



Relationship between Patterned Grounds Evolutions and Spatial and Temporal Changes in the Chemical Compounds of SAHL ABAD Playa Salt Flats (Case Study: South Khorasan Province)

Mahdi Saghafi^{1*}

¹ Assistant Professor of Geomorphology, University of Payamenoor, Tehran, Iran

ARTICLE INFO

Article Type: Research article

Article history:

Received 10 November 2018

Accepted 04 February 2019

Available online 27 May 2019

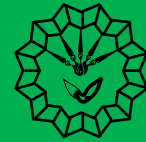
Keywords:

Urban Development Strategy,
RALSPI Model,
Neighborhoods of Eight
District, Shiraz City.

Citation: Saghafi, M. (2019). Relationship between Patterned Grounds Evolutions and Spatial and Temporal Changes in the Chemical Compounds of SAHL ABAD Playa Salt Flats (Case Study: South Khorasan Province). *Geography and Sustainability of Environment*, 9 (1), 19-35. doi: [10.22126/GES.2019.1061](https://doi.org/10.22126/GES.2019.1061)

ABSTRACT

The sensitive environment of Playa, as one of the largest mineral resources, has a special place in economic activities. Chemical compounds available in Playa are essential for soil which are used to fertilize agricultural soil. SAHL ABAD playa in the south Khorasan province, have special geomorphologic landscape by the presence of ephemeral saline lakes, wetlands, salt crusts, surface accumulations of salt and zones of pattern ground and it is always inhabited by mineral and agricultural exploitation. The issue of incorrect exploitation and excessive mineral resources of the Sahl Abad playa with the occurrence of abnormal changes in the playa geomorphology perspective can exacerbate the risks of wind erosion by increasing the sediment load. In this study, percent changes in some of the chemical compounds such as sodium chloride, sodium and gypsum in the playa were calculated with the aim of satellite data for two periods. Besides, using texture and pattern analysis of the PCA1, percent changes in the surface pattern grounds of the playa was calculated. Finally, we study the relationship between these two groups of changes in the playa surface. It was found that soil-surface salt accumulations are dominated by sodium chloride and gypsum and distribution of chemical soluble is not uniform across the playa landscape resulting in the variety form of pattern ground. Moreover, chemical compounds, are correlated with each other. There is positive relationship between percentage changes in patterned grounds and the percentage of changes in the chemical compounds at a significant level $\alpha = 0.05$. The greatest effect on the chemical compounds studied on the evolution of pattern grounds of playa surfaces is related to changes in the concentration of sodium chemical composition with a correlation of about 0.35.



رابطه بین تحولات زمین‌های الگودار با تغییرات زمانی و مکانی غلظت ترکیبات شیمیایی کفه نمکی پلایای سهل آباد (مطالعه موردی: استان خراسان جنوبی)

مهدی ثقفی^{۱*}

^۱استادیار ژئومورفولوژی، دانشگاه پیام‌نور، تهران، ایران

چکیده

محیط حساس پلایا به‌مثابه یکی از بزرگ‌ترین منابع معدنی، جایگاه ویژه‌ای در فعالیت‌های اقتصادی دارد. ترکیبات شیمیایی موجود در پلایا برای خاک بسیار ضروری بوده و به‌منظور حاصلخیزی خاک کشاورزی مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد. پلایای سهل‌آباد در استان خراسان جنوبی به‌سبب داشتن دریاچه‌های اتفاقی شور، اراضی مرطوب، پوسته‌های نمکی، توده‌های نمک سطحی و زمین‌های الگودار، چشم‌انداز ژئومورفولوژیک ویژه‌ای ایجاد کرده و از سوی ساکنان مورد بهره‌برداری‌های معدنی و کشاورزی قرار می‌گیرد. مسئله بهره‌برداری غیر اصولی و بیش‌ازحد منابع معدنی پلایای سهل‌آباد، ضمن بروز تحولات غیر طبیعی در چشم‌انداز ژئومورفولوژی پلایا می‌تواند باعث تشدید مخاطرات ناشی از فرسایش بادی از طریق افزایش بار رسوب قابل حمل شود. در این بررسی درصد تغییرات برخی از عناصر شیمیایی شامل کلرید سدیم، سدیم و ژیپس با کمک داده‌های ماهواره‌ای در طی دو دوره زمانی محاسبه شده است. درصد تغییرات زمین‌های الگودار نیز با کمک تجزیه و تحلیل الگو و بافت اولین جزء اصلی تصاویر ماهواره‌ای محاسبه شده است. در نهایت، رابطه همبستگی بین این دو گروه از تغییرات در سطح کفه نمکی پلایا بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهد که توده‌های نمک در سطح خاک پلایا غالباً از کلرید سدیم و ژیپس تشکیل شده و یکنواخت‌نبودن توزیع مواد شیمیایی محلول در محدوده چشم‌انداز پلایا سبب تنوع در تشکیل زمین‌های الگودار شده است؛ همچنین بررسی رابطه بین تغییرات به‌وجودآمده در غلظت ترکیبات شیمیایی مورد بررسی با یکدیگر همبستگی ضعیفی را نشان می‌دهد. در نهایت بررسی رابطه بین تغییرات ترکیبات شیمیایی با تغییرات به‌وجودآمده در زمین‌های الگودار کفه پلایا وجود همبستگی از نوع مثبت و ضعیف در سطح معنی‌داری $\alpha = 0/05$ را نشان می‌دهد. بیشترین اثرگذاری در بین ترکیبات شیمیایی مورد بررسی بر تحولات زمین‌های الگودار کفه پلایا مربوط به تغییرات غلظت ترکیب شیمیایی سدیم با مقدار همبستگی حدود $0/35$ است.

مشخصات مقاله

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخچه مقاله:

دریافت ۱۹ آبان ۱۳۹۷

پذیرش ۱۵ بهمن ۱۳۹۷

دسترسی آنلاین ۶ خرداد ۱۳۹۸

کلیدواژه‌ها:

پلایا، سنجش‌ازدور، ترکیبات شیمیایی، زمین‌های الگودار، سهل‌آباد.

استناد: ثقفی، مهدی (۱۳۹۸). رابطه بین تحولات زمین‌های الگودار با تغییرات زمانی و مکانی غلظت ترکیبات شیمیایی کفه نمکی پلایای سهل‌آباد (مطالعه موردی: استان خراسان جنوبی). *جغرافیا و پایداری محیط*، ۹ (۱)، ۳۵-۱۹. doi: [10.22126/GES.2019.1061](https://doi.org/10.22126/GES.2019.1061)

مقدمه

بر روی رسوبات دریاچه‌ای متعلق به دوره‌های زمین‌شناسی گذشته در دشت‌های آبرفتی مناطق خشک، فرورفتگی‌هایی با ویژگی‌های هیدرولوژیکی متفاوت وجود دارد که در بعضی از سال‌ها به‌وسیله آب‌های فصلی پوشیده می‌شوند. این فرورفتگی‌ها همان پلایاها^۱ هستند که نام خود را به این مناطق بیابانی داده‌اند (کلینسلی^۲، ۱۳۸۱: ۱۲). در واقع پلایا سیستم زهکشی بسته و با توده آبی کم‌عمق است که به سبب حاکمیت شرایط خشکی در محیط آن، شدیداً تحت تأثیر فرایند تبخیر قرار می‌گیرد (جودی^۳، ۱۹۹۱). پلایا یا دریاچه‌های انتهایی^۴، سطحی مسطح با کمترین ناهمواری دارد.

با افزایش جمعیت و تقاضا برای محصولات کشاورزی و نیازهای هیدرولوژیکی، مطالعه پلایاها اهمیت زیادی یافته است (روزن^۵، ۱۹۹۴: ۱۶)؛ چراکه کمبود رطوبت و محدودبودن فرایندهای بیولوژیکی و فعل و انفعالات فیزیکی و شیمیایی، محیط پلایا را به‌مثابه یکی از بزرگ‌ترین منابع معدنی مطرح کرده و ترکیبات شیمیایی موجود در پلایا که در اثر فرایندهای فرسایشی به‌ویژه آبشویی انباشته شده‌اند برای خاک ضروری هستند (واشنگتن^۶ و همکاران، ۲۰۰۳؛ پروسپرو^۷ و همکاران، ۲۰۰۲)؛ از طرف دیگر کفه‌های نمکی پلایاها یکی از مهم‌ترین منابع انتشار گردوغبار در مناطق خشک نیز هستند (واشنگتن و همکاران، ۲۰۰۳؛ پروسپرو و همکاران، ۲۰۰۲) و خصوصیات کانی‌شناسی آن‌ها در این زمینه بسیار مؤثر است (رینولدز^۸ و همکاران، ۲۰۰۷). افزون بر این، اثر روابط متقابل بین تغییرات منطقه‌ای الگوهای آب‌وهوایی و فعالیت‌های تکتونیکی، غالباً در نهشته‌های رسوب‌کرده در کفه پلایا ثبت می‌شود (برایانت^۹، ۲۰۱۳). با توجه به اینکه حدود ۵۰ هزار پلایا با کفه نمکی بر روی سطح زمین وجود دارد (نیل^{۱۰}، ۱۹۷۵: ۳۶۴)، منبع ثروت طبیعی قابل توجهی برای جوامع بشری مهیا است، این در حالی است که محیط طبیعی آن‌ها از جمله فعال‌ترین محیط‌های ژئومورفولوژیک سطح زمین محسوب می‌شود (ملینگتون^{۱۱} و همکاران، ۱۹۸۹؛ شاو و برایانت^{۱۲}، ۲۰۱۱: ۳۷۵)؛ بنابراین، بهره‌برداری از منابع این محیط‌های حساس باید به‌گونه‌ای انجام شود که منجر به از میان رفتن پایداری و توازن طبیعی ایجادشده در محیط آن‌ها نشود، چراکه از میان رفتن پایداری محیط آن‌ها نه تنها مانع از بهره‌برداری این منابع ثروت می‌شود؛ بلکه در قالب بیابان‌زایی مخاطرات بسیاری را نیز به‌همراه خواهد داشت.

چاله غالب پلایاها منشأ ساختمانی دارد. با این حال، فرایندهای ژئومورفولوژی نیز به‌ویژه از طریق فرسایش باد در مناطق خشک و با تشکیل لندفرم حفره‌های بادبردگی^{۱۳} که از وسعت و عمق مناسبی برای تجمع رواناب‌ها و تشکیل دریاچه‌های موقتی برخوردار هستند، باعث ایجاد پلایاهایی با منشأ فرسایشی می‌شوند (گوتیرزالرزا^{۱۴} و همکاران، ۲۰۰۵). سطح پلایاها به‌طور عمده با الگوهای متفاوت نواری، دایره‌ای یا مارپیچی و مناطق برهنه با

- 1- Playa
- 2- Klinsley
- 3- Goudie
- 4- Terminal Lakes
- 5- Rosen
- 6- Washington
- 7- Prospero
- 8- Reynolds
- 9- Bryant
- 10- Neal
- 11- Millington
- 12- Shaw & Bryant
- 13- Blowouts
- 14- Gutierrez-Elorza

پوشش گیاهی پوشیده شده است (ویکنز و کولیر^۱، ۱۹۷۱: ۴۸).

