

تخمین آب قابل برگشت کشاورزی به آبخوان با استفاده از تکنیکهای سنجش از دور (مطالعه موردی: دشت کاشمر)

سجاد آخرتی^۱، علی عباسی^{۲*}، میثم مجیدی خلیل‌آباد^۳

۱- کارشناس ارشد مدیریت منابع آب، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد

۳- استادیار مجتمع آموزش عالی کاشمر

چکیده

هر در مناطق خشک و نیمه‌خشک از قبیل کشور ایران، منابع آب زیرزمینی از اهمیت خاصی برخوردار است. در روشهای مرسوم، میزان برداشت از آبخوان بر اساس اندازه‌گیری و بازدید میدانی و بصورت اندازه‌گیری مستقیم تخمین زده می‌شود. این روش علاوه بر زمان‌بر بودن، هزینه زیادی برای متولیان دارد. در این تحقیق سعی شده است از روش‌های غیر مستقیم اندازه‌گیری که با استفاده از اطلاعات در دسترس سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای رایگان بدست می‌آیند، استفاده شود. در خصوص تخمین آب کشاورزی قابل برگشت به آبخوان در دشت کاشمر از ۳۶ تصویر ماهواره لندست ۸ در سالهای آبی ۱۳۹۶-۱۳۹۵، ۱۳۹۷-۱۳۹۶ و ۱۳۹۸-۱۳۹۷ استفاده گردید و با استفاده از الگوریتم سبال تبخیر و تعرق سالانه زمین‌های کشاورزی آبی بدست آمد. راندمان آبیاری دشت، به صورت نسبت آب خالص مورد نیاز گیاه (تبخیر و تعرق واقعی) به کل آب استحصال شده توسط کنتورهای هوشمند تعریف شد که متوسط آن برای سه سال مدنظر ۸۱٪ برآورد گردید. مقدار راندمان دشت، بیانگر آن است که ۱۹٪ از میزان آب برداشتی از منابع قابلیت برگشت به منابع آب را دارند که در مقایسه با مقدار پیش‌فرض در مطالعات بیلان (حدود ۲۵ درصد) نشان دهنده فشار زیاد بر منابع آب زیرزمینی دشت کاشمر می‌باشد.

کلمات کلیدی: آب کشاورزی تجدید پذیر، الگوریتم سبال، لندست، راندمان آبیاری، دشت کاشمر.

۱. مقدمه

افزایش برداشت از چاهها، بویژه در مناطق ممنوعه و بحرانی، به مرور باعث کاهش سطح آب زیرزمینی می‌شود. این امر سبب می‌شود که به حقوق سایر بهره‌برداران لطمه وارد شده و با بحرانی‌تر شدن شرایط، این مناطق به مناطق ممنوعه بحرانی تبدیل شوند. در صورتی که بهره‌برداری‌ها و به دنبال آن بیلان منفی دشت ادامه داشته باشد، منجر به خالی شدن کامل آبخوان می‌شود و در نتیجه، کلیه سرمایه‌گذاری‌ها و امکانات معیشتی از بین رفته و مشکلات زیست محیطی زیادی را به دنبال خواهد آورد (نژاد ملایری، ۱۳۹۳).

در سالهای اخیر مدیریت منابع آب زیرزمینی با چالشهای جدی مواجه بوده است. برداشتهای بیش از حد، خشکسالی، کاهش بارندگی، عدم بهره‌برداری درست از منابع آب محدود و تغییرات اقلیمی از عواملی هستند که باعث به وجود آوردن شرایط بحرانی فعلی شده‌اند. لذا اولین راهکار برای مدیریت بحران ایجاد شده برای منابع آب زیرزمینی، تخمین میزان برداشت از منابع آب زیرزمینی و اتخاذ روشهایی برای کنترل میزان بهره‌برداری (برداشتها) از آن می‌باشد. عدم وجود آمار

* Corresponding author: aabbasi@um.ac.ir

دقیق و قابل اطمینان در خصوص حجم تخلیه از آبخوان‌ها و میزان مصرف آب در بخش‌های گوناگون از مشکلات مهم برنامه‌ریزان و مدیران در حوزه آب کشور است (جیکمن و دیگران، ۲۰۱۶).

شرایط اقلیمی از یک سو و برداشت‌های بیش از حد از منابع آب سطحی و زیرزمینی، کمیابی آب را رقم زده است. فارغ از علل و ریشه‌های مختلف موضوع، تکیه بر علم و فناوری و عدم اخذ تصمیم‌های مبتنی بر سعی و خطا، می‌تواند شدت بروز بحران آب را تعدیل نموده و عبور امن از آن را سهل‌تر نماید. مدیریت منابع آب به عنوان راه‌حلی پیشرو، نیاز به فهم بهتر و دانستن مجموعه پیچیده تعاملات مرتبط با آب در بیلان آب یک حوضه دارد. تعیین اجزای بیلان آب در حوضه یکی از راهکارهای موثر در مدیریت منابع آب است و یکی از عوامل مهم در چرخه هیدرولوژیکی فرآیند تبخیر و تعرق و مصارف آب در بخش کشاورزی است (باستیانسن و دیگران، ۲۰۰۵). با تخمین مقدار مصرف آب در حوضه و مقایسه آن با میزان واقعی برداشت، می‌توان شرایط حوضه را از جهت برداشت‌های مجاز و یا غیرمجاز ارزیابی نموده و سیاست‌های مدیریتی مناسب را انتخاب نمود. در حال حاضر، اطلاعات مورد نیاز برای تصمیم‌گیری و مدیریت منابع آب در سطح حوضه‌های آبریز کشور، عمدتاً از طریق مطالعات معمول بیلان آب حاصل می‌شود که در بازه‌های زمانی هر پنج سال و به صورت کتابخانه‌ای و با اتکا به اطلاعات ایستگاهی (نقطه‌ای) تهیه می‌شود. هرچند دستورالعمل محاسبات بیلان بیش از دو دهه پیش در ایران تهیه شده است، اما به ندرت در محاسبات بیلان مورد استفاده قرار می‌گیرد. ابهامات اصلی در محاسبات معمول بیلان آب را می‌توان شامل عدم شناخت دقیق مصارف آب با توجه به توسعه‌های مختلف شهری، صنعتی و کشاورزی، عدم اطلاع دقیق از توزیع مکانی تبخیر و تعرق در سطح حوضه به عنوان تأثیر گذارترین عامل بیلان، عدم اطلاع از وضعیت پراکندگی بارش در سطح کل حوضه و عدم اطلاع از آب برگشتی کشاورزی دانست که منجر به فرآیند سعی و خطا در محاسبات بیلان می‌گردد.

