

## تغییرات کاربری اراضی و ارتباط آن با سطح آب‌های زیرزمینی و مخاطرات آن (مطالعه موردی: شهرستان ملارد)

موسی عابدینی\*

استاد گروه ژئومورفولوژی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

مریم محمدزاده شیشه‌گران

دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۳۰ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۳/۲۵)

### چکیده

آب‌های زیرزمینی مهم‌ترین منبع آب شیرین جهان هستند. آگاهی از تغییرات عمق آب به‌منظور شناخت وضعیت سفره‌های آب زیرزمینی و مدیریت بهینه آن ضرورت دارد. یکی از کاربردهای سنجش از دور، تعیین تغییرات کاربری اراضی در طولانی‌مدت است. هدف اصلی این پژوهش بررسی سطح آب‌های زیرزمینی با استفاده از علم سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی و رابطه آن با کاربری اراضی است. به این منظور ابتدا تصاویر مربوط اخذ و پیش‌پردازش‌های لازم روی هر کدام اعمال شد. سپس مدل‌سازی و طبقه‌بندی تصاویر صورت گرفت. به‌منظور بررسی تغییرات کاربری اراضی، نقشه طبقه‌بندی‌شده کاربری اراضی برای هر دو سال ۲۰۰۰ و ۲۰۲۰ با استفاده از روش طبقه‌بندی شیء-گرا استفاده شد و سپس به‌منظور بررسی تغییرات کاربری اراضی، نقشه تغییرات کاربری اراضی برای دوره زمانی بیست‌ساله استخراج شد. بعد از استخراج نقشه تغییرات کاربری اراضی به‌منظور انتخاب بهترین مدل، برای سال ۲۰۰۰ روش دایره‌ای و برای سال ۲۰۲۰ مدل گوسین دقیق‌ترین روش‌ها شناخته شدند. نتایج نشان داد که نقشه کاربری سال ۲۰۲۰ کلاس مرتع دارای بیشترین مساحت بوده است. با نگاهی به کاربری‌های دو سال نتایج به‌دست‌آمده تفاوت چشمگیری را نشان می‌دهد. کاربری باغ‌ها کاهش چشمگیری داشته است که این موضوع نشان‌دهنده نبود مدیریت و قطع درختان و از بین بردن جنگل‌ها و باغ‌ها و تبدیل آنها به مناطق مسکونی و کشاورزی و ... است، همچنین کاربری منطقه مسکونی در سال ۲۰۰۰ از ۴۲۱۸۷ به ۶۹۱۶۴ افزایش پیدا کرد. با انطباق نقشه کاربری اراضی بر نقشه سطح آب زیرزمینی، بیشترین میانگین عمق آب در سال ۲۰۰۰ برای کاربری کشاورزی با ۶۴/۵۰ متر و کمترین میانگین عمق آب برای کاربری باغ با ۲۶ متر ثبت شد. با ملاحظه نقشه کاربری اراضی و نقشه تراز آب زیرزمینی سال ۲۰۲۰، بیشترین میانگین عمق آب در این سال نیز متعلق به کاربری کشاورزی با ۶۱/۱۹ متر و کمترین میانگین عمق آب مربوط به کاربری خاک با ۲۸ متر است. کاهش سطح آب موجب تسریع تخریب این منابع طبیعی شده که مخاطرات هولناکی در پی خواهد داشت که از مهم‌ترین آنها می‌توان به فرونشست زمین اشاره کرد.

**واژه‌های کلیدی:** تصاویر ماهواره‌اندست، روش‌های زمین‌آمار، سطح آب زیرزمینی، شهرستان ملارد، طبقه‌بندی شیء-گرا، مخاطرات.

## مقدمه

رمز بقا و توسعه پایدار اقتصادی در هر منطقه وجود آب است. در ایران با توجه به شرایط خاص جغرافیایی و اقلیمی، آب زیرزمینی از مهم‌ترین منابع تأمین‌کننده نیاز آب مصارف کشاورزی، شرب و صنعت محسوب می‌شود. از این رو شناخت منابع آب به‌خصوص آب زیرزمینی موجب مدیریت صحیح مصرف و حفظ این منابع پرارزش می‌شود [۴]. از طرف دیگر تغییر کاربری اراضی به‌صورت غیراصولی از مهم‌ترین معضلات امروزی کشور است، چراکه تغییر بیشتر کاربری‌ها بدون برنامه‌ریزی و لحاظ محدودیت‌های زیست‌محیطی صورت می‌گیرد [۵]. این تغییرات بر منابع آب زیرزمینی مؤثر است و کمیت و کیفیت آب‌های زیرزمینی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. از آنجا که کاربری اراضی تبیین‌کننده تأثیرگذاری‌های بشر است، امروزه نگرانی در زمینه تغییرات محیطی جهانی فزونی گرفته و هشدارها در مورد اهمیت موضوعات مرتبط با کاربری اراضی و تغییرات زمانی آن رو به افزایش نهاده است. تشخیص درست و به‌موقع این تغییرات برای درک رابطه و تقابل انسان و پدیده‌های طبیعی به‌منظور تصمیم‌گیری مناسب بسیار اهمیت دارد [۱۶]. مدیریت بهینه منابع طبیعی هر منطقه نیازمند درک تأثیر تغییرات کاربری پوشش زمین بر چرخه هیدرولوژیکی آب‌های آن منطقه است [۸]. همچنین آگاهی از تغییرات تراز آب به‌منظور شناخت وضعیت سفره‌های آب زیرزمینی و مدیریت بهینه آنها ضروری است. ارزیابی نوسان‌های سطح آب زیرزمینی در مدیریت منابع آب کاربرد دارد [۶].