مناطق برهنه پلایاها نیز به لحاظ ژئومورفولوژی از اشکال مختلفی تشکیل شده که زمین‌های الگودار با چشم‌اندازی ویژه از شاخص‌ترین آن‌ها محسوب می‌شوند. این زمین‌ها در واکنش به شرایط خشکی محیط ایجاد می‌شوند، به این ترتیب که ترکیبات شیمیایی به‌جامانده در اثر تبخیر بر سطح پلایا پوسته‌هایی را ایجاد می‌کند که می‌توانند الگوهای چندضلعی صاف و پیوسته یا برآمده و شکافدار را تشکیل دهند (گوداسپید و وینکورس^۲، ۱۹۷۸: ۵۴). در این فرایند غلظت بیش‌ازحد ترکیبات شیمیایی شرط لازم برای تشکیل زمین‌های الگودار است. نحوه توزیع جغرافیایی پوشش گیاهی در مناطق بیابانی و حاشیه پلایاها بیانگر وجود ارتباط بین توزیع جغرافیایی پوشش گیاهی پلایاها با تغییرات غلظت ترکیبات شیمیایی خاک است؛ به‌نحوی که افزایش غلظت ترکیبات شیمیایی با مناطق فاقد پوشش گیاهی و توزیع زمین‌های الگودار منطبق است (وایت^۳، ۱۹۶۹). فرایند و الگوی فرسایش آبی در سطح پلایا نیز از طریق آبشویی بر میزان غلظت ترکیبات شیمیایی پلایا و به تبع آن بر الگو و توزیع اشکال زمین‌های الگودار و پوشش گیاهی تأثیر می‌گذارد (وایت، ۱۹۷۱؛ مونتانا^۴، ۱۹۹۲). الگوی توزیع انواع پوشش‌های سطحی پلایا به‌ویژه پوشش درختان و ترکیبات شیمیایی با عمق سطح آب زیرزمینی و نوسانات آن رابطه مستقیمی دارد (ورال^۵، ۱۹۶۰).

در ایران مطالعات کمی بر روی پلایاها انجام شده که از آن جمله مطالعه و طبقه‌بندی پلایاهای ایران براساس خصوصیات ژئومورفولوژیکی آن‌ها است (کلینسلی، ۱۳۸۱). براساس مطالعات انجام‌شده، بیشتر پلایاها در ایران از نظر زمین‌شناسی چاله‌های ساختمانی هستند که با انباشت رسوبات دوران کواترنری پر شده‌اند (درویش‌زاده، ۱۳۷۱). نتایج بررسی تغییرات واحدهای ژئومورفیک برخی از پلایاهای ایران مرکزی بیانگر کاهش مساحت تپه‌های ماسه‌ای و دریاچه‌های موقتی در پلایاهای مورد مطالعه است؛ به‌طوری که در بیشتر موارد این واحدها به اراضی رسی تبدیل شده‌اند (محمدی، ۱۳۹۴). بررسی تحولات ژئومورفیک پلایای کهک در استان خراسان جنوبی نیز با استفاده از برخی شیوه‌های معمول در پردازش تصاویر ماهواره‌ای تغییرات زمانی و مکانی شوری و تثبیت فرایند گسترش و توسعه پلایا را نشان می‌دهد (رضایی‌مقدم و ثقفی، ۱۳۸۵). مطالعه زمین‌شناسی پلایای سهل‌آباد در استان خراسان جنوبی نیز نشان می‌دهد که منشأ آن حوضه فروافتاده‌ای است که بر اثر عملکرد دو سری از گسل‌های امتدادلغز راست‌گرد به‌وجود آمده، به‌طوری که کفه آن در حال گسترش است (رئیس‌السادات و همکاران، ۱۳۹۱).

در پژوهش دیگری مناطق متأثر از شوری پلایای سهل‌آباد با استفاده از شاخص‌های سنجش‌ازدور بررسی شده که نتایج آن بیانگر قابلیت مناسب شاخص‌های طیفی در این زمینه است (ثقفی^۶، ۲۰۱۷). باوجود مطالعات بسیاری که در زمینه پلایاها از جنبه‌های مختلف انجام شده، درخصوص بررسی ارتباط زمین‌های الگودار و ترکیبات شیمیایی موجود در پلایاها که موضوع نوشتار پیش رو است، در نقاط مختلف دنیا پژوهش‌های اندکی انجام شده که از جمله مهم‌ترین آن‌ها مطالعه مورفولوژی و تغییرات میکرو ناهمواری‌ها در سطح کفه نمکی بیابان نامیب است که تغییرات مورفولوژیکی کفه مورد مطالعه را مربوط به تغییرات در غلظت ترکیبات شیمیایی کانی‌های

1- Wickens & Collier

2- Goodspeed & Winkworth

3- White

4- Montana

5- Worrall

6- Saghafi

تشکیل‌دهنده پوسته‌ها و چندضلعی‌های نمکی عنوان می‌کند (میلوسکی^۱ و همکاران، ۲۰۱۷). باوجود این، در کشور و منطقه مورد مطالعه در این زمینه مطالعه‌ای انجام نشده است.

طبیعت سخت و محدودیت دسترسی به محیط پلایاها، مطالعه آن‌ها را از طریق مشاهدات مستقیم دشوار می‌کند، این مسئله وقتی بغرنج‌تر می‌شود که فرایندهای موقتی رسوب کانی‌های تبخیری از ترکیبات شیمیایی آب‌شور کف پلایا بر غیرممکن شدن اخذ اطلاعات مستقیم از این محیط‌ها می‌افزاید. از این‌رو در بیشتر مطالعات صورت گرفته بر روی پلایاها، از شیوه‌های غیر مستقیم مانند سنجش‌ازدور که کارایی آن در زمینه مطالعه پلایاها مورد تأکید قرار گرفته است (برایانت، ۲۰۱۳) برای اخذ اطلاعات و تجزیه و تحلیل‌های مربوطه استفاده می‌شود. در پژوهش حاضر نیز با هدف بررسی روابط متقابل بین تغییرات زمانی و مکانی غلظت ترکیبات شیمیایی کف نمکی پلایای سهل‌آباد و اشکال ژئومورفولوژیک حاصل از آن‌ها در انواع مختلف و متنوع زمین‌های الگودار از داده‌های سنجش‌ازدور استفاده شده است.

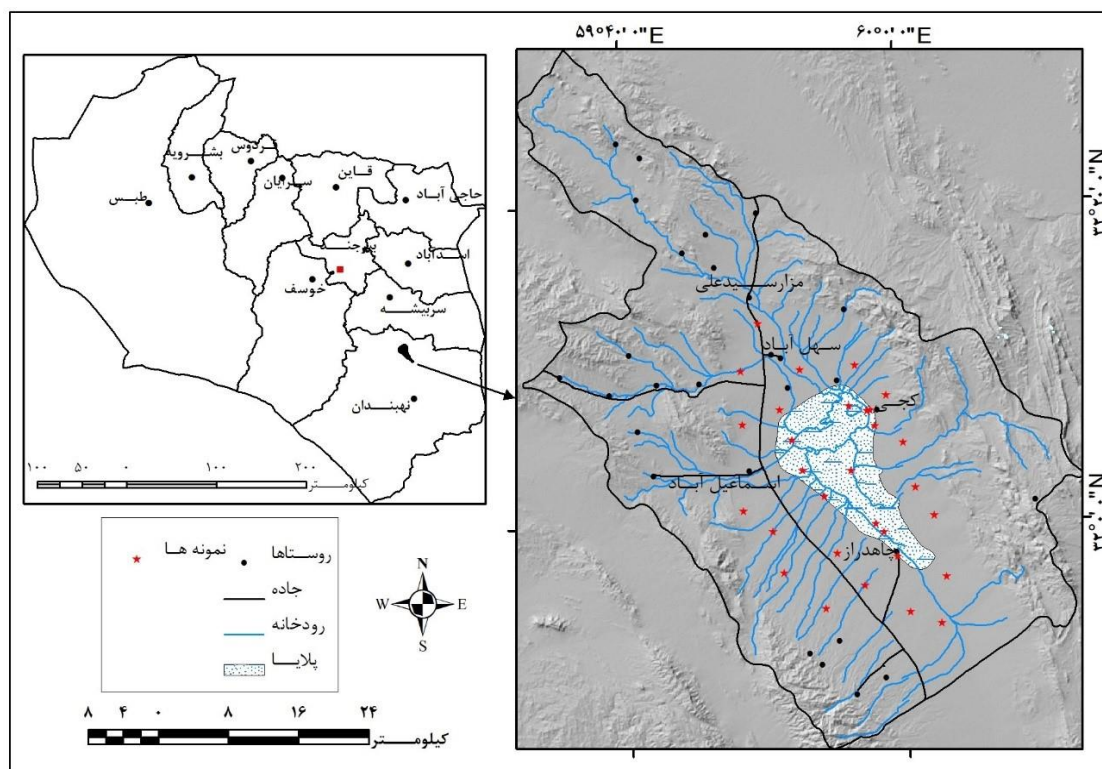
معرفی منطقه مورد بررسی

حد فاصل شهرهای سریشه در شمال و نهبندان در جنوب (استان خراسان جنوبی) و در حاشیه محور ارتباطی بیرجند - زاهدان، منطقه کویری واقع شده که در محدوده تقسیمات سیاسی شهرستان سریشه قرار گرفته و با عنوان پلایای سهل‌آباد شناخته می‌شود (شکل ۱). مساحت پلایای سهل‌آباد حدود ۱۶۳/۹ کیلومتر مربع و مساحت حوضه زهکشی آن در حدود ۲۴۸۰ کیلومتر مربع است. چاله پلایای مورد مطالعه غالباً خشک بوده ولی طی وقوع بارش‌های اتفاقی، بخشی از سطح آن تا عمق چندده سانتی‌متر از آب پوشیده می‌شود. این چاله در واقع یکی از بزرگ‌ترین کویرهایی است که در نیمه جنوبی استان خراسان جنوبی واقع شده است. متوسط بارش‌های سالانه منطقه مورد مطالعه براساس اطلاعات هواشناسی نزدیک‌ترین ایستگاه (ایستگاه سینوپتیک سریشه) طی دوره زمانی ۲۰۱۷-۲۰۰۷ حدود ۱۵۶/۶ میلی‌متر است. تغییرات زمانی بسیار زیاد ریزش‌های جوئی که از خصوصیات شرایط آب‌وهوایی مناطق بیابانی است، در محدوده مورد مطالعه حاکمیت داشته و دامنه تغییرات دمای حداکثر در آن بین ۱۳ تا ۳۹ درجه سانتی‌گراد و متوسط درجه حرارت منطقه ۱۶/۲ درجه سانتی‌گراد است. از این‌رو پلایای سهل‌آباد براساس روش طبقه‌بندی اقلیمی آمبرژه در قلمرو آب‌وهوای نیمه‌خشک سرد واقع شده است.

