پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی و اثرات آن بر منابع آب با رویکرد محاسبه ضریب تعدیل

مطالعه موردی: دشت لنجانات

افروز باقری[1] بهرام ملک محمدی[2]

بنفشه زهرایی[3] امیرحسام حسنی[4]

فرزام بابایی[5]

تاریخ دریافت مقاله: ۹۹/۰۶/۳۰ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۹/۰۹/۰۹

****

چکیده

برخی ازعوامل طبیعی، اجتماعی و اقتصادی مانند تغییرات کاربری اراضی، رشد جمعیت وتغییر اقلیم در مقیاس‌های خرد و کلان، بر سیستم‌های منابع آب اثرات منفی وارد می‌کنند که بررسی همه‌جانبه و همزمان آن‌ها از اهمیت ویژه برخوردار است. در این پژوهش، تعیین تغییرات کاربری اراضی دوره‌های مختلف زمانی در دشت لنجانات با کاربرد تصاویر ماهواره‌ای لندست و سپس ایجاد نقشه‌های کاربری اراضی و آشکارسازی تغییرات آن با استفاده از نرم‌افزار ENVI برای پنج گروه مختلف کاربری انجام شد. برای ارزیابی صحت طبقه‌بندی از ضریب کاپا و نیز صحت کلی و برای پیش‌بینی تغییر کاربری اراضی در آینده (سال ۲۰۳۵) از نرم‌افزار IDRISI kilimanjaro بهره گرفته شد.همچنین ضریب تعدیل از تقسیم ضریب رواناب کاربری در دوره پیش‌بینی بر ضریب رواناب درصد تغییرات کاربری در گذشته، محاسبه شد. نتایج حاصل از پیش‌بینی کاربری زمین در دشت مذکور، نشان می‌دهد که در دوره زمانی ۲۰۱۵ تا ۲۰۳۵، کاربری مناطق انسان ساخت از ۷۲۰۲هکتار به ۹۱۲۲هکتار روند افزایشی دارد. کاربری کشاورزی در منطقه در سال ۲۰۳۵ به ۱٦٦۳۸هکتار می‌رسد که در مقایسه با مقدار مشابه در سال ۲۰۱۵ کاهش خواهد یافت. در همین زمان، سهم پهنه‌های آبی به ۱۷۵هکتار و حدود ۲۵درصد کاهش خواهد رسید. ضریب تعدیل در منطقه مورد مطالعه با توجه به تغییرات کاربری سال ۲۰۳۵ نسبت به سال ۱۹۹۰، معادل ۱/۰۵۱ تعیین شد که دانستن تغییرات کاربری اراضی و این ضریب در مطالعات مربوط به مدیریت منابع آب منطقه، مورد استفاده خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: تغییرات کاربری اراضی، IDRISI kilimanjaro ، مدیریت منابع آب، ضریب تعدیل، دشت لنجانات – اصفهان

****

۱- دانشجوی دکتری مدیریت محیط‌زیست، دانشکده محیط‌زیست و انرژی، دانشگاه آزاداسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران afrouz.bagheri2018@gmail.com

۲-.دانشیار دانشکده محیط‌زیست، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران (نویسنده مسئول) malekb@ut.ac.ir

۳- دانشیار دانشکده مهندسی عمران، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران bzahraie@ut.ac.ir

٤- دانشیار دانشکده محیط‌زیست و انرژی، دانشگاه آزاداسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران ahhasani@srbiau.ac.ir

۵- استادیار دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه آزاداسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران f.babaei@srbiau.ac.ir

۱- مقدمه

منابع آب‌های زیرزمینی سیستم‌های پویایی هستند که ارتباط بین تغذیه و تخلیه این منابع، یکی از جنبه‌های مهم مدیریت بهینه و حفاظت از منابع محیط‌زیستی به‌شمار می‌رود *(Gleeson & et al, 2018 ،Deines & et al,2016)*. برخی ازعوامل طبیعی، اجتماعی و اقتصادی، در مقیاس‌های خرد و کلان مانند تغییرات کاربری اراضی، رشد جمعیت و نیز تغییر اقلیم، بر کمیت و کیفیت منابع آب به‌خصوص منابع آب زیرزمینی اثرات منفی وارد می‌کند و معمولاً منجر به ورود دشت‌ها به لیست ممنوعه و بحرانی می‌شود *(رحیمی و سلیمانی، ۱۳۹۵:۳۵)*. در حال‌حاضر و از میان ۶۰۹ دشت کشور، ۴۰۵ دشت از نظر حفاظتی در فهرست دشت‌های ممنوعه و ۱۳۵ دشت دارای شرایط حادتری هستند *(www.Paven.ir)*.

منابع آب زیرزمینی منبعی مهم برای آب آشامیدنی و کشاورزی است و ذاتاً برای اکوسیستم با ارزش است *(Ashraf & et al., 2018 ، Holtz & et al, 2011)*. آب زیرزمینی از طرفی به‌دلیل شیرین بودن، ترکیبات ثابت شیمیایی، آلودگی کمتر و درنتیجه سطح اطمینان بیشتر، یک منبع قابل اتکاء به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب شده و از سوی دیگر، با تأثیر برتوان اکولوژیک سرزمین، یک پدیده مهم و مؤثر در توسعه اقتصادی، تنوع اکولوژیکی و سلامت جامعه به‌حساب می‌آید *(همتی و دیگران، ۱۳۹٤و معماریان، ۱۳۹۵و Gleeson & et al, 2015 ،Huang & et al, 2018)*.

تغییر کاربری اراضی به سمت گسترش کاربری‌های انسان ساخت و گسترش شدید استفاده از منابع آب به‌ویژه در دهه‌های گذشته، منجر به تخلیه سفره‌های زیرزمینی، توقف جریان پایه، خشک شدن تالاب‌ها، تخریب اکوسیستم‌های حاشیه رودخانه و کاهش کیفیت آب، فرونشست و ترک‌های سطح زمین شده است *(Zhou & Li,2011: 205-214)* از این‌رو درک بهتری از تغییر عوامل مؤثر بر کمیت منابع آب و خصوصاً آب‌های زیرزمینی مانند اقلیم، جمعیت، کاربری اراضی و غیره برای توسعه سیاست‌های پایدار این منابع برای آینده مورد نیاز است *(Holtz &Wostl, 2011: 95-121)*.

معیارهای اجتماعی و ازجمله جمعیت و افزایش آن نیز یکی از عوامل مهم و مؤثر بر مصرف بیشتر منابع آب است. افزایش جمعیت علاوه‌بر افزایش مصرف منابع آبی، بر تغییر کاربری اراضی به‌عنوان عامل مؤثر دیگری بر کمیت و کیفیت منابع آب، اثرگذار خواهد بود. از دیگر سو، تغییرات پوشش اراضی از جمله مهم‌ترین تغییرات سطح زمین هستند که اثرات قابل‌توجهی برروی محیط و فرآیندهای محیطی می‌گذارند.

بنابراین بررسی روند تغییرات کاربری در کنار سایر کاربری‌ها، برای برنامه‌ریزی استفاده از زمین و پایداری منابع آب زیرزمینی اهمیت بالایی دارد و می‌تواند گامی راهگشا در رابطه با بررسی علل و روند افزایش مصارف بیش از اندازه آب باشد *(Huang & et al, 2018: 443-452)*. مشخص کردن تغییرات گذشته کاربری اراضی و پیش‌بینی روند آتی آن، به برنامه‌ریزان و مدیران کمک خواهد کرد تا به جبران خسارت‌ها مبادرت ورزیده و اشتباهات گذشته را تکرار نکنند *(Vannier & et al, 2019)*.

دستیابی به استفاده پایدار از آب‌های زیرزمینی نیازمند کنترل و کاهش تخریب و تغییرات در کاربری‌ها می‌باشد، از این‌رو درک بهتری از تغییر کاربری اراضی برای توسعه سیاست‌های پایدار این منابع برای آینده مورد نیاز است *(Holtz & Wostl, 2011: 95)*.

