ها و نمایش آنها در محیط GIS، پراکندگی کانال‌ها در سطح محدوده و تفاوت آنها از لحاظ مورفولوژی بررسی شد. برای تعیین تقریبی میزان نهشته گذاری حاصل از آب‌های جاری، هم آنالیز

#### ۴-۲- عوامل مؤثر در پیدایش و تحول کانال‌های خود ساخته آهکی

تشکیل نهشته‌های کلسیتی و پیدایش کانال‌های خود ساخته آهکی در روی سکو و زمین‌های اطراف آن بر اثر عوامل زیر صورت گرفته است:

##### ۴-۲-۱- نقش دمای آب

آب سرد بیشتر از آب گرم می‌تواند سنگ آهک را تخریب و در خود حل کند. آب چشمه‌ها در زیر زمین، دمای کمتری داشته، توانایی بیشتری برای انحلال و بالا آوردن عناصر کربناته دارند. دمای آب دریاچه در سطح، ۲۰ تا ۲۱ درجه سانتی گراد است. این دما، در عمق ۳۰ سانتی متری ۱۹ درجه (عارف، ۱۳۷۲: ۲۴)، در ۳۵ متری ۱۸ درجه و در کف دریاچه که پایین تر از ۳۵ متر عمق دارد، به ۱۷ درجه سانتی گراد می‌رسد (طیبی و توفیقیان، ۱۳۸۱: ۱۸ و ۳۶). بر خلاف آنچه که بیشتر پژوهشگران در مورد دمای آب دریاچه نظر داشتند، دمای آب نه تنها با عمق افزایش نمی‌یابد، بلکه کاهش نیز پیدا می‌کند. با افزایش دمای آب در دهانه چشمه، محیط دریاچه و جوی‌های اطراف سکو، توانایی آب برای حمل عناصر محلول نیز کاهش یافته، این عناصر به صورت نهشته‌های دیواری شکل و طولی در مسیر آب‌های جاری ته نشین می‌شوند.

##### ۴-۲-۲- کاهش فشار $CO_2$

آبی که در قسمت‌های زیرین دریاچه جریان دارد، دارای فشار جزئی زیادی بوده، دی اکسید کربن زیادی را در خود دارد. در این حالت، آب توانایی زیادی برای

شد و در یک مورد هم، ترانشه‌ای در امتداد دیوار یکی از کانال‌ها حفر گردید.

#### ۴- نتایج

##### ۴-۱- فرایند تشکیل کانال‌های خود ساخته آهکی

بی کربنات کلسیم که به صورت محلول در بین سنگ‌های آهکی زیرین زمین در جریان است، زمانی که به سطح زمین می‌رسد،  $CO_2$  خود را از دست داده، کربنات کلسیم به صورت نامحلول ته نشین می‌شود. بدین ترتیب، در محیط‌های خشکی در دهانه چشمه‌های آهک ساز، کربنات کلسیم به دو صورت تراورتن و توفان تشکیل می‌شود. فاکتور اصلی آن طبق فرمول زیر، خروج و مصرف  $CO_2$  است. یعنی هر عاملی که باعث خروج  $CO_2$  شود، آهک یا کربنات کلسیم  $CaCO_3$  را به وجود می‌آورد.



آبی که از چشمه‌های کف دریاچه بالا می‌آید، از دو دریچه شمالی و جنوبی به بیرون جاری می‌شود. این آب به علت داشتن  $CO_2$  توانایی انحلالی بالایی دارد. که باعث می‌شود عناصر کربناته را به صورت محلول از قسمت‌های زیرین با خود بالا بیاورد. وقتی آب چشمه‌های حاوی بی کربنات دریاچه به سطح زمین می‌رسند،  $CO_2$  خود را از دست داده، توانایی حلالیت آن‌ها کاهش می‌یابد. در این مرحله، مواد محلول آب به صورت نهشته‌هایی توفایی و به شکل طولی در مسیر کانال‌ها ته نشین می‌شوند.

انحلال و انتقال عناصر کربناته به سطح زمین دارد. به همین علت، آب چشمه‌های کف دریاچه دارای املاح زیادی هستند. متناسب با کاهش عمق، فشار جزئی  $CO_2$ ، به آهستگی کاهش می‌یابد. در سطح زمین و جوی‌های اطراف سکو که فشار جزئی دی اکسیدکربن کاهش می‌یابد، نهشته‌های کلسیتی به صورت نواری شکل در مسیر آبهای جاری ته نشین شده، کانال‌های خود ساخته آهکی را به وجود می‌آورد.

