معمای تکتیت

علی درویش زاده

اگر روزی به عنوان یک زمین‌شناس گذرتان به آسیای جنوب شرقی و استرالیا افتاد تعجب نکنید که یک سنگ کوچک عجیب و غریب را به عنوان هدیه دریافت نمایید. توصیه می‌کنم آن را قبول کنید چون برای زمین‌شناسان و سنگ شناسان این هدیه تحفه‌ای است گرانبها، که علم امروز هنوز راز وجودی آن را آشکار نکرده و به صورت معما باقی مانده است... «معمای تکتیت».

ما در اینجا سعی کرده‌ایم که تکتیت، این سنگ عجیب را به شما معرفی کنیم.

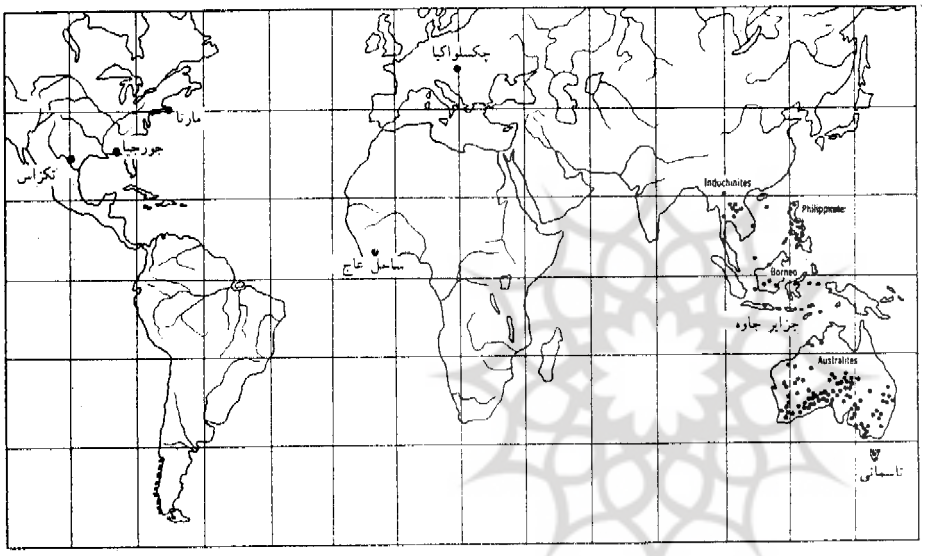
تکتیت چیست

بطور خلاصه تکتیت سنگی است با ظاهری شبیه ابسیدین ولی به رنگهای خاکستری تا قهوه‌ای و سیاه. در ترکیب آن سیلیس زیاد وجود دارد (در حدود ۷۰ تا ۸۰ درصد) و از این نظر با سنگهای آذرین اسید نظیر گرانیت و ریولیت شباهت دارد. تکتیت‌ها عموماً به صورت تکه‌های کوچک‌اند. وزن هر تکه از آنها در حدود ۲۰۰ تا ۳۰۰ گرم و دارای شکلی مدور و یا بیضوی بوده و در مناطق استثنایی پیدا می‌شوند. آنچه که تکتیت‌ها را مشهور و بر سر زبانها انداخته است، اظهار نظر زمین‌شناس معروف سویسی، سوئس F.F.Suesse در سال ۱۹۰۰ است که تکتیت را جزء شهاب سنگ (متئوریت یا سنگهای آسمانی یا شخانه‌ها) اعلام کرده است.

انتشار جغرافیایی تکتیت‌ها:

برخلاف انتشار شهاب سنگها که به طور اتفاقی در تمام نقاط زمین و حتی در ایران پراکنده می‌باشند، تکتیت‌ها در نواحی بسیار محدودی از سطح زمین پیدا شده‌اند. در شکل (۱) نقاط پراکندگی تکتیت بر سطح زمین نشان داده شده است.

تعداد تکتیت‌های [illegible] از نواحی مختلف در [illegible] نقاط مختلف جهان به [illegible] آگشته‌اند



شکل ۱ ــ انتشار جغرافیائی تکتیت‌ها

۱ ــ در فیلیپین ۵۰۰،۰۰۰ عدد
۲ ــ در استرالیا ۴۰،۰۰۰ عدد
۳ ــ در مالزی ۷،۵۰۰ عدد
۴ ــ هندوچین ۴۰،۰۰۰ عدد
۵ ــ جاوه ۷،۰۰۰ عدد
۶ ــ تکزاس ۲،۰۰۰ عدد
۷ ــ در چکسلواکی ۵۵،۰۰۰ عدد
۸ ــ در سواحل عاج ۲۰۰ عدد

اولین تکتیت‌هایی که مورد مطالعه قرار [illegible] گرفت نمونه‌های غرب چکسلواکی در دره مولداو* Moldav بوده که در سال ۱۸۷۸ بررسی گردید. این نوع را مولداویت Moldavite نام نهادند.

تکتیت‌ها از نظر ظاهری و شیمیایی شباهت زیادی بهم دارند و بهمین دلیل برای جدا و مشخص کردن آنها، نمونه‌های قارهٔ استرالیا و تاسمانی را استرالیت و انواع هند و مالزی را اندو مالزیان و نمونه‌های جاوه را جاوائیت و بالاخره

---

* پوشیده نیست که این نام با نام مولداوی [illegible] اشتباه نشود. [illegible] برای رفع این اشتباه، نمونه‌های مولداو را مولداویت Vltatavite (از نظر [illegible]) نامگذاری کرده‌اند.

انواع تایلند و هندوچین
انواع فیلیپین — فیلیپینیت یا ریزالیت
انواع تکزاس — بدیازیت
نام نهاده‌اند.

تمام انواع فوق از نوع تکتیت‌اند زیرا از نظر ترکیب شیمیایی، خواص فیزیکی و ظاهری مشابه هم‌اند.

علاوه بر انواع فوق تعدادی سنگهای شیشه‌ای طبیعی نیز یافت شده‌اند که منشأ مشخصی نداشته و احتمالاً از ذوب ماسه‌های بیابانی بر اثر صاعقه، یا ذوب اتفاقی سنگها و خاکهای اطراف بر اثر آتش‌سوزی جنگلها، زغال‌سنگها و یا نفت خام به وجود آمده است. مثلاً، نمونه‌های شیشه‌ای ابسیدین‌مانند از حوزه‌های نفتی ایران نتیجه سوختن نفت و ذوب سنگهای اطراف، مخصوصاً در چاههایی که دچار آتش‌سوزی می‌شوند به وجود آمده‌اند.

ترکیب شیمیایی تکتیت‌ها:

چنانکه قبلاً اشاره شد، تکتیت‌ها علیرغم انتشار جغرافیایی وسیع و تعداد زیاد از نظر شیمیایی مشابه هم هستند. جدول زیر این واقعیت را نشان می‌دهد:

	SiO_2	Al_2O_3	FeO*	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	TiO_2	MnO	
۷۹/۶۰	۱۱/۰۲	۲/۴۵	۱/۳۰	۱/۹۲	۰/۵۱	۲/۹۰	۰/۸۰	۰/۱۱		ـ مولداویت (۷۰)
۷۵/۶۲	۱۲/۵۹	۴/۳۷	۱/۲۹	۰/۰۵	۱/۳۶	۱/۸۵	۰/۸۱	۰/۰۲		ـ بدیازیت (۲)
۷۳/۳۲	۱۲/۷۵	۲/۷۰	۱/۹۸	۳/۰۱	۱/۲۵	۲/۰۵	۰/۶۷	۰/۱۶		ـ استرالیت (۹)
۷۳/۱۴	۱۲/۴۸	۵/۰۲	۲/۰۰	۲/۵۱	۱/۴۵۰	۲/۴۰	۰/۹۲	۰/۱۳		ـ ایندوچینیت (۲۴)
۷۱/۸۳	۱۱/۸۹	۵/۲۴	۲/۷۹	۲/۷۷	۱/۷۶	۲/۲۲	۰/۷۷	۰/۱۷		ـ جاوانیت (۳)
۷۱/۲۱	۱۲/۵۷	۵/۱۸	۲/۹۰	۳/۱۹	۱/۵۲	۱/۹۳	۰/۸۹	۰/۱۱		ـ فیلیپینیت (۴)
۷۱/۰۵	۱۲/۶۰	۵/۶۲	۳/۲۹	۱/۶۷	۱/۷۱	۱/۵۳	۰/۷۳	۰/۰۸		ـ تکتیت ساحل عاج (۳)
۷۰/۵۰	۱۲/۵۳	۵/۸۳	۳/۰۷	۳/۱۴	۱/۷۵	۲/۲۸	۰/۸۴	۰/۱۶		ـ بیلتونیت (۷)