مدیران منابع آب همواره با وظیفه دشوار تأمین نیاز فزاینده به آب سالم مواجه‌اند. این درحالی است که ذخایر آب ثابت بوده و در برخی مواقع رو به کاهش است. آب‌های زیرزمینی به‌طور معمول به‌عنوان منابع مناسب و در دسترس برای تأمین نیازهای آبی، به‌ویژه در طول دوره‌های خشکسالی بهره‌برداری شده‌اند [۱۴]. استفاده از روش‌های سنتی برای بررسی وضعیت کمی و کیفی سفره‌های آب زیرزمینی زمان‌بر و هزینه‌بر است. از این رو روش‌های زمین‌آماری با توجه به توانمندی‌هایی همچون کاهش تعداد نمونه‌برداری، کاربرد توأم و ارائه برآوردهای دقیق‌تر از وضعیت مکانی متغیرها، می‌توانند موجب کاهش هزینه‌ها و افزایش دقت برآوردها شوند [۱۳].

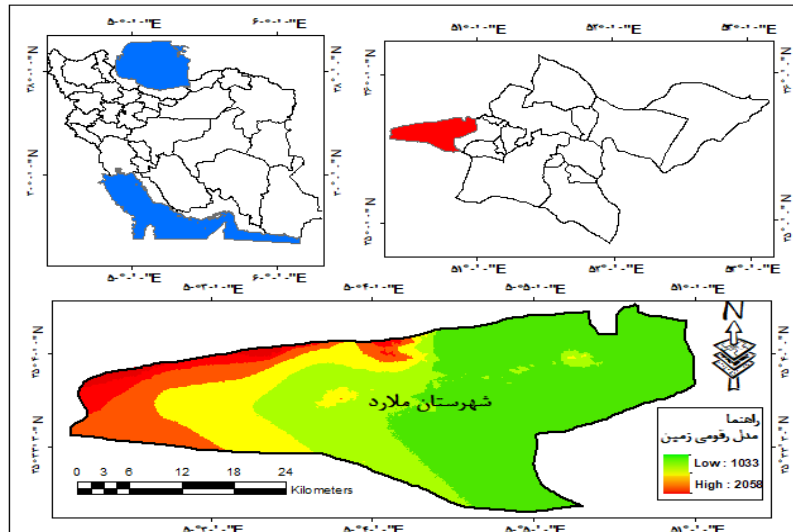
اصغری و همکاران (۱۴۰۰) در بررسی تغییرات کاربری اراضی و ارتباط آن با سطح آب زیرزمینی دشت اردبیل با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و روش‌های زمین‌آماری نتیجه گرفتند که بیشترین تغییرات کاربری مربوط به تبدیل کاربری مرتع به کشاورزی آبی و مرتع به کشاورزی دیم است. براساس پژوهش آنها، کاربری آب در سال‌های ۱۳۶۶ و ۱۳۹۴ بیشترین افت تراز آب را

داشته که علت آن را می‌توان برداشت بیش از حد از آب‌های زیرزمینی برای محصولات دانست که نیاز بیشتری به آبیاری دارند [۳]. اصغری و محمدزاده شیشه‌گران (۱۴۰۰) به بررسی ارتباط کاربری اراضی بر افت تراز آب زیرزمینی دشت آذرشهر در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ پرداختند. یافته‌های آنان نشان داد که بیشترین تغییرات مربوط به تبدیل کاربری باغ‌ها به منطقه مسکونی، تبدیل کاربری باغ‌ها به مرتع و تبدیل مرتع به منطقه مسکونی است. آنان با استفاده از نقشه کاربری اراضی و نقشه تراز آب زیرزمینی سال ۲۰۲۰ دریافتند که بیشترین میانگین تراز آب در این سال متعلق به کاربری منطقه ساحلی با ۹/۳۸ متر و کمترین میانگین مربوط به کاربری باغ با ۶/۶۵ متر است [۲]. نیکزاد و همکاران (۱۳۹۷) تغییرات زمانی و مکانی سطح ایستابی آبخوان دشت بیستون استان کرمانشاه را با روش‌های زمین‌آماری تخمین زدند. آنان از سال ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۴ در سمت جنوب غربی شهرستان حدود ۲۲ متر و در قسمت مرکزی دشت دست کم ۵ متر افت تراز را برآورد کردند [۷]. اسکندری دامنه و همکاران (۱۳۹۸) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و زمین‌آمار به ارزیابی تأثیر تغییرات کاربری اراضی بر کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت زرنند پرداختند. آنان به منظور بررسی روند تغییرات کاربری اراضی از تصاویر ماهواره‌ای لندست سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۵ و برای مقایسه مدل پردازش شده از ریشه میانگین مربعات و ضریب همبستگی استفاده کردند. نتایج نشان داد که در طی سال‌های پژوهش، با افزایش مساحت کاربری‌های شهری و کشاورزی، افزایش ۱۳ درصدی تخریب آب زیرزمینی رخ داد [۱]. گولر و همکاران (۲۰۱۳) در پژوهشی برای ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی به آلودگی منابع انتشاری ناحیه ساحلی مدیترانه‌ای ترکیه تحت کاربری‌های نامناسب با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون دریافتند که همبستگی معناداری بین غلظت نترات و فاصله از نوع پوشش و کاربری زمین‌های تعیین‌شده باغ مرکبات، مزارع، مجموعه‌های صنعتی و مجموعه‌های مسکونی وجود دارد [۱۲]. رنجان و همکاران (۲۰۱۷) نشان دادند که مناطقی از آبخوان حوضه رودخانه والاو سربلانکا که آسیب‌پذیری خیلی زیادی دارد، دارای عمق کم آب زیرزمینی، شیب بسیار کم و رسوبات آبرفتی است و الگوی کاربری اراضی (مقدار کوددهی و نوع کاربری) از آسیب‌پذیری و آلودگی آب‌های زیرزمینی تبعیت می‌کند [۱۸]. ری و کوماری (۲۰۱۲) با بررسی اثر تغییرات و نوع کاربری اراضی نواحی شهری و روستایی بر آلودگی آب‌های زیرزمینی دهلی هند دریافتند که حذف کاربری‌های صنعتی و کشاورزی و مناطق نیازمند آبیاری زیاد، سبب کاهش آلودگی بسیار زیاد آب‌های زیرزمینی و تغییرات کاربری اراضی کشاورزی و صنعتی و مسکونی با استفاده از کودهای شیمیایی محدود می‌شود [۱۷].

