



بررسی و پیش‌بینی تأثیرات خشکسالی بر تغییرات دریاچه مهارلو و کاربری‌های اطراف آن با استفاده از سنجش از دور

سعید نگهبان^{۱*}، مرضیه مکرم^۲

^۱دانشیار بخش جغرافیا، دانشکده اقتصاد، مدیریت و علوم اجتماعی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

^۲دانشیار بخش جغرافیا، دانشکده اقتصاد، مدیریت و علوم اجتماعی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۵/۱۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۵/۱۵

چکیده

در سالهای اخیر، پدیده خشکسالی بسیاری از حوضه‌های آبخیز ایران را تحت تأثیر قرار داده و همه ساله باعث تغییرات زیادی در کاربری اراضی و مساحت دریاچه‌ها می‌شود. این پژوهش سعی دارد که با استفاده از شاخص‌های سنجش از دور خشکسالی در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰، وضعیت خشکسالی و ارتباط آن با تغییرات کاربری اراضی در حوضه ابخیز دریاچه مهارلو در جنوب ایران را مورد بررسی قرار دهد. بدین صورت که ابتدا با استفاده از شاخص‌های VCI، NDVI، EVI وضعیت خشکسالی تعیین شد، سپس نقشه‌های کاربری اراضی برای سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۲۰ با استفاده از تصاویر ماهواره ای لندست ۸+ ETM تهیه شد. در ادامه با استفاده از روش رگرسیون مهمترین شاخص‌های خشکسالی موثر برای کاربری‌های اراضی تعیین گردید. همچنین با استفاده از زنجیره مارکوف و کومارکوف وضعیت شاخص‌های خشکسالی و کاربری اراضی برای سال ۲۰۴۰ پیش‌بینی شد. با توجه به نتایج شاخص‌ها مشخص شد که بخش‌های جنوبی بیشتر از دیگر بخش‌ها در خطر خشکسالی قرار دارد. نتایج حاصل از بررسی تغییرات کاربری اراضی نشان داد که در سال ۲۰۲۰ نسبت به سال ۲۰۰۰ اراضی بیشتری در کلاس‌های شور و بایر قرار گرفته اند. نتایج نشان داد که بر اساس روش رگرسیون مهمترین شاخص‌ها در ارتباط با کاربری اراضی شاخص NDVI می‌باشد. نتایج حاصل از زنجیره مارکوف و کومارکوف برای پیش‌بینی شاخص‌ها نشان داد که این روش دارای دقت قابل قبولی می‌باشد. بطوریکه ضریب کاپا برای شاخص VCI 0.98 می‌باشد که حاکی از دقت بالای مدل در پیش‌بینی خشکسالی می‌باشد. همچنین نقشه‌های پیش‌بینی شده توسط این روش نشان داد که در سال ۲۰۴۰ مقادیر این شاخص کاهش می‌یابد که نشان دهنده خشکسالی بیشتر در منطقه خواهد بود. با مقایسه ای که بین طبقات این شاخص‌ها و مقادیر این شاخص‌ها در سال ۲۰۲۰ و ۲۰۰۰ انجام شد مشخص شد که در سال ۲۰۴۰ احتمال کاهش مقادیر این شاخص و در نتیجه افزایش بیشتر خشکسالی در منطقه وجود دارد. این تغییرات بر روی وضعیت کاربری‌ها تأثیر زیادی خواهد داشت. بطوریکه پیش‌بینی می‌شود که مقادیر آب‌ها در این دریاچه با توجه به کاهش مقادیر شاخص خشکسالی NDVI کاهش یابد.

واژه‌های کلیدی: سنجش از دور، شاخص‌های خشکسالی، تغییرات کاربری اراضی، زنجیره مارکوف و کومارکوف.

مقدمه

خشکسالی‌ها با تغییر مساحت و کیفیت کاربری‌های مختلف اراضی روی مصرف آب زیرزمینی اثرگذار هستند. مطالعات نشان می‌دهند که کربن آلی خاک در اثر تغییر کاربری اراضی از چراگاه به زمین کشاورزی، ۵۹ درصد کاهش و در اثر تبدیل اراضی

زراعی به جنگل ۵۰ درصد افزایش می‌یابد. همچنین تغییرات شدید کاربری اراضی علاوه بر تغییر جریان سطحی بر جریان‌های زیرزمینی نیز تأثیرگذارند (Ascott et al., 2020). با افزایش خشکسالی استفاده بی‌رویه از چاه‌های غیرمجاز، استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی، منجر به تهدید اکوسیستم‌های آبی می‌شود. از طرفی تقاضا برای آب را بیش از پیش

افزایش می‌دهد (De Necker et al., 2021). از طرفی تغییرات کاربری اراضی به منظور تامین نیازمندی‌های انسان موجب اختلال در اکوسیستم‌های آبی و خشکی می‌شود. این شرایط در نهایت منجر به توزیع نامتعاد آب و از بین رفتن اکوسیستم‌های آبی مانند تالاب‌های و دریاچه‌ها می‌شود (Mirgol et al., 2021).

عدم دسترسی به آمار و داده‌ها در خصوص مدیریت دریاچه‌ها می‌توان منجر به نگرانی‌های عمده ای در مدیریت تالاب‌ها شود. امروزه به کمک علم سنجش از دور می‌توان اطلاعات دقیق و بهنگامی از مناطق مختلف بدست آورد که از لحاظ اقتصادی هم مقرون به صرفه می‌باشد. این داده‌ها در مقایسه با داده‌های زمینی در دسترس تر، کم هزینه تر و دقیق تر می‌باشند (Chawla et al., 2020). مطالعات زیادی در زمینه سنجش از دور و استفاده از آن‌ها برای بررسی دریاچه‌ها و تالاب‌ها انجام شده است (Mashee et al., 2020). وضعیت آب دریاچه Al-Razzaza lake در عراق را با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و GIS مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که مساحت دریاچه به میزان ۷۹۲ کیلومترمربع کاهش یافت و در سال ۲۰۱۸ در مساحت اراضی شور و زمین‌های بیابانی افزایش چشمگیری داشت.

