

کاربرد هوش مصنوعی در مدیریت شالیزارها

مجتبی رضایی^۱، مرتضی کمالی^۲

۱. استادیار، مؤسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران. (نویسنده مسئول). رایانامه: mrezaei@yahoo.com

۲. کارشناس، مؤسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران. رایانامه: mortezakamali2013@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۲/۱۹

تاریخ ویرایش: ۱۴۰۵/۰۳/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۳/۲۳

تاریخ چاپ: ۱۴۰۵/۰۶/۲۳

صص: ۲۷-۳۴

چکیده

هوش مصنوعی در کشاورزی به ابزاری قدرتمند برای بهبود بهره‌وری و مدیریت منابع تبدیل شده است. این فناوری با تحلیل داده‌های ماهواره‌ای، اقلیمی و محیطی، امکان شناسایی سطح زیرکشت و برآورد تبخیر و تعرق واقعی گیاهان را فراهم می‌کند. در شالیزارها، تعیین دقیق سطح زیرکشت و برآورد تبخیر و تعرق واقعی نقش مهمی در مدیریت بهینه منابع آب، برنامه‌ریزی آبیاری و پیش‌بینی عملکرد محصول دارد. در این نوشتار، کاربرد الگوریتم‌های هوش مصنوعی، به‌ویژه جنگل تصادفی، در تلفیق با تصاویر ماهواره‌ای برای پایش شالیزارهای استان گیلان بررسی شده است. نتایج نشان داد که استفاده از این فناوری می‌تواند به تهیه نقشه دقیق اراضی شالیزاری، به‌روزرسانی اطلاعات تبخیر و تعرق، بهبود تصمیم‌گیری‌های مدیریتی و افزایش پایداری تولید کمک کند. با این حال، دقت نتایج به کیفیت داده‌های ورودی، انتخاب الگوی مناسب و صحت‌سنجی میدانی وابسته است.

کلیدواژه‌ها: برنج، تبخیر و تعرق واقعی، تصاویر ماهواره‌ای، کاربری اراضی.

مقدمه

در سال‌های اخیر، توجه به فناوری هوش مصنوعی در حوزه‌های گوناگون علمی و صنعتی رشد چشمگیری داشته است. کشاورزی نیز ازجمله بخش‌هایی است که از این تحول فناورانه بی‌بهره نمانده و کاربردهای هوش مصنوعی در آن، فرصت‌های تازه‌ای برای افزایش بهره‌وری، کاهش هزینه‌ها و مدیریت بهینه منابع فراهم کرده است (خیام نکویی و همکاران، ۱۴۰۳). هوش مصنوعی با تحلیل داده‌های متنوع حاصل از منابعی چون سامانه‌های سنجش از دور، حسگرهای مزرعه، داده‌های هواشناسی و اطلاعات خاک و گیاه، می‌تواند به کشاورزان و مدیران بخش کشاورزی در تصمیم‌گیری‌های دقیق‌تر و علمی‌تر کمک کند. استفاده از الگوریتم‌های هوشمند موجب بهبود عملکرد مزارع، افزایش تولید، کاهش مصرف بی‌رویه آب و کود، و در نهایت، حفظ پایداری منابع طبیعی می‌شود.

یکی از مهم‌ترین عرصه‌های کاربرد هوش مصنوعی در کشاورزی، تحلیل تصاویر ماهواره‌ای است (محمدپور، ۱۴۰۴؛ سارکر، ۲۰۲۱). این تصاویر امکان بررسی سلامت گیاهان، برآورد مقدار رطوبت خاک، پیش‌بینی عملکرد محصولات و حتی تشخیص تغییرات غیرعادی ناشی از تنش‌های محیطی یا بیماری‌ها را فراهم می‌آورند. ازطریق پردازش هوشمند این داده‌ها می‌توان وضعیت مزرعه را بدون نیاز به بازدیدهای میدانی گسترده پایش کرد؛ امری که در زمان و هزینه‌های عملیاتی صرفه‌جویی چشمگیر به همراه دارد. درزمینه آبیاری نیز تصاویر ماهواره‌ای و الگوریتم‌های هوش مصنوعی نظیر یادگیری ماشین به محققین کمک می‌کنند تا با برآورد تبخیر و تعریق گیاهان، یکنواختی پخش آب را ارزیابی کرده و مقدار آب آبیاری را به‌گونه‌ای تنظیم کنند که از هدررفت منابع جلوگیری شود (بای، ۲۰۲۳). از دیگر کاربردهای مهم هوش مصنوعی در ترکیب با داده‌های سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای، تعیین و طبقه‌بندی کاربری اراضی است (ژیونگ و همکاران، ۲۰۱۷؛ تلوگونتلا و همکاران، ۲۰۱۸). این فناوری با تجزیه‌وتحلیل دقیق این داده‌ها، می‌تواند نوع کاربری زمین را با

