

ارزیابی عملکرد مدل WRF در پیش‌بینی تبخیر و تعرق گیاه برنج بر اساس داده‌های لایسیمیتری در جلگه مرکزی گیلان

ابراهیم اسعدی اسکویی^{۱*}، محمدرضا محمدپورپنجاه^۲، لیلا گودرزی^۳ و مجتبی شکوهی^۴

(۱) استادیار، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، پژوهشکده هواشناسی آب و کشاورزی، تهران، ایران.
(۲) کارشناس پژوهشی، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، پژوهشکده هواشناسی آب و کشاورزی، تهران، ایران.
(۳) کارشناس پژوهشی، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، پژوهشکده هواشناسی آب و کشاورزی، تهران، ایران.
(۴) کارشناس پژوهشی، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، پژوهشکده هواشناسی آب و کشاورزی، تهران، ایران.
* ایمیل نویسنده مسئول: e.asadi.o@gmail.com



شاپا چاپی: ۲۴۸۰-۲۲۵۱
شاپا الکترونیکی: ۷۴۰۰-۲۲۵۰

نشریه حفاظت منابع آب و خاک

آدرس تارنما:

<https://wsrj.srbiau.ac.ir>

پست الکترونیک:

iawwsrj@srbiau.ac.ir

iawwsrj@gmail.com

چکیده:

زمینه و هدف: تبخیر و تعرق به‌عنوان یکی از مؤلفه‌های اصلی چرخه هیدرولوژی، نقش قابل توجهی در برنامه‌ریزی صحیح آبیاری و مدیریت منابع آب دارد. بنابراین برآورد دقیق این پارامتر ضروری است. به دلیل فقدان داده و کمبود ایستگاه‌های هواشناسی، تخمین تبخیر و تعرق با محدودیت روبه‌رو است. بنابراین امروزه مدل‌های عددی مانند WRF ابزاری قدرتمندی برای تولید و پیش‌بینی کمیت‌های هواشناسی (سرعت باد، رطوبت و غیره) مورد نیاز برای تخمین تبخیر و تعرق به‌حساب می‌آیند. تاکنون تحقیقی در زمینه‌ی بررسی تأثیر طرحواره‌های مختلف مدل WRF بر روی تخمین تبخیر و تعرق برنج انجام نشده است. هدف این مطالعه ارزیابی کارایی مدل WRF و به دست آوردن تنظیمات بهینه برای تخمین تبخیر و تعرق گیاه برنج در جلگه مرکزی گیلان می‌باشد.

روش پژوهش: مقادیر واقعی تبخیر و تعرق با نصب یک لایسیمتر شالیزاری در یکی از مزارع پژوهشی موسسه تحقیقات برنج کشور به ابعاد ۱۵۰ در ۱۰۰ متر (۱/۵ هکتار) با مختصات منطقه ۳۷ درجه شمالی و ۴۹ درجه شرقی و ارتفاع ۲۴ متر از سطح دریا اندازه‌گیری شد. FAO روش پنمن-مانتیث را به‌عنوان بهترین روش برای تخمین ETo برای انواع اقلیم‌ها توصیه کرده است. برای برآورد ETo به روش پنمن-مانتیث نیاز به کمیت‌های آب و هوایی است که این کمیت‌ها از خروجی مدل WRF حاصل شد. از آنجا که این کمیت‌ها تأثیر بسزایی در برآورد تبخیر و تعرق دارند، چهار پیکربندی مختلف با استفاده از فیزیک تابش طول موج کوتاه و بلند، لایه سطحی و لایه مرزی برای مدل WRF انتخاب و مورد آزمایش قرار گرفتند. در مرحله بعد، مقادیر اندازه‌گیری شده تبخیر و تعرق توسط لایسیمتر با مقادیر برآورده شده از خروجی‌های مدل (با به‌کارگیری ۴ طرحواره‌های مختلف محلی و غیر محلی) مقایسه و تنظیمات بهینه مدل برای تخمین میزان تبخیر و تعرق مشخص شد.

یافته‌ها: مقادیر تبخیر و تعرق در بازه‌ی ۲/۷ تا ۸/۵ میلی‌متر در روز در تغییر است. میانگین ET در طی سه دوره‌ی مختلف رشد گیاه شامل دوره‌ی ابتدایی، میانی و انتهایی به ترتیب برابر ۴/۶۳، ۵/۹۷ و ۵/۹۸ میلی‌متر در روز برآورد شده است. سه پیکربندی ۱، ۲ و ۴ عمدتاً در پیش‌بینی تبخیر و تعرق گیاه برنج، بیش برآورد داشته و مقادیر محاسباتی بیشتر از مقدار اندازه‌گیری شده توسط لایسیمتر تخمین زده شده است. نتایج نشان می‌دهد که بیشترین میزان RMSE در پیکربندی شماره ۴ و به میزان ۸/۴۷ و کمترین میزان آن در پیکربندی شماره ۳ و به میزان ۱/۲۶ رخ داده است. جمع‌بندی نتایج نشان می‌دهد که پیکربندی شماره ۳ در هر چهار معیار ذکر شده در مقایسه با دیگر پیکربندی‌ها در پیش‌بینی تبخیر و تعرق روزانه گیاه برنج بهتر عمل کرده است. نتایج نشان داد که طرحواره‌ی غیر محلی بکار گرفته شده در مدل نسبت به طرحواره‌های محلی، تبخیر و تعرق روزانه گیاه برنج را بهتر شبیه‌سازی می‌کند. یافته‌ها نشان می‌دهد که در طرحواره محلی YSU، دقت پیش‌بینی‌ها به‌طور قابل توجهی افزایش یافته و تنها به میزان ۰/۶۴ میلی‌متر به‌طور متوسط نسبت به داده‌های لایسیمتری کمتر برآورد شده است.

نتایج: نتایج نشان داد کاربرد طرحواره مناسب در لایه سطحی و لایه مرزی مدل WRF بر دقت پیش‌بینی‌های تبخیر و تعرق تأثیر دارد. نتایج این تحقیق نشان داد که این مدل با کاربرد طرحواره‌ی لایه مرزی غیر محلی YSU قادر است که مقادیر تبخیر و تعرق گیاه برنج را با دقت قابل قبولی برای یک روز بعد پیش‌بینی کند که دلیل آن قابلیت بالاتر این طرحواره در پیش‌بینی پارامترهای مؤثر بر تبخیر و تعرق (از جمله دما و باد) است. بنابراین مدل WRF می‌تواند با استفاده از داده‌های پیش‌بینی GFS برای چند روز آینده اجرا و با اعمال معادله‌ی فائو-پنمن-مانتیث بر خروجی‌های مدل، مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل برای مناطق مختلف کشور محاسبه گردد. از آنجایی که تبخیر و تعرق در ارتباط مستقیم با فرآیندهای ترمودینامیکی جو است، کاربرد دیگر طرحواره‌های مختلف فیزیکی جو (که در این تحقیق مد نظر نبوده است) می‌تواند نتایج متفاوتی تولید کند.