مطالعات نشان می‌دهد که تغییرات کاربری اراضی تاثیر عمده ای بر روی وضعیت آب دریاها، دریاچه‌ها و رودخانه‌ها دارد (Li et al., 2020; Singh et al., 2020). Dar et al. (2021) وضعیت کیفیت آب ناشی از تغییرات کاربری اراضی در Srinagar را بررسی کردند. نتایج نشان داد که تغییر در کاربری اراضی و فعالیت‌های ناشی از فالیتهای انشان منجر به کاهش کیفیت آب در منطقه شده است (Nobre et al., 2020). در شمال شرقی برزیل شاخص کیفیت آب (WQI) در ۹۸ نقطه از آب‌های دریاچه‌ها و مخازن طبیعی را مورد بررسی قرار داد. نتایج نشان داد که تغییرات کاربری اراضی در نزدیکی دریاچه و همچنین تغییرات اقلیمی از جمله عوامل تغییر در کیفیت آب منطقه مورد مطالعه محسوب می‌شود

(Wang et al., 2020) نشان داد که به علت تغییرات کاربری اراضی بسیاری از دریاچه‌ها در جهان دستخوش تغییرات زیادی شده اند. نتایج مطالعه آن‌ها همچنین نشان داد که برای اینکه دریاچه‌های Dianchi, Erhai و Fuxianhu به روال عادی خود برگردند باید بسیاری از اراضی سالی نزدیک دریاچه به کاربری‌های قبلی خود که علفزار بوده اند بازگردند (Mello et al., 2020) نشان دادند که تغییرات در الگوی کاربری/ پوشش زمین (LULC) به عنوان محرک اصلی تخریب کیفیت آب در برزیل می‌باشد. در واقع افزایش جنگل‌زدایی، گسترش کشاورزی و گسترش شهری در برزیل عامل اصلی در تغییر کیفیت آب محسوب می‌شود که به منظور تغییر در کاربری اراضی باید به تاثیر آن بر روی کیفیت آب توجه شود. از طرفی مطالعات نشان می‌دهد که تغییر در اقلیم منجر به تغییر در کاربری اراضی برای بهره‌وری بیشتر از اراضی شده است که خود منجر به تاثیر بر روی وضعیت اکوسیستم‌های آبی شده است (Messina et al., 2020; Xu et al., 2020; Tan et al., 2020). بنابراین پیش بینی خشکسالی و تاثیر آن‌ها بر روی تغییرات کاربری اراضی به منظور مدیریت بهتر اکوسیستم‌های آبی و خشکی مهم به نظر می‌رسد (Khwarahm et al., 2021). تغییرات آتی LULC برای استان اربیل در اقلیم کردستان عراق (KRI) با استفاده از مدل هم‌افزایی - Cellular Automata (CA) Markov انجام دادند. نتایج جاکی از تغییرات عمده در کاربری اراضی در سال ۲۰۵۰ با تبدیل اراضی جنگلی به کشاورزی و مسکونی خواهد بود (Rahnama, 2021) پیش‌بینی تغییر LULC برای دوره ۲۰۲۰-۲۰۳۰ با استفاده از مدل زنجیره مارکوف CA در مشهد در ایرن نشان داد که تغییر کاربری زمین در منطقه مورد مطالعه ۲۶۲۶,۲ هکتار رخ می‌دهد.

مطالعات نشان می‌دهد که در سال‌های اخیر جنوب ایران شاهد خشکسالی‌های زیادی به علت برداشت بی‌رویه از منابع آب سطحی و زیرزمینی و تغییرات اقلیمی بوده است (Safarianzengir et al., 2021; Ghasemi et al., 2021). این کاهش منابع آبی تهدید

جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است (شکل ۱). این دریاچه با ابعاد ۲۸ در ۱۵ کیلومتر و مساحت ۶۰۰ کیلومتر مربع در ارتفاع ۱۴۶۱ متری از سطح دریا در ۲۰ کیلومتری جنوب شرقی شهر شیراز و در غرب دریاچه بختگان قرار گرفته است. دریاچه مهارلو در زمره با ارزش ترین تالاب‌های منطقه و استان فارس است که از ارزش زیست محیطی بسیار بالایی برخوردار است. سه رودخانه فصلی خشک شیراز، سلطان‌آباد و سروستان، این دریاچه را تغذیه می‌کنند. مهم‌ترین گونه پرنده این دریاچه فلامینگو است. آنقوت، تنجه، کاکایی و گیلان‌شاه، سلیم، آبچلیک، حواصل، اردک سبز و مرغابی دیگر پرندگان ساکن دریاچه بختگان هستند. آب این دریاچه بسیار شور و از نوع کلرید سدیم، منیزیم و سولفات سدیم است و در فصل‌های خشک سال، یکی از کانسارهای بزرگ نمک ایران به شمار می‌رود. به دلیل شوری بالا هیچ گونه ماهی در این دریاچه زندگی نمی‌کند. در گوشه و کنار محیط آن نیز می‌توان گونه‌های مختلف دوزیستان، خزندگان و پستانداران را یافت.



