



بررسی تغییرات کاربری اراضی حوضه تالاب میقان با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی

آزاده کاظمی^{۱*}، محمدرضا گیلی^۲، محمدحسین محمدی اشنانی^{۱،۳*}

۱- گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده کشاورزی و محیط زیست، دانشگاه اراک، اراک، ایران
۲- گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران
۳- پژوهشگاه علوم محیطی، دانشگاه اراک، اراک، ایران

نوع مقاله:	چکیده
پژوهشی	مقدمه: تغییرات کاربری اراضی تأثیر قابل توجهی بر پایداری اکوسیستم‌های طبیعی دارد و تالاب‌ها به‌عنوان زیست‌بوم‌های حساس که بیشترین خدمات اکوسیستمی را ارائه می‌کنند، در برابر این تغییرات بسیار آسیب‌پذیرند. تالاب میقان، یکی از زیستگاه‌های مهم پرندگان مهاجر در ایران، طی دهه‌های اخیر، تحت تأثیر تغییرات انسانی و اقلیمی دچار تحولاتی در کاربری اراضی شده است. بنابراین تحلیل پویایی روند تغییر کاربری پوشش اراضی و کمی‌سازی الگوی فضایی - زمانی از دست رفتن تالاب‌ها، برای مواجهه با چالش‌ها و ریسک‌های محیط زیستی، درک روندها، شناسایی مناطق حساس و آسیب‌پذیر و احیای آن‌ها، مدیریت پایدار منابع تالابی و حفاظت از این بوم‌سازگان‌های ارزشمند و همچنین سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی توسعه آینده آن‌ها، ضروری است.
تاریخچه مقاله:	مواد و روش‌ها: این مطالعه با هدف شناسایی و تحلیل تغییرات کاربری اراضی در حوضه آبریز تالاب میقان طی بیش از دو دهه از سال ۱۳۷۷ تا ۱۳۹۹، با استفاده از داده‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) انجام شده است. در این تحقیق از تصاویر سنجنده‌های TM و OLI_TIRS ماهواره‌های لندست ۵ و ۸ استفاده شد. پیش پردازش با انجام تصحیحات رادیومتریک و هندسی با دقت $RMSE=0.45$ بر روی تصاویر صورت گرفت. عملیات پردازش شامل طبقه‌بندی به دو روش حداکثر احتمال (MLC) و ماشین بردار پشتیبان (SVM) انجام گرفت. همچنین به منظور بررسی دقت نتایج طبقه‌بندی نقشه‌های کاربری تهیه شده، پس از تشکیل ماتریس خطا، ارزیابی صحت طبقه‌بندی بر اساس معیارهای دقت کلی، ضریب کاپا، دقت تولیدکننده و دقت کاربر صورت پذیرفت. در فرآیند شناسایی تغییرات، تکنیک post-classification مورد استفاده قرار گرفت. پس از استخراج نقشه‌های کاربری اراضی برای دوره‌های زمانی مورد مطالعه، برای هر زیر حوضه از حوضه آبریز میقان، مساحت کاربری‌های مؤثر در هر دوره زمانی، شامل کاربری اراضی آبی، مسکونی- صنعتی، دیمزار، رخنمون سنگی و مرتع با یکدیگر مقایسه گردید. فرآیند تشخیص و تحلیل تغییرات، بر اساس مدل و روش طبقه‌بندی در محیط نرم افزار Arc GIS پردازش و انجام گرفت.
دریافت:	
۱۴۰۴/۰۱/۱۵	
پذیرش:	
۱۴۰۴/۰۲/۰۷	
کلمات کلیدی:	
تغییرات کاربری اراضی، تالاب میقان، سنجش از دور، سیستم اطلاعات جغرافیایی، مدیریت محیط زیست، تصاویر ماهواره‌ای	
نتایج:	نتایج: نتایج ماتریس خطا، صحت و دقت بالای نقشه‌های تولیدی را نشان داد. برای هر یک از روش‌های طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان و حداکثر احتمال به ترتیب، ضریب کاپای ۰/۶۸ و ۰/۹۱ و صحت کلی ۷۱/۵۷ و ۹۳/۱۲ برای سال ۱۳۷۷ و ضریب کاپای ۰/۹۰ و ۰/۹۲ و صحت کلی ۹۳/۱۱ و ۹۴/۵۶ برای سال ۱۳۹۹ بدست آمد. همچنین روش حداکثر احتمال عملکرد بهتری نسبت به روش ماشین بردار پشتیبان در فرآیند طبقه‌بندی

تصاویر داشته است. پوشش/کاربری اراضی مرتعی طی دوره مطالعه ۱۶/۹۳ درصد کاهش یافته است. بیشترین میزان کاهش در زیرحوضه ابراهیم‌آباد مشاهده می‌شود، که کاهش ۶۱ درصدی را نشان می‌دهد. اراضی کشاورزی، به‌ویژه اراضی آبی و باغات، رشد ۱۲/۳۵ درصدی را نشان می‌دهد. اراضی دیم نیز جز زیرحوضه کرهرود، در همه زیرحوضه‌ها افزایش یافته اند. همچنین در تمامی زیرحوضه‌ها به‌جز زیرحوضه ابراهیم‌آباد، کاربری مسکونی- صنعتی روند افزایشی داشته است.

بحث: طی بازه زمانی ۲۲ ساله مورد بررسی، کاربری/پوشش اراضی در حوضه آبریز میقان، به عنوان اکوسیستمی حساس و شکننده، دستخوش تغییرات گسترده‌ای شده است. همچنین، تغییرات اقلیمی، گسترش فعالیت‌های انسانی و بهره‌برداری بی‌رویه از منابع منجر به کاهش وسعت تالاب شده است. این عوامل، در یک تعامل پیچیده، موجب شکل‌گیری یک چرخه توسعه ناپایدار شده‌اند که نه‌تنها پایداری منابع آب و خاک را تهدید می‌کند، بلکه کارکردهای اکولوژیک منطقه را نیز دستخوش تغییرات اساسی می‌سازد. در صورت عدم توجه و مدیریت صحیح در حوضه آبریز تالاب میقان، نه تنها مرکز ارائه خدمات اکوسیستمی نخواهد بود، بلکه می‌تواند به منبع اصلی تولید ریزگردها و تهدیدی برای سلامت محیط زیست و جوامع محلی تبدیل شود. نتایج این تحقیق نشان داد، که داده‌های سنجش از دور و تحلیل‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی، می‌توانند نقش اساسی در تحلیل الگوهای تغییرات محیطی تالاب‌ها ایفا نموده و با ارائه داده‌های مکانی- زمانی دقیق، به تصمیم‌گیری‌ها و تدوین راهبردهای محیط زیستی کمک شایانی نماید.

مقدمه

تالاب‌ها، جزو مهم‌ترین و ارزشمندترین بوم‌سازگان‌های زمین هستند (Dar et al., 2021) و علیرغم اینکه فقط ۵ تا ۱۰ درصد از مساحت سطح زمین را به خود اختصاص داده‌اند (Kingsford et al., 2016)، دارای کارکردهای گسترده هیدرولوژیکی، بیوژئوشیمیایی و اکولوژیکی دارند (Rahimi et al., 2019)، به طوری که تالاب‌های جهان با ارزش خدمات اکوسیستمی ۴۷.۴ هزار میلیارد دلار در سال، دارای بیشترین خدمات اکوسیستم در واحد سطح بوده و در مجموع در حدود ۴۳ تا ۴۷ درصد از کل ارزش خدمات اکوسیستم جهان را به خود اختصاص داده‌اند (Costanza et al., 1997; Davidson et al., 2019; Yang et al., 2022). تالاب‌ها نقش حیاتی در حفاظت از گونه‌های نادر و تنوع زیستی، کنترل سیلاب، حفظ تعادل اکولوژیکی، محافظت از منابع آب، نگهداشت رسوبات و ذرات معلق، تنظیم آب و هوا و کنترل فرسایش خاک ایفا می‌کنند (Erwin, 2009; Myers et al., 2013; Rahimi et al., 2019). علاوه بر این، تالاب‌ها یکی از مهم‌ترین مخازن کربن روی زمین هستند که مقادیر عظیمی از گازهای گلخانه‌ای را جذب کرده و آب و هوای منطقه‌ای و اقلیم جهانی را تنظیم می‌کنند (Sileshi et al., 2020; Slagter et al., 2020). با این حال، مطالعات نشان داده است که

۳۵ درصد از تالاب‌های جهانی از سال ۱۹۷۰، ۵۴ درصد از سال ۱۹۰۰ و ۸۷ درصد از سال ۱۷۰۰ تاکنون از بین رفته است (Davidson, 2014; Jie et al., 2021) و تغییر پوشش/کاربری اراضی^۱ و فعالیت‌های انسانی به عنوان یکی از عوامل اصلی تخریب و از دست رفتن تالاب‌ها شناخته می‌شوند (Xu et al., 2019; Xiong et al., 2023). در واقع "از دست رفتن تالاب"^۲، به معنی تبدیل یک تالاب به کاربری یا پوششی هست، که متفاوت از تالاب می‌باشد (Zekarias & Gelaw, 2023) و در حال حاضر، نرخ تبدیل تالاب‌ها بیشتر از هر اکوسیستم آبی یا خشکی دیگر است (Li et al., 2021) لذا اتخاذ رویکرد اقتصاد اکولوژیک ضروری است، زیرا از طریق توسعه دانش، نوآوری و فناوری از کاهش خدمات اکوسیستمی ناشی از فشارهای محیط‌زیستی جلوگیری کرده و انعطاف‌پذیری اکوسیستم‌ها را حفظ می‌کند (Mohammadi Ashnani et al., 2020).

تالاب‌ها شامل نواحی علفزار تالابی، مانداب و پوده‌زارها، دشت‌های سیلابی، رودخانه‌ها و دریاچه‌ها و مناطق ساحلی چه به صورت طبیعی یا مصنوعی، دائمی یا موقت، دارای آب ساکن یا جاری، شیرین، لبشور و شور و همچنین مناطق دریایی که عمق آب آن‌ها در هنگام جزر،

^۱ - Land use/land cover (LULC) change

^۲ - Wetland Loss

زمانی از دست رفتن تالاب‌ها، برای مقابله با چالش‌ها و ریسک‌های محیط زیستی، درک روندها، شناسایی زون‌های حساس و آسیب‌پذیر و احیای آن‌ها، مدیریت پایدار منابع تالاب و حفاظت از این مناطق و همچنین سیاستگذاری و برنامه ریزی توسعه آینده آن‌ها، ضروری است.

طی سالیان متمادی، تحقیقات گسترده‌ای در ارتباط با بررسی تغییر و تحولات کاربری و پوشش اراضی در حوضه‌های آبریز با استفاده از فنون سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی انجام شده و نتایج متنوعی جهت ارزیابی و پیش‌بینی مشکلات ناشی از تغییرات محیط زیستی حاصل شده است (Choudhary *et al.*, 2018). داده‌های سنجش از دور به دلیل پوشش وسیع، به هنگام بودن، توان تفکیک طیفی، رادئومتریک و مکانی بالا، فرمت رقومی و امکان پردازش کامپیوتری از پتانسیل زیادی برای بررسی تغییرات مکانی و زمانی کاربری/پوشش اراضی دارا است. فناوری سنجش از دور به عنوان یک ابزار کارآمد، امکان ارزیابی دقیق و مستمر تغییرات محیطی را در مقیاس‌های وسیع فراهم می‌کند. این فناوری با بهره‌گیری از تصاویر ماهواره‌ای چندباند، چند طیفی و با وضوح بالا همراه با سیستم اطلاعات جغرافیایی، قادر به ارائه اطلاعات مکانی و زمانی با دقت بالا از تغییرات پوشش زمین و نظارت و مدل‌سازی الگوهای کاربری/پوشش اراضی است (Rogan & Chen, 2004; Lv *et al.*, 2022). جدول ۱ فناوری‌های سنجش از دور که برای نقشه‌برداری و تحلیل‌های کاربری اراضی تالاب‌ها استفاده می‌شوند را به ترتیب قدرت تفکیک مکانی نشان می‌دهد.

به منظور ارائه چارچوب جامعی از مطالعات پیشین، مرور ادبیات تحقیق در دو محور اصلی مورد بررسی قرار می‌گیرد؛ نخست، مطالعات حوضه‌های آبریز بین‌المللی و دوم، پژوهش‌های انجام شده در حوضه‌های آبریز داخلی ایران که به صورت تجمعی برای هر حوضه آبریز، به بررسی تغییرات کاربری اراضی در اکوسیستم‌های تالابی با استفاده از فناوری‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی پرداخته می‌شود.

از ۶ متر تجاوز نکند (Ramsar Convention Secretariat, 2010) و حوضه آبریز تالاب، شامل کل منطقه توپوگرافی و ویژگی‌های سیمای سرزمین می باشد، که آب های سطحی و زیرزمینی را به تالاب منتقل می کند (Papas *et al.*, 2021; McLean *et al.*, 2008). تغییرات دما و بارش می‌توانند با اختلال در توازن آب سطحی، بر مساحت تالاب‌ها تأثیر بگذارند (Xu *et al.*, 2024). این تغییرات در الگوهای بارش، همراه با گرمایش جهانی، می‌تواند تأثیرات قابل توجهی بر عملکردهای اکولوژیکی تالاب‌ها از جمله ذخیره کربن، کاهش سیلاب و حفظ تنوع زیستی داشته باشد (Knapp *et al.*, 2008). در گذشته، شاخص‌های ارزیابی تخریب تالاب‌ها عمدتاً بر جنبه‌های شیمیایی و بیولوژیک متمرکز بودند (Van Dam *et al.*, 1998) و با افزایش درک از ساختار و عملکرد اکوسیستم، روش‌های ارزیابی تخریب تالاب‌ها بر اساس انواع مختلف شاخص‌های زیستی، هیدروژئومورفولوژی، عوامل اجتماعی- فرهنگی و سیاست‌گذاری به تدریج ظهور کردند (Miller & Wardrop, 2006; Gianopoulos, 2018; Zekarias *et al.*, 2021; Zhao *et al.*, 2021). در حال حاضر، مطالعات بین‌المللی در مورد تخریب تالاب‌ها عمدتاً بر جنبه‌های عملکردی تالاب‌ها متمرکز شده‌اند (Sun *et al.*, 2023)، با این حال، اکثر مطالعات از اثرات مداخلات انسانی بر الگوهای فضایی و زمانی تخریب اکولوژیک که منجر به اختلال در ساختار و نهایتاً در عملکرد این اکوسیستم‌ها می‌شود، غفلت کرده‌اند. تغییرات پوشش و کاربری اراضی حوضه تالاب‌ها، به طور مستقیم و غیر مستقیم بر کارکردها و فرآیندهای اکولوژیک و همچنین بر پارامترهای اقتصادی، اجتماعی آن‌ها از مقیاس محلی تا جهانی، تأثیر گذاشته و می‌تواند پیامدهای گسترده و بلند مدتی را داشته باشند (Schuyt & Brander, 2004; Wu, 2008; Das *et al.*, 2020; Zhang *et al.*, 2020; Berkessa *et al.*, 2023; Muche *et al.*, 2023). در حال حاضر، تغییر کاربری زمین مهمترین و بیشترین اثر منفی را روی اکوسیستم‌های طبیعی و آب شیرین در جهان داشته است (IPBES, 2019). بنابراین بررسی پویایی روند تغییر کاربری/پوشش اراضی و کمی‌سازی الگوی فضایی -

جدول ۱ - فناوری‌های سنجش‌ازدور مورد استفاده برای نقشه‌برداری و تحلیل‌های کاربری اراضی تالاب‌ها به ترتیب قدرت تفکیک مکانی

