

دوفصلنامه کواترنری ایران (علمی-پژوهشی)، دوره ۷، شماره ۴ و ۳، پاییز و زمستان ۱۴۰۰

ص ۲۶۱ تا ۲۷۴

## بررسی نوزمین ساخت و زمین ساخت فعال شهر پردیس

### بر اساس شاخص های کیفی ریخت زمین ساختی

حسن علیزاده\*؛ استادیار، گروه زمین شناسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۳۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۱۲

## چکیده

طیف وسیعی از خطرات زمین شناختی، کلان شهرهای ایران را تهدید می کند. شهر پردیس در زون زمین ساختی البرز مرکزی، تحت تأثیر گسل های اصلی مانند گسل های مشاء، گسل شمال تهران و گسل پارچین- ایوانکی قرار دارد. در این تحقیق به منظور ایجاد ارتباط بین عناصر ساختاری از قبیل خطواره ها و گسل ها با استفاده از تصاویر ماهواره ای و نرم افزار های مربوط به آن و تلفیق با داده های صحرایی قطعات گسلی، شکستگی ها شناسایی و ترسیم شدند. با استفاده از نقشه های توپوگرافی، تصاویر ماهواره ای و انطباق آن با برداشت های صحرایی، داده های مورد استفاده در اندازه گیری شاخص های ریخت زمین ساختی تهیه شد. بررسی های صحرایی و شاخص های ریخت شناسی به دست آمده بیانگر این است که بستر این شهر میزبان گسل های مهمی می باشد و با خطر گسیختگی سطحی ناشی از گسل های فعال پردیس، هسا و فردوس و همچنین برخی گسل های با جنبایی پنهان قرار دارد که بر روی آن ها ساخت و ساز هم انجام شده است. همچنین بررسی شاخص های کیفی ریخت زمین ساختی حاکی از زمین ساخت فعال گسل های منطقه و لرزه خیزی شهر پردیس هستند.

**واژگان کلیدی:** شهر پردیس، ریخت زمین ساخت، گسل فعال، نوزمین ساخت.

## مقدمه

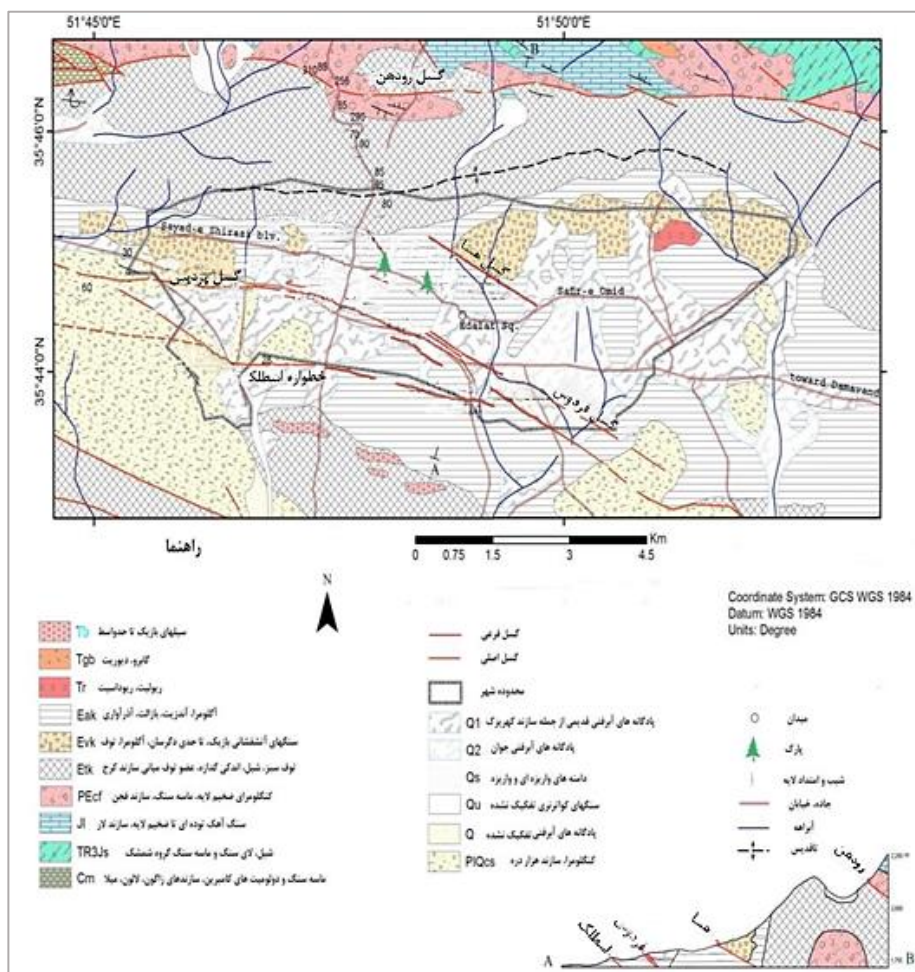
نو زمین ساخت فعال به مطالعه فرایندهای پویا و دینامیک موثر در شکل دهی زمین و چشم اندازهای موجود در آن می پردازد (Keller and Pinter, 2002:80). در همین ارتباط، می توان با استفاده از شاخص های ریخت زمین ساختی، در مدت زمان کوتاه فعالیت های زمین ساختی را مطالعه کرد و در تحقیقات دقیق تر آینده به کار گرفت. شاخص های ریخت زمین ساختی، در ارزیابی فعالیت های نو زمین ساختی ابزاری مفید هستند، زیرا با استفاده از آن ها می توان مناطقی را که در گذشته فعالیت های سریع و یا کند زمین ساختی را طی نموده اند، به راحتی شناسایی کرد (Ramirez and Herrera, 1998:317). ریخت زمین ساخت، دانش مطالعه اشکال و سیماهای ایجاد شده بر روی زمین است که بر اثر مکانیسم های زمین ساختی ایجاد شده اند و از آن به معنای کاربرد اصول ریخت شناسی در تحلیل مسائل زمین ساختی تعبیر می شود (Burbank and Anderson, 2012: 32; Grohmann,

