ماگماتیسم مناطق فرورانش
(مناطق برخوردی)

دانشگاه شهید بهشتی

و

مرکز پژوهشی زمین شناسی پارس
(آرین زمین)

دکتر منصور قربانی

پیدایش انواع سنگ‌های آذرین در محیط کافت‌ها

در حالت کلی، از دیدگاه تکتونیک صفحه‌ای می‌توان چهار محیط مختلف را برای سنگ‌های آذرین در نظر گرفت که عبارت اند از:	کافت‌های قاره‌ای کافت‌های اقیانوسی **مناطق برخوردی (فرورانش)** سنگ‌های آذرین تشکیل شده در داخل صفحات قاره‌ای و اقیانوسی

ماگماتیسم مناطق فرورانش (مناطق برخوردی)

یکی از مناطقی که به‌وفور سنگ‌های ماگمایی دیده می‌شود، حاشیه‌های مخرب یعنی جایی‌که دو پوسته به هم برخورد می‌کنند، می‌باشند.

در این مناطق، معمولاً پوسته‌ای که چگالی بیشتری دارد (پوسته اقیانوسی) به زیر پوسته سبک‌تر (پوسته قاره‌ای) رفته و با فعل و انفعالاتی که صورت می‌پذیرد، انواع ماگماها به‌وجود می‌آید و بنابراین تنوع سنگ‌شناسی جالبی در این مناطق دیده می‌شود.

ماگماتیسم مناطق فرورانش (مناطق برخوردی)

در حالت کلی و برحسب چگونگی برخورد دو صفحه، سه نوع فرورانش وجود دارد که عبارت‌اند از:	فرورانش بین دو پوسته اقیانوسی، مانند جزایر ساندویچ، ماریان و تونگا
	فرورانش بین یک پوسته اقیانوسی و یک پوسته قاره‌ای، مانند سواحل غربی آمریکای جنوبی
	فرورانش بین یک پوسته اقیانوسی و یک پوسته حدواسط، مانند خلیج مکزیک

ماگماتیسم مناطق فرورانش (مناطق برخوردی)

فرورانش بین دو پوسته اقیانوسی

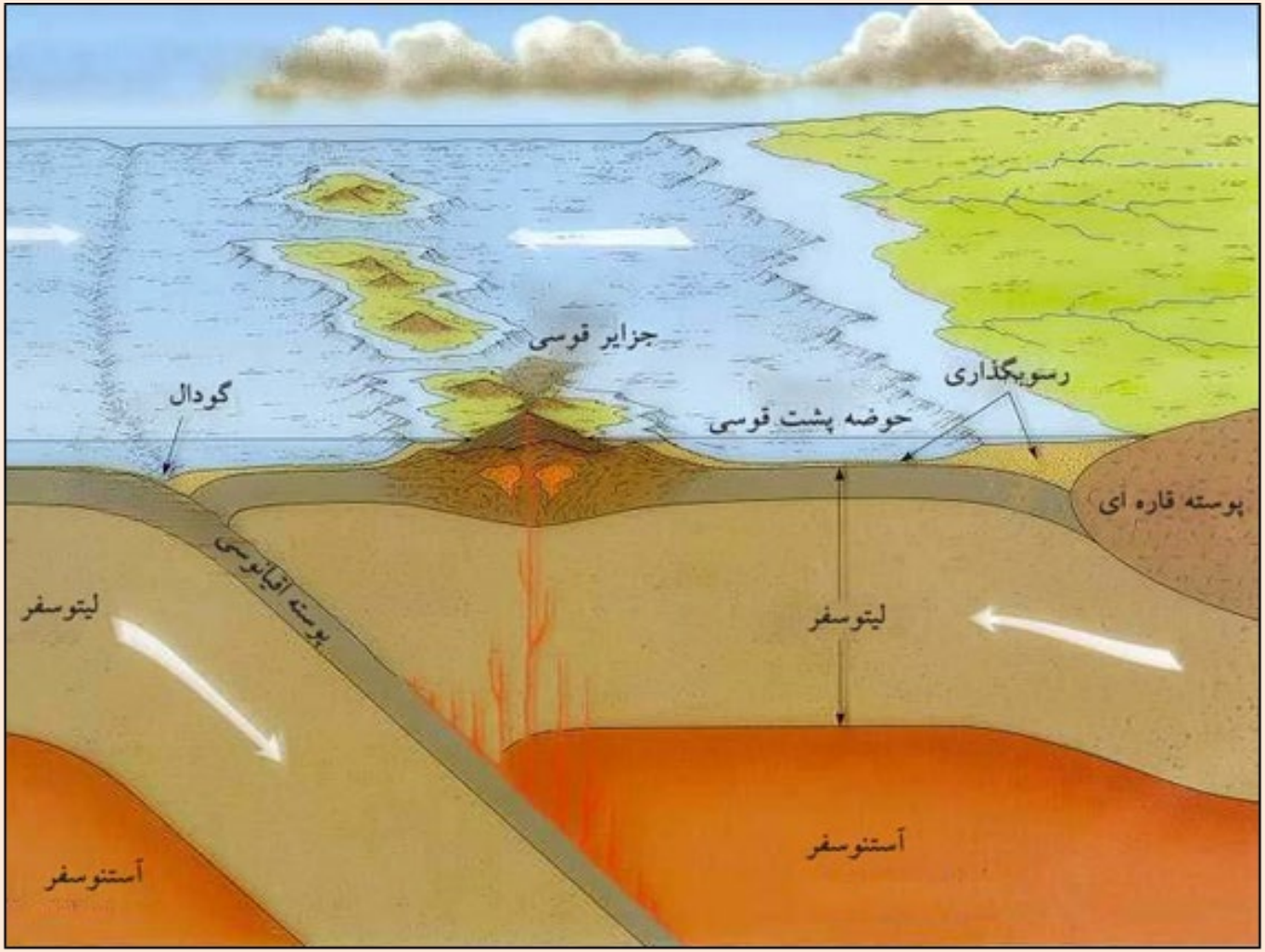
- جزایر قوسی
- حوضه‌های پشت قوسی

ماگماتیسم مناطق فرورانش (مناطق برخوردی)