تبخیر و تعرق به عنوان یکی از اصلی‌ترین اجزای معادله بیلان آب و دومین مؤلفه مهم بعد از بارش در چرخه هیدرولوژیکی محسوب می‌گردد. تبخیر و یا تبخیر و تعرق در عین حال که از مهم‌ترین مؤلفه‌های بیلان آب است، از پیچیده‌ترین آنها نیز محسوب می‌شود، به طوری که اغلب در محاسبات معمول بیلان، اندک خطایی در محاسبه تبخیر، محاسبات بیلان آب حوضه را تحت تأثیر زیادی قرار می‌دهد. میزان تبخیر و تعرق تابعی از توپوگرافی، اقلیم، نوع پوشش گیاهی، نوع کاربری زمین، خصوصیات خاک و محدودیت‌ها و قیود موجود در مدیریت و محیط بوده و همین امر موجب شده تا نتوان تبخیر و تعرق را به آسانی مانند دیگر عوامل بصورت مقدار کمی بیان کرد (آلن و دیگران، ۲۰۰۲).

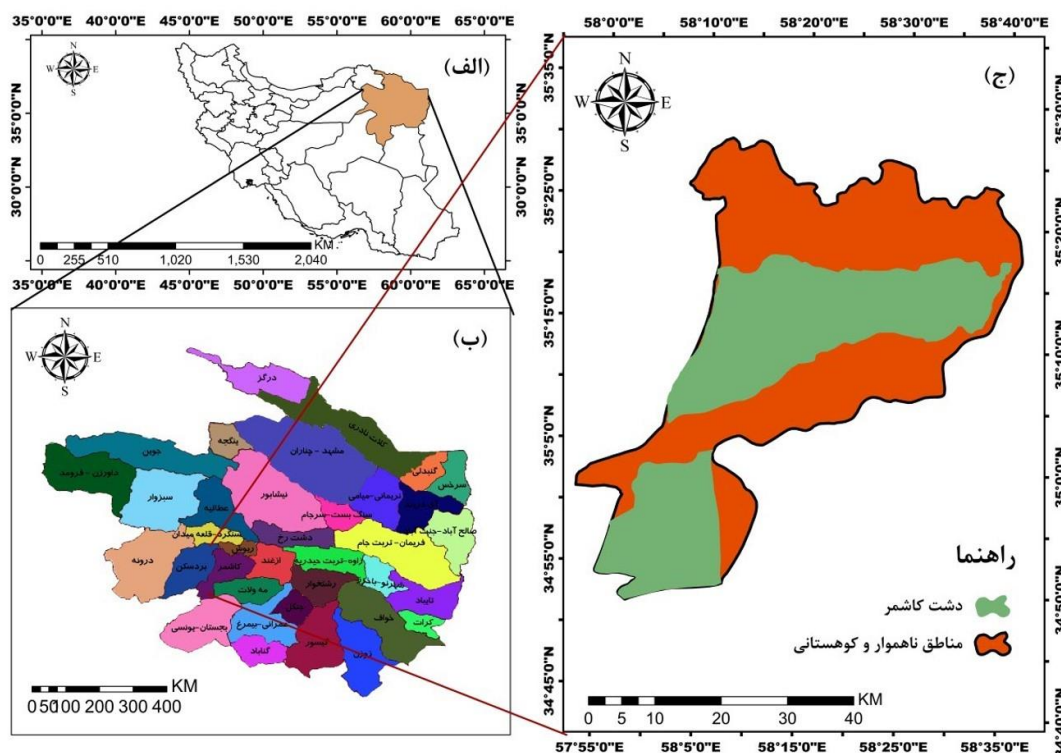
در روشهای مرسوم، میزان برداشت از آبخوان بر اساس اندازه‌گیری و بازدید میدانی و بصورت اندازه‌گیری مستقیم تخمین زده می‌شود. این روش علاوه بر زمان‌بر بودن، هزینه زیادی برای متولیان دارد. برای تخمین مقدار برداشت آب از منابع آب زیرزمینی داده‌های مربوط به تعداد چاه‌های فعال، دبی تخلیه چاه‌ها و ساعت کارکرد چاه‌ها مورد نیاز می‌باشد که در بسیاری از مناطق این داده‌ها عملاً در دسترس نمی‌باشد. در کنار کمبود داده‌ها، همکاری نکردن کشاورزان که شامل برداشت‌های غیرمجاز (چاه‌های بدون پروانه بهره‌برداری) و برداشت از چاه‌های پلمپ شده است، به عنوان یک چالش اصلی در مسیر مدیریت منابع آب زیرزمینی مطرح می‌باشد. در سالهای اخیر، نصب کنتورهای هوشمند برای اندازه‌گیری و کنترل حجم برداشت از منابع آب زیرزمینی در دستورکار مدیران حوزه آب قرار داشته است. هرچند این اقدام، قدم موثری برای پایش و کنترل میزان برداشت آب از چاه‌ها به شمار می‌رود، اما از آنجایی که این کنتورهای هوشمند فقط بروی چاه‌های مجاز نصب می‌شود، عملاً امکان تخمین و کنترل برداشت‌های غیرمجاز و یا چشمه‌ها و قنات‌ها ممکن نمی‌باشد. امروزه با پیشرفت تکنولوژی سنجنده‌های ماهواره‌ای در مقیاس‌های منطقه‌ای و ملی، روش‌های متعددی مبتنی بر این تکنولوژی توسعه یافته‌است که ضمن پوشش خلاءهای اطلاعاتی میدانی، به کمک آن می‌توان اطلاعات مهم و در عین حال قابل اعتمادی از وضعیت تبخیر و تعرق و یا سایر پارامترهای مورد نیاز در منطقه مورد مطالعه را با هر وسعتی بدست آورد. در این

تحقیق سعی شده است با استفاده از اطلاعات در دسترسِ سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای رایگان، میزان برداشت خالص از منابع آب زیرزمینی و اظهارنظر درخصوص وضعیت برداشت آب زیرزمینی دشت از طریق محاسبه راندمان آبیاری دشت و محاسبه آب قابل برگشت کشاورزی به آبخوان، مورد ارزیابی قرار گیرد. روش پیشنهادی بگونه‌ای است که امکان استفاده از آن هم در مقیاس کوچک (مزرعه) و هم در مقیاس بزرگ (دشت و حوضه آبریز) فراهم می‌باشد.