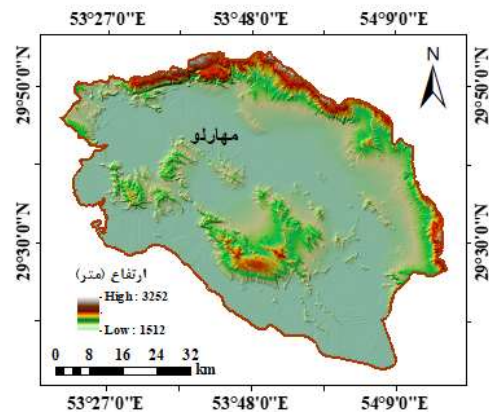
شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

مکانی یک کیلومتر هشت روزه دمای سطح زمین در قالب فایل V005، MOD11A2 استفاده گردید که به دلیل تطابق زمانی، محصولات هشت روزه نیز به شازنده روزه تبدیل شد. از این محصولات تصویر MOD11A2 از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ برای تمامی ماه‌های سال تهیه گردید. این تصاویر پس از دریافت

بزرگی برای منابع آبی از جمله دریاچه بختگان در جنوب استان فارس، ایران شده است. دریاچه بختگان رستگاه بسیاری از پرندگان و جانوران بوده است که اخیراً به علت تغییر در منابع آبی (از جمله خشکسالی) منجر به تغییرات عمده‌ای در این اکوسیستم شده است. با توجه به اینکه خشکسالی تاثیر زیادی بر روی اکوسیستم این دریاچه داشته است، بررسی خشکسالی در این منطقه و پیش‌بینی آن در آینده و تاثیراتی که بر روی این دریاچه دارد می‌توان برای مدیریت بیشتر این منطقه مفید باشد. بنابراین در این مطالعه هدف تعیین شاخص‌های مختلف سنجش از دور (EVI, VCI, NDVI)، بررسی تغییرات شاخص‌های پوشش گیاهی هر سال ۲۰۰۰ و ۲۰۲۰ و پیش‌بینی آن‌ها در آینده با استفاده از زنجیره مارکوف و کو مارکوف می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: در این مطالعه دریاچه مهارلو در جنوب ایران از نظر تغییرات کاربری اراضی و خشکسالی مورد بررسی قرار گرفت. موقعیت



داده‌های پژوهش

داده‌های سنجش از دور مورد استفاده شامل داده‌های سنجنده MODIS از سری تصاویر ماهواره TERRA می‌باشد. بدین منظور از محصولات شازنده روزه شاخص گیاهی تفاضلی نرمال شده در قالب فایل MOD13A2، V005 و محصولات hdf و قدرت تفکیک

تنش گیاهی، مقادیر میانه شرایط متوسط و مقادیر بالا شرایط بهینه را نشان می‌دهد. این شاخص، طبق معادله ۲ محاسبه می‌شود (Quiring and Ganesh, 2010).

$$VCI_{ijk} = 100 \times \frac{NDVI_{ijk} - NDVI_{i,\min}}{NDVI_{i,\max} - NDVI_{i,\min}} \quad (2)$$

در صورتی که NDVImax و NDVImin به صورت ماهیانه برای دوره ای طولانی مدت حساب شده باشد، اندیس z نشان دهنده ماه مورد نظر، i شماره پیکسل و k نیز ماه مورد نظر است. جدول ۱ طبقات خشکسالی بر اساس مقادیر این شاخص را نشان می‌دهد.

شاخص EVI: این شاخص اثرات جوی و تفاوت در بازتاب‌های آبی و قرمز را به حداقل می‌رساند که به صورت معادله 5 تعریف می‌شود (Tanda, 2021).

$$EVI = G \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{L + \rho_{NIR} + C_1 \rho_{RED} - C_2 \rho_{BLUE}} \quad (3)$$

که L فاکتور تعدیل کننده خاک، C1، C2 ضریب استفاده شده جهت تصحیح پراکندگی آئروسول در باند قرمز با استفاده از باند آبی pNIR، pRED، pBLUE به ترتیب انعکاس طول موج‌های آبی، قرمز، مادون قرمز نزدیک است. به طور معمول G=2.5، C1=6، C2=7.5، L=1 می‌باشد. طبقات خشکسالی برای هر یک از شاخص‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است.

توسط اطلاعات موجود در شناسه تصویر و ابزار Modtool اضافه شده در نرم افزار ENVI ژئورفرنس گردیده و سیستم مختصات آنها به سیستم مختصات جغرافیایی تبدیل و سپس با فرمت tif ذخیره گردید.

شاخص‌های خشکسالی

شاخص NDVI: این شاخص گیاهی از معروفترین، ساده ترین و کاربردی ترین شاخص‌های گیاهی شناخته شده است (Tucker et al., 2010). شاخص NDVI به صورت معادله ۱ بیان می‌شود:

$$NDVI = (P_2 - P_1) / (P_2 + P_1) \quad (1)$$

که P1 و P2 به ترتیب میزان بازتاب در باندهای دو و یک است. این شاخص دارای مقادیر بین +۱ و -۱ است. محدوده معمول تغییرات گیاه سبز برابر ۰/۲ تا ۰/۸ است. مقدار شاخص NDVI معمول برای مناطق گیاهی تنک ۰/۰۵ تا ۰/۱، برای مناطق گیاهی معمولی و نیمه متراکم بین ۰/۱ تا ۰/۶ و برای مناطق گیاهی بسیار متراکم و غنی بین ۰/۶ تا ۰/۷ است (Tucker et al., 2010).