اعداد داخل پرانتز معرف تعداد نمونه‌های آزمایش شده است: نتایج حاصل را می‌توان چنین خلاصه کرد:

الف: در تکتیت‌ها، سیلیس و آلومین زیادی وجود دارد.

ب: مقدار K_2O در اکثر موارد بیش از Na_2O است.

ج: مقدار CaO غالباً بیش از MgO است.

باید خاطرنشان کنیم که در تکتیت‌ها، مقدار آب کم و حتی کمتر از یک درصد و به طور متوسط حتی کمتر از ۰/۰۵ درصد است. در حالیکه در سنگهای آذرین اسید این مقدار در حدود ۱ تا ۱/۵ درصد متغیر است.

این نکته نشان می‌دهد که تکتیت‌ها یا در محیطی که فشار بخار آب ناچیز داشته تشکیل شده‌اند، یا آنکه در دمای خیلی زیاد به وجود آمده‌اند.

نتایج حاصل از تجزیه شیمیایی موجب ابراز سه مکتب فکری متفاوت شده است:

الف: تکتیت‌ها شبیه به سنگهای آذرین اسیدند و از ذوب سنگهای آذرین حاصل شده‌اند (میسون ۱۹۵۹ ـ ۱۹۶۴).

ب: تکتیت‌ها شبیه به سنگهای رسوبی اسید است. حتی در این مورد، ابراز عقیده شده است که ترکیب تکتیت مشابه با یک قسمت سیلیس + سه قسمت شیل است (یوری ۱۹۵۹).

ج: تکتیت، از نظر ترکیب شیمیایی، شباهتی به سنگهای زمینی نداشته و باید آنها را در گروه شیشه‌های فضایی قرار داد.

در اینجا، خاطرنشان می‌کنیم که مطالعه و مقایسهٔ عناصر کمیاب نظیر لیتیوم، بور، استرونسیوم، باریوم، وانادیوم، زیرکنیوم، نیکل، گالیوم، منگنز و حتی تیتان موجود در تکتیت‌ها با [illegible] توسط سنگهای پوستهٔ زمین، مشابه و یا [illegible] است.

خواص فیزیکی تکتیت‌ها:

به استثنای مولداویت که رنگ سبز تیره دارد، تکتیت‌ها معمولاً در نور منعکس سیاه و تیره‌رنگ هستند. ولی در مقاطع نازک قهوه‌ای روشن، شفاف و یا نیمه شفاف می‌باشند. مولداویت در مقاطع نازک سبز روشن است.

در سطح بسیاری از تکتیت‌ها آثار پیچش و جریان بخوبی دیده می‌شود. در بعضی از انواع حبابهایی به اندازه‌های مختلف مشاهده می‌گردد. در تکتیت دانه‌های سیلیس خالص شیشه‌ای (که آن را لوشاتلیدریت میگویند) هم دیده میشود.

شیشه‌های تکتیتی ایزوتروپ و در مناطق پیچ خورده دارای بی‌رفرنژانس (اختلاف دو ضریب شکست نوری) می‌باشند. تکتیت‌ها شکننده بوده و دارای شکستگی صدفی هستند و در سطح شکست تازه، تکتیت دارای جلای شیشه‌ای درخشان است.

ضریب شکست تکتیت‌ها در حدود ۱/۴۸ تا ۱/۵۲ و تغییرات وزن مخصوص بین ۲/۳۰ تا ۲/۵۲ است. بین وزن مخصوص ضریب شکست و مقدار سیلیس موجود در تکتیت‌ها روابط زیر وجود دارد.

الف: هر قدر وزن مخصوص تکتیت زیاد باشد، سیلیس آن کمتر است.

ب: هر قدر سیلیس زیاده شد، ضریب شکست آن کمتر است.

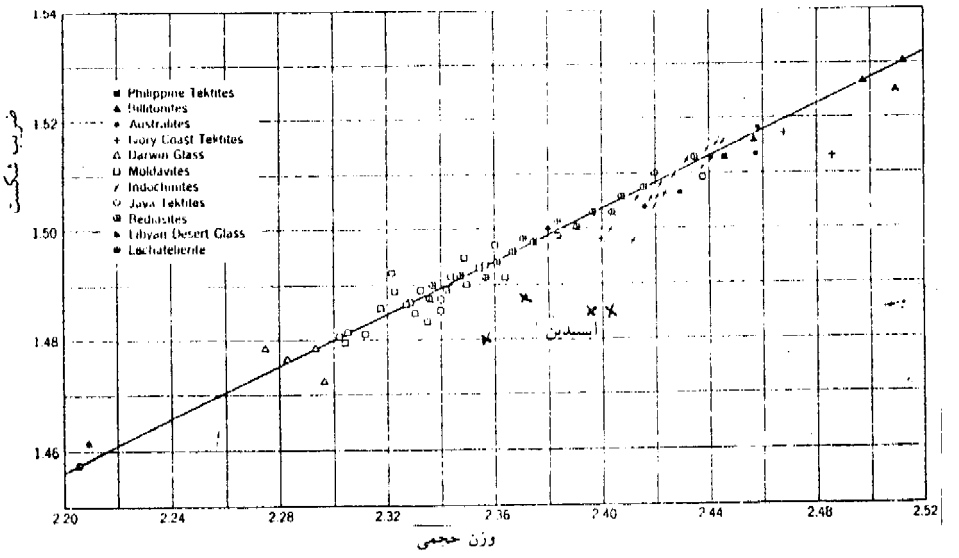
برای تشخیص گروههای مختلف تکتیت از یک طرف و تشخیص آنها از ابسیدین، از فرمول زیر استفاده می‌کنند.

$$K = \frac{m-1}{d}$$

m = ضریب شکست

d = وزن حجمی

در شکل ۲، با استفاده از دو محور قائم و افقی که یکی وزن حجمی و دیگری انکسار مخصوص آمده است.



شکل ۲ ــ محل انواع تکتیت در دامنه تغییرات وزن حجمی و ضریب شکست

گروههای مختلف تکتیت به صورت مناطق نزدیک بهم وابسیدین به صورت نقاط پراکنده و در عین حال دور از مناطق تکتیت‌ها مشخص می‌باشند. به کمک این شکل می‌توان، در موارد مشکوک، تکتیت را از ابسیدین تشخیص داد.

از نظر اندازه تکتیت‌ها کوچک‌اند چنانچه:

ــ بزرگترین تکتیت از نوع ایندو چینیت ۳۲۰۰ گرم بوده و این وزن استثنائی است.

ــ بزرگترین فیلیپینیت به شکل کره‌ای به قطر ۱۰ سانتی‌متر و به وزن ۱۰۷۰ گرم بوده است.

ولی فیلیپینیت‌ها معمولاً وزنی بین ۲۰۰ تا ۷۰۰ گرم دارند.