کلید واژه‌ها: پیش‌بینی تبخیر و تعرق، لایسیمتر، مدل WRF، فائو-پنمن-مانتیث، نیاز آبی

سال یازدهم

شماره دو

زمستان ۱۴۰۰

تاریخ دریافت:

۱۴۰۰/۰۲/۲۷

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۰/۰۸/۳۰

صفحات: ۱-۱۱



مقدمه

و مقدار از دست رفته از طریق خاک، تبخیر و تعرق را تعیین می‌کند. با این وجود، به دلیل هزینه نگهداری زیاد، مصرف زمان و کمبود ابزار دقیق، اجرای آن خصوصاً برای مناطق بزرگ آسان نیست (Pandey et al., 2016). با این حال، روش‌های دیگری نیز وجود دارد که در دهه‌های گذشته توسعه یافته‌اند و ET را اندازه‌گیری می‌کنند. در میان آنها، ساده‌ترین روش توسط هامون (۱۹۶۳) ساخته شد که برای محاسبه ET فقط به داده‌های دما نیاز دارد (Lang et al., 2017). مک‌گاب^۲ و همکاران (۲۰۱۵) از مقادیر ضریب کالیبره ماهانه برای محاسبه ET استفاده کرد و دریافت که میانگین ET ماهانه (با استفاده از روش Hamon) نزدیک به میانگین تبخیر سطح آب آزاد ماهانه است.

بر اساس نتایج مطالعات گذشته، معادله‌ی فائو-پنمن-مانتیت مناسب‌ترین روش غیرمستقیم برای تخمین تبخیر و تعرق مرجع (ET₀) در نظر گرفته شده است. کای^۳ و همکاران (۲۰۰۹) از ET₀ روزانه در زمان واقعی در زمینه مدیریت منابع آب استفاده کردند. کار^۴ و همکاران (۲۰۱۶) ET₀ محاسبه شده با هشت روش مختلف برای منطقه کشاورزی-اقتصادی را مقایسه کردند. آنها دریافتند که تخمین ET₀ محاسبه شده از طریق روش پنمن-مانتیت برآورد بهتری از ET₀ را در مقایسه با سایر روش‌ها ارائه می‌دهد. سونگ^۵ و همکاران (۲۰۱۹) از روش فائو-پنمن-مانتیت به عنوان روش مرجع برای مقایسه روش‌های دیگر محاسبه تبخیر و تعرق استفاده کردند. با این حال، یک اشکال عمده در روش پنمن-مانتیت این است که چندین پارامتر هواشناسی (سرعت باد، رطوبت، ساعت آفتاب و غیره) را نیاز دارد که ممکن است اغلب در همه جا وجود نداشته باشند (Chen et al., 2005)، فقدان داده می‌تواند به دلیل کمبود ایستگاه‌ها و یا مقادیر از دست رفته

در جوامع امروزی با توجه به افزایش مصرف آب در صنایع، کشاورزی، اکوسیستم‌ها و مصرف انسانی، یکی از چالش‌های مهم تأمین منابع آبی است (Rosegrant et al., 2000). امروزه با وقوع تغییرات آب و هوایی، حوادث حادی تأثیرگذار بر منابع آبی، چون خشکسالی، افزایش یافته است، از این رو باید برای غلبه بر این حوادث که ممکن است جوامع بشری، زیرساخت‌ها، سیستم‌ها و سایر بخش‌ها را تحت تأثیر قرار دهد، آماده شویم (López-Scripca et al., 2016; Díaz et al., 2013). در این راستا، لازم است سیستم‌هایی تهیه شود که امکان بهره‌برداری کارآمد از منابع آب را فراهم کند و سیاست‌های تخصیص آب و تقاضای روزافزون و استفاده‌های متعدد از آب و تنوع آب و هوایی را در نظر بگیرد. یکی از راه کارهای مربوطه، می‌تواند راه‌اندازی سامانه‌های پیش‌بینی دقیق کمیت‌های جوی تأثیرگذار بر بهره‌برداری از منابع آبی باشد.

تبخیر و تعرق^۱ (ET)، یکی از این عوامل تأثیرگذار در روش‌های آبیاری و کشاورزی بوده و نقش بسیار مهمی در زمینه تعادل آب و انرژی در زمین دارد (Nag et al., 2014). تبخیر و تعرق به عنوان «تلفات تلفیقی آب از یک منطقه مشخص و در طی یک دوره زمانی مشخص با تبخیر از سطح خاک و با تعرق از گیاهان» تعریف شده است (Thornthwaite., 1948). این پارامتر به عنوان یکی از مهمترین اجزای چرخه هیدرولوژیکی در نظر گرفته می‌شود (Srivastava et al., Mall and Gupta., 2002). با این وجود، علیرغم تلاش‌های زیادی که توسط بسیاری از سازمان‌های دولتی انجام شده است، هنوز ایستگاه‌های هواشناسی کافی برای اندازه‌گیری مجموعه داده‌های قابل اعتماد و دقیق برای تخمین تبخیر و تعرق وجود ندارد.

یکی از روش‌های تخمین ET استفاده از لایسیمتر است که با ثبت میزان بارشی که یک منطقه دریافت می‌کند

² McCabe

³ Cai

⁴ Kar

⁵ Song

¹ Evapotranspiration

مروری بر تحقیقات گذشته نشان می‌دهد که در مطالعات پیشین عمدتاً به ارزیابی روش‌های تجربی مختلف و یا کارایی مدل‌های عددی متفاوت در برآورد تبخیر و تعرق پرداخته شده است و تاکنون تحقیقی در زمینه‌ی بررسی تأثیر طرحواره‌های مختلف مدل WRF بر روی تخمین تبخیر و تعرق گیاه برنج انجام نشده است. هدف این مطالعه ارزیابی کارایی مدل WRF و به دست آوردن تنظیمات بهینه برای تخمین میزان تبخیر و تعرق گیاه برنج در جلگه مرکزی گیلان می‌باشد. نتایج این تحقیق می‌تواند کمک شایانی به برنامه‌ریزی صحیح آبیاری و مدیریت منابع آب نماید.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

اندازه‌گیری‌های لایسیمیتری در یکی از مزارع پژوهشی موسسه تحقیقات برنج کشور به ابعاد ۱۵۰ در ۱۰۰ متر (۱/۵هکتار) با مختصات منطقه ۳۷ درجه شمالی و ۴۹ درجه شرقی و ارتفاع ۲۴ متر از سطح دریا انجام گرفت. اندازه‌گیری تبخیر-تعرق واقعی در شالیزار با استفاده از مینی لایسیمترهای شالیزاری امکان‌پذیر است. این مینی لایسیمترها را می‌توان با استقرار استوانه‌های فلزی با قطر و ارتفاع تقریبی ۶۰ سانتی‌متر در شالیزار احداث کرد. لایسیمترها باید با استفاده از چکش و وزنه دبل رینگ به‌گونه‌ای در زمین مستقر گردند که قسمت انتهایی آنها در لایه نفوذناپذیر شالیزار (در عمق تقریبی ۱۵ الی ۲۰ سانتیمتری از سطح خاک) فرو رود زیرا در این لایه نفوذ عمقی کمینه است. درشکه ۱، نحوه استقرار لایسیمتر نشان داده شده است.

