

آنورتوزیت‌ها Anorthosites و مسائل مربوط به آن

نوشته‌ی

فریدون سرابی

گروه آموزشی مهندسی معدن و ذوب فلزات دانشکده فنی

آنورتوزیت‌ها مطابق تعریف عبارت از سنگهای آذرین نفوذی (از دسته گابروها یا نوریت‌ها) هستند که یا فاقد کانیهای تیره‌اند و یا مقدار این نوع کانیها در آن خیلی کم است. بقیه سنگ که از پلاژیوکلازها تشکیل میشود معمولاً از آندزین-لاپرادوریت تشکیل شده است ولی گاهی هم پلاژیوکلازهای دیگری تشکیل آنورتوزیت‌ها را میدهد.

از نظر تجزیه شیمیائی این سنگها در حدود ۲۰ تا ۴۰ درصد SiO_2 دارند و Al_2O_3 آنها بین ۱۹ تا ۲۷ درصد تغییر میکند. در جدول ۱ تجزیه شیمیائی چهار نمونه از این سنگها داده شده است. در سالهای اخیر مطالعات زیادی روی آنورتوزیت‌ها بعمل آمده است و با پیدایش ایندسته از سنگها در ماه مسئله آنورتوزیت‌ها دومرتبه مورد توجه قرار گرفته است. چنانکه خواهیم دید سابقاً آنورتوزیت‌ها را بدو دسته کاملاً مشخص تقسیم‌بندی مینمودند و برای هر دسته طرز تشکیل خاصی فرض میشد ولی مطابق نظرات جدید این سنگها تشکیل یکسری پیوسته را میدهند و در طرز تشکیل آنها اختلاف اصولی وجود ندارد. با توجه بمطالب فوق ذیلاً ابتدا نظرات سابق ذکر میشوند و سپس پیشرفتهای جدید را در این زمینه ذکر می‌کنیم.

جدول ۱: ترکیب شیمیائی آنورتوزیت ها

۴*	۳*	۲*	۱*	
۵۴٫۸	۵۳٫۲۲	۵۳٫۳۴	۵۴٫۵۴	SiO _۲
۱٫۳	۰٫۶۹	۰٫۷۲	۰٫۶۷	TiO _۲
۲۵٫۲	۲۰٫۰۳	۲۲٫۵۰	۲۵٫۶۱	Al _۲ O _۳
۱٫۱	۰٫۷۰	۱٫۲۶	۱٫۰۰	Fe _۲ O _۳
۲٫۱	۳٫۹۸	۴٫۱۴	۱٫۲۶	FeO
—	۰٫۰۹	۰٫۰۷	—	MnO
۱٫۰	۴٫۰۸	۲٫۲۱	۱٫۰۳	MgO
۸٫۷	۱۲٫۳۳	۱۰٫۱۲	۹٫۹۲	CaO
۵٫۴	۳٫۵۷	۳٫۷۹	۴٫۵۸	Na _۲ O
۰٫۷	۰٫۵۵	۱٫۱۹	۱٫۰۱	Na _۲ O
—	۰٫۷۳	—	۰٫۵۵	H _۲ O ⁺
—	۰٫۰۶	—		H _۲ O ⁻
۰٫۱	۰٫۰۲	۰٫۱۳	—	P _۲ O _۵
—	۰٫۳۸	۰٫۴۱	—	CO _۲
« ۱۰۰٫۴	« ۱۰۰٫۴۳	« ۹۹٫۸۸	« ۱۰۰٫۱۷	جمع

۱ - نظرات قبلی راجع با آنورتوزیت ها

اصول نظراتی را که قبل از سال ۱۹۶۰ در مورد آنورتوزیت ها بیان شده است میتوان در سه قسمت زیر خلاصه کرد :

- الف - تقسیم بندی آنورتوزیت ها از نظر محل پیدایش .
- ب - اختصاصات توده های بزرگ آنورتوزیت ها .

- * ۱ - متوسط ۴ تجزیه از آنورتوزیت قسمت مرکزی ماسیو Adirondacks
- * ۲ - متوسط ۷ تجزیه از آنورتوزیت گابروئی از ناحیه سرزی ماسیوادیراندک
- * ۳ - گابروآنورتوزیتی از یک لایه در ماسیوادیراندک .
- * ۴ - متوسط ۲ تجزیه از آنورتوزیت جنوب نروژ .

ج - تئوری های مختلف تشکیل آنورتوزیت ها .

که ذیلاً هر یک از آنها را بطور اختصار شرح میدهم .

