

پهنه‌بندی تبخیر-تعرق پتانسیل استان آذربایجان شرقی به کمک داده‌های دورسنجی فرآورده‌ی مودیس

مجید رضایی بنفشه

استاد گروه آب و هواشناسی دانشگاه تبریز

سعید جهانبخش اصل

استاد گروه آب و هواشناسی دانشگاه تبریز

سید ابوالفضل مسعودیان

استاد گروه آب و هواشناسی دانشگاه اصفهان

فاطمه جعفری شندی*

دانشجوی دکتری آب و هواشناسی دانشگاه تبریز

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۷/۱۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۲/۲۵

چکیده

در این پژوهش، پهنه‌بندی داده‌های فرآورده‌ی تبخیر-تعرق پتانسیل استان با هدف شناسایی پهنه‌های اقلیمی از نظر تبخیر-تعرق پتانسیل و بررسی تغییرات مکانی و زمانی آن در هر پهنه انجام شده است. برای تحقق این هدف از داده‌های فرآورده‌ی دورسنجی MOD16A2 سنجنده‌ی مودیس در فواصل زمانی ۸ روزه در بازه‌ی زمانی ۲۰۱۴-۲۰۰۰ استفاده گردید. جهت پهنه‌بندی استان از نظر میانگین بلندمدت تبخیر-تعرق پتانسیل در مقیاس ۸ روزه، پایگاه داده‌ای با آرایه‌ای به ابعاد $46 \times 388 \times 321$ تولید شد. خوشه‌بندی تبخیر-تعرق پتانسیل به‌منظور تعیین پهنه‌های تبخیر-تعرق پتانسیل استان به روش وارد روی داده‌های ۸ روزه انجام شد. نخست استان به دو پهنه‌ی تبخیر-تعرق پتانسیل یک و دو تقسیم شد که خوشه‌بندی مجدد آن‌ها چهار پهنه در گستره‌ی استان نمایان ساخت. نتایج پژوهش ضمن نشان دادن تغییرات مکانی تبخیر-تعرق پتانسیل استان، منعکس‌کننده‌ی تغییرات آن در چهار پهنه‌ی همگن تبخیر-تعرق پتانسیل می‌باشد. از این‌رو در مدیریت منابع آب در چهار پهنه‌ی همگن می‌تواند نقش قابل توجهی داشته باشد.

واژگان کلیدی: مودیس ترا، تبخیر-تعرق پتانسیل، تحلیل خوشه‌ای، استان آذربایجان شرقی.

مقدمه

تبخیر-تعرق پتانسیل (ETp) یکی از مهم‌ترین اجزای چرخه‌ی هیدرولوژیک و یک عامل مهم در تعیین نیاز آبی هست که برآورد دقیق آن برای بسیاری از مطالعات نظیر بیلان آب و مدیریت منابع آب اهمیت بسیاری دارد. چنانچه تغییرات

مکانی و زمانی تبخیر - تعرق درست تخمین زده نشود، تنش‌های زیست‌محیطی شدیدی را به وجود می‌آید. از این رو برآورد دقیق آن در مطالعاتی همچون تغییر اقلیم جهانی، تکامل محیطی و کنترل منابع آب نقش مهمی ایفا می‌کند (لیو^۱ و همکاران، ۲۰۱۰: ۵۷۳).

از آن جایی که ETP با ویژگی‌های رویه‌ی زمین، رطوبت نسبی، سرعت باد، دما و تابش خورشیدی در ارتباط است (بابامیری و همکاران، ۱۳۹۶: ۱۳۷)، از این رو مقدار آن را می‌توان با استفاده از داده‌های هواشناسی و معادلات تبخیر-تعرق در مناطق مختلف به دست آورد. نظر به این که برداشت چنین اطلاعاتی در مقیاس‌های منطقه‌ای و جهانی توسط ایستگاه‌های زمینی عملاً غیرممکن است، محققان برای برآورد ETP در پهنه‌های مختلف از روش‌های پهنه‌بندی و زمین‌آماری استفاده می‌کنند. پهنه‌بندی ETP یکی از مؤلفه‌های عمده در بیلان آب و مدیریت منابع آبی حائز اهمیت می‌باشد (نم^۲ و همکاران، ۲۰۱۵: ۱۲۹). در پژوهشی کیتسارا و همکاران (۲۰۰۵) به پهنه‌بندی ET و بارش یونان با استفاده از روش تجزیه‌ی مؤلفه‌های اصلی و روش وارد پرداخته و یونان را به پنج ناحیه‌ی همگن اقلیمی تقسیم کرده‌اند. زانگ^۳ و همکاران (۲۰۱۱: ۱۰) تغییرات زمانی و مکانی ETP را در کشور چین بررسی کرده و نشان داده‌اند که مقادیر ETP سالانه و فصلی در شرق، جنوب شمال غرب چین تغییرات کاهشی نشان می‌دهد. زانگ زینگ^۴ و همکاران (۲۰۱۵: ۱۲۷) با بررسی تغییرات زمانی و مکانی ETP و ارتباط آن با پارامترهای مؤثر در جنوب غربی چین، به نقش تعیین‌کننده‌ی فرا سنج‌های اقلیمی دما، ساعت‌های آفتابی و سرعت باد در توزیع و افزایش ETP اشاره نموده‌اند. هاین و همکاران (۲۰۱۷: ۱۴۶۹) به پهنه‌بندی و بررسی تغییرات مکانی و زمانی ETP در تبت پرداخته و نشان دادند که میانگین سالانه‌ی ETP در شرق و غرب تبت روند افزایشی داشته در حالی که روند آن در اکثر ایستگاه‌ها کاهش قابل توجهی داشته است. جنوجی و همکاران (۲۰۱۷: ۳) تغییرات مکانی و زمانی ETP را در سراسر چین بررسی کرده و نشان داده‌اند که ETP فصلی و سالانه در چین به‌عنوان یک کل روند کاهشی داشته است. شرقی و همکاران (۱۳۸۹: ۲۵) در پژوهشی ETP در استان یزد را محاسبه کرده و سپس با برقراری ارتباط بین پارامتر ET با ارتفاع و همچنین روش عکس مجذور فاصله نقشه‌های مقادیر تبخیر-تعرق گیاه مرجع را در سطح استان پهنه‌بندی کرده‌اند. ولی پور (۲۰۱۵: ۲۶۷) به پهنه‌بندی ETP در استان‌های مختلف کشور از معادله‌ی فائو پنمن ماتیتث یعنی والیانترز^۵ (RS, T, RH, U)، استفاده کرده و نشان داده‌اند که این معادله‌ها برای بررسی پهنه‌بندی و تغییرات زمانی و مکانی ETP در ایران مناسب هستند. ستاری و همکاران (۱۳۹۴: ۱) به پهنه‌بندی شمال غرب ایران بر اساس نسبت بارش بر ET با روش تجزیه‌ی مؤلفه‌های اصلی و روش وارد پرداخته و آن را به شش ناحیه‌ی همگن از نظر فرا سنج نسبت بارش به ET تقسیم کرده‌اند. ابوالحسینی و زارعی (۱۳۹۵: ۷) به‌منظور پهنه‌بندی و برآورد مکانی ETP از روش‌های مختلف زمین‌آمار از جمله