نوع	سنجنده	قدرت تفکیک مکانی (متر)	تعداد باندها	سال‌های بهره‌برداری	زمان بازدید مجدد (روز)
عکسبرداری هوایی	دوربین سیاه/سفید	۵-۰/۰۵	۱	در حال اجرا	درخواستی
	دوربین فرورسرخ نزدیک ۰/۰۵	۵-۰/۰۵	۱	در حال اجرا	درخواستی
	دوربین چندطیفی	۵-۰/۰۵	متغیر	در حال اجرا	درخواستی
هایپراسپکترال هوابرد	PROBE-1	متغیر	۱۲۸	۱۹۹۸-	درخواستی
	MIVIS	متغیر	۱۰۲	اوایل ۱۹۹۰	درخواستی
	RODIS	متغیر	۱۱۵	۱۹۹۲-	درخواستی
	Hymap	۱۰-۳/۵	۱۲۸	۱۹۹۸	درخواستی
	SASI	۱۵-۰/۲۵	۱۶۰	نامشخص	درخواستی
	CASI	۱۵-۰/۲۵	۲۸۸	۱۹۸۹-	درخواستی
	AVIRIS	۱۷	۲۲۴	۱۹۸۷-	درخواستی
هایپراسپکترال ماهواره‌ای	Hyperion	۳۰	۲۴۲	۲۰۰۰-۲۰۱۷	درخواستی
	PRISMA ³	۳۰	۲۳۹	۲۰۱۹-	۲۹
	EnMAP ⁴	۳۰	۲۴۲	۲۰۲۲-	۲۷ (درخط استوا)
	EMIT ⁵	۶۰	۲۸۵	۲۰۲۲-	متغیر (ISS)
سری WorldView	۱/۴ ~ (۰/۳ pan ⁶)	۸	۲۰۰۷-	۱-۲	
SuperView-1	۰/۵ (۲ چندطیفی)	۴ (+pan)	۲۰۱۶-	روزانه	
GeoSat	۱/۸۴ (۰/۴۶ pan)	۴ (+pan)	۱۹۸۵-۱۹۹۰	درخواستی	
Pleiades 1A, 1B	۲ (۰/۵ pan)	۴ (+pan)	۲۰۱۱-	۱	
Quickbird	۳ (۰/۶۵ pan)	۴ (+pan)	۲۰۰۱-۲۰۱۴	۱-۳.۵	
Planet CubeSat, Dove, etc.	۴	۳	۲۰۱۳-	۱	
Jilin-1 series	۰/۵-۰/۷۵	۴-۱۲	۲۰۱۵-	روزانه	چندطیفی
IKONOS	۴ (۱ pan)	۴ (+pan)	۲۰۰۰-۲۰۱۵	۳	ماهواره‌ای
سری KOMPSAT	۴-۵ (۰/۵۵-۱ pan)	۴ (+pan)	۱۹۹۹-	درخواستی	
RapidEye	۵	۵	۲۰۰۹-	۵.۵	
سری SPOT	۵, ۱۰, ۲۰ (۲/۵ pan)	۴ (+pan)	۱۹۸۶-	۵	
ASTER	۱۵-۹۰	۱۴	۱۹۹۹-	۱۶	

³ - PRecursores IperSpettrale della Missione Applicativa⁴ - Environmental Mapping and Analysis Program⁵ - Earth Surface Mineral Dust Source Investigation⁶ - Panchromatic

نوع	سنجنده	قدرت تفکیک مکانی (متر)	تعداد باندها	سال‌های بهره‌برداری	زمان بازدید مجدد (روز)
	Sentinel-2A, B	۱۰, ۲۰, ۶۰	۱۲	۲۰۱۵-	۵
	Sentinel-3 A, B	۳۰۰, ۱۰۰۰	۲۱	۲۰۱۶-	۲ (هر دو ماهواره)
	Landsat TM	۳۰	۷	۱۹۸۲-۲۰۱۲	۱۶
	Landsat ETM+	۳۰ (۱۵ pan)	۸	۱۹۹۹-	۱۶
	Landsat OLI	۳۰ (۱۵ pan)	۹	۲۰۱۳-	۱۶
	Landsat 9 OLI-2	۳۰ (۱۵ pan)	۱۱	۲۰۲۱-	۱۶
	Landsat MSS	۶۰	۵	۱۹۷۲-۱۹۹۹	۱۶
	MODIS	۲۵۰, ۵۰۰, ۱۰۰۰	۳۶	۱۹۹۹-	۱-۲
	AVHRR series	۱۱۰۰	۶	۱۹۷۸-	۱
	MERIS	۳۰۰, ۱۲۰۰	۱۵	۲۰۰۲-۲۰۱۲	۳
	TerraSAR-X	۱, ۳, ۱۶	۱: X-band	۲۰۰۸-	۱۱
	Capella	۰/۵	۱: X-band	۲۰۲۰-	چندبار در روز
	NISAR	۳-۱۰	۲: L-band, S-band	۲۰۲۵-	۱۲
	Radarsat	۳-۱۰۰	۳: C-band	۲۰۱۹	۱۲
	Sentinel-1A, B	۳/۵-۴۰	۱: C-band	۲۰۱۴-	۱۲
	RADARSAT-2	۸-۱۰۰	۱: C-band	۲۰۰۷-	۲۴
	JERS-1	۱۸	۱: C-band	۱۹۹۲-۱۹۹۸	۴۴
	ENVISAT ASAR	۳۰, ۱۵۰, ۱۰۰۰	۱: C-band	۲۰۰۲-۲۰۱۲	۳۵
رادار دهانه	RADARSAT-1	۸-۱۰۰	۱: C-band	۱۹۹۹-۲۰۱۳	۲۴
ترکیبی (SAR)	ALOS PALSAR	۱۰, ۱۰۰	۱: L-band	۲۰۰۶-۲۰۰۸	۱۴
	ALOS-4 PALSAR-3	۱-۱۰۰	۱: L-band	۲۰۲۴-	۱۴
	ERS-1, -2	۲۵	۱: C-band	۱۹۹۱-۲۰۱۱	درخواستی
	SeaSAT	۲۵	۱: L-band	۱۹۷۸	نامشخص
	SMAP	۱۰۰۰-۳۰۰۰	۱: L-band	۲۰۱۵-	۲-۳
	Shuttle Imaging Radar (SIR)	۲۵	۳: C-band, X-band, L-band	۱۹۸۱, ۱۹۸۴, ۱۹۹۴	تک برداشت
	Geosat Follow-On	در دسترس نیست	۱: ku-band	۱۹۹۸-۲۰۰۸	۱۷
	Jason series	۳۶,۰۰۰	۱: S-band	۲۰۰۱-	۱۰
	لیدار باتیمتریک Bathymetric	متغیر بر اساس فاصله نقاط؛ ۰/۵-۵	۲	متغیر؛ از اواسط ۲۰۰۰	درخواستی
لیدار هوابرد	لیدار بازگشتی گسسته Discrete return	متغیر بر اساس فاصله نقاط؛ ۰/۵-۵	۱	سیستم‌های تجاری ۱۹۹۸-	درخواستی
	لیدار چندطیفی Multi-spectral	متغیر بر اساس فاصله نقاط؛ ۰/۵-۵	۳	۲۰۱۴-	درخواستی
	لیدار GEDI	۲۵	۳	۲۰۲۳-۲۰۱۸	۸
	ماهواره‌ای ICESat-2	۱۱	۱	۲۰۱۸-	۹۱

دویوگنا^{۱۳} در جنوب اتیوپی انجام دادند، تغییرات کاربری/پوشش زمین طی سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۲۰، با استفاده ترکیبی از روش‌های سنجش از دور، مشاهدات میدانی و مصاحبه‌های عمیق مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که در طول بیش از سه دهه گذشته، مساحت تالاب‌ها به‌طور پیوسته کاهش و بیش از ۳۰۴ هکتار از تالاب‌ها از بین رفته است. در مقابل، به علت رشد جمعیت، گسترش سکونتگاه‌ها و توسعه زمین‌های کشاورزی، مساحت زمین‌های کشاورزی افزایش یافته‌اند. Mao و همکاران (۲۰۲۵)، با بررسی حدود ۵۳ هزار تصویر ماهواره‌ای لندست از تالاب‌های چین، طی یک دوره ۴۰ ساله از سال ۱۹۸۰ تا ۲۰۲۰ و تقسیم‌بندی ششگانه این دوره زمانی، به تحلیل تغییرات کاربری/پوشش اراضی آن‌ها پرداختند. نتایج این تحقیقات نشان می‌داد که طی ۴ دهه مورد مطالعه حدود ۶۱ هزار کیلومتر از تالاب‌های چین از بین رفته است و بیشترین کاهش تالاب‌ها بین سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۰ رخ داده است که شامل ۱۲ درصد از کل مساحت تالاب‌های چین کاهش یافته است. گرچه در طول چهار دهه، توسعه تالاب‌های انسان ساخت و گسترش وسعت آب‌های سطحی، تا حدودی توانست این کاهش تالاب‌های طبیعی را جبران کند.

در حوضه آبریز تالاب انزلی، Jafari و Zebardast (۲۰۱۱) از تصاویر سنجنده‌های TM و ETM+ مربوط به ماهواره‌های لندست ۴، ۵ و ۷ طی سال‌های ۱۹۹۱، ۱۹۹۸ و ۲۰۰۱ به منظور بررسی تغییرات ارضی حوضه تالاب انزلی استفاده نمودند. نتایج حاصل از تحلیل تصاویر ماهواره‌ای در سال‌های مورد بررسی نشان دهنده این نکته است که مساحت بخش آبی تالاب در سال ۱۹۹۸ بیشترین مقدار و در سال ۱۹۹۱ کمترین مقدار بوده است که دلیل این امر پیش آمدگی آب دریای خزر در سال ۱۹۹۸ و خشکسالی‌های دوره‌های زمانی نزدیک به سال ۱۹۹۱ است. یافته‌های این تحقیق نشان می‌دهد که تالاب انزلی طی دوره ده ساله مورد مطالعه، دچار کاهش مساحت و افزایش تغذیه گرایشی شده است. Bali و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی روند تغییرات توسعه اراضی شهری در حوضه آبریز تالاب انزلی طی یک دوره زمانی ۳۲ ساله در چهار مقطع از سال ۱۹۷۵ تا ۲۰۰۷

Wang و همکاران (۲۰۱۰) پویایی و تغییرات در الگوی فضایی کاربری اراضی حوضه رودخانه زرد^۷ چین را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست^۸ بررسی کردند. بر اساس نتایج تحلیل‌های این محققان، طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۰ در این حوضه آبریز، رشد بی‌رویه مناطق مسکونی-صنعتی، تغییرات محدود در اراضی بوته‌زارها و کاهش شدید مساحت درخت‌زارها و علفزارها اتفاق افتاده است. رشد جمعیت، سیاست‌های دولت در ارتباط با حفاظت از محیط‌زیست و شرایط آب و هوایی در طی دهه‌های گذشته از عوامل مؤثر در کاهش درخت‌زارها و علفزارها عنوان شده است. Sica و همکارانش (۲۰۱۶)، با استفاده از تصاویر ماهواره لندست، به بررسی تغییر کاربری و پوشش اراضی تالاب دلتای پارنا^۹ به عنوان یکی از بزرگترین و مهم‌ترین تالاب‌های آمریکای جنوبی طی سال‌های ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۳ پرداختند. تحقیقات آن‌ها نشان داد، که در حدود یک سوم از تالاب در این دوره زمانی با مراتع و جنگل جایگزین شده است. Nasser-Mohamed و همکاران (۲۰۲۰)، تغییرات کاربری و پوشش تالاب برلس^{۱۰} را به عنوان تالابی بین‌المللی و عضو کنوانسیون رامسر در شمال مصر، با استفاده از تصاویر ماهواره‌های لندست در بازه ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۹ مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحقیقات آنان نشان داد، که مساحت اراضی پوشیده از گیاهان به میزان قابل توجهی افزایش یافته، در حالی که سطح آب و خاک باز کاهش یافته است. Singh و همکارانش (۲۰۲۰)، طی مطالعه‌ای در مورد تالاب هاریکه^{۱۱} در پنجاب هند با استفاده از تصاویر ماهواره Resourcesat2 و سنجنده LISS-IV، تغییرات کاربری اراضی/پوشش اراضی را بین سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۸ بررسی نمودند. نتایج نشان داد که مساحت اراضی کشاورزی و مناطق ساخته شده افزایش یافته و در مقابل، مساحت تالاب و آبگیرها کاهش یافته است. همچنین کیفیت آب تالاب در این دوره دچار افزایش pH، BOD و COD شده است. Mariye و همکاران (۲۰۲۲)، در مطالعه‌ای که در حوضه آبریز اوجوژه^{۱۲} در منطقه

7- Yellow River

8- Landsat

9- Paraná Delta

10- El-Burullus

11- Harike

12- Ojoje

13- Doyogena

بین‌المللی انزلی استفاده نمودند. نتایج نشان داد که مساحت تالاب در طی دوره حدود ده ساله روند کاهشی داشت و بیشترین تغییرات مربوط به بخش‌های شرقی و مرکزی بود.

در حوضه آبریز هامون، Zolfaghari و Kafash (۲۰۱۲) با استفاده از داده‌های سنجنده MSS مربوط به سال ۱۹۷۶ و ETM⁺ مربوط به سال ۲۰۰۵ ماهواره لندست تغییرات سطح آبیگری و نیزارهای تالاب بین‌المللی هامون را مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل شده نشان دهنده کاهش ۱۷/۵۷ درصدی آبیگری سطح هامون و کاهش ۸۵/۹۲ درصدی سطح نیزارها می‌باشد. Kharazmi و همکاران (۲۰۱۸) در مطالعه‌ای به بررسی تغییرات کاربری اراضی در منطقه تالاب هامون طی یک دوره ۳۰ ساله از سال ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۶ و با استفاده از داده‌های لندست پرداختند. این پژوهش از روش‌های شناسایی تغییرات مبتنی بر پیکسل (PBCD¹⁴) و مقایسه پس از طبقه‌بندی تصاویر (PCC¹⁵) برای تحلیل تغییرات چهار کلاس کاربری اراضی، در فصول بهار، تابستان و پاییز استفاده کرد. یافته‌ها نشان داد، پیش از سال ۲۰۰۰، حدود ۵۰ درصد از منطقه به خاک‌های برهنه و ۴۰ درصد به آب اختصاص داشت، اما پس از سال ۲۰۰۰، بیش از ۷۰ درصد تالاب به خاک‌های برهنه تبدیل شد. نتایج نشان داد که فصل پاییز مناسب‌ترین زمان برای بررسی تغییرات کاربری اراضی در سال‌های مختلف است و کمترین تأثیرپذیری از تغییرات اقلیمی فصلی را دارد. در این منطقه، تغییرات کاربری اراضی به‌شدت تحت تأثیر تغییرات آب سطحی قرار داشت، که این تغییرات ناشی از عوامل اقلیمی و انسانی بوده است.