فرایندهای ژئومورفیک شاخص مناطق خشک^۲ در منطقه مورد مطالعه طی ماه‌های خشک سال که غالباً از اردیبهشت تا شهریور است، استمرار دارد و تنها جریان‌های آب سطحی موقت در هنگام بارش‌های ناچیز و پراکنده در منطقه به‌وجود می‌آید. در منطقه مورد مطالعه تعداد زیادی مجاری آبرفتی قدیمی هست که نشان‌دهنده فعالیت زیاد سیستم‌های آبرفتی منطقه در گذشته است. فقدان شبکه زهکشی مناسب منجر به ذخیره‌شدن آب حاصل از بارش در گودال‌های طبیعی کوچک تا بزرگ منطقه شده است. این گودال‌های انباشته از آب سطحی در مواقعی که میزان تبخیر بالا است، تبدیل به گودال‌های آب‌شور می‌شوند. از این‌رو در خلال بارش‌های کمابیش سنگین، رودخانه‌ها و جریان‌ات فصلی، چاله‌های منطقه مورد مطالعه را تغذیه می‌کنند. در هنگام وقوع بارش (فصل‌های سرد سال) این جریان‌ها مواد تخریبی و هوازده را با خود حمل کرده و در سطح پلایا ته‌نشین می‌سازند. میزان شوری خاک در این مناطق بستگی به توازن بین مقادیر نهشته‌شدن نمک از طریق فرایند تبخیر و رقیق‌شدن در اثر وقوع بارش دارد.

1- Milewski

2- Aeolian Process



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و نقشه سایه‌روشن ناهمواری‌های منطقه که توزیع جغرافیایی پدیده‌های عمده طبیعی و انسانی در حاشیه پلایای سهل‌آباد بر روی آن نمایش داده شده است.

پلایای سهل‌آباد میان دو رشته از ارتفاعات با امتداد شمال غرب به جنوب شرق که به موازات هم هستند، واقع شده است. حداکثر ارتفاع در ناهمواری‌های بخش شمال و غرب به ۲۴۸۲ متر و حداکثر ارتفاع در ناهمواری‌های بخش شرقی و جنوبی برابر با ۲۶۲۰ متر است. با توجه به موقعیت جای‌گیری پلایای سهل‌آباد، جریانات جوی منطقه که مهم‌ترین آن‌ها بادهای ۱۲۰ روزه سیستان است در میان این ناهمواری‌ها فشرده شده و بر سرعت وزش و قدرت فعالیت آن‌ها بر سطح منطقه مورد مطالعه افزوده می‌شود. حداکثر طول پلایای سهل‌آباد در حدود ۲۳/۴ کیلومتر و عرض آن بین ۴ تا ۱۱ کیلومتر متغیر است. ارتفاع منطقه مورد مطالعه از سطح دریا در حدود ۱۳۲۰ متر است. بررسی‌های زمین‌شناسی نشان‌دهنده حضور سنگ‌های دگرگونی از جمله پگماتیت‌ها، توده‌های نفوذی و سنگ‌های آتشفشانی با خصوصیات سنگ‌شناسی متفاوت در حوضه آبریز این پلایا است. به‌طور کلی پلایای سهل‌آباد در قلمرو حاکمیت زون فلیش و آمیزه‌های رنگین شرق ایران واقع شده است (اشتوکلین^۱ و همکاران، ۱۳۵۲: ۳۶) و گروه‌های مختلفی از سنگ‌های متعلق به دوره‌های کرتاسه و ترشیاری، سامانه رشته‌کوه‌های شمالی و شرقی را تشکیل داده‌اند. ارتفاعات جنوب و غرب نیز از سنگ‌های متعلق به دوره ترشیاری از قبیل توف، مارن و کنگلومرا تشکیل شده است.

لندفرم‌های تشکیل شده از نهشته‌های سطحی در منطقه متعدد هستند و شامل تراس‌های آبرفتی متوالی، اشکال تراکمی وابسته به فرایندهای فرسایشی باد در مناطق خشک، شیب‌های واریزه‌ای، تالوس‌ها^۲، حفره‌های ناشی از بادبردگی و پلایا هستند. برخی از این لندفرم‌ها و نهشته‌ها تغییرات فرایندهای فرسایشی گذشته را که به دلیل وقوع تغییرات آب‌وهوایی در کوآترنری ایجاد شده، در خود ثبت کرده‌اند.

مواد و روش‌ها

با توجه به اینکه در این بررسی تجزیه و تحلیل تغییرات ترکیبات شیمیایی و تحولات زمین‌های الگودار در محدوده کفه پلایای سهل‌آباد مدّ نظر قرار گرفته؛ بنابراین، در ابتدا محدوده کفه پلایا تعیین شده است. برای این منظور پارامترهای توپوگرافی شامل شیب، ارتفاع نسبی و جهت دامنه‌ها از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ و مدل ارتفاعی رقومی شده، استخراج و در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی^۱ به روش خودکار (برابیان^۲، ۱۹۹۸: ۳۵؛ رضایی مقدم و ثقفی، ۱۳۸۳) طبقه‌بندی و در نهایت محدوده کفه پلایا استخراج شده است. محدوده تعیین شده به صورت میدانی با استفاده از سیستم تعیین موقعیت جهانی^۳ و عکس‌های هوایی با مقیاس ۱:۵۵۰۰۰ بازبینی شده است.

متغیرهای مورد نظر در این مطالعه عبارت‌اند از ۱- تغییرات غلظت ترکیبات شیمیایی کفه پلایا که به مثابه متغیرهای مستقل در نظر گرفته شده‌اند و ۲- تغییرات مورفولوژی زمین‌های الگودار که به منزله متغیر وابسته در نظر گرفته شده است. برای استخراج و بررسی تغییرات ترکیبات شیمیایی شامل سدیم، کلرید سدیم و ژپیس از تصاویر ماهواره‌ای لندست استفاده شده است. برای این منظور و با توجه به اینکه در فصل تابستان زمین‌های الگودار به دلیل بروز مقادیر حداکثر تبخیر، بیشترین میزان غلظت ترکیبات شیمیایی را دارند، این فصل به مثابه زمان مورد نظر در اخذ تصاویر ماهواره‌ای، انتخاب شده است. براساس این و با توجه به امکان دسترسی به تصاویر ماهواره‌ای، سال‌های ۲۰۰۱ و ۲۰۱۱ با فاصله زمانی ۱۰ سال انتخاب شد (جدول ۱).

پس از گرفتن تصاویر ماهواره‌ای، تمامی مراحل پیش‌پردازش شامل تصحیحات رادیومتر و هندسی (ریچارد و جیا^۴، ۱۹۹۹: ۱۳۷) انجام شد. در مرحله بعد، اطلاعات مربوط به غلظت ترکیبات شیمیایی سطحی با محاسبه تشابه طیف تصاویر با یک طیف مرجع مانند کتابخانه طیفی موجود در نرم‌افزار آردس^۵ و در قالب شاخص‌های تهیة نقشه از مواد سطحی شامل سدیم، ژپیس و کلرید سدیم استخراج شد. صحت اطلاعات مربوط به شاخص‌های استخراج شده در خصوص ترکیبات شیمیایی با استفاده از شاخص هدایت الکتریکی^۶ ارزیابی شده است. هدایت الکتریکی خاک متأثر از غلظت انواع ترکیبات شیمیایی موجود در آن به ویژه ترکیبات شیمیایی مورد بررسی در پژوهش حاضر است. برای این منظور از داده‌های میدانی مربوط به هدایت الکتریکی که در مطالعه دیگری از منطقه به دست آمده، استفاده شده است (ثقفی، ۲۰۱۷). به این ترتیب، تعداد ۳۱ نمونه خاک سطحی اخذ شده از محدوده دشت با توزیع جغرافیایی تصادفی (شکل ۱) با کمک دستگاه هدایت‌سنج الکتریکی در آزمایشگاه بررسی شد؛ سپس، صحت اطلاعات مربوط به شاخص‌های استخراج شده از ترکیبات شیمیایی که طبقه‌بندی نشده‌اند، در برابر داده‌های میدانی با محاسبه ضریب همبستگی مکانی تعیین شد. در مرحله بعد با استفاده از روش تفریق تصاویر^۷ تغییرات به وجود آمده در شاخص‌های استخراج شده از ترکیبات شیمیایی طی دو دوره زمانی، طبقه‌بندی شده است (هال^۸، ۱۹۹۵: ۴۹).

جدول ۱. مشخصات تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده

ماهواره	کد شناسایی	تاریخ تصویر	قدرت تفکیک	سنجنده
لندست ۷	۱۶۸/۰۳۴۰۰	تابستان ۲۰۰۱	۲۸/۵	ETM+
لندست ۵	۱۶۸/۰۳۴۰۰	تابستان ۲۰۱۱	۲۸/۵	TM

1- Geographical Information System (GIS)

2- Brabyan

3- Global Position System (GPS)

4- Richards & Jia

5- Erdas Imagine

6- Electric Conductivity (EC)

7- Image Differencing

8- Hall

برای طبقه‌بندی این تغییرات آستانه مقدار ۱۰٪ تغییر در نظر گرفته شده است. به این ترتیب، تغییرات در پنج گروه ۱- مناطق با تغییرات افزایشی بیش از ۱۰٪؛ ۲- مناطق دارای تغییرات افزایشی کمتر از ۱۰٪؛ ۳- مناطق با تغییرات کاهش‌ی بیش از ۱۰٪؛ ۴- مناطق با تغییرات کاهش‌ی کمتر از ۱۰٪ و ۵- مناطق بدون تغییر، طبقه‌بندی شده‌اند.

زمین‌های الگودار کفۀ پلایا مورد مطالعه شامل پوسته‌ها و پهنه‌های نمکی، چندضلعی‌های نمکی، اراضی مرطوب، سطوح شخم‌خورده و مناطق برهنه است که مورفولوژی مجموع آن‌ها به‌مثابه زمین‌های الگودار و متغیر وابسته بررسی شده است. با توجه به اینکه مورفولوژی زمین‌های الگودار متأثر از متغیرهای شیب، ارتفاع، جهت دامنه و مساحت است، برای استخراج مجموع آن‌ها در قالب شاخص بافت از فیلترهای مربوط به شناسایی بافت تصاویر که بر روی اولین جزء از مؤلفه‌های اصلی^۱ تصاویر ماهواره‌ای اعمال شده، استفاده شده است. صحت اطلاعات مربوط به توزیع مکانی زمین‌های الگودار که در این بخش از تصاویر ماهواره‌ای استخراج شده نیز با استفاده از عکس‌های هوایی منطقه بررسی شده است.

