



فصلنامه علوم محیطی، دوره نوزدهم، شماره ۱، بهار ۱۴۰۰

۲۳۹-۲۵۸

مطالعه اقلیمی تغییرات منابع عمده آب در استان قم با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و فناوری‌های سنجش از دور

نیما روحانی^{۱*}، طاهر رجائی^۱، برات مجردی^۲، احسان جباری^۱، سید احمد شفيعی دارابی^۳ و مهران حیدری بنی^۴

^۱ گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه قم، قم، ایران

^۲ گروه مهندسی نقشه برداری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

^۳ اداره کل حفاظت محیط زیست استان قم، قم، ایران

^۴ اداره کل هواشناسی استان قم، قم، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۱/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۵/۲۸

روحانی، ن.، ط. رجائی، ب. مجردی، ا. جباری، س.ا. شفيعی دارابی و م. حیدری بنی. ۱۴۰۰. مطالعه اقلیمی تغییرات منابع عمده آب در استان قم با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و فناوری‌های سنجش از دور. فصلنامه علوم محیطی. ۱۹(۱): ۲۳۹-۲۵۸.

سابقه و هدف: تاکنون مطالعات زیادی در زمینه بررسی تغییرات اقلیمی و آب‌وهوایی انجام شده است. برخی از این پژوهش‌ها شامل مطالعه منابع آب سطحی می‌شود. زیرا این منابع آب از طرفی بسیار متأثر از تغییرات آب‌وهوایی است و از طرفی دیگر بر محیط پیرامونی و محیط زیست تأثیر گذارند. بسیاری از پژوهش‌های انجام گرفته در این حوزه با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی، هیدرومتری و نیز تصاویر ماهواره‌های مختلف می‌باشد. تصاویر ماهواره لندست به سبب قدمت به نسبت زیاد جهت مطالعه در حدود چند دهه مناسب‌تر به نظر می‌رسند. هدف پژوهش حاضر، مطالعه تغییرات پهنه‌های آبی دریاچه نمک و تالاب حوض سلطان با استفاده از داده‌های هواشناسی ایستگاه‌های زمینی و نیز تصاویر ماهواره لندست به صورت کمی و کیفی است.

مواد و روش‌ها: ابتدا با استفاده از پارامترهای اقلیمی موجود، دوره و گام‌های زمانی مطالعه مشخص شد. این پارامترها شامل میانگین دما، بیشینه و کمینه دما، بارندگی، رطوبت نسبی، تبخیر و غیره بود که در سه ایستگاه استان قم شامل ایستگاه قم، سلفچگان و کهک اندازه‌گیری شده بودند. این کار با روندیابی و نیز بررسی تغییرات و جهش‌های اقلیمی در هریک از این پارامترها انجام پذیرفت. به نحوی که با استفاده از نمایش نموداری و آزمون آماری مناسب، تغییرات فراتر از معمول براساس آزمون داده‌های پرت، استخراج شد و سال مورد نظر از بازه مطالعه حذف گردید. در مرحله بعد تصویرهای ماهواره‌های لندست در زمان‌های انتخابی در مرحله قبل اخذ گردید. این تصویرها، پیش پردازش، پردازش و پس پردازش شد. شاخص‌های مربوط به طبقه‌بندی چهار کلاس آب، خاک نمکی، خاک معمولی و پوشش گیاهی اعمال و در استان قم بومی سازی گردید.

نتایج و بحث: براساس مطالعه تغییرات پارامترهای اقلیمی، سال‌های نامناسب حذف و زمان‌های مطالعه از سال ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۹ میلادی با

* Corresponding Author: *Email Address.* n.rohani@stu.qom.ac.ir
<http://dx.doi.org/10.52547/envs.33643>

گام‌های زمانی ۵ ساله انتخاب گردید. طبقه‌بندی تصویرهای مربوط به این زمان‌ها برای تالاب حوض سلطان دریاچه نمک و محیط پیرامونی آن‌ها با روش ماشین بردار پشتیبان در نرم افزار ENVI انجام گرفت. این طبقه‌بندی برای تصویرها در هر هفت گام زمانی اجرا شد و مساحت هر یک از کلاس‌های آب، خاک نمکی، خاک معمولی و پوشش گیاهی، محاسبه گردید. نتایج طبقه‌بندی با روش‌های بصری و تعدادی نمونه‌های زمینی کنترل شد. در مرحله بعد، تغییرات کلاس‌ها نیز مدل‌سازی و محاسبه گردید. میزان تغییر هر کلاس و تبدیل آن به سه کلاس دیگر بین گام‌های زمانی محاسبه شد و نتایج آن به صورت ماتریس تغییرات بیان گردید. ماتریس تغییرات، هم به صورت درصد تغییر و هم به صورت تغییرات با واحد متریک (مترمربع) نمایش داده شد. بر این اساس امکان بررسی عمده تغییرات هر کلاس و مطالعه آن فراهم آمد.

نتیجه‌گیری: به‌طور کلی روند تغییرات عنصرهای اقلیمی و نیز پهنه‌های آبی استان قم هم جهت بوده است. در بازه زمانی مورد مطالعه برای تالاب حوض سلطان، اواسط دوره مطالعه یعنی حدود سال ۲۰۰۴ میلادی با سطح زیر پوشش آب ۶۱۶۶۷ هکتار را می‌توان خشک‌ترین سال در بازه زمانی در نظر گرفت. در مورد دریاچه نمک نیز سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۴ به‌عنوان خشک‌ترین سال‌ها طبقه‌بندی شده‌اند. سال ۲۰۰۹ با مساحت زیر پوشش آب در حدود ۲۸۱ هکتار، خشک‌ترین سال بازه مطالعه است. بررسی این تغییرات با شناخت حوضه آبریز هر دو پهنه آبی و تفاوت‌های آن‌ها اطلاعات ارزشمندی در اختیار محققان خواهد گذاشت.

واژه‌های کلیدی: استان قم، تالاب دریاچه نمک، حوض سلطان، تصاویر ماهواره.

مقدمه

بررسی تغییرات پارامترهای هواشناسی نظیر دما و بارندگی برای بازه‌های مشخص زمانی در ایستگاه‌هایی خاص از استان در گذشته انجام شده است (Darabi et al., 2016). همچنین مطالعه این تغییرات در روندهای اقلیمی و بررسی خشکسالی با هدف‌های دیگر نیز به انجام رسیده است (Tabari et al., 2008; Asakereh, 2007). بررسی‌ها افزون بر استفاده از داده‌های ایستگاهی می‌تواند با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و به‌وسیله آشکارسازی عوارض و مطالعه تغییرات پوشش زمین یا کاربری زمین‌ها باشد. (Baaghideh et al., 2011; Ahmadi et al., 2020) نیز (Mohammadyari et al., 2015) با استفاده از مطالعات سنجش از دوری تغییرات اقلیم را مورد ارزیابی قرار دادند. مطالعاتی این چنین می‌تواند بررسی‌های فاز صفر برای پژوهش‌های آینده محیط زیستی نیز قلمداد گردد. از دیرباز مطالعات اقلیمی بسیاری جهت شناخت هرچه بیشتر محیط زیست توسط محققان حوزه‌های مرتبط انجام گرفته است. آشنایی هرچه بیشتر با روند تغییرات اقلیمی و آب‌وهوایی، نقطه تمرکز و توجه مطالعات ثانویه در حوزه محیط زیست بوده است (Nepal, 2016).

این مطالعات در برگزیده تمام پدیده‌ها و عوارض محیط زیست طبیعی و نیز ساخته دست بشر می‌باشند. مطالعه روی دریاها و دریاچه‌ها، پارامترهای هواشناسی، بیابان‌زایی، گردوغبار، پوشش گیاهی و غیره از این قبیل می‌باشند که به‌طور عمده منشأ طبیعی دارند. سازه‌های بزرگ که تأثیرات بسیاری بر طبیعت دارند و هم بسیار متأثر از آن می‌باشند نظیر سدها، دریاچه‌های مصنوعی، طرح‌های انتقال آب و غیره نیز به‌طور عمده پدیده‌های ساخته دست بشر می‌باشند. پیوند غیر قابل انکار مجموعه این عوامل، مطالعات حوزه محیط زیست را بسیار گسترده و نیز پیچیده ساخته است (Ochs et al., 2020). بررسی تغییرات پهنه‌های آب سطحی نظیر تالاب‌ها و دریاچه‌ها در کنار مطالعه تغییرات پارامترهای اقلیمی در شناخت روندهای محیط زیستی بسیار راهگشا می‌باشند (Li et al., 2020). تغییرات آب‌های سطحی که خود متأثر از تغییرات اقلیمی است، از جهتی دیگر بر ابعاد مختلف محیط زیست تأثیرگذار است. استان قم دارای پنج پهنه آبی سطحی شامل دریاچه نمک، تالاب حوض سلطان، تالاب مره، تالاب غدیر اسب و تالاب/آبگیر بهشت معصومه می‌باشد. از

وسعت آن در حدود ۳۷۰۷۵ هکتار بوده که یکی از پست‌ترین نقاط در فلات ایران است و ارتفاعی در حدود ۷۹۰ الی ۹۰۰ متر از سطح دریا دارد. این تالاب از نظر اکولوژیکی و محیط زیستی به چهار بخش قابل تفکیک است. (۱) کفه نمکی سفید رنگ تالاب که بخش اصلی آبی منطقه را تشکیل می‌دهد و در حدود سه ماه از سال دارای آب می‌باشد به مساحت ۶۸۰۰ هکتار، (۲) حاشیه باتلاقی تالاب از جنس رس که در اطراف کفه نمکی قرار گرفته است و مساحتی در حدود ۳۷۷۰ هکتار دارد، (۳) منطقه اکولوژیک که در لایه خارجی حاشیه باتلاقی قرار دارد و دارای پوشش متراکمی از گیاهان شورپسند است، به مساحت حدودی ۱۱۴۰۰ هکتار و (۴) مناطق دشتی اطراف که دارای پوشش گیاهی یک دست از جامعه درمنه دشتی است و مساحتی بیش از ۱۵۰۰۰ هکتار دارد. دریاچه نمک با وسعت تقریبی ۲۴۰ هزار هکتار و ارتفاع حدود ۸۰۰ متر به لحاظ وسعت جزء دریاچه‌های بزرگ کشور محسوب می‌گردد. کفه‌های نمکی و دریاچه‌های کوچک شور بسیاری در اطراف این دریاچه قرار گرفته است. از جمله این موارد می‌توان به دریاچه حوض سلطان یا ساوه، کفه نمکی مَره و غدیر اسب اشاره کرد. دریاچه نمک، آبیگری است فصلی که در فصل زمستان با دریافت سیلاب‌های حاصل از رودخانه‌های کرج، جاجرود، رود شور، قمرود، قره‌چای و غیره به ناحیه‌ای پر از آب و موج تبدیل می‌گردد. بالا بودن سفره‌های آب زیر زمینی در این ناحیه نیز خود یکی از منابع فعال کننده آب دریاچه محسوب می‌شود. متأسفانه در دهه‌های اخیر با احداث سدهای متعدد در بالا دست هر یک از رودخانه‌های تأمین کننده آب دریاچه، میزان آب دریافتی منطقه بسیار کاهش یافته و در مواردی به کمتر از ۲ درصد میزان اولیه خود رسیده است. شکل ۱ مربوط به نمایش این دو پهنه آبی مد نظر در پژوهش حاضر است.

