

تحولات ژئومورفولوژیکی پلایای میقان در کواترنر

میر اسداله حجازی* - استادیار گروه ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز
آتنا عسگری - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز
بهاره میرزاخانی - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه محقق اردبیلی

پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۰۹/۲۵ تأیید نهایی: ۱۳۹۵/۰۵/۱۵

چکیده

ایران کشوری است که در بخش‌های داخلی آن، شواهد ژئومورفولوژیکی متعددی را از تغییرات اقلیمی به صورت تناوب اقلیم خشک و بارانی دارا است. دریاچه میقان، یکی از بسترهایی است که این شواهد را به صورت سطوحی از رسوبات آواری و تبخیری حفظ کرده است. این دریاچه، حوضه آبریز خود به مساحت حدود ۵۵۲۸ کیلومترمربع را زهکشی می‌کند و در حال حاضر دارای اقلیمی خشک، با تبخیر بیش از بارش است. شرایط اقلیمی و هم‌چنین شرایط زمین‌شناسی آن سبب شده است که این دریاچه به شکل پلایا تحول یابد. در حالی که بسترهای سیلابی اطراف دریاچه، حکایت از اقلیم با بارش بیشتر را در این حوضه، دارد. این پژوهش باهدف شناسایی تغییرات دریاچه میقان انجام شده است. از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰، مدل رقومی ارتفاع منطقه در مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ تصاویر ماهواره‌ای ETM+ و نقشه زمین‌شناسی ۱:۵۰۰۰۰ و مشاهدات میدانی استفاده شده است. تکنیک تحلیل مؤلفه‌های اصلی برای شناسایی سطوح اطراف دریاچه انجام شده است و نتایج آنالیز به کمک مشاهدات میدانی و نمونه‌گیری‌های موجود، ارزیابی شده است. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که دریاچه میقان در آخرین دوره سرد، باران بیشتری دریافت نموده است و مساحتی معادل ۱۲۹ کیلومترمربع را داشته است. به دلیل وجود کانی‌های تبخیری از جمله کلسیت، ژیس و هالیت در بستر زمین‌شناسی حوضه و با تغییر اقلیم، کاهش بارش و افزایش تبخیر، دریاچه کوچک‌تر شده و کانی‌های تبخیری بر اساس میزان حلالیت خود رسوب نموده‌اند و سطوح آهکی، گچی و نمکی را در اطراف دریاچه تشکیل داده‌اند و دریاچه میقان به صورت پلایا تحول یافته است. در هریک از سطوح نامبرده، واحدها و رخساره‌های ژئومورفولوژیکی خاصی شکل گرفته است که نشانگر تحول ژئومورفولوژیکی این دریاچه در طول زمان است.

واژگان کلیدی: پلایا، تحولات ژئومورفولوژیکی، دریاچه میقان، PCA

مقدمه

نزدیک به دوسوم مساحت کشور در مناطق بیابانی قرار گرفته است (امجد یزدان دوست، ۱۳۹۲). پلایا و یا چاله‌ها نیز به‌عنوان واحدهایی از بیابان وسعت قابل‌ملاحظه‌ای از ایران را اشغال می‌کنند و با توجه به توان اکولوژیکی و اقتصادی آن‌ها می‌طلبد که مورد بررسی و ارزیابی دقیق و جدی قرار گیرند. با توجه به بررسی‌های محقق تعداد تحقیقات در مورد موضوع مذکور در کشور ما در مقایسه با جهان بسیار ناچیز است بررسی رابطه خاک و پوشش گیاهی در حاشیه پلایای طبس نشان داد بین درصد پوشش، بوته‌های گونه گیاهی تاغ و خصوصیات خاک رابطه معناداری وجود دارد ولی میزان همبستگی بسته به خصوصیات خاک متفاوت است. (مجید کریم پور ریحان، ۱۳۸۴). بررسی بیابان‌زایی و تغییرات اراضی پلایای دامغان با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای چند زمانه و چند طیفی بر مبنای روش تلفیق بصری و رقومی انجام شد و اقدام به شناسایی مناطق تغییر یافته طی بیست و سه سال و در سه مقطع زمانی نمود. داده‌های رقومی مربوط به سه سنجنده MSS و TM بوده است. بر طبق نتایج به دست آمده در طی ۲۳ سال، ۷۴ درصد تغییرات مربوط به بیابان‌زایی بوده که ۶۸ درصد آن بین سال‌های ۱۹۸۸ تا ۲۰۰۰ میلادی بوده است (علوی پناه و همکاران، ۱۳۸۳). مطالعات رسوب‌شناسی و ژئومورفولوژیکی در حوضه آبریز زینر^۱ واقع در بخش جنوبی تالاب ونیز به بازسازی ویژگی‌های زمین‌شناسی حوضه اصلی که بخشی از ورودی مدل شبیه‌سازی فرونشست زمین را تشکیل می‌دهد، کمک کرده است (ریزتو و دیگران^۲، ۲۰۰۱). پژوهش بر روی منشأ و چگونگی تکامل و تحول پلایاها و زمین‌های بادرفتی در منطقه نیمه‌خشک تیرا^۳ (حوضه دورو، اسپانیا) بیانگر آن است که پلایاهای مورد مطالعه، ناشی از حفاری نهشته‌های ائوسن و سنگ‌بستر آهکی زیرین هستند (گوتیه رز الورزا و دیگران^۴، ۲۰۰۵). در مطالعه‌ای تحول شرایط هیدرولوژیکی دریاچه پلایای سالادا مدیانا^۵ (شمال شرقی اسپانیا) در طول دوره کواترنر را مورد ارزیابی قرار گرفت و با تجزیه و تحلیل ایزوتوپ پایدار و گرده‌شناسی هسته‌های رسوبی آخرین تحولات رسوب‌گذاری در این حوضه بازسازی شدند (بلاس و دیگران^۶، ۲۰۰۰). برخی از تحقیقات نیز بیانگر آن هستند که استفاده از فرابینی ماهواره‌ای در دریاچه- پلایاها می‌تواند به تشخیص تغییرات رژیم هیدرولوژیکی از جمله افزایش سطح سیل منطقه کمک زیادی کند (کاستاندا و همکاران^۷، ۲۰۰۵). همچنین در مطالعات، مشاهده گردید که تحولات ژئومورفولوژیکی یک فرو زمین نیز می‌تواند مورد بررسی قرار گیرد (فوبلی و دیگران^۸، ۲۰۰۸). تجزیه و تحلیل زمینی شرایط توپوگرافی مخروط افکنه‌ها، تشریح سطوح اصلی، رسوب‌شناسی عمومی (توصیف رخساره)، و نوع شبکه زهکشی، بر اهمیت تغییرات آب و هوایی در تحول مخروط افکنه‌های این پلایا در کواترنر تأکید می‌کنند (اورتگا رامیرز^۹، ۲۰۰۴). پژوهشگران خارجی هم چون بروکس (1982)، که به‌گونه‌ای پلایاهای ایران را مورد مطالعه و بررسی قرار داده است. بیشن^{۱۰} (۲۰۰۵ و ۲۰۰۹)، مصطفی و بیشن^{۱۰} (۲۰۰۴) نیز از تحلیل مؤلفه‌های