¹ Liu

² Nam

³ Zang

⁴ Zongxing

⁵ Valiants

روش وزن دهی عکس فاصله (IDW) با توان‌های مختلف، روش کریجینگ معمولی و کوکریجینگ با مدل‌های واریوگرامی کروی، نمایی و گوسی استفاده کرده‌اند. در سال‌های اخیر روش‌های مبتنی بر سنجش از دور به دلیل مشاهدات پیوسته از سطح زمین توسط ماهواره‌های محیطی و هواشناسی از جایگاه ویژه‌ای در ارزیابی ETP حتی در نقاط فاقد آمار برخوردار است. بنابراین به‌منظور ارزیابی تبخیر-تعرق با گام زمانی مشخص و پوشش جهانی الگوریتم‌های ساده‌تری توسعه داده شده و در تولید محصول‌های ETP از تصاویر سنجیده‌ی مودیس MOD16 استفاده می‌کنند (مور^۶ و همکاران، ۲۰۱۱: ۱۷۸۱). از آن جمله رأی و داد ول (۲۰۰۱: ۲۳۹) با استفاده از داده‌های سنجیده‌ی WIFS ماهواره‌ی LRS-LC و همچنین استفاده از GIS، ETP محصول را در ناحیه‌ی گجرات هند برآورد کرد. سان^۷ و همکاران (۲۰۱۱: ۱۰۸۶) و جیا^۸ و همکاران (۲۰۱۳: ۷۳) مقدار ETP را با استفاده از روش سبال و تصاویر مودیس و لندست، در دو منطقه واقع در کشور چین برآورد کرده و نشان دادند که به‌کارگیری الگوریتم سبال می‌تواند نقش مهمی را در تصمیم‌گیری‌های منابع آب ایفا کند. در پژوهش دیگری کاترین^۹ و همکاران (۲۰۱۶: ۱۵۵) با استفاده از الگوریتم تلفیق تصاویر لندست ۸ و مودیس برای برآورد تبخیر-تعرق یک تاکستان در کالیفرنیا انجام داده‌اند. نتایج نشان داد که خروجی حاصل از این روش با روش زمینی ریشه‌ی میانگین مجذور خطایی برابر ۱ میلی‌متر در روز دارد. در پژوهش دیگری مارینی^{۱۰} و همکاران (۲۰۱۷: ۲۹) جهت ارزیابی مقادیر ETP و ETa، با استفاده از داده‌های ۷ ایستگاه هواشناسی و داده‌های سنجش از دور حاصل از تصاویر مودیس در جنوب غربی آرژانتین به تحلیل رگرسیون بین دو فرا سنج یادشده پرداخته‌اند. نتایج پژوهش ایشان نشان داد که مدل رگرسیون برای ETa با ضریب تعیین ۰/۶۹ و در مورد ETP با یک ضریب تعیین، غیرخطی بوده است. همچنین نتایج توانایی ابزار سنجش از دور را در تعیین ETP و ETa در مناطق بدون اطلاعات هواشناسی نشان داد. اکبری و همکاران (۱۳۹۰: ۸۳۵) ETP و ETa را در شرایط اقلیمی مختلف به کمک سنجش از دور برآورد کرده و با مقایسه‌ی نتایج آن با دو روش برآورد ET (هارگریوز و پنمن مانیتیت) در هر سال نشان داده‌اند که نتایج به‌دست آمده از روش سنجش از دور مطابقت خوبی با برآوردهای حاصل از روش‌های محاسباتی دارد که نشان‌دهنده‌ی امکان استفاده از تکنیک سنجش از دور برای تخمین ET مکانی در سطوح مختلف مزرعه و شبکه‌های آبیاری می‌باشد. کریمی و اسلامیان (۱۳۹۰: ۱) مقدار ETP استان کرمان را به روش FAO-56 محاسبه کرده و سپس با استفاده از روش کریجینگ ساده، ETP را پهنه‌بندی کرده‌اند. ولیزاده (۱۳۹۳: ۳۱۷) مقدار ETP استان آذربایجان شرقی با استفاده از سنجش از دور برآورد کرده و نتایج نشان داده‌اند که دامنه‌های جنوبی استان و مناطق با میانگین درجه حرارت بالا بیشترین مقدار ETP را داشته‌اند. مرادی و همکاران (۱۳۹۴: ۳۹) ETP روزانه را به روش پنمن مانیتیت فائو در چهار ایستگاه زنجان محاسبه کرده و با نتایج حاصله از فرآورده‌ی ETP سنجیده‌ی مودیس مورد مقایسه