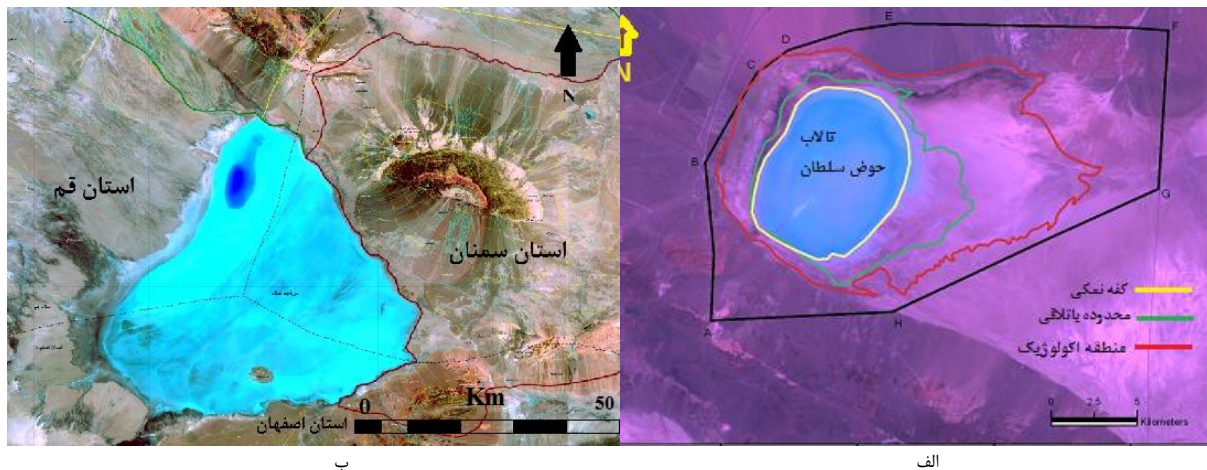
این میان دریاچه نمک و تالاب حوض سلطان وسعت و اهمیت بیشتری را دارا می‌باشند و مرز مشخص‌تری نسبت به سایر پهنه‌های آب استان دارند. مطالعه تغییرات این دو پهنه آبی به سبب جامعیت منطقه هریک و نیز منطقه بالادست آن‌ها اطلاعات مفیدی را در مورد تغییر اقلیم استان در اختیار قرار می‌دهد. از جمله مطالعات مرتبط با اقلیم و پهنه‌های آبی استان توسط (Fattahi (2009) انجام شده است که تأثیر خشکی منابع بر روند بیابان زایی استان را بویژه پس از احداث سد ۱۵ خرداد و سد ساوه بررسی نموده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

استان قم، در مجاورت کویر مرکزی ایران و در غرب آن واقع شده که کمابیش ۰/۶ درصد از مساحت کل کشور را در بر می‌گیرد. از شمال به استان تهران، از غرب به استان مرکزی، از شرق به استان سمنان و از جنوب به استان اصفهان محدود می‌باشد. آب و هوای قم در طبقه‌بندی اقلیمی کشور در زمره آب‌وهوای نیمه بیابانی (اقلیم کویری و خشک) محسوب می‌شود. مختصات جغرافیایی این استان از ۵۰ درجه و ۸ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۵۸ دقیقه شرقی برای طول جغرافیایی و عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۸ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۹ دقیقه شمالی است. دو پهنه آبی دریاچه نمک و تالاب حوض سلطان، مهمترین منابع آب سطحی استان قم می‌باشند. البته در تقسیمات کشوری دریاچه نمک به‌طور کامل در استان قم واقع نشده است. این دریاچه همانند مثلثی بین سه استان سمنان (در شرق)، اصفهان (در جنوب) و قم (در غرب) واقع شده است.

تالاب حوض سلطان در ۴۵ کیلومتری شمال شهر قم و در ضلع شرقی اتوبان قم - تهران قرار گرفته است.



شکل ۱- دو پهنه آبی مورد مطالعه. الف) تالاب حوض سلطان و ب) دریاچه نمک
 Fig. 1- The studied water zones, A) Hoz-e Soltan Wetland and, B) Namak Lake

انتخاب زمان‌های مطالعه

در پژوهش حاضر ابتدا با استفاده از بررسی تغییرات پارامترهای اقلیمی / هواشناسی در استان قم، نسبت به شناخت و انتخاب سال‌های مطالعه تصمیم‌گیری شد. به نحوی که سال‌هایی که در آن‌ها تغییرات خارج از معمول یا جهش اقلیمی مشاهده گردید، از دامنه بررسی‌ها خارج گردید. افزون بر تحلیل نموداری تغییرات پارامترهای مورد بحث، جهش‌های اقلیمی در پارامترهای هواشناسی استان قم با استفاده از آزمون من - کندال^۱ شناسایی شد. از آن جایی که برخی از تغییرهای آب‌وهوایی به‌طور کلی از توزیع نرمال پیروی نمی‌کنند و بررسی تغییرات آن‌ها در دوره‌های زمانی مختلف بنا بر موضوع و محدوده زمانی و مکانی مطالعه، منطقی می‌نماید، بنابراین استفاده از آزمون رتبه‌ای نظیر آزمون پرکاربرد من - کندال منطقی است. همچنین به‌دلیل این‌که استفاده از این روش نیاز به نرمال بودن توزیع داده‌ها ندارد، استفاده از این روش مورد علاقه محققان بسیاری بوده است. در پژوهش حاضر این روش نیز مورد توجه قرار گرفت. حذف سال‌هایی که تغییرات آن‌ها خارج از محدوده تعریف شده بودند نیز با استفاده از آزمون حذف داده‌های پرت انجام گرفت. داده‌هایی که از نظر قدر مطلق استاندارد شده بزرگتر از ۲/۵ بودند، یک داده پرت محسوب شده و حذف شدند. در عمل در تحقیق حاضر منظور از حذف داده، به حساب نیاوردن آن داده یا سال بوده است.

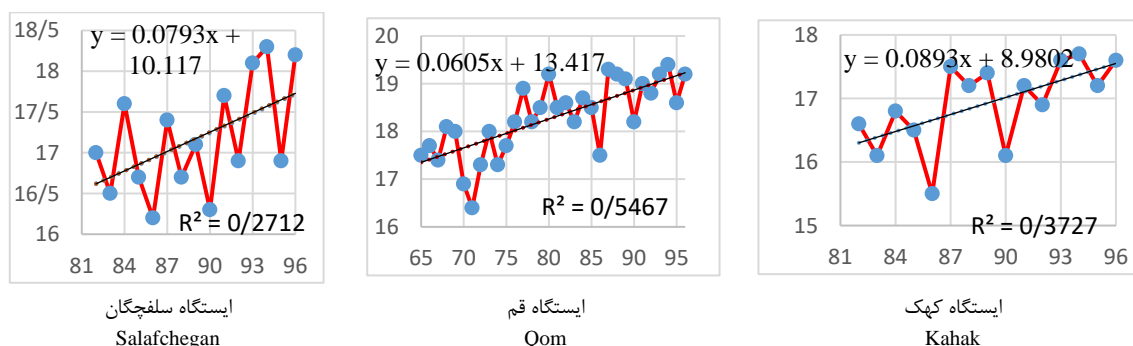
در این حالت سال مورد نظر از تحلیل‌های سنجش از دوری کنار گذاشته شد.

حال با انتخاب سال‌های مورد مطالعه و گام زمانی مطلوب ۵ ساله، طبقه‌بندی پهنه‌های آبی استان قم شامل دریاچه نمک و تالاب حوض سلطان انجام گرفت. سپس نمایش این تغییرات به‌صورت کمی و کیفی (بصری در تصویر طبقه بندی شده) انجام گرفت. داده‌های مربوط به پارامترهای هواشناسی شامل دما، رطوبت نسبی، بارندگی، تبخیر، سرعت باد و تعداد روزهای گردوغباری مربوط به سه ایستگاه هواشناسی استان قم (ایستگاه سلفچگان، ایستگاه شکوهیه / قم و ایستگاه کهک) از اداره کل هواشناسی دریافت گردید. در مرحله بعد این داده‌ها مورد ارزیابی و تحلیل قرار گرفت. در نهایت تغییرات این پارامترها در بازه زمانی سال‌های ۱۳۶۸ تا ۱۳۹۶ به‌صورت نموداری نشان داده شد.

