

ایزوتوپ های پایدار و تغییرات پالئوآکولوژیک در سطوح ژئومرفیک شرق اصفهان

امید بیات^{۱*}، حسین خادمی^۱، حمید رضا کریم زاده^۲

^۱ دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

^۲ دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

*مسئول مکاتبات - آدرس الکترونیکی: omid_bayat@ag.iut.ac.ir

(دریافت: ۸۸/۱۰/۱۳؛ پذیرش: ۸۹/۸/۵)

چکیده

مطالعات اندکی درباره رابطه بین سطوح ژئومرفیک، ایزوتوپ های پایدار در کربنات های پدوژنیک و تغییرات پالئوآکولوژیک مناطق خشک ایران انجام شده است. پژوهش حاضر بمنظور مطالعه تکامل پدوژنیک سطوح ژئومرفیک شرق اصفهان و بررسی شرایط آکولوژیک و اقلیمی در زمان تکوین این سطوح انجام گرفت. بدین منظور سه پدودن خاک بر روی سطوح ژئومرفیک یک مخروطه افکنه در شرق اصفهان انتخاب و مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت. پوشش گیاهی گذشته منطقه با استفاده از ترکیب ایزوتوپی کربن در کربنات های پدوژنیک و درصد پوشش گیاهی فعلی از آنالیز ایزوتوپی مواد آلی خاکها محاسبه شدند. نتایج آنالیزهای ایزوتوپی نشان می دهد در مجموع در منطقه شرق اصفهان گسترش گیاهان C₄ طی دوره هائی مرطوبتر با مقادیر پائین δ¹⁸O (دوره های یخچالی) رخ داده است. با توجه به آنکه دوره های سرد و مرطوب به عنوان شرایط مناسب برای گسترش گیاهان C₃ بیان شده است بنابراین گسترش گیاهان C₄ در این شرایط نشانگر نقش فاکتوری غیر از دما و بارش بر آکولوژی منطقه مورد مطالعه است. در واقع بنظر می رسد کاهش غلظت گاز کربنیک اتمسفری طی دوره های یخچالی به عنوان فاکتور اولیه در غالبیت گیاهان C₄، پایداری لنداسکیپ و تکامل پدوژنیک خاکها موثر بوده است. بازسازی پوشش گیاهی گذشته با استفاده از ایزوتوپ های کربن در کربنات های پدوژنیک همخوانی خوبی با نتایج مطالعات پالینولوژی در غرب ایران نشان داد. در مجموع بنظر میرسد تغییرات پوشش گیاهی در منطقه شرق اصفهان در پاسخ به تغییرات در غلظت گاز کربنیک اتمسفری رخ داده و با توجه به پدیده گرمایش جهانی و افزایش گازهای گلخانه ای در سالهای اخیر میتواند در تغییرات آکولوژیک آینده منطقه مورد مطالعه و پدیده های بیابانزائی و فرسایش خاک در این اراضی موثر باشد.

واژه های کلیدی: مخروطه افکنه، کربنات های پدوژنیک، ایزوتوپ های پایدار، گیاهان C₃ و C₄، اقلیم گذشته.

مقدمه

مطالعه کالکریت ها و کربنات های پدوژنیک در تفسیر شرایط محیطی و اقلیمی کواترنر و فهم فرآیندهای تکوین لندفرمها دارای اهمیت می باشد (Tendon & Kumar 1999).

ترکیبات ایزوتوپی کربن در کربنات های پدوژنیک توسط سیگنال کربن CO₂ در هوای خاک کنترل می شود که خود توسط آکولوژی منطقه و نسبت گیاهان C₃ به C₄ در اکوسیستم محلی تعیین می شود (Cerling & Quade 1993, Liu et al. 1996). گیاهان C₃ شامل درخت ها، بوته ها و گراس های سردسیری با مقادیر ایزوتوپی کربن بین ۰% تا ۲۴% - هستند که تحت شرایط محیطی با فشار بالای CO₂ اتمسفری تکامل پیدا کرده اند. گیاهان C₄ مشخصه مناطق حاره ای و جنب حاره ای بوده و طی ترشیری و در پاسخ به فشار پائین گاز CO₂ اتمسفری تکامل پیدا کرده اند. اکوسیستم های با غالبیت گیاهان C₄ دارای فصل رشد در دوره گرم سال با تنش رطوبتی قابل ملاحظه هستند و مقادیر ایزوتوپی کربن در آنها در دامنه ۰% تا ۱۰% - تا

ایزوتوپ های پایدار دسته ای از ایزوتوپها هستند که فاقد فرآیندهای رادیواکتیو طی زمان بوده و پایدار هستند در حالیکه ایزوتوپ های رادیواکتیو دارای عمر محدود بوده و به تدریج به عناصر دیگر تبدیل می شوند (Ehleringer & Cerling 2002). ایزوتوپ های پایدار کربن و اکسیژن در کربنات های پدوژنیک شواهدی برای تغییرات آکولوژیک و آکوژئومرفیک لنداسکیپ های مناطق خشک و نیمه خشک ارائه می کند (Khademi & Mermut 1999, Monger et al. 1998). افقهای تجمع کربنات های ثانویه در نتیجه فرآیندهای انحلال، انتقال و رسوب کربنات کلسیم و دیگر کربنات ها تشکیل و در خاکهای مناطق خشک و نیمه خشک به فرمهای سیمانی نشده و یا بصورت سیمانی و سخت وجود دارند (Buol et al. 2003). این افقها در توالی های زمین شناختی به نام کالیچه (Caliche) یا کالکریت (Calcrete) نامیده می شوند و در توالی های رسوبی کواترنر به فراوانی مشاهده می شوند.

