

بررسی ژئومورفولوژی چین‌های فعال محدوده شمال شهر یزد

دکتر محمد آریامنش - استادیار گروه زمین‌شناسی دانشگاه پیام نور تهران^۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۲/۲۶ تاریخ تصویب: ۱۳۹۳/۸/۳

چکیده

مطالعه مخاطرات طبیعی یکی از مهم‌ترین اصول اولیه برای توسعه شهرهای درحال توسعه و گسترش تأسیسات زیربنایی است. ارزیابی فعالیت‌های ژئودینامیکی با استفاده از داده‌های ریخت‌شناسی یکی از روش‌های مهم و کاربردی در این راستا تلقی می‌شوند. در این مقاله سعی شده با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور، مطالعات صحرائی نسبت به شناسایی چین‌های فعال در شهرستان یزد اقدام و برای اولین بار چین‌های فعال منطقه شناسایی شوند. بررسی‌ها نشان می‌دهد در محدوده شرق تا شمال‌شرق این شهر باستانی تعداد حداقل ۵ چین فعال وجود دارد که به‌عنوان مخاطرات جدی برای منطقه محسوب می‌شوند. مقایسه موقعیت این چین‌ها با فعالیت‌های لرزه، حاکی از انطباق برخی کانون‌های زمین‌لرزه‌ای در این منطقه است. بدیهی است عبور هرگونه تأسیسات و شریان‌های حیاتی از جمله راه‌های مواصلاتی، خطوط گاز، آب و یا سایر زیرساخت‌های شهری در این منطقه نیازمند تمهیدات ویژه می‌باشد.

کلید واژه‌ها: چین فعال، ریخت زمین‌ساخت، مخاطرات زمینی، ژئومورفولوژی، یزد.

۱. مقدمه

مطالعه و بررسی وضعیت زمین‌ساخت فعال، نیازمند ارزیابی درازمدت شاخص‌های ریخت‌شناسی یک منطقه است. اساساً آهنگ فرآیندهای ریخت‌شناسی نظیر شکل‌گیری دشت‌های آبرفتی یا بسترسایبی، یکی از مهم‌ترین این شاخص‌ها می‌باشد. به‌طورکلی ارزیابی ناحیه‌ای شاخص‌های ریخت‌شناسی و شکل‌های زمین، به‌منظور شناسایی فعالیت نسبی زمین‌ساختی در هر منطقه‌ای، مفید است (آریامنش، ۲۰۰۷: ۳). مطالعه پاسخ این فرآیندها، مستلزم بررسی عوارض ناشی از وجود گسل‌ها مانند رودخانه‌های جابه‌جاشده، مخروط‌افکنه‌ها، تراس‌های رودخانه‌ای و پرتگاه‌های گسلی در طول زمان می‌باشد. امروزه ارزیابی‌های ریخت‌زمین‌شناسی یکی از مهم‌ترین مطالعات زیرساختی به‌منظور مدیریت بهینه مخاطرات طبیعی مرتبط با زمین‌ساخت فعال در هر منطقه محسوب می‌شوند. شهر یزد از جمله مناطقی است که زمینه‌های اقتصادی، ویژگی‌های توریستی و تاریخی

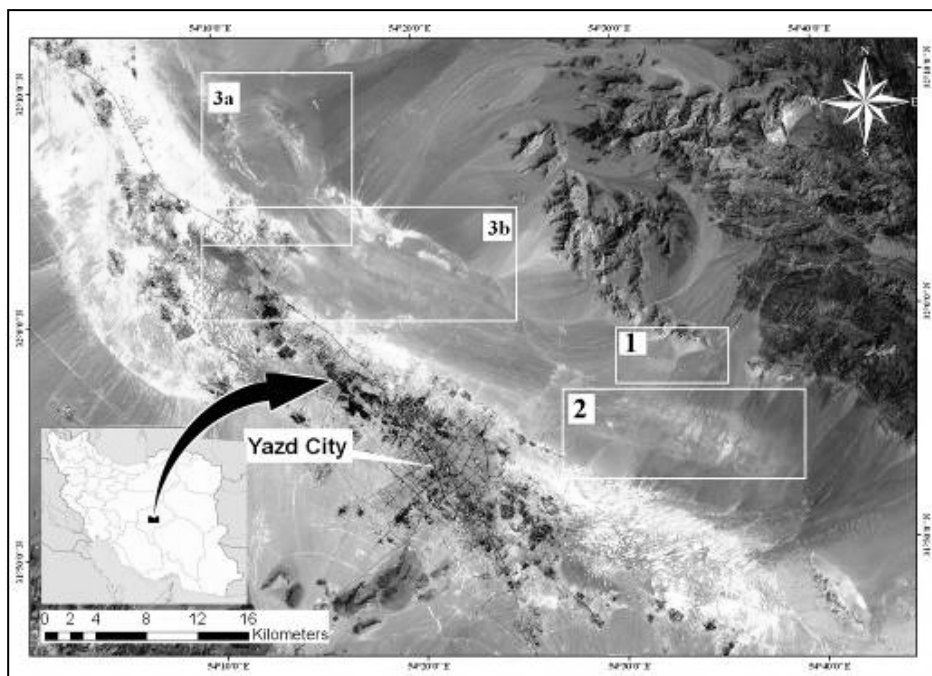
آن توسعه فیزیکی شهرک‌های صنعتی، تفریحی، مسکونی این ناحیه را ایجاب می‌نماید. از طرفی ویژگی‌های طبیعی محدوده شهری یزد می‌تواند در روند این توسعه تأثیرگذار باشد. مطالعه عوارض زمین‌ریخت‌شناسی و تحولات آن‌ها در طول زمان، یکی از روش‌های مدرن برای بررسی وضعیت زمین‌ساخت فعال محسوب می‌شود و شناسایی آن‌ها نیازمند ابزارهای مختلفی می‌باشد. از آنجایی که تغییرات ریخت‌زمین‌ساختی در مقیاس‌های بزرگ صورت می‌گیرد، عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای می‌توانند به‌منظور پایش این‌گونه ساختارهای پویا، بسیار مفید و کارا تلقی شوند. پژوهشگران متعددی تاکنون به بررسی وضعیت ژئومورفولوژی ایران پرداخته‌اند، ولی بررسی‌های به‌عمل‌آمده نشان می‌دهد که تاکنون در رابطه با وضعیت چین‌های فعال محدوده یزد مطالب زیادی منتشر نشده است (آریامنش ۱۳۹۰: ۲). از جمله حریریان در سال ۱۳۶۹ کلیات ژئومورفولوژی ایران را به‌صورت اجمالی منتشر نمود. عیوضی در سال ۱۳۷۴ ژئومورفولوژی ایران را به‌صورت اجمالی بیان کرد. مهرشاهی و مهرنهاد در سال ۱۳۸۵ مقاله‌ای را پیرامون اشکال ریخت‌زمین‌ساختی در شمال یزد منتشر نمودند. نوجوان و هاشمی نیز در سال ۱۳۹۲ به بیان تأثیر وضعیت ریخت‌زمین‌شناسی در توسعه یزد پرداختند. امروزه شاخص‌های ریخت‌زمین‌ساختی کاربرد زیادی در ارزیابی‌های لرزه‌زمین‌ساختی دارند، ولی علی‌رغم اینکه پژوهشگران دیگری نیز موضوع ریخت‌زمین‌شناسی استان را بررسی نموده‌اند، کمتر به ارتباط این پدیده‌ها با زمین‌ساخت و به‌ویژه لرزه‌زمین‌ساخت پرداخته‌اند. ادوارد کلد در سال ۲۰۰۳ رابطه بین چین‌های فعال و زمین‌لرزه‌ها را به‌صورت مبسوط منتشر نمود. ادرین شایدگر^۱ در سال ۲۰۰۴ اهمیت بررسی‌های ریخت‌زمین‌شناسی را با رویکرد مدیریت مخاطرات طبیعی و ارتباط آن را با لرزه‌زمین‌ساخت به‌صورت کمی عنوان نمود. در این پژوهش سعی شده تا ضمن بررسی وضعیت چین‌های فعال به‌عنوان یکی از عوارض ریخت‌زمین‌شناسی، نتایج کاربردی را از مطالعه این‌گونه عوامل تأثیرگذار بر مدیریت مخاطرات طبیعی مرتبط با توسعه فیزیکی شهر یزد را ارائه نماید.