الف - تقسیم بندی آنورتوزیت ها از نظر محل پیدایش

Buddington زمین شناس آمریکائی که مطالعات وسیعی درباره سنگهای بازیک و اولترا بازیک

دارد از نظر محل پیدایش آنورتوزیت ها را بدو دسته اصلی تقسیم میکند که برای هر دسته طرز تشکیل متفاوتی بیان شده است :

۱ - آنورتوزیت های بیتونیت دار که بصورت لایه ای شکل در داخل لایه ها و اوپولیت های بازیک دیده میشود (مثل کمپلکس های Stillwater و Bushveld) .

۲ - آنورتوزیت هایی که از لابرادوریت یا آندزین تشکیل شده است و بصورت توده های نفوذی بزرگ در نواحی پوشیده از سنگهای پرکامبرین ظاهر میشوند (مثل اکثر آنورتوزیت های اسکاندیناوی یا آنورتوزیت های شرق آمریکا مانند آنورتوزیت Adirondacks) .

در دسته اول پلاژیوکلاز معمولاً بیشتر از ۶۰٪ آنورتیت دارد در صورتیکه درصد آنورتیت در پلاژیوکلازهای دسته دوم همیشه از ۶۰٪ کمتر است .

از نظر طرز تشکیل Barth معتقد است که دسته اول میتواند در نتیجه تفریق بلورین از یک ماگمای بازالتی نتیجه شود ولی برای دسته دوم که معمولاً بصورت توده های آذرین خیلی بزرگ و بانولیت ظاهر میشود بایستی منشاء دیگری جستجو کرد و معتقد است که در زیر زمین سیال یا ماده مذاب آنورتوزیتی نمیتواند وجود داشته باشد چه لازم وجود چنین ماده مذابی درجه حرارت خیلی زیاد (حدود ۱۴۰۰ درجه سانتیگراد) است که دلایل زمین شناسی برای اثبات این درجه حرارت زیاد در دست نیست .

ب - اختصاصات توده های آنورتوزیتی بزرگ :

خیلی از زمین شناسان معتقدند که توده های بزرگ آنورتوزیت ها دارای مشخصات و اختصاصات ویژه ای هستند که با مشخصات توده های آنورتوزیتی کوچک متفاوت است . Daly این ویژگیها را بصورت زیر خلاصه کرده است :

۱ - این توده های آنورتوزیتی محدود بنواحی پرکامبرین هستند .

۲ - بصورت توده های نفوذی بزرگ دیده میشوند که سنگهای سقف خود را بصورت گنبدی شکل درآورده اند . ابعاد آنها قابل مقایسه با بانولیت ها است .

۳ - کانی اصلی آنها آندزین - لابرادوریت است ولی میتواند بین $An_{۶۰}$ تا $An_{۳۰}$ تغییر نماید . هیپرستن و اوژیت و گاهی هم الیون ممکن است تا ۱۰٪ سنگ را تشکیل دهند مقدار این کانیها در آنورتوزیت های گابروئی بین ۱ تا ۲۲ درصد و در گابروهای آنورتوزیتی بین ۱-۲۲ تا ۳۵ درصد تغییر میکنند .

ع - اکثر آنورتوزیت‌ها خیلی دانه درشت هستند. خمیره کاتاکلستیک وسیلونیتهی هم در آنها زیاد دیده میشود. خیلی وقتها هم دانه‌های آن شکسته شده واز هم پاشیده‌اند.

ه - تغییر تدریجی از آنورتوزیت تا گابروی نوریتی در خیلی از توده‌های بزرگ آنورتوزیتی مشاهده میشود و شکی نیست که منشأ تمام این سنگها با یستی یکسان باشد. گرانیتهای پیروکسن دار (شارنوکیتهای) سینیت‌های پیروکسن دار و مونزونیت‌های پیروکسن دار نیز اکثر همراه با این آنورتوزیت‌ها هستند ولی هم منشأ بودن این سنگها مورد بحث است.

و - گدازه‌های آنورتوزیتی تا کنون شناخته نشده‌اند ولی بندرت دایکهای که از نظر ترکیب مشابه آنورتوزیت گابروئی هستند مشاهده شده‌اند که بافت آنها معمولاً دانه ریز است و در قسمت تحتانی گاهی دارای بافت حفره‌ای هستند.