(Holbrook and Rangzan et al., 2003:78; 2004:45). فرآیندهای زمین‌ساخت فعال می‌تواند بر شکل و عملکرد رودها نیز تأثیر بگذارد (Schumm, 1999:15; Schumm et al., 2002: 69). بررسی الگوی زهکشی، میزان حفر و انحراف رودها، اطلاعات مهمی در مورد گسترش و تکامل ساختاری منطقه فراهم می‌آورد (Keller et al., 1998:9; Menéndez et al, 2008:12). طیف وسیعی از خطرات زمین‌شناختی، کلان شهرهای ایران را تهدید می‌کند. در این میان نکته قابل تامل اینست که هرچند کمبود آگاهی را می‌توان یکی از دلایل کم توجهی تصمیم‌گیران به مسایل خطرات زمین‌شناختی در توسعه شهرهای ایران در گذشته دانست، ولی این مسئله در توسعه شهرهای جدیدی که طی دو دهه اخیر آغاز شده اند بسیار نگران کننده است. شهر جدید پردیس یکی از این شهرها است که در این مقاله به بررسی زمین‌ساخت فعال این شهر پرداخته شده است. این شهر در زون زمین‌ساختی البرز مرکزی تحت تأثیر گسل‌های اصلی مانند گسل‌های البرز، گسل مشأ و گسل شمال تهران قرار دارد. زمین لرزه‌های امروزی استان تهران نشانه تداوم رژیم فشارش حاکم بر این استان بوده و شهر پردیس نیز از این امر مستثنی نیست. به این منظور بررسی تصاویر ماهواره‌ای، داده‌های موجود و مطالعه صحرایی ترانشه‌ها و کوهبری‌های صورت گرفته جهت احداث راه و ساختمان در محدوده شهر پردیس مورد استفاده قرار گرفته‌اند. هدف از این نوشتار، بررسی زمین‌ساخت فعال شهر پردیس بر اساس شاخص‌های کیفی ریخت‌زمین‌ساخت و سنجش از دور می‌باشد.

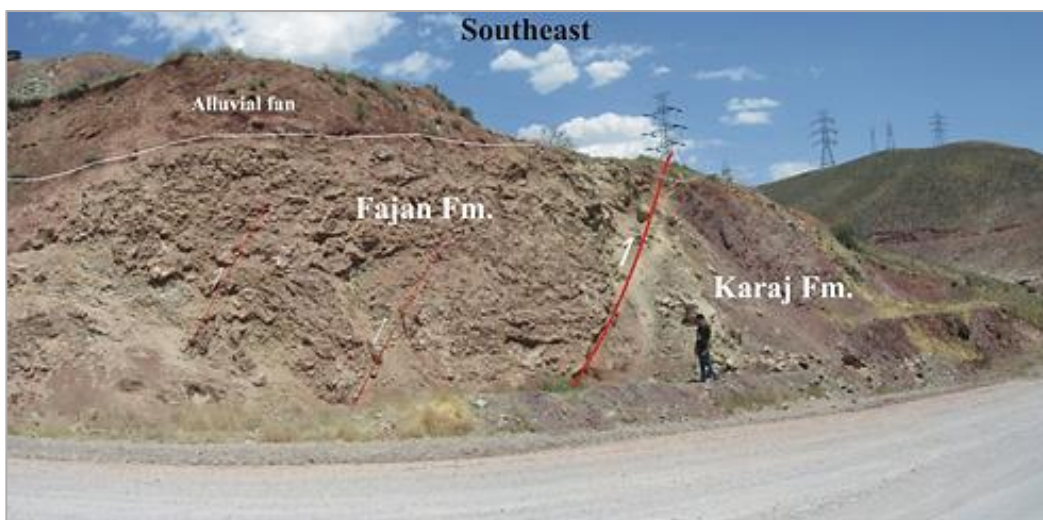
### زمین‌شناسی و زمین‌ساخت منطقه مورد مطالعه

شهر پردیس دارای مختصات جغرافیایی "۴۰' ۴۶' ۵۱° شرقی و "۲۲' ۲۲' ۳۵° شمالی است و در دامنه‌های البرز مرکزی قرار گرفته است. حرکت امتداد لغز در راستای گسل‌های اصلی در البرز مرکزی متأثر از حرکت امتدادی بین ورقه‌های ایران مرکزی و حوضه خزر جنوبی می‌باشد (Jackson, et al, ۲۰۰۲:۲۲۰). که بخشی از آن در جنبش نو زمین‌ساختی گسل‌های منطقه مطالعه بروز کرده است. از دیدگاه زمین‌شناسی سنگ بستر، محدوده شهر پردیس بر گستره‌ای از واحدهای سنگی سنوزویک شامل مجموعه‌ای از توف‌های ضخیم لایه، شیل توفی، سنگ‌های آذرآواری، گدازه‌های اندزیتی و بازالتی و آگلومراهای متعلق به سازند کرج به سن ائوسن میانی توده‌های آذرین اولیگو میوسن و همچنین کنگلومرا، ماسه سنگ و گل‌سنگ‌های سازند پلیو کواترنری هزاردره به همراه نهشته‌های واریزه‌ای و زمین لغزشی کواترنری قرار گرفته است (شکل ۱). از نظر جنس و سن سنگ بستر می‌توان محدوده شهر را به دو نیمه شمالی و جنوبی تقسیم کرد. بستر شهر در قسمت‌های شمالی بیشتر بر روی توف، سنگ‌های آتشفشانی و آگلومرا و رخنمون کوچکی از ریوداسیت‌های پس از ائوسن گسترش یافته است. ریخت‌شناسی منطقه، متأثر از مقاومت سازندها در برابر عوامل فرسایش و از طرفی تحت تأثیر زمین‌ساخت درونی شکل گرفته‌اند. نوزمین‌ساخت منطقه پردیس متأثر از جنبش‌های اصلی منطقه مانند گسل مشأ شمال تهران، گسل پارچین - ایوانکلی و گسل‌های کوچکتر رودهن، پردیس و تلو قرار دارد. در شمال منطقه پردیس و در قطعه نیکنام ده گسل شمال تهران، جنبش امتدادلغز چپگرد قطعه شرقی گسل مشأ به گسل شمال تهران منتقل شده و سبب ایجاد یک حوضه کششی محلی بنام فروافتادگی لتیان - دارآباد شده است (Ghassemi et al, 2014). جنبش امتدادلغز چپگرد در این قطعه بین ۱۸ تا ۳ میلیمتر بر سال برآورد شده است که از حدود چهار میلیون سال پیش آغاز شده است (al, 2014). از طرفی به سمت شرق، نرخ لغزش قطعه شرقی گسل مشأ ۲/۲ میلیمتر بر سال تخمین زده شده است (Ritz et al, 2003) که این