¹-Zennier

²-Rizzeto and et al

³-Tierra

⁴-Gutierrez-Elorza and et al

⁵-SaladaMediana

⁶- Blas and et al

⁷-Castaneda and et al

⁸- Fubelli and et al

⁹- Ortega-Ramirez

¹⁰-Bishta

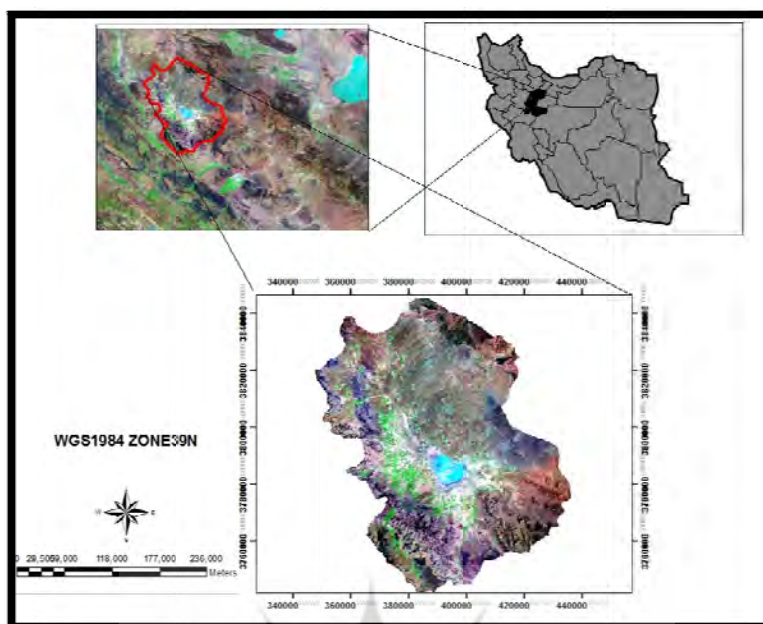
اصلی در شناسایی سنگ‌ها و قهرودی تالی (۲۰۱۰) و گونلو (۲۰۰۸) نیز از همین روش را در شناسایی تغییرات بسترهای رسوبی استفاده نموده‌اند. در مورد پلایای میقان به‌عنوان یکی از مهم‌ترین چشم‌اندازهای ژئومورفولوژیکی، تحقیقی انجام نداده و یا حاصل کار او برای این محقق ناشناخته مانده است. حتی کرینسلی نیز که جامع‌ترین مطالعات را بین سال‌های ۱۹۶۸ تا ۱۹۷۲ انجام داده است، این کویر را تنها از طریق مشاهده عکس‌های هوایی مورد مطالعه قرار داده است. در میان محققان ایرانی نیز دکتر علایی طالقانی (۱۳۷۵) در رساله دکتری خود به مطالعه ژئومورفولوژی کویر میقان پرداخته است. کویر میقان یک پلایا محسوب می‌شود. اهمیت بررسی پلایاها در ایران غیرقابل انکار است. از طرف دیگر واقع شدن کویر میقان در نزدیکی شهر اراک و تأثیر ژئومورفولوژیکی غیرقابل انکار آن بر روی این شهر و دیگر شهرهای مجاور باعث شد تا در این تحقیق، حوضه نامبرده مورد مطالعه قرار گیرد. به‌طور کلی در این تحقیق ابتدا لندفرمها شناسایی می‌شوند. سپس فرآیندهای فعال ارزیابی می‌گردند تا قلمروهای مورفوکلیماتیک و مورفوتکتونیک شناسایی شوند. در مرحله بعد با توجه به اشکال غیرفعال و میراث‌های اقلیمی قلمروهای مورفوکلیماتیک در اقلیم‌های آخرین دوره یخبندان، قلمروهای فوق در گذشته تعیین می‌شود و در مرحله آخر بر اساس تغییرات لندفرمها بررسی می‌شود.

منطقه مورد مطالعه

حوضه اصلی آبخیز کویر مرکزی ایران از ۵ زیر حوضه فرعی قمرود، قره چای، شور (خشک‌رود)، کویر میقان و کویر کاشان تشکیل شده است (ذوالفقاری، ۱۳۸۹). حوضه رسوبی میقان که علایی طالقانی (۱۳۷۵) از آن با عنوان دشت اراک یاد کرده است، با وسعتی معادل ۵۵۲۸ کیلومترمربع، که ۲۰۰۰ کیلومترمربع آن را دشت و ۳۵۲۸ کیلومترمربع را ارتفاعات مشرف به دشت تشکیل می‌دهد، در مختصات جغرافیایی $39^{\circ}20'39''$ تا $50^{\circ}18'28''$ طول شرقی و $33^{\circ}48'37''$ تا $34^{\circ}37'43''$ عرض شمالی واقع شده است. این حوضه متشکل از دریاچه فصلی میقان با مساحتی متغیر تا حداکثر ۱۰۶ کیلومترمربع و در رقوم ارتفاعی ۱۶۶۰ تا ۱۷۰۰ متر از سطح دریا، دشت‌های آبرفتی فراهان و اراک، مخروط افکنه‌ها و کوهپایه‌ها است. این حوضه در حدفاصل حوضه‌های آبریز قم و قره چای به‌وسیله کوه‌های کم ارتفاعی که در جنوب، مشرق و شمال آن قرار دارند و مناطق تپه‌ماهوری واقع در غرب حوضه پدید آمده است. کویر میقان با مساحت ۱۳۵ کیلومترمربع سطح نمکی که شامل ۹۴ درصد سطح دریاچه نیز می‌باشد، در ارتفاع متوسط ۱۶۷۵ متری سطح دریا و در ارتفاعات واقع بین البرز و زاگرس، در ۱۵ کیلومتری شمال و شمال شرقی شهرستان اراک در استان مرکزی واقع شده است و تقریباً به‌صورت مثلث قائم‌الزاویه‌ای است که زاویه قائمه آن در جنوب و اضلاع آن در شمال غرب و شمال شرق امتداد یافته‌اند. کویر میقان در $39^{\circ}46'24''$ تا $49^{\circ}55'31''$ طول شرقی و $34^{\circ}08'50''$ تا $34^{\circ}15'26''$ عرض شمالی قرار گرفته است. این کویر در چاله یا پلایای میقان با مساحت ۱۴۳ کیلومترمربع و در مرکز حوضه آبخیز میقان قرار گرفته است و توسط کوه‌های نسبتاً مرتفعی احاطه شده است. نزدیک‌ترین شهر به کویر میقان، اراک می‌باشد. اطراف کویر را روستاهایی با فواصل متفاوت نسبت به دریاچه فصلی میقان احاطه کرده‌اند. این کویر از طرف شمال به روستاهای ده نمک، داودآباد و ویسمه، از غرب به روستاهای میقان، راهزان و طرمزد و جاده اراک - فرم‌هین، از جنوب به روستاهای امامزاده خاتون و از شرق به روستای سهیل‌آباد محدود شده است که نزدیک‌ترین آن‌ها، روستای راهزان و ده نمک به فاصله یک کیلومتری از دریاچه می‌باشند (مبارک‌آبادی، ۱۳۸۹). این منطقه در پست‌ترین نقطه حوضه به ارتفاع ۱۶۶۰ متر از سطح دریا می‌رسد. از اسامی دیگر کویر؛ توزلوگل می‌باشد که کرینسلی^۲ (۱۹۷۰) آن را با عنوان چاله میقان نیز معرفی نمود.

