مقاله پژوهشی نشریه پژوهش آب در کشاورزی / ب / جلد ۳۷ / شماره ۲/ ۱۴۰۲. ص۱۹۳-۲۰۶
https://doi.org/10.22092/jwra.2023.361653.981

ارزیابی عملکرد پایگاه داده‌های WaPOR و ERA5 با هدف برآورد تبخیر و تعرق مرجع در حوضه آبریز دریای خزر

شادمان ویسی*، میلاد نوری و آناهیتا جباری

استادیار، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی ، البرز، کرج، ایران.
sh.veysi@areeo.ac.ir
استادیار، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی ، البرز، کرج، ایران.
m.nouri@modares.ac.ir
استادیار، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان‌غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی.
anahita.jabbari@yahoo.com

دریافت: فروردین ۱۴۰۲ پذیرش: خرداد ۱۴۰۲

چکیده

یکی از مطمئن‌ترین راه‌های جبران کمبود ایستگاه‌های هواشناسی، استفاده از پایگاه داده‌های سنجش از دوری و بازتحلیل است که الگوی مناسبی در مناطق دارای کمبود داده ارائه می‌دهد. در این پژوهش، عملکرد دو پایگاه داده WaPOR و ERA5 جهت برآورد تبخیر و تعرق مرجع در حوضه آبریز دریای خزر در مقیاس‌های زمانی روزانه و ماهانه مورد ارزیابی قرار گرفت. داده‌های هواشناسی ۶۴ ایستگاه سینوپتیک در دوره آماری (۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰) بصورت روزانه از سازمان هواشناسی کل کشور اخذ گردید. در گام اول تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از معادله فائو پنمن_مانتیث و نرم‌افزار REF-ET محاسبه گردید. مقادیر با نتایج حاصل از دو پایگاه داده WaPOR و ERA5 مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد که بطور میانگین، مقدار nRMSE پایگاه داده‌های WaPOR و ERA5، در این حوضه آبریز نسبت به داده‌های ایستگاه هواشناسی، محاسبه شده به ترتیب ۲۹/۶٪ و ۲۹٪ در مقیاس روزانه می‌باشند. همچنین در مقیاس زمانی ماهانه، در بیش از ۸۵٪ ایستگاه‌ها، هر دو پایگاه داده مزبور نتایج قابل قبولی را ارائه می‌نماید. در مقیاس ماهانه، مقدار nRMSE میانگین در سطح حوضه آبریز برای هر دو سنجنده WaPOR و ERA5، مقدار ۱۹٪ به دست آمد. مقدار آماره rMBE نشان داد که پایگاه ERA5 در بیشتر ایستگاه‌ها تبخیر و تعرق مرجع را کم برآورد می‌نماید، ولی محاسبات پایگاه داده WaPOR همراه با بیش برآورد است. همچنین، از آنجا که ایستگاه‌های با خطای بالای ۳۰٪ در دو پایگاه داده متفاوت است، می‌توان با ترکیب داده‌های این دو، برآورد مناسب‌تری از تبخیر و تعرق مرجع در سطح حوضه آبریز خزر ارائه داد. نتایج نشان داد که در این حوضه، ۳۴ ایستگاه در پایگاه داده WaPOR و ۲۸ ایستگاه در پایگاه داده ERA5 حداقل خطا را داشتند و دو ایستگاه نیز مقدار خطای یکسانی داشتند. با توجه به نتایج، هر دو مجموعه داده WaPOR و ERA5 به‌عنوان مجموعه داده‌های مناسب در نظر گرفته می‌شود که می‌توانند برای کاربردهای مختلف هیدرولوژیکی، از جمله تخمین تبخیر و تعرق مرجع مورد استفاده قرار گیرند.

واژه‌های کلیدی: کمبود داده، معادله پنمن-مانتیث ، سنجش از دور، ایستگاه هواشناسی

* - آدرس ایمیل نویسنده مسئول: sh.veysi@areeo.ac.ir

مقدمه

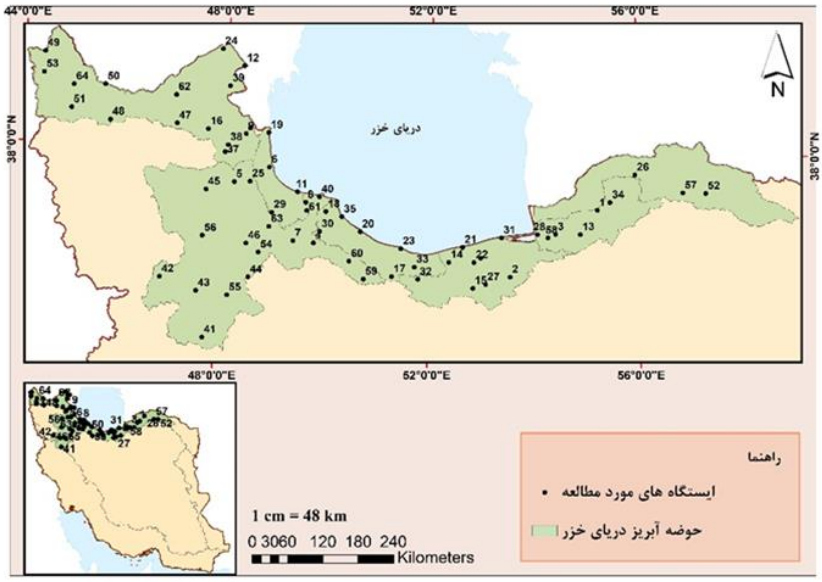
مفهوم تبخیر و تعرق مرجع (ET0) نخستین بار توسط (جنسن، ۱۹۶۸)، برای رفع برخی از ابهامات در خصوص مفهوم تبخیر و تعرق پتانسیل ارائه گردید، سپس در نشریه فائو ۵۶، تعریف آن به‌طور مبسوط ارائه شد: تبخیر و تعرق مرجع مقدار تبخیر و تعرق از یک گیاه مرجع فرضی است که مقاومت سطحی ثابت ۷۰ ثانیه بر متر، ضریب بازتابش ۰/۲۳ و ارتفاعی معادل ۱۲ سانتی‌متر دارد. سطح مرجع مشابه یک سطح چمن سبز با ارتفاع یکنواخت، رشد فعال، سایه‌اندازی کامل و تحت آبیاری مطلوب تعریف می-شود (آلن و همکاران، ۱۹۹۸). تبخیر و تعرق مرجع اصلی‌ترین پارامتر در برآورد مقدار نیاز آبی گیاهان و طراحی سامانه‌های آبیاری است. یکی از مهم‌ترین محدودیت‌های برای برآورد صحیح تبخیر و تعرق مرجع، نبود و یا گاهی اوقات کمبود داده‌های اقلیمی در کشور است (باریده و همکاران، ۲۰۲۲). اغلب روش‌های معمول بر مبنای اندازه‌گیری نقطه‌ای استوار است، لیکن برآورد این پارامتر در مقیاس نقطه‌ای به‌راحتی منجر به حصول نتایج معتبری در مقیاس ناحیه‌ای نمی‌شود؛ بنابراین افزون بر کمبود اطلاعات پایه در ایستگاه‌ها، دقت مکانی در برآوردهای کنونی تبخیر و تعرق مرجع محل تردید است. این محدودیت‌ها در دسترسی به داده‌های هواشناسی، انگیزه اصلی علاقه رو به رشد به سمت استفاده از داده‌های باز تحلیل در مطالعات هیدرولوژیکی است. از سوی دیگر برآورد دقیق تبخیر و تعرق مرجع در مقیاس‌های بزرگ مانند حوضه آبریز می‌تواند به سیاست‌گذاران بخش آب و بهره-برداران کمک نماید تا تصمیمات سازنده‌ای در مقابله با پدیده‌های حدی مانند خشکسالی گرفته شود (کالوری و همکاران،۲۰۰۳، ویل‌هایت، ۲۰۰). در میان روش‌های محاسباتی بر اساس داده‌های مشاهداتی ایستگاهی، روش مرسوم که برای برآورد تبخیر و تعرق مرجع مرسوم است، روش استاندارد فائو-پنمن مانتیث است. برای حل این معادله نیاز به پارامترهای دمای هوا، تشعشع خورشیدی، رطوبت نسبی و سرعت باد است که بطور معمول در همه ایستگاه‌ها اندازه‌گیری نمی‌شوند، امروزه با پیشرفت‌های حاصل در فناوری سنجنده‌های ماهواره‌ای در مقیاس‌های منطقه‌ای و ملی، روش‌های متعددی مبتنی بر این فناوری، توسعه یافته‌اند که ضمن پوشش شکاف داده‌های میدانی، می‌توانند اطلاعات مهم و درعین‌حال قابل اعتمادی از وضعیت تبخیر و تعرق مرجع و دیگر پارامترهای مورد نیاز از منطقه مورد مطالعه با هر وسعتی، ارائه نمایند (رودل، ۲۰۲۰). در چند سال اخیر پیشرفت قابل توجهی در توسعه سامانه‌های باز تحلیل حاصل شده است. از جمله این پایگاه داده‌ها می‌توان به NCEP1 (کال نی و همکاران،۱۹۹۶)، مرکز ملی تحقیقات جوی ایالات متحده آمریکا و داده‌های NCEP2 (کانیماتسو و همکاران، ۲۰۰۲) به ترتیب با قدرت تفکیک مکانی ۰/۲۵*۰/۲۵ و ۱/۸۷۵*۱/۸۷۵ اشاره نمود. اداره ملی هوانوردی و فضایی آمریکا (ناسا) به همراه دفتر مدل‌سازی و جذب جهانی، داده‌های MERRA را ارائه نمود (رینکر و همکاران، ۲۰۱۱). آژانس هواشناسی ژاپن (JMA) داده‌های بازتحلیل ۵۵ ساله ژاپن (JRA-55)؛ را با وضوح مکانی ۰/۱۲۵*۰/۱۲۵ درجه، ارائه کرد (ایبیتا و همکاران، ۲۰۱۱). مرکز اروپایی پیش‌بینی هوا (ECMWF)، ERA-15 (گیبسون و همکاران، ۲۰۱۱)، ERA-40 (آپلا و همکاران، ۲۰۰۵) و اخیراً، نسل پنجم، ERA5 (هرباچ و همکاران، ۲۰۲۰) را ارائه کرده است. داده‌های باز تحلیل یک بخش از کره زمین را با یک توصیف فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی سازگار با حالت الگوهای پیوسته گذشته، از طریق ادغام مشاهدات چند منبعی و الگوهای محاسباتی فراهم می‌کند (بالسمو و همکاران، ۲۰۰۹، لورنزو و کانسمان، ۲۰۱۲). استفاده از الگوها در داده‌های باز تحلیل باعث می‌شود که همه مشاهدات به شیوه‌ای سازگار تفسیر و شکاف‌های مکانی و زمانی در داده‌ها بر اساس پارامترهای فیزیکی و دینامیکی پر شوند (کال نی و همکاران،۱۹۹۶). داده‌های باز تحلیل نماینده ارتفاعی یک پیکسل و مساحت آن هستند، در مکان‌هایی که تغییرات توپوگرافی شدید است ایستگاه هواشناسی نمی-تواند معرف میانگین ارتفاعی منطقه و وضعیت ایجادشده

