نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال دهم، شماره ٤، زمستان ١٤٠٢

صفحات ١٦٣- ١٨٢

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

سارا کیانی[1]؛ 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؛ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، رشته ژئومورفولوژی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی تهران، تهران، ایران.

دریافت مقاله :۱۴۰۲/۰۶/۱۱ پذیرش نهایی:۱۴۰۲/۰۹/۱۵

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 استانداردشده (NDSI)، شاخص شوری ۱ (SI۱)، شاخص شوری ۲ (SI۲) 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 گسترش‌یافته 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 می دهد که شهرهای قم، کاشان و آران و بیدگل نزدکترین سکونتگاها 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.

[1] نویسنده مسئول: Email: kiani@khu.ac.ir

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 دریاچه ها 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 اکولوژیک، هیدرولوژیک و ژئومورفولوژیک 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 اشار 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 قراردادند. در نتیجه خشکیدن دریاچه Ebinur توسط انسان، منبع جدیدی از مواد سست - بستر خشک - تشکیل‌شده که طوفان‌های گردوغبار را در این منطقه تشدید کرده است. آدامز و سدا (Adams & Sada, ۲۰۱٤) هیدرولوژی آب سطحی و ویژگی‌های ژئومورفیک سیستم دریاچه پلایا با نگرش به پیامدهایی برای نظارت بر اثرات تغییرات آب‌وهوا موردبررسی 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. جبالی 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 موردبررسی قرار دادند. مطالعه پلایاهای ایران نخستین بار به‌صورت 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 منتشرشده 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)، ابطحی (۱۳۹۱) موردبررسی قرار داده‌اند.

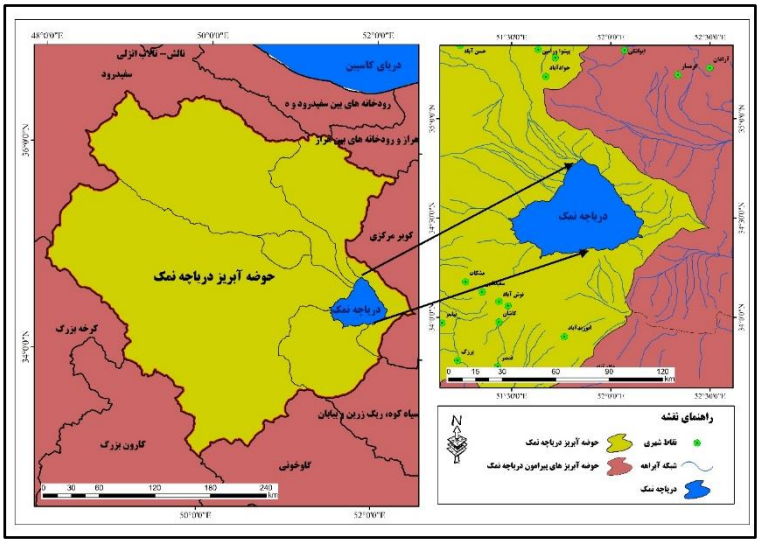
هم‌چنین محققانی از جمله فرهنگ (۱۳۹۵)، قهرودی تالی و علی نوری (۱۳۹۶)، داورزنی (۱۳۹۷)، محمدخان و همکاران (۱۳۹۷)، نظم‌فر و همکاران (۱۴۰۰) پژوهش‌هایی درباره تغییرات شوری خاک در داخل کشور انجام داده‌اند. درباره مسائل امنیتی و زیست محیطی می‌توان به تحقیقات کاویانی‌راد از جمله امنیت زیست‌محیطی از منظر ژئوپلیتیک (۱۳۹۰)، پردازش مفهوم امنیت زیست‌محیطی (رابطه امنیت و اکولوژی) (۱۳۹۰)، نسبت ژئوپولتیکی امنیت زیست‌محیطی 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 محیط‌زیست نواحی پیرامونی را درگیرتهدید 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 یک‌سو 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 به‌شدت تهدید کند. از این رو، درهم‌تنیدگی و هم افزایی 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 زیست‌محیطی و امنیتی برخاسته از این تغییرات را بررسی و واکاوی کند.

داده ها و روش کار

- **قلمرو جغرافیایی موردمطالعه**

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 موردمطالعه برابر با ۹۲۸۸۴ کیلومترمربع است که از این میان، نزدیک به ۴۲۰۲۶ کیلومترمربع آن را مناطق کوهستانی و ۵۰۵۲۴ کیلومترمربع باقیمانده را دشت‌ها و دریاچه‌ها می‌پوشاند. (شکل۱)(سیف و ابطحی، ۱۳۹۲).



شکل (۱). نقشه موقعیت جغرافیایی منطقه موردمطالعه

- **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 موردبررسی و تحلیل قرار گرفت. در ابتدا در مرحله پیش‌پردازش، با عملیاتی مانند layer stacking یا روی‌هم گذاری باندها، تصحیح رادیومتریکی از طریق دستور Radiometric Calibration و تصحیح اتمسفری با دستور Flaash و برش تصاویر در محیط نرم‌افزاری ENVI ۵،٦، 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] موردمحاسبه 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 وتغییرات میزان شوری خاک، به‌عنوان ملاکی برای تعیین روند خشکیدن پلایای دریاچه نمک استفاده‌شده و بررسی تغییرات پلایای دریاچه نمک طی دوره زمانی ۳۰ ساله (۱۹۹۲-۲۰۲۱) با فواصل زمانی پنج سال انجام‌شده است. در محیط نرم‌افزار ENVI۵،٦ فرمول‌های شاخص شوری بر روی تصاویر ماهواره‌های منطقه موردمطالعه اعمال شد و نتایج آن موردبررسی قرار گرفت. شاخص شوری استانداردشده (NDSI)، شاخص شوری ۱ (SI۱)، شاخص شوری ۲ (SI۲) و شاخص درجه روشنایی (BI) ازجمله شاخص‌هایی شوری خاک است که در مطالعه حاضر استفاده شده است (جدول ۱). پس از برآورد شاخص‌های موردمطالعه، 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 طبقه‌بندی‌شده است.