^۱-Gunlu

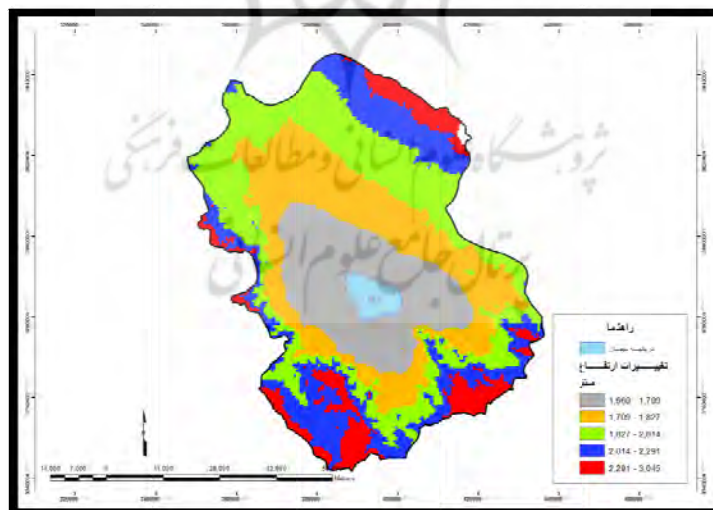
^۲-Krinsely



شکل شماره ۱: موقعیت جغرافیایی حوضه و پلاهای میقان بر روی تصاویر ماهواره‌ای ETM

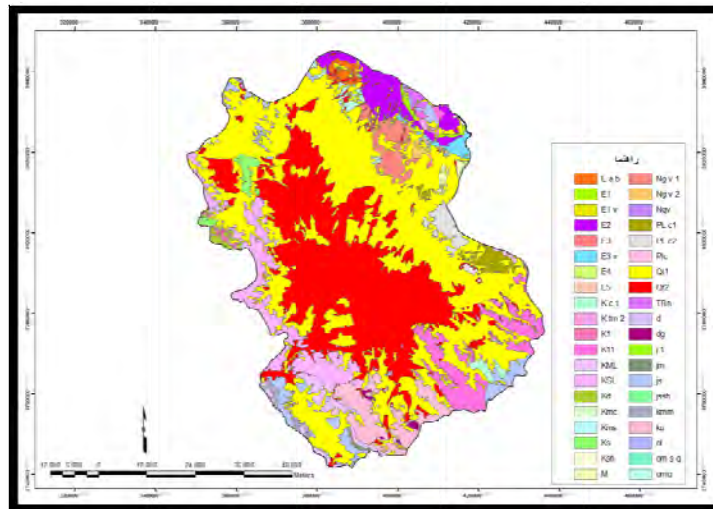
داده و روش تحقیق

محدوده حوضه آبریز میقان، بر اساس مدل رقومی ارتفاع^۱ و نقشه توپوگرافی در مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ تعیین شده است. شکل شماره ۲ تغییرات ارتفاع در حوضه میقان را نشان می‌دهد. داده‌های زمین‌شناسی حوضه، از نقشه زمین‌شناسی ۱:۵۰۰۰۰ برداشت شده است. (شکل ۳)



شکل شماره ۲: تغییرات ارتفاع در حوضه میقان

^۱-Digital Elevation Model(DEM)



شکل شماره ۳: پراکنش واحدهای زمین‌شناسی در حوضه میقان (برداشت از نقشه زمین‌شناسی ۱:۵۰۰۰۰)

از نظر ساختمان زمین‌شناسی، حوضه میقان از دو واحد بزرگ کوهستانی در حاشیه و دشت رسوبی در بخش میانی تشکیل شده است. در نقشه زمین‌شناسی ۱:۵۰۰۰۰ منطقه، حوضه میقان به صورت سیستم گرابنی دیده می‌شود که در امتداد دو گسل، فروافتاده است. علت بسته شدن و استقلال حوضه، چین خوردن و بالا آمدن نهشته‌های زمان پلیوسن حاشیه شرق حوضه و هم‌زمان فروافتادن دشت میانی در اثر جنبش اصلی رخداد تکتونیکی پاسادین در عهد پلیستوسن (۷۰۰ هزار سال قبل) می‌باشد. امتداد طبقات و گسل‌های عمده حوضه، موازی با محور اصلی زمین‌ساختی حاشیه در جهت جنوب شرقی - شمال غربی می‌باشند. این پدیده‌ها انعکاس جابجایی پلاتفرم‌های عربستان از جنوب غرب و سیبری از شمال شرق را نشان می‌دهند. رویداد بعد از فاز زمین‌ساختی پاسادین در حوضه آبریز میقان با شروع یک فاز فرسایشی در پلیستوسن مشخص می‌باشد. ته‌نشست‌های این دوره شامل آبرفت‌های قدیمی، آبرفت‌های جوان، کفه‌های رسی و نمکی می‌باشند که سطح نسبتاً پهناوری از حوضه را فراگرفته‌اند.

روش کار

برای به دست آوردن تغییرات سطح دریاچه در کواترنری، از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) مبتنی بر ماتریس همبستگی استفاده شد. در این روش، هدف شناسایی سطوحی بود که بر اثر تغییرات کانی به وجود آمده بودند. به این منظور، داده‌های ۶ باند انعکاسی از تصویر^۱ ETM+ در ابعاد ۲۸۱۴ × ۱۹۹۷ پیکسل و در اندازه سلول ۳۰ متر، مربوط به نیمه گرم سال که میزان رطوبت کمتر است مورد بررسی قرار گرفت. برای افزایش تفکیک مکانی ابتدا با تصویر باند پانکروماتیک همان سنجنده، با ابعاد پیکسل ۱۵ متر ترکیب شدند.^۲ سپس ماتریس همبستگی آن‌ها محاسبه شد. جدول شماره ۱ ضریب همبستگی بین درجه روشنایی باندها را نشان می‌دهد.

بیشترین همبستگی که معادل ۰/۹۶۹۹ می‌باشد بین باندهای ۱ و ۲ از تصویر ETM است. به‌طور کلی بین باندهای ETM1, ETM2, ETM3 همبستگی قوی وجود دارد و همچنین باندهای ETM3 با ETM5 و ETM5 با ETM7 نیز همبستگی دارند که اولاً از تکرار اطلاعات حکایت می‌کند، در ثانی این تکرار در باندهای مجاور بیشتر است. (جدول شماره ۱) مؤلفه‌های ۶ گانه مبتنی بر باندهای ۱ تا ۷ سنجنده ETM (به‌استثنای باند ۶) محاسبه شد و سهم هریک از PC از کل تغییرات تحت عنوان درصد واریانس (یا مقدار ویژه^۳) مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج

^۱-Enhanced Thematic Mapper

^۲ Merge Resolution

^۳-Eigen Value

به دست آمده جدول شماره ۳ نشان می‌دهد که هرچه PC در مراتب پایین‌تری قرار گیرد، اطلاعات کمتری را دارا است. ۹۹/۲۷ درصد از واریانس در سه PC اولیه قرار می‌گیرد. (جدول شماره ۲)

جدول شماره ۱: ماتریس همبستگی^۱ شش باند انعکاسی ETM

	ETM1	ETM2	ETM3	ETM4	ETM5	ETM7
ETM1	۱					
ETM2	۰.۹۶۹۹	۱				
ETM3	۰.۸۸۶۸	۰.۹۶۱۳	۱			
ETM4	۰.۶۴۴۱	۰.۷۰۵۹	۰.۶۶۶۵	۱		
ETM5	۰.۴۳۹۰	۰.۶۰۱۵	۰.۷۱۵۸	۰.۶۳۴۵	۱	
ETM7	۰.۳۵۰۱	۰.۵۲۱۲	۰.۶۶۹۱	۰.۴۳۵۶	۰.۹۵۱۴	۱

