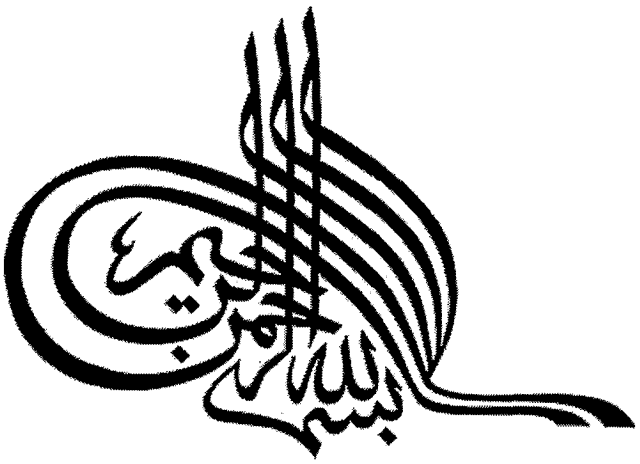

١١١١٨

۸۷/۱۱/۱۰۸۴۱۰
۸۸/۱۲۹

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

دانشگاه شهید بهشتی

دانشکده علوم زمین

گروه آموزشی زمین شناسی

رساله جهت اخذ درجه دکتری Ph .D

رشته زمین‌شناسی / گرایش پترولوژی

عنوان

پترولوژی و ژئوشیمی سنگهای آذرین ترشیری دامنه‌های جنوبی البرز مرکزی، شمال تهران

اساتید راهنما

دکتر منصور وثوقی عابدینی

دکتر محمدرضا قربانی

استاد مشاور

دکتر محمد پورمعافی

۱۳۸۸ /۱۰/ ۱۸

نگارنده

محمدرضا ایران نژادی

نیمسال اول سال تحصیلی ۸۸ - ۸۷

۱۱۱۱۰۵

بسمه تعالی

وزارت علوم ، تحقیقات و فناوری

دانشگاه شهید بهشتی

دانشکده علوم زمین

گروه آموزشی زمین شناسی

تأییدیه دفاع از رساله دکتری

این رساله توسط آقای **محمدرضا ایران نژادی** دانشجوی دوره **دکتری** رشته **زمین شناسی – پترولوژی** تحت عنوان **پترولوژی و ژئوشیمی سنگهای آذرین ترشیری دامنه های جنوبی البرز مرکزی ، شمال تهران** در تاریخ **۱۳۸۷/۹/۲۳** مورد دفاع قرار گرفت و براساس رأی هیأت داوران با نمره ۱۸/۸۰ هجده و هشتاد صدم و سیار خوب درجه پذیرفته شد .

استاد راهنما آقای دکتر **منصور وثوقی عابدینی**

استاد راهنما آقای دکتر **محمد رضا قربانی**

استاد مشاور آقای دکتر **سید محمد پورمعافی**

داور از دانشگاه آقای دکتر **منصور قربانی**

داور از دانشگاه آقای دکتر **فریبرز مسعودی**

داور از دانشگاه آقای دکتر **مهرداد بهزادی شیرکلا**

۱۳۸۸/۱/۱۸

داور خارج از دانشگاه آقای دکتر **علی درویش زاده**

تقدیم به

همسر عزیزم، معصومه

و فرزند دلبندم، علی

تشکر و سپاس

برخود لازم می‌دانم از استاد راهنمای ارجمندم جناب آقای **دکتر وثوقی عابدینی** که در کلیه مراحل آموزشی و پژوهشی از راهنمایی‌های بیدریغ ایشان بهره برده‌ام و از اخلاق علمی و انسانی والای ایشان درس‌های زیادی گرفته‌ام صمیمانه سپاسگزاری نمایم. از استاد راهنمای ارجمندم جناب آقای **دکتر محمدرضا قربانی** که وقت زیادی را به راهنمایی اینجانب اختصاص دادند و کمکهای فراوانی که در طی انجام تحقیقات نمودند صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نمایم. از استاد مشاور گرانقدرم جناب آقای **دکتر محمد پورمعافی** بخاطر راهنمایی‌های ارزنده و نظرات بسیار سودمندشان سپاسگزاری می‌نمایم. از اساتید خارج از کشور از جمله آقایان **پروفسور کای هورنله**، پروفسور **فولکمار هاوف**، **پروفسور تور هانستین** و **پروفسور پاول فون دن بوگارد** از مؤسسه تحقیقاتی **IFM-GEOMAR** شهر کیل کشور آلمان به خاطر در اختیار گذاشتن امکانات انجام آنالیزهای میکروپروب و ایزوتوپی و ارائه نظرات ارزشمند و مهمان نوازی‌شان کمال تشکر و قدردانی را می‌نمایم.

از داوران محترم و بزرگواری که این پایان‌نامه را با دقت فراوان مطالعه نموده و با ارائه نظرات بسیار ارزنده، کاستی‌های این پژوهش را یادآور شده‌اند تشکر و قدردانی می‌نمایم.

از کلیه مسؤلان دانشکده علوم زمین که امکانات پژوهشی را در اختیار اینجانب قرار داده‌اند سپاسگزاری می‌نمایم.

از همسر عزیز، فداکار و صبورم، **معصومه** و فرزند عزیز و دلبندم، **علی** به خاطر زحمات بسیار فراوانی که کشیده‌اند و تحمل مشکلات در طی انجام این پژوهش صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نمایم.

از آقای **مهندس بهنام واعظ** به دلیل در اختیار گذاشتن عکسهای هوایی و نقشه‌های توپوگرافی منطقه و تشویق در انتخاب موضوع تحقیق حاضر تشکر و قدردانی می‌نمایم.

از گروه ورزشی **دوستان** در پارک لاله به دلیل همراهی در بعضی از مسیرهای کوهنوردی و نشان دادن راهها و مسیرهای ویژه صعود به ارتفاعات شمال تهران صمیمانه قدردانی می‌نمایم.