ــ وزن متوسط استرالیت‌ها ۱/۵ گرم است (البته به شرط آنکه قطعه قطعه نشده باشد).

ــ بزرگترین استرالیت شناخته شده ۲۶۰ گرم و کوچکترین آنها ۰/۰۶ گرم وزن داشته است.

ــ بزرگترین تکتیت ساحل عاج ۷۰ گرم بوده است.

ــ بزرگترین بدیازیت ۶۰ گرم وزن داشته است.

ــ بالاخره بزرگترین جاوائیت ۵۰۰ گرم و بزرگترین جاوائیت ۱۵۰ گرم وزن داشته است.

شکل خارجی تکتیت‌ها:

شکلهای تکتیت بسیار متنوع است (شکل ۳) ولی انواع گرد و مدور فراوانتر یافت می‌شوند. سایر شکلهای فراوان را باید انواع عدسی شکل یا بشقابی شکل دانست، انواع گلابی‌شکل و یا به‌شکل قطرهٔ اشک، عدسی، تخم‌مرغی هم دیده شده است.

سطح بسیاری از تکتیت‌ها بر اثر فرسایش به شدّت تغییر یافته و غالباً مخطط است. نکته بسیار جالب در این مسئله آنست که اگر بر سطح صاف و صیقلی شده تکتیت، قطره‌ای اسید فلوئوریدیک رقیق ریخته شود، آثار و خراش مخطط در آن ظاهر خواهد شد.

پاره‌ای از محققین وجود حاشیهٔ ذوب شده و سپس انجماد سریع یافته در بعضی از تکتیت‌ها را به‌اینصورت تعبیر می‌کنند که تکتیت با سرعت زیاد وارد جو زمین شده و بخشی از آن که در معرض اصطکاک و فشار زیاد بوده ذوب شده است و باین ترتیب برای تکتیت منشأ غیرزمینی در نظر می‌گیرند.

همانطور که قبلاً اشاره شد در شیشه‌های تکتیتی دو نوع میانبار (انکلوزیون) دیده می‌شود که یا شامل حباب هوا است و یا دانه‌های سیلیس بی‌شکل و غیرمتبلور یعنی ایزوتروپ است که آنها را لوشاتلیریت می‌گویند. دانه‌های مزبور به حدی کوچک و ریزند که فقط با درشت‌نمایی‌های بزرگ میکروسکپ قابل مشاهده‌اند، وجود این دانه‌ها، نشانه‌ای از ذوب کوارتز در محیط داغ را نشان می‌دهد که به علت ذوب سریع و غلظت زیاد، مایع حاصل مانع از ممزوج شدن شیشه با بخش غیرشیشه‌ای و ذوب نشده گردیده است. در هر حال دانه‌های لوشاتلیریت می‌تواند تا اندازه‌ای معمای تکتیت را حل کند. در فشار کم، برای ذوب کوارتز و ایجاد لوشاتلیریت لااقل به ۱۷۱۰ درجه سانتیگراد گرما نیاز

شکل ۳ ــ سطح صیقلی شده بدیازیت که آثار خراش مخطط دیده می‌شود.

داریم. بنابراین قطعاً تکتیت‌ها از [illegible] پشت‌سر گذاشته‌اند.

حبابهای موجود در تکتیت‌ها معمولاً کوچک‌اند ولی استثنائاً حفره‌های بزرگ در آنها دیده شده است.

مثلاً یک تکتیت ساحل عاج دارای حفره‌ای به قطر یک سانتی‌متر بوده است با وجود این تصور می‌شود که حبابهای مزبور فاقد هر نوع گاز باشند.

سن تکتیت‌ها:

وقتی از سن تکتیت‌ها بحث می‌شود دو موضوع باید مدنظر باشد:

۱ ــ سنی که تکتیت در موقعیت زمین‌شناسی محل کشف نشان می‌دهد و به عبارت دیگر، با توجّه به سن نسبی تشکیلاتی که تکتیت در آن پیدا شده است سن آن را تعیین می‌کنند. این سن را سن زمین‌شناسی می‌گوییم.

۲ ــ سن زمان تشکیل تکتیت یا سن فیزیکی یا سنی که به طریق روشهای معمول در زمین‌شناسی نظیر روشهای آرگون ــ پتاسیم یا روبیدیوم ــ استرونسیوم و به طور مطلق تعیین می‌شود.

سن زمین‌شناسی:

این سن در گروههای مختلف تکتیت‌ها متفاوت است چنانکه:

ــ تکتیت‌های ساحل عاج را در سازندی پیدا کرده‌اند که آن سازند خود متعلق به اوایل دوران مزوزوئیک است.

ــ بدیازیت‌ها معمولاً در سازند متعلق به ائوسن زیرین یافت شده‌اند و آن هنگامی بوده است که سازند مزبور تحت اثر فرسایش و هوازدگی قرار داشته و بدیازیت‌ها پدیدار گردیده‌اند.

ــ تکتیت‌های جئورجیا در رسوبات میوسن یافت شده‌اند.

ــ مولداویت‌ها در بخش زیرین نوعی ماسه‌سنگ مربوط به میوسن میانی دیده شده‌اند.

[illegible] در سازند پلیوسن [illegible] شده است.

ــ [illegible] رسوبات پلئیستوسن میانی [illegible] با فسیل انسان پیدا شده است.

ــ فیلی‌پینیت در تشکیلات پلئیستوسن زیرین دیده شده است.

ــ استرالیت‌ها را باید جدیدترین تکتیت محسوب داشت زیرا در افق‌هایی از خاک‌های نزدیک به سطح زمین دیده شده‌اند که سن آنها حتی به ۵۰۰۰ سال قبل نسبت داده شده است.

با توضیحات فوق، تکتیت‌ها، در زمان مختلف که بیشتر به عهد حاضر نزدیک‌تر است در سطح زمین فرود آمده‌اند!

سن فیزیکی یا سن مطلق تکتیت‌ها:

متداول‌ترین روشی که دربارهٔ سن تکتیت‌ها مورد استفاده قرار گرفته، روش آرگون ــ پتاسیم است، زیرا باتوجه به فراوانی پتاسیم در تکتیت‌ها بنظر می‌رسد که روش مزبور مناسب‌تر باشد. زیرا در مواردی سن حاصل با این روش با سن بدست آمده از روشهای زمین‌شناسی تا اندازه‌ای تطبیق می‌کرده است.

باید توجّه داشت با روش فیزیکی، سن زمان ذوب شیشه‌های تکتیتی بدست می‌آید. درهرحال نتایج حاصل چندان دقیق نبوده است، زیرا درمورد یک فیلی‌پینیت عدد ۱۰ میلیون سال و در مورد یک استرالیت عدد ۳۲ میلیون سال بدست آمده است. در مورد تکتیت‌های قدیمی سن‌های فیزیکی جوان‌تر از سن زمین‌شناسی را نشان می‌دهد. این مسئله احتمالاً مربوط به کمبود آرگون است. باید توجّه داشت که شهابسنگهایی با ۵۰۰۰ ــ ۴۵۰۰ میلیون سال (تقریباً معادل عمر زمین) سن داشته‌اند شناخته شده‌اند.

لذا با توجّه به اعداد و بحث فوق، بین شخانه‌ها (متئوریت‌ها) و تکتیت ازنظر سنی تفاوت فاحشی وجود دارد. خاطر نشان می‌کنیم که سایر روشهای متداول در تعیین سن فیزیکی، نتایج [illegible] بخش بدست نداده‌اند [illegible] نظیر روش روبیدیوم ــ استرونسیوم ــ اورانیوم ــ سرب [illegible] توریم ــ آلومینیوم ۲۶ و غیره.)

منشأ تکتیت‌ها

قبل از آنکه راجع به منشأ تکتیت بحث کنیم لازم است خلاصه‌ای از مطالب گفته شده در فوق را فهرست‌وار بیان کنیم تا در بیان نظریه‌ها واقعیت‌ها ملحوظ باشد.