درنهایت، برای بررسی رابطه بین متغیرها با توجه به وسعت منطقه و حجم جامعه آن‌ها، فرایند نمونه‌گیری انجام شده است. برای این منظور محدوده کفۀ پلایا به ۱۶۴ مربع با مساحت یک کیلومتر مربع، شبکه‌بندی شده و با استفاده از افزونه آنالیز آماره‌های منطقه‌ای^۲ نرم‌افزار آرک. جی. آی. اس^۳، مقادیر متغیرها برای تمامی ۱۶۴ مربع نمونه تعیین شده است. به این ترتیب، تعداد ۱۶۴ نمونه حاوی اطلاعات آماری در چهار گروه متغیر شامل متغیرهای مربوط به تغییرات غلظت ترکیبات شیمیایی سدیم، کلرید سدیم و ژپس به‌مثابه متغیرهای مستقل و بافت زمین‌های الگودار به‌منزله متغیر وابسته، حاصل شد. درنهایت برای آنالیز فرض اصلی نوشتار حاضر درخصوص بررسی رابطه بین تغییرات در غلظت ترکیبات شیمیایی سطحی با بافت زمین‌های الگودار، نمونه‌های به‌دست‌آمده در محیط نرم‌افزار ان. سی. اس. اس^۴ پس از استانداردسازی از طریق محاسبه ماتریس همبستگی پیرسون مورد تجزیه و تحلیل استنباطی در سطح احتمال ۹۵٪ قرار گرفته‌اند.

نتایج

نتایج بررسی روابط بین متغیرهای شیمیایی و تحولات در زمین‌های الگودار مبتنی بر هدف اصلی و روش این مطالعه در سه بخش ارائه شده است. در بخش اول تغییرات در ترکیبات شیمیایی کفۀ پلایا به‌مثابه متغیر مستقل از تصاویر ماهواره‌ای استخراج و با کمک داده‌های میدانی اعتبارسنجی شده است. در بخش بعد، توزیع فضایی زمین‌های الگودار کفۀ پلایا به‌منزله متغیر وابسته نیز از تصاویر ماهواره‌ای، عکس‌های هوایی و مشاهدات میدانی استخراج و بررسی شده و درنهایت روابط بین این متغیرها بررسی شده است؛ از این‌رو، نتایج نوشتار پیش رو در سه بخش ارائه شده است.

در بررسی تغییرات ترکیبات شیمیایی کفۀ پلایا، نتایج محاسبه شاخص‌های استخراج ترکیبات شیمیایی مورد نظر، وضعیت توزیع جغرافیایی و میزان تمرکز آن‌ها را در دو دوره زمانی مختلف نشان می‌دهد. ارزیابی همبستگی مکانی اطلاعات استخراج‌شده درخصوص غلظت ترکیبات شیمیایی مورد بررسی در کفۀ پلایای سهل‌آباد در برابر داده‌های میدانی هدایت الکتریکی نشان‌دهنده دقت بین ۶۸٪ تا ۸۲٪ اطلاعات استخراج‌شده از تصاویر ماهواره‌ای طی دوره‌های مورد بررسی است (جدول ۲).

1- Principal Component Analysis (PCA)

2- Zonal Statistic

3- Arc GIS

4- NCSS

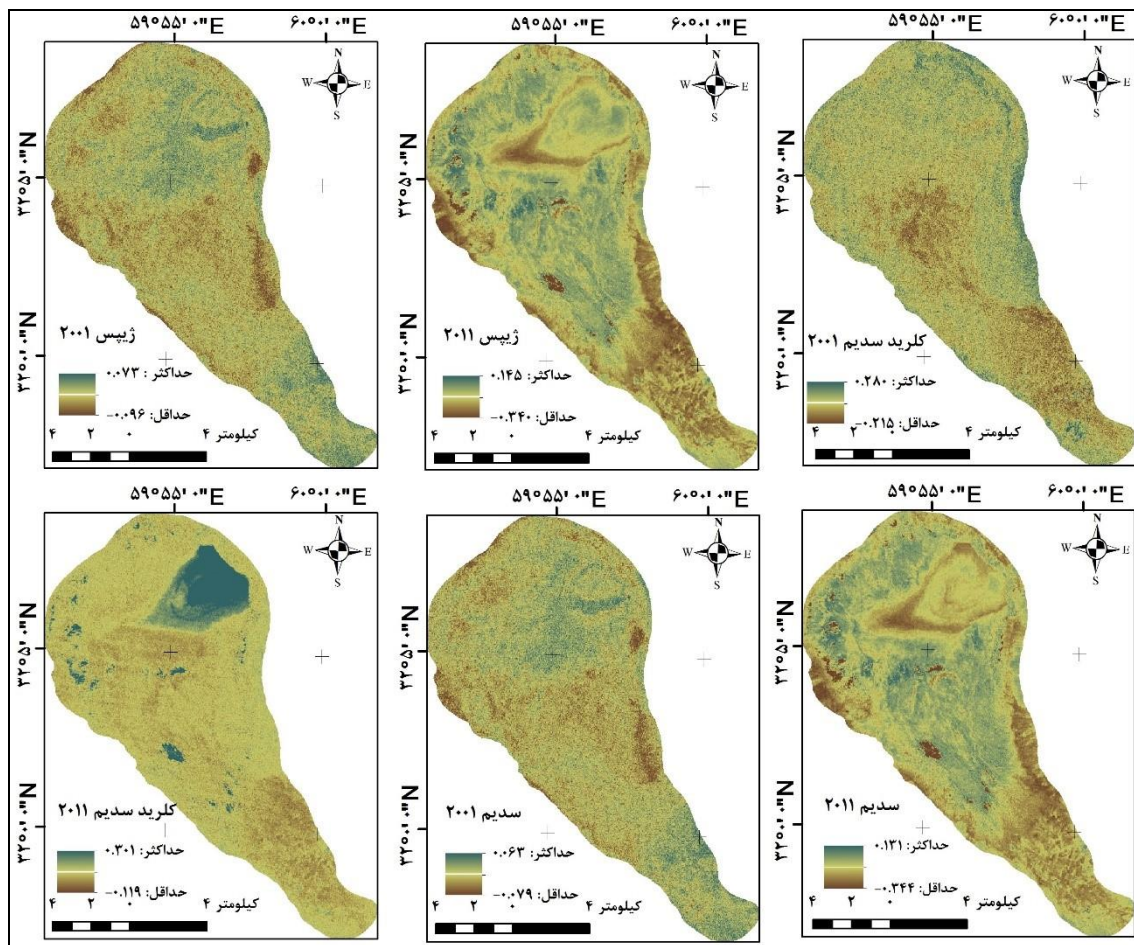
جدول ۲. ماتریس همبستگی مکانی بین مقادیر داده‌های میدانی هدایت الکتریکی و شاخص‌های ترکیبات شیمیایی استخراج‌شده از تصاویر ماهواره‌ای برای دو دوره زمانی مختلف که نشان‌دهنده میزان دقت اطلاعات استخراج‌شده است.

سال ۲۰۰۱	کلرید سدیم	ژپس	سدیم
داده‌های میدانی	۰/۷۸۲۶	۰/۶۸۹۴۴	۰/۷۴۷۲۲
P-Value	۰/۰۰۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰۰۰
تعداد نمونه	۱۶۴	۱۶۴	۱۶۴
سال ۲۰۱۱	کلرید سدیم	ژپس	سدیم
داده‌های میدانی	۰/۷۴۳۲۷	۰/۶۱۸۹۷	۰/۸۲۴۷۳
P-Value	۰/۰۰۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰۰۰
تعداد نمونه	۱۶۴	۱۶۴	۱۶۴

با توجه به صحت تخمینی اطلاعات استخراج‌شده، مشاهده توزیع جغرافیایی غلظت ترکیبات شیمیایی در کفه پلایا تغییرات شدیدی را به تفکیک دوره‌های زمانی مورد بررسی نشان می‌دهد. براساس نتایج به‌دست‌آمده، بیشترین میزان تمرکز ترکیبات شیمیایی در هر دو دوره زمانی در بخش مرکزی چاله پلایا که منطبق با عمیق‌ترین بخش آن است، مشاهده می‌شود (شکل ۲)؛ همچنین میزان غلظت ترکیبات شیمیایی مورد بررسی به‌سمت حاشیه پلایا با توجه به میزان شیب و عمق بسیار اندک، روند کاهشی را نشان می‌دهد. ترکیبات شیمیایی ژپس و کلرید سدیم قسمت عمده کانی‌های تبخیری حوضه زهکشی پلایای سهل‌آباد را تشکیل داده‌اند به‌نحوی که مناطق وسیعی از سطح و دامنه‌های پست آن را پوشانده‌اند. متبلورشدن این ترکیبات در سطح و سایر رخداد‌های مشابه، با نحوه استفاده از زمین به‌ویژه آبیاری شدید ارتباط مستقیم دارد و همچنین توزیع مکانی آن‌ها در کفه پلایا متأثر از میزان بارش، رواناب حاصل از بارش و فرایند تبخیر است. تبلور این ترکیبات در زمین‌های کشاورزی شاهدهی انکارناپذیر بر تداوم تولید پوسته‌های نمکی توسط نیروی شعریه و تبخیر آب زیرزمینی در سطح زمین به‌جای تبخیر از توده‌های آب راکد است. در غیر این صورت، فرایند آبشویی باعث ایجاد منطقه‌ای از بلورهای نمک در زیر خاک سطحی و در نزدیکی سطح آب‌های دائمی می‌شود. دامنه تغییرات سطح آب زیرزمینی پلایای مورد مطالعه نیز تا حدود ۸ متر متغیر بوده و متوسط آن در حدود پنج متر است.

نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد که در کفه پلایای سهل‌آباد تغییرات کلرید سدیم طی دوره زمانی مورد مطالعه در دامنه بین ۲۵٪- تا ۶٪ قرار دارد (جدول ۳ و شکل ۳). مقایسه دامنه تغییرات در ترکیبات شیمیایی مورد نظر نشان‌دهنده وجود بیشترین دامنه تغییرات در ترکیب شیمیایی کلرید سدیم در کفه پلایای مورد مطالعه است. متوسط تغییرات این ترکیب در کفه پلایا مقداری منفی و در حدود ۱۰٪- است. این مطالعه نشان‌دهنده وقوع بیشترین تغییرات از نوع کاهشی برای کلرید سدیم است، چنانکه بررسی مساحت تحت حاکمیت هریک از طبقات تغییر مربوط به این ترکیب شیمیایی نیز بیانگر بیشتربودن مساحت تغییرات کاهشی این ترکیب در کفه پلایا است (شکل ۳)؛ بنابراین روند تغییرات کلرید سدیم در طی دوره بررسی به‌صورت کاهشی است.