در حوضه آبریز تالاب شادگان، Blouchi و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از تصاویر ماهواره لندست به کمک روش طبقه‌بندی نظارت شده و الگوریتم شباهت طی یک دوره زمانی ۲۰ ساله (۱۹۹۰-۲۰۱۱) به بررسی روند تغییرات تالاب بین‌المللی شادگان به عنوان یکی از بزرگترین تالاب‌های ایران، پرداختند. نتایج این تحقیق، کاهش ۶ درصدی مساحت تالاب شادگان در طی این سال‌ها و کاهش ۲۵/۷۱ درصدی مساحت بخش‌های آبی و خاکی (اراضی بایر و گل و لای) و افزایش ۹ درصدی

پرداختند. آن‌ها با آنالیز تصاویر ماهواره‌ای مرتبط به سنجنده MSS در سال ۱۹۷۵، سنجنده TM در سال ۱۹۹۰، سنجنده ETM در سال ۲۰۰۰ و IRS در سال ۲۰۰۷ در شش کلاس کاربری، به این نتیجه رسیدند که بیشترین تغییر کاربری از اراضی طبیعی (جنگل و مرتع) به سایر کاربری‌ها بوده است و سطح اراضی شهری در کل دوره به طور پیوسته افزایش یافته، به طوری که بخشی از اراضی حاشیه تالاب، بخشی از جنگل‌ها در حاشیه روستاها و اراضی کشاورزی به اراضی شهری تغییر کاربری یافته است. Abdoli و Panahandeh (۲۰۲۱) از تصاویرهای ماهواره لندست ۵ و ۸ سنجنده‌های TM و OLI مربوط به سال‌های ۱۹۹۴، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۸ استفاده نموده و دریافته‌اند که در کل دوره مطالعاتی پیکره آبی تالاب انزلی کاهش یافته و در عوض کاربری‌های زمین تالابی، گیاهان تالابی، مرتع و کشاورزی افزایش یافته است. Jamaat و Safaie (۲۰۲۱) در ارتباط با بررسی تغییر پوشش تالاب انزلی از تصاویر ماهواره‌های لندست طی سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۰ استفاده کردند. نتایج حاصل از مطالعاتشان نشان داد، که قسمت‌های غربی و مرکزی تالاب بیشتر تحت تنش خشکی قرار دارند. علاوه بر این، تغییرات مکانی و زمانی در تراکم گیاهان آبی مرتبط به عوامل تنش‌زای خارجی، شناسایی شد. Haghghi Khomami و همکاران (۲۰۲۲) با استفاده از داده‌های سنجنده‌های TM، ETM⁺ و OLI ماهواره لندست از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰ تغییرات مکانی - زمانی پوشش تالاب انزلی را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان می‌دهد که سطح بدنه آب تالاب در طول سه دهه مطالعه ۵۵۲۰ هکتار (حدود ۲۰ درصد) کاهش یافته، پوشش‌های گیاهی متراکم نیز کاهش و پوشش گیاهی نیمه‌متراکم افزایش یافته است. بررسی‌ها نشان داد که عامل بارندگی نقش کمتری در کاهش سطح آب تالاب دارد و به دلیل دخالت‌های انسانی از طریق ورود رسوبات رودخانه‌ای و بار آلودگی حاصل از ورود پساب‌های کشاورزی، شهری و صنعتی به داخل تالاب انزلی، همچنین کاهش میزان آب ورودی رودخانه‌های منتهی به تالاب به جهت استفاده بیش از حد از آن‌ها در بالادست حوضه، سبب شده سطح آب تالاب کاهش یافته و سطح پوشش‌های گیاهی نیمه متراکم افزایش یافته است. Hedayati و همکارانش (۲۰۲۴) از تصاویر لندست سال‌های ۲۰۰۷ و ۲۰۱۸ به منظور بررسی تغییرات تالاب

¹⁴ - Pixel-based change detection

¹⁵ - Post-classification comparison

سنجده لندست، تغییرات مساحت آبی و گیاهی تالاب پریشان از سال ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۴ مورد بررسی قرار دادند و طی تحقیقات آن‌ها مشخص شد که محدوده آبی تالاب به طور مرتب کاهش یافته است و در سال ۲۰۱۴ تقریباً خشک شده است و در مقابل پوشش گیاهی تالاب با توجه به خشکیدگی تالاب و اشغال بستر تالاب توسط گیاهان، افزایش یافته است.

در حوضه تالاب چغاخور، Daneshmand Parsa و Mirzaei (۲۰۱۶) به منظور آشکارسازی تغییرات در حوضه آبریز تالاب چغاخور، در یک بازه زمانی ۲۰ ساله از تصویر سنجده TM در تابستان ۱۳۷۳ و تصویر سنجده OLI لندست ۸ در تابستان ۱۳۹۴ استفاده نمودند و تغییرات کاربری اراضی را در چهار کلاس طبقه‌بندی و تحلیل نمودند. نتایج نشان داد که مساحت کل تالاب ۳۵ هکتار افزایش و مساحت آب عمیق با ۷۰ هکتار کاهش سطح داشته و طبقه انسان ساخت با ۷۰ درصد افزایش سطح، بیشترین تغییرات را نشان می‌دهد. Pirali Zefrehei و همکاران (۲۰۲۰) در مطالعه شناسایی تغییرات پوشش/کاربری اراضی در تالاب بین‌المللی چغاخور از تصاویر ماهواره‌ای TM، ETM+ و OLI مربوط به سال‌های ۱۹۸۵، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۸ استفاده کردند. پردازش زمانی داده‌های به‌دست‌آمده از نقشه‌ها نشان‌دهنده کاهش ۲۶/۶۳ درصدی در مساحت مرتع و جنگل و افزایش ۱۲/۱ درصدی در مساحت زمین‌های ساخته‌شده توسط انسان و زمین‌های کشاورزی در دوره زمانی ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۸ بود. علاوه بر این، اگرچه مساحت بدنه آبی در دوره ۱۹۸۵ تا ۲۰۰۰ افزایش یافت، اما از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ مساحت بدنه آبی کاهش یافت و مساحت اراضی گیاهان آبی‌زی افزایش پیدا کرد.

Makrouni و همکاران (۲۰۱۶) با هدف آشکارسازی روند تغییرات کاربری اراضی تالاب هورالعظیم از تصاویر ماهواره لندست و سنجده ETM+ برای سال ۱۳۸۲ و سنجده OLI برای سال ۱۳۹۳ استفاده نمودند. نتایج پایش تغییرات نشان می‌دهد که در طول دوره مطالعه به وسعت کاربری‌های مسکونی و مرتع اضافه شده و از سطح تالاب و اراضی کشاورزی کاسته شده است. در حوضه آبریز گمیشان، Tatian و همکاران (۲۰۱۹) با تحلیل تصاویر لندست، کاهش میزان آب دریا در اطراف تالاب گمیشان را طی سال‌های ۱۹۹۴ تا ۲۰۱۶ و افزایش کاربری زراعت

مساحت پوشش گیاهی را نشان داد. پوشش گیاهی در تالاب شادگان به سرعت رو به افزایش بوده است که نشان از آلودگی آب، افزایش پدیده تغذیه گرایبی و از بین رفتن زود هنگام این تالاب بین‌المللی دارد. Pourkhabbaz و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهشی به منظور بررسی تغییرات کاربری/پوشش تالاب شادگان در یک بازه ۲۴ ساله (۲۰۱۳-۱۹۹۰) نیز از تصاویر لندست استفاده کردند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که طی ۱۳ سال ابتدایی بازه زمانی، کاهش ۸/۵ درصدی از مساحت تالاب را نشان داد و در ده سال بعدی به دلیل ورود بار آلودگی ناشی از زهاب‌های کشاورزی و صنعتی و بروز پدیده تغذیه‌گرایی، افزایش ۶/۵ درصدی در مساحت پوشش گیاهی بخش آبدار تالاب رخ داده است. تحقیقات Hajian و همکاران (۲۰۲۱) با استفاده از تصاویر سنجده مادیس^{۱۶} در بازه ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۷ نشان می‌دهد که حجم آب موجود در تالاب شادگان در طی دوره مطالعه دارای روند افزایشی معنادار بوده است، درحالی‌که پوشش گیاهی تالاب در این دوره روند کاهشی و معناداری داشته است. Rafei و همکاران (۲۰۲۲) نیز به بررسی تغییرات کاربری/پوشش اراضی شادگان طی دو دهه از سال ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۹ در تقسیم‌بندی پنج‌گانه زمانی و با استفاده از تصاویر لندست پرداختند. نتایج تحقیقات آنان نشان داد که طی دو سال ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۱ در حدود ۴۰ درصد از اراضی تالابی کاهش یافته است، اما بعد از آن وسعت اراضی تالابی به صورت پیوسته افزایش یافته است، اما این افزایش کماکان ۱۶ درصد از وسعت تالاب در سال ۱۹۹۹ کمتر است.

در حوضه تالاب پریشان، Chak و Mohseni (۲۰۱۶) به‌منظور بررسی میزان تغییرات تالاب پریشان و اراضی اطراف آن، داده‌های سنجده TM ماهواره‌ی لندست ۵ مربوط به سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۰۰ را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. نتایج حاصله افزایش به ترتیب ۲۵ و ۱۰ درصدی آب تالاب و پوشش‌های طبیعی اطراف آن در سال ۲۰۰۰ نسبت به سال ۱۹۹۰ را نشان می‌دهد که خود به دلیل ریزش‌های مناسب جوی و کاهش ۶ درصدی کشاورزی است که این امر منجر به کاهش بهره‌برداری از آب تالاب و تعرض به اراضی اطراف آن شده است. Ebadi و Golzar (۲۰۱۶) نیز با استفاده از تصاویر ماهواره

¹⁶ - MODIS

را گزارش نمودند. Qureshi و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده از تصاویر ماهواره ها لندست و سنجنده مادیس در ماهواره ترا، به بررسی تغییرات سطوح اکولوژیک تالاب گمیشان طی سال‌های ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۷ پرداختند. نتایج نشان داد، که مساحت بخش آبی تالاب طی سال‌های ۱۹۸۷ تا ۱۹۹۵ افزایش یافته است، اما از مساحت تالاب طی سال‌های ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۷ کاسته شده است.

Pourramezan Gabiyeh (۲۰۲۰) و همکاران با استفاده از تصاویر ماهواره لندست، به بررسی تغییر کاربری و پوشش اراضی تالاب کیاکالیه در شهرستان لنگرود استان گیلان طی سال‌های ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۹ در ۴ مقطع زمانی پرداختند. نتایج تحقیق آنان نشان داد که در محدوده مورد مطالعه، پوشش گیاهی و سطح آب در طی ۲۴ سال اخیر کاهش و مناطق مسکونی افزایش چشمگیر داشته‌اند، که این موضوع سبب افزایش احتمال بروز مخاطرات محیطی برای ساکنین و همچنین از بین رفتن سلامت اکوسیستم غنی این تالاب شده است. Mafi و همکاران (۲۰۲۱) با استفاده از تصاویر سنجنده ETM+ و OLI مربوط به سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۷ تالاب یعقوب‌آباد در استان قزوین دریافتند که پیکره آبی تالاب طی دوره مطالعه در حدود ۳۰ درصد افزایش داشته است. Feizi (۲۰۲۳) با استفاده از تصاویر ماهواره ای کرونا، تصاویر ماهواره لندست نسل های ۵ تا ۸ و تصاویر موجود در آرشیو سرور جهانی گوگل ارث، تغییرات حریم تالاب بامدژ را طی ۵ دهه از سال ۱۳۴۷ تا ۱۳۹۸ را بررسی نمود. نتایج نشان داد، که مساحت حریم و بستر تالاب در طول مدت مطالعه در حدود ۶۰ درصد کاهش یافته و طول تالاب نیز نصف شده است. تحقیقات Shirmohammadi و همکاران (۲۰۲۴) با استفاده از تصاویر ماهواره ای لندست طی سال‌های ۲۰۲۲-۲۰۰۰، نشان‌دهنده کاهش وسعت تالاب هشیلان به‌ویژه در ناحیه غرب و جنوب غرب تالاب است، که دلیل آن را وقوع پدیده‌های طبیعی مانند خشک شدن تعدادی از چشمه‌ها بر اثر خشک‌سالی و دوره‌های کم‌آبی و همچنین افزایش اراضی کشاورزی دانستند.

را گزارش نمودند. Qureshi و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده از تصاویر ماهواره ها لندست و سنجنده مادیس در ماهواره ترا، به بررسی تغییرات سطوح اکولوژیک تالاب گمیشان طی سال‌های ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۷ پرداختند. نتایج نشان داد، که مساحت بخش آبی تالاب طی سال‌های ۱۹۸۷ تا ۱۹۹۵ افزایش یافته است، اما از مساحت تالاب طی سال‌های ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۷ کاسته شده است.

اگر چه آسیا با داشتن حدود ۳۰ درصد از مساحت تالاب‌های جهان، بیشترین مساحت تالاب‌ها را در خود جای داده است (Davidson et al., 2018)، اما کمترین میزان حفاظت از تالاب‌ها در آسیا صورت می‌گیرد (Reis

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز تالاب میقان با مساحت ۵۴۹۵۸۵ هکتار یکی از زیرحوضه‌های، حوضه آبریز دریاچه نمک می‌باشد که در حدود ۶۵ درصد آن دشت و بقیه آن را تپه ماهور و کوهستان تشکیل می‌دهد. این حوضه آبریز از جنوب به شمال بین ۵۰' ۳۳° تا ۴۴' ۳۴° عرض جغرافیایی و از غرب به شرق بین ۲۱' ۴۹° تا ۱۸۰' ۵۰° طول جغرافیایی به صورت کاسه بسته‌ای است که بین رشته کوه‌های زاگرس و کوه‌های ایران مرکزی واقع شده و تمام سطح آن در استان مرکزی قرار گرفته است (شکل ۱).

حوضه آبریز میقان اراک، حوضه بسته‌ای می‌باشد و این حوضه آبریز شامل ۶ زیر حوضه اصلی شامل حوضه ساروق، شهراب، آشتیان- ابراهیم آباد، خیرآباد، امان آباد و کرهرود می‌باشد که در این بین بیشترین مساحت مربوط به ساروق (۲۰۵۸۱۲ هکتار) و کمترین مساحت مربوط به شهراب (۳۲۳۶۷ هکتار) است (جدول ۱).