۲. منطقه مورد مطالعه

یزد شهری در کویر مرکزی در فاصله ۶۶۷ کیلومتری از تهران واقع شده است. مختصات جغرافیایی گستره شهر یزد در $56^{\circ}19'56''$ تا $54^{\circ}23'36''$ طول خاوری از نصف‌النهار گرینویچ و $31^{\circ}52'18''$ تا $31^{\circ}55'21''$ عرض شمالی از خط استوا قرار گرفته است. این محدوده بر اساس مختصات UTM در فاصله بین ۸۱۵۱۸۷ تا ۸۲۱۰۰۹ متر خاوری و ۳۵۳۰۵۷۵ تا ۳۵۳۳۸۰۰ متر شمالی منطبق می‌باشد. در این مطالعه محدوده شمال شهر یزد مورد بررسی قرار گرفته است (شکل ۱). شهر یزد بر روی رسوبات کواترنری گسترده شده و عوارض ساختاری نوزمین‌ساختی متعددی

1 Adrian E. Scheidegger

از جمله گسل‌های و چین‌های فعال و گنبد‌های نمکی متعددی آن را احاطه نموده که هر کدام دارای اهمیت ویژه‌ای می‌باشند.



شکل ۱ محدوده مورد مطالعه

دشت یزد- اردکان که شهر یزد در آن استقرار دارد در اوایل کواترنر، عمیق‌تر از زمان فعلی بوده و کوهستان‌های اطراف نیز مرتفع‌تر بوده‌اند. در طول این دوره عوامل فرسایش در جهت کم کردن اختلاف ارتفاع و فرسایش ارتفاعات و تجمع مواد آن‌ها در گستره دشت فعال بوده‌اند. این فعالیت‌ها ادامه یافته تا اینکه موقعیت کنونی شهر یزد از صورت چاله‌ای عمیق به شکل فعلی درآمده است (آریامنش ۱۳۹۰: ۲). حرکات فشاری و همگرا موجب چین‌خوردگی و گسلش معکوس در ناحیه مورد مطالعه شده و همین عامل باعث فعالیت گسل‌های بهاباد، انار، چاپدونی و دهشیر و یزد شده است. فعالیت این گسل‌ها جابه‌جایی نهشته‌های کواترنر و لرزه‌های متعددی در منطقه شده و فراوانی آثار حرکات کواترنری، گویای ادامه این جنبش‌ها در منطقه است. در غرب ناحیه مورد مطالعه، مجموعه گسل‌های راست‌لغز (گسل‌های مرز غربی، جنوبی و جنوب غربی صفحه ایران مرکزی) مانند دهشیر، زفره، آوج، کوشک نصرت و جنوب فین وجود دارند که مجموعه آن‌ها را می‌توان به‌عنوان شکاف‌های کششی پرمانند و بسیار طویل در منطقه برشی راستگرد آوج- عقدا در نظر گرفت (داوودزاده^۱، ۱۹۸۳: ۱۲۳). گسل‌های دیگری نیز در این منطقه وجود دارند که تاکنون معرفی نشده‌اند، به‌عنوان مثال وجود گسل‌های لرزه‌زا که به دلیل وجود چین‌های

فعال در شمال شهر یزد توسعه یافته‌اند (آریامنش ۱۳۹۰: ۴). در این پژوهش اهمیت چین‌های فعال موردنظر از نظر لرزه‌زایی نیز موردتوجه قرار گرفته‌اند.

۳. مواد و روش‌ها

پدیده‌های نوزمین‌ساختی را می‌توان با کمک بررسی شواهد موجود روی تصاویر ماهواره‌ای، شناسایی نمود. در این پژوهش به‌منظور شناسایی چین‌های فعال و جوان ابتدا تصاویر ماهواره‌ای مورد نیاز بر اساس داده‌های ماهواره‌ای لندست ETM⁺ در فضای نرم‌افزاری Erdas 8.5 پردازش و تصاویر مورد نیاز تهیه شد. نقشه‌های موردنظر از جمله ژئومورفولوژی و زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه مجدداً تهیه و در یک سامانه اطلاعات جغرافیایی با استفاده از نرم‌افزار ARCGIS ذخیره شدند. علاوه بر استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست با توجه به بزرگ‌نمایی به‌مراتب بیشتر تصاویر Google Earth، در کنترل نهایی و بررسی عوارض بزرگ‌مقیاس، از این داده‌ها نیز بهره‌برداری شدند. شواهد ریخت‌زمین‌شناسی از جمله بالآمدگی‌ها، مخروط‌افکنه‌های جوان، انحراف آبراهه‌ها، سطوح مثلثی شکل از طریق تصاویر ماهواره‌ای بر اساس شواهد ریخت‌شناسی مشروحه ذیل ردیابی شده و با استفاده از برداشت‌های صحرائی مورد کنترل مجدد قرار گرفتند.

۳.۱. شواهد ارتفاعی چین‌های پنهان

طاق‌دیس‌های پنهان می‌توانند پوشش آبرفتی را تحت تأثیر قرار دهند و تغییرات ارتفاعی آرامی را به وجود آورند. این عوارض می‌توانند حاصل فشردگی رسوبات آبرفتی بر روی ساختارهای قدیمی یا حاصل فعالیت‌های تکتونیکی باشند (جولی^۱، ۲۰۰۷: ۳۲۷).

الف) ناهنجاری‌های رنگی نشان‌دهنده چین‌ها

تغییر در تن و رنگ، به شکل دایره‌ای یا بیضی می‌باشد و ممکن است به علت حضور مواد قدیمی در هسته یک طاقدیس به وجود آمده باشد که در اثر فرسایش رخنمون یافته‌اند. چنین تغییراتی می‌تواند به دلیل تغییر در نوع خاک، شیمی خاک و تغییر پوشش گیاهی نیز ایجاد شده باشد (لی^۲، ۲۰۱۱: ۷۱۶).

ب) تشخیص چین‌های پنهان با استفاده از ناهنجاری‌های گیاهی

برآمدگی‌های موجود در طبیعت، اغلب با تغییر در تراکم گیاهان همراه است. این موضوع به‌راحتی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای قابل‌ردیابی است.

ج) چین خوردگی زیر ماسه‌های بادی

در برخی مناطق، ماسه‌های بادی، روی برآمدگی‌ها را پوشانده است. در این نواحی، باد می‌تواند پوشش ماسه‌ای روی برآمدگی‌های ارتفاعی را جاروب کند و باعث نمایان شدن آن‌ها شود. در واقع برآمدگی، به‌صورت یک بادشکن

1 Jolley

2 Lay

عمل کرده، سرعت باد را کم می‌کند و باعث تلاطم و وارد آمدن نیرو به ماسه‌ها و در نهایت سقوط آن‌ها در حواشی برآمدگی می‌گردد (مونالیزا^۱، ۲۰۰۹: ۱۷۸).

د) الگوهای زهکشی در چین‌های پنهان

الگوی آبراهه‌ها می‌تواند نشان‌گر مهمی برای ساختارهای پنهان در سطح دشت‌های آبرفتی محسوب شود. یک تغییر جزئی در شیب ناحیه‌ای در نتیجه فعالیت مجدد ساختارها (مانند گسل و یا چین)، می‌تواند روی مسیر آبراهه‌ها اثر بگذارد. برخی از پیش‌نشانگرهای چین‌ها به صورت زیر بیان می‌گردند:

- نسبت پهنای کانال به عمق بریدگی: نسبت پهنای به عمق کانال یک مسیل، در صورتی افزایش می‌یابد که شیب ناحیه‌ای بخش بالارود قله یک چین در حال برخاستگی، کاهش یابد. با کاهش شیب، ممکن است استخرهای آبرفتی^۲ در کانال‌های عریض‌تر بالارود، ایجاد شود.

- مانندهای فشرده^۳: رودها ممکن است فشردگی مانندها را در برخی از نقاط نشان دهند. منظور از فشردگی مانندها، کوتاه‌شدگی پیش‌رونده طول موج و افزایش دامنه موج است. این پدیده در جایی رخ می‌دهد که شیب بالارود یک چین کاهش یافته باشد.

