

## شناسایی دسته دایک‌های مختلف بر پایه روش‌های زمین-اطلاعاتی در پهنه فلززایی طارم-شمال غرب ایران

صادق افشار نجفی<sup>۱</sup>، عزیز رحیمی<sup>(۲)</sup>، تقی نبئی<sup>۳</sup> و مهناز رضائیان<sup>۴</sup>

۱. دانشجوی دکتری زمین‌شناسی-تکتونیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران
۲. دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران
۳. استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه پیام نور مرکز قزوین، قزوین، ایران
۴. استادیار گروه علوم زمین، دانشکده علوم زمین، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان، زنجان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۸/۰۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۲۰

### چکیده

پهنه فلزایی طارم با روند شمال غربی-جنوب شرقی، از لحاظ زمین ساختی در شمال غرب پهنه ارومیه-دختر قرار گرفته است. این پهنه توسط گسل‌های اصلی با روند شمال غربی-جنوب شرقی و نوع دوم با روندهای شمال غربی-جنوب شرقی، شمالی-جنوبی، شمال شرقی-جنوب غربی و شرقی-غربی قطع شده است. در این پهنه دسته دایک‌هایی با ترکیب و روند مختلف رخنمون دارند که از دیدگاه ساختاری تاکنون مورد توجه نبوده است. به همین دلیل برای شناسایی و مطالعه زمین ساختی دایک‌ها، روش زمین-اطلاعاتی شامل تفسیر تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵ (سنجنده TM) برای شناسایی و ردیابی دایک، بررسی تصاویر گوگل ارث و بینگ، تهیه نقشه اولیه دایک‌ها و همچنین مطالعات ساختاری در مقیاس رخنمون و مزوسکوپی انجام گرفته شده است. نتایج نشان می‌دهد که پهنه برشی بین گسل‌های طارم و زنجان به همراه شکستگی‌های ریدل (R) و آنتی ریدل (R') حاصل از آنها به‌عنوان عامل اصلی کنترل ساختاری دایک‌های منطقه شناسایی شدند. بر اساس نمودارهای گلسرخی بیشتر دایک‌های نیمه قائم، با روند ۱۲۰ درجه همروند با یکی از دسته گسل-درزه‌های اصلی منطقه نفوذ کرده است. دایک‌های با ترکیب مافیک و حد واسط در چهار دسته با روندهای آزیموتی ۰۳۰، ۰۶۰، ۱۲۰ و ۱۵۰ درجه و دایک‌های اسیدی در دو دسته با روندهای ۱۲۰ و ۱۵۰ درجه رخنمون دارند. بر پایه مطالعات صحرایی از جمله تقاطع دایک‌های مختلف، دایک‌های مافیک با روند شمال شرقی-جنوب غربی به‌عنوان جوان‌ترین روند در منطقه است.

واژه‌های کلیدی: پهنه ارومیه-دختر، دسته درزه، دور سنجی، لندست.

### مقدمه

اهمیت دسته‌های دایک توسط پژوهشگران علوم زمین به‌طور فزاینده‌ای روشن شده است (Misra, 2016; Lewis, 1955). به‌طوری‌که دایک‌های ماگمایی اطلاعاتی در خصوص منشأ و وضعیت مخزن ماگمایی و انتقال ماگما (Brown, 2001; Bons et al., 2010) و ساز و کارهای نفوذ و جایگیری فراهم می‌کند (Brown and Solar, 1999). دایک‌ها نشانگرهای مهمی در دو پوسته دگرریخت شده زیرین و میانی (Druguet et al., 2008) و همچنین در نواحی بالایی پوسته هستند (Airoldi et al., 2011; Paquet et al., 2008).

\* نویسنده مرتبط: a.rahimi@gu.ac.ir

پهنه فلززایی طارم برای اولین بار می‌باشد. نتایج اصلی بر اساس روش‌های زمین-اطلاعاتی است که شامل مطالعات دورسنجی، تحلیل‌های ArcGIS و بررسی‌های میدانی دقیق می‌باشند. جمع‌آوری داده‌های اخیر، ما را قادر به شناسایی دایک‌های مختلف پهنه طارم از دیدگاه ساختاری از جمله ۱- توزیع مکانی و زمانی دایک‌های مختلف؛ ۲- روابط هندسی و تقاطع شبکه‌های شکستگی-گسلی با دسته‌های دایک و ۳- سن نسبی نفوذ آنها کرده است.

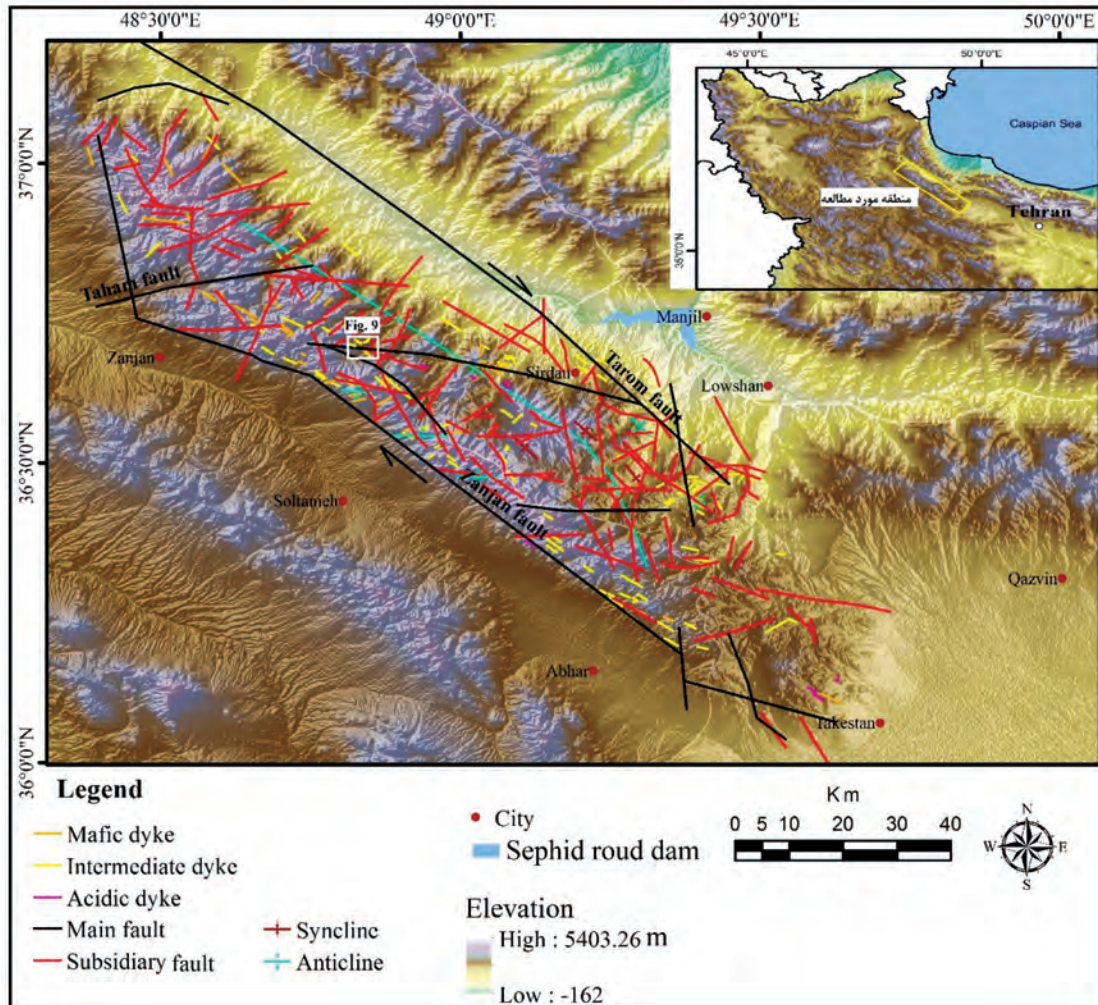
### جایگاه زمین‌شناسی

فلات ایران در طول سنوزوئیک متحمل مجموعه‌ای از تحولات زمین‌شناختی از جمله دگرریختی، ماگماتیسم و کانه‌زایی شده است. زمین‌ساخت کشتی پالئوسن-ائوسن و ولکانیسم مرتبط با فرورانش و بازگشت به عقب اقیانوس نئوتتیس یک مستند مهم رویداد برخوردی صفحه عربی با اوراسیا است (Verdel et al., 2011; Vincent et al., 2005). فرورانش پوسته اقیانوسی نئوتتیس به زیر صفحه ایران و به دنبال آن برخورد صفحه عربی با اوراسیایی در طول کوهزایی آلپ-همالیا منجر به ولکانیسم در پهنه سندج-سیرجان، کمان ماگمایی ارومیه-دختر، کمر بند چین‌خورده-رانده زاگرس و کمر بند ماگمایی البرز شد (Berberian and King, 1981; Stöcklin, 1974). ماگماتیسم در ناحیه البرز-طارم و کمان ماگمایی ارومیه-دختر هم‌زمان رخ داده است (Agard et al., 2011).