تا شدیداً خشک و شدیداً فصلی می باشد (جدول ۱). چینه های غالب زمین شناختی منطقه مورد مطالعه شامل شیل ژوراسیک، سنگ آهک و کنگلوموای کرتاسه بوده اما بیشتر سطح منطقه مورد مطالعه توسط رسوبات کواترنر پوشیده شده است (Zahedy 1976). لندفرمها و سطوح ژئومرفیک منطقه مورد مطالعه با استفاده از تفسیر عکسهای هوایی پانکروماتیک با مقیاس ۱/۴۰۰۰۰ سازمان نقشه برداری کشور، تصاویر ماهواره ای لندست، نقشه های توپوگرافی و بازدیدهای مکرر میدانی مورد شناسائی و نقشه برداری قرار گرفتند. پس از شناسائی سطوح ژئومرفیک و کنترل واحدهای نقشه، پروفیل های شاهد بر روی سطوح ژئومرفیک حفر و بر اساس راهنمای حفاظت منابع طبیعی آمریکا (SCS-USDA 1979) مورد مطالعه و تشریح قرار گرفت. سپس نمونه برداری از افقهای ژنتیکی انجام شده و نمونه های خاک به آزمایشگاه منتقل شدند. نمونه برداری از کربناتهای پدوژنیک جهت آنالیزهای ایزوتوپی بصورت جداگانه انجام شد. نمونه ها پس از خشک شدن در سایه، کوبیده شده و از الک ۲ میلیمتری عبور داده شد. پس از تهیه گل اشباع، اسیدیته در گل اشباع با استفاده از دستگاه pH متر مدل ۶۲۰ مترام تعیین شد. هدایت الکتریکی پس از استخراج عصاره اشباع، با استفاده از دستگاه هدایت سنج الکتریکی در دمای آزمایشگاه اندازه گیری شد و تصحیحات لازم برای دمای 25°C انجام شد. اندازه گیری کربن آلی به روش واکلی و بلاک (USDA 1996) و کربنات کلسیم به روش تیتراسیون برگشتی (USDA 1996) انجام شد و توزیع اندازه ذرات پس از حذف عوامل فولکوله کننده ذرات، با روش پیپت (USDA 1996) انجام شد.

آنالیز ایزوتوپی نمونه های کربناتهای پدوژنیک به روشهای استاندارد در دانشگاه برکلی کالیفرنیا انجام شد. فراوانی ایزوتوپهای پایدار در مقیاس ۵ بیان می شود که در واقع فراوانی آنها را نسبت به استاندارد نشان میدهد (معادله ۱). در معادله ۱ مقادیر R نسبت ایزوتوپهای سنگین به سبک می باشد (Ehleringer & Cerling 2002)

$$\delta (\text{‰}) = [(R_{\text{Sample}}/R_{\text{Standard}}) - 1] \times 1000 \quad \text{معادله ۱}$$

پس از تعیین مقادیر $\delta^{13}\text{C}$ در کربنات های ثانویه و استفاده از مدل سرلینگ (Cerling 1984) وضعیت پوشش گیاهی گذشته منطقه با استفاده از معادله ۲ مشخص شد.

$$\%C_4 = \frac{(\delta^{13}\text{C}_{\text{Sample}} - \delta^{13}\text{C}_3)}{(\delta^{13}\text{C}_4 - \delta^{13}\text{C}_3)} \times 100 \quad \text{معادله ۲}$$

در این معادله $\delta^{13}\text{C}_3$ و $\delta^{13}\text{C}_4$ مقادیر نسبی ایزوتوپی کربن در پوشش گیاهی خالص C_3 و C_4 به ترتیب معادل ۲۶- و ۱۲- در

۱۵% - متغیر می باشد (Cerling & Quade 1993, Akhani et al. 1997). مقادیر $\delta^{18}\text{O}$ در کربنات های پدوژنیک حاوی اطلاعاتی درباره تغییر اقلیم است چون سیگنال $\delta^{18}\text{O}$ در کربنات ها به ارث رسیده از $\delta^{18}\text{O}$ آب بارش همراه با تفکیک ایزوتوپی در خاک است (Cerling & Quade 1993). تاندون و کومار (۱۹۹۹) معتقدند مطالعه ایزوتوپهای کربن و اکسیژن در کربنات ها و کالکریت های پدوژنیک شواهد مناسبی از اثرات اقلیمی بر فرآیند های تشکیل خاک ارائه می کنند. مطالعات محدودی درباره کاربرد ایزوتوپ های پایدار در پژوهشهای ژئومرفولوژی صورت گرفته است. لیو و همکاران (۱۹۹۶) ایزوتوپ های پایدار در کربنات های پدوژنیک بر روی سطوح ژئومرفیک مخروطه افکنه ای در جنوب آریزونا را مورد مطالعه قرار دادند. مونگر و همکاران (۱۹۹۸) ایزوتوپ های پایدار کربن و اکسیژن را در پیدمنتها و پلایا های تگزاس بررسی کردند و بیشترین تغییرپذیری ایزوتوپهای کربن و اکسیژن را به ترتیب از بخش میانی پیدمنت و پلایا گزارش کردند. در مجموع ترکیب ایزوتوپی کربن و اکسیژن در کربنات های پدوژنیک به عنوان ابزار مهمی جهت بازسازی شاخصهای محیطی گذشته مانند دما، بارندگی موثر و غلظت گاز کربنیک اتمسفری در دوره تشکیل کربنات ها و شناسائی تاریخچه پوشش گیاهی و فهم فرآیندهای ژئومرفیک بکار رفته است (Monger et al. 1998, Khademi & Mermut 1999, Tandon & Kumar 1999, Achyuthan et al. 2007).

در ایران خادمی و همکاران (۱۹۹۷) ترکیب ایزوتوپی آب هیدراته گچ را در لندفرمهای مختلف اصفهان مورد مطالعه قرار دادند. با این وجود تاکنون رابطه بین سطوح ژئومرفیک و ایزوتوپ های پایدار در کربنات های پدوژنیک مناطق خشک ایران مورد مطالعه قرار نگرفته است و اطلاعات بسیار اندکی درباره تغییرات اقلیمی و محیطی کواترنر پایانی در مناطق خشک ایران وجود دارد. با توجه به آنکه شناخت تغییرات اقلیمی و محیطی گذشته در پیش بینی ها و برنامه ریزی های آینده دارای اهمیت می باشد، پژوهش حاضر بمنظور بررسی تکامل پدوژنیک سطوح ژئومرفیک یک مخروطه افکنه و بررسی شرایط اکولوژیکی و اقلیمی در زمان تکوین آنها انجام گرفت.