- بافت زهکشی: وجود انواع سنگ‌ها در یک منطقه می‌تواند بر روی سیستم زهکشی منطقه، اثر داشته باشد.
- زهکشی شعاعی: در برآمدگی‌های ارتفاعی، سیستم‌های زهکشی تمایل دارند که از قله با الگوی کم و بیش شعاعی جریان داشته باشند. اگر الگوی آبراهه‌ها به صورت ۳۶۰ درجه و به سمت خارج یک ساختار جریان داشته باشد، احتمالاً نشان‌دهنده ساختارهای گنبدی هستند. همچنین جریان آبراهه‌ها با الگوی شعاعی و یا متحدالمرکز به سمت داخل یک ساختار، ممکن است نشان‌گر یک ناودیس باشد.

- انحراف دوگانه رودخانه: انحراف دو رودخانه در دو جهت متفاوت عموماً شاهدی بر حضور برآمدگی ارتفاعی و یا ساختاری پنهان است. این رودخانه‌ها معمولاً در پایین‌دست به یکدیگر می‌پیوندند.

- انحراف رودخانه‌های موازی: انحراف دو یا چند رودخانه موازی در جهتی مشابه می‌تواند نشانه‌ای از حضور یک طاق‌دیس میل‌دار باشد. در این صورت رودخانه‌ها در اطراف ساختار، قوس برمی‌دارند و همان‌طور که فرسایش پیشرفت می‌کند، آن‌ها نیز به‌طور فزاینده‌ای مسیر خود را می‌برند (مورنر^۴، ۱۹۹۰).

۴. بحث و نتایج

چین‌ها ساختارهای موجی شکلی هستند که در نتیجه دگر ریختی لایه‌ها و دیگر سطوح صفحه‌ای در سنگ‌ها، به وجود می‌آیند. چین‌ها از مقیاس میکروسکوپی تا ماکروسکوپی با چندین کیلومتر طول در طبیعت مشاهده می‌شوند

1 Monalisa

2 Alluvial Ponds

3 Compressed Meanders

4 Morner

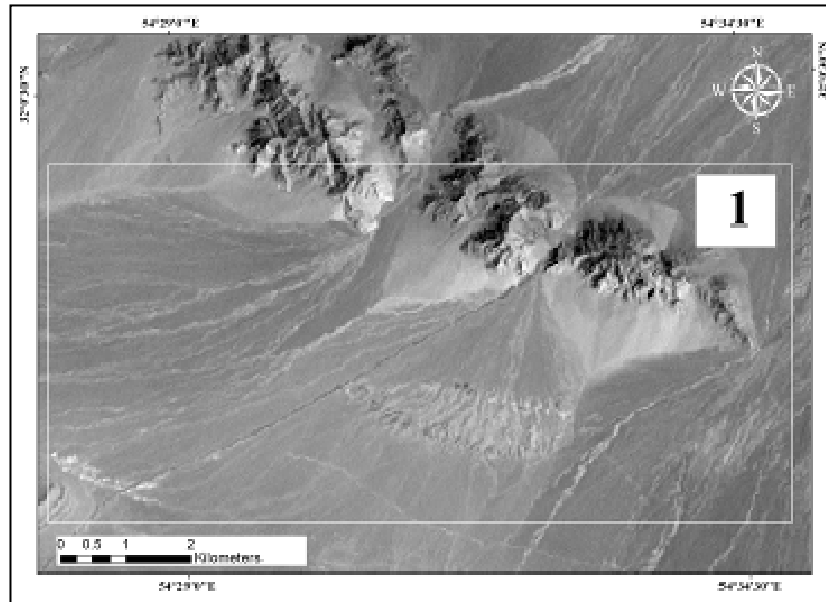
(معماریان، ۱۳۸۷: ۴۱۷). از نظر ریخت‌شناسی، چین‌ها اشکال متفاوتی دارند که از آن جمله می‌توان به طاق‌دیس‌ها، گنبد‌ها، تغییر شکل در لایه‌ها، چین‌های میل‌دار و چین‌های با هندسه نامتقارن اشاره نمود (داوودزاده، ۱۹۸۴: ۱۴۵). اساساً چین‌خوردگی به‌عنوان یکی از مظاهر بارز تغییر شکل پوسته زمین مطرح می‌باشد. این پدیده، بستگی شدیدی بانظم درونی زمین، در راستای رسیدن به تعادل پایدار، دارد. همچنین، ارتباط تنگاتنگ با گسلش و شکستگی‌های سطحی دارند و در بسیاری موارد چین‌خوردگی‌ها، منشأ شکستگی‌های سطحی می‌باشند. یکی از ابزارهای کلیدی برای شناخت این پدیده‌های پویا، استفاده از تغییر شکل‌های جوان ریخت‌شناسی زمین می‌باشد. این تغییرات را به‌وضوح می‌توان در تراست‌های آبرفتی، انحراف رودخانه‌ها و یا بالآمدگی‌های زمین در هر منطقه جستجو نمود. گاهی چین‌خوردگی‌های یک منطقه، گسل‌هایی را ایجاد می‌کنند؛ سپس به دلیل فعالیت مداوم و تدریجی آن‌ها، برخی از گسل‌های ایجاد شده، در زیر خاک پنهان شوند (فروند، ۱۹۶۸: ۲۵۴). یکی از دلایل این موضوع آن است که پس از مدتی به دلیل تغییرات و یا فرایندهای اقلیمی، اثر چین ساختارهایی، از سطح زمین محو می‌شود. ولی پیام مهم این فرایندها، بروز بحران‌هایی از جمله زلزله، گسلش و زمین‌لغزش می‌باشد که هرکدام می‌توانند به تأسیسات و شریان‌های حیاتی یک منطقه و یا یک شهر، آسیب‌های جدی برسانند. در این پژوهش سعی شد ضمن بررسی‌های صحرائی، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و همچنین مدل رقومی ارتفاع با قدرت برجستگی مناسب، به شناسایی چین‌خوردگی‌های منطقه پرداخته شود. چین‌های منطقه مورد مطالعه به‌طور کلی شمال تا شمال باختر شهرستان یزد را پوشش داده‌اند. شکل (۱)، موقعیت چین‌های فعال شهرستان یزد را نشان می‌دهد. شواهد ریخت‌شناسی منطقه، فعالیت این چین‌ها را در کواترنری، تأیید می‌نماید. از طرفی حل کانونی زمین‌لرزه‌های رخ داده در شمال یزد، حاکی از حاکمیت یک رژیم فشاری با مؤلفه راستا لغز راستگرد را دارد. این موضوع نشان می‌دهد که با توجه به وضعیت لرزه زمین‌ساختی چین‌های فعال موردنظر، زمین‌لرزه‌ها، تهدید جدی برای شهر تاریخی یزد خواهند بود.