هدف این پژوهش، استخراج نقشه کاربری اراضی با روش شیء‌گرا و با استفاده از الگوریتم‌های مختلف و کاربرد نرم‌افزار اِکَگنیشن برای سال ۲۰۰۰ TM و ۲۰۲۰ OLI و بررسی و پایش تغییرات کاربری اراضی و ارتباط آن با سطح آبهای زیرزمینی براساس مقایسه روش‌های مختلف زمین‌آماری دشت ملارد است.

### منطقه پژوهش

شهرستان ملارد در غرب استان تهران واقع شده و با جمعیتی بالغ بر ۴۰۰ هزار نفر یکی از شانزده شهرستان استان تهران است که از غرب و شمال با استان البرز، از جنوب با استان مرکزی و از شرق با شهرستان شهریار مرز مشترک دارد و فاصله آن تا مرکز استان ۵۰ کیلومتر است. این شهرستان تا سال ۱۳۸۸ در تقسیمات کشوری از بخش‌های شهرستان شهریار محسوب می‌شد، اما در این سال براساس مصوبه هیأت دولت، با انتزاع از شهریار به شهرستانی مستقل ارتقا یافت. این شهرستان دارای دو بخش مرکزی و صفادشت، دو شهر به نام‌های ملارد و صفادشت، و چهار دهستان به نام‌های ملارد شمالی، ملارد جنوبی، بی‌بی سکینه و اخترآباد است (شکل ۱).



شکل ۱. نقشه محدوده پژوهش و موقعیت جغرافیایی شهرستان ملارد در استان تهران و کشور (نگارندگان، ۱۴۰۰)

### مواد و روش‌ها

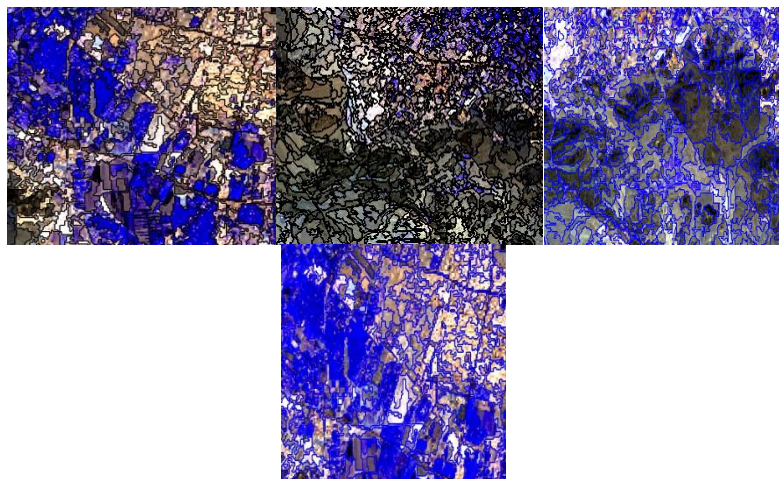
در این پژوهش از سری تصاویر ماهواره‌ی لندست برای سال ۲۰۲۰ از تصویر ماهواره‌ی لندست ۸ سنجنده‌ی OLI به‌منظور استخراج نقشه‌ی کاربری اراضی استفاده شد. همچنین برای سال ۲۰۰۰ از تصویر سنجنده‌ی TM لندست ۵ به‌منظور تهیه‌ی نقشه‌ی کاربری اراضی با استفاده از باندهای مرئی و مادون‌قرمز استفاده شد (جدول ۱).

جدول ۱. مشخصات تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵ و ۸ دشت ملارد (نگارندگان، ۱۴۰۰)

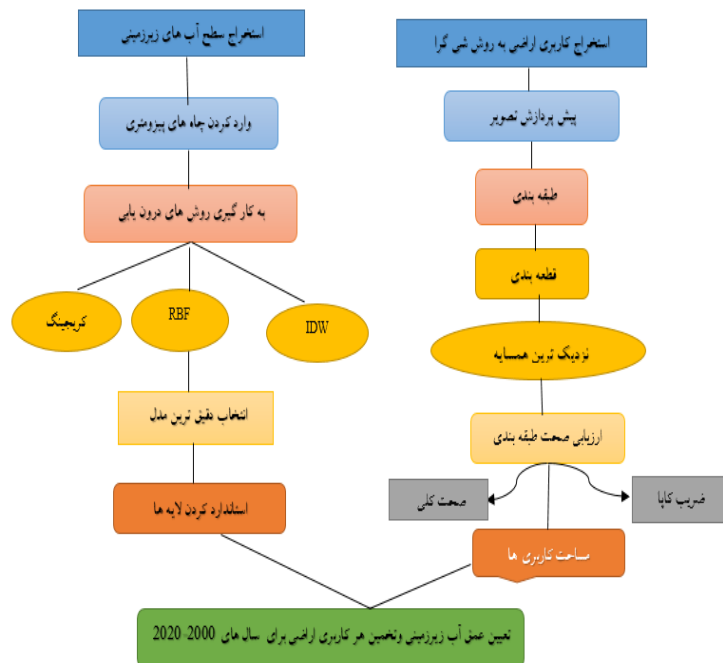
SCENE	CENTER TIME	SUN AZIMUTH	ROW	PATH	Sensor name	Year
07:14:15		129.96034027	35	165	LANDSAT_TM	2020-08-09
07:30:05		129.96034027	35	165	LANDSAT_OLI	2000-07-13