جدول شماره ۲: ضرایب بردارهای ویژه (λ) برای باندهای انعکاسی در PC ها

	ETM1	ETM2	ETM3	ETM4	ETM5	ETM7	Eigenvector	Variences %
PC1	0.2427	-0.2112	0.3939	-0.6801	0.0859	-0.5208	849.6993	85.88
PC2	0.3213	-0.1488	0.3864	-0.2413	-0.0047	0.8166	74.9098	7.57
PC3	0.4849	0.0334	0.5270	0.6403	-0.1247	-0.2456	57.6234	5.82
PC4	0.4719	-0.6820	-0.5152	0.1253	0.1737	-0.0281	4.8340	0.04
PC5	0.4717	0.3808	-0.3535	-0.2251	-0.6755	-0.0194	1.7484	0.01
PC6	0.3967	0.5673	-0.1650	-0.0524	0.7003	0.0139	0.4913	0.004

برای اینکه تحلیل فوق با دقت بالاتری انجام شود، مشابه عملیات مذکور را بر روی تصاویر (III- IRS- P6(LISS^۲) با ابعاد پیکسل ۲۷ متر و ۴ باند انعکاسی نیز اجرا شد. ابتدا باندها ترکیب شدند. سپس ماتریس همبستگی بین باندها محاسبه شد. جدول شماره ۳ همبستگی بین باندهای IRS را نشان می‌دهد. این همبستگی بین باندهای ۱ و ۲ یعنی سبز و قرمز قوی می‌باشد. مؤلفه‌های ۴ گانه در این تصاویر تهیه شد. (جدول شماره ۴) که ۹۹/۰۷ درصد واریانس، در PC1 و PC2 و PC3 متمرکز شده است. نتایج تحلیل در تصویر IRS سه سطح را استخراج نمود.

جدول شماره ۳: ماتریس همبستگی^۳ چهار باند انعکاسی (IRS (LISS- III)

	IRS1	IRS2	IRS3	IRS4
IRS1	۱			
IRS2	۰.۹۵۶۹	۱		
IRS3	۰.۶۷۹۰	۰.۶۶۵۱	۱	
IRS4	۰.۷۸۵۸	۰.۸۴۹۶	۰.۷۴۳۶	۱

^۱- Correlation Matrix

^۲-Linear Imaging Self - Scanning

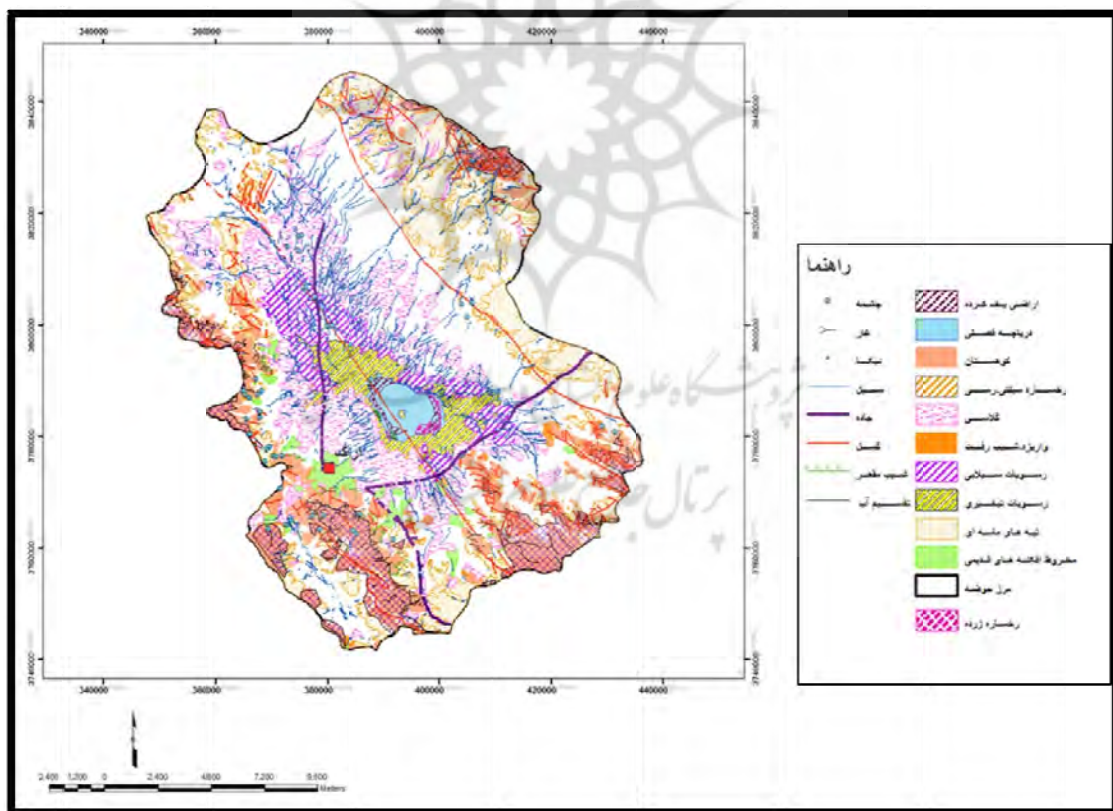
^۳-Correlation Matrix

جدول شماره ۴: ضرایب بردارهای ویژه (λ) برای باندهای انعکاسی تصویر LISS (IRS)

	IRS1	IRS2	IRS3	IRS4	Eigenvector	Variences%
PC1	۰.۵۲۰۹	۰.۲۹۰۸	-۰.۴۷۳۶	۰.۶۴۷۸	۶۹۳.۰۳۷	۸۴.۹۴
PC2	۰.۶۴۵۶	۰.۴۰۲۳	۰.۰۷۵۳	-۰.۶۴۴۶	۹۰.۳۵۳	۱۱.۰۷
PC3	۰.۴۴۱۱	-۰.۸۶۳۵	-۰.۲۱۱۷	-۰.۱۲۱۹	۲۵.۰۲۳	۳.۰۶
PC4	۰.۳۴۲۲	-۰.۰۸۸۶	۰.۸۵۱۵	۰.۳۸۷۰	۷.۴۶۷	۰.۹۱