در ایستگاه باشد (بلانکن و همکاران، ۲۰۲۰). تاکنون چندین مطالعه برای بررسی تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از این داده‌ها صورت گرفته است که از آن جمله می‌توان به پژوهش گله‌بان و همکاران (۱۴۰۰) اشاره نمود که با استفاده از محصولات سامانه‌های WaPOR و ERA5 اقدام به برآورد میزان تبخیر و تعرق مرجع روزانه بر مبنای روش پنمن مانتیث و ارزیابی و صحت سنجی خروجی‌های آن در سطح استان سیستان و بلوچستان نمودند. نتایج پژوهش نشان داد که سامانه‌های سنجش از دوری با صحت بالای ۸۰ درصد در محل ایستگاه‌های هواشناسی مقدار تبخیر و تعرق مرجع را برآورد و در تمامی ایستگاه‌ها خطای کمتر از دو میلی‌متر در روز گزارش شد. همچنین نتایج نشان داد که تبخیر و تعرق مرجع به‌دست‌آمده از این پایگاه داده‌ها در کشت بهاره نسبت به کشت پاییزه همبستگی بیشتری را نشان می‌دهد. در سطح جهانی، مارتینز و همکاران (۲۰۱۷) و پارادس و همکاران (۲۰۱۸)، در دو پژوهش مستقل در آمریکا و پرتغال برای برآورد تبخیر و تعرق مرجع به این نتیجه رسیدند که داده‌های باز تحلیل نسبت به داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی مقدار تبخیر و تعرق مرجع را کمتر برآورد می‌نمایند. آلن و همکاران (۲۰۱۵)، در پژوهشی با استفاده از داده‌های NLDAS که در آن محاسبات داده‌های باز تحلیل نسبت به ایستگاه‌های استاندارد هواشناسی دچار بیش برآورد بود، با ارزیابی تک تک پارامترها به این نتیجه رسیدند که دلیل این بیش برآورد ناشی از خطا در برآورد-های انفرادی مقادیر سرعت باد، دمای میانگین و شدت تشعشع خورشیدی است. بر این اساس در حالت کلی داده-های باز تحلیلی مانند NLDAS که از ترکیب داده‌های زمینی و ماهواره‌ای برآورد می‌شوند نسبت به داده‌های باز تحلیلی که محصول درون‌یابی بین نقاط هستند مانند PRISM و gridMET دچار بیش برآورد می‌شوند. هدف از مطالعه حاضر، تعیین صحت دو پایگاه داده شبکه‌بندی شده‌ی WaPOR و ERA5 در برآورد تبخیر و تعرق مرجع در مقیاس روزانه و ماهانه در حوضه آبریز خزر و زیر حوضه‌های مربوط به آن است. نتایج این پژوهش به این سؤال اساسی پاسخ خواهد داد که استفاده از داده‌های باز تحلیل در مقیاس حوضه آبریز و زیر حوضه‌های آن تا چه حد قابل اعتماد بوده و همچنین در چه مقیاس زمانی نتایج رضایت بخشی را برای برآورد تبخیر و تعرق مرجع ارائه خواهند داد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوضه‌ی آبریز دریای خزر با مساحت ۱۷۴،۶۱۸ هزار کیلومتر مربع یکی از شش حوضه آبریز کشور است که در محدوده‌ی °۴۴/۳۹ تا ۵۷/۳۰ طول شرقی و °۳۵/۱۸ تا°۳۹/۶۱ عرض شمالی ایران واقع شده است. این حوضه حدود ۱۱ درصد کل مساحت کشور را در بر می‌گیرد. میانگین بارش در این حوضه در حدود ۴۴۰ میلی‌متر در سال است که به‌تنهایی حدود ۲۱ درصد حجم بارش ورودی به کل ایران را شامل می‌شود. این حوضه آبریز شامل هفت زیر حوضه بنام‌های ارس، تالش-انزلی، سفیدرود، لاهیجان، هراز، قره‌سو و اترک است. در این پژوهش ایستگاه‌های سینوپتیک واقع در این حوضه بررسی شدند. موقعیت ایستگاه‌ها و زیر حوضه‌های سطح حوضه آبریز خزر در شکل (۱) و جدول (۱) نشان داده شده است.



شکل ۱- موقعیت مکانی حوضه آبریز دریای خزر

جدول ۱- ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک حوضه آبریز دریای خزر

ایستگاه	شماره	ایستگاه	شماره	ایستگاه	شماره	ایستگاه	شماره
ماکو	۴۹	کجور	۳۳	سیاه‌بیشه	۱۷	گنبدکاووس	۱
جلفا	۵۰	کلاله	۳۴	لاهیجان	۱۸	کیاسر	۲
خوی	۵۱	رودسر	۳۵	آستارا	۱۹	گرگان	۳
بجنورد	۵۲	نمین	۳۶	رامسر	۲۰	جیرنده	۴
چالدران	۵۳	نیر	۳۷	بابلسر	۲۱	فیروزآباد	۵
خیبرآباد	۵۴	سرعین	۳۸	قائم‌شهر	۲۲	تالش	۶
گرماب	۵۵	گرمی	۳۹	نوشهر	۲۳	منجیل	۷
ماه‌نشان	۵۶	کیاشهر	۴۰	پارس‌آباد	۲۴	رشت	۸
مانه و سلمقان	۵۷	قروه	۴۱	خلخال	۲۵	اردبیل	۹
گرگان (هاشم‌آباد)	۵۸	زرینه	۴۲	مراوه‌تپه	۲۶	ساری	۱۰
طالقان	۵۹	بیجار	۴۳	پل‌سفید	۲۷	انزلی	۱۱
معلم کلایه	۶۰	خدابنده	۴۴	بندر ترکمن	۲۸	بیله‌سوار	۱۲
رشت (کشاورزی)	۶۱	میانه	۴۵	ماسوله	۲۹	علی‌آباد کتول	۱۳
کلیبر	۶۲	زنجان	۴۶	دیلمان	۳۰	آمل	۱۴
آب بر	۶۳	اهر	۴۷	بندر امیرآباد	۳۱	آلاشت	۱۵
قره ضیا الدین	۶۴	مرند	۴۸	بلده	۳۲	مشکین‌شهر	۱۶