جنبش به سمت شرق به گسل فیروزکوه منتقل می شود. همچنین مطالعات بربریان و همکاران (۱۳۶۴) سازو کار گسل پارچین - ایوانکی به طول ۸۰ کیلومتر را معکوس در نظر می گیرد. افزون بر این، هروی و همکاران (۱۳۹۲) گسل گرمسار را گسلی با روند شرقی - غربی و طول نزدیک به ۷۵ کیلومتر است که قابل تفکیک به پنج قطعه گسلی بوده که بردار لغزش آن ها راندگی با مولفه چپگرد و یا چپگرد با مولفه راندگی بسته به موقعیت قطعه تغییر می کند. بررسی ها نشان می دهد که شهر پردیس میزبان گسل هایی مانند گسل پردیس، هسا و فردوس است که نهشته های کواترنری را قطع کرده و متاسفانه حریم آن ها رعایت نشده است. همچنین گسل های با جنبایی ناآشکار مانند گسل پارک مشاهیر نیز فاقد حریم هستند (احتشامی معین آبادی، ۱۳۹۵). در بررسی های صحرائی، برداشت های مهم شامل دگرشیبی بین واحد آگلومرایی و سازند کرج، خش لغز روی قطعه آندزیت-بازالت در آگلومرای فجن، پهنه گسلی هسا در سنگ آندزیت بازالت سازند کرج می باشد. همچنین بر روی پهنه گسلی هسا، ساختمان سازی انجام شده است در این نواحی، رعایت حریم گسلی انجام نشده و برای پوشاندن گسل، اقدام به دیوارکشی در اطراف و زیر ساختمان ها شده است. برداشت های مهم شامل دگرشیبی مشاهده شده بین واحد آگلومرایی و سازند کرج، خش لغز روی قطعه آندزیت-بازالت در آگلومرای فجن، پهنه گسلی هسا در سنگ آندزیت - بازالت سازند کرج که پهنه گسلی به سب برای ۱۰ تا ۱۵ سانتیمتر بود. برپایه برداشت های میدانی، این گسل دارای راستای شمال باختر-جنوب خاور بوده و دارای شیب حدود ۵۵ درجه به سمت شمال خاور است شکل (۲).



شکل ۱: نقشه زمین‌شناسی شهر جدید پردیس به‌همراه ساختارهای مطرح شده در این مقاله اصلاح شده وحدتی دانشمند (۱۳۷۶)



شکل ۲: نمایی از پهنه گسلی هسا در مسیر شهر پردیس به ورزن. فعالیت این پهنه گسلی باعث راندگی سازند فجن بر روی لایه‌های شیل و توف و آگلومرای سازند کرج شده است. برپایه برداشت‌های میدانی، این گسل دارای راستای شمال باختر-جنوب خاور بوده و دارای شیب حدود ۵۵ درجه به سمت شمال خاور است.