#### ۴-۲-۳- جریان و آشفته‌گی آب:

آب‌هایی که جاری هستند، دی اکسید کربن زیادی از دست می‌دهند. جابه‌جایی مولکول‌های آب جوی‌ها که در تماس با هوای آزاد قرار دارند، در روند این کاهش مؤثر است. همچنین هر چه آب آشفته تر باشد، میزان  $CO_2$  موجود در آن کاهش می‌یابد. به نسبت

کاهش  $CO_2$  توانایی نگهداری مواد محلول در آب کاهش یافته، این عناصر به شکل نهشته‌هایی در بستر و کناره‌های کانال جریان خود، ته نشین می‌شوند. در مسیرهای جریان آب در روی سکو و زمین‌های اطراف تخت سلیمان که به شکل طبیعی یا مصنوعی به وجود آمده‌اند، کانال‌های خودساخته زیادی تشکیل شده است. با اندازه‌گیری میزان نهشته گذار در چند محل، از جوی‌هایی که آب دریاچه در آنها جریان دارد مشخص گردید که بیشترین میزان نهشته گذاری در قسمتی از جوی اصلی اتفاق افتاده که شیبی بیش از ۱۲ درصد دارد. در این میزان شیب، آب سرعت زیادی داشته، به شکل آشفته‌ای جریان دارد. در این قسمت از جوی در مدت ۱۶۰ روز، ۳۰ میلی متر نهشته توفایی ته نشین شده است (شکل ۲).



شکل ۲: میزان املاح نهشته گذاری شده در بستر جوی اصلی که در مدت ۱۶۰ روز تشکیل شده‌اند. بخشی از این نهشته‌ها برای بررسی بیرون آورده شده است. جوی اصلی جنوب غربی سکوی آهکی تخت سلیمان

**۴-۲-۴- فتو سنتز**

در اطراف جوی‌های اصلی که در قسمت شمال غرب و جنوب شرق سکوی آهکی جاری هستند، گیاهان رشد زیادی دارند. رشد گیاهان در این قسمت‌ها، موجب سرعت بخشیدن به روند نهشته گذاری کربنات کلسیم در اطراف و بستر جوی‌ها شده است. گیاهان با عمل فتوسنتز و مصرف دی اکسید کربن، توانایی حلالیت آب را کاهش داده، در نتیجه، آب نمی‌تواند مواد محلول در خود را حمل کند. بنابراین، کربنات کلسیمی که در آب وجود دارد، ته نشین می‌شود.

در قسمت پرشیب جوی در قسمت جنوب غربی سکو که آب با سرعت بیشتری جریان دارد، شاخه‌های بوته‌ای داخل آب آویزان شده بود. بعد از گذشت چند ماه، املاح موجود در آب به دور این شاخه ته نشین شدند و این شاخه خشک شده، شکل زیبایی مانند گل مرداب به خود گرفت. ضخامت نهشته دور ساقه از اطراف به طور متوسط ۵ میلی متر بوده، قطر نهشته گل مردابی، به ۱۵ میلی متر می‌رسد. ساقه گیاه نیز به جذب بیشتر این نهشته‌ها کمک کرده است.

**۴-۳- روند رشد و تحول کانال‌های خود ساخته آهکی**

کانال‌های خود ساخته آهکی مانند دیگر پدیده‌های ژئومورفولوژی مراحل را در فرایند رشد و تحول خود سپری می‌کنند. وقتی آب چشمه‌های آهک ساز از دریچه خروجی به بیرون جاری می‌شود، در مسیر جریان آب بلورهای کلسیتی به صورت خطی ته نشست پیدا می‌کنند. به تناسب بزرگی چشمه، دبی آن و پیوستگی آبدی آنها در طول زمان، اندازه و حجم توده‌های

کربناته ته نشین شده نیز متفاوت خواهد بود. برای بررسی روند تکاملی کانال‌ها، ما می‌توانیم سه مرحله کودکی، بلوغ و پیری را بررسی نماییم.