ج - تئوریهای تشکیل آنورتوزیت‌ها :

در مورد توده‌های آنورتوزیتی در زمانهای مختلف تئوریهای متفاوتی عرضه شده است که مهمترین آنها را میتوان بشرح زیر خلاصه کرد :

۱ - در مورد آنورتوزیت ناحیه Egersond-Sogndal جنوب نروژ Barth یکنوع جانشین - (Metasomatism) پیچیده‌ای را عامل تشکیل میداند در صورتیکه برخی از زمین‌شناسان معتقدند که قسمتی از این توده نفوذی دارای منشأ ماگمایی است واز ماگمای بازالتی در نتیجه جذب مقدار عظیمی از رسوبات Pelitic (رسی و ساسه‌ای) بوجود آمده است. بعلاوه این عده معتقدند که این عمل در قسمتهای عمیق - ژئوسنکلیتالهادرطی کوهزائی صورت گرفته است.

۲ - در مورد توده آنورتوزیتی ادیراندک نیز نظرات مختلفی بیان شده است و بهیچوجه اتفاق نظر کامل وجود ندارد برخی معتقدند که آنورتوزیت‌های پرکامبرین در نتیجه تجمع بلورهای پلاژیوکلازی که از ماگمای بازالتی جدا شده‌اند تشکیل شده است و عده‌ای دیگر معتقدند که ماگمای آنورتوزیتی (فلدسپاتی) بصورت مایع در داخل طبقات نفوذ کرده است. Bowen بعلت فقدان گدازه‌های آنورتوزیتی و درجه حرارت زیادی که لازمه وجود ماده مذابی با ترکیب آندزین-لابرادوریت است معتقد است که چنین ماده مذابی نمیتواند در پوسته خارجی زمین وجود داشته باشد.

عده‌ای نیز مکانیسم Filter Pressing را توأم با تفریق ماگمایی عامل تشکیل آنورتوزیتها دانسته‌اند. بنابراین نظریه بادیگتون الیوین گابروها، سینیت‌ها و گرانیتهای همه دارای منشأهای مختلفی هستند و پس از تشکیل آنورتوزیت بوجود آمده‌اند اگر این فرض را قبول کنیم تنها آنورتوزیت‌ها، آنورتوزیت‌های گابروئی، گابروها و نوریت‌های اشباع شده بافی خواهند ماند که وی معتقد است همگی از ماگمای آنورتوزیت گابروئی (۸۰٪ پلاژیوکلاز An_۰ و ۲۰٪ هیپرستن) مشتق شده‌اند که این ماگما در حرارتی بیش از ۳۵۰°C کاملاً مذاب خواهد بود ولی در حرارتهای قدری پایینتر نیز بحد کافی سیال خواهد بود تا بتواند

جابجا شده و در طبقات پوسته زمین نفوذ نماید. گرچه باید در نظر داشت که وجود چند درصد آب این درجه حرارت ذوب را تا حد قابل توجهی کاهش خواهد داد.

مطالعاتی که Higgs در سالهای اخیر روی آنورتوزیت - نوریت ناحیه San Gabriel در کالیفرنیا انجام داده است و همچنین مطالعات تجربی Yoder تا حدی نظرات بادینگتن را تأیید کرده اند ولی تنها اشکال مسئله وجود ماگمای مفروض در قسمت های کم عمق زمین است که برای آن دلیلی در دست نیست ولی Verhoogen و Turner (۱۹۶۰) نظر داده اند که چنین ماگمایی میتواند در عمق حدود ۲۰۰ کیلومتری وجود داشته باشد.

۲- نظرات جدید در مورد آنورتوزیت ها

Romey در سال ۱۹۶۸ موضوع طبقه بندی آنورتوزیت ها را بدو دسته مورد بحث و انتقاد قرار داده و معتقد است که گرچه بین آنورتوزیت های نوع بوشولد و آنورتوزیت های نوع آدیراندک اختلافات نسبتاً مهمی وجود دارد ولی خیلی از آنورتوزیت ها هم دارای حالت بینابین هستند. مثلاً لایه بندی آنورتوزیت ها حتی در توده های آنورتوزیتی نوع آدیراندک هم مشاهده شده است و معتقد است که وجود لایه بندی یا عدم آن بستگی با نعطاف پذیری ماگمای اطراف آنورتوزیت دارد که بنوبه خود بستگی به عمق جاگیری توده نفوذی خواهد داشت.

این زمین شناس بعلاوه معتقد بود اختلاف قاطعی در بافت دو دسته آنورتوزیت نیست و انواع بافتها را در هر دو دسته مشاهده کرده است.

دیدیم که یکی از اختلافات مهم آنورتوزیت ها نوع پلاژیوکلاز آنها است ولی مطالعات Romey روی ۳۸ توده آنورتوزیتی مختلف چنین اختلاف اساسی و تمرکز خاصی را نشان نمیدهد. مطالعات وی نشان میدهد که مقدار متوسط آنورتیت در آنورتوزیت های تیپ بوشولد ۶۱٪ و در تیمپ آدیراندک ۵۱٪ است.

