

بررسی منشأ گچ در اراضی شمال غربی اصفهان

نورایر تومانیان*، احمد جلالیان** و عبدالرحیم ذوالانوار***

چکیده

خاکهای گچی که از بارزترین خاکهای مناطق خشک و نیمه خشک می باشند، در استان اصفهان پراکنش زیادی دارند. اراضی گچ دار شمال غربی اصفهان، قسمتی از حوضه آبخیز شمالی رودخانه زاینده رود را تشکیل داده، به صورت حوضه ای بسته توسط منابع زمین شناختی محصور گردیده اند. به منظور بررسی منشأ گچ و شناخت منابع زمین شناختی تغذیه کننده کانی گچ در منطقه فوق، ۲۲ قطعه مطالعاتی از کل سطح مواد زمین شناختی حوضه، براساس سطح تأثیرگذاری هر کدام در تولید گچ انتخاب گردید. با استفاده از مقاطع طبیعی و مصنوعی در نقاط تعیین شده، نمونه های متعددی از رسوبات لایه های مختلف تمامی نقاط برداشته شد.

مشاهدات صحرایی بیانگر آن بود که: در سازند نایبند و شمشک، بلورهای گچ در اطراف و سطوح جانبی شیل های متورق به مقادیر زیادی وجود دارد و بلورهای پیریت تنها در شیل های معدن باما قابل رؤیت بود. در مواد فرسایش یافته از کنگلومرای قرمز رنگ قاعده کرتاسه، مقادیر قابل توجهی گچ تجمع یافته است. در رگه های هیدروترمال موجود در سازندهای شمشک و نایبند، بلورهای گچ در متن یا داخل حفرات و یا بین رگه های مختلف سنگها دیده می شود. در قسمتهایی از سازند قم (رسوبات تبخیری)، مقادیر معتدلهای گچ وجود دارد. مشاهدات صحرایی و نتایج آزمایشهای تفرق اشعه ایکس (XRD) روی پودر سنگها و نمونه های تلخیص شده (توسط سیاله های سنگین) و اندازه گیری سولفور باقی مانده در شیل های سطحی و همچنین تفاسیر مقاطع نازک و صیقلی سنگها چنان نشان می دهند که اولاً، در شیل ها هنوز هم پیریت و سولفورهای دیگر باقی است و ثانیاً، کانی گچ در متن بیشتر سنگهای نمونه برداری شده وجود دارد. براساس نتایج به دست آمده می توان موارد زیر را به ترتیب اهمیت به عنوان منشأ و عامل اصلی تغذیه کننده گچ در خاکهای اراضی مورد مطالعه معرفی نمود:

- الف - رها شدن گچ از آهکهای کرتاسه، مخصوصاً از کنگلومرای قرمز رنگ قاعده کرتاسه به واسطه هوازدگی و فرسایش.
- ب - تشکیل گچ بر اثر اکسیداسیون پیریت و دیگر سولفورهای موجود در شیل ها.
- ج - رها شدن گچ از کانیهای شیمیایی و تبخیری موجود در مارن ها و رسوبات سازند قم به واسطه هوازدگی و فرسایش.
- د - تشکیل گچ بر اثر فرایندهای هیدروترمالی آتش فشانه های اواخر دوران سوم.

واژه های کلیدی - خاکهای گچی، سازندهای گچی، رسوبات تبخیری

مقدمه

ریشه یابی سر منشأ گچ در اراضی گچ دار و بررسی فرایندهایی که طی آن گچ به خاک وارد می گردد، می تواند در مطالعات بعدی،

*- عضو هیأت علمی سازمان تحقیقات کشاورزی، اصفهان

** - دانشیار خاک شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

*** - دانشیار زمین شناسی، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان

سازند هرمز (پرکامبرین) در جزایر خلیج فارس و استان ساحلی و استان چهارمحال بختیاری و حاشیه غربی روراندگی زاگرس، سازندهای کلشانه و پادهاات (کامبرین) در شرق ایران، نهشته‌های نمکی زاگرس و ژپیس ملافیر (مزوزویک) در شرق دماوند، رخساره‌های آهکی-ژپسی در کرمان، رسوبات انهدریت هیث^۶ در نواحی مرکزی استان فارس و سواحل خلیج فارس، سازندهای زیارت در جنوب شرقی تهران، کرج در البرز جنوبی، گچساران در میدان نفتی مربوطه و تشکیلات نمکی تبریز (ترشیری) می‌توانند در انتشار گچ فعال باشند (۲). خادمی (۱۱) و خادمی و همکاران (۱۳ و ۱۲) در تحقیق دامنه داری که بر روی منشأ و چگونگی تجمع و توزیع گچها در منطقه مرکزی ایران انجام داده‌اند چنین نتیجه‌گیری می‌نمایند:

الف- منطقه مرکزی ایران که جزیی از راه آبی تتیس بوده است، در اواخر دوران مزوزویک از دریای اصلی جدا شده و در دوران سوم تبدیل به تعداد متعددی دریاچه کم عمق حاوی گچ شده‌است. این دریاچه‌ها در اواخر دوران سوم و اوایل دوران چهارم به مردابهایی^۷ تبدیل گشته‌اند. خشک‌تر شدن اقلیم منجر به خشک شدن کامل آنها و ترسیب مقادیر زیادی گچ در حاشیه (فنها) و مرکز دریاچه (پلاتوها) شده است.

ب- یون‌های سولفات موجود در دریای کرتاسه نقش اساسی در کنترل غلظت سولفات و ایزوتوپ‌های گوگرد در سیستم‌های آبی و خاکی بعدی در منطقه مورد مطالعه داشته است. بنابراین سولفات موجود در رسوبات کرتاسه، فعالیت‌های ژئوشیمیایی رسوبات جدید و خاکهای ایجاد شده از آنها را تحت کنترل دارد. ج- اکثریت رسوبات آهکی کرتاسه و رسوبات الیگومیوسن حاوی مقدار قابل توجهی از سولفات می‌باشند. در دوره مرطوب بعدی، رسوبات زمین شناسی فرسایش یافته و گچهای رها شده از آنها به طرف مرکز حوضه‌ها منتقل شده‌اند.

در مورد تشکیل گچ بر اثر اکسیداسیون کانیهای سولفوردار موجود در رسوبات زمین‌شناسی، تحقیقات دامنه‌داری در جهان

مخصوصاً ژنز و رده‌بندی خاکها و تعیین مسیر تکاملی افقهای گچی، مؤثر باشد. با این که اراضی گچ‌دار در مناطق خشک و نیمه خشک ایران گسترش زیادی دارند، ولی در مورد منشأ گچ مطالعه چندانی صورت نگرفته است. با توجه به این که هیچ گونه گزارش زمین شناختی نشان دهنده گچ در منطقه مورد مطالعه وجود ندارد، پیگیری چگونگی تشکیل گچهای موجود در اراضی شمال غربی اصفهان هدف این مطالعه انتخاب گردید. اولین منشأ مؤثری که برای گچ در نظر گرفته می‌شود، رسوبات تبخیری است. رسوبات تبخیری مربوط به دوره‌های تریاس، ژوراسیک و کرتاسه از جنس رس و مارن گچ‌دار و توده سنگهای گچ و انهدریت در کشورهای اسپانیا، تونس و عراق گزارش شده است (۲۴). ته نشستهای دوره‌های ائوسن، الیگوسن و عمدتاً میوسن از جنس سنگ گچ، گچ بین لایه‌ای داخل مارن‌ها در اسپانیا، افریقای شمالی، خاورمیانه و جنوب غربی سبیری دیده شده و رسوبات گچ‌دار سازند فارس زیرین مربوط به دوره میوسن غالباً در شرق سوریه، غرب و مرکز عراق و جنوب ایران نهشته شده است (۲۴).