تراکم نشاء برنج در این لایسیمترها همانند شالیزار است. به‌عنوان مثال برای رقم محلی هاشمی به فاصله ۲۰ سانتیمتر کشت می‌شود، باید پنج بوته در اطراف و یک بوته در مرکز لایسیمتر نشاء شوند. اندازه‌گیری روزانه تبخیر و تعرق در لایسیمتر در از نشاء تا زمان قطع کامل

به دلیل تعمیر و نگهداری ایستگاه‌ها باشد (Pandey et al., 2016).

امروزه مدل‌های عددی ابزاری قدرتمند برای تولید و پیش‌بینی جوی بشمار می‌آیند و قادرند با دقت مناسبی کمیت‌های هواشناسی را تخمین بزنند. مطالعات مختلفی در زمینه ارزیابی ET0 با استفاده از مدل‌های میان مقیاس جوی مانند (WRF, MM5 و غیره)، وجود دارد. ایشک^۱ و همکاران (۲۰۱۰) مقادیر ET0 را در حوضه آبریز Brue در جنوب غربی انگلیس تخمین زده‌اند که با استفاده از داده‌های باز تحلیل ECMWF ERA-40 ریزمقیاس شدند. Silva و همکاران (۲۰۱۰) از پیش‌بینی عددی آب و هوای به دست آمده از مدل MM5 به‌عنوان داده‌های هواشناسی برای تخمین ET0 در حوضه آبریز رودخانه Maipo استفاده کردند. سریواستاوا^۲ و همکاران (۲۰۱۶) از مدل WRF برای ریزمقیاس کردن داده‌های ECMWF و NCEP بر روی حوضه آبریز Brue استفاده کردند و عملکرد بهتر ECMWF را نسبت به مجموعه داده‌های NCEP نتیجه گرفتند. برای مطالعات بیشتر می‌توان به منابع چون Falk و همکاران (۲۰۱۴) و لین^۳ و همکاران (۲۰۱۸) رجوع کرد. باید توجه داشت که خروجی تمام مدل‌های عددی پیش‌بینی جوی شامل خطاهایی است که بر کیفیت و دقت پیش‌بینی‌ها تأثیر می‌گذارد. بخشی از این خطاها ناشی از ساده‌سازی‌هایی است که در بخش فیزیک مدل بکار گرفته می‌شوند. مطالعات گذشته نشان دهنده این است که پیش‌بینی دقیق متغیرهای سطح ممکن است نسبت به انتخاب طرحواره‌های فیزیکی مدل و صحت داده‌های کاربری زمین و عوارض زمینی حساس باشد (Ries and Noble et Zittis et al., 2014; Schlünzen, 2009; al., 2017; Mohammadpour Penchah et al., 2017; al., 2018 Jimenez-Estevé). به دست آوردن تنظیمات بهینه برای هر منطقه به‌عنوان یکی از راه‌های کاهش خطای مدل پیشنهاد شده است (Carvalho et al., 2014).

¹ Ishak

² Srivastava

³ Lin

$$\Delta = \frac{4098 \left[0.6108 \exp \left(\frac{17.27T}{T + 237.3} \right) \right]}{(T + 237.3)^2}$$

در رابطه‌ی فوق T دمای هوا و e = 2.7183 (بر اساس لگاریتم طبیعی) است.

تبخیر و تعرق گیاه (ET_{crop}) تحت تأثیر شرایط آب و هوایی و مراحل رشد گیاه بوده و از رابطه زیر محاسبه می‌شود (Gholami Sefid Kouhi et al., 2010):

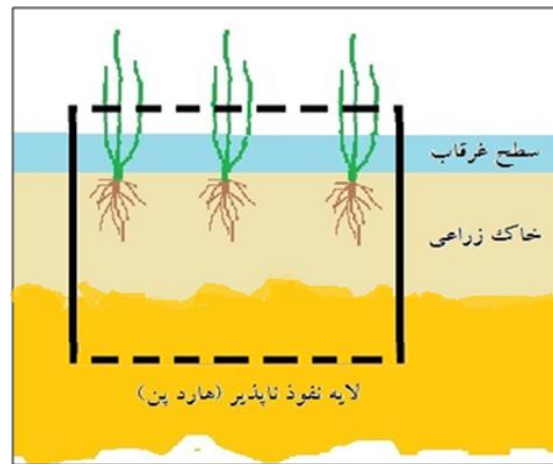
$$ET_{crop} = \sum_{i=1}^n kc_i \times ET0_i$$

در رابطه فوق، kc_i ضریب گیاه و ET0_i میزان تبخیر و تعرق مرجع در مرحله رشد i می‌باشد.

۳-۲- معرفی مدل منطقه‌ای WRF^۱

مدل تحقیقات و پیش‌بینی وضع هوا WRF یکی از پرکاربردترین مدل‌های دینامیکی پیش‌بینی جوی در جهان است که برای تأمین نیازهای تحقیقاتی و عملیاتی طراحی شده است. این مدل تلاش مشترک میان چند سازمان، مانند مرکز ملی تحقیقات جوی (NCAR^۲)، مرکز ملی پیش‌بینی محیطی (NCEP^۳)، آزمایشگاه سیستم‌های پیش‌بینی (FSL^۴)، آژانس هواشناسی نیروی هوایی (AFWA^۵) و تعدادی از مؤسسات و دانشگاه‌های مشارکت کننده دیگر است. مدل WRF یک مدل رایگان، متن باز و همواره در حال توسعه و پیشرفت است که برای طیف گسترده‌ای از کاربردها، در مقیاس‌های مختلف، گسترش یافته است. مدل دارای دو بخش اصلی است که عبارتند از بخش پیش پردازش و هسته اصلی. در بخش پیش پردازش، دامنه مدل تعریف شده و داده‌های شرایط اولیه و مرزی به فرمت ورودی مدل در می‌آیند. در هسته

آبیاری (رسیدگی)، در بازه زمانی سوم خرداد تا ۲۳ مرداد ۱۳۹۳ انجام شد.



