بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده علوم پایه

رساله دوره دکتری زمین‌شناسی گرایش پترولوژی

[منشاء و تحولات سنگهای آتشفشانی بازیک-حدواسط غرب نایین]

[هادی یگانه‌فر]

استاد راهنما:

[دکتر محمدرضا قربانی]

استاد مشاور:

[دکتر مجید قادری]

بهمن ۱۳۹۱

دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده علوم پایه

بسمه تعالی

تأییدیه اعضای هیأت داوران حاضر در جلسه دفاع از رساله دکتری

آقای **هادی یگانه فر** دانشجوی دکتری **زمین شناسی پترولوژی** رساله ۲۴ واحدی خود را باعنوان: « **منشأ و تحولات سنگهای آتشفشانی بازیک- حدواسط غرب نایین** » در تاریخ **۹۱/۱۰/۱۰** ارائه کردند. اعضای هیأت داوران نسخه نهایی این رساله را از نظر فرم و محتوا تایید کرده است و پذیرش آن را برای تکمیل درجه دکتری پیشنهاد می‌کند.

اعضای هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	رتبهٔ علمی	امضاء
۱ـ استاد راهنما	دکتر محمدرضا قربانی	استادیار	
۲ـ استاد مشاور	دکتر مجید قادری	استادیار	
۳ـ استاد ناظر داخلی	دکتر حاج حسین عزیزی	دانشیار	
۴ـ استاد ناظر داخلی	دکتر نعمت اله رشیدنژاد عمران	استادیار	
۵ـ استاد ناظر خارجی	دکتر حسن میرنژاد	دانشیار	
۶ـ استاد ناظر خارجی	دکتر مرتضی خلعتبری	استادیار	
۷ـ نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر حاج حسین عزیزی	دانشیار	

آیین‌نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهشهای علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی و فناوری دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیأت علمی، دانشجویان، دانش‌آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد زیر را رعایت نمایند:

ماده ۱- حق نشر و تکثیر پایان نامه/ رساله و درآمدهای حاصل از آنها متعلق به دانشگاه می باشد ولی حقوق معنوی پدید آورندگان محفوظ خواهد بود.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان‌نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و با تایید استاد راهنمای اصلی، یکی از اساتید راهنما، مشاور و یا دانشجو مسئول مکاتبات مقاله باشد. ولی مسئولیت علمی مقاله مستخرج از پایان نامه و رساله به عهده اساتید راهنما و دانشجو می باشد.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش‌آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب، نرم افزار و یا آثار ویژه (اثری هنری مانند فیلم، عکس، نقاشی و نمایشنامه) حاصل از نتایج پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی کلیه واحدهای دانشگاه اعم از دانشکده ها، مراکز تحقیقاتی، پژوهشکده ها، پارک علم و فناوری و دیگر واحدها باید با مجوز کتبی صادره از معاونت پژوهشی دانشگاه و براساس آئین نامه های مصوب انجام شود.

ماده ٤- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه یافته ها در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق معاونت پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ٥- این آیین‌نامه در ٥ ماده و یک تبصره در تاریخ۸۷/٤/۱ در شورای پژوهشی و در تاریخ ۸۷/٤/۲۳ در هیأت رئیسه دانشگاه به تایید رسید و در جلسه مورخ ۸۷/۷/۱۵ شورای دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب در شورای دانشگاه لازم‌الاجرا است.

«اینجانب هادی [illegible] ..... دانشجوی رشته [illegible] ..... ورودی سال تحصیلی ۱۳۸۷ ..... مقطع دکتری ..... دانشکده علوم پایه ..... متعهد می شوم کلیه نکات مندرج در آئین نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش های علمی دانشگاه تربیت مدرس را در انتشار یافته های علمی مستخرج از پایان نامه / رساله تحصیلی خود رعایت نمایم. در صورت تخلف از مفاد آئین نامه فوق الاشعار به دانشگاه وکالت و نمایندگی می دهم که از طرف اینجانب نسبت به لغو امتیاز اختراع بنام بنده و یا هر گونه امتیاز دیگر و تغییر آن به نام دانشگاه اقدام نماید. ضمناً نسبت به جبران فوری ضرر و زیان حاصله بر اساس برآورد دانشگاه اقدام خواهم نمود و بدینوسیله حق هر گونه اعتراض را از خود سلب نمودم»

امضا: .....

تاریخ: ۹۱/۱۱/۹

آیین نامه چاپ پایان‌نامه (رساله)های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله)های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه،دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله)ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد/ رساله دکتری نگارنده در رشته است که در سال

در دانشکده دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی سرکار

خانم/جناب آقای دکتر ، مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر

و مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت‌چاپ) را به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر درمعرض فروش قرار دهد.

ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت‌مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می‌دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب هادی یگانه فر دانشجوی رشته زمین شناسی مقطع دکتری

تعهد فوق وضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی:

تاریخ و امضاء: ۹۸/۱۰/۹

تقدیم به ...

همسرم فرزانه

تشکر و قدردانی

و سپاس بی‌کران بر همه عزیزانی که در مسیر تعالی انسانها، مخلصانه و عاشقانه گام می‌نهند، آموزگاران و معلمین ارجمندی که قطره قطرهٔ وجود خویش را در قالب علم و دانش به من آموختند، خاصه استادان معظمی که در راه انجام این تحقیق مرا یاری رساندند، استاد راهنما، آقای دکتر محمدرضا قربانی که با تواضع هدایت پایان‌نامه را به عهده گرفتند و استاد مشاور، آقای دکتر مجید قادری که از مشاوره ایشان بهره‌مند شدم. از جناب آقای پروفسور ریوچی شینجو که در طی فرصت مطالعاتی ۸ ماهه اینجانب نهایت همکاری را داشتند و تمام آنالیزهای رساله اینجانب را در آزمایشگاه دانشگاه ریوکیوس به انجام رساندند، بی‌نهایت سپاسگزارم. از خانواده پروفسور الشریف استاد ایرانی دانشگاه ریوکیوس و آقای پروفسور کاتاوکا استاد هنر این دانشگاه که در طی اقامت در کشور ژاپن از الطاف ایشان بهره‌مند شدم، تشکر می‌نمایم. از خانواده عزیزم به پاس محبت‌های بی‌دریغ‌شان نهایت سپاس و تشکر را دارم. و در پایان از بخش‌های مختلف دانشگاه تربیت مدرس و سایر عزیزانی که نامشان از قلم افتاده است، تشکر و قدردانی می‌نمایم.