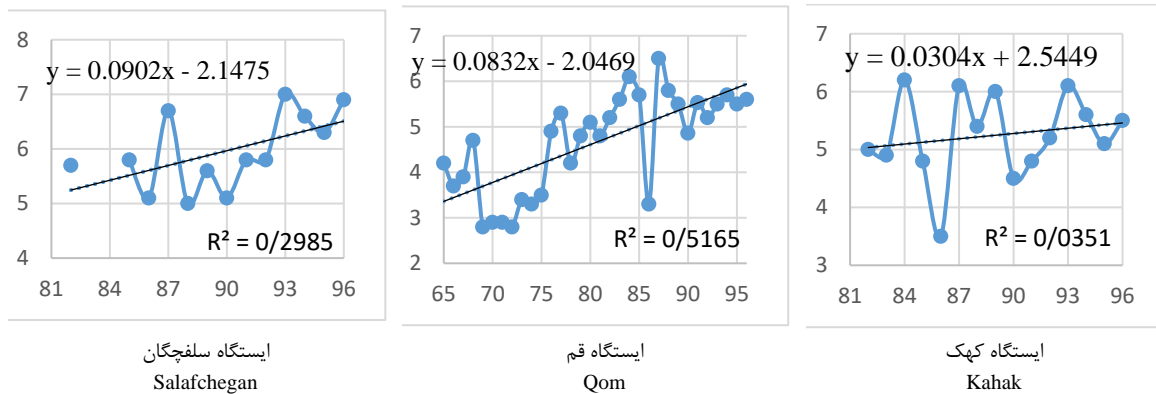
در ابتدای پژوهش نسبت به تحلیل و نمایش نموداری تغییرات پارامترهای هواشناسی بیان شده، اقدام گردید. تغییرات داده‌ها در این مرحله به‌صورت میانگین سالانه بیان می‌گردد ولی داده‌ها به‌صورت روزانه و ماهیانه نیز جهت تعیین زمان اخذ داده‌های ماهواره‌ای مناسب، بررسی شدند. معادلات بیان شده در نمودارهای شکل‌های ۲ تا ۵ به‌صورت خطی برازش شده‌اند و تنها نمایشی ساده از تغییرات می‌باشند. به لحاظ منطقی در این حالت، شیب معادله برای

میلادی، به سرعت رو به افزایش می‌باشد. متوسط کلی شیب تغییرات افزایشی برای پارامتر کمینه دما، نسبت به میانگین دما کمی بیشتر است. بنابر آن چه برای میانگین دما گفته شد، سال ۱۹۹۶ میلادی نیز سال مناسبی جهت مطالعات روندیابی تغییرات نبوده است. همانند دو پارامتر قبل، کمیت حداکثر دما نیز روندی افزایشی دارد. سرعت رشد این کمیت را می‌توان به نسبت، کمتر از دو کمیت دیگر ارزیابی نمود. روند تغییرات کمیت میانگین سالانه حداکثر دما یک جهش اقلیمی در سال ۱۳۷۴ هجری یا ۱۹۹۵ میلادی را نشان می‌دهد. بنابر مبحث‌های بیان شده، می‌توان گفت که سال ۱۹۹۵ میلادی نیز سال مناسبی جهت مطالعه تغییرات بلند مدت نمی‌باشد. به‌طور کلی در مطالعه خط روند، بیشترین شیب مثبت افزایشی برای میانگین حداقل دمای سالانه در مقایسه با متوسط و حداکثر دمای سالانه بوده و در واقع وضعیت کلی نشان دهنده کاهش اختلاف بیشینه و کمینه دما و به سبب آن کاهش تعداد روزهای یخبندان نسبت به گذشته است. افزایش میانگین دمای سالانه در بیشتر پژوهش‌های مشابه نیز گزارش شده است (Rahimi and Majd, 2011). در بررسی پارامتر بارندگی، معلوم شد که در استان قم، تغییرات میزان بارندگی سالانه، نواسانات بی‌نظم بیشتری را نسبت به کمیت دما نشان می‌دهد (شکل ۵). در هر یک از نمودارها، ضریب تعیین (R^2) نیز محاسبه شد. لازم به بیان است که ضریب همبستگی (R) بین پارامتر مورد نظر با کمیت گذر زمان یا سال نیز برابر با جذر ضریب تعیین می‌باشد.

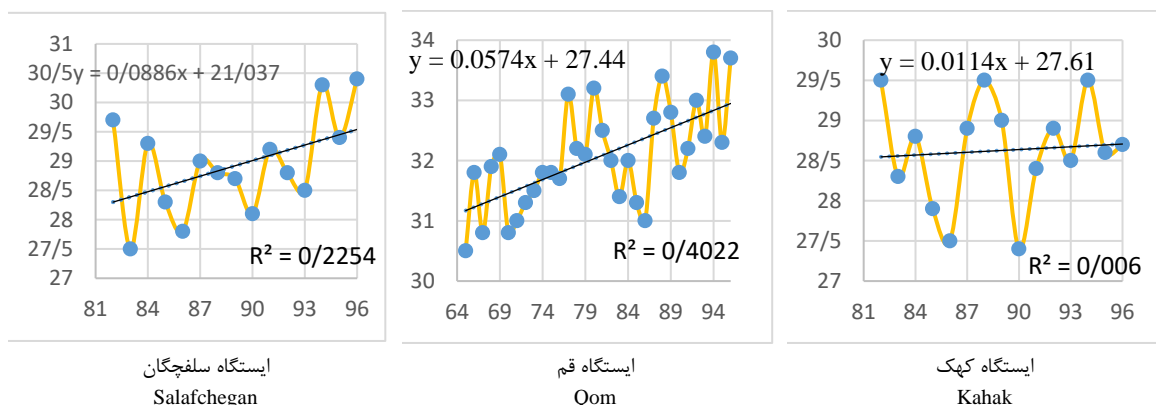
مقایسه‌های ثانویه می‌تواند دارای اهمیت باشد. براساس مطالعات انجام گرفته در استان قم و بررسی‌های صورت گرفته در پژوهش حاضر و نمایش تغییرات در شکل‌های ۲، ۳ و ۴ برای پارامتر دما به‌عنوان محسوس‌ترین عنصر اقلیمی برای هر سه مورد میانگین، حداقل و حداکثر دما، خط برازش داده شده، روندی افزایشی را در تغییرات دمای سالانه نشان می‌دهد. در پژوهشی مشابه، Darabi *et al.* (2016) نیز همین روند مشاهده می‌گردد. بر این اساس، سال ۱۳۹۰ هجری یا سال ۲۰۱۱ میلادی را از چند منظر می‌توان نقطه حائز اهمیت در نمودارها در نظر گرفت. زیرا براساس مطالعات اقلیمی در استان، در این سال یک جهش اقلیمی با روند مثبت در محدوده بحرانی ۹۹ درصد رخ داده است. نقطه کمینه محسوس دما در بازه ده ساله ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۶ بوده است که به نوعی تغییرات ناگهانی و غیر منظم به حساب می‌آید. از این منظر سال ۲۰۱۱ نمی‌تواند سال خوبی جهت مطالعه روندیابی سالانه برای بررسی‌های دقیق‌تر قلمداد شود. یکی از دلیل‌های بررسی سال‌های ۲۰۰۹ و ۲۰۱۴، که با توجه به گام زمانی ۵ ساله استفاده شده در این پژوهش مورد توجه قرار گرفته‌اند، این امر می‌باشد که سال‌های بیان شده بیشترین فاصله را نسبت به سال ۲۰۱۱ در بازه تعریف شده، دارا هستند. روند تغییرات حداقل دمای سالانه نیز همانند میانگین سالانه، برای تمام ایستگاه‌های مورد بررسی افزایشی بوده است. براساس مشاهدات پارامتر، حداقل دمای سالانه پس از یک جهش اقلیمی در سال ۱۳۷۵ هجری یا سال ۱۹۹۶



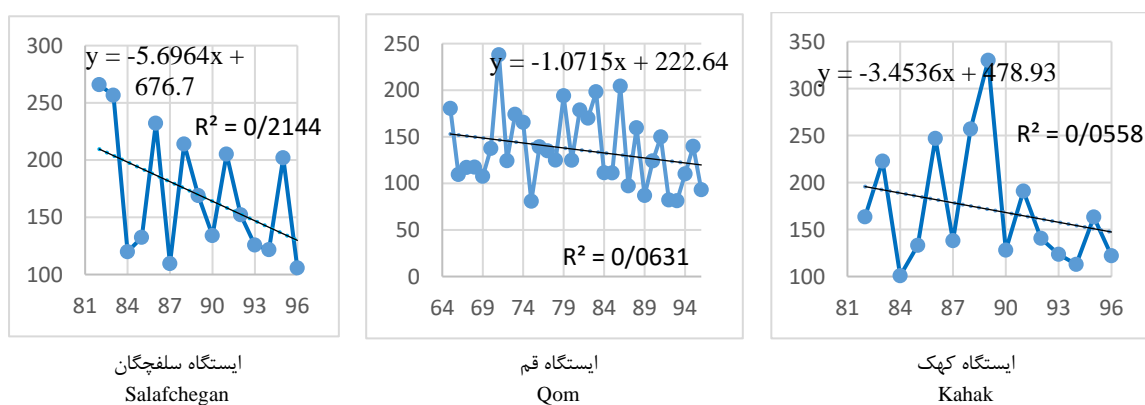
شکل ۲- نمایش تغییرات میانگین دمای سالانه در ایستگاه‌های استان قم
Fig. 2- Average annual temperature changes at Qom Province stations



شکل ۳- نمایش تغییرات حداقل دمای سالانه در ایستگاه‌های استان قم
 Fig. 3- Annual minimum temperature changes at Qom Province stations



شکل ۴- نمایش تغییرات حداکثر دمای سالانه در ایستگاه‌های استان قم
 Fig. 4- Annual maximum temperature changes at Qom Province stations



شکل ۵- نمایش تغییرات بارندگی سالانه در ایستگاه‌های استان قم
 Fig. 5- Annual precipitation changes at Qom Province stations

روند تغییرات بارندگی در کل استان قم، به صورت کاهشی بوده است. آشکارسازی تغییرات در پارامترهای اقلیمی با استفاده از شیوه‌های مختلفی امکان پذیر است. روندیابی یکی از عام‌ترین روش‌ها به حساب می‌آید. برخی از تغییرهای آب‌وهوایی به‌طور کلی از توزیع نرمال پیروی نمی‌کنند و بررسی تغییرات آن‌ها در دوره‌های زمانی

در دیگر پژوهش‌های انجام گرفته در استان قم و منطقه- های مرکزی کشور نظیر (Raziei et al., 2005) نیز، پارامتر بارش جهشی اقلیمی را نشان نمی‌دهد ولی روند تغییرات پارامتر بارندگی از سال ۱۳۹۰ هجری یا ۲۰۱۱ میلادی به بعد می‌تواند مقدمه یک جهش اقلیمی باشد (Darabi et al., 2016). همانطور که پیش بینی می‌شود

جهت تحلیل تصاویر لندست انتخاب شد. نقطه ابتدایی، سال ۱۹۸۹ میلادی و سال پایانی، سال ۲۰۱۹ میلادی در نظر گرفته شد. همچنین گام‌های زمانی نیز ۵ ساله انتخاب گردید. همچنین با توجه به اقلیم و فصل خشک و تر در منطقه مورد مطالعه، اواخر بهار یعنی ماه خرداد که انتهای بارندگی در منطقه بود، به‌عنوان زمان یکسان مطالعه گزینش شد. در این زمان منابع آبی به‌طور معمول بیشینه سطح خود را دارند. همچنین انتخاب یک زمان ثابت، یکسان بودن شرایط برای مطالعه طولانی مدت را در پی خواهد داشت. در پژوهش حاضر، پس از انتخاب زمان‌های مناسب، تصویرهای ماهواره لندست مربوط به خردادماه در سال‌های مورد نظر اخذ، گردآوری و سپس تحلیل شد. زمان تصویرهای اخذ شده به شرح جدول ۱ است. تصاویر ابتدا به پیش پردازش، سپس پردازش و پس از آن پس پردازش نیاز داشتند. در قسمت پیش پردازش، خطاها و اعوجاجات موجود در تصاویر شناسایی و برطرف شد. پس از این مرحله، تصویرها آماده پردازش می‌شود. در مرحله پردازش با توجه به نیاز کاربر، اطلاعات مورد نظر از تصاویر ماهواره‌ای استخراج می‌شود. در مرحله نهایی و قسمت پس پردازش به نتیجه‌گیری در مورد اطلاعات استخراج شده از مرحله پردازش پرداخته می‌شود.