شکل ۱. مقطع عرضی لایسیمتر و استقرار لبه زیری آن در لایه هارد پن (Oskouei Asad, 2017).

۲-۲- محاسبه تبخیر و تعرق پانسیل به روش فائو-پنمن-مانتیث

FAO روش پنمن-مانتیث را به‌عنوان بهترین روش برای تخمین ET0 برای انواع اقلیم‌ها توصیه کرده است. معادله برآورد ET0 روزانه به این روش را می‌توان به‌صورت زیر بیان کرد (Allen and et al., 1998):

$$ET0 = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 u_2)}$$

در اینجا ET0 نرخ تغییرات تبخیر و تعرق بر حسب میلی‌متر در روز، Rn تابش خالص در سطح (MJ m⁻² day⁻¹)، T میانگین دمای هوا (°C)، u₂ سرعت باد (ms⁻¹) در ارتفاع ۲ متری زمین، e_s فشار بخار اشباع است (kPa)، e_a فشار بخار واقعی، e_s - e_a کاستی فشار بخار اشباع (kPa °C - 1)، Δ شیب منحنی فشار بخار (kPa °C - 1)، γ ثابت روان‌سنجی است (kPa °C - 1) و G چگالی شار حرارتی خاک (MJ m⁻² day⁻¹) است. از آنجا که روش پنمن-مانتیث برای یک سطح مرجع پوشیده از چمن تهیه شده است و مقدار روزانه شار حرارتی خاک، G، در زیر سطح مرجع چمن نسبتاً کوچک است، می‌توان G=0 در نظر گرفت.

¹ Weather Research and Forecasting

² National Center for Atmospheric Research

³ National Centers for Environmental Prediction

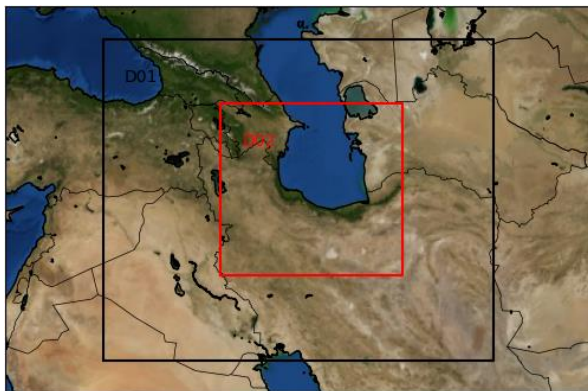
⁴ Forecast Systems Laboratory

⁵ Air Force Weather Agency

جدول ۱. پیکربندی‌های بکار گرفته شده در مطالعه‌ی حاضر

پیکربندی	تابش طول موج کوتاه	تابش طول موج بلند	لایه سطحی	لایه مرزی
C۱	Dudhia	RRTM	ACM2	ACM2
C۲	New Goddard	New Goddard	MYJ	MYJ
C۳	Dudhia	RRTM	MM5 similarity	YSU
C۴	RRTMG	RRTMG	QNSE	QNSE

دست آوردن تنظیمات بهینه مدل در شبیه‌سازی تبخیر و تعرق، پیکربندی‌های مختلفی با استفاده از فیزیک تابش طول موج کوتاه و بلند، لایه سطحی و لایه مرزی انتخاب شده و مورد آزمایش قرار گرفتند. در جدول ۱ پیکربندی‌های بکار رفته آورده شده است.



شکل ۲. نمایی از دامنه‌های تعریف شده در مدل WRF (کادر مشکی محدوده دامنه اول و کادر قرمز محدوده دامنه دوم)

۲-۴- آماره‌های مورد استفاده جهت ارزیابی دقت پیش‌بینی‌ها به منظور ارزیابی کارایی مدل WRF در برآورد تبخیر و تعرق از آماره‌های ریشه دوم میانگین مربعات خطا (RMSE)، ریشه دوم میانگین مربعات خطا نرمال شده (nRMSE)، اریبی (Bias) و ضریب همبستگی استفاده شده است. این آماره‌ها بیشترین کاربرد را در تجزیه و تحلیل‌های مقایسه‌ای دارند و از آنها برای ارزیابی دقت پیش‌بینی‌های یک مدل در مقایسه با مقادیر مشاهداتی استفاده می‌شود (Gharahdaghi, et al., 2020).

$$\text{Bias} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - o_i)$$

$$\text{RMSE} = \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - o_i)^2 \right)^{1/2}$$

$$\text{nRMSE} = \text{RMSE} / \text{Standard Deviation}$$

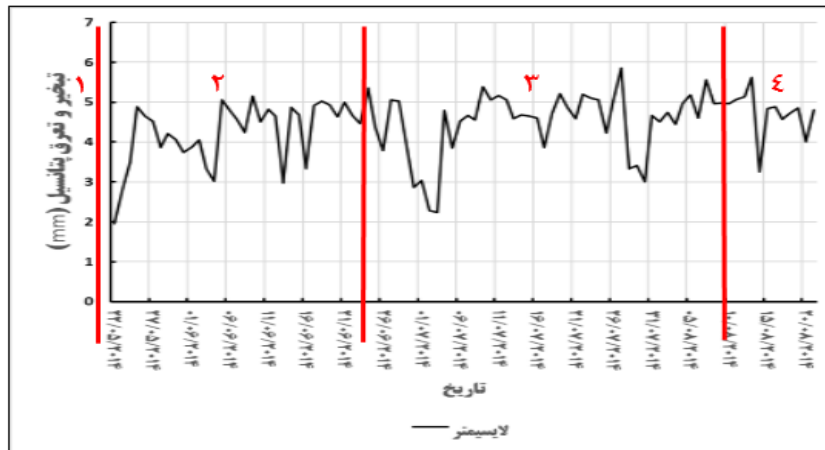
اصلی مدل، معادلات دینامیکی و پارامترسازی‌های فیزیکی مدل حل شده و خروجی به صورت فایل‌هایی با فرمت NETCDF ارائه می‌شود.

در این تحقیق، مدل WRF با دو دامنه تو در تو اجرا می‌شود. تفکیک افقی دامنه بزرگتر ۲۷ کیلومتر و دامنه کوچکتر ۹ کیلومتر است. شکل ۲ نمایی از منطقه مورد مطالعه که شامل بخش‌های شمالی کشور ایران می‌شود را نشان می‌دهد که برای تحلیل داده‌های پیش‌بینی خروجی مدل از آن استفاده می‌شود.

