



ستاد احیای دریاچه ارومیه



دانشگاه صنعتی شریف
مرکز تحقیقات سنجش از دور (RSRC)

معرفی و مقایسه سامانه FAO و فعالیت‌های مرکز سنجش از دور در برآورد بهره‌وری در بخش کشاورزی

مدیر فنی

محسن قلیزاده

کارشناسان

محسن قلیزاده، مصطفی جوادیان

کد سند

RM-۹۶-۱۱

اردیبهشت ۱۳۹۶



شناسه سند			
معرفی و مقایسه سامانه FAO و فعالیت‌های مرکز سنجش از دور در برآورد بهره‌وری در بخش کشاورزی			عنوان سند
<input type="checkbox"/> گزارش فنی (TR)	<input type="checkbox"/> خلاصه مدیریتی (ES)	<input type="checkbox"/> پروپوزال (PR)	نوع سند
<input checked="" type="checkbox"/> یادداشت تحقیقی (RN)	<input type="checkbox"/> یادداشت فنی (TN)	<input type="checkbox"/> مقاله (AR)	<input type="checkbox"/> خروجی غیر رسمی (RM)
RN-۹۶-۱۱			کد سند
			شماره قرارداد
۱۳۹۶			تاریخ قرارداد
ستاد احیای دریاچه ارومیه			کارفرما
دکتر چهره نگار			گروه فنی
سهیلا یونس زاده			مدیر اجرایی
محسن قلیزاده			مدیر فنی طرح
محسن قلیزاده، مصطفی جوادیان			کارشناسان فنی طرح
۱۳۹۶			تاریخ انتشار
چهارم			ویرایش

تعریف	نوع سند
Peer review شده با فرایند داوری خیلی دقیق و جدی و دارای محتوی علمی مفصل و ویرایش شده ادبی و فنی	گزارش فنی (TR)
همانند گزارش فنی است با این تفاوت که مطالب مفصل نبوده و داوری جدی نشده است.	یادداشت فنی (TN)
خلاصه‌ای از یک کار تحقیقاتی یا مطالعاتی که برای مدیران و بارگزاری روی سایت تنظیم شده است.	خلاصه مدیریتی (ES)
جهت پاسخگویی به سوالات و ابهامات و یا آموزش و یادگیری از تکنیک‌ها و الگوریتم‌هایی که کاربرد آن برای مطالعات و پروژه‌های مرکز می‌باشد	یادداشت تحقیقی (RN)
نتیجه کار تحقیقی که تکمیل نشده و لذا داوری جدی نشده و ارزیابی عمیق و ویراستاری روی آن صورت نگرفته و به صورت غیر رسمی برای اطلاع عموم در اختیار قرار گرفته است.	خروجی غیر رسمی (RM)
پیشنهادیه انجام پروژه	پروپوزال (PR)
مقالات فارسی و انگلیسی	مقاله (AR)

پیش‌گفتار

قرارگیری دریاچه ارومیه در آستانه بحرانی زیست‌محیطی در مقیاس بین‌المللی در سال‌های منتهی به سال ۱۳۹۲ شمسی و مطالبات مردم شریف منطقه، هیأت محترم وزیران را بر آن داشت که در اولین جلسه خود در دولت یازدهم، طی مصوبه شماره ۴۹۵۰۳/۱۱۱۱۴۶ مورخ ۱۳۹۲/۰۵/۲۸، تشکیل کارگروه نجات دریاچه ارومیه را به تصویب رسانند که پس از بررسی‌های گروه‌های کارشناسی، ۱۹ طرح اولویت‌دار جهت نجات دریاچه ارومیه در جلسه ۱۳۹۲/۰۷/۱۶ کارگروه نجات دریاچه ارومیه تصویب گردید.

به منظور تمرکز و تسریع در روند اقدامات مرتبط با احیای دریاچه ارومیه، پیشنهاد تشکیل «کارگروه ملی نجات دریاچه ارومیه» در جلسه مورخ ۱۳۹۲/۱۱/۰۲ هیأت محترم وزیران مطرح و به موجب اختیارات اصل ۱۳۸ قانون اساسی، طبق مصوبه شماره ۴۹۵۰۳/۱۷۰۰۹۲ مورخ ۱۳۹۲/۱۱/۱۲، مقرر گردید که ریاست کارگروه بر عهده معاون اول محترم رئیس‌جمهور باشد و جناب آقای دکتر عیسی کلانتری به عنوان دبیر کارگروه و مدیر اجرایی احیای دریاچه ارومیه تعیین گردیدند. ۷ وزیر، ۲ معاون رئیس‌جمهور و ۳ استاندار حوضه آبریز نیز به عنوان اعضای این کارگروه معرفی شدند.

در گام بعدی، ستاد احیای دریاچه ارومیه ضمن ایجاد کمیته‌های تخصصی شش‌گانه، ۲۰ کارگروه تخصصی، انجام مطالعات تطبیقی و ایجاد شوراهای منطقه‌ای، ضمن برگزاری ۹۸ جلسه متنوع کارشناسی و مدیریتی و بهره‌گیری از نظرات بیش از ۷۵۰ نفر از متخصصان داخلی و بین‌المللی در بازه زمانی ۱۳۶ روزه (از ۱۳۹۲/۱۱/۰۲ تا ۱۳۹۳/۰۳/۱۷)، اقدام به تدوین و اجرای یک نقشه راه جامع در راستای احیای دریاچه ارومیه نمود که نقشه راه مذکور در جلسه مورخ ۱۳۹۳/۰۴/۰۸ به ریاست رئیس‌جمهور محترم جناب آقای دکتر روحانی، ارائه و مورد تصویب قرار گرفت و دستور شروع عملیات اجرایی راه‌کارهای مصوب توسط ایشان صادر گردید. کارگروه ملی نجات دریاچه ارومیه نیز طی مصوبه شماره ۴۹۵۰۳/۵۷۵۴۲ مورخ ۱۳۹۳/۰۵/۲۵ به طور رسمی مسئولیت مطالعه و طراحی طرح نجات دریاچه ارومیه را به دانشگاه صنعتی شریف سپرد.

در کنار دستاوردهای میدانی متعدد حاصل از طرح ملی نجات دریاچه ارومیه از جمله قرار گرفتن دریاچه در مسیر احیای پایدار و رفع مخاطرات بهداشتی و سلامتی، نقش محوری دانشگاه‌های ملی و استانی در کلیه امور مطالعه و پایش، شاخصه‌ای کم‌نظیر در پروژه بوده که توانسته است ضمن خلق تعاملی پویا و چندسویه با دستگاه‌های اجرایی، روح اقدامات علمی-پژوهشی را در کالبد همه پروژه‌های ذیل طرح، جاری نمایند.

لذا با هدف شفاف‌سازی اقدامات مطالعاتی و پژوهشی انجام شده و نیز به منظور فراهم شدن امکان استفاده مجامع علمی در رشته‌های مختلف دانشگاهی از آب (هیدرولوژی، آب زیرزمینی، هیدرولیک و هیدرودینامیک)، محیط‌زیست، اکولوژی و لیمنولوژی گرفته تا اقتصاد و جامعه‌شناسی از دانش بومی تولید شده در این طرح ملی، کلیه مطالعات انجام شده توسط دبیرخانه کارگروه در کتابخانه مرکزی دانشگاه صنعتی شریف در دسترس پژوهشگران محترم قرار گرفته است. یقیناً تدارک مطالعه و پژوهش در این منابع بومی ارزشمند که حاصل سال‌ها تلاش مجدانه محققان تراز اول داخلی و بین‌المللی بوده، سرآغازی خواهد بود برای تداوم نهضت علمی شکل گرفته و به زودی با بروز جهشی علمی در بستر استثنایی پدید آمده، شاهد شکوفا شدن برکات این گردش آزاد اطلاعات در اقصی نقاط کشور خواهیم بود.

کلیه تعبیر، نتایج و تفاسیری که در این اثر ذکر شده‌اند، محصول تلاش‌های نویسندگان (یا نویسندگان) آن بوده و لزوماً منعکس‌کننده دیدگاه‌های دبیرخانه کارگروه ملی نجات دریاچه ارومیه نیست. لذا مسئولیت صحت کلیه اطلاعات و نتایجی که توسط این اثر در دسترس عموم قرار می‌گیرد، به عهده نویسندگان (یا نویسندگان) آن می‌باشد.

چکیده

در حال حاضر حوضه‌های آبریز در مناطق خشک با مشکلات زیست‌محیطی جدی ناشی از خشک‌سالی‌های مکرر، شیوه مدیریت ضعیف، استفاده بیش از حد از منابع و توسعه بی‌رویه در اراضی کشاورزی مواجه می‌باشند. در این حوضه‌ها، معمولاً کشاورزی بزرگ‌ترین مصرف‌کننده منابع آب شیرین است. به همین جهت آگاهی از میزان بهره‌وری در مصرف آب کشاورزی و برنامه‌ریزی در جهت بهبود آن برای مقابله با مشکلات منابع آب اهمیت فراوانی دارد.

با توجه به کاهش چشمگیر سطح دریاچه ارومیه در سال‌های اخیر، نیاز به بررسی و پایش مستمر وضعیت منابع و مصارف در حوضه دریاچه ارومیه است. برای این موضوع نیاز به شناخت مجموعه‌ای داده‌های قابل اتکا برای مدیریت منابع است. معمولاً این پارامتر به دلیل مشکلات موجود در اندازه‌گیری مستقیم، به طور غیرمستقیم و بر اساس داده‌های هواشناسی در ایستگاه‌های هواشناسی برآورد می‌گردد. با توجه به تغییرات مکانی پارامترهای اقلیمی، امروزه استفاده از روش‌هایی از جمله روش‌های مبتنی بر سنجش از دور که این تغییرات را در نظر می‌گیرند کاربرد فراوان یافته است.

در مطالعات مختلف، روش‌های متفاوتی با استفاده از داده‌های زمینی و تصاویر ماهواره‌ای برای تخمین پارامترهای عملکرد کشاورزی و بررسی نحوه مصرف آب در مقیاس‌های منطقه‌ای استفاده شده است. با توجه به عملکرد مناسب تکنیک‌های مبتنی بر سنجش از دور در اراضی وسیع کشاورزی، محاسبه شاخص‌های عملکردی با استفاده از این فناوری از دهه ۹۰ میلادی به طور جدی مورد توجه قرار گرفته و الگوریتم‌های متعددی به منظور برآورد هرچه دقیق‌تر آن معرفی شده‌اند.

در این مطالعه به معرفی سامانه WaPOR جهت ارزیابی بهره‌وری در آبیاری و مصرف آب در منطقه کشاورزی که توسط سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (FAO) برای منطقه خاورمیانه و افریقا مهیا شده و مقایسه اطلاعات آن با نتایج پروژه‌های مربوط به تبخیر و تعرق که در حوضه آبریز دریاچه ارومیه توسط مرکز تحقیقات سنجش از دور دانشگاه صنعتی شریف (RSRC) انجام شده پرداخته خواهد شد. مطالعه حاضر با بررسی جنبه‌های مختلف از جمله مقیاس زمانی و مکانی نقشه‌ها، وضعیت تبخیر و تعرق در مراتع اراضی تحت کشت آبی و دیم، بررسی ارتفاعی تغییرات پارامترها در مراتع، بررسی نتایج با آمار ایستگاه لایسیمتری و در نهایت مقایسه بارندگی سعی می‌کند تا به مقایسه نقشه‌های تولید شده توسط سامانه WaPOR و مرکز RSRC بپردازد.

نقشه‌های تولید شده سامانه WaPOR از نظر مقیاس زمانی و مکانی دقت بالاتری نسبت به نتایج مرکز RSRC دارد و مقادیر تبخیر و تعرق سامانه WaPOR کمتر از ارتفاع تبخیر و تعرق محاسبه شده توسط مطالعه مرکز RSRC است. در ارتفاع کمتر از ۲۲۰۰ متر، عموماً نتایج مرکز RSRC مقادیر بالاتری نسبت به سامانه WaPOR نشان می‌دهد و با حرکت به سمت ارتفاع ۲۰۰۰ متر این اختلاف به بیشترین مقدار خود می‌رسد. مقادیر لایسیمتر دانشگاه تبریز همخوانی قابل قبولی با مقادیر محاسباتی مرکز RSRC دارد، این در حالی است که ارزیابی تبخیر و تعرق در مقابل بارش در اراضی کشت دیم حاکی از برتری مقادیر تبخیر و تعرق سامانه WaPOR است.

بارندگی یکی از متغیرهای اقلیمی است که به عنوان محرک چرخه هیدرولوژیکی از اهمیت زیادی برخوردار است. در این مطالعه دقت داده‌های تولیدی بارش در حوضه آبریز دریاچه ارومیه توسط پایگاه TRMM و سامانه WaPOR مورد توجه قرار گرفته است. بدین منظور با استفاده از منابع اطلاعاتی زمینی موجود از میزان بارندگی ماهانه در ایستگاه‌های سینوپتیک سازمان هواشناسی و ایستگاه‌های هواشناسی وزارت نیرو با داده‌های ماهواره‌ای بارش در سال ۲۰۱۴ مقایسه شده است. بر اساس نتایج این مطالعه انحراف گسترده‌ای در مقدار RMSE از مقادیر مطلوب مشاهده می‌شود؛ ولی با این وجود اطلاعات سامانه WaPOR خطای کمتری نسبت به نتایج پایگاه داده TRMM دارند. آزمون‌های آماری نشان‌دهنده عدم توانایی پایگاه‌های داده بارش اشاره شده در برآورد صحیح مقدار بارش در حوضه آبریز دریاچه ارومیه بوده و استفاده از آن‌ها بدون کالیبراسیون محلی توصیه نمی‌شود. در این بخش نقشه بارندگی مرکز RSRC براساس اطلاعات ایستگاه‌های زمینی و توپوگرافی منطقه طراحی شده که دقت بهتری نسبت به داده‌های ماهواره‌ای دارد.

این پایگاه داده‌ای ضمن سرعت بخشیدن به مطالعات، می‌تواند به مدیران و تصمیم‌سازان در شناخت شرایط مصرف و مدیریت فعلی آب در منطقه کمک نماید و همچنین می‌توان تجزیه و تحلیل‌هایی جهت مقادیر آب قابل صرفه‌جویی و موقعیت آن‌ها مطرح نمود.

کلمات کلیدی: بهره‌وری آب، مصرف آب، سنجش از دور و تبخیر و تعرق، حوضه آبریز دریاچه ارومیه،

WaPOR و RSRC.

فهرست مطالب

۱- مقدمه	۱
۲- سامانه FAO برای تخمین "بهره‌وری آب با بهره‌گیری از داده‌های سنجش از دور با دسترسی آزاد".....	۲
۱-۲- مناطق تحت پوشش طرح	۴
۲-۲- اطلاعات خروجی از سامانه WAPOR	۵
۳-۲- روش‌شناسی محاسبه تبخیر و تعرق واقعی	۶
۴-۲- روش‌شناسی استخراج لایه بارش	۸
۳- مطالعات پیشین مرکز RSRC	۸
۱-۳- روش‌شناسی محاسبه تبخیر و تعرق واقعی	۹
۲-۳- روش‌شناسی استخراج لایه بارش	۹
۳-۳- محاسبه میزان مصرف و آب قابل صرفه‌جویی در اراضی کشاورزی	۹
۴- مقایسه محصولات سامانه WAPOR و مطالعات مرکز RSRC	۱۱
۱-۴- مقایسه قدرت تفکیک زمانی و مکانی محصولات سامانه WAPOR و مطالعه مرکز RSRC	۱۱
۲-۴- مقایسه تبخیر و تعرق محاسبه شده در سامانه WAPOR و مطالعات مرکز RSRC	۱۱
۳-۴- تحلیل زمانی و مکانی تبخیر و تعرق	۱۸
۴-۴- مقایسه مقادیر محاسباتی سنجنده‌ها با سامانه WAPOR	۲۰
۵-۴- مقایسه مقادیر برآورد شده با داده‌های زمینی	۲۲
۶-۴- بررسی اختلاف نتایج در کاربری اراضی کشت دیم	۲۳
۷-۴- مقایسه بهره‌وری زیرحوضه بر اساس مصرف آب	۲۶
۸-۴- مقایسه تبخیر از سطح دریاچه توسط سامانه WAPOR و مطالعه مرکز RSRC	۲۸
۹-۴- بارش	۲۹
۵- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری	۳۱
۶- فهرست مراجع	۳۲

۱- مقدمه

تاریخچه بررسی عملکرد آبیاری، از راندمان آبیاری کلاسیک به سمت شاخص‌های عملکردی در مقیاس حوضه‌ای حرکت کرده است. مقیاس حوضه‌ای، فرصت‌هایی برای بازیابی آب آبیاری شده و تأمین منابع آب برای کاربران بخش‌های غیر کشاورزی را فراهم می‌کند. مطالعات شاخص عملکردی به علت حجم بالای مصرف آب در بخش کشاورزی اهمیت قابل توجهی در مدیریت حوضه آبریز دارند و به صورت گسترده‌ای در نقاط مختلف دنیا در حال انجام است.