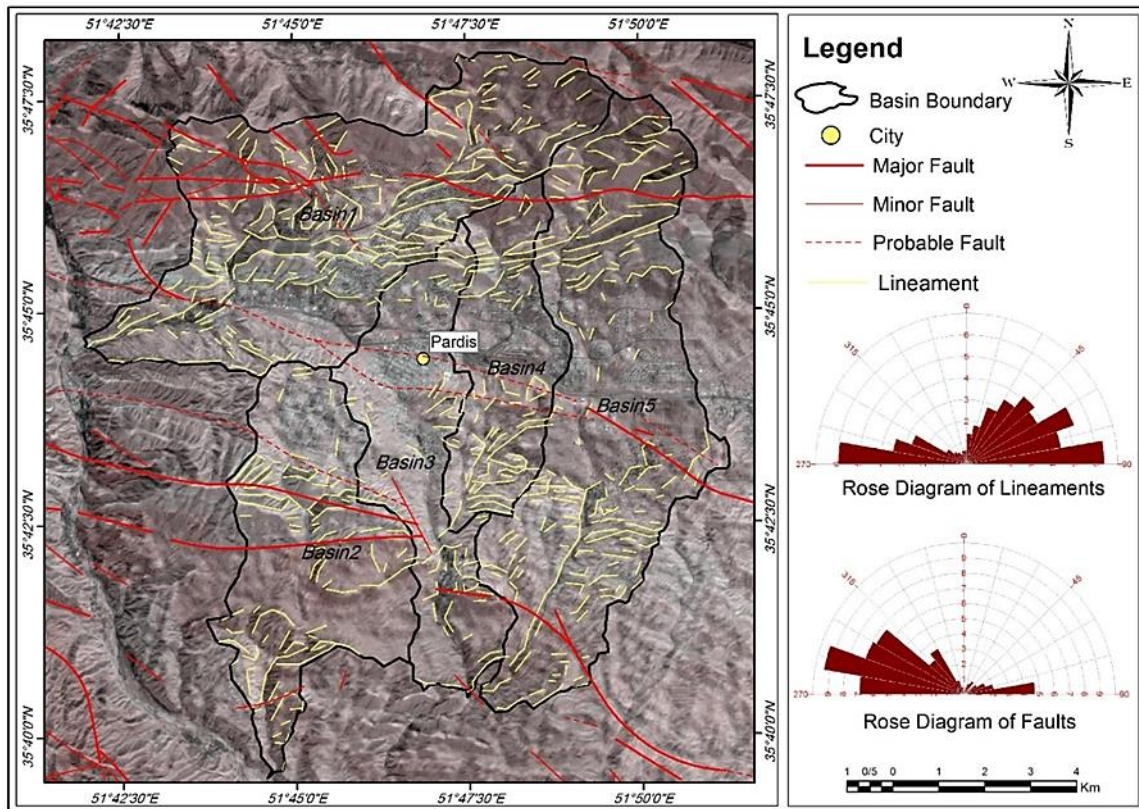
## روش تحقیق

این تحقیق از لحاظ هدف، کاربردی و از لحاظ روش گردآوری داده‌ها، توصیفی - تحلیلی است. ابتدا بررسی‌ها، پیمایش و اندازه‌گیری‌های صحرایی انجام شد. در ابتدا به برداشت وضعیت لایه بندی، گسل‌ها و سایر عناصر ساختاری پرداخته شد و در مرحله بعد با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و نرم افزارهای مربوطه و تلفیق با داده‌های صحرایی قطعات سامانه گسلی، انحراف آبراهه‌ها و مخروط افکنه‌ها شناسایی شدند. برای تحلیل جهت‌گیری شکستگی‌ها و خطواره‌ها و همچنین گسل‌های منطقه مورد مطالعه، از نرم‌افزار Rockwork 2016 استفاده شده است. با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی (DEM) ویژگی‌ها و شاخص‌های رودخانه به‌طور دقیق استخراج و حوضه‌های زهکشی تحلیل شد (Moore et al., 1991; Mathuis, 2006) شاخص‌های کیفی ریخت زمین‌ساختی به تفکیک در هر کدام از زیر حوضه‌ها اندازه‌گیری شدند. به منظور بررسی عملکرد فعالیت ریخت زمین‌ساختی در محدوده شهرک جدید پردیس، با استفاده از تصاویر Google earth و نرم‌افزار Corel draw برخی از شاخص‌های ریخت زمین‌ساختی از قبیل شاخص ضریب مخروط‌گرایی، شاخص سطوح مثلثی شکل و شاخص جابه‌جایی آبراهه‌ها اندازه‌گیری شده است.

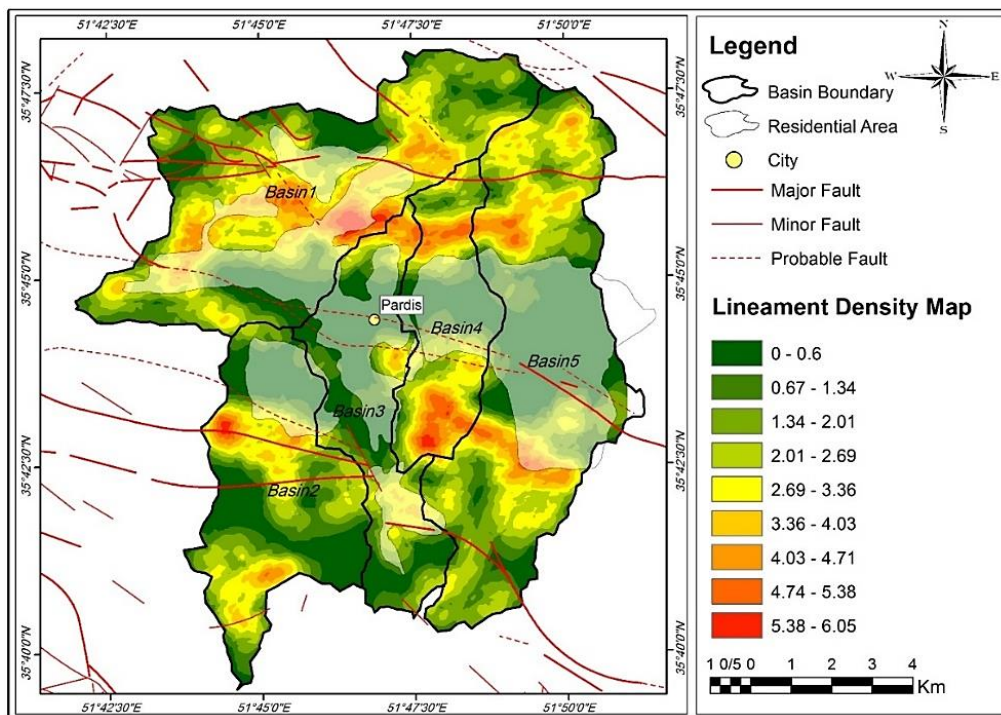
## تحلیل داده‌ها و بحث

بررسی جهت‌گیری خطواره‌ها و گسل‌های گستره مورد مطالعه

بررسی جهت‌گیری خطواره‌های گستره مورد مطالعه نشان می‌دهد که می‌توان خطواره‌های منطقه را به دو دسته غالب، تقسیم بندی نمود. دسته اول خطواره‌هایی هستند که بین آزیموت‌های  $0^{\circ}$  N و  $45^{\circ}$  N قرار دارند که از فراوانی قابل توجهی برخوردارند. دسته دوم خطواره‌هایی هستند که بین آزیموت‌های  $270^{\circ}$  N و  $300^{\circ}$  N قرار داشته و از فراوانی کمتری نسبت به دسته اول برخوردارند. در این بین، خطواره‌هایی با راستای شمالی-جنوبی نیز از فراوانی کمی برخوردارند، به گونه‌ای که کمتر از ۴ درصد از تعداد کل خطواره‌ها را شامل می‌شوند. در این بین نیز خطواره‌هایی با آزیموت  $0^{\circ}$  N دارای بیشترین تعداد می‌باشند. بررسی روند و جهت‌گیری گسل‌های منطقه نیز نشان می‌دهد که جهت‌گیری گسل‌ها از یک روند کلی با راستای شمال غربی-جنوب شرقی تبعیت می‌کند. این روند بین آزیموت‌های  $270^{\circ}$  N و  $310^{\circ}$  N قرار می‌گیرد. بررسی رزیدیاگرام گسل‌ها نیز نشان می‌دهد که خطواره‌هایی که دارای راستای شمالی-جنوبی هستند از فراوانی کمی برخوردارند. لازم به ذکر است که بیشترین تعداد گسل‌های منطقه، دارای آزیموت  $285^{\circ}$  N است (شکل ۳). پس از تلفیق داده‌های صحرایی و داده‌های حاصل از تصاویر ماهواره‌ای جاده‌ها، عوارض خطی شهری مانند لبه و حاشیه ساختمان‌ها، که به اشتباه برای نرم‌افزار به عنوان خطواره تلقی شد حذف و اصلاح گردید، سپس نقشه چگالی خطواره، برای منطقه و حوضه‌های اطراف شهر جدید پردیس تهیه شد. پراکندگی خطواره‌ها نشان می‌دهد که بیشتر مناطقی که به عنوان چگالی بالا در این نقشه مشخص شده‌اند، بر گسل‌های منطقه منطبق هستند. در برخی از مناطق از جمله جبهه ۱ در حوضه ۱، شاهد منطبق بودن مناطق مسکونی بر محل فعالیت زمین‌ساختی بالا هستیم (شکل ۴).