یافته‌های تحقیق

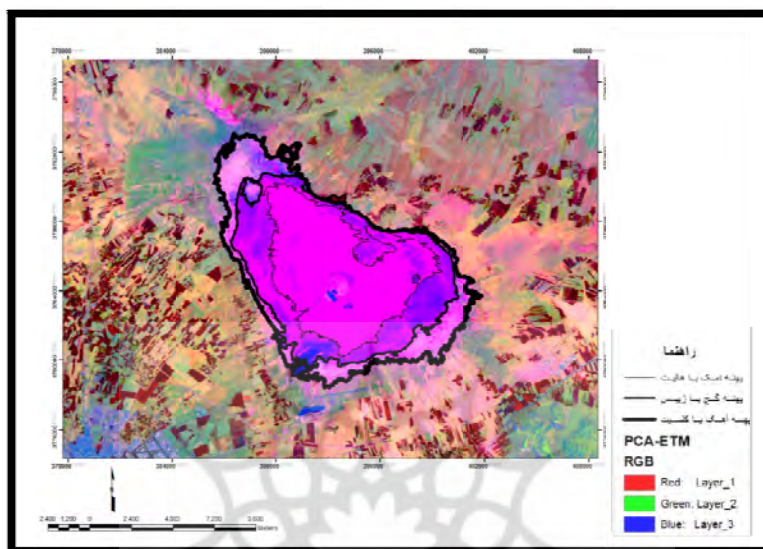
از روی تصاویر ماهواره‌ای منطقه، خطواره‌های زیادی در حوضه میقان، قابل شناسایی می‌باشند. وجود سه خطواره که منطبق بر سه ضلع مثلثی شکل کویر میقان می‌باشند، نشان می‌دهد که این کویر احتمالاً در امتداد سه گسل، فروافتاده است. (شکل شماره ۴) لیکن دو گسل تلخاب و تبرته در محدوده کویر میقان و احتمالاً فعال شدن گسل تلخاب در اثر عملکرد جنبش پاسادین، مانع از آن شد تا این بخش از حوضه رسوبی نیز هم تراز حاشیه کوهستانی بالا بیاید و در نتیجه انعکاس متفاوت بخش میانی (مابین دو گسل تبرته و تلخاب) و بخش حاشیه‌ای حوضه در مقابل تکتونیک پاسادین به صورت بالاآمدگی حاشیه و فروافتادگی بخش میانی جلوه‌گر می‌شود که پیامد آن شکل‌گیری و استقلال حوضه رسوبی میقان و درنهایت ایجاد کویر میقان در مرکز آن در ابعاد امروزی گردید.



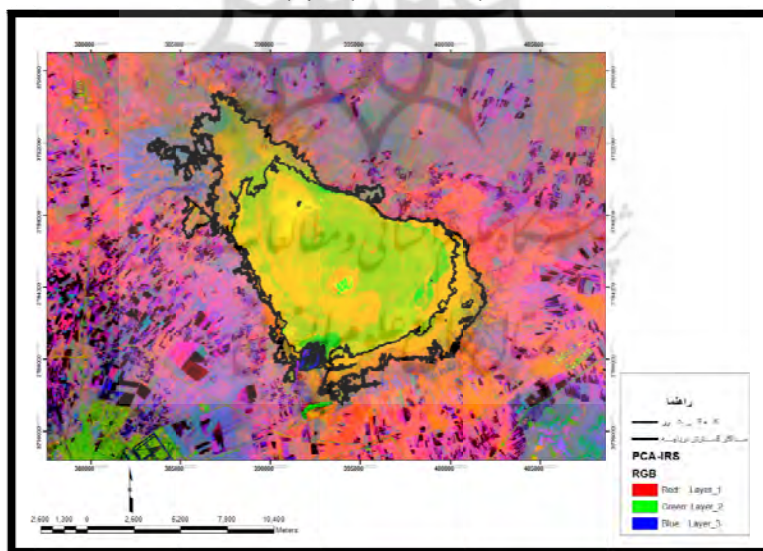
شکل شماره ۴: نقشه ژئومورفولوژی حوضه میقان

نتایج تحلیل در تصویر ETM^+ ، سه سطح را استخراج نمود که یک سطح آن (سطح درونی) متعلق به $PC2$ و دو سطح آن (سطوح میانی و بیرونی) مربوط به $PC3$ بوده است. (شکل شماره ۵) سطوح به دست آمده به ترتیب از درون به بیرون با مناطق نمکی (زیر محیط پهنه شور)، گچی (زیر محیط پهنه گلی - شور) و آهکی (زیر محیط پهنه گلی - خشک) پلایای میقان هم‌خوانی دارند. مساحت هریک از سطوح به دست آمده در هر دو تصویر در محیط GIS محاسبه

گردید و نتایج، حاکی از آن بودند که ۵۲ کیلومتر از سطح پلایای میقان در منطقه نمکی، ۴۰ کیلومترمربع در پهنه گچی و ۲۷ کیلومترمربع آن در محدوده آهکی قرار دارد. سطح گچی در هر دو تصویر کاملاً باهم مطابقت دارد. همچنین از تصویر *IRS* نیز دو سطح استخراج شد که سطح بیرونی متعلق به *PC2* و سطح درونی متعلق به *PC3* بوده است. (شکل شماره ۶) سطح بزرگ‌تر احتمالاً بیشترین گسترش دریاچه را در کواترنری نشان می‌دهد که بر اساس آن دریاچه مساحتی بالغ بر ۱۲۹ کیلومترمربع داشته است.



شکل شماره ۵: *PCA* در تصویر *ETM*



شکل شماره ۶: *PCA* در تصویر *IRSP6*

بر اساس نوع سنگ‌های تشکیل‌دهنده این حوضه، کانی‌های تبخیری به صورت محلول وارد این دریاچه می‌شدند. بخش مهم آن، کانی کلسیت از سنگ‌های آهکی و کانی ژپس و نمک بود؛ لذا در دوره‌های گرم که میزان تبخیر بیش از آب‌های وارده به این دریاچه می‌باشد، شوری دریاچه افزایش می‌یابد و کانی‌های تبخیری به صورت پلایا متحول می‌شوند. چون در اثر افزایش تبخیر ابتدا کانی‌هایی مانند کربنات کلسیم که انحلال‌پذیری کمتری دارند رسوب می‌کنند؛ بنابراین بزرگ‌ترین سطحی که از مؤلفه اصلی تصویر ETM^+ به دست آمده، می‌تواند محدوده رسوب کانی کلسیت باشد. (شکل شماره ۷) نمونه‌های برداشت‌شده نیز بیانگر وجود سطح آهکی بوده است. (موفق، ۱۳۷۸) با استمرار اقلیم خشک و با

افزایش تبخیر، کانی‌ها بر اساس میزان حلالیت خود رسوب می‌کنند. کانی ژپس که درجه حلالیت بیشتری نسبت به کربنات کلسیم دارد، با افزایش خشکی در دریاچه میقان رسوب نموده، نمونه‌های برداشت‌شده میزان کانی ژپس را در محدوده ای نشان می‌دهد که از $PC2$ در تصویر ETM^+ و $PC3$ در تصویر IRS به دست آمده است. (شکل شماره ۷) ادامه خشکی سبب می‌شود که کلورهاها بسترهای نمکی را تشکیل دهند. (شکل شماره ۷) این پدیده در حال حاضر در آب‌های دریاچه میقان دیده می‌شود و در مرکز دریاچه به صورت محلول است. در سال‌های خشک‌تر محدوده آب کوچک‌تر و زون نمکی گسترش می‌یابد.