شاخص VCI: این شاخص نسبت به شاخص NDVI نتایج بهتری را نسبت به میزان بارندگی به خصوص در مناطقی که از نظر جغرافیایی ناهمگون هستند، ارائه می‌دهد. بازه تغییرات این شاخص بین صفر تا یک می‌باشد. این شاخص برای حذف اثر تفاوت آب و هوایی و توپوگرافی از روی نتایج شاخص NDVI طراحی شده است. مقادیر کم این شاخص شرایط

جدول ۱- طبقات خشکسالی برای هر یک از مقادیر شاخص‌ها

VCI	EVI, NDVI	وضعیت خشکسالی
< ۰,۱	< ۰,۰۵	خشکسالی بسیار شدید
۰,۲-۰,۱	۰,۱-۰,۰۵	خشکسالی شدید
۰,۴-۰,۲	۰,۶-۰,۱	خشکسالی متوسط
> ۰,۴	۱-۰,۶	بدون خشکسالی

از فرایندهای تصادفی است که در آن نتیجه هر فرایند در هر زمان، تنها به نتیجه فرآیند در زمان مجاور آن وابسته است (Zhou et al., 2020). یک زنجیره مارکوف نوع خاصی از فرآیندهای احتمالی

روش زنجیره مارکوف و کومارکوف: از مدل زنجیره‌های مارکوف و فیلتر CA برای پیش بینی تغییرات کاربری اراضی و شاخص‌های خشکسالی در آینده استفاده شده است. زنجیره مارکوف، دنبال‌های

مارکف اضافه میکند، استفاده میشود. در این پژوهش از نقشه شاخص های خشکسالی سال ۲۰۲۰ و ۲۰۰۰ استفاده شد تا نقشه سال ۲۰۴۰ پیش بینی شود. به منظور بررسی دقت نتایج روش مارکوف از روش Kappa استفاده شد (معادله ۱۰).

$$Kappa = \frac{\sum_{i=1}^c P_{ii} - \sum_{i=1}^c P_{iT} \cdot P_{Ti}}{1 - \sum_{i=1}^c P_{iT} \cdot P_{Ti}} \quad (10)$$

که $i=1, \dots, c$ نشان دهنده کاربری های موجود در منطقه و P_{ii} نشان دهنده همبستگی هایی از کاربری i در واقعیت بوده که در مدل شبیه سازی شده در کاربری i در واقعیت بوه که در مدل شبیه سازی شده در کاربری i قرار گرفتند و P_{Ti} نشان دهنده مجموع همبستگی های کلاس i در واقعیت نشان دهنده مجموع همبستگی های کلاس i در مدل شبیه سازی شده است.

نتایج

به منظور بررسی شاخص های خشکسالی سنجش از دور از شاخص های VCI , $NDVI$, EVI در سالهای ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰ استفاده شد. همانطور که از شکل ۲ مشخص است. براساس نتایج به دست آمده از شاخص ها مشخص می شود که میزان خشکسالی در بخش هایی از شمال و جنوب منطقه که با رنگ صورتی نشان داده شده است دارای خشکسالی بیشتری نسبت به دیگر نواحی می باشد. از طرفی با بررسی تغییرات این شاخص از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ میزان خشکسالی افزایش یافته است. طبق نتایج شاخص VCI از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ میزان اراضی خشک در منطقه بیشتر شده است. به طوریکه در سال ۲۰۰۰ در حدود ۳۲،۱۶ درصد در کلاس بدون خشکسالی ولی در سال ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰ به ترتیب ۲۸،۰۹، ۲۲،۴۶ درصد در کلاس بدون خشکسالی قرار دارند که حاکی از خشکسالی بیشتر است. طبق نتایج دو شاخص $NDVI$, EVI در سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ هیچ یک از منطقه در کلاس بدون خشکسالی نیست. در سال ۲۰۰۰، ۲۰۱۰، ۲۰۲۰ به ترتیب برای شاخص EVI ۲۳،۲۰، ۳۱،۱۴، ۳۸،۲۳ درصد

میباشد که در آن حالت بعدی سیستم تنها به حالت جاری سیستم بستگی دارد و به حالت های قبلی آن وابسته نمی باشد. یک فرآیند احتمالی در قالب دنباله های از متغیرهای تصادفی گسسته، $\{X_n\}, n=1, 2, \dots$ ویژگی مارکوفی دارد اگر معادله λ برای هر n محدودیت برقرار باشد، که در آن X_n متعلق به فضای حالت گسسته $i=1, 2, \dots, k$ می باشد. در حالت کلی، زنجیره مارکوف توسط بردارهای $p(n)$ که توزیع های احتمال غیرشرطی حالات می باشند. و ماتریس انتقال p که احتمالات شرطی

$$p_{ij} = P(X_{n+1} = s_j | X_n = s_i), i, j = 1, 2, \dots, k$$

هستند توصیف می شوند. p_{ij} ممکن است وابسته به n باشد، که در این حالت زنجیره مارکوف ناهمگن می باشد. اگر p_{ij} وابسته به n نباشد زنجیره مارکوف همگن خواهد بود. محاسبه $p(n)$ با استفاده از معادله ۹ انجام می شود که در آن نشان دهنده ترانهاده می باشد.

(۸)

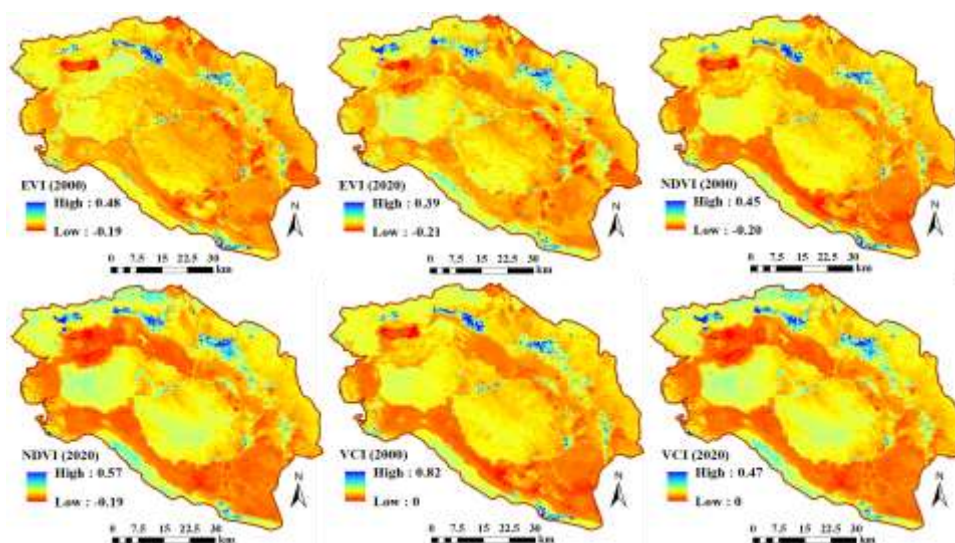
$$P(X_{n+1} = x_{n+1} | X_1 = x_1, X_2 = x_2, \dots, X_n = x_n) = P(X_{n+1} = x_{n+1} | X_n = x_n) \\ p(n+1)^T = p(n)^T P, n = 1, 2, \dots \quad (9)$$