جزایر قوسی

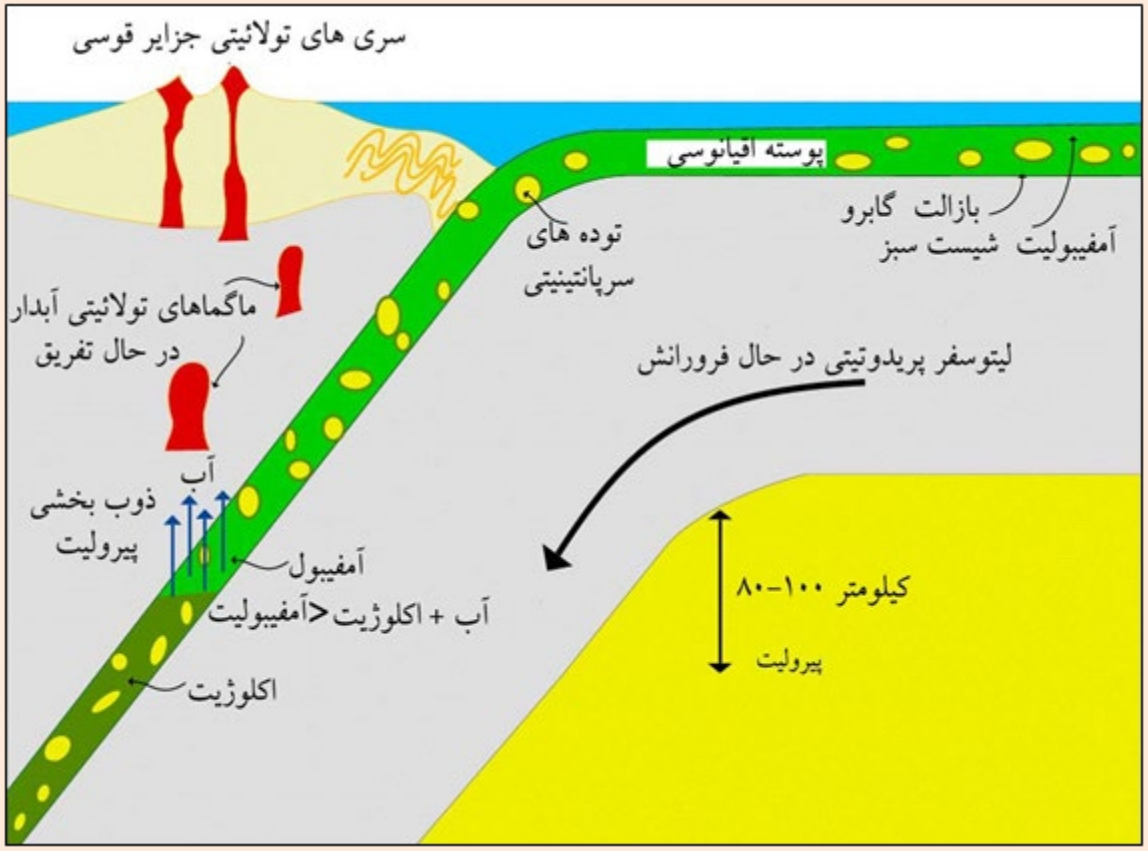
- جزایر قوسی اقیانوسی در محل‌هایی که یک ورقه لیتوسفری اقیانوسی به زیر ورقه اقیانوسی دیگر فرو می‌رود، دیده می‌شوند.
- از خصوصیات برجسته این جزایر، شکل زنجیره‌ای جزایر آتشفشانی است که به‌صورت خطی یا کمانی می‌باشد.
- در مجاورت آنها و به‌سمت پشت کمان، حوضه‌های حاشیه‌ای که توسط فرایندهای گسترش کف دریا ایجاد شده‌اند، قرار دارند.
- رسوبات در فوقانی‌ترین قسمت از پوسته اقیانوسی ایجاد می‌شوند و بلافاصله پس از خراشیده شدن ورقه‌ای که در حال فرورانش است، یک لبه در حال رشد در قسمت جلوی کمان شکل می‌گیرد.

جزایر قوسی



گسترش سیستم‌های اصلی جزایر قوسی را در اقیانوس‌های آرام، اطلس و اندونزی

مدل تکتونیکی جزایر قوسی

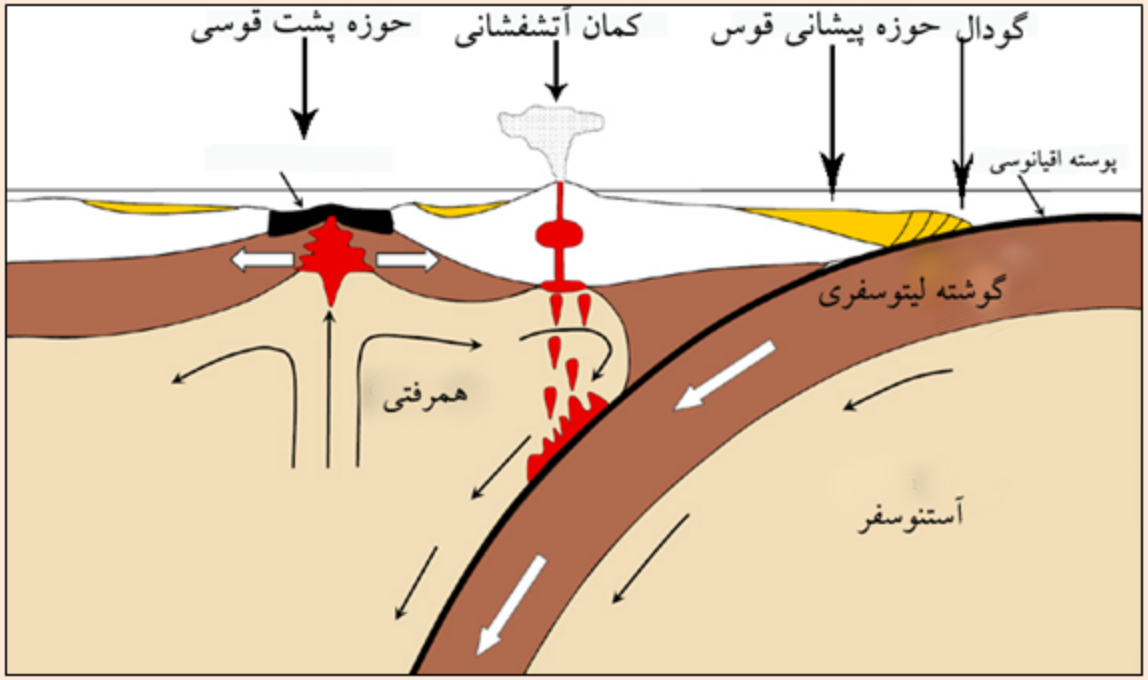


ماگماهای جزایر قوسی

ماگماهای جزایر قوسی می‌توانند توسط ذوب بخشی هریک از منابع زیر تولید شوند:

- **آمفیبولیت، همراه یا بدون فاز مایع آب‌دار**
- **اکلوژیت، همراه یا بدون فاز مایع آب‌دار**
- **لرزولیت، همراه با فاز مایع آب‌دار**
- **لرزولیتی که ترکیب آن به وسیله واکنش با ماگمای سیلیکاته آب‌داری که از ذوب بخشی گوشته مشتق شده، تغییر یافته است.**

شکل ظاهری کمانها



مدل جزیره قوسی که شامل گودال اقیانوسی، قسمت پیشانی کمان، کمان و پشت کمان می‌باشد

توصیف سری‌های ماگمایی

دیاگرام K_2O در برابر SiO_2

در این دیاگرام محل تمرکز ولکانیک‌های جزایر قوسی به ۴ سری ماگمایی مجزا تقسیم می‌شود:

- سری‌های پتاسیم پایین
- سری‌های کالکوآلکالن
- سری‌های کالکوآلکالن پتاسیم بالا
- سری‌های شوشونیتی

توصیف سری‌های ماگمایی

دیاگرام K_2O در برابر SiO_2

تفکیک سری‌های ماگمایی براساس میزان درصد اکسید سیلسیم به اکسید پتاسیم.

توصیف سری‌های ماگمایی

دیاگرام K_2O در برابر SiO_2

سری پتاسیم‌پایین می‌تواند مترادف با سری‌های تولئیتی جزایر قوسی در نظر گرفته شود و همچنین به سری‌های آلکالن منسوب گردد.

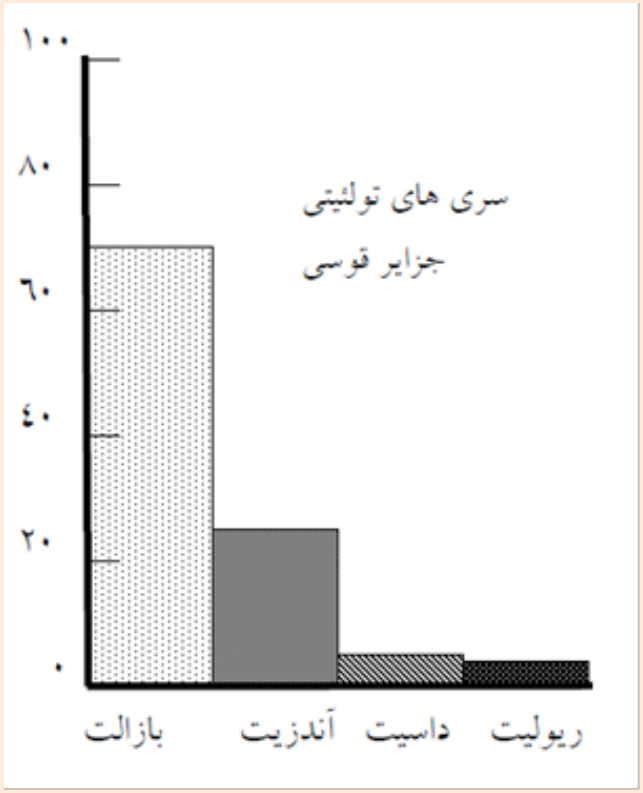
بخش‌های بازالتی از سری‌های کالکوآلکالن اغلب به بازالت‌های آلومینیوم بالا منسوب می‌شوند.

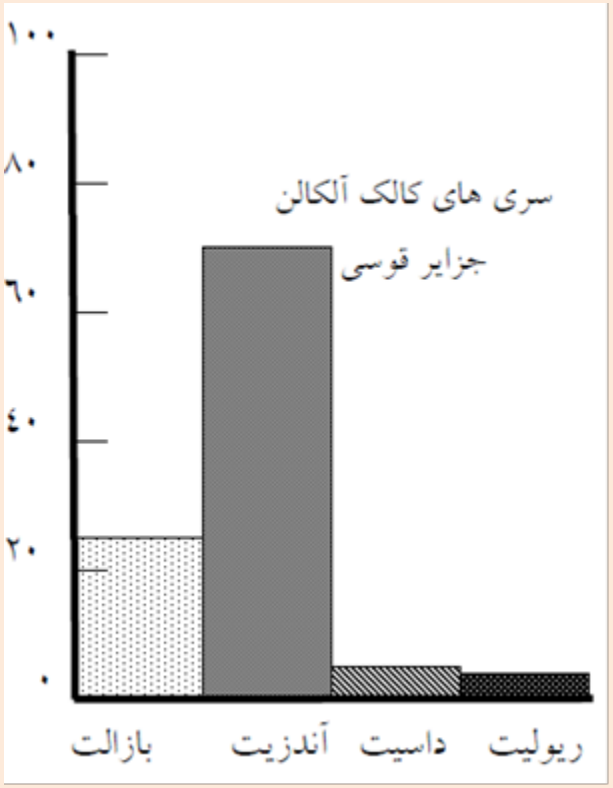
با در نظر گرفتن انواع ماگماهای تکامل یافته، ارتباط فراوانی بازالت‌ها، آندزیت‌ها، داسیت‌ها و ریولیت‌های ایجاد شده در سری‌های تولئیتی و کالکوآلکالن جزایر نشان داده شده است.

سری‌های کالکوآلکالن پتاسیم بالا به‌طور کلی شبیه به سری‌های کالکوآلکالن بوده، در حالی‌که سری‌های آلکالن و شوشونیتی عمدتاً بازالتی هستند، اما می‌توانند خیلی متغیر هم باشند.