در مورد خاکهای گچی عراق چنین اظهار شده است که خاکهای گچی از مواد مادری حاوی لایه‌هایی از گچ و انهدریت، که سازند فارس نمونه بارز آن است، تشکیل شده‌اند (۹).

در اسپانیا رسوبات سنگ گچ و گچ بین لایه‌ای سارمانتین^۱ (میوسن بالایی) و لودین^۲ (حدواسط بین الیگوسن و ائوسن) در دره ابرو^۳ و رسوبات میوسن زیرین در دره توجا^۴، واقع در جنوب غربی مادرید (۹) و گچ بارباسترو^۵ (ائوسن بالایی) و در کپه ابرو در شمال شرقی موجب وارد شدن گچ فراوانی به خاک اراضی زیر دست می‌شوند (۱۰).

منطقه وسیعی از اراضی دو کشور سوریه و اردن به ترتیب از سنگهای تبخیری دوره میوسن و اردوویسین متأثر شده است (۲۳).

در ایران سازندهای دزو و راور (پرکامبرین) در کرمان و راور،

1- Sarmantien

2- Ludien

3- Ebro

4- Toja

5- Barbastro

6- Hith Anhydrite = Gotnia سازند قونیه عراق

7- Lagoons

نظر نموده‌اند که پیریت موجود در این سنگها طی پروسه اسید سولفاتی اکسیده شده است.

مواد و روشها

ارتباط رشته کوه کرکس با ارتفاعات سمت جنوبی زیر حوضه، تشکیل محدوده بسته‌ای را در شمال غربی اصفهان داده (نقشه‌های ۱ و ۲) که به عنوان محدوده مورد مطالعه این تحقیق در نظر گرفته شده است. این زیر حوضه به مساحت ۱۵۸۴۳۷۵ هکتار از سمت شرق، شمال و غرب توسط ارتفاعاتی که از پشت دانشگاه صنعتی شروع و از طریق چال سیاه و جنوب مورچه خورت و میمه به مته و از آن جا به رباط ترک و شمال جوشقان قالی و قهرود مرتبط شده و از طریق کشه و طرق به زفره منتهی می‌گردد، احاطه گردیده است. حد جنوبی این حوضه را آبرفت‌های رودخانه زاینده رود تشکیل داده است. منطقه مورد نظر جزئی از حوضه آبخیز رودخانه زاینده رود بوده و گچ موجود در خاک‌های اراضی، اجباراً می‌بایست حاصل فرسایش ارتفاعات باشد که همراه با مواد دیگر از بالادست به طرف واحدهای اراضی پست‌تر حمل شده است. واحدهای فیزیوگرافی تشکیل شده در محدوده مورد مطالعه، حاصل جابه جایی مواد، طی اواخر دوران سوم و دوره‌های مرطوب‌تر دوران چهارم می‌باشد. جابه جایی مواد در جهت شیب‌های شعاعی و به طرف مرکز زیر حوضه، منجر به تشکیل مخروط افکنه‌ها (واریزه‌ها و آبرفت‌های بادبزنی شکل) و حرکت مواد در جهت شیب اصلی و در طول خط‌القدر زیر حوضه، منجر به تشکیل سطوح قدیمی (پلاتوها) و دشتهای دامنه‌ای شده است. سطوح قدیمی، حاصل جابه‌جایی و ترسیب مواد طی جریان‌های قوی دوره‌های مرطوب اوایل دوران چهارم بوده که فرسایش‌های بعدی آنها را به شکل تپه‌های طویل و یا اراضی بریده بریده در آورده است.

براساس نقشه‌های زمین شناسی، کوه‌های منطقه از شیل‌های حاوی سنگ‌های آتشفشانی (سازند کهر) دوران

انجام یافته است. پوگ و همکاران (۲۰) و ارورا و همکاران (۴) ضمن بررسی سطح ویژه و شکل ظاهری کانیهای سولفور در رسوبات ذغال‌دار و شیل‌های منطقه تکزاس آمریکا، اظهار می‌دارند که اکسایش پیریت و مارکاسیت باعث اسیدی شدن خاک‌های ایجاد شده بر روی این رسوبات شده است. نلتون و همکاران (۱۷) و ویتیگ و همکاران (۲۵) به وجود پیریت و آهک در شیل‌های گرانز^۱ آهک‌گرین هورن^۲ و رسوبات گروه داکوتا^۳ اشاره نموده و عقیده دارند طی فرایند اکسایش پیریت و ترکیب شدن ماحصل آن با کلسیم موجود در آهک، کانی گچ تولید می‌گردد. همچنین وجود گچ در شیل‌های جانسون، کارلایل^۴ و مانکوس^۵ را به دلیل اکسایش پیریت داخل آنها دانسته و شیل مانکوس را عامل تغذیه کننده گچ در خاک‌های ایالت وایومینگ، کلرادو، یوتا، نیومکزیکو و آریزونا معرفی می‌کنند. مرموت و ارشاد (۱۶) با اشاره به وجود مقدار قابل توجهی پیریت در شیل‌های دریایی منطقه ساسکاچوان (کرتاسه)، چنین نتیجه‌گیری نموده‌اند که عامل اصلی تشکیل گچ و کانیهای محلول‌تر، هوازدگی شیل‌ها و اکسایش پیریت می‌باشد. اکیوکوج (۳) در مطالعه‌ای بر روی رسوبات پرکامبرین نیوساوت ولز استرالیا، به این نتیجه رسیده است که گچ موجود در خاک‌های حاصل از این مواد، از هوازدگی شیمیایی و اکسایش پیریت داخل شیل‌های فیلایتی اعم از آهکی، دولومیتی و پیریتی و شیل‌های حاوی ماسه سنگ و کوارتزیت ایجاد شده است. مرموت و همکاران (۱۵)، مرموت و ارشاد (۱۶)، ریتزما و گرونبری (۲۱) و پوستمادایک (۱۹) تحقیقات زیادی در مورد اکسایش پیریت در رسوبات باتلاقی و ساحلی انجام داده‌اند و فانینگ (۸) به طور کامل تمامی مراحل اکسایش پیریت را بررسی و کل مطلب را در چهار مرحله جداگانه ارائه نموده است. ماتز زیگفرید (۱۴) وجود کانیهای سولفور و به ویژه پیریت را در ترکیب گرانیت ذکر نموده است. دی کیمپ و مایلز (۶) در مورد اکسایش پیریت موجود در سنگ‌های آذرین و دگرگونی دوران پرکامبرین جنوب شرقی انتاریوی کانادا اظهار

1- Granerose

2- Greenhorn

3- Dacuta

4- Carlile

5- Mancos

پیرکامبرین، شیل و ماسه سنگهای حاوی دولومیت و آهک (سازند میلا) دوره کامبرین، شیل و ماسه سنگهای پرمین، شیل و ماسه سنگهای ژوراسیک و تریاس (سازندهای شمشک، نایبند و شتری)، کنگلومرای قرمز رنگ قاعده کرتاسه و شیل های مارنی و آهکی کرتاسه میانی و بالایی و رسوبات آهکی کرتاسه، رسوبات تبخیری (سازند قم) دوره الیگو-میوسن و رسوبات اگلومرای دوره میو-پلیوسن تشکیل یافته اند (نقشه ۱). از نظر آب و هوایی منطقه دارای اقلیم خشک بسیار گرم با تابستانهای خشک (BWhs)، تا نیمه خشک بسیار گرم با تابستانهای خشک (BSHs) می باشد.