مختلف بنا بر موضوع و محدوده زمانی و مکانی مطالعه، منطقی به نظر می‌رسد. به‌طور کلی استفاده از آزمون رتبه‌ای منطقی است. یکی از پرکاربردترین این آزمون‌ها روش من - کندال است. به‌طور کلی، نتایج این قسمت از پژوهش، بیان‌کننده این موضوع اثبات شده است که تحولات رخ داده در بررسی روندها، مؤید نوعی تغییر در روندهای اقلیمی است که کلیت آن عبارتست از افزایش دما، تغییر رطوبت نسبی، شیب نزولی میزان بارش توأم با افزایش وزش بادهای پر سرعت (Fattahi, 2009; Tabari et al., 2008; Asakereh, 2007; Darabi et al., 2016) همچنین از نتایج مهم در این قسمت انتخاب سال‌های مورد مطالعه در گام‌های زمانی پژوهش حاضر است که سال‌های ۱۹۹۵، ۱۹۹۶، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۱ را برای گام‌های مطالعه در بررسی‌های بلند مدت مناسب ارزیابی نمی‌نماید. از این رو با توجه به معرفی بازه ۵ ساله برای گام‌های زمانی، سال ۱۹۸۹ به‌عنوان سال ابتدایی در مطالعه با فاصله‌های ۵ ساله و سال ۲۰۱۹ میلادی به‌عنوان سال پایانی در نظر گرفته شد که با توجه به امکانات موجود شامل داده‌های هواشناسی و نیز تصاویر ماهواره‌ای قابل دسترس، بازه‌ای منطقی و بهینه می‌نماید.

تحلیل تصویرهای ماهواره

پس از مطالعات اقلیمی و هواشناسی، سال‌های مناسب

جدول ۱- تاریخ تصویرهای اخذ شده جهت طبقه‌بندی

Table 1. Dates of images taken for classification

ردیف Row	1	2	3	4	5	6	7
تاریخ Date	2019/06/13 (خرداد ۱۳۹۸)	2014/06/15 (خرداد ۱۳۹۳)	2009/06/01 (خرداد ۱۳۸۸)	2004/05/26 (خرداد ۱۳۸۳)	1999/06/06 (خرداد ۱۳۷۸)	1994/06/08 (خرداد ۱۳۷۳)	1989/06/10 (خرداد ۱۳۶۸)
سنجنده Sensor	Landsat 8/ ETM+	Landsat 8/ ETM+	Landsat 5/ TM	Landsat 7/ OLI	Landsat 5/ TM	Landsat 5/ TM	Landsat 5/ TM

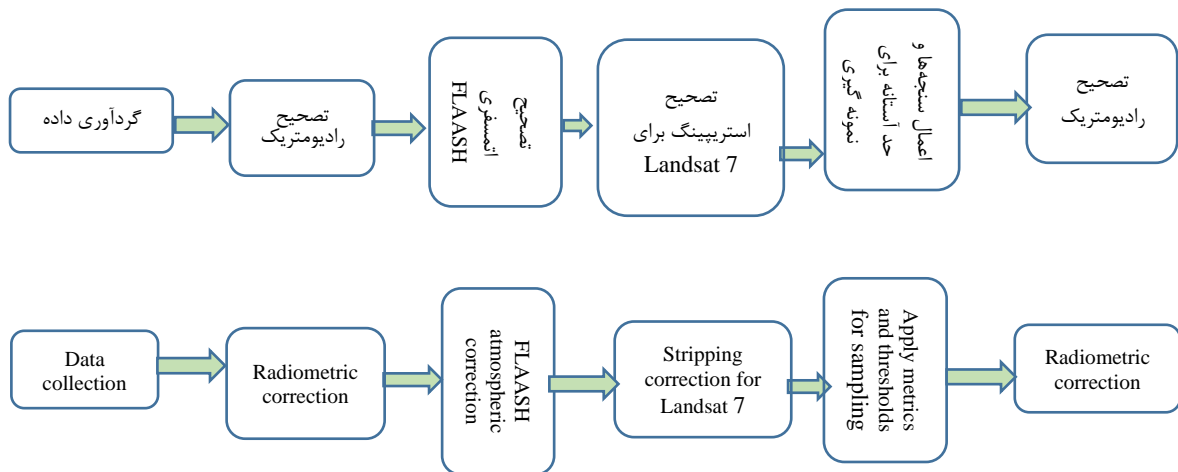
در مرحله پیش پردازش، برای همه تصویرهای اخذ شده، تصحیحات رادیومتریک، اتمسفری و نیز تصحیحات هندسی انجام گرفت. در این پژوهش برای انجام تصحیح هندسی از روش غیر پارامتری و روش چند جمله‌ای استفاده شد. برای به‌دست آوردن نقاط کنترل زمینی از

شپ فایل دریاچه‌های ایران استفاده شده است. به این ترتیب که یکی از تصویرهای لندست انتخاب شده و یک سری نقاط مشترک روی این تصویر بر روی شپ فایل‌ها به‌عنوان نقاط کنترل در نظر گرفته شد. سپس با استفاده از این نقاط تصویر لندست زمین مرجع شده است. در

موجود در تصویر، تصحیح خطای نوارشدگی یا استریپینگ^۲ نیز اعمال گردید. یکی از ابزارهایی که برای تصحیح و پر کردن فضاهای خالی تصویرهای لندست ۷ استفاده می‌شود، ابزار landsat_gapfill است که به‌عنوان یک افزونه در نرم‌افزار ENVI نصب می‌شود. در این پژوهش از نرم افزار ENVI و روش استفاده از تصاویر مربوط به تاریخ-های قبل، برای رفع این خطا استفاده شده است. مرحله‌های کار به‌صورت شکل ۶ است.

ادامه نیز سایر تصویرها نسبت به تصویر زمین مرجع شده در مرحله قبل دوباره زمین مرجع و Co-Register شده‌اند. با توجه به این که تصاویرسنجنده ETM+ از سال ۲۰۰۳ به‌دلیل از کار افتادن سیستم SLC، نوارهایی بدون داده دارند که حدود ۲۰٪ تصویر را در بر می‌گیرد، بنابراین برای استفاده از این تصویرها لازم است که ابتدا این نقص برطرف شود. به‌همین دلیل روی تصویر مربوط به سال ۲۰۰۴ میلادی که توسط ماهواره لندست ۷ اخذ شده است، با توجه به نوارهای

شکل ۶- مرحله‌های اعمال شده روی تصویرهای ماهواره لندست جهت طبقه‌بندی در پژوهش حاضر
Fig. 6- Steps applied to Landsat satellite images for classification in the present study



و تبدیل به سایر کلاس‌های دیگر به‌صورت کیفی و کمی در قالب ماتریس تغییرات حاصل شد. روش طبقه‌بندی نهایی تصویرها در این پژوهش، ماشین بردار پشتیبان^۳ بود. روش ماشین‌بردار پشتیبان، اولین‌بار توسط Vapnik and Cortes (1995) مطرح شد. این روش، یکی از روش‌های رایج در طبقه‌بندی داده‌ها و جزء روش-های آماری با نظارت و غیرپارامتریک می‌باشد. بنابر تحقیق‌های صورت گرفته توسط Vapnik and Cortes (1995) این روش نسبت به دیگر روش‌های طبقه‌بندی، نتایج با دقت بالاتری می‌تواند تولید کند. Pal and Mather (2005) هم این روش را در تصویرهای ماهواره‌ای اجرا و دقت آن را بسیار خوب اعلام کردند. ماشین بردار

پس از اعمال تصحیحات لازم، سنجه‌های مربوط به شناسایی اولیه عوارض و سپس طبقه‌بندی تصویرها انجام گرفت. طبقه‌بندی تصویرها با توجه به منطقه مورد مطالعه در چهار کلاس: (۱) آب، (۲) خاک نمکی یا نمک، (۳) خاک معمولی و (۴) پوشش گیاهی انجام شد. تحقیقات در دو فاز انجام گرفت. در فاز اول بیشتر تمرکز روی بومی سازی و سنجش اعتبار نتایج اولیه با استفاده تحلیل‌های بصری و بازدید میدانی بود و فاز دیگر نتایج نهایی را حاصل نمود. نتایج نهایی افزون بر اعمال سنجه‌ها، انتخاب حد آستانه‌های مناسب و طبقه‌بندی تصویرها، آشکار سازی تغییرات در گام‌های زمانی را نیز شامل شد. به نحوی که میزان تغییر هر یک از کلاس‌ها

نتایج پژوهش حاضر در دو مرحله مجزا به تفکیک آورده شده است. ابتدا نتایج طبقه‌بندی تصویرها و سپس آشکار سازی تغییرات برای هر دو پهنه آبی دریاچه نمک و تالاب حوض سلطان به تفکیک آمده است. از جمله محدودیت‌ها و چالش‌های پیش‌رو در پژوهش حاضر نبود امکان نمونه‌برداری جامع بویژه از بخش مرکزی و نیز باتلاقی دریاچه نمک و تالاب حوض سلطان بود. گرچه با استفاده از تفسیر بصری و نیز مقایسه زمان‌های مطالعه با شرایط پرآب یا کم آب استان تا حد زیادی تلاش شده است که این نقصان کمترین اثر را بر نتایج تحقیق بگذارد، با این حال فرض شده است که این موضوع به اندازه خود دقت و صحت نتایج را تحت تأثیر قرار داده است. از این رو توصیه می‌شود جهت بهبود این پژوهش و نیز نتایج آن در پژوهش‌های آتی، خوانندگان این موضوع را مد نظر قرار دهند. تیم پژوهشگر این مقاله در ارائه داده‌ها و اطلاعات حاصل از این تحقیق که منتج به مقاله حاضر شده است، جهت پیشبرد پژوهش، خودداری نخواهد داشت، بنابراین خوانندگان و علاقه‌مندان در صورت نیاز به وسیله ارتباط با نویسندگان مسئول مقاله امکان بهره‌مندی از این منابع را خواهند داشت.