۲. مواد و روش‌ها

۱.۲. منطقه مورد مطالعه

دشت کاشمر در شرق ایران و جنوب غربی استان خراسان رضوی با مختصات طول جغرافیایی ۵۷ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۵۸ درجه و ۴۰ دقیقه شرقی و ۳۴ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۳۰ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. میانگین ارتفاع دشت از سطح دریا ۹۵۹/۶ متر و میزان متوسط بارش طی دوره ۱۵ ساله ۲۰۲/۴۸ میلیمتر گزارش شده است (گوگل ارث انجین، ۲۰۲۲). این دشت از شمال به ارتفاعات کوهسرخ، کوهسیاه و کوهسفید و از سمت شرق به عارضه خاصی محدود نشده و به دشت تربت حیدریه متصل گردیده است. از جنوب به کوه‌های فغان و از غرب به منطقه کویری محدود شده است. در شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه مشخص شده است.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه: (الف) کشور ایران؛ (ب) دشتهای خراسان رضوی؛ (ج) دشت کاشمر

۲.۲. داده‌ها و ابزارهای مورد استفاده

داده‌های مورد استفاده در تحقیق در جدول (۱) و ابزارهای مورد استفاده در جدول (۲) ارائه شده‌اند.

جدول ۱- داده‌های مورد استفاده در تحقیق

نام داده	پارامترهای هواشناسی	داده‌های آب منطقه‌ای	تصاویر ماهواره‌ای	سطح زیرکشت
نوع داده	۱- دمای هوا ۲- رطوبت نسبی ۳- سرعت باد ۴- ساعات آفتابی ۵- متوسط بارندگی ماهانه	میزان برداشت آب زیرزمینی توسط کنتورهای هوشمند	لندست	سطح زیرکشت محصولات کشاورزی
محل اخذ داده‌ها	۱- سایت اداره هواشناسی کشور ۲- اداره هواشناسی شهرستان کاشمر	آب منطقه‌ای خراسان رضوی	۱- گوگل ارث انجین ۲- سایت سازمان زمین شناسی آمریکا	سالنامه آماری جهادکشاورزی

جدول ۲- ابزارهای مورد استفاده در تحقیق

ابزارها	گوگل ارث انجین	ENVI	CropWat	ArcGIS
کاربرد	فراخوانی و تولید نقشه‌های پوشش گیاهی	پردازش مدل سبال، ماسک کردن و برش تصاویر	محاسبه تبخیر و تعرق مرجع	ادغام نقشه‌های ماهانه تبخیر و تعرق واقعی جهت تولید نقشه سالانه و تولید نقشه‌های نهایی

۳.۲. روش تحقیق

در این تحقیق هدف تخمین آب کشاورزی قابل برگشت به آبخوان می‌باشد. بر همین اساس لازم است ابتدا مقادیر مصرف آب کشاورزی (تبخیر و تعرق واقعی) برآورد گردد. جهت برآورد تبخیر و تعرق واقعی توسط مدل سبال، پس از دانلود تصویر منطقه مورد مطالعه، با وارد سازی متادیتا فایل تصویر لندست، تصویر بر اساس مرز منطقه برش خورده و تصحیحات رادیومتریکی و اتمسفری لازم به صورت خودکار انجام می‌گیرد. در مرحله بعد، جهت محاسبه اجزا الگوریتم سبال و برآورد تبخیر و تعرق لحظه‌ای توسط کد نیاز به یک سری داده‌های هواشناسی شامل: رطوبت نسبی، سرعت باد و دما در لحظه

تصویربرداری ماهواره می‌باشد (باستیانسن و دیگران، ۲۰۰۵). داده‌های هواشناسی مورد استفاده شامل داده‌های هواشناسی ۳ ساعته (سایت سازمان هواشناسی کشور، ۱۴۰۰) و داده‌های روزانه (سایت Tutiempo، 2022) جهت برآورد تبخیر و تعرق روزانه می‌باشند. به منظور برآورد تبخیر و تعرق واقعی ماهانه نیاز به تبخیر و تعرق مرجع داریم که بدین منظور از نرم‌افزار Cropwat تبخیر و تعرق مرجع روزهای هر ماه را برآورد کرده و وارد کد می‌کنیم تا تبخیر و تعرق واقعی هر ماه محاسبه شود (سایت سازمان غذا و کشاورزی ملل متحد، ۱۹۹۹) در انتها برای ادغام نقشه‌های تولید شده هر ماه و تولید نقشه تبخیر و تعرق سالانه از نرم‌افزار ArcGis 10.5 استفاده شده است.