**۴-۳-۱- مرحله کودکی کانال‌ها**

مرحله‌ای است که آب چشمه در مسیر جریان خود شروع به نهشته گذاری نموده، ولی هنوز نتوانسته است، کانال خود ساخته‌ای را به صورت کامل درست کند. مهمترین ویژگی مرحله کودکی کانال‌ها، کم حجم بودن نهشته‌های نواری شکل کلسیتی از لحاظ طول، پهنا و ارتفاع است. جوان بودن چشمه تامین کننده آب، آبدی کم و تغییر مسیر آب چشمه‌ها، از جمله عواملی است که موجب شده کانال‌ها ارتفاع و پهناي زیادی پیدا نکنند. عواملی که در مرحله کودکی این کانال‌ها شناسایی شده است، عبارتند از:

**الف) جوان بودن چشمه**

در مناطقی که از لحاظ زمین ساختی فعال بوده، در مسیر گسل‌های فعال قرار دارند، چشمه‌های جوان زیادی به وجود می‌آید که دارای دبی متفاوتی هستند. بعضی از آنها دبی پایین داشته و یا مدت آبدی آنها کوتاه بوده که بعد از مدتی خشک می‌شوند. بعضی از این چشمه‌ها، هر چند کم آب هستند، اما دارای املاح کربناته زیادی هستند که پس از رسیدن به سطح زمین، آنها را به صورت خطی در مسیر جریانشان ته نشین می‌کنند.

شکل (۳) نمونه‌ای از این چشمه‌ها را نشان می‌دهد که آب خروجی از آن شروع به کانال سازی نموده است. به علت اینکه آبدی این چشمه‌ها رابطه نزدیکی با بارش سالانه داشته و همچنین به علت کمبود بارش در چند

۲ تا ۱۰ سانتی متر ارتفاع داشته، پهنای آن‌ها در قسمت میانی به بیش از ۱۵ سانتی متر می‌رسد. طول نهشته نواری شکل، بیش از ۱۰۰ سانتی متر است. در صورت آبدهی دوباره چشمه و جریان آب در همان مسیر قبلی، کانال خودساخته، بزرگتر می‌شود. این کانال که در مقیاس کوچکی به وجود آمده، نمونه مینیاتوری گویا و زیبایی از تشکیل و تحول کانال‌های خود ساخته آهکی را نشان می‌دهد.

سال گذشته، آب این چشمه تقریباً خشک شده است، اما دهانه چشمه هنوز مقداری آب دارد، که این آب نمی‌تواند به خارج از دهانه چشمه جاری شود. در مسیر آب جاری شده از چشمه، کربنات کلسیم به صورت نواری ته نشست پیدا کرده است. به علت رشته‌ای و کم حجم بودن آب، کانال خود ساخته ایجاد شده نیز پهنای ارتفاع و طول کمی پیدا کرده است. این نهشته‌های نواری شکل که در جهت شیب دامنه آهکی گسترش یافته اند،



شکل ۳: نمونه کوچک و بسیار ظریفی از یک کانال خود ساخته آهکی که در مرحله کودکی قرار دارد. قسمت شرقی مجموعه تفریحی آب گرم، شرق روستای احمدآباد

مجرای خروجی چشمه آب سرد جنوب غرب زندان سلیمان مشاهده می‌کنیم.

### ج) تغییر مسیر آب جوی

یک چشمه هر چند که ممکن است آبدهی زیادی داشته و عناصر محلول در آن هم زیاد باشد، ولی در طول زمان ممکن است مسیر جریان خود را تغییر دهد. وقتی

### ب) آبدهی پایین

بعضی از چشمه‌های آهک ساز هم املاح کمتری داشته و هم آبدهی آنها کم است. این چشمه‌ها هر چند دهانه و دریاچه نسبتاً بزرگتری برای خود درست کرده اند، اما کانال‌های خود ساخته‌ای که از آب جاری آنها به وجود آمده، کوچک است. نمونه این نوع کانال را در



ساخته رشد یافته، ابعاد بزرگی پیدا می‌کند ( شکل ۴). کانال خود ساخته سنگ ازدها، نمونه مشخصی از یک کانال بزرگ و تکامل یافته است. بیشترین ارتفاع این کانال ۴/۳۰ متر، پهنای متوسط آن بیش از یک متر است که در قسمت بیرون زدگی‌ها به ۲/۷۰ متر نیز می‌رسد و طول آن ۲۸۱ متر است ( شکل ۶).

آبی که این کانال را به وجود آورده، دارای هدایت الکتریکی ۱۰۲۵ میکروموس بر سانتی متر بوده و  $ph$  آن ۷/۴۳ است. جدول ۱ عناصر محلول در جوی شمالی و جنوبی سکو را نشان می‌دهد. جریان و نهشته گذاری جوی جنوبی سکو، دیوار توفایی سنگ ازدها را به وجود آورده است.