شکل ۳: خطواره‌های استخراج شده در حوضه‌های منطقه مورد مطالعه در اطراف شهر پردیس



شکل ۴: نقشه چگالی خطواره‌ها به همراه موقعیت حوضه‌های منطقه مورد مطالعه در اطراف شهر پردیس

## شاخص‌های کیفی ریخت زمین ساخت منطقه مورد مطالعه

- شاخص ضریب مخروط‌گرایی

مخروط‌افکنه‌ها به عنوان یکی از بارزترین اشکال آبرفتی و ریخت‌شناختی هستند که تحول آن‌ها به شدت تحت تأثیر حرکات زمین‌ساختی قرار می‌گیرد (Baroni, et al., 2005). عوامل زمین‌ساختی، بافت و موقعیت مخروط‌افکنه‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. مخروط‌افکنه‌هایی که بلافاصله بعد از خط گسل ایجاد می‌شوند، با جابه‌جایی راستالغز گسل جابه‌جا شده و در محل دیگری ایجاد می‌گردند. به این ترتیب مخروط‌افکنه جدید در محل دیگری ایجاد شده و مخروط‌افکنه قبلی به صورت متروک باقی می‌ماند (Menéndez et al., 2008). مخروط‌افکنه‌ای که دارای ضریب مخروط‌گرایی یک باشد، کمتر تحت تأثیر عوامل مخرب محدودکننده قرار گرفته است و به شکل یک مخروط واقعی نزدیک‌ترند. هر چه میزان این شاخص از عدد یک کمتر باشد نشان دهنده این است که مخروط‌افکنه کمتر اجازه رشد و تکامل یافته است که علت این امر فعالیت‌های فرسایشی و یا فعالیت‌های زمین‌ساختی است. این شاخص با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود (Baroni et al., 2005:28).

$$FCI = \frac{AIF}{ATF} \quad \text{(معادله ۱)}$$

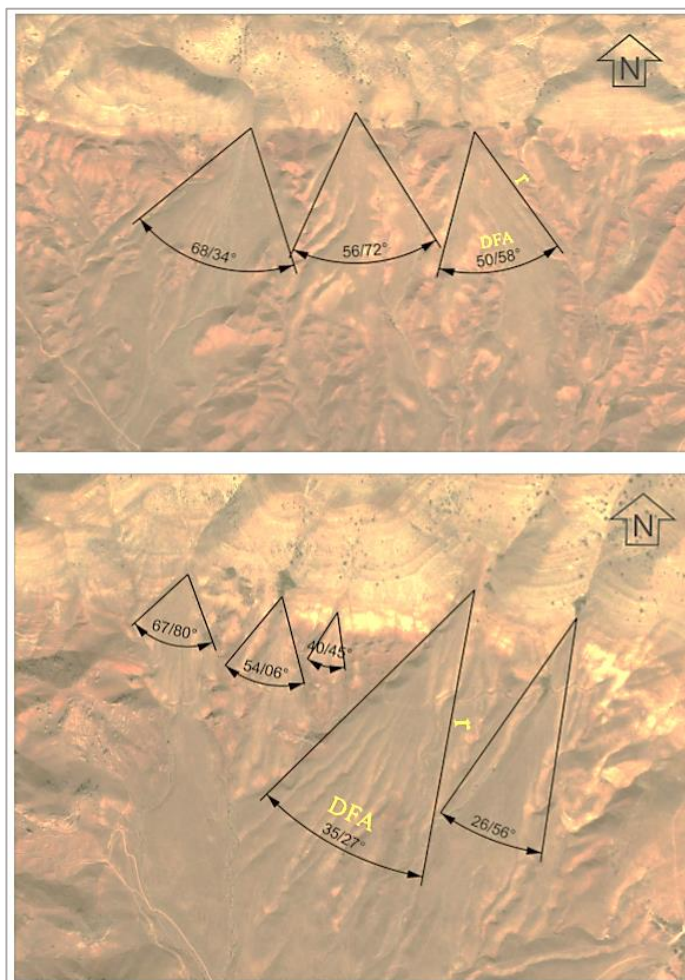
در این معادله AIF مساحت مخروط‌افکنه ایده‌آل و ATF مساحت واقعی مخروط‌افکنه است.

برای محاسبه مخروط ایده‌آل نیز از معادله ۲ استفاده می‌شود:

$$AIF = \frac{\pi r^2 \times DFA}{360} \quad \text{(معادله ۲)}$$

در این معادله عدد  $\pi$  معادل:  $3/14$ ،  $r^2$  شعاع مخروط افکنه و DFA زاویه بین دو حاشیه مخروط‌افکنه است.

در منطقه مورد مطالعه و در بخش جنوب غربی آن مخروط‌افکنه‌هایی مشاهده می‌شود که با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای پردازش و بررسی شد (شکل ۵).



شکل ۶: تصویر ماهواره Bing satellite از مخروط‌افکنه‌های منطقه

پارامترهای لازم برای محاسبه ضریب مخروط‌گرایی برداشت و برای هر مخروط‌افکنه محاسبه شد. مقدار شعاع مخروط (۳) و مساحت واقعی مخروط (AIF) در محیط Google earth محاسبه و استخراج شده است. مقدار زاویه DFA در محیط نرم‌افزار Corel draw اندازه‌گیری شده است. پارامترها در معادله قرار داده و مساحت ایده‌آل هر مخروط و ضریب مخروط‌گرایی محاسبه شده است (جدول ۱).