ماهیت مسئله تغییرات کاربری اراضی نیاز به دید بلندمدت داشته و برنامه‌ریزی استراتژیک را می‌طلبد. در این بین، سنجش‌ازدور در ترکیب با سیستم اطلاعات جغرافیایی و سیستم موقعیت‌یاب جهانی برای ارزیابی تغییرات پوشش اراضی به‌طور مؤثری در مطالعات متعددی به‌کار رفته است *(درویشی و همکاران، ۱۳۹۹ و محمدی و همکاران، ۱۳۹۷ و ابراهیمی و همکاران، ۱۳۹۶ و زبیری و همکاران،۱۳۹۰ و میرصانع،۱۳۹۰و آهنی و همکاران، ۱۳۸۹ و امینی، ۱۳۸۸)*.

مدل‌های شبیه‌سازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی بسیاری توسط پژوهشگران و نهادهای مربوطه همچون مدل‌های ریاضی (خطی و استاتیک)، مدل‌های آماری

(رگرسیون)، مدل‌های سلولی (اتوماتای سلولی یا cellular automatamodel) و زنجیره مارکو، مدل‌های تکاملی (شبکه‌های عصبی) و مدل‌سازی با رویکرد عامل مبنا ایجاد و مورد استفاده قرار گرفته است *(درویشی و همکاران، ۱۳۹۹ و صالحی، ۱۳۹۸ و ابراهیمی و همکاران، ۱۳۹۶ ونیکورزم و جوزی، ۱۳۹٤ و Parker & et al, 2003: 314-337 و Subedi & et al. 2013: 126-132)*.

شرایط خاک سطحی مانند شیب، پوشش گیاهی و نوع کاربری در میزان نفوذ و ضریب رواناب در مدل‌های مدیریت منابع آب مؤثر است. تخمین ناصحیح مقدار ضریب رواناب، خطای محاسبات هیدرولوژیک حوضه مطالعاتی را افزایش می‌دهد. با محاسبه ضریب تعدیل (Adjustment factor) می‌توان دقت محاسبات را به مقدار قابل قبولی رساند. ضریب تعدیل، ضریبی است که پس از مشخص شدن درصد تغییرات کاربری اراضی و براساس ضریب رواناب روش منطقی در این تحقیق محاسبه شد *(صفوی، ۱۳۸۸و Jensen, ۱۹٤۹)*.

در اکثر پژوهش‌هایی که در گذشته انجام شده است، به مسائل هیدرولوژیک، اقلیم، سیستم کاربری اراضی و سیستم اجتماعی به‌صورت مجزا توجه شده است. چالش عمده مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی نمایش حلقه‌های بازخورد بین پویایی محیط‌زیست و فرآیندهای تصمیم‌گیری انسان است *(Zhou & Li,2011: 205-214)*.

با این وجود، این عوامل اکثراً به‌صورت جداگانه مورد بررسی قرار گرفته‌اند، به‌طوری‌که در تحقیقات اقتصادی- اجتماعی به فاکتورهای مکانی توجه کمتری می‌شد و در مقابل، در تحقیقات اکولوژیک نیز توجه کمتری به مؤلفه رفتارهای انسانی در تغییرات کاربری صورت گرفته است *(Subedi& et al, 2013: 126-132)*.

هدف از پژوهش حاضر آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی در بازه زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۹ و پیش‌بینی تغییرات آن در آینده با استفاده از تکنیک کارآمد سنجش‌ازدور و مدل سلول‌های خودکار - مارکو است، چراکه بررسی روند این تغییرات در زمینه برنامه‌های توسعه اقتصادی و اجتماعی آینده و مدیریت بهینه سرزمین حائز اهمیت است. از آنجایی‌که این تغییرات بر رواناب و نفوذ آب به آبخوان اثر می‌گذارد، ضریب تعدیل محاسبه شده است. کاربرد ضریب تعدیل تغییرات کاربری اراضی بر منابع آب زیرزمینی در میان مطالعات انجام شده مهجور مانده است.

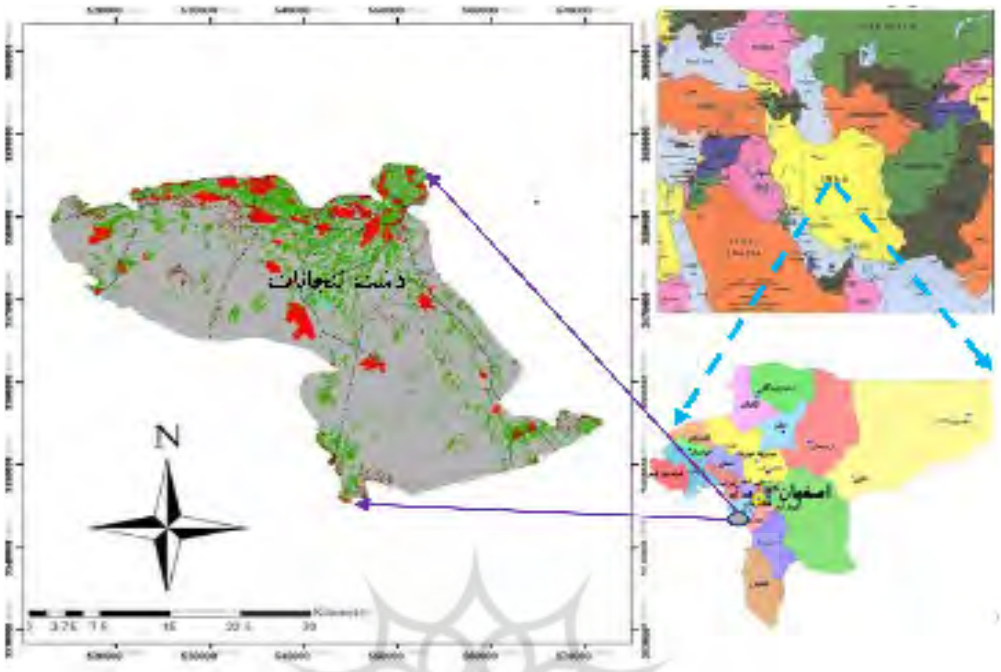
۲- مطالعه موردی

این تحقیق در مورد دشت لنجانات که به‌طور مداوم به علت تغییرکاربری اراضی و سایر عوامل در معرض کاهش منابع آب قرار گرفته، به‌عنوان یک مطالعه موردی و معرف سایر دشت‌ها، انجام شده است. دشت لنجانات در یکی از زیر حوضه‌های آبخیز باتلاق گاوخونی در بخش میانی فلات مرکزی ایران قرار دارد و در مختصات جغرافیایی ´۸ °۵۱ تا ´٤٥ °۵۱ طول شرقی و ´۲ °۳۲ تا ´۲٤ °۳۲ عرض شمالی واقع شده است.

شیب کلی حوضه از جنوب و جنوب‌شرق به شمال و شمال‌غرب و رودخانه زاینده‌رود می‌باشد. بلندترین نقطه محدوده واقع در ارتفاعات شاه لرا حدود ۲۹۰۰متر و پست‌ترین نقطه نیز شهر مبارکه با ارتفاع حدود ۱٦۰۰متر نسبت به سطح دریاهای آزاد می‌باشد، متوسط بارش سالانه در دشت ۱۸۲/۱ و در ارتفاعات ۳۵۱/۷میلیمتر و متوسط دمای دشت و ارتفاعات به‌ترتیب ۱٤/۷ و ۱۳/٦ درجه سانتیگراد می‌باشد. در این تحقیق از داده‌های ایستگاه پل کله با مختصات جغرافیایی ´۵۱ ´۱۳ °۵۱ و ´۰۰ ´۲۳ ´۲۲ °۳۲ استفاده شد.