اقرار و تعهدنامه

اینجانب محمدرضا ایران‌نژادی دانشجوی مقطع دکتری دانشگاه شهید بهشتی ، دانشکده علوم زمین ، گروه زمین شناسی ، رشته زمین‌شناسی ، گرایش پترولوژی رساله حاضر را بر اساس مطالعات و تحقیقات شخصی خود انجام داده و در صورت استفاده از داده‌ها ، مآخذ ، منابع و نقشه‌ها به‌طور کامل به آن ارجاع داده‌ام ، ضمناً داده‌ها و نقشه‌های موجود را با توجّه به مطالعات میدانی – صحرائی خود تدوین نموده ام . این رساله پیش از این به‌هیچ‌وجه در مرجع رسمی یا غیر رسمی دیگری به‌عنوان گزارش یا طرح تحقیقاتی عرضه نشده است . در صورتی که خلاف آن ثابت شود ، درجه‌ی دریافتی اینجانب از اعتبار ساقط شده ، عواقب و نتایج حقوقی حاصله را می پذیرم .

تاریخ ۱۳۸۷/۹/۲۳

امضاء

کلید واژه‌ها: تهران، آذرین، نیمه‌عمیق، خروجی، قوس‌های آتش‌فشانی، فرورانش، ایزوتوپی.

چکیده

سنگ‌های آذرین شمال تهران شامل سنگ‌های نیمه‌عمیق مونزودیوریت، مونزوگابرو و گابرو و سنگ‌های خروجی بازالت، بازالتیک آندزیت، تراکی‌آندزیت، تراکیت، داسیت و ریولیت می‌گردند. این سنگ‌ها بیشتر خصوصیات سری‌های ماگمایی کالک-آلکالن، کالک-آلکالن K-بالا و شوشونیتی را نشان می‌دهند.

الگوهای عناصر ناسازگار سنگ‌های شمال تهران شکلهایی دارند که شاخص ماگماهای موقعیتهای تکتونیکی مرتبط با قوس می‌باشند. این الگوها غنی‌شدگی از لحاظ عناصر لیتوفیل بزرگ یون (LILE)، U، Th، و Pb و REE سبک (LREE) نسبت به REE سنگین (HREE) و عناصر پایداری میدانی بالا (HFSE)، مثل Zr، Hf، Nb، Ta و Ti نشان می‌دهند.

مطالعات ایزوتوپی نشان می‌دهند که سنگ‌های آذرین شمال تهران ترکیب ایزوتوپی مشابه قوس‌های آتش‌فشانی دارند. نسبتهای $^{87}Sr/^{86}Sr$ و $^{143}Nd/^{144}Nd$ این سنگ‌ها از میدان MORB دور شده‌اند و با فرض منبع جبه‌ای شبیه MORB، تولید نشانه‌های ایزوتوپی این سنگ‌ها مستلزم تغییرات نسبتا شدید مرتبط با فرورانش در گوه جبه‌ای می‌باشد. این تغییرات سنگ‌های آذرین شمال تهران را می‌توان به مخلوط شدن یک منبع شبیه MORB با رسوبات دریایی نسبت داد.

مطالعات ایزوتوپی Sr-Nd-Pb ترکیبی از DMM و EMII را به عنوان منابع اصلی برای ماگماهای منطقه مورد مطالعه در شمال تهران نشان می‌دهند. این رفتار را می‌توان با آلایش حجمهای عظیمی از ماگمای مشتق از جبه آستنوسفری تهی‌شده (DMM) با سیالات لیتوسفری غنی‌شده از لحاظ LILE و Sr رادیوژنیک که اساسا از دهیدراسیون رسوبات تخریبی در طی فرورانش (EMII)، حاصل شده‌اند توضیح داد.

نمودارهایی که محیط تکتونوماگمایی را مورد بررسی قرار می‌دهند بیشتر نشانگر ارتباط سنگ‌های آذرین منطقه مورد مطالعه با موقعیتهای مرتبط با قوس هستند که این امر در تطابق با وضعیت الگوهای عناصر ناسازگار در نمودارهای عنکبوتی و نیز مطالعات ایزوتوپی می‌باشد.

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فصل اول ۱

کلیات تحقیق ۱

۱-۱ مقدمه ۲

۱-۲ موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه ۲

۱-۳ راههای دستیابی به منطقه ۵

۱-۴ آب و هوای منطقه و پوشش گیاهی ۶

۱-۵ ریخت شناسی منطقه ۷

۱-۶ پیشینه مطالعاتی ۷

۱-۷ هدف از مطالعه ۱۲

۱-۸ روش مطالعه ۱۲

فصل دوم ۱۵

زمین‌شناسی عمومی و چینه‌شناسی منطقه ۱۵

۲-۱ مقدمه ۱۶

۲-۲ زمین‌شناسی و چینه‌شناسی و جایگاه محدوده مورد بررسی در تقسیم بندیهای ساختاری ایران ۱۶

۲-۲-۱ زون البرز ۱۷

۲-۲-۱-۱ زیر زون البرز مرکزی ۱۷

۲-۳ تکتونیک البرز ۱۸

۲-۴ ماگماتیسم در البرز ۲۰

۲-۴-۱ سنگ‌های ماگمایی در پرکامبرین ۲۱

۲-۴-۲ سنگ‌های ماگمایی در پالئوزوئیک ۲۱

۲-۴-۳ سنگ‌های ماگمایی در مزوزوئیک ۲۱

۲-۴-۴ سنگ‌های ماگمایی در سنوزوئیک ۲۲

۲-۴-۴-۱ پلوتونیسم ۲۲

۲-۴-۴-۲ ولکانیسم ۲۲

۲-۵ چینه‌شناسی و لیتواستراتیگرافی محدوده مورد مطالعه ۲۴

۲-۵-۱ سازند کرج ۲۴

۲-۵-۲ زمین‌شناسی صحرایی ۲۶
۲-۵-۲-۱ مقدمه ۲۶
۲-۵-۲-۲ سنگ‌های نیمه‌عمیق ۲۶
۲-۵-۲-۳ سنگ‌های خروجی ۲۹
۲-۵-۲-۴ نماهایی از واحدهای مختلف سنگ شناسی منطقه مورد مطالعه ۳۰