مواد و روشها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در بخش شرقی دشت زاینده رود، در مرکز ایران و در فاصله حدود ۵۰ کیلومتری جنوب شرقی شهر اصفهان قرار گرفته است (شکل ۱). محدوده منطقه مطالعاتی بین طولهای جغرافیائی ۵۲ درجه تا ۵۲ درجه و ۳۰ دقیقه شرقی و عرضهای جغرافیائی ۳۲ درجه تا ۳۲ درجه و ۳۰ دقیقه شمالی قرار گرفته است. اقلیم فعلی منطقه مورد مطالعه خشک

نتایج و بحث

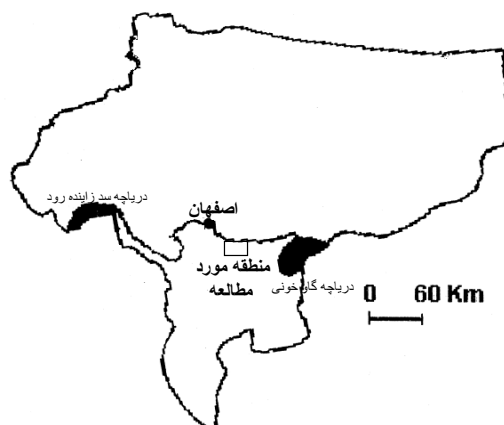
سطوح ژئومرفیک و خاکها

بر اساس ویژگی های ژئومرفیک، موقعیت توپوگرافی و تکامل پدوژنتیکی خاکها چندین سطح ژئومرفیک شناسائی و با استفاده از روشهای ژئومرفولوژی سن نسبی آنها تعیین شد. نامگذاری سطوح ژئومرفیک با توجه به محیط فن به نامهای Qf1 و Qf2 و برای سطوح از قدیم به جدید انجام شد. سطح ژئومرفیک Qf1 منطبق با نسل مخروطه افکنه های قدیمی، شدیداً بریده و دارای خاک قدیمی بسیار متکامل مدفون است در حالیکه سطوح Qf2 منطبق با نسل جدید مخروطه افکنه ها و سطح Qf3 منطبق با آبراهه های فعال امروزی است. سطح ژئومرفیک مخروطه افکنه های قدیمی (Qf1) دارای یک خاک قدیمی مدفون است که در نزدیکی جبهه کوهستان و در ارتفاع ۱۶۰۵ متری از سطح دریا تشکیل شده است. بطور کلی این پروفیل از دو بخش اساسی رسوبات جدید شامل افقهای A, C و یک افق کمپلکس قدیمی (ترکیب افقهای تجمع کربنات و افقهای تجمع رس) تشکیل شده است. افق های تجمع رس دارای مقادیر ۳۴ تا ۵۶ درصد رس همراه با ساختمان مکعبی زاویه دار متوسط تا درشت با درجه وضوح بسیار قوی و استحکام خشک زیاد هستند. نکته قابل توجه در مورد این افقها جوشش بسیار کم آنها با اسید کلریدریک است که این امر در مورد پروفیل خاک منطقه با اقلیم خشک و مواد مادری آهکی دارای اهمیت می باشد و در واقع بنظر می رسد اقلیم گذشته منطقه در تکامل این خاک نقش بسیار مهمی را ایفا کرده است. افقهای تجمع کربنات به شکل سخت دانه های آهکی با قطر چندین سانتیمتر و در برخی موارد سیمانی شده بوسیله آهک بوده و حاوی ۸۱ تا ۹۲ درصد کربنات هستند. در بخش پائینی پروفیل، افق تجمع کربنات ها با مرفولوژی پیشرفته به شکل سیمانی و حالت پتروکلیسیک مشاهده می شود. این افق حاوی حدود ۸۳ درصد کربنات و ۱۴ درصد رس می باشد. بطور کلی بخش قدیمی پروفیل مورد مطالعه فاقد هر نوع سنگریزه است و با توجه به قرار گرفتن پروفیل در کنار جبهه کوهستان و بخش بالائی حوضه آبخیز، ناشی از رسوبگذاری ذرات ریز دانه در شرایط بسیار پایدار لنداسکیپ در زمان تشکیل آن بوده است. افقهای تجمع کربنات به شکل سخت دانه های آهکی با قطر چندین سانتیمتر و در برخی موارد سیمانی شده بوسیله آهک است. در بخش پائینی پروفیل افق تجمع کربنات ها با مرفولوژی پیشرفته به شکل سیمانی و حالت پتروکلیسیک مشاهده می شود. پروفیل شماره ۲ بر روی مخروطه افکنه جدیدتر و سطح ژئومرفیک

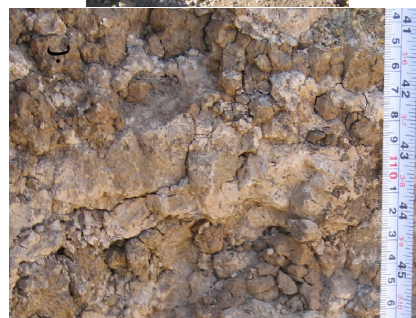
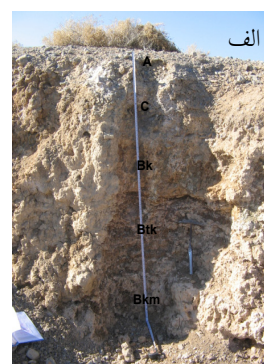
هزار در نظر گرفته شد (Cerling & Quade 1993). $\delta^{13}C_{Samp}$. نسبت ایزوتوپی کربن در نمونه آهک اندازه گیری شده بعد از اصلاحات لازم توسط مدل سرلینگ (Cerling 1984) است.

جدول ۱: مشخصات اقلیمی ایستگاههای مورد مطالعه

نام ایستگاه	بارندگی (mm)	میانگین سالانه دما (°C)	میانگین سالانه گرمترین ماه سال (°C)	میانگین دمای سردترین ماه سال (°C)
اصفهان (شرق)	۱۷۷/۴	۱۶/۲	۲۴/۱	۲/۳
کبوتر آباد	۱۲۵/۶	۱۵/۶	۲۷/۹	۲/۴
زبار بران	۹۹/۴	۱۵/۸	۲۸/۲	۲/۲



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه در مرکز ایران



شکل ۲: نمائی از پروفیل خاک قدیمی سطح ژئومرفیک Qf1 (الف) و افق پدوکمپلکس قدیمی (ب) پوشش گیاهی بوته ای پراکنده در سطح این پروفیل قابل توجه است.