مدل کومارکوف تلفیقی از مدل سلولهای خودکار، زنجیره مارکوف و مدل تخصیص چند منظوره اراضی (MOLA) است که به منظور پیش بینی تغییرات آینده کاربری اراضی بکار میرود. ابتدا با بکارگیری مدل زنجیره مارکف احتمال تغییر طبقات نقشه کاربری اراضی به یکدیگر در قالب یک ماتریس تغییر وضعیت کاربری ها و بر مبنای تغییرات صورت گرفته از زمان T_0 تا T_1 محاسبه می شود. خروجی مدل مارکف که همان ماتریس تغییر وضعیت است از لحاظ ماهیت غیرمکانی است، یعنی در آن هیچ دانش و آگاهی از موقعیت جغرافیایی کاربری های زمین وجود ندارد. برای پیش بینی موقعیت مکانی کاربریها (نقشه کاربری اراضی) در زمان آتی از مدل Markov-CA که مؤلفه های مجاورت مکانی و دانش کاربر نسبت به توزیع مکانی احتمال تبدیل کاربریها را به مدل زنجیره

و برای شاخص NDVI 13.52، 14.96، 20.40 درصد از منطقه در کلاس‌های خشکسالی خیلی شدید قرار دارند است.

جدول ۲- مساحت هر یک از کلاس‌های خشکسالی برای هر یک از شاخص‌های خشکسالی

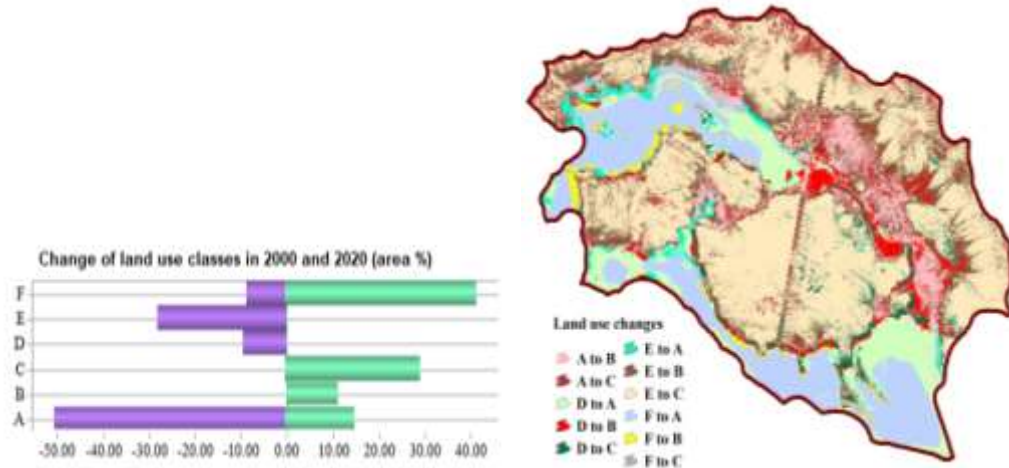
۲۰۲۰			۲۰۱۰			۲۰۰۰			کلاس
NDVI	EVI	VCI	NDVI	EVI	VCI	NDVI	EVI	VCI	
۲۰,۴	۳۸,۲۳	۰,۰۶	۱۴,۹۶	۳۱,۱۴	۰,۰۵	۱۳,۵۳	۲۳,۲	۰,۰۳	خیلی شدید
۶۵,۷۷	۵۲,۱۱	۵,۲	۲۷,۳۷	۵۱,۴۳	۳,۴۴	۳۸,۶۷	۴۱,۴	۰,۱۷	شدید
۱۳,۶۴	۹,۴۷	۷۲,۲۸	۵۷,۶۷	۱۷,۴۳	۶۸,۴۲	۴۷,۷۷	۳۵,۳۸	۶۷,۳۹	متوسط
۰	۰	۲۲,۴۶	۰	۰	۲۸,۰۹	۰	۰	۳۲,۱۶	بدون خشکسالی



شکل ۲- نقشه پهنه بندی شاخص‌های خشکسالی VCI, NDVI, EVI

به ترتیب شامل 12.90، 2.44، 10.17، 0.67، 0.01، 0.02 درصد مساحت می‌شود. با توجه به نتایج مشخص می‌شود که تغییرات عمده‌ای در این اراضی اتفاق افتاده است و منطقه به سمت اراضی بایر و یا شور در حال پیش روی می‌باشد. مطالعات انجام شده توسط (Esandari et al., 2016) هم نشان دهنده پیش روی خشکسالی و اراضی شور و بایر در منطقه می‌باشد. نتایج مطالعات (M.H. et al., 2016) نشان داد که کاهش بارندگی و مهمتر از آن افزایش سطح زیر کشت آبی در بالادست حوضه که منجر به افزایش مصرف آب شده است را می‌توان به عنوان عوامل اصلی خشک شدن دریاچه معرفی کرد.