توصیف سری‌های ماگمایی

دیاگرام K_2O در برابر SiO_2





توصیف سری‌های ماگمایی

دیاگرام SiO2 در برابر FeO/ MgO

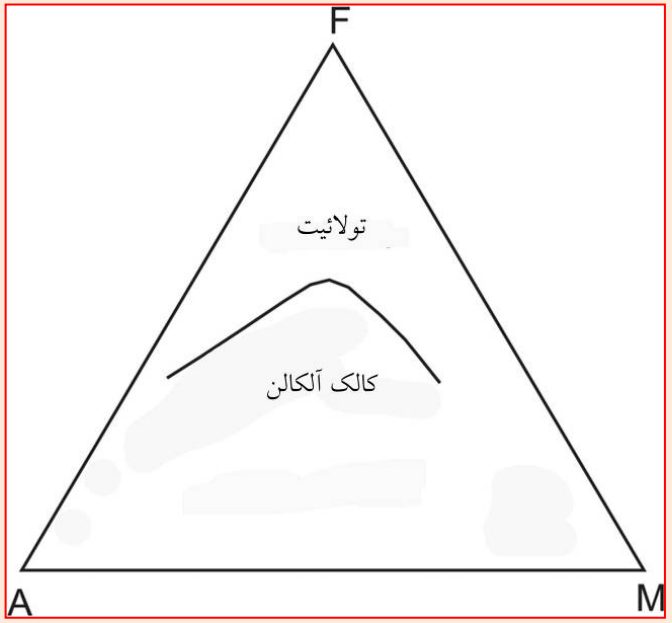
- سری‌های ماگمایی تولئیتی یا پتاسیم پایین توسط آهن فراوان مشخص می‌شوند. در عوض در سری‌های کالکوآلکالن به‌صورت یکنواختی، مقدار آهن همراه با افزایش SiO_2 کاهش می‌یابد (میاشیرو، ۱۹۷۴).
- برخی از نمودارهای ژئوشیمیایی می‌توانند برای تفکیک چنین روندهایی مفید باشند.
- برای مثال نمودار مثلثی که شامل سه قطب ($A=Al_2O_3-3K_2O$)، ($F=FeO-TiO_2+Fe_2O_3$) و ($M=MgO$) می‌باشد و اغلب به‌عنوان دیاگرام AFM شناخته می‌شود، می‌تواند برای نشان دادن روندهای واگرایی دو سری ماگمایی مفید باشد.

توصیف سری‌های ماگمایی

دیاگرام SiO2 در برابر FeO/ MgO

سری‌های تولئیت ولکانیک جزایر قوسی توسط فوران‌های جریانی بازالت‌ها و آندزیت‌های بازالتی که لایه‌های ورقه‌ای کم‌ارتفاعی را در اطراف دانه مرکزی تولید می‌کنند، توصیف می‌شوند. در این سری سنگ‌های پیروکلاستیکی به‌خصوص جریان‌های پیروکلاستیکی غیرمعمول بوده و بسیار کمیاب هستند. بین گدازه‌های آفیریک (دانه‌ریز و شیشه‌ای) با سری‌های کالکوآلکالن فاصله بسیار زیادی وجود دارد و کانی‌های آب‌دار مثل آمفیبول و بیوتیت در نهایت در این سری غایب هستند. این موضوع بیانگر کمی مواد فرار در ماگماهای مولد آنها است.

در مقابل سنگ اصلی سری کالکوآلکالن (شامل کالکوآلکالن‌های پتاسیم بالا) یک آندزیت دو پیروکسنه با حدود ۵۹ درصد سیلیس وجود دارد. روند فوران‌ها، انفجاری‌تر از تولئیت‌های جزایر قوسی بوده و پیروکلاستیک‌ها نیز به‌صورت ریزشی و جریانی نهشته می‌شوند. ماگماهای آندزیتی غلیظ‌تر از بازالت‌ها بوده و استراتوولکان‌های شیب‌داری تولید می‌کنند و اغلب با گنبدها و یا سوزن‌های آتشفشانی در مراکز کراتر همراه می‌باشند. اکثر گدازه‌ها به‌شدت پورفیریتیک بوده و پلاژیوکلازکلسیک عمومی‌ترین فنوکریست آنها می‌باشد.



توصیف سری‌های ماگمایی

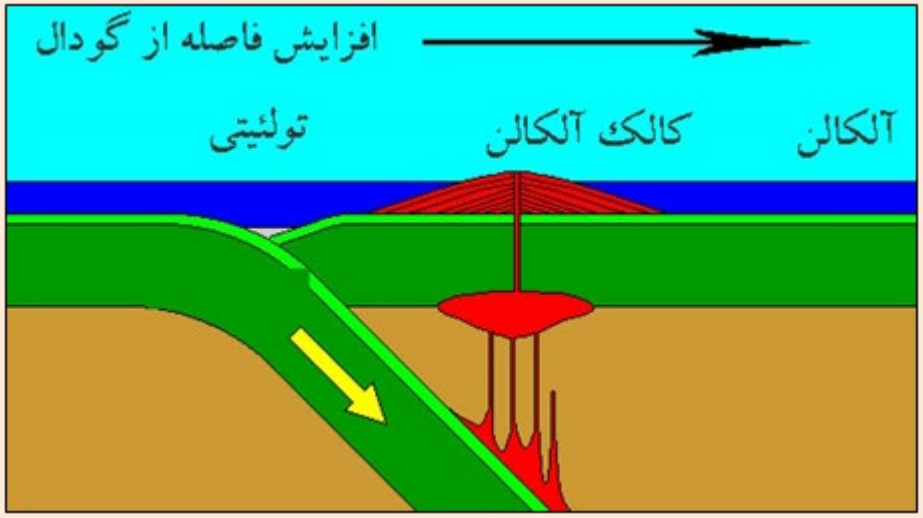
- رخداد کانی‌های هیدراته مثل آمفیبول و بیوتیت منعکس‌کننده طبیعت غنی از مواد فرار ماگماها می‌باشد.
- سری‌های ماگمای شوشونیتی بسیار متنوع‌ترند، ولی به‌طور میانگین شامل ۵۰ درصد بازالت،۴۰ درصد آندزیت و ۱۰ درصد داسیت هستند. لفظ قاطع «ترم شوشونیتی» فقط بایستی برای سری‌های آلکالن پتاسیک به‌کار برده شود.
- علاوه‌بر سری‌های ماگمایی ذکر شده بالا در جزایر قوسی، یک گروه معمول از آندزیت‌های منیزیم بالا (>%6 wt MgO)که بونینیت نامیده می‌شوند، نیز به‌وجود می‌آیند (بونینیت نوعی آندزیت الیوین- برونزیت‌دار با بافت شیشه‌ای، دارای مقدار کمی فلدسپات به‌صورت مودال یا بدون آن می‌باشد که توسط پیترسون در سال ۱۹۸۱ نام‌گذاری شده است). این سری‌های ماگمایی به‌وضوح به مناطق پیشانی کمان محدود شده‌اند.