روشن وجود دارد که نتیجه رسوبگذاری طی فازهای ناپایدار ژئودینامیک لنداسکیپ است (جدول ۱). پروفیل شماره ۳ بر روی سطح ژئومرفیک (Qf3) و در داخل آبراهه های فعال مخروطه افکنه ها واقع شده و دارای خاک بسیار جوان با تکامل پروفیلی A-C1-C2 می باشد. افقهای C1 و C2 ناشی از رسوبگذاری سیلابی با تجمع مقدار زیاد سنگریزه های زاویه دار آهکی با رنگ تقریباً یکسان و فاقد هر نوع شواهد پدوژنیک هستند. تکامل پروفیلی ضعیف این پروفیل را میتوان به سن کم و ناپایداری محیط به علت فرایند های سیلابی در محیط مخروطه افکنه نسبت داد. خاک این پروفیل فاقد تکامل و کربنات های پدوژنیک بوده و بنابراین مورد مطالعه و آنالیز ایزوتوپی قرار نگرفت.

(Qf2) در ارتفاع ۱۵۹۴ متر واقع شده است (شکل ۳). این پروفیل دارای توالی از افقهای تجمع رس و کربنات بصورت توام، و افقهای C ناشی از رسوبگذاری سیلابی در محیط مخروطه افکنه است. افق Btk محل تجمع رسهای سیلیکاتی همراه با پوسته های رسی و تجمع آهک به شکل پودری بر روی سطح خاکدانه ها است. افق 2Btk در زیر افق C با ضخامت زیاد در حدود ۵۵ سانتیمتر، ساختمان مکعبی زاویه دار با درجه وضوح قوی و شواهدی از تجمع رس بصورت پوششهای رسی و مقادیر رس در حدود ۴۱ درصد و تجمع آهک بصورت پودری و در حدود ۳۲ درصد می باشد. افق C ناشی از تجمع سنگریزه ها، فاقد شواهد پدوژنیک و دارای پایداری خشک کمی سخت و رنگ خشک

جدول ۲: خصوصیات مرفولوژیکی و فیزیکوشیمیایی خاکها در سطوح ژئومرفیک

الف	ضخامت (سانتیمتر)	رنگ مانسل (خشک)	وضعیت پوسته های رسی	وضعیت آهک ثانویه	سنگریزه (درصد)	pH گل اشباع	ECe (dS/m)	مواد آلی (درصد)	آهک (درصد)	شن (درصد)	سیلت (درصد)	رس (درصد)
<i>Thapto Alfic Torriorthents Qf1</i>												
A	۰-۲۵	10YR6/4	-	evd	۴۱	۸/۰	۴/۷	۰/۴۹	۴۱/۴	۵۴/۱	۲۱/۲	۲۴/۷
C	۲۵-۴۲	10YR6/3	-	esd	۵۷	۸/۳	۱۲/۶	۰/۰۹	۲۹/۵	۶۰/۳	۱۵/۹	۲۳/۸
2Bkb	۴۲-۸۰	7.5YR6/4	-	evc 2 i sc	۰	۷/۴	۸/۸	۰/۱۸	۷۱/۸	۱۸/۷	۵۹/۷	۲۱/۶
3Btb	۸۰-۸۳	7.5YR5/4	2 n pf	emd	۰	۷/۵	۵/۹	۰/۲۶	۴۳/۵	۲۶/۸	۱۹/۴	۵۳/۸
4Bkb	۸۳-۸۶	10YR6/4	-	evc 2 i sc	۰	۷/۵	۳/۳	۰/۰۷	۹۲/۶	۱۶/۳	۵۸/۶	۲۵/۱
5Bkb	۱۰۲-۱۰۷	10YR5/4	-	evc 2 i sc	۰	۷/۶	۳/۴	۰/۰۶	۸۱/۶	۱۲/۹	۶۳/۳	۲۳/۸
6Btb	۱۰۷-۱۱۲	7.5YR5/4	2 mk pf & po	emd	۰	۷/۵	۸/۹	۰/۴۵	۲۸/۶	۸/۷	۳۵/۰	۵۶/۳
7Btb	۱۲۰-۱۲۵	7.5YR6/3	1 mk pf & po	emd	۰	۷/۵	۹/۵	۰/۲۹	۳۵/۹	۹/۷	۵۶/۱	۳۴/۲
8Bkmb	۱۲۵+	10YR6/4	-	ev m 3i sc	۰	۷/۵	۸/۷	۰/۰۷	۸۲/۶	۲۷/۴	۵۸/۷	۱۳/۹
<i>Typic Calcigrids Qf2</i>												
A	۰-۱۷	10YR6/3	-	esd	۴۶	۷/۶	۵/۲	۰/۰۸	۳۱/۲	۷۳/۰	۱۴/۶	۱۲/۴
Btk	۱۷-۴۸	7.5YR4/6	1 n pf	es f 2 esc rsm	۵۹	۷/۳	۹/۴	۰/۱۵	۲۷/۲	۴۸/۶	۲۰/۵	۳۰/۹
C1	۴۸-۷۳	7.5YR5/4	-	esd	۶۰	۷/۴	۱۰/۲	۰/۰۸	۲۹/۶	۶۳/۲	۱۱/۹	۲۴/۸
2Btk	۷۳-۱۲۵	5YR4/4	2 n po & pf	es f 2 esc rsm	۵۹	۷/۴	۵/۴	۰/۱۸	۳۱/۶	۳۴/۴	۲۴/۴	۴۱/۱
3C	+۱۲۵	7.5YR5/4	-	esd	۵۷	۷/۳	۴/۸	۰/۰۷	۲۵/۴	۵۶/۳	۱۵/۲	۲۸/۵

۱- رسوب کربنات ها در عمق خاک و در تعادل با CO₂ خاک صورت گرفته است (مدل سرلینگ، ۱۹۸۴).

۲- حداقل تغییرات دیانژنتیکی پس از تشکیل کالکریت ها رخ داده است.