جدول ۱: پارامترهای مخروط‌افکنه‌ها و میزان ضریب مخروط‌گرایی در هر یک از آنها

FCI	ATF (m <sup>2</sup> )	AIF (m <sup>3</sup> )	DFA	r (m)	مخروط افکنه
۰/۵۹۷	۱۴۷۲۴۵	۸۷۹۲۰/۴۳	۵۰	۴۴۹	۱
۰/۶۰۸	۱۴۳۰۷۱	۸۷۰۹۹/۳۲	۵۷	۴۱۹	۲
۰/۶۷	۱۶۰۸۲۹	۱۰۷۶۳۲/۴۵	۶۸	۴۲۷	۳
۰/۵۰۶	۱۶۸۴۹۶	۸۵۳۴۶/۱۴	۲۷	۶۰۲	۴
۰/۸۱	۱۶۲۶۲۹	۱۳۱۷۷۲/۸۴	۳۵	۶۵۷	۵
۰/۵۱	۹۲۶۱	۴۷۲۸/۱۸	۴۰	۱۱۷	۶
۰/۹۲	۱۹۷۰۷	۱۸۲۷۰/۱۵	۵۴	۲۲۷	۷

۰/۹۷	۲۵۷۰۱	۲۵۰۱۵/۱۸	۶۸	۲۳۸	۸
------	-------	----------	----	-----	---

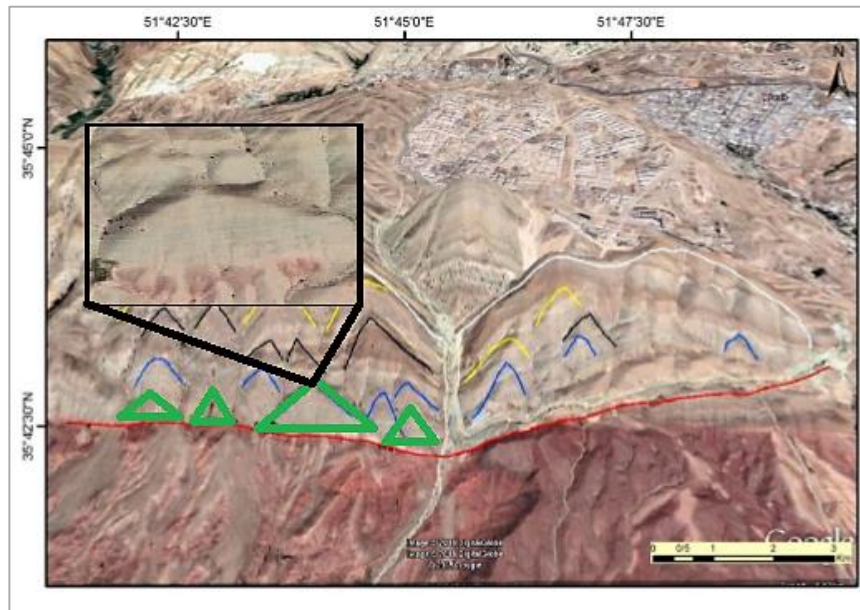
مطابق جدول ۱ مقدار ضریب FCI برای همه مخروط افکنه‌های منطقه مورد مطالعه کمتر از یک است، در نتیجه در این محدوده مخروط افکنه‌ها به دلیل فعالیت‌های زمین‌ساختی و فرسایشی بیشتر در معرض تخریب قرار گرفته‌اند و از شکل مخروط افکنه ایده‌آل خارج شده‌اند. به عبارتی دیگر فعالیت‌های زمین‌ساختی و فرسایشی مانع از رشد و تکامل مخروط افکنه‌ها شده است.

### شاخص سطوح مثلثی شکل

در محل تلاقی کوهپایه با دشت رسوبات در محل خط گسل بریده می‌شوند که به صورت سطوح مثلثی مشاهده می‌شوند. این سطوح که به شکل مثلث هستند قاعده آنها راس یک مخروط افکنه تا مخروط افکنه مجاور و ارتفاع آنها از خط عمود بر قاعده تا شروع خط تقسیم آب های بین دو حوزه می باشد (Burbank & Anderson, 2001: 202). این سطوح، جبهه‌های کوهستانی فعال از نظر زمین‌ساختی را نشان می‌دهند. هر چه گسل فعال‌تر باشد این اشکال واضح‌تر هستند. در نقاطی که مدت زمان زیادی از فعالیت گسل می‌گذرد و نرخ فرسایش از نرخ حرکت گسل بیشتر است، دره‌ها وسیع‌تر می‌شود و این اشکال با زوایای گرد شده دیده می‌شوند (Well et al., 1988:52). شکل ۷ موقعیت سطوح مثلثی را در جنوب غربی منطقه مورد مطالعه در محل خط گسلی نشان می‌دهد که در بعضی از آنها شیارهای ضعیف آبراهه‌ها بر روی سطح دیده می‌شوند که حاکی از تأثیر اندک عملکرد فرسایشی آب بوده و واضح بودن این اشکال دلیل بر فعال بودن گسل‌های منطقه است.

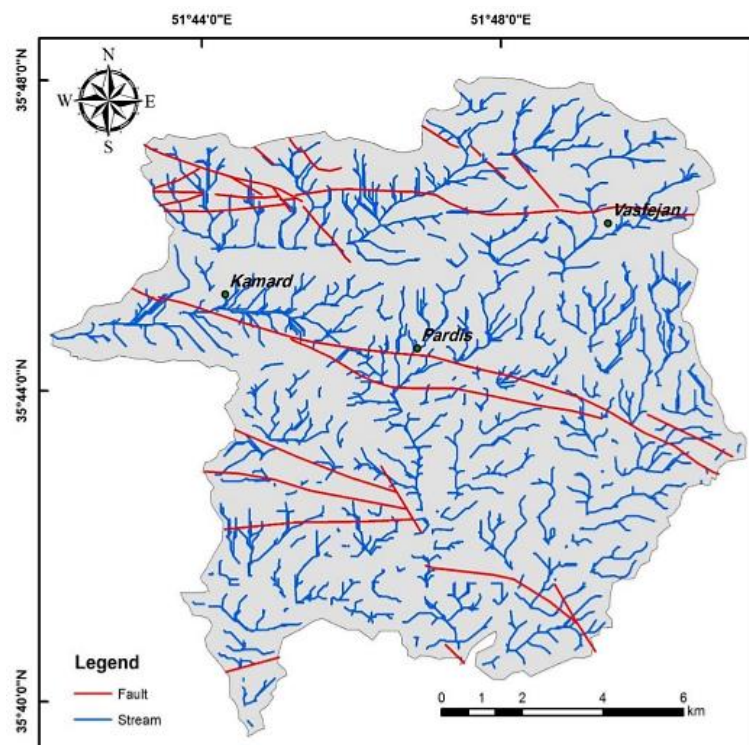
### شاخص جابه‌جایی آبراهه‌ها

تغییر مکانی رودخانه‌ها و شبکه آبراهه متأثر از میزان حمل بار رسوبی، سنگ‌شناسی بستر، عوامل فرسایشی، انسانی و زمین‌ساختی است. عملکرد گسل‌ها در طول مسیر آبراهه سبب انحراف آن از مسیر اصلی می‌شود.