تغییرات زمانی و مکانی در ماگماتیسم جزایر قوسی

مدل‌های اولیه برای ماگماتیسم جزایر قوسی براساس مطالعات کمان ژاپن بیان شده است.

در این کمان با افزایش فاصله از محل گودال، ماگماهای فوران یافته، ویژگی‌های آلکالن را نشان می‌دهند (کونو، ۱۹۵۹).

این امر نمایانگر گسترش ارتباط عمق با مقدار پتاسیم ماگما (K-h)می‌باشد که به‌موجب آن نسبت مستقیمی میان مقدار K_2O (K) ماگماها، در یک مقدار ثابت SiO_2 با عمق زون بنیوف (h) وجود دارد (دیکنسون، ۱۹۷۵).



ترکیب شیمیایی ماگماهای فوران‌یافته

عناصر اصلی

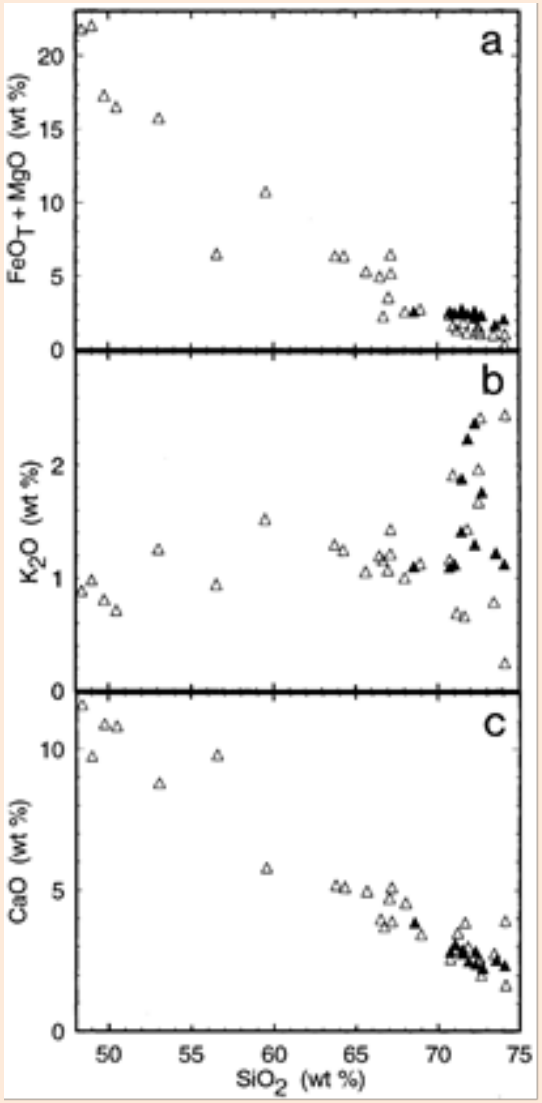
H_2O، P_2O_5، K_2O، Na_2O، CaO، MgO، FeO، MnO، Fe_2O_3، Al_2O_3، TiO_2، SiO_2 می‌توانند همه به‌عنوان عناصر اصلی در تشریح ژئوشیمیایی ماگماهای جزایر قوسی در نظر گرفته شوند.

در یک‌سری از ماگماهای جزایر قوسی، آشکارترین شاخص بین سری‌های اصلی ماگمایی، افزایش مقدار کل آلکالی در سکانس تولئیتی- کالکوآلکالن-کالکوآلکالن پتاسیم بالا- شوشونیتی است. البته میزان K2O نسبت به Na2O افزایش بیشتری نشان می‌دهد.

ترکیب شیمیایی ماگماهای فوران‌یافته

عناصر اصلی

- نمودارهای هارکر می‌تواند برای بررسی ژئوشیمیایی عناصر اصلی در محل‌های مشخصی از سنگ‌های آذرین هم‌منشأ مفید باشد.
- K2O عموماً رفتار ناسازگاری در موقعیت‌های تکتونیکی جزایر قوسی نشان می‌دهد. بنابراین سنگ‌هایی که ارتباط ژنتیکی با هم دارند، روند خطی را با افزایش تدریجی K2O همراه با افزایش SiO2 نشان می‌دهند.
- تطابق منفی اکسیدهای Fe2O3+FeO، CaO با سیلیس گدازه‌های مرتبط ژنتیکی از کمان سونه‌ای اندونزی نشان داده شده که می‌تواند نقش پلاژیوکلاز و مگنتیت به‌عنوان فاز جدایش اصلی در تکامل ماگماها را تأیید کند.



ترکیب شیمیایی ماگماهای فوران‌یافته

عناصر کمیاب

	آلکالن درون‌صفحه‌ای	کالک‌آلکالن‌های جزایر قوسی	تولئیت‌های جزایرقوسی	تولئیت‌های پشت‌قوسی	تولئیت‌های درون‌صفحه‌ای	E مورب	N مورب
Rb	۲۲	۱٤	٤/٦	٦	۷/۵	۳/۹	۱
Ba	۳۸۰	۳۰۰	۱۱۰	۷۷	۱۰۰	٦۸	۱۲
K	۹/٦	۸٦٤۰	۳۲٤۰	۳۵٦۹	٤/۱۵۱	۱۹۲۰	۱۰٦۰
Nb	۵۳	۱/٤	۰/۷	۸	۱۳	۸/۱	۳/۱
La	۳۵	۱۰	۱/۳	۷/۸۳	۹	٦/۳	۳
Ce	۷۲	۲۳	۳/۷	۱۹	۳۱/۳	۱۵	۹
Sr	۸۰۰	۵۵۰	۲۰۰	۲۱۲	۲۹۰	۱۸۰	۱۲٤
Nd	۳۵	۱۳	۳/٤	۱۳/۱	۱۹	۹	۷/۷
Zr	۲۲۰	٤۰	۲۲	۱۳۰	۱٤۹	۷۵	۸۵
Sm	۱۳	۲/۹	۱/۲	۳/۹٤	۵/۳۵	۲/۵	۲/۸
Ti	۲۰	٤٦۵۰	۳۰۰۰	۸۷۵۳	۱۳/۳٦۹	۸۰٦۰	۹۳۰۰
Y	۳۰	۱۵	۱۲	۳۰	۲٦	۲۲	۲۹
Th	۳/٤	۱/۱	۰/۲۵	-	-	۰/۵۵	۰/۲
U	۱/۱	۰/۳٦	۰/۱	-	-	۰/۱۸	۰/۱

مقایسه عناصر نادر بازالت‌های جزایر قوسی با انواع ماگماهای بازالتی اقیانوسی دیگر. داده‌ها از سان (۱۹۸۰)، پیرس (۱۹۸۲)، هاوکس ورک (۱۹۷۷).