پهنه فلززایی طارم واقع در شمال غرب پهنه ارومیه-دختر اغلب از سنگ‌های آتشفشانی، آتشفشانی-آواری و نفوذی به سن ائوسن تشکیل شده و سپس دچار دگرریختی شده‌اند. اکثر واحدهای آتشفشانی و آتشفشانی-آواری منطقه معادل سازند کرج معرفی شده است (Hirayama et al., 1966). لایه‌های سنگ چینه‌ای قابل توجه در منطقه شامل انواع گدازه‌های بازالتی، آندزیتی، ماسه‌سنگ‌ها با میان لایه‌های نرم مثل شیل، توفیت و توفیت شیلی می‌باشند (شکل ۲). در زمان ائوسن-الیگوسن پلوتونیسم خطی پهنه طارم در اعماق کم اتفاق افتاده است (Nabatian et al.,

2007, al.). بنابراین دسته دایک‌ها به‌ویژه نوع مافیک، برای تفسیر فرایندهای ژئودینامیکی و بازسازی جغرافیای دیرین قاره‌ها ضروری هستند (Srivastava, 2011; Hanski et al., 2006). همچنین در صحت سنجی جریان ماگما و وضعیت تنش‌های دیرین ناحیه‌ای حائز اهمیت می‌باشند (Hou, 2012; Platten, 2000; Anderson, 1951). نفوذ دایک‌ها در شبکه‌های شکستگی از پیش موجود در سنگ میزبان به‌وسیله رخنمون‌های ساختاری با کیفیت بالا، واضح و متنوع قابل مشاهده هستند. این به‌عنوان اصلی‌ترین مدل جایگیری شناخته شده از دهه گذشته است (Enrique, 2009; Passchier, 2007). تقاطع دایک‌ها و سیل‌ها با پهنه‌های گسلی، سازندها و دیگر ساختارهای صفحه‌ای، محل بسیار مناسبی برای نهشت کانه‌ها فراهم می‌کند (Lewis, 1955).

دسته دایک‌ها در کمر بند آتشفشانی ارومیه-دختر در ایران تشکیل شده و در شمال غربی این کمر بند و در پهنه فلززایی طارم رخنمون‌هایی از دسته دایک‌ها قابل مشاهده است. پهنه فلززایی طارم از لحاظ جغرافیایی در شمال غرب شهرستان قزوین و از نظر زمین‌ساختی در شمال غرب پهنه ارومیه-دختر واقع شده است. از لحاظ چینه‌شناسی، پهنه مورد مطالعه از واحدهای معادل سازند کرج به سن ائوسن و لایه‌های قرمز نفوذ تشکیل شده است (شکل‌های ۱ و ۲). این پهنه که در فرایند کوهزایی پیرنئن و رویدادهای زمین‌ساختی پس‌از آن ایجاد شده، دربرگیرنده شکستگی‌های متعدد با روندهای گوناگون است. مطالعات پیشین انجام شده در گستره بیشتر به بررسی توده‌های نفوذی، سنگ‌های آتشفشانی-رسوبی و کانه‌زایی در گستره پرداخته‌اند (حیدریان، دهکردی و همکاران، ۱۳۹۶؛ حسین زاده و همکاران، ۱۳۹۵؛ قاسمی سیانی و همکاران، ۱۳۹۵؛ Hirayama et al., 1966). چند مطالعه سنگ‌شناختی نیز بر روی دایک‌های مذکور در گستره انجام شده است (ناظمی و قطب تحریری، ۱۳۹۳؛ قطب تحریری و حق نظر، ۱۳۹۲). ولی به شمار زیادی از دایک‌های موجود در گستره طارم از لحاظ ساختاری توجه کافی نشده است. بنابراین، هدف از این تحقیق، مطالعه دقیق ساختاری دسته دایک‌های مختلف

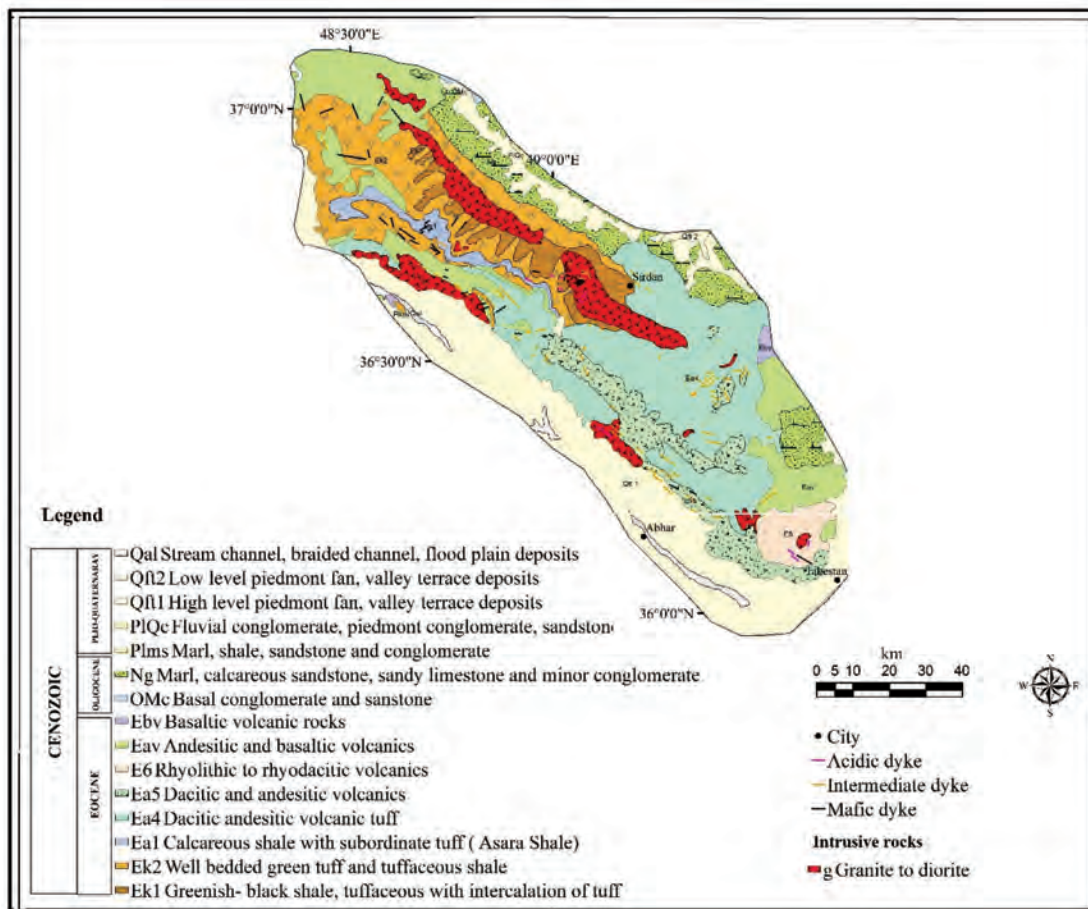


شکل ۱. نقشه ساختاری منطقه مورد مطالعه به همراه دایک‌های موجود. بر گرفته از (Allen et al., 2011; اردکان و همکاران، ۱۳۹۵؛ بهارفیروزی، ۱۳۹۱) با تغییرات

شرقی آن به ترتیب با نام‌های گسل چورزق و پهنه گسلی نهران-سیردان معروف است) تحت تأثیر قرار گرفته است (اردکان و همکاران، ۱۳۹۵؛ بهارفیروزی، ۱۳۹۱). حرکات راستالغز راستبر در هر دو گسل باعث تشکیل پهنه برشی راستبر در منطقه شده است. شکستگی‌های موجود در این سامانه با شکستگی‌های سامانه Riedel (1929) قابل توجهیه هستند (شهبازی و همکاران، ۱۳۹۶). به طوری که چرخش ساعت‌گرد حاصل از این سامانه منجر به ایجاد گسل‌های فرعی (ثانویه) راستبر با روندهای شمال غربی-جنوب شرقی (R)، شمالی-جنوبی و شرقی-غربی (P) و انواع چپ بر با روند شمال شرقی-جنوب غربی (R') شده است (شکل ۱).