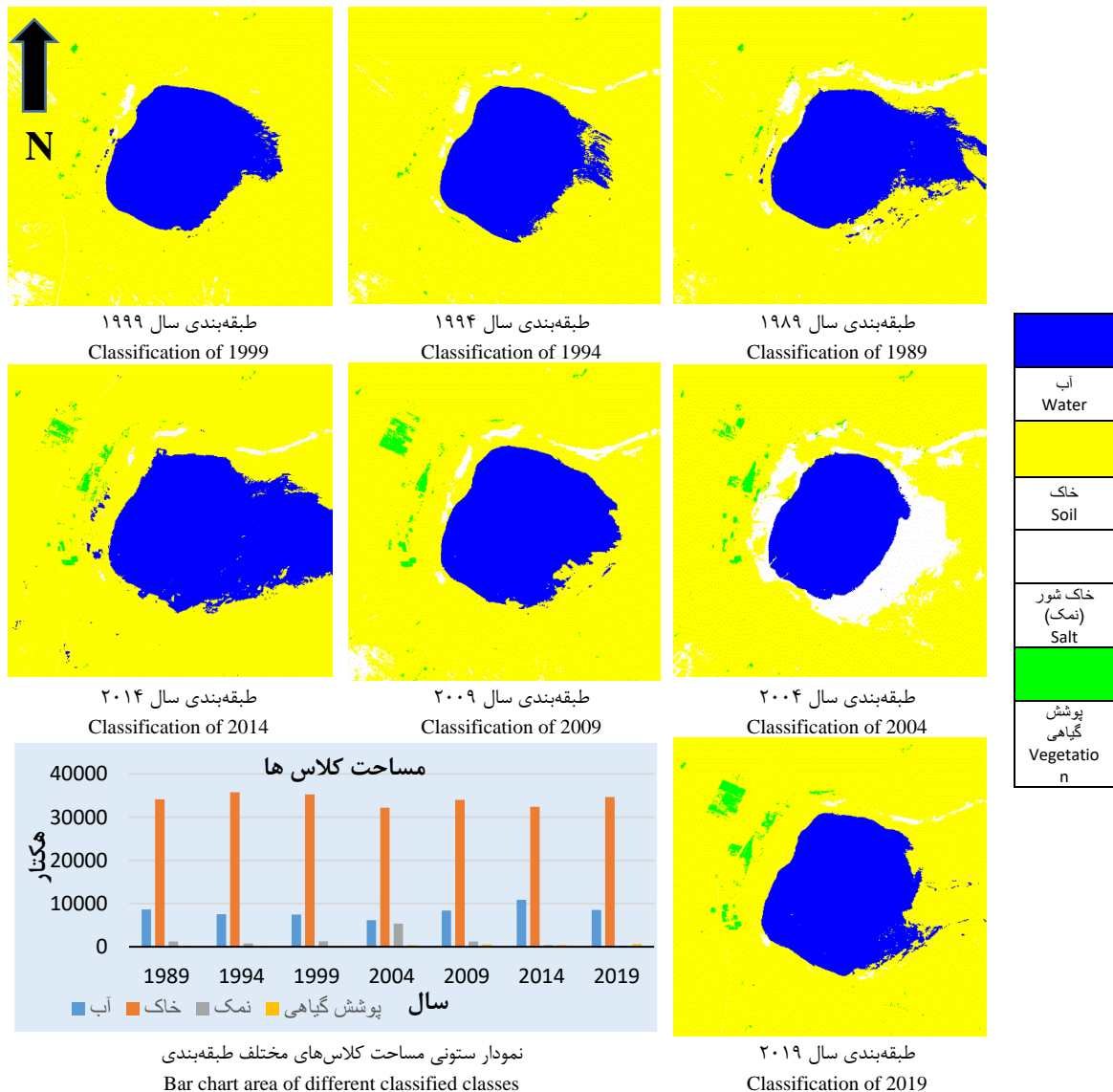
الف) نتایج طبقه‌بندی

نتایج طبقه‌بندی نیز به صورت مجزا برای هر دو پهنه آبی مورد مطالعه آورده شده است. این نتایج برای تالاب حوض سلطان مربوط به تمام سال‌های انتخاب شده در شکل ۷ قابل مشاهده است. در تمامی شکل‌ها، جهت شمال به سمت بالا می‌باشد. شمای کلی و جنبه‌های کیفی مربوط به چهار کلاس مختلف طبقه‌بندی شده مربوط به تالاب حوض سلطان و ناحیه پیرامونی آن در شکل ۷ برای سال‌های مختلف قابل مشاهده است. همچنین نمودار ستونی مربوط به مساحت هر کلاس نیز در این شکل آمده است. نتایج کمی یا مساحت تفکیک شده هر کلاس نیز برای سال‌های مختلف در جدول ۲ آمده است.

پشتیبان در واقع یک طبقه‌بندی‌کننده دو دویی است. این الگوریتم سعی دارد تا یک ابر صفحه ایجاد نماید به‌طوریکه فاصله هر کلاس تا ابر صفحه حداکثر شود. داده‌های نقطه‌ای که به این ابر صفحه نزدیک‌تر هستند به‌منظور اندازه‌گیری فاصله به کار می‌روند. به همین منظور به این داده‌های نقطه‌ای بردار پشتیبان گفته می‌شود. در طبقه‌بندی‌کننده ماشین بردار پشتیبان، قابلیت جداسازی داده‌ها به صورت خطی و غیرخطی در نظر گرفته می‌شود. اگر داده‌ها به صورت خطی قابلیت جداسازی داشته باشند، در این حالت به دنبال یافتن صفحه‌ای هستیم که بتواند داده‌ها را از هم جدا کند. در این مورد می‌توان چندین صفحه تعریف کرد اما آن صفحه‌ای جواب است که بتواند بیشترین حاشیه^۴ را ایجاد کند. در اینجا از توضیح‌های بیشتر در مورد روش ماشین بردار پشتیبان به سبب کاربردهای زیاد در مقاله‌ها و پژوهش‌های مرتبط خودداری می‌گردد. توضیح‌ها، شکل‌ها و روابط ریاضی بیشتر را می‌توان در پژوهش Pal and Mather (2005) مشاهده کرد.

نتایج و بحث

برای آشکار سازی تغییرات کلاس‌ها روش مقایسه پس از طبقه‌بندی یکی از روش‌های پرکاربرد می‌باشد. در این روش در ابتدا به صورت مجزا برای هر کدام از تصویرها، نقشه موضوعی تهیه می‌شود، سپس به پایش تغییرات پرداخته می‌گردد. از مهمترین مزیت‌های این روش می‌توان به کاهش اثرهای اتمسفری، محیطی و سنجنده، به همراه کمینه کردن اثرهای استفاده از تصویرهای سنجنده‌های مختلف و همچنین دقت بالای این روش در شناسایی تغییرات و تولید نقشه ماهیت تغییرات (کلاس‌های از-به) اشاره کرد. اما وابسته بودن دقت نهایی شناسایی تغییرات به دقت طبقه‌بندی هر یک از تصویرها و نیاز به مجموعه‌هایی از نمونه‌های تعلیمی برای هر یک از تصویرها، از جمله محدودیت‌های این روش می‌باشد.



شکل ۷- نتایج طبقه بندی ناحیه انتخاب شده به‌عنوان تالاب حوض سلطان

Fig. 7- Results of the classification of the selected area as the Hoz-e Soltan Wetland

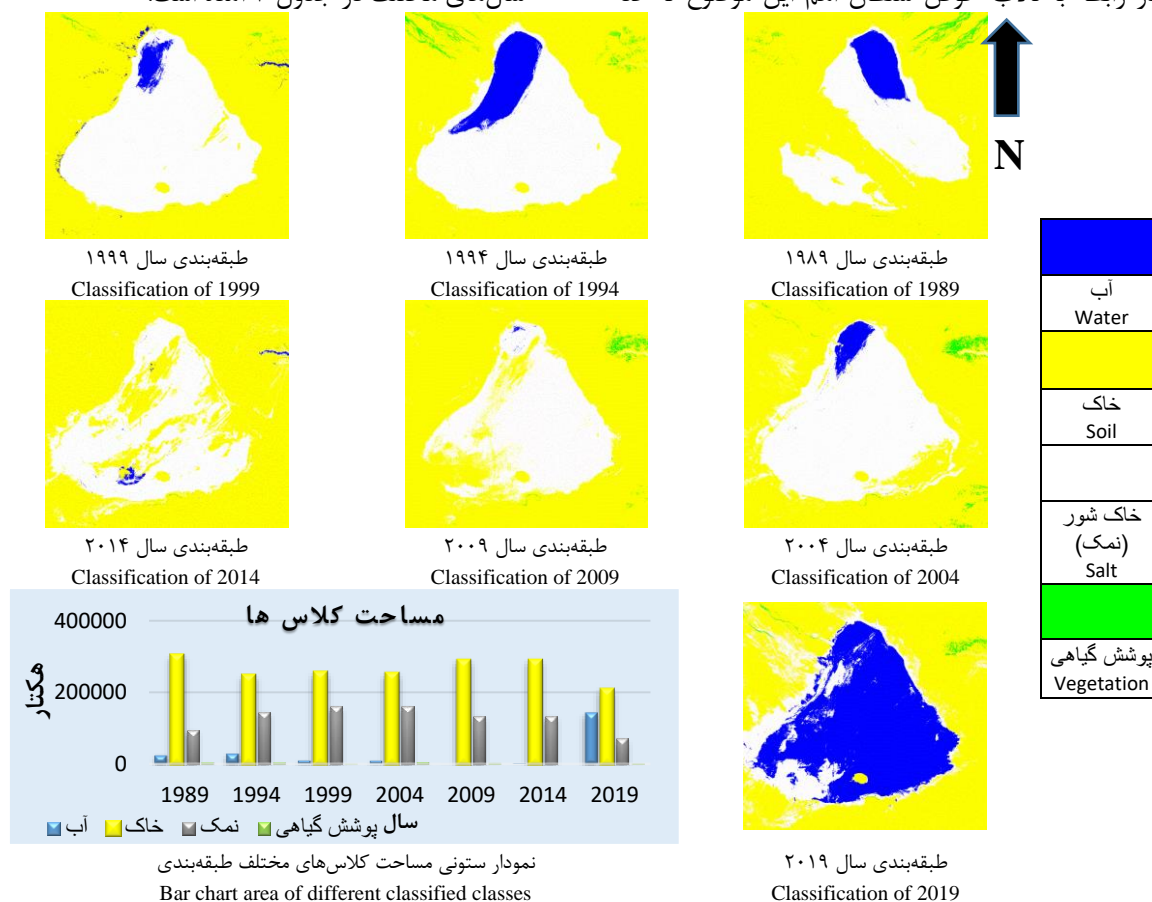
جدول ۲- مساحت کلاس‌های مختلف مربوط به طبقه‌بندی تالاب حوض سلطان