حسابداری آب به عنوان یک ابزار ضروری بالأخص در مناطق کم‌آب، به صورت فزاینده‌ای ترویج می‌شود. این رویکرد شامل ارزیابی منسجم در دسترس بودن منابع آبی است که باید با عوامل اقلیمی ترکیب شده و نیازمند اعمال حق عادلانه در تخصیص آب برای کاربری‌های خانگی، صنعتی و نیز برای خدمات گسترده‌تر اکوسیستمی است. در این زمینه، FAO^۱ با تدوین چارچوب‌های مناسب حسابداری و حسابرسی آب مشاوره‌های فنی به کشورهای عضو ارائه می‌کند (تارنمای سامانه WaPOR).

بر اساس برآوردهای FAO، به ازای هر یک درجه سانتی‌گراد افزایش دما، ۷ درصد از جمعیت جهان با کاهش ۲۰ درصدی یا بیشتر منابع تجدیدپذیر آب روبرو می‌شوند. لذا این ارگان بر بهبود مدیریت منابع آب به عنوان یکی از حوزه‌های حیاتی در بسیاری از برنامه‌های ملی سازگاری با تغییرات اقلیمی و کاهش آثار آن، در راستای عمل به توافق اقلیمی پاریس، تأکید زیادی دارد (تارنمای سامانه WaPOR).

ارزیابی مصرف آب در حوضه آبریز دریاچه ارومیه به منظور بررسی وضعیت بهره‌وری آب در بخش کشاورزی و تحلیل تغییرات مکانی و زمانی تبخیر و تعرق واقعی، اطلاعات ارزشمندی را در اختیار سیاست‌گذاران احیای دریاچه ارومیه به منظور اتخاذ تصمیمات صحیح قرار می‌دهد. بدین منظور در این مطالعه به بررسی قابلیت‌های سامانه WaPOR^۲ و مقایسه آن با مطالعات پیشین در مرکز تحقیقات سنجش از دور شریف (RSRC)^۳ پرداخته شده است.

^۱ Food and Agriculture Organization of the United Nation

^۲ Water Productivity Open-access Portal

^۳ Remote Sensing Research Center

۲- سامانه FAO برای تخمین "بهره‌وری آب با بهره‌گیری از داده‌های سنجش از دور با دسترسی آزاد"^۴

گروه تکنولوژی اطلاعات FAO و کارشناسان آب و خاک آژانس تخصصی سازمان ملل «سامانه بهره‌وری آب با دسترسی آزاد» (FAO Water Productivity Open Access Portal) را طی یک پروژه ۱۰ میلیون دلاری با حمایت مالی دولت هلند طراحی کرده‌اند. این پروژه با هدف پوشش قرار دادن کشورهای که با کم‌آبی فیزیکی یا زیرساختی در آفریقا و خاورمیانه مواجه بوده و یا به زودی دچار بحران می‌شوند، طراحی شده است.

«سامانه بهره‌وری آب با دسترسی آزاد» با هدف تقویت بهره‌وری کشاورزی، مقدار تبخیر و تعرق واقعی را تخمین می‌زند. تبخیر و تعرق یکی از مراحل کلیدی در چرخه طبیعی آب بوده و شامل آبی است که مستقیماً با تبخیر وارد اتمسفر شده و یا پس از حرکت از درون گیاه، از شاخه‌ها و برگ‌ها به صورت بخار خارج شده و به اتمسفر باز می‌گردد.

این ابزار می‌تواند ارزیابی‌های تفصیلی برای پایش عملکرد مجموعه مشخصی از برنامه‌های آبیاری، پشتیبانی از سامانه‌های مدرن آبیاری و نیز کمک به دسترسی همه کاربران به خدمات آبی مطمئن‌تر، باصرفه‌تر و سازگارتر با تغییرات اقلیمی را ارائه کند. ابزار جدید ارائه شده توسط FAO با بهره‌گیری از پیشرفته‌ترین فن‌آوری‌های ماهواره‌ای و استفاده از الگوریتم جدید محاسبه تبخیر و تعرق (ETLook)، امکان اندازه‌گیری مؤثر استفاده از آب کشاورزی، به ویژه در کشورهای کم‌آب از جمله ایران را فراهم می‌کند (تارنمای سامانه WaPOR).

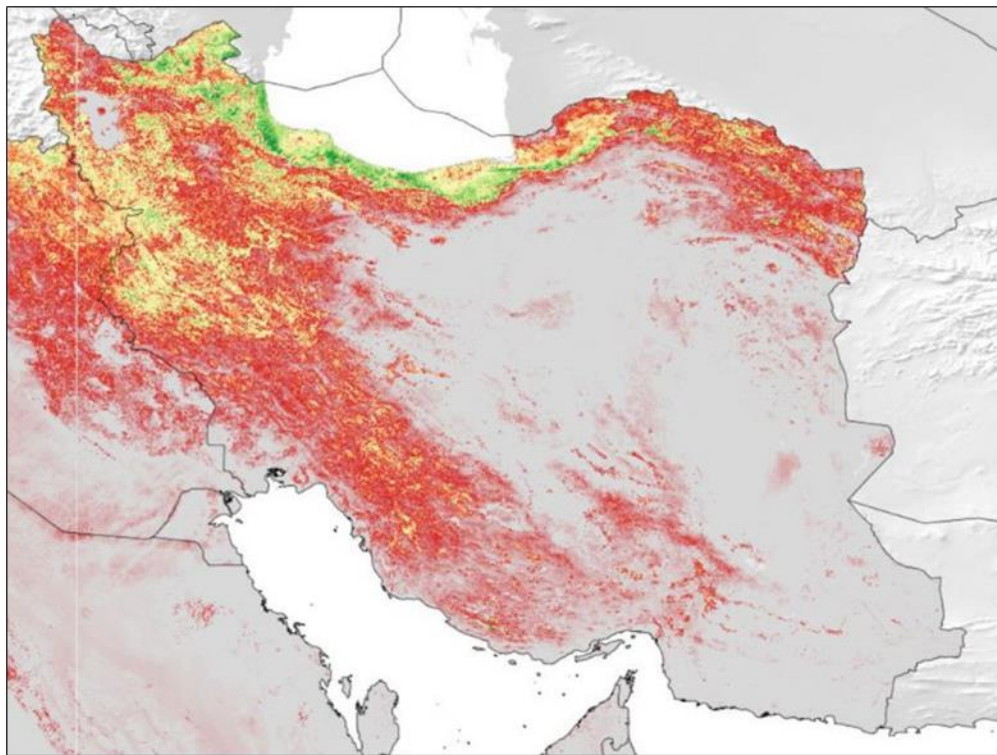
در بخش اعظمی از قرن گذشته، میزان مصرف جهانی آب - که قسمت عمده‌ای از آن صرف کشاورزی می‌شود - از نرخ رشد جمعیت بالاتر رفته و در برخی مناطق به شرایط بحرانی نزدیک شده است. بنابراین FAO با راه‌اندازی «سامانه بهره‌وری آب» از داده‌های ماهواره‌ای زمان واقعی برای ارزیابی بهره‌وری آب در بخش کشاورزی بهره می‌گیرد تا از این طریق کشاورزان محصولات قابل اتکاتر تولید کرده و سیستم‌های آبیاری خود را بهینه سازند (تارنمای سامانه WaPOR).

^۴ Water Productivity through Open access of Remotely sensed derived data (WaPOR)

با استفاده از «سامانه بهره‌وری آب با دسترسی آزاد» (WaPOR) می‌توان تحلیلی کامل از میزان آب استفاده شده در سیستم‌های کشاورزی را ملاحظه نمود و شواهدی تجربی درباره اینکه چگونه می‌توان از میزان آبی معین بیش‌ترین بهره‌وری را برد، بدست آورد.

«سامانه بهره‌وری آب با دسترسی آزاد» با ارزیابی داده‌های ماهواره‌ای و استفاده از امکانات پردازشی گوگل ارث (Google Earth) نشان می‌دهد که به ازای هر مترمکعب آب مصرفی چه مقدار زیست‌توده و محصول تولید می‌شود. این نقشه‌ها هر ۱۰ روز یک بار بروزرسانی شده و می‌توان آن‌ها را با وضوح مکانی ۳۰ تا ۲۵۰ متر مشاهده کرد.

کارشناسان توسعه کشاورزی با استفاده از این داده‌های زمان واقعی، می‌توانند به کشاورزان در دستیابی به محصولات کشاورزی قابل اتکاتر یاری رسانده و ابزار معیشت کشاورزان را بهبود بخشند. در شکل ۱ نمونه‌ای از تصاویر تولیدی در این سامانه نمایش داده شده است.



شکل ۱- تغییرات بهره‌وری آب به ازای تولید محصول

همان‌طور که قبلاً اشاره شد، سامانه WaPOR برای کمک به مسائل کشاورزی مناطق درگیر با مشکلات مدیریت منابع آب، مجموعه‌ای از اطلاعات در بخش‌های مرتبط با کشاورزی را در اختیار کاربران

قرار داده است. جدول ۱، فهرستی از نقشه‌های قابل دریافت از این سامانه به همراه شرح مختصری از آن‌ها مانند واحد، منطقه تحت پوشش و بازه زمانی اطلاعات موجود را ارائه می‌دهد. استفاده از اطلاعات این سامانه در کنار داده‌های زمینی می‌تواند کمک شایانی به حفظ پایداری منابع آب در حوضه‌های آبریز کند. اطلاعات قابل دریافت از این سامانه عبارت‌اند از: بهره‌وری آب و زمین، تبخیر و تعرق واقعی، زیست‌توده تولید شده در سطح زمین، نقشه پوشش زمین/طبقه‌بندی محصولات، تبخیر و تعرق مرجع و بارش.

جدول ۱- مشخصات اطلاعات خروجی از سامانه WaPOR (تارنمای سامانه WaPOR).

اطلاعات خروجی از سامانه WaPOR	واحد	منطقه تحت پوشش	رزولوشن زمانی	بازه زمانی
ارزیابی بهره‌وری آب	kgDM/m ³ /year	افریقا و خاورمیانه	سالانه	۲۰۱۰ به بعد
ارزیابی بهره‌وری زمین	kgDM/ha/year	افریقا و خاورمیانه	سالانه	۲۰۱۰ به بعد
تبخیر و تعرق واقعی	& mm/year mm/day	افریقا و خاورمیانه	سالانه و ده روزه	آوریل ۲۰۰۹ به بعد
تعرق	mm/year	افریقا و خاورمیانه	سالانه	۲۰۱۰ به بعد
زیست‌توده تولید شده در سطح زمین	kgDM/ha/year	افریقا و خاورمیانه	سالانه	۲۰۱۰ به بعد
کسر تعرق	٪ (درصد)	افریقا و خاورمیانه	ده روزه	آوریل ۲۰۰۹ به بعد
تبخیر و تعرق مرجع	mm/day	افریقا و خاورمیانه	روزانه	آوریل ۲۰۰۹ به بعد
بارش	mm/day	افریقا و خاورمیانه	روزانه	آوریل ۲۰۰۹ به بعد

۲-۱- مناطق تحت پوشش طرح

پروژه WaPOR در سه سطح متفاوت انجام شده است. در ادامه به تشریح این مناطق پرداخته می‌شود:

(۱) مناطقی که در سطح یک پوشش داده می‌شوند شامل افریقا و خاورمیانه (در مختصات -W۳۰،

40N، 65E، -40S) هستند.

(۲) مناطق پوشش داده شده در سطح دو، به دو بخش کشورها و حوضه‌های آبریز تقسیم می‌شوند:

کشورها شامل مراکش، تونس، مصر، لبنان، جمهوری عربی سوریه، اردن، غنا، کنیا، سودان جنوبی، مالی، بنین، اتیوپی، رواندا، بروندي، موزامبیک، اوگاندا، نوار غزه و یمن و حوضه رودخانه شامل اردن (Jordan) / لیتانی (Litani)، نیل (Nile)، اواش (Awash) و نیجر (Niger).

در این سطح، در حالی بهره‌وری آب و زمین ارزیابی خواهد شد که امکان تشخیص چندین محصول اصلی تحت کشت آبی یا دیم نیز وجود دارد. در محدوده اشاره شده، حسابداری آب از طریق فناوری سنجش از دور انجام شده که برای ارزیابی اثر افزایش میزان بهره‌وری آب استفاده می‌شود.

۳) در نهایت سطح سه شامل برنامه‌ریزی آبیاری در سطح زیر حوضه است که با پرواز هواپیما در قسمتی از مناطق اردن / حوضه رودخانه لیتانی، حوضه رود نیل، حوضه رودخانه اوآش و نیجر انجام می‌شود.

۲-۲-۲-اطلاعات خروجی از سامانه WaPOR

نوع فعالیت‌ها و اطلاعات تولیدی توسط این سامانه با توجه به هر یک از سطوح اشاره شده متفاوت است. در این بخش تفاوت‌های بین سه سطح مختلف مطالعات به شرح زیر اشاره می‌شود:

در سطح یک، بهره‌وری آب بر اساس زیست‌توده تولید شده به ازای هر مترمکعب مصرف آب بررسی شده و به تفکیک اراضی دیم و آبی ارائه می‌شود. همچنین بهره‌وری زمین از نظر تولید زیست‌توده در هر هکتار نیز بررسی و در واحدهای مکانی به صورت پیکسل در سطح کشور و حوضه نمایش داده می‌شود.

در سطح دوم از مطالعات، بهره‌وری آب و زمین برای مجموعه‌ای از کشورها و حوضه‌های منتخب با تشخیص چندین محصول اصلی تحت کشت آبی و دیم بررسی می‌شود. دقت مکانی پیکسل‌ها نسبت به سطح یک افزایش یافته و بهره‌وری زمین بر اساس عملکرد محصول (کیلوگرم بر هکتار) و بهره‌وری آب بر اساس میزان تولید بر حجم آب مصرفی (کیلوگرم بر مترمکعب) محاسبه می‌شود. آب مورد استفاده برای تولید محصولات کشاورزی بر پایه تبخیر و تعرق واقعی که از دو ترم تبخیر و تعرق نشات گرفته از بارش (آب سبز) و تبخیر و تعرق تدریجی از آبیاری (آب آبی) محاسبه شده، بیان می‌گردد.

در سطح سوم، از مطالعات بهره‌وری زمین و آب برای ارزیابی عملکرد و ارائه پیشنهاد برای بهبود سیستم‌های آبی استفاده می‌شود. در این سطح بهره‌وری آب و زمین همانند سطح دو محاسبه شده و بهره‌وری اقتصادی آب برای استفاده‌های متعدد از آب به لحاظ محاسبه ترم بازگشت اقتصادی به ازای مقدار آب آبیاری بررسی می‌شود. هدف از ارزیابی عملکرد در طرح‌های آبیاری، نوسازی سیستم‌های آبیاری منتخب می‌باشد. پس از نوسازی، یک طرح مصرف آب باید قابل اطمینان‌تر، مقرون به صرفه و سازگارتر به تنوع آب و هوایی باشد. در این سطح همچنین خدمات کم هزینه‌ای برای افزایش بازده اقتصادی به کشاورزان

پیشنهاد می‌شود. جدول پ ۱ مشخصات خلاصه محصولات این سامانه را نشان می‌دهد. سامانه WaPOR در حال به روزرسانی و تکمیل پایگاه داده خود بوده و جدول ۲ خلاصه‌ای از اهداف آن را نشان می‌دهد.