نفوذی‌های مذکور ماهیت کلسیمی-قلیایی غنی از پتاسیم و شوشونیتی نشان داده و مرتبط با رویدادهای پس از برخورد می‌باشند (Nabatian and Ghaderi, 2013). دایک‌های منطقه با طول حدود چند متر تا چهار کیلومتر و عرض یک تا ۵۰ متر در هر دو واحدهای آتشفشانی و نفوذی تشکیل شده‌اند. پهنه طارم توسط دو گسل بزرگ و البته فعال به نام‌های گسل شمال زنجان با روند شمال غربی-جنوب شرقی، شیب شمال شرقی و سازوکار معکوس با مولفه راستبر (Allen et al., 2011) و گسل طارم با روند شمال غربی-جنوب شرقی، شیب شمال شرقی و سازوکار معکوس با مولفه راستبر (قطعه‌های جنوب

دایک‌های دوران سنوزوئیک با ترکیب و سن متفاوت در بخش مرکزی پهنه طارم علاوه بر دو روند غالب مختلف، تقاطع‌های جالب توجه‌ای ایجاد کرده‌اند (شکل ۱).



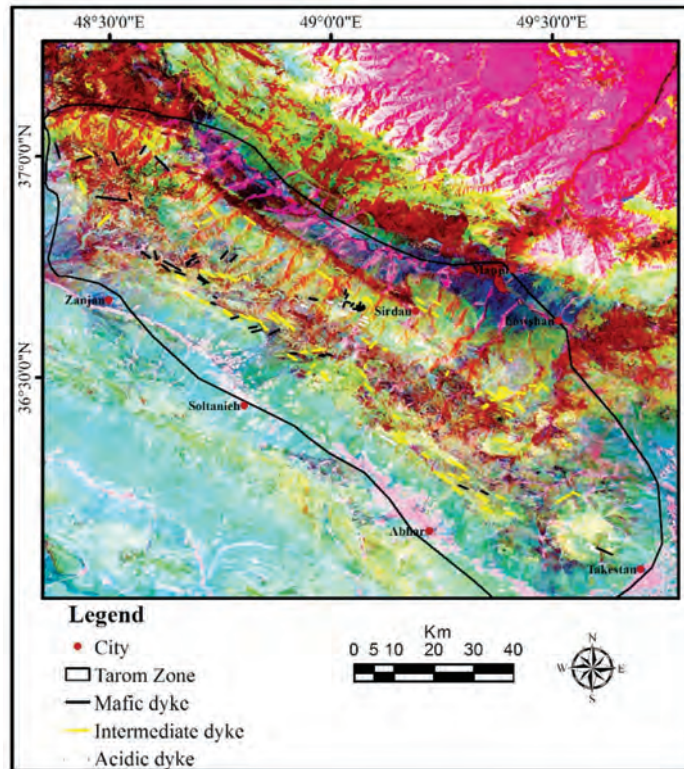
شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی پهنه فلزایی طارم (با اندکی تغییر برگرفته از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ زنجان (Stocklin and Eftekharneshad, 1969) و ۱/۱۰۰۰۰۰ تاکستان (Alai and Fonoudi, 1999)، اسامی واحدها و سازندها براساس اختصارات چینه‌شناسی ایران و نقشه‌های فوق می‌باشد)

## روش مطالعه

### داده‌های ماهواره‌ای و پردازش تصاویر

نسبت‌های بانندی است. بارزسازی‌های طیفی، ترکیبات رنگی کاذب چند طیفی و تصاویر سیاه و سفید تولید کردند که برای تفکیک دایک‌های با ترکیب مختلف (تراکیتی، دیوریتی و گابرویی) در پهنه طارم به کار رفت. برای نسبت گیری بانندی در پژوهش حاضر، از روش رایج Ramadan and Kontny (2004) استفاده شد. نامبردگان دریافتند که نسبت گیری بانندی مطمئن تصاویر TM لندست برای تفکیک واحدهای سنگی دارای اهمیت ویژه است. آنها

تصاویر ماهواره‌ای چند طیفی استفاده شده در این مطالعه، شامل تصاویر سنجنده TM ماهواره لندست ۵ (WRS-۲، مسیور/ردیف ۳۴/۱۶۶ و ۳۵/۱۶۶) ارسال شده در ماه سپتامبر سال ۱۹۸۹ می‌باشد. پس از دریافت تصاویر، چندین مرحله پردازش روی آنها انجام شد. فرایندهای بارزسازی تصویر انجام شده در این پژوهش شامل ساخت

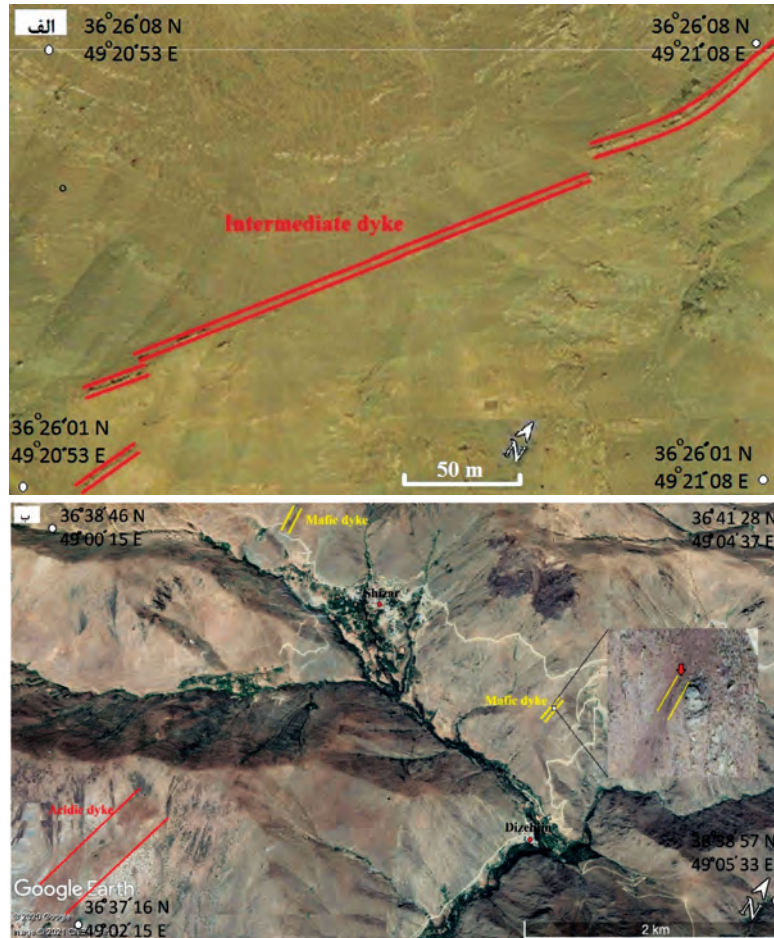


شکل ۳. نسبت‌های باندهی ۵/۷، ۵/۱ و ۴ تصاویر سنجنده TM نمایش داده شده در فضای RGB. دایک‌های حدواسط به رنگ‌های سبز مایل به صورتی و سبز مایل به قهوه‌ای تیره و دایک‌های مافیک به رنگ سبز مایل به آبی آسمانی نمایش داده شده‌اند

مناطق با مناظر خیلی ناهمگن به‌خوبی استفاده می‌شود (Hu et al., 2013; Almeer, 2012). تصاویر گوگل ارث (v6.2.2.6613) در سال ۲۰۲۱ در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفت. برای بهره‌برداری و کنترل داده‌های دیجیتالی مکانی (جغرافیایی) و داده‌های ویژه مرتبط برای رسم نقشه‌ها، از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) استفاده شد (Huisman and By Rolf, 2001). آماده‌سازی و رسم و تهیه نقشه دایک‌های منطقه توسط نرم‌افزار (ArcGIS) نسخه ۱۰/۵ انجام شد. ادامه آماده‌سازی و تهیه تصاویر دایک‌های با روند و نسل‌های مختلف موجود در پهنه طارم با کمک تصاویر گوگل ارث انجام گرفت (شکل ۴-الف و ب). دایک‌های مافیک به دلیل رنگ تیره و ساخت منحصر خود، از سنگ‌های میزبان به سن ترشیری و توده‌های نفوذی به آسانی متمایز می‌شوند. به‌طور کلی، دایک‌ها به‌عنوان پشته‌های دنداندار، مانند تپه‌های مرتب شده خطی ظاهر شدند.