از نظر وجود ماگمای آنورتوزیتی مطالعات تجربی نشان میدهد که چنین ماگمایی نمیتواند در عمق ۲۰۰ کیلومتری زمین وجود داشته باشد و حتی اگر ماده مذاب آنورتوزیتی در گوشته زمین یا در قسمتهای عمیق پوسته تشکیل شود عوامل مختلفی سبب میشوند که این ماگما نتواند برای مدت طولانی بصورت مذاب باقی بماند. زیرا بعلمت اینکه آنورتوزیت سنگی است که عملاً فقط از یک کانی تشکیل شده است اختلاف حرارتی بین منحنی میعان (Liquidus) و انجماد (Solidus) آن خیلی کم است و ثانیاً چنانچه ذکر شد برای مایع نگاه داشتن چنین ترکیبی حرارتی حدود ۱۴۰۰°C لازم است و بالاخره گرچه وقتی ماده مذاب

باید راتنه باشد ممکن است درجه حرارت ذوب تا حدود 80°C . تقلیل یابد ولی وقتی فشار کاهش یابد و مقداری آب از ماده مذاب خارج شود عمل انجماد با سرعت انجام خواهد گرفت .

طرز تشکیل آنورتوزیت ها :

بعلمت اینکه سنگهای رسوبی دارای ترکیب خیلی متنوع تری از سنگهای آذرین هستند بنابراین چنین بنظر میرسد که امکان تشکیل آنورتوزیت ها بخصوص تیپ آنورتوزیت های نروژ از تبلور مجدد و دگرگونی رسوبات مناسب (سنگ آهک مارنی) وجود داشته باشد ولی بهر حال فقط بخش کوچکی از آنورتوزیت ها میتوانند باینصورت تشکیل شده باشند و ظاهراً قسمت عمده آنها همراه باتوده های بزرگ سنگهای آذرین هم بسته بآنورتوزیت ها هستند . در خیلی از موارد هم پس از جاگیری توده نفوذی در نتیجه تکتونیک تغییراتی در شکل توده نفوذی داده شده است . بعلاوه مطالعاتی هم که روی عناصر کمیاب در این توده های آذرین بعمل آمده است مؤید آنست که آنورتوزیت ها میتوانند بطرق مختلف تشکیل شوند .

عده ای پیشنهاد کرده اند که در پوسته قاره ای زمین پائینتر از سطح تشکیل گرانیتها دگرگونی فوق العاده شدید (Ultrametamorphism) میتواند سبب ایجاد آنورتوزیت از سنگهای عادی زمین گردد . در سایر نواحی قشر زمین یعنی در محلهائی که حرارت و یا مقدار مواد فرار بیشتر است از تفریق ماگمای آندزیتی ممکن است آنورتوزیت تشکیل شود . با توجه بشرايط تشکیل ماگمای دیوریتی که معمولاً در نواحی فعال قشر زمین مثلاً در زیر جزیره های قوسی شکل اقیانوسها است تصور میشود که این ماگما در داخل طبقات بالاتر قشر زمین نفوذ مینماید و در نتیجه تفریق آن توده های لایه ای شکل آنورتوزیت که همراه با سنگهای بازیکتر خواهد بوده تشکیل میشود .

مهمترین عواملی که پس از جاگیری ماگما سبب تشکیل سنگهای میباشند که عملاً از یک کانی تشکیل شده است عبارتند از (۱) تشکیل جریانهای همرفتی (۲) بوجود آمدن جریانهای Turbidity منقطع (۳) معلق بودن ، سقوط یا بالا آمدن قسمت های جامد در ماگما (۴) اثر امواجی که بنام Shock waves نامیده میشوند (۵) جریان گاز در داخل ماگما (۶) تشکیل قسمت های غیر قابل اختلاط بخصوص قسمت های غنی از آهن و تیتانیم در ماگما و (۷) اندازه ، شکل و درجه صلب بودن معبر ماگما و نوع سقفی که توده نفوذی را پوشانیده است .