به منظور مقایسه میزان آب مصرفی واقعی با میزان برداشت شده از منابع آب زیرزمینی (در بخش کشاورزی) و تعیین راندمان آبیاری دشت، نیاز به آمار چاههای برداشت آب کشاورزی در سالهای آبی ۱۳۹۵-۱۳۹۶، ۱۳۹۶-۱۳۹۷ و ۱۳۹۷-۱۳۹۸، شامل موقعیت چاهها، میزان تخلیه و سال برداشت می‌باشد که این اطلاعات را از آب منطقه‌ای خراسان رضوی دریافت کرده و بعد از تولید نقشه تبخیر و تعرق سالانه سالهای آماربرداری شده، نقشه براساس مناطق کشاورزی آبیاری شده برش خورده تا میانگین تبخیر و تعرق مناطق کشاورزی برآورد گردد. بعد از کسر میزان بارندگی سالانه از میانگین تبخیر و تعرق دشت و اعمال آن در سطح زیرکشت بدست آمده از تصاویر ماهواره‌ای، میزان مصرف آب کشاورزی بدست آمده و راندمان آبیاری دشت، به صورت نسبت آب خالص مورد نیاز گیاه (تبخیر و تعرق واقعی) به کل آب استحصال شده توسط کنتورهای هوشمند برای هر سال تعریف می‌شود، سپس میانگین راندمان آبیاری دشت در ۳ سال محاسبه شده و در خصوص آب قابل برگشت کشاورزی به آبخوان اظهار نظر می‌شود.

جهت اعتبارسنجی پوشش گیاهی، که نقشه تبخیر و تعرق براساس آن برش زده می‌شود، تغییرات پوشش گیاهی در طولانی مدت مورد بررسی قرار می‌گیرد که نشان دهد آیا برآوردهای پوشش گیاهی قابل اعتماد است یا خیر. برای این هدف، از تصاویر لندست ۷ (قبل از ۱۱ فوریه ۲۰۱۳) و تصاویر لندست ۸ (بعد از ۱۱ فوریه ۲۰۱۳) با دقت مکانی ۳۰ متر و دقت زمانی ۱۶ روز استفاده شده است. با توجه به اینکه نقشه تبخیر و تعرق سالانه برای کل دشت با دقت مکانی ۳۰ متر تولید شده است و فقط نیاز به تبخیر و تعرق مناطق دارای پوشش گیاهی آبی داریم، لذا برای بررسی تغییرات پوشش گیاهی ۱۰ ساله از تصاویر ماهواره لندست با دقت مکانی ۳۰ متری استفاده می‌کنیم که نیازی به استفاده از روشهای ریز مقیاس کردن نباشد. بعد از انتخاب تصاویر مربوط به هر سال آبی، جداسازی کشتهای آبی از سایر اراضی انجام می‌شود. برای این منظور، بعد از تولید نقشه‌های NDVI (با استفاده از گوگل ارث انجین)، با استفاده از نرم افزار ENVI و براساس معیار $NDVI > 0.3$ نقشه‌ها نشان گذاری می‌شوند. انتخاب معیار $NDVI > 0.3$ برای تفکیک کشتهای آبی و غیرآبی، بر اساس سعی و خطا انجام شده است. برای این کار، برای مقادیر NDVI در بازه ۰/۳ تا ۰/۴ تصاویر نشان گذاری شده و سپس سطح کل زیرکشت آبی بدست آمده با مقادیر ذکر شده در سالنامه آماری بخش کشاورزی که از (سایت سازمان جهاد کشاورزی خراسان رضوی، ۱۴۰۱) استخراج شده است، مقایسه می‌شود. در نهایت، مقدار معیار NDVI بر اساس مقایسه بین سطح زیرکشت آبی بدست آمده از مدل و مقدار سالنامه آماری جهاد کشاورزی تعیین می‌گردد.

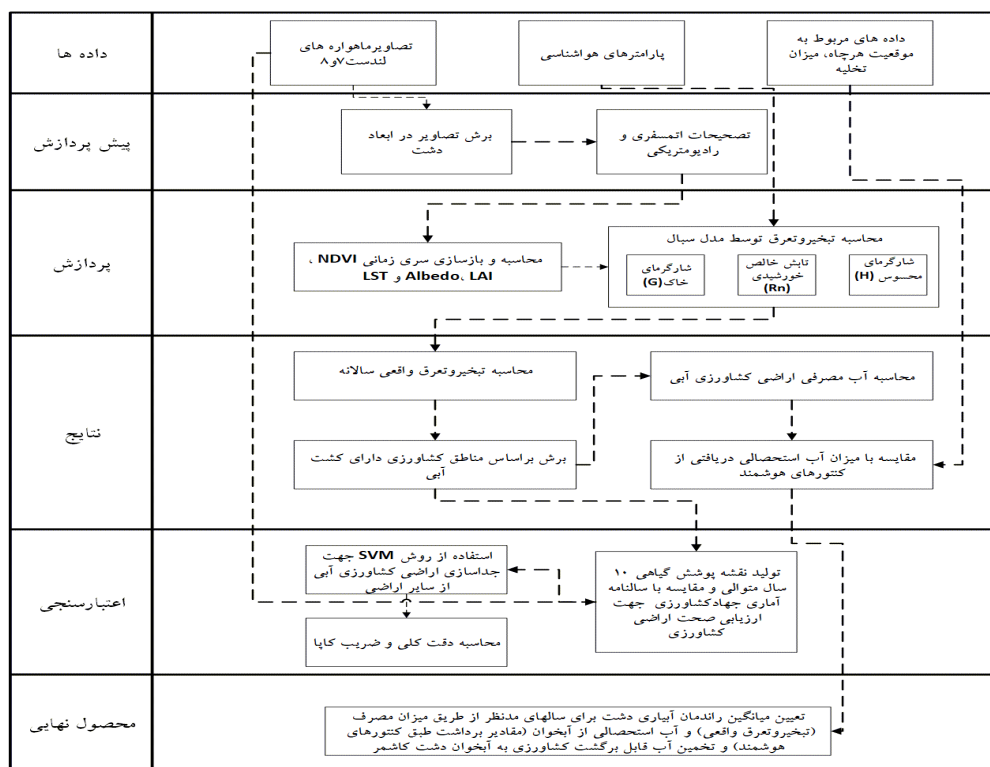
۴.۲. صحت‌سنجی

برای اعتبارسنجی پوشش گیاهی، که نقشه تبخیر و تعرق براساس آن برش زده می‌شود، تغییرات پوشش گیاهی ۱۰ ساله (۱۳۹۰-۱۴۰۰) معادل سالهای ۲۰۲۱-۲۰۱۱ میلادی، که با تصاویر ماهواره‌ای لندست تولید شده‌اند، مورد بررسی قرار گرفته و با سالنامه آماری جهاد کشاورزی مقایسه می‌شوند، برای اعتبارسنجی، ابتدا باید طبقه‌بندی نوع کشته‌ها در منطقه انجام شود. در این تحقیق جهت طبقه‌بندی از روش ماشین بردار پشتیبان که یک روش طبقه‌بندی نظارت شده است استفاده شده است.