در زیر حوضه انتخابی، با استفاده از نقشه های زمین شناسی، تعداد ۲۲ نقطه مطالعاتی (نقشه ۱) در رسوبات و تشکیلات زمین شناسی، براساس وسعت و شدت تأثیرگذاری آنها در حجم فرسایش کلی، انتخاب و در هر نقطه مطالعاتی لایه های مختلف رسوبات و ارتباط آنها با هم مورد مطالعه قرار گرفت و نمونه های زیادی از سنگهای لایه های مختلف برداشته شد. برای مقایسه شیل های هوازده سطحی و غیر فرسوده عمقی، از سطح و عمق زیاد معدن باما (سازند شمشک، نقطه ۲۲) نمونه برداری گردید. در ضمن ۴ نمونه از خاکهای حاصل از فرسایش مستقیم رسوبات آهک اریتولین دار (K_4) کنگلومرای قاعده کرتاسه (K_4^c , K_4) و سنگ آهک فرامینفرال دار (OM) برداشته شد. از انواع سنگهای داخل رگه های هیدروترمالی سازندهای شمشک، نایبند و شتری نیز نمونه برداری انجام گرفت.

برای مشاهده و بررسی ارتباط کانیهای داخل و خارج سنگها و مشاهده دقیق سطوح داخلی ورقه های شیل و متن سنگها، از میکروسکوپ بینوکولار استفاده گردید. برای شناسایی و اطمینان از وجود کانیهای بلورین و تجزیه و تحلیل کانیهای داخل سنگها (کانی شناسی)، روش تفرق اشعه ایکس مورد استفاده قرار گرفت. در این روش تیمار 110°C برای شناسایی گچ به کار رفت. این تیمار باعث حذف پیک های کانی گچ می شود. در ضمن برای تغلیظ و جدانمودن کانیهای سولفور (پیریت)، از

روش شناورسازی^۱ (جدا کردن کانیهای سنگین از کانیهای سبک توسط سیاله های سنگین) استفاده به عمل آمد، (۴، ۵، ۷، ۲۰ و ۲۶) و منحنی پراش آنها با منحنی پیریت خالص و منحنی حاصل از پودر سنگها مقایسه شد. برای درک این که آیا در شیل های فرسوده هنوز کانی سولفوردار وجود دارد یا خیر، سولفورهای باقی مانده دو نمونه سنگ اندازه گیری گردید. (S سولفور = S سولفات - S کل). برای مشاهده و شناسایی کانیهای موجود در نمونه سنگها و بررسی مکان و جایگاه بلورها و آرایش آنها، از سنگهای مختلف مقطع نازک و از سنگهایی که بلورهای اوپک^۲ (کدر) داشتند مقطع صیقلی تهیه و مقاطع تهیه شده توسط میکروسکوپ های پلاریزان و انکساری تشریح و تصاویر لازم از آنها برداشته شد.

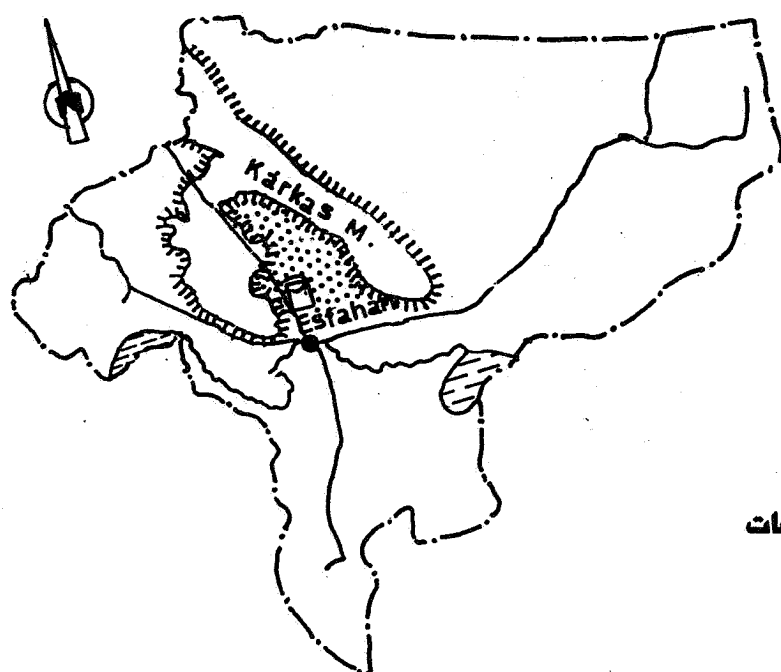
برای تمیز دادن بلورهای گچ از بلورهای کوارتز موجود در مقاطع نازک، از خصوصیات زیر استفاده گردید: ۱- ریلیف کمتر بلورهای کوارتز نسبت به بلورهای گچ. ۲- سیستم تبلور منوکلینیک گچ در مقابل سیستم تبلور هگزاگونال کوارتز. ۳- خاموشی موجی بلورهای کوارتز در مقابل خاموشی مستقیم و آبی بلورهای گچ. ۴- دو محوره و مثبت بودن علامت نوری بلورهای گچ در مقابل یک محوره و مثبت بودن علامت نوری بلورهای کوارتز. ۵- بلورهای کوارتز در ضخامتهای ۴۰ تا ۶۰ میکرون و در حالت XPL رنگین تر از بلورهای گچ با همان ضخامت می باشند. ۶- لایه لایه بودن بلورهای گچ در مقابل بدون لایه بودن بلورهای کوارتز. ۷- حل شدن تدریجی بلورهای گچ مقاطع در آب، حین مطالعه زیر میکروسکوپ.

نتایج

مشاهدات صحرایی

در خاک حاصل از لایه کنگلومرای قرمز رنگ کوه جعفرآباد (K_4) و رسوبات آهکی شمال غربی مورچه خورت (K_4^c) مقادیر زیادی گچ دیده می شود (تصاویر ۱ و ۲). در رسوبات آهکی فرامینفرال دار منطقه شمال غربی شاهین شهر (سازند قم