۱ ــ تکتیت‌ها در نقاط خاص و استثنایی دیده شده‌اند.

۲ ــ علیرغم انتشار جغرافیایی وسیع و اختلاف در سن، ترکیب شیمیایی تکتیت‌ها تقریباً ثابت است.

۳ ــ ترکیب شیمیایی تکتیت‌ها نسبت به سنگهای شخانه‌ها (متئوریت‌ها) بسیار متفاوت است و هیچگونه تشابهی در بین آنها وجود ندارد.

۴ ــ ترکیب شیمیایی تکتیت نسبت به سازندی که در آن‌ها یافت شده است فرق دارد.

۵ ــ وجود دانه‌های لوشاتلیریت که از ذوب کوارتز حاصل شده باشد حداقل درجه دمای تشکیل آنها را درحدود ۱۷۱۰ درجه لازم می‌نماید.

۶ ــ بسیاری از نمونه‌های تکتیت نشانه‌هایی از ذوب مجدد در خود بهمراه دارند.

۷ ــ وجود ساختمان پیچ و تاب خورده و جریان یافته و درعین حال شیشه‌ای نشانه‌ای از سرد شدن و انجماد سریع است.

با توضیحات فوق نظریه‌های مربوط به منشأ تکتیت‌ها را می‌توان در دو گروه دسته‌بندی کرد:

الف: منشأ زمینی

ب: منشأ غیر زمینی

الف: طرفداران **منشأ زمینی** تکتیت‌ها، پیدایش این سنگهای استثنائی را نتیجه اعمال زیر می‌دانند:

الف ــ ۱: از تصادم و برخورد شخانه‌ها

(سنگهای آسمانی) و یا ستاره‌های دنباله‌دار به سطح زمین.

الف ــ ۲: برخورد برق و صاعقه به سطح زمین یا غبارهای جوی و ذوب آنها.

الف ــ ۳: ایجاد آتش‌های طبیعی، سوختن جنگل، یا زغال‌سنگها که نتیجه آنها ذوب خاک می‌شود.

الف ــ ۴: فعالیت آتشفشانی از نوع انفجاری و اسیدی.

الف ــ ۵: فعالیت‌های صنعتی، مثلاً مواد باقی مانده از اجاق و کوره‌های صنعتی و یا شیشه‌های مصنوعی.

ب ــ طرفداران منشأ غیرزمینی عقیده دارند که:

ب ــ ۱: تکتیت از ذوب و برخورد شخانه‌ها (متئوریت‌ها) در جو زمین ایجاد می‌شود.

ب ــ ۲: درنتیجهٔ آتشفشان‌های ماه به زمین پرتاب شده‌اند.

ب ــ ۳: قطعاتی از ستاره‌های دنباله‌دار هستند.

ب ــ ۴: متلاشی شدن سیاره یا خرده سیاره‌ای که سطح خارجی آنها سیلیس زیاد داشته و از شیشه ساخته شده‌اند.

ب ــ ۵: نوعی شهابسنگ استثنائی‌اند که سیلیسیوم و آلومینیوم و منیزیوم دارند.

ب ــ ۶: قطرات حاصل از ذوب شخانه‌ها (متئوریتها) سنگی می‌باشند.

باتوجّه به مشخصات تکتیت، مسلماً بسیاری از نظریه‌های فوق دربارهٔ تکتیت‌ها قابل دفاع نیستند.

رد نظریه‌ها

ــ برطبق نظریهٔ یوری (۱۹۵۷)، بر اثر برخورد ستارهٔ دنباله‌دار به سطح زمین ضربه‌ای حاصل می‌شود که خروج این ضربه، ایجاد دهانه‌ای کم‌عمق و بزرگ در سطح زمین می‌کند. درنتیجه این برخورد، بخارهای حاصل از سنگهای سطحی ذوب و اطراف پراکنده می‌شود. این قطعات مذاب، در هوا سریعاً سرد شده و هنگام بازگشت مجدد به سطح زمین ممکن است دوباره بخشی از آن ذوب شود.

با این نظریه نمی‌توان، ترکیب شیمیایی یکنواخت و مشابه تکتیت‌ها را توضیح داد. زیرا سنگهای سطحی زمین در تمام مناطق ترکیب یکنواخت ندارند تا از ذوب آنها ماده‌ای یکنواخت و شبیه بهم به وجود آید.

درمورد الف ــ ۲، رعد و برق و صاعقه، خاکهای سطحی را ذوب خواهد کرد و براثر آن اشکال میله و ساقه مانند، حجمهای مختلف به وجود می‌آید که در مورد تکتیت‌ها صادق نیست. به علاوه، هیچگونه دلیلی بر آنکه رعد و برق و صاعقه عاملی برای تجمع و ذوب غبارهای جوی باشد دردست نداریم. زیرا، طوفان‌های همراه با رعد و برق که توأم با گرد و غبار باشد و بارها در ایالات متحده امریکا اتفاق افتاده است، تکتیتی در بیابانهای آنجا به وجود نیاورده است.

ــ آتشهای طبیعی و فعالیتهای صنعتی انسان هیچکدام نمی‌تواند راجع به ترکیب و انتشار تکتیت نظریه‌ای مستدل و قاطع باشد.

ضمناً، در مناطقی که تکتیت یافت شده، اصولاً آتشفشانی وجود ندارد. بنابراین نظریه مزبور درمورد آنها صدق نمی‌کند به علاوه، ترکیب شیمیایی تکتیت‌ها با سنگهای آتشفشانی فرق نمایان دارد. با توضیحات فوق نظریه‌های مربوط به منشأ زمینی تکتیت دچار تزلزل است. درعین حال به علت کمبود اطلاعات و دانش بشر از شرایط و احوال خارج از زمین، تأیید یا رد نظریه‌های مربوط به منشأ غیرزمینی تکتیت‌ها هم دشوارتر می‌شود.

درمورد رد نظریه ب ــ ۱، باید متذکر شویم که ذوب شدن سنگهای آسمانی در هنگام برخورد با جوّ زمین و ایجاد پوشش ذوب شده، از این نظر نمی‌تواند مورد قبول باشد که بین ترکیب شیمیایی سنگهای آسمانی و تکتیت رابطه‌ای به این صورت وجود دارد که ذوب سنگهای آسمانی منجر به [illegible]

تیره‌رنگی به وجود می‌آورد که سرشار از آهن اکسید شده است (Fusion crust). ضمناً انتشار جغرافیایی محدود تکتیت‌ها را نمی‌توان با پدیدهٔ فوق بیان کرد.

نظریه ب ــ ۲، نیز تقریباً قابل دفاع نیست، زیرا با کاوش‌هایی که در سطح ماه انجام شده و نمونه‌هایی که به وسیله فضانوردان به زمین آورده شده است و بررسی‌های این نمونه‌ها ثابت کرده است که اولاً تکتیت در سطح ماه وجود ندارد و ثانیاً بین ذوب بخشی از سنگهای ماه و تکتیت رابطه‌ای دیده نمی‌شود. درمورد نظریه ب ــ ۴، نیز چون ترکیب تکتیت‌ها کم و بیش ثابت است لذا، متلاشی شدن و ذوب شدن سیارات یا خرده سیارات نمی‌تواند چنین ترکیب ثابتی به وجود آورد. گرچه این نظریه هنوز مدافعانی نیز دارد.

به عقیده بعضی از محققین، تکتیت‌ها ممکن است محصول اصابت و برخورد ستاره‌های دنباله‌دار یا شخانه‌ها (متئوریتهای) بزرگ بر سطح زمین باشد (میسون و مور ۱۹۸۲).