شکل شماره ۷: به ترتیب از سمت چپ به راست: پهنه نمک (زون کلوره)، پهنه ژپس (زون سولفات)، پهنه آهک (زون کربناته)

تحلیل ژئومورفولوژیکی سطوح استخراج‌شده پهنه نمکی (هالیت)

از دیدگاه ژئومورفولوژیکی این پهنه با بخشی از پلایا انطباق دارد که شیب ناچیزی دارد و رسوبات در آن، سطح سخت و غیرقابل نفوذی را به وجود می‌آورند، بطوریکه با هر جریان به ضخامت آن‌ها اضافه می‌گردد. در این پهنه به علت تبخیر شدید و در اثر رشد بلور در پوسته، اشکال چندوجهی ایجاد می‌شود که لبه آن‌ها در اثر کشش پوسته به طرف بالا خمیده می‌شود. (شکل شماره ۸) این کشیدگی، بیشترین مقدار خود را در پوسته هالیت دارد. تبخیر شورابه‌های زیرسطحی در طول شکستگی‌های چندوجهی باعث رسوب پوسته‌های شور زده ریزدانه‌ای می‌شود که ترک‌ها را عریض می‌کنند. دریاچه میقان در این پهنه قرار گرفته است و در بازدیدهای میدانی داغ آب‌های نمکی در اطراف آن مشاهده گردید. پهنه شور پلایای میقان به عنوان پست‌ترین بخش این حوضه رسوبی، منطقه‌ای است که در فصول خشک با لایه‌هایی از نهشته‌های تبخیری، پوشیده می‌شود و در فصول مرطوب به صورت دریاچه فصلی و شور درمی‌آید. این زیر محیط در اطراف، توسط کفه گلی - شور که با پوششی از پوسته‌های نمکی شور زده ۱، مشخص است، احاطه می‌شود. نهشته‌های پهنه شور در منطقه مورد مطالعه، اغلب دارای لایه‌بندی ظریف هستند که در آن‌ها، پوسته‌های تبخیری ۲، توسط سطوح انحلالی یا لایه‌های ظریف گل از هم جدا می‌شوند. پوسته‌های تبخیری از کانی‌های ژپس ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$)، هالیت ($NaCl$)، تناردیت (Na_2SO_4)، میرابلیت ($Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$)، گلوپریت ($CaSO_4 \cdot Na_2SO_4$) و کلسیت ($CaCO_3$)، تشکیل شده‌اند. کانی بلودیت ($Na_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 4H_2O$) - به مقدار کم در این منطقه گزارش شده است (موفق، ۱۳۷۸).

¹ - Efflorescent salt crusts

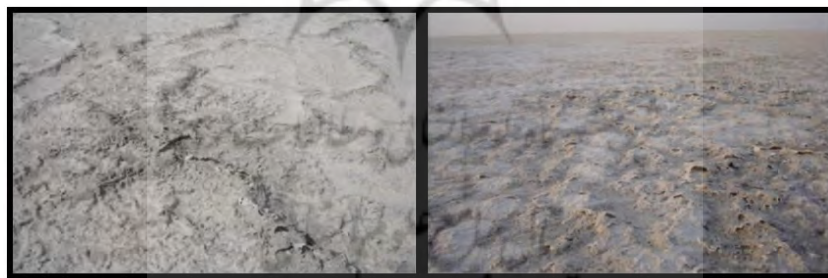
² - Evaporite Crusts



شکل شماره ۸: اشکال چندوجهی با لبه‌های برجسته در کویر میقان

پهنه گچی (ژپیس)

از نظر ژئومورفولوژیکی در این بخش از پلایا در نتیجه نیروی موئینه و عمل تبخیر و بالا آمدن گل به همراه نمک، ناهمواری‌های خاصی در سطح پلایا ایجاد می‌شود. رخساره‌های ژئومورفولوژیکی بسیار مشخص در این کفه عمدتاً شامل پوسته‌های شورزده (شکل شماره ۹) و ترک‌های چندوجهی به صورت اشکال چادر سرخپوستی^۱ (شکل شماره ۹) می‌باشند. اراضی پف‌کرده نیز در این منطقه جای دارند. مشاهده نشدن پوشش گیاهی از مشخصه‌های بارز این محدوده از پلایای میقان می‌باشد. این پهنه در پلایاها به کفه گلی- خشک نیز مشهور است. در پلایای میقان، این کفه در مجاورت پهنه شور و به صورت حلقه‌ای در اطراف آن قرار دارد. کفه مذکور، شامل رسوبات رسی دانه‌ریز می‌باشد که دارای خاصیت پلاستیکی هستند و باعث استحکام ماسه‌های گل‌دار ریز ۲ موجود در محل (که به مقدار خیلی کم وجود دارند) و اتصال آن‌ها به یکدیگر می‌شوند. این کفه همچنین دارای کانی‌های تبخیری درون رسوبی^۳ و پوسته‌های نمکی شورزده سطحی است که بیشتر از آب‌های شور زیرزمینی حاصل شده‌اند. بیشترین کانی موجود در این پهنه ژپیس می‌باشد. (مهاجرانی، ۱۳۷۸)



شکل شماره ۹: به ترتیب از چپ به راست؛ پوسته‌های شورزده و اشکال چادر سرخپوستی

پهنه آهکی (کلسیت)

در این مناطق از منظر ژئومورفولوژی، فعالیت باد زیاد است و ناهمواری‌هایی همراه با رسوبات بادی در این بخش از پلایا به فراوانی مشاهده می‌شود. فرسایش بادی در منطقه‌ای که داوود آباد، ایبک آباد، مراد آباد و عباس آباد چهار ضلع آن را تشکیل می‌دهند به حداکثر می‌رسد (مهندسین مشاور تاک سبز، ۱۳۸۹). نیکاها و تپه‌های ماسه‌ای از دیگر واحدهای ژئومورفولوژیکی این بخش‌اند (شکل شماره ۱۰). مخروط افکنه‌های قدیمی (مانند مخروط افکنه فراهان نیز در حاشیه این زون جای گرفته‌اند. این پهنه در کویر میقان با کفه گلی- خشک کاملاً مطابقت دارد. در کویر میقان، این کفه با

^۱-Tepee

^۲-Muddy Sand

^۳-Intra Sediment

گسترده‌گی قابل ملاحظه، در حاشیه بیرونی کفه گلی - شور و به صورت حلقه‌ای آن را احاطه نموده است. سطح آب زیرزمینی در این کفه به قدری پایین است که در ایجاد کانی‌های تبخیری، نقشی ایفا نمی‌کند. کانی کلسیت بیشترین سطح را در این پهنه پوشش داده است. (زمانی، ۱۳۷۸)



شکل شماره ۱۰: به ترتیب از چپ به راست؛ نکا در کویر میقان و تپه ماسه‌ای در شرق روستای ده نمک غسل تیره از هر سه پهنه نام‌برده عبور کرده است و باعث شکست کف دریاچه میقان گردیده است. آبدهی بالای چاه‌ها و چشمه‌های انجدان (که در مسیر غسل قرار گرفته‌اند) شاهدهی بر این امر است. به منظور صحت سنجی نتایج حاصل از تحلیل تصاویر ماهواره‌ای محقق از آنالیزهای ژئوشیمی که در سال‌های پیش توسط سازمان صنایع و معادن شهرستان اراک به انجام رسیده است، کمک گرفت. بر اساس نتایج آنالیزهای سازمان صنایع و معادن شهرستان اراک (۱۳۷۸) می‌باشد (جدول ۵ و ۷)، تعدادی از نمونه‌ها نیز توسط محقق در بازدید میدانی به کمک دستگاه GPS برداشت شده است (شکل شماره ۱۱).