سرعت و دقت بالا مشخص کند. درنتیجه، برای سیاست‌گذاری و نظارت بر تغییر کاربری اراضی، ابزار مؤثری در اختیار مدیران قرار می‌دهد. چنین اطلاعاتی، هنگامی که با داده‌های رسمی مربوط به منطقه‌بندی و مالکیت زمین‌ها ترکیب شود، زمینه‌ساز تصمیم‌گیری‌های مؤثرتر برای حفظ اراضی کشاورزی و پیشگیری از تغییرات غیرمجاز خواهد بود (درودیان و درودیان، ۱۳۹۶). با وجود مطالعات گسترده در سطح جهانی درباره دقت و کارایی سامانه‌های هوش مصنوعی در پایش اراضی کشاورزی، در ایران هنوز استفاده گسترده و منسجمی از این فناوری برای پایش و مدیریت مزارع انجام نشده است. این مسئله به‌ویژه در شالیزارهای شمال کشور -به‌ویژه در استان گیلان -اهمیت دوچندانی دارد؛ زیرا برنج به‌عنوان یکی از محصولات راهبردی و پرمصرف کشور، در امنیت غذایی نقش مهمی ایفا می‌کند.

یکی دیگر از مهم‌ترین چالش‌های تولید برنج، تأمین و مدیریت صحیح آب است؛ زیرا این محصول نیاز آبی زیادی دارد و بخش قابل‌توجهی از آب مصرفی آن در فرایند تبخیر و تعرق مصرف می‌شود (خدادادی بالانقیبی، سلطانی و زینلی، ۱۴۰۳). تبخیر و تعرق یکی از اجزای مهم چرخه آب در طبیعت است و در تعیین نیاز آبی گیاهان نقشی اساسی دارد. الگوهای زمانی و مکانی این فرایند به عوامل متعددی ازجمله نوع گیاه، بافت خاک، نقشه‌برداری، شرایط اقلیمی، مرحله رشد گیاه و تغییرات رطوبت خاک بستگی دارد (آلن، پریرا، هاول و ینسن، ۲۰۱۱). مقدار تبخیر و تعرقی که در شرایط طبیعی مزرعه اتفاق می‌افتد، تبخیر و تعرق واقعی نام دارد و یکی از مهم‌ترین شاخص‌ها برای تعیین نیاز آبی گیاه است. بنابراین، برآورد دقیق تبخیر و تعرق واقعی، در برنامه‌ریزی آبیاری، مدیریت درست منابع آب، صرفه‌جویی در مصرف آب و افزایش بهره‌وری در کشت برنج نقش کلیدی دارد. یکی از روش‌های کاربردی برای برآورد تبخیر و تعرق واقعی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، الگوسازی اجزای ترازنامه انرژی در سطح زمین است. ترازنامه انرژی نشان می‌دهد که انرژی دریافتی از خورشید چگونه بین فرآیندهای مختلفی مانند گرم‌شدن سطح