ترکیب شیمیایی ماگماهای فوران‌یافته

عناصر کمیاب

- فراوانی کم عناصر ناسازگار در منشأ بازالت‌های جزایر قوسی بسیار اهمیت داشته، همچنان‌که مانند MORB از یک منشأ تهی‌شده شیمیایی مشتق شده باشد.
- به‌طورکلی بازالت‌های جزایر قوسی Ni پایینی دارند. این مسئله می‌تواند بیانگر ایجاد آنها از یک ماگمای ثانویه باشد.
- از طرف دیگر، الیوین نیز در راه رسیدن به سطح دچار تفریق می‌شود.
- این موضوع منجر به افزایش تمرکز عنصر ناسازگار در ماگمای اولیه می‌گردد و حتی مشاهده شده که بازالت‌های جزایر قوسی به‌شدت از عناصر ناسازگار معین تهی شده‌اند.
- عناصر با پتانسیل یونی پایین اکثراً به‌راحتی می‌توانند توسط یک فاز مایع به بازالت‌های جزایر قوسی منتقل شوند.

ترکیب شیمیایی ماگماهای فوران‌یافته

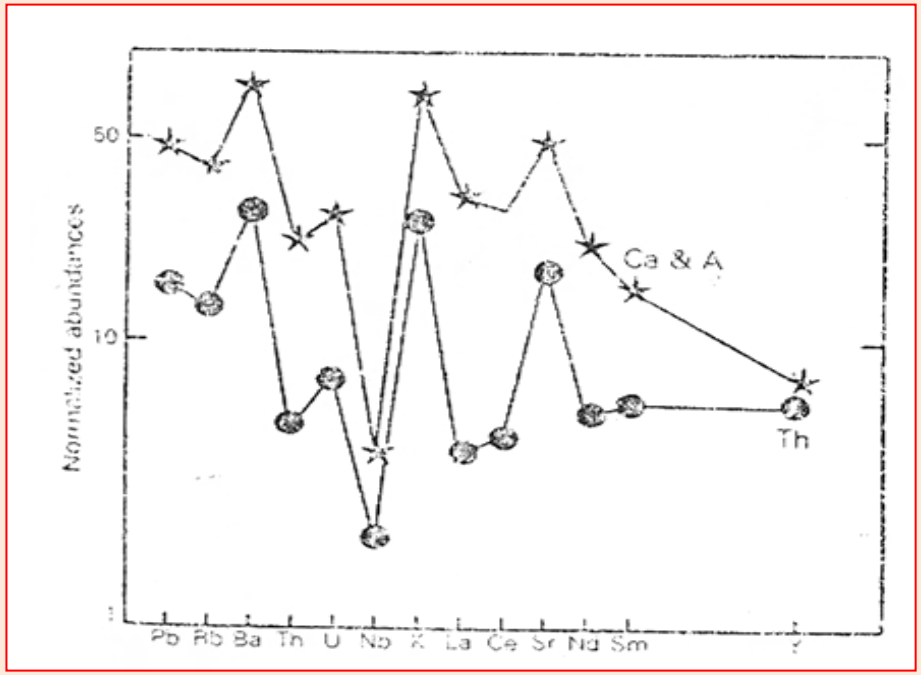
عناصر کمیاب

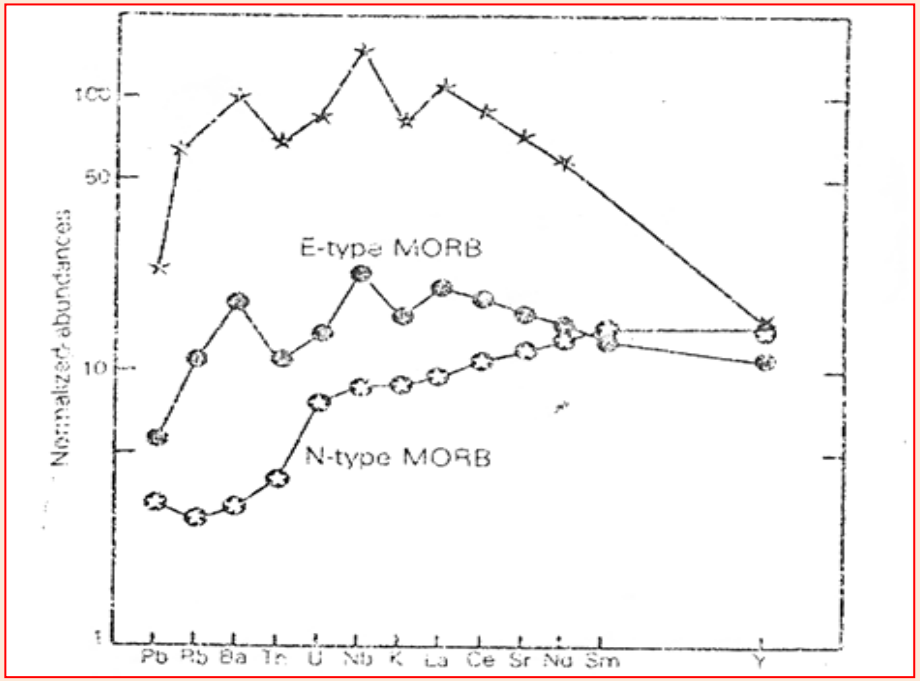
- فراوانی پایین عناصر با پتانسیل یونی بالا به عوامل گوناگونی نسبت داده شده (پیرس ۱۹۸۲) که عبارت‌اند از:

- ذوب بخشی درجه بالای گوشته منشأ.
- پایداری فازهای اصلی باقی‌مانده (برای مثال روتیل، زیرکن و اسفن) در گوشته منشأ که باعث تقدم عناصر کمیاب می‌گردد.
- ذوب مجدد یک گوشته منشأ تهی‌شده