رویهم رفته، چنین بنظر می‌رسد که با اطلاعات فعلی بشر، مسائل مربوط به نحوهٔ پیدایش و پراکندگی تکتیت‌ها تا به امروز لاینحل مانده است. آنها ممکن است منشأ غیرزمینی داشته باشند ولی برخلاف سنگهای آسمانی، تاکنون کسی شاهد سقوط آنها روی زمین نبوده است. درهرحال خاطرنشان می‌کنیم که تکتیت یا مرواریدهای شیشه‌ای ممکن است درنتیجه پخش و پراکنده شدن مایعی باشد که خود براثر ضربه عظیم سنگهای آسمانی به سطح زمین در مساحت هزاران کیلومتر مربع پخش گردیده است.

منابع

Mason, B. – Moor, C. B. – (1982): principales of Geochemistry. John wiley and sans, ed.

Mason, B. – (1964): The Meteorites, John wiley and sons ed.

Mason, B. – Nelson, B. – (1972(: The lunar rocks. John wiley and sons ed.

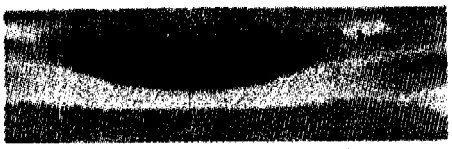
Urey, H. C. (1957(: origin of tektites. nature 179, 556 – 557

Urey, H.C. – (1959): primary and secondary objects. J. Geophys. Research,. 64. 1721 – 1737

گروه برنامه‌ریزی زمین‌شناسی دفتر تحقیقات در نظر دارد در رابطه با مقاله بازدید زمین‌شناسی از جاده هراز در آخرین جمعه اردیبهشت ماه یا اولین جمعه اردیبهشت ماه ۶۶، یک گردش علمی یک روزه در راه هراز ترتیب بدهد. آن دسته از دبیران زمین‌شناسی استان تهران که مایل به شرکت در این گردش علمی هستند، می‌توانند نام خود را به انضمام فیشی به مبلغ یکهزار ریال که به حساب ۶۰۷۰ بانک ملت شعبه کریمخان‌زند واریز شده، به سازمان پژوهش، دفتر تحقیقات، گروه زمین‌شناسی ارسال دارند، تا ترتیب شرکت‌شان در این گردش داده شود.

معکوس شدن میدان مغناطیسی زمین و تکامل بیولوژیکی

بسیاری از ذرّات پرانرژی باردار مانند پروتونها و مزونها به راحتی می‌توانند در کار ژنهای درون سلول ایجاد اختلال کنند. نسلهای بعدی که تحت تأثیر تشعشعات این ذرات قرار می‌گیرند، طبعاً دچار نارسایی‌های خواهند شد که طی تنازع بقاء مغلوب می‌شوند. به همین دلیل انتظار داریم در آغاز هر دوره‌ای کرهٔ زمین تحت تأثیر جریانهای پرانرژی حاصل از تشعشعات قرار گیرد. این دوره‌ها نقش بسیار مهمی در تکامل حیات در روی زمین بازی می‌کنند. آر. جی. آفن[1] در سال ۱۹۶۳ پیشنهاد کرد که کرهٔ زمین از نقطه‌نظر اهمیت ژنتیکی در واقع در معرض چنین رگباری از تشعشعات بوده است و این امر زمانی بوقوع پوسته که میدان مغناطیسی زمین واژگون شده است. کمربند تشعشعی وان‌آلن بصورت سپری کرهٔ زمین را از برخورد اشعهٔ کیهانی و طوفانهای خورشیدی محفوظ نگه می‌دارد و در واقع، ذرات سازنده اشعه کیهانی و طوفانهای خورشیدی در کمربند مزبور به تله می‌افتد و به سطح زمین نخواهند رسید. در هر بار که میدان مغناطیسی زمین معکوس می‌شود، سپر مغناطیسی به صفر می‌رسد، از بین می‌رود. (بنا به عقیده آر، جی، آفن میدان مغناطیسی زمین به این صورت معکوس می‌شود که شدت میدان مغناطیسی کاهش می‌یابد و به صفر می‌رسد، سپس بصورت معکوس شروع به افزایش می‌کند و به شدت قبل خود می‌رسد. کل زمان لازم برای چنین عملی بین ۲۰۰۰ تا ۵۰۰۰ سال است) آفن بحث را چنین دنبال می‌کند که در طول چنین دوره‌هایی که حفاظت بخصوص در مقابل جریانهای تشعشعات کیهانی از بین می‌رود، تغییرات ژنتیکی بسیار مهمی رخ می‌دهد. دانشمند مزبور معتقد بود که فرکانس میدان مغناطیسی معکوس عامل بسیار مهمی در فرایند تکامل خواهد بود.



آبهای زیرزمینی

بقیه از صفحه ۳۱

در رابطه (۳)، Q دبی جریان آب (مترمکعب در ثانیه)، V سرعت دارسی (متر در روز) و A سطح مقطع عمود برجهت جریان (مترمربع) است.

به طور مثال اگر سرعت دارسی در یک سفره ۰/۱ متر در روز و سفره در جهت عمود بر جریان ۱۰ متر عمق و ۱۰۰۰ متر عرض داشته باشد مقدار جریان در سفره برابر ۱۰۰۰ مترمکعب در روز است.

معادله (۳) را به‌طورکلی به صورت زیر می‌توان نوشت:

$$Q = K A \frac{dh}{dl} \qquad (۴)$$

که $\frac{dh}{dl}$ همان گرادیان هیدرولیک است.

در معادله (۴) سطح مقطع عمود بر جریان آب (A) برابر است با $A = WD$ که W عرض سفره و D ضخامت سفره است. حاصلضرب ضریب نفوذپذیری در ضخامت سفره را «ضریب قابلیت انتقال»[۲۹] می‌گویند. لذا معادله (۴) را به صورت زیر نیز می‌توان نوشت:

$$Q = WT \frac{dh}{dl} \qquad (۵)$$

که در آن W عرض سفره در جهت عمود بر جریان است.

پس قابلیت انتقال علاوه بر نفوذپذیری با ضخامت سفره نیز بستگی دارد. ضریب قابلیت انتقال نیز یکی از فاکتورهای هیدرودینامیکی لایه‌های آبدار است و مقدار آنرا با آزمایشات پمپاژ در چاهها تعیین می‌کنند.

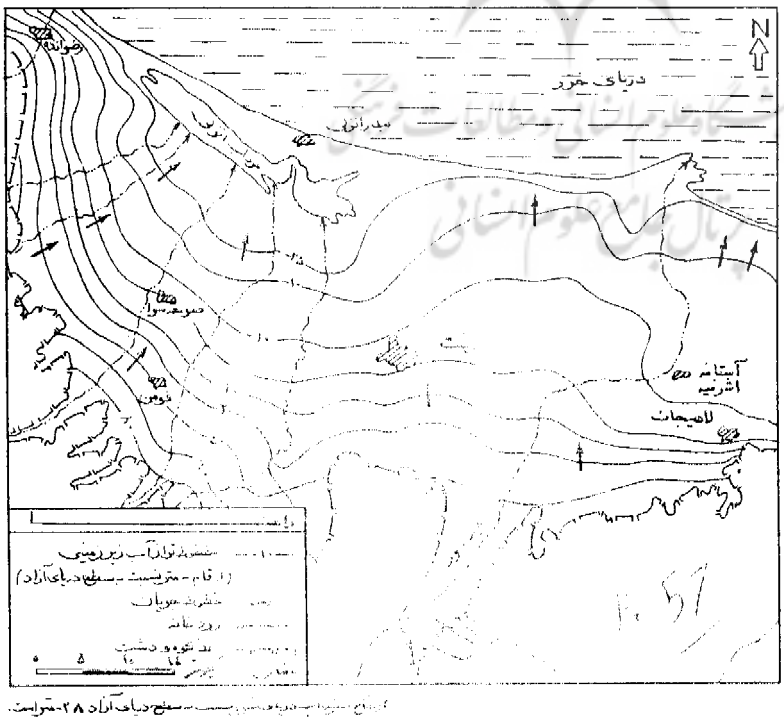
نقشه‌های تراز آب زیرزمینی: برای مطالعه حرکت آب زیرزمینی و کسب اطلاعات مفید دیگر «نقشه‌های تراز آب زیرزمینی» تهیه می‌شود. برای تهیه چنین نقشه‌هائی در یک منطقه، تعدادی چاه مشاهده‌ای تا سطح موردنظر حفر می‌شود. سپس باید تا حد امکان توزیع یکنواختی در منطقه داشته باشند. فواصل چاهها با توجه به دقت موردنظر و امکانات موجود تعیین می‌شود (در حدود چند کیلومتر). آنگاه با نقشه‌برداری ارتفاع نقطهٔ ثابتی را در کنار هر چاه نسبت به یک سطح مبناء (معمولاً سطح متوسط دریاها) به دست می‌آورند. با اندازه‌گیری عمق آب در هر چاه ارتفاع سطح آب در چاه نسبت به سطح مبناء به دست می‌آید. ارتفاعات سطح آب در چاههای مختلف را در روی نقشه منطقه پیاده کرده و با درون یابی (انترپلاسیون) نقاط، خطوط هم ارتفاع سطح آب را رسم می‌کنند (شکل ۸).