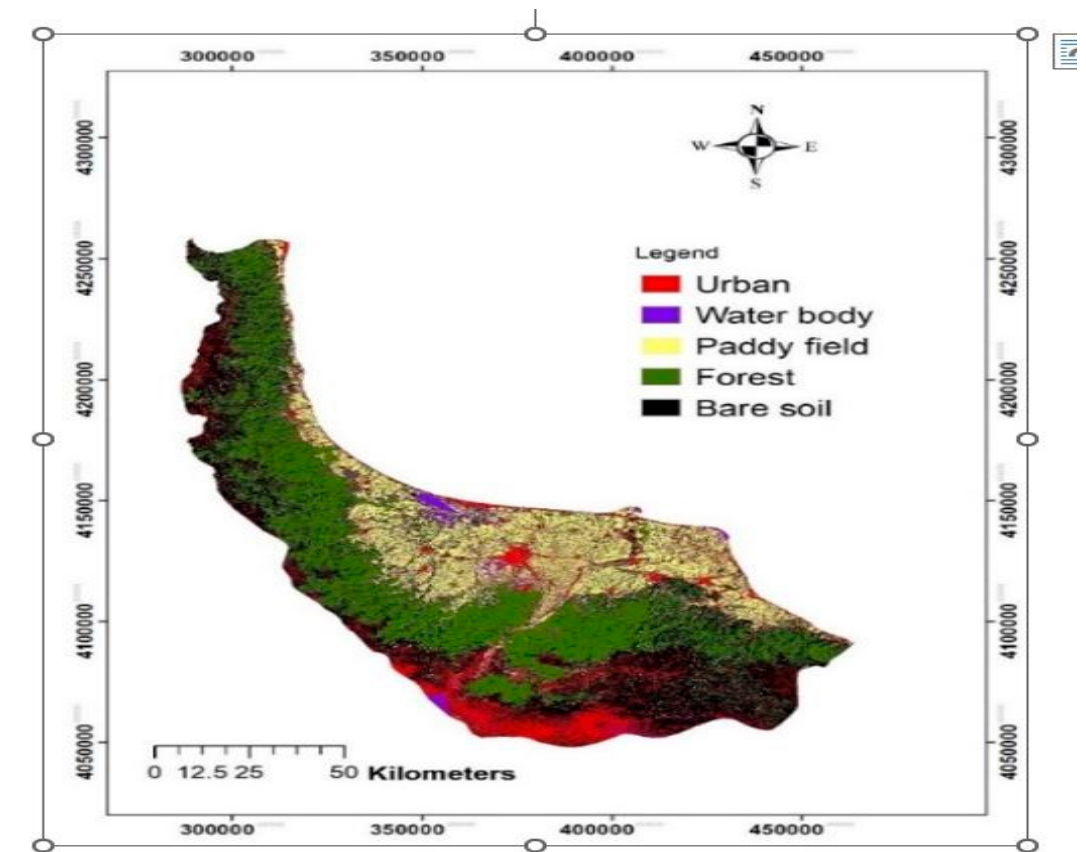
زمین، تبخیر آب و تعرق گیاهان تقسیم می‌شود. در این زمینه، الگوی SSEBop با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای مانند دمای سطح زمین، دمای هوای روزانه و تبخیر و تعرق مرجع، امکان برآورد تبخیر و تعرق واقعی را در بازه‌های زمانی مختلف فراهم می‌کند (سنای، ولپوری، بومز، بوده و وردین، ۲۰۱۳). همچنین، استفاده از الگوریتم‌های هوش مصنوعی در کنار داده‌های ماهواره‌ای می‌تواند دقت این برآوردها را افزایش داده (کیبتسوی، هی، لی و ژو، ۲۰۲۴) و به درک بهتر الگوی مصرف آب، تعیین مناسب‌تر نیاز آبی مزارع و زمان‌بندی دقیق‌تر آبیاری در شالیزارهای استان گیلان کمک کند. ازاین‌رو، توسعه و به‌کارگیری روش‌های هوشمند برای برآورد سطح زیرکشت و نیاز آبی شالیزارها در استان گیلان، ضرورتی انکارناپذیر است که در این نوشتار به آن اشاره شده است.