پس از تولید نقشه طبقه‌بندی شده، لازم است تا نتیجه بدست آمده با استفاده از نمونه‌های مرجع اعتبارسنجی شود. اعتبارسنجی با استفاده از برداشت نمونه‌های زمینی و محاسبه ماتریس خطا انجام می‌شود. ماتریس خطاها به عنوان یک مؤلفه آماری پرکاربرد و اصلی در اعتبارسنجی نقشه‌های موضوعی می‌باشد که از تصاویر ماهواره‌ای تولید می‌شوند. ماتریس خطاها از مولفه‌های متعددی تشکیل شده است. که در آن دقت کلی نقشه و دقت هریک از کلاس‌ها بصورت جداگانه اندازه‌گیری می‌شود. به عبارت دیگر کار ماتریس خطاها اندازه‌گیری میزان تطابق هریک از کلاس‌ها با پوشش‌های متناظر آن در سطح زمین است. از مهم‌ترین فاکتورهایی که در گام اول در ماتریس خطا مورد توجه قرار می‌گیرد دقت کلی است. این فاکتور دقت را بر اساس تعداد پیکسل‌هایی که به درستی طبقه‌بندی شده‌اند، محاسبه می‌کند. به عبارت دیگر تعداد پیکسل‌هایی که برای هریک از کلاس‌های مذکور به درستی طبقه‌بندی شده‌اند به تمامی تعداد پیکسل‌های چک شده تقسیم می‌شوند (کوالین و دیگران، ۲۰۱۹).

فاکتور دیگری که در زمینه اعتبارسنجی بسیار مورد توجه قرار می‌گیرد و اعتبار بالایی دارد، پارامتر کاپا است. ضریب کاپا میزان دقت را بر عکس دقت کلی بر اساس تمامی پیکسل‌هایی که درست و غلط طبقه‌بندی شده‌اند محاسبه می‌نماید. این فاکتور از اعتبار بالاتری در مقایسه با دقت کلی برای ارزیابی دقت نقشه طبقه‌بندی برخوردار است (روانگا و دیگران، ۲۰۱۷).

در شکل (۲) روند کلی پژوهش نمایش داده شده است.