چنین نقشه‌هائی را می‌توان در سفره‌های آزاد برای سطح ایستابی و در سفره‌های تحت‌فشار برای سطح پیزومتریک تهیه کرد. خطوط تراز آب زیرزمینی را خطوط هم پتانسیل نیز می‌گویند. بار انرژی یا پتانسیل سیال در هر نقطه در سطح ایستابی یا پیزومتریک، بنا به آنچه که گفتیم، برابر است با

$$h_E = \frac{P}{\gamma} + Z$$

که در آن P فشار، γ وزن مخصوص آب و Z ارتفاع از سطح مبناست.

در سطح ایستابی فشار برابر فشار آتمسفر است. اگر فشار آتمسفر را به عنوان فشار مبناء برابر صفر درنظر بگیریم پس $P = 0$ و $h_E = z$ می‌شود. بنابراین در شرایط ماندگار ارتفاع هر

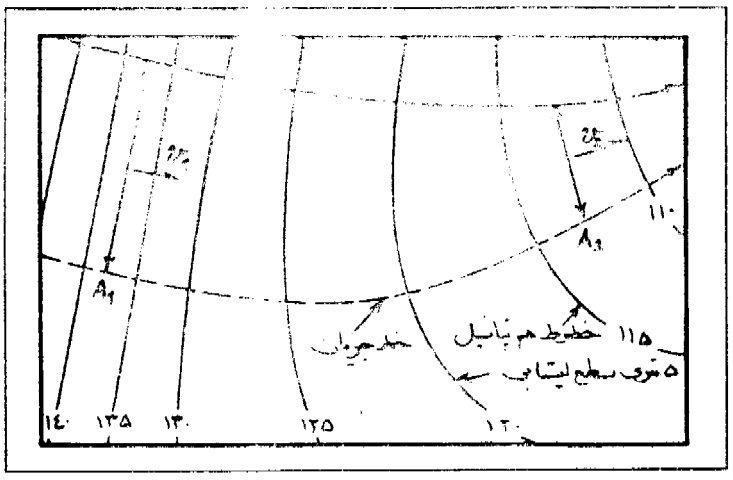


شکل ۸ ـ نقشه خطوط تراز [illegible] استان گیلان

نقطه در سطح ایستابی برابر با [illegible] و در نتیجه خطوط جریان عمود بر خطوط تراز سطح ایستابی خواهند [illegible] در شکل ۸).

از نقشه‌های تراز آب زیرزمینی علاوه بر جهت حرکت آب اطلاعات مفید دیگری می‌توان به دست آورد. مثلاً با رسم خطوط جریان به سادگی می‌توان مناطق تغذیه و تخلیه سفره را مشخص کرد. شکل ۸ نشان می‌دهد که حرکت آب زیرزمینی به طور کلی از جنوب به شمال است، یعنی تغذیه سفره از طریق ارتفاعات جنوب دشت صورت گرفته و آب زیرزمینی پس از عبور از دشت به دریای خزر تخلیه می‌شود. از روی این نقشه‌ها نحوه ارتباط سفره با رودخانه‌ها و دریاچه‌ها را نیز می‌توان مشخص کرد. وقتی خطوط جریان از یک رودخانه دور شوند نشانه تغذیه سفره آب توسط رودخانه است و بالعکس چنانچه خطوط جریان به رودخانه نزدیک شود رودخانه آب زیرزمینی را زهکشی می‌کند. در صورتی‌که خطوط جریان موازی رودخانه باشند، ارتباط هیدرولیکی مستقیمی بین رودخانه و سفره وجود ندارد (شکل ۹).

با استفاده از نقشه‌های تراز آب زیرزمینی می‌توان نقاطی را که از نظر ضرایب نفوذپذیری و قابلیت انتقال مناسب‌ترند تعیین کرد و در نتیجه در مورد تعیین محل حفر چاههای بهره‌برداری اطلاعات باارزشی به دست آورد. برای توضیح مطلب، در شکل (۱۰) دو خط جریان را در نظر می‌گیریم.



شکل ۱۰ ـ نقشه خطوط تراز سطح ایستابی و خطوط جریان

خطوط جریان به عنوان مرزهای غیرقابل نفوذ تلقی می‌شوند. بنابراین جریان آبی که از مقطع A_1 عبور می‌کند از مقطع A_2 نیز می‌گذرد. بنابراین داریم:

$$Q = A_1V_1 = A_2V_2 \qquad (۶)$$

که در آن V سرعت جریان آب و A سطح مقطع اشباع شده عمود بر جریان است. باتوجه به معادله دارسی داریم:

$$A_1K_1i_1 = A_2K_2i_2 \qquad (۷)$$

که i در این رابطه گرادیان هیدرولیک است. رابطه (۷) را می‌توان به صورت زیر نوشت:

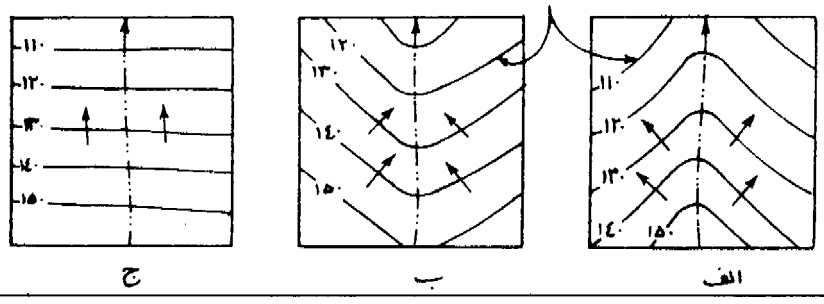
$$\frac{K_1}{K_2} = \frac{A_2i_2}{A_1i_1} \qquad (۸)$$

نسبت بین $\frac{A_2}{A_1}$ را در سفره‌های تحت فشار که ضخامت سفره یکنواخت است، یا در سفره‌های آزاد که اختلاف ارتفاع سطح ایستابی در دو مقطع در مقایسه با ضخامت سفره ناچیز باشد، می‌توان از فاصله خطوط جریان برآورد نمود. بهمین ترتیب $\frac{i_2}{i_1}$ را نیز می‌توان از فاصله خطوط تراز برآورد نمود. بنابراین وقتی که خطوط جریان موازی باشد هرچه فاصله خطوط تراز بیشتر باشد (گرادیان هیدرولیک کمتر باشد) نفوذپذیری بیشتر است و وقتی فاصله خطوط تراز یکسان باشد هرچه فاصله خطوط جریان بیشتر شود نفوذپذیری و در نتیجه قابلیت انتقال کمتر خواهد بود. لذا در شکل ۱۰ نفوذپذیری در مقطع A_2 بیشتر از مقطع A_1 است و چاهی که در حوالی مقطع A_2 حفر شود آبدهی بیشتری خواهد داشت.