چکیده:

منطقه مورد مطالعه واقع در غرب نایین و در بخش مرکزی مجموعه ماگمایی ارومیه دختر قرار دارد. در این ناحیه توالی ضخیمی از سنگهای بازیک، حدواسط و اسیدی دیده می شوند. سنگهای بازیک- حدواسط در این ناحیه اغلب به صورت گدازه لایه لایه هستند که در محیط خشکی فوران نموده اند. سنگهای اسیدی اغلب به صورت گنبدهایی در ابعاد مختلف رخنمون دارند. سنگهای بازیک در این ناحیه اغلب پورفیریک و دارای نسبتهای مختلف از فنوکریستهای الیوین، کلینوپیروکسن و پلاژیوکلاز هستند. بر این اساس می توان آنها را به سه دسته تقسیم نمود. دسته اول که دارای فنوکریستهای سالم الیوین و پلاژیوکلاز هستند دسته دوم که دارای فنوکریستهای الیوین به صورت اشکال دروغین، پلاژیوکلاز و به مقدار کمتری فنوکریست کلینوپیروکسن هستند و دسته سوم که دارای فنوکریستهای کلینوپیروکسن و پلاژیوکلاز و فاقد الیوین هستند. نمونه های حد واسط در این ناحیه به دو دسته کلی قابل تقسیم هستند که از ماگمای آبدار و بدون آب ایجاد شده اند. انواعی که از ماگمای آبدار ایجاد شده اند دارای فنوکریستهای آمفیبول و پلاژیوکلاز هستند و انواعی که از ماگمای بدون آب ایجاد شده اند دارای فنوکریستهای پلاژیوکلاز، کلینوپیروکسن و ارتوپیروکسن می باشند. نمونه های بازیک و حدواسط در این ناحیه ساب آلکالن هستند و غالبا به سری کالک آلکالن و برخی نیز به سری تولئیتی تعلق دارند. در الگوی عناصر نادر نورمالیز شده به گوشته اولیه سنگهای آتشفشانی این ناحیه دارای خصوصیات مرتبط با فرروانش (غنی شدگی از عناصر *LILE* و تهی شدگی از عناصر *HFSE*) هستند. با بررسی دقیق تر این الگو ها می توان این سنگهای آتشفشانی را به ۵ دسته تقسیم نمود که عبارتند از ۱-سری تهی از *Zr*، که دارای تهی شدگی از عناصر نادر و آنومالی منفی *Zr-Hf* است. آنومالی مثبت *Ba* نیز در این نمونه ها مشهود است. ۲- سری غنی از K، غنی شدگی از عناصر لیتوفیل را نشان می دهد و دارای آنومالی های مثبت *K, Rb,Ba* است. ۳- سری غنی از *Th* که بطور یکنواخت غنی از *U-Th* و عناصر لیتوفیل است.۴- سری غنی از *Nb*، که غنی شدگی از *Nb-Ta* را نشان می دهد. ۵- سری آداکیتی که دارای تهی شدگی از *HREE* و غنی شدگی از *Sr* است. تغییرات قابل ملاحظه ای در مقدار نسبتهای ایزوتوپی Sr و *Nd* در میان نمونه های آتشفشانی غرب نایین وجود دارد. نسبتهای ایزوتوپی $^{87}Sr/^{86}Sr$ و $^{143}Nd/^{144}Nd$ به

ترتیب در بین مقادیر ۰/۷۰۴۳۱تا ۰/۷۰۶۰۸و ۰/۵۱۲۵۲تا ۰/۵۱۲۷۷قرار دارد. نسبت ایزوتوپهای سرب $^{206}Pb/^{204}Pb$، $^{207}Pb/^{204}Pb$ و $^{208}Pb/^{204}Pb$ به ترتیب بین ۱۸/۴۴تا ۱۸/۷ و ۱۵/۵۹تا ۱۵/۸۳ و ۳۸/۵۱تا ۳۹/۳۷ قرار دارند. نمونه های آداکیتی غنی از سیلیس و نمونه های سری فقیر از Zr نسبتهای ایزوتوپی Pb و Sr بالاتری از بقیه نمونه ها دارند در حالی که حداقل مقدار نسبت ایزوتوپی Nd را نشان می دهند. بر خلاف این نمونه های آداکیتی دارای مقدار سیلیس پایین و نمونه های سری غنی از Nb پایینترین مقدار نسبتهای ایزوتوپی Pb و Sr و بالاترین مقدار نستهای ایزوتوپی Nd را نشان می دهند.