آب جاری چشمه در مسیر تازه جاری می‌شود، نهشته گذاری و تشکیل کانال را دوباره از نو آغاز می‌کند. کانال خود ساخته ایجاد شده، در این صورت دارای ابعاد کوچکی بوده که در طول زمان، رشد و گسترش می‌یابد. این کانال‌ها نیز در مرحله کودکی قرار دارند. در مسیر جوی‌های شمالی و جنوبی سکوی آهکی تخت سلیمان که آب مدت زمان کمی در آنها جاری بوده و یا ممکن است تغییر مسیر داده باشد، کانال‌های خود ساخته‌ای تشکیل شده اند که در حال رشد هستند.

#### ۴-۳-۲- مرحله بلوغ کانال‌های خود ساخته

وقتی آب‌های جاری یک چشمه، دبی زیادی داشته و عناصر محلول در آن زیاد باشند و زمان جریان و تمرکز آب در آن مسیر پیوسته و طولانی باشد، کانال خود



شکل ۴: نمونه‌ای از یک کانال خودساخته بالغ و تکامل یافته، دیوار توفایی سنگ ازدها، جنوب شرق سکوی آهکی

جدول شماره ۱: عناصر شیمیایی دریاچه‌های خروجی شمالی و جنوبی دریاچه تخت سلیمان

| Element (mg/l) | north outflow | south outflow |
|----------------|---------------|---------------|
| $F^{-}$        | ۱.۸           | ۱.۷۹          |
| $CL^{-}$       | ۶             | ۴             |
| $so4^{2-}$     | ۵۶.۶          | ۵۵            |
| $Hco3^{-}$     | ۵۴۳           | ۵۳۵           |
| $PO4^{3-}$     | ۰.۴۱          | ۰.۴۶          |
| $Ca^{2+}$      | ۱۷۲           | ۱۷۴           |
| $Mg^{2+}$      | ۲۹            | ۲۴            |
| $Na^{+}$       | ۸.۹           | ۹             |
| $K^{+}$        | ۳.۵           | ۳.۶           |
| $Fe^{2+}$      | ۰             | ۰.۹۳          |

### ۳-۳-۴- مرحله پیری کانال‌های خود ساخته

کانال‌هایی که به خوبی رشد کرده، ارتفاع و پهنای زیادی پیدا می‌کنند، بعد از مدتی ممکن است دچار شکستگی، تخریب و فروریزی شوند. از این تخریب و فروریزی کانال‌ها، به عنوان مرحله پیری نام می‌بریم. کانال فروریخته کمانی شکل و قسمت انتهایی دیوار سنگ

ازدها، نمونه کاملاً مشخصی از این مرحله است. قسمت انتهایی سنگ ازدها که نزدیک به جاده اصلی منطقه است، بر اثر فعالیت گسل‌ها، تخریب جوی‌های آبی که برای آبیاری مزارع از آنها استفاده می‌شده و همچنین دستکاری‌های انسان دچار شکستگی و تخریب شده است (شکل ۵ الف).



ب



الف

شکل ۵: الف) قسمتی از دیوار آهکی سنگ ازدها که دچار شکستگی و فروریزی شده است، جنوب غرب سکو، نزدیک به جاده اصلی؛ ب) بخش فرو ریخته کانال سنگی کمانی شکل، جنوب شرق سکوی تراورتنی تخت سلیمان

نهشته گذاری در آنها شکل گرفته است و مرحله کودکی کانال‌ها را آغاز کرده اند.

#### ۴-۴-۱- نهشته‌های آهکی دیواری شکل

آبی که از دریچه‌های جنوبی دریاچه خارج شده، به سمت جنوب غربی جاری می‌شود. در مسیر جریان آب، نهشته‌های کربناته به شکل توده‌های دیواری شکل توفایی ته نشین شده اند. این توده‌های کربناته که به صورت طولی گسترده شده اند، به سنگ اژدها مشهور هستند (شکل ۶). دیوار توفایی سنگ اژدها دارای کناره‌های صاف و عمودی بوده که به شکل یکپارچه از سنگ آهک تشکیل شده‌اند. مواد محلول آب در کف و کناره‌های جوی ته نشین شده اند. هنگامی که آب افزایش پیدا می‌کرده، از بستر جوی سرریز می‌نموده و بر روی کناره‌های دیوار پخش می‌شده است. سرریز شدن آب باعث می‌شده که لایه بیرونی دیوار، حتی در قسمت‌های پایین، از نهشته‌های جوان پوشیده شود. این دیوار توفایی، سنگ یکپارچه‌ای را تشکیل داده که پوشش آهکی همه قسمت‌های آن را احاطه کرده است. غیر از چند قسمت که بیرون زدگی‌هایی از نهشته‌های آهکی، یکنواختی دیوار را به هم زده است، سطح بیرونی کناره‌های شمالی آن صاف و یکنواخت بوده، مانند دیوار یک دژ نظامی به نظر می‌رسد (شکل ۴ و ۶). بیرون زدگی‌هایی که در کناره‌های دیوار به وجود آمده است، به علت انحراف و خارج شدن آب از مسیر اصلی خود برای مدتی و یا نشت آب از سوراخ‌های کناری دیوار بوده است.