۴. ۱. معرفی چین‌های مطالعه شده

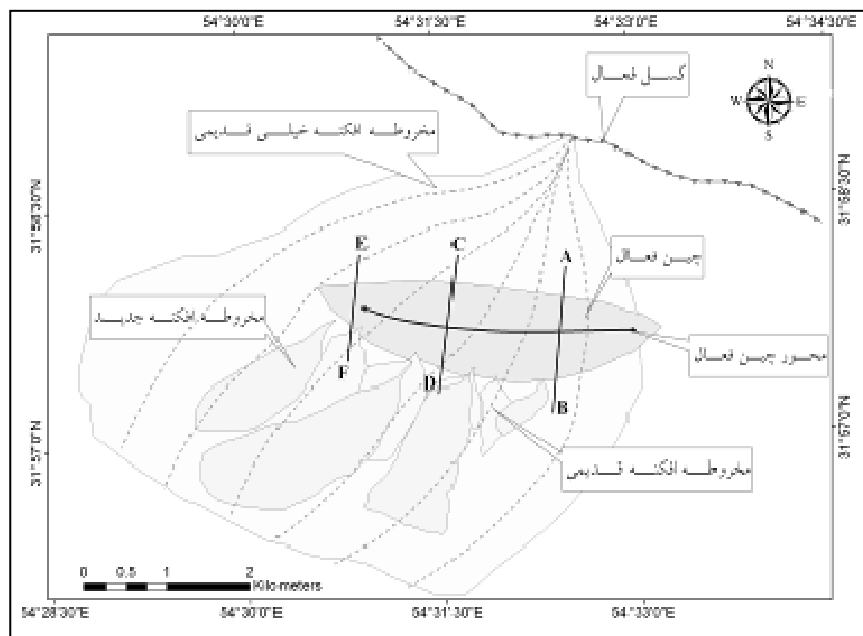
الف) چین شماره ۱

این طاق‌دیس که در فاصله ۱۴ کیلومتری شمال خاور یزد قرار دارد، توانسته است رسوبات مخروط افکنه جوان ناشی از گسل فعال کوه‌های بالادست خود را به‌اندازه ۹ متر در راستای قائم و ۲/۵ متر در راستای N48W، با مؤلفه راستگرد، جابه‌جا نماید. طول چین‌خوردگی حدود ۵ کیلومتر و عرض آن در بخش‌های میانی حدود ۵۰۰ متر برآورد می‌شود (شکل ۲). این طاق‌دیس از نوع پلانچ دوسویه بوده و به‌عنوان یک آبگیر تکنونیک محسوب می‌شود که منجر به جابه‌جایی آبراهه‌های بالادست و پایین‌دست خود شده است (شکل ۳). شواهد ریخت‌شناسی حکایت از آن دارد که شکست یال شمالی این طاق‌دیس می‌تواند با گسل فعال ارتفاعات شمال طاق‌دیس و همچنین چین شماره ۲، یک سری گسل‌های قاشقی شکل را ایجاد نماید. زلزله‌های تاریخ ۱۵ و ۳۰ نوامبر سال ۱۹۷۵ با بزرگای ۴ را می‌توان به

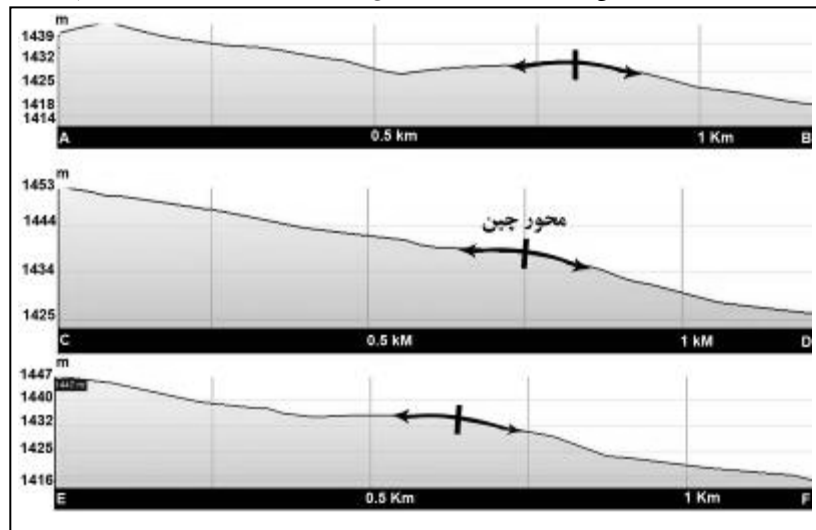
فعالیت این چین نسبت داد. همچنین نمودارهای نمایش داده شده در شکل (۴)، مقاطع توپوگرافی چین مذکور را نشان می‌دهند.



شکل ۲ تصویر ماهواره‌ای چین فعال شماره ۱، همان‌طور که مشاهده می‌شود این چین به دلیل حرکات فشاری بر روی مخروط افکنه حاصل از فعالیت یک گسل معکوس در شمال غرب آن ظهور نموده است. جزئیات بیشتر در شکل ۳ توضیح داده شده است.



شکل ۳ همان‌طور که در مدل ارائه شده دیده می‌شود ابتدا به دلیل بالآمدگی ارتفاعات شمال شرق چین مورد مطالعه گسل فعال با سازوکار معکوس شکل گرفته و همین عامل باعث ایجاد مخروطافکنه ۱ شده است. شواهد ریخت‌شناسی و رسوبی حاکی از فعالیت چین مورد مطالعه پس از توسعه مخروطافکنه مذکور را دارد. در مراحل بعدی مخروطافکنه کوچک‌تری که با شماره ۳ نشان داده شده‌اند ظاهر شده و نهایتاً به دلیل افزایش سرعت بالآمدگی مخروطافکنه‌های شماره ۴ ظهور پیدا نموده‌اند.



شکل ۴ مقاطع عرضی توپوگرافی چین شماره ۱ در محل محورهای AB, CD, EF که در شکل ۳ نشان داده شده است. عرض برون‌زدگی چین در سطح زمین در هر سه مقطع کمتر از یک کیلومتر و ارتفاع آن ۵ تا ۹ متر برآورد می‌شود.

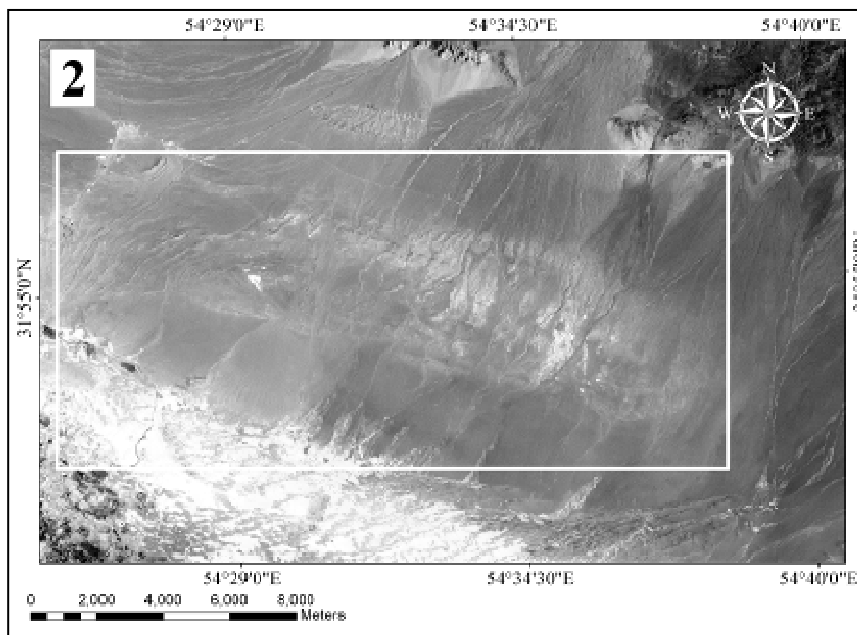


شکل ۵ تصویر صحرایی چین شماره ۱ نگاه رو به شمال شرق، سطوح مثلی شکل در این عکس کاملاً مشهود هستند.

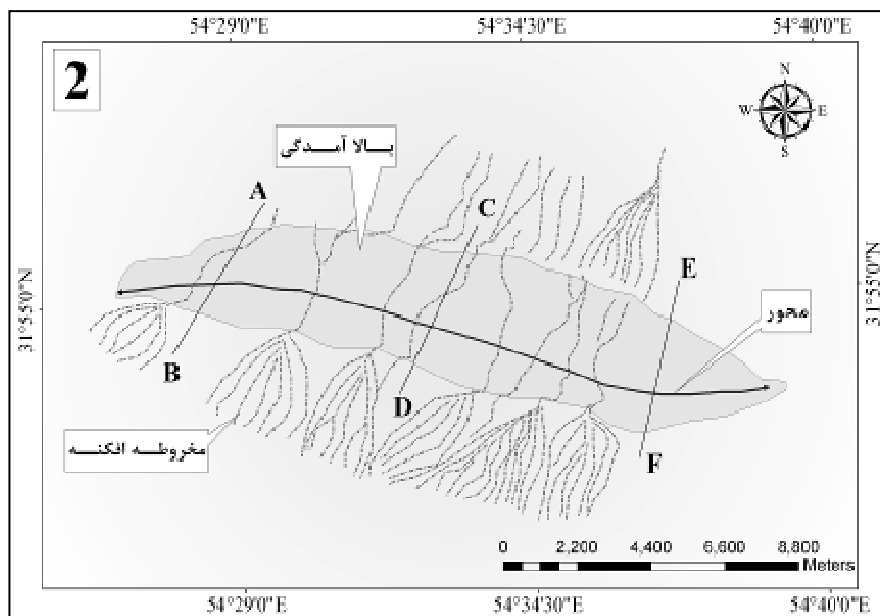
(ب) چین شماره ۲

این طاق‌دیس با طول حدود ۱۶ کیلومتر در فاصله ۷ کیلومتری خاور یزد واقع شده و رسوبات نئوژن را به‌اندازه ۱۲-۱۳ متر در راستای قائم و حدود ۵۰ متر در راستای N39W با مؤلفه راستگرد جابه‌جا نموده