فصل سوم ۳۵
پتروگرافی ۳۵
۳-۱ مقدمه ۳۶
۳-۲ سنگ‌های نیمه‌عمیق ۳۶
۳-۲-۱ گابروها ۳۶
۳-۲-۲ مونزوگابروها ۴۱
۳-۲-۳ مونزودیوریت‌ها ۴۴
۳-۲-۳-۱ مونزودیوریت‌های شمال غرب کیگا ۴۹
۳-۳ سنگ‌های خروجی ۵۳
۳-۳-۱ بازالت‌ها ۵۳
۳-۳-۲-۱ بازالتیک تراکی‌آندزیت‌های شمال آبک ۵۵
۳-۳-۲-۲ بازالتیک تراکی‌آندزیت‌های شمال شهرک مخابرات ۵۸
۳-۳-۲-۳ بازالتیک تراکی‌آندزیت‌های شمال پونک ۶۰
۳-۳-۳ تراکی‌آندزیت‌ها ۶۳
۳-۳-۳-۱ تراکی‌آندزیت‌های شمال باغ شاطر ۶۶
۳-۳-۵ داسیت‌ها ۷۱
۳-۳-۶ ریولیت‌ها ۷۳
۳-۴ نتیجه گیری ۷۷

فصل چهارم ۸۰
شیمی کانیها ۸۰
۴-۱ مقدمه ۸۱
۴-۲ فلدسپات‌ها ۸۲
۴-۳ کلینوپیروکسن‌ها ۹۰
۴-۴ آمفیبول‌ها ۹۶
۴-۵ تغییرات ترکیبی کانیها و بررسی تحولات ماگمایی ۱۰۱

۴-۶ ترمومتری..... ۱۰۷
۴-۷ نتیجه گیری..... ۱۰۸

فصل پنجم..... ۱۱۱
نامگذاری شیمیایی..... ۱۱۱
۵-۱ مقدمه..... ۱۱۲
۵-۲ ترکیب شیمیایی سنگ‌های نیمه‌عمیق و خروجی..... ۱۱۲
۵-۳ رده‌بندی بر اساس ترکیب نورماتیو (CIPW)..... ۱۱۹
۵-۳-۱ رده‌بندی نورماتیو اشتریکایزن و لومتر (۱۹۷۹)..... ۱۲۰
۵-۴ رده‌بندی شیمیایی سنگ‌های مورد مطالعه بر اساس استفاده مستقیم از عناصر شیمیایی و یا اکسیدها..... ۱۲۲
۵-۴-۱ رده‌بندی شیمیایی دولاروش و همکاران (۱۹۸۰) با استفاده از تمامی عناصر به استثنای اکسیژن..... ۱۲۲
۵-۴-۲ رده‌بندی شیمیایی دبون و لوفورت (۱۹۸۳)..... ۱۲۴
۵-۴-۳ رده‌بندی شیمیایی با استفاده از مجموع آلکالن در مقابل سیلیس (TAS)..... ۱۲۴
۵-۴-۳-۱ رده‌بندی میدلموست (۱۹۹۴)..... ۱۲۵
۵-۴-۳-۲ رده‌بندی کاکس و همکاران (۱۹۷۹)..... ۱۲۵
۵-۴-۴ رده‌بندی Zr/TiO_2 در مقابل Nb/Y وینچستر و فلوید (۱۹۷۷)..... ۱۲۸
۵-۴-۵ رده‌بندی SiO_2 در مقابل Zr/TiO_2 وینچستر و فلوید (۱۹۷۷)..... ۱۲۹
۵-۵ نتیجه گیری..... ۱۳۰

فصل ششم..... ۱۳۲
ژئوشیمی اکسیدهای اصلی و عناصر کمیاب..... ۱۳۲
۶-۱ مقدمه..... ۱۳۳
۶-۲ بررسی ارتباط ژنتیکی سنگ‌های مورد مطالعه بر اساس ژئوشیمی عناصر اصلی..... ۱۳۳
۶-۲-۱ ضریب تفریق..... ۱۳۴
۶-۲-۳ روند تغییرات عناصر اصلی..... ۱۳۴
۶-۲-۴ نتیجه گیری از ژئوشیمی اکسیدهای اصلی..... ۱۴۱
۶-۳ ژئوشیمی عناصر کمیاب و نادر خاکی..... ۱۴۳
۶-۳-۱ مقدمه..... ۱۴۳
۶-۳-۲ رفتار عناصر کمیاب و نادر خاکی..... ۱۴۳

۶-۳-۳ نتیجه گیری از تغییرات ژئوشیمیایی عناصر کمیاب و نادر خاکی در مقابل SiO_2 ..... ۱۵۶
۶-۴ نمودارهای عنکبوتی ۱۵۸
۶-۴-۱ مقدمه ۱۵۸
۶-۴-۲ نمودارهای عنکبوتی جایگاههای مختلف تکتونیکی ۱۵۸
۶-۵ طرحهای REE ۱۶۸
۶-۵-۱ مقدمه ۱۶۸
۶-۵-۲ تفسیر الگوهای REE سنگ‌های آذرین منطقه مورد مطالعه ۱۶۸
۶-۵-۳ مقایسه الگوهای REE سنگ‌های منطقه مورد مطالعه با الگوهای مشابه ۱۷۱
۶-۶ ارتباط سنگ‌های نیمه‌عمیق شمال غرب کیگا با سایر سنگ‌های نیمه‌عمیق ۱۷۷
۶-۶-۱ ارتباط تبلور تفریقی: ۱۷۷
۶-۶-۲ درجات مختلف ذوب بخشی: ۱۷۷
۶-۶-۳ شار سیال (fluid flux) زیاد در مقابل کم: ۱۷۸
۶-۶-۴ منبع جبه‌ای متفاوت: ۱۷۸
۶-۷ نتیجه گیری از بررسی نمودارهای عنکبوتی و طرحهای REE ۱۷۹

فصل هفتم ۱۸۵
مطالعات ایزوتوپی ۱۸۵
۷-۱ مقدمه ۱۸۶
۷-۲ ایزوتوپ‌ها به عنوان شاخصهای پتروژنتیک ۱۸۶
۷-۳ نمودارهای همبستگی ۱۸۷
۷-۴ ایزوتوپ‌های رادیوژنیک ۱۸۸
۷-۴-۱ Rb-Sr ۱۸۸
۷-۴-۲ Sm-Nd ۱۸۹
۷-۴-۳ Nd-Sr توأم ۱۹۰
۷-۴-۴ Pb ۱۹۲
۷-۵ شناسایی منابع ایزوتوپی ۱۹۶
۷-۵-۱ منابع گوشته اقیانوسی ۱۹۶
۷-۵-۱-۲ گوشته HIMU ۱۹۷
۷-۵-۱-۳ گوشته غنی شده ۱۹۷
۷-۵-۱-۴ PREMA ۱۹۷
۷-۵-۱-۵ کل زمین (زمین سیلیکاته کلی – BSE) = منبع یکنواخت اولیه ۱۹۸