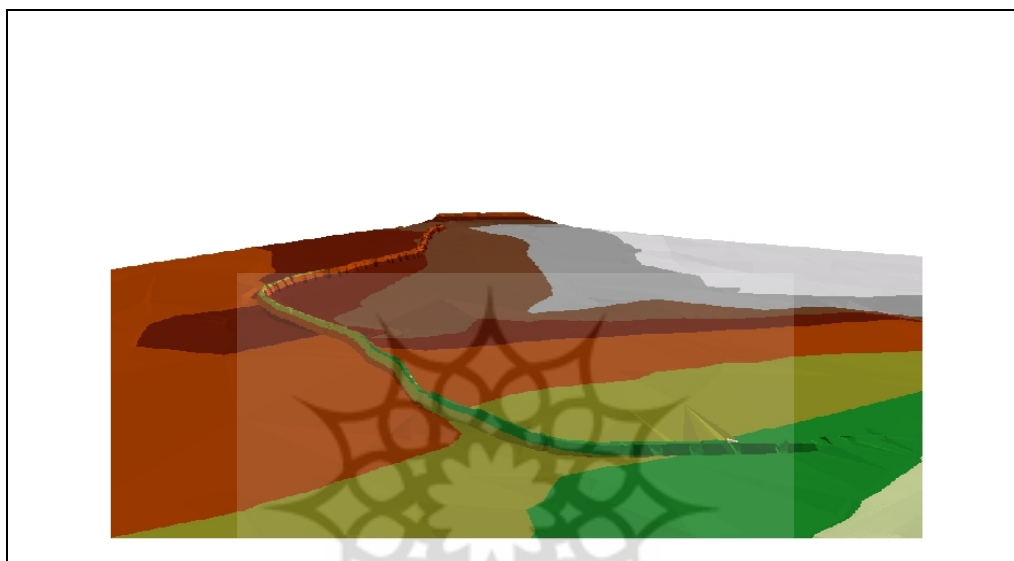
کانال توفایی فرو ریخته که در قسمت جنوب شرق سکو به شکل کمائی شکل، تشکیل شده است، دچار شکستگی و تخریب شده و به صورت توده‌های آهکی متلاشی شده به سمت پایین دامنه فروریختگی پیدا کرده است (شکل ۵ ب). دلایل فروریزی کانال کمائی شکل را می‌توان به دو مورد (الف) نقش احداث جاده دروازه جنوبی در سال‌های اخیر؛ ب) حرکات دامنه‌ای که به صورت خزش و لغزش‌های کوچک در دراز مدت روی داده اند، نسبت داد.

۴-۴-۲- نقش کانال‌های خود ساخته آهکی در مورفولوژی سکو و زمین‌های اطراف آن

کانال‌های خودساخته که به صورت نهشته‌های خطی و دیواری شکل بر روی پهنه‌های آهکی تشکیل شده اند، مورفولوژی خاصی را به وجود آورده اند. نمای این توده‌های نواری شکل در بعضی قسمت‌ها، مانند دایک‌های آشفشانی به نظر می‌رسند که لایه‌های رسوبی را قطع کرده باشند، اما برخلاف دایک‌ها که از درون زمین به سطح رویی نفوذ می‌کنند، این کانال‌ها در سطح خود زمین به وجود می‌آیند. در قسمت‌هایی که کانال در کنار دامنه‌ها تشکیل شده، از دور به صورت لایه‌ای آهکی به چشم می‌خورد که گسترش افقی دارد؛ در حالی که فقط به صورت نواری طولی در کنار دامنه به وجود آمده است. با توجه به نقش این کانال‌ها در شکل زایی ناهمواری‌های محدوده، آنها را به چهار دسته تقسیم می‌کنیم. در این دسته بندی، لازم است جریان‌های آشفته و فعال امروزی را نیز اضافه کنیم، که در حال حاضر نیز

افزایش ارتفاع دیوار در این قسمت، تنها مربوط به عوامل طبیعی نبوده، بلکه دست‌کاری انسان با بستر سازی در مسیر آب که برای انتقال آن صورت گرفته نیز مؤثر بوده است.