برای تأمین شرایط اولیه و مرزی مدل از داده‌های GFS^۱ با تفکیک افقی ۰/۵ درجه استفاده شده است. این داده‌ها هر سه ساعت یک بار (در ساعات استاندارد) تا ۱۶ روز آینده در دسترس هستند. GFS یک مدل پیش‌بینی آب و هوا است که توسط مرکز ملی پیش‌بینی محیط‌زیست (NCEP) تولید شده است. ده‌ها متغیر جوی و خاکی از دما، باد و بارش تا رطوبت خاک و غلظت ازن جوی در این داده‌ها در دسترس است.

اما همان‌طور که اشاره شده تنظیمات فیزیکی مدل می‌تواند تأثیر بسزایی در شبیه‌سازی کمیت‌های جوی در منطقه مورد مطالعه داشته باشد. در این تحقیق برای به دست آوردن تنظیمات بهینه، مدل با چهار پیکربندی مختلف در بازه زمانی سوم خرداد تا ۲۳ مرداد ۱۳۹۳ (با توجه به بازه زمانی داده‌های لایسیمیتری موجود) اجرا و خروجی‌ها به صورت ساعتی ذخیره شد. کمیت‌هایی که در محاسبه تبخیر و تعرق تأثیر بسزایی دارند شامل دما، رطوبت، تابش و باد می‌باشند. به همین منظور برای به

^۱ Global System Forecast



شکل ۳. مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه برنج (اندازه‌گیری شده توسط لایسیمتر) در طی دوره رشد و مراحل مختلف فنولوژی:
۱- دوره پاکبندی، ۲- دوره رشد (۱۰ تا ۹۰ درصد) ۳- دوره میانی، ۴- دوره پایانی

۳- نتایج و بحث

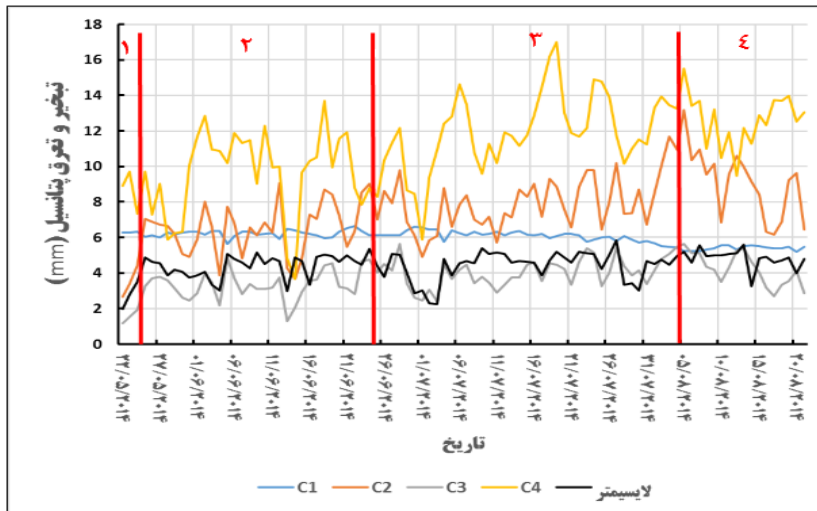
مقایسه نمودار حاصل از پیکربندی ۳ و داده‌های لایسیمتری نشان می‌دهد که در این پیکربندی به‌طور قابل توجهی، میزان دقت مدل در برآورد تبخیر و تعرق افزایش یافته است. از آنجا که در پیکربندی شماره ۱ و ۳، طرحواره‌های بکار گرفته شده برای تابش طول موج کوتاه و تابش طول موج بلند یکسان است (مطابق جدول ۱)، بنابراین می‌توان به اهمیت کاربرد طرحواره مناسب در لایه سطحی و لایه مرزی مدل WRF و تأثیر آن بر دقت پیش‌بینی‌های تبخیر و تعرق پی برد.

به‌منظور ارزیابی کمی و دقیق‌تر نتایج، چند معیار مختلف برای سنجش خطا در پیش‌بینی‌ها بکار گرفته شده است. جدول ۲ بیانگر میزان خطای پیش‌بینی تبخیر و تعرق توسط مدل WRF با چهار معیار مختلف می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که بیشترین میزان RMSE در پیکربندی شماره ۴ و به میزان ۸/۴۷ و کمترین میزان آن در پیکربندی شماره ۳ و به میزان ۱/۲۶ رخ داده است؛ اما از آنجا که مقدار RMSE به دامنه تغییرات داده‌ها وابسته است، نمی‌توان تعیین کرد که چه مقدار از این شاخص نشان دهنده‌ی کفایت مدل است. به همین منظور برای رفع این مشکل، در پژوهش حاضر از شاخص دیگری با نام ریشه دوم میانگین مربعات خطا نرمال شده (nRMSE) نیز استفاده شده است. مقدار آماره‌ی nRMSE کمتر از ۱۰ درصد نشان دهنده‌ی دقت بسیار بالای مدل، ۱۰ تا ۲۵

تبخیر و تعرق گیاه برنج به‌صورت روزانه در طی فصل رشد توسط دستگاه لایسیمتر اندازه‌گیری و روند تغییرات آن در شکل ۳ ارائه شده است.

همان‌گونه که در شکل ۳ مشخص است، مقادیر تبخیر و تعرق در بازه‌ی ۸/۵ تا ۲/۷ میلی‌متر در روز در تغییر است. میانگین ET در طی سه دوره‌ی مختلف رشد شامل دوره‌ی ابتدایی، میانی و انتهایی به ترتیب برابر ۴/۶۳، ۵/۹۷ و ۵/۹۸ میلی‌متر در روز برآورد شده است.

شکل ۴ نمودار تبخیر و تعرق پتانسیل پیش‌بینی شده توسط مدل WRF با چهار پیکربندی مختلف را در مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری شده توسط لایسیمتر نشان می‌دهد. همان‌گونه که در شکل مشاهده می‌شود، سه پیکربندی ۱، ۲ و ۴ عمدتاً در پیش‌بینی تبخیر و تعرق گیاه برنج، بیش برآورد داشته و مقادیر محاسباتی بیشتر از مقدار اندازه‌گیری شده توسط لایسیمتر تخمین زده شده است. مقایسه چشمی و کیفی نمودارها نشان می‌دهد که مقدار بیش برآورد مدل در ابتدای نمودارها کمتر بوده و به عبارتی در طی دو دوره رشد میانی و انتهایی، میزان بیش برآورد مدل بیشتر بوده است. به نظر می‌رسد که در این دو دوره و با افزایش یافتن پراکندگی داده‌ها، دقت مدل در پیش‌بینی مقادیر تبخیر و تعرق کاهش می‌یابد.