۳- مواد و روش تحقیق

در این تحقیق، نقشه کاربری اراضی منطقه لنجانات با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، در محیط نرم‌افزارهای سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، استخراج شد. جهت آشکارسازی تغییرات از گذشته تاکنون و طبقه‌بندی تصاویراز نرم‌افزار ENVI و IDRISI استفاده گردید و پس از صحت‌سنجی و اعتبارسنجی طبقه‌بندی انجام شده، برای



نگاره ۱: نمایش موقعیت محدوده مورد مطالعه درسطح کشور و استان اصفهان

پیش‌بینی این تغییرات در ۳۰ سال آینده، زنجیره مارکو به‌کار گرفته شد. پس از مشخص شدن درصد تغییرات کاربری اراضی در گذشته و دوره پیش‌بینی، ضریب تعدیل محاسبه گردید.

۳-۱- چگونگی تعیین میزان تغییرات کاربری اراضی

برای تعیین تغییرات کاربری اراضی دوره‌های مختلف زمانی و با در نظر داشتن مواردی مانند یکسان بودن سطح تفکیک مکانی تصویر، نداشتن پوشش ابر بیش از پنج درصد سطح تصویر و مرتبط با یک زمان یا فصل مشخص در سال، از تصاویر ماهواره لندست به‌دلیل قدمت و کارایی بالای آن و با در نظر داشتن مواردی مانند یکسان بودن سطح تفکیک مکانی تصویر، نداشتن پوشش ابر بیش از پنج درصد سطح تصویر و مرتبط با یک زمان یا فصل مشخص در سال، استفاده شد.

به‌منظور بررسی روند تغییر کاربری اراضی، دوره زمانی تصاویر ۲۵ سال در نظر گرفته شد (از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۵). بعد از اخذ تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵،٤ باندهای ۱،۲،۳،٤،۵،۷ سنجنده TM با تعداد باند ۷ و لندست ۷، باندهای ۱،۲،۳،٤،۵،۷ سنجنده ETM+ با تعداد باند ۸ و لندست ۸، باندهای ۱،۲،۳،٤،۵،٦،۷ سنجنده OLI با تعداد باند ۱۱، به ترتیب برای سال‌های ۱۹۹۰، ۲۰۰۵ و ۲۰۱۵ میلادی (جدول۱)، داده‌ها مورد پردازش، صحت‌سنجی و اعتبارسنجی قرار گرفت و در نهایت نقشه‌های کاربری اراضی در دوره‌های زمانی مختلف تهیه و برای سال ۲۰۳۵ پیش‌بینی گردید.

جدول۱: مشخصات تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده در تحقیق

سال	تصاویر ماهواره ای	سنجنده	باند	تعداد باند
۱۹۹۰	لندست ٤ و ۵	TM	۷،۵،٤،۳،۲،۱	۷
۲۰۰۵	لندست۷	ETM+	۷،۵،٤،۳،۲،۱	۸
۲۰۱۵	لندست ۸	OLI	۷،٦،۵،٤،۳،۲،۱	۱۱

۳-۲- چگونگی تهیه نقشه تغییرکاربری اراضی

در مرحله پیش پردازش از تصحیح اتمسفری (با استفاده از روش کاهش تیرگی)، تصحیح هندسی و بارزسازی تصاویر استفاده شد. سپس طبقه‌بندی نظارت نشده برای ایجاد دید کلی از کلاس‌های کاربری اراضی در منطقه موردمطالعه و همچنین به‌عنوان ابزاری کمکی برای تعیین نمونه‌های تعلیمی انجام و برحسب نتایج حاصل از این طبقه‌بندی اقدام به تعیین نمونه‌های تعلیمی برای کلاس‌های مورد انتظار شد.

پس از اجرای مراحل آماری مختلف به منظور شناسایی نمونه‌های تعلیمی مناسب برای طبقه‌بندی، این نمونه‌ها وارد نرم‌افزار شدند. سپس نسبت به طبقه‌بندی نظارت شده به روش حداکثر احتمال و جمع‌آوری و تعیین نمونه‌های تعلیمی در طی مطالعات میدانی اقدام گردید *(سفیانیان و فلاحتکار، ۱۳۸۷)*.

به این ترتیب پنج کاربری شامل(۱)راه‌ها و مناطق انسان ساخت (نظیر مسکونی و صنعتی)، (۲)کشاورزی، (۳)بایر و مرتعی،(٤)بستره آبی و (۵)رخنمون سنگی از تصاویر مورد بررسی استخراج و نقشه‌های کاربری زمین برای سال‌های ۱۹۹۰، ۲۰۰۵ و ۲۰۱۵ تولید شد. کلیه مراحل در نرم‌افزار ENVI [1] انجام شد.

۳-۳- ارزیابی صحت طبقه‌بندی

یکی از متداول‌ترین روش‌های بیان دقت طبقه‌بندی، آماده کردن ماتریس خطای طبقه‌بندی است.ماتریس خطا رابطه بین داده های مرجع معلوم (حقایق زمینی) و نتایج یک طبقه‌بندی خودکار (متناظر) را به‌صورت پیکسل به پیکسل مقایسه می‌کند *(تقوی‌مقدم و دیگران، ۱۳۹۵)*. در این نوع ماتریس پیکسل‌های واقع برروی قطر اصلی، آن دسته از پیکسل‌هایی هستند که به‌درستی طبقه‌بندی شده‌اند و پیکسل‌هایی که خارج از قطر اصلی ماتریس هستند، به درستی طبقه‌بندی نشده‌اند. از بین مهم‌ترین معیارهای ماتریس خطای طبقه‌بندی می‌توان به معیارهایی چون دقت کلی و ضریب کاپا اشاره کرد. دقت کلی عبارت است از نسبت پیکسل‌های درست طبقه‌بندی شده به تعداد کل پیکسل‌های معلوم که معرف میزان اعتبار طبقه‌بندی انجام شده است و مطابق رابطه زیر محاسبه می‌شود *(تقوی‌مقدم و دیگران؛ ترابی و دیگران، ۱۳۹۵)*.

$$OA = \frac{1}{N}\sum P_{ii}$$ رابطه (۱)

OA صحت کلی، N پیکسل‌های درست طبقه‌بندی شده، P_{ii} تعداد کل پیکسل‌های مورد مقایسه است.

به این ترتیب دقت کلی که به درصد نیز بیان می‌گردد، میزان توافق و همخوانی تصویر حاصل از طبقه‌بندی با واقعیت زمینی را نشان می‌دهد. ضریب کاپا (K) از توابع چندمتغیره تصادفی گسسته‌ای است که اگر یک ماتریس خطا تفاوت معنی‌داری با دیگری داشته باشد و تصویر کاملاً به‌صورت تصادفی طبقه‌بندی شود، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

شاخص کاپا مقداری بین صفر و یک دارد. اگر مقدار کاپا صفر باشد نشانگر یک طبقه‌بندی کاملاً تصادفی است و اگر مقدار شاخص کاپا یک باشد نشان‌دهنده یک طبقه‌بندی کاملاً صحیح است و مقدار منفی نیز به معنی وجود خطا در طبقه‌بندی است. برای تعیین ضریب کاپا از رابطه (۲) استفاده گردید *(تقوی مقدم و دیگران،۱۳۹۵ وترابی و دیگران، ۱۳۹۵وسلمانی و دیگران، ۱۳۹۷)*.

$$K = (P_o - P_e / 1 - P_e) * 100$$ رابطه (۲)

p_o پیکسل‌های مشاهده‌شده و p_e پیکسل‌های تصادفی می‌باشد. بعد از تهیه نقشه‌های موضوعی و بررسی صحت و دقت آن‌ها، این نقشه‌ها می‌توانند برای تحلیل‌های بعدی با اطمینان مورد استفاده قرار گیرند.

۳-٤- روش پیش‌بینی کاربری اراضی در آینده

در این پژوهش از مدل تلفیقی زنجیره مارکو (Markov) و مدل اتوماتای سلولی(CA) که تحت عنوان سی‌ای-

1- Environment for Visualizing Images

مارکو(CA-Markov) شناخته می‌شود در نرم‌افزار IDRISI Kilimanjaro، برای پیش‌بینی کاربری اراضی آینده منطقه استفاده شد.