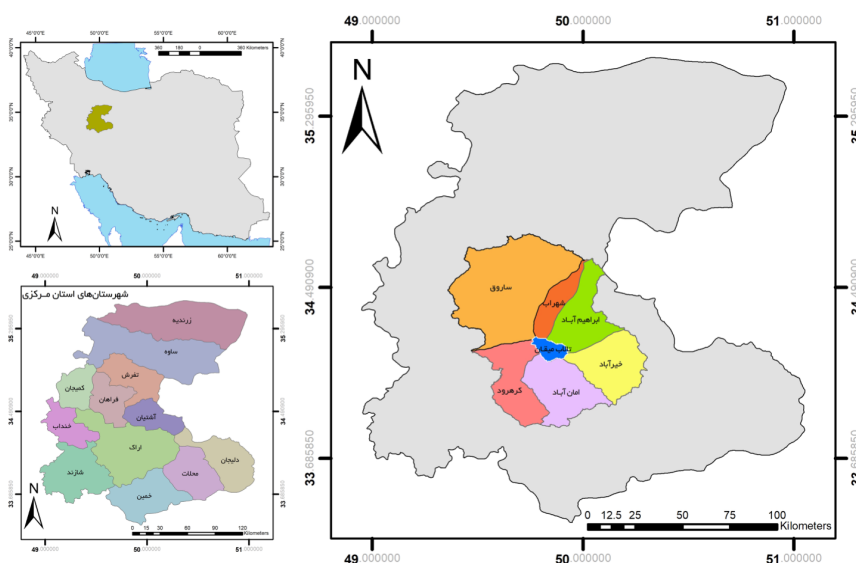
جدول ۲- مساحت زیرحوضه‌های تالاب میقان

نام زیر حوضه	وسعت حوضه (هکتار)
ساروق	۲۰۵۸۱۲
شهراب	۳۲۳۶۷
ابراهیم آباد	۶۹۱۶۵
خیرآباد	۷۷۶۴۰
امان آباد	۸۱۲۹۲
کرهرود	۷۱۱۹۱

تالاب میقان که در فصل خشکی کویر میقان نیز خوانده می‌شود، در مرکز ایران و در فاصله حدود ۸ کیلومتری شمال شرقی کلانشهر اراک و ۵ کیلومتری جنوب غربی

حوضه آبریز تالاب میقان به لحاظ جغرافیای گیاهی بخشی از قلمرو ایرانی- تورانی محسوب می‌شود که در حاشیه تالاب دارای تیپ‌های گیاهی هیدروهالوفیت (آب نمک‌دوست) متنوعی است که خاص مناطق کویری و بیابانی هستند و در حلقه بعد از آن که مشتمل بر دشت‌های اطراف پلایا است، تیپ‌های گیاهی استپی را دربر دارد و در ناحیه کوهستانی بالادست حوضه آبریز، دربردارنده تیپ‌های مناطق نیمه استپی می‌باشد. به طور کلی پوشش گیاهی حاشیه تالاب میقان از ۱۰ جامعه گیاهی مشتمل بر ۷۲ گونه از ۱۷ تیره گیاهی تشکیل شده است. گرچه تالاب میقان هنوز در فهرست کنوانسیون رامسر قرار نگرفته است، اما قرار گرفتن در مسیر ۲۲ تالاب بین‌المللی و ۱۰۵ منطقه مهم پرندگان IBA، از برجسته‌ترین ویژگی‌های تالاب میقان در کشور است، زیرا اکثر تالاب‌های ایران در نواحی شمالی و جنوبی کشور واقع شده و به همین سبب تالاب میقان در مرکز کشور زیستگاه مناسبی برای بسیاری از پرندگان مهاجر و بومی به شمار می‌رود (Department of Environment of Iran, 2016). تالاب میقان زیستگاه بیش از ۶۰ درصد از گونه‌های پرندگان استان مرکزی و بیش از ۱۶ درصد از کل گونه‌های پرندگان کشور است. این تالاب سالانه پذیرای ۲۱ هزار پرنده مهاجر است و به عنوان زیستگاه زمستانه پرندگان مهاجر به ویژه درنا معمولی، *Grus grus* می‌باشد. تالاب میقان به دلیل قرار گرفتن در عرصه مناطق خشک و دارای آبشور و به دلیل ادواری بودن آن جزء تالاب‌های شور با کد R می‌باشد.

شهر داودآباد، مجاورت روستاهای راهزان، ده نمک و میقان و در پست‌ترین قسمت دشت اراک و فراهان واقع شده است (شکل ۱). تالاب میقان با ارتفاع ۱۶۶۰ متر از سطح دریای آزاد یکی از مرتفع‌ترین شوره زارهای ایران است و پس از کویر سیرجان، مرتفع‌ترین پلایای داخلی ایران محسوب می‌شود. مساحت تالاب میقان با توجه به میزان آب ورودی از ۸۱۷۸ تا ۱۲۱۱۸ هکتار متغیر است و در دوره مرطوب سال و به هنگام آبیگری تالاب، عمق آب در نواحی مختلف از ۱ تا ۱۵۰ سانتی‌متر در نوسان است و در فصل خشک سال، عموماً آب آزاد تبخیر شده و سطح تالاب در نواحی عمیق‌تر به صورت باتلاق و در اغلب مناطق به صورت نمکزار مرطوب و در بخش‌هایی از شمال تالاب به صورت دق‌های رسی در می‌آید. تالاب میقان یک دریاچه فصلی آب شور و یک منطقه فرو رفته کویری است و اراضی حاشیه آن توسط پوشش گیاهان بوته‌ای و درختچه‌ای شورپسند، ناهمواری‌های ماسه‌ای، مخروط افکنه‌های آبرفتی و دشتهای هموار احاطه شده است. منبع تأمین آب تالاب را بارش‌های جوی، آب مسیل‌های ورودی از زیر حوضه‌ها، چشمه‌های پراکنده در بستر دریاچه و پساب تصفیه خانه فاضلاب اراک تشکیل می‌دهد. این تالاب به دلیل قرار گرفتن در مرز پهنه‌های زمین‌شناسی سنندج - سیرجان و ایران مرکزی از تنوع زیستی قابل توجهی برخوردار می‌باشد، به نحوی که بخشی از حوضه آبریز آن در رشته کوه‌های زاگرس و بخش دیگر آن در ایران مرکزی قرار دارد.



شکل ۱- موقعیت منطقه مطالعاتی حوضه آبریز میقان

روش پژوهش

در این پژوهش از داده‌های سنجش از دور مربوط به سال‌های شمسی ۱۳۷۷ (۱۹۹۸/۶/۱۹ میلادی) و ۱۳۹۹ (۲۰۲۰/۶/۷ میلادی) سنجنده TM و OLI_TIRS ماهواره‌های ۵ و ۸ Landsat و در سطح تصحیحات T1 استفاده گردید (شکل ۲).

فرایند مراحل کلی انجام این مطالعه در شکل ۳ نشان داده شده است. در مرحله پیش‌پردازش تصاویر، تصحیحات رادیومتری در سطح سیستماتیک، تصحیحات هندسی با استفاده از نقاط کنترل زمینی^{۱۷} و همچنین تصحیح خطای جابجایی ناشی از توپوگرافی منطقه، روی تصاویر ماهواره‌ای صورت گرفت. برای اصلاح خطاهای رادیومتری و اتمسفری ناشی از تفاوت‌های عملکردی سنجنده، شرایط متغیر اتمسفری، زاویه ارتفاع و آزیموت خورشید، و تغییرات شدت تابش در زمان ثبت داده‌ها، از روش‌های متنوع تصحیح بر اساس نوع و ماهیت خطا استفاده می‌شود. به منظور انجام تصحیحات هندسی، تصاویر چندطیفی و چندزمانه به یک سیستم مختصات واحد تبدیل شدند.

از نقشه‌های رقومی ۱:۲۵۰۰۰ منطقه (سازمان نقشه‌برداری کشور و استانداری مرکزی) برای تعیین نقاط کنترل زمینی و تصحیح تصاویر ماهواره‌ای استفاده شد. جهت رفع خطای هندسی، با انتخاب ۴۰ نقطه کنترل زمینی بر روی نقشه و متناظر آن‌ها روی تصویر، مختصات هر یک از پیکسل‌های تصویر خام، نسبت به نقاط کنترل انتخابی روی نقشه و سیستم مختصات نقشه، تغییر کرد و یک فضای هندسی جدید، منطبق با سیستم مختصات نقشه به نام ماتریکس تصحیح شده، با استفاده از نرم افزار PCI Geomatica ver.2018 ایجاد گردید. دقت نقاط کنترل زمینی انتخاب شده بر روی تصویر یا نقشه، برای نقاط انتخابی، بررسی گردید و سطح قابل قبول ۰/۴۵ RMSE^{۱۸} را نشان داد.

در مرحله پردازش داده‌ها در این مطالعه از فرآیند طبقه‌بندی نظارت شده جهت استخراج طبقات پوشش زمین استفاده شد. اولین گام در انجام طبقه‌بندی نظارت شده، تعریف مناطقی است که به عنوان نمونه‌های تعلیمی برای هر کلاس استفاده می‌شود. لذا در این مرحله با

تفسیر بصری تصویر رنگی کاذب و با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ تهیه شده از سازمان نقشه‌برداری کشور، نمونه‌های تعلیمی برای هر کلاس تعریف شد. سپس با بررسی‌های میدانی و شناخت بیشتر منطقه، در این مطالعه پنج کلاس کاربری به صورت "مرتع، کشاورزی، مسکونی- صنعتی، رخنمون سنگی و منابع آبی" مشخص شدند. در این مطالعه جهت طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای، از روش‌های طبقه‌بندی حداکثر احتمال^{۱۹} و روش طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان^{۲۰} استفاده شد. از این رو برای کاربری‌های مرتع، کشاورزی دیم، باغات و کشاورزی آبی، مسکونی و صنعتی و رخنمون سنگی به ترتیب ۳۵۰، ۲۵۰، ۳۵۵، ۲۵۴، ۲۵۰، ۲۰۰ نمونه تعلیمی تهیه گردید. به منظور مستقل کردن دو فرآیند طبقه‌بندی و ارزیابی صحت و کاهش اثر همبستگی مکانی (تأثیر پیکسل‌های مشابه واقع در همسایگی هر پیکسل) ۲۵ درصد نمونه‌های تعلیمی در طبقه‌بندی اولیه مداخله داده نشد و بدین ترتیب در این مطالعه از ۷۵ درصد نمونه‌ها جهت طبقه‌بندی و استخراج کلاس‌های کاربری اراضی منطقه استفاده شد.

ارزیابی صحت نقشه‌های حاصل از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای نقش مهمی در تعیین قابلیت اعتماد و کاربرد آن‌ها در برنامه‌ریزی و مدیریت محیطی دارد. استفاده مؤثر از داده‌های جغرافیایی تنها زمانی امکان‌پذیر است که کیفیت داده‌ها مشخص باشد. این ارزیابی به کاربران امکان می‌دهد تا با اطمینان مناسبی از نقشه استفاده کنند و میزان دقت آن را در تصمیم‌گیری‌های مدیریتی در نظر بگیرند (Rwanga & Ndambuki, 2017). جهت ارزیابی صحت نقشه طبقه‌بندی شده از ۲۵ درصد باقیمانده نمونه‌های تعلیمی استفاده گردید و سپس کاپای کلی محاسبه شد (Foody, 2002). در فرآیند شناسایی تغییرات، تکنیک post-classification مورد استفاده قرار گرفت. این روش مبتنی بر مقایسه پیکسل به پیکسل تغییرات کاربری اراضی است. یکی از مزایای قابل توجه این رویکرد، حداقل سازی مشکلات مرتبط با تصحیحات رادیومتریک بین دو مجموعه داده زمانی است، زیرا تصاویر هر دوره به صورت مستقل طبقه‌بندی می‌شوند (Coppin et al., 2004). این ویژگی، دقت و اعتبار نتایج حاصل از

¹⁹ - Maximum Likelihood Classification - MLC

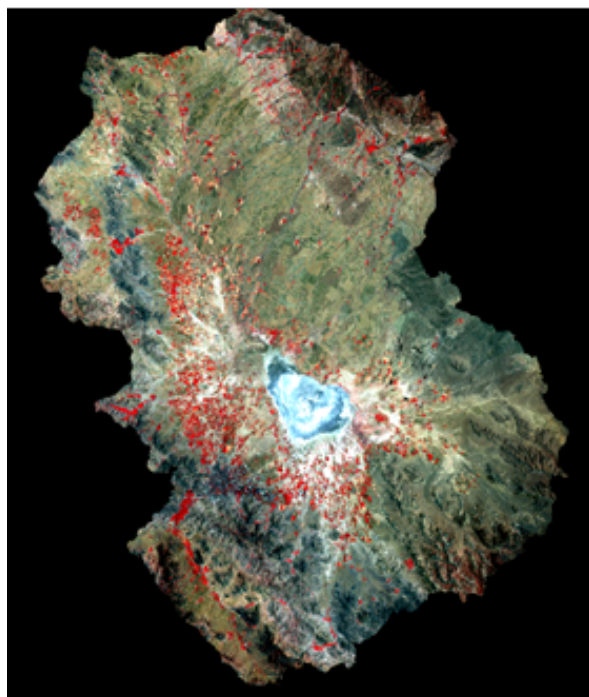
²⁰ - Support Vector Machine - SVM

¹⁷ - Ground Control Points

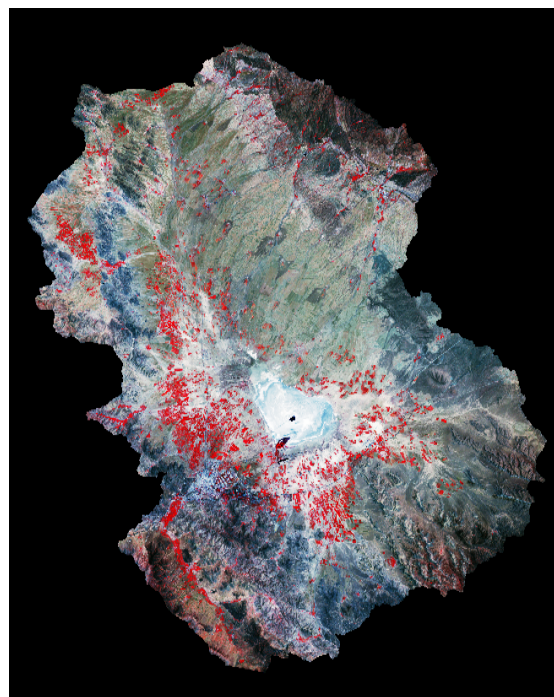
¹⁸ - Root Mean Square Error

گرفت. این مرحله شامل ارزیابی دقیق تحولات رخ داده در الگوهای کاربری اراضی طی دوره ۲۲ ساله مذکور بود. تجزیه و تحلیل مقایسه‌ای این نقشه‌ها امکان شناسایی روندهای تغییر، الگوهای توسعه، و تحولات محیط زیستی را فراهم آورد.

تحلیل تغییرات را به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌دهد. پس از استخراج نقشه‌های کاربری اراضی برای دوره‌های زمانی ۱۳۷۷ و ۱۳۹۹، فرآیند تشخیص و تحلیل تغییرات در طول بازه زمانی مورد مطالعه، بر اساس مدل و روش طبقه‌بندی در محیط نرم افزار Arc GIS پردازش و انجام