بررسی منشاء گچ در شمال غرب اصفهان

راهنمای حوضه مورد مطالعه

☀ - محدوده ارتفاعات

~~~~ - مسیر رودخانه زاینده رود

⊖ - دریاچه گاوخونی و سد زاینده رود

—— - مسیر جاده های اصلی

⊙ - خاکهای تشکیل شده از فرسایش ارتفاعات

--- - محدوده استان

نقشه ۲- منطقه مورد مطالعه (محدوده ارتفاعات و قسمت هاشور خورده)

در مقایسه با محدوده استان اصفهان

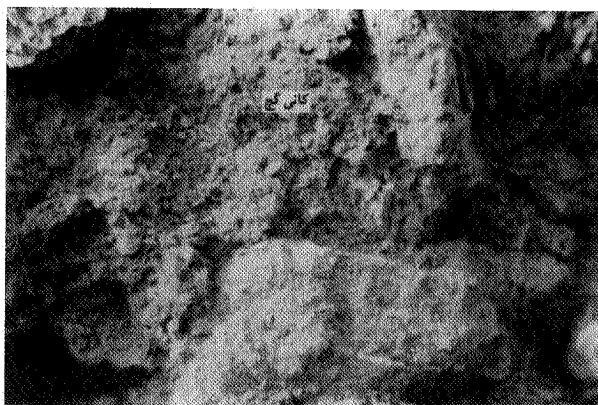
ملاحظه می گردد.

### مشاهدات آزمایشگاهی

مشاهدات ریزینی<sup>۱</sup> شیل های چال سیاه (سازند نایبند)، ذغال سنگ کک شده رگه هیدروترمال و شیل های شمال شرق مورچه خورت (سازند شمشک) مشخص نمود که در درزهای موئین موجود در متن شیل های چال سیاه بلورهای گچ زیادی تشکیل شده است. این بلورها در سطوح داخلی ورقه های شیل به صورت لکه های مسطحی که هیچ گونه ارتباطی با هم ندارند، دیده می شوند. در این سطوح آثاری از حرکت آب وجود ندارد. تصویر ۱۰ این سطوح و بلورهای تشکیل شده روی آنها را به خوبی نشان می دهد. در متن ذغال سنگ کک شده مقدار زیادی بلورهای منشوری گچ مشاهده می شود. این بلورها به گونه ای در متن ذغال سنگ کک شده قرار گرفته اند که می توان کاملاً مطمئن بود به نوعی در این سنگ به صورت درجا تشکیل و رشد یافته اند. تصویر ۱۱ نشان دهنده این موضوع بوده، هم چنین

OM)، مخلوطی از کانیهای آهک و گچ وجود دارد (تصویر ۳). در نقاط مختلف سازند نایبند کانی گچ به صورت توده ای در لایه های سطحی و در لایه های عمقی به شکل ورقه هایی در لایه لای ماسه سنگها قرار گرفته است. در سازندهای شمشک و نایبند، داخل ورقه های هوا دیده شیل ها به مقدار زیادی گچ دیده می شود (تصاویر ۴ و ۵). در این سازندها رگه های هیدروترمال زیادی مشاهده می شود که کانی گچ در متن و یا در لایه لای رسوبات این رگه ها وجود دارد (تصاویر ۶ و ۷) و در خاکهای فرسایش یافته از سازند شمشک مقادیر زیادی گچ تجمع پیدا کرده است (تصویر ۸). در شیل ها و دولومیت های خاکستری موجود در عمق سازند شمشک (معدن باما) مقدار قابل توجهی بلور طلایی رنگ پیریت ( $\text{FeS}_2$ )، سفید رنگ باریت ( $\text{BaSO}_4$ )، سبز و خاکستری رنگ اسفالریت ( $\text{ZnS}$ ) و شالکوپیریت ( $\text{CuFeS}_2$ ) و نقره ای رنگ مارکاسیت ( $\text{FeS}_2$ ) دیده می شود (تصویر ۹). در شکافهای این شیل ها و دولومیت ها، بلورهای خیلی درشت گچ با آرایش دم پرستویی

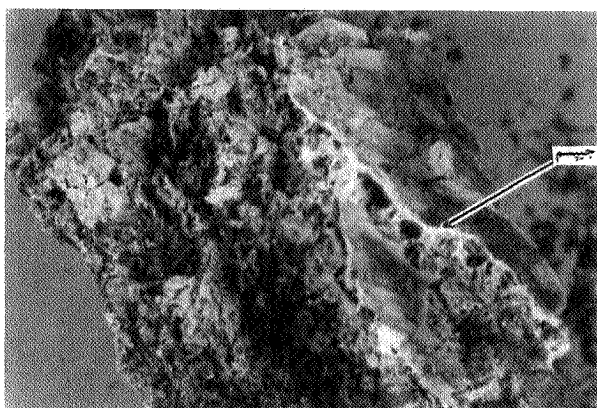
1- Microscopic observations



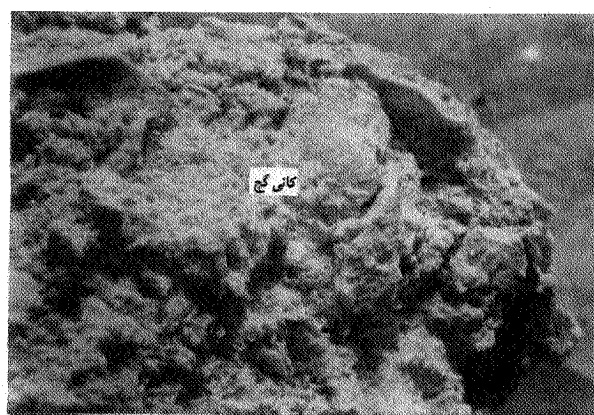
تصویر ۲- کانی گچ در رسوبات آهکی  $k_6^c$



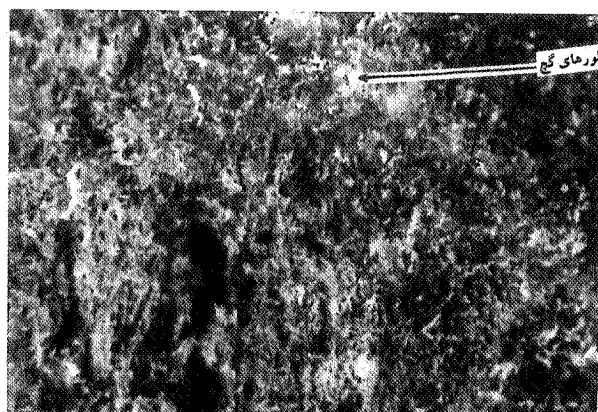
تصویر ۱- تشکیل گچ از رسوبات آهکی قاعده کرتاسه



تصویر ۴- تجمع گچ در سطوح شکست شیل های سازند نایبند



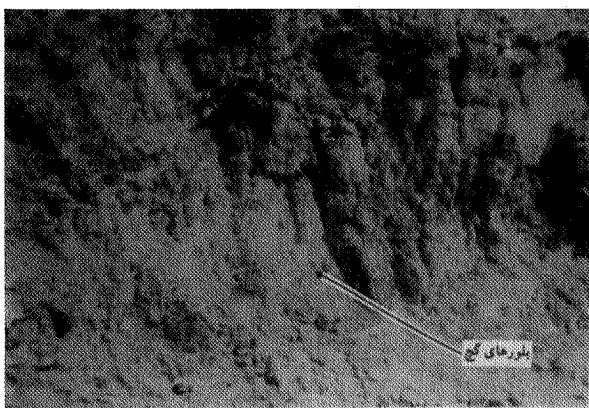
تصویر ۳- حجم گچ موجود در رسوبات سازند قم



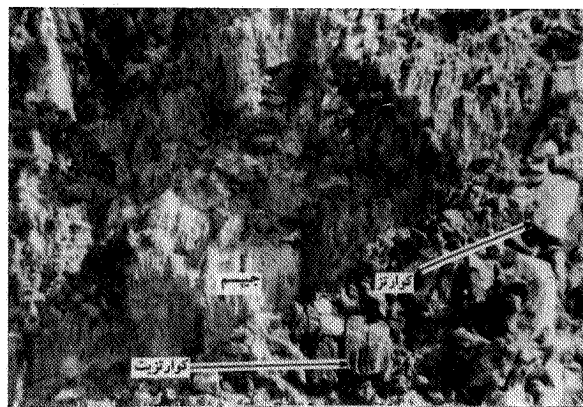
تصویر ۶- بلورهای گچ موجود در رگه هیدروترمال سازند شمشک



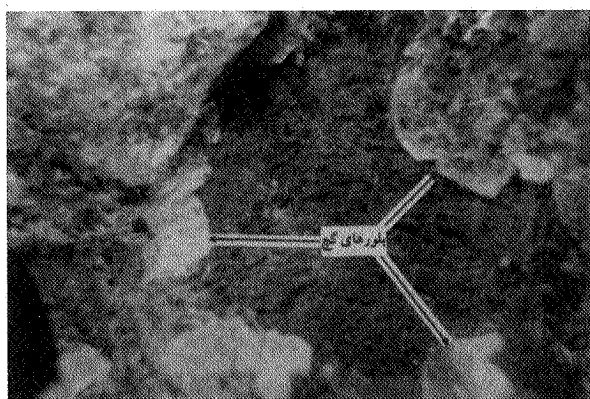
تصویر ۵- خاک تشکیل شده بر روی شیل های نایبند و گچ موجود در آن



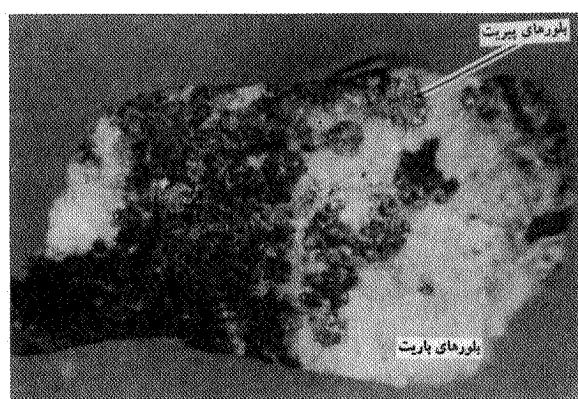
تصویر ۸- میزان گچ موجود در سازند شمشک



تصویر ۷- آرایش بلورهای گچ همراه کوارتز و کوارتزیت در لایه هیدروترمال سازند نایبند



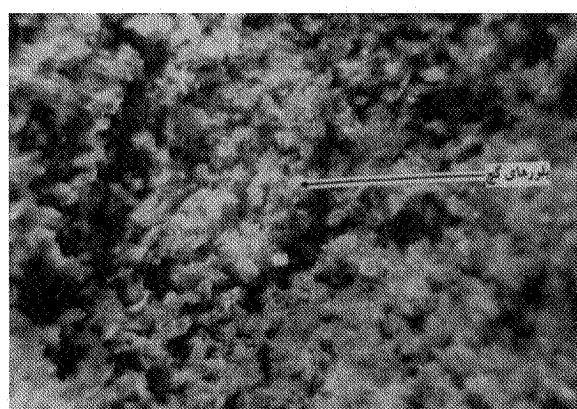
تصویر ۱۰- بلورهای میکروسکوپی گچ در سطوح داخلی ورقه‌های شیل سازند نایبند. بزرگ‌نمایی  $100\times$



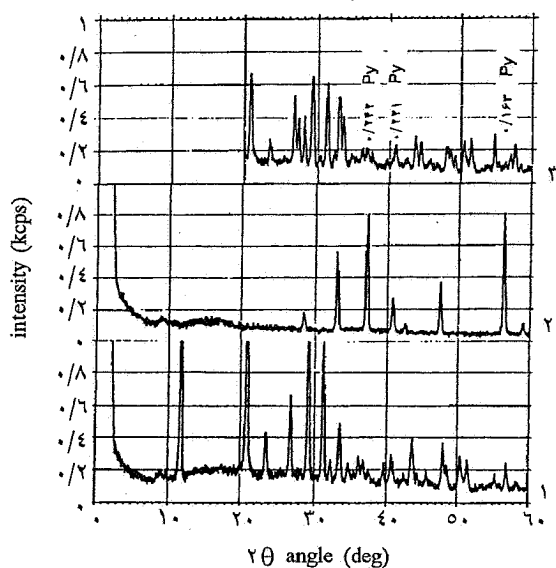
تصویر ۹- بلورهای پیریت، باریت و اسفالریت در سازند شمشک



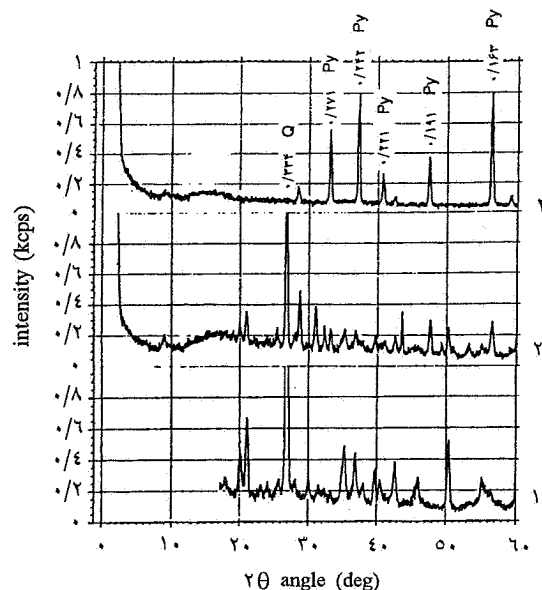
تصویر ۱۲- تورق گچ موجود در متن کنگلومرای قرمز رنگ قاعده کرتاسه ( $K_2$ ) بزرگ‌نمایی  $400\times$



تصویر ۱۱- بلورهای میکروسکوپی گچ در متن ذغال سنگ کک شده بزرگ‌نمایی  $100\times$



شکل ۲- منحنیهای پراش اشعه ایکس ذرات کمتر از ۰/۲ میلیمتر سازند شمشک ۱- پودر ذغال سنگ کک شده رگه هیدروترمال ۲- پیریت خالص ۳- نمونه تخلیص شده تیمار یک



شکل ۱- منحنیهای پراش اشعه ایکس ذرات کمتر از ۰/۲ میلیمتر سازند شمشک (معدن باما) ۱- نمونه پودر سنگ ۲- نمونه تخلیص شده ۳- پیریت خالص