⁶ Mu

⁷ Sun

⁸ Jia

⁹ Kathryn

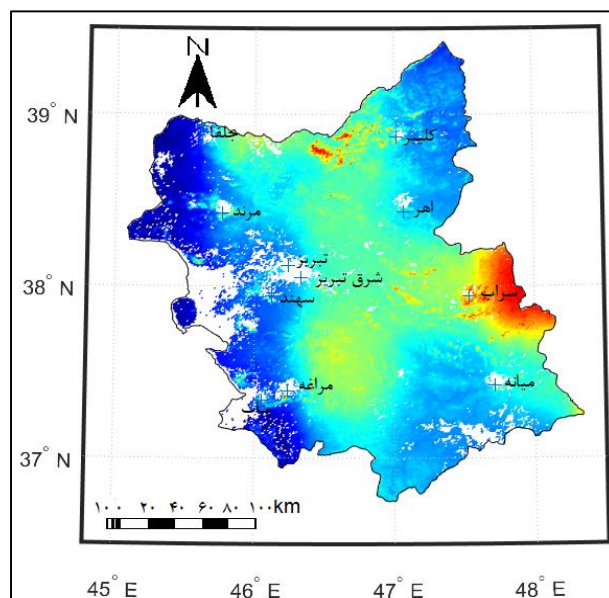
¹⁰ Marini

قرار داده و نشان دادند که فرآورده‌ی ماهواره‌ای تبخیر-تعرق پتانسیل می‌تواند جایگزین مناسبی برای برآورد تبخیر-تعرق و اجتناب از محاسبه‌های پیچیده در مناطق فاقد آمار باشد.

بررسی‌ها آشکار ساخت که فرا سنج ETp تغییرات شدیدی را از نظر مکانی نشان می‌دهد و تغییرات شدید این فرا سنج منجر به ناهنجاری‌های شدید آب و هوایی می‌شود. در این پژوهش سعی شده است با انجام تحلیل خوشه‌ای بر روی داده‌های رقومی ETp ۸ روزانه به‌عنوان فرآورده‌ی ماهواره‌ای، تمام گستره‌ی استان آذربایجان شرقی از نظر میانگین بلندمدت ETp با تفکیک 1×1 کیلومتر، پهنه‌بندی گردد تا چشم‌انداز مناسبی از تغییرات مکانی فرا سنج یادشده در هر پهنه ارائه گردد.

داده‌ها و روش‌ها

در این پژوهش برای پهنه‌بندی ETp استان آذربایجان شرقی، از داده‌های فرآورده‌ی دورسنجی MOD16A2 در فواصل زمانی ۸ روزانه در بازه‌ی زمانی ۲۰۱۴-۲۰۰۰ استفاده شده است (شکل ۱). فرآورده‌هایی که دارای پیشوند MOD هستند از داده‌های ماهواره‌ی ترا^{۱۱} بهره می‌گیرند. سیستم تصویر این فرآورده سینوسی بوده و داده‌های آن با فرمت HDF^{۱۲} است. داده‌های ETp در داخل کاشی H21v05 در دسترس می‌باشند. اندازه‌ی این کاشی 1200×1200 کیلومتر می‌باشد. حرف H نشانگر وجه افقی^{۱۳} و حرف V نشان دهنده‌ی وجه عمودی^{۱۴} کاشی است (شکل ۲).



مأخذ: نگارنده

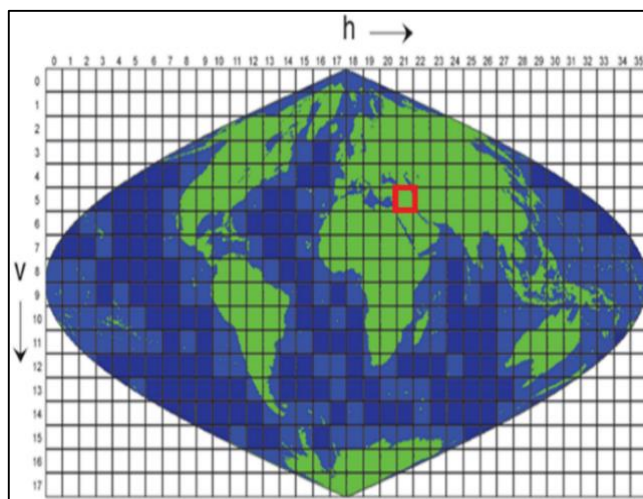
شکل ۱: منطقه مورد مطالعه منبع: نگارندگان