۱۳۷۷



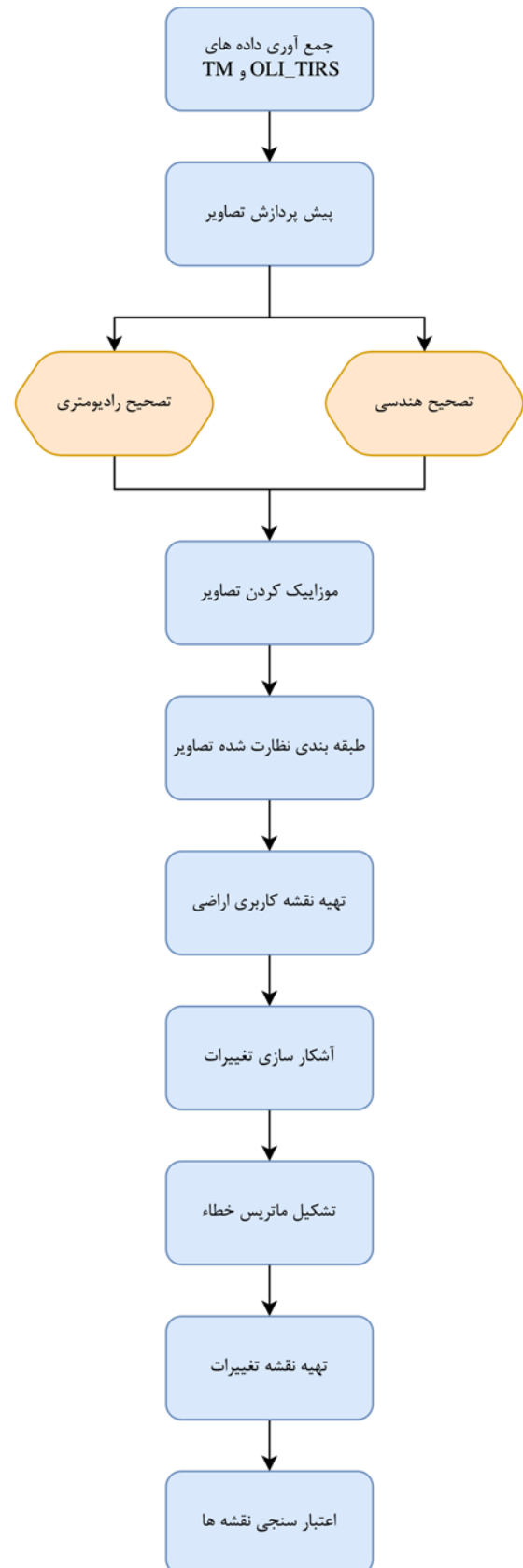
۱۳۹۹

شکل ۲ - تصاویر ماهواره لندست از حوضه آبریز میقان

نتایج

در این پژوهش، به منظور طبقه‌بندی تصاویر، ابتدا نمونه‌های تعلیمی از سطح منطقه مورد مطالعه برداشت شد. این نمونه‌ها با استفاده از روش نمونه‌برداری تصادفی ساده و با پراکنش یکنواخت در سراسر حوزه انتخاب گردید تا تنوع کافی برای پنج کلاس هدف تأمین شود. پس از گردآوری نمونه‌های تعلیمی، فرآیند طبقه‌بندی تصاویر با بهره‌گیری از دو روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال و ماشین بردار پشتیبان انجام شد. به‌منظور ارزیابی دقت هر یک از این روش‌ها، شاخص‌های دقت کلی^{۲۱}، ضریب کاپا^{۲۲}، دقت تولیدکننده^{۲۳} و دقت کاربر^{۲۴} محاسبه گردید. نتایج این ارزیابی‌ها در جدول ۳ تحت عنوان ماتریس خطا^{۲۵} ارائه شده است. ماتریس خطا که ماتریس ابهام نیز نامیده می‌شود حاصل مقایسه پیکسل به پیکسل، پیکسل‌های معلوم (در واقعیت زمین) با پیکسل‌های متناظر در نتایج طبقه‌بندی است. همانگونه که اعداد جدول ماتریس خطا نشان می‌دهد در این مطالعه نتایجی با صحت بالا به دست آمده است که علت آن سطح زیاد نقاط تعلیمی و دقت در انتخاب نقاط تعلیمی بوده است و نشان می‌دهد که تصاویر TM و OLI_TIRS قابلیت خوبی برای شناسایی تغییرات را دارا می‌باشند. نتایج ماتریس خطا نشان می‌دهد که روش حداکثر احتمال عملکرد بهتری نسبت روش ماشین بردار پشتیبان داشته است. همچنین دقت طبقه‌بندی نقشه‌های کاربری تهیه شده سال ۱۳۹۹ بیشتر از سال ۱۳۷۷ می‌باشد.

نتایج حاصل از بررسی درصد مساحت کاربری اراضی در شش حوضه آبریز میقان به تفکیک، طی دو دهه در جدول ۴ ارائه شده است. شکل ۴ نقشه کاربری اراضی در شش حوضه آبریز میقان به تفکیک طی ۱۳۷۷ تا ۱۳۹۹ نشان می‌دهد.



شکل ۳- فرایند مراحل مطالعه برای تحلیل تغییرات کاربری/پوشش اراضی حوضه تالاب میقان

²¹ - Overall Accuracy

²² - Kappa coefficient

²³ - Producers Accuracy

²⁴ - User Accuracy

²⁵ - Confusion Matrix

جدول ۳- مقادیر محاسبه شده ماتریس خطا (برحسب درصد)

الگوریتم حداکثر احتمال	ماشین بردار پشتیبان	ماتریس خطا		
۹۳/۱۲	۷۱/۵۷	دقت کلی	سال ۱۳۷۷	
۰/۹۱	۰/۶۸	ضریب کاپا		
۹۱/۵۷	۶۷/۶۱	کلاس کشاورزی دیم		
۹۲/۳۷	۹۲/۴۳	کلاس کشاورزی آبی و باغات		
۹۶/۸۱	۹۶/۹۷	کلاس مرتع		دقت تولید شده
۹۰/۰۷	۶۵/۲۸	کلاس مسکونی-صنعتی-صنعتی		
۸۷/۵۳	۶۹/۱۴	کلاس رخنمون سنگی		
۹۲/۶۱	۵۲/۰۳	کلاس کشاورزی دیم		دقت کاربر
۹۴/۵۶	۹۳/۱۱	دقت کلی		
۰/۹۲	۰/۹۰	ضریب کاپا		
۹۵/۳۱	۹۲/۴۲	کلاس کشاورزی دیم	سال ۱۳۹۹	
۹۱/۳۰	۸۸/۷۰	کلاس کشاورزی آبی و باغات		
۹۶/۹۷	۸۹/۰۸	کلاس مرتع		دقت تولید شده
۹۳/۱۸	۹۱/۳۰	کلاس مسکونی-صنعتی-صنعتی		
۸۹/۷۶	۸۹/۵۷	کلاس رخنمون سنگی		
۹۴/۲۱	۹۳/۹۳	کلاس کشاورزی دیم		دقت کاربر
۸۷/۵۰	۸۹/۶۱	کلاس کشاورزی آبی و باغات		

جدول ۴- مساحت کاربری اراضی شش زیر حوضه آبریز میقان طی ۱۳۷۷ تا ۱۳۹۹

سال	دیمزار (درصد)	اراضی آبی (درصد)	مسکونی (درصد)	رخنمون سنگی (درصد)	مرتع (درصد)
حوضه آبریز ساروق					
۱۳۷۷	۷	۲/۹۴	۰/۰۶	۶/۲	۸۳/۲۶
۱۳۹۹	۴۵	۲۵/۸	۰/۱۳۵	۶/۲	۲۲/۸۶۵
حوضه آبریز شهراب					
۱۳۷۷	۷۰	۱	۰/۰۱۵	۰/۹۸۵	۲۸
۱۳۹۹	۷۸	۱۰/۷۴	۰/۱۳۵	۰/۹۸۵	۱۰/۱۶۴
حوضه آبریز ابراهیم آباد					
۱۳۷۷	۷	۱/۷۳	۰/۲۷	۲	۸۹
۱۳۹۹	۴۵	۲۵	۰/۱۸	۲	۲۷/۸۲
حوضه آبریز خیر آباد					
۱۳۷۷	۲/۵۷	۲/۴	۰/۰۳	۵	۹۰
۱۳۹۹	۱۳	۲۴	۰/۰۷	۵	۵۷/۹۳
حوضه آبریز امان آباد					
۱۳۷۷	۰/۸۶	۶	۰/۴۳	۷/۱۱	۸۵/۶
۱۳۹۹	۲	۳۳	۱/۸۹	۷/۱۱	۵۶
حوضه آبریز کرهرود					
۱۳۷۷	۱۹/۹۸۵	۲۵	۰/۰۱۵	۷	۴۸
۱۳۹۹	۱۲/۸۸۷	۳۵	۰/۱۱۳	۷	۴۵

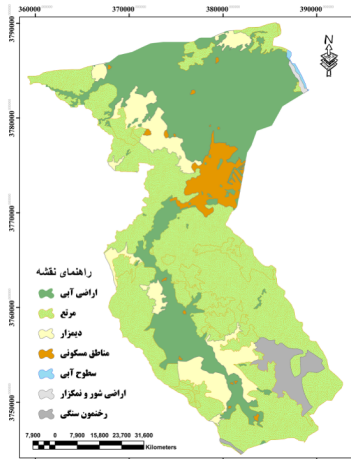
داشته‌اند. نتایج ثبات نسبی در رخنمون‌های سنگی و اراضی مسکونی را نشان می‌دهد. مقایسه تغییرات کاربری حوضه آبریز میقان به تفکیک زیر حوضه‌ها در شکل ۵ نشان داده شده است.

بیشترین تغییر کاربری در تمامی زیرحوضه‌ها مربوط به اراضی مرتعی است که در تمامی زیرحوضه‌ها کاهش یافته است. بیشترین میزان کاهش در زیرحوضه ابراهیم‌آباد مشاهده می‌شود که کاهش ۶۱ درصدی را نشان می‌دهد. اراضی کشاورزی، به‌ویژه اراضی آبی و باغات، رشد چشمگیری داشته‌اند. در زیرحوضه کرهرود، اراضی دیم کاهش یافته اما اراضی آبی و باغات به‌شدت افزایش یافته‌اند. همچنین در تمامی زیرحوضه‌ها به‌جز زیرحوضه ابراهیم‌آباد، کاربری مسکونی روند افزایشی داشته است.

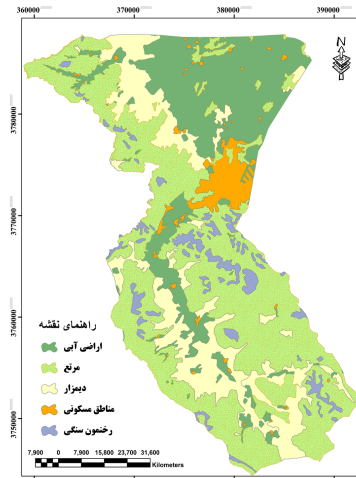
نتایج حاصل از بررسی درصد مساحت کاربری اراضی در کل حوضه آبریز میقان، طی بیش از دو دهه در جدول ۵ ارائه شده است. نتایج تحلیل نشان می‌دهد که در حوضه آبریز میقان، اراضی دیم از ۲۶/۲٪ به ۳۱٪، اراضی آبی از ۱۰/۱٪ به ۲۲/۳۵٪ و مناطق مسکونی از ۰/۸۱٪ به ۱/۱۵٪ افزایش یافته‌اند؛ در حالی که مراتع از ۶۰/۹۴٪ به ۴۴٪ و تالاب میقان و سطوح آبی از ۰/۹۶٪ به ۰/۴۵٪ کاهش داشته‌اند. تغییرات ناچیز در روند افزایش مساحت شوره‌زار ایجاد شده است و مساحت رخنمون‌های سنگی نیز طی دو دهه ثبات بوده است.

در حوضه آبریز ساروق، تغییرات قابل توجهی در افزایش اراضی دیم از ۰/۷٪ به ۴۵٪ و اراضی آبی از ۲/۹۴٪ به ۲۵/۸٪ مشاهده می‌شود. این افزایش‌ها عمدتاً به هزینه کاهش مراتع از ۸۳/۲۶٪ به ۲۲/۸۶۵٪ انجام شده است. مساحت رخنمون‌های سنگی نیز طی دو دهه در حوضه ثبات بوده است. در حوضه آبریز شهراب، اراضی دیم از ۷۰٪ به ۷۸٪ و اراضی آبی از ۱٪ به ۱۰/۷۴٪ افزایش یافته‌اند؛ در حالی که مراتع کاهش چشمگیری از ۲۸٪ به ۱۰/۱۴٪ داشته‌اند. تغییرات ناچیز در مساحت اراضی مسکونی و رخنمون‌های سنگی ایجاد شده است. در حوضه آبریز ابراهیم‌آباد، افزایش چشمگیر اراضی آبی از ۱/۷۳٪ به ۲۵٪ و اراضی دیم از ۰/۷٪ به ۴۵٪ همراه با کاهش مراتع از ۸۹٪ به ۲۷/۸۲٪ مشاهده می‌شود. در این حوزه نیز ثبات رخنمون‌های سنگی مشاهده می‌شود. در حوضه آبریز خیرآباد تغییرات قابل توجهی را تجربه کرده است؛ اراضی آبی از ۲/۴٪ به ۲۴٪ و اراضی دیم از ۲/۵۷٪ به ۱۳٪ افزایش یافته‌اند. این تغییرات منجر به کاهش چشمگیر مراتع از ۹۰٪ به ۵۷/۹۳٪ شده است. اراضی مسکونی و رخنمون‌های سنگی تغییر چندانی نداشته‌اند. در حوضه آبریز امان‌آباد، اراضی آبی افزایش چشمگیری از ۶٪ به ۳۳٪ و اراضی دیم از ۰/۸۶٪ به ۲٪ داشته‌اند، در حالی که مراتع به‌شدت از ۸۵/۶٪ به ۵۶٪ کاهش یافته‌اند. اراضی مسکونی از ۰/۴۳٪ به ۱/۸۹٪ افزایش یافته است. در حوضه آبریز کرهرود، اراضی آبی از ۲۵٪ به ۳۵٪ افزایش یافته، اما اراضی دیم از ۱۹/۹۸۵٪ به ۱۲/۸۸۷٪ کاهش یافته‌اند. مراتع نیز کاهش اندکی از ۴۸٪ به ۴۵٪

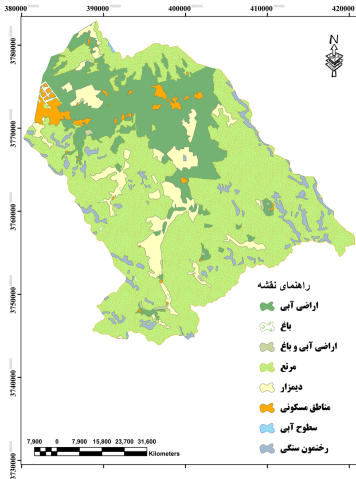
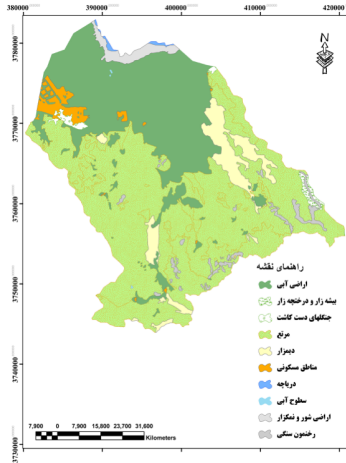
سال ۱۳۹۹



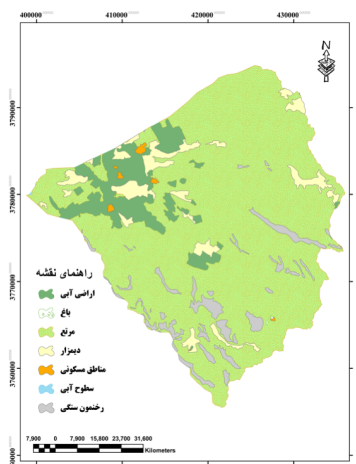
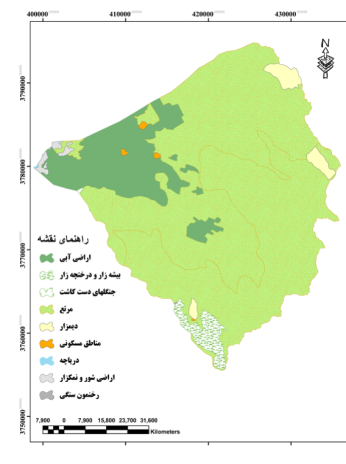
سال ۱۳۷۷