می باشد. تصویر ۱۲ نشان دهنده بلورهای گچ موجود در سنگ آهکهای قاعده کرتاسه ( $K_2$ ) است. این تصویر تورق بلورهای گچ در سنگ فوق را به خوبی نشان می دهد. از مطالعه مقاطع صیقلی تهیه شده نتایج مشروحه زیر به دست آمد:

الف) در شیل معدن "باما" (تصویر ۹)، بلورهای تجمع یافته پیریت با جلای طلایی وجود دارد.

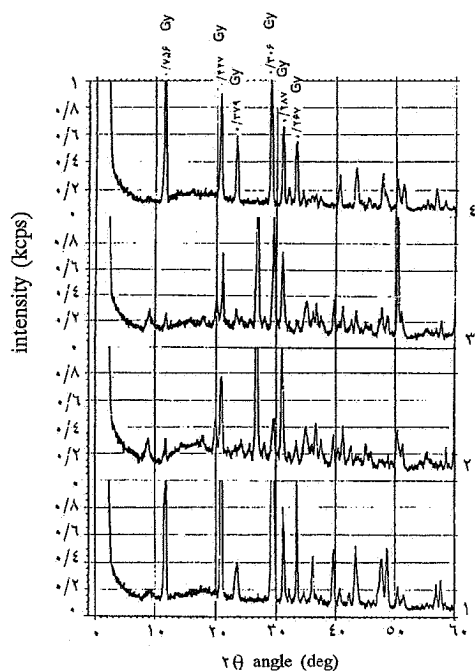
ب) در شیل سازند نایبند (چال سیاه)، وجود بلورهای بزرگ و مشخص، نشان از وجود تک بلورهای مکعبی پیریت در این سازند می باشد (تصویر ۱۳).

ج) بلورهای متعدد و طلایی رنگ پیریت در نمونه ذغال سنگ کک شده، نتایج آزمایش اشعه ایکس را کاملاً تأیید می نماید (تصویر ۱۴).

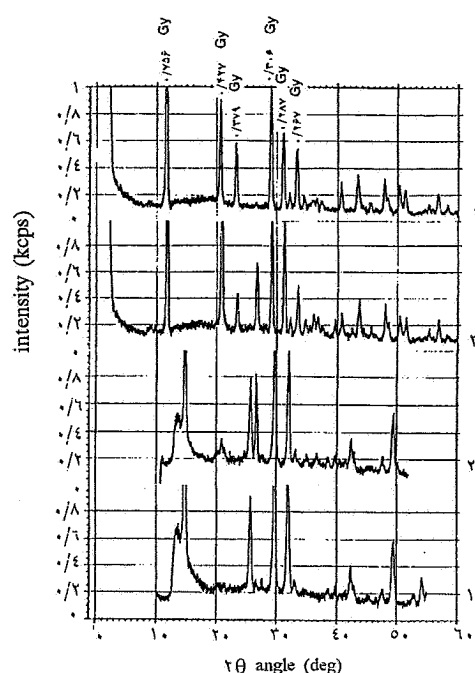
د) وجود بلورهای مکعبی در نمونه شیل سازند شمشک منطقه شمال شرقی مورچه خورت (جاده طرق)، نشان دهنده وجود پیریت در شیل های با تورق هلالی و سبز رنگ این سازند می باشد.

هیچ نشانه ای از مسیر عبور آب ارائه نمی نماید. شکل ۱ نشان دهنده دیفراکتوگرام ترسیم شده از شیل معدن "باما" می باشد. واضح است که بعد از خالص سازی پیک اصلی پیریت ( $0/163^\circ$  نانومتر) نسبت به حالت پودری سنگ آن رشد زیادی نموده است. در ذغال سنگ کک شده از رگه هیدروترمال سازند شمشک، ظهور پیک کوچک  $0/163^\circ$  نانومتر در دیفراکتوگرام نمونه تخلیص شده نشان دهنده وجود مقداری پیریت در نمونه مزبور می باشد (شکل ۲) و پیک های  $0/427^\circ$ ،  $0/756^\circ$ ،  $0/379^\circ$ ،  $0/306^\circ$  و  $0/287^\circ$  نانومتر که با تیمار  $110^\circ$  حرارت تماماً حذف گردیده اند نشان دهنده وجود میزان زیاد گچ در این سنگها می باشند (شکل ۳).

در دیفراکتوگرام خاک حاصل از فرسایش مستقیم سنگهای سازند قم و رسوبات آهکی قاعده کرتاسه، پیک های خیلی درشت  $0/756^\circ$ ،  $0/427^\circ$ ،  $0/379^\circ$ ،  $0/306^\circ$  و  $0/287^\circ$  نانومتر نشان دهنده حضور میزان خیلی زیاد گچ می باشد (شکل ۴). جدول ۱ نمایانگر مقدار کل گوگرد سولفات و گوگرد سولفور باقی مانده در نمونه های شیل سازند نایبند و ذغال سنگ کک شده

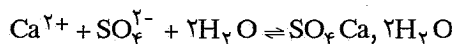
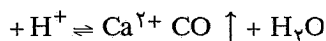
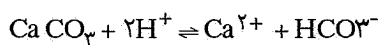
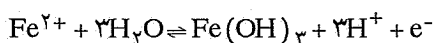


شکل ۴- منحنیهای پراش اشعه ایکس پودر خاکهای حاصل از تشکیلات: ۱- سازند قم ۲ و ۳- کنگلومرای قاعده کرتاسه ۴- گچ خالص



شکل ۳- منحنیهای پراش اشعه ایکس ذرات کمتر از ۰/۲ میلیمتر سازند شمشک ۱- گچ خالص با تیمار ۱۱۰°C حرارت ۲- ذغال سنگ رگه هیدروترمال با تیمار ۱۱۰°C ۳- پودر ذغال سنگ رگه هیدروترمال ۴- گچ خالص

وجود ندارد، بر اثر اکسایش کانی پیریت، بلورهای گچ خیلی ریزه صورت اتوزنیک<sup>۱</sup> تشکیل شده است و با شدت یافتن یا پیشرفت فرایند هوازدگی، ورقه‌های شیل‌ها از هم بازتر و حرکت آب امکان جابه جایی این بلورهای ریز را به وجود آورده و آنها را در سطوح شکست سنگها تجمع داده است.



فرایند اکسایش پیریت و تشکیل گچ در این شیل‌ها همان فرایند اکسایش خاکهای اسید سولفاتی بود که توسط دولیتل و همکاران (۷) ارائه شده است. وجود گچ در این سازندها در

## بحث

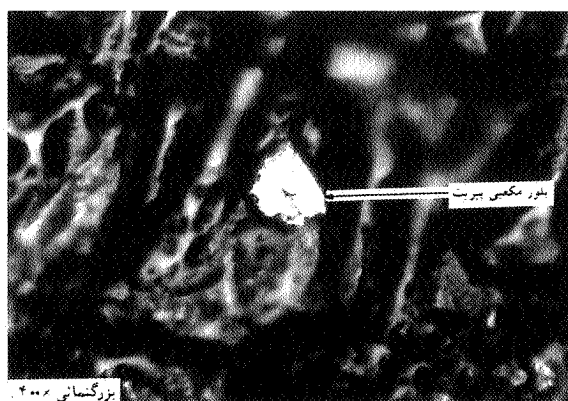
منحنیهای پراش اشعه ایکس پودر سنگ و نمونه تخلیص شده شیل معدن باما (شکل ۱) و تصویر برداشته شده از مقطع صیقلی تهیه شده از آن و هم چنین مشاهدات ماکروسکوپی، ثابت می‌نمایند که مقدار قابل توجهی پیریت در شیل‌های سازند شمشک وجود دارد. با توجه به این که در تمامی مقاطع صیقلی تهیه شده از شیل‌ها، کانی پیریت دیده می‌شود و چون فرایند تشکیل و رسوب شیل‌ها در منطقه مورد مطالعه یکسان است، لذا با اطمینان زیاد می‌توان وجود پیریت را به تمامی سازندهای شیلی و رسوبات آهکی شیل‌دار تعمیم داد.

وجود گچ فراوان در اطراف و در داخل درز و ترکهای انواع شیل‌ها، چه در مقیاس ماکروسکوپی و چه در مقیاس میکروسکوپی، نمایانگر این است که در بین ورقه‌های شیل در سطوح داخلی، آن جایی که امکان حرکت آب به صورت مایع

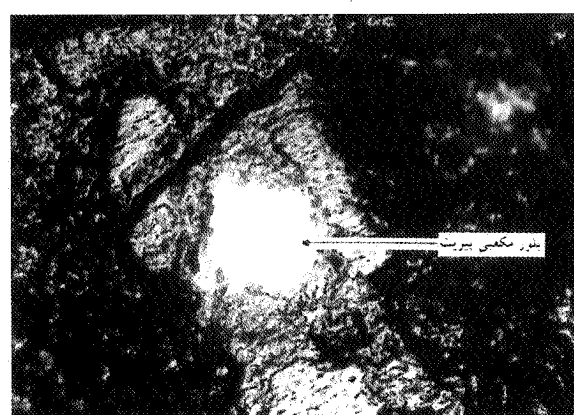
1- Autogenic

جدول ۱- سولفور باقی مانده در نمونه سنگهایی از سازند شمشک و نایبند

| نمونه سنگ                          | S-کل<br>% | Fe<br>% | C<br>% | S- سولفات<br>% | S- سولفور<br>% |
|------------------------------------|-----------|---------|--------|----------------|----------------|