¹¹ Terra

¹² Hierarchical Data Format

¹³ Horizontal

¹⁴ Vertical



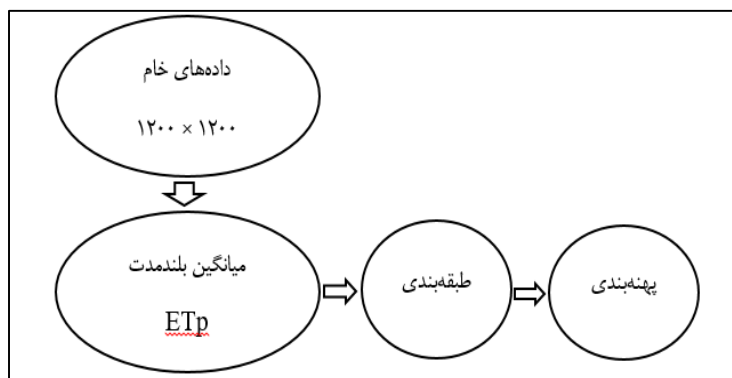
مأخذ: نگارنده

شکل ۲: جایگاه کاشی ۱۲۰۰×۱۲۰۰ کیلومتری فرآورده‌ی مودیس محدوده سرخ رنگ

روش مناسب برآورد ETP در هر ناحیه بستگی به شرایط اقلیمی، داده‌های مورد نیاز و هزینه‌های مربوط به آن دارد (سبزی پرور و همکاران، ۲۰۰۸: ۱۰۰۲). چرا که ETP به‌عنوان فرا سنج اقلیمی، از خصوصیات منطقه‌ای و ویژگی‌های ذاتی آن‌ها تأثیر می‌پذیرد (ماردیکس، ۲۰۰۵: ۲۵۲). در این پژوهش پس از استخراج داده‌های ETP، از پایگاه تولید شده در مقیاس ۸ روزانه، آرایه‌ای به ابعاد $۳۲۱ \times ۳۸۸ \times ۴۶$ تولید شد که میانگین بلندمدت ETP ۸ روزانه‌ی استان است. بعد اول و دوم این آرایه نقاط مکانی با تفکیک یک کیلومتر و بعد سوم آن ۴۶ بازه‌ی زمانی ۸ روزانه است. با استفاده از این داده‌ها پهنه‌بندی ETP به روش وارد انجام شد (شکل ۳).

نظر به این که تعداد یاخته‌های درون استان بسیار زیاد است (۱۲۴۵۴۸ یاخته) و توان محاسباتی رایانه‌های در دسترس امکان تحلیل خوشه‌ای این تعداد یاخته را به‌صورت یک‌جا فراهم نمی‌آورد. بنابراین راهکاری برای حل این مشکل اندیشیده شد، در این راهکار از میان ۱۲۴۵۴۸ یاخته‌ی موجود در داخل مرزهای استان تعداد ۱۰۰۰۰ یاخته به‌تصادف برگزیده و به دو خوشه تقسیم شدند. برای هر خوشه میانگین بلندمدت ETP محاسبه شد. گروهی که میانگین کم‌تر داشتند با کد یک و گروه دیگر با کد دو شماره‌گذاری شدند. در گام بعدی تمام ۱۰۰۰۰ یاخته‌ای که شماره‌گذاری شده بودند از مجموعه‌ی داده‌ها کنار گذاشته شده و ۱۰۰۰۰ یاخته‌ی دیگر را به‌تصادف انتخاب کرده و این کار آن‌قدر ادامه داده شد تا تمامی ۱۲۴۵۴۸ یاخته در دو خوشه‌ی یک و دو جایگذاری شدند.

در مرحله‌ی دوم تمام یاخته‌هایی که کد یک و دو دریافت کرده بودند از مجموعه‌ی داده‌ها کنار گذاشته شد و تمام یاخته‌هایی که در مرحله‌ی قبل کد یک دریافت کرده بودند وارد فرایند خوشه سازی شده و به همان روشی که در مرحله‌ی قبل رفتار کردیم به دو خوشه‌ی جدید تقسیم شدند. در پایان این مرحله استان به چهار بخش تقسیم شد. فرایند افراز استان تا جایی که تمایز میان نواحی جدا شده معنادار بود ادامه داده شد. به این ترتیب نواحی مختلف استان که از لحاظ ETP همانند بودند شناسایی شد.