شکل ۴. مقایسه تبخیر و تعرق پتانسیل پیش‌بینی شده توسط مدل WRF و مقادیر اندازه‌گیری شده توسط لایسیمتر در مراحل مختلف فنولوژی:

۱- دوره پاک‌گیری، ۲- دوره رشد (۱۰ تا ۹۰ درصد) ۳- دوره میانی، ۴- دوره پایانی.

جهت تخمین میزان بیش و یا کم برآورد پیش‌بینی‌ها از معیار اریبی استفاده شده که نتایج آن در جدول ۲ ارائه شده است. یافته‌ها نشان می‌دهد که خروجی‌های حاصل از پیکربندی ۱، ۲ و ۴ دارای بیش برآورد در میزان پیش‌بینی بوده و در سه پیکربندی ذکر شده میزان بیش برآورد به صورت متوسط به میزان ۱/۵۶، ۳/۶۷ و ۷/۸۵ میلی‌متر در روز می‌باشد. اما در پیکربندی شماره ۳، دقت پیش‌بینی‌ها به‌طور قابل توجهی افزایش یافته و تنها به میزان ۰/۶۴ میلی‌متر نسبت به داده‌های لایسیمتری کمتر برآورد شده است.

بنابراین جمع‌بندی نتایج نشان می‌دهد که پیکربندی شماره ۳ در هر چهار معیار ذکر شده در مقایسه با دیگر پیکربندی‌ها در پیش‌بینی تبخیر و تعرق روزانه گیاه برنج بهتر عمل کرده است. می‌توان چنین نتیجه گرفت که

درصد نشان دهنده‌ی مناسب بودن مدل، ۲۵ تا ۳۵ درصد نشان دهنده‌ی دقت متوسط و بالاتر از ۳۵ درصد نشان دهنده‌ی ضعف مدل در پیش‌بینی است. بنابراین با توجه به محدوده‌ی آماره‌های nRMSE و RMSE، دقت پیش‌بینی در پیکربندی‌های ۱، ۲ و ۴ ضعیف و در پیکربندی ۳ مناسب است.

به‌منظور تحلیل نتایج و سنجش ارتباط میان داده‌ها از ضریب همبستگی نیز استفاده شده است. بیشترین میزان ضریب همبستگی میان مقادیر پیش‌بینی شده و داده‌های لایسیمتری در پیکربندی شماره ۳ (به میزان ۶۸ درصد) و کمترین ضریب همبستگی در پیکربندی شماره ۱ (به میزان ۳۵ درصد) مشاهده شده است که نشان از همبستگی متوسط در پیکربندی شماره ۳ و همبستگی ضعیف در دیگر پیکربندی‌ها دارد.

جدول ۲. مقدار خطا در پیش‌بینی تبخیر و تعرق گیاه برنج توسط مدل WRF با استفاده از چهار پیکربندی مختلف

پیکربندی	RMSE	nRMSE	Bias	ضریب همبستگی
C1	۲/۰۱۵	۳۶/۸۳	۱/۵۶	۰/۳۵
C2	۴/۳۵	۷۹/۵۹	۳/۶۷	۰/۶۰
C3	۱/۲۶	۲۳/۱۴	-۰/۶۴	۰/۶۸
C4	۸/۴۷	۱۵۴/۷۵۸	۷/۸۵	۰/۵۲

آن بر روی تبخیر و تعرق گیاه برنج ارزیابی گردد. لازم به ذکر است که نتایج این بررسی منحصرأ محدود به منطقه مورد مطالعه و بر روی گیاه برنج بوده و عدم دقت سایر طرحواره‌ها نیز محدود به این شرایط می‌باشد. بنابراین پیشنهاد می‌شود که ارزیابی تأثیر طرحواره‌های مختلف بر روی سایر گیاهان و در مناطق مختلف انجام و نتایج آن با نتایج تحقیق حاضر مقایسه شود.

لازم به ذکر است که اگرچه ارزیابی نتایج دیگر طرحواره‌های مدل به صورت کلی نشان دهنده بیش برآورد مقدار تبخیر و تعرق در شبیه‌سازی مدل نسبت به داده‌های لایسیمیتری است، اما این خطا می‌تواند با افزایش تفکیک مکانی و بهبود داده‌های ثابت زمینی مانند عارضه‌نگاری، پوشش گیاهی و بافت خاک بهبود یابد. از آنجایی که تبخیر و تعرق در ارتباط مستقیم با فرآیندهای ترمودینامیکی جو است، کاربرد دیگر طرحواره‌های مختلف فیزیک جو (که در این تحقیق مد نظر نبوده است) می‌تواند نتایج متفاوتی تولید کند و پیشنهاد می‌شود که ارزیابی تأثیر طرحواره‌های مختلف در مطالعات آینده مورد توجه قرار گیرد. نتایج چنین تحقیقاتی می‌تواند برای کارشناسان و متولیان بخش آب به منظور تعیین میزان نیاز آبی گیاهان و با هدف استفاده از آن در مدیریت منابع آب و برنامه‌ریزی تحویل آب در شبکه‌های آبیاری و زهکشی مؤثر واقع شود.

طرحواره‌ی غیر محلی^۱ بکار گرفته شده در جدول ۱ (YSU) نسبت به طرحواره‌های محلی (مانند ACM2, MYJ و QNSE)، تبخیر و تعرق روزانه گیاه برنج را بهتر شبیه‌سازی می‌کند که دلیل آن قابلیت بالاتر این طرحواره در پیش‌بینی پارامترهای مؤثر بر تبخیر و تعرق (از جمله دما و باد) می‌باشد.

۴- نتیجه‌گیری

پیش‌بینی تبخیر و تعرق و به طبع آن تعیین نیاز آبی گیاهان مختلف امری ضروری در مدیریت و برنامه‌ریزی بهینه آبیاری است. در تحقیق حاضر، عملکرد مدل منطقه‌ای WRF در تخمین میزان تبخیر و تعرق گیاه برنج مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد که این مدل با کاربرد طرحواره‌ی لایه مرزی غیر محلی YSU قادر است که مقادیر تبخیر و تعرق گیاه برنج را با دقت قابل قبولی برای یک روز بعد پیش‌بینی کند. این یافته‌ها با نتایج تحقیق کماسی و همکاران (۱۳۹۵) و همچنین Xie و همکاران (۲۰۱۲) مبنی بر عملکرد بهتر طرحواره‌های غیر محلی در شبیه‌سازی دما و باد همخوانی دارد.