بر اساس داده های تعیین سن ارائه شده در این رساله قدیمی ترین سنگهای بازیک به سن ۲۶/۵ میلیون سال به سری غنی از Nb تعلق دارند که از گوشته استنوسفری غنی شده ایجاد شده اند. این گوشته غنی جایگزین گوشته لیتوسفری شده است که منشاء ماگماتیسم مجموعه ماگمایی ارومیه دختر در زمان ائوسن بوده است. سنگهای بازیک فقیر از Zr به دارای سن ۲۰/۶ میلیون سال و غنی از Th دارای سن ۱۹/۷ میلیون سال هستند و از گوشته لیتوسفری ایجاد شده اند و نشانه تغییر نوع گوشته در زمان میو سن آغازین هستند. این جایگزینی گوشته استنوسفری با گوه گوشته ای لیتوسفری در این زمان شاید به دلیل افزایش سرعت فرورانش ایجاد شده باشد. جوانترین سنگهای آتشفشانی این ناحیه دم های آداکیتی به سن ۱۸/۷ میلیون سال می باشند. تشکیل این سنگهای آداکیتی ناشی از بالا آمدن لبه فرورونده به عمقی است که سولیدوس اکلوژیت را قطع نموده است.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل ۱- مقدمه ۴

۱-۱- ژئودینامیک زاگرس و ساختارهای مرتبط با آن ۴

۱-۲- مروری بر تکتونیک مرتبط با کوهزایی زاگرس ۴

۱-۳- واحدهای زمین‌شناسی اصلی در زاگرس ۶

۱-۳-۱- کمربند چین‌خورده رانده‌شده زاگرس ۶

۱-۳-۲- زون سنندج- سیرجان ۷

۱-۳-۳- زون ارومیه- دختر ۷

۱-۴- ساختار گوشته و پوسته در زیر کمربند کوهزایی زاگرس ۸

۱-۵- مسائل حل‌نشده درباره ژئودینامیک زاگرس ۹

۱-۵-۱- ماگماتیسم مرتبط با فرورانش ۹

۱-۶- معرفی منطقه مورد مطالعه ۱۱

۱-۷- راههای دسترسی به منطقه مورد مطالعه ۱۱

۱-۸- اقلیم و توپوگرافی منطقه مورد مطالعه ۱۳

۱-۹- پیشینه پژوهش ۱۳

۱-۱۰- اهداف پژوهش ۱۷

۱-۱۱- مواد روش انجام تحقیق ۱۷

فصل ۲- زمین‌شناسی عمومی و واحدهای سنگی منطقه ۱۹

۲-۱- مروری بر چینه‌شناسی زون ارومیه- دختر ۱۹

۲-۲- چینه شناسی منطقه نطنز نایین سورک در بخش مرکزی زون ارومیه- دختر ۲۰

۲-۳- داده‌های سنی جدید ۲۳

۲-۴- واحدهای سنگی منطقه مورد مطالعه ۲۳

۲-۴-۱- واحدهای سنگی پیش از ائوسن (K^{mv}) ۲۴

۲-۴-۲- گدازه‌های داسیتی و ریولیتی ائوسن-الیگوسن (EO^{dr}) ۲۴

۲-۴-۳- گدازه‌های بازالتی به‌همراه سنگ‌های پیروکلاستیک (EO^{vt}) ۲۵

۲-۴-۴- ماسه‌سنگ، سیلتستون و مقداری شیل با میان‌لایه‌هایی از آهک‌های نومولیت‌دار به سن میوسن (OM^{l}) ۲۸

۲-۴-۵- گدازه‌های بازیک حدواسط به رنگ خاکستری تیره به سن میوسن (Mb) ۲۸

۲-۴-۶- گدازه‌های آندزیتی تا داسیتی به رنگ خاکستری مایل به قرمز به سن میوسن (M^{da}) ۲۹

فصل ۳- پتروگرافی ۳۳
۳-۱- مقدمه ۳۳
۳-۲- سنگ‌های بازیک ۳۳
۳-۳- سنگ‌های حدواسط ۳۵
۳-۴- بافت‌های واکنشی ۳۵
۳-۵- دگرسانی ۳۶
۳-۶- تحولات ماگما در اتاق‌های ماگمایی درون پوسته ۳۶
فصل ۴- پترولوژی و ژئوشیمی عناصر اصلی، کمیاب و نسبت‌های ایزوتوپی *Sr*، *Nd* و *Pb* ۴۱
۴-۱- مقدمه ۴۱
۴-۲- روشهای آنالیز شیمیایی ۴۲
۴-۲-۱- عناصر اصلی و نادر ۴۲
۴-۲-۲- روش آنالیز ایزوتوپهای *Sr*، *Nd* و *Pb* ۴۳
۴-۲-۳- تعیین سن به روش *K-Ar* ۴۹
۴-۳-- طبقه‌بندی شیمیایی و نامگذاری سنگ‌های منطقه ۵۰
۴-۳-۱- نمودار *TAS* ۵۰
۴-۳-۲- نمودار مثلثی *AFM* ۵۰
۴-۳-۳- نمودار *FeO*/MgO* در برابر SiO_2 *(Miyashiro, 1974)* ۵۲
۴-۳-۴- نمودار تغییرات *Zr/Ti* در مقابل *Nb/Y* برگرفته از *Pearce (1996)* ۵۲
۴-۳-۵- نمودار K_2O در مقابل SiO_2 ..... ۵۳
۴-۳-۶- نتیجه‌گیری از بحث تعیین سری ماگمایی ۵۳
۴-۴- نمودارهای تغییرات عناصر اصلی و نادر ۵۴
۴-۴-۱- الگوی عناصر نادر خاکی نرمالیز شده به کندریت (*REE*) ۵۵
۴-۵- ترکیب ایزوتوپی سنگ‌های آتشفشانی بازیک حدواسط غرب نایین ۵۶
۴-۵-۱- مقدمه ۵۶
۴-۵-۲- ترکیب ایزوتوپی *Sr–Nd–Pb* سنگ‌های آتشفشانی غرب نایین ۶۴
فصل ۵- بحث ۶۸
۵-۱- بحث ۶۸
۵-۲- تسلسل حوادث و استنباطهای ژئودینامیکی ۷۲
۵-۳- نتیجه‌گیری ۷۳