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

شاخص	معادله	منبع
SI۱	$SI1 = (B*R)^{1,2}$	Khan et al. (۲۰۰۱) and Khan et al. (۲۰۰۵)
SI۲	$SI2 = (G*R)^{1,2}$	Khan et al. (۲۰۰۵)
Brightness index (BI)	$BI = [(R)^2 + (NIR)^2]^{1/2}$	Khan et al. (۲۰۰۱) and Khan et al. (۲۰۰۵)
Normalized difference salinity index (NDSI)	NDSI =(TIR - NIR)/(TIR + NIR) (in digital number)	Iqbal (۲۰۱۱)

B blue, G green, R red, NIR near infrared, SWIR۱ shortwave infrared band ۵, SWIR۲ shortwave infrared band ۷, and TIR thermal infrared

جدول (۲). مشخصات تصاویر ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه

تصاویر ماهواره‌ای	سال تصویرداری	ماه تصویربرداری	روز تصویربرداری	فرمت
TM ۵	۱۹۹۲	آگوست	۵	Tiff
	۱۹۹۷		۴	
	۲۰۰۲		۱	
ETM۷	۲۰۰۷	آگوست	۷	Tiff
	۲۰۱۲		۴	
	۲۰۱۷		۲	
OLI	۲۰۲۱	آگوست	۵	Tiff

- **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 محاسبه‌شده 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. درنتیجه بادی نقاط تعلیمی به تعدادی باشد که خصوصیات نمونه‌ها در آن به‌صورت دقیق و کامل آورده شده باشد. برای انجام این روش ابتدا بایستی تمامی مراحل پیش‌پردازش انجام‌شده و نمونه‌برداری از منطقه نیز انجام‌شده باشد سپس نمونه‌های تعلیمی بر روی تصاویر انتخاب و روش حداکثر احتمال به‌کاربرده شود (تقوی مقدم و همکاران، ۱۳۹۵).

۱ Maximum Likelihood

- **ارزیابی صحت طبقه‌بندی**

روش‌های مورداستفاده در طبقه‌بندی بی‌شمارند و محققین برای انتخاب بهترین روش نیازمند بک معیار هستند که دقت روش استفاده‌شده را مورد آزمایش قرار دهند و تا زمانی که دقت یک روش موردبررسی قرار نگیرد نقشه حاصل از آن قابل استناد نیست از مهم‌ترین این معیارها می‌توان به صحت کلی۱، دقت کاربر۲، ضریب کاپا۳ 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, ۱۹۷٦).

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

دقت کاربر احتمال طبقه‌بندی یک کلاس خاص مطابق با همان کلاس در نقشه واقعیت زمینی را بیان می‌کند. به‌بیان‌دیگر 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 مورداستفاده قرار می‌گیرد. شاخص k یا ضریب کاپا درواقع معرف اختلاف بین توافق 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, ۱۹۷٦).

$$Kappa = \frac{po-pc}{۱-pc} \times ۱۰۰$$ رابطه (۲)

شرح و تفسیر نتایج

- **محاسبه ترکیب باندی**

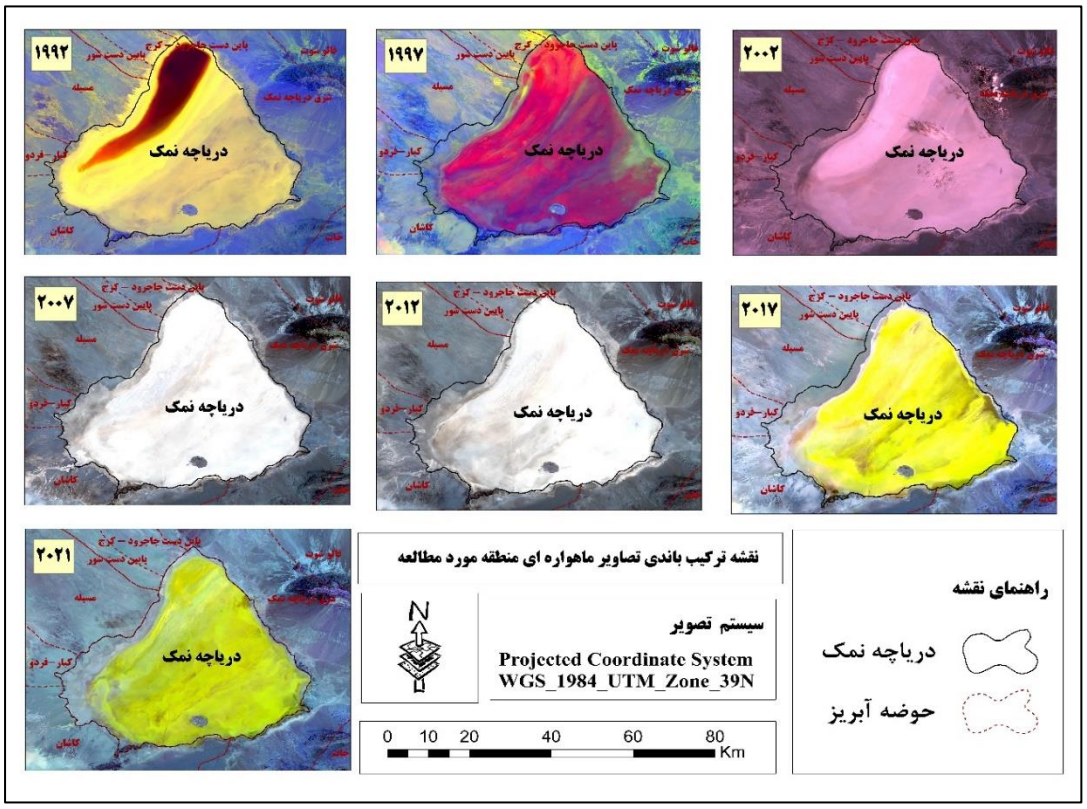
بر پایه محاسبه شاخص OIF، برای تصویر ماهواره‌ای TM۵ سال ۱۹۹۲، ترکیب باندی ۱.۴.۶ و برای تصویر ماهواره‌ای OLI سال ۲۰۲۱، ترکیب باندی ۲.۵.۶ بهترین ترکیب باندی جهت تشخیص عوارض در نظر گرفته‌شده است. برای سایر تصاویر ماهواره‌ای نیز ترکیب باندی محاسبه و در جدول (۳) مقادیر شاخص OIF هر تصویر و در شکل (۲) نقشه ترکیب باندی را ارائه می‌دهد.