این بررسی کمترین دامنه تغییرات را برای ترکیب شیمیایی ژپس در کفه پلایا نشان می‌دهد، به‌گونه‌ای که دامنه تغییرات آن بین ۷٪ تا ۲۴٪ قرار گرفته است. متوسط تغییرات در این ترکیب شیمیایی به‌صورت مثبت و در حدود ۱۵٪ ارزیابی شده است. بررسی مساحت تحت حاکمیت هریک از طبقات تغییر در این ترکیب شیمیایی بیانگر غلبه مساحت تغییرات از نوع افزایشی این ترکیب در کفه پلایا است؛ بنابراین در طی دو دوره بررسی، تغییرات ترکیب شیمیایی ژپس در کفه پلایا روند افزایشی داشته است. درخصوص تغییرات سدیم در سطح پلایا، مشاهدات به‌طور متوسط افزایش ۲۴ درصدی این عنصر شیمیایی را نشان می‌دهد. دامنه تغییرات متعلق به سدیم در حدود ۱۱٪ تا ۴۲٪ است؛ همچنین از نظر مساحت انواع تغییرات درخصوص سدیم، غلبه با مساحت تغییرات افزایشی آن در کفه پلایا است (جدول ۳ و شکل ۳).

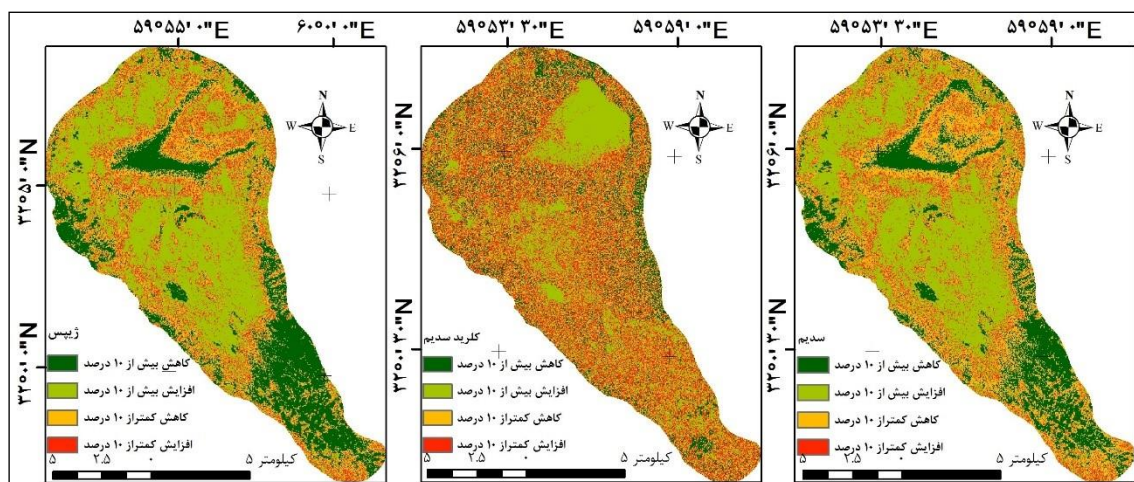


شکل ۲. توزیع جغرافیایی غلظت ترکیبات شیمیایی مورد بررسی در کفه پلایا که از تصاویر ماهواره‌ای و به تفکیک در دو زمان مختلف استخراج شده است.

به‌طور کلی بررسی‌های انجام‌شده درباره توزیع مکانی متوسط تمامی تغییرات شیمیایی مورد بررسی در کفه پلایا نشان می‌دهد که تغییرات از نوع افزایشی به‌صورت پهنه‌هایی در قسمت‌های مرکزی و تغییرات از نوع کاهش‌ی در بخش‌های حاشیه‌ای و به‌صورت پهنه‌های کوچکی در قسمت‌های مرکزی واقع شده‌اند. به این ترتیب، با حذف برخی از جزئیات می‌توان روند بروز تغییرات کاهش‌ی را از قسمت‌های مرکزی به سمت مناطق حاشیه پلایا استنباط کرد.

جدول ۳. آماره‌های مربوط به تغییرات صورت‌گرفته در ترکیبات شیمیایی کفه پلایا طی دوره بررسی

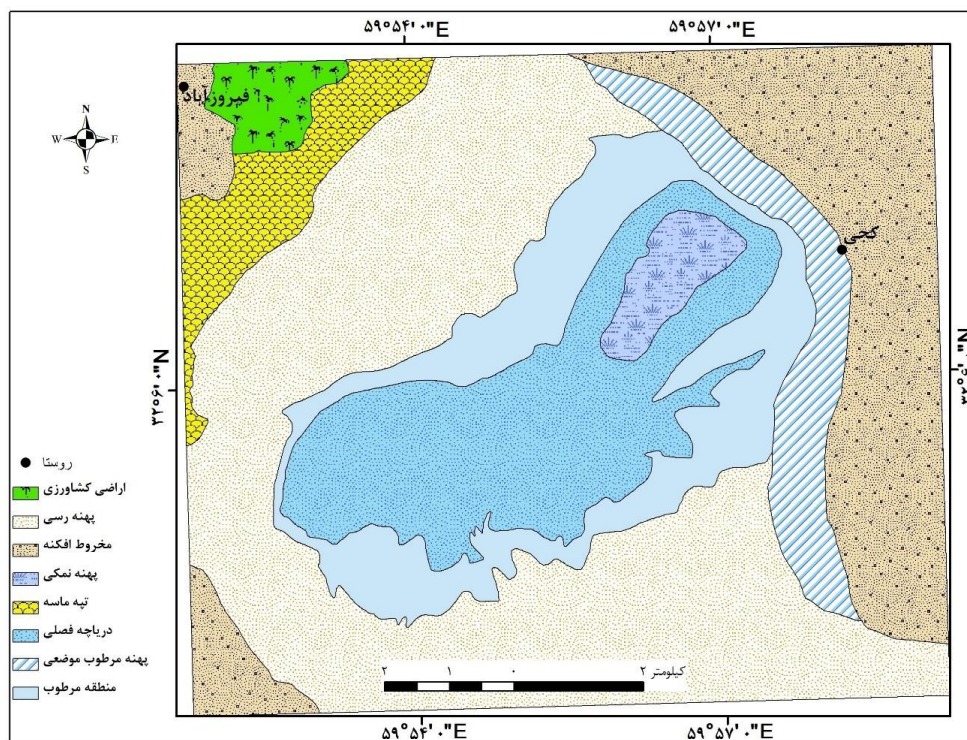
آماره‌ها	ژبیس	کلرید سدیم	سدیم
میانگین	۱۴/۳۵۶۳۲	-۹/۴۴۱۲۶۷	۲۴/۱۰۶۷۳
انحراف استاندارد	۲/۰۰۴۷۱۷	۶/۷۷۲۳۶۱	۳/۸۹۹۵۴
خطای استاندارد	۰/۰۸۰۴۴۶۵۳	۰/۲۷۱۷۶۵۵	۰/۱۵۶۴۸۳۱
حد پایین میانگین در سطح احتمال ۹۵٪	۱۴/۱۹۸۶۵	-۹/۹۷۳۹۱۸	۲۳/۸۰۰۰۳
حد بالای میانگین در سطح احتمال ۹۵٪	۱۴/۴۱۳۹	-۸/۹۰۸۶۱۷	۲۴/۴۱۳۴۳
میانه	۱۴/۸۲۷۱	-۸/۳۶۸۳	۲۵/۰۶۵۵
حداقل	۷/۱۸۲۲	-۲۵/۰۸۹	۱۱/۰۱۱
حداکثر	۲۳/۵۹۲۱	۵/۶۳۳۳	۴۱/۷۴۰۱
دامنه	۱۶/۴۰۹۹	۳۰/۷۲۲۳	۳۰/۱۲۹۱
واریانس	۴/۰۱۸۸۹۱	۴۵/۸۶۴۸۷	۱۵/۳۰۶۴۱
پخی	-۰/۸۹۲۵۸۹۲	-۰/۳۴۸۷۱۰۷	-۰/۷۵۳۲۲
چولگی	۵/۲۶۲۹۹۸	۲/۰۶۳۷۵۸	۴/۳۲۸۷۷۴



شکل ۳. توزیع جغرافیایی محدوده هریک از طبقات تغییر به وجود آمده در ترکیبات شیمیایی کفه پلایای طی دوره مورد مطالعه

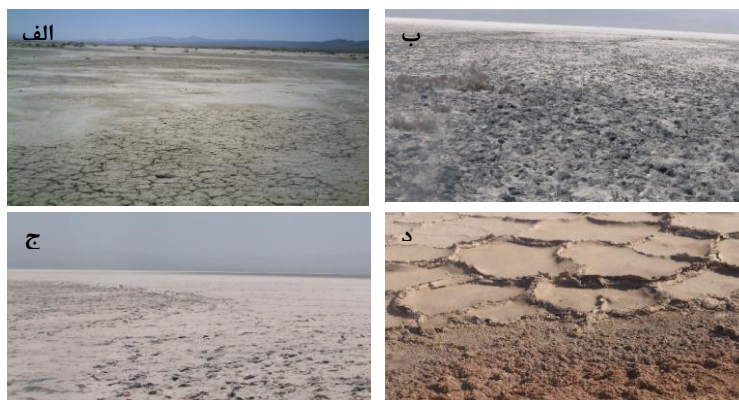
برای بررسی توزیع زمین‌های الگودار کفه پلایا و تنوع در ساختار آن‌ها، از روش تجزیه و تحلیل بافت اولین جزء اصلی تصاویر ماهواره‌ای استفاده شده است. آنالیز بافت، شیوه‌ای معمول برای ترسیم پدیده‌های سطحی است که با محاسبه تنوعات موضعی در میزان درخشندگی^۱ پیکسل‌های تصاویر ماهواره‌ای حاصل می‌شود؛ از سوی دیگر، تغییرات در خصوصیات شیمیایی کفه پلایا باعث ایجاد اشکال مورفولوژیک متنوع و انواع زمین‌های الگودار در کفه پلایا شده است. به طور معمول، کفه پلایا به دلیل حضور ترکیبات شیمیایی متنوع بافت خاصی دارد، در صورتی که مناطق همگنی مانند اراضی کشاورزی از تن و بافت یکنواخت‌تری برخوردار بوده و به سادگی قابل تفکیک هستند. به طور کلی بررسی بافت کفه پلایا، وجود انواع زمین‌های الگودار، اراضی دست‌کاری‌نشده و مناطق دارای پوشش گیاهی را نشان می‌دهد. در این میان، زمین‌های الگودار کفه پلایای سهل‌آباد را چهار پدیده مشخص و قابل تمایز تشکیل داده که عبارت‌اند از ۱- پوسته‌های نمکی و پهنه‌هایی از زمین‌های نمکی که نمک در سطح آن‌ها انباشته شده است. این پوسته‌ها که به صورت چندضلعی هستند در اثر تبلور نمک رشد کرده‌اند؛ ۲- زمین‌های مرطوب موقتی تا نیمه‌دائمی که توسط پوسته‌های نمکی احاطه شده‌اند؛ ۳- مناطق دارای آب‌شور؛ ۴- سطوح شخم‌خورده و مناطق برهنه در اطراف چاله‌های آب‌شور (شکل ۴).