ترکیب شیمیایی ماگماهای فوران‌یافته

عناصر ناسازگار

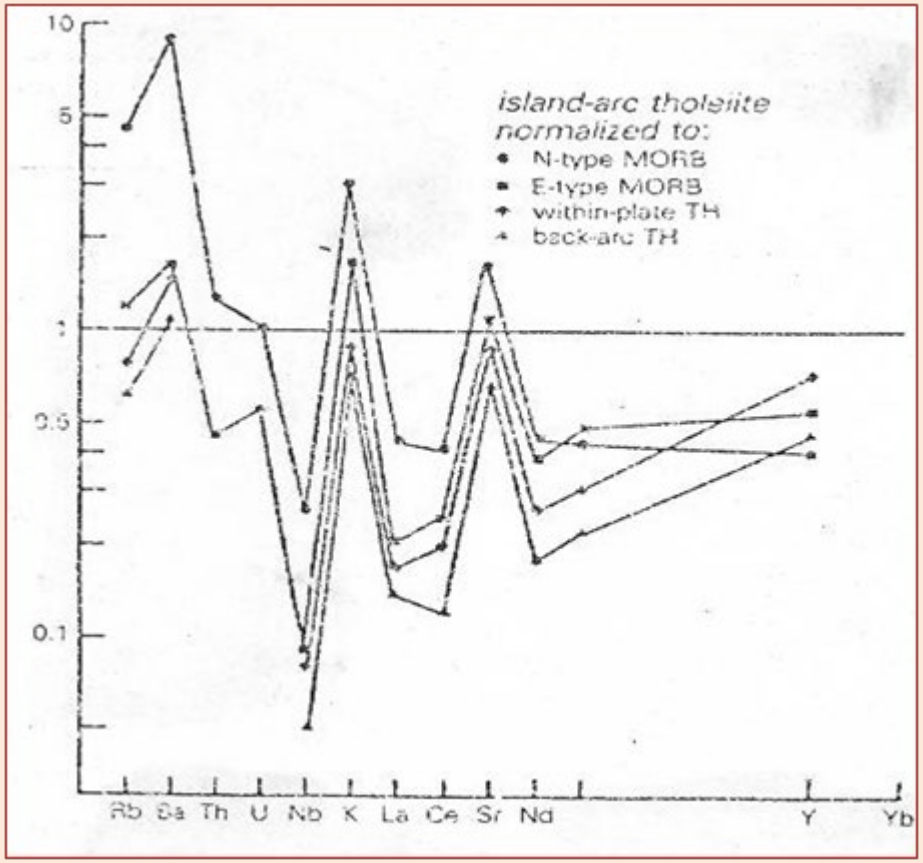




فراوانی عناصر ناسازگار نرمالیز شده براساس مقادیر گوشته اولیه برای ماگماهای بازالتی فوران یافته در محیط‌های کمانی و غیرکمانی (سان، ۱۹۸۰).

ترکیب شیمیایی ماگماهای فوران‌یافته

نمودارهای عنکبوتی

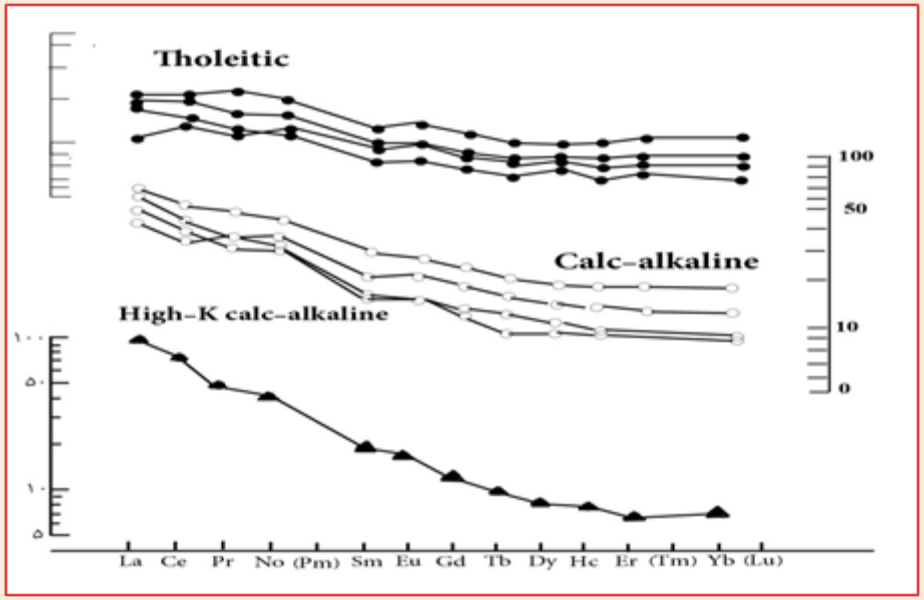


- نمودار عنکبوتی سنگ‌های تولئیتی جزایر قوسی که نسبت به بازالت‌های تولئیتی محیط‌های غیرکمانی نورمالیز شده‌اند.

- الگوی فراوانی عناصر کمیاب تولئیت‌های جزایر قوسی، از الگوهای ارائه شده دیگر بسیار متمایز می‌باشند. ولی این موضوع وقتی آشکار می‌گردد که انواع بازالت‌های تولئیتی دیگر با MORB مطابقت داده شود و تولئیت‌های جزایر قوسی به‌صورت گسترده‌ای در تمامی محدوده عناصر کمیاب تهی‌شده هستند.