فصل ۱- مقدمه

۱-۱- ژئودینامیک زاگرس و ساختارهای مرتبط با آن

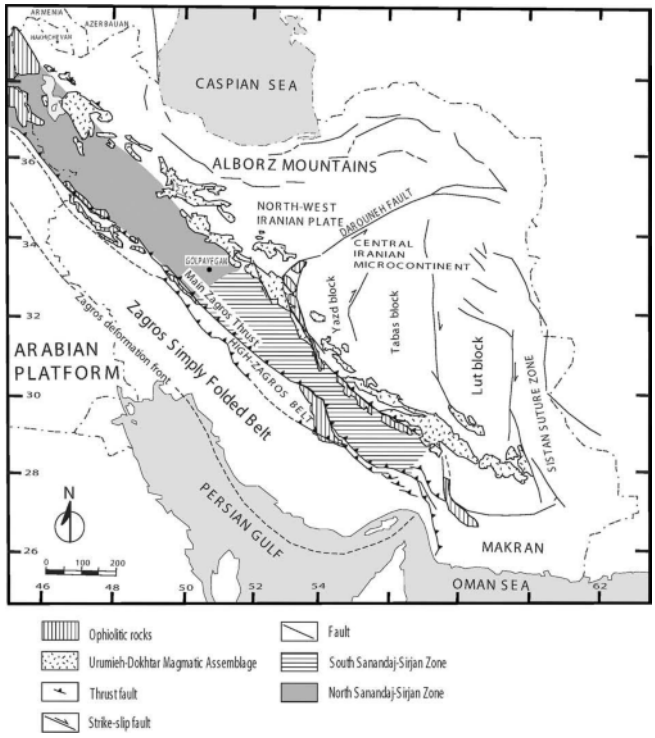
زاگرس بخشی از سیستم کوهزایی آلپ- هیمالیا است که از ناپدید شدن اقیانوس نئوتتیس بین صفحه عربی و اوراسیا ایجاد شده است. رشته‌کوه زاگرس در حدود ۲۰۰۰ کیلومتر از شرق ترکیه تا شمال تنگه هرمز ادامه دارد. این رشته‌کوه در بین خردقاره ایران مرکزی و کمربند چین‌خورده- رانده‌شده زاگرس (*Zagros Fold Thrust Belt, ZFTB*) قرار دارد که جزء حاشیه غیرفعال صفحه عربی محسوب می‌شود (شکل ۱-۱).

اکثریت محققین زاگرس را با توجه به موقعیت راندگی اصلی زاگرس (*Main Zagros Thrust MZT*) به دو بخش درونی و بیرونی تقسیم نمود. بخش بیرونی آن شامل زاگرس چین خورده- رانده شده و زاگرس خردشده نزدیک به راندگی اصلی است و بخش درونی آن شامل دو قوس ماگمایی سنندج- سیرجان به سن مزوزوئیک و ارومیه- دختر به سن ترشیری است که به موازات روند کلی زاگرس قرار دارند. بخش بیرونی زاگرس به دلیل دارا بودن یکی از عظیم‌ترین ذخایر نفت و گاز دنیا مورد توجه و مطالعه بسیاری بوده است و بر خلاف این بخش درونی زاگرس مورد مطالعه اندکی قرار گرفته است.

۱-۲- مروری بر تکتونیک مرتبط با کوهزایی زاگرس

بطور کلی مراحل تکتونیکی زیر را برای تشکیل رشته کوه زاگرس در نظر می‌گیرند. ۱- ایجاد ریفت و گسترش اقیانوس که باعث جدایش ایران مرکزی از گندوانا شده است. در نتیجه این فرایند اقیانوس نئوتتیس تشکیل شده است. حداکثر پهنای این اقیانوس ۴۵۰۰-۴۰۰۰ کیلومتر در ۱۸۰ میلیون سال قبل تخمین زده شده است *Stampfli, 2000*(). ۲- فرورانش نئوتتیس به زیر ایران مرکزی (اوراسیا) و ماگماتیسم قوسی مرتبط با این فرورانش، در این مرحله یک دوره فرارانده شدن (*obduction*) در زمان

۱۰۰-۷۰ میلیون سال قبل رخ داده است که این امر باعث جایگیری افیولیت‌ها بر روی صفحه عربی در طول هزاران کیلومتر شده است (*Berberian and Berberian, Mohajjel et al., 2003; Alavi, 1994 ; 1981; Moinevaziri, 1985, Verdel et al., 2011*). ۳- پایان فرورانش و آغاز برخورد.



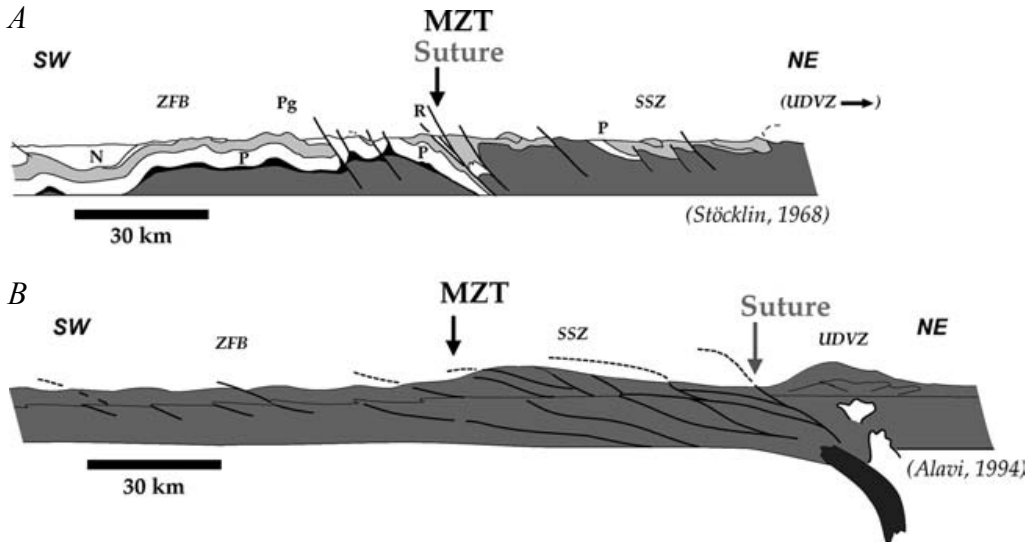
شکل ۱-۱) واحدهای تکتونیکی اصلی ایران *(Ghasemi and Talbot, 2006)*