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

تصاویر ماهواره‌ای	سال	ترکیب باندی	sum SD	SUM Correlation	OIF
TM ۵	**۱۹۹۲**	۱.۴.۶	۱/۲۰۷	۰/۰۲۳	۵۱/۳۲
	۱۹۹۷	۱.۵.۶	۰/۰۰۹	۰/۴۷۸	۰/۰۱
	۲۰۰۲	۱.۲.۳	۰/۰۱۳	۲/۸۷۵	۰/۰۰۵
ETM۷	**۲۰۰۷**	۱.۲.۳	۰/۰۱۰	۲/۹۷۰	۰/۰۰۴
	۲۰۱۲	۱.۲.۳	۰/۰۱۰	۲/۹۷۵	۰/۰۰۳

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

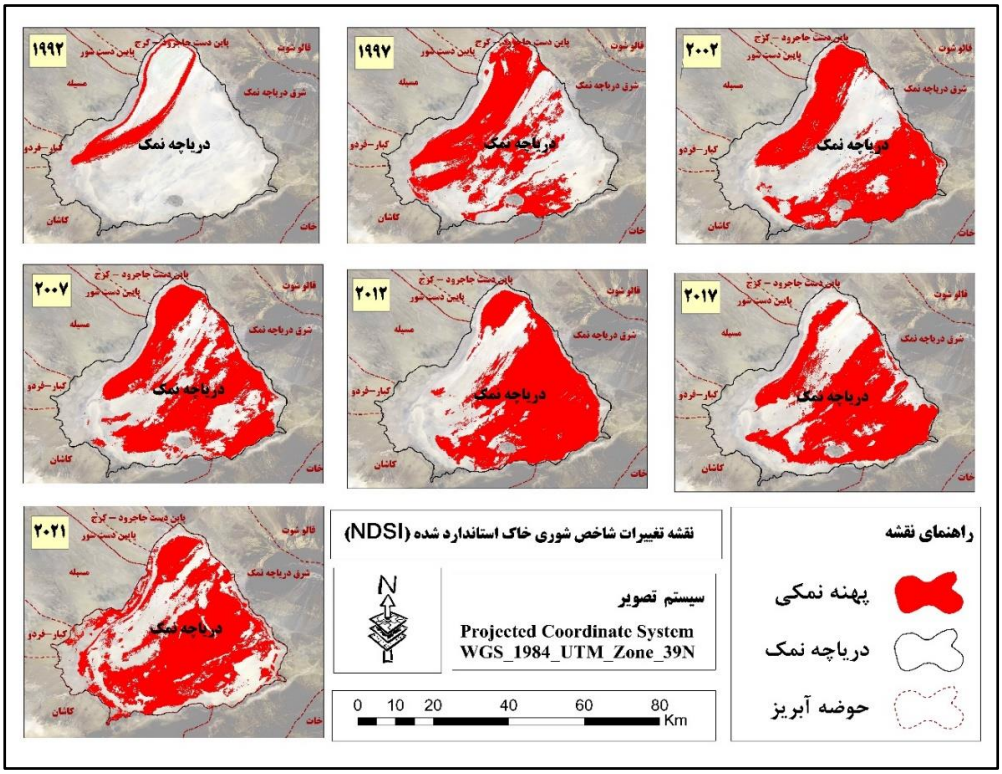
	۲۰۱۷	۱.۳.۵	۰/۰۰۸	۰/۰۴۷	۰/۱۷۵
OLI	**۲۰۲۱**	۲.۵.۶	۰/۷۹۸	۰/۰۰۹	۸۶/۷۹



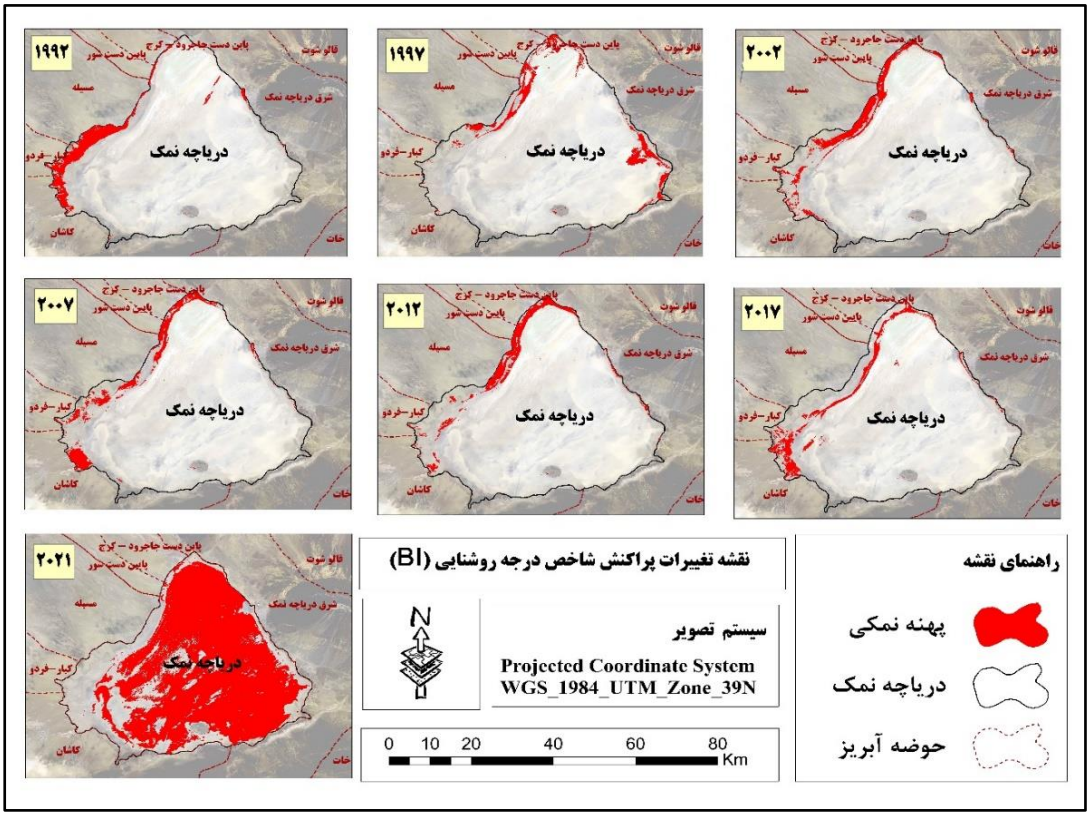
شکل (۲). ترکیب باندی تصاویر ماهواره ای پلایای دریاچه نمک