۷-۵-۲ بررسی منابع جبه‌ای احتمالی سنگ‌های آذرین شمال تهران..... ۱۹۸
۷-۶ استفاده از نمودارهای همبستگی برای تشخیص فرآیندها..... ۲۰۱
۷-۶-۱ اختلاط بین منشاءها..... ۲۰۱
۷-۶-۲ اختلاط در اتاقک ماگمایی..... ۲۰۱
۷-۶-۳ کاربرد در آلایش..... ۲۰۱
۷-۶-۳-۱ آلایش ماگما با پوسته قاره‌ای..... ۲۰۱
۷-۶-۳-۲ آلایش پوسته‌ای و فرآیندهای AFC..... ۲۰۴
۷-۷ بررسی ایزوتوپ‌های Sr-Nd-Pb در چند موقعیت مختلف تکتونیکی..... ۲۰۴
۷-۷-۱ جزایر قوسی..... ۲۰۵
۷-۷-۱-۱ ایزوتوپ‌های Sr-Nd..... ۲۰۵
۷-۷-۱-۲ Pb..... ۲۰۶
۷-۷-۲ مرزهای قاره‌ای فعال..... ۲۰۷
۷-۷-۲-۱ ایزوتوپ‌های Nd-Sr..... ۲۰۷
۷-۷-۲-۲ ایزوتوپ‌های Pb..... ۲۰۸
۷-۸ نتیجه گیری..... ۲۱۰

فصل هشتم..... ۲۱۳
پترولوژی، محیط تکتونوماگمایی، پتروژنز و الگوی تکتونوماگمایی پیشنهادی..... ۲۱۳
۸-۱ پترولوژی..... ۲۱۴
۸-۱-۱ مقدمه..... ۲۱۴
۸-۱-۲ تعیین سری ماگمایی..... ۲۱۴
۸-۱-۲-۱ نمودارهای $K_2O + Na_2O$ در مقابل SiO_2 (نمودارهای TAS)..... ۲۱۴
۸-۱-۲-۱-۱ نمودار ایروین و باراگار (۱۹۷۱)..... ۲۱۵
۸-۱-۲-۱-۲ نمودار کاکس و همکاران (۱۹۷۹) همراه با خطوط جدا کننده از میاشیرو (۱۹۷۸)..... ۲۱۵
۸-۱-۲-۱-۳ نمودار میدلموست (۱۹۹۱)..... ۲۱۶
۸-۱-۲-۲ نمودار پکسریلو و تیلور (۱۹۷۶)..... ۲۱۷
۸-۱-۳ نتیجه گیری..... ۲۲۰
۸-۲ محیط تکتونوماگمایی..... ۲۲۱
۸-۲-۱ مقدمه..... ۲۲۱
۸-۲-۲ نمودارهای تکتونوماگمایی..... ۲۲۲

۸-۲-۲-۱ نمودارهای Th-Hf/3-Ta، Th-Hf/3-Nb/16 و Th-Zr/117-Nb/16 (وود، ۱۹۸۰) ۲۲۲
۸-۲-۲-۲ نمودار FeO^t-MgO-Al_2O_3 ..... ۲۲۳
۸-۲-۲-۳ نمودارهای Y-Zr و TiO_2-Al_2O_3 مولر و گرووز (۱۹۹۷) ۲۲۵
۸-۲-۲-۴ نمودارهای Zr-Ti-Y و Zr-Ti-Sr ۲۲۷
۸-۲-۲-۵ نمودار Ti-Zr پیرس و کان (۱۹۷۳) ۲۲۷
۸-۲-۲-۶ نمودار Zr-Nb-Y ۲۲۷
۸-۲-۲-۷ نمودار MnO-TiO_2-P_2O_5 ..... ۲۳۱
۸-۲-۳ نتیجه گیری ۲۳۳
۸-۳ پتروژنز و الگوی تکتونوماگمایی پیشنهادی ۲۳۴

فهرست منابع ۲۳۷
منابع فارسی ۲۳۸
منابع خارجی ۲۴۲

پیوست‌ها ۲۵۶
پیوست ۱ نتایج آنالیز سنگ کل سنگ‌های نیمه‌عمیق شمال تهران به روش XRF ۲۵۶
پیوست ۲ نتایج آنالیز سنگ کل سنگ‌های خروجی شمال تهران به روش XRF ۲۶۰
پیوست ۳ نتایج آنالیز سنگ کل سنگ‌های آذرین شمال تهران به روش ICP-MS ۲۶۴
پیوست ۴ نتایج آنالیز میکروپروب کانیهای فلدسپات، پیروکسن و آمفیبول ۲۷۵
پیوست ۵ نتایج آنالیز ایزوتوپی Sr-Nd-Pb ۳۴۲

