

پایش زمانی - مکانی تغییرات پلایای دریاچه نمک و اثرات زیست محیطی آن بر نواحی

پیرامونی

سارا کیانی^۱؛ استادیار گروه ژئومورفولوژی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی تهران، تهران، ایران.
مراد کاویانی راد؛ دانشیار، گروه جغرافیای سیاسی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی تهران، تهران، ایران.

امیرعلی توسلی؛ دانش آموخته کارشناسی ارشد، رشته ژئومورفولوژی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی تهران، تهران، ایران.

پذیرش نهایی: ۱۴۰۲/۰۹/۱۵

دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۰۶/۱۱

چکیده

با توجه به خشک شدن دریاچه نمک در اثر فعالیت‌های انسانی و تغییر اقلیم، طبیعتاً شکل‌گیری بحران در این دریاچه، می‌تواند از نظر زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی، تأثیرات منفی بر جوامع انسانی پیرامون داشته باشد. پژوهش حاضر بر آن است که تغییرات زمانی - مکانی پلایای دریاچه نمک و اثرات تغییرات پلایا بر امنیت زیست‌محیطی نواحی پیرامونی را بررسی و واکاوی کند. برای دستیابی به این هدف، در ابتدا، با استفاده از شاخص‌های شوری خاک از جمله شاخص شوری استاندارد شده (NDSI)، شاخص شوری ۱ (SI^۱)، شاخص شوری ۲ (SI^۲) و شاخص درجه روشنایی (BI)، پهنه‌های نمکی طی بازه زمانی ۳۰ ساله (۱۹۹۲-۲۰۲۱) با فواصل زمانی پنج‌ساله شناسایی شد. سپس با استفاده از روش حداکثر احتمال (Maximum Likelihood) پهنه پلایای نمک پهنه‌بندی شد و به چهار نوع پوشش اراضی، شامل پهنه آبی، پهنه مرطوب، پهنه نمکی و کاربری دیگر طبقه‌بندی شد. نتایج تحقیق نشان داد به دلیل کاهش ورودی آب به دریاچه در نتیجه احداث سد در بالادست آن و اثرات تغییر اقلیم، پهنه آبی دریاچه نمک از میان رفته و پهنه نمکی در این بخش گسترش یافته است. بیشترین تغییرات دریاچه مربوط به بخش شمال غربی دریاچه است که مهم‌ترین رودخانه‌ها از جمله جاجرود، شور، قره‌چای و قمرود، زهکشی و تخلیه می‌شوند. بررسی پراکنش سکونتگاهها در نواحی پیرامون پلایای نمک نشان می‌دهد که شهرهای قم، کاشان و آران و بیدگل نزدیکترین سکونتگاهها در نزدیکی پلایای دریاچه نمک است اما بررسی وضعیت و جهت باد غالب در منطقه، نشان داد که بیشتر خطرات ناشی از خشکیدن پلایای دریاچه نمک متوجه زمین‌ها و مناطق سکونتگاهی در غرب پلایا بخصوص استان قم خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: پلایای دریاچه نمک، شوری خاک، امنیت زیست‌محیطی، تغییر اقلیم، دخالت انسانی.

مقدمه

پلایاها فرورفتگی‌های بسته در مناطق بیابانی با سطوح مسطح با حداقل ناهمواری توپوگرافی هستند که در مناطق نیمه خشک جهان فراوان وجود دارند (Rezaei Moghaddam & Saghafi, ۲۰۰۶). این دریاچه‌ها معمولاً بسیار شور هستند، زیرا در شرایط آب و هوایی گرم و خشک، تعادل آبی آنها منفی است و معمولاً با پلایا همراه است (Shaw and Bryant, ۲۰۱۱). دست‌اندازی‌های انسانی و تغییرات آب و هوایی می‌تواند ثبات و تعادل اکولوژیکی، هیدرولوژیکی و ژئومورفولوژیکی پلایاها را مختل کند و به تغییرات زیست‌محیطی قابل توجهی بینجامد. دخالت انسان در دریاچه‌های حوضه بسته یا پلایاهایی که از رودخانه‌های دائمی تغذیه می‌شوند می‌تواند پیامدهای گسترده‌ای داشته باشد (Shiran et al, ۲۰۲۱, Shaw and Bryant, ۲۰۱۱). این امر پایش همه جانبه دریاچه‌ها و تالاب‌ها را در پی داشته است (Laudadio, ۲۰۱۰). در این وضعیت پایش و ارزیابی چنین مناطقی می‌تواند به عنوان رخدادی مهم در توسعه و مدیریت منابع طبیعی تلقی شود (اسفندیاری و همکاران، ۱۳۹۴). پایش پایدار و نظام‌مند این سیستم‌ها به دلیل اهمیت اکولوژیکی آنها و به عنوان شاخص تغییرات بیلان آب در سطح حوضه که می‌تواند برای ارزیابی تأثیر اقلیم بر انسان مورد استفاده قرار گیرد حائز اهمیت است. از این رو، سنجش از دور ابزار قدرتمندی است که می‌تواند برای نظارت بر فرآیندهای سطحی در پلایا و مناطق خشک، که اغلب در مناطق دورافتاده و به سختی قابل دسترس هستند، استفاده شود، جایی که بررسی‌های میدانی گسترده و مشاهده مستقیم می‌تواند بسیار دشوار باشد (Laudadio, ۲۰۱۰). در زمینه پایش پلایا و اثرات آن پژوهش‌های زیادی در خارج از ایران و داخل کشور انجام شده است از آن می‌توان به مطالعات زیر اشاره کرد: در خارج از کشور محققانی همچون کاستاندا و همکاران (Castañeda et al, ۲۰۰۵) با استفاده از تصاویر سنجنده لندست دریاچه‌های پلایا در صحرای مونگروس اسپانیا را مورد پایش و نظارت قرار داده است. عبدولی و همکاران (Abuduwaili et al, ۲۰۰۸) در مقاله‌ای جابه‌جایی بادی نمک در منطقه دریاچه Ebinur در سین کیانگ، شمال غربی چین مورد مطالعه قرار دادند. در نتیجه خشکیدن دریاچه Ebinur توسط انسان، منبع جدیدی از مواد سست - بستر خشک - تشکیل شده که طوفان‌های گردوغبار را در این منطقه تشدید کرده است. آدامز و سدا (Adams & Sada, ۲۰۱۴) هیدرولوژی آب سطحی و ویژگی‌های ژئومورفیک سیستم دریاچه پلایا با نگرش به پیامدهایی برای نظارت بر اثرات تغییرات آب‌وهوا مورد بررسی قرار داده‌اند. زوکا و همکاران (Zucca et al, ۲۰۲۱) طی پژوهشی بیان کردند که فرآیندهای تخریب زمین و بیابان‌زایی نقش مهمی در پخش گردوغبار از منابع پلایا ایفا می‌کند که اغلب توسط فعالیت‌های انسانی مانند استفاده ناپایدار از زمین و آب در بالادست، کاهش پوشش گیاهی در پیرامون پلایا و اختلال مکانیکی سطوح پلایا تحریک یا افزایش می‌یابد. وانگ و همکاران (Wang et al, ۲۰۲۲) تغییرات فضایی و زمانی آب‌های سطحی و اهمیت آن برای بیابان‌زایی در چین از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹ را مورد مطالعه قرار دادند. جبال و زاره چاهوکی (Jebali & Zare Chahouki, ۲۰۲۲) طی مقاله‌ای تغییرات کاربری و پوشش اراضی استان یزد طی سال‌های ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۶ با استفاده از الگوریتم ماشین بردار پشتیبان مورد بررسی قرار دادند. مطالعه پلایاهای ایران نخستین بار به صورت علمی توسط کلینسلی (Klynsly, ۱۹۷۰) طی مأموریت ناسا در ایران انجام شد و کتاب ترجمه‌شده‌ای به نام کویرهای ایران و خصوصیات ژئومورفولوژیکی و پالئوکلیماتولوژی آن توسط سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح منتشر شده است. در زمینه تغییرات ژئومورفولوژیکی پلایا با استفاده از فناوری سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) مطالعات متعددی در ایران توسط رضایی مقدم و ثقفی (۱۳۸۵)، جاور انصاری (۱۳۸۹)، کارگر (۱۳۸۹)، ابطی (۱۳۹۱) مورد بررسی قرار داده‌اند.

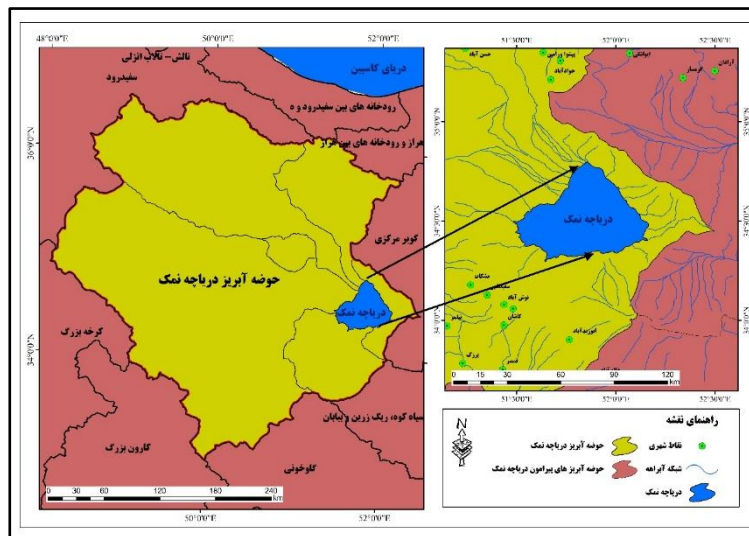
همچنین محققانی از جمله فرهنگ (۱۳۹۵)، قهرودی تالی و علی نوری (۱۳۹۶)، داورزنی (۱۳۹۷)، محمدخان و همکاران (۱۳۹۷)، نظم‌فر و همکاران (۱۴۰۰) پژوهش‌هایی درباره تغییرات شوری خاک در داخل کشور انجام داده‌اند. درباره مسائلی امنیتی و زیست محیطی می‌توان به تحقیقات کاویانی‌راد از جمله امنیت زیست محیطی از منظر ژئوپلیتیک (۱۳۹۰)، پردازش مفهوم امنیت زیست محیطی (رابطه امنیت و اکولوژی) (۱۳۹۰)، نسبت ژئوپولیتیکی امنیت زیست محیطی و توسعه، مطالعه موردی دریاچه ارومیه (۱۳۹۰)، و مطالعه کرمی (۱۳۹۹) با عنوان بازکاوی پیامدها و شیوه‌های مدیریت تغییرات اقلیمی (نمونه موردی: حوضه آبریز مرکزی ایران) اشاره کرد.