تبخیر و تعرق مرجع در ایستگاه هواشناسی

برای برآورد تبخیر و تعرق مرجع، داده‌های هواشناسی ۶۴ ایستگاه سینوپتیک با دوره آماری ۱۰ ساله (۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰) به‌صورت روزانه از سازمان هواشناسی کل کشور تهیه شد. داده‌های میدانی استفاده شده شامل دمای حداقل و حداکثر، رطوبت نسبی، سرعت باد، شدت تشعشع خورشیدی بودند. سپس تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از معادله فائو-پنمن مانتیث و نرم‌افزار REF-ET محاسبه شد.

$$ET0 = \frac{0.408\,\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34\,u_2)} \quad (۱)$$

که در آن: ET0 تبخیر و تعرق گیاه مرجع (mm)، Δ شیب منحنی فشار بخار نسبت به درجه حرارت ($Kpa.°C^{-1}$)، Rn تابش خالص، G شار گرما به داخل خاک ($MJ.m^{-2}.d^{-1}$)، γ

ضریب رطوبتی ($Kpa°C^{-1}$)،T متوسط دمای روزانه (°C)، es و ea به ترتیب فشار بخار اشباع و فشار بخار واقعی آب (mbar)، U_2 سرعت باد در روز در ارتفاع دو متری از سطح زمین به ($m.s^{-1}$) است.

تبخیر و تعرق مرجع WaPOR

پایگاه داده WaPOR تبخیر و تعرق را از طریق الگوریتم ETLook برآورد می‌نماید. الگوریتم ETLook، با اعمال تغییری اندک در معادله پنمن مانتیث و استفاده از اطلاعات ماهواره‌ای شامل NDVI، آلبیدو سطحی، رطوبت خاک، تابش خورشیدی، پوشش سطح زمین و مدل ارتفاعی رقومی و داده‌های هواشناسی شامل دما، رطوبت، سرعت باد و بارش تبخیر و تعرق را برآورد می‌کند. در روش ETLook مقدار تبخیر از سطوح خاکی، آب و گیاهان از رابطه (۲) و میزان تعرق از سطوح گیاهان از رابطه (۳) به‌صورت جداگانه محاسبه می‌گردد (فائو، ۲۰۲۰). نتایج این محصولات به‌صورت رایگان در درگاه سایت FAO در دسترس عموم قرار دارند.

$$\lambda E = \frac{\Delta(R_{n,soil}-G)+\rho C_p(\frac{\Delta_e}{r_{a,soil}})}{\Delta+\gamma(1+\frac{r_{soil}}{r_{a,soil}})} \quad (۲)$$

$$\lambda T = \frac{\Delta(R_{n,Canopy}-G)+\rho C_p(\frac{\Delta_e}{r_{a,Canopy}})}{\Delta+\gamma(1+\frac{r_{Canopy}}{r_{a,Canopy}})} \quad (۳)$$

λ گرمای نهان تبخیر (JKg^{-1})، E تبخیر از سطح خاک و T تعرق گیاه ($Kgm^{-2}s^{-1}$)، Δ شیب منحنی فشار بخار اشباع (PaK^{-1})، Δe کمبود فشار بخار(Pa)، ρ چگالی هوا (Kgm^{-3})، Cp ثابت حرارت هوای خشک($J\ kg^{-1}K^{-1}$)، γ ثابت سایکرومتری(PaK^{-1})، $R_{n,soil}$ و $R_{n,Canopy}$ به ترتیب شار تابش خالص خاک و پوشش گیاهی(Wm^{-2})، r_{soil} و r_{canopy} به ترتیب نشان‌دهنده مقاومت خاک و پوشش گیاهی (sm^{-1}) و $r_{a,soil}$ و $r_{a,canopy}$ به ترتیب مقاومت آئرودینامیکی خاک و پوشش گیاهی می‌باشند. محصول تبخیر و تعرق مرجع این سامانه به‌صورت روزانه و با قدرت تفکیک مکانی ۲۰ کیلومتر از سال ۲۰۰۹ تاکنون در سطح یک در دسترس است. این محصول از داده‌های اقلیمی باز تحلیل MERRA2 برای برآورد تبخیر و تعرق استفاده می‌نماید.

تبخیر و تعرق مرجع ERA5

داده‌های باز تحلیل ERA5 به‌عنوان بخشی از اجرای سرویس تغییرات آب و هوایی کوپرنیک در اروپا است. مرکز اروپایی پیش‌بینی میانبرد آب‌وهوا (ECMWF) اقدام به تولید داده‌های جهانی باز تحلیل آب‌وهوایی و اقلیمی نمود. اساس این داده‌ها سیستم یکپارچه پیش‌بینی است که با استفاده از قوانین فیزیک داده‌های مدل را با داده-های مشاهداتی در سراسر جهان به یک مجموعه داده جهانی و کاملاً سازگار تبدیل می‌کند. با استفاده از سامانه Google Earth Engine (GEE)، داده روزانه هواشناسی تهیه و سپس با استفاده از معادله فائو-پنمن مانتیث برآورد تبخیر و تعرق مرجع انجام گرفت.

جدول ۲- داده‌های مورد استفاده ERA5 در برآورد تبخیر و تعرق مرجع

داده	نماد	منبع	پارامتر	تفکیک مکانی (متر)	تفکیک زمانی	بازه زمانی
حداکثر دمای روزانه	Tmax	ERA 5	Tmax	۲۷۸۳۰	روزانه	۲۰۰۱-۱۴۰۰
حداقل دمای روزانه	Tmin	ERA 5	Tmin	۲۷۸۳۰	روزانه	
میانگین دما روزانه	Tmean	ERA 5	Tmean	۲۷۸۳۰	روزانه	
دمای نقطه شبنم	Tdew	ERA 5	Tdew	۲۷۸۳۰	روزانه	
سرعت باد	Wind speed	ERA 5	Wind	۲۷۸۳۰	روزانه	
شدت تشعشع خورشیدی	Solar radiation	ERA 5	SR	۲۷۸۳۰	روزانه	

آنالیز آماری

صحت نتایج برآورد تبخیر-تعرق مرجع حاصل از داده‌های هر دو پایگاه داده نسبت به تبخیر و تعرق مرجع محاسبه‌شده با استفاده از داده‌های مشاهداتی در ایستگاه‌ها، به کمک دو آماره‌ی خطا سنجی برآورد و ارزیابی شد. این آماره‌ها عبارت‌اند از:

$$nRMSE = \frac{RMSE}{\bar{O}} \quad (۴)$$

$$rMBE = (\frac{100}{\bar{O}}) \times {}^{1}/_{n} \sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i) \quad (۵)$$

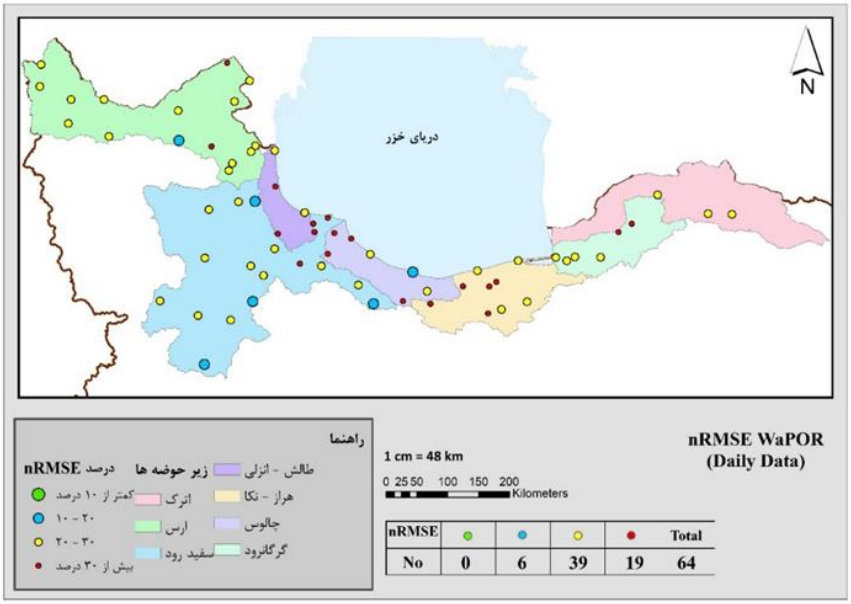
که در آن O_i مقادیر مشاهداتی تبخیر و تعرق مرجع در مقیاس‌های زمانی مختلف روزانه، ماهانه و سالانه و P_i مقادیر پیش‌بینی‌شده و استخراج‌شده از پایگاه داده‌ها می‌باشند. مقدار ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده (nRMSE) بیان‌کننده وضعیت مدل‌سازی است. مقدار کمتر از ۱۰٪ وضعیت ایده‌آل، بازه ۱۰ تا ۲۰٪ و ۲۰ تا ۳۰٪ به‌ترتیب نشانگر وضعیت مناسب و متوسط مدل در برآورد و بیشتر از ۳۰٪ نشان‌دهنده عدم اطمینان به مدل است (موریاسی و همکاران، ۲۰۰۷؛حیدری مطلق و همکاران، ۲۰۲۲).