جهت دستیابی به اهداف تحقیق، کاربری اراضی برای سال ۲۰۳۵ با کاربرد مدل مورد نظر و با فرض ادامه یافتن روند فعلی مدیریت در منطقه، پیش‌بینی شد. در تحقیقات مختلفی از روش مارکو و اتوماتای سلولی به تنهایی استفاده شده است، منتها امروزه و برای رفع محدودیت‌های هر یک، از روش تلفیقی بهره برده می‌شود که در تحقیق حاضر نیز چنین شد (*Jazouli & et al 2019*، *Subedi & et al, 2013* و *سلمانی و دیگران، ۱۳۹۷*).

۳-۵- روش اعتبارسنجی مدل پیش‌بینی کاربری اراضی

برای تعیین تطابق و یا عدم تطابق نقشه‌های واقعی و نقشه‌های حاصل از مدل‌سازی، از اعتبارسنجی مدل استفاده شد. به این منظور از طریق پیش‌بینی یک دوره زمانی گذشته توسط مدل و قیاس آن با کاربری‌های واقعی استفاده گردید. در این راستا، کاربری زمین در محدوده مطالعه برای سال ۲۰۱۵ از طریق مدل مذکور، پیش‌بینی شد و نقشه کاربری پیش‌بینی شده با نقشه واقعی کاربری زمین در سال ۲۰۱۵ مورد مقایسه قرار گرفت. در این روش، نقشه واقعی و نقشه پیش‌بینی شده با یکدیگر از نظر تعداد سلول‌ها برای هر کلاس و همچنین موقعیت مکانی سلول‌هادر دو تصویر، مقایسه و شاخص کاپا در فاصله ۱-۰ برای تفسیر نتایج استفاده گردید.

۳-۶- چگونگی تعیین ضریب تعدیل

حجم رواناب سطحی در طی یک رخداد بارندگی تابعی از خصوصیات حوضه آبخیز مانند نوع کاربری اراضی، پوشش و مساحت است که با تغییر این پارامترها حجم و شدت نفوذ رواناب نیز تغییر می‌کند (*صفوی، ۱۳۸۸*). تخمین ناصحیح مقدار ضریب رواناب، خطای محاسبات هیدرولوژیک حوضه مطالعاتی را افزایش می‌دهد.

با محاسبه ضریب تعدیل (Adjustment factor) می‌توان دقت محاسبات را به مقدار قابل قبولی رساند. بنابراین در مطالعات مربوط به کمیت منابع آب و هیدرولوژیک منطقه، دانستن تغییرات کاربری اراضی و ضریب تعدیل مورد نیاز خواهد بود (*Necati, 2016* و *صفوی، ۱۳۸۸*). در این تحقیق پس از مشخص شدن درصد تغییرات کاربری اراضی، ضریب تعدیل (Adjustment factor) از تقسیم ضریب رواناب کاربری (Runoff coefficients) در دوره پیش‌بینی بر ضریب رواناب درصد تغییرات کاربری در گذشته، محاسبه شد.

رابطه (۳)

$$Re = \frac{\sum(C_i * X_i)}{100}$$

رابطه (٤)

$$A_e = \frac{Re_p}{Re_b}$$

R_e ضریب رواناب کاربری در دوره زمانی مورد نظر، C_i ضریب ثابت رواناب کاربری مورد نظر، X_i درصد کاربری در دوره زمانی مورد نظر، A_e ضریب تعدیل، R_{ep} ضریب رواناب کاربری در دوره پیش‌بینی، R_{eb} ضریب رواناب درصد تغییرات کاربری در گذشته است (*صفوی، ۱۳۸۸*).

٤- نتایج و بحث

امروزه تغییرات در نظم و پویایی موجود در محیط‌زیست از جمله تغییر در پوشش و کاربری زمین و اثرات این تغییرات بر منابع آب زیرزمینی که منجر به کاهش و بهره‌کشی و تهی‌سازی این منابع شده است، از مسائل چالش برانگیز جوامع انسانی می‌باشد (*فرسائی،۱۳۹۱* و *Jakeman et al, 2014*). نتایج کلی به‌دست آمده در دوره‌های زمانی مورد مطالعه نشان‌دهنده روند افزایشی در مناطق انسان ساخت، ناشی از رشد جمعیت منطقه و مهاجرت‌پذیری به‌دلیل ماهیت صنعتی آن در سال‌های آینده است که در مطالعات دیگر نیز این روند تغییرات بررسی شده است (*درویشی، ۱۳۹۹* و *محمدی،۱۳۹۷* و *ابراهیمی،۱۳۹٦* و *زبیری،۱۳۹۰* و *میرصانع،۱۳۹۰* و *آهنی و همکاران، ۱۳۸۹* و *امینی،۱۳۸۸*).

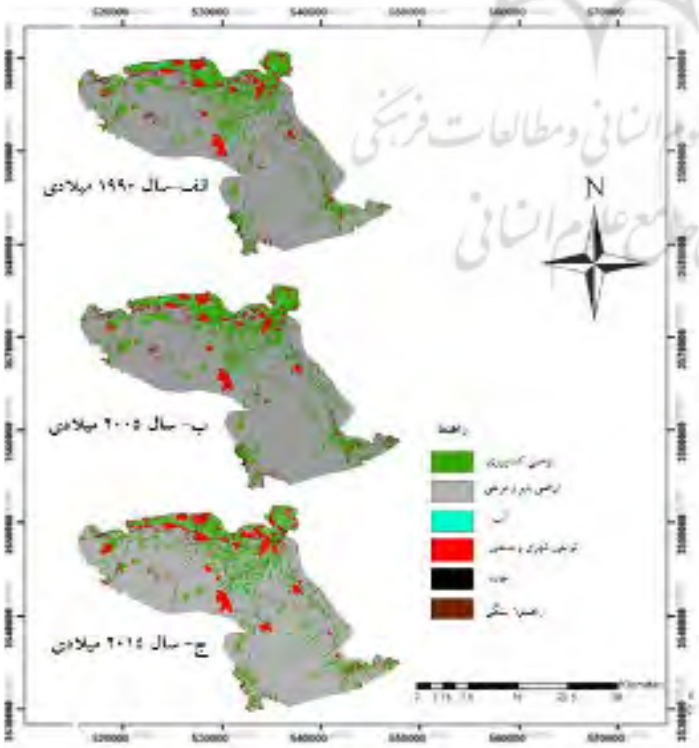
با توجه به این‌که تعیین قابلیت اعتماد و صحت نقشه‌های تهیه‌شده در پیش‌بینی تغییرات آینده کاربری‌ها و مدل‌سازی آن، اهمیت زیادی دارند در این تحقیق نیز مانند مطالعات درویشی و همکاران (۱۳۹۹)، صالحی و همکاران (۱۳۹۸) و عزیزی (۱۳۹۵) ضریب کاپا و دقت کلی محاسبه شد که نتایج صحت سنجی در رنج قابل قبول و بسیار مناسب قرار دارد.

نتایج حاصل از این تحقیق مانند نتایج به‌دست آمده ابراهیمی و همکاران(۱۳۹٦)، نیکورزم و جوزی (۱۳۹٤)، Parker & et al.(2003) و Subedi &et al.(2013) گویای امکان استفاده از مدل ترکیبی سی‌ای-مارکو به‌عنوان یک روش دقیق برای پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی در آینده و مدیریت صحیح منطقه، می‌باشد.