تخلیه آبهای زیرزمینی

چنانکه دیدیم هر حوضه آب زیرزمینی به راههای مختلف تغذیه و پر می‌شود. این آب در زیرزمین مسافتهای کم یا زیادی را طی می‌کند. آبی که از گنجایش سفره بیشتر باشد در شرایط طبیعی به اشکال گوناگون از زیرزمین خارج می‌شود، یا آنکه به دست انسان استخراج می‌گردد.

الف ـ راههای طبیعی تخلیه آب زیرزمینی: با نزدیک شدن سطح ایستابی به سطح زمین و



شکل ۹ ـ نحوه ارتباط سفره با رودخانه
الف ـ رودخانه سفره را تغذیه می‌کند
ب ـ رودخانه سفره را زهکشی می‌کند
ج ـ رودخانه و سفره ارتباط هیدرولیکی مستقیمی ندارند

وقتی که آب موئین به ریشه گیاهان برسد آب زیرزمینی بر اثر عمل «تعرق» توسط گیاه به آتمسفر باز می‌گردد. ریشه بعضی از گیاهان صحرائی (فراتوفیت‌ها) برای رسیدن به آب زیرزمینی تا اعماق بیش از ۱۰ متر در زمین فرو می‌روند.

با نزدیک شدن سطح ایستابی به سطح زمین (تقریباً ۰/۵ تا ۲ متری سطح زمین بسته به نوع خاک) آب زیرزمینی از طریق منافذ موئین مستقیماً از سطح خاک تبخیر می‌شود. تخلیه نامرئی آب زیرزمینی در اثر تبخیر و تعرق ممکن است مقادیر قابل توجه‌ای را تشکیل دهد. در اثر تبخیر آب از سطح خاک املاح موجود در آب زیرزمینی به تدریج در خاک انباشته شده و ممکن است یک منطقه شوره‌زار به وجود آید (مثلاً شوره‌زارهای جنوب تهران یا دیگر دشتهای مرکزی ایران).

وقتی سطح ایستابی به وسیله رودخانه قطع شود ممکن است آب زیرزمینی توسط رودخانه زهکشی شود. چنین رودخانه‌ای را رودخانه زاینده[30] (یا زاینده‌رود) می‌گویند. غالباً رودخانه‌های دائمی حداقل در بخشی از مسیر خود از نوع زاینده هستند.

آبهای زیرزمینی ممکن است وارد دریاچه‌ها شوند. در سفره‌های ساحلی آب زیرزمینی مستقیماً به داخل دریا تخلیه می‌شوند.

هر جا که سفره آب به وسیله سطح زمین قطع شود آب به صورت جریان سطحی تخلیه می‌شود. اگر مقدار تخلیه کم یا در سطح وسیعی پخش شده باشد «سطح تراوش»[31] ایجاد می‌شود. در این حال آب باعث مرطوب شدن زمین شده و ممکن است از سطح زمین تبخیر شود. تراوش در امتداد ساحل رودخانه‌ها و دریاچه‌ها ممکن است منبع قابل توجه‌ای را تشکیل دهد. اگر خروج آب به صورت جریان متمرکزی باشد چشمه ایجاد می‌شود. چشمه‌ها به اشکال مختلف در سطح زمین ظاهر می‌شوند و براساس علت تشکیل، مقدار دبی، دما،

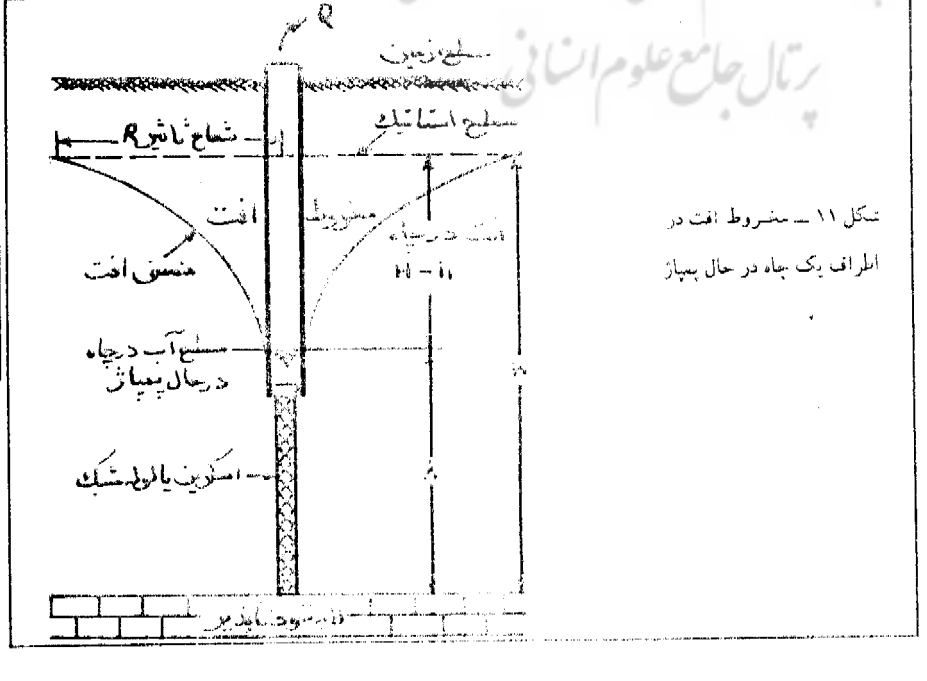
تغییرات دبی و غیره تقسیم‌بندی می‌گردند.

ب ـ استخراج آبهای زیرزمینی: بخشی از آب زیرزمینی به دست انسان، به راههای مختلف از قبیل حفر چاه و قنات استخراج می‌گردد. امروزه بهره‌برداری از آبهای زیرزمینی به وسیله حفر چاه در همه کشورها از جمله در کشور ما بسیار رایج است. در ایران با حفر بیش از ۵۸ هزار چاه عمیق و نیمه عمیق (بجز چاههای خانگی و دستی) سالیانه متجاوز از ۱۱ میلیارد متر مکعب آب استخراج می‌شود.

چاه حفره‌ای است استوانه‌ای شکل و قائم که به وسایل مختلف دستی یا دستگاههای حفاری از سطح زمین تا منطقه اشباع آب زیرزمینی حفر می‌شود. پس از حفر چاه آن را با لوله‌گذاری مناسب، ایجاد فیلتر شنی در اطراف لوله جدار و اقدامات دیگر تکمیل و تجهیز می‌کنند. در نتیجه آب از سفره به داخل چاه جریان پیدا کرده و در آن جمع می‌شود. چاههای آرتزینی که آب آنها به قدر کافی و به طور دائم فوران کند کمیابند. بنابراین آب درون چاه باید به وسایل مختلف مانند تلمبه‌های دستی یا موتوری به سطح زمین آورده شود. امروزه اغلب چاهها با تلمبه‌ها یا پمپهای گریز از مرکز و توربینی که با موتورهای الکتریکی یا دیزلی و بنزینی به کار می‌افتند مجهز هستند.