نتایج و بحث

ارزیابی روزانه و ماهانه WaPOR

آنالیزهای آماری در مقیاس‌های روزانه و ماهانه برای تمامی ایستگاه‌ها در اشکال (۲) و (۳) ارائه شده است.

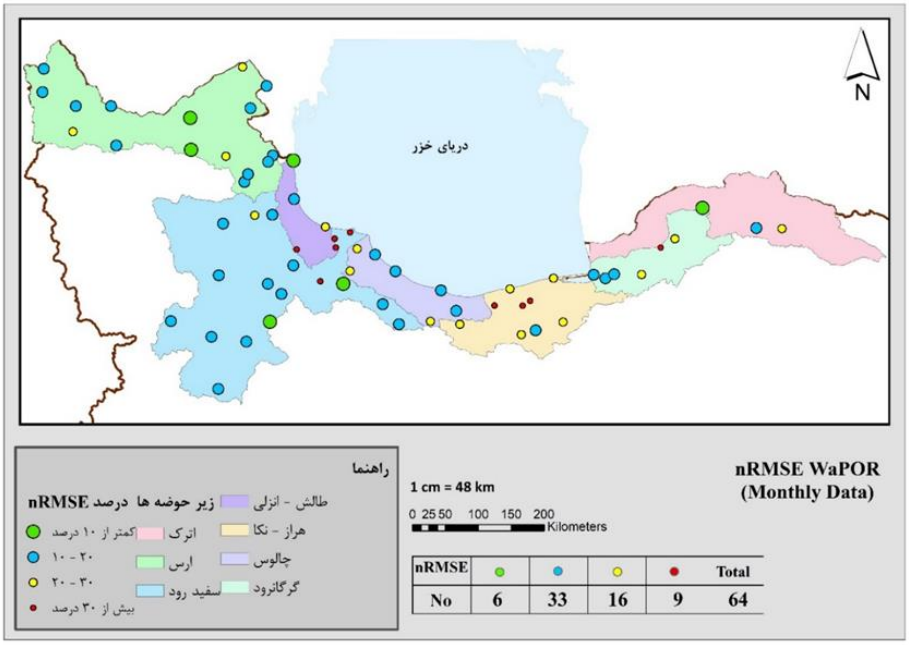
نتایج به‌دست‌آمده از تبخیر و تعرق مرجع WaPOR در تمامی ایستگاه‌های موردبررسی نشان می‌دهد که در ۱۹ ایستگاه از مجموع ۶۴ ایستگاه سینوپتیک حوضه آبریز دریای خزر مقدار nRMSE روزانه بیشتر از ۳۰ درصد و به‌عبارت‌دیگر در بیش از ۷۰ درصد از ایستگاه‌های حوضه آبریز دریای خزر خطای کمتر از ۳۰ درصد مشاهده شد. کمترین مقدار nRMSE روزانه مربوط به ایستگاه قروه به میزان ۱۷ درصد و بیشترین مقدار آن مربوط به ایستگاه ماسوله به میزان ۵۲ درصد است. روزانه در حوضه آبریز دریای خزر برای پایگاه داده WaPOR، ۲۹/۶ درصد به دست آمد. نتایج آنالیز آماره nRMSE برای داده‌های ماهانه نشان داد که در هشت ایستگاه از مجموع ۶۴ ایستگاه، مقدار خطا بالاتر از ۳۰ درصد است، بنابراین در مقیاس ماهانه، در بیش از ۸۷ درصد از ایستگاه‌های مورد بررسی مقدار nRMSE کمتر از ۳۰ درصد به دست آمد.



شکل ۲- پراکنش مقادیر nRMSE روزانه پایگاه داده WaPOR در حوضه آبریز خزر

همان‌طور که در شکل (۲) مشاهده می‌گردد، عملکرد پایگاه داده WaPOR در سه حوضه آبریز تالش-انزلی، چالوس و هراز–نکا نشان می‌دهد که تعداد ایستگاه-های با خطای بالای ۳۰ درصد در برآورد مقدار تبخیر و تعرق مرجع در مقیاس روزانه در آن حوضه‌ها بالاتر است، به‌عبارت‌دیگر در مقیاس روزانه در این سه زیر حوضه استفاده از داده‌های WaPOR باید با احتیاط صورت گیرد. با نگاه کلی‌تر و در سطح کل حوضه آبریز مشاهده می‌گردد

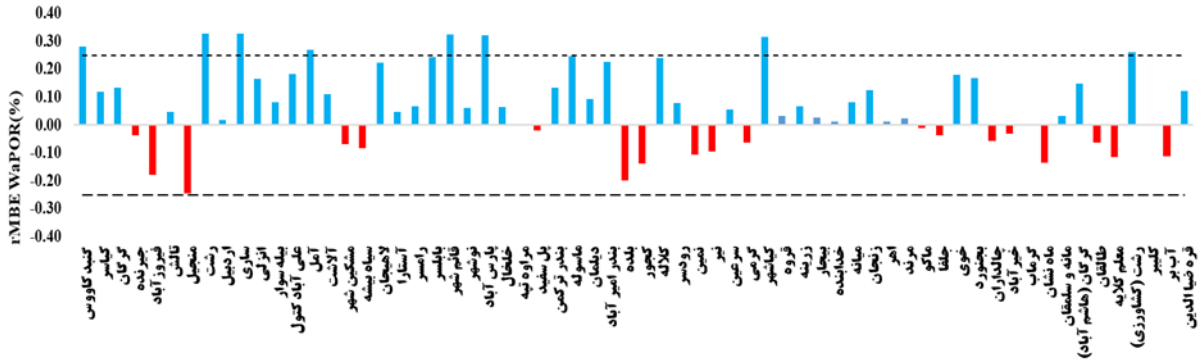
که عملکرد این پایگاه داده در ایستگاه‌های البرز غربی و سپس البرز شرقی در مقیاس روزانه به‌مراتب بهتر از عملکرد ایستگاه‌های محدوده البرز میانی است. از آنجائیکه عوامل اصلی تبخیر و تعرق مرجع باد و شدت تشعشع خورشیدی است، به نظر می‌رسد که پایگاه داده MERRA2 که محل تهیه داده برای سامانه WaPOR است در یکی از دو عامل اصلی همراه با خطای اساسی است؛ با توجه به وضعیت اقلیمی البرز میانی و ابرناکی مکرر محدوده مطالعاتی، انتظار بر این است شدت تشعشع خورشیدی عامل اثرگذارتری در این مقدار خطا باشد.