زاگرس در بین یک ناحیه فرورانشی فعال در مکران و ناحیه برخوردی بالغ در ترکیه قرار دارد. به‌هر حال، تکامل ژئودینامیک زاگرس برای یک دوره طولانی از اواخر کرتاسه تا میو- پلیوسن چندان مشخص نیست. توافقی کلی در بین محققین درباره زمان برخورد وجود ندارد (*Mohajjel et al., ; Alavi, 1994 ; Horton et al., 2008; Vincent et al., 2005; Agard et al., 2005; Mcquarrie et al., 2003; 2003 ; Dargahi et al., 2010Aghazadeh et al., 2011*). محل خط درز (*suture zone*) به‌صورت معمول در طول راندگی اصلی زاگرس در نظر گرفته می‌شود (*Agard et al., 2005*)، لیکن، *Alavi (1994)* خط درز را در طول مرز بین سنندج- سیرجان و ارومیه- دختر در نظر می‌گیرد (شکل ۱-۲).

۱-۳- واحدهای زمین‌شناسی اصلی در زاگرس

۱-۳-۱- کمربند چین‌خورده رانده‌شده زاگرس

کمربند چین‌خورده و رانده‌شده زاگرس (*Zagros Fold Thrust Belt, ZFTB*) با توجه به تغییرات ساختاری و توپوگرافی به دو حوضه مشخص از جنوب‌غرب به شمال‌شرق قابل تقسیم است. ۱- زاگرس چین‌خورده که سکانس ضخیمی از رسوبات پلت‌فرمی پرمو-تریاس تا الیگوسن است که توسط رسوبات تخریبی اواخر ترشیری پوشیده شده‌اند. ۲- زاگرس مرتفع یا خرد شده که به‌شدت



شکل ۱-۲) دو مقطع عرضی از زاگرس (*A*) *Stöcklin (1968)* که در آن خط درز منطبق بر تراست اصلی زاگرس *MZT*است (*B*) *Alavi (1994)* که خط درز را به سمت شرق و بین زون سنندج- سیرجان و ارومیه- دختر می‌داند.

دگرشکل است و از آهک‌ها و رادیولاریت‌های مربوط به تریاس تا کرتاسه‌همراه با باقیمانده لیتوسفر اقیانوسی تشکیل شده است. این ناحیه در شمال توسط *MZT* و در جنوب توسط *ZFTB* محصور شده است. بلندترین ارتفاعات زاگرس در این ناحیه قرار دارد (زردکوه در غرب شهرکرد با ارتفاع ۴۲۲۱ متر). زون خردشده بخشی از حاشیه غیرفعال صفحه عربی در نظر گرفته می‌شود که باقیمانده افیولیت‌های فرارانده شده در بخش بالایی آن قرار دارند. این ناحیه با راندگی اصلی زاگرس از زون سنندج- سیرجان جدا می‌شود.

۱-۳-۲- زون سنندج- سیرجان

براساس شواهد لیتواستراتیگرافی زون داخلی زاگرس از پرمو- تریاس به بعد با بخش خارجی آن متفاوت است. سنندج- سیرجان به موازات زاگرس و از شمال‌غرب آن تا مکران ادامه دارد (*Mohajjel et al. 2003*). سنگ‌های ولکانیک و پلوتونیک به سن تریاس بالایی تا اواخر کرتاسه در این زون دیده می شوند. نخستین اثرات فعالیت ماگمایی به تریاس بر می‌گردد (*Berberian and Berberian, 1981; Arvin, 2007*) و مربوط به توده‌های نفوذی جنوب این زون است. دیگر توده‌های نفوذی مرتبط با فرورانش در این زون شامل توده نفوذی چاه‌دزدان در جنوب سنندج- سیرجان به سن ۱۶۵ میلیون سال (*Sheikholeslami et al., 2003*) و گرانیت بروجرد به سن *170* میلیون سال (*Ahmadi Khalaji, 2007*) است. در شمال سنندج- سیرجان اولین سنگ‌های فشار بالا دمای پایین در سنندج- سیرجان توسط *et al., 2007*) *(Davoudian* گزارش شده است.

۱-۳-۳- زون ارومیه- دختر

زون ماگمایی ارومیه- دختر (*Stöcklin, 1968*) و یا مجموعه ماگمایی ارومیه- دختر *(1994) Alavi* کمربند ولکانیک و پلوتونیکی است که از شرق ترکیه تا جنوب‌شرق ایران به موازات زاگرس ادامه دارد (*Alavi, 1996; Ghorbani, 2006; Shahabpour, 2007; Ghorbani and Bezanjani, 2011*) قدیمی‌ترین ولکانیسم گزارش شده در زون ارومیه- دختر مربوط به منطقه تفرش است و به ائوسن میانی-پایانی نسبت داده می شود *(Emami, 2000)*. سنگ‌های نفوذی در زون ارومیه- دختر اغلب متعلق به الیگو- میوسن هستند *(Berberian and Berberian, 1981)*. زون ارومیه- دختر به عنوان محصول فرورانش (*Berberian and Berberian, 1981; Alavi, 1994*) و یا ریفت درون قاره‌ای *(Amidi et al., 1984)* در نظر گرفته شده است. به عقیده *Omrani et al. (2008)* سنگ‌های زون ارومیه- دختر از گوه گوشته بالای زون فرروانش ایجاد شده‌اند و الگوی عناصر نادر آنها قابل مقایسه با زون سنندج- سیرجان است.