وقتی یک چاه مورد پمپاژ قرار می‌گیرد آب از سفره به داخل چاه جریان یافته و سطح آب در درون چاه و همچنین سطح ایستابی یا پیزومتریک در اطراف چاه شروع به پائین رفتن (افت) می‌کند. در نتیجه در اطراف چاه در سطح ایستابی یا پیزومتریک فرورفتگی مخروطی شکلی ایجاد می‌شود که به آن مخروط افت می‌گویند (شکل ۱۱). بر اثر ایجاد مخروط افت جریان طبیعی آبهای زیرزمینی تغییر می‌کند و آب نقاط دورتر و اطراف محور چاه به سمت آن جریان می‌یابد. گسترش و عمق مخروط افت به دبی، مدت زمان پمپاژ و مشخصات هیدرودینامیکی سفره (T و S) بستگی دارد. با گذشت زمان سرعت گسترش و عمیق شدن مخروط افت کاهش می‌یابد. در هر زمان منطقه‌ای در اطراف چاه تحت‌تأثیر پمپاژ قرار می‌گیرد. این منطقه را منطقه تأثیر یا دایره تأثیر و شعاع آنرا «شعاع تأثیر» می‌گویند. فاصله چاههای بهره‌برداری در یک ناحیه را با توجه به دبی برداشت آب و شعاع تأثیر آنها انتخاب می‌کنند. مسلماً وقتی یک چاه در منطقه تأثیر (حریم) چاه دیگری قرار گیرد از آبدهی آن کاسته می‌شود.

با توجه به مشخصات هیدرولیکی یک



شکل ۱۱ ـ مخروط افت در اطراف یک چاه در حال پمپاژ

سفره و مقدار دبی استخراجی از چاهی در این سفره، ممکن است پس از مدتی پمپاژ سطح آب در درون چاه ثابت بماند و دیگر افت بیشتر نکند. در این حالت سطح آب درون چاه را «سطح دینامیک» می‌گویند. برای رسیدن به شرایط افت تعادلی ممکن است لازم باشد که مدتهای طولانی پمپاژ ادامه پیدا کند. سطح اولیه آب در چاه را قبل از پمپاژ «سطح استاتیکی» می‌گویند.

جریان آب از سفره به چاه: شکل ۱۲ چاهی را که در سفره‌ای هموژن با گسترش نامحدود حفر شده نشان می‌دهد. دو پیزومتر به فاصله r_1 و r_2 از چاه بهره‌برداری نیز حفر شده است. چاه با دبی ثابت آنقدر پمپاژ می‌شود تا به شرایط تعادلی برسد (تغییرات افت ناچیز شود). اگر مقدار افت نسبت به ضخامت سفره کم بوده و چاه تمام سفره را قطع کرده باشد، بین دبی چاه و مشخصات سفره رابطه‌ای وجود دارد. جریانی که از سطح جانبی استوانه‌ای به شعاع x به طرف چاه می‌رود باید معادل دبی چاه (q) باشد، لذا بنا به قانون دارسی (رابطه ۴) می‌توان نوشت:

$$q = 2\pi XYK \frac{dy}{dx} \qquad (9)$$

که در آن $2\pi XY$ سطح جانبی استوانه و $\frac{dy}{dx}$ شیب سطح ایستابی است. اگر نسبت به x از r_1 تا r_2 و نسبت به y از h_1 تا h_2 انتگرال بگیریم، داریم:

$$q = \frac{\pi K (h_1^2 - h_2^2)}{\log_e (\frac{r_1}{r_2})} \qquad (10)$$

که h عبارتست از ارتفاع سطح ایستابی از سطح زیرین سفره در فاصله r از چاه پمپاژی. چون فرض کردیم که افت (Z) نسبت به ضخامت سفره ناچیز است، بنابراین رابطه (۱۰) را به صورت زیر نیز می‌توان نوشت:

$$T = \frac{q \log_e (\frac{r_1}{r_2})}{2\pi (Z_2 - Z_1)} \qquad (11)$$

معادلات ۱۰ و ۱۱ را می‌توان برای برآورد T مورد استفاده قرار داد. برای اینکار باید یک چاه بهره‌برداری با دبی ثابت آنقدر پمپاژ شود تا سطح آب در چاه به حالت تعادل برسد (سطح دینامیک). سپس افت سطح ایستابی با پیزومتریک در دو چاه پیزومتر با فاصله مشخص از چاه اصلی اندازه‌گیری می‌شود. با داشتن دبی چاه (q)، مقدار T محاسبه می‌شود. با داشتن T و ضخامت سفره به سادگی K به دست می‌آید.

استفاده از روابط ۱۰ و ۱۱ مستلزم ایجاد شرایط تعادلی (جریان ماندگار) در چاه است. بنابراین زمان در اینجا دخالت ندارد. «تیس»[۳۲] در سال ۱۹۳۵ فرمولی براساس تشابه جریان آبهای زیرزمینی و هدایت گرمائی ارائه داده که شامل پارامتر زمان و ضریب ذخیره نیز می‌شود. فرمول او عبارتست از:

$$Z_r = \frac{q}{4\pi T} \int_u^\infty \frac{e^{-u}}{u} du \qquad (12)$$

که در آن Z_r افت در چاه پیزومتر به فاصله r از چاه اصلی، q دبی به مترمکعب در روز، T قابلیت انتقال به مترمربع در روز و u عبارتست از:

$$u = \frac{r^2 S}{4Tt} \qquad (13)$$

که در رابطه (۱۳) t زمان برحسب روز از شروع پمپاژ و S ضریب ذخیره یا آبدهی ویژه سفره است. عبارت انتگرال در رابطه (۱۲) را معمولاً به صورت W(u) می‌نویسند، پس داریم:

$$Z_r = \frac{q}{4\pi T} W(u) \qquad (14)$$

W(u) را می‌توان از سری زیر برآورد نمود:

$$W(u) = 0/5772 - \log_e u + u - \frac{u^2}{2\times 2!} + \frac{u^3}{3\times 3!} - \dots \qquad (15)$$

بنابراین مقادیر مختلف W(u) برحسب u را می‌توان محاسبه کرد که آنرا به صورت جداول یا منحنی‌هائی نشان می‌دهند (شکل ۱۳). رابطه (۱۲) را می‌توان به طریق ترسیمی و با داشتن منحنی تغییرات W(u) برحسب u که در روی کاغذ لگاریتمی رسم شده حل کرد. با توجه به رابطه (۱۳) داریم:

$$\frac{r^2}{t} = \frac{4T}{S} u \qquad (16)$$

اگر q ثابت باشد رابطه (۱۲) نشان می‌دهد که Z_r مضرب ثابتی از W(u) است. بنابراین منحنی تغییرات $\frac{r^2}{t}$ به Z_r بایستی مشابه منحنی نمونه u برحسب W(u) باشد. بنابراین روش کار در این حالت (جریان غیرماندگار) به این ترتیب است که چاه اصلی را با دبی ثابت پمپاژ کرده و مقادیر افت سطح آب را در زمانهای مختلف در چاه یا چاههای پیزومتر اندازه‌گیری می‌کنند. آنگاه منحنی تغییرات $\frac{r^2}{t}$ به افت (Z) رسم می‌شود. این منحنی را بر روی منحنی تغییرات u برحسب W(u) منتقل می‌کنیم (شکل ۱۳). این دو منحنی را در حالیکه محورهای آنها موازی است آنقدر جابجا می‌کنیم تا رویهم منطبق شود. آنگاه مختصات یک نقطه را که به آن «نقطه انطباق» (M.P) می‌گویند از هر دو منحنی می‌خوانیم (یعنی مقادیر u، W(u)، $\frac{r^2}{t}$ و Z). با استفاده از روابط (۱۴) و (۱۶) مقادیر T و S را به دست می‌آوریم.

در مطالعه آبهای زیرزمینی در یک منطقه محاسبه ضرایب هیدرودینامیک (T، K و S) از اهمیت زیادی برخوردار است. پیش‌بینی درست حرکت آبهای زیرزمینی قبل از هر چیز

بقیه در صفحه ۵۰