- **محاسبه شاخص‌های شوری خاک**

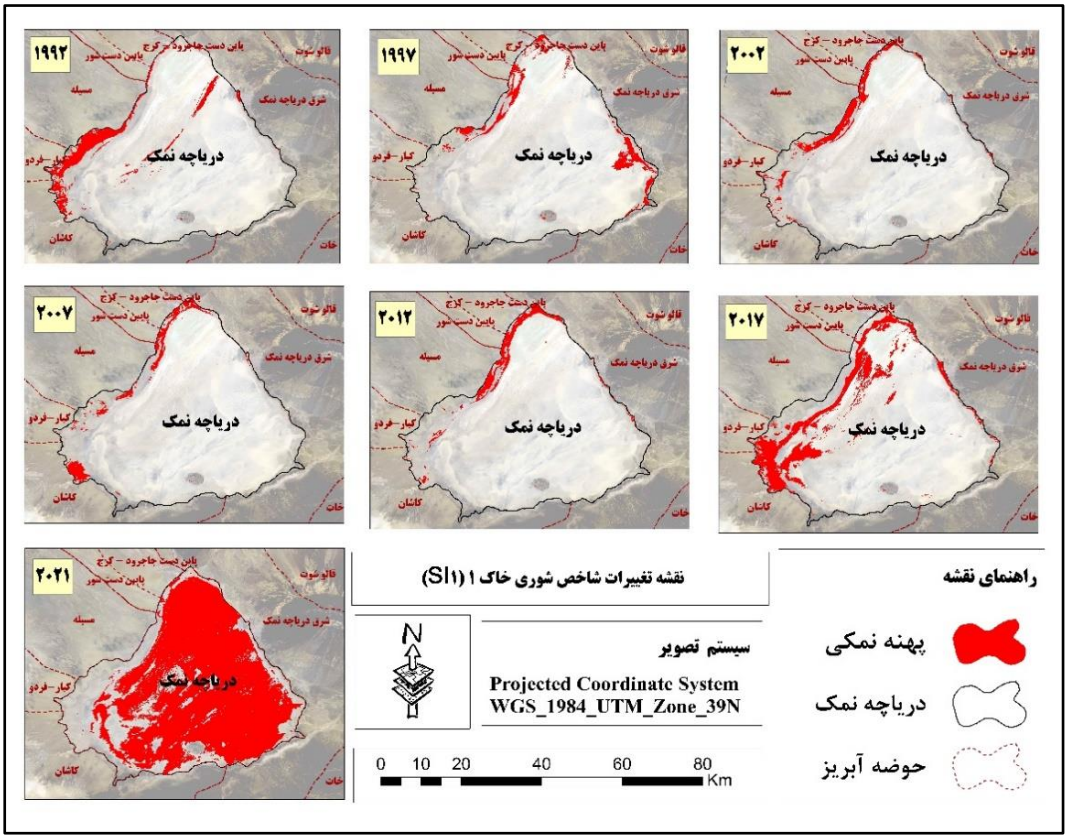
در پژوهش حاضر شاخص شوری استانداردشده (NDSI)، شاخص شوری ۱ (SI۱)، شاخص شوری ۲ (SI۲) و شاخص درجه روشنایی (BI) برای پایش تغییرات پلایای دریاچه نمک به کار گرفته شده است. طبق نتایج به‌دست‌آمده از شاخص شوری استانداردشده (NDSI)، در سال ۱۹۹۲ در بخش شمال غربی در پیرامون دریاچه فصلی، پهنه نمکی احاطه کرده است. به‌مرورزمان، پهنه نمکی در پلایای دریاچه نمک گسترش‌یافته است. نتایج شاخص شوری استانداردشده (NDSI) در سال ۲۰۲۱، بخش وسیعی از منطقه سطح شوری بالایی دارد. بیشترین تغییرات شوری و نمکی در محدوده شمال غربی و جنوب شرقی محدوده است (شکل۳). بررسی سه شاخص SI۱، SI۲ و BI، نتایج تقریباً یکسانی را از پهنه شوری خاک ارائه می‌دهد همان‌گونه که در شکل‌های ۴، ۵و ۶ مشاهده می‌شود پهنه‌های نمکی بخش‌های کمتری از حاشیه غربی و شمال غربی پلایای دریاچه نمک را در برمی‌گیرد و در سال ۲۰۲۱، پهنه نمکی، گسترش بیشتری نسبت به سال‌های قبل داشته است.



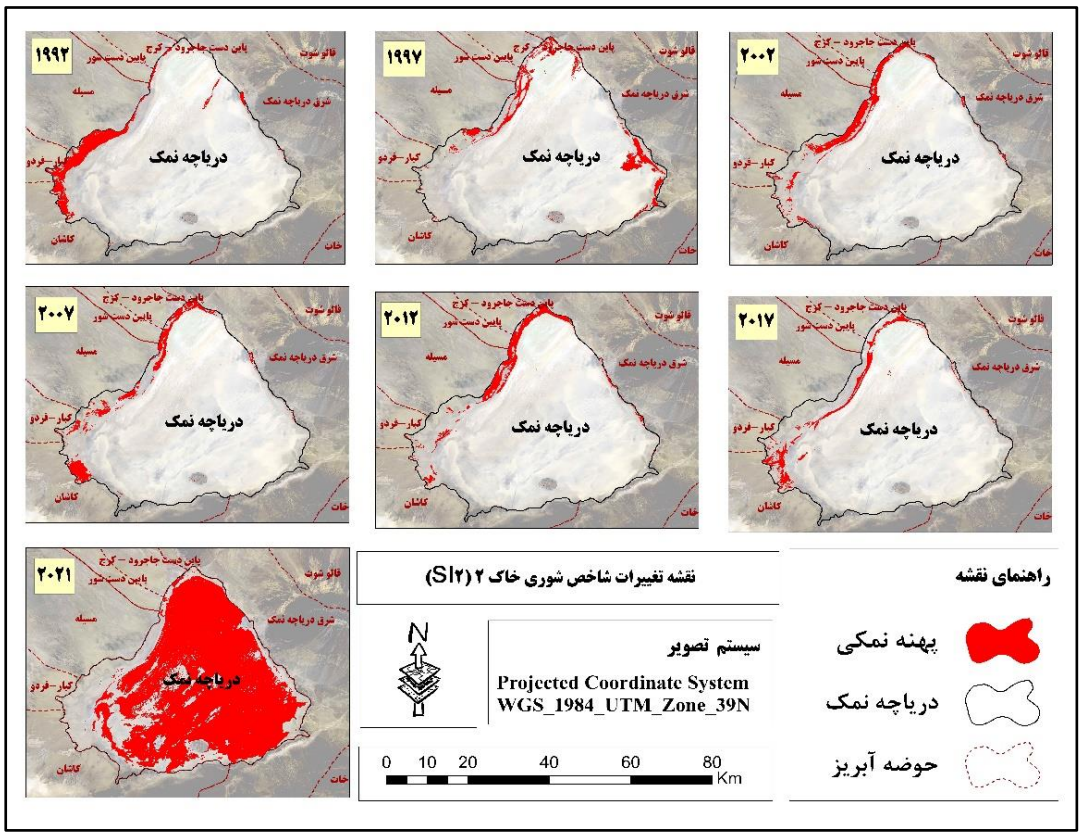
شکل (۳). تغییرات پراکنش شاخص شوری خاک استانداردشده NDSI پلایای دریاچه نمک طی بازه زمانی سی‌ساله (۱۹۹۲-۲۰۲۱)