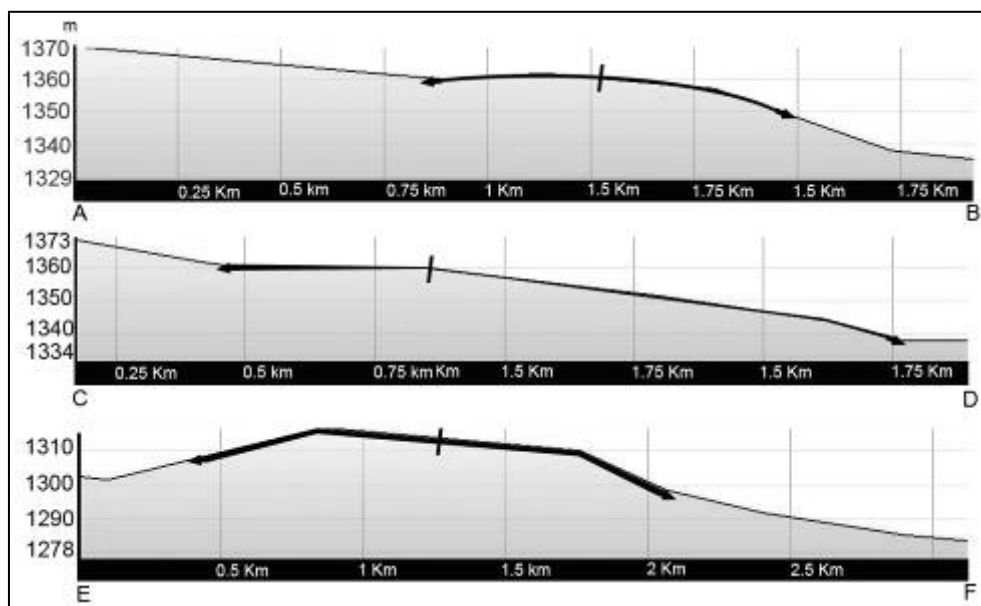
است (شکل ۶). شواهد ریخت‌شناسی نشان می‌دهد که این طاق‌دیس از نوع پلانچ دوسویه می‌باشد و یال جنوبی این چین خوردگی به دلیل فعالیت راست‌الغز، شکسته و باعث جابه‌جایی آبراهه‌های بالادست و پایین‌دست خود شده است (شکل ۷). همچنین مخروط‌افکنه‌های متعددی در بخش جنوبی این طاق‌دیس با شیب حدود ۹ درجه شکل گرفته‌اند.



شکل ۶ تصویر ماهواره‌ای طاق‌دیس شماره ۲ واقع در خاور یزد را نشان می‌دهد. این چین جوان توانسته است رسوبات نئوژن را به اندازه حدود ۱۲-۱۳ متر در راستای قائم جابه‌جا نموده و با حرکت راست‌الغز راست‌گرد ناشی از شکست یال جنوبی حدود ۵۰ متر در رسوبات جابه‌جایی افقی ایجاد نماید. جزئیات بیشتر در مدل تفسیر شده این رویداد در شکل ۸ نشان داده شده است.



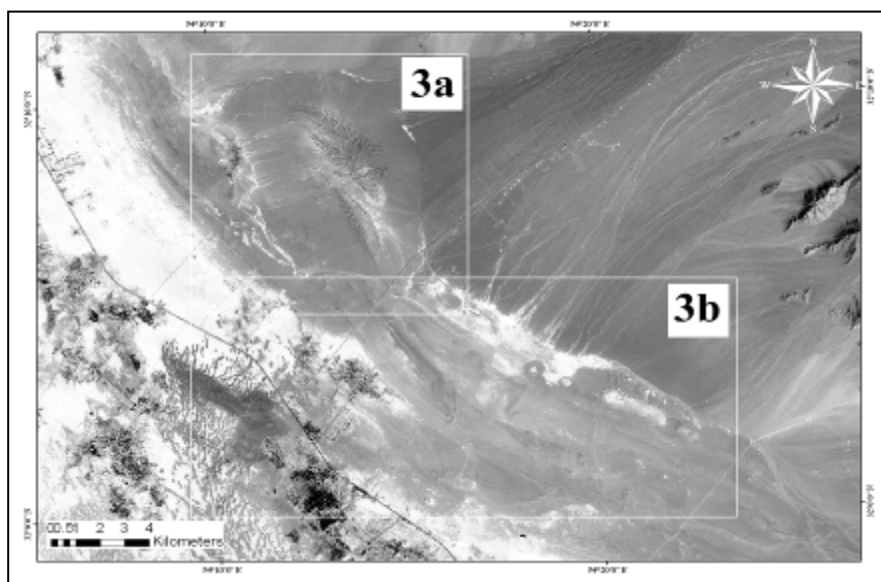
شکل ۷ تفسیر انجام شده بر اساس شواهد نوزمین‌ساختی برای چین شماره ۲. همان‌طور که مشاهده می‌شود جابه‌جایی آبراه‌ها، ایجاد مخروط‌افکنه‌های جدید و جابه‌جایی آن‌ها و همچنین بالآمدگی رسوبات جوان از مهم‌ترین شواهد ریخت‌زمین‌شناسی برای فعالیت این رویداد معرفی می‌شود. مقاطع عرضی در محورهای اشاره‌شده در شکل ۹ نمایش داده شده است. این موضوع به دلیل بالآمدگی این طاق‌دیس جوان رخ داده است. اگرچه تاکنون هیچ زمین‌لرزه‌ای در اطراف آن گزارش نشده ولی فاصله نزدیک آن تا مرکز شهر یزد، می‌تواند تهدیدی جدی برای شهر محسوب شود. شکل (۷) تفسیر ریخت‌شناسی و نمودارهای نشان داده شده در شکل (۸)، میزان جابه‌جایی قائم در این چین‌خوردگی و تحولات توپوگرافی در این ناحیه را نشان می‌دهند.



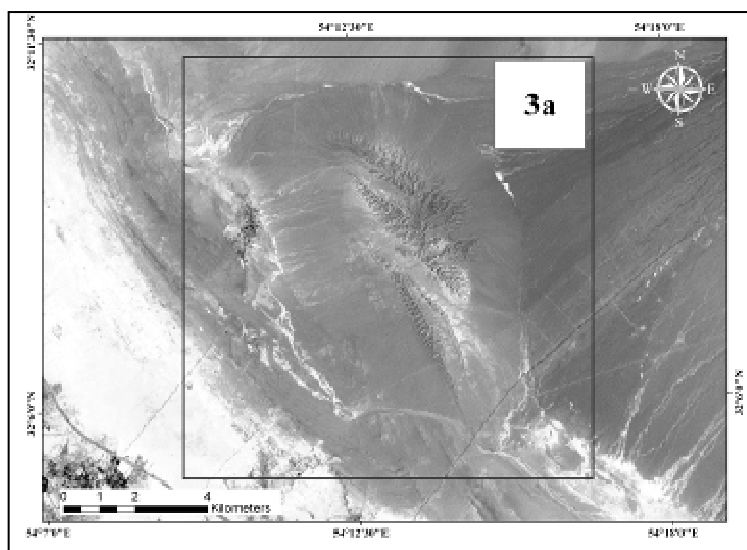
شکل ۸ مقاطع عرضی توپوگرافی چین شماره ۱ در محل محورهای AB,CD,EF که در شکل ۳ نشان داده شده است. عرض برون‌زدگی چین در سطح زمین در مقاطع مختلف متفاوت بوده و شواهد صحرایی حاکی از عدم تقارن چین مذکور می‌باشد. میزان بالاآمدگی در این چین از سطح زمین حدود ۱۲-۱۳ متر برآورد می‌شود.