جدول شماره ۵: نتایج آنالیزهای نمونه‌های گمانه شماره ۱ تا ۴

عمق نمونه (متر)	آنالیز شیمی						میزان کانی از زیاد به کم
	درصد منیزیم	درصد پتاسیم	درصد کلسیم	درصد کلر	درصد سولفات	درصد سدیم	
۱.۷-۲.۵	۱.۷۴	۰.۱۴	۲۱.۸	۳.۴۵	۴۲	۵.۱۷	ژیپس، هالیت، همی هیدریت، گلوبریت، کوارتز

منبع: (موفق، ۱۳۷۸)

جدول شماره ۶: نتایج آنالیزهای نمونه‌های گمانه شماره ۲ تا ۴

عمق نمونه (متر)	آنالیز شیمی						میزان کانی از زیاد به کم
	درصد منیزیم	درصد پتاسیم	درصد کلسیم	درصد کلر	درصد سولفات	درصد سدیم	
۱.۵-۲.۵	۲.۱۴	۰.۱۷	۲۱.۳	۲.۹۷	۳۸.۱	۱۴.۱۵	ژیپس، هالیت، سولفات منیزیم آبدار، کلرید منیزیم و کلسیم

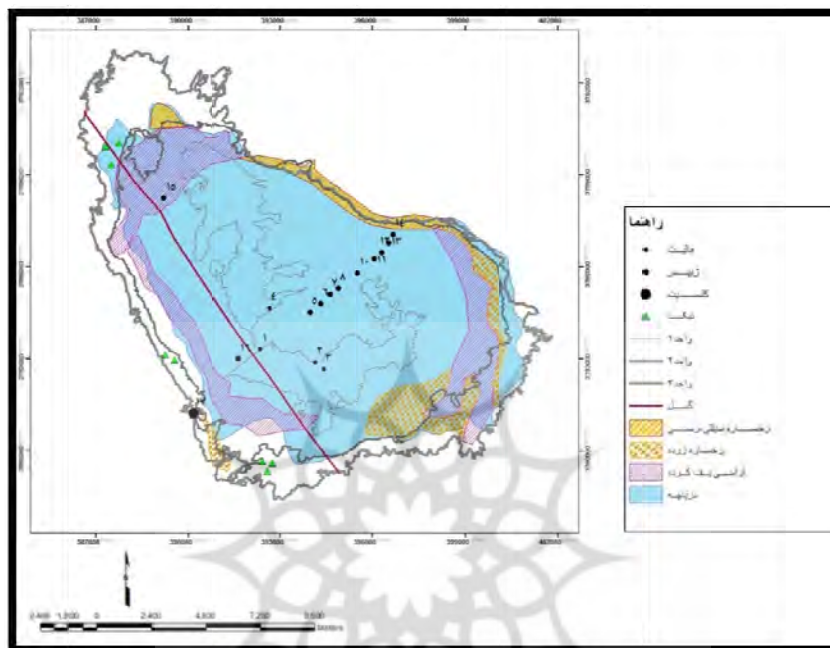
(موفق، ۱۳۷۸)

جدول شماره ۷: نتایج آنالیزهای نمونه‌های گمانه شماره ۵ تا ۱۴

عمق نمونه (متر)	آنالیز شیمی						میزان کانی از زیاد به کم
	درصد منیزیم	درصد پتاسیم	درصد کلسیم	درصد کلر	درصد سولفات	درصد سدیم	
۱.۵-۲.۵	-	-	-	-	-	-	ژیپس، کوارتز، هماتیت

(موفق، ۱۳۷۸)

در منطقه مورد مطالعه، زون آهکی عمدتاً حاوی کانی‌های کلسیت، ژیپس، هالیت، گلوبریت، بازائیت، کوارتز و مسکویت می‌باشد. وجود کانی‌های دولومیت، کلریت و ایلیت نیز در منطقه گزارش شده است. (زمانی، ۱۳۷۸) نمونه‌های ۱۵، ۱۶ و ۱۷ نیز در بازدید میدانی توسط محقق مشاهده شدند. نمونه شماره ۱۵ مربوط به سطوح اراضی پف کرده (واقع در زون سولفات) بوده است. (شکل ۳-۱۳) نمونه شماره ۱۶ با املاح سولفات سدیمی که توسط کارخانه املاح ایران مورد استخراج قرار گرفته‌اند، مطابقت داشت و در نهایت، نمونه شماره ۱۷، اراضی آهکی اطراف روستای طرمزد بوده است.



شکل شماره ۱۱: موقعیت نمونه‌های موجود، بر روی سطوح استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای پلایای میقان

نتیجه‌گیری

دریاچه‌های موجود در حوضه‌های مرکزی ایران، شواهد اقلیمی کواترنری را در خود ثبت کرده‌اند. در دوران سرد که با افزایش بارش و کاهش تبخیر مواجه بودند، شواهد را به صورت پادگانه‌های مطبق و بسترهای سیلابی نگه‌داشته‌اند که بیانگر گستردگی این دریاچه‌ها در دوران مطلوب‌تر است. در دوران گرم با افزایش تبخیر و کاهش باران، کانی‌های محلول رسوب می‌نماید و پهنه‌های سخت از تجمع کانی‌های تبخیری را ایجاد می‌نمایند که شواهد دوره‌های گرم است. دریاچه میقان حوضه‌ای به مساحت ۵۵۲۸ کیلومترمربع را زهکشی می‌کند در این پژوهش، تحلیل مؤلفه‌های اصلی برای شناسایی سطوح ناشی از تحولات اقلیمی در تصویر IRS با تفکیک مکانی ۲۳/۵ متر و تفکیک طیفی ۴ باند انعکاسی انجام شد و سه مؤلفه اول با دارا بودن ۹۹/۰۷ درصد واریانس، دو سطح از گسترش دریاچه را نشان داد که با توجه به مشاهدات میدانی و نقشه‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی، سطح بزرگ‌تر با پهنه‌های رسوبی مطابقت داشت که می‌تواند حداکثر گسترش دریاچه را در آخرین دوره سرد یا یخچالی نشان دهد (شکل ۴). سطح کوچک‌تر به دست آمده از مؤلفه سوم با بخشی از رسوبات تبخیری کنار دریاچه مطابقت دارد که مشاهدات میدانی بخشی را با حداکثر تجمع کانی ژیپس نشان داد (شکل ۶). مشاهدات میدانی علاوه بر رسوب ژیپس، پهنه‌هایی با تجمع غالب کانی‌های کلسیت و هالیت را در اطراف دریاچه نشان داد که برای بررسی دقیق‌تر آن، تحلیل مؤلفه‌های اصلی در تصویر ETM⁺ با تفکیک مکانی ۱۵ متر و تفکیک طیفی ۶ باند انعکاسی، انجام شد و سه مؤلفه اول با ۹۹/۲۷ درصد واریانس، سطوح مختلفی در پلایای میقان، نشان داد که بزرگ‌ترین سطح آن با گسترش کانی غالب کلسیت مطابقت دارد (شکل شماره ۷). این سطح می‌تواند بیانگر آخرین دوره سرد باشد که بارش از زمان حال بیش‌تر بوده و یا دما نسبت به زمان حاضر کاهش داشته است. بنابراین تحولات ژئومورفولوژیکی پلایای میقان بدین صورت بوده است که ابتدا با ترسیب آهک و هم‌زمان با گرم و