Abstract ۳۴۶

فهرست اَشکال

شماره شکل و توضیح **صفحه**

شکل ۱-۱ الف) تصویر ماهواره‌ای ناحیه مورد مطالعه در شمال تهران و موقعیت آن در کوههای البرز مرکزی در ایران. ب) عکس ماهواره‌ای بخشی از شمال ایران که دریای خزر، کوههای البرز، تهران و منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. ۳
شکل ۱-۲ نقشه توپوگرافی منطقه مورد مطالعه. ۴
شکل ۱-۳ محل برداشت نمونه‌هایی که آنالیز شده‌اند. ۱۴
شکل ۲-۱ واحدهای ساختمانی – رسوبی ایران. ۱۶
شکل ۲-۲ برش عرضی از البرز در طول جغرافیایی تهران (E ′۳۰ °۵۱) از آلن و همکاران (Allen et al.، ۲۰۰۳). ۱۹
شکل ۲-۳ تکامل ساختمانی سنوزوئیک پسین البرز(آلن و همکاران، ۲۰۰۳). ۱۹
شکل ۲-۴ ساختمان منطقه شمال غرب تهران از آلن و همکاران (۲۰۰۳). ۲۰
شکل ۲-۵ تصویر ماهواره‌ای مایل (دید به سمت غرب) تهران و کوههای شمال آن که گسلهای شمال تهران و مشا – فشم را نشان میدهد (از سایت NGDIR و حق‌شناس، ۲۰۰۵). ۲۰
شکل ۲-۶ نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه در شمال تهران. ۲۵
شکل ۲-۷ نمایی از سنگ‌های رسوبی، آتشفشان – رسوبی و نیمه‌عمیق شمال تهران که از محل جاده بین شیرپلا و کلک چال گرفته شده است. ۳۱
شکل ۲-۸ سنگ‌های رسوبی، آتشفشان – رسوبی و نیمه‌عمیق (سیل) شمال غرب امامزاده داود. ۳۱
شکل ۲-۹ . تصویری از سنگ‌های خروجی، نیمه‌عمیق، رسوبی و آتشفشان - رسوبی ناحیه شمال تهران در ارتفاعات بالاتر از روستای اوسون. ۳۲
شکل ۲-۱۰ . تصویری از سنگ‌های خروجی در ارتفاعات کلک چال. ۳۲
شکل ۲-۱۱ . سنگ‌های خروجی در ارتفاعات بالای دیواره غربی گلابدره. ۳۳
شکل ۲-۱۲ سنگ‌های خروجی شرق رودخانه جعفرآباد (بالاتر از دربند). ۳۳
شکل ۲-۱۳ تصویری از سنگ‌های خروجی، نیمه‌عمیق، رسوبی و آتشفشان – رسوبی بالاتر از درکه. ۳۴
شکل ۲-۱۴ سنگ‌های خروجی و سنگ‌های رسوبی شمال پارک جمشیدیه. ۳۴
شکل ۳-۱ تصاویر میکروسکپی تعدادی از گابروهای شمال تهران. ۴۰
شکل ۳-۲ تصاویر میکروسکپی تعدادی از مونزوگابروهای شمال تهران. ۴۴
شکل ۳-۳ تصاویر میکروسکپی تعدادی از مونزودیوریت‌های شمال تهران. ۵۱

شکل ۳-۴ تصاویر میکروسکپی تعدادی از مونزودیوریت‌های شمال غرب کیگا..... ۵۳
شکل ۳-۵ تصاویر میکروسکپی یک نمونه بازالت (نمونه DRK3) از شمال تهران..... ۵۵
شکل ۳-۶ تصاویر میکروسکپی تعدادی از بازالتیک تراکی‌آندزیتهای شمال تهران..... ۶۲
شکل ۳-۷ تصاویر میکروسکپی از دو سنگ تراکی‌آندزیتی شمال تهران..... ۶۸
شکل ۳-۸ تصاویر میکروسکپی از دو سنگ تراکیتی شمال تهران..... ۷۰
شکل ۳-۹ تصاویر میکروسکپی از یک سنگ داسیتی شمال تهران..... ۷۳
شکل ۳-۱۰ تصاویر میکروسکپی تعدادی از ریولیت‌های شمال تهران..... ۷۶
شکل ۴-۱ نمودار Ab-Or-An برای تمام فلدسپات‌های سنگ‌های نیمه‌عمیق شمال تهران.... ۸۷
شکل ۴-۲ نمودار Ab-Or-An برای تمام فلدسپات‌های سنگ‌های خروجی شمال تهران..... ۸۷
شکل ۴-۳ نمودارهای فلدسپات‌های کلسیک، سدیک و پتاسیک برای سنگ‌های نیمه‌عمیق مونزونیتی شمال غرب کیگا و سایر سنگ‌های نیمه‌عمیق با ترکیب گابرو، مونزوگابرو و مونزودیوریت..... ۸۸
شکل ۴-۴ نمودارهای فلدسپاتهای کلسیک، سدیک و پتاسیک برای سنگ‌های خروجی با ترکیب بازالت، بازالتیک تراکی‌آندزیت، تراکی‌آندزیت، تراکیت، داسیت و ریولیت که فلدسپات-های آنها با میکروپروب بررسی شده است..... ۸۸
شکل ۴-۵ نمودار Q-J از موریموتو و کیتامورا (۱۹۸۳) که آنالیز میکروپروب کلیه نقاط پیروکسن‌های سنگ‌های آذرین شمال تهران در آن نمایش داده شده‌اند..... ۹۴
شکل ۴-۶ نمودار En-Wo-Fs که آنالیز میکروپروب کلیه نقاط پیروکسن‌های سنگ‌های آذرین شمال تهران در آن نمایش داده شده‌اند..... ۹۴
شکل ۴-۷ نمودارهای En-Wo-Fs برای پیروکسن‌های سنگ های نیمه‌عمیق مونزودیوریتی شمال غرب کیگا و سایر سنگ‌های نیمه‌عمیق با ترکیبهای گابرو، مونزوگابرو، مونزودیوریت... ۹۵
شکل ۴-۸ نمودارهای En-Wo-Fs برای پیروکسن‌های بازالت‌ها، بازالتیک تراکی‌آندزیت‌ها و تراکی‌آندزیت‌ها که با میکروپروب بررسی شده است..... ۹۵
شکل ۴-۹ تغییرات ترکیب پلاژیوکلازهای سنگ‌های نیمه‌عمیق شمال تهران..... ۱۰۳
شکل ۴-۱۰ تغییرات ترکیب پلاژیوکلازهای سنگ‌های خروجی شمال تهران..... ۱۰۳
شکل ۴-۱۱ تغییرات ترکیب کلینوپیروکسن‌های سنگ‌های نیمه‌عمیق شمال تهران..... ۱۰۴
شکل ۴-۱۲ تغییرات ترکیب کلینوپیروکسن‌های سنگ‌های خروجی شمال تهران..... ۱۰۵
شکل ۴-۱۳ تغییرات ترکیب آمفیبول‌های دو سنگ خروجی شمال تهران..... ۱۰۶
شکل ۵-۱ موقعیت نورماتیو سنگ‌های نیمه‌عمیق منطقه مورد مطالعه در نمودار QAPF اشتریکایزن و لومتر (۱۹۷۹)..... ۱۲۱
شکل ۵-۲ موقعیت نورماتیو سنگ‌های خروجی منطقه مورد مطالعه در نمودار QAPF اشتریکایزن و لومتر (۱۹۷۸)..... ۱۲۱