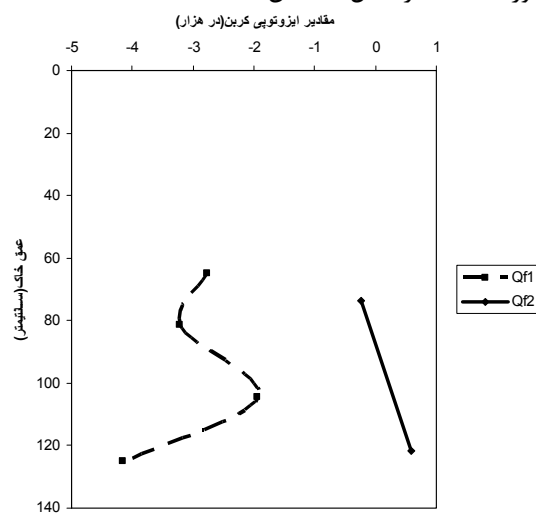
نتایج آنالیز ایزوتوپ های پایدار مربوط به کربنات های پدوژنیک در سطوح ژئومرفیک نشان می دهد که مقادیر δ¹³C در کربنات های سطح ژئومرفیک Qf1 در دامنه ۱/۵۹- تا ۴/۵۱- در هزار بوده و مقادیر آن با عمق کاهش می یابد (شکل ۳). چنین نتیجه ای توسط محققین دیگر هم گزارش شده است (Khademi & Mermut 1999). مقادیر δ¹³C سطح Qf2 در دامنه ۰/۲۴- تا ۰/۵۸- در هزار بوده و بنظر می رسد با عمق

ژئوشیمی ایزوتوپ های پایدار

پوشش گیاهی فعلی منطقه شرق اصفهان توسط خادمی و مرموت (۱۹۹۹) مورد آنالیز ایزوتوپی قرار گرفته و نتایج آن نشانگر آنست که پوشش گیاهی فعلی غالب منطقه از گیاهان C₃ بوته ای و با مقادیر پائین δ¹³C است. نتایج آنالیز مواد آلی افقهای سطحی نشانگر آنست که حدود ۷۴ درصد پوشش گیاهی فعلی مربوط به گیاهان C₃ است (Khademi & Mermut 1999) که این نتایج با مشاهدات میدانی پوشش گیاهی فعلی منطقه هماهنگی دارد. در این تحقیق تفسیر نتایج ایزوتوپ های پایدار کربن با در نظر گرفتن فرضیات زیر انجام شد:

پدوژنیک و درصد پوشش گیاهی فعلی از آنالیز ایزوتوپی مواد آلی محاسبه شدند که در جدول ۳ نمایش داده شده است. همانطوریکه نتایج این جدول نشان می‌دهد در زمان تشکیل کربنات های پدوژنیک و تکامل خاکها، سطوح ژئومرفیک دارای ترکیب غالب از پوشش گیاهی C₄ بوده است. گیاهان C₄ به شکل پوشش علفزار و گیاهان C₃ به شکل بوته های بیابانی در مناطق خشک توسط بسیاری از محققین گزارش شده است (Liu *et al.* 1996, Monger *et al.* 1998). در واقع بنظر می‌رسد در منطقه مورد مطالعه پوشش گیاهی C₄ به شکل علفزار همراه با تراکم گیاهی زیاد، شرایط مناسبی برای پایداری لنداسکیپ و تکامل پدوژنیک خاکها بصورت افقهای تجمع کربنات (افقهای کلسیک) و افقهای تجمع رس (افقهای آرچلیک) فراهم کرده است. پس از آن تغییرات اقلیمی همراه با تغییرات اکوسیستم سبب ناپایداری لنداسکیپ، مدفون شدن خاکهای قدیمی و توقف پدوژنز در منطقه شده است. لیو و همکاران (۱۹۹۶) به تغییر اکوسیستم علفزار C₄ طی دوره های یخچالی به بوته زار بیابانی C₃ طی هولوسن در آریزونا اشاره کرده اند. تغییرات در پوشش گیاهی توسط فاکتورهای اقلیمی و محیطی مانند دما، خشکی و سطح فشار CO₂ اتمسفری کنترل می شود (Achyuthan *et al.* 2007). کارائی فتوسنتزی گیاهان C₄ به گونه ای است که این گیاهان مناسب شرایط پائین غلظت CO₂ اتمسفری هستند. بطوریکه گسترش گراسهای C₄ در عرضهای پائین طی دوره های یخچالی و در پاسخ به فشار پائین گاز CO₂ اتمسفری رخ داده است (Achyuthan *et al.* 2007). نتایج تخمین پوشش گیاهی و مقادیر $\delta^{18}\text{O}$ در کربنات های سطوح ژئومرفیک نشان می‌دهد در زمان تشکیل کربنات ها و تکامل سطوح ژئومرفیک، با توجه به همراهی کربنات ها با افقهای تجمع رس، رطوبت موثر بیشتری نسبت به شرایط امروزی وجود داشته است. تاندون و کومار (۱۹۹۹) معتقدند تشکیل کالکریت ها در مقادیر بارندگی سالانه ۴۰۰ تا ۶۰۰ میلیمتر همراه با خشکی فصلی امکان پذیر است. همراهی این شرایط مرطوب با مقادیر پائین $\delta^{18}\text{O}$ ، نشانگر تکامل پدوژنیک خاکها در دوره های یخچالی می باشد. از طرفی با توجه به فیزیولوژی گیاهان C₃ شرایط فوق قاعدتا بایستی سبب گسترش این گیاهان می گردیده است، اما بنظر می‌رسد وجود فشار پائین گاز CO₂ در این زمان سبب گسترش و غالبیت گیاهان C₄ شده است. در زمان تشکیل سطح ژئومرفیک Qf2 همراهی فشار پائین گاز CO₂ با افزایش مقادیر $\delta^{18}\text{O}$ و ایجاد تنش رطوبتی، که مطلوب این گیاهان است، سبب گسترش شدید گیاهان C₄ شده است. در زمان اخیر افزایش شدید غلظت CO₂ اتمسفری نسبت به دوره های یخچالی و همراه با کاهش بارندگی سبب غالبیت گیاهان C₃ به شکل بوته زار های بیابانی شده است. در واقع در دوره های با غالبیت گیاهان C₄ بصورت علفزار با پایداری لنداسکیپ و تکامل پدوژنیک