شکل ۷: سطوح مثلثی شکل در منطقه، خط قرمز نشان دهنده گسل

نقشه الگوی آبراهه‌های استخراج شده از DEM منطقه استخراج و در محیط Arc Map در شکل ۸ نمایش داده شده است. تطابق و مقایسه موقعیت گسل‌ها و خطوط آبراهه‌ها در بیشتر نقاط منطقه حاکی از تغییر مسیر انشعابات شبکه آبراهه می‌باشد.



شکل ۸: نقشه الگوی آبراهه‌ها با توجه به موقعیت گسلش

با توجه به شکل ۸ و تطبیق تقاطع گسل‌ها با آبراهه‌ها حاکی از آن است که در محل خط گسلش، آبراهه‌ها تغییر مسیر داده‌اند، این مسیر طی شده در واقع میزان جابه‌جایی آبراهه‌ها نسبت به مسیر اولیه‌شان است. با توجه به بررسی و مشاهدات دورسنجی بر روی تصاویر ماهواره‌ای تقریباً در اکثر محل تلاقی خطوط آبراهه‌ها با خطوط گسلی، تغییراتی در مسیر حرکت آبراهه‌ها به وجود آمده است. در منطقه مورد مطالعه تغییر مسیر آبراهه در محل تقاطع با گسل ناشی از حرکت راستالغز چپ‌گرد گسل‌ها است (شکل ۹). میزان این جابه‌جایی‌ها از ۵۴ متر تا ۱۶۷ متر متغیر می‌باشد. جابه‌جا شدن مسیر حرکت آبراهه در تقاطع خط گسلی ناشی از زمین‌ساخت فعال گسل‌های منطقه است.



شکل ۹: محل تقاطع گسل پردیس با آبراهه و جابه‌جایی آن

## نتیجه‌گیری

از گسل‌های منطقه می‌توان به گسل رودهن، گسل پردیس، گسل فردوس، گسل هسا، گسل‌های پارک مشاهیر و جنوب پارک مشاهیر، خطواره استلک اشاره نمود. گسل رودهن در فاصله سه کیلومتری شمال محدوده شهر و در کنار مجتمع کوزو، می‌تواند عامل ایجاد زمین‌لرزه‌های مخرب در این شهر باشد. همچنین نتایج نشان داد، گسل پردیس با طول بیش از ۳۰ کیلومتر و عملکرد آشکار که سبب راندگی نهشته‌های کهریزک شده است و همچنین برش چپ‌گرد آبراهه‌ها، گسلی اریبلغز به شمار می‌آید که همخوان با جنبش کواترنری گسل‌های مهم منطقه از جمله گسل شمال تهران، در نو زمین‌ساخت منطقه نقش ایفا می‌کند. مطالعات انجام گرفته بر روی مخروط افکنه‌ها و بررسی شاخص مخروط‌گرایی نشان می‌دهد که، مقدار این شاخص در منطقه، کمتر از عدد ۱ می‌باشد، که به دلیل فعالیت بالای تکتونیکی و فرسایشی از فرم مخروط ایده آل خارج شده‌اند. بررسی سطوح مثلثی شکل نشان می‌دهد که، عملکرد فرسایشی آب هنوز تأثیر زیادی بر روی آن‌ها نگذاشته و واضح بودن این اشکال دلیل بر فعال بودن گسل‌های منطقه است. بررسی آبراهه‌ها

و شاخص جابه جایی آبراهه نیز نشان می دهد که، تغییرات ناگهانی در مسیر رودخانه ها، معرف عملکرد گسل ها و انحراف و تغییر ناگهانی آبراهه می باشد. میزان این جابه جایی ها در نواحی مختلف متفاوت است.

## منابع:

- احتشامی معین آبادی، م.، (۱۳۹۵)، خطر گسیختگی سطحی در محدوده شهر پردیس، استان تهران: لزوم رعایت حریم گسل در توسعه شهری. زمین شناسی کاربردی پیشرفته. شماره ۱۹، صفحات ۴۸-۶۲.
- بربریان، م.، قریشی، م.، ارژنگ روش، ب.، مهاجر اشجعی، ا.، ۱۳۶۴، پژوهش و بررسی ژرف نو زمین ساخت، لرزه زمین ساخت و خطرزمین لرزه - گسلش در گستره تهران و پیرامون (پژوهش و بررسی لرزه زمین ساخت ایران زمین: بخش پنجم)، سازمان زمین شناسی کشور، گزارش شماره ۵۶، ۳۱۶ص.
- وحدتی دانشمند، ف.، ۱۳۷۶، نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ شرق تهران سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور
- هروی، س. آ.، نظری، ح.، شهیدی، س.، طالبیان، م.، ۱۳۹۲، هندسه و سازوکار گسل گرمسار از دوره نئوژن تا به امروز، فصلنامه علوم زمین، جلد ۲۲، شماره ۸۸، ص ۱۷۵-۱۸۶.