ضمن تأکید نتایج مطالعات Zhou & Li (2011) و (Holtz &Wostl (2011 مبنی بر این‌که گسترش کاربری‌های انسان ساخت به‌طور مستقیم و غیرمستقیم بر منابع آب و تخلیه سفره‌های زیرزمینی، فرونشست و ترک‌های سطح زمین اثر می‌گذارد، درک بهتر و مطالعات دقیق برای مدیریت پایدار این منابع ضروری است که در تحقیق حاضر، پس از محاسبه درصد کاربری‌ها در دوره‌های مختلف و با لحاظ ضریب رواناب هر کاربری، ضریب تعدیل منطقه مطالعاتی معادل ۱/۰۵۱ به‌دست آمد که از آن به‌عنوان یکی از عوامل مؤثر در کاهش خطای مطالعات هیدرولوژی و مطالعات پیش‌بینی تغییرات کمی آب منطقه مطالعاتی می‌توان استفاده نمود.

٤-۱- کاربری‌های گذشته محدوده طرح

در تحقیق حاضر، تهیه نقشه‌ها و روند آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی در محدوده زمانی موردنظر، با استفاده از تصاویر ماهواره لندست و به روش حداکثر احتمال، انجام شد. به‌طور خلاصه نقشه‌های کاربری تهیه شده نشان‌دهنده درصد و وضعیت پراکنش کاربری‌های محدوده مطالعاتی لنجانات در گذشته با دقت بالا و حداقل خطا می‌باشد. نتایج کاربری‌های منطقه پس از بررسی دقت نقشه‌ها و نیز اصلاحات انجام شده، طی سال‌های ۱۹۹۰، ۲۰۰۵ و ۲۰۱۵ میلادی در نگاره۲ ارائه شده است.



نگاره ۲: نقشه طبقه‌بندی نهایی کاربری زمین براساس تصاویر سال‌های ۱۹۹۰، ۲۰۰۵ و ۲۰۱۵ میلادی

جدول۲: مساحت و درصد کاربری‌های مستخرج از نقشه‌های نگاره۲ برای منطقه مورد مطالعه در سال‌های ۱۹۹۰، ۲۰۰۵ و ۲۰۱۵ میلادی

نوع کاربری	سال مورد نظر(میلادی)					
	۱۹۹۰		۲۰۰۵		۲۰۱۵	
	مساحت (هکتار)	درصد نسبت به کل(٪)	مساحت (هکتار)	درصد نسبت به کل(٪)	مساحت (هکتار)	درصد نسبت به کل(٪)
کشاورزی	۲۲۵۱۶	۲۰/۳۸	۲۰۰۱۸	۱۸/۱۱	۱۷۹۴۳	۱۶/۲۴
اراضی بایر و مرتعی	۸۱۶۱۳	۷۳/۸۵	۸۲۷۹۳	۷۴/۹۲	۸۳۰۴۳	۷۵/۱۴
آب	۳۶۷	۰/۳۳	۴۲۴	۰/۳۸	۲۲۹	۰/۲۱
جاده و شهر	۳۹۲۲	۳/۵۵	۵۱۸۰	۴/۶۹	۷۲۰۲	۶/۵۱
رخنمون سنگی	۲۰۹۴	۱/۸۹	۲۰۹۶	۱/۹۰	۲۱۰۴	۱/۹۰
جمع کل	۱۱۰۵۱۱	۱۰۰	۱۱۰۵۱۱	۱۰۰	۱۱۰۵۱۱	۱۰۰

این نتایج مبنای پیش‌بینی کاربری‌های آینده محدوده طرح (سال ۲۰۳۵ میلادی) نیز قرار گرفته است. پس از تهیه نقشه‌ها، مساحت و درصد پنج طبقه کاربری اراضی محاسبه شد. جدول۲ و نگاره۲ نشان می‌دهند که در دوره زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۵ میلادی، درصد پوشش کاربری مناطق انسان ساخت در منطقه از ۳۹۲۲هکتار به ۷۲۰۲هکتار افزایش یافته و حدوداً دو برابر شده است. همچنین، میزان کاربری کشاورزی با روند کاهشی روبه‌رو بوده و از ۲۲۵۱۶هکتار در سال ۱۹۹۰ به ۱۷۹۴۳هکتار در سال ۲۰۱۵ و حدود ۲۰ درصد کاهش یافته است.

سهم کاربری بایر و مرتعی منطقه نیز از ۸۱۶۱۳ هکتار در سال ۱۹۹۰ به ۸۲۷۹۳ در سال ۲۰۰۵ و ۸۳۰۴۳ هکتار در سال ۲۰۱۵ افزایش یافته است. این در حالی است که طی دوره مذکور، میزان کاربری بستره آبی منطقه از ۳۶۷ هکتار به ۲۲۹ هکتار کاهش یافته و البته در سال ۲۰۰۵ نسبت به سال ۱۹۹۰، حدود ۱۵ درصد رشد داشته است.

طبقه رخنمون سنگی تقریباً بدون تغییر بوده است. بنابراین روند تغییرات کاربری آب، نشان‌دهنده نوسانات افزایش و کاهش بوده که در حال حاضر نرخ کاهشی در این کاربری وجود دارد. آمارهای مذکور و تغییرات آن‌ها به‌صورت کلی نشان می‌دهد که تغییرات کاربری‌های شهری و انسان ساخت دارای روند افزایشی بوده است. نوع و میزان تغییر کاربری می‌تواند نشان‌دهنده میزان نیاز احتمالی به انواع کاربری‌ها و یا خواسته مردم با توجه به خصوصیات بیوفیزیکی منطقه و امکان تبدیل کاربری‌ها باشد. مقادیر ضریب کاپای به‌دست آمده در جدول ۳، دقت طبقه‌بندی را برای هر نقشه نشان می‌دهد.

جدول۳: ارزیابی دقت نقشه‌های کاربری اراضی در دوره‌های زمانی مورد بررسی

تصویر	شاخص دقت (ضریب کاپا)	دقت کلی تصویر
لندست ۱۹۹۰	۰/۸۷	٪۹۰
لندست ۲۰۰۵	۰/۸۶	٪۹۱
لندست ۲۰۱۵	۰/۸۸	٪۹۱

دقت کلی هر تصویر نیز از حداقل قابل قبول ۸۵ درصد برای تفسیر صحیح داده‌های سنجش‌ازدور بیشتر است *(Parker & et al, 200 و عزیزی،۱۳۹۵)*. بنابراین می‌توان با اطمینان از نتایج مساحت و کاربری‌های نقشه‌های تهیه و اصلاح شده استفاده نمود.

٤-۲- پیش‌بینی کاربری اراضی در سال ۲۰۱۵ میلادی برای اعتبارسنجی مدل

با توجه به نتایج کاربری‌های واقعی و پیش‌بینی شده در سال ۲۰۱۵، تطابق بین نقشه‌های واقعی و پیش‌بینی شده برابر ۰/۸۳، عدم تطابق بین دو نقشه برابر ۰/۱۷، تطابق ناشی از شانس که بدون داشتن هیچ اطلاعاتی از موقعیت و کمیت به‌دست می‌آید برابر۰/۲، تطابق ناشی از کمیت (تعداد سلول‌ها برای هر کلاس در دو نقشه) برابر ۰/۳۹، عدم تطابق ناشی از کمیت برابر ۰/۰۲ و همین‌طور تطابق و عدم تطابق مکانی (مکان کلاس‌ها در دو نقشه واقعی و پیش‌بینی شده) به‌ترتیب ۰/۲٤ و ۰/۱٤ برآورد شده است. شاخص کاپا که نشان‌دهنده توافق کلی مدل است برابر ۰/۷۹ و Quantity که توانایی مدل در پیش‌بینی تعداد پیکسل‌ها را نشان می‌دهد، حدود ۱ تعیین شد (جدول٤).

با توجه به اعداد به‌دست آمده، می‌توان گفت که مدل توانایی خوبی برای پیش‌بینی آینده داشته و لذا مساحت کاربری‌های سال ۲۰۳۵ برای هر نوع برنامه‌ریزی و مدیریتی، قابل اعتماد است.