بررسی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از زنجیره مارکوف و کو مارکوف: نقشه‌های کاربری اراضی برای دریاچه بختگان با استفاده از تصاویر ماهواره لندست در دو سال ۲۰۲۰ و ۲۰۰۰ تهیه شد. با توجه به نتایج مشخص شد که در سال ۲۰۰۰ درصد مساحت کشاورزی، اراضی شور، اراضی لخت، آب به ترتیب 20.06، 10.79، 18.93، 50.23 درصد بود. در حالی که در سال ۲۰۲۰ در حدود 11.95، 18.21، 53.35، 16.49 درصد بود. تغییرات کاربری اراضی از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ در شکل ۳ نشان داده شده است. قابل ذکر است که کد تغییرات کلاس‌ها از کدهای D to A، E to A، D to B، A to B، F to A، E to B، D to C، A to C، D to C، E to C، F to C، A to F، D to A، E to C، F to B



شکل ۳- تغییرات مساحت در سال های ۲۰۰۰ و ۲۰۲۰ در کاربری های مختلف اراضی در دریاچه بختگان و مهارلو Water: A، B: کشاورزی، C: اراضی لغت، D: اراضی شور

استفاده گردید. نتیجه مربوط به تغییرات مساحت هر یک از کلاس ها به درصد توسط مدل زنجیره های مارکوف، در جدول ۳ آمده است. با توجه به جدول ۳ مشاهده میشود که در تعییرات کلاس ها به سمت کلاس های بیشتر بوده است. نتایج حاصل از ضریب کاپا برای این شاخص 0.98 می باشد که حاکی از دقت بالای مدل در پیش بینی این شاخص می باشد.

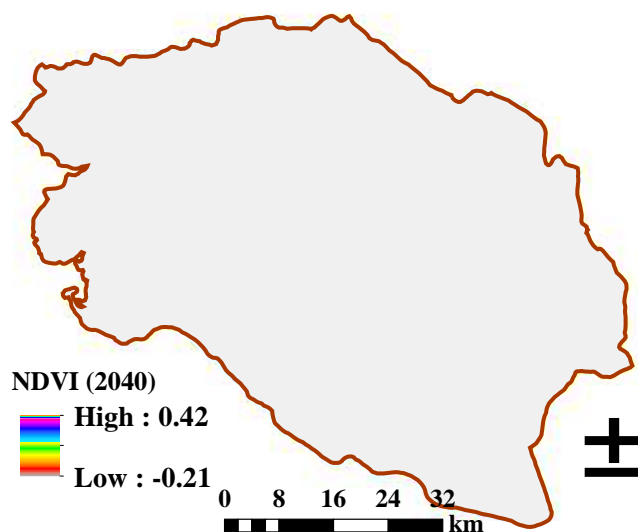
زنجیره مارکوف و کو مارکوف: برای پیش بینی شاخص های خشکسالی موثر بر روی تغییرات کاربری های اراضی از ابتدا با استفاده از مقادیر رگرسیون و کلاس های تناسب اراضی مشخص شد که از بین شاخص های مختلف شاخص NDVI دارای دقت بالاتری می باشد. بنابراین برای پیش بینی این شاخص از مدل زنجیره مارکوف و سلولهای خودکار

جدول ۳- ماتریس احتمال انتقال NDVI

کلاس_10	کلاس_9	کلاس_8	کلاس_7	کلاس_6	کلاس_5	کلاس_4	کلاس_3	کلاس_2	کلاس_1	
0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002	0.015	0.980	0.003	0.001	کلاس_1
0.000	0.000	0.000	0.006	0.011	0.039	0.920	0.011	0.012	0.002	کلاس_2
0.000	0.001	0.004	0.007	0.020	0.932	0.036	0.000	0.000	0.000	کلاس_3
0.011	0.017	0.039	0.055	0.155	0.602	0.122	0.000	0.000	0.000	کلاس_4
0.000	0.023	0.034	0.124	0.326	0.382	0.112	0.000	0.000	0.000	کلاس_5
0.056	0.083	0.139	0.333	0.211	0.178	0.000	0.000	0.000	0.000	کلاس_6
0.031	0.031	0.531	0.131	0.231	0.046	0.000	0.000	0.000	0.000	کلاس_7
0.065	0.161	0.587	0.155	0.032	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	کلاس_8
0.100	0.683	0.067	0.067	0.083	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	کلاس_9
0.700	0.100	0.200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	کلاس_10

دارد. شایان ذکر است میزان خشکسالی با افزایش کلاس ها کاهش می یابد. با توجه به شکل ۴ مقادیر هر یک از این کلاس ها از ۱ تا ۱۰ به ترتیب برابر با 0.05، 0.17، 0.41، 1.22، 21.67، 50.35، 25.89، 0.15، 0.02، 0.07 درصد می باشد.

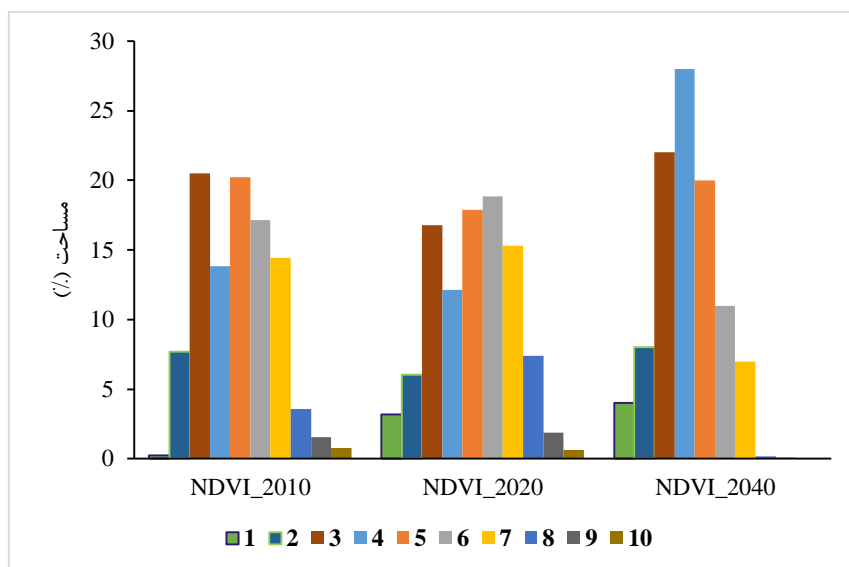
در ادامه با استفاده از ماتریس تبدیل وضعیت سال ۲۰۲۰ و ۲۰۰۰ نقشه شاخص های پوشش گیاهی NDVI در سال ۲۰۴۰ پیش بینی شده است (شکل ۴). با توجه به شکل ۴ معلوم می شود که نقشه مربوط به این شاخص در سال ۲۰۴۰ در ۱۰ طبقه قرار