خشک شدن اقلیم، تپه‌های ماسه‌ای و نیکاها، هم‌چنین مخروط افکنه‌های قدیمی (مانند مخروط افکنه فراهان نیز در این زون شکل گرفتند. با ادامه خشکی و رسوب ژیبس، رخساره‌هایی هم چون پوسته‌های شورزده، ترک‌های چندوجهی به‌صورت اشکال چادر سرخپوستی، هم‌چنین اراضی پف‌کرده در کویر میقان، ظاهر شدند. مشاهده نشدن پوشش گیاهی از مهم‌ترین ویژگی این محدوده از پلایای میقان می‌باشد. با حرکت به سمت سال‌های خشک‌تر، املاح تبخیری ریزدانه‌تر مانند نمک به‌صورت هاله‌ای اطراف دریاچه میقان رسوب می‌نمایند که در حال حاضر نیز تنها در سال‌های خشک، قابل‌ملاحظه است. در این حالت به علت تبخیر شدید و در اثر رشد بلور در پوسته، اشکال چندوجهی ایجاد می‌شود که لبه آن‌ها در اثر کشش پوسته به‌طرف بالا خمیده می‌شود. این کشیدگی، بیشترین مقدار خود را در پوسته‌های تبخیر شورابه‌های زیرسطحی در طول شکستگی‌های چندوجهی باعث رسوب پوسته‌های شورزده ریزدانه‌ای می‌شود که ترک‌ها را عریض می‌کنند. در حال حاضر، دریاچه میقان در این پهنه قرار گرفته است و در بازدیدهای میدانی نیز، داغ آب‌های نمکی در حاشیه آن مشاهده گردید. قابل‌ذکر است؛ مقایسه سطوح استخراج‌شده از تصاویر ماهواره‌ای منطقه با آزمایش‌های ژئوشیمی رسوبات منطقه که در سال‌های قبل توسط سازمان صنعت و معدن شهرستان اراک برداشت‌شده بود همخوانی داشت.

منابع

- زمانی، فاطمه، ۱۳۷۸. رسوب‌شناسی حوضه تبخیری دریاچه میقان اراک با نگرشی ویژه بر تأثیر این حوضه بر آب‌های منطقه، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی.
- ذوالفقاری، مرتضی، هاشمی، محمدناصر، و حیدری، مریم، ۱۳۸۹. بررسی تغییرات مکانی بارندگی و حجم نزولات جوی در حوضه آبخیز کویر میقان، مجموعه مقالات دومین همایش تالاب‌های کویری ایران، دانشگاه آزاد اسلامی امیرکبیر، اراک.
- کریم پور ریحان، مجید، مشهدی، ناصر، و علوی پناه، کاظم، ۱۳۸۴. بررسی رابطه رخساره‌های ژئومورفولوژی و خصوصیات فیزیکوشیمیایی با رده بندی خاک در حاشیه پلایای سمنان، مجله بیابان، جلد ۷، شماره ۲.
- کرینسلی، دنیل، ۱۹۷۰. کویرهای ایران و خصوصیات ژئومورفولوژیکی و پالئوکلیماتولوژی آن، ترجمه عباس پاشایی، چاپ دوم، سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح.
- علایی طالقانی، محمود، ۱۳۷۵. ژئومورفولوژی و عمران ناحیه‌ای دشت اراک، رساله دکتری، دانشگاه تهران.
- علوی پناه، کاظم، احسانی، امیرهوشنگ، و امید، پرویز، ۱۳۸۳. بررسی بیابانزایی و تغییرات اراضی پلایای دامغان با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای چند زمانه و چند طیفی، مجله بیابان، جلد ۹، شماره ۱.
- امجد یزدان دوست، سبحان، ۱۳۹۲. تلفیق داده‌های ماهواره‌ای و هیدروژئوشیمی جهت تعیین گستردگی پلایای میقان اراک و تأثیر بر آب‌های زیرزمینی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علم و صنعت اراک.
- مبارک‌آبادی، آزاده، ۱۳۸۹. ژئومورفولوژی کویر میقان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه طبرستان، چالوس.
- مهندسین مشاور تاک سبز. طرح بازنگری کانون‌های بحرانی فرسایش بادی کشور، وزارت جهاد کشاورزی، ۱۳۸۹.
- موفق، ایرج. طرح اکتشاف املاح تبخیری در روستای طرمزد اراک فاز ۱، وزارت معادن و فلزات، اداره کل معادن و فلزات استان مرکزی، ۱۳۷۸.
- Bishta, A.Z., (2009)., *Assessing Utilization of Multi-Resolution Satellite Imageries in Geological Mapping, A Case Study of JabalBani Malik Area, Eastern Jeddah City Kingdom of Saudi Arabia, Earth Sci., Vol. 21, No. 1, pp: 27-52.*

- Bishta, A.Z. (2005), *using selective image processing techniques of Landsat-7 data in structural lineaments interpretation of Esh El Mellaha range, North Eastern Desert, Egypt, The fourth International Symposium on Geophysics, Tanta University, and Tanta, Egypt.*
- Blas,L., Garsea,V., Delgado -Huertas,A., Navasa,A., Machiana,J., GonzaaLez-Sampe,p., Riz,A., and Kelts,K.,(2000),**Quaternary palaeohydrological evolution of a playa lake :SaladaMediana, central Ebro Basin, Spain.** *journal of Sedimentology ,NO 47, p. 1135 -1156.*
- Brookes. A., (1982): *Iran A.Geomorphological evidence for climatic change in Iran during the last 20000 year .Bar international series 133.*
- Castaneda, C., Herrero,J., Casterad,A.,(2005). **Landsat monitoring of playa-lakes in the Spanish Monegros desert,** *Journal of Arid Environments, p. 63 497–516.*
- Fubelli,G.,Bekele Abebe.F.,Dramis,S.,(2008).Vinci.**Geomorphological evolution and present-day processes in the DessieGraben (Wollo ,Ethiopia),***journal of Catena,NO 75,p. 28-37.*
- GhahroudiTali M., (2010), *Assessment of Climate Change in Southern Caspian Sea (Khazar Sea), Climate and Water Balance Changes in the Caspian Region ,Astrakhan, Russian Federation, 19-20.*
- Günlü,A., Sivrikaya, F., Baskent, E. Z., Keles, S., Çakir, G., Kadiogullari, A. D(2008), **Estimation of Stand Type Parameters and Land Cover Using Landsat-7 ETM Image: A Case Study from Turkey,** *Sensors 2008, 8, 2509-2525.*
- Gutierrez-Elorza,M.,Desir,G.,GutierrezSantolalla,F.,Marin,S.,(2005), **Origin and evolution of playas and blowouts in the semiarid zone of Tierra de Pinares(Duero Basin ,Spain),***journal of Geomorphology, No 72.p. 177-192.*
- Krinsely,D.,(1970).**A Geomrphological and Paleoclimatological study of the playas of iran .PHD,Final Report Thesis,Air Force Cambridge Research Labs.**
- Mostafa, M.E. and Bishta A.Z. (2004),**Significiance of lineament patterns in rock unit classification and designation: A pilot study on the Gharib-Dara area, northern Estern Desert, Egypt,** *International Journal of Remote Sensing”, 26(7): 1463-1475.*
- Ortega-Ramírez, J., Maillol,M., Bandy,W,Valiente-Banuet,A.,Urrutia Fucugauchi I,J., Mortera-Gutiérrez,G.A., Medina-Sánchez,J., and Chacón-Cruz, GJ.,(2004)**Late Quaternary evolution of alluvial fans in the Playa, El Fresnal region, northern Chihuahua desert, Mexico:Palaeoclimaticimplications,***journal of GeofísicaInternacional ,Vol. 43, Num. 3, p. 445-466.*
- Rizzeto,F.,Tosi,L.,Bonardi,M.,Gatti,P.,Fornasiero,A.,Gambolati,G.,Putti,M.,AndTeatini. P., (2001). **Geomorphological evolution of the southern catchment of the Venice Lagoon (ITALY): The Zennier Basin,** *Scientific research and safeguarding of Venice.*