ترکیبات نسبت باندهی ۵/۷، ۵/۱ و ۴ تصاویر TM لندست ۵ را برای تفکیک افیولیت‌ها و واحدهای آتشفشانی متنوع به کار گرفتند. در بررسی‌های خود، سنگ‌های آتشفشانی فلسیک به‌صورت سبز روشن، سنگ‌های آتشفشانی به رنگ سبز تیره و سنگ‌های اولترامافیک به رنگ قرمز ظاهر شدند. با به‌کارگیری نسبت‌های باندهی مشابه برای شناسایی واحدهای پهنه طارم، ترکیب رنگی مشابه‌ای به دست آمد. در نتایج این تحقیق، با استفاده از نسبت‌های باندهی ۵/۷، ۵/۱ و ۴ تصاویر TM، دایک‌های حد واسط به رنگ‌های سبز مایل به صورتی و سبز مایل به قهوه‌ای تیره؛ دایک‌های مافیک به رنگ سبز مایل به آبی کم‌رنگ نمایان شدند (شکل ۳).

نقشه‌های زمین‌شناسی گستره از طریق مشاهدات صحرایی مطالعات پیشین تولید شده‌اند (Hirayama, 1966). در این مطالعه، بررسی‌های صحرایی و تصاویر گوگل ارث برای مقایسه و بررسی صحت تحلیل‌ها و تفاسیر دورسنجی مورد استفاده قرار گرفتند. از این تصاویر در



شکل ۴. الف) تصویر بینگ از دایک‌های با ترکیب حدواسط واقع در شمال روستای بهگانه رود، ب) تصاویر ماهواره ای گوگل ارث از حوالی روستای شیزر دایک‌های مافیک (خطوط زرد رنگ) و اسیدی (خطوط قرمز رنگ)

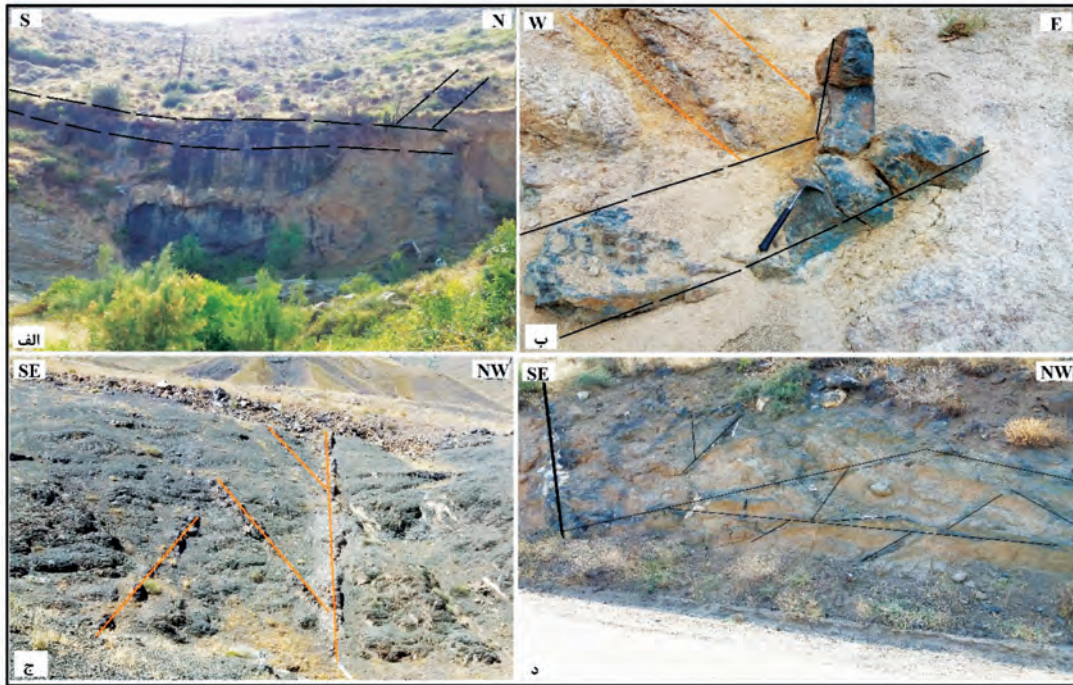
## مطالعات میدانی

که به صورت متقاطع تشکیل شده‌اند. در شمال روستای دیزه جین، دایک‌های مافیک با روند شمال غربی-جنوب شرقی ( $MD_1$ ) و حدواسط با روند شمال غربی-جنوب شرقی ( $ID_1$ ) توسط یک دایک مافیک با روند شمال شرقی-جنوب غربی ( $MD_2$ )، قطع شده است (شکل ۵-الف و ب). این به‌طور آشکار حاکی از آن است که دایک‌های  $MD_2$  از دو نسل  $MD_1$  و  $ID_1$  جوان‌تر هستند. در شرق روستای سزنگ دایک‌های حدواسط با روند شمالی-جنوبی ( $ID_2$ ) توسط نوع حدواسط با روند شمال شرقی-جنوب غربی ( $ID_3$ ) قطع شده‌اند که حاکی از زمان تشکیل قدیمی‌تر آنها نسبت به  $ID_3$  است (شکل ۵-ج). در بررسی‌های میدانی، سن انواع دسته درزه‌های موجود در منطقه نسبت به انواع دایک نیمه

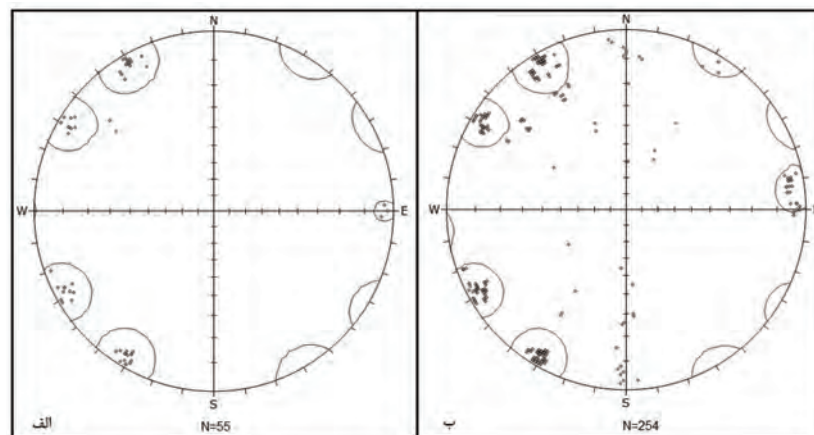
مطالعات صحرایی مفصلی برای اثبات و بررسی متقابل داده‌های جمع‌آوری شده از طریق تصاویر گوگل ارث، تحلیل‌های دورسنجی و سامانه اطلاعات جغرافیایی، انجام شده است. تقاطع بین نسل‌های مختلف دایک‌ها و سنگ‌های میزبان در این زمینه بررسی شده است. این روش می‌تواند بهترین گزینه برای تفسیر سن نسبی آنها باشد. از لحاظ ترکیبی، منطقه مورد مطالعه شامل سه دسته مهم دایک‌های با روند مختلف است که قطع شدگی متقابل را نشان می‌دهند (شکل ۵). بررسی‌های صحرایی از نقاط و مکان‌های مختلف از جمله شیزر، مقانک، دیزه جین، سزنگ، بهگانه رود و زه آباد انجام شده است. در اکثر این مکان‌ها، دایک‌های با ترکیب و روندهای مختلف وجود دارند

شده است (شکل ۵-د). به عبارت دیگر، پیروی دایک‌ها از شکستگی‌های از پیش موجود حاکی از تشکیل پس از زمین‌ساخت آنها می‌باشد. اشغال درزه‌های از پیش موجود توسط دایک‌های ماگمایی، به کمک تصاویر استریوگرافیک و نمودارهای گلسرخی نیز قابل نتیجه‌گیری هستند (شکل‌های ۶-الف و ب؛ ۷-الف-ت).