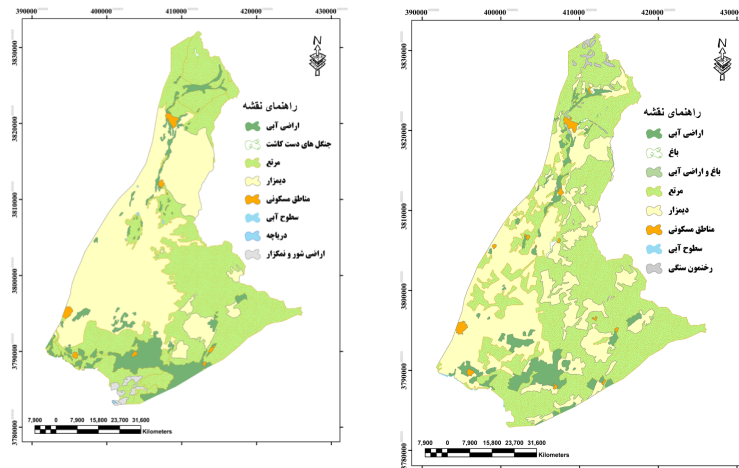
حوضه آبریز کرهرود



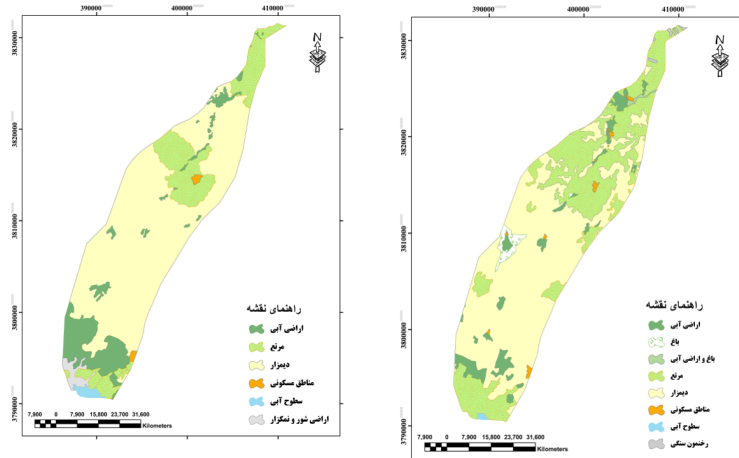
حوضه آبریز امان آباد



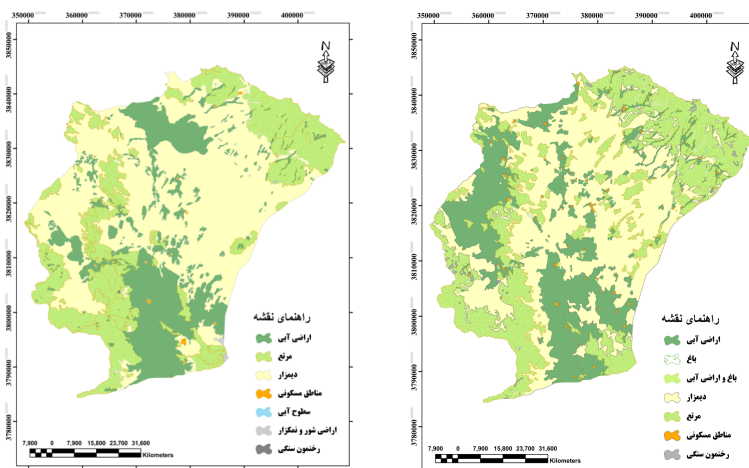
حوضه آبریز خیر آباد



حوضه آبریز ابراهیم آباد

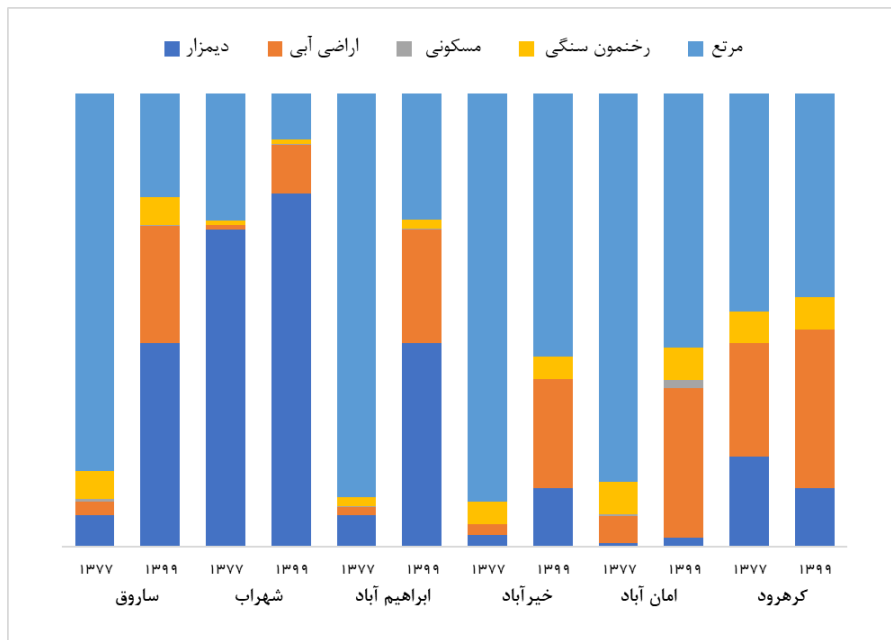


حوضه آبریز شهراب



حوضه آبریز ساروق

شکل ۴- نقشه کاربری اراضی در شش زیر حوضه آبریز میقان طی بازه مورد مطالعه



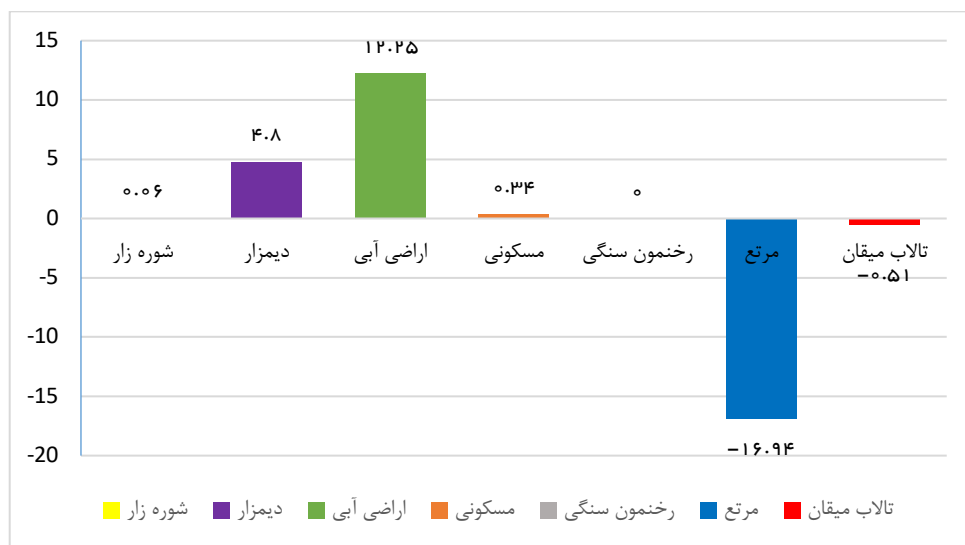
شکل ۵- مقایسه تغییرات کاربری زیر حوضه‌های تالاب میقان

جدول ۵- مساحت کاربری اراضی در حوضه آبریز میقان، طی دوره مطالعاتی

سال مطالعه	شوره زار	دیمزار	اراضی آبی	مسکونی	رخمنون سنگی	مرتع	تالاب میقان و سطوح آبی
۱۳۷۷	۰/۲۵	۲۶/۲	۱۰/۱	۰/۸۱	۰/۷۴	۶۰/۹۴	۰/۹۶
۱۳۹۹	۰/۳۱	۳۱	۲۲/۳۵	۱/۱۵	۰/۷۴	۴۴	۰/۴۵

کاهش در کل حوضه آبریز میقان مربوط به اراضی مرتعی است که ۱۶/۹۳ درصد کاهش یافته است و بعد از آن مساحت تالاب میقان و سطوح آبی، روند کاهشی را نشان می‌دهد.

تصویر شماره ۶ تغییر در وسعت کاربری/پوشش اراضی را در حوضه آبریز میقان نشان می‌دهد. بالاترین افزایش مربوط به اراضی آبی است که ۱۲/۳۵ درصد افزایش داشته است و بعد از آن به ترتیب دیمزار، شوره زار و مسکونی بیشترین افزایش را نشان می‌دهند. بزرگ‌ترین



شکل ۶- تغییر در وسعت کاربری/پوشش اراضی را در حوضه آبریز میقان

بحث

است که این امر با یافته‌های Zhang و همکاران (۲۰۲۴) تطابق دارد که با استفاده از داده‌های سنجش از دور بلندمدت، کاهش قابل توجه مساحت تالابها و تبدیل آنها به کاربری‌های دیگر را در استان گانسو چین گزارش کرده‌اند. نتایج این تحقیق در خصوص کاهش وسعت پهنه آبی تالاب میقان با یافته‌های Mao و همکاران (۲۰۲۵) که در یک مطالعه جامع ۴۰ ساله بر روی تالاب‌های چین، از دست رفتن در حدود ۶۱ هزار کیلومتر مربع از وسعت تالاب‌های طبیعی را گزارش کردند، همسویی دارد. همچنین، Xu و همکاران (۲۰۲۴) تأکید می‌کنند که اختلال در توازن آب‌های سطحی ناشی از تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی، یکی از عوامل کلیدی تغییر الگوی سیمای تالابها و محدود شدن پهنه‌های آبی و پوشش گیاهی در مقیاس جهانی است، که این موضوع در تالاب میقان نیز به وضوح مشاهده می‌شود. این درحالی هست که برای این‌که تالاب میقان بتواند خدمات اکوسیستمی خود را ارائه نمایند، سطح پوشش آب تالاب باید حداقل ۱۱۳۰۰ هکتار باشد (Khangholi et al., 2018). میزان بارش در حوضه آبریز میقان طی بازه‌های زمانی مورد مطالعه حدود ۷ درصد کاهش یافته است و از سوی دیگر بخش کشاورزی قسمت عمده منابع آب‌های زمینی را مصرف می‌کند. نتایج این مطالعات همراستا با سایر مطالعات، نشان می‌دهد که تغییر کاربری اراضی به طور عمده ناشی از فعالیت‌های انسانی، توسعه کشاورزی، سیاست‌های دولتی و عوامل محیطی مانند خشکسالی و تغییر اقلیم است (Aghsaei et al., 2020; Sarparast et al., 2020). بر اساس تحلیل‌های این مطالعه، مساحت مراتع حوضه آبریز میقان طی دوره زمانی مورد مطالعه کاهش چشمگیری داشته است که با مطالعات سایر محققان همخوانی دارد (Bali et al., 2013; Mehrani et al., 2021). همچنین نتایج نشان داد که افزایش اراضی کشاورزی در این حوضه آبریز همراه با افزایش اراضی مسکونی بوده که با روندهای مشاهده شده در مطالعات سایر محققان همخوانی دارد (Zafarian et al., 2018; Pirali Zefrehei et al., 2020; Singh et al., 2020; Abdoli & Panahandeh, 2021; Mariye et al., 2022; Dibaba et al., 2025). کاهش شدید مراتع و افزایش اراضی کشاورزی می‌تواند پیامدهای زیست‌محیطی جدی به همراه داشته باشد. این تغییرات می‌تواند منجر به

پژوهش حاضر با هدف بررسی تغییرات کاربری اراضی در حوضه تالاب میقان با استفاده از فناوری‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی انجام شده است. خطای جذر میانگین مربعات، دقت بالای نقاط کنترل زمینی انتخاب شده را در فرآیند تصحیح هندسی تصاویر نشان داد. نتایج صحت کلی و ضریب کاپای به دست آمده نشان داد که روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال، روش مناسبتری برای طبقه‌بندی این تصاویر می‌باشد. این یافته با نتایج پژوهش Jafarzadeh و Nazmfar (۲۰۱۹) و Zare و Naghadehi و همکاران (۲۰۲۱) که برتری روش حداکثر احتمال را در طبقه‌بندی کاربری اراضی گزارش کرده‌اند، همخوانی دارد. با این حال، این نتیجه با برخی مطالعات جهانی از جمله پژوهش Mushtaq و همکاران (۲۰۲۱) که برتری ماشین بردار پشتیبان را در مناطق با پیچیدگی طیفی بالا نشان داده‌اند، متفاوت است. این تفاوت می‌تواند ناشی از خصوصیات منطقه مورد مطالعه، نوع داده‌های ماهواره‌ای مورد استفاده و کیفیت نمونه‌های آموزشی باشد. در تطابق با نظریه جانستن (۲۰۰۴) صحت بالای نتایج به دلیل سطح زیاد نقاط تعلیمی و دقت در انتخاب نقاط تعلیمی می‌باشد (Jensen & Lulla, 2015) که این موضوع با یافته‌های Tuia و همکاران (۲۰۱۱) که بر اهمیت کیفیت و کمیت نمونه‌های آموزشی را در افزایش دقت طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای تأکید کرده‌اند، مطابقت دارد. دقت کلی و ضریب کاپای طبقه‌بندی تصاویر سال ۱۳۹۹ در هر دو روش طبقه‌بندی، اعداد نزدیک تری را نشان می‌دهد که به دلیل استفاده از سنجنده OLI_TIRS می‌باشد. مقایسه کاربری‌های مختلف طی بیش از دو دهه، حاکی از کاهش چشمگیر مراتع سطح زیر حوضه‌های تالاب میقان می‌باشد که در این بین زیر حوضه ابراهیم آباد با ۶۱ درصد بیشترین کاهش سطح را داشته است. اراضی کشاورزی و در اغلب موارد، کاربری‌ها اراضی آبی و باغات دارای رشد چشمگیری می‌باشند. تنها در زیرحوضه کرهرود اراضی دیم کاهش یافته گرچه مثل سایر زیرحوضه‌ها، اراضی آبی و باغات به شدت افزایش را نشان می‌دهند. در تمام زیر حوضه‌ها به جز زیرحوضه ابراهیم آباد کاربری مسکونی افزایش داشته است. مساحت تالاب و سطوح آبی طی دوره زمانی مطالعه، کاهش یافته

این اکوسیستم‌ها از مقیاس محلی تا جهانی برجای گذارد. یافته‌های این تحقیق، اجرای طرح جامع مدیریت حوضه آبریز تالاب میقان و ثبت آن در فهرست تالاب‌های رسمی کنوانسیون رامسر را ضروری می‌نماید. در صورت عدم توجه و مدیریت صحیح در حوضه آبریز تالابه میقان، نه تنها به عنوان مرکز ارائه خدمات اکوسیستمی عمل نخواهد کرد، بلکه می‌تواند به منبع اصلی تولید ریزگردها و تهدیدی برای سلامت محیط زیست و جوامع محلی تبدیل شود. حوضه آبریز میقان در سال‌های اخیر تحت تأثیر مجموعه‌ای از عوامل مخرب قرار گرفته است که روند قهقراپی آن را تسریع کرده‌اند. احداث بندهای خاکی و سدسازی بی‌رویه، حفر بی‌رویه چاه، بهره‌وری پایین سیستم‌های آبیاری و تغییر الگوی کشت، چرای شدید، تغییر کاربری اراضی و گسترش اراضی کشاورزی، فعالیت‌های معدنی و استخراج سولفات سدیم، باطله‌های معدنی، پساب تصفیه‌خانه شهر اراک و پساب صنعتی در کنار خشکسالی‌های متوالی، بقای تالاب را با چالش‌های جدی مواجه کرده و روند زوال تدریجی آن را تسریع نموده است. تالاب‌ها به عنوان یکی از اکوسیستم‌های بسیار شکننده و حساس به سهولت دچار تخریب و قهقرا شده و احیای این نوع از زیستگاه‌ها برنامه و راه کارهای ویژه مختص زیستگاه‌های آبی و بر اساس اصول اکولوژی احیاء^{۲۶} را می‌طلبد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق و بررسی‌های انجام‌شده در پژوهش‌های پیشین خصوصاً مطالعات Zhou و همکاران (۲۰۲۴) و Ji و همکاران (۲۰۲۵)، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به‌عنوان ابزاری مؤثر و کارآمد در پایش تغییرات پوشش اراضی طی دوره‌های زمانی مختلف، نقش بسزایی در تحلیل و ارزیابی الگوهای پیچیده تخریب و بازیابی اکوسیستم‌های تالابی و الگوهای تغییرات محیطی ایفا می‌کند. این روش نه‌تنها امکان شناسایی روندهای تغییرات کاربری اراضی را فراهم می‌آورد، بلکه با ارائه داده‌های مکانی- زمانی دقیق، به تصمیم‌گیری‌های مدیریتی و برنامه‌ریزی‌های محیط‌زیستی کمک شایانی می‌کند. همچنین، مزیت اصلی این رویکرد در مقایسه با روش‌های سنتی، دقت بالا، پوشش گسترده مکانی و امکان تحلیل چندزمانه است که می‌تواند در مطالعات تغییرات

افزایش فرسایش خاک، کاهش تنوع زیستی و تغییر در چرخه هیدرولوژیک منطقه شود (Ghaffari et al., 2009; Sulamo et al., 2021). افزایش اراضی آبی و باغات، می‌تواند فشار بیشتری بر منابع آب زیرزمینی وارد کند (Zafarian et al., 2018). همانطور که حوضه آبریز میقان اتفاق افتاده است، معمولاً اراضی مرتعی به اراضی کشاورزی دیم تبدیل می‌شوند (Zafarian et al., 2018) و اگر این تغییر اراضی در دامنه‌های شیب دار صورت بگیرد، به دلیل شسته شدن خاک و مواد حاصلخیز این نوع از اراضی و بازدهی کم این نوع اراضی، منجر به رها شدن این اراضی به مرور زمان شده و ممکن است این اراضی بعداً مجدداً به مراتع اضافه شوند. همچنین در بعضی از حوضه‌های آبریز، کمبود منابع آبی خود سبب تبدیل بعضی از اراضی کشاورزی به مراتع شده است (Talaei et al., 2011; Wang et al., 2022).