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



شکل (۵). تغییرات پراکنش شاخص شوری خاک ۱ (SI۱) پلایای دریاچه نمک طی بازه زمانی سی‌ساله (۱۹۹۲-۲۰۲۱)

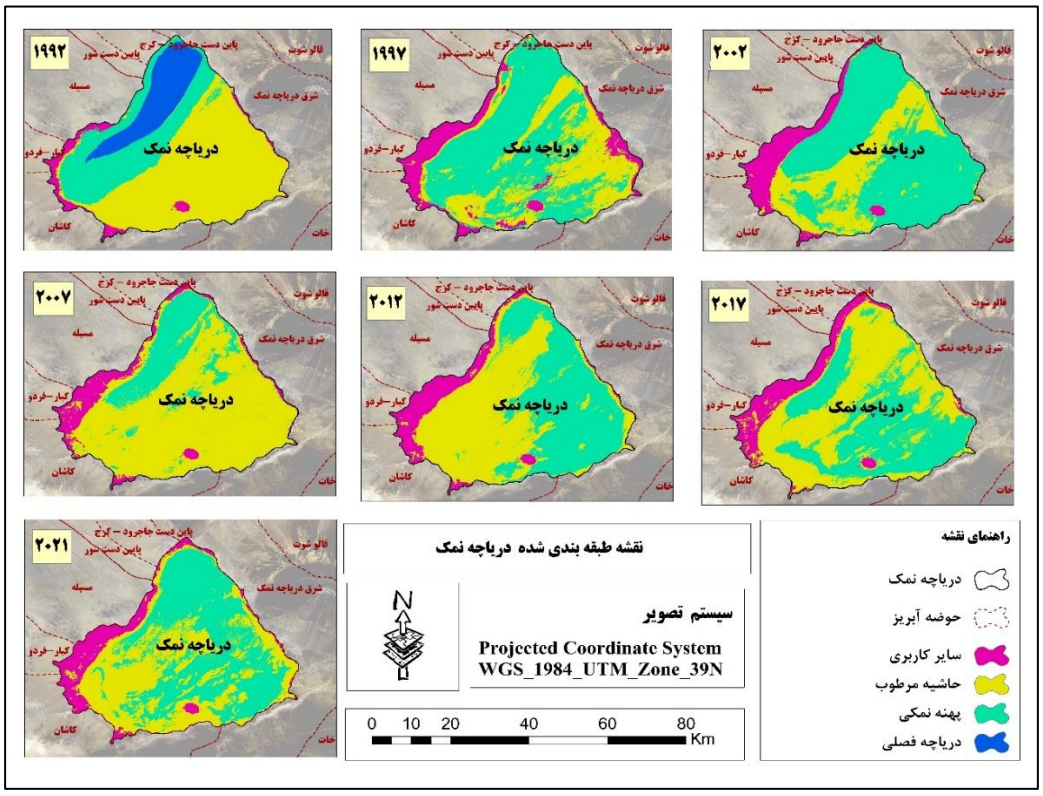


شکل (۶). تغییرات پراکنش شاخص شوری خاک ۲ (SI۲) پلایای دریاچه نمک طی بازه زمانی سی‌ساله (۱۹۹۲-۲۰۲۱)

- **طبقه‌بندی پوشش اراضی پلایای دریاچه نمک**

بررسی تغییرات پراکنش کاربری‌های موردمطالعه در محدوده پلایای دریاچه نمک نشان می‌دهد که در سال ۱۹۹۲، پهنه آبی به‌صورت 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 درگذشته گسترش کمتری را نسبت به سال‌های بعدی ارائه می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود پهنه نمکی قسمت‌های پیرامون دریاچه را احاطه کرده است. نقشه طبقه‌بندی‌شده 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 هرکدام 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 ۱۱۷۹/۸۸کیلومترمربع (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 موردمطالعه، مشهود نیست و به‌مرورزمان از میان رفته و به‌صورت پهنه نمکی ظاهرشده است (جدول ۵).



شکل (۷). نقشه طبقه‌بندی‌شده 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 موردمطالعه پلایای دریاچه نمک

سال	نام طبقه	مساحت (کیلومترمربع)	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 موردبحث قرار می‌گیرد.