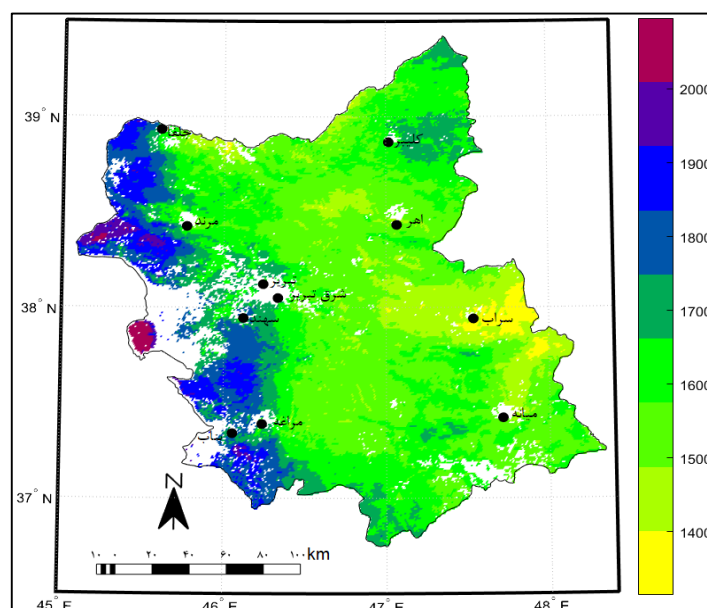
مأخذ: نگارنده

شکل ۳: فلوجارت پهنه‌بندی ETp استان

یافته‌ها

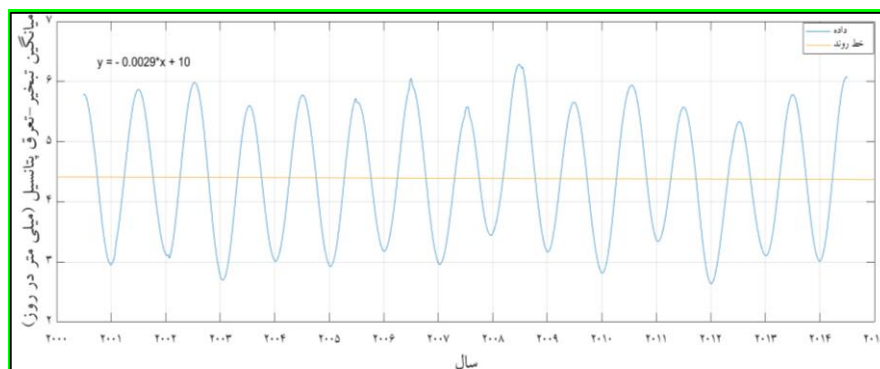
برآورد میانگین بلندمدت ETp ۸ روزانه

بررسی توزیع مکانی ETp ۸ روزانه در استان مورد مطالعه نشان داد که میانگین بلندمدت فرا سنج یادشده بر روی ۱۲۴۵۴۸ یاخته برابر با $\frac{4}{3}$ میلی‌متر در روز است (شکل ۴)؛ که این مقدار در سال حدود ۱۵۷۵ میلی‌متر می‌شود. با توجه به شکل، بیشینه مقدار ETp در بازه‌ی زمانی مورد مطالعه در نیمه‌ی غربی استان رخ داده است. بررسی سری زمانی میانگین ETp ۸ روزانه نمایانگر نوسان ETp حول میانگین $\frac{4}{3}$ میلی‌متر در روز است. در عین حال سری با آهنگ $\frac{0}{10005}$ میلی‌متر در مقیاس ۸ روزانه در سال رو به کاهش است. مقدار ETp در سال ۲۰۰۰ بیشینه و در سال ۲۰۰۶ کمینه بوده است (شکل ۵). از این رو می‌توان گفت که سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۶ در بازه‌ی زمانی مورد مطالعه به ترتیب گرم‌ترین و سردترین سال‌های استان بوده‌اند، چراکه ETp تابعی از دمای هواست.



مأخذ: نگارنده

شکل ۴: نقشه‌ی میانگین تبخیر-تعرق پتانسیل در بازه‌ی زمانی ۱۵ ساله



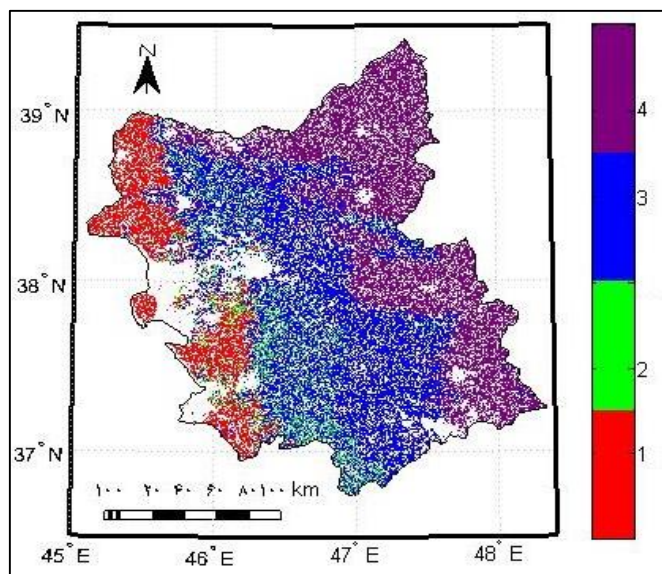
مأخذ: نگارندگان

شکل ۵: نمودار سری زمانی میانگین تبخیر-تعرق پتانسیل (میلی متر در روز) در بازه‌ی زمانی ۱۵ ساله.

پهنه‌بندی ETp استان با داده‌های میانگین بلندمدت ۸ روزه

در فرآیند پهنه‌بندی استان از لحاظ میانگین بلندمدت ETp بر اساس تحلیل خوشه‌ای، تمام گستره‌ی استان به چهار پهنه تفکیک شد. پهنه‌ی یک به رنگ سرخ در شکل ۶ آورده شده است. این پهنه با میانگین ETp ۵/۰۱ میلی‌متر در روز در تمام گستره‌ی غرب استان و کرانه‌های شرقی دریاچه‌ی ارومیه نمود یافته است. پهنه‌ی یادشده، ۱۳/۴۶ درصد از ETp استان را به خود اختصاص است. همچنان که پیش‌تر نشان داده شد، بیشینه مقدار ETp در این پهنه و به بیانی دیگر در سمت نیمه‌ی غربی استان رخ داده است. پهنه‌ی دو به رنگ سبز، کم‌ترین درصد ETp استان را در سمت شرق پهنه‌ی یک به خود اختصاص داده است (۶/۲۶ درصد). وجود کوه سه‌پند در این پهنه، در کاهش دما و به طبع آن در کاهش ETp مؤثر بوده است. میانگین ETp این پهنه ۴/۵۱ میلی‌متر در روز بوده است. سومین و بزرگ‌ترین پهنه به رنگ آبی با میانگین ETp برابر با ۴/۳۳ میلی‌متر در روز، ۴۵/۸۷ درصد از ETp استان را تشکیل داده است. با توجه به محدوده‌ی پراکنش این پهنه مشخص می‌شود که تمام گستره‌ی مرکزی استان با امتداد شمالی-جنوبی در دل این پهنه جایگزین شده‌اند. پهنه‌ی چهار به رنگ بنفش ۳۴/۳۹ درصد از ETp استان را در بر می‌گیرد. این پهنه با میانگین ETp ۴/۱۹ میلی‌متر در روز در تمام گستره‌ی شرق و شمال استان نمود یافته است. این پهنه کم‌ترین مقدار ETp را به خود اختصاص داده است (جدول ۱). بنابراین پهنه‌بندی ETp استان نشان می‌دهد که مقدار این فرا سنج از شرق به سمت غرب استان افزایش می‌یابد.

نظر به این‌که استان مورد مطالعه در اقلیمی واقع شده که فصل گرم و بدون بارش و فصل سرد و بارشی از خصوصیات آن است، بنابراین پهنه‌بندی ETp اطلاعات مفیدی را از مناطق مختلف استان در اختیار می‌گذارد و در شناسایی دقیق‌تر نواحی آب و هوایی آن سودمند است. پهنه‌بندی و بررسی مکانی ETp استان این امکان را می‌دهد که پتانسیل‌های لازم جهت استفاده‌ی بهینه از منابع آب در چه بخش‌هایی از آن یافت می‌شود. همچنین جهت بهره‌برداری مناسب از منابع آب در چنین مناطقی، اجرای طرح‌های آبخیزداری و ذخیره‌سازی آب‌های سطحی با توجه به کمبود آب و بالا بودن ETp در استان را امکان‌پذیر می‌سازد. چرا که اعمال مدیریت و بهره‌برداری مناسب منابع آب می‌تواند از فشار و شدت برداشت منابع آبی و در نتیجه از خشک شدن منطقه بکاهد.