بر پایه نتایج به دست آمده از کاربرد این طرحواره، میزان ضریب همبستگی میان مقادیر پیش‌بینی شده و داده‌های لایسیمیتری به میزان ۶۸ درصد و ریشه دوم میانگین مربعات خطا نرمال شده برابر با ۲۳ درصد برآورد شده است که نشان‌دهنده‌ی کارایی مناسب مدل در تخمین میزان تبخیر و تعرق گیاه برنج است. بنابراین مدل WRF می‌تواند با استفاده از داده‌های پیش‌بینی GFS برای چند روز آینده اجرا گردد و با اعمال معادله‌ی فائو-پنمن-مانتیش بر خروجی‌های مدل، مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل برای مناطق مختلف کشور و با در نظر گرفتن استان‌های دارای قابلیت کشت برنج محاسبه گردد.

در تحقیق حاضر از چهار پیکربندی مختلف در مدل WRF استفاده شده است، بنابراین پیشنهاد می‌شود که در تحقیقات آتی از دیگر پیکربندی‌ها در مدل استفاده و تأثیر

¹ Nonlocal

Reference:

- Alkaeed, O., Flores, C., Jinno, K. and Tsutsumi, A. 2006. Comparison of several reference evapotranspiration methods for Itoshima Peninsula area, Fukuoka, Japan. *Mem. Fac. Eng. Kyushu Univ.* 66: 1–14.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. Fao, Rome, 300: D05109.
- Cai, X., Wang, D. and Laurent, R. 2009. Impact of climate change on crop yield: A case study of rainfed corn in central Illinois. *J. Appl. Meteorol. Climatol*, 48: 1868–1881.
- Carvalho, D., Rocha, A., Gómez-Gesteira, M. and Santos, C.S. 2014. Comparison of reanalyzed, analyzed, satellite-retrieved and NWP modelled winds with buoy data along the Iberian Peninsula coast. *Remote Sens. Environ*, 152: 480–492.
- Chen, D., Gao, G., Xu, C.-Y., Guo, J. and Ren, G. 2005. Comparison of the Thornthwaite method and pan data with the standard Penman-Monteith estimates of reference evapotranspiration in China. *Clim. Res.* 28: 123–132.
- Djaman, K., Balde, A.B., Sow, A., Muller, B., Irmak, S., N'Diaye, M.K., Manneh, B., Moukoubi, Y.D., Futakuchi, K. and Saito, K. 2015. Evaluation of sixteen reference evapotranspiration methods under sahelian conditions in the Senegal River Valley. *J. Hydrol. Reg. Stud.* 3: 139–159.
- Falk, M., Pyles, R.D., Ustin, S.L., Paw U, K.T., Xu, L., Whiting, M.L., Sanden, B.L. and Brown, P.H. 2014. Evaluated crop evapotranspiration over a region of irrigated orchards with the improved ACASA-WRF model. *J. Hydrometeorol*, 15: 744–758.
- Gharahdaghi, M. H., Homaei, M., Mirlatifi, M., & Noroozi, A. (2020). Using Forecasts of WRF Regional Model to Improve the Accuracy of Reference Evapotranspiration Estimation. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 51(1), 165–177. <https://doi.org/10.22059/IJSWR.2019.285920.668274>. [in Persian]
- Gholami Sefid Kouhi, M., & Mirlatifi, S., & Mohammadi, K., & Ali Mohammadi, A. (2010). Estimating Crop Coefficient and Actual Evapotranspiration of Wheat by Remote Sensing: A Case Study, Gorgan Rood Command Area, Golestan, Iran. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 4(2), 222–231. <https://www.sid.ir/en/journal/ViewPaper.aspx?id= 87570>. [in Persian]
- Hamon, W.R. 1963. Estimating potential evapotranspiration. *Trans. Am. Soc. Civ. Eng.* 128: 324–338.
- Ishak, A.M., Bray, M., Remesan, R. and Han, D. 2010. Estimating reference evapotranspiration using numerical weather modelling. *Hydrol. Process*, 24: 3490–3509.
- Jiménez-Esteve, B., Udina, M., Soler, M.R., Pepin, N. and Miró, J.R. 2018. Land use and topography influence in a complex terrain area: A high resolution mesoscale modelling study over the Eastern Pyrenees using the WRF model. *Atmos. Res*, 202: 49–62.
- Kamasi, F., Ali Akbari Beidakhti, A. And steadfast, s. (2016). Evaluation of different boundary layer schemas in WRF model (Tehran case study). 17th Iranian Geophysical Conference [Conference presentation]. [in Persian]
- Kar, S.K., Nema, A.K., Singh, A., Sinha, B.L. and Mishra, C.D. 2016. Comparative study of reference evapotranspiration estimation methods including Artificial Neural Network for dry sub-humid agro-ecological region. *J. Soil Water Conserv*, 15: 233–241.
- Kwak, J., Kim, S., Kim, G., Singh, V.P., Hong, S. and Kim, H.S. 2015. Scrub typhus incidence modeling with meteorological factors in South Korea. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 12: 7254–7273.
- Lang, D., Zheng, J., Shi, J., Liao, F., Ma, X., Wang, W., Chen, X. and Zhang, M. 2017. A comparative study of potential evapotranspiration estimation by eight methods with FAO Penman-Monteith method in southwestern China. *Water* 9: 734–744.
- Lin, P., Rajib, M.A., Yang, Z., Somos-Valenzuela, M., Merwade, V., Maidment, D.R., Wang, Y. and Chen, L. 2018. Spatiotemporal evaluation of simulated evapotranspiration and streamflow over Texas using the WRF-Hydro-RAPID modeling framework. *JAWRA J. Am. Water Resour. Assoc.* 54: 40–54.
- López-Díaz, F., Conde, C. and Sánchez, O. 2013. Analysis of indices of extreme temperature events at Apizaco, Tlaxcala, Mexico, *Atmósfera*, 26: 349–358.
- Mall, R.K. and Gupta, B.R.D. 2002. Comparison of evapotranspiration models. *Mausam*, 53: 119–126.
- McCabe, G.J., Hay, L.E., Bock, A., Markstrom, S.L. and Atkinson, R.D. 2015. Inter-annual and spatial variability of Hamon potential evapotranspiration model coefficients. *J. Hydrol*, 521: 389–394.
- Nag, A., Adamala, S., Raghuvanshi, N.S., Singh, R. and Bandyopadhyay, A. 2014. Estimation and ranking of reference evapotranspiration for different spatial scales in India. *J. Indian Water Resour. Soc.* 34, 35.
- Noble, E., Druyan, L.M. and Fulakeza, M. 2017. The sensitivity of WRF daily summertime simulations over West Africa to alternative parameterizations. Part II: precipitation. *Mon. Weather Rev.* 145: 215–233.
- Oskouei Asadi, E. (2017). Partitioning of transpiration and evaporation in different irrigation management of rice in Guilan province [Doctoral dissertation, Ferdowsi University of Mashhad]. [in Persian]
- Pandey, P.K., Dabral, P.P. and Pandey, V. 2016. Evaluation of reference evapotranspiration methods for