| ذغال سنگ کک شده<br>سازند شمشک      | ۷/۵       | ۲/۱     | ۶/۷۳   | ۷              | ۰/۵            |
| شیل منطقه چال سیاه<br>سازند نایبند | ۳/۶       | ۲/۴     | ۰/۵۰۱  | ۱              | ۲/۶            |



تصویر ۱۴- بلور پیریت در مقطع صیقلی ذغال سنگ کک شده،  
بزرگ نمایی  $400 \times$



تصویر ۱۳- بلور بزرگ پیریت در مقطع صیقلی سازند نایبند.  
بزرگ نمایی  $200 \times$

توجه به نتایج به دست آمده و نظرات دیگران محرز است که در شیل‌های موجود (چه آنهایی که زیر رسوبات آهکی هستند و چه آنهایی که روباز هستند) مقادیر قابل توجهی پیریت وجود داشته و طی میلیون‌ها سال مورد فرسایش سطحی واقع شده است. در هر مرحله پیریت موجود اکسیده و به گچ تبدیل گردیده است. با توجه به مقدار کانیهای سولفور باقی مانده در این رسوبات (جدول ۱) می‌توان اذعان نمود که در حال حاضر نیز این فرآیند هوادیدگی شیل‌ها در جریان است.

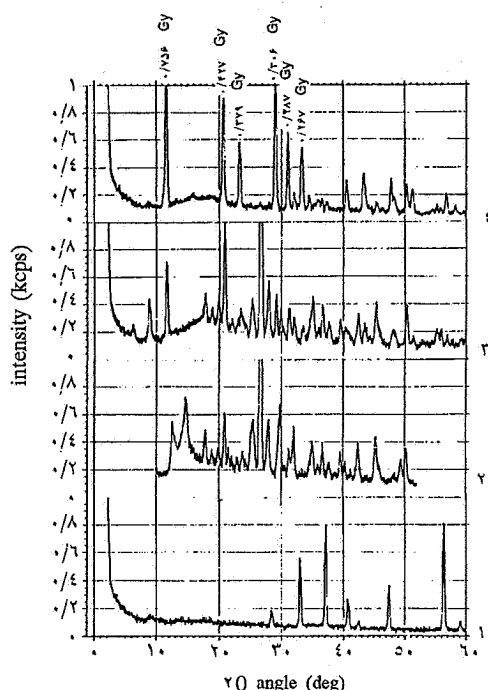
وجود کانی پیریت در رگه‌های هیدروترمال سازند شمشک (جاده طرق) در منحنیهای پراش اشعه ایکس نمونه تخلیص

شکل‌های ۵ و ۶ با پیک بارز  $0.756$  نانومتر کاملاً مشخص است. هماهنگ با نتایج این تحقیق، وجود کانی پیریت در انواع شیل‌ها، سنگهای آذرین و سنگهای دگرگون و شیل آهک‌ها و ذغال سنگها و تشکیل گچ تحت فرایند اکسایش پیریت توسط ارورا و همکاران (۴) در تگزاس آمریکا، اکپوکوج (۳) در استرالیا، دی کیمپ و میلز (۶) در انتاریو کانادا، پوگ و همکاران (۲۰)، نتلتون و همکاران (۱۷) و ویتیگ و همکاران (۲۵) در آمریکا، مرموت و همکاران (۱۵) در ساسکاچوان کانادا، ریتزماوگرونبیری (۲۱) در هلند، پوستمادایک (۱۹) در دانمارک و فنینگ (۸) در آمریکا گزارش شده و به اثبات رسیده است. با

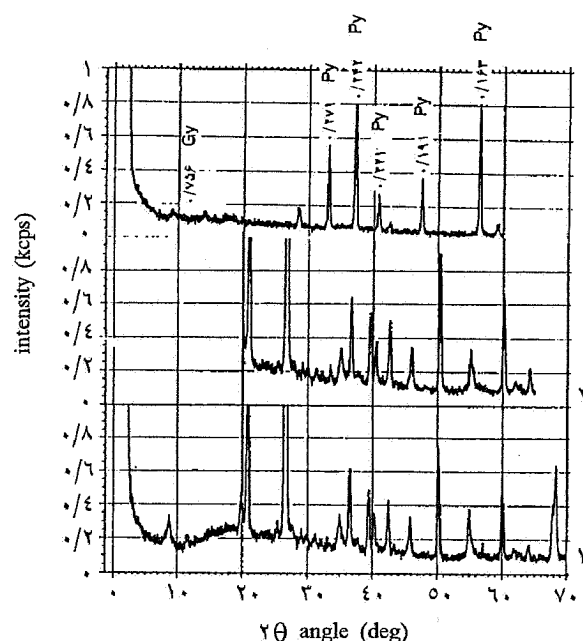
جدول ۲- مساحت رسوبات و سازندهای رهاکننده گچ در حوضه مورد مطالعه

| رسوبات و سازندها                | مساحت (هکتار) | درصد نسبت به مواد زمین شناختی |
|---------------------------------|---------------|-------------------------------|
| سازندهای شمشک، نایبند، شتری     | ۲۳۹۰۶۲/۵      | ۲۹/۵۲                         |
| سازند قم                        | ۳۴۱۸۷/۵       | ۴/۲                           |
| اگلو مری                        | ۷۵۰۰          | ۰/۹                           |
| کنگلو مری قرمز رنگ قاعده کرتاسه | ۱۶۱۸۷/۵       | ۱/۹۸                          |
| آهکهای تیره رنگ کرتاسه          | ۱۲۶۱۴۰        | ۱۵/۵                          |
| مساحت رسوبات زمین شناختی        | ۸۱۳۸۱۲/۵      | %۵۱/۴ <sup>۱</sup>            |
| مساحت رسوبات کواترنری           | ۷۷۰۵۶۲/۵      | %۴۸/۶ <sup>۱</sup>            |
| مساحت کل حوضه                   | ۱۵۸۴۳۷۵       | %۱۰۰                          |

۱- درصد نسبت به کل مساحت حوضه



شکل ۶- منحنیهای پراش اشعه ایکس ذرات کمتر از ۰/۲ میلیمتر سازند نایبند (چال سیاه) ۱- پیریت خالص ۲- پودر شیل ۳- پودر شیل ۱۱۰°C حرارت ۴- گچ خالص



شکل ۵- منحنیهای پراش اشعه ایکس ذرات کمتر از ۰/۲ میلیمتر سازند شمشک (جاده طرق) ۱- پودر شیل ۲- نمونه تخلیص شده شیل ۳- پیریت خالص

شکل بلورهای گچ (منشوری) و نحوه قرارگیری آنها در متن این سنگها (تصویر ۱۱) و ارتباط بلورها با اجزای دیگر نشان دهنده این است که کانی گچ در داخل خود سنگ بر اثر اکسایش پیریت یا ترکیبات سولفورده دیگر تشکیل و یا از فاز

شده (شکل ۲) و در مقطع صیقلی ذغال سنگ کک نشان داده شده است. از آن جایی که سیاله های هیدروترمالی در بدو امر حاوی فازهای مختلفی از ترکیبات سولفورده می باشند (۱۸) و (۲۲) این ادعا بیشتر قوت می گیرد.

آهکهای کنگلومرای قرمز رنگ قاعده کرتاسه، بر اثر هوازدگی و فرسایش. این رسوبات حدود ۱۷/۵ درصد از کل سطح مواد زمین شناختی را تشکیل داده و بالغ بر ۱۴۲۳۲۷۵ هکتار وسعت دارند.

۲- کانی گچ تحت فرایند اکسایش کانیهای سولفوردار، مخصوصاً پیریت موجود در شیلها به وجود آمده است. براساس جدول ۲ سازندهای شیلدار منطقه ۲۳۹۰۶۲/۵ هکتار وسعت داشته و جمعاً ۲۹/۵۲ درصد از سطح موارد زمین شناختی (به غیر از رسوبات کواترنری) حوضه را تشکیل می دهند.