مأخذ: نگارنده

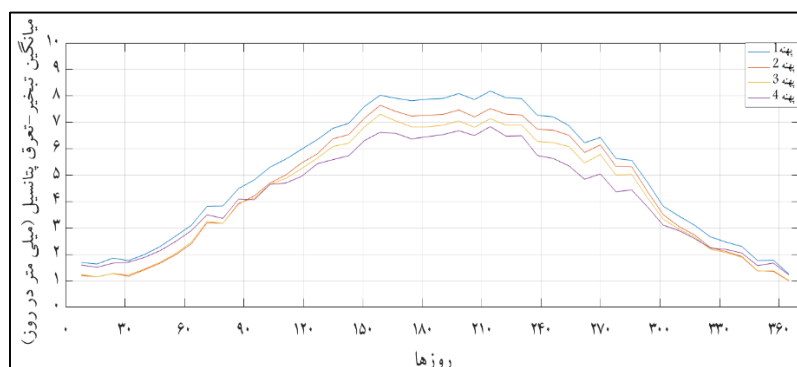
شکل ۶: نقشه‌ی پهنه‌بندی ETp ۸ روزانه‌ی استان در بازه‌ی زمانی مطالعاتی

جدول ۱: آماره‌های ETp در چهار پهنه.

کد پهنه	میانگین ETp (میلی‌متر در روز)	درصد ETp
یک	۵/۰۱	۱۳/۴۶
دو	۴/۵۱	۶/۲۶
سه	۴/۳۳	۴۵/۸۷
چهار	۴/۱۹	۳۴/۳۹

مأخذ: نگارندگان

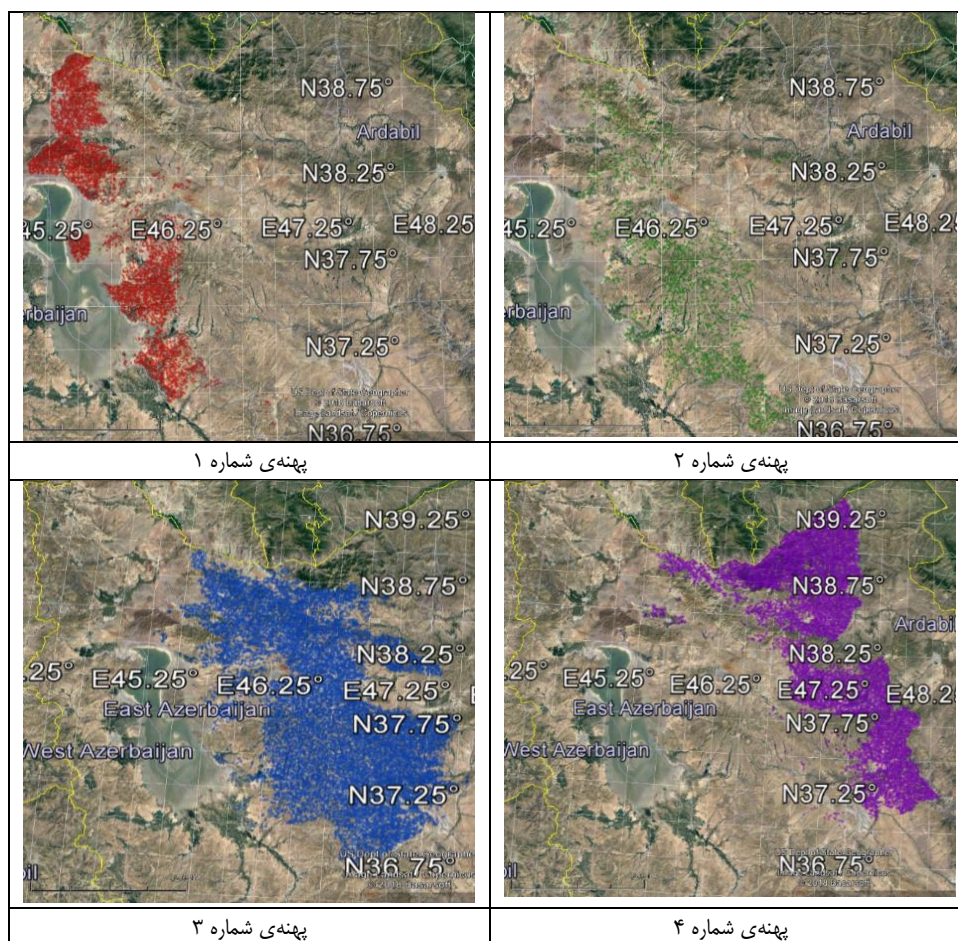
تغییرات ۸ روزانه‌ی میانگین ETp در شکل ۷ ارائه شده است. میانگین ETp در ماه‌های خرداد، تیر و مرداد بیشینه و در دی ماه کمینه است. تغییرات میانگین ۸ روزانه‌ی ETp استان از ۱/۲ میلی‌متر در روز در پهنه‌ی ۲ و ۳ تا ۱/۸ میلی‌متر در روز در پهنه‌ی ۱ افزایش می‌یابد. این نشان از پایداری بیش‌تر دوره‌ی گرم سال نسبت به دوره‌ی سرد سال دارد و نشان دهنده‌ی غلبه‌ی دوره‌های گرم در استان است. در مجموع این شکل بیانگر یکپارچگی ETp استان در درون هر چهار پهنه می‌باشد که نشان از غلبه‌ی دما و از آن جمله ETp در دوره‌ی گرم سال دارد.