شکل ۳- پراکنش مقادیر nRMSE ماهانه پایگاه داده WaPOR در حوضه آبریز خزر

با توجه به شکل (۳) مشخص می‌شود که در مقیاس ماهانه، تعداد ایستگاه‌های با خطای بالای ۳۰ درصد تقریباً به نصف کاهش می‌یابد و به نظر می‌رسد که در مقیاس زمانی بزرگ‌تر، صحت قابل قبول‌تری به دست می‌آید. با توجه به اینکه نوسانات تبخیر و تعرق مرجع در مقیاس ماهانه نسبت به روزانه کمتر است، روند تغییرات مقادیر پایدارتر شده و همین امر باعث می‌شودکه شاخص nRMSE با توجه به ماهیت معادله آن‌که از تقسیم باقیمانده حداقل مجذور مربعات خطا (RMSE) بر مقادیر میانگین داده‌های مشاهداتی محاسبه می‌گردد در گام‌های زمانی طولانی‌تر نتایج مناسب‌تری ارائه نماید. این نتیجه با نتایج مطالعه (نوری و همائی، ۲۰۲۲) مطابقت دارد، همان‌طور که مشاهده می‌گردد در بیش از ۸۵ درصد ایستگاه‌ها در مقیاس ماهانه خطا کمتر از ۳۰ درصد بدست آمده است. همچنین در مقیاس زیر حوضه به ترتیب در زیر حوضه‌های ارس، سفیدرود و اترک عملکرد مناسب‌تری نسبت به بقیه زیرحوضه‌ها دیده می‌شود. همچنین در مقیاس ماهانه حوضه‌های البرز میانی مانند مقیاس روزانه عملکرد مناسبی ارائه ندادند؛ به‌عبارت‌دیگر درصورتی‌که هر کدام از زیرحوضه‌ها در مقیاس روزانه خطای بالای را نشان دادند در مقیاس ماهانه نیز همان حوضه‌ها نامناسب‌ترین عملکرد را داشتند که البته همان‌طور که بیان شد، در مقیاس ماهانه به‌طور تقریبی بین ۵ تا ۱۰ درصد مقادیر خطا کاهش یافت. طبق نتایج آماره rMBE نیز مشخص شد که مقدار برآورد شده تبخیر و تعرق مرجع در ۱۹ ایستگاه دچار کم برآورد و در ۴۳ ایستگاه همراه با بیش برآورد است، ضمناً دو ایستگاه کلیبر و گرماب هیچ‌گونه بیش برآورد و یا کم برآوردی را نشان ندادند. هشت ایستگاه از ۶۴ ایستگاه مورد بررسی مقدار بیش برآوردی بیش از ۲۵ درصد را نشان دادند و تنها ایستگاهی که کم برآوردی بیش از ۲۵ درصد

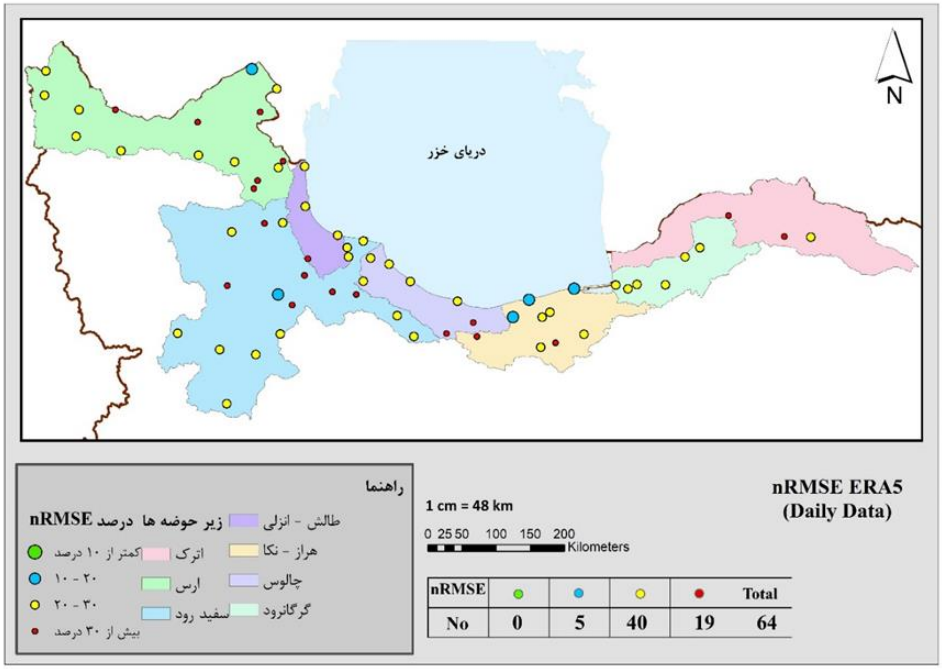
را نشان داد، ایستگاه منجیل بود شکل (۴). شایان ذکر است با توجه به اینکه سامانه WaPOR در بیشتر ایستگاه‌ها همراه با بیش برآورد است، بنابراین به نظر می‌رسد که عوامل اصلی تبخیر و تعرق مرجع (شدت تشعشع خورشیدی، سرعت باد) حداقل یکی از این عوامل در پایگاه داده MERRA2 همراه با بیش برآورد باشد که البته این مورد نیاز به تحقیق و بررسی بیشتر دارد.



شکل ۴- مقادیر آماره rMBE با استفاده پایگاه داده WaPOR در حوضه آبریز دریای خزر

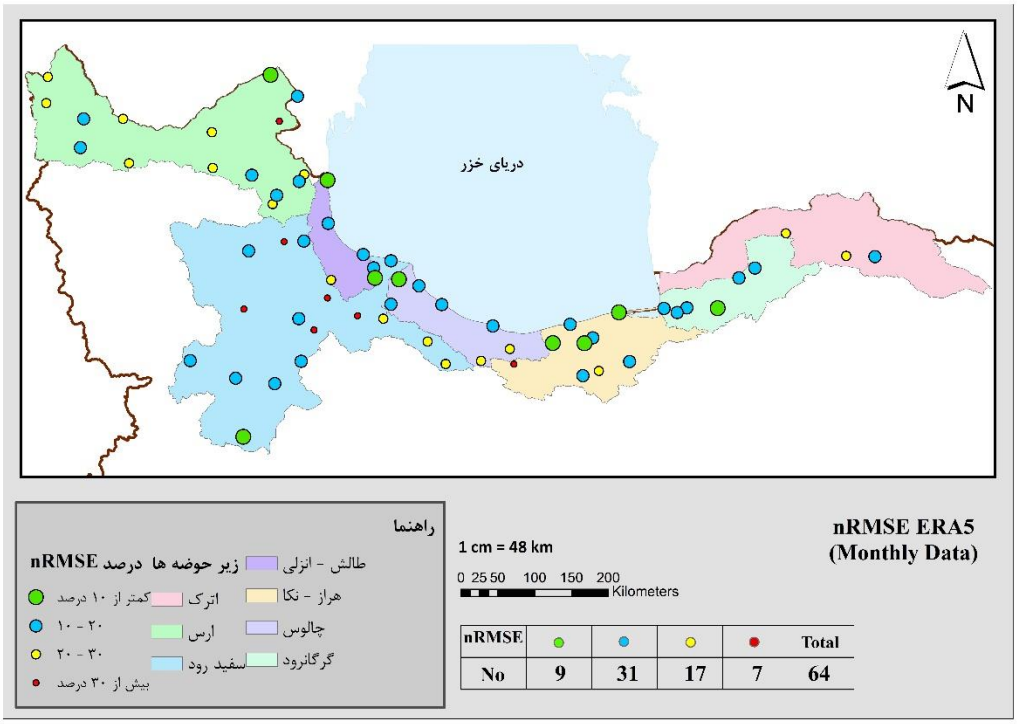
ارزیابی روزانه و ماهانه ERA5

نتایج به دست آمده از تبخیر و تعرق مرجع محاسبه‌شده در پایگاه داده‌های ERA5 در تمامی ایستگاه-های مورد بررسی نشان داد که در ۱۷ ایستگاه از مجموع ۶۴ ایستگاه سینوپتیک حوضه آبریز دریای خزر مقدار nRMSE روزانه بیشتر از ۳۰ درصد و در دیگر ایستگاه‌ها خطا کمتر از ۳۰ درصد به دست آمد؛ به‌عبارت‌دیگر به لحاظ کمی تعداد ایستگاه‌های با خطای بالای ۳۰ درصد در پایگاه داده ERA5 کمتر از پایگاه داده WaPOR است. کمترین مقدار nRMSE روزانه مربوط به ایستگاه‌های پارس‌آباد و بابلسر به میزان ۱۹ درصد و بیشترین مقدار آن مربوط به ایستگاه منجیل به میزان ۵۴ درصد است. به‌طورکلی خطای میانگین روزانه در حوضه آبریز دریای خزر برای پایگاه داده ERA5، ۲۹ درصد محاسبه شد. نتایج آنالیز ماهانه داده‌ها به کمک آماره nRMSE نشان داد که در هفت ایستگاه مقدار خطا بالاتر از ۳۰ درصد است؛ به‌عبارت‌دیگر در مقیاس ماهانه، در ۹۰ درصد از ایستگاه‌های مورد بررسی، مقدار nRMSE کمتر از ۳۰ درصد است. شکل‌های (۵) و (۶) نتایج آماره nRMSE را در مقیاس روزانه و ماهانه برای تمامی ایستگاه‌ها نشان می‌دهند.