همچنین از داده‌های عمق آب‌های زیرزمینی چاه پیژومتر در دشت ملارد استفاده شد. دامنه‌ی زمانی داده‌ها از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ بود. بعد از پس‌پردازش آماری چاه‌های پیژومتری برای حذف نقص در داده‌های مطالعاتی از روش نرمال‌سازی داده‌ها استفاده شد. روش نرمال‌سازی استفاده‌شده صرفاً برای رفع کاستی داده‌ها، روش درون‌یابی است که توسط نرم‌افزار Neural Power (برمبنای شبکه‌ی عصبی مصنوعی) انجام گرفت. برای نرمال‌سازی داده‌ها از تبدیل لگاریتمی در نرم‌افزار SPSS استفاده شد و برای تحلیل‌های زمین‌آماری از نرم‌افزار GS+ استفاده شد. به‌منظور تصحیحات اتمسفری، رادیومتریکی و هندسی از نرم‌افزار ENVI5.3 و روش‌های رادیانس و فلش و برای تهیه‌ی نقشه‌های مورد نظر از نرم‌افزار GIS10.5 استفاده شد. طبقه‌بندی کاربری اراضی به‌کمک روش طبقه‌بندی شیء‌گرا در نرم‌افزار eCognition Developer64 و الگوریتم درخت تصمیم‌گیری انجام گرفت. در روش طبقه‌بندی شیء‌گرا، اطلاعات طیفی با اطلاعات مکانی ادغام و پیکسل‌ها براساس شکل، بافت و تن خاکستری در سطح تصویر با مقیاس مشخص، طبقه‌بندی می‌شود و طبقه‌بندی تصویر بر اساس این قطعه‌ها انجام می‌گیرد [۱۱]. پیکسل‌ها توسط الگوریتم‌های مختلف، در اندازه‌های گوناگون با نسبت‌های مختلف طیفی و شکلی طبقه‌بندی و براساس ویژگی‌های طیفی و فضایی در قالب اشیای گوناگون دسته‌بندی شدند. در طی این فرایند، شیء‌های تصویری متناسب با همگن بودن یا ناهمگن بودن براساس پارامترهای مقیاس، رنگ، شکل، ضریب نرمی و شکل فشردگی ایجاد شدند (شکل ۲). سپس با آزمون و خطا بهترین اندازه که نشان‌دهنده‌ی اشیایی با ابعاد مختلف است تعیین شد. بعد از مشخص کردن تعداد کلاس‌های لازم در طبقه‌بندی، شیء‌های نمونه‌های آموزشی تعیین و در نرم‌افزار بر سطح تصویر

اعمال شد. سپس طبقه‌بندی با استفاده از نزدیک‌ترین همسایه و روش درخت تصمیم‌گیری صورت گرفت. پارامتر مقیاس در این پژوهش ۲ و معیار همگنی و فشردگی نیز ۰/۵ لحاظ شد. لازمه استفاده از هر نوع اطلاعات موضوعی، آگاهی از میزان صحت و درستی آن است [۱۱]. صحت داده‌های واقعی زمینی براساس گوگل ارث ارزیابی شد. به همین منظور برای ارزیابی دقت طبقه‌بندی، به محاسبه دقت کاربر، صحت کلی و ضریب کاپا پرداخته شد. صحت کلی برابر با نسبت تعداد پیکسل‌های درست طبقه‌بندی‌شده یک طبقه به کل پیکسل‌های درست طبقه‌بندی‌شده در همه طبقات است. ماتریس خطا میزان تطابق هر کلاس طبقه‌بندی‌شده را با واقعیت زمینی نشان می‌دهد و در آن می‌توان میزان قرار گرفتن اشتباهی یک طبقه را در طبقات دیگر مشاهده کرد. قطر ماتریس خطا درصد کلاس‌های درست طبقه‌بندی‌شده و دیگر سلول‌های آن میزان خطای کمسیون (ردیف هر طبقه در ماتریس خطا) و خطای امیسیون (ستون هر طبقه در ماتریس خطا) را نشان می‌دهد. ضریب کاپا نیز تشریح‌کننده میزان تطابق بین نتایج طبقه‌بندی و واقعیت زمینی است با توجه به این نکته که تطابق‌های اتفاقی به‌وجود آمده از ملاحظات حذف می‌شوند، دقت طبقه‌بندی در سال ۲۰۰۰ دارای صحت کلی ۰/۹۱ و ضریب کاپا ۰/۸۹ است؛ اما طبقه‌بندی در سال ۲۰۲۰ با صحت کلی ۹۴ درصد و ضریب کاپای ۰/۹۲ به نسبت دقت کمتری را ارائه داده است (شکل ۲).



شکل ۲. نمونه تصاویر قطعه‌بندی‌شده ملارد (مقیاس: ۱۰۰، ۵۰، ۲۰، ۶۰ ضریب فشردگی ۰/۵)



شکل ۳. مراحل اجرا

روش‌های استفاده‌شده در این پژوهش به‌منظور درون‌یابی داده‌های عمق آب زیرزمینی شامل مدل‌های جبری و زمین‌آماری به‌شرح زیر بوده است:

#### کریجینگ

کریجینگ نوعی روش تخمین مبتنی بر منطق میانگین متحرک وزن‌دار است و بهترین تخمینگر نارایی‌شناس می‌شود. این تخمینگر به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^n [z(x_i) - z(x_i + h)]^2 \quad (1)$$

در این رابطه  $\gamma(h)$  مقدار نیم‌تغییرنا برای جفت نقاطی است که به فاصله  $h$  از هم قرار دارند؛  $n(h)$  تعداد زوج نقاطی است که به فاصله  $h$  از هم قرار دارند؛  $z(x_i)$  مقدار مشاهده‌ای متغیر  $x$  در موقعیت  $i$  و  $z(x_i + h)$  مقدار مشاهده‌ای متغیر در فاصله  $h$  از  $x_i$  است. تخمینگر کریجینگ از مهم‌ترین تخمینگرهای نارایی‌شناس است زیرا بدون خطای سیستماتیک است و

واریانس تخمین آن نیز حداقل است. لازمه برقراری شرط اول، صفر بودن میانگین خطای تخمین است [۱۵].