با توجه به اینکه نقش هیدروژئومورفیک پلایای سهل‌آباد در بیشتر اوقات سال به صورت حداقل است و تنها در طی وقوع بارش‌های متعدد نقش آن به صورت فعال احیا می‌شود، اشکال ژئومورفولوژیکی در سطح آن پدیدار شده‌اند که شبیه به پوسته‌های سیمانی شده نمکی هستند. این اشکال در منطقه مورد مطالعه نازک بوده و در خاک‌های رسی ظاهر شده‌اند و مناطق کوچکی را به صورت لکه‌هایی متأثر ساخته‌اند. این پدیده‌ها در اثر تبخیر از آب‌های زیرزمینی که در نتیجه نیروی شعریه به سطح رسیده‌اند، ایجاد شده‌اند (شکل ۵ الف). در پهنه‌هایی از کفه پلایا که آب زیرزمینی به سطح نزدیک است اراضی مرطوب شخم‌خورده (شکل ۵ ب) و در مناطقی که سطح آب زیرزمینی پایین است، توده‌های نمک برآمده در کفه پلایا مشاهده می‌شود (شکل ۵ ج). مناطق دارای پوسته نمکی در تصاویر ماهواره‌ای، الگوی قابل تشخیصی دارند. در حاشیه این مناطق پوشش گیاهی اندکی دیده می‌شود که تغییرات و محدودیت‌های محسوسی از جهت عرضی در زمین‌های الگودار به وجود آورده‌اند. مطالعه تشکیل شکاف‌ها و چندضلعی‌های نمکی در سطح پلایا بیانگر وجود شکاف‌های انبساطی عمودی و خاک‌های چندضلعی با ۲ تا ۵ سانتی‌متر عرض بر روی پوسته‌های نمکی است که به طور ویژه در فصل تابستان قابل مشاهده هستند (شکل ۵ د).



شکل ۴. توزیع مکانی اشکال سطح پلایا از قبیل مناطق مرطوب، اراضی کشاورزی، پهنه‌های رسی و نمکی (رئیس‌السادات و همکاران، ۱۳۹۱ طراحي مجدد از نگارنده)

در چشم‌انداز جدید پلایا، مناطق نمکی در قطعات ده‌ها متری تا چند هکتاری مشاهده می‌شود. بزرگ‌ترین پوسته‌های نمکی در مناطق با شیب کمتر از ۰.۲٪ به‌وجود آمده‌اند و در قطعات کوچک‌تری در امتداد و یا سواحل جریان‌های آبی نیز مشاهده می‌شوند. تمامی پهنه‌های نمکی در پلایا به‌طور مستقیم و یا غیر مستقیم با فعالیت‌های مربوط به نحوه استفاده از زمین و تغییرات اقلیمی دچار تغییر شده‌اند؛ همچنین، تغییرات اقلیمی نقش اساسی و فعالی را در تغییر خصوصیات شیمیایی کفۀ پلایا ایفا کرده است. با وجود اثرات شدید نحوه استفاده از زمین و تغییرات به‌وجود آمده در ترکیبات شیمیایی کفۀ پلایا، الگوی مکانی این اشکال چندضلعی دچار تغییر نشده است و مشاهدات اخیر نشان داده است که آن‌ها تقریباً در مکان‌های قبلی ظاهر می‌شوند. حداکثر ارتفاع لبۀ چندضلعی‌ها حدود ۴ سانتی‌متر است و پوسته‌های نمکی منفرد در سطح پلایا بین ۰/۲ تا ۳۶ هکتار وسعت دارند که در طی سال وسعت آن‌ها تغییرات زیادی را نشان می‌دهد.



شکل ۵. توزیع مکانی اشکال سطح پلایا از قبیل الف: پوسته‌های نمکی؛ ب: مناطق مرطوب شخم‌خورده؛ ج: توده‌های نمک سطحی؛ د: چندضلعی ایجاد شده در کفۀ پلایا

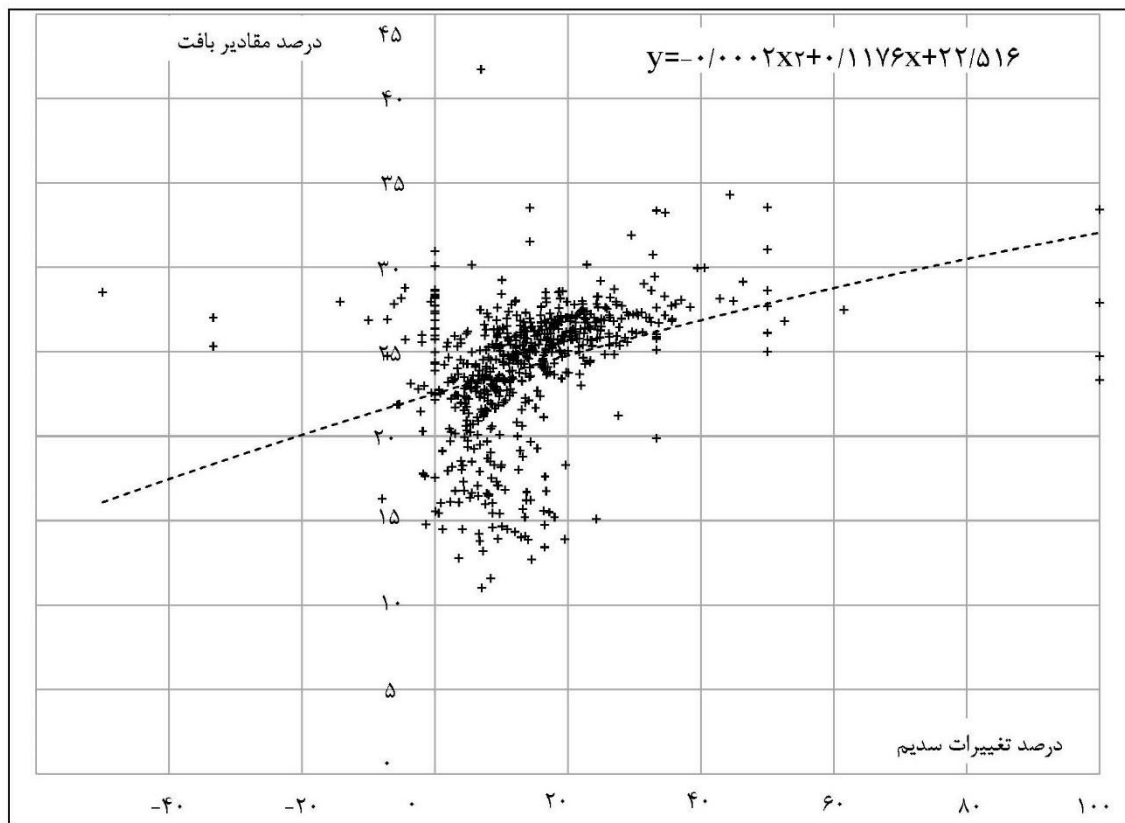
در بررسی رابطه بین ترکیبات شیمیایی و تحولات در زمین‌های الگودار کفه پلایا ملاحظه می‌شود که ترکیبات شیمیایی سدیم، کلرید سدیم و ژپس ارتباط مستقیمی نیز با یکدیگر دارند، به طوری که بیشترین رابطه مربوط به تغییرات در مقادیر ژپس و سدیم است و تغییرات کلرید سدیم در ارتباط با تغییرات سایر ترکیبات شیمیایی پلایا همبستگی ضعیف‌تری دارد (جدول ۴)؛ همچنین این مشاهدات نشان می‌دهند که منابع مختلفی برای جزء اصلی متغیرهای زمین‌شیمیایی^۱ وجود دارد و به طور کلی منابع تغییرات در ژپس و سدیم با منابع ایجادکننده تغییرات در مقادیر کلرید سدیم متفاوت هستند.

بررسی انجام‌شده نشان می‌دهد که افزایش ۲۴ درصدی سدیم در طی دوره که جزء مشترک در ترکیب شیمیایی کلرید سدیم است، باید افزایش میزان تولید آن را نیز در پی داشته باشد؛ اما ملاحظه می‌شود که روند تغییرات در تولید ترکیب شیمیایی کلرید سدیم طی دوره مورد بررسی کاهش است؛ بنابراین، با وجود افزایش سدیم ترکیب شیمیایی کلرید سدیم محدود شده و این موضوع ناشی از محدود شدن تولید کلر در محیط است؛ از طرفی افزایش میزان تولید ژپس در کفه پلایا نیز مشاهده می‌شود. با توجه به فرمول شیمیایی ژپس، ملاحظه می‌شود که اجزاء اصلی در این واکنش کلسیم و گوگرد هستند؛ بنابراین افزایش تولید ژپس در منطقه ناشی از افزایش تولید کلسیم و گوگرد است.

بررسی و تعیین روابط موجود در خصوص گسترش پلایا نیازمند در نظر گرفتن و محاسبه بسیاری از متغیرها است. در این مطالعه تنها با تکیه بر بررسی روند تغییرات چند عنصر و ترکیب شیمیایی در کفه پلایا به این موضوع پرداخته شده است. چنانکه از نتایج بررسی‌های آماری استنباط می‌شود (جدول ۴)، تغییرات زمین‌های الگودار ارتباط مستقیم و ضعیفی با تغییرات رخ داده در ترکیبات شیمیایی کفه پلایا دارد که در سطح معنی‌داری $\alpha = 0/05$ روابط حاصل شده معنی‌دار بودن همبستگی بین متغیرها را تأیید می‌کند. با این حال تغییرات در مقادیر سدیم بیشترین ارتباط را با مقادیر بافت زمین‌های الگودار کفه پلایا دارد که به منظور پیش‌بینی تغییرات، نمودار و تابع همبستگی آن محاسبه شده است (شکل ۶).

جدول ۴. ماتریس همبستگی متغیرهای مورد بررسی در کفه پلایای سهل آباد

الگوی بافت	سدیم	ژپس	کلرید سدیم	
۰/۲۴۵۰۵۴	۰/۵۴۰۷۲۲	۰/۳۹۹۰۴۴	۱	کلرید سدیم
۰/۰۰۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰۰۰		P-Value
۱۶۴	۱۶۴	۱۶۴	۱۶۴	تعداد نمونه
۰/۲۸۸۶۳۹	۰/۹۴۱۷۱۱	۱	۰/۳۹۹۰۴۴	ژپس
۰/۰۰۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰۰۰		۰/۰۰۰۰۰۰	P-Value
۱۶۴	۱۶۴	۱۶۴	۱۶۴	تعداد نمونه
۰/۳۵۰۳۱۹	۱	۰/۹۴۱۷۱۱	۰/۵۴۰۷۲۲	سدیم
۰/۰۰۰۰۰۰		۰/۰۰۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰۰۰	P-Value
۱۶۴	۱۶۴	۱۶۴	۱۶۴	تعداد نمونه
۱	۰/۳۵۰۳۱۹	۰/۲۸۸۶۳۹	۰/۲۴۵۰۵۴	الگوی بافت
	۰/۰۰۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰۰۰	P-Value
۱۶۴	۱۶۴	۱۶۴	۱۶۴	تعداد نمونه



شکل ۶. همبستگی بین درصد تغییرات سدیم و درصد تغییرات ایجادشده در همگنی زمین‌های الگودار؛ به‌منظور تخمین تغییرات بین این دو متغیر، تابع چندجمله‌ای آن محاسبه شده است.