٤-۳- پیش‌بینی کاربری‌های آینده در سال ۲۰۳۵ میلادی

براساس نتایج محاسبات مدل سی-ای مارکو، مساحت هر یک از کاربری‌های زمین در سال ۲۰۳۵ در جدول۵ و نگاره۳ نشان داده شده است.

نتایج نشان می‌دهد که در دوره زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۳۵، منطقه در مجموع نزدیک به٦٦۹۰ هکتار تغییر کاربری را تجربه خواهد کرد. در دوره زمانی ۲۰۱۵ تا ۲۰۳۵، کاربری

جدول ٤: مقدار و درصد واقعی و پیش‌بینی‌شده کاربری‌ها در نقشه کاربری‌های سال ۲۰۱۵ و نتایج اعتبارسنجی مدل

نوع کاربری	سال مورد نظر(میلادی)			
	۲۰۱۵واقعی		۲۰۱۵ پیش‌بینی شده	
	مساحت(هکتار)	مساحت(درصد)	مساحت(هکتار)	درصد نسبت به کل(٪)
کشاورزی	۱۷۹٤۰	۱٦/۲٤	۱۹۲۰۸	۱۷/۳۸
اراضی بایر و مرتعی	۸۳۰۳٦	۷۵/۱٤	۸۳۰۵۲	۷۵/۱۵
آب	۲۲۹	۰/۲۱	۳۹٦	۰/۳٦
جاده و شهر	۷۲۰۲	٦/۵۱	۵۷٦۵	۵/۲۲
رخنمون سنگی	۲۱۰٤	۱/۹۰	۲۰۹۰	۱/۸۹
جمع کل	۱۱۰۵۱۱	۱۰۰	۱۱۰۵۱۱	۱۰۰
اعتبارسنجی مدل	تطابق بین نقشه‌های واقعی و پیش‌بینی شده			۰/۸۳
	عدم تطابق بین نقشه‌های واقعی و پیش‌بینی شده			۰/۱۷
	تطابق ناشی از شانس			۰/۲
	تطابق ناشی از کمیت			۰/۳۹
	عدم تطابق ناشی از کمیت			۰/۰۲
	تطابق مکانی			۰/۲٤
	عدم تطابق مکانی			۰/۱٤
	شاخص کاپا			۰/۷۹
	توانایی مدل			۱

مناطق انسان ساخت از ۷۲۰۲هکتار به ۹۱۲۲هکتار خواهد رسید که نشان‌دهنده روند افزایشی این کاربری می‌باشد. میزان کاربری کشاورزی در منطقه در افق ۳۰ساله پیش‌بینی شده به ۱۶۶۳۸هکتار می‌رسد که در مقایسه با مقدار مشابه در سال ۲۰۱۵ کاهش خواهد یافت.

جدول ۵:. مساحت و درصد هر یک از کاربری های زمین پیش‌بینی شده برای سال ۲۰۳۵

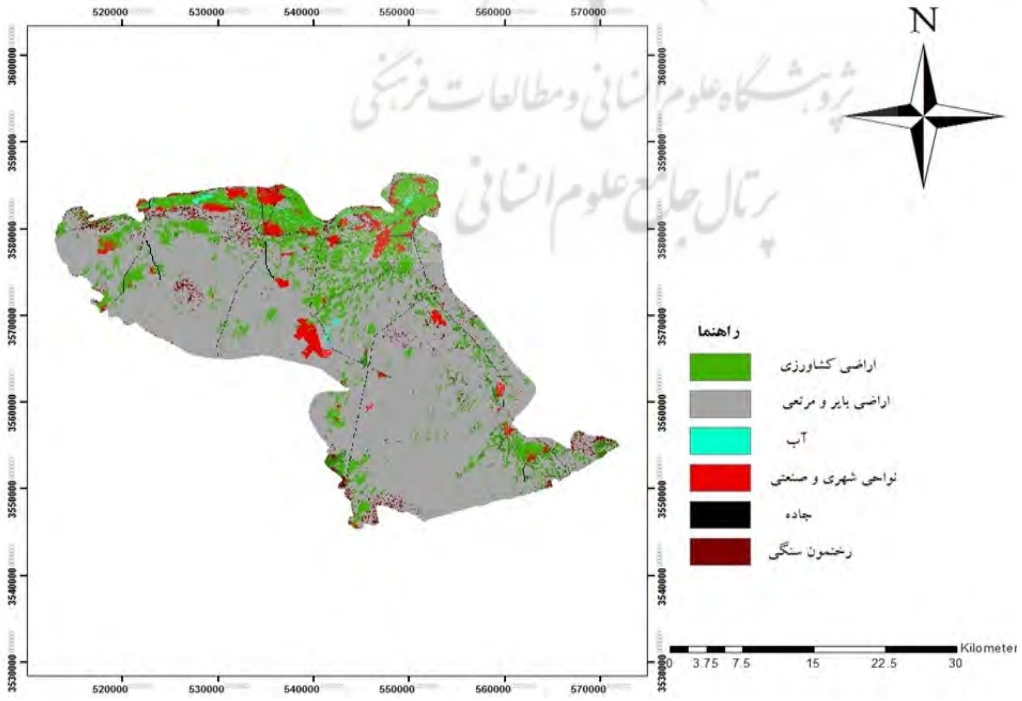
نوع کاربری	مساحت(هکتار)	درصد نسبت به کل(٪)
کشاورزی	۱۶۶۳۵	۱۵/۰۵
اراضی بایر و مرتعی	۸۲۴۸۵	۷۴/۶۵
آب	۱۷۵	۰/۱۶
جاده و شهر	۹۱۲۲	۸/۲۵
رخنمون سنگی	۲۰۹۴	۱/۹۰
جمع کل	۱۱۰۵۱۱	۱۰۰

همچنین نتایج مدل نشان‌دهنده کاهش میزان اراضی بایر از ۸۳۰۳۶هکتار در سال ۲۰۱۵ به ۸۲۴۸۵هکتار در سال ۲۰۳۵می‌باشد که البته چندان هم قابل توجه نیست (کمتر از ۱ درصد) به‌دلیل ورود کاربری‌های انسان ساخت و تبدیل به کاربری‌های شهری، می‌باشد. در همین زمان، سهم پهنه‌های آبی به ۱۷۵ هکتار کاهش خواهد یافت که حدود ۲۵ درصد کاهش را نشان می‌دهد.

٤-٤- تغییر و تبدیل کاربری‌های اراضی از گذشته تا آینده

جدول٦ تغییرات هر یک از کاربری‌ها را نسبت به دیگر کاربری‌ها در دوره‌های مختلف محدوده مطالعاتی نشان می‌دهد. در دوره ۲۰۰۵-۱۹۹۰، درمجموع ۲۴۹۷ هکتار از زمین‌های کشاورزی منطقه به کاربری‌های عمدتاً انسان ساخت و بایر تبدیل شده است.

در بازه زمانی ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۵ نیز، ۲۲۷۳ هکتار از زمین‌های کشاورزی و بسترهای آبی به کاربری‌های بایر، جاده و شهر و رخنمون سنگی تبدیل شده است. این تغییرات از لحاظ لزوم حفظ منابع آبی مهم می‌باشد. چراکه زمین‌های بایر به‌علت نفوذپذیری که دارند، سبب نفوذ



نگاره ۳: نقشه کاربری اراضی پیش‌بینی شده برای سال ۲۰۳۵

جدول ٦: تبدیل و تغییر کلاس‌های کاربری‌های زمین در دوره‌های مورد بررسی برحسب هکتار

تبدیل کاربری (از- به)	مساحت تغییرات کاربری در دوره زمانی(هکتار)		
	۱۹۹۰-۲۰۰۵	۲۰۰۵-۲۰۱۵	۲۰۱۵-۲۰۳۵
کشاورزی به بایر	۱۱۸۰	۲۲۲/۱٤	۰
کشاورزی به آب	۵۷	۰	۰
کشاورزی به جاده وشهر	۱۲۵۸	۱۸٤۸/۵۹	۱۳۰۵
کشاورزی به رخنمون سنگی	۲	۷/۲۷	۰
بایر به جاده و شهر	۰	۰	۵۵۱
رخنمون سنگی به جاده و شهر	۰	۰	۰
آب به بایر	۰	۲۱	-
آب به جاده وشهر	۰	۱۷۳/۹۹	۵٤
آب به رخنمون سنگی	۰	۰/۰۱	۰
رخنمون سنگی به جاده و شهر	۰	۰	۱۰
مجموع تغییرات	۲٤۹۷	۲۲۷۳	۱۹۲۰

آب‌های سطحی به زمین و تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی می‌شوند. این در حالی است که در نقطه مقابل، کاربری‌های کشاورزی و انسان ساخت علاوه بر جلوگیری از نفوذ آب به زمین، افزایش مصرف منابع آبی را نیز به‌دنبال دارند.