معیارهای اعتبارسنجی به شرح زیر است:

۱. میانگین خطای اریب (MBE) که از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$MBE = \frac{1}{N_v} \sum_{i=1}^{N_v} [z(x_i) - \hat{z}(x_i)] \quad (2)$$

۲. ریشه دوم میانگین مربعات خطا (RMSE) که هرچه کمتر باشد، نشان‌دهنده خطای کمتر مدل بوده و فرمول عمومی آن به صورت زیر است:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{N_v} (z(x_i) - \hat{z}(x_i))^2} \quad (3)$$

$z(x_i)$  مقدار برآوردی متغیر در  $x_i$ ؛  $\hat{z}(x_i)$  مقدار مشاهده‌ای متغیر در  $x_i$  و  $n$  تعداد نقاط با متغیر مشاهده‌ای است [۹].

MBE نشانگر میانگین انحراف مقدار برآوردی از مقدار مشاهده شده است که بی‌گمان هرچه کمتر باشد، بهتر است. این آماره ممکن است مثبت یا منفی باشد که اگر برآورد بیشتر صورت گرفته باشد، مثبت و برعکس، منفی خواهد شد [۱۹].

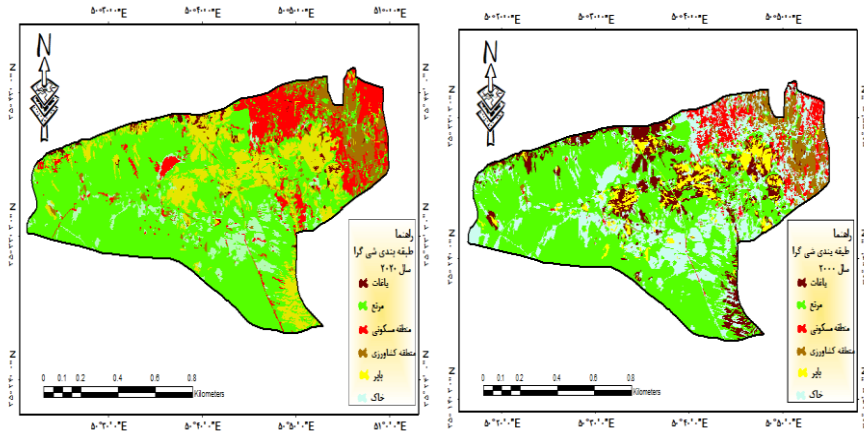
### یافته‌ها و بحث

در این پژوهش به منظور بررسی ارتباط کاربری اراضی و تغییرات آبهای زیرزمینی از سری تصاویر سنجنده OLI و TM ماهواره لندست استفاده شد. شکل‌های ۴ و ۵ نقشه کاربری اراضی مربوط به دوره‌های زمانی ۲۰۰۰ و ۲۰۲۰ را نمایش می‌دهد. مساحت هر یک از کاربری‌ها نیز در جدول ۲ برای هر سال نمایش داده شد.

جدول ۲. مساحت کاربری‌های اراضی در سال ۲۰۰۰ و ۲۰۲۰

نوع کلاس	۲۰۰۰ (هکتار)	۲۰۲۰ (هکتار)
باغ‌ها	۶۵۹۸۱	۲۲۵۶
بایر	۴۳۶۲۱	۶۸۱۹۴
مسکونی	۴۲۱۸۷	۶۹۱۶۴
کشاورزی	۶۴۳۹۶	۶۵۷۸۰
مرتع	۱۰۰۳۳۵	۱۵۱۵۵۶
خاک	۸۴۳۱۹	۴۰۷۸۸