شکل ۵-۳ موقعیت سنگ‌های نیمه‌عمیق و خروجی منطقه مورد مطالعه با استفاده از پارامترهای R1 و R2 (اقتباس از دولاروش و همکاران، ۱۹۸۰) که با استفاده از نسبتهای میلی کاتیونی محاسبه گردیده‌اند. ۱۲۳
شکل ۵-۴ جایگاه سنگ‌های نیمه‌عمیق مورد مطالعه در نمودار دبون و لوفورت (۱۹۸۳). ۱۲۴
شکل ۵-۵ سنگ‌های نیمه‌عمیق و خروجی منطقه مورد مطالعه در تقسیم بندی TAS (آلکالی کل در مقابل سیلیس از میدلموست، ۱۹۹۴). ۱۲۶
شکل ۵-۶ سنگ‌های نیمه‌عمیق و خروجی منطقه مورد مطالعه در تقسیم بندی TAS (آلکالی کل در مقابل سیلیس) از کاکس و همکاران(۱۹۷۹). ۱۲۷
شکل ۵-۷ سنگ‌های خروجی منطقه مورد مطالعه در تقسیم بندی وینچستر و فلوید (۱۹۷۷) بر اساس Zr/TiO_2 در مقابل Nb/Y. ۱۲۸
شکل ۵-۸ سنگ‌های خروجی منطقه مورد مطالعه در تقسیم بندی وینچستر و فلوید (۱۹۷۷) بر اساس SiO_2 در مقابل Zr/TiO_2. ۱۲۹
شکل ۶-۱ . نمودار تغییرات اکسیدهای اصلی سنگ‌های نیمه‌عمیق منطقه مورد مطالعه. ۱۳۶
شکل ۶-۲ . نمودار تغییرات اکسیدهای اصلی سنگ‌های خروجی منطقه مورد مطالعه. ۱۳۷
شکل ۶-۳ نمودارهای تغییرات عناصر کمیاب و نادر خاکی سنگ‌های نیمه‌عمیق منطقه مورد مطالعه. ۱۴۴
شکل ۶-۴ نمودارهای تغییرات عناصر کمیاب و نادر خاکی سنگ‌های خروجی منطقه مورد مطالعه. ۱۴۶
شکل ۶-۵ الگوهای عناصر ناسازگار سنگ‌های نیمه‌عمیق ناحیه شمال تهران که به NMORB نرمالیز شده‌اند. ۱۶۰
شکل ۶-۶ الگوهای عناصر ناسازگار سنگ‌های خروجی ناحیه شمال تهران که به NMORB نرمالیز شده‌اند. ۱۶۰
شکل ۶-۷ الگوهای عناصر ناسازگار سنگ‌های خروجی شمال تهران که به NMORB نرمالیز شده‌اند و بر مبنای مقدار سیلیس آنها به دو گروه تقسیم شده‌اند. ۱۶۱
شکل ۶-۸ مقایسه الگوهای عناصر ناسازگار سنگ‌های نیمه‌عمیق و خروجی ناحیه شمال تهران با سنگ‌های آتش‌فشان مراپی (Merapi). ۱۶۳
شکل ۶-۹ مقایسه الگوهای عناصر ناسازگار سنگ‌های نیمه‌عمیق و خروجی ناحیه شمال تهران با سنگ‌های آتش‌فشان کلوچوسکوی (Kluchevskoy). ۱۶۴
شکل ۶-۱۰ مقایسه الگوهای عناصر ناسازگار سنگ‌های نیمه‌عمیق و خروجی ناحیه شمال تهران با سنگ‌های آتش‌فشان بیکنینگ (Bakening). ۱۶۵
شکل ۶-۱۱ مقایسه الگوهای عناصر ناسازگار سنگ‌های نیمه‌عمیق و خروجی ناحیه شمال تهران با سنگ‌های آتش‌فشان اگمونت (Egmont). ۱۶۶

شکل ۶-۱۲ مقایسه الگوهای عناصر ناسازگار سنگ‌های نیمه‌عمیق و خروجی ناحیه شمال تهران با سنگ‌های خروجی نوع آندی شیلی مرکزی..... ۱۶۷
شکل ۶-۱۳ توزیع عناصر نادر خاکی (REE) در سنگ‌های نیمه‌عمیق ناحیه شمال تهران که به کندریت C1 نرمالیز شده‌اند..... ۱۷۰
شکل ۶-۱۴ . توزیع عناصر نادر خاکی (REE) در سنگ‌های خروجی ناحیه شمال تهران که به کندریت C1 نرمالیز شده‌اند..... ۱۷۰
شکل ۶-۱۵ مقایسه الگوهای REE سنگ‌های نیمه‌عمیق و خروجی ناحیه شمال تهران با سنگ‌های آتش‌فشان مراپی (Merapi)..... ۱۷۲
شکل ۶-۱۶ مقایسه الگوهای REE سنگ‌های نیمه‌عمیق و خروجی ناحیه شمال تهران با سنگ‌های آتش‌فشان کلوچوسکوی (Kluchevskoy)..... ۱۷۳
شکل ۶-۱۷ مقایسه الگوهای REE سنگ‌های نیمه‌عمیق و خروجی ناحیه شمال تهران با سنگ‌های آتش‌فشان بیکنینگ (Bakening)..... ۱۷۴
شکل ۶-۱۸ مقایسه الگوهای REE سنگ‌های نیمه‌عمیق و خروجی ناحیه شمال تهران با سنگ‌های آتش‌فشان اگمونت (Egmont)..... ۱۷۵
شکل ۶-۱۹ مقایسه الگوهای REE سنگ‌های نیمه‌عمیق و خروجی ناحیه شمال تهران با سنگ‌های خروجی نوع آندی شیلی مرکزی..... ۱۷۶
شکل ۶-۲۰ نمودار Th/Yb در مقابل Ta/Yb (از پیرس (Pearce)، ۱۹۸۳) برای سنگ‌های نیمه‌عمیق شمال تهران..... ۱۷۹
شکل ۷-۱ نسبتهای ایزوتوپی $^{87}Sr/^{86}Sr$، $^{143}Nd/^{144}Nd$، $^{208}Pb/^{204}Pb$، $^{207}Pb/^{204}Pb$ و $^{206}Pb/^{204}Pb$ در مقابل SiO_2 برای سنگ‌های خروجی و نیمه‌عمیق شمال تهران..... ۱۸۹
شکل ۷-۲ تکامل ایزوتوپی Nd در یک مخزن متحدالشکل کندریتی (CHUR) (ویلسون، ۱۹۸۹)..... ۱۹۰
شکل ۷-۳ نمودار $^{143}Nd/^{144}Nd$ در مقابل $^{87}Sr/^{86}Sr$ که قرار گیری سنگ‌های آذرین شمال تهران را بین میدانهای MORB و رسوبات اقیانوسی نشان میدهد..... ۱۹۲
شکل ۷-۴ منحنی‌های رشد که تکامل ایزوتوپی Pb در زمین را نشان می‌دهند (ویلسون، ۱۹۸۹)..... ۱۹۳
شکل ۷-۵ نمودار تغییرات نسبتهای ایزوتوپی $^{208}Pb/^{204}Pb$ در مقابل $^{206}Pb/^{204}Pb$ در سنگ‌های آذرین شمال تهران..... ۱۹۴
شکل ۷-۶ نمودار تغییرات نسبتهای ایزوتوپی $^{207}Pb/^{204}Pb$ در مقابل $^{206}Pb/^{204}Pb$ در سنگ‌های آذرین شمال تهران..... ۱۹۴