با نگرش به اینکه خطر نوسانات آبی دریاچه نمک طی سالیان اخیر امنیت محیط زیست نواحی پیرامونی را درگیر تهدید جدی کرده که در صورت عدم پایش و کم‌توجهی به سرنوشت دریاچه‌های ارومیه و هامون مبتلا خواهد شد. وسعت و پهنای زیاد این دریاچه از یک سو و موقعیت خاص جغرافیایی آن به دلیل نزدیکی به کلان‌شهری مرکزی مانند اصفهان، تهران، قم، اراک و سمنان (۲۵ درصد جمعیت کشور)، از سویی دیگر می‌تواند در درازمدت عامل شکل‌گیری بحران ریزگرد نمک بشود که به دلیل همسویی با بادهای غالب محلی بحران آلودگی هوایی کنونی شهرها و مناطق مذکور که به‌عنوان قطب‌های سیاسی و اقتصادی کشور نیز قلمداد می‌شوند به شدت تهدید کند. از این رو، درهم‌تنیدگی و هم‌افزایی عواملی مانند کاهش چشمگیر آب ورودی به تالاب‌ها، نادیده گرفتن حق‌آبه‌های محیط زیستی، انجام طرح‌های عمرانی متعدد نظیر راه‌سازی، فرودگاه، تأسیسات نفتی همچنین تخلیه پساب‌های صنعتی در تالاب، تغییر کاربری اراضی تالابی و برداشت بی‌رویه و خارج از تحمل از منابع تالابی، به همراه اثرات منفی تغییر اقلیم این اکوسیستم‌های آبی را دستخوش تهدید جدی کردی است. پژوهش حاضر بر آن است تا در گام نخست تغییرات زمانی و مکانی پلایای دریاچه نمک با استفاده از داده‌ها و تکنیک‌های سنجش از دوری بررسی و پایش شود و در مرحله بعد، بازتاب و پیامدهای زیست محیطی و امنیتی برخاسته از این تغییرات را بررسی و واکاوی کند.

داده‌ها و روش کار

• قلمرو جغرافیایی مورد مطالعه

حوضه آبریز پلایای دریاچه نمک در طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۸ دقیقه تا ۵۲ درجه و ۳۸ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۵۸ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۲۸ دقیقه شمالی واقع است. این حوضه از دامنه‌های جنوبی البرز مرکزی تا دامنه‌های شمالی ارتفاعات جنوبی کاشان و کرکس و از دامنه‌های شرقی زاگرس تا دشت کویر را شامل می‌شود. مساحت محدوده مورد مطالعه برابر با ۹۲۸۸۴ کیلومتر مربع است که از این میان، نزدیک به ۴۲۰۲۶ کیلومتر مربع آن را مناطق کوهستانی و ۵۰۵۲۴ کیلومتر مربع باقیمانده را دشت‌ها و دریاچه‌ها می‌پوشاند. (شکل ۱) (سیف و ابطحی، ۱۳۹۲).



شکل (۱). نقشه موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

• روش کار

پژوهش در مرحله نخست با نگرش به بررسی تغییرات پلایای دریاچه نمک، اقدام به انجام شاخص‌های شوری خاک و طبقه‌بندی اراضی با بهره‌گیری از تصاویر ماهواره‌ای شد. در مرحله بعد تأثیر تغییرات پلایای دریاچه نمک بر امنیت زیست‌محیطی در قالب مصاحبه و گفت‌وگو با کارگزاران دولتی و کارشناسان سازمان‌ها، ابعاد زیست‌محیطی و امنیتی تغییرات پلایای دریاچه نمک و اثرات منفی آن مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. در ابتدا در مرحله پیش‌پردازش، با عملیاتی مانند layer stacking یا روی هم گذاری بلندها، تصحیح رادیومتریک از طریق دستور Radiometric Calibration و تصحیح اتمسفری با دستور Flaash و برش تصاویر در محیط نرم‌افزاری ENVI ۵٫۶، تصاویر ماهواره‌ای برای پردازش آماده شد. هدف اصلی این مرحله، رفع خطاهای سیستماتیک و غیرسیستماتیک موجود در تصاویر خام و افزایش صحت و قابلیت دسته‌بندی اطلاعات رقومی مختلف است. سپس برای تهیه تصاویر کاذب و ترکیب باندها، عامل شاخص مطلوب (OIF)^۱ مورد محاسبه قرار گرفت و تصویر رنگی کاذب یا FCC^۲ پلایای دریاچه نمک برای تصاویر ماهواره‌ای سال‌های ۱۹۹۲ و ۲۰۲۱ تهیه شد. در نهایت شاخص‌های شوری خاک برای پایش و تغییرات میزان شوری خاک، به‌عنوان ملاکی برای تعیین روند خشکیدن پلایای دریاچه نمک استفاده شده و بررسی تغییرات پلایای دریاچه نمک طی دوره زمانی ۳۰ ساله (۱۹۹۲-۲۰۲۱) با فواصل زمانی پنج سال انجام شده است. در محیط نرم‌افزار ENVI ۵٫۶ فرمول‌های شاخص شوری بر روی تصاویر ماهواره‌های منطقه مورد مطالعه اعمال شد و نتایج آن مورد بررسی قرار گرفت. شاخص شوری استاندارد شده (NDSI)، شاخص شوری ۱ (SI^۱)، شاخص شوری ۲ (SI^۲) و شاخص درجه روشنایی (BI) از جمله شاخص‌هایی شوری خاک است که در مطالعه حاضر استفاده شده است (جدول ۱). پس از برآورد شاخص‌های مورد مطالعه، آستانه‌های مناسب تعیین و سپس با استفاده از آستانه گذاری بر روی هر شاخص، پهنه‌های نمکی استخراج شد. با نگرش به اینکه هدف پژوهش تغییرات پلایای دریاچه نمک است برای پایش لندفرم‌ها و عوارض پلایای دریاچه نمک از روش طبقه بندی نظارت شده و الگوریتم حداکثر احتمال^۳ برای دوره زمانی سی‌ساله با فواصل

^۱ Optimum Index Factor

^۲ False Color Composite

^۳ Maximum Likelihood

زمانی ۵ سال (۱۹۹۲-۲۰۲۱) انجام شد و نقشه خروجی به چهار طبقه‌بندی دریاچه فصلی، پهنه نمکی، حاشیه مرطوب (نمک مرطوب) و سایر کاربری طبقه‌بندی شده است.

جدول (۱). شاخص‌های شوری خاک (منبع: Wu, ۲۰۱۹)

منبع	معادله	شاخص
Khan et al. (۲۰۰۱) and Khan et al. (۲۰۰۵)	$SI^1 = (B * R)^{1/2}$	SI^1
Khan et al. (۲۰۰۵)	$SI^2 = (G * R)^{1/2}$	SI^2
Khan et al. (۲۰۰۱) and Khan et al. (۲۰۰۵)	$BI = [(R)^2 + (NIR)^2]^{1/2}$	Brightness index (BI)
Iqbal (۲۰۱۱)	$NDSI = (TIR - NIR) / (TIR + NIR)$ (in digital number)	Normalized difference salinity index (NDSI)

B blue, G green, R red, NIR near infrared, SWIR^۱ shortwave infrared band ^۰, SWIR^۲ shortwave infrared band ^۱, and TIR thermal infrared

جدول (۲). مشخصات تصاویر ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه

فرمت	روز تصویربرداری	ماه تصویربرداری	سال تصویربرداری	تصاویر ماهواره‌ای
Tiff	۵	آگوست	۱۹۹۲	TM ^۰
	۴		۱۹۹۷	
	۱		۲۰۰۲	
Tiff	۷	آگوست	۲۰۰۷	ETM ^۱
	۴		۲۰۱۲	
	۲		۲۰۱۷	
Tiff	۵	آگوست	۲۰۲۱	OLI

• طبقه‌بندی اراضی بر اساس روش حداکثر احتمال

طبقه‌بندی یکی از مهم‌ترین اهداف اصلی فرآیندهای پردازش تصاویر ماهواره‌ای است که نتیجه نهایی آن معمولاً ایجاد نقشه‌های موضوعی از پوشش زمین است. طبقه‌بندی چند طیفی عبارت از فرآیند مرتب نمودن پیکسل‌های موجود در تصاویر تحت تعداد مشخصی کلاس است. این فرآیند بر اساس ارزش‌های بازتابشی و یا الگوهای خاصی در داده‌ها بوده و بر پایه تعیین حد آستانه تعریف‌شده‌ای صورت می‌گیرد (دائم پناه، ۱۳۸۹: ۲۳).

روش حداکثر احتمال (بیشترین شباهت)^۱ از شناخته‌شده‌ترین و پرکاربردترین روش‌های طبقه‌بندی اطلاعات در زمره روش‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده است. در این روش احتمال اینکه یک پیکسل به تمامی کلاس‌ها تعلق داشته باشد محاسبه شده و به کلاس با بیشترین احتمال تعلق می‌گیرد. به این منظور فرض بر این گذاشته می‌شود که داده‌های نمونه تعلیمی با توزیع نرمال برازش دارند. در حقیقت نمونه‌های تعلیمی باید معرف آن کلاس باشند. در نتیجه بادی نقاط تعلیمی به تعدادی باشد که خصوصیات نمونه‌ها در آن به صورت دقیق و کامل آورده شده باشد. برای انجام این روش ابتدا بایستی تمامی مراحل پیش پردازش انجام شده و نمونه‌برداری از منطقه نیز انجام شده باشد سپس نمونه‌های تعلیمی بر روی تصاویر انتخاب و روش حداکثر احتمال به کار برده شود (تقوی مقدم و همکاران، ۱۳۹۵).

^۱ Maximum Likelihood

• ارزیابی صحت طبقه‌بندی

روش‌های مورد استفاده در طبقه‌بندی بی‌شمارند و محققین برای انتخاب بهترین روش نیازمند یک معیار هستند که دقت روش استفاده‌شده را مورد آزمایش قرار دهند و تا زمانی که دقت یک روش مورد بررسی قرار نگیرد نقشه حاصل از آن قابل استناد نیست از مهم‌ترین این معیارها می‌توان به صحت کلی ۱، دقت کاربر ۲، ضریب کاپا ۳ نام برد دقت کلی از جمع عناصر قطر اصلی ماتریس خطا تقسیم بر تعداد کل پیکسل‌ها طبق رابطه ۳-۱ به دست می‌آید. دقت کلی طبقه‌بندی که بیانگر میزان اعتبار طبقه‌بندی انجام‌شده است و در نقشه‌های کاربری استخراج‌شده از تصاویر ماهواره‌ای بایستی بیش از ۸۵ درصد باشد (Anderson et al, ۱۹۷۶).

$$OA = \frac{1}{N} \sum P_{ij} \quad \text{رابطه (۱)}$$

دقت کاربر احتمال طبقه‌بندی یک کلاس خاص مطابق با همان کلاس در نقشه واقعیت زمینی را بیان می‌کند. به بیان دیگر نسبت پیکسل‌های صحیح طبقه‌بندی‌شده به مجموع پیکسل‌های یک سطر (طبقه) به درصد است (Mather, ۱۹۹۹). ضریب کاپا، تکنیک چندمتغیره گسسته‌ای است به این صورت که اگر یک ماتریس خطا تفاوت معناداری با دیگری داشته باشد، در ارزیابی صحت برای تصمیم‌گیری آماری مورد استفاده قرار می‌گیرد. شاخص k یا ضریب کاپا در واقع معرف اختلاف بین توافقی واقعی در داده‌های مرجع و یک طبقه‌بندی کننده خودکار و همچنین یک توافق بین داده‌های مرجع و طبقه‌بندی کننده تصادفی است که بر اساس رابطه ۳-۲ تعریف می‌شود (Anderson et al, ۱۹۷۶).