دستاورد

استان گیلان با وسعتی حدود ۱۴ هزار و ۷۰۰ کیلومتر مربع، یکی از مهم‌ترین مناطق کشت برنج در کشور است. براساس آمار جهاد کشاورزی (۱۴۰۲)، بیش از ۲۳۸ هزار هکتار از اراضی این استان به شالیزار اختصاص دارد. بااین‌حال، تنوع زیاد پوشش گیاهی در گیلان -شامل جنگل‌های هیرکانی، مراتع، درختان کاج و صنوبر، مزارع چای و باغات دائمی -باعث می‌شود تا تشخیص و جداسازی شالیزارها از سایر زمین‌ها در تصاویر ماهواره‌ای کار ساده‌ای نباشد. برای غلبه بر این چالش، ابتدا با بازدید از مناطق مختلف استان و استفاده از دستگاه موقعیت‌یاب جهانی، موقعیت دقیق شالیزارها و سایر کاربری‌های زمین ثبت شد. در مجموع ۲۷۵۶ نقطه از کلاس‌های مختلف کاربری اراضی ثبت شد که از بخشی از آن‌ها برای آموزش الگو و از بخشی دیگر برای ارزیابی دقت نتایج استفاده شد. برای آموزش الگوریتم هوش مصنوعی و سنجش میزان انطباق نتایج با واقعیت زمینی، این داده‌های میدانی مبنا قرار گرفت. در مرحله بعد، تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۲- مربوط به دوره رشد برنج دریافت و پس از انجام تصحیحات لازم، برای تحلیل آماده شد. سپس با بهره‌گیری از الگوریتم‌های

طبقه‌بندی مبتنی بر هوش مصنوعی (تقی ملایی و همکاران، ۱۴۰۵)، ازجمله روش‌های جنگل تصادفی^۱، ماشین بردار پشتیبان^۲، حداکثر آنتروپی تعمیم‌یافته عمومی^۳، و ترکیب جنگل تصادفی با شاخص نرمال‌شده اختلاف پوشش گیاهی^۴، اراضی شالیزاری از سایر پوشش‌های گیاهی تفکیک شد. مقایسه روش‌های مختلف نشان داد که ترکیب الگوریتم جنگل تصادفی با شاخص نرمال‌شده اختلاف پوشش گیاهی، از صحت بالاتری برخوردار است (صحت کل ۹۴ درصد و ضریب کاپا ۰/۹۰). بنابراین، این روش برای تهیه نقشه نهایی کشت برنج انتخاب شد. در نهایت، نقشه دقیق اراضی شالیزاری استان گیلان تهیه شد (شکل ۱)، براین‌اساس، سطح ناخالص شالیزارهای استان گیلان حدود ۲۲۹ هزار هکتار برآورد شد. با در نظر گرفتن حدود ۵ درصد سطوح غیرزراعی مانند جاده‌ها، تأسیسات و سایر عوارض، سطح خالص شالیزارهای استان حدود ۲۱۸ هزار هکتار برآورد شد. این آمار در مقایسه با آمارهای ارائه‌شده ازسوی سازمان‌های آب منطقه‌ای (۲۴۵ هزار هکتار) و آمار سازمان جهاد کشاورزی (۲۳۸ هزار هکتار) استان گیلان، به‌ترتیب حدود ۱۱ و ۸ درصد کمتر برآورد شده است. شهرستان‌های رشت با مجموع ۵۶ هزار هکتار، صومعه‌سرا با ۲۶ هزار هکتار و آستانه اشرفیه با ۲۱ هزار هکتار، بالاترین میزان سطح زیر کشت برنج در استان را به خود اختصاص داده‌اند که در مجموع حدود ۴۵ درصد شالیزارهای استان است. کمتر بودن سطح برآوردشده نسبت به آمارهای رسمی می‌تواند ناشی از تغییر کاربری بخشی از شالیزارها به سایر کاربری‌ها، ازجمله کاربری مسکونی، باشد.