شکل ۴- مقادیر شاخص NDVI در سال ۲۰۴۰ با استفاده از زنجیره مارکوف

نشان دهنده خشکسالی بیشتر و مقادیر کمتر این شاخص‌ها هست افزایش یافته که نشان دهنده افزایش خشکسالی در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

تغییرات مربوط به شاخص NDVI در سال ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰ در شکل ۵ نشان داده شده است. همانطور که در شکل ۵ هم نشان داده شده، از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۴۰ مساحت کلاس‌های کمتر که



شکل ۵- تغییر مساحت شاخص NDVI از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۴۰

وضعیت کاربری‌ها تاثیر زیادی خواهد داشت. به طوری که پیش‌بینی می‌شود که مقادیر آب‌ها در این دریاچه با توجه به کاهش مقادیر شاخص NDVI کاهش می‌یابد.

با مقایسه‌ای که بین طبقات این شاخص‌ها و مقادیر این شاخص‌ها در سال ۲۰۰۰ و ۲۰۲۰ انجام شد مشخص شد که در سال ۲۰۴۰ احتمال کاهش مقادیر این شاخص و در نتیجه افزایش بیشتر خشکسالی در منطقه وجود دارد. این تغییرات بر روی

نتیجه گیری

با توجه به گسترش خشکسالی و بیابانزایی در جنوب ایران بویژه در سالهای اخیر، این پژوهش با هدف پایش روند این پدیده مخاطره آمیز و تغییرات کاربری‌های طی ۲۰ سال اخیر و در عین حال پیش‌بینی این تغییرات در آینده صورت گرفت. بدین منظور از شاخص‌های خشکسالی EVI، NDVI، VCI و نقشه‌های کاربری اراضی در سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۲۰ استفاده شد. به منظور مشخص کردن موثرترین شاخص‌های در هر یک از کاربری‌های اراضی از روش رگرسیون استفاده شد. از طرفی چون پیش بینی به عنوان هدف در این پژوهش مدنظر قرار گرفت از مدل ترکیبی Markov-CA استفاده گردید. نتایج این مطالعه نشان داد که خشکسالی یکی از عوامل موثر بر روی تغییرات کاربری اراضی می‌باشد. بخش‌هایی از شمال و جنوب منطقه نسبت به دیگر نواحی در معرض خشکسالی بیشتری قرار دارند. از طرفی با بررسی تغییرات از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ مشخص گردید که میزان خشکسالی افزایش یافته است. طبق نتایج شاخص VCI از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ میزان

اراضی خشک در منطقه بیشتر شده است. به طوریکه در سال ۲۰۰۰ در حدود ۳۲،۱۶ درصد در کلاس بدون خشکسالی ولی در سال ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰ به ترتیب 28.09، 22.46 درصد در کلاس بدون خشکسالی قرار دارند که حاکی از خشکسالی بیشتر است. طبق نتایج دو شاخص EVI، NDVI در سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ هیچ یک از منطقه در کلاس بدون خشکسالی نیست. در سال ۲۰۰۰، ۲۰۱۰، ۲۰۲۰ به ترتیب برای شاخص EVI 23.20، 31.14، 38.23 درصد و برای شاخص NDVI 13.52، 14.96، 20.40 درصد از منطقه در کلاس‌های خشکسالی خیلی شدید قرار دارند که نشان دهنده خشکی بیشتر منطقه در سال ۲۰۲۰ است. پیشنهاد می‌شود که در مطالعات بعدی از دیگر شاخص‌های خشکسالی علاوه بر شاخص‌هایی که در این مطالعه استفاده شده هم استفاده شود تا بتوان با پیش بینی خشکسالی در سال‌های آتی و تاثیری که این شاخص‌ها بر روی کاربری اراضی دارند، روند تغییرات کاربری اراضی را در آینده بهتر پیش بینی نمود.

منابع

4. De Necker L, Brendonck L, Van Vuren J, et al (2021). Aquatic Invertebrate Community Resilience and Recovery in Response to a Supra-Seasonal Drought in an Ecologically Important Naturally Saline Lake. *Water* 2021, Vol 13, Page 948-948. <https://doi.org/10.3390/W13070948>
5. Dube T, Mutanga O, Seutloali K, et al (2015) Water quality monitoring in sub-Saharan African lakes: a review of remote sensing applications. <http://dx.doi.org/102989/1608591420151014994> 40:1-7. <https://doi.org/10.2989/16085914.2015.1014994>
6. Esandari H, Borji M, Khosravi H, et al (2016) Change Detection of Bakhtegan and Tashk Basin during 2001-2013. *Int J For Soil Eros* 6:
7. Ghasemi MM, Pakparvar M, Mokarram M (2021) Preparation of landforms using geomorphon method and its relationship
1. Ascott, M.J., Bloomfield, J.P., Karapanos I, et al (2020). Managing groundwater supplies subject to drought: perspectives on current status and future priorities from England (UK). *Hydrogeol J* 2020 293-293. <https://doi.org/10.1007/S10040-020-02249-0>
2. Chawla I, Karthikeyan L, Mishra AK (2020). A review of remote sensing applications for water security: Quantity, quality, and extremes. *J Hydrol* 585:124826. <https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2020.124826>
3. Dar SA, Rashid I, Bhat SU (2021). Land system transformations govern the trophic status of an urban wetland ecosystem: Perspectives from remote sensing and water quality analysis. *L Degrad Dev* 32:4087-4104. <https://doi.org/10.1002/LDR.3924>