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

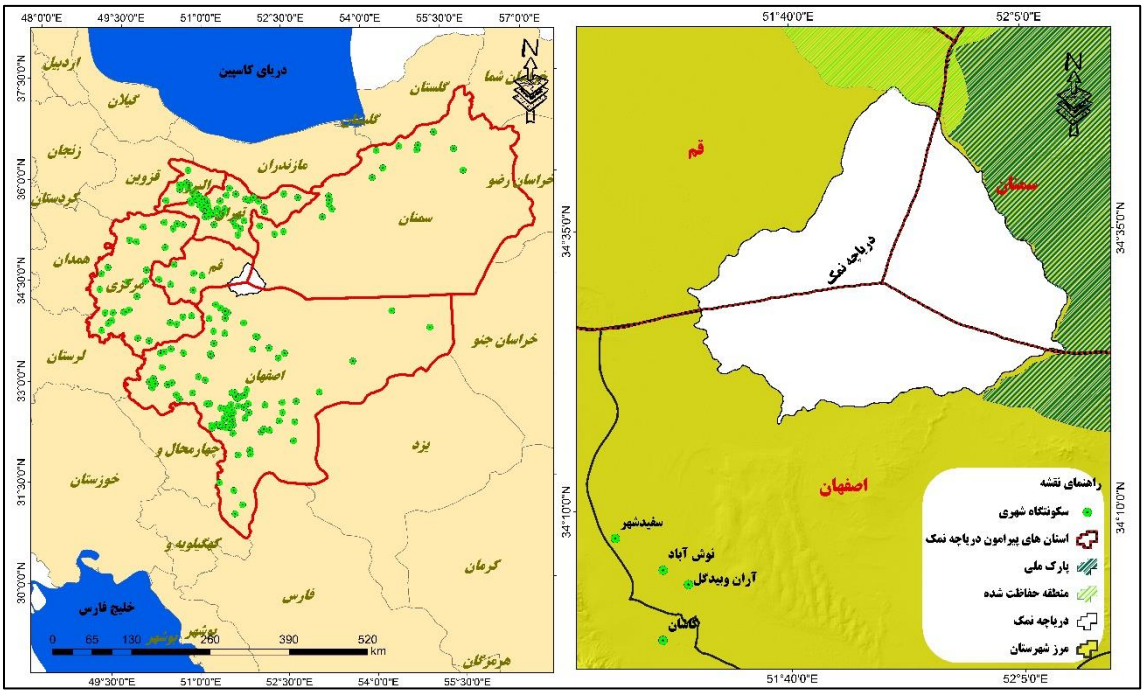
- **پراکندگی سکونتگاه‌های انسانی نسبت به پلایای دریاچه نمک**

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 برگرفته 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 حیات‌وحش یخاب است. بدین ترتیب، محدوده‌های شرقی، جنوب شرقی و جنوب پلایای دریاچه نمک را محدوده‌های حفاظت‌شده و خالی از سکونت در برگرفته 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 به‌جز 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 جای‌داده و تمرکز اصلی جمعیت منطقه در پهنه آن است (جدول ۶).

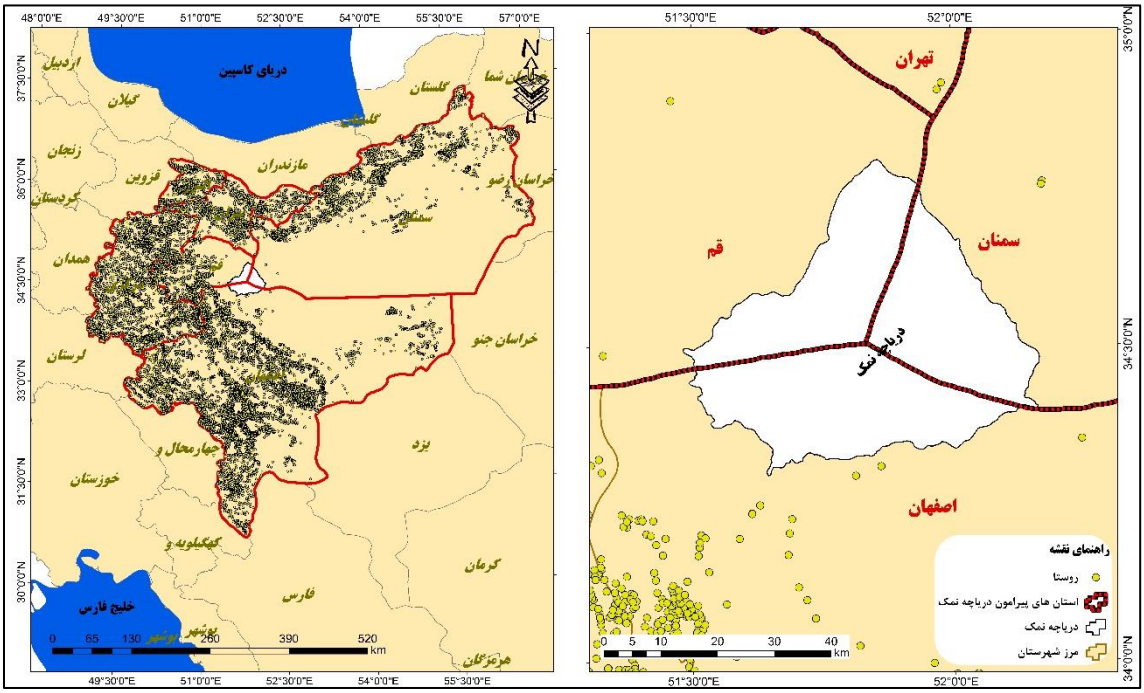
جدول (۶). جمعیت شهرستان‌های قم، کاشان و آران و بیدگل به تفکیک جنس و محل سکونت در سال ۱۳۹۵

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 پلایای دریاچه نمک



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

- **کیفیت زمین و نوع معیشت غالب در منطقه پیرامون پلایای دریاچه نمک**

براساس مشاهدات میدانی در محدوده مطالعاتی پلایای 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 پلایای 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. به‌طور کلی، محدودیت منابع آب سطحی و زیرزمینی و تبخیر بالا در نواحی اطراف پلایای 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 به‌صورت 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 به‌طور قابل توجهی کاهش می‌دهد و تأثیرات آن بر کاهش عملکرد محصولات کشاورزی قابل ملاحظه است.