$$Kappa = \frac{po-pc}{1-pc} \times 100 \quad \text{رابطه (۲)}$$

شرح و تفسیر نتایج

• محاسبه ترکیب باندی

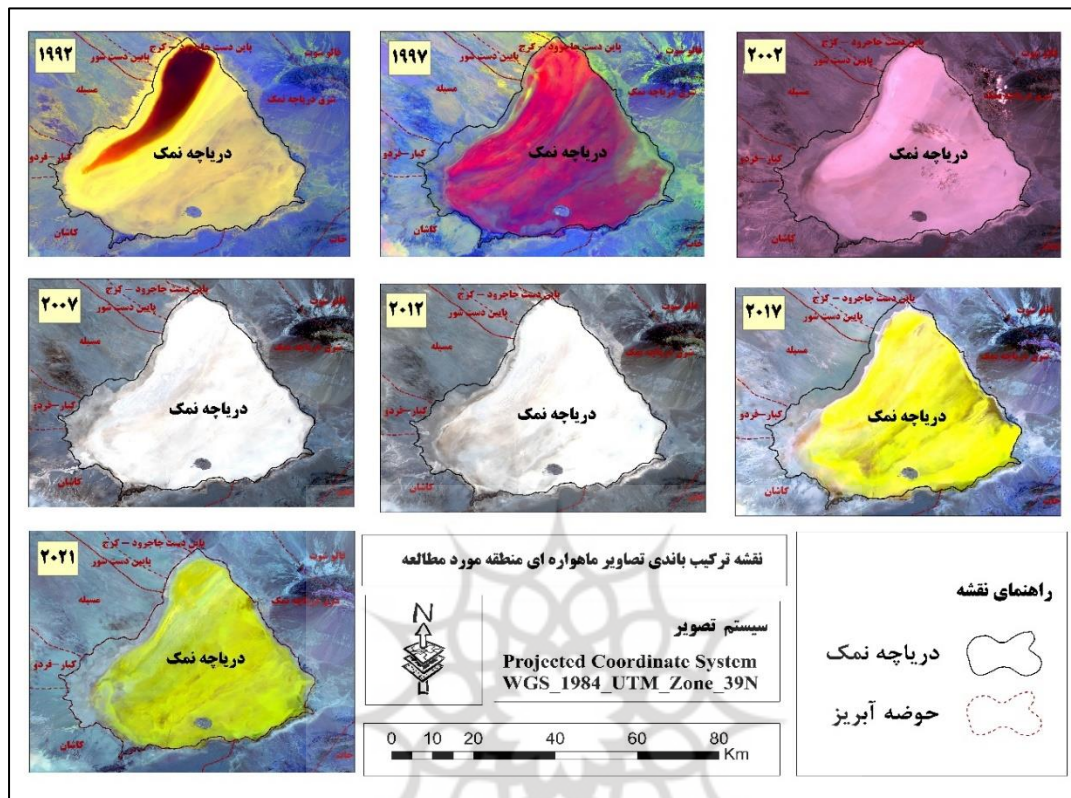
بر پایه محاسبه شاخص OIF، برای تصویر ماهواره‌ای TM^۵ سال ۱۹۹۲، ترکیب باندی ۱.۴۶ و برای تصویر ماهواره‌ای OLI سال ۲۰۲۱، ترکیب باندی ۲.۵۶ بهترین ترکیب باندی جهت تشخیص عوارض در نظر گرفته شده است. برای سایر تصاویر ماهواره‌ای نیز ترکیب باندی محاسبه و در جدول (۳) مقادیر شاخص OIF هر تصویر و در شکل (۲) نقشه ترکیب باندی را ارائه می‌دهد.

جدول (۳). مقادیر شاخص مطلوب (OIF) برای تصاویر ماهواره‌ای مورد نظر (منبع: نگارندگان)

OIF	SUM Correlation	sum SD	ترکیب باندی	سال	تصاویر ماهواره‌ای
۵۱/۳۲	۰/۰۲۳	۱/۲۰۷	۱.۴۶	۱۹۹۲	TM ^۵
۰/۰۱	۰/۴۷۸	۰/۰۰۹	۱.۵۶	۱۹۹۷	
۰/۰۰۵	۲/۸۷۵	۰/۰۱۳	۱.۲۳	۲۰۰۲	
۰/۰۰۴	۲/۹۷۰	۰/۰۱۰	۱.۲۳	۲۰۰۷	ETM ^۷
۰/۰۰۳	۲/۹۷۵	۰/۰۱۰	۱.۲۳	۲۰۱۲	

۱. Overall accuracy
۲. User's accuracy
۳. Kappa coefficient

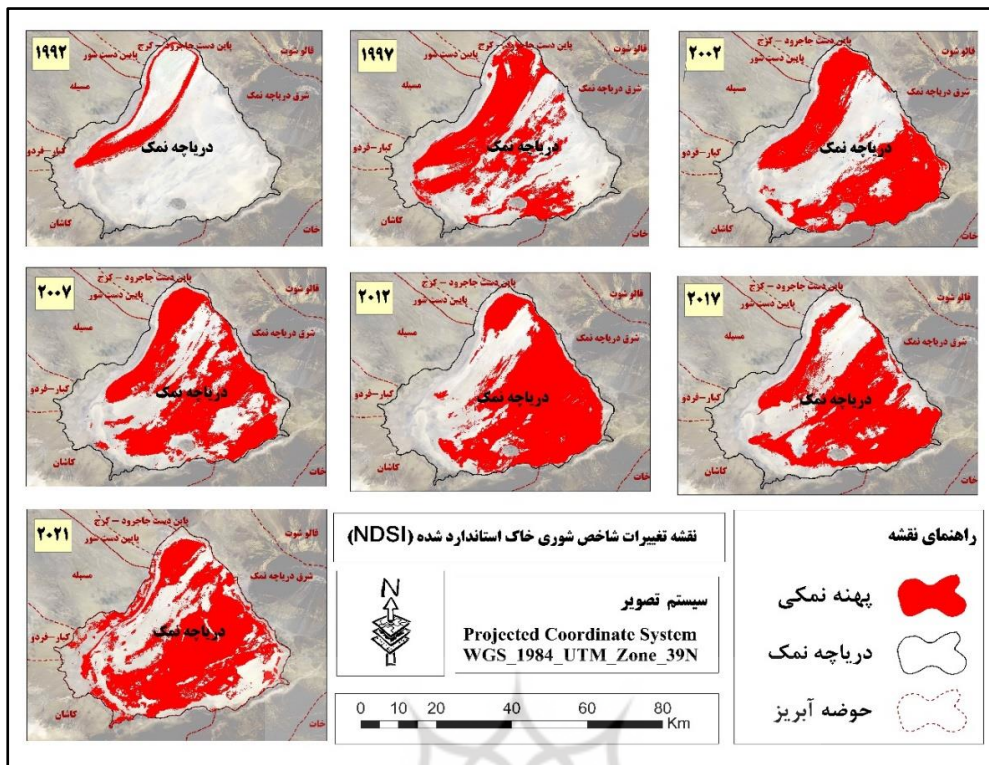
۰/۱۷۵	۰/۰۴۷	۰/۰۰۸	۱.۳۵	۲۰۱۷	
۸۶/۷۹	۰/۰۰۹	۰/۷۹۸	۲.۵۶	۲۰۲۱	OLI



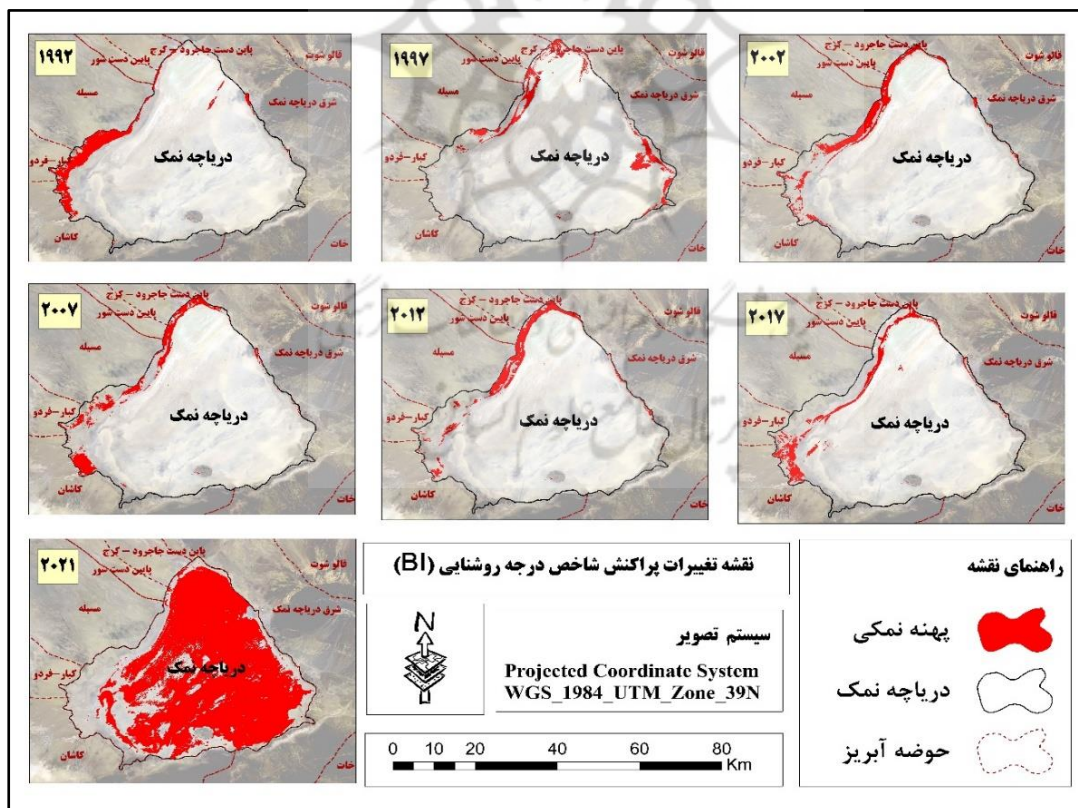
شکل (۲). ترکیب باندی تصاویر ماهواره ای پلاهای دریاچه نمک