در فاصله زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۵، مساحتی برابر با ٤۵۷۵هکتار از اراضی کشاورزی منطقه به جاده و شهر و بایر و رخنمون سنگی تبدیل شده است.

با توجه به این اعداد و ارقام، می‌توان نتیجه گرفت که کاربری کشاورزی منطقه کاهش داشته است. این مسئله با کاهش آب در منطقه و ممنوعه بودن بخش‌هایی از منطقه قابل توجیه است. پیش‌بینی می‌شود که این روند در آینده نیز ادامه یابد و حدود ۵۸۸۰هکتار درمجموع از کاربری کشاورزی کاسته شود.

نتایج نشان می‌دهد که در دوره زمانی ۲۰۱۵ تا ۲۰۳۵ نیز بالغ بر ۱۹۲۰هکتار تغییر کاربری رخ خواهد داد. شایان ذکر است افزایش کاربری مناطق انسان ساخت باعث افزایش میزان مصرف آب و درنتیجه کاهش پهنه‌های آبی خواهد شد. تغییر کاربری کشاورزی به دیگر کاربری‌ها در دوره زمانی ۲۰۱۵ تا ۲۰۳۵ برای هر سال به طور متوسط کمتر از ۱۰۰هکتار خواهد بود. این در حالی است که طی دوره‌های زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۵ و ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۵، این رقم به ترتیب بالغ بر ١٦٦ و ۱۵۱هکتار در سال بوده است.

٤-۵- تعیین ضریب تعدیل

ضریب تعدیل یکی از عوامل مهم در پیش‌بینی تغییرات کمی آب در مدل‌ها و نرم‌افزارهای مرتبط است که در این تحقیق مورد توجه قرار گرفت و در جدول ۷، با توجه به تغییرات کاربری در سال ۲۰۰۵ و ۲۰۳۵، درج شده است. با توجه به جدول ۷ ، ضریب رواناب هر کاربری بین ۰ تا ۱ در نظر گرفته می‌شود.

در کاربری کشاورزی و مرتعی نفوذ رواناب به زمین بیشتر و جاری شدن آب کمتر است و بالعکس در اراضی انسان ساخت و رخنمون سنگی نفوذ رواناب به زمین کم می‌شود به‌ترتیب ضرایب ۰/۳، ۰/۸ و ۰/۹ در محاسبات

اعمال می‌شود. در این پژوهش، ضریب رواناب کاربری‌ها در منطقه در سال پایه و پیش‌بینی به ترتیب ۰/۳۹ و ۰/٤۱ و ضریب تعدیل ۱/۰۵۱ محاسبه شد.

۵- نتیجه‌گیری

در این تحقیق که با هدف بررسی تأثیر تغییر کاربری اراضی بر کمیت منابع آب انجام شد، علاوه‌بر بررسی تغییرات اراضی، ضریب تعدیل تعیین گردید و مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور از دشت لنجانات به‌عنوان مطالعه موردی استفاده شد. نتایج حاصل از پیش‌بینی کاربری زمین در منطقه نشان می‌دهد که در دوره زمانی ۲۰۱۵ تا ۲۰۳۵، کاربری مناطق انسان ساخت از ۷۲۰۲ هکتار به ۹۱۲۲ هکتار خواهد رسید.

نتایج کلی به‌دست آمده نشان‌دهنده روند افزایشی در مناطق انسان ساخت بدلیل رشد جمعیت و مهاجرت‌پذیری منطقه مورد مطالعه به‌دلیل ماهیت صنعتی آن در سال‌های آینده است و نیز روند کاهشی در زمین‌های بایر و مرتعی، بیانگر تبدیل این زمین‌ها به کاربری‌های شهری می‌باشد. لازم به ذکر است به‌دنبال تغییر کاربری اراضی منطقه، میزان مصرف منابع آب افزایش و نفوذ رواناب به منابع آب زیرزمینی کاهش خواهد یافت.

در تحقیق حاضر برای اینکه بتوان اثر تغییرات کاربری را در مدل‌های پیش‌بینی کمیت آب وارد نمود، ضریب تعدیل محاسبه شد که برای دشت لنجانات با توجه به تغییرات کاربری اراضی در گذشته و تغییرات کاربری اراضی پیش‌بینی شده در سال ۲۰۳۵، این ضریب معادل ۱/۰۵۱ تعیین گردید. در نتیجه با توجه به این‌که حجم و شدت نفوذ رواناب به آبخوان با ضریب رواناب ناشی از تغییرات کاربری اراضی تغییر می‌کند، با محاسبه ضریب تعدیل می‌توان دقت محاسبات هیدرولوژیک منطقه را به مقدار قابل قبولی رساند.

٦- راهکار و پیشنهادات

- استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و نرم‌افزارهای سنجش‌ازدور، سامانه اطلاعات جغرافیایی و مدل ترکیبی مدل تلفیقی زنجیره مارکو و اتوماتای سلولی (سی ای مارکو) برای پیش‌بینی و آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی
- محاسبه ضریب تأثیر کاربری‌ها بر رواناب با محاسبه ضریب تعدیل به‌منظور افزایش دقت و کاهش خطای مطالعات هیدرولوژی و مدل‌سازی منابع آب زیرزمینی

جدول ۷: درصد تغییر کاربری‌ها، ضریب روان آب مک مت و ضریب تعدیل

کاربری	درصد کاربری‌ها در سال ۲۰۰۵ (پایه)	درصد کاربری‌ها در سال ۲۰۳۵ (پیش‌بینی)	ضریب رواناب مک مت (ثابت) برای هر کاربری
کشاورزی	۱۸/۱۱	۱۵/۰۵	۰/۳
بایر و مرتعی	۷٤/۹۲	۷٤/٦٤	۰/۳۷
آب	۰/۳۸	۰/۱٦	۱
جاده و شهر	٤/٦۹	۸/۲۵	۰/۸
رخنمون سنگی	۱/۹۰	۱/۸۹	۰/۹
ضریب رواناب محاسبه شده برای منطقه مورد نظر	۰/۳۹	۰/٤۱	-
ضریب تعدیل	۱/۰۵۱		

منابع و مآخذ

۱- آهنی، ح. قربانی، ا. رستگار مقدم، م. فلاح شمسی، س. ر. باقرنژاد، م.۱۳۸۹، ارزیابی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره ای: مطالعه موردی حوضه آبخیز تنگ سرخ شیراز، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی ، جلد شانزدهم، ویژه نامه ۱۲۲:۲-۱۲۱.

۲- ابراهیمی، رسولی، احمدپور؛ حمید، علی‌اکبر، احمد، ۱۳۹٦، مدل‌سازی تغییرات دینامیک کاربری اراضی با استفاده از پردازش شئ گرا تصاویر ماهواره ای و مدل CA-Markov مطالعه موردی: شهر شیراز، فصلنامه علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی(سپهر)، ۲۷ (۱۰۸): ۱٤۹-۱۳۷.

۳- امینی، جلال، ۱۳۸۸ ، پردازش رایانه‌ی تصاویر سنجش‌ازدور، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.