جدول ۲- برنامه زمان‌بندی توسعه سامانه WaPOR

سال	ماه	به روز رسانی داده‌ها	به روز رسانی سامانه
2017	April	Level 1 archive beta release (db_v0.1)	WaPOR beta release (v 0.1)
	May	Level 1 near real time	Near-real time data pipeline for Level 1
		Land Cover for Level 1 (in cooperation with EC Copernicus)	
	June	Methodology document online	Full catalogue of WaPOR APIs for Level 1
		Level 2 archive beta release	WaPOR portal v 0.2 (new features, bug-fixes)
	September	Level 2 near real time	WaPOR portal v 0.3 (including WP calculations over user-defined areas and time-periods)
	October	Level 3 first pilot area	Near-real time data pipeline for Level 2 and 3
November		Full APIs catalogue published on FAO API store	
2018	February	Database version 1.0 release	WaPOR 1.0

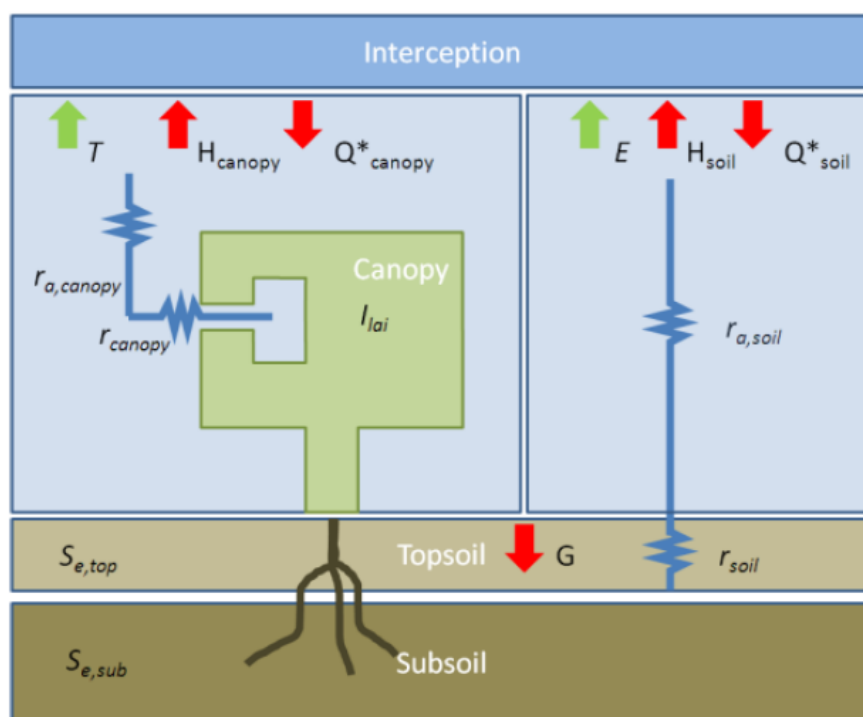
نکته قابل توجه در این بخش، استقرار کشور ایران در سطح یک طبقه‌بندی اشاره شده است و اطلاعات قابل دستیابی برای این منطقه شامل ارزیابی‌های تخصصی سطوح دوم و سوم نمی‌باشد و بهترین مقیاس مکانی در این سطح ۲۵۰ متر می‌باشد.

۲-۳- روش‌شناسی محاسبه تبخیر و تعرق واقعی

یکی از پارامترهای مهم در محاسبات مربوط به نقشه‌های سامانه WaPOR، تعیین تبخیر و تعرق واقعی می‌باشد. معمولاً این پارامتر به دلیل مشکلات موجود در اندازه‌گیری مستقیم، به طور غیرمستقیم و بر اساس داده‌های هواشناسی و تصاویر ماهواره‌ای برآورد می‌گردد. تبخیر و تعرق واقعی در سامانه WaPOR با استفاده از الگوریتم ETLook انجام می‌شود.

الگوریتم ETLook برای محاسبه بیلان انرژی سطح به جای دمای سطح، رطوبت خاک استخراج شده از سنسور مایکروویو غیرفعال را مورد استفاده قرار می‌دهد و به علت اینکه سیگنال داده‌های سنسور مایکروویو غیرفعال است، تحت تأثیر ابری بودن جو قرار نمی‌گیرد، لذا این الگوریتم توانایی محاسبه پارامتر تبخیر و

تعرق را در هر شرایط آب و هوایی دارد. همچنین این الگوریتم می‌تواند الگوی مکانی و زمانی (روزانه، ۸ روزه، ماهانه) تعادل انرژی موجود در سطح و تبخیر و تعرق واقعی را مورد ارزیابی قرار دهد. به‌طور کلی می‌توان گفت که الگوریتم ETLook یک مدل دو منبعی است که برای محاسبه تبخیر از رطوبت خاک استفاده می‌کند و همچنین با معرفی معیارهایی جدید جهت محاسبه مقدار رطوبت خاک، دیگر پارامترها تبخیر و تعرق را محاسبه می‌نماید. شکل ۲ ساختار الگوریتم ETLook را نشان می‌دهد. همین‌طور داده‌های دینامیک موردنیاز این روش در جدول ۳ و داده‌های ایستا نیز در جدول ۴ نشان داده شده است.



شکل ۲- ساختار شماتیک الگوریتم ETLook (WaterWatch, 2013)

جدول ۳- داده‌های دینامیک مورد نیاز در روش ET Look

داده‌های روزانه رطوبت خاک سنجنده AMSR-E
بارش روزانه
تابش و مقدار بیشینه و کمینه دمای هوا با استفاده از داده SILO
سرعت باد
داده‌های ۱۶ روزه شاخص نرمال شده پوشش گیاهی سنجنده MODIS
داده‌های ۸ روزه آلبدو سنجنده MODIS

جدول ۴- داده‌های ایستای مورد نیاز در روش ET Look

نقشه‌های مالکیت
نقشه نوع خاک و داشتن داده‌های مربوط به ویژگی‌های فیزیکی خاک
مدل رقومی ارتفاع

قدرت تفکیک مکانی داده‌های مربوط به رطوبت خاک پایین است (۲۵ کیلومتر). استفاده از روش‌های معمول جهت ریزمقیاس کردن باعث کاهش دقت در نتایج شده بنابراین باید با استفاده از روش‌های جدیدی که از پیچیدگی بیشتر ولی دقت بالاتری برخوردار بوده استفاده کرد که این امر خود نیازمند اطلاعاتی در مورد توپوگرافی و ویژگی‌های خاک می‌باشد.

محدودیت دیگر این روش، دستیابی به رابطه رطوبت خاک بین خاک سطحی و عمقی است، این الگوریتم باید در شرایط آب و هوایی و محیطی مختلف ارزیابی شود؛ به عبارت دیگر برخی از روابط موجود در این الگوریتم، برای منطقه‌ای که الگوریتم برای آن توسعه داده شده مورد ارزیابی واقع گردیده است.

۲-۴- روش‌شناسی استخراج لایه بارش

نقشه‌های بارش موجود در سامانه WaPOR مربوط به پایگاه CHIRPS^۵ است. مجموعه داده‌های ساخته شده توسط این پایگاه با استفاده از تکنیک‌های درون‌یابی هوشمند، با وضوح بالا و تخمین ثبت بارش مشاهداتی براساس مادون قرمز ابر سرد^۶ (CCD) است. اطلاعات تولیدی بین باندهای ۵۰ درجه شمالی و جنوبی و به صورت مجموعه نقشه بارش روزانه و ماهانه می‌باشد. محصولات بارش تولید شده ناشی از ترکیب استفاده موفق از باند مادون قرمز حرارتی (TIR) و محصولات بارش جهانی است و برای کالیبره کردن نتایج از محصول TMPA 3B42 v7^۷ استفاده می‌شود.

۳- مطالعات پیشین مرکز RSRC

پروژه‌های متنوعی در زمینه تخمین تغییرات زمانی و مکانی پارامترهای مهم از جمله تبخیر و تعرق واقعی، بارش، مصرف آب کشاورزی و بیلان آب حوضه در مرکز RSRC انجام شده است. در اختیار داشتن اطلاعات جامع و کافی از میزان منابع موجود، مصارف حوضه آبریز و بررسی تغییرات زمانی منابع و مصارف

^۵ Climate Hazards group Infrared Precipitation with Stations

^۶ Cold Cloud Duration

^۷ Tropical Rainfall Measuring Mission Multi-satellite Precipitation Analysis version 7

کمک شایانی به اتخاذ تصمیمات صحیح مدیریتی می‌نماید. تخمین این متغیرها به جهت ماهیت پیچیده‌شان اغلب با دشواری‌هایی همراه می‌باشد. در مطالعات مختلف سه پارامتر تبخیر و تعرق واقعی، بارش و مصرف با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های زمینی محاسبه می‌شود. در ادامه روش تخمین پارامترهای یاد شده که در مطالعات مرکز RSRC نیز مورد استفاده قرار گرفته است، اشاره می‌شود.

۳-۱- روش‌شناسی محاسبه تبخیر و تعرق واقعی

در محاسبات تبخیر و تعرق واقعی در مرکز RSRC از الگوریتم SEBAL اصلاح شده و تصاویر سنجنده MODIS بهره گرفته شده است. الگوریتم SEBAL با به کارگیری تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های هواشناسی جهت تخمین بیلان انرژی در سطح (رابطه ۱) استفاده می‌شود، که ابتدا شار گرمای تبخیر برای هر پیکسل تصویر را به صورت لحظه‌ای (برای زمان دریافت تصویر) محاسبه و سپس برای گام‌های زمانی روزانه و ماهانه تعمیم می‌دهد (Allen et al. 2002).

$$\lambda ET = R_n - G - H \quad (1)$$

در این رابطه λET شار گرمای نهان تبخیر و تعرق ($W.m^{-2}$)، R_n شار تشعشع خالص در سطح زمین ($W.m^{-2}$)، G شار گرمایی زمین ($W.m^{-2}$) و H شار گرمای محسوس به سمت جو ($W.m^{-2}$) می‌باشند.

۳-۲- روش‌شناسی استخراج لایه بارش

در مطالعات مرکز RSRC جهت درون‌یابی داده‌های زمینی به منظور محاسبه لایه‌های بارش از روش‌های Kriging و Cokriging استفاده شده است. به منظور بهبود در نتایج درون‌یابی در یکی از پروژه‌های مرکز RSRC در حوضه آبریز دریاچه ارومیه، از لایه DEM به عنوان داده ثانویه نیز استفاده شده است. به علت پراکندگی نامناسب ایستگاه‌های زمینی و تجمع آن‌ها در مناطق کوهپایه‌ای و دامنه‌ها از اطلاعات ماهواره TRMM نیز جهت درون‌یابی اطلاعات بارش استفاده و از این پایگاه داده به منظور داده کمکی ثانویه در روش Cokriging بهره گرفته شده است (مرکز RSRC، ۱۳۹۵).

۳-۳- محاسبه میزان مصرف و آب قابل صرفه‌جویی در اراضی کشاورزی

میزان آب مصرفی توسط بخش کشاورزی در واقع عمق آب آبیاری است که میزان بارش و رطوبت خاک ذخیره شده را شامل نمی‌شود و جهت تولید محصول مورد نیاز می‌باشد. برای محاسبه آب آبیاری مصرف

شده (U) در مطالعات مرکز RSRC، با کسر میزان تبخیر و تعرق واقعی محصول (ET_c^a) از مقدار آب در دسترس محصول که از طریق بارش طبیعی (fe^b) بارش مؤثر) در اختیار گیاه قرار می‌گیرد، بدست می‌آید (U.S. Department of Agriculture, 1970):

$$U = ET_c - fe \quad (2)$$

جهت تخمین حجم آب آبیاری مصرفی در اراضی کشاورزی، لازم است سطح زیر کشت اراضی کشاورزی در مقدار U (ارتفاع آب آبیاری مصرف شده برحسب میلی‌متر) ضرب گردد.

در یکی از پروژه‌های مرکز RSRC برای محاسبه میزان آب قابل صرفه‌جویی در سال ۲۰۱۰ میلادی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه، اطلاعات سطح زیر کشت هر یک از محصولات براساس آمارهای وزارت جهاد کشاورزی به صورت منطقه‌ای گردآوری شد. همچنین، جهت تخمین نیاز آبی گیاه، از اطلاعات نرم‌افزار NETWAT استفاده گردید. بدین صورت با توجه به سطح زیر کشت هر محصول و نیاز آبی آن میزان مصرف مورد نیاز گیاه و میزان مجموع مصرف در هر منطقه تعیین می‌شود.

میزان مصارف حوضه آبریز ارومیه نیز با استفاده از نقشه‌های تبخیر و تعرق واقعی در سطح حوضه برآورد و با در نظر گرفتن دشت‌هایی که عمده مصرف کشاورزی حوضه آبریز ارومیه را دارا هستند، میزان حجم آب مصرف شده در طول سال و برای هر کدام از این مناطق مورد محاسبه قرار گرفت.

بخشی از نیاز آبی گیاه توسط بارش باران تأمین می‌شود. در نتیجه، قبل از تعیین میزان آبیاری مورد نیاز گیاه، رطوبت حاصل از بارش باران در محیط خاک ریشه گیاه محاسبه می‌شود. پس از حذف رواناب و نفوذ آب به آب زیرزمینی، آن بخش از بارش باران که در خاک ذخیره می‌شود و در دسترس گیاه قرار می‌گیرد، بارش مؤثر نامیده می‌شود.

با محاسبه میزان بارش مؤثر در طول دوره رشد گیاهان، حجمی از نیاز آبی گیاهان را که توسط بارش مؤثر تأمین شده است، مورد محاسبه قرار گرفت. به عبارت دیگر، در گام اول با محاسبه حجم بارش مؤثر و کم کردن آن از حجم نیاز آبی گیاه، حجم آبیاری مورد نیاز گیاهان برآورد گردید. همچنین، با کاستن حجم بارش مؤثر از حجم آب مصرف شده، حجم آبیاری اعمال شده نیز مورد محاسبه قرار می‌گیرد. در نهایت، با در اختیار داشتن حجم آبیاری مورد نیاز و حجم آبیاری اعمال شده، میزان حجم آب قابل صرفه‌جویی برای هر یک از این مناطق، مورد تخمین قرار گرفت (مرکز RSRC، ۱۳۹۴).

^a Crop Evapotranspiration

^b Effective Rainfall

۴- مقایسه محصولات سامانه WaPOR و مطالعات مرکز RSRC

۴-۱- مقایسه قدرت تفکیک زمانی و مکانی محصولات سامانه WaPOR و مطالعه مرکز RSRC
تفکیک زمانی و مکانی سامانه WaPOR و خروجی مطالعات مرکز RSRC در جدول ۵ ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، خروجی‌های سامانه WaPOR از نظر مقیاس زمانی و مکانی دقت بیشتری نسبت به مرکز RSRC دارد.

جدول ۵- مقایسه اطلاعات خروجی از سامانه WaPOR و مرکز RSRC

مرکز RSRC	WaPOR (FAO)	
ماهانه (۲۰۱۰) (۱ Km)	سالانه و ۱۰ روزه (۲۵۰ m)	ارزیابی بهره‌وری آب
----	سالانه و ۱۰ روزه (۲۵۰ m)	ارزیابی بهره‌وری زمین
ماهانه (۱۹۹۵، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۴) (۱ Km)	سالانه و ۱۰ روزه (۲۵۰ m)	تبخیر و تعرق واقعی
ماهانه (۱۹۹۵، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۴) (۳۰ m)	فصلی (۲۵۰ m)	پوشش زمین / طبقه‌بندی محصولات
روزانه و ماهانه (۱۹۹۵، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۴)	روزانه (۲۰ Km)	تبخیر و تعرق مرجع
ماهانه (۱۹۹۵، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۴)	روزانه (۵ Km)	بارش

ارقام مربوط به تفکیک مکانی ارائه شده در جدول ۵ مربوط به نقشه‌های تبخیر و تعرق تولید شده در گزارش‌های قبلی مرکز RSRC است. با توجه به قدرت تفکیک مکانی باندهای سنجنده MODIS، امکان بهبود دقت مکانی نقشه‌های تبخیر و تعرق واقعی مرکز RSRC تا ۲۵۰ متر وجود دارد و این در حالی است که با اصلاح الگوریتم سبال با استفاده از ماهواره Landsat 8 امکان تولید نقشه تبخیر و تعرق تا ۳۰ متر نیز مهیا می‌شود.