۳- آزاد شدن کانی گچ از رسوبات تبخیری و مارنهای دوره الیگومیوسن (سازندقم) بر اثر هوازدگی و فرسایش. این واحد زمین شناختی ۳۴۱۸۷/۵ هکتار وسعت داشته و ۴/۲ درصد از کل سطح مواد زمین شناختی را شامل می شود.

۴- تشکیل و آزاد شدن کانی گچ به ترتیب از کانیهای سولفوره و سولفات موجود در رگه های هیدروترمال. این کانی بر اثر اکسایش پیریت و فرسایش رگه های یاد شده تشکیل و یا آزاد می گردد.

### نتیجه گیری

با این که در نقشه های زمین شناسی منطقه هیچ گونه بحثی در ارتباط با وجود گچ و یون های سولفوره و سولفات در سازندها و رسوبات وجود ندارد، ولی نتایج حاصل از این تحقیق و نتایجی که خادمی و همکاران (۱۲ و ۱۳) به آن رسیده اند، گویای این مطلب است که:

کانی گچ، در زمان ته نشین شدن و یا بعد از آن، به صور مختلف در متن و یا بین لایه های رسوبات و سازندهای مختلف نهاده شده و بر اثر فرسایش و هوازدگی بعدی رها گشته و از ارتفاعات به طرف گودها جا به جا شده است و یا به گچهای نهشته شده توسط دریاچه های گچ دار اضافه و منشأ پراکنش ثانویه بعدی گشته است. با توجه به گسترش کم رسوبات تبخیری در منطقه، می توان آهکهای مختلف دوره کرتاسه، شیلها و شیل-آهکها را از عوامل اصلی رها کننده گچ در منطقه

سولفات موجود در سیاله های مزبور به وجود آمده است. تغییر رنگ<sup>۱</sup> شیل های کنار رگه های هیدروترمالی، رخداد فرایندهای مزبور را در این رگه ها اثبات می نماید (۱). در سازند نایبند (چال سیاه) وجود کانی گچ بین لایه های کوارتز و کوارتزیت (تصویر ۶) دال بر نهشته شدن گچ از فاز سولفات سیاله های هیدروترمالی بین این سنگها می باشد.

ارتباط کانی گچ با آهکهای دوره کرتاسه را خادمی و همکاران (۱۳) به خوبی نشان داده اند. این محققین اظهار می دارند که یون سولفات موجود در دریا های آن زمان در لایه های رسوبی زیرین نفوذ نموده و ضمن تبدیل شدن به کانی گچ در رسوبات مزبور نهشته شده است. تصویر ۱۲، وجود بلورهای گچ در آهکها را به خوبی نشان می دهد. این یافته با طبیعت اراضی نیز موافقت کامل دارد، چون در جوار تمامی رسوبات آهکی دوره کرتاسه اراضی گچ دار به وفور یافت می شود.

وجود کانی گچ داخل سازندهای تبخیری در گزارشهای تعداد زیادی از محققین (۹، ۱۰، ۲۴ و ۲۵) ذکر گردیده است. این کانی هنگام تشکیل این رسوبات، همراه با اجزای دیگر از آب دریا های شور ته نشین شده است. در رسوبات تبخیری موجود در منطقه (سازندقم)، کانی گچ بسته به مکان، از خیلی زیاد تا خیلی کم دیده می شود.

کلیه اراضی گچ دار استان اصفهان براساس شواهد مشخص صحرائی، عمدتاً از سه طریق زیر به کانی گچ آلوده شده اند:

الف - توسط باد و جریانات آب سطحی، ب- توسط آب زیرزمینی و ج- توسط روان آب سطحی. با توجه به این که منطقه مورد مطالعه از طریق سوم به کانی گچ آلوده شده است، لذا براساس نتایج به دست آمده از این تحقیق، می توان قبول نمود که کانی گچ طی فرایندهای زیر و به ترتیب اهمیت از منابع زمین شناختی اطراف حوضه به وجود آمده و به اراضی زیر دست وارد گشته است:

۱- آزاد شدن کانی گچ از رسوبات آهکی کرتاسه، به ویژه

مورد مطالعه دانست.

گزاردن امکانات آزمایشگاهی مختلف دانشگاه صنعتی اصفهان  
تشکر و قدردانی می‌نمایند. از آقای دکتر انصافی استادیار  
دانشکده شیمی و آقایان مهندس نکویی، واعظی و بهشتی و  
خانم مهندس علوی کارشناسان آزمایشگاه‌های فوق، صمیمانه  
تشکر می‌شود.

### سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از سازمان تحقیقات کشاورزی، به خاطر تقبل  
بخشی از هزینه‌های انجام این تحقیق سپاسگزاری می‌نمایند.  
همچنین از ریاست محترم دانشکده‌های مواد و معدن و  
مدیریت گروه‌های علمی زراعت و باغبانی به خاطر در اختیار

### منابع مورد استفاده

- ۱- تومانیان، ن. ۱۳۷۴. منشأ گچ و چگونگی تکوین و تکامل خاکهای گچی منطقه شمال غربی استان اصفهان. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۲۴۷ صفحه.
- ۲- خسرو تهرانی، خ. ۱۳۶۷. کلیاتی در باره چینه شناسی ایران و مقاطع تیپ تشکیلات. انتشارات دانشگاه تهران، ۲۵۵ صفحه.
- 3- Akpokoje, E.G. 1994. The influence of rock weathering on the genesis of gypsum and carbonate in some Australian arid zone soils. *Aust. J. Soil Res.* 22:243-251.