افزایش می‌یابد (شکل ۳). دامنه جهانی مقادیر ایزوتوپی کربن در کربنات ها در حدود ۳۰- تا ۳۰+ در هزار (بر حسب PDB) توسط اهلرینگر و سرلینگ (۲۰۰۲) گزارش شده است. مقادیر ایزوتوپی کربن در کربنات های شرق اصفهان در بخش میانی دامنه فوق قرار می‌گیرد (شکل ۴). با توجه به آنکه ایزوتوپ های اکسیژن در کربنات های پدوژنیک حاوی شواهدی از تغییرات اقلیمی گذشته هستند (Liu *et al.* 1996). بنابراین جهت مطالعه اثرات تغییرات اقلیمی بر اکوسیستم و به دنبال آن پایداری لنداسکیپ و فرآیندهای پدوژنیک، ایزوتوپ های اکسیژن در کربنات های سطوح ژئومرفیک مورد مطالعه قرار گرفتند. نتایج آنالیز ایزوتوپ اکسیژن نشان می‌دهد مقادیر $\delta^{18}\text{O}$ (SMOW) در سطوح ژئومرفیک اول و دوم به ترتیب در دامنه ۲۱/۹۹+ تا ۲۳/۴۳+ و ۲۹/۰۶+ تا ۲۹/۶۵+ می‌باشد. مقادیر جهانی ایزوتوپی اکسیژن در کربنات ها در حدود ۵- تا ۴۰+ در هزار (بر حسب SMOW) گزارش شده است (Ehleringer & Cerling 2002). مقادیر ایزوتوپی اکسیژن در کربنات های مورد مطالعه در بخش بالائی دامنه جهانی قرار می‌گیرد (شکل ۴) که میتواند ناشی از قرار گرفتن منطقه مورد مطالعه در عرضهای جغرافیائی پائین (حدود ۳۰ درجه شمالی) باشد. همبستگی مقادیر ایزوتوپی کربن و اکسیژن کربنات های مورد مطالعه در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۳: ارتباط مقادیر ایزوتوپی کربن و اکسیژن در کربناتهای پدوژنیک با عمق در سطوح ژئومرفیک

با توجه به آنکه ترکیب ایزوتوپی کربن در کربناتهای پدوژنیک توسط گاز CO₂ حاصل از تنفس ریشه های گیاهی کنترل می‌شود (Cerling 1984, Liu *et al.* 1996) بنابراین، پوشش گیاهی گذشته منطقه با استفاده از ترکیب ایزوتوپی کربن در کربنات های

بنظر میرسد آخرین دوره یخچالی با گسترش خانواده اسفناجیان (C_4) در بسیاری از مناطق غرب ایران همراه بوده است. ون زیست و بوتما (۱۹۷۷) گسترش گیاهان خانواده اسفناجیان را طی آخرین دوره یخچالی در حوضه آبخیز دریاچه های زریوار و میرآباد را ناشی از حاکمیت شرایط اقلیمی سرد و خشک در غرب ایران تفسیر کرده اند. ال-مسلیمانی (۱۹۸۷) با بررسی دیاگرام های پالینولوژی رسوبات دریاچه زریوار و استفاده از شاخص نسبت گرده گیاهان *Chenopodiaceae/Poaceae* معتقد است گسترش گیاهان خانواده اسفناجیان (C_4) نشانگر حاکمیت اقلیم شدیداً فصلی همراه با زمستانهای سرد و تابستانهای گرم و خشک طی آخرین دوره یخچالی است (El-Moslimany 1987). با توجه به آنکه کربنات های پدوژنیک و کالکریت ها در شرایط اقلیمی نیمه خشک و شدیداً فصلی با زمستانهای مرطوب و تابستانهای گرم و خشک (جهت آبشویی و رسوب کربنات ها) تشکیل میشوند (Tandon & Kumar 1999, Buol *et al.* 2003)، بنظر میرسد تحلیل ال-مسلیمانی (۱۹۸۷) به نحو مناسبتری تغییرات محیطی غرب ایران طی کوتاهترین پایانی را توجیه میکند.

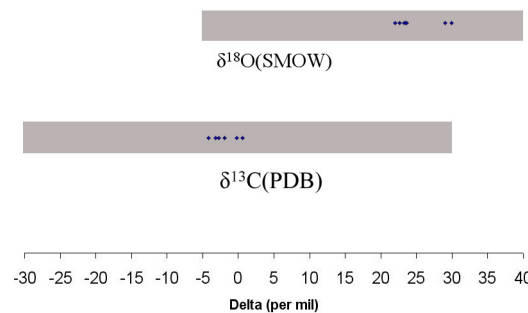
در واقع شرایط اقلیمی و محیطی دوره های یخچالی کوتاهتر در مناطق غربی و مرکزی ایران با غالبیت اقلیمی شدیداً فصلی همراه با زمستانهای سرد و نیمه مرطوب و تابستانهای گرم و خشک و غلظت پائین گاز کربنیک اتمسفری و گسترش گیاهان C_4 (خانواده *Chenopodiaceae*) همراه بوده است و شواهد این شرایط اقلیمی و محیطی در مقادیر ایزوتوپی کربناتهای پدوژنیک و ترکیب پالینولوژی رسوبات دریاچه‌ای حفظ شده است.