با توجه به ترانشه‌ای که در بلند ترین قسمت دیوار توفایی سنگ اژدها زده شد، نمونه‌هایی از سنگ چین‌های قدیمی در بین نهشته‌ها به دست آمده که بیان‌کننده همزمانی نهشته گذاری با ساخت و سازهای انسانی است. نتایج حاصل از حفر این ترانشه مشخص نمود که



شکل ۶: نقشه سه بعدی دیوار توفایی سنگ اژدها، جهت دید به سمت جنوب غرب است

کشیدگی به پیکره اصلی کمان متصل شده و به موازات مسیر ورودی دروازه جنوبی محوطه گسترش یافته است. این بخش از کانال سنگی، با پیچ و خم‌هایی به کناره‌های آهکی دریاچه می‌پیوندد. بخش‌های زیادی از این کانال سنگی که قسمت جنوبی کمان را در بر می‌گیرد، دچار شکستگی شده و به سمت دامنه‌های کم ارتفاع شرقی خود فروریخته اند. این فروریختگی موجب شده که کانال سنگی از دور به صورت یک لایه آهکی به نظر برسد. در بخش‌های کوژ کمان سنگی، کانال‌ها در چند مسیر موازی امتداد داشته که در قسمتی دچار شکستگی و فروریزی شده و در قسمت‌هایی نیز به هم چسبیده و یک پهنه آهکی را به وجود آورده اند.

#### ۴-۲-۴- کانال سنگ شده فروریخته

در جنوب شرق سکوی آهکی تخت سلیمان، یک کانال سنگ شده توفایی وجود دارد که به علت عوامل فرسایشی، زمین ساختی و حرکات دامنه‌ای دچار شکستگی و فروریزی شده است. این کانال سنگ شده فروریخته<sup>۱</sup>، آب‌های جاری را از دریاچه جنوبی دریاچه به زمین‌های زراعی قسمت‌هایی از جنوب سکو منتقل می‌کرده است. نمای یک پارچه کانال به شکل کمانی است که بخش کوژ آن رو به شمال شرقی منطقه است (شکل ۷ الف). بخشی از کانال سنگی به شکل یک

<sup>1</sup> - collaps petrified channel

مورب است. ارتفاع دیوار خودساخته کمانی شکل بیش از ۱ متر و پهنای آن نیز بیش از ۱ متر است. قطر داخلی شیار روی دیوار ۴۰ سانتی متر، قطر خارجی شیار ۷۰ سانتی متر، ارتفاع شیار ۳۰ سانتی متر است.



ب

در سطح رویی این دیوارها، شیارهایی وجود دارد که بستر جریان آب بوده، کناره‌ها و بستر آنها از نهشته‌های سنگ شده کربناته تشکیل شده است. دیواره‌های این شیارها حالت کاملاً عمودی دارند (شکل ۷ ب)، در حالی که دیواره‌های شیار رویی سنگ ازدها به شکل



الف

شکل ۷: الف) نمایی از کانال خود ساخته کمانی شکل؛ ب) شیار رویی کانال فروریخته کمانی شکل که آب غنی از کربنات در آن جاری بوده است. جنوب شرق سکوی آهکی تخت سلیمان

کانال‌های روی سکو که بیرون از بناها تشکیل شده اند، پهنای بیشتری نسبت به ارتفاع دارند.

#### ۴-۴-۴- کانال‌های خود ساخته بیرون از سکو

علاوه بر دیوار توفایی سنگ ازدها و کانال توفایی کمانی شکل که مورفولوژی پیوسته و مشخصی را در سطح زمین‌های بیرون از سکو ایجاد کرده اند، کانال‌های خودساخته زیادی وجود دارند که به صورت پراکنده و مجزا از هم در این محدوده جای گرفته اند. این کانال‌ها نیز غالباً نسبت به دریاچه روی سکو حالت شعاعی داشته، در مواردی کناره‌های آنها با خاک پوشیده شده اند. مورفولوژی بعضی از این کانال‌ها نیز مانند دایک‌های