- 4- Arora, H.S., J.B. Dixon and L.R. Hossner. 1978. Pyrite mophology in lignitic coal and associated strata of East Texas. *Soil Sci.* 125(3):151-159.
- 5- Cady, J.G., L.P. Wilding and L.R. Drees. 1996. Petrographic microscope techniques. pp. 185-215. *In*: A. Klute (Ed.), *Methods of Analysis (part 1), Physical and Mineralogical Methods*. Agronomy Monograph. No. 9, 2nd Edition.
- 6- De Kimpe, C. and N. Miles. 1992. Formation of swelling clay minerals by sulfide oxidation in some metamorphic rocks and related soils of Ontario, Canada. *Canad. J. Soil Sci.* 12:263-270.
- 7- Doolittle, J.J., L.R. Hossner and L.P. Wilding. 1993. Simulated aerobic pedogenesis in pyrite overburden with a positive acid-base account. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57:1330-1336.
- 8- Fanning, D.S. 1991. *Soils Morphology, Genesis, and Classification*. John Wiley & Sons, New York, 369 p.
- 9- FAO. 1990. *Management of gypsiferous soils*. Soils Bulletin No. 69. Rome, 81 p.
- 10- Herrero, J., J. Porta and N. Fedoroff. 1992. Hypergypsic micromorphology and landscape relationships in northern Spain. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56:1188-1194.
- 11- Khademi, H. 1997. Stable isotope geochemistry, mineralogy and microscopy of gypsiferous soils from central Iran. Ph.D. Thesis, Dept. of Soil Sci., Univ. of Saskatchewan, Saskatoon, 181 p.
- 12- Khademi, H., A.R. Mermut and H.R. Krouse. 1997a. Isotopic composition of gypsum hydration water in selected landforms from central Iran. *Chem. Geology* 138:245-255.
- 13- Khademi, H., A.R. Mermut and H.R. Krouse. 1997b. Sulfur isotope geochemistry of gypsiferous aridisols from central Iran. *Geoderma* 80:195-209.
- 14- Matthes Sigfried. 1983. *Mineralogie, Eine Einfuhrung in die Spezielle Mineralogie, petrologie und Lagerstattenkunde*. Springer Verlag, 417 p.
- 15- Mermut, A.R., D. Curtin and H.P.W. Rostad. 1985. Micromorphological and submicroscopical features related to pyrite oxidation in an inland shale from east central Saskatchewan. Canada. *Soil Sci. Soc.*

- Am. J. 49:256-261.
- 16- Mermut, A.R. and M.A. Arshad. 1987. Significance of sulfide oxidation in soilsalinization in southeastern Saskatchewan, Canad. Soil Sci. Soc. Am. J. 51:247-251.
- 17- Nettleton, W.D., R.E. Nelson and B.R. Brasher. 1982. Gypsiferous soils in the western United States. pp. 147-168. *In* : Soil Sci. Soc. Am., special pub. No. 10. pp. 147-168.
- 18- Petraschech, W.E. 1961. Lagerstatteneher, Wien, Springer Verlag 347 p.
- 19- Postma, D. 1983. Pyrite and siderite oxidation in swamp sediments. J. Soil Sci. 34:163-182.
- 20- Pugh, C.E., L.R. Hossner and J. Dixon. 1981. Pyrite and marcasite surface area as influenced by morphology and particle diameter. Soil Sci. Soc. Am. J. 45:979-982.
- 21- Ritsema, C.J. and J.E. Groenenbery. 1993. Oxidation, carbonate weathering and gypsum formation in a drained potential acid sulfate soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 57:968-976.
- 22- Schneiderhohn, H. 1955. Erzlagerstatten, Veb Gustav Ficher Verlag. Jena, 375 p.
- 23- Taimeh, A.Y. 1992. Formation of gypsic horizons in some arid regions soils of Jordan. Soil Sci. 153:486-498.
- 24- Van Alphen, J.G. and F. De Los Rios Romere. 1971. Gypsiferous Soils. Notes on their Characteristics and Managements. International Institute for Land Reclamation and Improvement Bulletin, Wageningen, Netherlands.
- 25- Whittig, L.D., A.E. Deyo and K.K. Tanji. 1982. Evaporite mineral species in mancos shale and salt efflorescence, Upper Colorado River basin. Soil Sci. Soc. Am. J. 46:645-651.
- 26- Zussman, J. 1977. Physical Methods in Determinative Mineralogy. 2nd Ed., Academic Press, London.