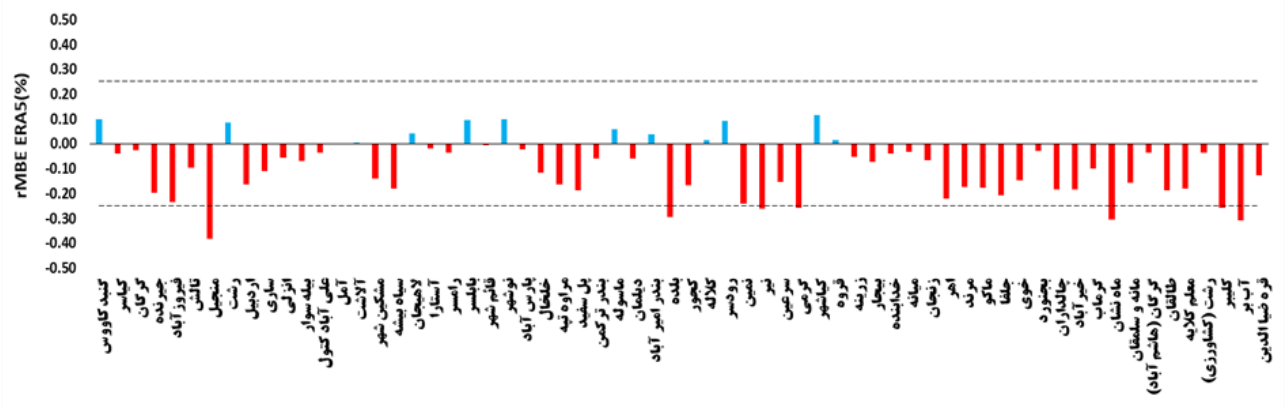
شکل ۵- پراکنش مقادیر nRMSE روزانه پایگاه داده ERA5 در حوضه آبریز دریای خزر

همان‌طور که در شکل (۵) مشاهده می‌گردد، در مقیاس زیر حوضه به‌غیراز زیر حوضه گرگانرود، در هر کدام از زیرحوضه‌ها چندین ایستگاه با عملکرد نامناسب (خطای بیش از ۳۰ درصد) ثبت شد. همچنین در مقایسه با پایگاه داده WaPOR در مقیاس روزانه مشاهده می‌گردد که عملکرد زیر حوضه سفیدرود در پایگاه داده WaPOR نسبت به پایگاه داده ERA5 مناسب‌تر است. همچنین پایگاه داده ERA5 عملکرد مناسب‌تری در ایستگاه‌هایی که نزدیک‌تر به خط ساحلی می‌باشند، نشان می‌دهد. از آنجائی که در ایستگاه‌های ساحلی نوسانات باد کمتر است، پایگاه داده ERA5 عملکرد مناسب‌تری را نشان می‌دهد. در مناطق کوهستانی که همراه با تغییرات شدید ارتفاعی است، نوسانات مقدار باد عملکرد ERA5 همراه با خطای بیشتری نسبت به MERRA2 است. به‌طورکلی پایگاه داده‌های تحلیل مجدد همواره در تعیین مقدار سرعت باد که کمیت برداری است همراه با خطا است. مطالعات (توماس و همکاران، ۲۰۲۱) در مناطق ساحلی مکزیک و مقایسه دو پایگاه داده ERA5 و MERRA2 به نتایج مشابهی دست یافتند.



شکل ۶- پراکنش مقادیر nRMSE روزانه پایگاه داده ERA5 در حوضه آبریز دریای خزر

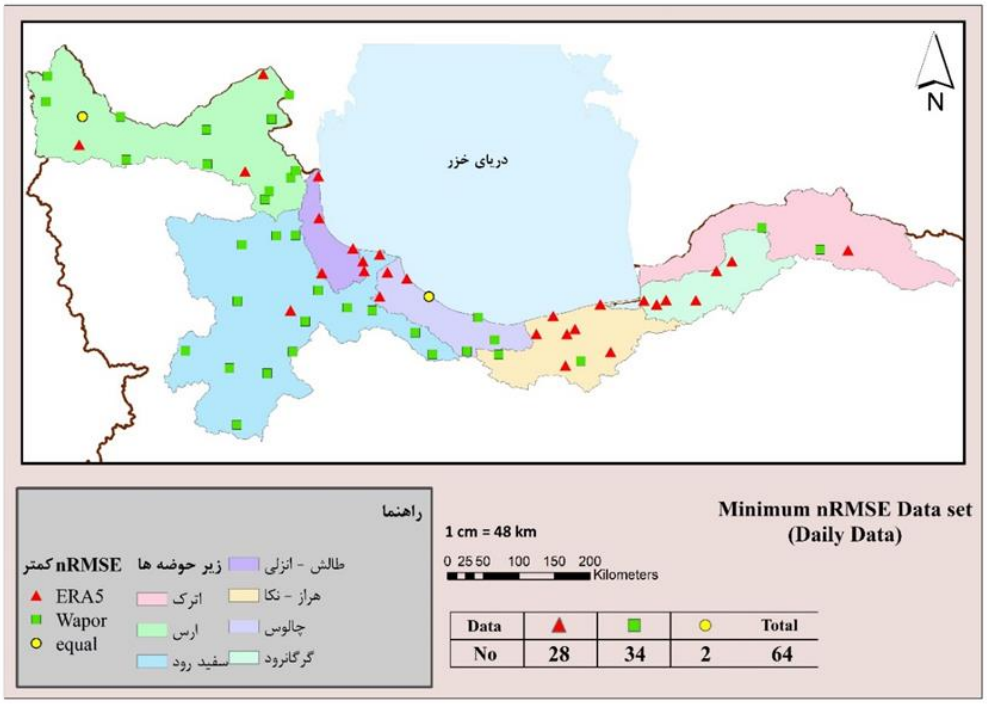
در مقیاس زمانی ماهانه (شکل ۶) در تمامی زیر حوضه‌ها به غیر از زیرحوضه سفید رود، پایگاه داده ERA5 عملکرد مناسبی داشته است و این عملکرد مناسب در مناطق ساحلی بیشتر نمایان است. ژین و همکاران (۲۰۲۱)، در خصوص بررسی داده‌های بارش ERA5 به نتایج مشابهی رسیدند که هر چه به سمت مناطق ساحلی پیش روی گردد، عملکرد مناسب‌تری نسبت به مناطق شهری و کوهستانی دیده می‌شود و عامل ناهمواری‌های توپوگرافی را در نتایج این پایگاه داده به‌عنوان عامل مؤثری نام بردند. عملکرد داده‌های باز تحلیل به‌شدت به شرایط آب و هوایی منطقه بستگی دارد. به نظر می‌رسد با توجه به ظرفیت گرمایی بالاتر آب در ایستگاه‌های ساحلی و نزدیک به ساحل، از آنجائی که تغییرات پارامترهای اقلیمی دارای نوسان روزانه نیست، عاملی تأثیرگذار در دقت داده‌های ERA5 است، به‌عبارت‌دیگر داده‌های ERA5 در محیط‌های با نوسانات کمتر آب‌وهوایی عملکرد بهتری را از خود نشان می‌دهند. تاراک و همکاران (۲۰۲۰)، نیز برای شمال آمریکا به نتایجی مشابه رسیدند. همچنین نتایج آماره rMBE نشان داد که در ۵۳ ایستگاه سینوپتیک مورد مطالعه از مجموع ۶۴ ایستگاه، مقدار تبخیر و تعرق مرجع همراه با کم برآورد و در نه ایستگاه همراه با بیش برآورد بوده است و در دو ایستگاه آمل و آلاشت هیچ‌گونه بیش برآورد و یا کم برآوردی دیده نشد. هفت ایستگاه از ۶۴ ایستگاه مورد بررسی بیش از ۲۵ درصد دچار کم برآوردی شدند شکل (۷). از جمله این ایستگاه‌ها، ایستگاه بادخیز منجیل است که بیش از ۲۵ درصد کم برآورد است؛ به‌عبارت‌دیگر هنگامی سرعت باد و نوسانات مربوط به باد افزایش می‌یابد، مقدار خطای برآورد نیز بیشتر می‌شود که نشان‌دهنده آن است که در میان عوامل مؤثر در مقدار تبخیر-تعرق مرجع، باد اصلی‌ترین عامل تأثیرگذار در این ایستگاه است.