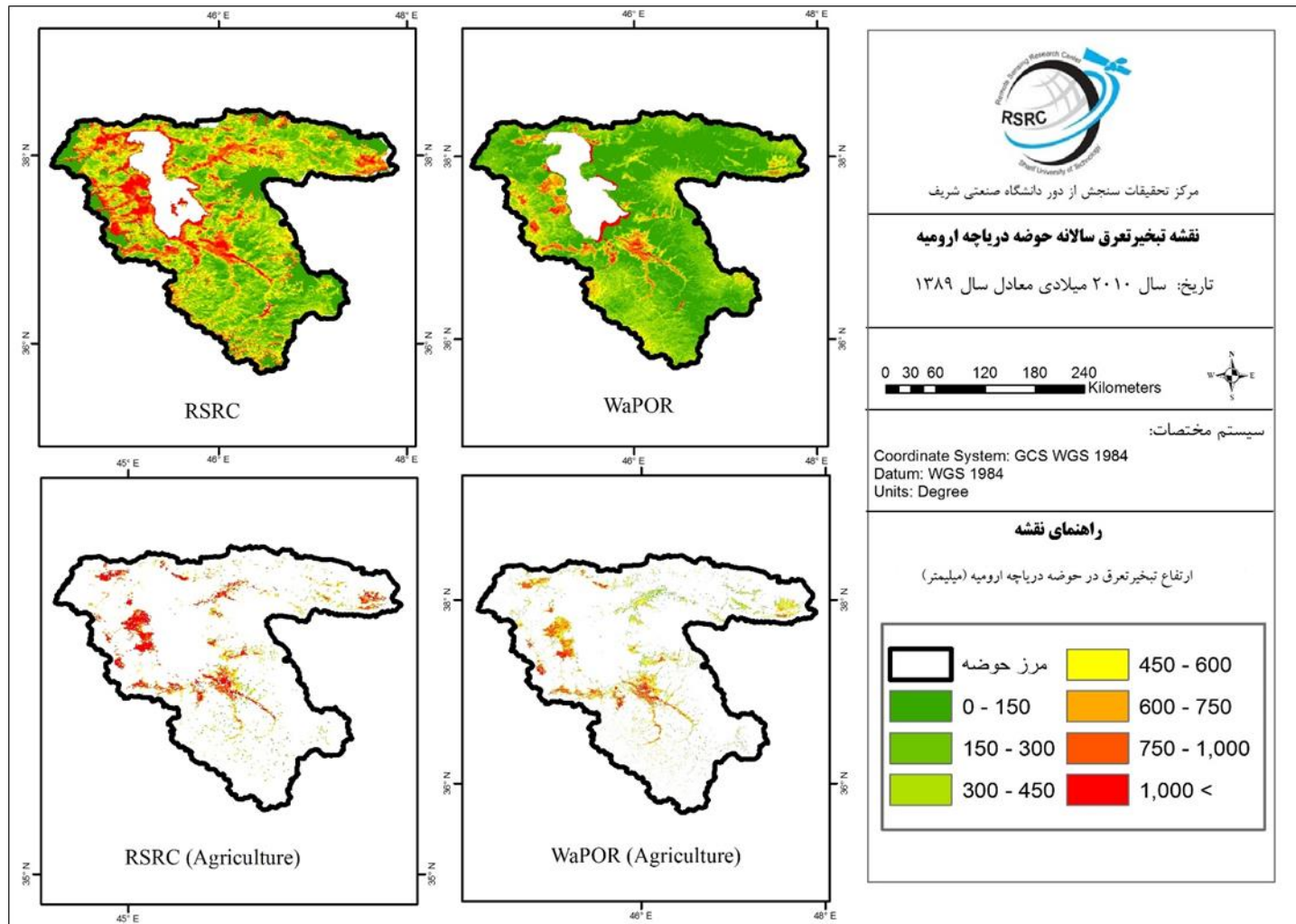
۴-۲- مقایسه تبخیر و تعرق محاسبه شده در سامانه WaPOR و مطالعات مرکز RSRC

با توجه به اینکه در مطالعات پیشین توسط مرکز RSRC در سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۴ میزان تبخیر و تعرق در سطح حوضه آبریز دریاچه ارومیه برآورد شده، تبخیر و تعرق محاسبه شده توسط سامانه WaPOR در دو سال یاد شده با مطالعات مرکز RSRC مقایسه شده‌اند. نقشه‌های میزان تبخیر و تعرق در سطح حوضه دریاچه ارومیه و همچنین مناطق با تفکیک کاربری کشاورزی با توجه به سامانه WaPOR و مطالعات مرکز RSRC برای سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۴ به ترتیب در شکل‌های ۳ و ۴ نشان داده شده‌اند.

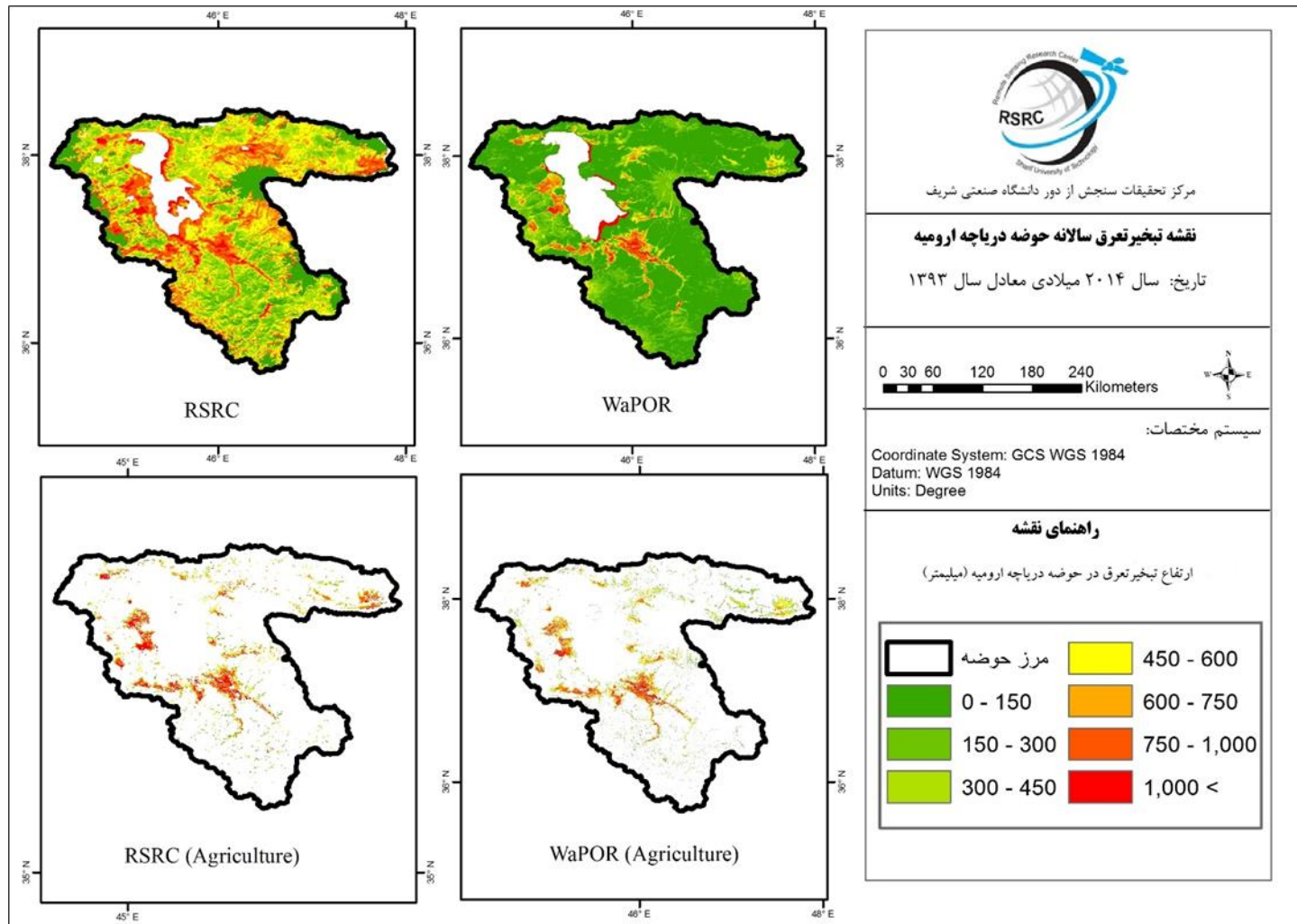
شکل‌های ۳ و ۴ نشان می‌دهند که عموماً تبخیر و تعرق در محاسبات مربوط به مرکز RSRC مقادیر بیشتری را به خود اختصاص داده و در برخی مناطق این اختلاف قابل توجه می‌باشد.

برای مشاهده اختلاف مکانی نقشه‌های محاسبه شده توسط WaPOR و مرکز RSRC، نقشه تفاضل مکانی تبخیر و تعرق در سطح حوضه آبریز دریاچه ارومیه و همچنین به تفکیک کاربری‌های کشاورزی و مرتع در سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۴ به ترتیب در شکل‌های ۵ و ۶ آورده شده است. با توجه به شکل‌های ارائه شده، نقاط بیشینه در نقشه‌های اختلاف تبخیر و تعرق مرکز RSRC و سامانه WaPOR مناطقی می‌باشند که در نقشه کاربری اراضی حوضه آبریز دریاچه ارومیه، به عنوان مراتع معرفی گردیده‌اند. همان‌طور که در شکل‌های ۵ و ۶ نشان داده شده است، نقاطی از اراضی حوضه آبریز دریاچه ارومیه که دارای اختلاف بالاتری در نرخ تبخیر و تعرق واقعی بوده‌اند (که در شکل با رنگ قرمز پررنگ نشان داده شده است) کاملاً منطبق با توزیع مکانی مراتع مشخص شده‌اند.

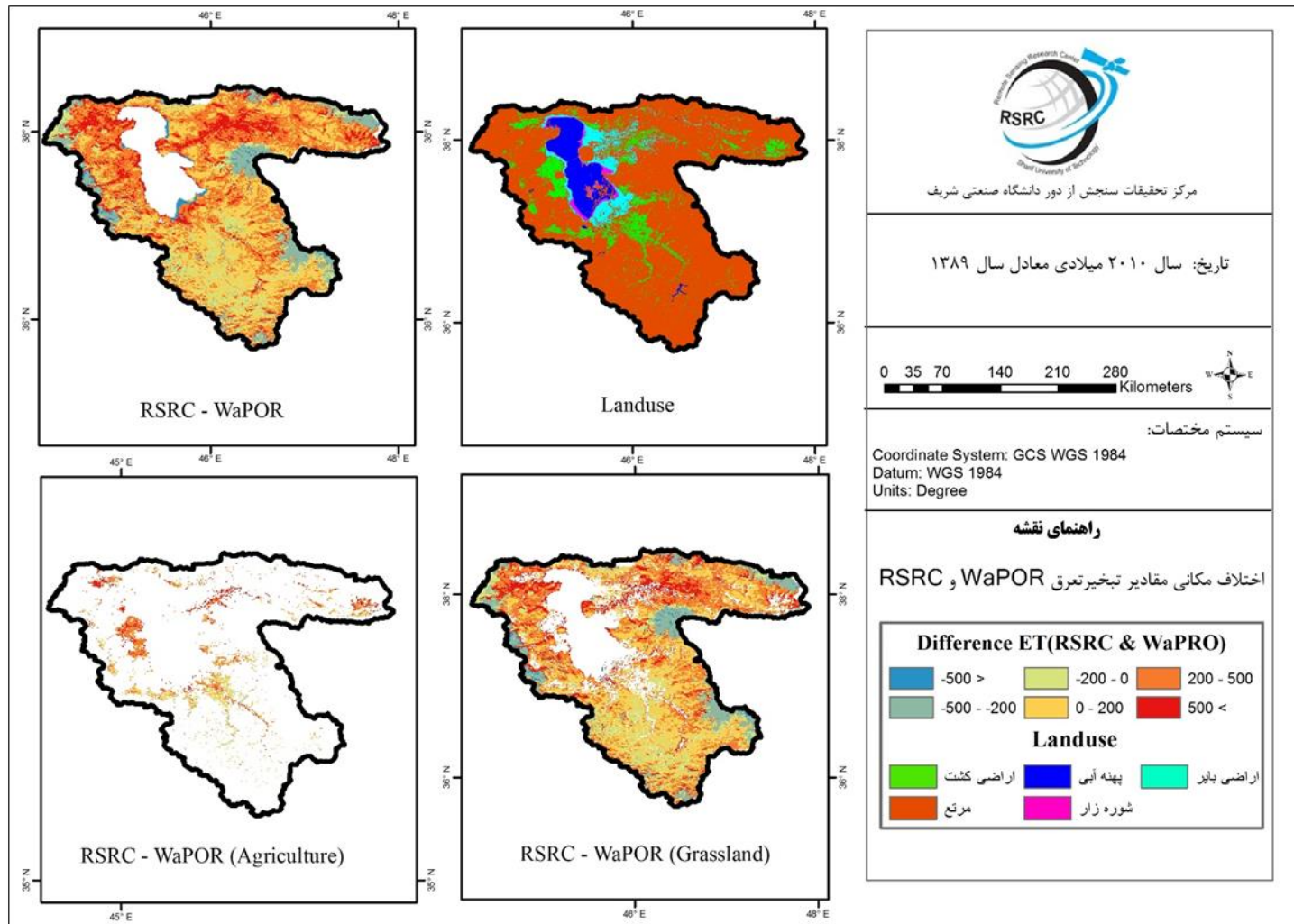
در بررسی مکانی نیز مشخص شد متوسط اختلاف مکانی تبخیر و تعرق خروجی از محاسبات مرکز RSRC و سامانه WaPOR در شرق دریاچه بیشترین مقدار را نسبت به سایر مناطق دارد و کمترین میزان اختلاف در دشت‌ها نیز در جنوب دریاچه رخ داده است.