- the northeastern region of India. *Int. Soil Water Conserv. Res.*, 4: 52–63.
- Penchah, M.M., Malakooti and H., Satkin, M. 2017. Evaluation of planetary boundary layer simulations for wind resource study in east of Iran. *Renew. Energy*, 111:1-10.
- Ries, H. and Schlünzen, K.H. 2009. Evaluation of a mesoscale model with different surface parameterizations and vertical resolutions for the Bay of Valencia. *Mon. Weather Rev.*, 137: 2646–2661.
- Rosegrant, M.W., Ringler, C., McKinney, D.C., Cai, X., Keller, A. and Donoso, G. 2000. Integrated economic-hydrologic water modeling at the basin scale: The Maipo River basin. *Agric. Econ*, 24: 33–46.
- Scripca, A.-S., Strapazan, C. and Holobâca, I.H. 2016. Regional Aspects Of The Variability Of Atmospheric Precipitations In Winter And Summer Seasons In Europe During 2001-2090. *Aerul si Apa. Compon. ale Mediu*, 143-153.
- Silva, D., Meza, F.J. and Varas, E. 2010. Estimating reference evapotranspiration (ET_o) using numerical weather forecast data in central Chile. *J. Hydrol*, 382: 64–71.
- Song, X., Lu, F., Xiao, W., Zhu, K., Zhou, Y. and Xie, Z., 2019. Performance of 12 reference evapotranspiration estimation methods compared with the Penman–Monteith method and the potential influences in northeast China. *Meteorol. Appl. Climatol*, 26: 83–96.
- Srivastava, P.K., Han, D., Islam, T., Petropoulos, G.P., Gupta, M. and Dai, Q. 2016. Seasonal evaluation of evapotranspiration fluxes from MODIS satellite and mesoscale model downscaled global reanalysis datasets. *Theor. Appl. Climatol*, 124: 461–473.
- Srivastava, P.K., Han, D., Rico Ramirez, M.A. and Islam, T. 2013. Comparative assessment of evapotranspiration derived from NCEP and ECMWF global datasets through Weather Research and Forecasting model. *Atmos. Sci. Lett*, 14: 118–125.
- Thornthwaite, C.W. 1948. Una aproximación para una clasificación racional del clima. *Geogr. Rev.*, 38: 85–94.
- Xie, B., Fung, J.C.H., Chan, A. and Lau, A. 2012. Evaluation of nonlocal and local planetary boundary layer schemes in the WRF model. *J. Geophys. Res. Atmos*, 117-127.
- Zittis, G., Hadjinicolaou, P. and Lelieveld, J. 2014. Comparison of WRF model physics parameterizations over the MENA-CORDEX domain. *Am. J. Clim. Chang.* 3: 490-500.



Print ISSN: 2251-7480
Online ISSN: 2251-7400

Journal of
Water and Soil
Resources Conservation
(WSRCJ)

Website:

<https://wsrcj.srbiau.ac.ir>

Email:

iauwsrcj@srbiau.ac.ir
iauwsrcj@gmail.com

Vol. 11
No. 2
Winter 2022

Received:
2021-05-17

Accepted:
2021-11-21

Pages: 1-11

Assessing the Performance of WRF Model in Prediction of Evapotranspiration in Paddy Fields

Ebrahim Asadi Oskouei^{1*}, Mohammad Reza Mohammadpour²,
Leila Goodarzi³ and Mojtaba Shokouhi⁴

- 1) Assistant professor in Atmospheric Science and Meteorology Research Center, Tehran, Iran.
- 2) Research expert in Atmospheric Science and Meteorology Research Center, Tehran, Iran.
- 3) Research expert in Atmospheric Science and Meteorology Research Center, Tehran, Iran.
- 4) Research expert in Atmospheric Science and Meteorology Research Center, Tehran, Iran.

*Corresponding author email: e.asadi.o@gmail.com

Abstract:

Background and Aim: Evapotranspiration as one of the main components of the hydrological cycle, has a significant role in proper irrigation planning and water resources management. In this case, estimating evapotranspiration is limited due to a lack of data and a deficiency of meteorological stations. Therefore, today numerical models such as WRF are a powerful tool for generating and predicting meteorological quantities (wind speed, humidity, etc.) that are needed to estimate evapotranspiration. So far, no research has been conducted to investigate the effect of different schemes of the WRF model on the estimate of rice evapotranspiration. The purpose of this study is to evaluate the efficiency of the WRF model and obtain the result for estimating evaporation for rice plant in the central plain of Guilan.

Method: Evapotranspiration rates vary from 2.7 to 8.5 mm per day. The average ET during three different periods of plant growth, including the initial, middle, and final periods, is estimated to be 4.63, 5.97, and 5.98 mm per day, respectively. The three configurations 1, 2, and 4 are mainly overestimated in predicting evapotranspiration of rice plants, and the computational values are estimated to be higher than the values measured by the lysimeter. The results show that the highest amount of RMSE occurred in configuration No. 4 at 8.47 and the lowest rate occurred in configuration No. 3 at 1.26. Summary of results shows that configuration No. 3 in all four criteria mentioned has performed better than other configurations to predict daily evapotranspiration of rice. The results showed that the non-local schema used in the model; simulates better than the local schemas for the daily evapotranspiration of the rice plant. Findings show that in the local YSU schema, the accuracy of predictions is significantly increased and is only 0.64 mm on average less than the estimated lysimetric data.

Results: The results showed that using appropriate schemas in the surface layer and boundary layer of the WRF model, affects on accuracy of evapotranspiration predictions. The results of this study showed that, this model by using the YSU non-local boundary layer scheme can accurately predict the evapotranspiration rates of the rice plant for the next day and this is due to the higher ability of this schema in predicting the parameters affecting evapotranspiration (including temperature and wind). Therefore, the WRF model can be implemented by using GFS forecast data for the next few days and by applying the FAO-Penman-Monteith equations to the model outputs, the values of potential evapotranspiration for different regions of the country can be calculated. Since evapotranspiration is directly related to atmospheric thermodynamic processes, so using other different atmospheric physics schemas (not considered in this study) can produce different results.

Keywords: Prediction of evapotranspiration, Lysimeter, WRF model, FAO-Penman-Monteith, Water requirements of paddy fields