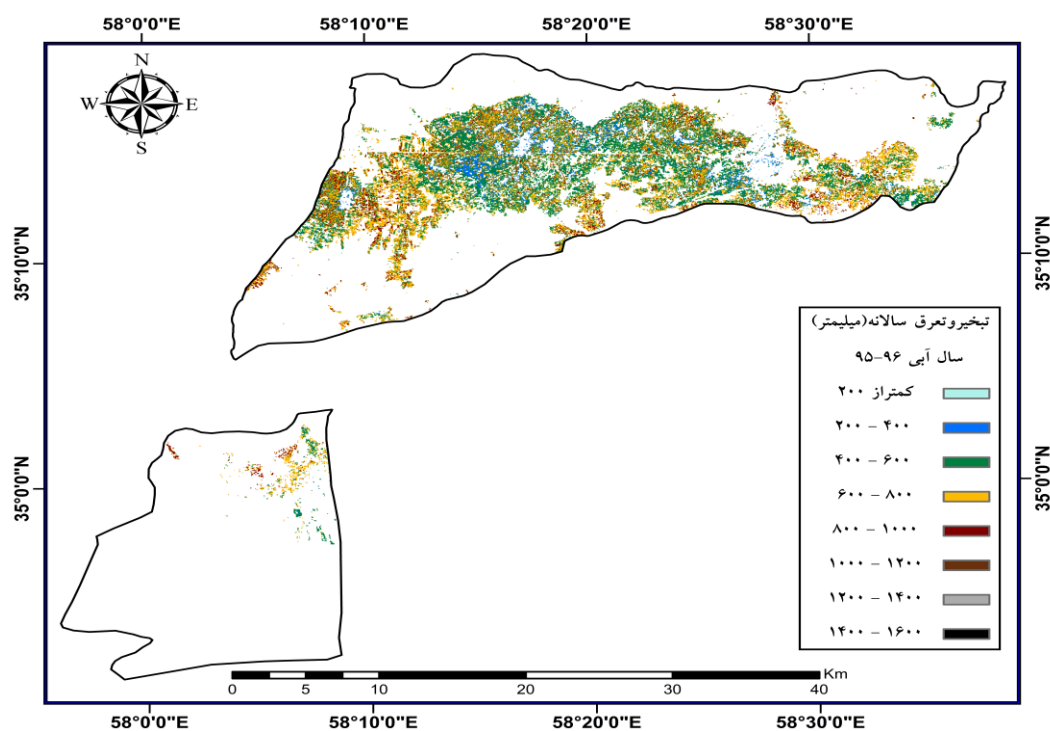


شکل ۲- روند کلی پژوهش

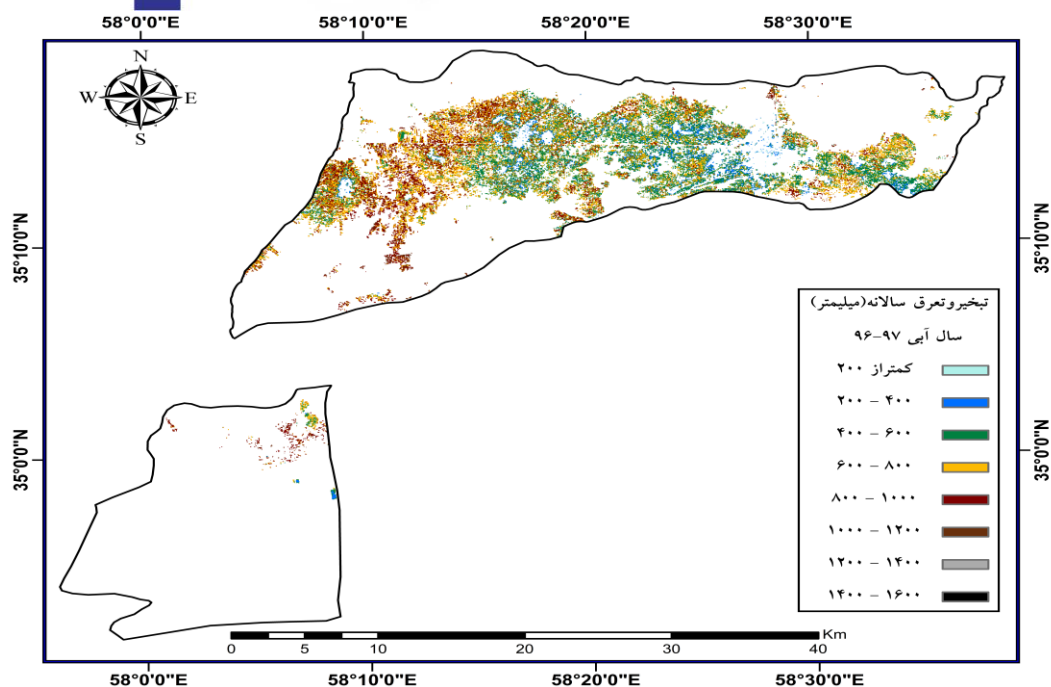
۳. نتایج

۱.۳. برآورد مقادیر مصرف آب کشاورزی (تبخیر و تعرق)

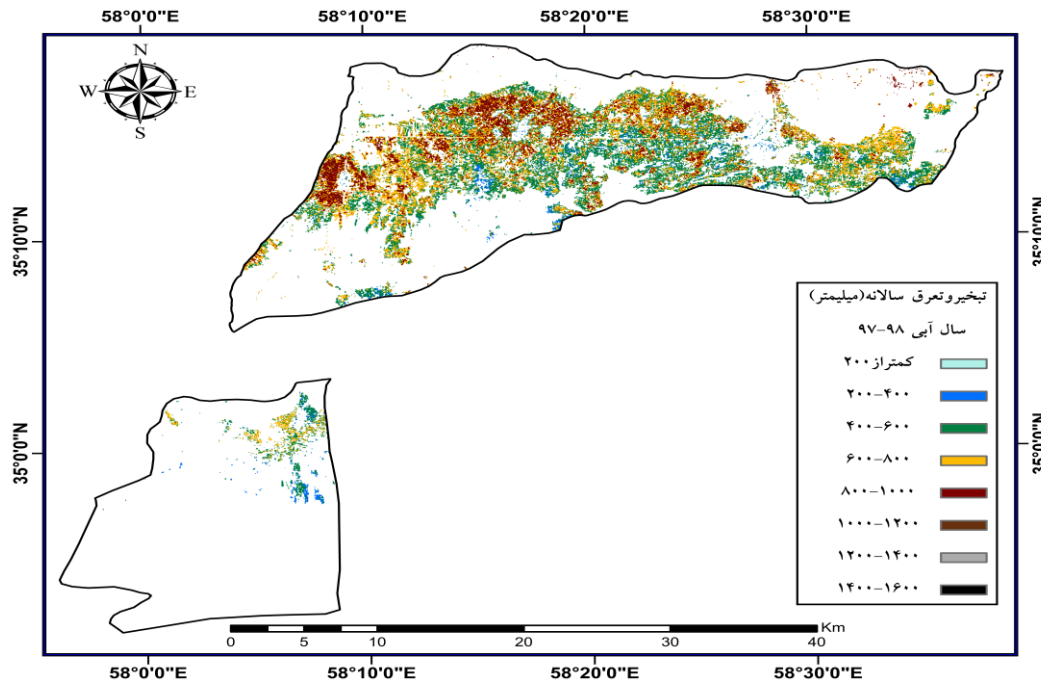
جهت برآورد تبخیر و تعرق واقعی توسط مدل سبال، کدی در محیط IDL نوشته شده است که پس از دانلود تصاویر لندست مربوط به منطقه مورد مطالعه، با وارد سازی متادیتا فایل تصویر، تصویر بر اساس مرز منطقه برش خورده و تصحیحات رادیومتریکی و اتمسفری لازم انجام شده و فرآیند محاسبه و تولید نقشه تبخیر و تعرق واقعی سالانه طی می‌شود. بعد از تولید نقشه تبخیر و تعرق واقعی سالانه سالهای تحقیق (که منطبق بر سالهایی است که در منطقه آماربرداری میدانی جهت اندازه‌گیری میزان برداشت از منابع آب از سوی شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی صورت گرفته است)، نقشه بر اساس مناطق کشتهای آبی برش خورده تا میانگین تبخیر و تعرق واقعی این مناطق برآورد گردد. سپس مقدار بارندگی سالانه برای سالهای آبی ۱۳۹۵-۱۳۹۶، ۱۳۹۶-۱۳۹۷ و ۱۳۹۷-۱۳۹۸ از داده‌های هواشناسی برآورد گردید. بعد از کسر میزان بارندگی سالانه از تبخیر و تعرق واقعی دشت و اعمال آن در سطح زیرکشت بدست آمده از تصاویر ماهواره‌ای، میزان مصرف آب کشاورزی (آب مصرفی مورد نیاز گیاه) که توسط آبیاری و یا برداشت از منابع آب صورت گرفته است، بدست می‌آید. تصویر (۳)، (۴) و (۵) توزیع مکانی تبخیر و تعرق واقعی سالانه حاصل از الگوریتم سبال را برای سالهای آماربرداری شده در مناطقی که دارای کشتهای آبی هستند نشان می‌دهد.