#### ۴-۴-۳- کانال‌های خود ساخته روی سکو و بین بناها

کانال‌های خود ساخته زیادی در روی سکو و بین بناهای باستانی تشکیل شده است که همگی بر اثر جریان آب جاری شده از دریاچه به وجود آمده اند. بیشتر این کانال‌ها نسبت به دریاچه، حالت شعاعی دارند. بعضی از آنها در بین بناها و یا زیر بناها قرار گرفته اند، مانند کانال‌های معبد آناهیتا. قرار گیری کانال‌ها در زیر بناها گویای این مسأله است که آنها قبل از احداث ساختمان‌ها جریان داشته، سپس به دلایلی خشک شده و روی آنها ساخت و ساز انجام شده است. بعضی از آنها نیز در بیرون از بناها قرار گرفته که سطح روی سکو را به شکل دیوارهای فروریخته و کم ارتفاعی اشغال کرده اند.

کدام از این مراحل دارد. در مرحله کودکی، نهشته خطی کوچک و ظریفی در مسیر جریان آب جاری از چشمه به وجود می‌آید. کانال‌ها در مرحله بلوغ، به بیشترین ارتفاع و پهنای خود می‌رسند. دیوار توفایی سنگ ازدها، نمونه کاملاً مشخصی از یک کانال خود ساخته بالغ است. در مرحله پیری به علت عوامل فرسایشی، زمین ساختی و همچنین دست کاری‌های انسان کانال‌ها دچار تخریب و شکستگی می‌گردند.

از لحاظ مورفولوژی در سطح سکو و زمین‌های اطراف آن، چهار نمونه از کانال‌های خود ساخته آهکی شناسایی شده اند که عبارتند از: نهشته‌های آهکی دیوار مانند، کانال‌های سنگ شده فروریخته، کانال‌های خود ساخته روی سکو و داخل بناها و کانال‌های خودساخته بیرون از سکو. رابطه نزدیکی بین تداوم جریان آب، شیب زمین، دستکاری‌های انسان با مورفولوژی این کانال‌ها وجود دارد. در حال حاضر نیز فرایند کانال سازی در روی سکو و زمین‌های اطراف آن به صورت کند، بسیار آرام و نامریی انجام می‌گردد.

وجود کانال‌های سنگی توفایی، رابطه نزدیکی با فعالیت‌های زمین ساختی داشته، نشان دهنده فعالیت‌های نو زمین ساختی<sup>۱</sup> است. این پدیده‌های ته نشستی، بیشتر در مسیر گسل‌های فعال تشکیل می‌شود. چشمه‌های آهک سازی که آب لازم را برای تشکیل این پدیده‌ها فراهم می‌سازند، در نتیجه، فعالیت‌های زمین ساخت و در مسیر گسل‌های ناشی از آنها به وجود می‌آیند. بنابراین، وجود کانال سنگی خود ساخته که جوان بوده، سن

آتشفشانی به نظر می‌رسد که از زیر زمین در بین لایه‌های رسوبی نفوذ کرده اند. تعدادی از این کانال‌ها، دچار شکستگی و فروریزی شده و تعدادی نیز از محل تشکیل خود کنده شده و به قسمت‌های پایین دست جابه‌جا شده اند.

## ۵- بحث و نتیجه گیری

چشمه‌های آهک ساز منطقه تخت سلیمان، توانایی نهشته گذاری بالایی داشته و از دوره پلیوسن به بعد توانسته اند، نهشته‌های کربناته را به شکل کانال‌های خود ساخته آهکی در روی سکو و زمین‌های اطراف آن به وجود بیاورند. این نهشته‌های کربناته از نوع کلسیت  $CaCO_3$  بوده که در سیستم رومبوندرال متبلور شده اند. با توجه به روزن داری و سست بودن نهشته‌های تشکیل دهنده این کانال‌ها و همچنین سرد بودن آب‌هایی که آنها را ایجاد کرده‌اند، می‌توان گفت که از نوع توفاهستند.

آب جاری شده از چشمه‌های کف دریاچه‌ی روی سکو که عناصر معدنی زیادی دارد، عامل اصلی تشکیل دهنده کانال‌های خود ساخته آهکی است. خروج  $CO_2$  از آب توانایی آن را برای حمل عناصر محلول کاهش داده است و این عناصر به شکل نهشته‌های کربناته در سطح زمین ته نشست شده‌اند. افزایش دما، آشفستگی آب، کاهش فشار  $CO_2$  و فتوسنتز گیاهی، از عوامل اصلی خروج دی اکسید کربن از آب و نهشته گذاری عناصر کربناته بوده است.