٤- ترابی، آقامحمدی زنجیرآباد، بهزادی؛ غزاله، حسین، سعید، ۱۳۹۷، پایش وضعیت دریاچه بختگان و اراضی اطراف آن با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و هوش محاسباتی، اکوهیدرولوژی، ۵ (۱): ۲٦۳-۲۵۱.

۵- تقوی مقدم، بهرامی، اکبری؛ ابراهیم، شهرام، الهه، ۱۳۹۵، مقایسه دو روش حداکثر احتمال و شبکه عصبی مصنوعی در ارزیابی تغییرات سطح جنگل‌های حراء با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست در منطقه حفاظت شده گاندو استان سیستان بلوچستان، پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل، جلد۲۳.

٦- درویشی، سلیمانی، شعبانی؛ شادمان، کریم، مرتضی، ۱۳۹۹، تحلیل و پیش‌بینی روند رشد شهری و تأثیر آن بر کاربری اراضی با استفاده از سنجش‌ازدور و مدل CA-Markov؛ مطالعه موردی: شهرهای مریوان، بانه و سقز، فصلنامه علمی-پژوهشی اطلاعات جغرافیایی(سپهر)، ۲۹ (۱۱٤): ۱٦۳-۱٤۷.

۷- رحیمی، سلیمانی؛ محمد، کریم، ۱۳۹۵، ارزیابی پتانسیل منابع آب زیرزمینی دشت دهگلان بر پایه سیستم اطلاعات جغرافیایی وسنجش‌ازدور با استفاده از تکنیک تصمیم‌گیری چند معیاره، علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۱۰(۳۵).

۸- زبیری، مجد؛ محمود، علیرضا، آشنایی با فن سنجش‌ازدور و کاربرد در منابع طبیعی، انتشارات دانشگاه تهران، شماره ۲۳۱۵.

۹- سفیانیان، فلاحتکار؛ علیرضا، سامره، ۱۳۸۷، آشکارسازی تغییرات پوشش وکاربری اراضی با تکیه بر علوم دورسنجی، سپهر، ۱۷ (٦۸).

۱۰- سلمانی، بردی شیخ، سلمان ماهینی، اونق، فتح آبادی؛ حسین، واحد، عبدالرسول، مجید، ابوالحسن، ارزیابی پاسخ هیدرولوژیکی حوضه آبخیز تیل آباد استان گلستان طی دوره‌های آتی تحت تأثیر تغییر کاربری اراضی پیش‌بینی شده، ۱۳۹۷، اکوهیدرولوژی، ۵ (۲)، ص ۳۹۹-٤۱۸.

۱۱- صالحی، اختصاصی، طالبی؛ ناهید، محمدرضا، علی، ۱۳۹۸، پیش‌بینی روند تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل زنجیره مارکوف : حوضه آبخیز صفارود رامسر. سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، سال دهم، شماره اول.

۱۲- صفوی، حمیدرضا، ۱۳۸۸، هیدرولوژی مهندسی، چاپ دوم، ص ۱٦۳-۱۷٤.

۱۳- عزیزی، علی، ۱۳۹۵، تبیین تغییرات کاربری اراضی و آب‌های زیرزمینی در تدوین سناریوهای مدیریت محیط زیستی دشت‌های ممنوعه براساس رویکرد شبیه‌سازی عامل مبنا - مطالعه موردی: دشت اردبیل، رساله دکترا، دانشکده محیط زیست. دانشگاه تهران.

۱٤- محمدی، حبشی، پورمنافی؛ شاهین، خلیل، سعید، ۱۳۹۷، پایش و پیش‌بینی تغییرات کاربری/پوشش اراضی و ارتباط آن با خشکسالی- مطالعه موردی: زیر حوضه پارسل B۲، حوضه آبخیز زاینده‌رود، ۹ (۱): ۳۹-۲٤.

۱۵- معماریان، هادی. ۱۳۹۵. «نقش استحصال در افزایش رفاه جامعه وبهبود خدمات اکوسیستم».مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گیلان.

۱٦- میرصانع، س. م. ر.۱۳۹۰، معرفی مهم‌ترین ماهواره‌های سنجش‌ازدور در منابع زمینی ،وزارت جهاد کشاورزی،

معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی دفتر آمار و فناوری اطلاعات.

۱۷- نیکورزم، جوزی؛ یاسمن، سیدعلی، ۱۳۹٤، بررسی تغییرات فضای سبز با مدل مارکوف و شاخص NDVI و تبیین راهبردها با مدل SWOT مطالعه موردی: مناطق ۱۸ ، ۱۹ و ۲۱ شهرداری تهران، ۱ (۱۱): ۷۲-۵۳.

۱۸- همتی، فروزانی، یزدان پناه، خسروی‌پور؛ بهنام، معصومه، مسعود، بهمن.۱۳۹٤. "مقایسه کاربرد فرآیند تحلیل شبکه و تحلیل سلسله مراتبی در تحلیل شاخص فقرآبی کشاورزی: مورد مطالعه شهرستان دزفول. علوم ترویج وآموزش کشاورزی ایران. (۱۱) شماره ۲.

19- Ashraf, S., et al., 2018. Compounding effects of human activities and climatic changes on surface water availability in Iran. Climatic Change. 152(3-4): p. 379-391.

20- Deines, J.M., A.D.Kendall, J.J. Butler, D.W.Hyndman. Quantifying irrigation adaptation strategies in response to stakeholder-driven groundwater management in the US High Plains Aquifer. 2019. Environmental Research Letters. 14(4).

21- Gleeson, T., K. M. Befus, S. Jasechko, E. Luijendijk, M. B. Cardenas. 2018. The global volume and distribution of modern groundwater. Nature Geoscience. 9(2): p. 161-167.

22- Holtz, G. and C. Pahl-Wostl 2011. An agent-based model of groundwater over-exploitation in the Upper Guadiana, Spain. Regional Environmental Change. 12(1): p. 95-121.

23- Huang, Y., Q. Chang, and Z. Li. 2018. Land use change impacts on the amount and quality of recharge water in the loess tablelands of China. Sci Total Environ. 628-629: p. 443-452.

24- Jakeman, A., Kelly, R., Ticehurst, J., Blakers, R., Croke, B., Curtis, A.2014. Modelling for Managing the Complex Issue of Catchment-Scale Surface and Groundwater Allocation. In Simulation and Modeling Methodologies, Technologies and Applications (pp. 25-41): Springer.

25- Jazouli, A.E., A. Barakat, R. Khellouk, J. Rais, M. ElBaghdadi. 2019. Remote sensing and GIS techniques for prediction of land use land cover change effects on soil erosion in the high basin of the Oum Er Rbia River (Morocco). Remote Sensing Applications: Society and Environment. 13: 361-374.

26- Jensen, J.R., Introductory digital image processing: a remote sensing perspective. 1949.

27- Necati, G. 2016. A Comparison Study of Some Flood Estimation Methods in terms of Design of Water Structures. International Journal of Engineering Technologies 2(1).

28- Parker, D.C., S. M. Manson, M. A. Janssen, M. J. Hoffmann, P. Deadman. 2003. Multi-Agent Systems for the Simulation of Land-Use and Land-Cover Change: A Review. Annals of the Association of American Geographers. 93(2): p. 314-337.

29- Subedi, P., K. Subedi, and B. Thapa. 2013. Application of a Hybrid Cellular Automaton – Markov (CA-Markov) Model in Land-Use Change Prediction: A Case Study of Saddle Creek Drainage Basin, Florida. Applied Ecology and Environmental Sciences. 1(6): p. 126-132.

30- Vannier, C., A. Bierry, P. Y. Longaretti, B. Nettier, Th. Cordonnier, etal. 2019. Co-constructing future land-use scenarios for the Grenoble region, France. Landscape and UrbanPlanning, Elsevier, 190, pp.103614.

www.Paven.ir

31- Zhou, Y. and W. Li. 2011. A review of regional groundwater flow modeling. Geoscience Frontiers, 2(2): p. 205-214.