Table 2. Areas of different classes related to Hoz-e Soltan Wetland classification

مساحت کلاس‌های مختلف (هکتار) Area of different classes (hectares)				سال (میلادی) Year (AD)	ردیف Row
آب Water	خاک معمولی Soil	خاک نمکی Saline soil	پوشش گیاهی Vegetation		
8645.40	34155.54	1218.24	80.82	1989	1
7520.22	35762.04	765.00	52.74	1994	2
7469.10	35288.73	1271.7	70.47	1999	3
6166.8	32209.47	5356.62	367.11	2004	4
8373.87	33995.07	1227.33	503.73	2009	5
10859.04	32412.24	426.96	401.76	2014	6
8531.37	34685.64	273.30	615.69	2019	7

زیادی صدق می‌کند. ولی در مورد این تالاب برخلاف دریاچه نمک برای سال ۲۰۱۴ میلادی هم سطح کلاس آب به نسبت زیاد است. با مقایسه حوضه آبریز این دو پهنه آبی تفاوت‌های منطقه بالادست این دو نمایان می‌گردد. حجم قابل توجهی از جریان ورودی تالاب حوض سلطان از سمت شمال و استان‌های تهران و البرز است، در حالیکه جریان ورودی به دریاچه نمک از سمت غرب و استان‌های قم و مرکزی و از طریق رودخانه‌های قمرود و قره‌چای می‌باشد که متأسفانه جریان آب این دو رودخانه، ورودی به استان قم در دهه گذشته توسط سدهای ۱۵ خرداد و الغدیر بسیار کاهش یافته است و حقایق بسیار اندکی به منطقه‌های پایین دست، یعنی دریاچه نمک می‌رسد (Rahmatizadeh and Jafari., 2014). نتایج کمی یا مساحت تفکیک شده هر کلاس برای محیط پیرامونی دریاچه نمک نیز برای سال‌های مختلف در جدول ۳ آمده است.

نتایج طبقه‌بندی به همین شکل نیز برای دریاچه نمک انجام گرفته و حاصل شده است. شکل ۸ این خروجی‌ها را نشان می‌دهد. دریاچه نمک و ناحیه پیرامونی آن نیز در این چهار کلاس طبقه‌بندی شده و مساحت و تصویر خروجی در شکل ۸ قابل مشاهده است. دید بصری و کیفی مربوط به چهار کلاس مختلف طبقه‌بندی شده مربوط به دریاچه نمک و ناحیه پیرامونی آن در شکل ۸ برای سال‌های مختلف مطالعه قابل مشاهده است. همچنین نمودار ستونی مربوط به مساحت هر کلاس نیز در این شکل آمده است. به‌عنوان نمونه در سال ۲۰۱۹ میلادی که سال ۱۳۹۸ هجری شمسی می‌باشد، مساحت کلاس آب نسبت به سال‌های دیگر رشد چشمگیری داشته است. دلیل این امر هم، افزایش بارندگی‌های بهار سال ۹۸ در حوضه آبریز این دریاچه بویژه در استان‌های قم، مرکزی و لرستان بوده است. در رابطه با تالاب حوض سلطان اهم این موضوع تا حد

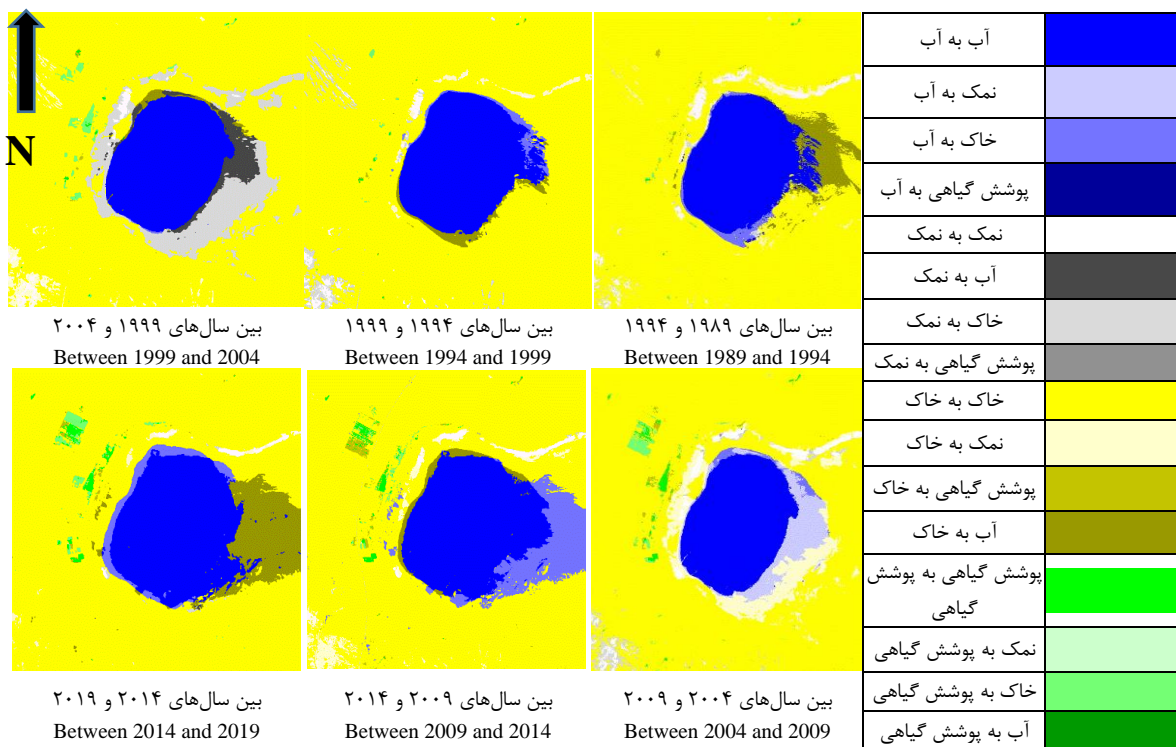


شکل ۸- نتایج طبقه بندی ناحیه انتخاب شده به‌عنوان دریاچه نمک
 Fig. 8- Results of the classification of the selected area as Namak Lake

جدول ۳- مساحت کلاس‌های مختلف مربوط به طبقه‌بندی دریاچه نمک

Table 3. Areas of different classes related to Namak Lake classification

مساحت کلاس‌های مختلف (هکتار) Area of different classes (hectares)				سال (میلادی) Year (AD)	ردیف Row
آب Water	خاک معمولی Soil	خاک نمکی Saline soil	پوشش گیاهی Vegetation		
23308.65	302813.50	95838.93	3680.55	1989	1
28150.65	247099.32	146674.98	3716.64	1994	2
8537.58	255518.01	160830.36	755.64	1999	3
8038.98	252391.86	161256.15	3954.60	2004	4
281.25	288237.87	134741.25	2381.22	2009	5
1826.73	288642.87	1350.99	72.90	2014	6
143852.49	207997.11	72177.39	1614.60	2019	7



شکل ۹- تغییرات کلاس‌های طبقه‌بندی شده تالاب حوض سلطان بین گام‌های زمانی

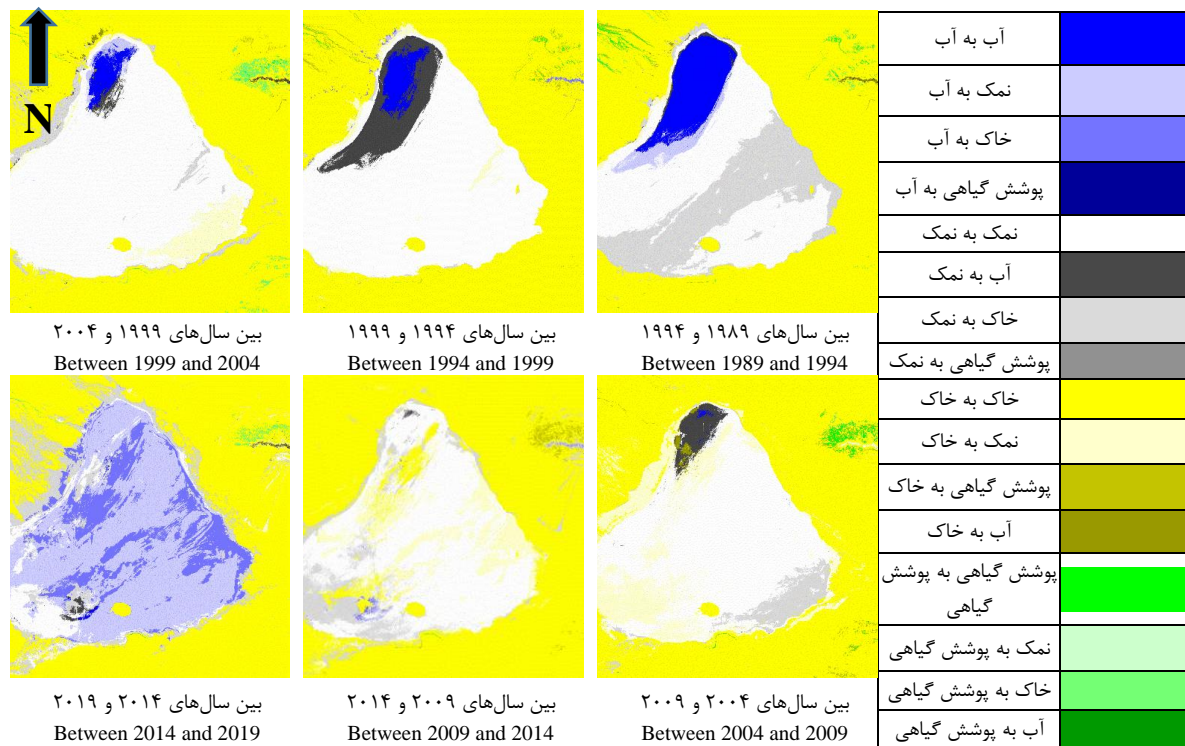
Fig. 9- Changes in Hoz-e Soltan Wetland classes between time steps

افزون بر نمایش کیفی تغییرات کلاس‌ها، به صورت شکل‌های ۹ و ۱۰، این تغییرات به صورت کمی نیز برای هردو پهنه آبی محاسبه شد. نمایش عددی تغییرات بین کلاس‌ها به ماتریس تغییرات موسوم است. ماتریس تغییرات هم با استفاده از واحد مترمربع و هم به صورت درصد تغییر محاسبه و نمایش داده شد. به عنوان نمونه برای بازه تغییرات بین سال ۲۰۱۴ و ۲۰۱۹ این ماتریس‌ها به صورت جدول‌های ۴ و ۵ به ترتیب برای تالاب حوض سلطان و دریاچه نمک آورده شده است.