با وجود پایداری لنداسکیپهای ایران مرکزی و وقوع فرآیندهای پدوژنیک طی دوره های یخچالی، در مناطق شمالغرب ایران این دوره ها با ناپایداری لنداسکیپ همراه بوده است. جمالی و همکاران (۲۰۰۸) با بررسی رسوبات دریاچه ارومیه معتقدند پوشش گیاهی پراکنده، ناپایداری لنداسکیپ و فرسایش شدید خاک طی دوره های یخچالی کوتاهتر در حوضه آبخیز دریاچه ارومیه غالب بوده است (Djamali *et al.* 2008). بنابراین بنظر میرسد با وجود غالبیت گیاهان C_4 در شمالغرب و مرکز ایران طی دوره های یخچالی، گونه و اثر حفاظتی این گیاهان بر لنداسکیپهای این مناطق متفاوت بوده است. گیاهان C_4 دارای تنوع بسیار زیادی در ایران بوده و در شرایط متفاوت محیطی از خاکهای شور و شنی مناطق بیابانی تا مناطق جنگلی حاشیه دریای خزر و محیط های آلی البرز رشد میکنند (Akhanian & Ghasemkhani 2007). مطالعات آخانی و قاسم خانی (۲۰۰۷) بر روی پوشش گیاهی پارک ملی گلستان هم نشانگر تنوع محیط رشد و مقادیر ایزوتوپی کربن ($\delta^{13}C$) گیاهان خانواده *Chenopodiaceae* است و بنابراین لازم

خاکها همراه بوده است. در حالیکه در دوره های با غالبیت گیاهان C_3 به شکل بوته های پراکنده و خاکهای جوان همراه است. همانطوریکه معادله جهانی فرسایش خاک هم پیشنهاد می کند ناپایداری لنداسکیپ سبب فرسایش خاک می شود و همراه با تشکیل مواد مادری خاکها است.

جدول ۳: پوشش گیاهی در زمان تشکیل آهک های پدوژنیک سطوح ژئومرفیک و مقایسه آن با شرایط فعلی

پوشش گیاهی		سطح ژئومرفیک
درصد گیاهان C_3	درصد گیاهان C_4	
۳۸	۶۲	Qf1
۱۵	۸۵	Qf2
۷۴	۲۶	فعلی



شکل ۴: مقادیر ایزوتوپی کربن و اکسیژن کربناتهای پدوژنیک مورد مطالعه در دامنه مقادیر جهانی

پالئوآکولوژی و تغییرات اقلیمی و محیطی کوتاهتر

اطلاعات پالئوآکولوژی حاصل از تفسیر ایزوتوپهای کربن در کربناتهای پدوژنیک (Liu *et al.* 1996, Monger *et al.* 1998, Van zeist & Bottema 1977, El- (Khademi & Mermut 1999, Achyuthan *et al.* 2007) های پالینولوژی رسوبات دریاچه‌ای (Moslimany 1987, Djamaali *et al.* 2008) جهت شناخت تغییرات اقلیمی و محیطی کوتاهتر در مناطق مختلف دنیا بکار رفته است. مطالعات پالینولوژی رسوبات دریاچه‌های زریوار و میرآباد در غرب ایران نشانگر غالبیت گیاهان خانواده اسفناجیان در آخرین دوره یخچالی است (Van Zeist & Bottema 1977). خانواده اسفناجیان (*Chenopodiaceae*) شامل بیشترین تعداد گونه گیاهان با سیستم فتوسنتز C_4 در بین دولپه ای ها بوده و دارای گسترش در بسیاری از مناطق خشک جهان و ایران است (Akhanian *et al.* 1997). جمالی و همکاران (۲۰۰۸) هم با بررسی پالینولوژی رسوبات دریاچه ارومیه به گسترش گیاهان خانواده اسفناجیان در حوضه آبخیز این دریاچه طی دوره های یخچالی اشاره کرده اند (Djamali *et al.* 2008). بنابراین

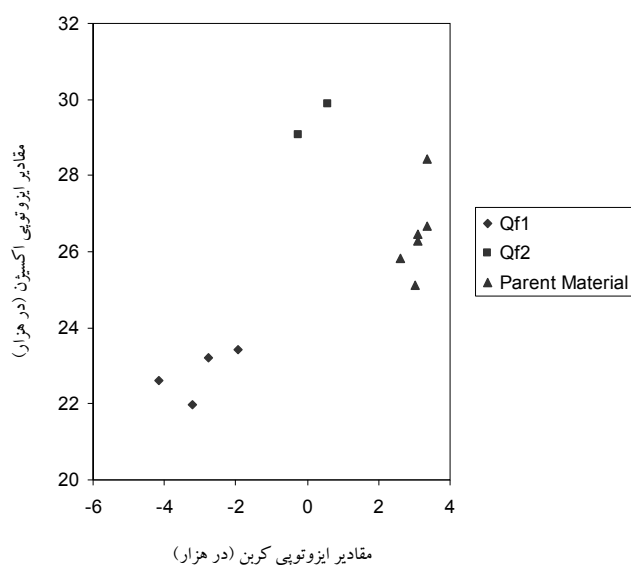
مواد آلی محاسبه شدند. نتایج آنالیزهای ایزوتوپی نشان می‌دهد در مجموع در منطقه شرق اصفهان گسترش گیاهان C₄ طی دوره هائی مرطوبتر با مقادیر پائین δ¹⁸O (دوره های یخچالی) رخ داده است. با توجه به آنکه دوره های سرد و مرطوب به عنوان شرایط مناسب برای گسترش گیاهان C₃ بیان شده است بنابراین گسترش گیاهان C₄ در این شرایط نشانگر نقش فاکتوری غیر از دما و بارش بر اکولوژی منطقه مورد مطالعه است. در واقع بنظر می رسد کاهش غلظت گاز کربنیک اتمسفری طی دوره های یخچالی به عنوان فاکتور اولیه در غالبیت گیاهان C₄ موثر بوده است و تغییرات در دما و بارش بعنوان فاکتورهای ثانویه بر گسترش این گیاهان نقش داشته است. در واقع مقادیر گاز کربنیک اتمسفری همراه با فاکتورهای اقلیمی دیگر بر اکولوژی، پایداری لنداسکیپ، فرسایش خاک و تکامل پدوژنیکی خاکهای مورد مطالعه موثر بوده است. این امر با توجه به پدیده گرمایش جهانی و افزایش گازهای گلخانه ای و بخصوص گاز کربنیک اتمسفری در سالهای اخیر میتواند در تغییرات اکولوژیکی آینده منطقه مورد مطالعه و پدیده های بیابانزائی و فرسایش خاک در این اراضی موثر باشد. در مجموع بازسازی پوشش گیاهی گذشته بوسیله ایزوتوپ های کربن در کربنات های پدوژنیک همخوانی خوبی با نتایج پالینولوژی در غرب ایران نشان داد و کاربرد تکنیک های ایزوتوپی در مطالعات پالئو اکولوژی برای مناطق دیگر کشور هم پیشنهاد می شود.