شکل ۳- نقشه تبخیر و تعرق سالانه اراضی کشاورزی آبی در سال آبی ۹۵-۹۶



شکل ۳- نقشه تبخیر و تعرق سالانه اراضی کشاورزی آبی در سال آبی ۹۶-۹۷



شکل ۴- نقشه تبخیر و تعرق سالانه اراضی کشاورزی آبی در سال آبی ۹۷-۹۸

جهت تحلیل نتایج حاصل از روش‌شناسی تحقیق، بعد از اینکه مقادیر تبخیر و تعرق واقعی سالانه دشت که بیانگر آب مصرفی گیاه است، برآورد گردید، راندمان دشت به صورت نسبت میزان آبی که به مصرف گیاه رسیده است (صرف تبخیر و تعرق واقعی شده است) به میزان آب استحصال شده (میزان برداشت از منابع آب زیرزمینی طبق آمار ثبت شده کنتورهای هوشمند) محاسبه می‌گردد. جدول (۳) مشخصات و پارامترهای محاسبه راندمان دشت را نشان می‌دهد.

جدول ۲- مشخصات و پارامترهای محاسبه راندمان دشت

سال آبی	میانگین تبخیر و تعرق سالانه (میلیمتر)	بارندگی سالانه (میلیمتر)	سطح زیرکشت سالانه (مترمربع)	میزان پمپاژ (قرائت کنتور هوشمند) (مترمکعب)	میزان آب مصرفی گیاه (حجم خالص مصرفی) (مترمکعب)	راندمان دشت
۹۵-۹۶	۶۱۵/۵۵	۱۴۴/۲	۲۱۷,۹۶۸,۳۰۰	۱۲۳,۶۶۸,۰۸۷	۱۰۲,۷۳۹,۳۵۸	۰/۸۳
۹۶-۹۷	۶۵۴/۸۸	۱۱۲/۹	۱۷۰,۳۰۱,۶۰۰	۱۱۵,۴۲۵,۴۷۰	۹۲,۳۰۰,۰۶۱	۰/۸
۹۷-۹۸	۶۳۳/۵	۲۷۹/۳	۲۴۴,۴۳۴,۶۰۰	۱۰۶,۵۷۶,۴۱۵	۸۶,۵۷۸,۷۳۵	۰/۸۱

۲.۳. ارزیابی صحت کاربری ارضی

جهت ارزیابی پوشش‌های گیاهی، که نقشه تبخیر و تعرق براساس آن برش خورده است، سطح زیرکشت ۱۰ ساله بدست آمده از تصاویر ماهواره لندست با آمار موجود در سالنامه آماری بخش کشاورزی استان خراسان رضوی، که حاصل نتایج آمارگیری‌های نمونه‌ای می‌باشد، مقایسه گردید. بدین منظور تمام تصاویر موجود در سال مدنظر را فراخوانی کرده و مقدار ماکزیمم در هر پیکسل را انتخاب و نقشه شاخص NDVI مربوط به هر سال آبی تولید می‌شود. بنابراین با توجه به بازه تعریف شده برای مناطق پوشش گیاهی متراکم، بهترین و نزدیک‌ترین مقدار NDVI به آمار جهاد کشاورزی برای جداسازی مناطق کشت آبی از دیم مقدار ۰/۳۲ برای سال‌های آبی ۱۳۹۱-۱۳۹۰ تا ۱۳۹۸-۱۳۹۷ و مقدار ۰/۴ برای سال آبی ۱۳۹۸-۱۳۹۹ در نظر گرفته شده و تصاویر NDVI براساس این مقادیر در هر سال برش خورده و با آمار جهاد کشاورزی مورد مقایسه قرار گرفتند.

در جدول (۴)، سطح زیرکشت سالهای آبی ۱۳۹۱-۱۳۹۰ تا ۱۳۹۹-۱۳۹۸ بدست آمده از تصاویر ماهواره لندست با آمار موجود در سالنامه آماری بخش کشاورزی استان خراسان رضوی، مقایسه شده است. به دلیل موجود نبودن آمار سالنامه آماری بخش کشاورزی سال آبی ۱۴۰۰-۱۳۹۹، این سال مورد مقایسه قرار نگرفت.

جدول ۳- مقایسه سطح زیرکشت براساس مقادیر شاخص NDVI و آمار جهاد کشاورزی (هکتار)

سال آبی	سطح زیرکشت طبق سالنامه آماری (هکتار)	سطح زیرکشت طبق تصاویر ماهواره ای (هکتار)	درصد اختلاف
۹۰-۹۱	۲۵,۸۹۲	۲۳,۷۹۱	۸/۸۰
۹۱-۹۲	۲۴,۱۰۳	۲۴,۷۹۸	۲/۸۴
۹۲-۹۳	۲۱,۴۹۱	۲۱,۳۱۸	۰/۸۱
۹۳-۹۴	۲۰,۸۳۴	۲۳,۴۹۳	۱۲
۹۴-۹۵	۲۱,۹۶۸	۲۰,۳۸۲	۷/۴۹
۹۵-۹۶	۱۸,۹۶۷	۲۱,۷۹۶	۱۳/۸۸

۱۴/۱۲	۱۷,۰۳۰	۱۹,۶۱۷	۹۶-۹۷
۲۴/۵۲	۲۴,۴۴۳	۱۹,۱۰۵	۹۷-۹۸
۳۷/۶۱	۲۶,۵۹۶	۱۸,۱۷۷	۹۸-۹۹

۳.۳. اعتبارسنجی

جهت اعتبارسنجی نقشه‌های تولید شده که بیانگر کشته‌های آبی هستند، از ماتریس خطاها استفاده شد. بدین منظور از تعدادی نمونه زمینی، که توسط GPS از منطقه مورد نظر برداشت شده‌اند، استفاده گردید (جدول (۵)). سپس با استفاده از آماره‌های کاپا و صحت کلی، برای سال ۱۴۰۱ و سال آبی ۱۳۹۹-۱۴۰۰ اعتبارسنجی صورت گرفت.