شکل ۷-۷ تغییرات $^{207}Pb/^{204}Pb$ در مقابل $^{206}Pb/^{204}Pb$ برای سنگ‌های آتش‌فشانی از موقعیتهای مختلف تکتونیکی (ویلسون، ۱۹۸۹). موقعیت سنگ‌های آذرین شمال تهران نیز جهت مقایسه نشان داده شده‌اند..... ۱۹۵
شکل ۷-۸ نمودار همبستگی ایزوتوپی $^{143}Nd/^{144}Nd$ در مقابل $^{87}Sr/^{86}Sr$ که منابع اصلی گوشته اقیانوسی (زیندلر و هارت، ۱۹۸۶) و مقادیر مربوط به سنگ‌های آذرین شمال تهران را نشان میدهد..... ۱۹۸
شکل ۷-۹ نمودار همبستگی ایزوتوپی $^{208}Pb/^{204}Pb$ در مقابل $^{206}Pb/^{204}Pb$ که موقعیت خط مرجع نیمکره شمالی (NHRL) را با نسبت Th/U = ۴ نشان میدهد (رولینسون، ۱۹۹۳)..... ۱۹۹
شکل ۷-۱۰ نمودار همبستگی ایزوتوپی $^{207}Pb/^{204}Pb$ در مقابل $^{206}Pb/^{204}Pb$ که موقعیت خط مرجع نیمکره شمالی (NHRL) را با نسبت Th/U = ۴ نشان میدهد (رولینسون، ۱۹۹۳). همچنین موقعیت سنگ‌های آذرین منطقه مورد مطالعه در شمال تهران نیز نشان داده شده‌اند. ۱۹۹
شکل ۷-۱۱ نمودار همبستگی ایزوتوپی $^{87}Sr/^{86}Sr$ در مقابل $^{206}Pb/^{204}Pb$ (رولینسون، ۱۹۹۳). همچنین موقعیت سنگ‌های آذرین منطقه مورد مطالعه در شمال تهران نیز نشان داده شده‌اند. ۲۰۰
شکل ۷-۱۲ نمودار همبستگی ایزوتوپی $^{143}Nd/^{144}Nd$ در مقابل $^{206}Pb/^{204}Pb$ (رولینسون، ۱۹۹۳). همچنین موقعیت سنگ‌های آذرین منطقه مورد مطالعه در شمال تهران نیز نشان داده شده‌اند. ۲۰۰
شکل ۷-۱۳ $^{87}Sr/^{86}Sr$ در مقابل اندیس تفریق Zr/TiO_2 سنگ‌های آذرین شمال تهران جهت تعیین آلایش پوسته ای..... ۲۰۳
شکل ۷-۱۴ $^{87}Sr/^{86}Sr$ در مقابل Ba/Th در سنگ‌های آذرین شمال تهران جهت تعیین آلایش پوسته ای..... ۲۰۳
شکل ۷-۱۵ نمودار نسبتهای ایزوتوپی $^{208}Pb/^{204}Pb$ در مقابل $^{206}Pb/^{204}Pb$ برای موقعیتهای قوس آتشفشانی به همراه موقعیت سنگ‌های آذرین منطقه مورد مطالعه در شمال تهران..... ۲۰۴
شکل ۷-۱۶ تغییرات $^{143}Nd/^{144}Nd$ در مقابل $^{87}Sr/^{86}Sr$ برای سنگ‌های آتش‌فشانی تعدادی از جزایر قوسی اقیانوسی مقایسه شده با طیف بازالت‌های اقیانوسی (MORB + OIB) (ویلسون، ۱۹۸۹). سنگ‌های آذرین شمال تهران برای مقایسه نشان داده شده‌اند..... ۲۰۵
شکل ۷-۱۷ نمودار $^{143}Nd/^{144}Nd$ در مقابل $^{87}Sr/^{86}Sr$ برای سنگ‌های آتش‌فشانی از مناطق آتش‌فشانی فعال شمالی (NVZ)، مرکزی (CVZ) و جنوبی (SVZ) آندها (ویلسون، ۱۹۸۹) به علاوه موقعیت سنگ‌های آذرین شمال تهران در آن جهت مقایسه..... ۲۰۸