1.Random Forest (RF)
2.Support Vector Machine (SVM)
3.General Maximum Entropy (GME)
4.Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)



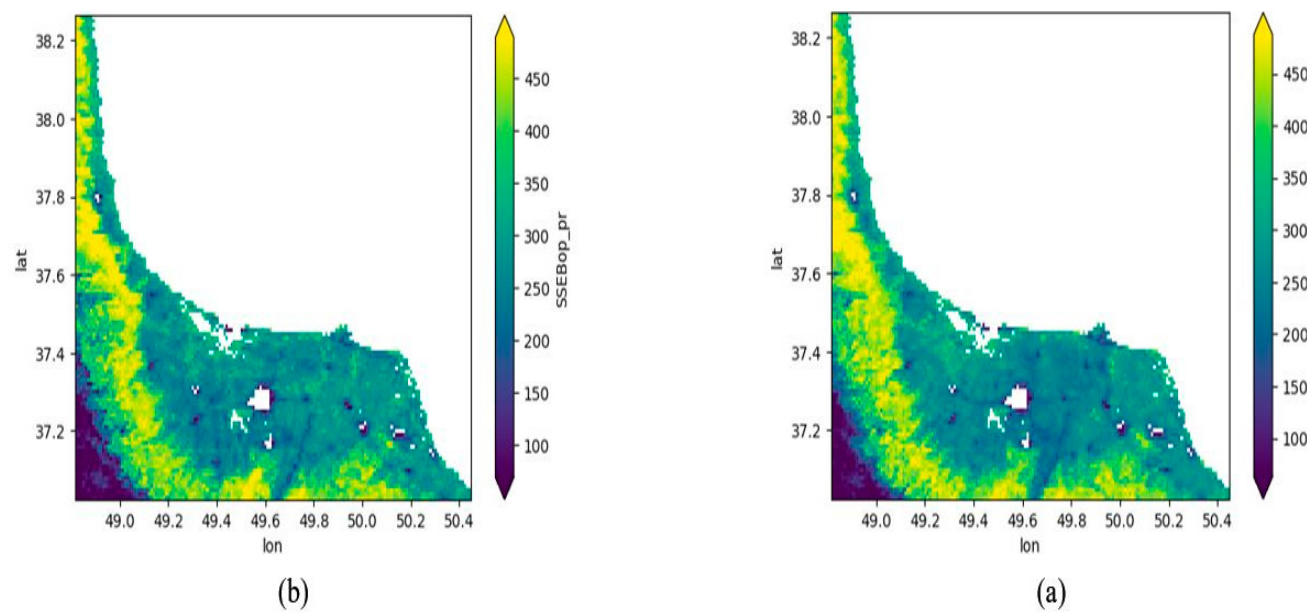
شکل ۱. نقشه کاربری اراضی استان گیلان با استفاده از هوش مصنوعی

پس از تعیین محدوده شالیزارها، گام بعدی برآورد میزان مصرف آب در این اراضی از طریق محاسبه تبخیر و تعرق واقعی بود. در الگوی SSEBOP، ابتدا با استفاده از دمای سطح زمین، وضعیت حرارتی منطقه بررسی می‌شود. یعنی مناطقی که سطح آن‌ها گرم‌تر است معمولاً رطوبت کمتری دارند و تبخیر و تعرق در آن‌ها پایین‌تر است. در مقابل، مناطقی که سطح خنک‌تری دارند، معمولاً دارای پوشش گیاهی فعال‌تر یا رطوبت بیشتر هستند و مقدار تبخیر و تعرق در آن‌ها بالاتر است. سپس، این اطلاعات با داده‌های اقلیمی و تبخیر و تعرق مرجع ترکیب می‌شود تا مقدار تبخیر و تعرق واقعی روزانه به دست آید. استفاده از چنین روشی باعث می‌شود تا بتوان بدون نیاز به اندازه‌گیری‌های گسترده زمینی، تصویری مکانی از مصرف آب در شالیزارها به‌دست آورد. با وجود کارایی مناسب الگوی SSEBOP و داده‌های ماهواره‌ای مودیس در برآورد تبخیر و تعرق واقعی، یکی از

محدودیت‌های موجود این بود که داده‌های آماده این محصول فقط تا سال ۲۲۰۲ در دسترس بود. از این‌رو، برای به‌روزرسانی نتایج و برآورد تبخیر و تعرق واقعی در سال‌های جدیدتر، از هوش مصنوعی و الگوریتم جنگل تصادفی استفاده شد. برای اجرای این بخش، از داده‌های ماهواره‌ای مودیس در بازه زمانی ۲۰۰۵ تا ۲۰۲۰ استفاده شد. این داده‌ها شامل شاخص‌های پوشش گیاهی^۱ نرمال‌شده اختلاف پوشش گیاهی و شاخص پیشرفته پوشش گیاهی حاصل از تصاویر MOD13A2 و همچنین داده‌های دمای سطح زمین حاصل از تصاویر MOD11A2 بودند. شاخص‌های نرمال‌شده اختلاف پوشش گیاهی و شاخص پیشرفته پوشش گیاهی، وضعیت سبزی‌نگی، تراکم و فعالیت پوشش گیاهی را نشان می‌دهند و دمای سطح زمین نیز اطلاعات مهمی درباره