قائم بررسی شد (شکل ۵-د). یافته‌های جدید به شرح زیر می‌باشد: شواهد میدانی نشان می‌دهد نفوذ دایک‌ها درون درزه‌های از پیش موجود است به طوری که اکثر درزه‌های از پیش موجود با آزیموت  $N 120-150$  و  $N 115-130$  درجه، دایک‌زایی را کنترل کرده است. مناسب‌ترین پایانه‌های گسلی برای نفوذ دایک‌ها، دسته درزه‌های با آزیموت  $150-N 120$  درجه هستند که اغلب دایک‌ها در امتداد آنها تشکیل



شکل ۵. شکل‌های انواع دسته دایک‌ها در نقاط مختلف منطقه، الف و ب) دایک‌های مافیک و حدواسط (رنگ نارنجی) واقع در شمال روستای دیزه جین با روند شمال غربی-جنوب شرقی که توسط انواع مافیک با روند شمال شرقی-جنوب غربی قطع شده‌اند، ج) قطع شدن دایک‌های حدواسط با روند شمالی-جنوبی توسط نوع شمال شرقی-جنوب غربی د) جایگیری دایک‌های مافیک درون شکستگی‌های ثانویه از پیش موجود در منطقه

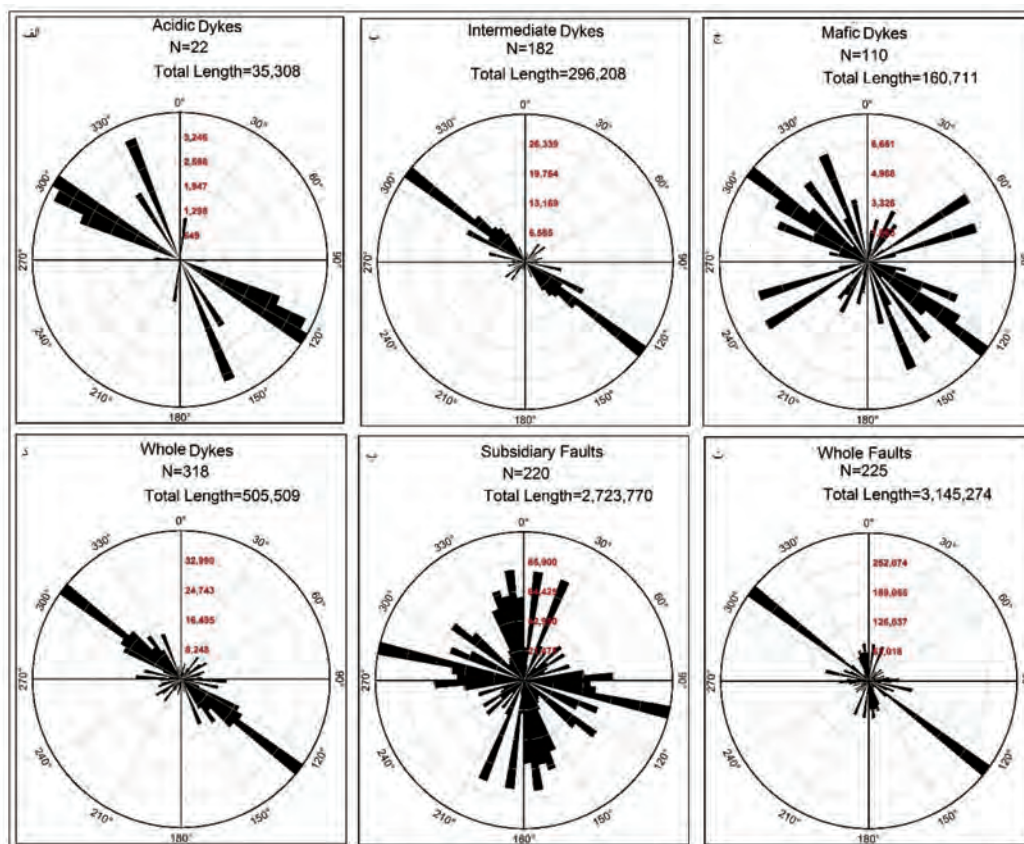


شکل ۶. نمودارهای استریوگرافیک مربوط به، الف) قطب دایک‌ها، ب) قطب درزه-گسل‌های پهنه طارم

## بحث

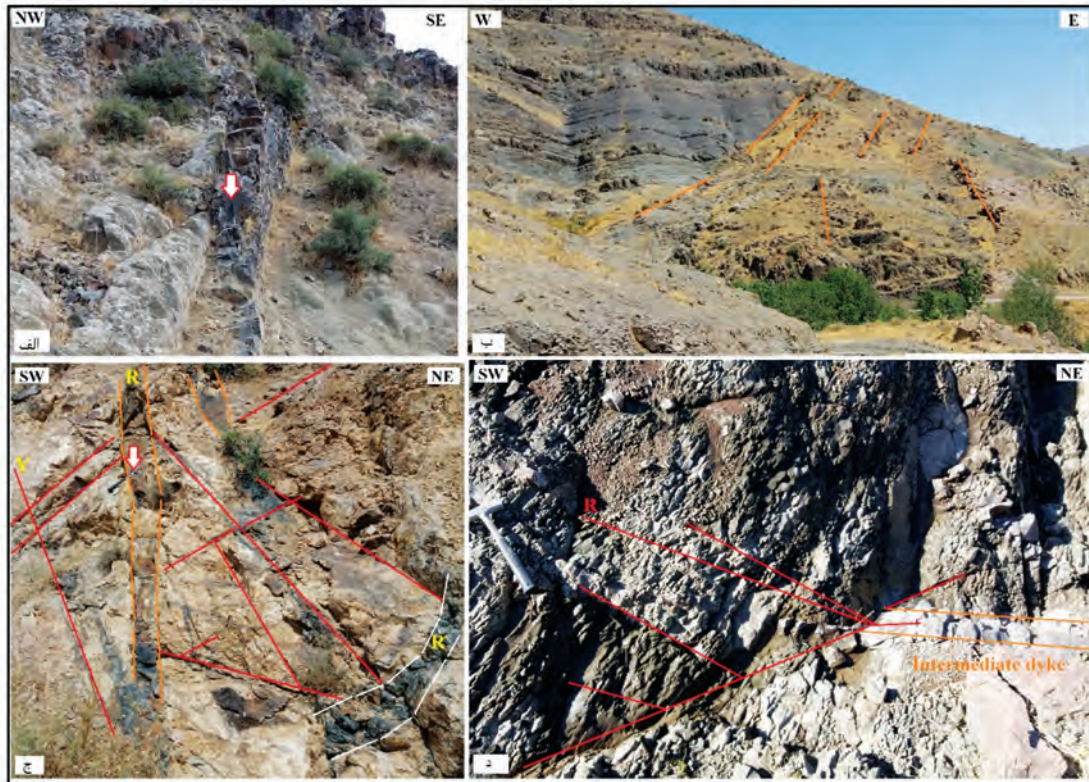
گسل منجر به تشکیل پهنه برشی ساده راسترو در منطقه شده است (شهبازی و همکاران، ۱۳۹۶). دسته دایک‌های پهنه طارم در یک ناحیه به وسعت تقریبی ۶۰۰۰ کیلومتر مربع درون واحدهای آتشفشانی ائوسن اغلب با ترکیب توفیت و آندزیت به تبعیت از دو گسل مذکور و درزه‌های ثانویه حاصل از فعالیت آنها نفوذ کرده‌اند (شکل‌های ۲ و ۸-الف). دایک‌های مذکور یک آرایش خطی سامانمند و موازی نشان می‌دهند که با روند گسل‌های غالب گستره با امتداد شمال غربی-جنوب شرقی و شمال شرقی-جنوب غربی انطباق خوبی دارند (شکل ۸-ب). بر پایه Hou et و Hou (2012) و al. (2010)، دایک‌های طارم مشابه با دایک‌های موازی هستند. دایک‌های با روند شمال غربی-جنوب شرقی و شمال شرقی-جنوب غربی به ترتیب منطبق بر صفحه شکستگی‌های از پیش موجود نوع ریدل (R) و آنتی ریدل (R') هستند (شکل ۸-ج).