• محاسبه شاخص‌های شوری خاک

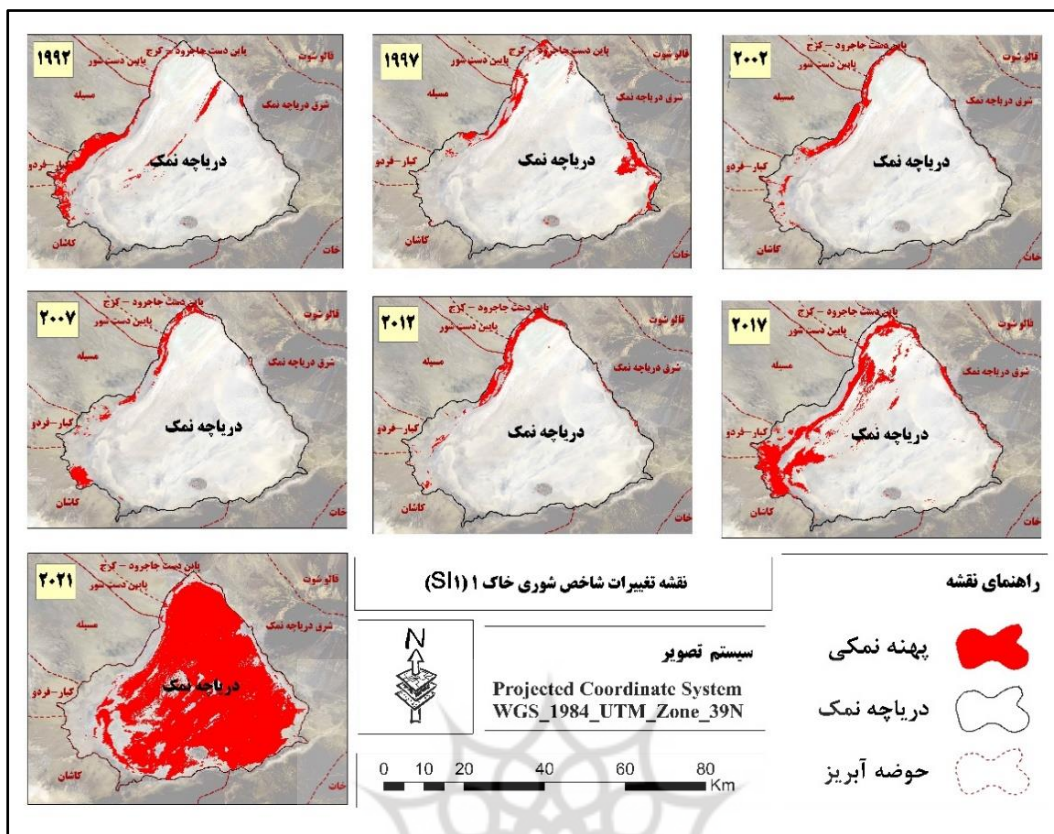
در پژوهش حاضر شاخص شوری استاندارد شده (NDSI)، شاخص شوری ۱ (SI^۱)، شاخص شوری ۲ (SI^۲) و شاخص درجه روشنایی (BI) برای پایش تغییرات پلاهای دریاچه نمک به کار گرفته شده است. طبق نتایج به دست آمده از شاخص شوری استاندارد شده (NDSI)، در سال ۱۹۹۲ در بخش شمال غربی در پیرامون دریاچه فصلی، پهنه نمکی احاطه کرده است. به مرور زمان، پهنه نمکی در پلاهای دریاچه نمک گسترش یافته است. نتایج شاخص شوری استاندارد شده (NDSI) در سال ۲۰۲۱، بخش وسیعی از منطقه سطح شوری بالای دارد. بیشترین تغییرات شوری و نمکی در محدوده شمال غربی و جنوب شرقی محدوده است (شکل ۳). بررسی سه شاخص SI^۱، SI^۲ و BI، نتایج تقریباً یکسانی را از پهنه شوری خاک ارائه می‌دهد همان گونه که در شکل‌های ۴، ۵ و ۶ مشاهده می‌شود پهنه‌های نمکی بخش‌های کمتری از حاشیه غربی و شمال غربی پلاهای دریاچه نمک را در برمی‌گیرد و در سال ۲۰۲۱، پهنه نمکی، گسترش بیشتری نسبت به سال‌های قبل داشته است.



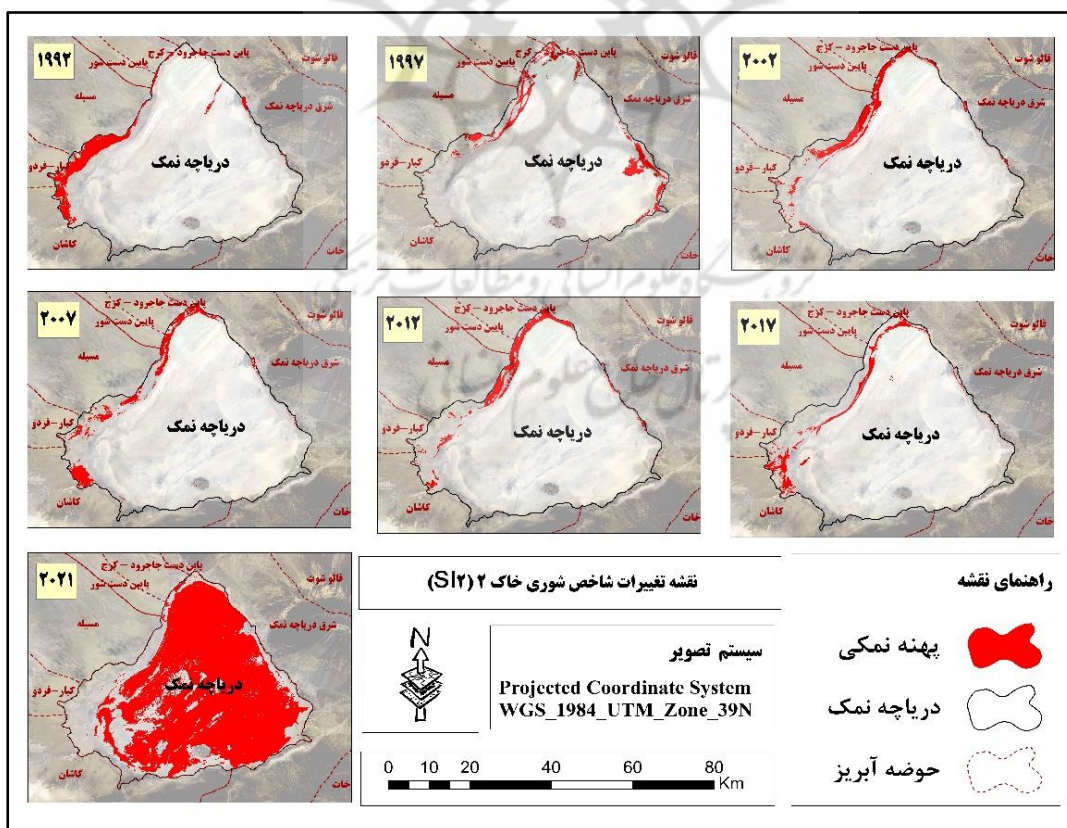
شکل (۳). تغییرات پراکنش شاخص شوری خاک استاندارد شده NDSI پلایای دریاچه نمک طی بازه زمانی سی ساله (۱۹۹۲-۲۰۲۱)



شکل (۴). تغییرات پراکنش شاخص درجه روشنایی (BI) پلایای دریاچه نمک طی بازه زمانی سی ساله (۱۹۹۲-۲۰۲۱)



شکل (۵). تغییرات پراکنش شاخص شوری خاک ۱ (SI1) پلایای دریاچه نمک طی بازه زمانی سی ساله (۱۹۹۲-۲۰۲۱)

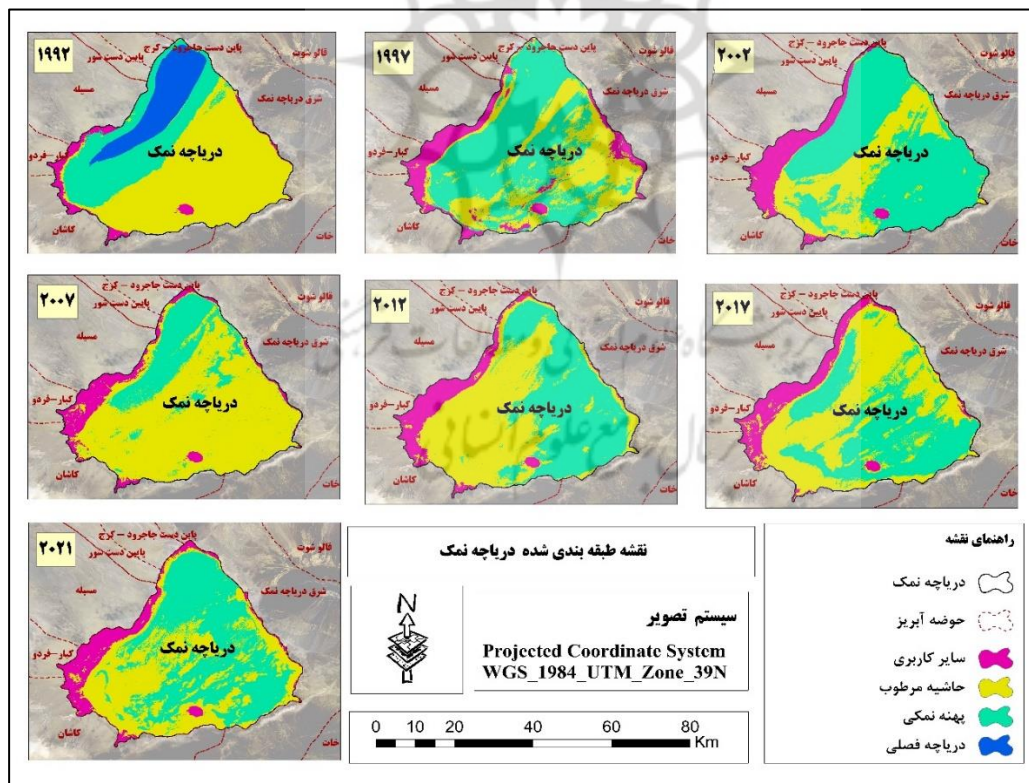


شکل (۶). تغییرات پراکنش شاخص شوری خاک ۲ (SI2) پلایای دریاچه نمک طی بازه زمانی سی ساله (۱۹۹۲-۲۰۲۱)

• طبقه‌بندی پوشش اراضی پلایای دریاچه نمک

بررسی تغییرات پراکنش کاربری‌های مورد مطالعه در محدوده پلایای دریاچه نمک نشان می‌دهد که در سال ۱۹۹۲، پهنه آبی به صورت دریاچه فصلی در بخش شمال غربی پلایا مشهود است که این امر به دلیل تخلیه بیشتر جریان رودخانه‌ای به پلایا بوده است. پهنه نمکی نیز در گذشته گسترش کمتری را نسبت به سال‌های بعدی ارائه می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود پهنه نمکی قسمت‌های پیرامون دریاچه را احاطه کرده است. نقشه طبقه‌بندی شده سال‌های ۱۹۹۷ و ۲۰۰۲، افزایش وسعت پهنه نمکی را نشان می‌دهد. در سال‌های ۲۰۰۷، کاهش وسعت پهنه نمکی مشهود است و مجدداً در سال ۲۰۱۲، ۲۰۱۷ و ۲۰۲۱ پهنه نمکی بیشتر پهنه پلایای دریاچه نمک را پوشش داده است (شکل ۷). این امر، گویای آن است که با کاهش ورودی دبی رودخانه در پی تغییر اقلیم و همچنین فعالیت‌های انسانی به‌ویژه ساخت سدهای متعدد در بالادست حوضه‌های منتهی به پلایای دریاچه نمک، گسترش پهنه نمکی و از بین رفتن دریاچه فصلی (پهنه آبی) را به دنبال داشته است.