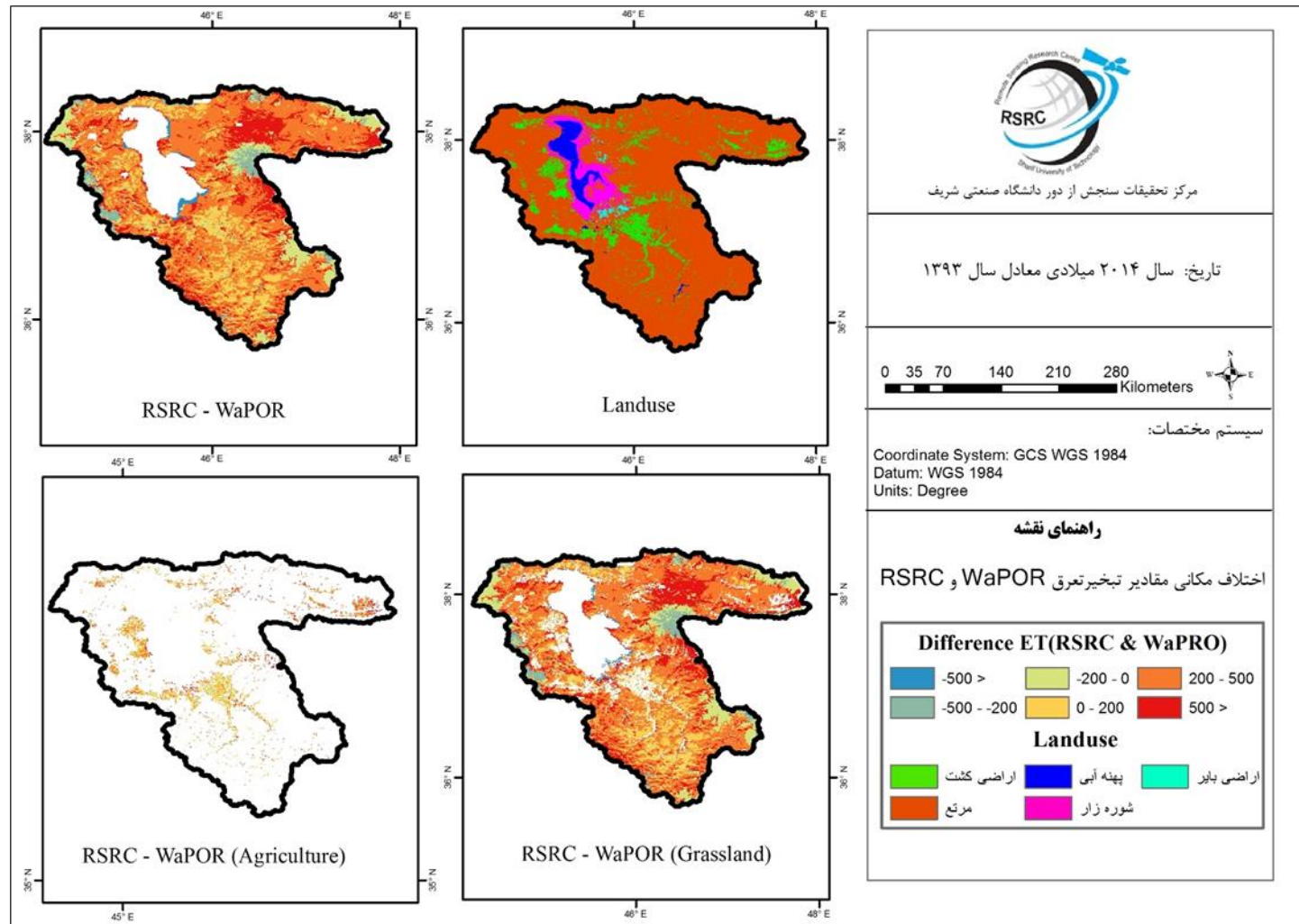
شکل ۳- نقشه برآورد تبخیر و تعرق توسط سامانه WaPOR و مرکز RSRC (سال ۲۰۱۰)



شکل ۴- نقشه برآورد تبخیر و تعرق توسط سامانه WaPOR و مرکز RSRC (سال ۲۰۱۴)



شکل ۵- اختلاف مکانی محصولات تبخیر و تعرق سامانه WaPOR و مرکز RSRC در حوضه دریاچه ارومیه (۲۰۱۰)



شکل ۶- اختلاف مکانی محصولات تبخیر و تعرق سامانه WaPOR و مرکز RSRC در حوضه دریاچه ارومیه (۲۰۱۴)

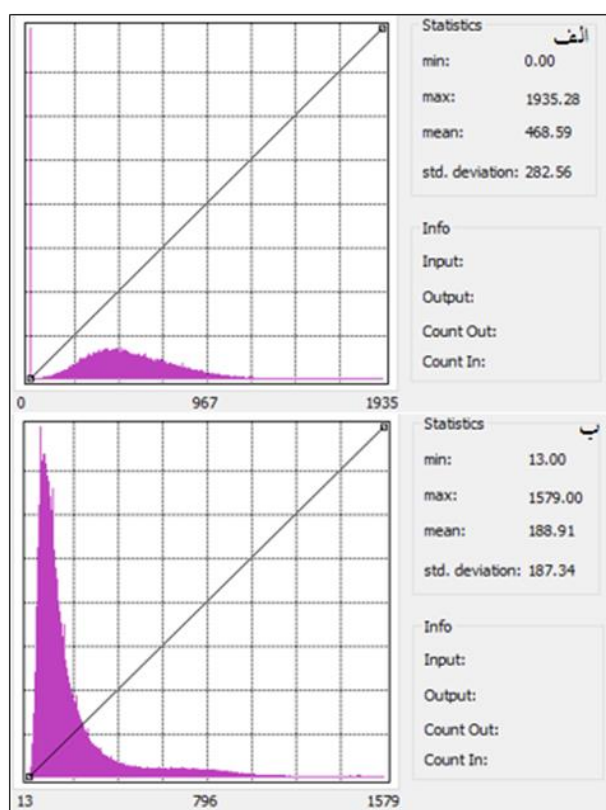
با توجه به اینکه ترازهای ارتفاعی مختلف می‌تواند عاملی برای اختلاف در محاسبه تبخیر و تعرق به شمار آید، میانگین اختلاف محاسبه تبخیر و تعرق در سامانه WaPOR و محاسبات مرکز RSRC در ترازهای مختلف در سطح حوضه به ترتیب برای سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۴ ارائه شده است. با توجه به جدول ۶ می‌توان نتیجه گرفت که در ارتفاعات بالاتر از ۲۲۰۰ متر مقادیر مرکز RSRC کمتر از سامانه WaPRO است، زیرا توسط اصلاح محلی، نتایج خروجی تبخیر و تعرق مرکز RSRC در ارتفاع بالاتر از ۲۲۰۰ متر صفر شده که این امر با توجه با مناطق ارتفاعی حوضه در مرکز RSRC تعیین شده است. مقادیر سامانه WaPOR در مناطق کم ارتفاع حوضه با کاربری مرتع کمتر از مقادیر محاسباتی توسط مرکز RSRC است و با توجه به جدول ۶ معمولاً این اختلاف با حرکت به سمت ارتفاع ۲۰۰۰ متر افزایش می‌یابد.

جدول ۶- متوسط اختلاف مکانی تبخیر و تعرق سالانه (بر حسب میلی‌متر) در محدوده‌های ارتفاعی بین نتایج مرکز RSRC و

سامانه WaPOR

محدوده‌های ارتفاعی	متوسط اختلاف مکانی تبخیر و تعرق بین مرکز RSRC و سامانه WaPOR در سال ۲۰۱۰	متوسط اختلاف مکانی تبخیر و تعرق بین مرکز RSRC و سامانه WaPOR در سال ۲۰۱۴
۱۲۳۵-۱۴۰۰	۲۷۱/۲	۲۶۸/۷
۱۴۰۰-۱۶۰۰	۲۰۷	۳۱۲/۷
۱۶۰۰-۱۸۰۰	۲۰۲/۲	۳۵۶/۱
۱۸۰۰-۲۰۰۰	۲۳۹/۴	۴۰۹/۹
۲۰۰۰-۲۲۰۰	۲۰۹	۳۵۵/۵
۲۲۰۰-۲۴۰۰	-۱۹۵/۹	-۷۸/۴
۲۴۰۰-۲۸۰۰	-۳۰۰/۴	-۱۷۸/۸
۲۸۰۰-۳۷۸۹	-۳۲۱/۸	-۱۹۵/۳

برای بررسی ارزش پیکسل‌ها در دو نقشه، نمودار هیستوگرام آن‌ها همانند شکل ۷ برای سال ۲۰۱۴ به دست آمد. میانگین ارتفاع تبخیر و تعرق در نمودار مربوط به هیستوگرام مرکز RSRC (شکل ۷-الف) در حدود ۴۶۸/۶ میلی‌متر به دست آمده که این مقدار برای سامانه WaPOR (شکل ۷-ب) حدود ۱۸۸/۹ میلی‌متر ثبت شده است. این تفاوت به طور عمده اختلاف قابل توجه مقادیر خروجی مرکز RSRC با سامانه WaPOR را نشان می‌دهد. بیش‌ترین مقادیر رخداد ثبت شده برای نرخ تبخیر و تعرق در هیستوگرام مرکز RSRC تقریباً در حدود ۱۹۳۵ میلی‌متر و در سامانه WaPOR نیز در محدوده ۱۵۸۰ میلی‌متر بوده است.

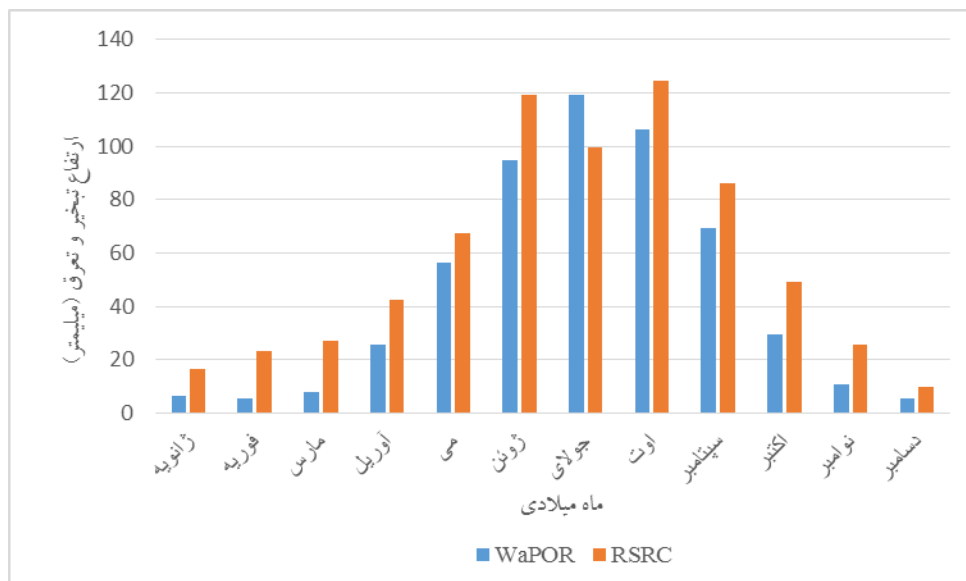


شکل ۷- بررسی هیستوگرام برای نقشه‌های تبخیر و تعرق در سال ۲۰۱۴ میلادی - الف- هیستوگرام مربوط به مرکز RSRC - ب- هیستوگرام مربوط به سامانه WaPOR

۳-۴- تحلیل زمانی و مکانی تبخیر و تعرق

در پژوهش صورت گرفته نرخ تبخیر و تعرق واقعی حوضه دریاچه ارومیه طی ماه‌های مختلف در سال ۲۰۱۴ میلادی با استفاده از الگوریتم بیلان انرژی SEBAL و سامانه WaPOR در شکل ۸ آورده شده است. در گام بعد با استفاده از نقشه‌های مرکز RSRC و سامانه WaPOR برای ماه‌های مختلف، وضعیت تبخیر و تعرق واقعی در زیرحوضه‌های مهم حوضه دریاچه ارومیه مقایسه و بررسی می‌شود.

برای بررسی بهتر تغییرات در سامانه WaPOR و مرکز RSRC به صورت مکانی، نقشه میزان تبخیر و تعرق در ماه‌های سال ۲۰۱۴ میلادی تهیه شد. برای بدست آوردن میزان اختلاف، چهار زیرحوضه مهم به عنوان واحدهای مکانی انتخاب شدند. برای این منظور نقشه‌های تبخیر و تعرق با توجه به موقعیت زیرحوضه‌ها بریده می‌شود و پس از میانگین‌گیری در جدول ۷ آورده شده است.



شکل ۸- متوسط مقادیر تبخیر و تعرق در حوض آبریز دریاچه ارومیه (۲۰۱۴ میلادی)

برای ارزیابی نرخ تغییرات سامانه WaPOR و مطالعه مرکز RSRC در ماه‌های مختلف، میانگین تبخیر و تعرق محاسبه شده در محدوده‌ی زیرحوضه‌های میاندوآب، سراب، ارومیه و نقده و اشنویه مورد بررسی قرار گرفت و در جدول ۷ نشان داده شده است. بر اساس این جدول، میزان تبخیر و تعرق در ماه‌های مختلف در سامانه WaPOR در واحدهای مکانی مختلف روند افزایشی و کاهشی تقریباً مشابهی دارند.

اراضی کشاورزی زیرحوضه میاندوآب و ارومیه نسبت به اراضی کشاورزی زیرحوضه‌های سراب و نقده و اشنویه در تمامی ماه‌ها میزان تبخیر و تعرق بیشتری دارند و اراضی کشاورزی زیرحوضه ارومیه با ۷۱۷ میلی‌متر در مقابل ۷۰۲ میلی‌متر اراضی کشت میاندوآب مقدار تبخیر و تعرق بالاتری دارد. در کنار اختلاف ناچیز بین مقادیر تبخیر و تعرق این دو زیرحوضه، نسبت تبخیر و تعرق در ماه‌های مختلف به مقدار سالانه در این دو زیرحوضه تقریباً یکسان است و با حرکت به سمت فصل کشت افزایش می‌یابد تا به بیشترین مقدار در ماه جولای برسد. زیرحوضه سراب نیز با ارتفاع تبخیر و تعرق ۴۱۳ میلی‌متر کمترین تبخیر و تعرق را در بین این چهار زیرحوضه دارد. در حالی که بر اساس خروجی مطالعه مرکز RSRC مجموع ارتفاع تبخیر و تعرق ماهانه برای اراضی کشاورزی زیرحوضه‌های میاندوآب، نقده و اشنویه، ارومیه و سراب به ترتیب برابر با ۷۷۷، ۷۵۴، ۷۳۱ و ۵۱۹ میلی‌متر است که الگوی متفاوتی نسبت به نتایج سامانه WaPOR دارد.

بررسی در مقدار اختلاف بین مقادیر ماهانه تبخیر و تعرق سامانه WaPOR و مرکز RSRC نشان می‌دهد کمترین مقدار اختلاف در دشت میاندوآب و بیشترین میزان اختلاف در زیرحوضه سراب رخ داده است و تنها در منطقه ارومیه مقادیر تبخیر و تعرق سامانه WaPOR به طور متوسط بیشتر از خروجی مرکز RSRC

است و در سه زیرحوضه دیگر، به طور معمول در تمامی ماه‌ها مرکز RSRC مقادیر بیشتری برآورد داشته است.