بحث

مواد محلول محیط‌های شور از منابع متعددی شامل آب دریاها، تجزیه سنگ‌ها، آب‌های زیرزمینی، آب‌های ژئوترمال^۱ (به‌طور عمده در مناطق دارای ریفت)، آب‌های سطحی (سیلاب‌ها)، بارش و فرایندهای فرسایشی مناطق خشک (گردوغبارها) سرچشمه می‌گیرند (هوبارد و کرولی^۲، ۲۰۰۵؛ وایت و اکاردت^۳، ۲۰۰۶). طی مراحل شورشدن، وقوع چهار فرایند می‌تواند باعث تغییر در ترکیبات شیمیایی محیط‌های شور شود که عبارت‌اند از ۱- رسوب‌گذاری نمک‌ها؛ ۲- محلول کردن و سپس رسوب‌گذاری مواد حل‌شده در طول مسیر جریان آب؛ ۳- تبدیلات یونی که تحت شرایط وجود آب بسیار شور اثر کمتری دارند؛ ۴- فعل و انفعالات ناشی از حضور مواد آلی (وایت و اکاردت، ۲۰۰۶؛ میلووسکی و همکاران، ۲۰۱۷).

با توجه به شرایط اقلیمی منطقه مورد مطالعه، تبخیر مهم‌ترین فرایند جداکننده مواد محلول از آب‌شور در کفه پلایا است. جداسازی آب توسط فرایند تبخیر باعث افزایش غلظت مواد محلول شده به‌طوری که در این مرحله، ته‌نشین شدن کانی‌ها رخ داده است. نتایج به‌دست‌آمده از بررسی تغییرات شاخص‌های مربوط به ترکیبات شیمیایی مورد بررسی طی دوره زمانی مورد مطالعه نشان می‌دهد که میزان سدیم بیشترین افزایش را در کفه پلایا داشته است (جدول ۳)، درحالی‌که میزان کلرید سدیم طی دوره بررسی روند کاهشی را نشان می‌دهد. این در حالی است که سدیم یکی از دو جزء اصلی ترکیب شیمیایی کلرید سدیم را تشکیل می‌دهد و نیز با تغییرات مقادیر کلرید

1- Geothermal

2- Hubbard & Crowley

3- Eckardt

سدیم در منطقه همبستگی دارد (جدول ۴). روند کاهشی میزان کلرید سدیم و روند افزایشی میزان سدیم در منطقه طی دوره زمانی مورد بررسی و ارتباط آن‌ها با زمین‌های الگودار در کفۀ پلایا متأثر از افزایش غلظت مواد محلول در آب‌شور و نحوه ته‌نشین شدن کانی‌ها است. در این فرایند با افزایش تبخیر مواد محلولی که کمترین غلظت را داشته‌اند، کمترین میزان ته‌نشینی و مواد محلولی که بیشترین میزان غلظت را داشته‌اند، بیشترین میزان ته‌نشینی را دارند (نیل، ۱۹۷۵؛ میس^۱، ۱۹۹۹).

در این مدل، نسبت اولیۀ مواد محلول در آبی که در حال تبخیر است تعیین‌کننده نوع ترکیب شیمیایی کانی‌هایی است که در مراحل بعدی تشکیل می‌شوند (هواری^۲ و همکاران، ۲۰۰۲؛ وایت و اکاردت، ۲۰۰۶). به این ترتیب می‌توان نتیجه گرفت که به دلیل کمبود مقدار کلر و زیادبودن مقدار سدیم، نهشته‌شدن ترکیب شیمیایی کلرید سدیم در منطقه کاهش یافته است؛ بنابراین روند کاهشی میزان کلرید سدیم طی دوره مورد بررسی مربوط به محدودبودن تولید کلر در منطقه است. از طرفی تغییرپذیری و تمایل زیاد سدیم و کلرید سدیم به فرایند انحلال حتی با شرایط رطوبت اندک (میس، ۱۹۹۹)، می‌تواند منجر به بروز همبستگی زیاد تغییرات آن‌ها با بافت زمین‌های الگودار شود. از این رو ناپایدارترین زمین‌های الگودار در پهنه‌هایی مشاهده می‌شود که ترکیبات شیمیایی سدیم و کلرید سدیم غلبه دارند (میلوسکی و همکاران، ۲۰۱۷). به این ترتیب، پهنه‌هایی از کفۀ پلایا که توسط پوسته‌ها و توده‌های نمکی پوشیده شده و الگوهای با برجستگی‌های اندک را در معرض نمایش قرار داده‌اند، در واقع زمین‌های الگودار با غلبۀ ترکیبات شیمیایی سدیم و کلرید سدیم هستند که در گروه زمین‌های الگودار با تغییرات شدید در منطقه قرار می‌گیرند (شکل ۵ الف و ج). این پهنه‌ها را به‌طور غالب در بخش شمالی کفۀ پلایا که در مجاورت آن‌ها زمین‌های کشاورزی نیز وجود دارد، می‌توان مشاهده کرد (شکل ۴).

ترکیب شیمیایی ژئوپس متغیر دیگر مورد بررسی در منطقه مورد مطالعه است که طی دوره زمانی مورد بررسی کمترین دامنه تغییرات را نشان می‌دهد (جدول ۳). این موضوع نشانگر وجود منابع پایدار برای تشکیل این ترکیب شیمیایی در سطح منطقه طی دوره مورد مطالعه است. در ترکیب شیمیایی ژئوپس، اکسیژن، کلسیم و گوگرد مورد نیاز است. اکسیژن به‌طور معمول در همه محیط‌های طبیعی به مقدار زیاد یافت می‌شود، اما در خصوص منابع افزایش تولید گوگرد و کلسیم باید اشاره کرد که آبشویی بیشتر در سنگ‌ها و مواد آتشفشانی حوضۀ آبریز پلایا می‌تواند باعث افزایش تولید این دو عنصر شود (میس، ۱۹۹۹؛ هوپارد، ۲۰۰۵). همان‌طور که در مباحث قبل اشاره شد، منطقه مورد مطالعه از نظر زمین‌شناسی به‌شدت تحت تأثیر فعالیت‌های درونی زمین بوده و تشکیلات آتشفشانی از قبیل توف‌ها و گدازه‌های آتشفشانی قسمت اعظم آن را اشغال کرده‌اند؛ افزون بر این، وجود چشمه‌های آب‌گرم متعدد در ناهمواری‌های منطقه و گوگردزایی این چشمه‌های آب‌گرم و زهکشی آب آن‌ها به درون پلایا نقش مهمی در افزایش تولید گوگرد داشته که در نهایت در انتهای حوضه که همان سطح پلایا است، رسوب کرده و در واکنش با کلسیم، سبب تشکیل ترکیب شیمیایی ژئوپس شده است. منابع تولید کلسیم در حوضۀ آبریز پلایا شامل سنگ‌های آهکی و مارنی است که در سال‌های اخیر فرسایش‌پذیری مناسب و نیز شدت عمل بیشتر جریان‌ات آبی در منطقه، شرایط را برای شستشوی بیشتر این سنگ‌ها و تولید کلسیم فراهم کرده است. با توجه به اینکه در منطقه مورد مطالعه درصد تحت اشغال سنگ‌های دارای کانی کلسیم (آهک و مارن) کمتر از سنگ‌های دارای گوگرد است، می‌توان استنباط کرد که تولید گوگرد در منطقه بر اثر آبشویی نیز بیشتر از تولید کلسیم باشد.

1- Mees

2- Howari

با توجه به روابط همبستگی محاسبه‌شده کمترین ارتباط میان متغیرهای شیمیایی و بافت زمین‌های الگودار مربوط به ترکیبات شیمیایی ژپس است (جدول ۴). این موضوع با توجه به ناچیزبودن بارش و رطوبت اندک منطقه، ناشی از تمایل کمتر این ترکیب شیمیایی به فرایند انحلال است، به‌گونه‌ای که زمان مورد نیاز برای ایجاد شاخص‌ترین زمین‌های الگودار با حضور این ترکیب شیمیایی را در کفه پلایا فراهم می‌کند (میس، ۱۹۹۹؛ میلوسکی و همکاران، ۲۰۱۷)؛ بنابراین در زمین‌های الگودار با تغییرات کمتر یا درواقع به‌نسبت دائمی کفه نمکی پلایای سهل‌آباد، ترکیب شیمیایی ژپس غلبه یافته به‌گونه‌ای که شاخص‌ترین الگوها ناشی از حضور ترکیب شیمیایی ژپس هستند (شکل ۵ د). این پهنه‌ها را به‌طور غالب در حاشیه جنوبی پهنه‌های نمکی پلایا می‌توان مشاهده کرد (شکل ۴).

مقایسه نتایج این مطالعه با نتایج حاصل از بررسی روابط بین تغییرات برخی از ترکیبات شیمیایی کفه‌های نمکی بیابان نامیب در ارتباط با تغییرات میکرو ناهمواری‌های حاصل از تبخیر آن‌ها که به‌صورت زمین‌های الگودار بروز می‌کند نیز بیانگر آن است که کمترین میکرو ناهمواری‌ها در زمین‌های الگودار حاوی ترکیب شیمیایی کلرید سدیم به‌وجود آمده و مرتفع‌ترین آن‌ها در زمین‌های الگودار حاوی ترکیب شیمیایی ژپس مشاهده می‌شود (میلوسکی و همکاران، ۲۰۱۷).