جدول ۴- تعداد نمونه‌های آموزشی و کنترلی

سال آبی ۱۳۹۹-۱۴۰۰		سال ۱۴۰۱	
کشته‌های آبی	سایر اراضی	کشته‌های آبی	سایر اراضی
۱۲۰	۶۰	۱۵۰	۶۰
نمونه آموزشی			
۵۵	۴۰	۵۵	۴۰
نمونه کنترلی (ارزیابی)			

روش طبقه‌بندی بکاررفته در این تحقیق، روش ماشین بردار پشتیبان (SVM) است که جزء طبقه‌بندی نظارت شده به حساب می‌آید. برای بدست آوردن داده‌های زمینی، از کشته‌های باغی موجود در روستاهای کسرینه، زنده جان، حاجی آباد، ده نو، محمدیه و هندآباد، ۵۵ نمونه توسط GPS برداشت شد. سپس با پیاده‌سازی این نقاط در گوگل ارث، به فرمت KML تبدیل شدند و با فراخوانی در محیط GIS و تبدیل شدن به شیپ فایل، به منظور صحت‌سنجی طبقه‌بندی وارد گوگل ارث انجین شدند که دقت کلی و ضریب کاپا برای روش طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان در سال ۱۴۰۱ به ترتیب ۰/۹۰۵ و ۰/۸۱۱ و در سال آبی ۱۳۹۹-۱۴۰۰ به ترتیب ۰/۸۹۴ و ۰/۷۹۱ بدست آمدند. نتایج نشان از دقت قابل قبول طبقه‌بندی است و می‌توان به مناطقی که بیانگر کشته‌های آبی بوده‌اند و نقشه تبخیر و تعرق براساس آنها برش خورده است، اعتماد کرد.

۴. نتیجه‌گیری

همانطور که مشاهده گردید، میانگین راندمان دشت ۸۱ درصد بدست آمده است، که این مقدار حاوی نکات مهمی به شرح ذیل است:

(۱) به طور کلی از جهت ارزیابی منابع و مصارف، مقادیر راندمان بالای دشت، وقتی با مقادیر نسبتاً پایین راندمان آبیاری در مزارع مقایسه می‌گردد، نشان می‌دهد که فشار بر منابع آبی زیاد بوده و به طور کلان، توسعه بخش‌های مصرف‌کننده آب، بیش از توان منابع آب موجود بوده است.

(۲) مقدار راندمان دشت (۸۱ درصد) نشان می‌دهد که به طور متوسط از میزان آب برداشتی از منابع آب، حداکثر ۱۹ درصد آن، قابلیت برگشت به منابع آب را دارد. به بیانی دیگر، میزان آب برگشتی کشاورزی به منابع آب، حداکثر ۱۹ درصد میزان برداشت است. این شاخص، در مطالعات و محاسبات بیلان آب دشتهای بسیار حائز اهمیت است. در بسیاری از مطالعات کنونی بیلان این مقدار به صورت پیش‌فرض حدود ۲۵ درصد فرض می‌شود که در صورت دقیق‌تر شدن این نسبت، در محدوده‌های مطالعاتی مختلف می‌توان تا حد زیادی نتایج محاسبات بیلان آبی را بهبود بخشید.

۳) راندمان دشت حاصل از این تحقیق، می‌تواند در برآورد میزان برداشت از منابع آبی در سالهایی که آماربرداری سراسری (اندازه‌گیری میدانی منابع آب) صورت نمی‌گیرد، مورد استفاده قرار گرفته و تخمین قابل اطمینانی از مقادیر برداشت از منابع آبی در مقیاس دشت در بخش کشاورزی ارائه نماید. در حقیقت با دانستن میانگین راندمان دشت و استخراج تبخیر و تعرق واقعی از اراضی کشاورزی، می‌توان به میزان آب برداشت شده برای این اراضی دست یافت. این موضوع نیز نتیجه بسیار مهمی برای بخش مطالعات پایه منابع آب شرکت‌های آب منطقه‌ای است که در فاصله زمانی بین هر آماربرداری سالانه، که حداقل پنج سال به طول می‌انجامد، می‌تواند تخمین قابل قبولی از میزان برداشتها در بخش کشاورزی را ارائه نماید. قابل توجه است که در سالهایی که آماربرداری از منابع آب انجام نشده است، به راحتی می‌توان با بدست آوردن میزان آب مصرفی گیاه (حجم خالص مصرف) از طریق تصاویر ماهواره‌ای، و تقسیم آن بر میانگین راندمان دشت، مقدار برداشت از منابع آبی دشت را برای هر سال بدست آورد.

۵. منابع

- Allen, R., Tasumi, M., & Trezza, R. (2002). *Surface Energy Balance Algorithms for Land*.
Cavalin, P., & Oliveira, L. (2019). *Confusion Matrix-Based Building of Hierarchical Classification* (pp. 271–278). https://doi.org/10.1007/978-3-030-13469-3_32
http://www.fao.org/nr/water/infores_databases_cropwat.html. (n.d.). Retrieved June 5, 2022.
<http://www.koaj.ir>. (n.d.). Retrieved May 1, 2022.
<https://code.earthengine.google.com/715bdce4c679718a7911850db312e7ef>. (n.d.). Retrieved August 13, 2022.
<https://data.irimo.ir/>. (n.d.). Retrieved April 1, 2022, from <https://data.irimo.ir/>
<https://www.tutiempo.net/>. (n.d.). Retrieved May 1, 2022.
Jakeman, A. J., Barreteau, O., Hunt, R. J., Rinaudo, J.-D., & Ross, A. (2016). Integrated Groundwater Management: An overview of concepts and challenges. In *Integrated Groundwater Management* (pp. E1–E1). https://doi.org/10.1007/978-3-319-23576-9_29
Rwanga, S. S., & Ndambuki, J. M. (2017). Accuracy Assessment of Land Use/Land Cover Classification Using Remote Sensing and GIS. *International Journal of Geosciences*, 08(04), 611–622. <https://doi.org/10.4236/ijg.2017.84033>
W. G. M. Bastiaanssen, E. J. M. Noordman, H. Pelgrum, G. Davids, B. P. Thoreson, R. G. A. (2005). SEBAL Model with Remotely Sensed Data to Improve Water-Resources Management under Actual Field Conditions. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(2005\)131:1\(85\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(2005)131:1(85))
نژادملایری، مراجان. ۱۳۹۳. بررسی حقوق اضافه برداشت از چاههای آب دارای پروانه بهره‌برداری. دومین همایش ملی بحران آب شهریور ماه ۱۳۹۳. دانشگاه شهرکرد.