پژوهشگران برای مطالعات ساختاری و سنگ‌شناختی دایک‌ها از روش‌های مختلف دورسنجی استفاده می‌کنند. به‌عنوان مثال، (1981, 1980) Hunt and و Ashley (1979) برای تفکیک واحدهای سنگ‌شناسی، روش نسبت‌گیری بانندی تصاویر TM لندست ۵ را به کار گرفتند. همچنین کنترل ساختاری دایک‌های موجود در پهنه‌های برشی شکننده نیز بسیار مورد توجه قرار گرفته است (Isola et al., 2014; Misra et al., 2014). در این پژوهش، ارتباط بین ساختارهای زمین‌ساختی و رخنمون دایک‌های پهنه فلزایی طارم به‌طور دقیق مورد بررسی قرار گرفت. گسل‌های مورب لغز شمال زنجان و طارم با روند شمال غربی-جنوب شرقی در حاشیه پهنه طارم و حرکات تعاملی آنها، مهم‌ترین عامل کنترل ساختاری دایک‌های گستره شناسایی شدند. حرکات راستالغز راسترو در هر دو



شکل ۷. الف-د) نمودارهای گلسرخی مربوط به انواع مختلف دایک، پ) نمودار گلسرخی که روند گسل‌های ثانویه را به نمایش می‌گذارد، ت) روند گسل‌های اصلی حاصل از روش‌های زمین-اطلاعاتی نیز در این شکل نشان داده شده است



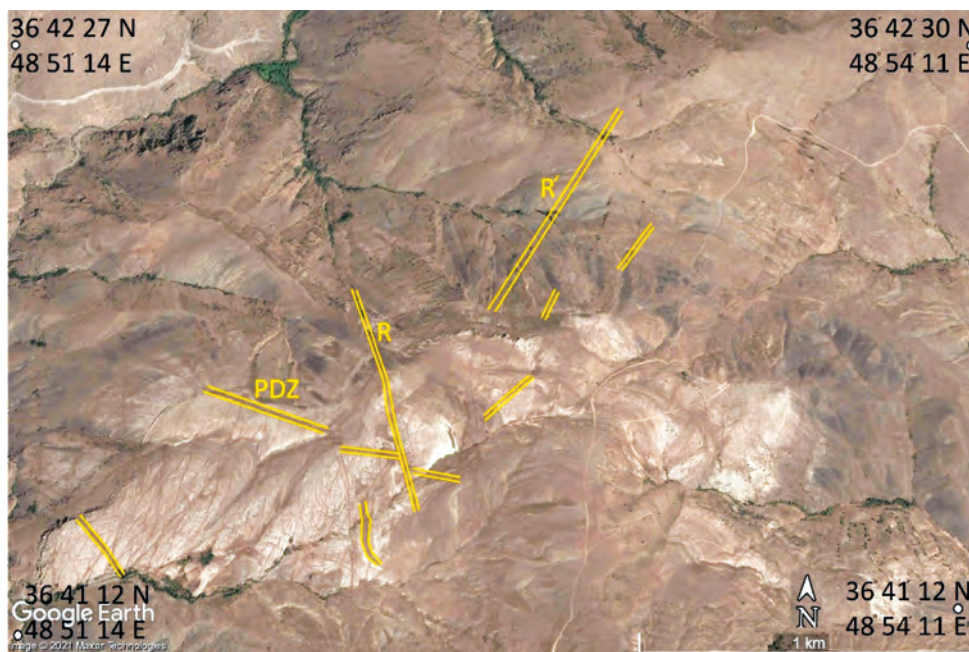


شکل ۸. الف) نفوذ یک دایک مافیک درون توف آندزیتی، ب) دایک‌های سامانمند نفوذی درون گسل‌های ریدل (R) که به صورت موازی با آنها دیده می‌شوند، ج) دایک نفوذی درون برش‌های ریدل و آنتی ریدل (R')، د) برش‌های ریدل (خطوط قرمز) در طول حاشیه و پایانه دایک‌های حدواسط با روند شمال شرقی-جنوب غربی

در نظر گرفت. درزه-گسل‌های نیمه قائم با روند آزیموتی  $150-120$  N و  $60-30$  N دو دسته غالب در گستره را تشکیل می‌دهند. مناسب‌ترین دسته‌های درزه برای نفوذ دایک‌ها، دسته‌های با آزیموت  $120$  N و  $60$  N درجه هستند (شکل ۵-الف و ب). دسته‌های ثانویه دیگر که توسط دایک‌ها اشغال شده شامل دسته نیمه قائم با روند  $30$  N و  $150$  N می‌باشند (شکل ۵-د). بنابراین، مشاهدات میدانی و تحلیل‌های دورسنجی حاکی از کنترل دایک‌ها توسط درزه-گسل‌های از پیش موجود است. در نهایت، عامل اصلی کنترل ساختاری دایک‌های منطقه طارم، شکستگی‌های ریدل (R) و آنتی ریدل (R') هستند که حاصل دگرریختی برش ساده حاصل از تعامل گسل‌های اصلی (گسل‌های شمال زنجان و طارم) در پهنه مذکور می‌باشند (شکل ۹). تحقیق حاضر علاوه بر معرفی الگوی توزیع دسته دایک‌ها در مقیاس پهنه طارم، زمینه مناسبی را برای مطالعات جامع

دایک‌زایی می‌تواند از قبل، هم‌زمان یا پس از فعالیت‌های زمین ساختی رخ دهد. هنگامی که دایک‌زایی پس از دگرریختی زمین ساختی رخ دهد، دایک‌ها ممکن است در پهنه‌های کم پایدار و صفحات دگرشکل زمین ساختی از پیش موجود نفوذ کنند (Misra et al., 2016). دایک‌های منطبق بر صفحات R و R' یکی از بهترین شواهد ماگماتیسم پس از رخداد زمین ساختی را به نمایش می‌گذارند و همچنین وجود صفحات R و P در طول مرز دایک‌ها شاید دلیل بر تشکیل هم‌زمان با دگرریختی آنها است (Misra et al., 2016). در پهنه طارم، صفحات R در طول مرز دایک‌های حدواسط (ID<sub>3</sub>) مشاهده شدند که شاید حاکی از رخداد هم‌زمان با زمین ساخت آنها می‌باشد (شکل ۸-د). بنابراین برخی از دایک‌های با ترکیب حدواسط در پهنه طارم را می‌توان به‌عنوان هم‌زمان با دگرریخت درحالی که انواع اسیدی و مافیک را مرتبط با نفوذی‌های پس از دگرریخت

مرتبط با دایک در مقیاس ناحیه‌ای در آینده فراهم کند. به‌طور کلی، تحلیل‌های دورسنجی، شواهد میدانی و تصاویر گوگل ارث، یک ابزار مفیدی در تهیه نقشه دایک‌های یک منطقه ارائه می‌کنند و در نهایت به مطالعات ساختاری و سن‌نسی دایک‌های یک منطقه کمک زیادی می‌کنند. با استفاده از روش‌های مذکور به همراه تحلیل‌های ArcGIS نقشه دایک‌های پهنه طارم تهیه شد. تهیه نقشه دقیق دایک‌های هر منطقه حائز اهمیت است چرا که دایک‌ها آثار بسیار مهمی از تکامل یک حوضه، رژیم‌های زمین‌ساختی و وضعیت مناطق دارای کانی‌های آبدار مرتبط با پهنه‌های دگرسانی ذخایر معدنی را نشان می‌دهند (Khan and Glenn, 2006; Tangestani and Moore, 2001). در مقیاس ناحیه‌ای، دایک‌های با عرض و امتداد مختلف، الگوهای توزیع مکانی دقیق شکستگی‌های اشغال شده توسط دایک‌ها و شدت نفوذی‌های ماگمایی مافیک را شرح می‌دهد (Feng et al., 2019). اهمیت دایک‌ها در تشکیل پوسته جدید در برخی پهنه‌های سنوزوئیک به اثبات رسیده است (Chen et al., 2013; Li et al., 2005a). همواره جای‌گیری دسته دایک‌های پس از کوهزایی، به دنبال ماگماتیسم گرانیتی بزرگ مقیاس رخ می‌دهند. بازه ترکیبی دایک‌های مذکور بسیار گسترده است و در حجم کوچکی نسبت به نفوذی گرانیتی مرتبط تشکیل می‌شوند (Luo et al., 2008). بنابراین، تشکیل این دایک‌ها شاید مربوط به زمان گذار میدان‌های تنش زمین‌ساختی از فشارش به کشش بوده و نشانگر پایان یک چرخه کوهزایی می‌باشد (Luo et al., 2008).