- Zamanian K (2021) Past and future drought trends, duration, and frequency in the semi-arid Urmia Lake Basin under a changing climate. *Meteorol Appl* 28:e2009.
<https://doi.org/10.1002/MET.2009>
16. Nobre RLG, Caliman A, Cabral CR, et al (2020) Precipitation, landscape properties and land use interactively affect water quality of tropical freshwaters. *Sci Total Environ* 716:137044.
<https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2020.137044>
 17. Quiring SM, Ganesh S (2010) Evaluating the utility of the Vegetation Condition Index (VCI) for monitoring meteorological drought in Texas. *Agric For Meteorol* 150:330–339.
<https://doi.org/10.1016/J.AGRFORMET.2009.11.015>
 18. Rahnema MR (2021) Forecasting land-use changes in Mashhad Metropolitan area using Cellular Automata and Markov chain model for 2016-2030. *Sustain Cities Soc* 64:102548.
<https://doi.org/10.1016/J.SCS.2020.102548>
 19. Safarianzengir V, Sobhani B, Madadi A, Yazdani M (2021) Monitoring, analyzing and estimation of drought rate using new fuzzy index in cities of west and southwest of Iran, located in the north of the Persian gulf. *Environ Dev Sustain* 23:7454–7468.
<https://doi.org/10.1007/S10668-020-00925-5/FIGURES/7>
 20. Singh S, Bhardwaj A, Verma VK (2020) Remote sensing and GIS based analysis of temporal land use/land cover and water quality changes in Harike wetland ecosystem, Punjab, India. *J Environ Manage* 262:110355.
<https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2020.110355>
 21. Tan J, Yu D, Li Q, et al (2020) Spatial relationship between land-use/land-cover change and land surface temperature in the Dongting Lake area, China. *Sci Reports* 2020 101 10:1–9.
<https://doi.org/10.1038/s41598-020-66168-6>
 22. Tanda AS (2021) Native Bees Are Important and Need Immediate with drought in the east and south of Fars province. *Quant Geomorphol Res* 10:..
<https://doi.org/10.22034/GMPJ.2021.279116.1262>
 8. Khwarahm NR, Qader S, Ararat K, Fadhil Al-Quraishi AM (2021). Predicting and mapping land cover/land use changes in Erbil /Iraq using CA-Markov synergy model. *Earth Sci Informatics* 14:393–406.
<https://doi.org/10.1007/S12145-020-00541-X/FIGURES/6>
 9. Li J, Bai Y, Alatalo JM (2020) Impacts of rural tourism-driven land use change on ecosystems services provision in Erhai Lake Basin, China. *Ecosyst Serv* 42:101081.
<https://doi.org/10.1016/J.ECOSER.2020.101081>
 10. Li Y, Zhao G, Shah D, et al (2021) NASA's MODIS/VIIRS Global Water Reservoir Product Suite from Moderate Resolution Remote Sensing Data. *Remote Sens* 2021, Vol 13, Page 565 13:565.
<https://doi.org/10.3390/RS13040565>
 11. M.H. B, A. B, G.A. S (2016). Analysis Of Changes In The Bakhtegan Lake Water Body Under The Influence Of Natural And Human Factors. 12:1–11
 12. Mashee FK, Ali A-RB, Jasim MS (2020) Spatial monitoring for degradation Al-Razzaza Lake by analysis temporal of remote sensing data using geographic information system techniques. *Eurasian J Biosci* 14:4777–4781.
<https://doi.org/10.24996/IJS.2017.58.3A>
 13. Mello K de, Taniwaki RH, Paula FR de, et al (2020) Multiscale land use impacts on water quality: Assessment, planning, and future perspectives in Brazil. *J Environ Manage* 270:110879.
<https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2020.110879>
 14. Messina NJ, Couture RM, Norton SA, et al (2020) Modeling response of water quality parameters to land-use and climate change in a temperate, mesotrophic lake. *Sci Total Environ* 713:136549.
<https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2020.136549>
 15. Mirgol B, Nazari M, Etedali HR,

- construction, land-use change and climate change on runoff characteristics in the Poyang Lake basin, China. *J Hydrol Reg Stud* 29:100694. <https://doi.org/10.1016/J.EJRH.2020.100694>
26. Zhou L, Dang X, Sun Q, Wang S (2020) Multi-scenario simulation of urban land change in Shanghai by random forest and CA-Markov model. *Sustain Cities Soc* 55:102045. <https://doi.org/10.1016/J.SCS.2020.102045>
27. (2021) EarthExplorer. <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Accessed 11 Nov 2021
- Conservation Measures: A Review †. 1–15. <https://doi.org/10.3390/xxxxx>
23. Tucker CJ, Pinzon JE, Brown ME, et al (2010) An extended AVHRR 8-km NDVI dataset compatible with MODIS and SPOT vegetation NDVI data. *https://doi.org/101080/01431160500168686* 26:4485–4498. <https://doi.org/10.1080/01431160500168686>
24. Wang M, Duan L, Wang J, et al (2020) Determining the width of lake riparian buffer zones for improving water quality base on adjustment of land use structure. *Ecol Eng* 158:106001. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLENG.2020.106001>
25. Xu D, Lyon SW, Mao J, et al (2020) Impacts of multi-purpose reservoir