بر خلاف ماگماتیسم کالک‌آلکالن که در تمام زون ارومیه- دختر شایع است، سنگ‌های آداکیتی در بخش‌هایی از این زون گزارش شده‌اند. *Jahangiri (2007)* سنگ‌های آداکیتی با سن میوسن را در شمال‌غرب ایران گزارش نموده است (*Omrani et al., 2008; Khodami et al., 2009*) سنگ‌های آداکیتی به سن میوسن بالایی و پلیو-کواترنری را در بخش مرکزی زاگرس گزارش نموده‌اند.(*Ghorbani and Bezenjani, 2011*) سنگ‌های آداکیتی به سن ائوسن را در منطقه تفرش گزارش نموده‌اند. سن این آداکیت‌ها اغلب براساس روابط قطع‌شدگی و قرارگیری آنها در توالی به‌همراه لایه‌های دارای فسیل تعیین شده است. *Omrani et al. (2008)* این ماگماتیسم آداکیتی را به گسیختگی لبه فرورونده در زیر بخش جنوبی و مرکزی زاگرس نسبت داده‌اند. جدیدترین فعالیتهای ماگمایی در منتهی‌الیه جنوب‌شرق و شمال‌غرب زون ارومیه- دختر دیده می‌شوند (*Jahangiri, 2007; Kheirkhah et al., 2009*). سنگ‌های آلکالن بازیک پس از برخورد در این زون عمدتاً در امتداد گسل‌ها دیده می‌شوند.

۱-۴- ساختار گوشته و پوسته در زیر کمربند کوهزایی زاگرس

عمق موهو در زیر زاگرس با توجه به داده‌های لرزه‌ای تعیین شده است (*Paul et al., 2006, 2010*). عمق‌های به‌دست‌آمده از روش لرزه‌ای در توافق با داده‌های قبلی به‌دست‌آمده از گرانی‌سنجی هستند (*Dehghani and Makris, 1984; Snyder and Barazangi, 1986*). ضخامت پوسته در زیر زاگرس چین‌خورده و صفحه عربی در حدود ۴۵ کیلومتر و در زیر سنندج- سیرجان در حدود ۷۰ کیلومتر که این امر می‌تواند به‌دلیل رانده شدن (*undethrusting*) حاشیه صفحه عربی به زیر خردقاره ایران مرکزی باشد. ضخامت پوسته در زیر ارومیه- دختر و ایران مرکزی به حدود ۴۲ کیلومتر کاهش می‌یابد (*Paul et al., 2006*) (شکل ۱-۳).

تعداد زیادی از مطالعات به وجود لیتوسفر قاره‌ای نازک در زیر ایران مرکزی اشاره دارد (*Hafkenscheid et al., 2006; Kaviani et al., 2007; Hatzfeld and Molnar, 2010; Maggi et al., 2005*) وجود ناحیه با سرعت امواج برشی اندک در زیر زاگرس را نشانه گوشته لیتوسفری نازک به‌همراه گوشته بالایی داغ در این ناحیه می‌داند که در اثر جدایش لیتوسفر قاره‌ای به دنبال ضخیم شدن آن در طی برخورد

ایجاد شده است (شکل ۱-۴). بر خلاف این مطلب *Kaviani et al. (2007)* وجود ناحیه کم سرعت از ۵۰ تا ۱۵۰ کیلومتر از گسل اصلی زاگرس تا ارومیه- دختر را ناشی از دمای بالاتر یا مقدار سیالات بیشتر گوشته در این ناحیه می‌داند. به عقیده‌ایشان میزان سرعت در این ناحیه بیشتر از حدی است که بتوان آن را به جدایش لبه فرورنده نسبت داد. *Mouthereau (2011)* بالا آمدن گوشته‌استنوسفری در طی برگشت به عقب لبه (*slab retreat*) را دلیل نازک شدن لیتوسفر قاره‌ای و وجود ناحیه کم سرعت در زیر زون ارومیه- دختر می‌داند. *Agard et al. (2011)* دلیل وجود این ناحیه کم‌سرعت را به گسیختگی لبه فرورنده در زیر زاگرس نسبت می‌دهد.

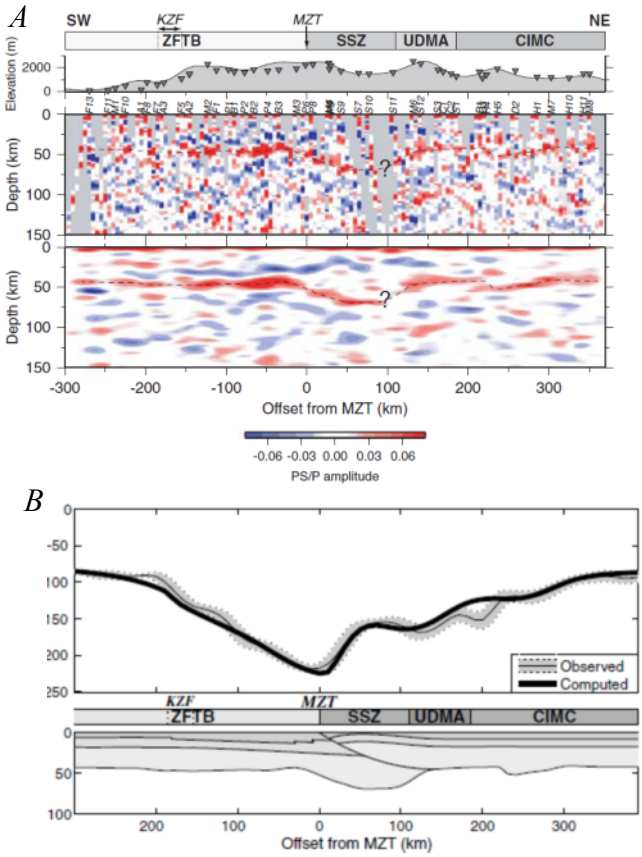
۱-۵- مسائل حل‌نشده درباره ژئودینامیک زاگرس