بحران محیط زیستی کنونی زیست‌کره، بی‌سابقه‌ترین چالش جهانی است که تمام ابعاد زمین، زیست‌بوم‌ها، آب‌کره و هواکره را به‌طور متقابل تحت تأثیر قرار داده است (Mohammadi Ashnani et al., 2020). تغییر کاربری/پوشش اراضی مهم‌ترین عامل ایجاد اختلال در محیط طبیعی می‌باشد و تأثیرات آن بر اکوسیستم‌ها و منابع طبیعی در ایران موضوع مهم و پیچیده‌ای است. در طول زمان، الگوی پوشش زمین و به تبع آن کاربری اراضی دچار تغییر و دگرگونی اساسی می‌شوند و عامل انسانی می‌تواند بیش‌ترین نقش را در این فرآیند ایفا نماید. بر اساس نتایج حاصل از این تحقیق، تغییرات اقلیمی، همراه با کاهش سطح مراتع در حوضه آبریز میقان، موجب بروز چالش‌های متعدد در زیرحوضه‌های این منطقه شده و تأثیرات قابل‌توجهی بر عملکرد و خدمات اکوسیستمی برجای گذاشته است. همچنین گسترش اراضی کشاورزی، به‌ویژه توسعه زمین‌های آبی و باغات، در کنار افزایش مناطق مسکونی، منجر به کاهش امکان تأمین حقایق تالاب میقان شده است. این عوامل، در یک تعامل پیچیده، موجب شکل‌گیری یک چرخه توسعه ناپایدار شده‌اند که نه‌تنها پایداری منابع آب و خاک این منطقه را تهدید می‌کند، بلکه کارکردهای اکولوژیک حوضه آبریز را نیز دستخوش تغییرات اساسی می‌سازد. مجموعه این اثرات، می‌تواند پیامدهای عمیق و بلندمدتی بر کارکردهای اکولوژیک و شاخص‌های اقتصادی-اجتماعی

²⁶- Restoration Ecology

- Remote Sensing and Space Science, 21, 139-147.
9. **Coppin, P., Jonckheere, I., Nackaerts, K., Muys, B. and Lambin, E., 2004.** Review Article Digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review. *International Journal of Remote Sensing*, 25(9), 1565-1596.
 10. **Costanza, R., d'Arge, R., De Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R.V. and Paruelo, J., 1997.** The value of the world's ecosystem services and natural capital. *nature*, 387, 253-260.
 11. **Daneshmand Parsa, R. and Mirzaei, R.A., 2016.** Change detection in Choghakhor wetland using remote sensing techniques (1994-2015). National Geomatics Conference, Tehran. (In Persian with English abstract).
 12. **Dar, S.A., Rashid, I. and Bhat, S.U., 2021.** Land system transformations govern the trophic status of an urban wetland ecosystem: Perspectives from remote sensing and water quality analysis. *Land Degradation and Development*, 32, 4087-4104.
 13. **Das, S., Pradhan, B., Shit, P.K. and Alamri, A.M., 2020.** Assessment of Wetland Ecosystem Health Using the Pressure-State-Response (PSR) Model: A Case Study of Mursidabad District of West Bengal (India). *Sustainability*, 12, 5932.
 14. **Davidson, N.C., 2014.** How much wetland has the world lost? Long-term and recent trends in global wetland area. *Marine and Freshwater Research*, 65, 934-941.
 15. **Davidson, N.C., Fluet-Chouinard, E. and Finlayson, C.M., 2018.** Global extent and distribution of wetlands: trends and issues. *Marine and Freshwater Research*, 69, 620-627.
 16. **Davidson, N.C., Van Dam, A.A., Finlayson, C.M. and McInnes, R.J., 2019.** Worth of wetlands: revised global monetary values of coastal and inland wetland ecosystem services. *Marine and Freshwater Research*, 70, 1189-1194.
 17. **Department of Environment of Iran. 2016.** Mighan comprehensive wetland management program. Shahr-Ara Publication, Arak, Iran, 80p.
 18. **Dibaba, W.T., Dibaba, B.T. and Hirpa, G.D., 2025.** Spatiotemporal analysis of the wetland dynamics using geospatial techniques: case of Gojeb River sub-basin, Ethiopia. *Environmental Monitoring and Assessment*, 197(8), 844.
 19. **Ebadi, A. and Golzar, E., 2016.** Quantitative assessment of Parishan

اکوسیستمی، ارزیابی تأثیرات انسانی بر محیطزیست و تدوین راهبردهای حفاظتی مورد استفاده قرار گیرد.

منابع

1. **Abdoli, M. and Panahandeh, M., 2021.** Investigating the trends of Anzali wetland connected domain coverage using remote sensing techniques and DPSIR conceptual framework. *Environmental Sciences*, 18(4), 125-140. (In Persian with English abstract).
2. **Aghsaei, H., Mobarghaee Dinan, N., Moridi, A., Asadolahi, Z., Delavar, M., Fohrer, N. and Wagner, P.D., 2020.** Effects of dynamic land use/land cover change on water resources and sediment yield in the Anzali wetland catchment, Gilan, Iran. *Science of The Total Environment*, 712, 136449.
3. **Ashournejad, Q. and Garshasbi, F., 2024.** Economic valuation of changes in ecosystem services of 77 Ramsar wetlands in West Asia over 37 years (1984–2021). *Environmental Conservation*, 51, 196-202.
4. **Bali, A., Monavari, S., Riazi, B., Khorasani, N.A. and Kheirkhah, M., 2013.** Using remote sensing for detecting land use changes with emphasis on urban development (Case study: Anzali Wetland Watershed). *Environmental Sciences*, 11(1), 25-32. (In Persian with English abstract).
5. **Berkessa, Y.W., Bulto, T.W., Moisa, M.B., Gurmessa, M.M., Werku, B.C., Juta, G.Y., Negash, D.A. and Gemed, D.O., 2023.** Impacts of urban land use and land cover change on wetland dynamics in Jimma city, southwestern Ethiopia. *Journal of Water and Climate Change*, 14, 2397-2415.
6. **Blouchi, L.R., Zarkar, A. and Malekmohammadi, B., 2014.** Detecting environmental change of Shadegan international wetland using remote sensing and WRASTIC index (Case study: Shadegan international wetland). *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 5, 61-73.
7. **Chak, J. and Mohseni, M., 2016.** Investigating the process of land use change in Parishan wetland by using measurements. *Zist Sepehr*, 11(2), 11-19. (In Persian with English abstract).
8. **Choudhary, K., Boori, M.S. and Kupriyanov, A., 2018.** Spatial modelling for natural and environmental vulnerability through remote sensing and GIS in Astrakhan, Russia. *The Egyptian Journal of*

- the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. Intergovernmental science-policy platform on biodiversity and ecosystem services. Bonn, Germany.
29. **Jafarzadeh, J. and Nazmfar, H., 2019.** Classification of satellite images in the evaluation of urban land use change using scale optimization in object-oriented processing (Case study: Ardabil city). *The Journal of Urban Planning and Research*, 10(36), 117-128. (In Persian with English abstract).
 30. **Jamaat, A. and Safaie, A., 2021.** Detection of land use-land cover changes in Anzali Wetland using a remote sensing-based approach. EGU General Assembly Conference Abstracts, EGU21-12119.
 31. **Jensen, J.R. and Lulla, K., 2015.** Introductory digital image processing: a remote sensing perspective.
 32. **Ji, P., Su, R., Wu, G., Xue, L., Zhang, Z., Fang, H., Gao, R., Zhang, W. and Zhang, D., 2025.** Projecting Future Wetland Dynamics Under Climate Change and Land Use Pressure: A Machine Learning Approach Using Remote Sensing and Markov Chain Modeling. *Remote Sensing*, 17(6), 1089.
 33. **Jie, W.H., Xiao, C.L., Zhang, C., Zhang, E., Li, J.Y., Wang, B., Niu, H.W. and Dong, S.F., 2021.** Remote sensing-based dynamic monitoring and environmental change of wetlands in southern Mongolian Plateau in 2000–2018. *China Geology*, 4, 353-363.
 34. **Khangholi, E., Naderi, M., Hadipour, M. and Aalipour Erdi, M., 2018.** An investigation on the water requirement of Mighan desert wetland. *Wetland Ecobiology*, 10(3), 91-102. (In Persian with English abstract)
 35. **Kharazmi, R., Tavili, A., Rahdari, M.R., Chaban, L., Panidi, E. and Rodrigo-Comino, J., 2018.** Monitoring and assessment of seasonal land cover changes using remote sensing: A 30-year (1987–2016) case study of Hamoun Wetland, Iran. *Environmental monitoring and assessment*, 190, 1-23.
 36. **Kingsford, R.T., Basset, A. and Jackson, L., 2016.** Wetlands: conservation's poor cousins. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 26, 892-916.
 37. **Knapp, A.K., Beier, C., Briske, D.D., Classen, A.T., Luo, Y., Reichstein, M., Smith, M.D., Smith, S.D., Bell, J.E., Fay, P.A., Heisler, J.L., Leavitt, S.W., Sherry, R., Smith, B. and Weng, E., 2008.** Consequences of More Extreme wetland changes using remote sensing. 11th National Conference on Watershed Management Sciences and Engineering of Iran: Participatory Development in Watershed Management, Yasuj: Iranian Watershed Association and Yasuj University, 633-641. (In Persian with English abstract).
 20. **Erwin, K.L., 2009.** Wetlands and global climate change: the role of wetland restoration in a changing world. *Wetlands Ecology and management*, 17, 71-84.
 21. **Feizi, R., 2023.** Investigating the trend of bed boundary changes in Bamdeh wetland using Remote sensing. *Journal of Agriculture and Sustainable Environment Research*, 4(4), 11-21. (In Persian with English abstract).
 22. **Foody, G., 2002.** Hard and soft classifications by a neural network with a non-exhaustively defined set of classes. *International Journal of Remote Sensing*, 23, 3853-3864.
 23. **Ghaffari, G., Ghodousi, J. and Ahmadi, H., 2009.** Investigating the hydrological effects of land use change in catchment (Case study: Zanjanrood Basin). *Journal of Water and Soil Conservation*, 16(1), 163-180. (In Persian with English abstract).
 24. **Gianopoulos, K., 2018.** Performance of rapid floristic quality assessment indices for increasing cost-effectiveness of wetland condition evaluation. *Ecological Indicators*, 95, 502-508.
 25. **Haghighy Khomami, M., Bonyad, A. and Panahandeh, M., 2022.** Survey of temporal and spatial changes of vegetation and water body of Anzali wetland using remote sensing indices and Google Earth Engine. *Wetland Ecobiology*, 14(3), 69-88. (In Persian with English abstract).
 26. **Hajian, K., Beyraghdar Kashkooli, O., Mahboobi Soofiani, N. and Pourmanafi, S., 2021.** Evaluating the trend of ecological changes in Shadegan wetland using MODIS imagery (2003-2017). *Iranian Journal of Applied Ecology*, 10(1), 65-78. (In Persian with English abstract).
 27. **Hedayati, S.A.A., Mohammadi Galangash, M., Pirali Zefrehei, A., Fallah, M. and Forouhar Vajargah, M., 2024.** Investigation of periodic changes in the coastline of Anzali international wetland using remote sensing. *Journal of Utilization and Cultivation of Aquatics*, 12(4), 1-10. (In Persian with English abstract).
 28. **IPBES, W., 2019.** Summary for Policy Makers of the Global Assessment Report on Biodiversity and Ecosystem Services of