مأخذ: نگارنده

شکل ۷: میانگین ETp در پهنه‌های (A) ۱، (B) ۲، (C) ۳ و (D) ۴ استان در بازه‌ی زمانی مطالعاتی

نظر به وسعت عرصه‌های طبیعی استان و ناهمگونی سطوح مختلف آن، یک بررسی مکانی روی جایگزینی یاخته‌های ETP مربوط به هر پهنه انجام شد (شکل ۸). بررسی ویژگی‌های جغرافیایی کانون ETP نشان داد که پهنه‌ی یک با تعداد ۴۵۹۰ یاخته، در غرب استان نمود یافته است. پهنه‌ی دو و سه به ترتیب با تعداد ۲۱۳۷ و ۱۵۶۴۳ یاخته در تمام گستره‌ی مرکز استان و ارتفاعات سه‌سهند و سبلان پراکنده شده‌اند. در این راستا پهنه‌ی چهار با تعداد ۱۱۷۳۰ یاخته از منتهی‌الیه شمال و شمال شرق استان با امتداد شمالی-جنوبی تا مرزهای جنوبی آن را پوشش داده است و کم‌ترین مقدار ETP را در میان چهار پهنه دارد. بدین ترتیب مشخص گردید که قلمرو هر کدام از پهنه‌های ETP هم‌خوانی زیادی با ویژگی‌های محیطی و جغرافیایی نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که نقشه‌های هم ETP استان در نرم‌افزار گوگل ارث ترسیم شده و مقیاس نقشه‌ها نیز بر روی آن‌ها قرار داده شده است. دقت مکانی داده‌ها 1×1 کیلومتر و داده‌ها اندازه‌گیری نشده بلکه برآورد ماهواره‌ای است.



مأخذ: نگارنده

شکل ۸: نقشه‌ی هم ETP استان

بحث و نتیجه‌گیری

به‌کارگیری داده‌های رقومی فرآورده‌ی ETP مودیس با تفکیک مکانی یک کیلومتر و بازه‌ی زمانی ۸ روزانه در گستره‌ی استان آذربایجان شرقی تصویر دقیق‌تری از تغییرات مکانی فرا سنج یادشده را ارائه می‌دهد. موقعیت جغرافیایی استان، گوناگونی ویژگی‌های محیطی آن بر اهمیت تفکیک مکانی داده‌های آب و هوایی می‌افزاید. نظر به این‌که ETP با ویژگی‌های رویه‌ی زمین، رطوبت نسبی، سرعت باد، تابش خورشیدی و دما در ارتباط است، بررسی آن اطلاعات مفیدی را از مناطق مختلف استان در اختیار می‌گذارد و در شناسایی دقیق‌تر نواحی آب و هوایی آن سودمند است. پهنه‌بندی ETP در گستره‌ی استان چهار پهنه‌ی مشخص را نمایان ساخت. نتایج نشان‌دهنده‌ی متفاوت بودن میانگین ETP در چهار پهنه‌ی مختلف ETP در استان می‌باشد، به‌طوری‌که میانگین ETP از شرق به سمت غرب استان افزایش می‌یابد. بنابراین می‌توان دریافت که یکی از دلایل خشک شدن دریاچه‌ی ارومیه وجود مقدار بالای ETP در مقابل واردات آب ناچیز این دریاچه است. همچنین نتایج نشان داد که اگرچه هر یک از پهنه‌های ETP از پیوستگی مکانی قابل‌توجهی برخوردار است اما با توجه به چگالی مکانی داده‌های ETP، بخش‌هایی از یک خوشه‌ی ETP به‌صورت جزایری درون پهنه‌های دیگر نمایان شده است که نشان از تأثیر شرایط محلی در پیدایش این جزایر ETP نسبت به اطراف خود دارد. نتایج این پژوهش با مطالعات ولیزاده (۱۳۹۳: ۳۳۴) مبنی بر افزایش ETP در سمت غرب استان و اکبری (۱۳۹۰: ۸۳۵؛ مرادی (۱۳۹۴: ۴۹) مبنی بر کار آبی و دقت مناسب تکنیک سنجش از دور جهت برآورد تبخیر-تعرق مطابقت دارد. در مجموع نتایج این پژوهش ضمن نشان دادن چهار پهنه‌ی مختلف ETP و تغییرات مکانی آن‌ها در استان، امکان مدیریت مکانی آب را نیز فراهم می‌آورد که خود گامی در جهت صرفه‌جویی و تخصیص بهینه‌ی آب به هر پهنه خواهد بود. در این پژوهش برای نخستین بار به پردازش رقومی داده‌های ETP در استان آذربایجان شرقی با تفکیک مکانی 1×1 کیلومتر پرداخته شده است.

منابع

- ۱- اکبری، مهدی. زهرا سیف و حمید زارع ابیانه. (۱۳۹۰): برآورد میزان تبخیر و تعرق واقعی و پتانسیل در شرایط اقلیمی مختلف با استفاده از سنجش از دور. نشریه‌ی آب و خاک، دوره ۲۵، شماره ۴، صص ۸۴۴-۸۳۵.
- ۲- بابامیری، امید. حامد نوذری و صفر معروفی. (۱۳۹۶): برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل بر اساس مدل‌های تصادفی سری زمانی (مطالعه موردی ایستگاه تبریز). پژوهش‌نامه‌ی مدیریت حوزه آبخیز، سال هشتم، شماره ۱۵، صص ۱۴۶-۱۳۷.