سپاسگزاری

بدین وسیله از زحمات آقای دکتر رونالد آموندسون استاد دانشگاه برکلی کالیفرنیا به دلیل همکاری با این پژوهش و تعیین مقادیر ایزوتوپی کربن و اکسیژن قدردانی می شود. همچنین از دانشگاه صنعتی اصفهان به دلیل حمایت های مالی و تامین تجهیزات مورد نیاز تشکر می شود. همچنین از داوران محترم جهت ارائه پیشنهاد های مناسب که سبب بهبود کیفیت مقاله شد تشکر می شود.

است مطالعات بیشتری درباره گیاهان C₄ در ایران و واکنش آنها به تغییرات اقلیمی کواترنر پایانی انجام شود.

شکل ۵ مقایسه ایزوتوپ کربنات های پدوژنیک با کربنات های مواد مادری (آهک های کرتاسه) نشانگر تغییرات حاصل از فرآیندهای پدوژنیک در کربنات های کرتاسه است. همانطوریکه مشخص است کربنات ها در سطح ژئومرفیک Qf1 در محیطی با ترکیب ایزوتوپی سبکتر نسبت به دوران کرتاسه تشکیل شده اند که این امر نشانگر اثرات دوره های یخچالی کواترنر در تشکیل و تکوین این سطوح ژئومرفیک و خاکهای وابسته است.



شکل ۵: همبستگی مقادیر ایزوتوپی کربن و اکسیژن در سطوح ژئومرفیک و مواد مادری

نتیجه گیری

خاکهای قدیمی در سطوح ژئومرفیک شرق اصفهان جهت شناسائی شرایط اقلیمی و اکولوژی گذشته منطقه مورد بررسی قرار گرفتند. پوشش گیاهی گذشته منطقه با استفاده از ترکیب ایزوتوپی کربن در کربنات های پدوژنیک و درصد پوشش گیاهی فعلی از آنالیز ایزوتوپی

منابع:

- Achyuthan, H, J. Quade, Roe L., Placzek C. 2007: Stable isotopic composition of pedogenic carbonates from the east margin of the Thar desert, Rajasthan, India. *Quatr. Inter.* **162**:163:50-60.
- Akhani H., Trimbom, P., Zieler H. 1997: Photosynthetic pathways in chenopodiaceae from Africa, Asia and Europe with their ecological, phytogeographical and taxonomical importance. *Pl. Syst. Evol.* **206**:187-221.
- Akhani, H., Ghasemkhani M. 2007: Diversity of photosynthetic organs in chenopodiaceae from Golestan National Park (NE Iran) based on carbon isotope composition and anatomy of leaves and cotyledons. *Nova Hedw. Suppl.* **131**:265-277.
- Buol S. W., R. J. Southard. R. C. Graham and P. A. McDaniel. 2003. Soil Genesis and Classification, Iowa State Press. Iowa.
- Cerling T. E. 1984. The stable isotopic composition of modern soil carbonate and its relationship to climate. *Earth. Plant. Sci. Lett.* **71**:229-240.

- Cerling, T.E., Quade J. 1993. Stable carbon and oxygen isotopes in soil carbonates. PP. 217-231 *In*: P. K. Stewart, K. C. Lohmann, J. McKenzie, S. Savin (Eds.), *Climate Change Continental Isotopic Records*, Geophysical Monograph No 78, American Geophysical Union, Washington, DC.
- Djamali, M., de Beaulieu, J.-L., Shah-Hosseini, M., Andrieu-Ponel, V., Amini, A., Akhiani, H. Leroy, S.A.G., Stevens, L., Alizadeh, H., Ponel, P., Brewer, S., 2008. A late Pleistocene long pollen record from Lake Urmia, NW Iran. *Quatr. Res.* **69**: 413-420.
- Ehleringer J. R. and T. E. Cerling. 2002. Stable Isotopes. PP. 541-550. *In*: H. A. Mooney and J. G. Candell (Eds.), *The Earth system: biological and ecological dimensions of global environmental change*, Encyclopedia of Global Environmental Change, John Wiley & Sons, Chichester.
- El-Moslimany, A. P., 1987. The late Pleistocene climates of the lake Zeribar region (Kurdistan, western Iran) deduced from the ecology and pollen production of non-arboreal vegetation, *Vegetatio* **72**:131-139.
- Khademi H., Mermut A. R, Krouse. H. R. 1997: Isotopic composition of gypsum hydration water in selected landforms from central Iran. *Chem. Geol.* **138**: 245-255.
- Khademi H., Mermut A. R. 1999. Submicroscopy and stable isotope geochemistry of carbonates and associated palygorskite in Iranian Aridisols. *Euro. J. Soil. Sci.* **50**:207-216.
- Liu B. M. F. Philips and A. R. Campbell. 1996. Stable carbon and oxygen isotopes of pedogenic carbonates, Ajo Mountains, southern Arizona: implications for paleoenvironmental change. *Paleoeco, Paleoclim, Paleoeco.* **124**:233-246.
- Monger H. C., Cole. D. R., Gish J. W , Giordano T. H. 1998: Stable carbon and oxygen isotopes in Quaternary soil carbonates as indicators of ecogeomorphic changes in northern Chihuahuan Desert, USA. *Geoderma.* **82**:137-172.
- SCS-USDA. 1979. Definition and Abbreviations for Soil Description. United States Department of Agriculture. Oregon.
- Soil Survey Staff. 1999. Soil Taxonomy, USDA-NRCS, Washington DC.
- Tandon S. K., Kumar S.1999: Semi – Arid / Arid Zone Calcretes: A review. PP.109-152. *In*: A. K. Singhvi and E. Derbyshire (Eds.), *Paleoenvironmental Reconstruction in Arid Lands*, A.A. Balkema. Amsterdam.
- USDA – NRCS – NSSC. 1996. Soil Survey Laboratory Methods Manual. Soil Survey investigations Report No 42, Nebraska.
- Van Zeist W., Bottema S. 1977: Palynological investigations in western Iran. *Paleohistoria* **19**:19-85.
- Zahedy M. 1976: Explanatory text of the Esfahan Quadrangle Map 1:2500000, Geological Society of Iran, Tehran.