برای دریاچه نمک نیز تغییرات کلاس‌ها محاسبه شد و به صورت شکل ۱۰ به نمایش درآمد. بنابر تصویرهای شکل ۱۰ و با توجه به این که بیشتر تغییرات به رنگ روشن دیده می‌شود، می‌توان دریافت که بیشترین تغییرات بین کلاس‌های نمک و خاک بوده است که با توجه به ماهیت دریاچه نمک، منطقی به نظر می‌رسد. در گام زمانی بین سال‌های ۲۰۱۴ و ۲۰۱۹ با توجه به پرآب بودن بیشتر سطح دریاچه در سال ۲۰۱۹، بیشینه تغییرات متوجه کلاس آب و نمک است.

آبی مورد مطالعه محاسبه شده است و پژوهشگران در صورت نیاز می‌توانند با برقراری ارتباط با نویسنده مسئول از طریق پست الکترونیکی به این اطلاعات دسترسی داشته باشند.

برای تالاب حوض سلطان به صورت درصدی و برای دریاچه نمک با واحد مترمربع به نمایش گذاشته شده است. این درحالی است که همانند ماتریس‌های تغییرات، برای تمام گام‌های زمانی و برای هر دو پهنه



شکل ۱۰- تغییرات کلاس‌های طبقه‌بندی شده دریاچه نمک بین گام‌های زمانی
Fig. 10- Changes in Namak Lake classes between time steps

جدول ۴- ماتریس تغییرات کلاس‌های تالاب حوض سلطان بین سال‌های ۲۰۱۹ و ۲۰۴ (به صورت درصدی)
Table 4. Matrix of changes in Hoz-e Soltan classes between 2014 and 2019 (percentage)

کلاس‌ها Classes	پوشش گیاهی Vegetation	خاک Soil	نمک Salt	آب Water
پوشش گیاهی Vegetation	68.324	1.052	0	0.002
خاک Soil	31.676	96.046	57.841	29.290
نمک Salt	0	0.237	42.159	0.098
آب Water	0	2.655	0	70.611
تغییرات کلاس Class changes	31.676	3.954	57.841	29.389
اختلاف تصویر Image difference	53.248	7.014	-37.395	-21.435

بیشتر تغییرات در کلاس‌ها مربوط به ثابت ماندن کلاس‌ها است. بر این اساس بین سال‌های ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۹ کلاس‌ها

همانطور که بنابر تصویرهای نمایش دهنده تغییرات انتظار می‌رفت، تغییرات چندانی بین کلاس‌ها اتفاق نیفتاده بود و

درصد بیش از ۳۱ نیز تغییر محسوس است. همچنین براساس جدول ماتریس تغییرات، تالاب حوض سلطان (جدول ۴) بیشترین تغییر را کلاس نمک داشته است که حدود ۵۸ درصد بین سال ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۹ دچار تغییر شده است که این تغییر مربوط به تبدیل کلاس نمک به خاک بوده است. برآورد حاصل شده از این قسمت گویای، کاهش شوری خاک بین این دو بازه زمانی است.

چندان تغییری نداشته‌اند و بیشترین ارقام تغییرات در ماتریس بالا (جدول ۴) مربوط به قطر اصلی ماتریس است. یعنی جایی که ثبات کلاس‌ها را نشان می‌دهد. براساس مطالعات اقلیمی استان قم هم سال‌های ۲۰۱۴ و ۲۰۱۹ (سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۸) از نقطه نظر هواشناسی / اقلیمی اختلاف زیادی را نداشته‌اند. همچنین تبدیل کلاس پوشش گیاهی از سال ۲۰۱۴ به کلاس خاک در سال ۲۰۱۹ نیز با

جدول ۵- ماتریس تغییرات کلاس‌های دریاچه نمک بین سال‌های ۲۰۱۹ و ۲۰۱۴ (با واحد مترمربع)
Table 5. Matrix of changes in Namak Lake classes between 2014 and 2019 (square meters)

کلاس‌ها Classes	پوشش گیاهی Vegetation	خاک Soil	آب Water	نمک Salt
پوشش گیاهی Vegetation	421200	15668100	0	56700
خاک Soil	306900	48104800	2466900	29092500
آب Water	0	365286600	4305600	68932700
نمک Salt	900	457369200	11494800	252909000
مجموع کلاس Total class	729000	386428700	18267300	350990900
تغییرات کلاس Class changes	307800	838323900	13961700	98081900
اختلاف تصویر Image difference	15417000	306457600	420257600	629217000

نتیجه‌گیری

بررسی تغییرات اقلیمی و تأثیر این تغییرات بر پدیده‌های طبیعی از جمله منابع آب سطحی مورد توجه بسیاری از پژوهشگران حوزه محیط زیست بوده است. شناخت، مدل‌سازی و پیش‌بینی این تغییرات، گام‌های اساسی این مطالعات را تشکیل می‌دهد. امروزه بیشتر این سنجش‌ها بویژه در حوزه مطالعات منابع آب سطحی با ابزارهای ماهواره‌ای (Rokni *et al.*, 2014) انجام می‌پذیرد. از جمله مطالعات مشابه با پژوهش حاضر به‌طور گسترده برای دریاچه ارومیه جهت بررسی تغییرات آن انجام گرفته است که روند خشکسالی و دلیل‌های کاهش سطح دریاچه و حجم را به نمایش گذاشته است (Delju *et al.*, 2013; Ghale, 2014). رفتار تغییرات مساحت پهنه آبی برای

با توجه به ماتریس تغییرات در این بازه زمانی، حدود ۳۰۶۹۰۰ مترمربع یا حدود ۴۲ درصد از کلاس پوشش گیاهی در سال ۲۰۱۴ تا سال ۲۰۱۹ به خاک تبدیل شده است. همچنین از طرفی در بازه زمانی سال ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۹ حدود ۶۸۹۳۲۷۰۰ مترمربع یا حدود ۷۹ درصد از کلاس نمک به آب تبدیل شده است. حدود ۳۶۵۲۸۶۶۰۰ مترمربع یا حدود ۱۲ درصد از کلاس خاک در این دوره زمانی به آب و حدود ۴۵۷۳۶۹۲۰۰ مترمربع یا حدود ۱۶ درصد به نمک تبدیل شده است. بر این اساس بیشترین تغییر متوجه کلاس خاک بوده است که تغییری در حدود ۸۳۸۳۲۳۹۰۰ مترمربع را داشته است و بیشتر این تغییر تبدیل به کلاس نمک و سپس آب بوده است.

تصویرهای ماهواره‌ای به صورت ۴ سال یک‌بار بوده است. در مورد دریاچه نمک نیز سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۴ خشک‌ترین سال‌های طبقه‌بندی شده می‌باشند. سال ۲۰۰۹ میلادی (یا سال‌های ۱۳۸۷ و ۱۳۸۸ هجری شمسی) با مساحت زیر پوشش آب در حدود ۲۸۱ هکتار، خشک‌ترین سال بازه مطالعه است. نمودارهای شکل‌های ۲ تا ۵ نیز این موضوع را تأیید می‌کنند. سال‌های ۱۳۸۸ و ۱۳۸۷ شمسی بارندگی به نسبت کمتری را در روند نزولی میان مدت در استان قم نشان می‌دهند، همچنین این سال‌ها دمای به نسبت بالاتری را از خط میانگین برازش داده شده جهت تخمین روند تغییرات دمای سالانه (ماینگین، کمینه و بیشینه دما) داشته‌اند. در بازه مطالعاتی بدون در نظر گرفتن سال ۲۰۱۹، میانگین سطح زیر پوشش کلاس آب در دریاچه نمک حدود ۱۱۶۹۰ هکتار بوده است و این در حالی است که این مقدار در سال ۲۰۱۹ به ۱۴۳۸۵۲ هکتار رسیده است. سال ۲۰۱۹ میلادی درگیر تغییرات عمده اقلیمی بویژه در بهار بوده است. نتایج بررسی‌های اقلیمی *Zabihi et al.* (2011) و نیز *Darabi et al.* (2016) این تغییرات را تأیید می‌کنند. نتایج مطالعه *Fattahi* (2009) نیز که روند تغییرات منابع آبی استان را پیگیری کرده، کمینه مقدار این منابع آب را سال ۲۰۰۲ میلادی معرفی کرده است. که نزدیک‌ترین سال به سال ۲۰۰۴ در مطالعه حاضر است که به‌عنوان سال کمینه مقدار آب‌های سطحی معرفی شد. نکته دارای اهمیت در مقایسه پژوهش حاضر با مقاله *Fattahi* (2009) در این موضوع است که در پژوهش حاضر بر خلاف مقاله دیگر، سال‌های اخیر دهه ۱۳۹۰ شمسی نیز بررسی شده است.