تاریخچه طولانی همگرایی بین صفحه عربی و ایران مرکزی را می‌توان به موارد زیر خلاصه نمود ۱- شروع فرورانش در اواخر تریاس- اوایل ژوراسیک ۲- فراراندهشدن پوسته اقیانوسی در اواخر کرتاسه ۳ - برخورد در ترشیری و کوتاه‌شدن در زمان حال. تعدادی از سئوالات پاسخ داده نشده درباره هرکدام از این مراحل وجود دارد.

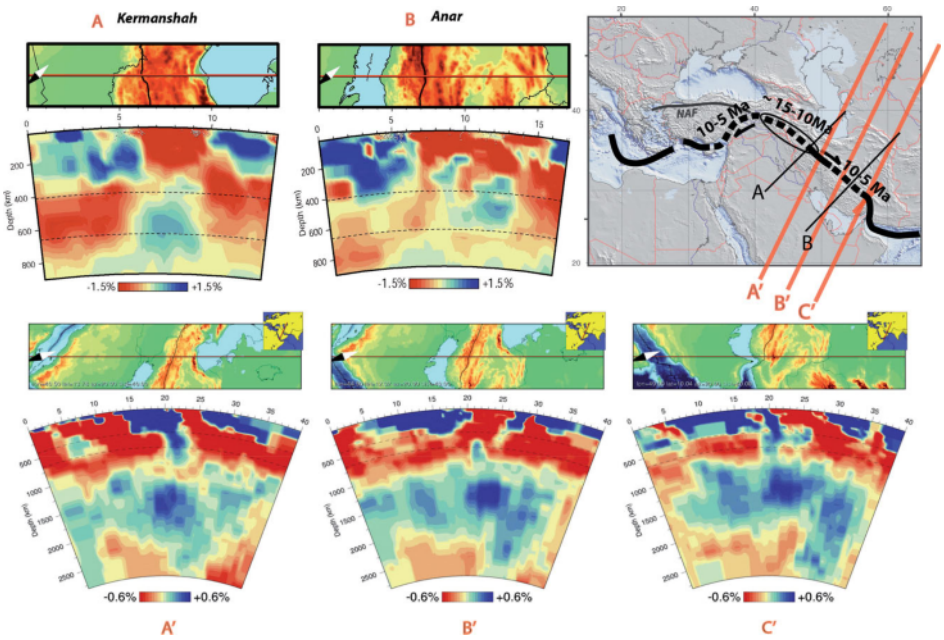
۱-۵-۱- ماگماتیسم مرتبط با فرورانش

زمان شروع ماگماتیسم در بین محققین محل بحث است زمان‌های تریاس بالایی (*Berberian et al., 1981; Arvin, 2007*) تریاس- ژوراسیک (*Shahabpour, 2005*) برای آن پیشنهاد شده است. در قوس‌های ماگمایی سنندج- سیرجان و ارومیه- دختر سنگ‌های ولکانیک و پلوتونیک کالک‌آلکالن غالب هستند. زون سنندج- سیرجان دارای سن مزوزئیک است، در حالی که زون ارومیه- دختر مربوط به ترشیری است و از ائوسن شروع شده و تا پلیوکواترنری ادامه داشته است.

جابجایی ۳۰۰ کیلومتری ماگماتیسم از زون سنندج- سیرجان ب ارومیه- دختر در زمان پالئوسن- ائوسن دیده می‌شود. *Berberian and Berberian (1981)* این جابجایی را به تغییر در شیب لبه فرورنده نسبت داده‌اند.



شکل ۱-۳) *A*) پروفیل لرزه‌ای (*Teleseismic*) که نشان‌دهنده عمق موهو در زیر زاگرس مرکزی است (*Paul et al., 2006*). *B*) مدل گرانی‌سنجی که نشان می‌دهد افزایش ضخامت در زیر سنندج- سیرجان ناشی از تراست‌شدن پوسته‌ای است.



شکل ۱-۴) مقاطع توموگرافی *Tomographic* در عرض زاگرس که اشاره به گسیختگی لبه در زیر زاگرس دارد (بر گرفته از *Agard et al., 2011*).