- Baroni, C., Noti, V., Ciccacci, S., Righini, G., Salvatore, MC. 2005. Fluvial Origin of the Valley System in Northern Victoria Land (Antarctica) from Quantitative Geomorphic Analysis. *GSA Bulletin*, 117, PP. 212–228.
- Bull, WB and McFadden, LD. 1977. Tectonic geomorphology north and south of the Garlock fault, California, In: Doehring, D.O. (Ed.), *Geomorphology in Arid Regions*, Proceedings of the Eighth Annual Geomorphology Symposium, State University of New York, Binghamton, PP. 115- 138.
- Burbank, DW and Anderson, RS. 2012, *Tectonic Geomorphology*. Blackwell Science, Oxford, PP. 438.
- El Hamdouni, R., Irigaray, C., Fernandez, T., Chacón, J. and Keller, EA. 2008, Assessment of relative active tectonics, southwest border of Sierra Nevada (southern Spain), *Geomorphology*. 96, PP. 150–173.
- Font, M., Amorese, D. and Lagarde, JL. 2010. DEM and GIS analysis of the stream gradient index to evaluate effects of tectonics: The Normandy intraplate area (NW France), 109, PP. 172-180.
- Grohmann, CH. 2004. Morphometric analysis in geographic information systems: applications of free software GRASS and R. *Computers and Geosciences*, 30, PP. 105.
- Hare, PW and Gardner, T. 1985, *Geomorphic indicators of vertical neotectonism along converging plate margins*, Nicoya Peninsula, Costa Rica. Allen and Unwin, Boston.
- Holbrook, J. and Schumm, SA. 1999. Geomorphic and Sedimentary Response of Rivers to Tectonic Deformation: a Brief Review and Critique of a Tool For Recognizing Subtle Epeirogenic Deformation In Modern And Ancient Settings. *Tectonophysics*, 305, PP.
- Ghassemi. M.R., Fattahi. M., Landgraf. A., Ahmadi. M., Ballato. P., Tabatabaei. S.H., 2014, Kinematic links between the Eastern Mosha Fault and the North Tehran Fault, Alborz range, northern Iran, *Tectonophysics*, Vol: 622, p: 81–95.
- Jackson, J.A., Priestley. K., Allen. M.B., Berberian. M., 2002, Active tectonics of the South Caspian Basin, *Geophysical Journal International*, Vol: 148, p: 214–245.
- Joshi. P.N., Maurya, DM. and Chamyal, LS., 2013. Morphotectonic segmentation and spatial variability of neotectonic activity along the Narmada–Son Fault, Western India: Remote sensing and GIS analysis. *Geomorphology*. 180, PP. 292-306.
- Keller, E A., Pinter, N. 1996. *Active tectonics*, Prentice Hall Upper Seddle River, NJ, USA, Pp. 564.
- Keller, E. and Pinter, N. 2002. *Earthquakes, uplift, and landscape*, New Jersey, PP. 34-42. Keller, EA. and Pinter, N. 2002. *Active Tectonics: Earthquakes, Uplift, and Landscape* (2ndEd.), Prentice Hall, New Jersey, PP. 118-124.
- Keller, EA. and DeVecchio, DE. 2013. Tectonic Geomorphology of Active Folding and Development of Transverse Drainages. In: John F. Shroder (ed.) *Treatise on Geomorphology*, 5, PP. 129-147.
- Keller, EA., Zepeda, RL., Rockwell, TK., Ku, TL and Dinklage, WS. 1998. Active tectonics at Wheeler Ridge, southern San Joaquin Valley, California. *Geological Society of America Bulletin*, 110, PP. 298–310.
- Mathuis, BHP. 2006. Digital elevation model based hydro-processing, *Geocarto International center*, 21, PP. 21- 26.
- Mayer, L. 1990. *Introduction to Quantitative Geomorphology*. Prentice Hall, Englewood, Cliffs, NJ. 120, PP. 218–300.
- Moore, ID., Grayson, RB and Ladson, AR. 1991. Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological and biological applications, *Hydrological Process*, 5, PP. 3-30.
- Pérez-Peña, JV., Azor, JM. Azañón and Keller, EA. 2010. Active tectonics in the Sierra Nevada (Betic Cordillera, SE Spain): insights from geomorphic indexes and drainage pattern analysis. *Geomorphology* PP.74-87.
- Ramirez- Herrera, M.T. (1998). Geomorphic assessment of active tectonic in the Acambay Graben, Mexican volcanic belt. *Earth surface and landforms*, 23, pp:322-317.
- Rangzan, K.S., Pirasteh and Ali, S.A., 2003, Use of digital elevation model for study of drainage morphometry and identification stability and saturation zones in relations to landslide assessments in parts of the Shahbazan area, SW Iran. *Cartography*, 32. PP. 71-76.

- Ritz, J.F., Balescu, S., Soleymani, S., Abbassi, M.R., Nazari, H., Fegghi, K., Shabaniyan, E., Tabassi, H., Farbod, Y., Lamothe, M., Michelot, J.L., Massault, M., Che'ry, J., Vernant, P., 2003, Determining the Long-term Slip Rate Along the Mosha Fault, Central Alborz, Iran: Implications in Terms of Seismic Activity, SEE4 Meeting, Tehran.
- Ritz J. F., Nazari, H., Salamati, R., Shafeii, A., Solaymani, S. and Vernant, P. 2006 .Active transtension inside Central Alborz: a new insight into the Northern Iran–Southern Caspian geodynamics. *Geology*, 34, PP. 477- 480.
- Rockwell, TK., Johnson, DL., Keller, EA. and Dembroff, RG. 1984. A late Pleistocene-Holocene soil chronosquence in the Ventura Basin Southern California. *Geomorphology and Soils*, edited by KS Richards, RR Arnett, and S. Ellis, PP. 309-327.
- Schumm, SA., Dumont, JF.P and Holbrook, JM. 2002. Active tectonics and alluvial rivers. Cambridge University Press, Cambridge. PP.76-89.
- Silva, PG., J. Goy, C. Zazo and Bardaji, T. 2003. Fault-generated mountain fronts in southeast Spain: geomorphologic assessment of tectonic and seismic activity. *Geomorphology*, 15, PP.203-225.
- Singh, P., Gupta, A. and Singh, M. 2014. Hydrological inferences from watershed analysis for water resource management using remote sensing and GIS techniques, *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*,13, PP. 1- 11.
- Strahler, AN. 1952. Hypsometric (area–altitude) analysis of erosional topography, *Geological Society of America Bulletin*, 63, PP. 1117–1142.
- Walker, RT. 2006. A remote sensing study of active folding and faulting in southern Kerman province, S.E. Iran, *Journal of Structural Geology*, 28, PP, 654-66.
- Wells, SG., Bullard, TF., Menges, CM., Drake, PG., Karas, PA., Kelson, KI., Ritter, JB., and Wesling, JR.. 1988. Regional variations in tectonic geomorphology along a segmented convergent plate boundary, Pacific Coast of Costa Rica.