از نظر مساحت و درصد مساحت پراکنش هر کدام از طبقه‌ها، می‌توان گفت که در سال ۲۰۰۷، پهنه نمکی کمترین پراکنش با مساحتی برابر با ۳۶۸/۷۶ کیلومترمربع (۱۹.۳۲ درصد) و در سال ۲۰۰۲ بیشترین پراکنش با مساحتی برابر با ۱۱۷۹/۸۸ کیلومترمربع (۶۱.۸۱ درصد) در محدوده پلایا داشته است. پهنه دریاچه فصلی با مساحت ۲۷۳/۰۵ کیلومترمربع که ۱۴/۳۱ درصد از پلایای دریاچه نمک را در سال ۱۹۹۲ پوشش داده است، در سال‌های بعدی مورد مطالعه، مشهود نیست و به‌مرور زمان از میان رفته و به صورت پهنه نمکی ظاهر شده است (جدول ۵).



شکل (۷). نقشه طبقه‌بندی شده پوشش اراضی پلایای دریاچه نمک

جدول (۴). ارزیابی دقت طبقه‌بندی پوشش اراضی پلایای دریاچه نمک

سال	صحت کلی	ضریب کاپا
۱۹۹۲	۸۹/۶۲	۰/۸۵
۱۹۹۷	۸۸/۹۳	۰/۸۶
۲۰۰۲	۸۷/۹۲	۰/۸۵
۲۰۰۷	۸۹/۴۵	۰/۸۷
۲۰۱۲	۹۰/۸۴	۰/۸۷
۲۰۱۷	۹۵/۰۵	۰/۹۰
۲۰۲۱	۹۷/۷۶	۰/۹۵

جدول (۵). مقادیر مساحت و درصد مساحت طبقه‌های مورد مطالعه پلایای دریاچه نمک

سال	نام طبقه	مساحت (کیلومتر مربع)	مساحت (درصد)
۱۹۹۲	پهنه نمکی	۴۹۰/۳۷	۲۵/۶۹
	دریاچه فصلی	۲۷۳/۰۵	۱۴/۳۱
	حاشیه مرطوب	۱۰۵۵/۲۰	۵۵/۲۸
	سایر کاربری	۹۰/۱۶	۴/۷۲
۱۹۹۷	پهنه نمکی	۱۰۳۲/۶۸	۵۴/۱۰
	حاشیه مرطوب	۶۲۸/۵۶	۳۲/۹۳
	سایر کاربری	۲۴۷/۵۳	۱۲/۹۷
۲۰۰۲	پهنه نمکی	۱۱۷۹/۸۸	۶۱/۸۱
	حاشیه مرطوب	۵۰۲/۹۳	۲۶/۳۵
	سایر کاربری	۲۲۵/۹۷	۱۱/۸۴
۲۰۰۷	پهنه نمکی	۳۶۸/۷۶	۱۹/۳۲
	حاشیه مرطوب	۱۳۵۹/۹۵	۷۱/۲۵
	سایر کاربری	۱۸۰/۰۷	۹/۴۳
۲۰۱۲	پهنه نمکی	۷۹۱/۴۲	۴۱/۴۶
	حاشیه مرطوب	۹۰۱/۰۳	۴۷/۲۰
	سایر کاربری	۲۱۶/۳۲	۱۱/۳۳
۲۰۱۷	پهنه نمکی	۷۸۰/۸۶	۴۰/۹۱
	حاشیه مرطوب	۹۰۰/۸۰	۴۷/۱۹
	سایر کاربری	۲۲۷/۱۲	۱۱/۹۰
۲۰۲۱	پهنه نمکی	۹۱۵/۴۶	۴۷/۹۶
	حاشیه مرطوب	۷۸۱/۱۶	۴۰/۹۲
	سایر کاربری	۲۱۲/۱۶	۱۱/۱۱

• پیامدهای زیست‌محیطی تغییر پلایای دریاچه نمک

در این بخش از پژوهش از نظر کارشناسان و کارگزاران دولتی و سازمان‌ها و همچنین گزارش‌های و مطالعات انجام‌شده برای پلایای دریاچه نمک استفاده‌شده است. امنیت زیست‌محیطی خشکیدن پلایای دریاچه نمک در پنج زمینه مورد بحث قرار می‌گیرد.

- ◇ پراکندگی سکونتگاه‌های انسانی نسبت به پلایای دریاچه نمک
- ◇ کیفیت زمین برای عملیات کشاورزی
- ◇ کیفیت منابع آبی
- ◇ جهت باد غالب
- ◇ پوشش گیاهی

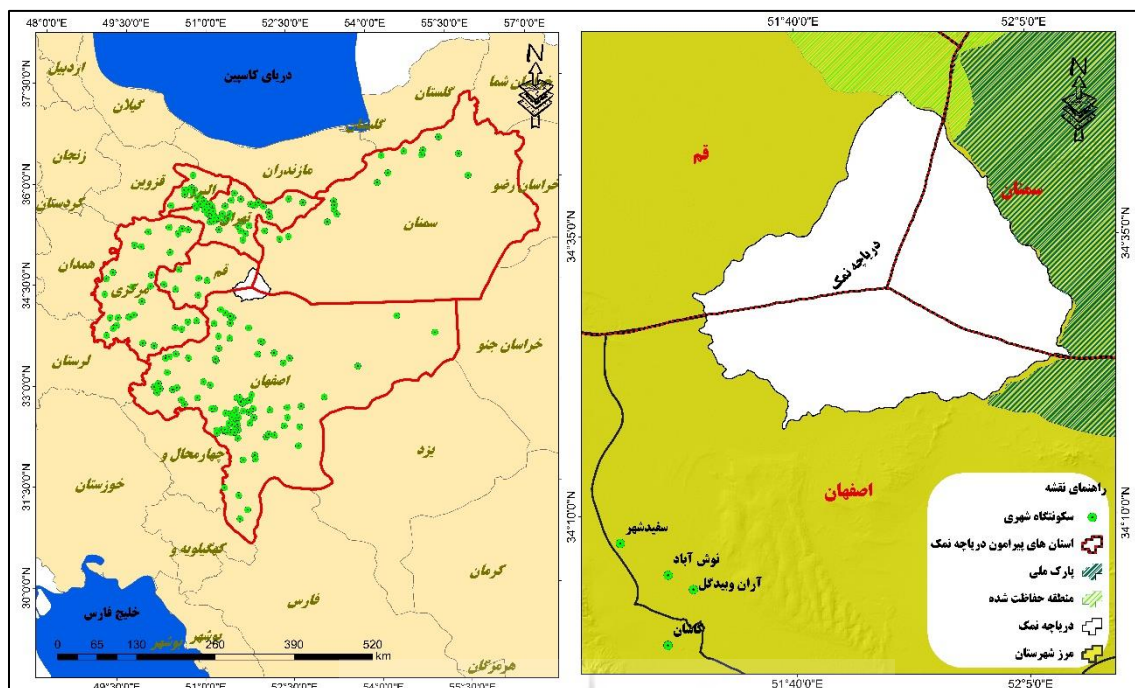
• پراکندگی سکونتگاه‌های انسانی نسبت به پلایای دریاچه نمک

پلایای دریاچه نمک در میان سه استان سمنان، اصفهان و قم جای گرفته است. محدوده شرق پلایای دریاچه نمک را پارک ملی کویر و محدوده حفاظت‌شده کویر در بر گرفته که با پیمایش به سمت شرق به دشت کویر می‌رسد و محدوده‌ای پهناور و خالی از سکونت و فعالیت است. محدوده جنوب پلایای دریاچه نمک نیز مجاور پناهگاه حیات وحش یخاب است. بدین ترتیب، محدوده‌های شرقی، جنوب شرقی و جنوب پلایای دریاچه نمک را محدوده‌های حفاظت‌شده و خالی از سکونت در بر گرفته اما در سمت شمال، غرب و جنوب غربی پلایای دریاچه نمک کانون‌های جمعیت بافاصله از دریاچه جای گرفته‌اند. شهر کاشان، آران و بیدگل و روستاهای تابع آن، نزدیک‌ترین کانون شهری مهم به پلایای دریاچه نمک در فاصله تقریبی ۴۵ کیلومتری جنوب غربی پلایا است و به جز آن، شهر قم در شعاع تقریباً ۶۰ کیلومتری دریاچه در غرب آن جای گرفته‌اند. در میان شهرهای پیرامون پلایای دریاچه نمک، شهر قم به سبب وزن جمعیتی و جایگاه مذهبی و سیاسی آن، مهم‌ترین کانون شهری پیرامون دریاچه به شمار می‌رود. تمرکز نقاط جمعیتی و سکونتگاه‌های پیرامون پلایای دریاچه نمک در جنوب غرب و غرب آن است (شکل ۸ و ۹). این بخش دربرگیرنده استان قم و بخشی از استان اصفهان است که شهرستان‌های قم، کاشان و آران و بیدگل را شامل می‌شود. نتایج آخرین سرشماری مرکز آمار ایران در سال ۱۳۹۵ نشان می‌دهد در سه شهرستان قم، کاشان و آران و بیدگل ۵۲۷.۸۴۰ خانوار با ۱.۷۶۰.۲۸۲ نفر جمعیت ساکن بوده‌اند. بعد خانوار در این منطقه ۳.۳ نفر محاسبه‌شده است. بیشترین جمعیت منطقه متعلق به شهرستان قم است که ۷۳.۴ درصد از کل جمعیت منطقه را در خود جای داده و تمرکز اصلی جمعیت منطقه در پهنه آن است (جدول ۶).