- ۳- ابوالحسنی، کیوان و کیوان زارعی. (۱۳۹۵): برآورد مکانی و پهنه‌بندی تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از روش‌های زمین‌آماري و سیستم اطلاعات جغرافیایی، فصلنامه تخصصی علوم و مهندسی آب - دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، سال ششم، شماره ۱۳، صص ۲۱-۷.
- ۴- ستاری، نسیم. احمد فاخری فرد و حسین علی حسینی‌ها. (۱۳۹۴): پهنه‌بندی شمال غرب کشور بر اساس نسبت بارش بر تبخیر و تعرق با روش‌های تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و وارد. مجله‌ی آب و خاک، شماره ۴، صص ۸-۱.
- ۵- شرقی، طاهره. حسین بری ابرقویی و محمدمبین اسدی و محمدرضا کوثری. (۱۳۸۹): برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع با استفاده از روش فائو - پنمن - مانتیت و پهنه بندی آن در استان یزد. فصل‌نامه‌ی علمی - پژوهشی خشک بوم، دوره ۱، شماره ۱، صص ۲۵-۳۳.
- ۶- کریمی جعفری، مسعود و سعید اسلامیان. (۱۳۹۰): ارزیابی روش‌های زمین‌آمار در تخمین تبخیر و تعرق پتانسیل، نخستین همایش ملی و هواشناسی و مدیریت آب کشاورزی ۱ و ۲ آذر ۱۳۹۰. پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران.
- ۷- ولیزاده کامران، خلیل. (۱۳۹۳): برآورد تبخیر-تعرق پتانسیل در آذربایجان شرقی به روش استفنز با استفاده از GIS. نشریه‌ی جغرافیا و برنامه‌ریزی، دوره ۱۸، شماره ۴۹، صص ۳۳۴-۳۱۷.
- ۸- مرادی، فرزانه. غلامعلی کمالی و مجید وظیفه دوست. (۱۳۹۴): ارزیابی محصول تبخیر و تعرق پتانسیل سنجنده‌ی MODIS با استفاده از آمار ایستگاه‌های همدیدی در استان زنجان. سال ششم، شماره ۲۳ و ۲۴، صص ۴۹-۳۹.
- 9- Geo, Ge. Chen, D. Ren, G. Chen, Yu. Lion, Y. (2017): Spatial and Temporal Variations and Controlling Factors of Potential Evapotranspiration in China: 1956–2000. *Journal of Geographical Sciences*, Vol. 16, Pp. 3-12.
- 10- Haiyun, Shi, Tiejian, Li, Guangqian, W. (2017): Temporal and Spatial Variations of Potential Evaporation and The Driving Mechanism Over Tibet During 1961–2001. *Hydrology Sciences Journal*, Vol. 62, PP. 1469-1482.
- 11- Jia, D. Kaishan, S. Zongming, W. Bai, Z. and Dianwei, L. (2013): Evapotranspiration Estimation Based on MODIS Products and Surface Energy Balance Algorithms for Land (SEBAL) Model in Sanjiang Plain. Northeast China, *China Geographical Science*, 23: 73–91.
- 12- Kathryn, A. Semmens, A. Martha, C. and Anderson, A. (2016): Monitoring Daily Evapotranspiration Over Two California Vineyards Using Landsat 8 In A Multi Sensor Data Fusion Approach. *Remote Sensing of Environment*, 185: 155–170.
- 13- Kitsara, G. Pappaioannou, G. Mitropoulos, A. Markopoulos P. (2005): Reference Crop Evapotranspiration and Agricultural Rainfall Index. *Proceedings of The 9th International Conference on Environmental Science and Technology*. Rhodes Island, Greece. Vol. 1, Pp. 6.
- 14- Liu, S. Bai, J. Jia, Z. Jia, L. Zhou, H. and Lu, L. (2010): Estimation of Evapotranspiration in The Mu Us Sand Land of China. *Hydro, Earth Syst.* 14: 573–584.
- 15- Mardikis, M.G. Kalivas, D.P. and Kollias, V.J. (2005): Comparison of Interpolation Methods for the Prediction of Reference Evapotranspiration-An Application in Greece. *Water Resource's Management*, 19: 251–278.
- 16- Marini, F., Santamaria, M., Oricchio, P., Di Bella, C.M., Basualdo, A. (2017): Estimacion of Real Evapotranspiration (ETR) and Potential Evapotranspiration (ETP) In The Southwest of the Buenos Aires Provinces (Argentina) Using MODIS Images. *Association Espanola de Teledeteccion*, 48, 29-41.
- 17- Mu, QZ. Zhao, MS. and Running, SW. (2011): Improvements To A MODIS Global Terrestrial Evapotranspiration Algorithm. *Remote Sensing of Environment*, 115: 1781–1800.
- 18- Nam, W. H. Hong, E. M. and Choi, J. Y. (2015): Has Climate Change Already Affected The Spatial Distribution and Temporal Trends of Reference Evapotranspiration in South Korea. *Agricultural Water Management*, 150: 129-138.

- 19- Ray, S. S. and Dadhwal, V. K. (2001): Estimation of Crop Evapotranspiration of Irrigation command area using remote sensing and GIS. *Agricultural Water Manage Mend*, 49: 239-249.
- 20- Sabziparvar, A. (2008): A Simple Formula for Estimating Global Solar Radiation in Central Arid Deserts of Iran. *J., Renewable Energy*, 33: 1002-1010.
- 21- Sun, Z. Wei, B. Su, W. Shen, W. Wang, C. You, D. and Liu, Z. (2011): Evapotranspiration Estimation Based On The SEBAL Model In The Nansi Lake Wetland of China. *Mathematical and Computer Modelling*, 54: 1086-1092.
- 22- Valipour, m. (2015): Investigation of Valiant As' Evapotranspiration Equation in Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 121: 267-278.
- 23- Zhang, Q. Xu, Ch. and Xiao Hong, Ch. (2011): Reference Evapotranspiration Changes in China: Natural Processes or Human Influences. *Theoretical and Applied Climatology*, 103: 479-488.
- 24- Zinging, L. Qi, F. Wei, L. Tinging, W. Yan, G. Yamin, W. Aifang, C. Jingguo, L. and Li, L. (2015): Spatial and Temporal trend of Potential Evapotranspiration and Related driving Forces in Southwestern China, during 1961-2009. *Quaternary International*, 336: 127-144.