شکل ۹. بزرگ‌نمایی از موقعیت چهار ضلعی موجود در شکل ۱ که نشانگر نفوذ دایک‌های با ترکیب حد واسط در راستای پهنه اصلی دگربرختی (PDZ) و درون شکستگی ریدل (R) و آنتی ریدل (R') حاصل از گسل‌های طارم و زنجان

## نتیجه‌گیری

بر اساس روابط قطع‌شدگی‌های میدانی، تصاویر گوگل ارث و تحلیل‌های ArcGIS، نقشه دقیق دایک‌های سنوزوئیک پهنه طارم تهیه شد که بر اساس آن توزیع انواع دایک‌های مافیک، حدواسط و اسیدی به همراه روند آنها مشخص شدند. دایک‌های مافیک و حدواسط در چهار دسته با روندهای  $N ۰۳۰$ ،  $N ۰۶۰$ ،  $N ۱۲۰$  و  $N ۱۵۰$  و دایک‌های اسیدی در دو دسته با روندهای  $N ۱۲۰$  و  $N ۱۵۰$  شناسایی شدند. بر پایه روابط میدانی، دایک‌های مافیک با روند شمال شرقی-جنوب غربی جوان‌تر از انواع حدواسط و مافیک با

- و تحقیقات، ۱۹۲.
- حسین زاده، م. ر. مغفوری، س. مؤید، م. فریداصل، و، ۱۳۹۵. معرفی کانسار مس ماری به عنوان یک ذخیره چینه کران مانتو در پهنه طارم، شمال غرب ایران. فصلنامه زمین‌شناسی ایران، ۳۸، ۳۷-۱۷.
- حیدریان دهکردی، ن. توکل، م. ح. پورمحمدی، س.، ۱۳۹۶. پتانسیل سنجی رسوبات آبراهه ای منجیل با استفاده از GIS. فصلنامه زمین‌شناسی ایران، ۴۳، ۴۳-۱۰۸-۹۵.
- شهبازی، س. قادری، م. و معدنی پور، س.، ۱۳۹۶. نقش پهنه نیمه شکنای زنگان-منجیل در کنترل کانه زایی سرب-روی-طلا-نقره (مس) زه آباد، شمال غرب قزوین. سی و ششمین گردهمایی و سومین کنگره بین المللی تخصصی علوم زمین، ۱۲۲-۱۱۰.
- قاسمی، س. مهرابی، ب. عزیزی، ح.، ۱۳۹۵. کانی شناسی، ژئوشیمی و دگرسانی کانه‌ها در رگه‌های اپی ترمال کانسار گلوچه، شمال زنگان. فصلنامه زمین‌شناسی ایران، ۴۲، ۲۵-۱.
- قطب تحریری، ف. و حق نظر، ش.، ۱۳۹۲. پتروگرافی و ژئوشیمی آنکلاوها در گرانیتوئید چیذر در جنوب غرب منجیل. هفدمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، ۲۴۵-۲۳۷.
- ناظمی، ا. و قطب تحریری، ف.، ۱۳۹۳. پترولوژی، ژئوشیمی و کانی‌سازی در گرانیت‌ها و دایک‌های چیذر در جنوب غرب منجیل. دومین همایش ملی پترولوژی کاربردی، ۴۹۴-۴۸۰.
- نبوی، م. ح.، ۱۳۵۵. دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی ایران. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور. ۱۱۰.
- Agard, P., Omrani, J., Jolivet, L., Whitechurch, H., Vrielynck, B., Spakman, W., Monié, P., Meyer, B. and Wortel, R., 2011. Zagros orogeny: a subduction-dominated process. *Geological Magazine*, 148, 692-725.
- Airoldi, G., Muirhead, J.D., White, J.D. L. and Rowland, J., 2011. Emplacement of magma at shallow depth: insights from field relationships at Allan Hills, south Victoria Land, East Antarctica. 23, 281-296.
- Alai-Mahabadi, S. and Fonoudi, M., 1999.

روند شمال غربی-جنوب شرقی و شمالی-جنوبی هستند. شواهد میدانی حاکی از کنترل ساختاری دایک‌های پهنه طارم توسط شکستگی‌های ریدل و آنتی ریدل اغلب با روند ۱۲۰ N است. عامل اصلی کنترل ساختاری دایک‌های گستره طارم، شکستگی‌های ریدل (R) و آنتی ریدل (R') هستند که حاصل دگربرختی برش ساده حاصل از تعامل گسل‌های اصلی (گسل‌های شمال زنگان و طارم) در پهنه مذکور می‌باشند. این مطالعه، علاوه بر معرفی الگوی توزیع دایک‌های گستره، زمینه مناسبی را برای مطالعات جامع مرتبط با دایک از جمله ارتباط میان دایک‌های مختلف با کانه زایی‌های موجود در منطقه فراهم می‌کند. در نهایت، مطابق بررسی‌های پژوهش حاضر، دایک‌های با ترکیب حدواسط هم‌زمان با دگربرختی تشکیل شده‌اند درحالی‌که انواع مافیک و اسیدی مربوط به نفوذی‌های پس از دگربرخت زمین‌ساختی می‌باشند.

## سپاسگزاری

این تحقیق بخشی از رساله دکتری نویسنده اول و بر اساس حمایت‌های مالی دانشگاه گلستان انجام شده است. نویسندگان مراتب سپاس خود را از بخش پژوهشی و فناوری دانشگاه ابراز می‌دارند. همچنین از دانشگاه پیام نور مرکز قزوین و دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنگان جهت همکاری در زمینه انجام عملیات صحرایی تقدیر و تشکر می‌شود. از لطف و محبت سردبیر محترم مجله و پیشنهادهای داوران محترم که در چنین شرایط کرونایی وقت ارزشمند خویش را در جهت بهبود پیش‌نویس مقاله ارائه نمودند نهایت تشکر و قدردانی را داریم.