شکل ۷- مقادیر آماره rMBE با استفاده پایگاه داده ERA5 در حوضه آبریز دریای خزر

نقشه حداقل خطا

آماره خطای nRMSE برای تبخیر و تعرق مرجع روزانه و ماهانه، در ۶۴ ایستگاه بررسی‌شده در حوضه آبریز دریای خزر با استفاده پایگاه داده‌های ERA5 و WaPOR و داده‌های مشاهداتی زمینی با استفاده از معادله پنمن مانتیث، ارزیابی شدند. پس از مشخص شدن پایگاه داده مطلوب در هر ایستگاه در سطح حوضه آبریز دریای خزر اقدام به تولید نقشه پراکندگی پایگاه داده مطلوب برای محاسبه تبخیر و تعرق مرجع در سطح حوضه گردید. کمترین خطا در هریک از ایستگاه‌ها بر اساس پایگاه داده-های مورد استفاده مشخص گردید. موقعیت هریک از ایستگاه‌ها به همراه پایگاه داده مطلوب و ترجیحی بر اساس کمترین خطای مشاهده شده در شکل (۸) نمایش داده شده است.



شکل ۸- پایگاه داده مناسب جهت برآورد تبخیروتعرق مرجع در سطح حوضه و زیر حوضه‌های دریای خزر

نتایج نشان داد که تعداد ۲۸ ایستگاه در پایگاه داده ERA5 و تعداد ۳۲ ایستگاه در سامانه WaPOR کمترین خطا را نشان می‌دهند. همچنین در دو ایستگاه از ۶۴ ایستگاه موجود، دو پایگاه داده مقدار خطای یکسانی دارند. با توجه به پراکنش پایگاه داده ترجیحی مشخص می‌شود که در مناطق کوهستانی حوضه خزر و نزدیک به رشته کوه البرز،

پایگاه داده WaPOR عملکرد مناسب‌تری دارد و با حرکت به سمت خط ساحلی، پایگاه داده ERA5 عملکرد مناسب‌تری را در حوضه آبریز خزر نشان می‌دهد. همچنین شکل (۸) در مقیاس زیر حوضه نشان می‌دهد که به‌طورکلی، پایگاه داده WaPOR در زیر حوضه‌های غربی عملکرد بهتر و پایگاه داده ERA5 در زیر حوضه‌های شرقی عملکرد مناسب تری داشته است. پس از آنالیزهای صورت گرفته دلیل عملکرد مناسب ERA5 در ایستگاه‌ها و زیر حوضه‌های شرقی ناشی از نوسانات کمتر سرعت باد نسبت به البرز غربی است.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در مطالعه حاضر داده‌های باز تحلیل و سنجش‌ازدور در برآورد تبخیر و تعرق مرجع ارزیابی شدند. در ابتدا تبخیر و تعرق برآورد شده با استفاده از این پایگاه داده‌ها با داده‌های تبخیر-تعرق مرجع ایستگاه‌های هواشناسی که با استفاده از معادله فائو پنمن- مانتیث در محیط نرم‌افزار REF-ET استخراج‌شده بود در بازه زمانی روزانه و ماهانه و در وسعت مکانی هفت زیر حوضه آبریز دریای خزر در بازه ده ساله (۱۴۰۰-۱۳۹۰) مقایسه و شدند. تعداد ایستگاه‌هایی که پایگاه داده ERA5 در مقیاس روزانه در آن‌ها برآورد نامناسبی نشان می‌داد از تعداد ایستگاه‌های محصول WaPOR کمتر بود. در برآورد تبخیر و تعرق مرجع ERA5 اغلب به‌صورت کم برآورد ولی در محصول WaPOR در اکثریت موارد به‌صورت بیش برآورد بود. بیش‌برآورد مقدار تبخیر و تعرق مرجع توسط پایگاه WaPOR می‌تواند در نهایت منجر به بیش‌برآورد در تخمین نیاز آبی محصولات کشاورزی گردد که این امر منجر به افزایش مصرف آب آبیاری خواهد شد. بررسی‌ها نشان داد که با ترکیب هر دو پایگاه داده بر اساس مقدار کمترین خطا، می‌توان به برآورد مناسب‌تری از مقدار تبخیر و تعرق مرجع دست یافت. به لحاظ مکانی پایگاه داده WaPOR در زیر حوضه‌های غربی و پایگاه داده ERA5 در زیر حوضه‌های شرقی عملکرد مناسب‌تری داشتند. شایان ذکر است، نتایج این پژوهش نشان داد که در بیش از ۹۰ درصد از حوضه آبریز دریای خزر در مقیاس ماهانه پایگاه داده‌های WaPOR و ERA5 نتایج قابل اعتمادی را ارائه می‌نمایند؛ بنابراین در مقیاس ماهانه استفاده از داده‌های این دو پایگاه داده، قابل قبول است. ازاین‌رو پیشنهاد می‌شود در آینده برای ارتقا صحت و استفاده بهتر از داده‌های باز تحلیل، تحقیق مشابه با پایگاه داده‌های باز تحلیل دیگر مانند NLDAS، AgERA، GLDAS نیز انجام و نتایج تحقیق با آن‌ها مقایسه گردد. در حوضه آبریز خزر هر کدام از پایگاه داده‌ها که خطای کمتری را در هر ایستگاه ارائه نمودند به‌عنوان نماینده جهت برآورد تبخیر و تعرق مرجع در آن ایستگاه مورد استفاده قرار گیرد.

فهرست منابع

۱. حیدری مطلق، آ.، نصرالهی, ع،ح.، ویسی، ش.، و شریفی پور، م.، ۱۴۰۱. تاثیر به‌کارگیری الگوریتم‌های مختلف دمای سطح زمین در برآورد مقادیر تبخیر و تعرق واقعی. تحقیقات آب و خاک ایران، جلد ۵۳، شماره ۱۲، ص ۲۷۲۰-۲۷۰۱.

۲. گله‌بان، ا.، حمزه، س.، ویسی، ش.، و علوی‌پناه, س، ک.، ۱۴۰۱. برآورد تبخیروتعرق مرجع روزانه با استفاده از داده‌های سنجش از دور (مطالعهٔ موردی: استان سیستان و بلوچستان). نشریه سنجش از دور و GIS ایران, جلد ۱۴، شماره ۲، ص ۵۰-۳۷.

3. Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements. Irrigation and Drainage Paper 56. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, p. 300. Paper 56.

4. Allen, R.G., Morton, C.G., Kamble, B., Kilic, A., Huntington, J.L., Thau, D., Gorelick, N., Erickson, T.A., Moore, R., Trezza, R., Ratcliffe, I., Robison, C.W., 2015. EEFlux: a Landsat-

based evapotranspiration mapping tool on the google earth engine. In: Presented at the ASABE/IA Irrigation Symposium: Emerging Technologies for Sustainable Irrigation - A Tribute to the Career of Terry Howell. Long Beach, CA. https://doi.org/10.13031/irrig.20152143511.