ج) مجموعه چین خوردگی‌های شماره ۳

مجموعه چین خوردگی‌های شماره ۳ (۳a و ۳b)، از فاصله ۲ کیلومتری آن آغاز و تا ۲۵ کیلومتری به سمت میبد ادامه یافته‌اند (شکل ۹). این چین خوردگی‌ها که به صورت طاق‌دیس و ناودیس‌های متوالی، رسوبات نئوژن و کواترنری را به شدت تحت تأثیر قرار داده‌اند، از نظر فعالیت‌های لرزه‌خیزی، یکی از مهم‌ترین پهنه‌های تهدیدآمیز برای منطقه یزد به شمار می‌روند. شواهد زمین‌ریخت‌شناسی نشان می‌دهد که پهنای این چین خوردگی‌ها در بخش جنوبی، حدود ۳ کیلومتر و در بخش‌های شمالی حدود ۸ کیلومتر است. این مجموعه از چین خوردگی‌ها به دلیل فعالیت‌های زمین‌ساختی در دوره‌های مختلف، شکسته شده‌اند؛ لکن بررسی سن دقیق برخی از آن‌ها نیازمند مطالعه بیش‌تر می‌باشد. آنچه در این پژوهش اهمیت دارد اثبات فعالیت آن در دوره کواترنری است که این موضوع کاملاً واضح می‌باشد. جابه‌جایی رسوبات هولوسن از مهم‌ترین شواهد پویایی این چین خوردگی است. زمین‌لرزه نوامبر ۱۹۳۷ در عمق ۴۵ کیلومتری و با بزرگی ۵، زمین‌لرزه ژوئن سال ۱۹۸۹ در عمق ۳۳ کیلومتری و با بزرگی ۴ و زمین‌لرزه فوریه سال ۱۹۷۸ در عمق ۳۳ کیلومتری و به بزرگی ۴/۵، در حاشیه شمالی این چین خوردگی‌ها را می‌توان مستقیماً به فعالیت این جابه‌جایی‌های جوان، نسبت داد.



شکل ۹ موقعیت مجموعه چین خوردگی‌های شمال یزد- چین خوردگی‌های شماره ۳.



شکل ۱۰. بالآمدگی فعال شمال یزد ۳a.

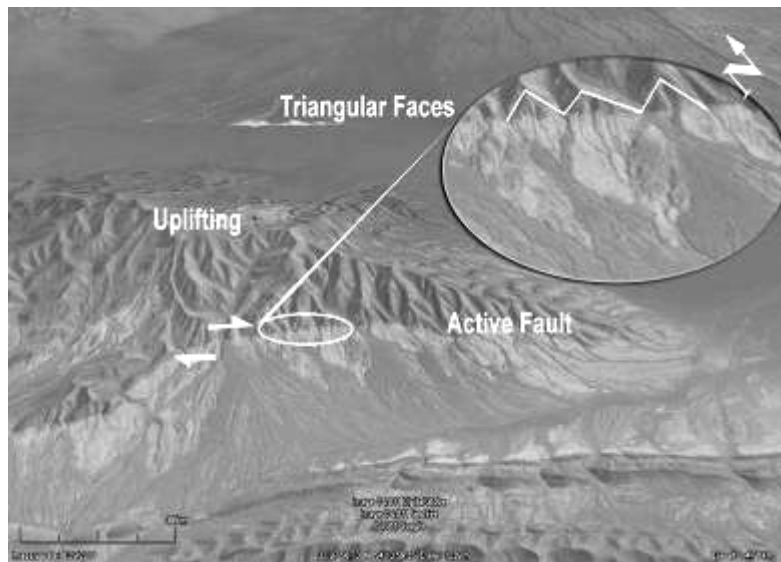
به این ترتیب پهنه شمالی شهر یزد، کاملاً فعال است و تاکنون حداقل ۸ زمین لرزه، در آن اتفاق افتاده است که در جدول (۱) نام برده شده‌اند. این در حالی است که کانون سطحی نزدیک‌ترین زمین لرزه، فقط ۱۴ کیلومتر از شهر یزد فاصله دارد. طاقدیس ۳a در شمال یزد و در فاصله ۲۳ کیلومتری مرکز شهر یزد قرار گرفته است (شکل ۱۱). این چین خوردگی، تقریباً متقارن و محور آن دارای امتداد N21W می‌باشد. این چین خوردگی توانسته است رسوبات هولوسن را به اندازه حدود ۵۰ متر در راستای قائم جابه‌جا نماید؛ به طوری که آبراهه‌های بالادستی را کاملاً به سمت شمال منحرف نموده است.

جدول ۱. توزیع زمین لرزه‌های پهنه لرزه‌خیز شمال یزد

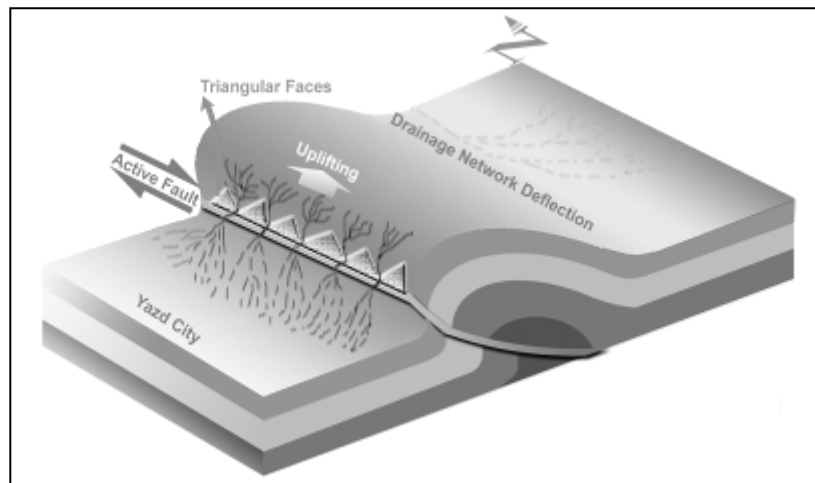
ردیف	سال	بزرگی	عمق (Km)	فاصله تا مرکز شهر (Km)	علت احتمالی رویداد
۱	۱۹۶۶	۴/۸	۵۶	۳۲	فعالیت چین خوردگی ۳b
۲	۱۹۷۳	۵	۴۵	۱۶	فعالیت چین خوردگی ۳b
۳	۱۹۷۵	۳/۷	۴۴	۲۰	فعالیت چین خوردگی ۳b
۴	۱۹۷۵	۴	۴۱	۲۰	فعالیت چین خوردگی ۳a
۵	۱۹۷۵	۴	۳۷	۲۲	فعالیت چین خوردگی ۳a
۶	۱۹۷۵	۴	۴۳	۲۶	فعالیت چین خوردگی ۳a
۷	۱۹۷۸	۴/۵	۳۳	۱۶	فعالیت چین خوردگی ۳b
۸	۱۹۸۹	۴	۳۳	۱۴	فعالیت چین خوردگی ۳b

همین پدیده باعث شده است، در بخش جنوبی این طاقدیس جوان، پدیده واترگپ شکل گیرد. حرکت مؤلفه راستالغز حاکم بر این پویایی نیز باعث جابه‌جایی ۴۵ متر از رسوبات در نواحی شمالی طاقدیس شده است. شواهد

ریخت‌زمین‌ساختی نشان می‌دهد که در بخش‌های مرکزی به دلیل فرایش فعال، سطوح مثلثی متعددی شکل گرفته‌اند (شکل ۱۲). این سطوح، حاکی از حرکتهای قائم این چین‌خوردگی در عهد حاضر می‌باشد. شکل (۱۳)، مدل فعالیت این چین را نمایش می‌دهد.