جدول ۷- متوسط تبخیر و تعرق اراضی کشاورزی به تفکیک زیرحوضه‌های مهم حوضه دریاچه ارومیه (میلی‌متر)

نقده و اشنویه		سراب		ارومیه		میاندوآب		
RSRC	WaPOR	RSRC	WaPOR	RSRC	WaPOR	RSRC	WaPOR	
۱۸/۷	۶/۴	۳۱/۶	۶/۳	۶/۴	۷/۵	۸/۷	۶/۵	ژانویه
۱۲/۹	۴/۹	۲۴/۸	۶/۴	۶/۲	۵/۹	۲۰/۶	۴/۴	فوریه
۳۲	۵/۷	۱۷/۱	۳/۶	۲۹/۳	۶/۵	۳۵/۴	۱۱	مارس
۴۵/۸	۲۰/۲	۴۷/۸	۹/۶	۴۰/۶	۲۹/۷	۳۶/۸	۳۷/۷	آوریل
۸۱/۳	۶۱/۱	۸۱/۴	۴۰/۵	۹۱/۳	۷۰/۴	۷۱/۹	۷۱/۶	می
۱۳۲/۴	۱۱۴/۲	۱۵۹/۳	۹۰	۱۰۶/۹	۱۲۴/۳	۱۳۴/۷	۱۲۱/۹	ژوئن
۱۲۰/۱	۱۵۱/۴	۱۱۹/۹	۱۰۳/۹	۱۱۷	۱۵۶/۷	۱۰۹/۲	۱۵۱/۱	جولای
۱۴۸/۹	۱۳۳/۴	۱۱۳/۹	۸۳/۹	۵۴/۹	۱۴۵/۵	۱۴۶/۹	۱۴۲/۸	اوت
۸۵/۳	۸۱/۱	۷۵/۳	۴۵/۲	۳۸/۴	۱۰۳/۹	۱۱۱/۱	۹۹/۷	سپتامبر
۴۶/۲	۳۱/۴	۳۵/۴	۱۷/۱	۱۴/۶	۴۴	۵۷/۵	۳۹/۱	اکتبر
۲۳/۶	۱۴/۴	۲۲/۷	۵/۴	۱۲/۳	۱۴/۸	۲۸/۸	۱۱	نوامبر
۶/۵	۸/۱	۲/۳	۱/۵	۱	۷/۹	۱۵/۷	۵/۱	دسامبر

۴-۴- مقایسه مقادیر محاسباتی سنجنده‌ها با سامانه WaPOR

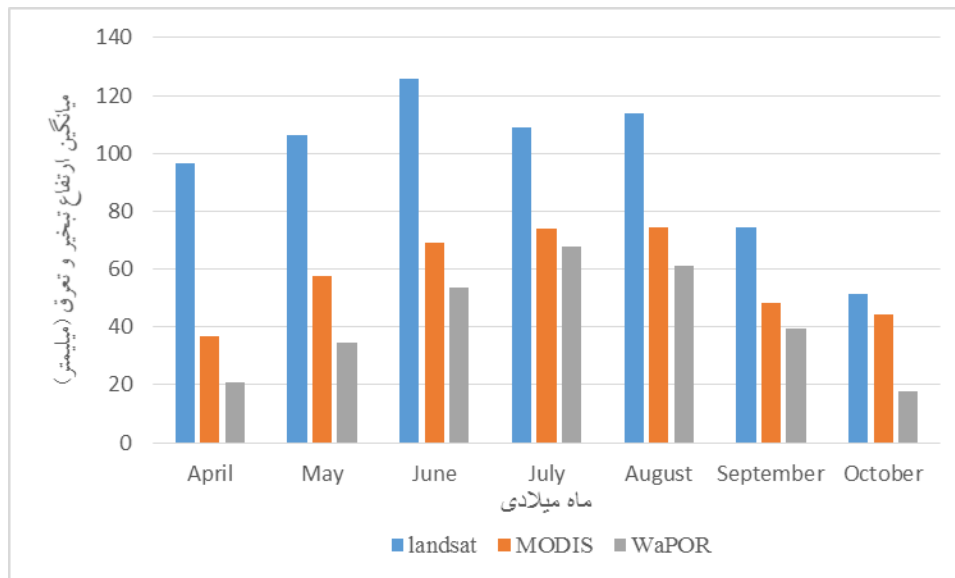
به منظور مقایسه ماهانه اطلاعات خروجی از سنجنده‌های مختلف، نتایج محاسبه تبخیر و تعرق ماهانه مربوط به تصاویر Landsat8-OLI و Terra-MODIS در جدول ۸ خلاصه شده است. بررسی ماهانه نتایج خروجی تبخیر و تعرق واقعی توسط سامانه WaPOR و مرکز RSRC در ماه‌های میلادی آوریل، می، ژوئن، ژوئیه، اوت، سپتامبر و اکتبر از سال ۲۰۱۴ میلادی ارائه شده است. محاسبات مرکز RSRC بر پایه تصاویر Terra-MODIS و Landsat8-OLI در داخل حوضه میاندوآب و برای اراضی کشت آبی و باغی و همچنین اراضی بایر اطراف محاسبه شده و نقشه‌های خروجی سامانه WaPOR براساس الگوریتم ETLook محاسبه شده است که در این بخش به مقایسه نتایج حاصل از آن پرداخته خواهد شد (شکل ۹).

برای بررسی نرخ تغییرات در ماه‌های مختلف، میانگین تبخیر و تعرق محاسبه شده در محدوده مورد بررسی، در جدول ۸ نشان داده شده است. بر اساس این جدول، میزان تبخیر و تعرق در ماه‌های مختلف روند

افزایشی و کاهش‌ی تقریباً مشابهی دارند. تنها تفاوت در روند تغییرات تبخیر و تعرق محاسبه شده توسط ماهواره لندست و سامانه WaPOR در فاصله ماه‌های ژوئن و ژوئیه رخ داده و در مقایسه سنجنده MODIS و سامانه WaPOR تفاوت در ماه‌های ژوئیه و اوت مشاهده می‌شود.

جدول ۸- میزان تبخیر و تعرق میانگین (بر حسب میلی‌متر) در حوضه دشت میاندوآب و همچنین اختلاف میان دو سنجنده لندست و مادیس با سامانه WaPOR (سال ۲۰۱۱۴ میلادی)

ماه میلادی	لندست	مادیس	سامانه WaPOR
آوریل	۹۶/۵	۳۶/۷	۲۰/۷
می	۱۰۶/۴	۵۷/۵	۳۴/۵
ژوئن	۱۲۶	۶۹	۵۳/۵
ژوئیه	۱۰۹	۷۴	۶۷/۸
اوت	۱۱۴	۷۴/۶	۶۱/۳
سپتامبر	۷۴/۴	۴۸/۱	۳۹/۲
اکتبر	۵۱/۶	۴۴/۱	۱۷/۸



شکل ۹- نمودار میانگین ارتفاع تبخیر و تعرق در دشت میاندوآب (Landsat، MODIS و سامانه WaPOR)

همان‌طور که قبلاً اشاره شد، مقادیر محاسباتی توسط مطالعه مرکز RSRC بیشتر از مقادیر سامانه WaPOR و مقادیر محاسبه شده توسط ماهواره لندست بیشتر از مقدار محاسبه شده توسط سنجنده MODIS می‌باشد. بیشترین مقدار اختلاف تبخیر و تعرق بین نقشه‌های خروجی از ماهواره لندست و سامانه WaPOR وجود دارد، که مربوط به ماه آوریل است و مقادیر آن‌ها به ترتیب حدود ۹۶/۵ و ۲۰/۷ میلی‌متر در ماه است.

نکته قابل توجه دیگر این است که با حرکت به سمت ماه اکتبر، میزان اختلاف بین مقادیر محاسباتی مرکز RSRC و سامانه WaPOR عموماً کاهش پیدا کرده است. یک دلیل محتمل برای این موضوع کاهش میزان تبخیر و تعرق ماهانه در فصول سردتر است.

۴-۵- مقایسه مقادیر برآورد شده با داده‌های زمینی

در زمان تنظیم گزارش برآورد تبخیر و تعرق، مصارف و میزان آب قابل صرفه‌جویی محدوده‌های کشاورزی حوضه آبریز دریاچه ارومیه در سال ۲۰۱۰ میلادی، تنها داده‌های ۱۶ روز از ماه‌های آوریل، می، ژوئن و جولای ایستگاه مزرعه تحقیقاتی دانشگاه تبریز موجود بوده است. با توجه به روزها و ماه‌های مورد مطالعه، تنها داده‌های چهار تاریخ یعنی بیست و هفتم ماه می، سوم ماه ژوئن، نهم ماه جولای و سی‌ام ماه جولای قابل مقایسه می‌باشد. نتایج داده‌های اندازه‌گیری شده در ایستگاه لایسیمتری، داده‌های محاسبه شده در نقشه‌های تولیدی به روش الگوریتم SEBAL اصلاح شده و اطلاعات خروجی از نقشه‌های تبخیر و تعرق سامانه WaPOR در جدول ۹ نشان داده شده است. مقایسه نتایج نشان می‌دهد که مقادیر لایسیمتر با مقادیر محاسبه شده توسط مطالعات مرکز RSRC مشابهات قابل قبولی دارد، درحالی که اختلاف قابل توجهی گاهی بیش از ۹۰ درصد (در ۲۷ می) با نتایج سامانه WaPOR دارد.

جدول ۹- مقایسه مقادیر ثبت شده ارتفاع تبخیر و تعرق واقعی در ایستگاه لایسیمتر تبریز و مقادیر تخمین زده شده توسط

الگوریتم SEBAL اصلاح شده (برحسب میلی‌متر)

ارتفاع تبخیر و تعرق بر اساس سامانه WaPOR	ارتفاع تبخیر و تعرق توسط الگوریتم SEBAL	ارتفاع تبخیر و تعرق از لایسیمتر تحقیقاتی	تاریخ (۲۰۱۰ میلادی)
۰/۴	۴/۷	۵/۰	۲۷ می (۶ خرداد)
۱/۳	۳/۸	۴/۱	۳ ژوئن (۱۳ خرداد)
۱/۹	۸/۱	۱۰/۵	۹ جولای (۱۸ تیر)
۱/۵	۳/۱	۲/۲	۳۰ جولای (۸ مرداد)

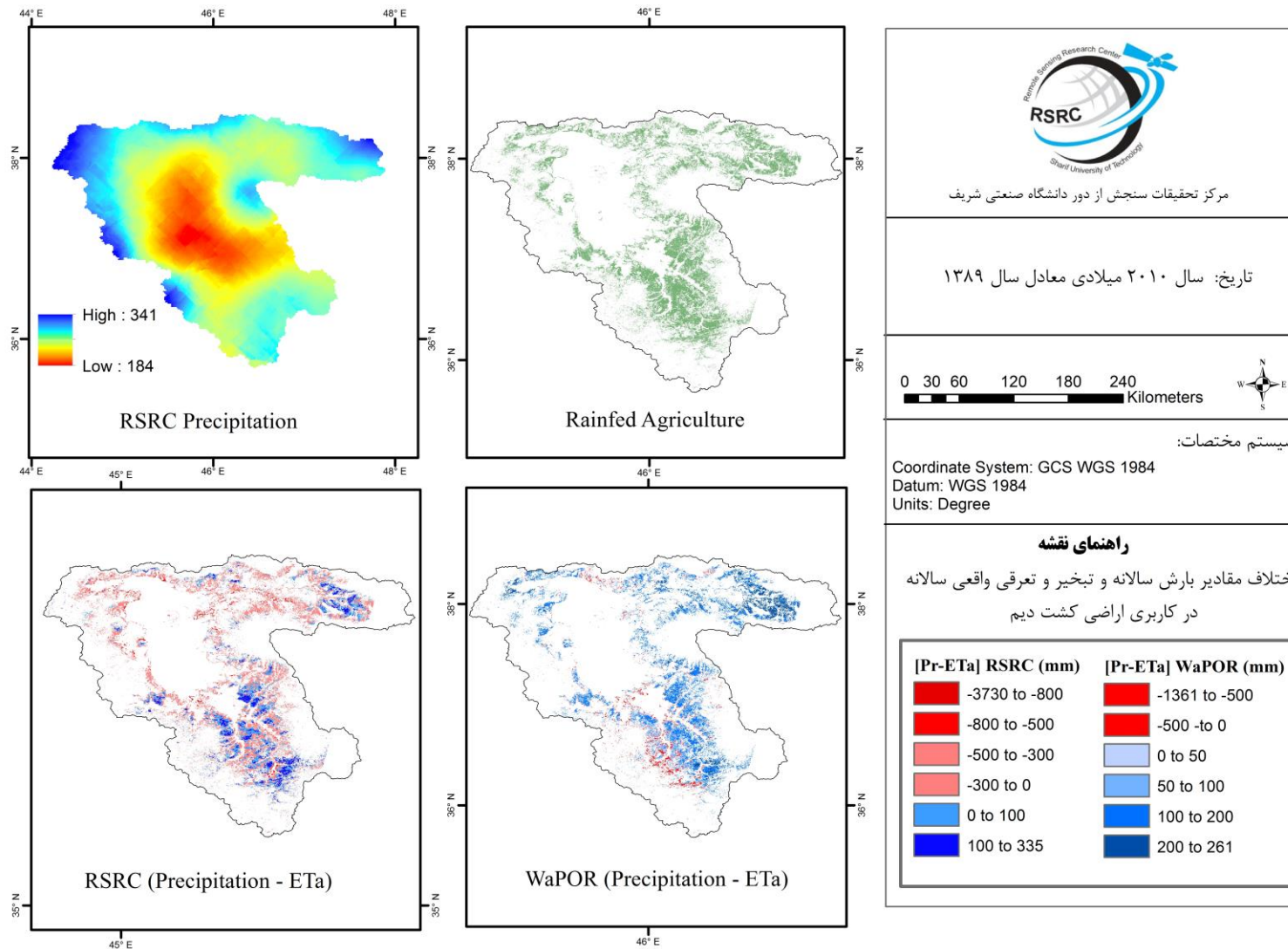
در ایستگاه لایسیمتر، مقدار متوسط ارتفاع تبخیر و تعرق واقعی برای محدوده کوچک دایره‌ای به قطر ۳۰ متر ارائه می‌شود، یعنی حدود ۷۰۰ مترمربع، حال آنکه تفکیک مکانی نقشه‌های تولیدی توسط روش SEBAL در این مطالعه، سلول‌های با ابعاد ۱ کیلومتر در ۱ کیلومتر و نقشه‌های خروجی از سامانه WaPOR ۲۵۰ متر در ۲۵۰ متر می‌باشند که این خود عملاً امکان مقایسه مناسب را محدود می‌نماید. با کاهش قابلیت تفکیک مکانی نقشه‌های تولیدی با استفاده از تغییر سنجنده مورد استفاده و یا ریزمقیاس نمودن تصاویر و

هم‌چنین افزایش تعداد روزها و ایستگاه‌های لایسیمتری می‌توان امکان مقایسه مناسب‌تری را بین دو نقطه از مدل‌سازی و داده واقعی از محل برقرار نمود (مرکز RSRC، ۱۳۹۴).

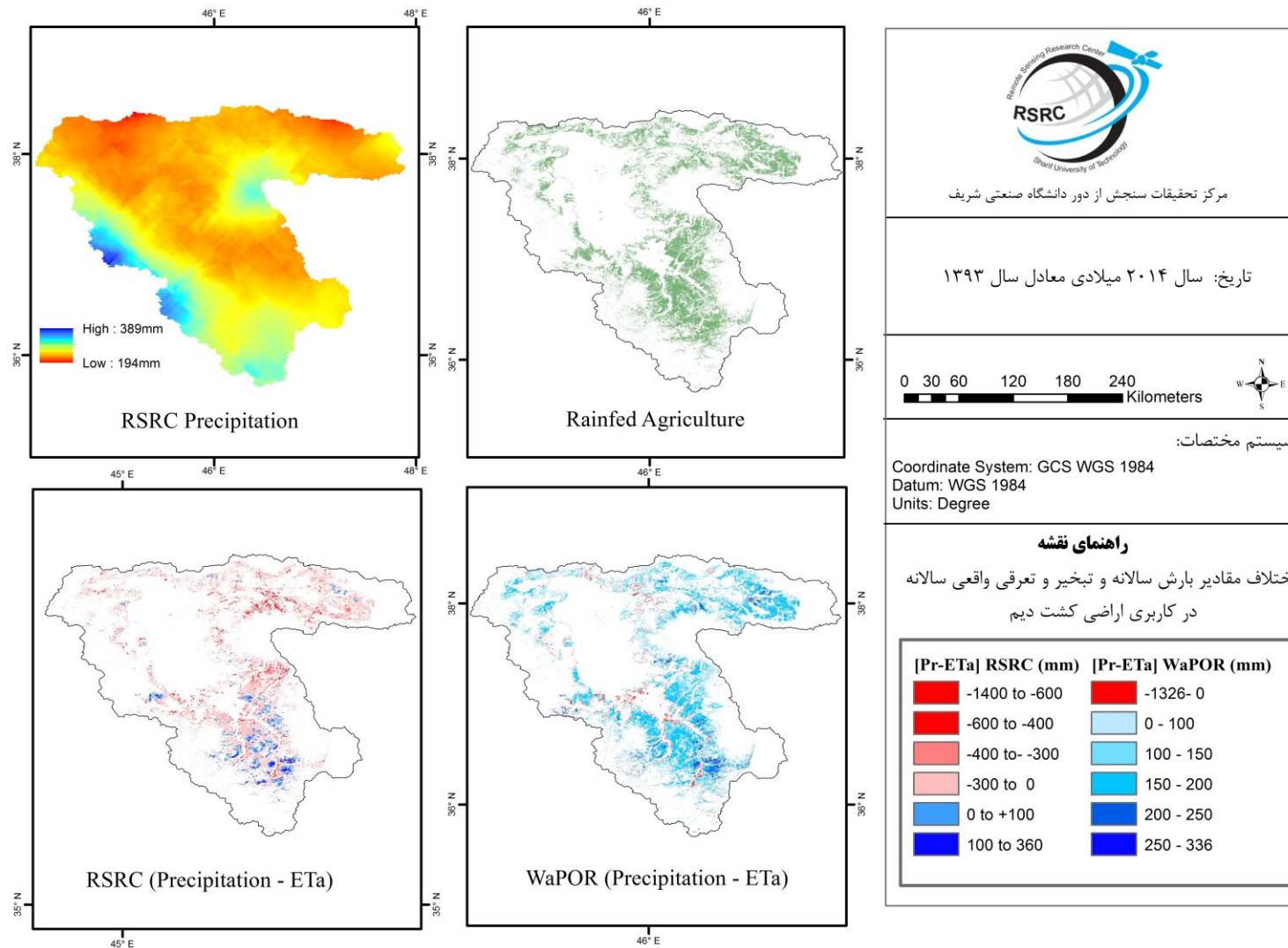
۴-۶- بررسی اختلاف نتایج در کاربری اراضی کشت دیم