5. Barideh, R., Veysi, S., Ebrahimipak, N. and Davatgar, N., 2022. The challenge of reference evapotranspiration between the WaPOR data set and geostatistical methods. Irrigation and Drainage, 71(5), pp.1268-1279. https://doi.org/10.1002/ird.2738.
6. Balsamo, G., Beljaars, A., Scipal, K., Viterbo, P., van den Hurk, B., Hirschi, M., & Betts, A. K. 2009. A revised hydrology for the ECMWF model: Verification from field site to terrestrial water storage and impact in the Integrated Forecast System. Journal of hydrometeorology, 10(3), 623-643.
7. Blankenau, P. A., Kilic, A., & Allen, R. 2020. An evaluation of gridded weather data sets for the purpose of estimating reference evapotranspiration in the United States. Agricultural Water Management, 242, 106376.
8. FAO, 2020. WaPOR V2 Quality Assessment - Technical Report on the Data Quality of the WaPOR database Version 2, 2020, FAO, Rome. http://www.fao.org/3/cb2208en/cb2208en.pdf
9. Ebita, A., Kobayashi, S., Ota, Y., Moriya, M., Kumabe, R., Onogi, K., Harada, Y., Yasui, S., Miyaoka, K., Takahashi, K., Kamahori, H., Kobayashi, C., Endo, H., Soma, M., Oikawa, Y., Ishimizu, T., 2011. The Japanese 55-year reanalysis "JRA-55": an Interim Report. Sci. Online Lett. Atmos. 7, 149–152. https://doi.org/10.2151/ sola.2011-038.
10. Gibson, J.K., Kållberg, P., Uppala, S., Hernandez, A., Nomura, A., Serrano, E., 1999. ERA-15 Description. ECMWF Re-Analysis Project Report Series, 1.
11. Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Hirahara, S., Hor´anyi, A., Mu˜noz-Sabater, J., Nicolas, J., Peubey, C., Radu, R., Schepers, D., Simmons, A., Soci, C., Abdalla, S., Abellan, X., Balsamo, G., Bechtold, P., Biavati, G., Bidlot, J., Bonavita, M., de Chiara, G., Dahlgren, P., Dee, D., Diamantakis, M., Dragani, R., Flemming, J., Forbes, R., Fuentes, M., Geer, A., Haimberger, L., Healy, S., Hogan, R.J., H´olm, E., Janisková, M., Keeley, S., Laloyaux, P., Lopez, P., Lupu, C., Radnoti, G., de Rosnay, P., Rozum, I., Vamborg, F., Villaume, S., Th´epaut, J.N., 2020. The ERA5 global reanalysis. Q. J. R. Meteorol. Soc. 146, 1999–2049. https://doi.org/10.1002/ qj.3803.
12. Jensen, M.E., 1968. Water Consumption by Agricultural Plants. In: Kozlowski, T.T. (Ed.), Plant Water Consumption and Response. Water Deficits and Plant Growth, II. Academic Press, New York, pp. 1–22 (Chapter 1).
13. Kalluri, S., Gilruth, P., Bergman, R., 2003. The potential of remote sensing data for decision makers at the state, local and tribal level: experiences from NASA's Synergy program. Environ. Sci. Policy 6, 487–500.
14. Kalnay, E., Kanamitsu, M., Kistler, R., Collins, W., Deaven, D., Gandin, L., et al. (1996). The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. Bulletin of the American Meteorological Society, 77(3), 437–471.
15. Kanamitsu, M., Ebisuzaki, W., Woollen, J., Yang, S.-K., Hnilo, J.J., Fiorino, M., Potter, G. L., 2002. NCEP–DOE AMIP-II reanalysis (R-2). Bull. Am. Meteorol. Soc. 83, 1631–1644. https://doi.org/10.1175/BAMS-83-11-1631.
16. Lorenz, C., &Kunstmann, H. 2012. The hydrological cycle in three state-of-the-art reanalysis: Inter comparison and performance analysis. Journal of Hydrometeorology, 13(5), 1397-1420.
17. Martins, D.S., Paredes, P., Raziei, T., Pires, C., Cadima, J., Pereira, L.S., 2017. Assessing reference evapotranspiration estimation from reanalysis weather products. An application to the Iberian Peninsula. Int. J. Climatol. 37, 2378–2397. https://doi.org/ 10.1002/joc.4852.

18. Nouri, M., & Homaee, M. 2022. Reference crop evapotranspiration for data-sparse regions using reanalysis products. Agricultural Water Management, 262, 107319.
19. Paredes, P., Martins, D.S., Pereira, L.S., Cadima, J., Pires, C., 2018. Accuracy of daily estimation of grass reference evapotranspiration using ERA-Interim reanalysis products with assessment of alternative bias correction schemes. Agric. Water Manag. 210, 340–353. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.08.003.
20. Rienecker, M.M., Suarez, M.J., Gelaro, R., Todling, R., Bacmeister, J., Liu, E., Bosilovich, M.G., Schubert, S.D., Takacs, L., Kim, G., Bloom, S., Chen, J., Collins, D., Conaty, A., da Silva, A., Gu, W., Joiner, J., Koster, R.D., Lucchesi, R., Molod, A., Owens, T., Pawson, S., Pegion, P., Redder, C.R., Reichle, R., Robertson, F.R., Ruddick, A.G., Sienkiewicz, M., Woollen, J., 2011. MERRA: NASA's Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications. J. Clim. 24 (14), 3624–3648. https://doi.org/10.1175/JCLI-D-11-00015.1.
21. Rodell, M., 2020. LDAS Land Data Assimilation Systems. https://ldas.gsfc.nasa.gov/nldas./
22. Tarek, M., Brissette, F. P., & Arsenault, R. 2020. Evaluation of the ERA5 reanalysis as a potential reference dataset for hydrological modelling over North America. Hydrology and Earth System Sciences, 24(5), 2527-2544.
23. Thomas, S. R., Nicolau, S., Martínez-Alvarado, O., Drew, D. J., & Bloomfield, H. C. 2021. How well do atmospheric reanalyses reproduce observed winds in coastal regions of Mexico? Meteorological Applications, 28(5), e2023.
24. Uppala, S.M., Kållberg, P.W., Simmons, A.J., Andrae, U., da Costa Bechtold, V., Fiorino, M., Gibson, J.K., Haseler, J., Hernandez, A., Kelly, G.A., Li, X., Onogi, K., Saarinen, S., Sokka, N., Allan, R.P., Andersson, E., Arpe, K., Balmaseda, M.A., Beljaars, A.C.M., van de Berg, L., Bidlot, J., Bormann, N., Caires, S., Chevallier, F., Dethof, A., Dragosavac, M., Fisher, M., Fuentes, M., Hagemann, S., H´olm, E., Hoskins, B.J., Isaksen, L., Janssen, P.A.E.M., Jenne, R., McNally, A.P., Mahfouf, J.F., Morcrette, J.J., Rayner, N.A., Saunders, R.W., Simon, P., Sterl, A., Trenberth, K.E., Untch, A., Vasiljevic, D., Viterbo, P., Woollen, J., 2005. The ERA-40 re-analysis. Q. J. R. Meteorol. Soc. https://doi.org/10.1256/qj.04.176.
25. Wilhite, D.A., 2000. Drought as a Natural Hazard: Concepts and Definitions.Wright, J.L., Jensen, M.E., 1972. Peak water requirements of crops in southern Idaho. Proc. Am. Soc. Civ. Eng. J. Irrig. Drain. Div. 98 (IR2), 193–201.
26. Xin, Y., Lu, N., Jiang, H., Liu, Y., & Yao, L. 2021. Performance of ERA5 reanalysis precipitation products in the Guangdong-Hong Kong-Macao greater Bay Area, China. Journal of Hydrology, 602, 126791.

Performance Evaluation of WaPOR and ERA5 Datasets for the Purpose of Estimating Reference Evapotranspiration in the Caspian Sea Basin

SH. Veysi*, M. Nouri, and A. Jabbari

Assistant Prof., Soil and Water Research Institute (SWRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Alborz, Karaj, Iran. **sh.veysi@areeo.ac.ir**

Assistant Prof., Soil and Water Research Institute (SWRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Alborz, Karaj, Iran. **m.nouri@modares.ac.ir**

Assistant Prof., Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Urmia, Iran. **anahita.jabbari@yahoo.com**

Received: April 2023 and Accepted: June 2023

Abstract

To compensate for the lack, or inadequacy, of weather stations data, one of the most reliable ways is to use the remote sensing and re-analysis dataset, which provides a suitable model for such areas. In this study, the performance of two data sources, namely, WaPOR and ERA5, was evaluated in estimating reference evapotranspiration at 64 synoptic stations in the Caspian coastal region in Iran, on a daily and monthly basis. To this end, meteorological data of 64 synoptic stations with a 10-year statistical period (2011-2021) was obtained daily from the Iran Meteorological Organization. The field data used included minimum and maximum temperature, relative humidity, wind speed, and solar radiation intensity. Then, evapotranspiration and reference evapotranspiration were calculated using the Penman-Monteith equation and REF-ET software. Finally, the results were compared with the results from the WaPOR and ERA5 data bases. The results showed that, on average, the nRMSE values of the WaPOR and ERA5 datasets compared to the calculated meteorological station data were 29.6% and 29%, respectively, on a daily basis. Also, on a monthly time scale, in more than 85% of the stations, both datasets provided acceptable results. On a monthly scale, the average nRMSE value for both WaPOR and ERA5 sensors in the catchment area was 19%. The rMBE value showed that the ERA5 dataset underestimated the reference evapotranspiration in most of the stations, while the WaPOR dataset overestimated. Given that the error rate of the two sensors is different in over 30 percent of the stations, a suitable estimate of reference evapotranspiration in the Caspian Sea basin area can be obtained by combining the data from these two datasets. The results showed that in the Caspian Sea coastal areas, 34 stations in the WaPOR dataset and 28 stations in the ERA5 dataset showed the minimum error, with two stations showing the same error. Thus, both WaPOR and ERA5 are suitable databases that can be used for hydrological purposes, including estimation of reference evapotranspiration.

Keywords: Data scarcity, Penman-Monteith Equation, Remote sensing, Meteorological stations

* - Corresponding author's email: sh.veysi@areeo.ac.ir