میزان تبخیر و تعرق بین مناطق مختلف استان است، به‌طوری‌که در برخی نواحی مقادیر بالاتری نسبت به سایر مناطق نشان می‌دهند. الگوی مشاهده‌شده در هر دو سال از شباهت نسبی برخوردار بوده و بیانگر پایداری مکانی مصرف آب در شالیزارهای استان است. از این اطلاعات می‌توان برای شناسایی مناطق با نیاز آبی بیشتر و برنامه‌ریزی بهینه آبیاری استفاده کرد.

به این ترتیب، با تلفیق الگوی SSEBOP و الگوریتم جنگل تصادفی، امکان به‌روزرسانی اطلاعات تبخیر و تعرق واقعی شالیزارهای استان گیلان فراهم شد. این روش کمک می‌کند تا تغییرات مکانی و زمانی مصرف آب در شالیزارها بهتر شناسایی شود و بتوان مناطق دارای تبخیر و تعرق بیشتر را مشخص کرد. برای برنامه‌ریزی آبیاری، مدیریت منابع آب، تخصیص بهینه آب در دوره‌های کم‌آبی و تصمیم‌گیری‌های مدیریتی در بخش کشاورزی، چنین اطلاعاتی اهمیت زیادی دارند.



شکل ۲. تبخیر و تعرق واقعی برنج (بر حسب میلیمتر) در طول فصل زراعی (a) ۲۰۲۳، (b) ۲۰۲۴ برای شالیزارهای استان گیلان

1. Enhanced Vegetation Index (EVI)

توصیه‌ها

۱. روش استفاده‌شده در این مقاله برای تعیین سطح زیرکشت برنج در استان گیلان می‌تواند آمار قابل‌اعتمادی را در سطح محلی و منطقه‌ای به تصمیم‌گیرندگان و سیاست‌گذاران برای پیش‌بینی عملکرد محصول و تصمیم برای میزان واردات برنج پیش از پایان فصل زراعی ارائه دهد؛
۲. نیاز است تا روش مورداستفاده در این نوشتار در مناطق مطالعاتی وسیع‌تر و برای محصولات مختلف، ارزیابی و صحت و کارآیی آن مشخص شود؛
۳. از هوش مصنوعی برای پایش همه مراحل زراعت برنج و نیز شناسایی عوامل کاهش‌دهنده محصولات نظیر آفات، بیماری‌ها و سایر تنش‌های موجود در سطوح کوچک و بزرگ استفاده شود؛
۴. با توجه به نقش مهم تبخیر و تعرق در تعیین نیاز آبی شالیزارها، توصیه می‌شود از الگوریتم‌های هوش مصنوعی و داده‌های ماهواره‌ای برای برآورد دقیق و سریع مصرف آب در مزارع برنج استفاده شود. این اطلاعات می‌تواند به مدیران آب و کشاورزان کمک کند تا براساس نیاز واقعی گیاه، آبیاری را برنامه‌ریزی کنند تا از هدررفت منابع آب جلوگیری شود.