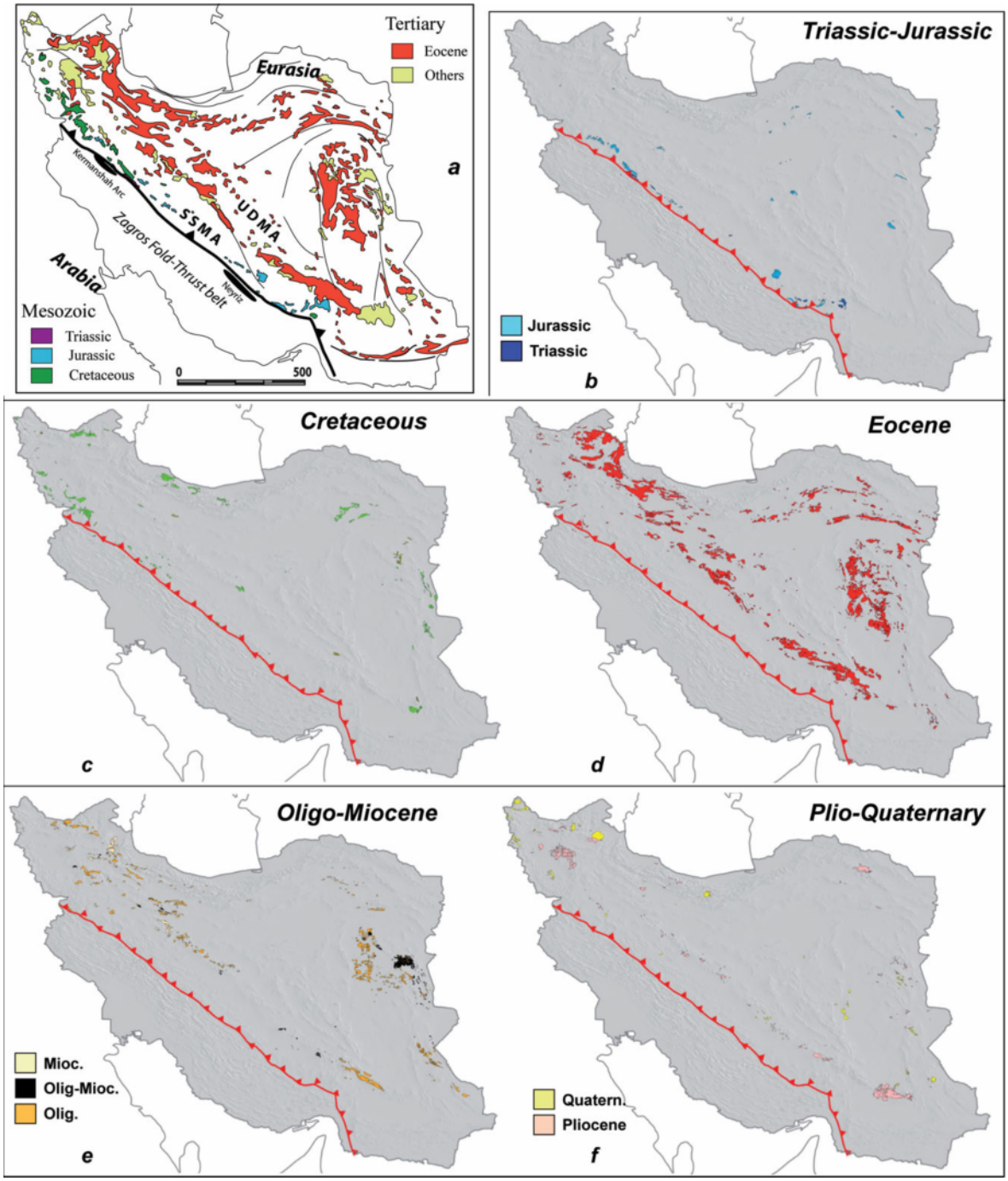
البته باید توجه داشت که ماگماتیسم ائوسن تنها محدود به زون ارومیه- دختر نبوده است و تمام ایران را در بر گرفته است (شکل ۱-۵). ماگماتیسم در زون ارومیه- دختر طیفی از کالک‌آلکالن شوشونیتی و آلکالن را شامل می‌شود. *Amidi (1984)* حضور سنگ‌های آلکالن را به سیستم ریف نسب داده است. *Aftabi (2000)* بر خلاف آن سنگ‌های شوشونیتی را مشتق از ماگمای آلکالن پتاسیک که از ذوب مواد فرورونده دارای فلوگوپیت ایجاد شده‌اند. فعالیت ولکانیکی در طی الیگومیوسن بسیار محدود تر از ائوسن بوده است (شکل ۱-۵).

۱-۶- معرفی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در غرب شهرستان نایین در ۱۵۰ کیلومتری شمال‌شرقی اصفهان بین طول‌های جغرافیائی ´۳۰ °۵۲ و°۵۳ و عرض‌های جغرافیائی ´۳۰ °۳۲ و ´۳۰ °۳۳ قرار دارد. این منطقه، به دو بخش جنوبی و شمالی قابل تقسیم است. بخش شمالی آن در نیمه غربی نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ شهراب (امینی و امینی چهرق، ۲۰۰۳) واقع شده که خود در بخش جنوب‌غربی چهارگوش زمین‌شناسی ۱:۲۵۰/۰۰۰ انارک (عمیدی و داودزاده، ۱۳۶۲) قرار دارد. بخش جنوبی منطقه مزبور در نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ کجان (بحرودی و فنودی، ۱۹۹۷) واقع شده است که این بخش در شمال‌غربی نقشه ۲۵۰:۱/۰۰۰ نایین (رفرنس نقشه نایین) قرار دارد. براساس تقسیم‌بندی پهنه‌های ساختاری- رسوبی ایران (آقانباتی، ۱۳۸۳) منطقه مورد مطالعه در پهنه ایران مرکزی و مجموعه ماگمائی ارومیه- دختر قرار دارد.

۱-۷- راههای دسترسی به منطقه مورد مطالعه

به‌منظور دستیابی به برونزدهای زمین‌شناسی منطقه می‌توان از جاده آسفالته نایین- اصفهان و نایین- اردستان استفاده نمود. رخنمون‌های بخش شمالی و جنوبی منطقه از طریق روستای نیستانک در ۵۰ کیلومتری جاده نایین به اردستان قابل دسترسی هستند. همچنین رخنمون‌های بخش جنوبی منطقه مورد مطالعه نیز از طریق روستاهای قیوم‌آباد و سلطان نصیر در ۴۵ کیلومتر جاده نایین- اصفهان قابل بررسی هستند (شکل ۱-۶).



شکل ۱-۵) ماگماتیسم ایران از زمان مزوزئیک به بعد. این نقشه‌ها تلفیقی از نقشه‌های ۱/۲۵۰۰۰۰۰ تهیه شده در سازمان زمین‌شناسی ایران (برگرفته از *Agard et al., 2011*).