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی نتایج این مطالعه نشان‌دهنده وجود همبستگی معنی‌داری میان تغییرات غلظت ترکیبات شیمیایی با تحولات زمین‌های الگودار در منطقه مورد مطالعه است؛ به‌طوری که بیشترین اثرگذاری در بین ترکیبات شیمیایی مورد بررسی بر تحولات زمین‌های الگودار کفه پلایا مربوط به تغییرات غلظت ترکیب شیمیایی سدیم با مقدار همبستگی حدود ۰/۳۵ است؛ همچنین بررسی تغییرات شیمیایی کفه پلایای سهل‌آباد نشان‌دهنده روند کند و محدودشده گسترش پلایا طی دوره مورد بررسی است؛ از طرف دیگر، با توجه به اینکه تغییرات ترکیبات شیمیایی محدوده پلایا با الگوهای تخریب پوشش گیاهی و تغییر اقلیم رابطه مستقیمی دارد، بررسی‌های انجام‌شده در زمینه تغییرات مقدار مساحت اراضی کشاورزی در حاشیه پلایا نیز نشانگر محدودشدن روند توسعه پلایا است. براساس این نتایج می‌توان استنباط کرد که با تعیین جایگاه ترکیبات شیمیایی کفه پلایا در تشکیل اشکال ژئومورفولوژیک ویژه‌ای مانند زمین‌های الگودار و بررسی روابط بین آن‌ها می‌توان به‌طور غیر مستقیم و با استفاده از رابطه‌های حاصل‌شده و با تکیه بر تغییرات ایجادشده در اشکال ژئومورفولوژیک کفه پلایا، وضعیت گسترش پلایا را بررسی کرد. به این ترتیب، ارزیابی زمین‌های الگودار با توجه به تغییرات صورت‌گرفته در ترکیبات شیمیایی به‌منظور آشکارسازی دگرگونی‌های محیطی یا سایر تغییرات رخ‌داده در کفه پلایا، موضوع مهمی است که می‌تواند نشان‌دهنده وضعیت بیابانی‌شدن و نیز شدت مخاطرات حاصل از گسترش پلایا باشد. گرچه طبقه‌بندی زمین‌های الگودار در منطقه به‌طور میدانی انجام می‌شود، اما چنانکه در این مطالعه نیز انجام‌شده، تعیین موقعیت دقیق مکانی و توزیع فضایی آن‌ها با کمک داده‌های سنجش‌از‌دور امکان‌پذیر است. در این‌گونه مطالعات، کمبود اطلاعات از جمله عمده‌ترین مشکلات است درحالی‌که داده‌های سنجش‌از‌دور چنانچه از نظر طیف‌سنجی امکان تفسیر قابل اطمینان را فراهم آورند، می‌توانند جایگزین مشاهدات میدانی شوند؛ بنابراین، می‌توان روابط موجود میان متغیرهای مؤثر در فرایند گسترش پلایا را ارزیابی کرد و با توجه به اینکه روند تصویربرداری ماهواره‌ای فرایندی متوالی است، می‌توان روابط ایجادشده در مطالعات قبلی درخصوص یک منطقه را به‌روز کرده و با پیشرفت‌های تکنولوژی به‌طور لحظه‌ای بهینه کرد.

منابع

- اشتوکلین، یوهان؛ افتخارنژاد، جمشید؛ هوشمندزاده، عبدالرحیم (۱۳۵۲). بررسی مقدماتی زمین‌شناسی در لوت مرکزی، خاور ایران. سازمان زمین‌شناسی کشور، گزارش (۲۲).
- درویش‌زاده، علی (۱۳۷۱). شرایط زمین‌شناسی ایجاد کویرها و بیابان‌های ایران، مجموعه مقالات بررسی مسائل مناطق کویری/ایران، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۷۹-۱۸۶.
- رضایی‌مقدم، محمدحسین؛ تقفی، مهدی (۱۳۸۵). بررسی تحولات ژئومورفیک پلایای کهک، استان خراسان جنوبی براساس روش استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و منطق فازی، جغرافیا و توسعه، ۴ (۸)، ۴۳-۶۰.
- رضایی‌مقدم، محمدحسین؛ تقفی، مهدی (۱۳۸۳). طبقه‌بندی و تحلیل مورفولوژی لندفرم‌های زمین با استفاده از GIS و DEM، جغرافیا و برنامه‌ریزی، ۱ (۱۷)، ۷۵-۹۰.
- رئیس‌السادات، سید ناصر؛ زرین‌کوب، محمدحسین؛ خطیب، محمد مهدی (۱۳۹۱). زمین‌ریخت‌شناسی و نحوه پیدایش پلایای سهل‌آباد - خاور ایران، جغرافیا و توسعه، ۱۰ (۲۸)، ۱۱۵-۱۳۲.
- کلینسلی، دانیل (۱۳۸۱). کویرهای ایران و خصوصیات ژئومورفولوژیکی و پالتوکلیماتولوژی آن، ترجمه عباس پاشایی، تهران: سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح.
- محمدی، ملیحه (۱۳۹۴). آشکارسازی تغییرات واحدهای ژئومورفولوژی پلایاهای ایران مرکزی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه (گاوخونی، دق‌سرخ، نمک‌قم، ابرکوه، میغان، طبس، سیرجان، جازموریان)، رساله دکتری ژئومورفولوژی، استاد راهنما: عبدالله سیف، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه‌ریزی، دانشگاه اصفهان.

References

- Brabyan, L. (1998). GIS analysis of macro landform. Presented at the 10th Colloquium of the Spatial Information Research Center, University of Otago, New Zealand, 16-19 November, pp. 35-48.
- Bryant, R. G. (2013). Recent advances in our understanding of dust source emission processes. *Progress in Physical Geography*, 37, 397-421.
- Darvishzadeh, A. (1992). Geological conditions of deserts and deserts of Iran. *Collections of Issues of Desert Areas of Iran*, Tehran University press, 186-179 (In Persian).
- Goodspeed, M. J., Winkworth, R. E. (1978). Fate and effect of runoff with special reference to arid and semi-arid plain lands, In: K. M. W. Howe's (Ed.), *Studies of the Australian arid zone: III. water in rangelands*, 53-63, *Proceedings of a Symposium Held at the Rangelands Research Unit, Alice Springs Field Centre*. 15-18 October 1974, Melbourne, CSIRO Division of land resources management.
- Goudie, A. S. (1991). Pans. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 15 (3), 221-237.
- Gutiérrez-Elorza, M., Desir, M., Gutiérrez-Santolalla, F., Mari'n, C. (2005). Origin and evolution of playas and blowouts in the semiarid zone of Tierra de Pinares (Duero Basin, Spain). *Geomorphology*, 72 (2), 177-192.
- Hall, A. (1995). Change detection, er mapper 5.0 applications. *Earth Resource Mapping Pty. Ltd*, 47-57.
- Howari, F. M., Goodell, P. C., Miyamoto, S. (2002). Spectral properties of salt crusts formed on saline soils. *Environmental Quality*, 31 (5), 1453-1461.
- Hubbard, B. E., Crowley, J. K. (2005). Mineral mapping on the Chilean-Bolivian Altiplano using Co-Orbital ALI, ASTER and hyperion imagery: Data dimensionality issues and solutions. *Remote Sensing Environment*, 99 (1-2), 173-186.
- Klinsley, D. (2002). *The desert of Iran and geomorphological features and its palaeoclimatology*. Translated by Abbas Pashaei, Tehran: National geographical organization (In Persian).
- Mees, F. (1999). Distribution patterns of gypsum and kalistrontite in a dry lake basin of the Southwestern Kalahari (Omongwa Pan, Namibia). *Earth Surface Processes and Landforms*, 24 (8), 731-744.

- Milewski, R., Chabrilat, S., Behling, R. (2017). Analyses of recent sediment surface dynamic of a Namibian Kalahari salt pan based on multitemporal landsat and hyperspectral hyperion data. *Remote Sensing*, 9 (2), 170-194.
- Millington, A. C., Drake, N. A., Townshend, J. R. G., Quarmby, N. A., Settle, J. J., Reading, A. J. (1989). Monitoring salt playa dynamics using Thematic Mapper data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 27 (6), 754-761.
- Mohammadi, M. (2015). *Detection of changes in geomorphologic units of central Iran's playa using multi-temporal satellite imagery (Gavkhoni, Dagh-Sorkh, Salt Qom, Abarkuh, Mighan, Tabas, Sirjan, Jazmourian)*. Ph.D. thesis geomorphology. Supervisor: Abdullah Seif, Faculty of Geography and Planning, University of Esfahan (In Persian).
- Montana, C. (1992). The colonization of bare areas in two phase mosaics of an arid ecosystem. *The Journal of Ecology*, 80 (2), 315-327.
- Neal, J. T. (1975). Playa surface features as indicators of environment. In: J. T. Neal (Ed.), *Playas and Dried Lakes* (pp. 363-380), *Stroudsburg, PA, USA: Dowden, Hutchinson & Ross*.
- Prospero, J. M., Ginoux, P., Torres, O., Nicholson, S. E., Gill, T. E. (2002). Environmental characterization of global sources of atmospheric soil dust identified with the NIMBUS 7 Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) absorbing aerosol product. *Reviews of Geophysics*, 40 (1), 2-31.
- Raeis Alsadat, N., Zarinkoub, M. H., Khatib, M. M. (2012). Geomorphology and the way of the emergence of Sahl Abad playa - East of Iran. *Geography and Development*, 10 (28), 132-115 (In Persian).
- Reynolds, R. L., Yount, J. C., Reheis, M., Goldstein, H., Chavez, P., Fulton, R., Forester, R. M. (2007). Dust emission from wet and dry playas in the Mojave desert, USA. *Earth Surface Processes and Landforms*, 32 (12), 1811-1827.
- Rezaei Moghadam, M. H., Saghafi, M. (2004). Classification and analysis of land morphology using GIS and DEM. *Geography and Planning*, 8 (17), 90-75 (In Persian).
- Rezaei Moghadam, M. H., Saghafi, M. (2006). The research on the geomorphic evaluations of Kahak playa, South Khorasan province based on satellite imagery and fuzzy logic. *Geography and Development*, 4 (8), 60-43 (In Persian).
- Richards, J., Jia, X. (1999). *Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction*. Berlin New York: Springer.
- Rosen, M. R. (1994). The importance of groundwater in playas: a review of playa classifications and the sedimentology and hydrology of playas. In: M. R. Rosen (Ed.), *Paleoclimate and basin evolution of playa systems*, Geological Society of America Special Paper 289. *Geological Society of America*, (pp. 1-18), Boulder, CO.
- Saghafi, M. (2017). Application of remote sensing indices for mapping salt affected areas by using field data methods. *International Journal of Advanced and Applied Sciences*, 4 (10), 181-187.
- Shaw, P. A., Bryant, R. G. (2011). Playas and salt lakes. In: D. S. G Thomas (Ed.), *Arid Zone Geomorphology*, (pp. 373-401), London, UK: John Wiley & Sons Ltd.
- Stocklin, J., Eftekharneshad, J., Houshmandzadeh, A. (1974). *Basic study of geology in central Lut, East of Iran*. Geological survey of Iran, Report (22) (In Persian).
- Washington, R., Todd, M., Middleton, N. J., Goudie, A. S. (2003). Dust storm source areas determined by the total ozone monitoring spectrometer and surface observations. *Annals of the Association of American Geographers*, 93 (2), 297-313.
- White, K., Eckardt, F. (2006). Geochemical mapping of carbonate sediments in the Makgadikgadi basin, Botswana using moderate resolution remote sensing data. *Earth Surface Processes and Landforms*, 31, 665-681.
- White, L. P. (1969). Vegetation arcs in Jordan. *The Journal of Ecology*, 57 (2), pp. 461-464.
- White, L. P. (1971). Vegetation stripes on sheet wash surfaces. *The Journal of Ecology*, 59, 615-622.
- Wickens, G. E., Collier, F. W. (1971). Some vegetation patterns in the republic of the Sudan. *Geoderma*, 6, 43-59.
- Worrall, G. A. (1960). Tree patterns in The Sudan. *Journal of Soil Science*, 11 (1), 63-67.