Hess (۱۹۶۰) در مطالعه معروف خود درباره کمپلکس Stillwater در ایالت مونتانا ای آمریکا

که در آن لایه آنورتوزیتی بضمخامت بیش از ۱۴۰ متر وجود دارد طرز تشکیل آنها را چنین بیان میکند :
«در ضمن سرد شدن ماگما بلورها در بالای معبر ماگما جمع میشوند و وقتی جرم مخصوص مخلوط سیال و بلور بحد کافی زیاد شد یکنوع زیرو رو شدن هدایتی (Convective Overturn) بوجود میآید که

در نتیجه آن مخلوط سیال و بلور بسمت پائین می‌رود و در کف مخزن ماگما پخش می‌شود. و در ضمن این عمل تمام بلورهای تشکیل شده همراه ماده مذاب بسمت پائین حرکت خواهند کرد ولی بعلت کمی وزن مخصوص پلاژیوکلازها با سرعت خیلی کمتری سقوط خواهند کرد و شاید قبل از رسیدن آنها بکف معبر یک سیکل دیگر «زیر و روشن» شروع شود که سبب شود همیشه مقداری پلاژیوکلاز بصورت معلق در ماگما باقی بماند. وقتی این مخلوط با ماگمای گرمتر تماس حاصل نماید پلاژیوکلازها مجدداً ذوب شده و جذب ماگما می‌شوند. تکرار این عمل سبب می‌شود که ماده مذاب کم کم از نظر ملکول پلاژیوکلاز غنی گردد و در حد نهائی وقتی می‌رسد که از انجماد این ماده مذاب فقط پلاژیوکلاز بتواند متبلور شود.

طریقه هائی که در بالا برای تشکیل توده‌های آنورتوزیتی باصطلاح نوع Bushveld ذکر شد ظاهراً دارای این اشکال است که اگر آنورتوزیت‌ها باین ترتیب تشکیل شوند بایستی همه آنها همیشه همراه با حجم زیادی از سنگهای سنگین تر دیده شوند در صورتیکه بررسی‌های ژئوفیزیکی نشان می‌دهد که در آنورتوزیت‌های عمیق چنین وضعی وجود ندارد. لذا Middlemost (۱۹۷۰) پیشنهاد کرده است که در این حالات مواد سنگین تر توانسته‌اند بسمت پائین رفته و وارد مواد پلاستیکی زیرین شوند تا اینکه بالاخره جزء گوشته زمین گردند ولی در قسمت‌های بالای پوسته زمین که این امکان وجود ندارد یعنی در قسمت‌های که آنورتوزیت‌های نوع Bushveld تشکیل می‌شوند این سنگهای سنگین تر همراه آنورتوزیت‌ها دیده می‌شوند.

با توجه بانچه ذکر شد ملاحظه می‌شود که در تحول توده‌های مختلف آنورتوزیت‌ها پدیده‌های مختلفی ممکن است مؤثر باشند ولی با وجود این اکثر آنورتوزیت‌ها خیلی بهم شبیه‌اند علت این تشابه با توجه بطرز تشکیل آنها کاملاً روشن می‌شود زیرا گرچه دو طریقه مختلف برای تشکیل آنها ذکر شده است ولی این دو طریقه فقط از نظر مقیاس با هم اختلاف دارند و گر نه در هر دو یک نوع تحول صورت می‌گیرد. این طرز تشکیل را میتوان بصورت زیر بیان کرد:

در قشر زمین در زیر ناحیه‌ای که گرانیت تشکیل می‌شود آنورتوزیت‌ها در نتیجه حرکت مواد سبک بسمت بالا و حرکت مواد فرومانیزین بسمت پائین ایجاد می‌شوند که این عمل در حقیقت یک نوع تفریق با مقیاس بزرگ (با مقیاس پوسته زمین) است ولی بعلت یک نواخت نبودن حرارت در داخل زمین حالت تعادل هنوز برقرار نشده و این لایه آنورتوزیتی در زیر زمین پیوسته نیست و بعلاوه شکل آن در نتیجه کوهزائی تغییر یافته است.

در قسمت‌های بالای پوسته زمین آنورتوزیت در نتیجه تفریق آذرین محلی ماگمای آندزیتی یا بازالتی بوجود می‌آید که این تفریق را میتوان مدل کوچک شده تفریق با مقیاس بزرگ تصور کرد.

منابع مورد استفاده

1. Barth, T.F.W. (1962) : Theoretical Petrology.
2. Hargraves, R. B. (1962) : Petrology of the Allard Lake Anorthosite Suite, Quebec. Petrologic Studies, Buddington Volume .
3. Hess, H. H. (1962) : History of Ocean Basins, Petrologic Studies, Buddington Volume.
4. Middlemost E. A. K (1970) : Anorthosites: a Graduated Series, Earth Science Reviews, Vol 6, No. 4, pp. 257-265.
5. Turner and Verhoogen (1960) : Igneous and Metamorphic Petrology.