منابع

- تقی‌ملایی، یوسف؛ بردبار، کاظم و نگهدار صابر، محمدرضا (۱۴۰۵). هم‌افزایی هوش مصنوعی و سنجش‌ازدور. علوم و فناوری اطلاعات کشاورزی، ۹(۱)، ص. ۷۳-۶۱.
- خدادادی بالانقیبی، محمدرضا؛ سلطانی، افشین و زینلی، ابراهیم (۱۴۰۳). برآورد ردپای آب آبی و سبز برنج در پهنه‌های اگرواکولوژیک کشاورزی کل کشور. تحقیقات آب‌و‌خاک ایران، ۵۵(۱۰)، ص. ۱۷۴۱-۱۷۱۹.
- خیام نکویی، مجتبی؛ غفاری، محمدرضا؛ مردی، محسن؛ قربان‌زاده، زهرا؛ رسمیه، حمید، و زین العابدینی، مهرشاد (۱۴۰۳). فناوری هوش مصنوعی در کشاورزی؛ چشم‌انداز، کاربردها و چالش‌ها. زیست فناوری گیاهان زراعی، ص. ۱۳(۳)، ۲۹-۱۵.
- دروودیان، حمیدرضا و درودیان، عاطفه (۱۳۹۶). پیامدهای اجتماعی و بوم‌شناختی تغییر بی‌رویه کاربری اراضی کشاورزی. مدیریت اراضی، ۵(۲)، ص. ۹۷-۸۱.
- محمدرپور، مسلم (۱۴۰۴). داده‌های ماهواره‌ای و کشاورزی دقیق. علوم و فناوری اطلاعات کشاورزی، ۸(۲)، ص. ۴۳-۲۷.
- وزارت جهاد کشاورزی (۱۴۰۲). آمارنامه کشاورزی (جلد اول: محصولات زراعی). معاونت برنامه ریزی اقتصادی. مرکز آمار، فناوری اطلاعات و ارتباطات.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Howell, T.A., & Jensen, M.E. (2011). Evapotranspiration information reporting: I. Factors governing measurement accuracy. *Agricultural Water Management*. 98(6), 899-920.
- Bai, P. (2023). Comparison of remote sensing evapotranspiration models: Consistency, merits, and pitfalls. *Journal of Hydrology*, 617, 128856.
- Keabetswe, L., He, Y., Li, C., & Zhou, Z. (2024). Estimating actual crop evapotranspiration by using satellite images coupled with hybrid deep learning-based models in potato fields. *Agricultural Water Management*, 306, 109191.
- Sarker, I.H. (2021). Machine Learning: Algorithms, Real-World Applications and Research Directions. *SN Computer Science*, 2(3), 1-21.

- Senay, G.B., Velpuri, N.M., Bohms, S., Budde, M., & Verdin, J.P. (2016). Estimating actual evapotranspiration for the Colorado River Basin using MODIS satellite imagery and the SSEBop model. *Hydrology and Earth System Sciences*, 20(12), 4673-4690.
- Teluguntla, P., Thenkabail, P.S., Oliphant, A., Xiong, J., Gumma, M.K., Congalton, R.G., ... & Huete, A. (2018). A 30-m landsat-derived cropland extent product of Australia and China using random forest machine learning algorithm on Google Earth Engine cloud computing platform. *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 144, 325-340.
- Xiong, J., Thenkabail, P.S., Gumma, M.K., Teluguntla, P., Poehnelt, J., Congalton, R.G., ... & Thau, D. (2017). Automated cropland mapping of continental Africa using Google Earth Engine cloud computing. *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 126, 225-244.

Application of Artificial Intelligence in Paddy Field Management

Mojtaba Rezaei¹, Morteza Kamali²

1.Assistant Professor, Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran, (Corresponding Author), **Email:** mrezaei@yahoo.com.

2.Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran, **Email:** mortezakamali2013@gmail.com

Abstract

Artificial intelligence has become a powerful tool in agriculture for improving productivity and resource management. By analyzing satellite, climatic, and environmental data, this technology enables the identification of cultivated areas and the estimation of actual crop evapotranspiration. In paddy fields, accurate determination of cultivated area and estimation of actual evapotranspiration play a key role in optimal water resource management, irrigation planning, and crop yield prediction. In this study, the application of artificial intelligence algorithms, particularly Random Forest, integrated with satellite imagery, was examined for monitoring paddy fields in Gilan Province. The results showed that the use of this technology can support the production of accurate paddy field maps, the updating of evapotranspiration information, improved managerial decision-making, and enhanced production sustainability. However, the accuracy of the results depends on the quality of input data, appropriate model selection, and field validation.

Keywords: rice, actual evapotranspiration, satellite imagery, land-use