این کانال‌ها سه مرحله کودکی، بلوغ و پیری را سپری کرده اند. رابطه نزدیکی بین میزان آب‌دهی چشمه‌ها، جوان بودن و تغییر مسیر آب‌های جاری از آنها با هر

<sup>1</sup> - neotectonician

۷. عارف، سعید، (۱۳۷۲)، مطالعات شناسایی منابع آبگرم منطقه تخت سلیمان، گزارش سازمان آب منطقه-ای آذربایجان غربی.

۸. قدری، محمدرضا، (۱۳۸۲)، پژوهش‌های ژئومورفولوژی منطقه تخت سلیمان با تأکید بر ویژگی سنگ‌های آهکی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه تبریز.

۹. لوتار و همکاران، (۱۹۶۱)، دریاچه تخت سلیمان، فون دراوستن، هانس هنینگ و ناومان، ردولف، تخت سلیمان، ترجمه فرامرز نجد سمیعی، ۱۳۷۳، چاپ اول، انتشارات سازمان میراث فرهنگی کشور، صفحه ۵۶ تا ۵۳.

10. Alavi Naini, M, ( 1982), Geology of Tekab – Saein Qaleh 1:250000, geological survey of iran.
11. Ford , Derek & Williams , Paul, (1989), karst geomorphology and hydrology. london , unwin human. Ltd First Publish.
13. Goudie, Andrew.S,( 2004), Encyclopedia of geomorphology. International Association Of Geomorphology. first published. Routledge.
14. Hancock, P.L, Chalmer, R. M. L, Altunel, E, Cakir, Z, (1999), Travertines: using travertines in active fault studes. Jornal of structural geology. vol 21 : 903 – 916.
15. Kovanda, J., 1964. Quaternary freshwater limestones of Czechoslovakia – raw material for agriculture, industry, and export. Geol. Pruzk.11, 323– 324.
16. Lozek, V, (1963), "penovec" – a new Gzech term for loose and partly consolited calcareous tufa Cesky kras 14, 113 – ( in Czech ).
17. Pentecost, Allan, (2005), travertine. Springer. First publish.
18. Bean, G. E, (1971), Turkey beyond the meander. Ernest Bean, London.

کمی دارند، بیانگر فعال بودن فرایندهای زمین ساختی جدید در منطقه است.

با توجه به اینکه کانال‌های سنگ شده بیشتر از جنس کلسیت بوده، نسبت به سنگ‌های دیگر مقاومت کمتری در برابر فرسایش دارند، بنابراین نمی‌توانند عمری زیادی داشته باشند. برونزدهای کانال‌های آهکی که در سطح زمین مشاهده هستند، جوان و قابل سن گذاری می‌باشند. با سن گذاری این برونزدهای آهکی، می‌توان عمر بناهای تاریخی و دوره‌های همزمان با آنها را مشخص نمود.

## منابع

۱. باباخانی، علیرضا، امینی چهرق، محمدرضا، (۱۳۷۰)، چشمه‌های تراورتن ساز تکاب، نشریه علوم زمین، زمستان ۱۳۷۰، شماره ۲، صفحه ۵۰ – ۵۹.
۲. پتی جان، اف. جی، (۱۳۹۶)، سنگ‌های رسوبی، شیمیایی و بیوشیمیایی، ترجمه محمد حسین آدابی، انتشارات آستان قدس رضوی مشهد، چاپ دوم.
۳. جنیدی، محمدجواد، (۱۳۴۸)، چشمه‌های معدنی ایران، جلد اول، انتشارات دانشگاه تبریز، چاپ اول.
۴. رحیم‌پور بناب، حسن، (۱۳۸۴)، سنگ شناسی کربناته، ارتباط دیاژنز و تکامل تخلخل، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ اول.
۵. سازمان زمین شناسی کشور، (۱۳۸۰)، نقشه زمین شناسی تخت سلیمان، مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰.
۶. طیبی، علی و توفیق‌یان، حسین، (۱۳۸۱)، بررسی و شناسایی باستان شناسی دریاچه تخت سلیمان، پژوهشکده باستان شناسی سازمان میراث فرهنگی.

Karst, Czech Republic. Quaternary international 91 (2002), 137 – 152.

21. Zumdal, Steven, S, (1993), Chemistry, Third Edition, D. C. Heath and Company, PP; 220

19. –Selby,M.J, (1985), Earth changing surface an introduction to geomorphology. Clarnbon press oxford.

20. Zak, k. Lozek, V. Kadlec, J. Hladikova, J. Cilek, V, (2002), Climate – induced changes in Holocene calcareous tufa formations, Bohemian