از آنجایی که اطلاعات لایسیمترهای حوضه آبریز دریاچه ارومیه از گستردگی مکانی و زمانی خوبی برخوردار نیستند، لذا به‌ناچار باید روش‌های دیگری را برای صحت‌سنجی نتایج تبخیر و تعرق واقعی جستجو کرد. یکی از این روش‌ها بررسی نتایج در کاربری اراضی کشت دیم می‌باشد. در مناطقی که زمین‌های کشاورزی آبیاری می‌شوند، عمدتاً مقدار تبخیر و تعرق واقعی از مقدار بارش بیش‌تر است که این عدد به چندین برابر مقدار کل بارش سالانه نیز می‌رسد. در مراتع کوهستانی نیز به دلیل شیب زیاد زمین، در عمل تبخیر و تعرق خاصی انتظار نمی‌رود؛ اما اراضی با کاربری کشت دیم که بینابین این دو حالت می‌باشند بهترین گزینه برای ارزیابی مقدار تبخیر و تعرق می‌باشند؛ چراکه در این اراضی به دلیل عدم آبیاری توسط چاه یا رودخانه‌ها، تبخیر و تعرق نمی‌تواند از بارش پیشی بگیرد و طبق مطالعاتی که صورت پذیرفته است مقداری در حدود ۰/۶ تا ۰/۷ بارش را دارا می‌باشد (Wang et al., 2008). همین‌طور به دلیل اینکه این اراضی عمدتاً در شیب‌های ملایم‌تری نسبت به ارتفاعات قرار دارند، انتظار می‌رود که از پتانسیل نگهداشت رطوبت مناسبی برخوردار باشد.

در این بخش، میزان تبخیر و تعرق واقعی ارائه شده در سامانه WaPOR و محاسبه شده توسط مرکز RSRC در سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۴ در اراضی با کاربری دیم مقایسه شده‌اند (شکل‌های ۸ و ۹). نتایج نشان می‌دهد میانگین مقدار تبخیر و تعرق واقعی سالانه سامانه WaPOR در سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۴ در اراضی با کاربری کشت دیم به ترتیب ۱۰۴ و ۱۳۵ میلی‌متر کمتر از مقدار مجموع بارش سالانه محاسبه شده توسط مرکز RSRC که به ترتیب برای سال ۲۰۱۰ و ۲۰۱۴ برابر با ۳۴۱ و ۳۸۹ میلی‌متر (RSRC، ۱۳۹۵) بوده است و این درحالی است که میانگین مقدار تبخیر و تعرق واقعی سالانه محاسبه شده توسط مرکز RSRC در سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۴ در اراضی با کاربری کشت دیم به ترتیب ۱۰۰ و ۱۷۰ میلی‌متر بیش‌تر از مقدار مجموع بارش سالانه مرکز RSRC برآورد شده است.



شکل ۱۰- تفاوت ارتفاعی مقادیر بارش و تبخیر و تعرق سالانه در اراضی کشت دیم در سال ۲۰۱۰

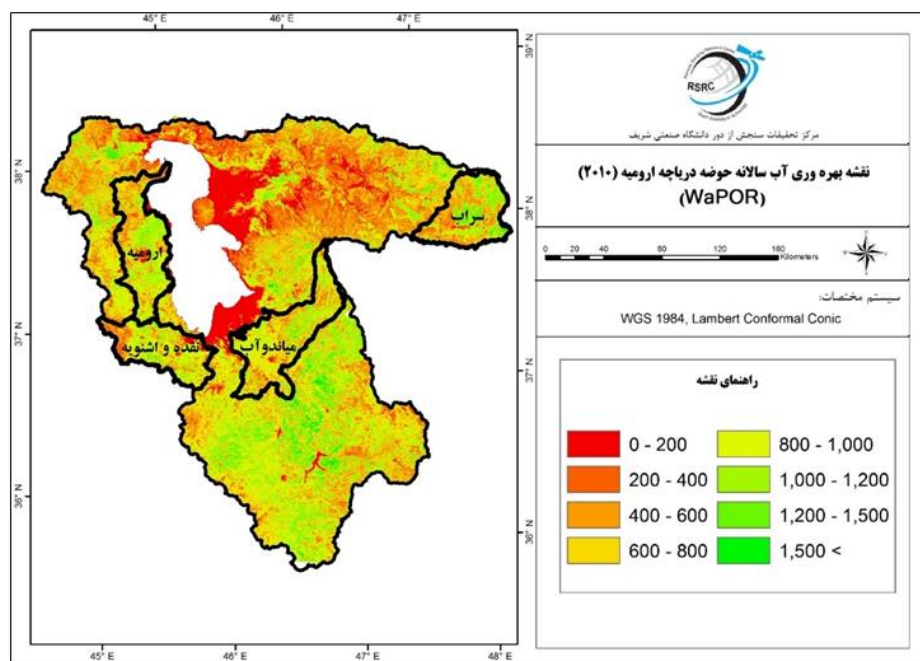


شکل ۱۱- تفاوت ارتفاعی مقادیر بارش و تبخیر و تعرق سالانه در اراضی دیم در سال ۲۰۱۴

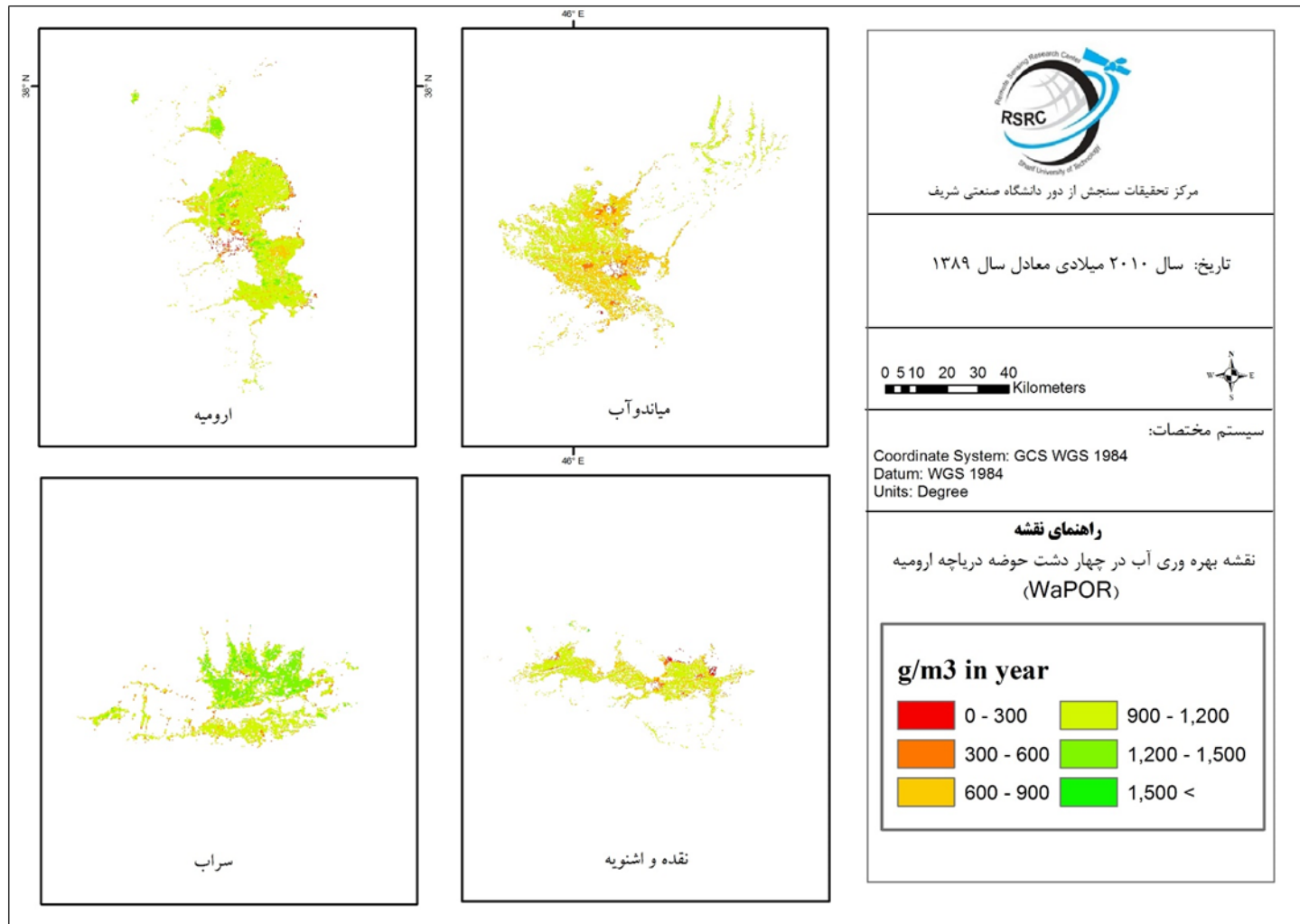
۷-۴- مقایسه بهره‌وری زیرحوضه بر اساس مصرف آب

در مطالعه مصارف و میزان آب قابل صرفه‌جویی محدوده‌های کشاورزی حوضه آبریز دریاچه ارومیه در سال ۲۰۱۰ میلادی، میزان صرفه‌جویی در ۴ دشت مهم حوضه (ارومیه، سراب، میان‌دوآب و نقده و اشنویه) توسط مرکز RSRC بررسی شده است. از نظر صرفه‌جویی قابل حصول، بیشترین درصد صرفه‌جویی به دشت ارومیه با ۳۹٪ تعلق دارد. پس از آن منطقه نقده و اشنویه با ۳۱٪، میان‌دوآب با ۲۵٪ و سراب با ۲۰٪ در رتبه‌های بعدی قرار می‌گیرند (مرکز RSRC، ۱۳۹۴). در همین راستا در ادامه، میزان بهره‌وری استخراجی توسط سامانه WaPOR با نتیجه گزارش فوق مقایسه می‌گردد (شکل ۱۲). با توجه به مقادیر خروجی از این سامانه متوسط بهره‌وری آب در سراب با $1/109 \text{ Kg/m}^3$ بیشترین مقدار را در مقابل سایر دشت‌ها دارد پس از آن ارومیه با $1/106$ ، نقده و اشنویه با $0/909$ و میان‌دوآب با $0/862 \text{ Kg/m}^3$ قرار دارند. مقادیر مربوط به مرکز RSRC و سامانه WaPOR حاکی از آن است که بهترین وضعیت از نظر بهینه بودن مصرف آب به منطقه سراب تعلق دارد و این در حالی که در سایر مواد نتایج همخوانی ندارند.

بازه تغییرات بهره‌وری براساس نقشه بهره‌وری سامانه WaPOR برای میان‌دوآب بین $0/11$ تا $1/672 \text{ Kg/m}^3$ (std dev= 170.4) در سراب بین $0/21$ تا $1/754 \text{ Kg/m}^3$ (std dev= 208.1)، در ارومیه $0/092$ تا $1/584 \text{ Kg/m}^3$ (std dev= 186.7) و نهایتاً در نقده و اشنویه بین $0/049$ تا $1/756 \text{ Kg/m}^3$ (std dev= 181.8) تغییر می‌کند.



شکل ۱۲- نقشه ناخالص بهره‌وری آب در حوضه دریاچه ارومیه (۲۰۱۰)



شکل ۱۳- نقشه ناخالص بهره‌وری آب در اراضی کشت آبی چهار دشت مهم حوضه دریاچه ارومیه (۲۰۱۰)

۴-۸- مقایسه تبخیر از سطح دریاچه توسط سامانه WaPOR و مطالعه مرکز RSRC

در یکی از پروژه‌های مرکز RSRC با توسعه مدل‌های تجربی مختلف برای دریاچه ارومیه میزان تبخیر از سطح دریاچه در سال ۲۰۱۰ محاسبه شده است (جدول ۱۰). به منظور شناخت روش مناسب مقادیر محاسباتی از طریق شاخص‌های آماری با داده‌های بدست آمده از طریق بیلان انرژی مقایسه می‌شوند. با توجه به مقایسه انجام شده دقیق‌ترین روابط برای محاسبه تبخیر دریاچه ارومیه بر مبنای شاخص جذر میانگین مجموع مربع خطاها (RMSE) و میانگین خطای مطلق (MAE) انتخاب شده است. روابط Debruin/Keijman، Penman، Priestly/Taylor و Turc به ترتیب دقیق‌ترین روابط در مقیاس روزانه و ماهانه هستند (مرکز RSRC، ۱۳۹۳). دو رابطه اول نیاز به ۵ نوع داده (گرمای نهان تبخیر/چگالی آب/ دمای آب / تشعشع خالص / فشار هوا) دارند. رابطه پنمن علاوه بر داده‌های مورد نیاز دو روش قبل نیاز به داده‌های سرعت باد و فشار بخار هوا در بالای سطح آب نیز دارد. رابطه Turc با وجود دقت پایین‌تری که نسبت به سه روش دیگر دارد داده‌های مورد نیاز آن به سه نوع داده درجه حرارت هوا، تشعشع خورشیدی و رطوبت نسبی محدود می‌شود و از نظر هزینه محاسباتی روش مقرون به صرفه‌ای محسوب می‌شود (مرکز RSRC، ۱۳۹۳).

جدول ۱۰- مقایسه روش‌های محاسبه تبخیر دریاچه ارومیه در مرکز RSRC با سامانه WaPOR

نام روش	April	May	June	July	August	September	October
Developed Meyer	۸۳/۷	۱۲۰/۹	۲۱۵/۶	۲۵۱/۴	۲۰۸/۹	۱۶۲/۲	۷۳/۷
Developed Harbeck	۲۸/۲	۴۶/۶	۷۶/۴	۱۱۱/۵	۸۱/۷	۶۳/۳	۲۴/۹
Debruin/Keijman	۱۶۷/۳	۲۰۸/۳	۲۰۸/۸	۲۰۲/۵	۱۶۸/۳	۱۱۵/۵	۷۹/۸
Penman	۱۵۹/۵	۲۰۱/۷	۲۱۴/۱	۲۲۰/۷	۱۸۲/۹	۱۳۴/۱	۸۹/۱
Priestly/Taylor	۱۶۳/۹	۲۰۶/۹	۲۱۰	۲۰۴/۴	۱۶۹/۵	۱۱۵/۷	۷۸/۵
stephen stewart	۹۸/۶	۱۳۳/۳	۱۵۵/۴	۱۵۶/۲	۱۳۴/۲	۱۰۵/۷	۶۵/۵
Ryan/Harleman	۵۹/۵	۸۹/۷	۱۴۳/۵	۱۸۷/۳	۱۵۱/۲	۹۴/۷	۵۵/۲
Turc	۱۳۸/۷	۱۷۵/۶	۲۲۶/۶	۲۲۰/۳	۱۸۳/۷	۱۴۱/۶	۹۳/۷
papdakias	۲۵/۹	۱۴/۹	۱۲/۵	۱۸/۵	۱۶/۵	۱۸/۷	۱۷/۳
Dalton	۳۶/۵	۵۸/۶	۸۳/۴	۱۲۱/۱	۹۱/۲	۵۶/۸	۳۵/۱
Bulk/Aerodynamic	۳۱۷/۹	۵۱۰/۶	۷۱۵	۱۰۳۹/۵	۷۸۱/۶	۴۸۵/۸	۲۹۹/۱
Meyer	۱۳۵/۵	۱۹۰/۸	۳۰۲/۸	۳۵۳/۳	۳۰۲/۵	۱۹۳/۴	۱۲۹/۷
BREB	۱۷۶/۳	۲۰۷/۲	۲۰۲/۴	۱۹۳/۸	۱۶۰/۵	۱۱۰/۹	۷۷
WaPOR	۸۸/۳	۱۷۰	۲۲۸/۴	۲۳۸/۸	۲۰۶/۶	۱۵۵/۶	۱۱۴/۶

در پروژه تخمین تبخیر از سطح دریاچه ارومیه در مطالعه مرکز RSRC، میزان تبخیر برای محدوده دریاچه از آوریل تا اکتبر (فروردین تا مهر سال ۱۳۸۹ شمسی) در حدود ۱۱۵۸ میلی‌متر گزارش شده و در مدت زمان مشابه، سامانه WaPOR مقدار تبخیر از سطح دریاچه را حدود ۱۲۰۲ میلی‌متر نشان می‌دهد. مقایسه بین نتایج روش‌های مختلف در سال ۲۰۱۰ و نتیجه WaPOR، نشان می‌دهد که مقادیر تبخیر در گزارش مرکز RSRC اختلاف ناچیزی (کمتر از پنج درصد) با برآورد WaPOR دارد. دلیل این اختلاف تفاوت در روش محاسبه تبخیر می‌باشد. WaPOR با تعمیم الگوریتمی که برای محاسبه تبخیر و تعرق حوضه توسعه داده شده به محاسبه تبخیر از محیط آبی دریاچه پرداخته است. این در حالیست که روش تجربی دوبرین-کژمن برای محاسبه تبخیر در محیط‌های آبی توسعه داده شده و شوری آب نیز در آن لحاظ شده است که هر دوی این موارد منجر به بالا رفتن دقت محاسبات تبخیر با این روش می‌شود.