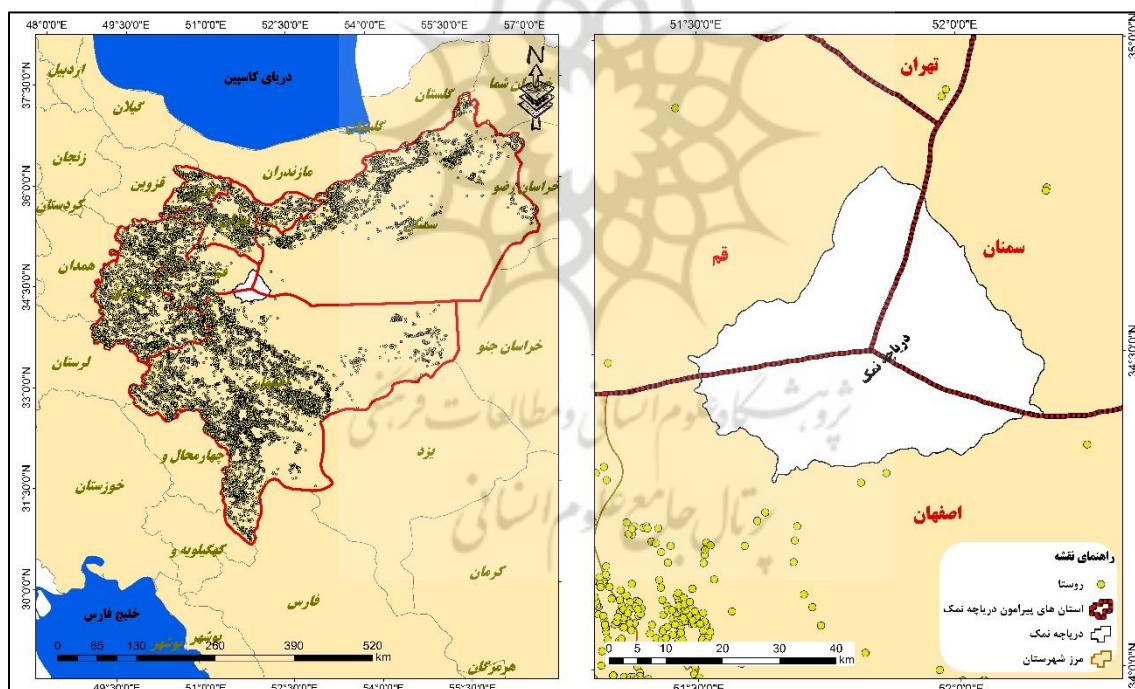
جدول (۶). جمعیت شهرستان‌های قم، کاشان و آران و بیدگل به تفکیک جنس و محل سکونت در سال ۱۳۹۵

شهرستان	جمعیت			خانوار	بعد خانوار	جمعیت (درصد)	
	مرد	زن	جمع			شهری	روستایی
قم	۶۵۸۵۴۰	۶۳۳۷۴۳	۱۲۹۲۲۸۳	۳۸۳۵۳۲	۳/۳	۹۵.۲	۴.۸
کاشان	۱۸۴۸۰۶	۱۷۹۶۷۶	۳۶۴۴۸۲	۱۱۲۲۵۸	۳/۲	۸۹.۸	۱۰.۲
آران و بیدگل	۵۲۶۴۴	۵۰۸۷۳	۱۰۳۵۱۷	۳۲۰۵۰	۳/۲	۸۶	۱۴
جمع	۸۹۵۹۹۰	۸۶۴۲۹۲	۱۷۶۰۲۸۲	۵۲۷۸۴۰	۳/۳	۹۳.۵	۶.۵

مأخذ: نتایج سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۹۵، مرکز آمار ایران



شکل (۸). پراکنش سکونتگاه‌های شهری در استان‌های پیرامون پلايای دریاچه نمک



شکل (۹). پراکنش سکونتگاه‌های روستایی در استان‌های پیرامون پلايای دریاچه نمک

• کیفیت زمین و نوع معیشت غالب در منطقه پیرامون پلايای دریاچه نمک
 براساس مشاهدات میدانی در محدوده مطالعاتی پلايای دریاچه نمک، ساختار کشاورزی تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله وضعیت خاک، منابع آب، شرایط اقلیمی و سایر عوامل قرار دارد. نواحی سکونتگاهی در حاشیه پلايای دریاچه نمک به دلیل خشکسالی و کویری بودن این منطقه، با چالش‌های بسیاری روبه‌رو هستند. در این منطقه، به دلیل

کمبود منابع آب و شوری آن، وجود خاک سنگین و شور باعث کاهش عملکرد مشاغلی از جمله کشاورزی شده است. به طور کلی، محدودیت منابع آب سطحی و زیرزمینی و تبخیر بالا در نواحی اطراف پلاپای دریاچه نمک، منجر به کاهش مستمر منابع آب در دسترس کشاورزان شده و آب نامناسب و با کیفیت پایین مورد استفاده قرار می‌گیرد. علاوه بر این، نحوه آبیاری نامناسب و استفاده از آب به صورت غرقابی، باعث شور شدن خاک و کاهش کیفیت آن شده و در نتیجه، تأثیرات منفی بر عملکرد تولیدات کشاورزی دارد. در نتیجه، کاهش مستمر کیفیت منابع آب و خاک مناسب برای کشاورزی، بهره‌وری اصلی این فعالیت را به طور قابل توجهی کاهش می‌دهد و تأثیرات آن بر کاهش عملکرد محصولات کشاورزی قابل ملاحظه است.

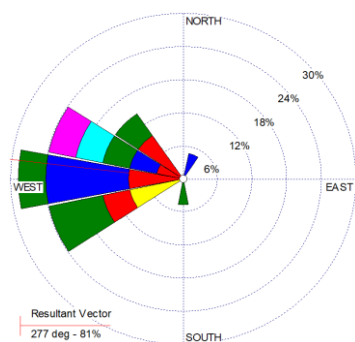
• کیفیت منابع آبی

محدوده پلاپای دریاچه نمک اغلب خشک و به ندرت در مواقع ترسالی دارای رواناب محدودی است؛ به گونه‌ای که کمترین اضافه برداشت و یا دست‌کاری در طبیعت پلاپای دریاچه نمک به لحاظ مشکلات عدیده‌ای که در این منطقه وجود دارد یک ساختار شکننده و غیرقابل برگشت حادث خواهد کرد. به سبب کاهش بارندگی‌های سالانه و افت شدید حجم آب رودخانه‌های ورودی به پلاپای دریاچه نمک و افزایش برداشت از سفره‌های آب زیرزمینی که نیازهای روزافزون بخش کشاورزی به آن دامن زده است، شوری آب‌چاه‌های مجاور پلاپای دریاچه نمک در دشت مسیله در سال‌های اخیر به طور روزافزون افزایش یافته و EC آب‌چاه‌ها به ۱۸۰۰۰ رسیده است که چشم‌انداز ناامیدکننده‌ای برای آینده فعالیت‌های اقتصادی به‌ویژه در بخش‌های کشاورزی و آبرزی پروری ترسیم می‌کند (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان قم، ۱۴۰۱).

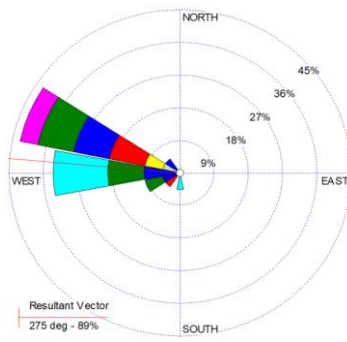
رژیم بارندگی در قم دچار تغییر شده است و تعداد بارش‌های بیش از ۱۰ میلی‌متر افزایش پیدا کرده که این بارش‌ها تبدیل به جریان رودخانه‌ای نمی‌شوند. میزان آب‌های سطحی در ۳۰ سال اخیر در قم نیز تا ۴۰ درصد کاهش پیدا کرده و در دو رودخانه مهم قم تقریباً خروجی صفر داشته‌اند. در همین حال در ۱۵ سال اخیر میزان مصرف آب در قم دو برابر شده و سرانه مصرف آب کشاورزی هم در این مدت ۳۵ درصد رشد داشته که این عدد بسیار بالاتر از استانداردهای جهانی است (فهیمی، ۱۳۹۶).

• جهت باد غالب و پدیده گردوغبار

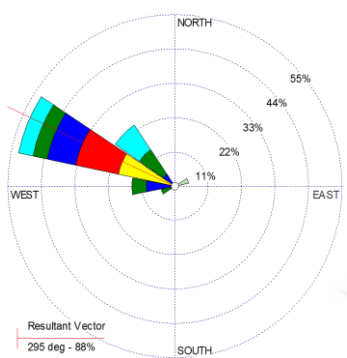
در بحث پدیده گردوغبار باید پارامتر حداکثر سرعت باد مورد توجه قرار گیرد زیرا وقوع بادهای شدید می‌تواند عامل ایجاد گردوغبار به‌ویژه در مناطق کویری و یا در مجاورت آن باشد. بررسی گلبادها در ایستگاه قم نشان می‌دهد که در تمامی فصول به جز تابستان، جهت باد غالب غربی بوده و در فصل تابستان شرقی است. در بحث پدیده گردوغبار باید پارامتر حداکثر سرعت باد مورد توجه قرار گیرد زیرا وقوع بادهای شدید می‌تواند عامل ایجاد گردوغبار به‌ویژه در مناطق کویری و یا در مجاورت آن باشد. از این رو گلبادهای فصلی و سالانه حداکثر سرعت باد بر حسب متر بر ثانیه در ایستگاه قم در دوره آماری ۱۳۹۲ الی ۱۳۹۸ ترسیم و در شکل ۱۰ و ۱۱ نمایش داده شده‌اند. همان‌گونه که دیده می‌شود، جهت باد حداکثر نیز در فصول پاییز، زمستان و بهار غربی بوده و در فصل تابستان شرقی است. بیشینه سرعت باد شرقی از ۱۸ تا ۲۰ متر بر ثانیه تجاوز نکرده و بیشترین درصد از باد شرقی (حدود ۳۵ درصد) سرعتی بین ۱۶ تا ۱۸ متر بر ثانیه دارد (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان قم، ۱۴۰۱).



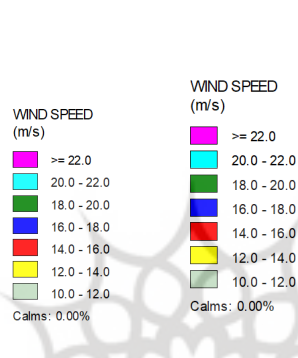
گلباد فصل بهار



گلباد فصل زمستان

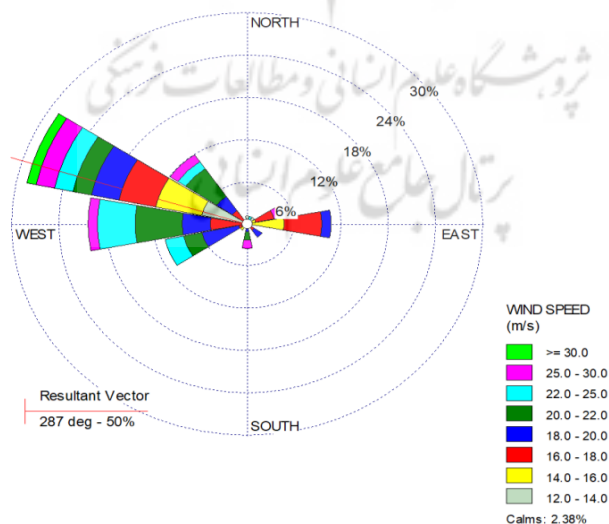


گلباد فصل پاییز



گلباد فصل تابستان

شکل (۱۰). گلبادهای فصلی بیشینه سرعت باد ایستگاه قم در سالهای ۱۳۹۲-۹۸ (منبع: سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان قم)



شکل (۱۱). گلباد سالانه میانگین بیشینه سرعت باد در ایستگاه قم در سالهای ۱۳۹۲-۹۸ (منبع: سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان قم)

مطالعات نشان می‌دهد غالب ریزگردها از منابع داخلی وارد استان قم می‌شوند و ریزگردهایی هم که از منابع خارج از کشور نشأت می‌گیرد نیازمند دیپلماسی‌های زیست‌محیطی است. بنابراین در مورد پلایای دریاچه نمک دو نکته مطرح است:

نخستین مسئله توجه به حوضه‌های آبریز منتهی به پلایای دریاچه نمک است که شامل هفت استان از جمله استانهای تهران، البرز، قم، مرکزی، اصفهان، سمنان و قزوین است به این مفهوم که تمام رودخانه‌های هفت استان به پلایای دریاچه نمک می‌رسند که با نگرش به ساخت سد آب زیادی وارد دریاچه نمی‌شود و اراضی اطراف دریاچه را تبدیل به کانون گردوغبار کرده است. دومین مسئله خود پلایای دریاچه نمک است، این پلایا تقریباً به لحاظ وسعت چیزی نزدیک به ۱۵ برابر شهر قم مساحت دارد و چیزی حدود ۷۰ کیلومتر فاصله هوایی از شهر قم دارد که فاصله زیادی نیست و می‌تواند تأثیرگذار باشد اگر این ابعاد و فاصله را در نظر بگیریم و با توجه به جهت غالب بادهای تابستانی که شش ماه در تابستان و بهار، باد از سمت دریاچه به سمت شهر قم می‌وزد می‌تواند به صورت دائمی بر شهر قم تأثیرگذار باشد (شفیعی، ۱۴۰۱).