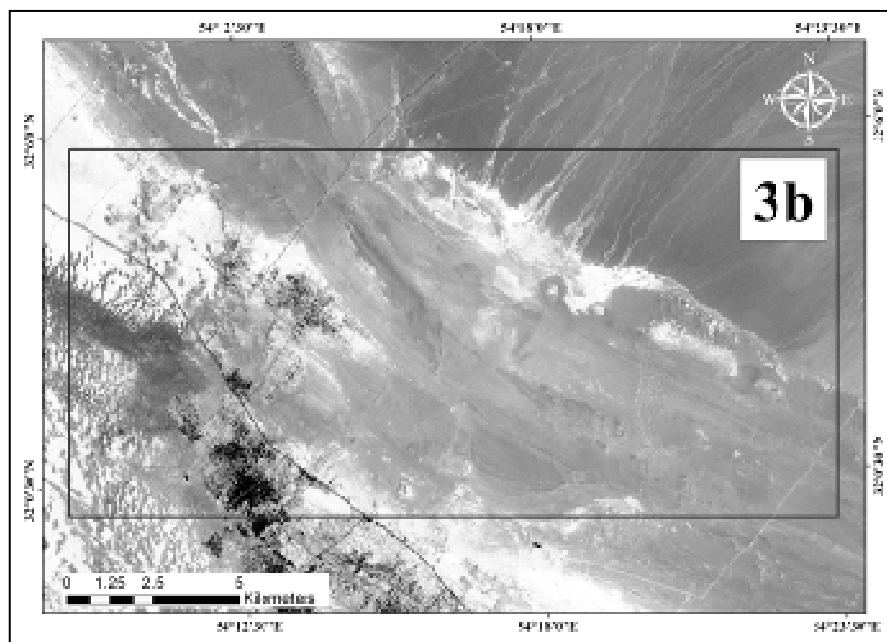
شکل ۱۱ سطوح مثلثی شکل ناشی از فرایش فعال در شمال یزد-چین‌خوردگی ۳a.



شکل ۱۲ نمای شماتیک از نحوه شکل‌گیری طاق‌دیس و گسل فعال شمال یزد.

قابل توجه است که اگر فرایند فرایش فعال پیشانی کوهستان نسبت به میزان فرسایش یا رسوب‌گذاری مخروط‌افکنه بیش‌تر باشد، رسوب‌گذاری بیش‌تر در رأس مخروط صورت می‌گیرد و جوان‌ترین بخش‌های مخروط در نزدیکی رأس آن ایجاد می‌شوند (گروه هواسنجی، ۲۰۰۷: ۴۴). اگر فرایند بالآآمدگی فعال پیشانی کوهستان نسبت به

میزان فرسایش یا رسوب‌گذاری مخروط‌افکنه کم‌تر یا مساوی با آن باشد، رسوب‌گذاری بیش‌تر در نزدیکی پایین مخروط صورت می‌گیرد و جوان‌ترین بخش‌های مخروط در قسمت پایین آن ایجاد می‌شوند. بررسی‌های صحرایی نشان می‌دهد که در فرایش شمال یزد، اغلب مخروط‌افکنه‌های جوان، در انتهای‌ترین بخش پیشانی کوهستان رسوب نموده‌اند و به این ترتیب مخروط‌افکنه‌های ایجاد شده از نوع اول می‌باشند. این بدان معنی است که سرعت فرایش، بیش از رسوب‌گذاری است (امری، ۲۰۰۴). در نتیجه چین‌خوردگی‌های شمال یزد از فعالیت قابل‌توجهی برخوردار می‌باشند. همچنین از شواهد حرکت‌های زمین‌ساخت فعال در پیشانی کوهستان که توسط گسل‌ها ایجاد شده‌اند، می‌توان به سطوح مثلثی شکل، سطوح زمین‌ریختی جوان و تپه‌های مسدودکننده، اشاره کرد. سطوح مثلثی شکل، بیان‌گر سطح فرسایش یافته گسلی در پیشانی کوهستان است. این سطوح، حاکی از نبود زمان کافی برای فرسایش کامل آن‌هاست. شکل حوضه‌های زهکشی، به فاصله دهانه حوضه‌ها در طول پیشانی کوهستان و طول حوضه زهکشی، بستگی دارد. در مدل ارائه شده و همچنین در تصویر ماهواره‌ای تهیه شده از چین‌خوردگی‌های شمال یزد، وجود سطوح مثلثی متعدد به وضوح نمایان و قابل‌پیگیری می‌باشد. از طرفی حرکت راستالغز، باعث انحراف آبراهه‌ها در بالادست و پایین‌دست این فرایش شده است. در این منطقه، پیچ‌وخم پیشانی جدید کوهستان که در واقع همان پهنه فرایش شمال شهر یزد محسوب می‌گردد، با گذشت زمان زیاد بعد از ایجاد گسل بزرگ‌زاویه و فعال، تشکیل می‌شود. در صورت وجود گسل‌ها و حرکات جوان، پیشانی کوهستان تقریباً حالت خطی پیدا می‌کند و مقدار پیچ‌وخم پیشانی کوهستان کم خواهد شد. در حالی که در آرامش زمین‌ساختی و یا تأثیر عوامل سنگ‌شناسی، پیشانی کوهستان دارای دهانه‌های عمیق با حالت پیچ‌وخم شدید می‌شود (امبرسیز، ۱۹۸۲). بخش جنوبی چین‌خوردگی ۳a نیز دارای پیچیدگی خاصی می‌باشد (شکل ۱۰). در این قسمت به نظر می‌رسد، مجموعه‌ای از چین‌خوردگی‌های متعدد تجمع یافته‌اند که تحت تأثیر فازهای کوهزایی مختلف در ادوار گذشته قرار گرفته‌اند. آنچه مسلم است، رسوبات نئوژن نیز توسط بالآمدگی‌های پی‌درپی، چین‌خورده و رسوبات هولوسن نیز توسط یک حرکت راستالغز در بخش بالایی این چین‌خوردگی، به میزان حداقل ۳۵ متر جابه‌جا و حداقل ۵ متر در راستای قائم به سمت بالا رانده شده‌اند. حداقل ۵ زمین‌لرزه را با احتمال بسیار زیادی می‌توان به این چین‌خوردگی نسبت داد. زمین‌لرزه ژوئن ۱۹۸۹ به بزرگی ۴ و زمین‌لرزه فوریه ۱۹۷۸ به بزرگی ۴/۵، از جمله زمین‌لرزه‌هایی هستند که تا یال شمالی این چین‌خوردگی به ترتیب ۵۰۰ متر و یک کیلومتر کانون‌یابی شده‌اند. آنچه مسلم است بر اساس زمین‌لرزه‌های ثبت شده دستگاهی، تاکنون این بخش از چین‌خوردگی، می‌بایست فعالیت بیش‌تری داشته باشد. این چین‌خوردگی تا مرکز شهر یزد، فقط ۱۴ کیلومتر فاصله دارد. علاوه بر تهدیدات ناشی از گسلش فعال، زمین‌لرزه‌های ناشی از این گسلش نیز می‌تواند یک تهدید جدی برای شهر یزد به‌ویژه شریان‌های حیاتی منطقه از جمله تأسیسات گاز، محسوب گردد.



شکل ۱۳ بخش جنوبی مجموعه چین خوردگی‌های شمال یزد ۳b.