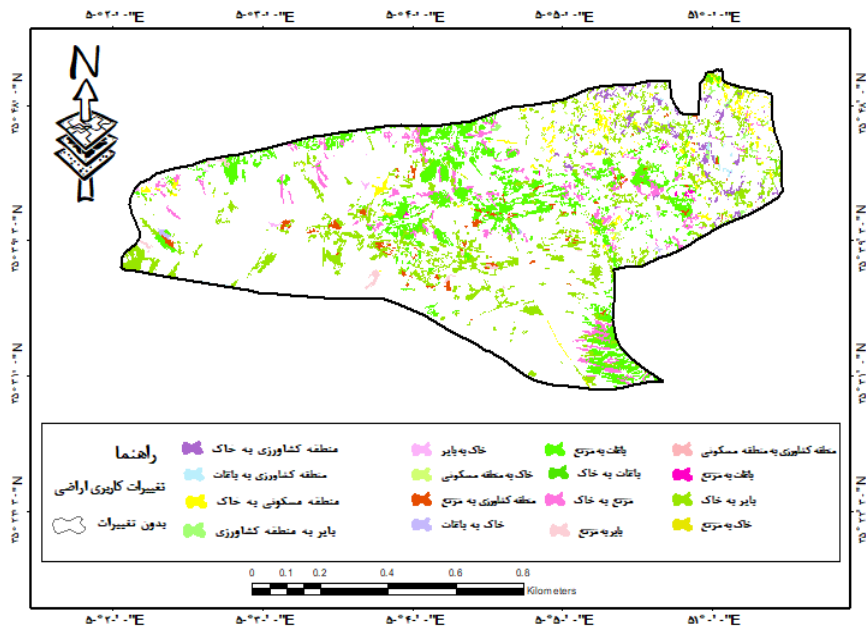




شکل ۴. نقشه طبقه‌بندی کاربری اراضی سال ۲۰۰۰

با توجه به جدول ۲ و شکل ۴ مشخص شد که بیشترین مساحت در سال ۲۰۰۰ مربوط به طبقه مرتع با مساحت ۱۰۰۳۳۵ هکتار است. کاربری خاک با ۸۴۳۱۹ هکتار مساحت در رتبه بعدی قرار دارد. کمترین مساحت نیز مربوط به طبقه منطقه مسکونی با مساحت ۴۲۱۸۷ هکتار است. برای نقشه کاربری سال ۲۰۲۰ طبقه مرتع با ۱۵۱۵۵۶ هکتار بیشترین مساحت را داشته و کاربری منطقه مسکونی با ۶۹۱۶۴ هکتار در رتبه بعدی قرار دارد. با نگاهی به کاربری‌های دو سال نتایج به‌دست‌آمده تفاوت چشمگیری را نشان می‌دهد. کاربری باغ‌ها از ۶۵۹۸۱ هکتار در سال ۲۰۰۰ به ۲۲۵۶ هکتار در سال ۲۰۲۰ کاهش چشمگیری دارد که این موضوع نشان‌دهنده نبود مدیریت و قطع درختان و از بین بردن جنگل‌ها و باغ‌ها و تبدیل آنها به مناطق مسکونی و کشاورزی و ... است. کاربری منطقه مسکونی نیز در سال ۲۰۰۰ از ۴۲۱۸۷ هکتار به ۶۹۱۶۴ هکتار افزایش پیدا کرد.

بعد از استخراج نقشه تغییرات کاربری اراضی به‌منظور انتخاب بهترین مدل درون‌یابی برای برآورد عمق سنجی از بین مدل‌های مختلف، RBF، IDW، و Kriging همه مدل‌ها ارزیابی شدند و تنها مدلی انتخاب شدند که دقتی بیش از مدل‌های دیگر داشتند. به‌منظور پایش عمق آب‌های زیرزمینی، نقشه عمق آب‌های زیرزمینی منطقه پژوهش برای هر دو سال با روش مدل‌های کریجینگ نتایج دقت زیادی را نشان می‌دهد. مدل دایره‌ای برای سال ۲۰۰۰ و مدل گوسین برای سال ۲۰۲۰ دقیق‌ترین روش‌ها شناخته شدند (جدول ۳).



شکل ۵. تغییرات کاربری اراضی شهرستان ملارد با استفاده از الگوریتم Change Detection Difference Map در دوره زمانی بیست ساله

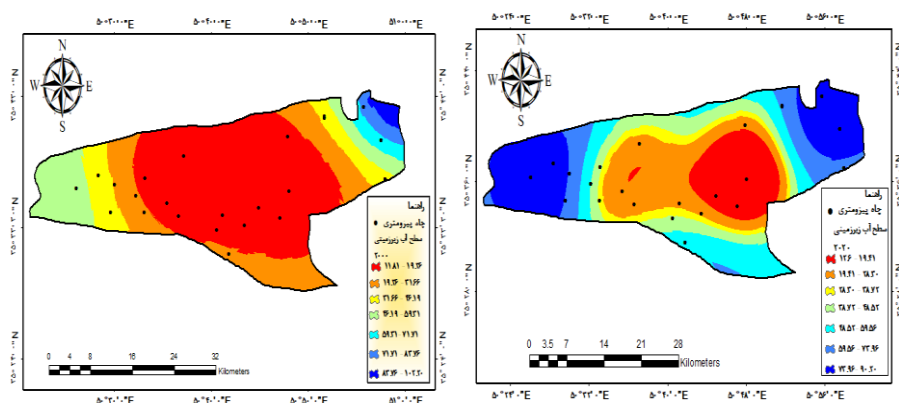
جدول ۳. آماره‌های RMSE و ME در روش‌های مختلف درون‌یابی دشت ملارد برای سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۲۰

روش زمین‌آمار	سال	مدل واریوگرام	ریشه دوم میانگین مربع خطا	ME
کریجینگ	۲۰۰۰	دایره‌ای	۰/۰۵۴۷	۰/۰۰۰۳
	۲۰۲۰	دایره‌ای	۰/۱۱۷۹۳	-۰/۰۰۵۷
	۲۰۰۰	گوسین	۰/۱۰۳۹	-۰/۰۰۰۰
	۲۰۲۰	گوسین	۰/۰۶۳۸	-۰/۰۰۰۰
	۲۰۰۰	کا-بسل	۰/۱۳۰۵	۰/۰۰۰۱
	۲۰۲۰	کا-بسل	۰/۰۶۹۵	-۰/۰۰۴۴

نتایج اجرای هر سه مدل درون‌یابی در جدول ۳ آورده شده است. ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) نسبت به داده‌های پرت حساس است. کوچک‌تر بودن این شاخص‌ها دلیلی بر دقت بیشتر تخمین‌ها یا اختلاف کم بین مقادیر واقعی و مقادیر تخمین‌زده شده است. اطلاعات جدول ۳ نشان می‌دهد که با توجه به مقادیر ME و RMSE روش کریجینگ دقت بیشتری از

روش‌های دیگر دارد و از بین حالت‌های مختلف روش کریجینگ نیز مدل دایره‌ای برای سال ۲۰۰۰ و مدل گوسین برای سال ۲۰۲۰ بیشترین دقت را دارند. با استفاده از نرم‌افزار GS+ نیز مدل‌های مختلف روش کریجینگ تحلیل و ارزیابی شد (جدول ۴).