• پوشش گیاهی

برای شناختن اقلیم یک منطقه، گیاهان نقش عمده‌ای را ایفا می‌کنند؛ زیرا آن‌ها پابرجاترین گونه زیست- محیطی محسوب می‌شوند که در همه دوره زندگی با عوامل محیطی مواجه هستند و منعکس‌کننده وضع آب‌وهوا، جنس زمین و میزان بارندگی می‌باشند. از سویی، شناسایی گیاهان در هر منطقه، بیان‌کننده توان طبیعی آن منطقه است (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان قم، ۱۴۰۱).

پوشش گیاهی این رویشگاه‌ها استپی است و در نواحی شوره‌زار درختچه‌های کوتاه مقاوم به شوری را نمایان می‌سازد. خاک‌های شور یکی از بارزترین ویژگی‌های بیابان‌های خاورمیانه محسوب می‌شوند. فقدان ذخیره آبی و تبخیر تابستانه بالا، مشخصه حاشیه کویرهای درونی، خاک‌های رسی و شنی با مقدار زیادی نمک در سطح است. رویشگاه‌های شوره‌زار در قسمت شرق و جنوب شرق استان قم وجود دارند در این رویشگاه‌ها به علت بافت رسی، سنگین بوده و شوری خاک بسیار بالا است و نیز به دلیل سطح بالای آب‌های زیرزمینی گونه‌های معدودی قابلیت رویش دارند (محرابیان و همکاران، ۱۳۸۶).

نگهداری و پرورش شتر یکی از فعالیت‌های چشمگیر در بخش دامداری منطقه است که در حاشیه پلایای دریاچه نمک رونق دارد. این فعالیت که در پیرامون روستاهای کوه سفید و فرج‌آباد قمرود برجسته‌تر است، به سبب افزایش گله‌های شتر و فزونی شمار این نوع دام نسبت به ظرفیت تولید علوفه در محدوده، آسیب‌هایی به پوشش گیاهی منطقه وارد می‌کند. چرای آزاد و بدون محدودیت گله‌های شتر در حاشیه پلایای دریاچه نمک به‌ویژه در محدوده شمال غربی دریاچه که بخشی از آن در قلمرو محدوده حفاظت‌شده کویر قرار دارد، مانع از شکل‌گیری و افزایش پوشش گیاهی مطلوب در این محدوده شده است.

نتیجه‌گیری

اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک، به دلیل ساختار اکولوژیکی خاص خود بیش از سایر اقلیم‌ها نسبت به تغییرات محیطی حساس بوده و آسیب‌پذیری بیشتری دارند. از جمله مهم‌ترین منابع زیست‌محیطی که در سال‌های اخیر در ایران مورد

تخریب قرار گرفته‌اند، منابع آبی و دریاچه‌ها می‌باشند که به‌طور روزافزونی در معرض نابودی و خشک شدن قرار گرفته‌اند. از این‌رو، مسائل زیست‌محیطی و در رأس آن‌ها خشک شدن منابع آبی و کاهش آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌توانند منبع و منشأ آسیب طبیعی و انسانی باشند که این مسئله منجر به خطر افتادن حیات در منطقه و کاهش امنیت ملی خواهد شد. پهنه پلايای دریاچه نمک با مساحت ۱۹۱۰ کیلومترمربع در میان سه استان قم، اصفهان و سمنان تقسیم شده است. امروزه این دریاچه به بحران زیست‌محیطی بزرگی دچار شده است و در خطر خشک شدن کامل قرار دارد. احداث سد های خارج از مدیریت در فلات مرکزی یکی از تهدیدهای محیط زیستی است که در اثر آن‌ها کویر جای تالاب‌ها و دریاچه‌ها را گرفته است که بزرگ‌ترین نماد بیابان‌زایی است. پایش و نظارت منظم و درک پویایی تغییرات، پاسخ اکوسیستم به فشارهای اجتماعی و طبیعی، تهیه اطلاعات برای برنامه‌ریزی و حفاظت از منابع طبیعی نیاز به پایش و نظارت مستمر و منظم دارد. بررسی تغییرات پلايای دریاچه نمک طی دوره زمانی ۳۰ ساله (۱۹۹۲-۲۰۲۱) با فواصل زمانی پنج سال نشان می‌دهد که در سال ۱۹۹۲ در بخش شمال غربی در پیرامون دریاچه فصلی، پهنه نمکی احاطه کرده است؛ اما به‌مرور زمان، دریاچه فصلی به‌طور کامل از بین رفته و پهنه نمکی گسترش یافته است. علت عدم وجود این سطح آب را در حال حاضر، احداث سد های متعدد در بالادست و کاهش بارندگی و افزایش درجه دما و افزایش تبخیر به‌طور کلی تغییر اقلیم و دخالت‌های انسانی است. شاخص شوری خاک در سال ۲۰۲۱ نیز نشان می‌دهد که بخش وسیع از منطقه دارای سطح شوری بالا است. بیشترین تغییرات شوری و نمکی در محدوده شمال غربی و جنوب شرقی محدوده است. مقایسه و تطبیق نتایج شاخص‌های شوری خاک و نقشه طبقه‌بندی اراضی، نشان می‌دهد که شاخص شوری استاندارد شده (NDSI) نتایج دقیق و بهتری از پهنه‌های نمکی و شور ارائه می‌دهد. نتایج سایر شاخص‌های شوری خاک از جمله شاخص شوری ۱ (SI₁)، شاخص شوری ۲ (SI₂) و شاخص درجه روشنایی (BI) برای منطقه مورد مطالعه، نتایج دقیق‌تری را نشان نمی‌دهد و نمی‌توان به نتایج این شاخص‌ها استناد کرد. با نگرش به توضیحات یاد شده و تغییرات پلايای دریاچه نمک و گسترش پهنه‌های نمکی که بر شمرده شد، خشکیدن پلايای دریاچه نمک پیامدهای زیست‌محیطی منفی برای نواحی پیرامون و ساکنان آن به همراه خواهد داشت. پیامدهای زیست‌محیطی خشک شدن پلايای دریاچه نمک از پنج ابعاد پراکندگی سکونتگاه‌های انسانی، کیفیت زمین، کیفیت منابع آبی، جهت باد غالب و پوشش گیاهی بررسی شد. از منظر پراکنش سکونتگاه‌های انسانی، در میان شهرهای پیرامون پلايای دریاچه نمک، شهر قم، کاشان و آران و بیدگل از مهم‌ترین کانون شهری پیرامون پلايای به‌شمار می‌رود. تغییر در توزیع جمعیت و مهاجرت اجباری می‌تواند یکی از پیامدهای منفی خشک شدن پلايای دریاچه نمک باشد. نتایج بررسی کیفیت زمین و نوع معیشت غالب حاکی از آن است که افزایش شوری خاک و کاهش میزان منابع آبی، مکانیسم کشت، عملکرد تولید، نوع تولید را تحت الشعاع قرار خواهد داد. بنابراین کاهش مستمر کیفیت منابع آب و خاک مناسب کشاورزی، بهره‌وری آب و خاک را به تدریج کاهش داده و می‌دهد به‌گونه‌ای که تأثیر آن در کاهش عملکرد تولیدات کشاورزی نیز کاملاً مشهود است و منجر به ناپایدار شدن فعالیت‌های کشاورزی و دامداری نواحی پیرامون خواهد شد. بررسی وضعیت و جهت باد غالب در منطقه، نشان داد که در نیمه نخست سال از اردیبهشت‌ماه تا اوایل مهرماه وزش بادهای در استان قم عمدتاً از شرق به غرب و در نقاطی که بیشترین بیابان و پلايای دریاچه نمک قرار دارد، اتفاق می‌افتد؛ می‌توان نتیجه گرفت که بیشتر خطرات ناشی از خشکیدن پلايای دریاچه نمک متوجه زمین‌ها و مناطق سکونتگاهی در غرب پلايای بخصوص استان قم خواهد شد. چراکه جهت و مقصد بادهای در حال وزش، سمت‌وسوی حرکت و پیشروی ریزگردهای نمک را تعیین می‌کند و اراضی در پیش روی

خود را مورد تأثیر قرار می‌دهد؛ این امر موجب انتقال ریزگردهای نمک به سمت شهرها و مناطق مسکونی، افزایش آلودگی هوا و مشکلات تنفسی و پوستی و ... در ساکنان را به همراه خواهد داشت. به لحاظ اثرات خشک شدن پلایای دریاچه نمک بر پوشش گیاهی می‌توان اشاره کرد که خشک شدن پلایای دریاچه نمک تأثیر مستقیم بر پوشش گیاهی و تنوع زیستی منطقه خواهد داشت و کاهش توانمندی زمین برای حمایت از گیاهان و جانوران محلی، به نوعی از تخریب زیست‌محیطی ناشی می‌شود. از این‌رو، موضوع پلایای دریاچه نمک موضوع جامعی است اعم از تأمین حق‌آبه‌ها، معادن و بهره‌برداری از خود دریاچه و تمام دستگاه‌هایی که در این موضوع دخیل هستند و چون فراتر از اقدامات یک استان است باید در سطح ملی مطرح شود. در نتیجه، مدیریت مستدام و هماهنگ برای حفظ پلایای دریاچه نمک به عنوان یک منبع زندگی و حیاتی برای اکوسیستم‌های محلی، نیازمند تدابیر جدی و هماهنگ از سطح استانی تا ملی است. این مسئله به عنوان یک چالش جامع، نیازمند تعامل بین اқشار مختلف جامعه، دولت و محققان است تا راهکارهای جامع و موثری برای مقابله با این چالش‌ها ارائه شود.