۵. نتیجه‌گیری

شناسایی پدیده‌های ریخت زمین ساختی در ارزیابی توان لرزه‌خیزی نقش بسیار مهمی را داد. مطالعات اخیر نشان می‌دهد که بخش شرقی شهر تاریخی یزد توسط گسل‌های فعال متعددی احاطه شده است. این چین‌ها اغلب توانسته‌اند رسوبات کواترنری و حتی در بخش‌هایی رسوبات هولوسن را نیز جابجا کنند. علاوه بر آن داده‌های دستگامی حاکی از وقوع زلزله‌های متعددی تا بزرگای ۵ در این محدوده را دارند. در این مقاله با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ETM⁺ به شناسایی ریخت‌شناسی منطقه پرداخته شد. بر اساس نتایج به دست آمده، علی‌رغم معرفی نمودن یزد به عنوان منطقه امن و بی‌خطر، شواهد نشان می‌دهد که یزد دارای رژیم تکتونیکی فعال است. بر اساس تحلیل تصاویر ماهواره‌ای چهار چین با راستای تقریبی NW-SE در منطقه شمال شرقی شهر یزد وجود دارد که همگی به دلیل آنکه رسوبات هولوسن را قطع نموده و رخنمون دارند، جزو چین‌های فعال منطقه محسوب می‌گردند. چین‌های شناسایی شده سبب تغییر فیزیولوژی زمین گردیده‌اند، به طوری که در اطراف چین (۱) با روند N48W یک آنگیر تکتونیکی ایجاد شده است. مابقی چین‌های فعال شناسایی شده نیز به دلیل بالآمدگی و تغییرات ایجاد کرده در توپوگرافی منطقه، باعث قطع کردن روند و جابه‌جایی آبراهه‌های بالادست و پایین دست خود شده است. چین N39W به صورت طاق‌دیس، در فاصله نزدیکی از شهر یزد قرار دارد، که می‌تواند یکی از عوامل تهدیدکننده شهر یزد باشد. این چین توانسته است در یال جنوبی خود بسیاری از مخروط‌افکنه‌های جنوبی را با شیب ۹ درجه تغییر جهت دهد. چین سوم مجموعه‌ای از طاق‌دیس و ناودیس‌های متوالی، رسوبات نئوژن و کواترنری را به شدت تحت تأثیر

قرار داده‌اند، از نظر فعالیت‌های لرزه‌خیزی، یکی از مهم‌ترین پهنه‌های تهدیدآمیز برای منطقه یزد به شمار می‌روند. به‌علاوه بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، زمین‌لرزه‌های اتفاق افتاده در حاشیه این چین‌خوردگی‌ها را می‌توان مستقیماً به فعالیت این جابه‌جایی‌های جوان، نسبت داد که یکی دیگر از دلایل مهم فعال بودن منطقه است.

کتابنامه

- آرین، محسن و همکاران؛ ۱۳۸۸. نئوتکتونیک نو زمین ساخت. چاپ اول. تهران: انتشارات مزینانی.
- آریامنش، محمد؛ ۱۳۹۰. سنجش‌ازدور، زمین‌ریخت‌شناسی و زمین‌شناسی کواترنری. پروژه پژوهشی جلد اول. شرکت ملی گاز یزد. یزد. ایران.
- تصاویر ماهواره‌ای لندست ETM+ با قدرت برجسته‌نمایی ۳۰×۳۰.
- جداری عیوضی، محمود؛ ۱۳۷۴. ژئومورفولوژی ایران. تهران: انتشارات دانشگاه پیام نور. ایران
- حریریان، محمود؛ ۱۳۶۹. کلیات ژئومورفولوژی ایران. تهران: انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی. ایران
- داوودزاده، اشمیت؛ ۱۹۸۳. گزارش زمین‌شناسی شرق ایران. سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی.
- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح؛ ۱۳۶۲. نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰۰ شهرستان یزد.
- سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور. نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰۰ یزد.
- معماریان، حسین؛ ۱۳۸۷. زمین‌شناسی ساختاری. چاپ اول. تهران: انتشارات دانشگاه تهران.
- مهرشاهی، داریوش؛ مهرنهاد، حمید؛ ۱۳۸۵. اشکال مورفوتکتونیک حاصل از عملکرد گسل شمال یزد. جغرافیا نشریه علمی-پژوهشی انجمن جغرافیایی ایران. سال چهارم. شماره ۱۰ و ۱۱ پاییز و زمستان ۱۳۸۵.
- نوجوان، محمدرضا؛ هاشمی. معصومه؛ ۱۳۹۲. افتراق‌های ژئومورفولوژی مناظر کویری استان یزد. مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی. سال ۲۴. پیاپی ۵۰. شماره ۲.

- Al-Amri, Abdullah M. S., 2004. *Mechanism of Earthquakes and Seismicity Modeling*, Geophysics & Director of Seismic Studies Center King Saud University- Riyadh.
- Ambraseys, Nicholas N., Melville, C. P., 1982. *A History of Persian Earthquakes*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Armed Forces Geographical Organization., 1983. Topographic map 1:250000, Yazd Province.
- Aryamanesh, Mohammad., 2012. *Remote Sensing, Geomorphology and Quaternary Geology of Yazd*. Research Project. Gas Company, Yazd, Iran.
- Aryamanesh, Mohammad, Zare, Mehdi, Timothy M. Kusky., 2007. "Neotectonics Controls on the Migration of the Rivers by Using Remote Sensing Imagery: A Case Study from Tabas Area - Eastern Iran." *Journal of Seismology and Earthquake Engineering*, 9, no. 3: 99-109.
- Aryan, Mohsen et al., 2009. Neotectonics. First Edition. Tehran: Mazinani Press.
- Berberian, Manuel., 1976. *Contribution to Seismotectonics of Iran (part II)*. Geological Survey of Iran. report no. 39: 518 p.

- Berberian, Manuel., 1977. *Contribution to the seismotectonic of Iran*. Geological and Mining Survey of Iran, report 38: 39- 40.
- Berberian, Manuel., 1978. Earthquake faulting and bedding thrust associated with the Tabas-Golshan (Iran) earthquake of September 16, *Bulletin of the Seismological Society of America*. 69, no. 6, (1979): 1861-1887.
- Berberian, Manuel., 1976. *Generalized fault map of Iran*, scale 1/5,000,000, geological survey of Iran.
- Davoudzadeh, M. and Schmidt, K., 1983. "Contribution to the palaeogeography of the upper Triassic to middle Jurassic of Iran." *Neues Jahrbuch für Geologie und Palaontologie, abhandlungen* 162: pp. 137- 163.
- Freund Raphael and Zak, Israel. and Garfunkel, Zwi., 1968. "On the age and rate of sinistral movement along the Dead Sea rift." *Nature* 220: 253 - 255 Accessed 19 October 1968. doi:10.1038/220253a0.
- Geological and Mining Exploration Organization, Geological Map 1:100000 and 1:250000, Yazd.
- Haririan, Mahmoud., 1990. *Fundamental of Geomorphology of Iran*. Tehran: Azad University Press.
- Jedari Ivazi, Mahmoud., 1995. *Geomorphology of Iran*. Tehran: Payam Noor University Press.
- Jolley, S. J., Dijk, H., Lamens, J. H., Fisher, Q. J., Manzocchi, T., Eikmans, H. and Huang, Y., 2007. "Faulting And Fault Sealing In Production Simulation Models: Brent Province, Northern North Sea." *Petroleum Geoscience*, 13: 321–340.
- Landsat images ETM⁺ with a magnification of 30×30
- Lay, T., Ammon, C. J., Kanamori, H., Kim, M. J. and Xue, L., 2011. "Outer trench-slope faulting and the great 2011 Tohoku (MW 9.0) earthquake." *Earth, Planets and Space* 63 no.7: 713-718 Accessed the doi: 10.5047/eps.2011.05.006
- Mehrshahi, Darush. Mehranahd, Hamid., 2005. Morphotectonic Types of Active Fault in North of Yazd. *Research & Scientific Journal of Geography*. 4. no. 10 & 11. Winter.
- Memrian, Hossein., 2008. *Structural Geology*. First Edition. Tehran: University of Tehran Press.
- Meteorological Department and Norway., 2007. *Seismic Hazard Analysis and Zonation, For Pakistan Azad Jammu and Kashmir, and Pakistan*.
- Monalisa, M., Jan, Q. and Khwaja, A. A., 2009. "A Preliminary Seismotectonic Zonation Map Of The Nw Himalayan Fold-And-Thrust Belt, Pakistan, For The Period 1904–2006." *Proceedings of The Pakistan Academy of Sciences*, 46, no. 3: 175- 182.
- Morner, N., 1990. "Neotectonics and structural geology: general introduction." *Bulletin International Quaternary Association Neotectonic Commission* 13, no. 87.
- Nowjavan, Mohammad Reza. Hashemi, Masumeh., 2013. Geomorphological Disparity of Kavir Landscaps: (Case stady: Yazd Province). *Geography and Environmental Planning Journal*, 24th Year. 50. no.2.
- Scheidegger, Adrian E., 2004. *Morphotectonics*: Germany. Springer Publication.
- Davoodzade, Schmit., 1983. *Geological Report of Eastern Iran*. Geological and mineral exploration.
- Keller, Edward A., 2003. *Active tectonics*. Second Edition. USA: Printice-Hall. Inc.