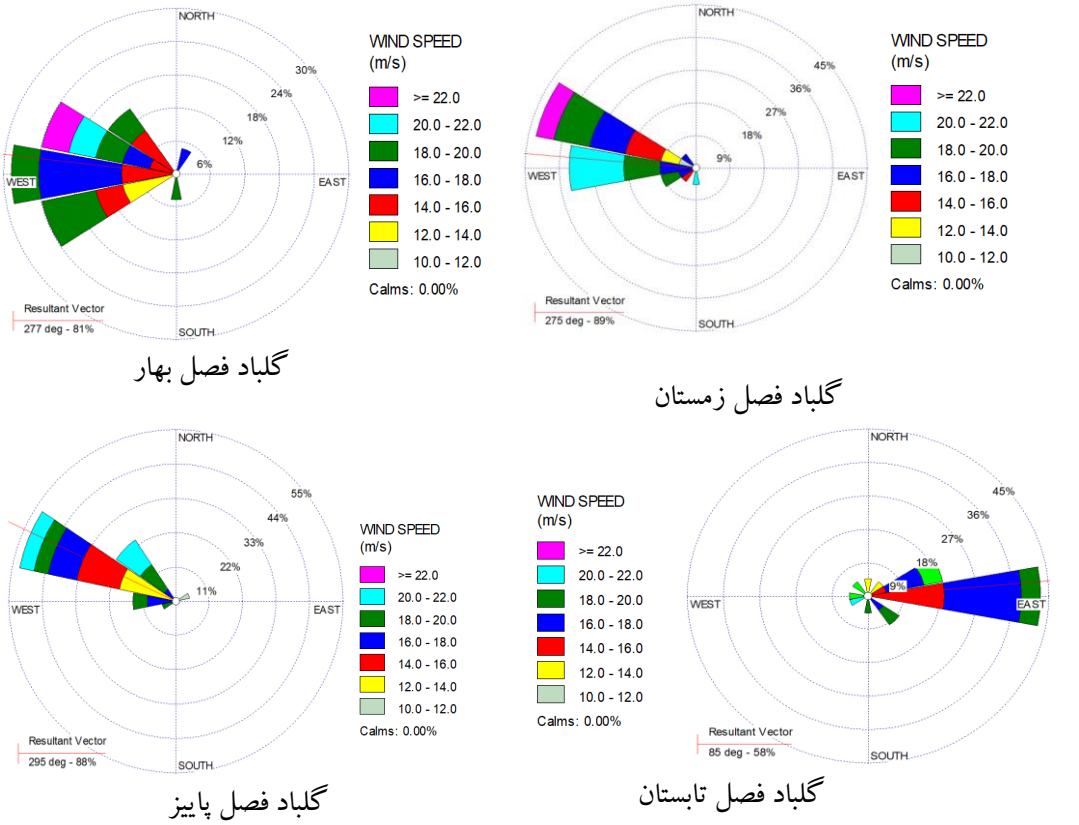
- **کیفیت منابع آبی**

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

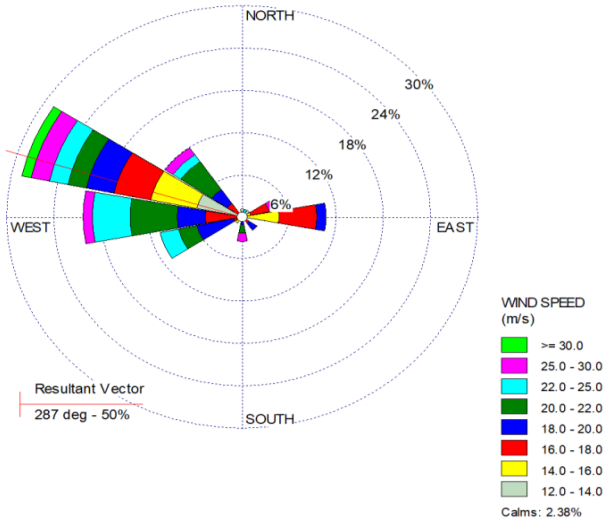
رژیم بارندگی در قم دچار تغییر شده است و تعداد بارش‌های بیش از ۱۰ میلی‌متر افزایش پیداکرده که این بارش‌ها تبدیل به جریان رودخانه‌ای نمی‌شوند. میزان آب‌های سطحی در ۳۰ سال اخیر در قم نیز تا ۴۰ درصد کاهش پیداکرده و در دو رودخانه مهم قم تقریباً خروجی صفر داشته‌اند. درهمین‌حال در ۱۵ سال اخیر میزان مصرف آب 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 موردتوجه 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 به‌جز تابستان، جهت باد غالب غربی بوده و در فصل تابستان شرقی است. در بحث پدیده گردوغبار باید پارامتر حداکثر سرعت باد موردتوجه قرار گیرد زیرا وقوع بادهای شدید می‌تواند عامل ایجاد گردوغبار به‌ویژه در مناطق کویری و یا در مجاورت آن باشد. ازاین‌رو گلبادهای فصلی و سالانه حداکثر سرعت باد برحسب متر بر ثانیه در ایستگاه قم در دوره آماری ۱۳۹۲ الی ۱۳۹۸ ترسیم و در شکل ۱۰ و۱۱ 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).



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 نشات 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 به‌صورت 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. ازجمله مهم‌ترین منابع زیست‌محیطی که در سال‌های اخیر در ایران مورد

تخریب قرارگرفته‌اند، منابع آبی و دریاچه‌ها می‌باشند که به‌طور روزافزونی در معرض نابودی و خشک شدن قرارگرفته‌اند. ازاین‌رو، 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 پلایای دریاچه نمک با مساحت ۱۹۱۰ کیلومترمربع در میان سه استان قم، اصفهان و سمنان تقسیم‌شده است. امروزه این دریاچه به بحران زیست‌محیطی بزرگی دچار شده است و درخطر خشک شدن کامل قرار دارد. احداث سدهای 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 پلایای 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 به‌مرورزمان، دریاچه فصلی به‌طور کامل از بین رفته و پهنه نمکی گسترش‌یافته است. علت عدم وجود این سطح آب را در حال حاضر، احداث سدهای متعدد در بالادست و کاهش بارندگی و افزایش درجه دما و افزایش تبخیر به‌طورکلی 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 استانداردشده (NDSI) نتایج دقیق و بهتری از پهنه‌های نمکی و شور ارائه می‌دهد. نتایج سایر شاخص‌های شوری خاک ازجمله شاخص شوری ۱ (SI۱)، شاخص شوری ۲ (SI۲) و شاخص درجه روشنایی (BI) برای منطقه موردمطالعه، نتایج دقیق‌تری را نشان نمی‌دهد و نمی‌توان به نتایج این شاخص‌ها استناد کرد. با نگرش به توضیحات یاد شده و تغییرات پلایای دریاچه نمک و گسترش پهنه‌های نمکی که برشمرده شد، خشکیدن پلایای دریاچه نمک پیامدهای زیست‌محیطی منفی برای نواحی پیرامون و ساکنان آن به همراه خواهد داشت. پیامدهای زیست محیطی خشک شدن پلایای دریاچه نمک از پنج ابعاد پراکندگی سکونتگاه‌های انسانی، کیفیت زمین، کیفیت منابع آبی، جهت باد غالب و پوشش گیاهی بررسی شد. از منظر پراکنش سکونتگاهای انسانی، در میان شهرهای پیرامون پلایای دریاچه نمک، شهر قم، کاشان و آران و بیدگل از مهم‌ترین کانون شهری پیرامون پلایا به‌شمار می‌رود. تغییر در توزیع جمعیت و مهاجرت اجباری می‌تواند یکی از پیامدهای منفی خشک شدن پلایای 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 آب‌وخاک مناسب کشاورزی، بهره‌وری آب‌وخاک را به‌تدریج 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 بادها در استان قم عمدتا از شرق به غرب و در نقاطی که بیشترین بیابان و پلایای دریاچه نمک قرار دارد، اتفاق می‌افتد؛ می‌توان نتیجه گرفت که بیشتر خطرات ناشی از خشکیدن پلایای دریاچه نمک متوجه زمین‌ها و مناطق سکونتگاهی در غرب پلایا 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 پوشش‌گیاهی می‌توان اشاره کرد که خشک شدن پلایای دریاچه نمک تأثیر مستقیم بر پوشش‌گیاهی و تنوع زیستی منطقه خواهد داشت و کاهش توانمندی زمین برای حمایت از گیاهان و جانوران محلی، به نوعی از تخریب زیست‌محیطی ناشی می‌شود. ازاین‌رو، 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 اقشار 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 وبرنامه‌ریزی 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 ماهواره ای 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*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، رشته ژئومورفولوژی گرایش ژئومورفولوژی در برنامه ریزی محیطی، دانشگاه خوارزمی، تهران.