منابع

- ابطحی، مرتضی. ۱۳۹۱. روند تغییرات کویرهای حوضه دریاچه نمک در کواترنر پایانی و هولوسن. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه‌ریزی، دانشگاه اصفهان.
- اسفندیاری، فریبا؛ نادر سرمستی و محمدحسین فتحی. ۱۳۹۴. پایش نمکزار پلایای دامغان با پردازش داده‌های ماهواره‌ای چندطیفی. *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ۲۶ (۳): ۲۷۵-۲۹۰.
- تقوی مقدم، ابراهیم؛ شهرام بهرامی، الهه اکبری. ۱۳۹۵. مقایسه دو روش حداکثر احتمال و شبکه عصبی مصنوعی در ارزیابی تغییرات سطح جنگل‌های حرا با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست در منطقه حفاظت‌شده گاندو استان سیستان و بلوچستان، *نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل*، ۲۳ (۱): ۲۳-۴۸.
- جاور انصاری، عصمت. ۱۳۸۹. بررسی و شناسایی اشکال ژئومورفولوژی جنوب دریاچه نمک کاشان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و سنجش از دور. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، جغرافیا گرایش ژئومورفولوژی، دانشگاه خوارزمی (تربیت معلم سابق)، تهران.
- دائم‌پناه، راضیه. ۱۳۸۹. تهیه نقشه شوری و سدیمی خاک سطحی با دو روش دورسنجی و زمین‌آماری در جنوب شهرستان مه ولات، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، گروه علوم خاک، دانشگاه فردوسی مشهد.
- داورزنی، زهرا. ۱۳۹۷. تحلیل و ارزیابی تغییرات شوری خاک در لندفرم‌های بیابانی منطقه سبزوار با استفاده از داده‌های دورسنجی و آمار مکانی. رساله دکتری، رشته مخاطرات ژئومورفولوژی، دانشگاه خوارزمی، تهران.
- رضایی مقدم، محمدحسین و مهدی ثقفی. ۱۳۸۵. بررسی تحولات ژئومورفولوژیک پلایای کهک، استان خراسان جنوبی بر اساس روش‌های استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و منطق فازی. *مجله جغرافیا و توسعه*، ۴ (۸)، ۴۳-۶۰.
- سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان قم. ۱۴۰۱. *مطالعه جامع و یکپارچه بهره‌برداری از ظرفیت‌های دریاچه نمک*، جلد اول: وضعیت منطقه، مهندسین مشاور سامان آب سرزمین.
- سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان قم. ۱۴۰۱. *مطالعه جامع و یکپارچه بهره‌برداری از ظرفیت‌های دریاچه نمک*، جلد اول: تحلیل وضعیت موجود، مهندسین مشاور سامان آب سرزمین.
- سیف، عبدالله؛ و سیدمرتضی ابطحی. ۱۳۹۲. بررسی تحولات اقلیمی حوضه دریاچه نمک در کواترنر پایانی. *نشریه علمی-پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۱۷ (۴۶)، ۹۱-۱۱۱.
- شفیعی، سید احمد. ۱۴۰۱. معاون محیط زیست انسانی اداره کل حفاظت محیط زیست استان قم، خبرگزاری جام جم آنلاین. ۳۰ فروردین ۱۴۰۱.

- فرهنگ ینگجه، رقیه. ۱۳۹۵. *شناسایی لندفرم های مستعد تولید ریزگرد در حاشیه شمال باختری دشت کویر*. پایان نامه کارشناسی ارشد، رشته ژئومورفولوژی گرایش ژئومورفولوژی در برنامه ریزی محیطی، دانشگاه خوارزمی، تهران.
- فهمی، هدایت. ۱۳۹۶. معاون دفتر برنامه ریزی آبفای وزارت نیرو، مصاحبه خبرگزاری خبر آنلاین.
- قهرودی تالی، منیژه؛ و خدیجه علی نوری. ۱۳۹۶. تغییرات مکانی پلابای حوض سلطان، پژوهش های ژئومورفولوژی کمی. ۵ (۴)، ۱۰۳-۱۲۰.
- کارگر، ابودر. ۱۳۸۹. بررسی قلمروهای ژئومورفولوژیکی پلابای سیرجان با تکنیک GIS و RS. پایان نامه کارشناسی ارشد جغرافیا، گرایش ژئومورفولوژی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه اصفهان.
- کاویانی راد، مراد. ۱۳۹۰. امنیت زیست محیطی از منظر ژئوپلیتیک. *نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۲۰ (۲۳)، ۸۵-۱۰۶.
- کاویانی راد، مراد. ۱۳۹۰. پردازش مفهوم امنیت زیست محیطی (رابطه امنیت و اکولوژی). *فصلنامه ژئوپلیتیک*، ۷ (۳)، ۸۰-۱۰۰.
- کاویانی راد، مراد. ۱۳۹۰. نسبت ژئوپلیتیکی امنیت زیست محیطی و توسعه پایدار؛ مطالعه موردی دریاچه ارومیه. *فصلنامه مطالعات راهبردی*، ۱۴ (۱)، ۱۱۵-۱۴۷.
- کریمی، صادق، ۱۳۹۹، بازکاوی پیامدها و شیوه های مدیریت تغییرات اقلیمی (نمونه موردی: حوضه آبریز مرکزی ایران)، *نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۲۰ (۵۹)، ۱۹-۳۷.
- محرابیان، احمدرضا؛ اصغر عبدلی، حسین مصطفوی، عبدالرسول سلمان ماهینی، فراهم احمدزاده و مهرگان ابراهیمی. ۱۳۸۶. *سیمای پوششی روبشگاه های گیاهی استان قم*. *مجله علوم محیطی*، ۵ (۱)، ۸۱-۹۶.
- محمدخان، شیرین؛ فاطمه مرادی پور و انور مرادی. ۱۳۹۷. مقایسه و تحلیل گسترش نمکزارهای شمال غربی دریاچه ارومیه با استفاده از داده های میدانی، تصاویر ماهواره ای و رخساره های ژئومورفیک منطقه. *هیدروژئومورفولوژی*، ۱۷، ۱۸۵-۲۰۳.
- نظم فر، حسین؛ نادر سرمستی، سید کاظم علوی پناه. ۱۴۰۰. بررسی امکان کالیبراسیون سنجنده های LISSIII و ASTER با استفاده از نمکزارهای مناطق خشک ایران. *علوم و تکنولوژی محیط زیست*، ۲۳ (۳)، ۱۱۸-۱۳۱.
- Abuduwaili, Jilili.; M. V. Gabchenko, Xu. Junrong. ۲۰۰۸. Eolian transport of salts—A case study in the area of Lake Ebinur (Xinjiang, Northwest China). In: *Journal of Arid Environments* ۷۲ (۱۰): ۱۸۴۳-۱۸۵۲. DOI: ۱۰.۱۰۱۶/j.jaridenv.۲۰۰۸.۰۵.۰۰۶.
- Adams, Kenneth D.; W. Sada, Donald. ۲۰۱۴. Surface water hydrology and geomorphic characterization of a playa lake system. Implications for monitoring the effects of climate change. In: *Journal of Hydrology* ۵۱۰ (۱۲): ۹۲-۱۰۲. DOI: ۱۰.۱۰۱۶/j.jhydrol.۲۰۱۳.۱۲.۰۱۸.
- Anderson, J.R., Hardy, E., Roach, J.T., and Witmer, W.E. ۱۹۷۶. A land use and land cover classification system for use with remote sensing data. USGS professional paper ۹۶۴. (pp. ۱۳۸ ۱۴۵). Reston, Virginia' U.S. Geological Survey.
- Castañeda, C.; J. Herrero, and M.A.Casterad. ۲۰۰۵. Landsat monitoring of playa-lakes in the Spanish Monegros desert. *Journal of Arid Environments*, ۶۳(۲): ۴۹۷-۵۱۶. DOI.org/۱۰.۱۰۱۶/j.jaridenv.۲۰۰۵.۰۳.۰۲۱.
- Jebali, A.; A. Zare Chahouki. ۲۰۲۲. Impact of the land-use/cover on the dust emission using meteorological data and satellite imagery. In: *Int. J. Environ. Sci. Technol.* ۱۹ (۸): ۷۷۶۳-۷۷۷۶. DOI: ۱۰.۱۰۰۷/s۱۳۷۶۲-۰۲۲-۰۳۹۸۵-۴.
- Krinsley, D. B. ۱۹۷۰. A geomorphological and paleoclimatological study of the playas of Iran: Part II. *Geological survey United States Department of the Interior, Washington DC, USA.*
- Mather, PM. ۱۹۹۹. Computer processing of remotely sensed images. ۲nd Edition. Tylor & Wiely & sons.
- Laudadio, C.K. ۲۰۱۰. Remote sensing assessment of rapidly changing lake areas in semi-arid closed basins: modern playa lake response to meteorological variability and implications for pluvial Lake Palomas Holocene highstands.
- Rezaei Moghaddam, M.H.; and M. Saghafi. ۲۰۰۶. A change-detection application on the evolution of Kahak playa (South Khorasan province, Iran). *Environmental Geology*, ۵۱: ۵۶۵-۵۷۹. DOI.org/۱۰.۱۰۰۷/s۰۰۲۵۴-۰۰۶-۰۳۵۲-۸
- Shaw, P.A.; and R.G. Bryant. ۲۰۱۱. Pans, playas and salt lakes. *Arid zone geomorphology: process, form and change in dry lands*: ۳۷۳-۴۰۱ DOI.org/۱۰.۱۰۰۲/۹۷۸۰۴۷۰۷۱۰۷۷۷.ch۱۵.

- Shiran, M.; P Mozzi, H. Adab, and M.A.Z. Asadi. ۲۰۲۱. Remote sensing assessment of changes of surface parameters in response to prolonged drought in the arid zone of central Iran (Gavkhoni playa). *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, ۲۳:۱۰۰۵۷۵. DOI.org/۱۰,۱۰۱۶/j.rsase.۲۰۲۱,۱۰۰۵۷۵
- Wang, X.; F.Xiao, X. Geng, S. Hu, and Z.Wang. ۲۰۲۲. Spatiotemporal variations in surface water and its significance to desertification in China from ۲۰۰۰ to ۲۰۱۹. *Catena*, ۲۱۳:۱۰۶۱۸۲. DOI.org/۱۰,۱۰۱۶/j.catena.۲۰۲۲,۱۰۶۱۸۲
- Wu, W.; ۲۰۱۹. A brief review on soil salinity mapping by optical and radar remote sensing. *Research Developments in Saline Agriculture*: ۵۳-۶۵. DOI.org/۱۰,۱۰۰۷/۹۷۸-۹۸۱-۱۳-۵۸۳۲-۶_۲.
- Zucca, C.; N. Middleton, U. Kang, and H. Liniger. ۲۰۲۱. Shrinking water bodies as hotspots of sand and dust storms: The role of land degradation and sustainable soil and water management. *Catena*, ۲۰۷:۱۰۵۶۶۹. DOI.org/۱۰,۱۰۱۶/j.catena.۲۰۲۱,۱۰۵۶۶۹