ترکیب شیمیایی ماگماهای فوران‌یافته

نمودارهای عنکبوتی

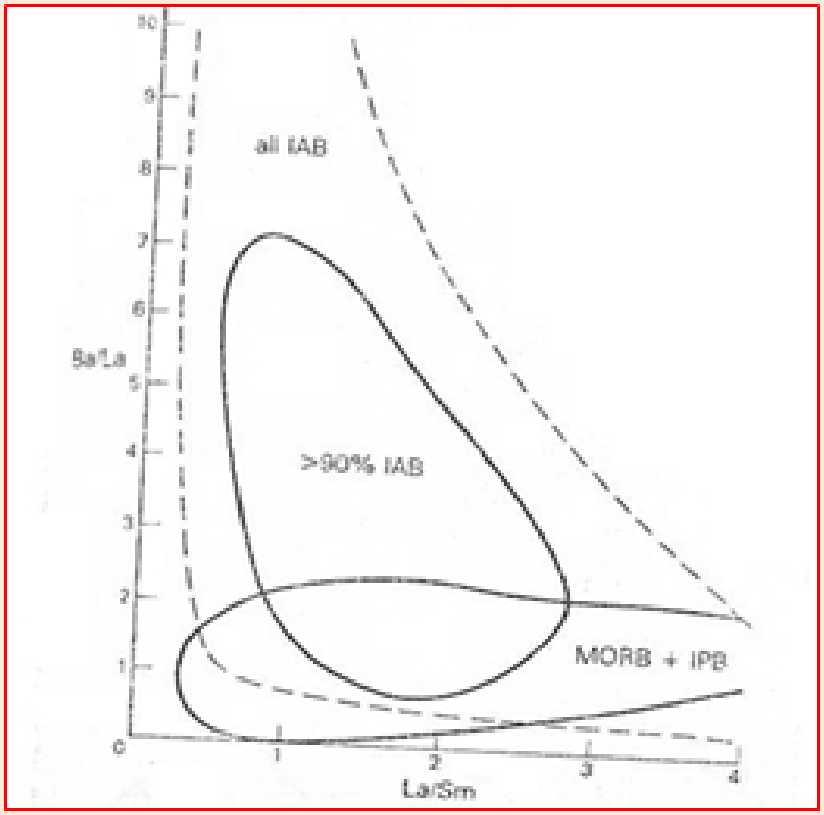


- نمودار عنکبوتی سنگ‌های تولئیتی جزایر قوسی که نسبت به بازالت‌های کالک‌آلکالن و پتاسیم‌بالای محیط‌های غیرکمانی نرمالیز شده‌اند.

- الگوهای فراوانی عناصر ناسازگار نرمالیزشده برای بازالت‌های جزایر قوسی نشان‌دهنده ایجاد این بازالت‌ها از منشأ MORB یا از منشأ گوشته تولئیت جزایر قوسی می‌باشد.

ترکیب شیمیایی ماگماهای فوران‌یافته

نمودارهای عنکبوتی

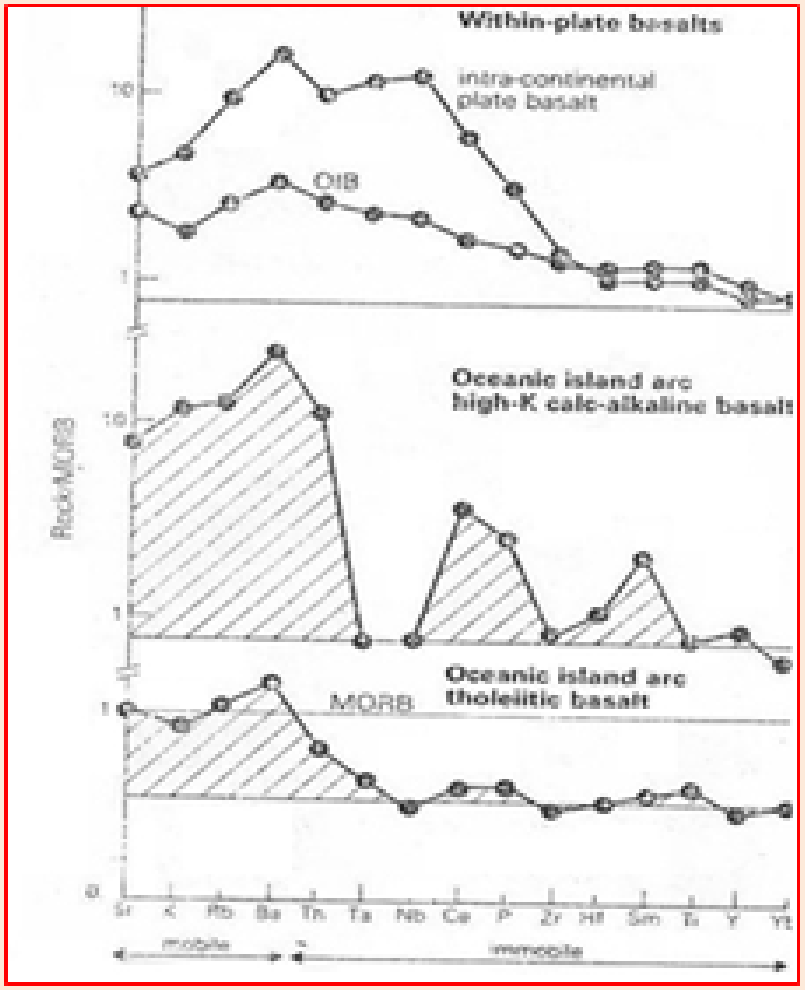


- نمودار Ba/La در برابر La/Sm.

- در این نمودار بازالت‌های جزایر قوسی، از بازالت‌های داخل صفحه‌ای و MORB با نسبت‌های بالای Ba/La متمایز می‌شوند.
- این نسبت بالا بیانگر غنی‌شدگی ثانویه لبه گوشته‌ای توسط مایعات غنی از Ba زون فرورانش می‌باشد که مقدار زیادی از Ba موجود در رسوبات اقیانوسی فرورفته مشتق می‌گردد.

ترکیب شیمیایی ماگماهای فوران‌یافته

مدل پتروژنتیکی تفصیلی



- در این مورد اتفاق‌نظر وجود دارد که ماگماهای بازالتی فوران‌یافته در جزایر قوسی توسط ذوب بخشی لبه گوشته بالای قطعه لیتوسفری فرورونده تولید شده‌اند (گرین ۱۹۸۲).
- احتمال ذوب بخشی لبه گوشته‌ای که در بالای قطعه لیتوسفری قرار گرفته، بسیار زیاد است.
- این قسمت از گوشته، اغلب همراه با تولید بازالت‌های پشته‌های میان اقیانوسی، توسط رویدادهای ذوب بخشی، گدازه‌های قابل‌توجهی را در جزایر قوسی تولید می‌کنند.
- این گوشته آستنوسفری مرکب می‌تواند ناهمگونی ذاتی پیش از فرورانش را نشان دهد که مخلوطی از ترکیب منشأ گوشته MORB و OIB است.

با سپاس