فهمی، هدایت. ۱۳۹۶. معاون دفتر برنامه‌ریزی آبفای وزارت نیرو، مصاحبه خبرگزاری خبر آنلاین.

قهرودی تالی، منیژه؛ و خدیجه علی نوری. ۱۳۹۶. تغییرات مکانی پلایای حوض سلطان، *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*. **۵ (۴)**، ۱۰۳ -۱۲۰.

کارگر، ابوذر. ۱۳۸۹. بررسی قلمروهای ژئومورفولوژیکی پلایای سیرجان با تکنیک GIS و RS. پایان‌نامه کارشناسی ارشد جغرافیا، گرایش ژئومورفولوژی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه اصفهان.

کاویانی‌راد، مراد. ۱۳۹۰. امنیت زیست‌محیطی از منظر ژئوپلیتیک. *نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، **۲۰(۲۳)**، ۸۵-۱۰۶.

کاویانی‌راد، مراد. ۱۳۹۰. پردازش مفهوم امنیت زیست‌محیطی (رابطه امنیت و اکولوژی). *فصلنامه ژئوپلیتیک*، **۷ (۳)**، ۸۰-۱۰۰.

کاویانی‌راد، مراد. ۱۳۹۰، نسبت ژئوپلیتیکی امنیت زیست‌محیطی و توسعه پایدار؛ مطالعه موردی دریاچه ارومیه. *فصلنامه مطالعات راهبردی*، **۱۴ (۱)**، ۱۱۵-۱۴۷.

کرمی، صادق، ۱۳۹۹، بازکاوی پیامدها و شیوه‌های 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 رویشگاه‌های گیاهی استان قم. *مجله علوم محیطی*، **۵ (۱)**، ۸۱-۹۶.

محمدخان، شیرین؛ فاطمه مرادی‌پور و انور مرادی. ۱۳۹۷. مقایسه و تحلیل گسترش نمکزارهای شمال غربی دریاچه ارومیه با استفاده از داده‌های میدانی، تصاویر ماهواره‌ای و رخساره‌های ژئومورفیک منطقه. *هیدروژئومورفولوژی*، **۱۷**، ۱۸۵-۲۰۳.

نظم فر، حسین؛ نادر سرمستی، سید کاظم علوی پناه. ۱۴۰۰. بررسی امکان کالیبراسیون سنجنده‌های LISSIII و ASTER با استفاده از نمکزارهای مناطق خشک ایران. *علوم و تکنولوژی محیط‌زیست*، **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): ۱۸٤۳–۱۸٥۲. DOI: ۱۰,۱۰۱٦/j.jaridenv.۲۰۰۸,۰٥,۰۰٦.

Adams, Kenneth D.; W. Sada, Donald. ۲۰۱٤. Surface water hydrology and geomorphic characterization of a playa lake system. Implications for monitoring the effects of climate change. In: Journal of Hydrology ٥۱۰ (۱۲): ۹۲–۱۰۲. DOI: ۱۰,۱۰۱٦/j.jhydrol.۲۰۱۳,۱۲,۰۱۸.

Anderson, J.R., Hardy, E., Roach, J.T., and Witmer, W.E. ۱۹۷٦. A land use and land cover classification system for use with remote sensing data. USGS professional paper ۹٦٤. (pp. ۱۳۸ ۱٤٥). Reston, Virginia' U.S. Geological Survey.

Castañeda, C.; J. Herrero, and M.A.Casterad. ۲۰۰٥. Landsat monitoring of playa-lakes in the Spanish Monegros desert. Journal of Arid Environments, ٦۳(۲): ٤۹۷-٥۱٦. DOI.org/۱۰,۱۰۱٦/j.jaridenv.۲۰۰٥,۰۳,۰۲۱.

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): ۷۷٦۳–۷۷۷٦. DOI: ۱۰,۱۰۰۷/s۱۳۷٦۲-۰۲۲-۰۳۹۸٥-٤.

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. ۲۰۰٦. A change-detection application on the evolution of Kahak playa (South Khorasan province, Iran). *Environmental Geology*, ٥۱: ٥٦٥-٥۷۹. DOI.org/۱۰,۱۰۰۷/s۰۰۲٥٤-۰۰٦-۰۳٥۲-۸

Shaw, P.A.; and R.G. Bryant. ۲۰۱۱. Pans, playas and salt lakes. *Arid zone geomorphology: process, form and change in dry lands*: ۳۷۳-٤۰۱ DOI.org/۱۰,۱۰۰۲/۹۷۸۰٤۷۰۷۱۰۷۷۷.ch۱٥.

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/۱۰,۱۰۱٦/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*, ۲۱۳:۱۰٦۱۸۲. DOI.org/۱۰,۱۰۱٦/j.catena.۲۰۲۲,۱۰٦۱۸۲
Wu, W.; ۲۰۱۹. A brief review on soil salinity mapping by optical and radar remote sensing. *Research Developments in Saline Agriculture*: ٥۳-٦٥. DOI.org/۱۰,۱۰۰۷/۹۷۸-۹۸۱-۱۳-٥۸۳۲-٦_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*, ۲۰۷:۱۰٥٦٦۹. **DOI**.org/۱۰,۱۰۱٦/j.catena.۲۰۲۱,۱۰٥٦٦۹