پی‌نوشت‌ها

¹ Mann-Kendall

² Striping

³ Support Vector Machine (SVM)

⁴ Maximum Margin

دریاچه نمک و تالاب حوض سلطان و نیز تغییرات پارامترهای اقلیمی افزون بر نمایش کلی خشکسالی (به جز سال‌های با تغییرات غیر معمول) نشان دهنده شکل کلی تغییرات این دو دریاچه و تالاب می‌باشد که با در نظر گرفتن حوضه آبریز بالادست این دو پهنه آبی، منطقی می‌نماید. با در نظر گرفتن کل سال‌های مطالعه برای تالاب حوض سلطان، میانه دوره مطالعه یعنی حدود سال ۲۰۰۴ میلادی را می‌توان خشک‌ترین سال در بازه زمانی در نظر گرفت که در این زمان مساحت سطح پوشش آب تالاب نیز در کمینه مقدار خود یعنی حدود ۶۱۶۷ هکتار قرار دارد. شکل پر شدن تالاب نیز در تصویرهای شکل ۷ قابل مشاهده است. معادل هجری شمسی سال ۲۰۰۴ میلادی که برابر با سال ۱۳۸۳ و ۱۳۸۴ می‌باشد، نیز در شکل‌های ۲ تا ۵ نیز به‌طور کلی بیانگر افزایش میانگین دما و کاهش میزان بارش است. البته لازم به توجه می‌باشد که برآورد تغییرات پارامترهای اقلیمی تنها در استان قم انجام شده است و سطح و حجم دو پهنه آبی مورد مطالعه بسیار متأثر از حوضه آبریز بالادست خود بوده که بخش‌هایی از استان نیز در این حوضه‌های آبریز قرار دارند. به‌عنوان توضیح بیشتر، برای دریاچه نمک شمال و شمال شرقی استان و برای تالاب حوض سلطان نیمه غربی و شمال غربی استان بخش کوچکی از حوضه‌های آبریز مربوط به هریک می‌باشد. همچنین در سال‌های خشک، مساحتی از تالاب که به‌طور عمده در فصل‌های پر بارش مملو از آب است، به خاک نمکی تبدیل شده که نشان از حمل و رسوب نمک از بالادست به این تالاب دارد. همان‌طور که انتظار می‌رود بیشینه مساحت کلاس خاک نمکی نیز در تالاب حوض سلطان مربوط به سال ۲۰۰۴ میلادی با عدد حدود ۵۳۵۶ هکتار است. نمودارهای شکل‌های ۲ تا ۵ نیز به‌طور کلی این موضوع را تأیید می‌کنند. لازم به یادآوری است که گام‌های زمانی در نمودارهای شکل‌های ۲ تا ۵ به‌صورت سالانه بوده و گام‌های زمانی در تحلیل

منابع

- Ahmadi, M., Alibakhshi, Z. and Farajzadeh Asl, M., 2020. Detection of Spatio-temporal changes in the vegetation of Tehran and satellite cities in association with land surface temperature. *Environmental Sciences*. 17(4), 133-150. (In Persian with English abstract).
- Asakereh, H., 2007. Spatio-temporal variations of Iran Earth's precipitation over recent decades. *Geography and Development Iranian Journal*. 5(10), 145-164. (In Persian with English abstract).
- Baaghdeh, M., Alijani, B. and Ziaian, P., 2011. Investigation of the use of NDVI vegetation index in Isfahan drought analysis. *Journal of Geographical Studies of Arid Regions*. 1(4), 1-16. (In Persian with English abstract).
- Cortes, C. and Vapnik, V. 1995. Support-vector networks. *Machine Learning*. 20(3), 273-297.
- Darabi, H., Jafari, A. and Akhavan Farshchi, K., 2016. Analysis of climate change trend in Qom province and its consequences. *Journal of Environmental Sciences Studies (JESS)*. (In Persian with English abstract).
- Delju, A.H., Ceylan, A., Piguet, E. and Rebetz, M., 2013. Observed climate variability and change in Urmia Lake Basin, Iran. *Theoretical and Applied Climatology*. 111(1-2), 285-296.
- Fattahi, M.M., 2009. Survey of desertification process in Qom province using remote sensing data with emphasis on land use changes and quantitative and qualitative changes in water resources. *Iranian Journal of Range and Desert Research*. 16(2), 234-253. (In Persian with English abstract).
- Ghale, Y.A.G., 2014. Multitemporal change detection on Urmia lake and its catchment area using remote sensing and geographical information systems. M.Sc. Thesis. Istanbul Technical University. Turkey.
- Li, S., He, Y., Chen, X., and Zheng, Y. 2020. The improved bankruptcy method and its application in regional water resource allocation. *Journal of Hydro-Environment Research*, 28, 48-56.
- Mohammadyari, F., Pourkhabbaz, H., Tvakoly, M. and Aghdar, H., 2015. Mapping vegetation and monitoring its changes using remote sensing techniques and GIS (Case study: Behbahan city). *Scientific - Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*. 23(92). (In Persian with English abstract).
- Nepal, S. (2016). Impacts of climate change on the hydrological regime of the Koshi river basin in the Himalayan region. *Journal of Hydro-Environment Research*, 10, 76-89.
- Ochs, K., Egger, G., Weber, A., Ferreira, T., Householder, J. E. and Schneider, M., 2020. The potential natural vegetation of large river floodplains—From dynamic to static equilibrium. *Journal of Hydro-Environment Research*. 30, 71-81.
- Pal, M. and Mather, P.M., 2005. Support vector machines for classification in remote sensing. *International Journal of Remote Sensing*. 26(5), 1007-1011.
- Rahimi, D. and Majd, M., 2011. Analysis of climatic fluctuations and their impact on water resources in the northern slope of the Karkas. *Journal of Geography and Regional Development*. 17, 211-227. (In Persian with English abstract).
- Rahmatizadeh, A. and Jafari, M., 2014. Investigating the effects of saveh and Ghadir dams construction on desertification process in Masileh Qom plain. *Iranian Journal of Range and Desert Research*. 21(3), 494-506. (In Persian with English abstract).

abstract).

Rajaei, T., 2019. The Study of Dust (Sources, Trajectories, Concentration, Affected Areas and etc.) Centers in Qom, Using Satellite Remote Sensing Technology and Geographic Information System. Qom Province Environmental Protection Agency. Qom, Iran. (In Persian with English abstract).

Raziei, T., Daneshkar Arasteh, P. and Saghafian, B., 2005. Annual rainfall trend analysis in arid and semi-arid regions of central and eastern Iran. *Journal of Water and Wastewater*. 16(2), 73-81. (In Persian with English abstract).

Rokni, K., Ahmad, A., Selamat, A. and Hazini, S., 2014. Water feature extraction and change detection using multitemporal landsat imagery. *Remote Sensing*. 6(5), 4173-4189.

Tabari, H., Sabziparvar, A. and Maroofi, S., 2008. Investigation of the annual change trend of meteorological parameters in two hot and cold climates of Iran. *Journal of Water, Soil, and Plants in Agriculture*. 8(1B). (In Persian with English abstract).

Yan, X., Bao, Z., Zhang, J., Wang, G., He, R. and Liu, C., 2020. Quantifying contributions of climate change and local human activities to runoff decline in the upper reaches of the Luanhe River basin. *Journal of Hydro-environment Research*, 28, 67-74.

Zabihi, A., Soleimani, K., Shabani, K. and Abravesh, S., 2011. Investigation of spatial distribution of annual precipitation using geostatistical methods (case study: Qom Province). *Physical Geography Research*. 78, 101-112. (In Persian with English abstract).





Environmental Sciences Vol.19 / No.1 / Spring 2021

239-258

Climate study of changes in major water resources in Qom Province using satellite data and remote sensing technologic

Nima Rohani ^{1*}, Taher Rajaei ¹, Barat Mojaradi ², Ehsan Jabbari ¹, Seyed Ahmad Shafiei Darabi ³ and Mehran Heidari Bani ⁴

¹Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Qom, Qom, Iran

²Department of Surveying Engineering, Faculty of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran

³General Department of Environmental Protection of Qom Province, Qom, Iran

⁴Meteorological Department of Qom Province, Qom, Iran

Received: 2020.03.31

Accepted: 2020.08.18

Rohani, N., Rajaei, T., Mojaradi, B., Jabbari, E., Shafiei Darabi, S.A. and Heidari Bani, M., 2021. Climate study of changes in major water resources in Qom Province using satellite data and remote sensing technologies. *Environmental Sciences*. 19(1): 239-258.

Introduction: Numerous studies have been carried out on climate change and weather change, some of which include the study of surface water resources. These water resources that are highly influential on their surrounding environment are also highly affected by climate change. Most of the studies in this field are based on the data of meteorological stations, hydrometer stations, and different satellite images. Landsat satellite imagery is being used for these types of studies for several decades. The purpose of the present study was to study the changes of Namak (salt) Lake and Hoz-e Soltan Wetland using quantitative and qualitative meteorological data of ground stations and Landsat satellite images.

Material and methods: First, using the available climatic parameters, the period and time steps of the study were determined. These parameters included mean temperature, maximum and minimum temperature, rainfall, relative humidity, evaporation, etc., which were measured at three stations at Qom Province including Qom, Salafchegan, and Kahak stations. This was done by routing and examining climate change and climatic mutations in each of these parameters. By using graphical representation and appropriate statistical test, unusual changes were extracted, and that special year was excluded. Next, images of Landsat satellites were taken at selected times in the previous step. These images were pre-processed, processed, and post-processed.

* Corresponding Author: *Email Address*. n.rohani@stu.qom.ac.ir
<http://dx.doi.org/10.52547/envs.33643>

Classification indices of four classes of water, saline land, common soil land, and vegetation were applied and localized in Qom Province.

Results and discussion: Based on the study of changes in climate parameters, inappropriate years were eliminated, and the study period was selected from 1989 to 2019 with 5-year time steps. Images of these times were classified for the Namak Lake, Hoz-e Soltan Wetland, and their surrounding environment using the Support Vector Machine (SVM) method in ENVI software. This classification was applied to the images every seven steps and yielded the area of each class of water, saline soil, common soil, and vegetation. The results of classification were controlled by the visual method and a number of ground samples. Next, the class changes were modeled and calculated. The rate of change of each class and its conversion into the other three classes were calculated between the time steps and the results were presented as a change matrix. The change matrix was expressed as a percentage of change and as a change in metric units (square meters). On this basis, it was possible to survey the major changes of each class and assess them.

Conclusion: In general, the trend of climatic parameters and the water zones of Qom Province changes were similar. During the study period for the Hoz-e Soltan Wetland basin, the mid-study period of 2004 with a surface area of 61667 hectares was the driest year in the period of study. In the case of Namak Lake, the years 2004 to 2014 were also the driest. 2009 was the driest year in the study area, with an area of about 281 hectares. Investigating these changes by identifying the basin of both water resources and their differences will provide valuable information to researchers.

Keywords: Qom Province, Namak Lake, Hoz-e Soltan Wetland, Satellite images