شکل ۷-۱۸ $^{207}Pb/^{204}Pb$ در مقابل $^{206}Pb/^{204}Pb$ برای سنگ‌های (a) آتش‌فشانی و (b) پلوتونیک از آندها (ویلسون، ۱۹۸۹) به علاوه موقعیت سنگ‌های آذرین شمال تهران در آن جهت مقایسه..... ۲۰۹
شکل ۸-۱ نمودار ایروین و باراگار (۱۹۷۱) برای سنگ‌های نیمه‌عمیق و خروجی شمال تهران که دو محدوده ساب‌آلکالن و آلکالن را توسط خطی از هم جدا می‌کند..... ۲۱۵
شکل ۸-۲ نمودار Na_2O+K_2O در مقابل SiO_2 از میدلموست (۱۹۹۱) برای سنگ‌های نیمه-عمیق منطقه مورد مطالعه که دسته‌های ماگمایی را مشخص میکند..... ۲۱۶
شکل ۸-۳ نمودار Na_2O+K_2O در مقابل SiO_2 از میدلموست (۱۹۹۱) برای سنگ‌های خروجی منطقه مورد مطالعه که دسته‌های ماگمایی را مشخص می‌کند..... ۲۱۶
شکل ۸-۴ . نمودار K_2O در مقابلSiO_2 (پکسریلو و تیلور، ۱۹۷۶) برای سنگ‌های نیمه‌عمیق منطقه مورد مطالعه..... ۲۱۷
شکل ۸-۵ نمودار K_2O در مقابلSiO_2 (پکسریلو و تیلور، ۱۹۷۶) برای سنگ‌های خروجی منطقه مورد مطالعه..... ۲۱۸
شکل ۸-۶ نمودار AFM برای سنگ‌های نیمه‌عمیق و خروجی شمال تهران..... ۲۱۹
شکل ۸-۷ نمودارهای Th-Hf/3-Ta، Th-Hf/3-Nb/16 و Th-Zr/117-Nb/16 (وود، ۱۹۸۰). ۲۲۲
شکل ۸-۸ نمودار FeO^t-MgO-Al_2O_3 (پیرس و همکاران، ۱۹۷۷) برای سنگ‌های آذرین با دامنه SiO_2 بین ۵۶-۵۱ درصد وزنی. ۲۲۴
شکل ۸-۹ . نمودار Y در مقابل Zr (مولر و گرووز، ۱۹۹۷) سنگ‌های خروجی شمال تهران. ۲۲۵
شکل ۸-۱۰ . نمودار TiO_2 در مقابل Al_2O_3 (مولر و گرووز، ۱۹۹۷) سنگ‌های خروجی شمال تهران..... ۲۲۶
شکل ۸-۱۱ موقعیت سنگ‌های آذرین شمال تهران در نمودارهای تفکیکی Zr-Ti/100-3Y و Zr-Ti/100-Sr/2 از پیرس و کان (۱۹۷۳)..... ۲۲۸
شکل ۸-۱۲ موقعیت سنگ‌های آذرین منطقه مورد مطالعه در نمودار Ti در مقابل Zr از پیرس و کان (۱۹۷۳)..... ۲۲۹
شکل ۸-۱۳ موقعیت سنگ‌های آذرین شمال تهران در نمودار Zr/4-2Nb-Y از مشد (۱۹۸۶). ۲۳۰
شکل ۸-۱۴ موقعیت سنگ‌های آذرین شمال تهران در نمودار 10*MnO-TiO_2-10*P_2O_5 از مولن (۱۹۸۳)..... ۲۳۲

فهرست جداول

شماره جدول و توضیح **صفحه**

جدول ۴-۱ کانیهای آنالیز شده و نیز کانیهای موجود در نمونه‌های سنگ‌های نیمه‌عمیق شمال تهران..... ۸۱
جدول ۴-۲ کانیهای آنالیز شده و نیز کانیهای موجود در نمونه‌های سنگ‌های خروجی شمال تهران..... ۸۱
جدول ۴-۳ آنالیزهای میکروپروب نقاط نماینده انتخاب‌شده فلدسپات‌های سنگ‌های نیمه‌عمیق شمال تهران به همراه نتیجه محاسبه فرمول کانی و درصدهای آنورتیت (An)، آلبیت (Ab) و ارتوز (Or)، به تفکیک برای هر نقطه..... ۸۳
جدول ۴-۴ آنالیزهای میکروپروب نقاط نماینده انتخاب‌شده فلدسپات‌های سنگ‌های خروجی شمال تهران به همراه نتیجه محاسبه فرمول کانی و درصدهای آنورتیت (An)، آلبیت (Ab) و ارتوز (Or)، به تفکیک برای هر نقطه..... ۸۵
جدول ۴-۵ متوسط آنالیزهای میکروپروب پیروکسن‌های تعدادی از سنگ‌های نیمه‌عمیق شمال تهران به همراه نتیجه محاسبه فرمول کانی و مقدار ولاستونیت (Wo)، انستاتیت (En) و فروسیلیت (Fs) آنها، به تفکیک برای هر سنگ به روش لیندسلی (۱۹۸۳)..... ۹۱
جدول ۴-۶ متوسط آنالیزهای میکروپروب پیروکسن‌های تعدادی از سنگ‌های خروجی شمال تهران به همراه نتیجه محاسبه فرمول کانی و مقدار ولاستونیت (Wo)، انستاتیت (En) و فروسیلیت (Fs) آنها، به تفکیک برای هر سنگ به روش لیندسلی (۱۹۸۳)..... ۹۳
جدول ۴-۷ متوسط آنالیزهای میکروپروب آمفیبول‌های دو سنگ خروجی شمال تهران به همراه نتیجه محاسبه فرمول و نام کانی، به تفکیک برای هر سنگ..... ۹۷
جدول ۴-۸ تعیین درجه حرارت تشکیل چند نمونه از سنگ‌های آذرین شمال تهران با استفاده از ترکیب پلاژیوکلاز و آلکالی‌فلدسپات همراه طبق روش فوهرمن و لیندسلی (۱۹۹۸)..... ۱۰۸
جدول ۵-۱ کانیهای موجود در نمونه‌های سنگ‌های نیمه‌عمیق شمال تهران..... ۱۱۳
جدول ۵-۲ کانیهای موجود در نمونه‌های سنگ‌های خروجی شمال تهران..... ۱۱۴
جدول ۵-۳ ترکیب سنگ کل سنگ‌های نیمه‌عمیق شمال تهران..... ۱۱۵
جدول ۵-۴ ترکیب سنگ کل سنگ‌های خروجی شمال تهران..... ۱۱۸
جدول ۵-۵ کانیهای نورماتیو سنگ‌های نیمه‌عمیق شمال تهران به روش CIPW..... ۱۱۹
جدول ۵-۶ کانیهای نورماتیو سنگ‌های خروجی شمال تهران به روش CIPW..... ۱۲۰
جدول ۶-۱ اندیس تفریق (D.I) در سنگ‌های آذرین شمال تهران..... ۱۳۴
جدول ۷-۱ نسبتهای ایزوتوپی سنگ‌های آذرین شمال تهران..... ۱۸۶