## منابع

- اردکان، م. شبانین، ا. منصف، ا.، ۱۳۹۵. بررسی نقش جنبشهای سنوزویک (الیگوسن-کواترنری) در شکل گیری دره طارم. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنگان، ۱۰۱.
- بهارفیروزی، خ.، ۱۳۹۱. بررسی زمین‌شناسی اقتصادی و پتروژنز کانی‌سازی‌های طلا در پهنه‌های سیلیسی موجود در مجموعه ماگمایی ترشیری جنوب باختر سیلان. پایان نامه دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم

- Geologic map of the Takestan. Geological Survey and Mineral Exploration of Iran scale 1:100,000.
- Allen, M. B., Kheirkhah, M., Emami, M. H. and Jones, S. J., 2011. Right-lateral shear across Iran and kinematic change in the Arabia-Eurasia collision zone. *Geophysical Journal International* 184, 555-574.
  - Almeer, M.H., 2012. Vegetation extraction from free Google Earth Images of deserts using a robust BPNN approach in HSV space. *International Journal of Advanced Research Comp. Commun. England* 1, 3, 134-140.
  - Anderson, E.M., 1951. *The Dynamics of Faulting and Dyke Formation with Applications to Great Britain*. Oliver and Boyd Edinburgh, 133-147.
  - Berberian, M. and King, G.C.P., 1981. Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 18, 210-265.
  - Bons, P.D., Dougherty-Page, J. and Elburg, M.A., 2001. Stepwise accumulation and ascent of magmas. *Journal of Metamorphic Geology*, 19, 627-633.
  - Brown, M., 2010. The spatial and temporal patterning of the deep crust and implications for the process of melt extraction. *Philosophical Transactions of the Royal Society A Mathematical Physical and Engineering Sciences*, 368, 11-51.
  - Brown, M. and Solar, G.S., 1999. The mechanism of ascent and emplacement of granite magma during transpression: a syntectonic granite paradigm. *Tectonophysics*, 312, 1-33.
  - Castro, A., Aghazadeh, M., Badrzadeh, Z. and Chirro, M., 2013. Late Eocene-Oligocene postcollisional monzonitic intrusions from the Alborz magmatic belt, NW Iran: an example of monzonite magma generation from a metasomatized mantle source. *Lithos*, 180, 109-127.
  - Chen, N.H., Dong, J.J. and Li, Z.L., 2013. Permian crustal extension of Beishan area in Xinjiang, NW China: estimation from the statistical thickness of exposed mafic dyke swarms. *Acta Petrol Sinica* 29, 10, 3540-3546.
  - Druguet, E., Czeck, D.M., Carreras, J. and Castaño, L.M., 2008. Emplacement and deformation features of syntectonic leucocratic veins from the Rainy Lake zone (Western Superior Province, Canada). *Precambrian Research*, 163, 384-400.
  - Enrique, P., 2009. Las espesartitas, campotonitas y bostonitas del complejo intrusivo de Aiguablava (Cadenas Costeras Catalanas): cartografía y composición. *Geogaceta*, 47, 125-128.
  - Feng, Q., Li, J., Liu, J. and Zhou K., 2019. Spatial and Temporal Distribution Patterns of Mafic Dyke Swarms in Central Asia: Results from Remote-Sensing Interpretation and Regional Geology; Springer Nature Singapore, 315-333.
  - Hanski, E., Mertanen, S., Rämö, T. and Vuollo, J. (Ed.), 2006. *Dyke Swarms-Time Markers of Crustal Evolution*. Taylor and Francis, London, 282.
  - Hirayama, K., Samimi, M., Zahedi, M. and Hushmandzadeh, A., 1966. *Geology of the Tarom district, western part (Zanjan area, northwest Iran)*, with 1:100,000 map. Geological Survey of Iran, Tehran, Report 8.
  - Hou, G.T., 2012. Mechanism for Three Types of Mafic Dyke Swarms. *Geoscience Frontiers*, 3, 217-223.
  - Hou, G.T., Kusky, T.M., Wang, C.C. and Wang, Y.X., 2010. Mechanics of the Giant Radiating Mackenzie Dykes Warm: A Palaeo Stress Field Modeling. *Journal of Geophysical Research*, 115, 1-14.
  - Hu, Q., Wu, W., Xia, T., Yu, Q., Yang, P., Li, Z. and Song, Q., 2013. Exploring the use of Google Earth Imagery and objectbased methods in land use/cover mapping. *Remote Sensing*, 5, 6026-6042.
  - Huisman, O. and By-Rolf, A. (ed.), 2001. *Principles of Geo-graphic Information Systems*

- (The International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation). 540.
- Hunt, G.R. and Ashley, R.P., 1979. Spectra of altered rocks in the visible and near infrared. *Economic Geology*, 74, 1613-1629.
  - Hunt, G.R., 1981. Spectra of kaolin minerals in altered volcanic rocks. *Clays and Clay Minerals*, 29, 76-81.
  - Hunt, G.R., 1980. Electromagnetic radiation: the communication link in remote sensing. In *Remote Sensing in Geology*, B S Siegal and A R Gillespie (Eds), 5-45.
  - Isola, I., Mazzarini, F., Bonini, M. and Corti, G. 2014. Spatial variability of volcanic features in early-stage rift settings: the case of the Tanzania Divergence, East African rift system. *Terra Nova*, 26, 461-468.
  - Khan, S.D. and Glenn, N.F., 2006. New strike-slip faults and litho-units mapped in Chitral (N. Pakistan) using field and ASTER data yield regionally significant results. *International Journal of Remote Sensing*, 27, 4495-4512.
  - Lewis, D.V., 1955. Relationships of ore bodies to dikes and sills. *Society of Economic Geologists. Inc. Economic Geology*, 50, 495-516.
  - Li, X.Z., Han, B.F. and Li, Z.H., 2005a. Mechanism of the Karamay basic-intermediate dyke swarm from Xinjiang and tectonic implications. *Geological Review*, 51, 5, 51.7.
  - Luo, Z.H., Lu, X.X. and Wang, B.Z., 2008. Post-orogenic dike complexes and implications for metallogenesis. *Earth Science Frontiers*, 15,4, 1-12.
  - Misra, K.S., 2016. Extensional tectonics, rifting, formation of sedimentary basins, Cretaceous volcanism, emplacement of dyke swarms and development of hydrocarbon pools: case studies from peninsular India and Indian ocean region; The seventh international dyke conference dyke swarms. *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, 61-62.
  - Misra, A.A., Bhattacharya, G., Mukherjee, S. and Bose, N., 2014. Near N-S paleo-extension in the western Deccan region, India: does it link strike-slip tectonics with India-Seychelles rifting? *International Journal of Earth Sciences*, 103, 1645-1680.
  - Nabatian, G. and Ghaderi, M., 2013. Oxygen isotope and fluid inclusion study of the Sorkhe-Dizaj iron oxide apatite deposit, NW Iran. *International Geology Review*, 55, 397-410.
  - Nabatian, G., Jiang, S.Y., Honarmand, M. and Neubauer, F., 2016. Zircon U-Pb ages, geochemical and Sr-Nd-Pb-Hf isotopic constraints on petrogenesis of the Tarom-Olya pluton, Alborz magmatic belt, NW Iran. *Lithos*, 244, 43-58.
  - Paquet, F., Dauteuil, O., Hallot, E. and Moreau, F., 2007. Tectonics and magma dynamics coupling in a dyke swarm of Iceland. *Journal of Structural Geology*, 29, 1477-1493.
  - Passchier, C.W., 2007. Photograph of the month. *Journal of Structural Geology*, 29, 1871.
  - Platten, I.M., 2000. Incremental dilation of magma filled fractures: evidence from dykes on the Isle of Skye. Scotland. *Journal of Structural Geology*, 22, 1153-1164.
  - Ramadan, T. and Kontny, A., 2004. Mineralogical and structural characterization of alteration zones detected by orbital remote sensing at Shalatin District area, SE Desert, Egypt. *Journal of African Earth Sciences*, 40, 89-99.
  - Riedel, W., 1929. Zur Mechanik geologischer Brucherscheinungen. *Zentralblatt für Mineralogie Abteilung B*, 354-368.
  - Srivastava, R.K. (Ed.), 2011. *Dyke Swarms: Keys for Geodynamic Interpretation*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 601.
  - Stöcklin, J., 1974. Possible ancient continental margins in Iran. In: Burk, C.A., Drake, C.L. (Eds.). *The Geology of Continental Margins*, Springer, Berlin, 873-887.
  - Stocklin, J. and Eftekhari-Nezhad, J., 1969.

Explanatory text of Zanjan quadrangle map. Geological Society of Iran, Rep, D4, scale 1: 250,000.

- Tangestani, M.H. and Moore, F., 2001. Comparison of three principal component analysis techniques to porphyry copper alteration mapping: a case study, Meiduk area, Kerman, Iran. Canadian Journal of Remote Sensing, 27, 176-181.
- Verdel, C., Wernicke, B.P., Hassanzadeh,

J. and Guest, B., 2011. A Paleogene extensional arc flare-up in Iran. Tectonics, 30, TC3008.

- Vincent, S.J.M.B., Allen, A.D., Ismail-Zadeh, R., Flecker, K.A., Foland, M.D. and Simmons., 2005. Insights from the Talysh of Azerbaijan into the Paleogene evolution of the South Caspian region. Geological Society of America Bulletin, 117, 1513-1533.