پس از انتخاب بهترین مدل درون‌یابی، نقشه درون‌یابی برای سال‌های ۲۰۲۰ و ۲۰۰۰ تهیه و نقشه حاصل از آنها استخراج شد (شکل ۶).



شکل ۶. نقشه درون‌یابی سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۲۰ دشت ملارد

جدول ۴. مشخصات آماری سطح آب زیرزمینی کاربری‌های دشت ملارد در سال‌های ۲۰۲۰ و ۲۰۰۰

کاربری سال ۲۰۲۰	حداقل عمق آب ۲۰۲۰ (m) سال	حداکثر عمق آب ۲۰۲۰ (m) سال	میانگین عمق آب ۲۰۲۰ (m) سال	کاربری سال ۲۰۰۰	حداقل عمق آب ۲۰۰۰ (m) سال	حداکثر عمق آب ۲۰۰۰ (m) سال	میانگین عمق آب ۲۰۰۰ (m) سال
باغ	۲۵/۹۹	۴۸/۷۷	۳۶/۱۰	باغات	۱۵/۱۳	۴۸/۶۶	۳۱/۰۵
بایر	۱۲/۳۲	۹۵/۰۵	۳۵/۰۵	بایر	۱۲/۸۹	۴۰/۱۹	۲۶
کشاورزی	۳۲/۲۰	۹۰/۲۰	۶۱/۱۹	کشاورزی	۲۵/۹۳	۱۰۰/۳۳	۶۴/۵۰
مرتع	۲۵/۰۹	۸۸/۴۵	۵۶/۶۰	مرتع	۱۹	۵۸/۳۸	۳۵/۲۹
منطقه مسکونی	۳۸/۷۰	۷۲/۳۹	۵۵/۳۴	منطقه مسکونی	۲۲/۵۱	۹۸/۴۵	۶۰/۸۱
خاک	۱۳/۸۷	۴۳/۰۲	۲۸	خاک	۱۱/۳۴	۵۹/۵۲	۳۵/۹۲

### تحلیل رابطه کاربری اراضی و عمق آب زیرزمینی

نقشه عمق آب زیرزمینی در جدول ۶ نشان داده شده است. بیشترین میانگین عمق آب در سال ۲۰۰۰ برای کاربری کشاورزی با ۶۴/۵۰ متر و کمترین میانگین عمق آب نیز برای کاربری بایر با ۲۶ متر ثبت شده است. براساس نقشه کاربری اراضی و نقشه عمق آب زیرزمینی سال ۲۰۲۰، بیشترین میانگین عمق آب در این سال نیز متعلق به کاربری کشاورزی با ۶۱/۱۹ متر و کمترین میانگین مربوط به کاربری خاک با ۲۸ متر است. با مقایسه عمق آب هر دو سال مربوط به منطقه پژوهش، استنباط می‌شود که میانگین عمق همه کاربری‌ها به جز کاربری مرتع در ۲۰ سال کاهش یافته که نشان‌دهنده وضعیت بحرانی آبهای زیرزمینی و استفاده بیش از حد از این منابع است. کاربری مرتع نه تنها کاهش نیافته، بلکه افزایش چشمگیری نیز داشته است.

### نتیجه‌گیری

اطلاع از نسبت کاربری‌ها و نحوه تغییرات آن در گذر زمان از مهم‌ترین موارد در برنامه‌ریزی و سیاستگذاری است. به همین دلیل در این پژوهش در اولین گام به طبقه‌بندی و سپس بررسی تغییرات حادث شده در یک دامنه زمانی مشخص در سطح دشت ملارد پرداخت شد. براساس نقشه کاربری سال ۲۰۲۰، کلاس مرتع با مساحت ۱۵۱۵۵۶ هکتار و بعد از آن کاربری منطقه مسکونی با ۶۹۱۶۴ دارای بیشترین مساحت بوده‌اند. با نگاهی به کاربری‌های دو سال، نتایج تفاوت چشمگیری را نشان می‌دهند، به طوری که کاربری باغ از ۶۵۹۸۱ هکتار در سال ۲۰۰۰ به ۲۲۵۶ هکتار در سال ۲۰۲۰ کاهش داشته است که این موضوع نشان‌دهنده نبود مدیریت و قطع درختان و از بین بردن جنگل‌ها و باغ‌ها و تبدیل آنها به مناطق مسکونی و کشاورزی و ... است. همچنین کاربری منطقه مسکونی در سال ۲۰۰۰ از ۴۲۱۸۷ هکتار به ۶۹۱۶۴ هکتار افزایش پیدا کرده است. با توجه به مقادیر جدول ۵، بهترین مدل برای پایش سطح تراز آب‌های زیرزمینی منطقه پژوهش با روش مدل‌های کریجینگ، مدل دایره‌ای برای سال ۲۰۰۰ و مدل گوسین برای سال ۲۰۲۰ بوده است. با انطباق نقشه کاربری اراضی بر نقشه سطح آب زیرزمینی، بیشترین میانگین عمق آب در سال ۲۰۰۰ برای کاربری کشاورزی با ۶۴/۵۰ متر و کمترین میانگین عمق آب نیز برای کاربری بایر با ۲۶ متر ثبت شد. با ملاحظه نقشه کاربری اراضی و نقشه تراز آب زیرزمینی سال ۲۰۲۰، بیشترین میانگین عمق آب در این سال نیز متعلق به کاربری کشاورزی با ۶۱/۱۹ متر و کمترین میانگین عمق آب مربوط به کاربری خاک با ۲۸ متر بوده است. با مقایسه عمق آب هر دو سال استنباط می‌شود که میانگین عمق همه کاربری‌ها به جز کاربری مرتع در ۲۰ سال کاهش یافته که نشان‌دهنده وضعیت بحرانی آبهای زیرزمینی و استفاده بیش از حد از این منابع است.