47. **Mohammadi Ashnani, M.H., Miremadi, T., Danehkar, A., Makhdoom Farkhonde, M. and Majed, V., 2020.** The policies of learning economy to achieve sustainable development. *Journal of Environmental Science and Technology*, 22(2), 253-274. (In Persian with English abstract).
48. **Muche, M., Yemata, G., Molla, E., Adnew, W. and Muasya, A.M., 2023.** Land use and land cover changes and their impact on ecosystem service values in the north-eastern highlands of Ethiopia. *PLOS ONE*, 18, e0289962.
49. **Mushtaq, F., Mahmood, K., Hamid, M.C. and Tufail, R. 2021.,** A Comparative Study of Support Vector Machine and Maximum Likelihood Classification to Extract Land Cover of Lahore District, Punjab, Pakistan. *Pakistan Journal of Scientific and Industrial Research Series A: Physical Sciences*, 64(3), 265-274.
50. **Myers, S.C., Clarkson, B.R., Reeves, P.N. and Clarkson, B.D., 2013.** Wetland management in New Zealand: Are current approaches and policies sustaining wetland ecosystems in agricultural landscapes? *Ecological Engineering*, 56, 107-120.
51. **Nasser Mohamed Eid, A., Olatubara, C.O., Ewemoje, T.A., Farouk, H. and El-Hennawy, M.T., 2020.** Coastal wetland vegetation features and digital Change Detection Mapping based on remotely sensed imagery: El-Burullus Lake, Egypt. *International Soil and Water Conservation Research*, 8, 66-79.
52. **Papas, P., Lyon, S., Jin, C. and Holmes, J., 2008.** Development of a Wetland Catchment Disturbance Index. Arthur Rylah Institute for Environmental Research. Department of Sustainability and Environment, Heidelberg, Victoria.
53. **Pirali Zefrehei, A.R., Hedayati, A., Pourmanafi, S., Beyraghdar Kashkooli, O. and Ghorbani, R., 2020.** Environmental vulnerability assessment of Choghakhor International Wetland during 1985 to 2018. *Lakes and Reservoirs: Science, Policy and Management for Sustainable Use*, 25, 49-60.
54. **Pourkhabbaz, H.R., Yusefi Khanghah, S. and Salehipour, F., 2015.** Study of land use changes trend in Shadegan wetland using remote sensing and GIS and offering management solutions. *Wetland Ecology*, 7(3), 55-66. (In Persian with English abstract).
55. **Pourramezan Gabiyeh, S., Janalipour, M., Nikfar, M. and Abbaszadeh Tehrani, N., 2020.** Monitoring spatio-temporal Precipitation Regimes for Terrestrial Ecosystems. *BioScience*, 58, 811-821.
38. **Li, D., Tian, P., Luo, Y., Dong, B., Cui, Y. and Khan, S., 2021.** Importance of stopping groundwater irrigation for balancing agriculture and wetland ecosystem. *Ecological Indicators*, 127, 107747.
39. **Lv, Z., Huang, H., Li, X., Zhao, M., Benediktsson, J.A., Sun, W. and Falco, N., 2022.** Land Cover Change Detection with Heterogeneous Remote Sensing Images: Review, Progress, and Perspective. *Proceedings of the IEEE*, 110, 1976-1991.
40. **Mafi, M., Azizi, Z., Karimi, P. and Alami Safaval, P., 2021.** Investigating the trend of water level changes in Allahabad wetland by using temporal images. *Ecology Journal*, 8(2), 321-329. (In Persian with English abstract).
41. **Makrouni, S., Sabzghabaei, G.R., Yousefi Khanghah, S. and Soltanian, S., 2016.** Detection of land use changes in Hoor Al Azim wetland using remote sensing and GIS techniques. *RS and GIS for Natural Resources*, 7(3), 89-99. (In Persian with English abstract).
42. **Mao, D., Wang, M., Wang, Y., Jiang, M., Yuan, W., Luo, L., Feng, K., Wang, D., Xiang, H., Ren, Y., Zhen, J., Jia, M., Ren, C. and Wang, Z., 2025.** The trajectory of wetland changes in China between 1980 and 202 : hidden losses and restoration effects. *Science Bulletin*, 70, 587-596.
43. **Mariye, M., Jianhua, L. and Maryo, M., 2022.** Land use and land cover change, and analysis of its drivers in Ojoje watershed, Southern Ethiopia. *Heliyon*, 8.
44. **McLean, K.I., Mushet, D.M., Newton, W.E. and Sweetman, J.N., 2021.** Long-term multidecadal data from a prairie-pothole wetland complex reveal controls on aquatic-macroinvertebrate communities. *Ecological Indicators*, 126, 107678.
45. **Mehrani, A., Riazi, B., Bagheri, S.A. M. and Khorasani, N.A., 2021.** Monitoring of vegetation changes in Golestan province and a collection of international wetlands (Alma Gol, Alagol and Aji Gol) And the reasons are based on a two-time analysis of NDVI. *Journal of Plant Environmental Physiology*, 16(64), 97-110. (In Persian with English abstract).
46. **Miller, S.J. and Wardrop, D.H., 2006.** Adapting the floristic quality assessment index to indicate anthropogenic disturbance in central Pennsylvania wetlands. *Ecological indicators*, 6, 313-326.

65. **Shirmohammadi, S., Hafezparast Mavaddat, M. and Bafkar, A., 2024.** Monitoring water level changes in Hashilan wetland using remote sensing. *Advanced Technologies in Water Efficiency*, 4(2), 22-42. (In Persian with English abstract).
66. **Sica, Y.V., Quintana, R.D., Radeloff, V.C. and Gavier-Pizarro, G.I., 2016.** Wetland loss due to land use change in the Lower Paraná River Delta, Argentina. *Science of The Total Environment*, 568, 967-978.
67. **Sileshi, A., Awoke, A., Beyene, A., Stiers, I. and Triest, L., 2020.** Water purifying capacity of natural riverine wetlands in relation to their ecological quality. *Frontiers in Environmental Science*, 8, 39.
68. **Singh, S., Bhardwaj, A. and Verma, V.K., 2020.** Remote sensing and GIS based analysis of temporal land use/land cover and water quality changes in Harike wetland ecosystem, Punjab, India. *Journal of Environmental Management*, 262, 110355.
69. **Slagter, B., Tsendbazar, N.E., Vollrath, A. and Reiche, J., 2020.** Mapping wetland characteristics using temporally dense Sentinel-1 and Sentinel-2 data: A case study in the St. Lucia wetlands, South Africa. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 86, 102009.
70. **Sulamo, M.A., Kassa, A.K. and Roba, N.T., 2021.** Evaluation of the impacts of land use/cover changes on water balance of Bilate watershed, Rift valley basin, Ethiopia. *Water Practice and Technology*, 16, 1108-1127.
71. **Sun, Y., Wu, G., Mao, M., Duan, X., Hu, J., Zhang, Y., Xie, Y., Qiu, X., Gong, W., Liu, T. and Liu, T., 2023.** Remote sensing and environmental assessment of wetland ecological degradation in the Small Sanjiang Plain, Northeast China. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 11.
72. **Talaei, R., Jafari, A.A., Azimi, F., Bayat, R. and Porehkar, M., 2011.** Influence of pasture and rainfed agriculture land uses on soil loss in Dojag-Chay subwatershed (Ardabil province-NW Iran).
73. **Tatian, M., Mottahedi, S., Tamartash, R. and Akbarlou, M., 2019.** Investigation of vegetation and land use changes in international Gomishan wetlands area. *Environmental Researches*, 10(19), 107-116. (In Persian with English abstract)
74. **Tuia, D., Volpi, M., Copa, L., Kanevski, M. and Munoz-Mari, J., 2011.** A survey of active learning algorithms for supervised remote sensing image classification. *IEEE changes of Kiakallayeh wetland in Langeroud for investigating its damages using remote sensing. Wetland Ecobiology*, 12(3), 5-22. (In Persian with English abstract).
56. **Qureshi, S., Alavipanah, S.K., Konyushkova, M., Mijani, N., Fathololomi, S., Firozjaei, M.K., Homae, M., Hamzeh, S. and Kakroodi, A.A., 2020.** A Remotely Sensed Assessment of Surface Ecological Change over the Gomishan Wetland, Iran. *Remote Sensing*, 12, 2989.
57. **Rafei, A., Danehkar, A., Zandebasiri, M. and Karimi, M.B., 2022.** An analysis of the land use/land cover changes of Shadegan international wetland in the last two decades. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 13(2). (In Persian with English abstract).
58. **Rahimi, L., Malekmohammadi, B. and Yavari, A., 2019.** The ecosystem services assessment of wetlands based on the classification of hydrological-ecological structures and functions (Case study: Shadegan wetland). *Geography and Sustainability of Environment*, 9, 51-72. (In Persian with English abstract).
59. **Ramsar Convention Secretariat, 2010.** Wise use of wetlands: Concepts and approaches for the wise use of wetlands, Gland, Switzerland, Ramsar handbooks for the wise use of wetlands.
60. **Reis, V., Hermoso, V., Hamilton, S.K., Ward, D., Fluet-Chouinard, E., Lehner, B. and Linke, S., 2017.** A Global Assessment of Inland Wetland Conservation Status. *BioScience*, 67, 523-533.
61. **Rogan, J. and Chen, D., 2004.** Remote sensing technology for mapping and monitoring land-cover and land-use change. *Progress in Planning*, 61, 301-325.
62. **Rwanga, S.S. and Ndambuki, J.M., 2017.** Accuracy assessment of land use/land cover classification using remote sensing and GIS. *International Journal of Geosciences*, 8, 611.
63. **Sarparast, M., Ownegh, M. and Sepehr, A., 2020.** Investigation the driving forces of land-use change in northeastern Iran: Causes and effects. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 19, 100348.
64. **Schuyt, K. and Brander, L., 2004.** The economic values of the world's wetlands. *Living Waters - Conserving the Source of Life*. Amsterdam: World Wide Fund for Nature.

- Genderen, J.L. and Saleh, S.S., 2021.** Prediction of Urban Area Expansion with Implementation of MLC, SAM and SVMs' Classifiers Incorporating Artificial Neural Network Using Landsat Data. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(8), 513.
85. **Zebardast, L. and Jafari, H., 2011.** Use of remote sensing in monitoring the trend of changes of Anzali wetland in Iran and proposing environmental management solution. *Environmental Studies*, 37, 1-8. (In Persian with English abstract).
86. **Zekarias, T. and Gelaw, A., 2023.** Impacts of land use/land cover change on wetland ecosystem services of Lake Abaya-Chamo Wetland, Rift Valley of Ethiopia. *Geology, Ecology, and Landscapes*, 1-12.
87. **Zekarias, T., Govindu, V., Kebede, Y. and Gelaw, A., 2021.** Degradation of wetlands and livelihood benefits of Lake Abaya-Chamo wetland, southern Ethiopia. *Current Research in Environmental Sustainability*, 3, 100060.
88. **Zhang, J., Liu, X., Qin, Y., Fan, Y. and Cheng, S., 2024.** Wetlands Mapping and Monitoring with Long-Term Time Series Satellite Data Based on Google Earth Engine, Random Forest, and Feature Optimization: A Case Study in Gansu Province, China. *Land*, 13(9), 1527.
89. **Zhang, Y., Jin, R., Zhu, W., Zhang, D. and Zhang, X., 2020.** Impacts of Land Use Changes on Wetland Ecosystem Services in the Tumen River Basin. *Sustainability*, 12, 9821.
90. **Zhao, Y., Liao, J., Bao, X. and Ma, M., 2021.** Soil seed bank dynamics are regulated by bird diversity and soil moisture during alpine wetland degradation. *Biological Conservation*, 263, 109360.
91. **Zhou, C., Zhao, Q., Wu, T., Liu, X. and Chen, Y., 2024.** Distribution and Long-Term Variation of Wetland Land Cover Types in the Yellow River Delta Remote Sensing Monitoring. *Journal of Marine Science and Engineering*, 12(12), 2345.
92. **Zolfaghari, F. and Kafash, A., 2012.** Evaluating water level changes and reed bed dynamics of the Hamoun international wetland using remote sensing. *Environmental Science and Engineering*, 1(53), 59-64. (In Persian with English abstract).
- Journal of Selected Topics in Signal Processing, 5(3), 606-617.
75. **Van Dam, R., Camilleri, C. and Finlayson, C., 1998.** The potential of rapid assessment techniques as early warning indicators of wetland degradation: a review. *Environmental Toxicology and Water Quality: An International Journal*, 13, 297-312.
76. **Wang, S.Y., Liu, J.S. and Ma, T.B., 2010.** Dynamics and changes in spatial patterns of land use in Yellow River Basin, China. *Land Use Policy*, 27, 313-323.
77. **Wang, W., Straffelini, E., Pijl, A. and Tarolli, P., 2022.** Sustainable water resource management in steep-slope agriculture. *Geography and Sustainability*, 3, 214-219.
78. **Wu, J., 2008.** Land Use Changes: Economic, Social, and Environmental Impacts. *Choices*, 23.
79. **Xiong, Y., Mo, S., Wu, H., Qu, X., Liu, Y. and Zhou, L., 2023.** Influence of human activities and climate change on wetland landscape pattern—A review. *Science of The Total Environment*, 879, 163112.
80. **Xu, D., Bisht, G., Tan, Z., Sinha, E., Di Vittorio, A.V., Zhou, T., Ivanov, V.Y. and Leung, L.R., 2024.** Climate change will reduce North American inland wetland areas and disrupt their seasonal regimes. *Nat Commun*, 15, 2438.
81. **Xu, T., Weng, B., Yan, D., Wang, K., Li, X., Bi, W., Li, M., Cheng, X. and Liu, Y., 2019.** Wetlands of International Importance: Status, Threats, and Future Protection. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16, 1818.
82. **Yang, L., Zhang, S., Yin, L. and Zhang, B., 2022.** Global occupation of wetland by artificial impervious surface area expansion and its impact on ecosystem service value for 2001–2018. *Ecological Indicators*, 142, 109307.
83. **Zafarian, A., Ebrahimi, A. and Omidipour, R., 2018.** Evaluating the efficiency of satellite image classification methods in monitoring land cover changes (Case study: Shahr-e-Kord Watershed, Chaharmahal and Bakhtiari). *Journal of Rangeland and Watershed Management*, 71, 699-714. (In Persian with English abstract).
84. **Zare Naghadehi, S., Asadi, M., Maleki, M., Tavakkoli-Sabour, S.M., Van**





Land Use Change Analysis in the Meighan Wetland Basin: A Remote Sensing and GIS Approach

Azadeh Kazemi^{1,3}, Mohammadreza Gili², Mohammad Hossein Mohammadi Ashnani^{1,3*}

1* - Department of Environmental Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Environment, Arak University, Arak, Iran

2- Department of Environmental Science and Engineering Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, Iran

3- Environmental Sciences Research Institute, Arak University, Arak, Iran

Abstract

Original Article

Received:
2025.04.04

Accepted:
2025.05.28

Keywords:

Land Use Change,
Meighan Wetland,
Remote Sensing,
Geographic
Information
System,
Environmental
Management,
Satellite Imagery

Introduction: Land use changes fundamentally reshape the sustainability of natural ecosystems, with wetlands being among the most vulnerable biomes due to their critical role in providing ecosystem services. The Meighan Wetland, one of Iran's key habitats for migratory birds, has undergone substantial land use transformations in recent decades due to anthropogenic and climatic changes. Understanding the dynamics of land use/land cover changes and quantifying the spatiotemporal patterns of wetland loss are essential for addressing environmental challenges and risks, understanding trends, identifying sensitive and vulnerable zones, restoring degraded areas, sustainably managing wetland resources, and developing informed policies and future planning strategies.

Materials and Methods: This study aimed to identify and analyze land use changes in the Meighan Wetland basin over more than two decades (1998–2020) using remote sensing data and Geographic Information Systems (GIS). Landsat 5 TM and Landsat 8 OLI_TIRS satellite images were employed, with radiometric and geometric corrections applied to the images, achieving an RMSE of 0.45. Image processing was conducted using the Maximum Likelihood Classification (MLC) and Support Vector Machine (SVM) methods. To evaluate classification accuracy, an error matrix was generated, and accuracy assessment was performed using overall accuracy, Kappa coefficient, producer's accuracy, and user's accuracy. Post-classification change detection was applied to identify changes over time. The extracted land use maps for each study period were analyzed for the different sub-basins within the Meighan watershed, comparing the areas of major land use classes, including water bodies, residential-industrial zones, rainfed croplands, rocky outcrops, and rangelands. The land use change detection and analysis were conducted using classification models in ArcGIS.

Results: The accuracy assessment validated the high reliability of the generated land use maps. For SVM and MLC classification methods, Kappa coefficients of 0.68 and 0.91, and overall accuracies of 71.57% and 93.12%

were obtained for 1998, respectively. For 2020, Kappa coefficients of 0.90 and 0.92, and overall accuracies of 93.11% and 94.56% were achieved. The MLC method outperformed SVM in classification accuracy. During the investigation period, rangeland cover declined by 16.93%, with the highest reduction observed in the Ebrahimabad sub-basin (61% decrease). Agricultural land, particularly irrigated fields and orchards, increased by 12.35%, while rainfed croplands expanded in all sub-basins except Karharood. Residential-industrial land use exhibited an increasing trend across all sub-basins except Ebrahimabad.

Discussion: The 22-year analysis reveals that the Meighan Wetland basin, as a sensitive and fragile ecosystem, has experienced extensive land use and cover changes. Climate change, human activities, and excessive resource exploitation have significantly contributed to wetland shrinkage. These factors, interacting in a complex manner, have led to an unsustainable development cycle that threatens water and soil resources while altering the region's ecological functions. Failure to implement strategic management could shift the basin from an ecosystem service provider to a primary source of saline dust, posing severe public health risks to surrounding communities. This research highlights the critical role of remote sensing data and GIS-based analyses in detecting environmental change patterns in wetlands and providing precise spatiotemporal data to support decision-making and the development of effective environmental management strategies.