۹-۴- بارش

در مطالعه حاضر مقدار ارتفاع بارش پایگاه TRMM و سامانه WaPOR با یکدیگر مقایسه شده است و اعداد حاصل نقشه‌های تولید شده توسط مرکز RSRC با دو روش دیگر مقایسه شد. مجموع ارتفاع بارش سال ۲۰۱۴ میلادی سامانه WaPOR، پایگاه TRMM و مرکز RSRC به ترتیب برابر ۳۶۸/۵، ۴۵۰ و ۲۵۴ است که اختلاف قابل توجهی با هم دارند.

جهت بهره‌گیری از اطلاعات ایستگاه‌های جهانی بارش لازم است تا اطلاعات این ایستگاه‌ها با اطلاعات زمینی موجود در حوضه آبریز مقایسه و صحت‌سنجی آماری شود. جدول ۱۱ شاخص‌های آماری واسنجی مورد مطالعه بین پایگاه‌های بارش به عنوان مقادیر برآورد مدل و آمار بارش ایستگاه‌های زمینی به عنوان داده‌های اندازه‌گیری شده، را نشان می‌دهند.

جهت محاسبه خطای ناشی از برآورد بارش در پایگاه‌های مختلف نسبت به مقادیر مبنای، از شاخص آماری خطای جذر میانگین مربعات یا RMSE^۱ استفاده گردید (معادله (۳)).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \quad (3)$$

در این فرمول P_i مقادیر مدل‌سازی شده، O_i مقادیر مشاهده شده و n تعداد داده می‌باشد. این آزمون تفاوت میان مقدار پیش‌بینی شده توسط مدل‌ها و الگوریتم‌های بارش (برآوردگر آماری) و مقدار واقعی آن

^۱ Root Mean Square Error

را نشان داده و میزان خطا را با واحد مورد استفاده در آزمایش که در اینجا میلی‌متر در ماه است نشان می‌دهد. هرچه مقدار عددی شاخص RMSE کمتر باشد میزان خطای مدل نیز پایین‌تر است. همان‌طور که از جدول ۱۱ مشخص است، پارامترهای آماری نشان می‌دهند که سامانه WaPOR عملکرد بهتری نسبت پایگاه TRMM دارد.

میزان ضریب خطای جذر میانگین مربعات بین آمار زمینی و آمار ماهواره‌ای بارش به طور کلی و برای همه ماه‌های سال ۲۰۱۴ میلادی بسته به ارتفاع بارش متغیر است. این ضریب در ماه‌های ژوئن تا سپتامبر افت معنی‌داری پیدا می‌کند و در حالت کلی با افزایش میزان بارندگی میزان RMSE افزایش می‌یابد.

جدول ۱۱- مقادیر شاخص‌های آماری و اسنجی مورد مطالعه در حوضه دریاچه ارومیه

RSRC	TRMM		WaPOR		
	خطا نسبت به اطلاعات ایستگاه‌های زمینی (mm)	متوسط ارتفاع بارش (mm)	خطا نسبت به اطلاعات ایستگاه‌های زمینی (mm)	متوسط ارتفاع بارش (mm)	
۲۱/۴	۳۶	۵۰	۲۶/۸	۳۵/۹	ژانویه
۷/۶	۲۱	۲۰	۲۳/۳	۱۶/۴	فوریه
۵۶/۸	۳۷/۳	۸۰	۲۷/۹	۶۶/۶	مارس
۲۶/۲	۱۶/۵	۳۰	۱۶/۷	۳۵/۸	آوریل
۳۰	۲۶	۵۰	۲۰/۴	۳۸/۹	می
۴/۴	۱۱/۳	۱۰	۸/۵	۸	ژوئن
۶/۲	۱۸/۳	۲۰	۸/۶	۶/۷	جولای
۰/۷	۹/۲	۱۰	۴	۱/۸	اوت
۰/۵	۲۹/۲	۲۰	۵/۳	۱/۷	سپتامبر
۴/۸	۲۵/۴	۱۳۰	۵۶/۴	۵۸/۵	اکتبر
۵۸/۶	۲۷/۱	۷۰	۲۹/۸	۶۲	نوامبر
۳۶/۷	۲۹/۶	۶۰	۲۴/۲	۱۸/۹	دسامبر

همانطور که اشاره شد ساخت نقشه بارش در مرکز RSRC براساس اطلاعات زمینی بود و باعث شده که نقشه‌های این مرکز با اطلاعات زمینی قابل مقایسه نباشد و مقدار نزدیکی نسبت به واقعیت داشته و از آمار ارائه شده توسط تصاویر ماهواره‌ای دقت بالاتری دارد.

۵- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

هدف از انجام این مطالعه، مقایسه نتایج سامانه WaPOR با مطالعات مرکز RSRC در تخمین برخی از پارامترهای اقلیمی و همچنین مدیریت آب در حوضه آبریز دریاچه ارومیه و اراضی کشاورزی واقع در آن با تکیه بر محاسبات داده‌های سنجش از دور است. استفاده از داده‌های سنجش از دور این امکان را ایجاد می‌کند که مقادیر مصارف آب اعم از سطحی و زیرزمینی تخمین و با توجه به تولید نقشه‌های توزیع مکانی مصرف، موقعیت مصرف نیز تعیین شود؛ امکانی که به علت استفاده‌های غیرمجاز از آب بخصوص در آب زیرزمینی با استفاده از داده‌های زمینی امکان‌پذیر نمی‌باشد.

نقشه‌های تولیدشده توسط سامانه WaPOR و مطالعات مرکز RSRC از لحاظ مقیاس زمانی و مکانی مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفتند که از منظر دقت مکانی و زمانی نقشه‌های خروجی از سامانه WaPOR نسبت به اطلاعات خروجی از مرکز RSRC بهتر هستند ولی مقادیر نقشه‌های خروجی از سامانه WaPOR بسیار کمتر از میزان تبخیر و تعرق محاسبه شده توسط مرکز RSRC است. در این راستا، مقادیر لایسیمتر مستقر در دانشگاه تبریز همخوانی قابل قبولی با مقادیر محاسباتی مطالعه مرکز RSRC داشت و این درحالی است که سامانه WaPOR نتایج ضعیفی را در این مقایسه ارائه می‌کند. در مقابل، ارزیابی تبخیر و تعرق در مقابل بارش در اراضی کشت دیم حکایت از برتری مقادیر تبخیر و تعرق سامانه WaPOR دارد؛ درحالی که در اراضی کشت دیم میزان بارش از تبخیر و تعرق محاسباتی توسط مرکز RSRC کمتر شد که قابل قبول نمی‌باشد. مقایسه بهره‌وری آب ارائه شده توسط سامانه WaPOR با میزان هدر رفت آب در مطالعات مرکز RSRC در برخی موارد با هم همخوانی داشته و در مواردی نیز اختلاف دارد.

در نهایت مقایسه‌ای برای بارش در سال ۲۰۱۰ میلادی صورت پذیرفت تا قابل اعتماد بودن مقادیر بارش پایگاه‌های ماهواره‌ای خام تعیین گردد. بررسی عملکرد ضرایب آماری مقادیر مربوط به RMSE نشان می‌دهد که اطلاعات سامانه WaPOR در مقایسه با پایگاه TRMM نتایج بهتری دارد این درحالی است که می‌توان نتیجه گرفت به علت به کار گرفتن اطلاعات ایستگاه‌های زمینی برای ساخت نقشه مرکز RSRC نتایج قابل قبول‌تری ارائه می‌دهد.

۶- فهرست مراجع

مرکز تحقیقات سنجش از دور (مرکز RSRC). (۱۳۹۳)، تخمین تبخیر از سطح دریاچه ارومیه. پژوهشکده آب و انرژی دانشگاه صنعتی شریف.

مرکز تحقیقات سنجش از دور (مرکز RSRC). (۱۳۹۴)، برآورد تبخیر و تعرق، مصارف و میزان آب قابل صرفه‌جویی محدوده‌های کشاورزی حوضه آبریز دریاچه ارومیه در سال ۲۰۱۰ میلادی. پژوهشکده آب و انرژی دانشگاه صنعتی شریف.

مرکز تحقیقات سنجش از دور (مرکز RSRC). (۱۳۹۵)، پایش تغییرات مصارف آب و کاربری اراضی کشاورزی حوضه آبریز دریاچه ارومیه. پژوهشکده آب و انرژی دانشگاه صنعتی شریف.

سامانه WaPOR:

<http://www.fao.org/in-action/remote-sensing-for-water-productivity/WaPOR/en/#/home>

Allen, R., Tasumi, M., Trezza, R., Waters, R., & Bastiaanssen, W. (2002). SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land). *Advance Training and Users Manual-Idaho Implementation, version, 1*, 97.

U.S. Department of Agriculture, 1970, Soil Conservation Service, Irrigation Water Requirements, Technical Release no. 21,88 p.

Wang, Y. , Yu, P. , Xiong, W. , Wang, L. (2008). Water-Yield Reduction After Afforestation and Related Processes in the Semiarid Liupan Mountains, Northwest China. *Journal of the American Water Resources Association*. 44(5):1086-1097.

پیوست ۱

سامانه WaPOR برای ارتقا مدیریت آب، به خصوص در مناطقی که درگیر با مشکلات منابع آب هستند لایه‌های اطلاعاتی مختلفی را تولید می‌کند. در جدول پ ۱ به معرفی این محصولات پرداخته شده و توضیح مختصری از ویژگی‌های لایه‌های تولید شده ارائه شده است.

جدول پ ۱: مشخصات محصولات سامانه WaPOR

محصولات WaPOR	توضیحات
Annual gross biomass water productivity	<ul style="list-style-type: none"> The unit is the ratio of kg of dry matter per cubic meter of water consumed (ETa): kgDM/m³/year Conversion factor: the pixel value must be multiplied by 0.001 Spatial resolution: 250m (0.00223 degree) Geographic extent: Africa and Near East Temporal extent: 2010 to date Temporal resolution: year Coordinate System: EPSG:4326 - WGS84 - Geographic Coordinate System (lat/long)
Annual net biomass water productivity	<ul style="list-style-type: none"> The unit is the ratio of kg of dry matter per cubic meter of water transpired by vegetation (T): kgDM/m³/year Conversion factor: the pixel value must be multiplied by 0.001 Spatial resolution: 250m (0.00223 degree) Geographic extent: Africa and Near East Temporal extent: 2010 to date Temporal resolution: year Coordinate System: EPSG:4326 - WGS84 - Geographic Coordinate System (lat/long)
Annual actual evapotranspiration	<ul style="list-style-type: none"> The unit is mm/year, which can be converted into volume for a specific area, e.g. 1mm = 1l/m² or 1mm = 10 m³/ha. Conversion factor: none Spatial resolution: 250m (0.00223 degree) Geographic extent: Africa and Near East Temporal extent: 2010 to date Temporal resolution: year Coordinate System: EPSG:4326 - WGS84 - Geographic Coordinate System (lat/long)
Annual transpiration	<ul style="list-style-type: none"> The unit is mm/year, which can be converted into volume for a specific area, e.g. 1mm = 1l/m² or 1mm = 10 m³/ha. Conversion factor: the pixel value must be multiplied by 0.001. Spatial resolution: 250m (0.00223 degree) Geographic extent: Africa and Near East Temporal extent: 2010 to date Temporal resolution: year Coordinate System: EPSG:4326 - WGS84 - Geographic Coordinate System (lat/long)

ادامه جدول پ ۱ - مشخصات محصولات سامانه WaPOR

محصولات WaPOR	توضیحات
Annual above ground biomass production (land productivity)	<ul style="list-style-type: none"> The unit is kgDM/ha/year Conversion factor: none Spatial resolution: 250m (0.00223 degree) Geographic extent: Africa and Near East Temporal extent: from 2010 to date Temporal resolution: year Coordinate System: EPSG:4326 - WGS84 - Geographic Coordinate System (lat/long)
Actual evapotranspiration (dekad)	<ul style="list-style-type: none"> The unit is mm/day, which can be converted into volume for a specific area (1mm = 1l/m² or 1mm = 10 m³/ha). Conversion factor: the pixel value must be multiplied by 0.1. Spatial resolution: 250m (0.00223 degree) Geographic extent: Africa and Near East (bounding box 30W 40N, 65E 40S) Temporal extent: from April 2009 to date Temporal resolution: dekad (approximately 10 days) Coordinate System: EPSG:4326 - WGS84 - Geographic Coordinate System (lat/long)
Transpiration fraction (dekad)	<ul style="list-style-type: none"> The unit is percentage (%). Spatial resolution: 250m (0.00223 degree) Geographic extent: Africa and Near East (bounding box 30W 40N, 65E 40S) Temporal extent: from April 2009 to date Temporal resolution: dekad (approximately every 10 days) Coordinate System: EPSG:4326 - WGS84 - Geographic Coordinate System (lat/long)
Net primary production (dekad)	<ul style="list-style-type: none"> The unit is gC/m²/day. Conversion factor: the pixel value must be multiplied by 0.001. Spatial resolution: 250m (0.00223 degree) Geographic extent: Africa and Near East (bounding box 30W 40N, 65E 40S) Temporal extent: from April 2009 to present Temporal resolution: Dekadal (approximately every 10 days) Coordinate System: EPSG:4326 - WGS84 - Geographic Coordinate System (lat/long)
Precipitation (daily)	<ul style="list-style-type: none"> The unit mm/day Conversion factor: the pixel value must be multiplied by 0.1. Spatial resolution: Approximately 5km (0.05 degree) Geographic extent: Africa and Near East Temporal extent: from April 2009 to date Temporal resolution: Daily Coordinate System: EPSG:4326 - WGS84 - Geographic Coordinate System (lat/long)
Reference evapotranspiration (daily)	<ul style="list-style-type: none"> The unit is mm/day, which can be converted into volume for a specific area, e.g. 1mm = 1l/m² or 1mm = 10 m³/ha Conversion factor: the pixel value must be multiplied by 0.1. Spatial resolution: 20km (0.17857 degree) Geographic extent: Africa and Near East Temporal extent: from April 2009 to date Temporal resolution: Daily Coordinate System: EPSG:4326 - WGS84 - Geographic Coordinate System (lat/long)