## منابع

- [۱]. اسکندری دامنه، حامد؛ خسروی، حسن؛ و ابوالحسنی، اعظم (۱۳۹۸). «ارزیابی تأثیر تغییرات کاربری اراضی بر کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت زرنند با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای زمین‌آمار»، *مخاطرات محیط طبیعی*، دوره ۸، شماره ۲۰، ص ۶۷-۸۲.
- [۲]. اصغری، صیاد؛ و محمدزاده شیشه‌گران، مریم (۱۴۰۰). «بررسی تغییرات کاربری اراضی و ارتباط آن با سطح آب‌های زیرزمینی مطالعه موردی: شهرستان آذرشهر»، *مطالعات علوم محیط زیست*، دوره ۶، شماره ۳، ص ۳۹-۳۹۱۳.
- [۳]. اصغری، صیاد؛ قلعه، احسان؛ و عبادی، الهام (۱۴۰۰). «بررسی تغییرات کاربری اراضی و ارتباط آن با سطح آب‌های زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت اردبیل)»، *سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع*، دوره ۱۲، شماره ۱، ص ۸۶-۱۰۶.
- [۴]. جواهریان امیر (۱۳۸۸). تخمین تغذیه آب زیرزمینی با استفاده از روش بیلان آب و زمین‌آمار (مطالعه موردی: آبخوان قائم‌شهر)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه زابل.
- [۵]. مخدوم مجید (۱۳۹۱). *شالوده آمایش سرزمین*، تهران: انتشارات دانشگاه تهران.
- [۶]. نادریان فر محمد؛ انصاری، حسین؛ ضیایی، علی‌نقی؛ و داوری کامران (۱۳۹۰). «بررسی روند تغییرات نوسانات سطح آب زیرزمینی در حوضه آبریز نیشابور تحت شرایط اقلیمی مختلف، مهندسی آبیاری و آب/ایران، دوره ۱، شماره ۳، ص ۲۲-۳۷.
- [۷]. نیکزاد مینا؛ جلیلی خلیل؛ مرادی حمیدرضا (۱۳۹۷). «برآورد تغییرات زمانی و مکانی سطح ایستابی آبخوان دشت بیستون استان کرمانشاه با روش‌های زمین‌آمار»، *مهندسی آبیاری و آب/ایران*، دوره ۸، شماره ۴، ص ۷۹-۹۹.
- [8]. Bridget, R.; Scanlon, B.; Reedy, R.; Tonestromw, D.; Prudicz, D.; & Dennehy, K., (2005). "Impact of land use and land cover change on groundwater recharge and quality in the southwestern US", *Global Change Biology*. 11, pp: 1577-1593.
- [9]. Di Piazza, F.; Lo Conti, L.V.; Noto, F.; Viola, G.; & La Loggia, C. (2011). "Comparative analysis of different techniques for spatial interpolation of rainfall data to create a serially complete monthly time series of precipitation for Sicily, Italy", *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 13, pp: 396-408.
- [10]. Esfandyari Darabad, F.; Alijahan, M.; & Rahimi, M. (2014). "Evaluation of algebraic and statistical models in estimating the spatial distribution of Ardabil plain water table", *Journal of Quantitative Geomorphological Researches*, 3 (2). pp: 46-62. [In Persian].

- [11]. Faizizadeh, B.; & Hilali, H. (2010). "Comparison of base pixel, object-oriented and effective parameters in land use coverage classification in West Azarbaijan Province", *Geographical Research Journal*, 71, pp: 73-84. [In Persian].
- [12]. Guler, C.; Kurt, M. A.; & Korkut, R. N., (2013). "Assessment of groundwater vulnerability to nonpoint source Pollution in a Mediterranean coastal zone (Mersin Turkey) under conflicting Land use practices", *Ocean & Coastal Management*, 71: 141-152.
- [13]. Jahanshahi, A.; Roohi Moghadam, A.; & Dehvari, A. (2014). "Evaluation of groundwater quality parameters using gis and land statistics (Case study: Aquifer in shahrabak Plain)", *Water and Soil Journal*, 24 (2), pp: 197-183. [In Persian].
- [14]. Jones, D.; Jones, N.; Greer, J.; & Nelson, J. (2015). "A cloud-based MODFLOW service for aquifer management decision support", *Computers & Geosciences*, 78, pp: 81-87.
- [15]. Krivoruchko, K. (2011). *Spatial Statically Data Analysis for GIS Users*, Esri Press: Redlands, CA, 928 P.
- [16]. Lu, D.; Mausel, P.; Brondi'zio, E.; & Moran, E. (2004). "Change Detection Techniques", *International Journal of Remote Sensing*, 25(12), pp: 2365-2407.
- [17]. Rai, S. C.; & Kumari, P. (2012). "Assessment of groundwater contamination from landuse /cover change in rural-urban fringe of national capital territory of Delhi (India)", *Geography*, 8(2), pp: 31-46.
- [18]. Ranjan, P.; Das, G.A.; Kazama, S.; & Sawamoto, M. (2007). "Assessment of aquifer- land use composite vulnerability in Walawe river basin, Sri Lanka", *Asian Journal of water, Environment and Pollution*, 4 (2), pp: 1-10.
- [19]. Saghafian, B.; Danesh kar arasteh, P.; Rahimi Bandarabadi, S.; Fattahi, E.; & Mohammadzadeh, M. (2010). "Draft guide climatic factors using methods of spatial distribution data point", *Ministry of Energy and Water Affairs Office engineering and technical standards*, 12, pp: 368-381.
- [20]. Taghizadeh Mehrjardi, R.; Zareian Jahromi, M.; Mahmoodi, S.; Heidari, A.; & Sarmadian, F. (2009). "Investigation of interpolation methods to determine spatial distribution of groundwater quality in rafsanzan", *Journal of Watershed Management Science*, 2(5), pp: 63-70. [In Persian].