

بررسی تغییرات زمانی تبخیر- تعرق واقعی و ارتباط آن با دما و بارش در استان آذربایجان شرقی با استفاده از فرآورده دورسنجی مودیس ترا

فاطمه جعفری شندی- دانشجوی دکتری آب‌وهواشناسی گروه جغرافیای طبیعی دانشگاه تبریز
سعید جهان‌بخش اصل* - استاد دانشگاه تبریز
مجید رضایی بنفشه- دانشیار گروه جغرافیای طبیعی دانشگاه تبریز
سید ابوالفضل مسعودیان- استاد آب و هواشناسی، دانشگاه اصفهان

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۶/۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۹/۲۷

چکیده

بحران آب به همراه اثرهای منفی تغییر اقلیم یکی از دغدغه‌های بشر در سطح جهانی است. تغییرات بلندمدت فراسنج‌های اقلیمی در نتیجه انتشار گازهای گلخانه‌ای تأثیر معنی‌داری در منابع آب تجدیدپذیر داشته است. در این پژوهش به بررسی تغییرات زمانی تبخیر- تعرق واقعی (ETA) و ارتباط آن با دما و بارش استان آذربایجان شرقی پرداخته شد. برای این کار از داده‌های فرآورده دورسنجی MOD16A2 سنجنده مودیس در بازه زمانی ۲۰۰۰-۲۰۱۴ استفاده شد. تفکیک اسمی داده‌های به کار گرفته شده سنجنده مودیس ۱۰۰۰ متر است. در این پژوهش، علاوه بر داده‌های فرآورده MOD16A2، داده‌های دماهای بیشینه، کمینه، و بارش ۱۱ ایستگاه همدید استان نیز به کار گرفته شد. هدف از این پژوهش مقایسه مقادیر ETA پایگاه ntsg با دما و بارش استان است. نخست میانگین داده‌های رقومی تبخیر- تعرق واقعی استان بر روی ۱۲۴۵۴۸ یاخته برآورد شد. سپس، به روش همبستگی و تحلیل رگرسیون پیوند بین دماهای بیشینه، کمینه، و بارش ایستگاه‌های همدید با تبخیر- تعرق واقعی ارزیابی شد. نتایج نشان داد که همبستگی خطی دماهای بیشینه و دمای کمینه با تبخیر- تعرق واقعی یاخته نماینده ایستگاه‌ها به صورت مستقیم و منفی بوده و با افزایش هر 1°C دما، مقدار تبخیر- تعرق واقعی به اندازه $0.2/0$ میلی‌متر در روز کاهش می‌یابد.

کلیدواژه‌گان: بارش، تبخیر- تعرق واقعی، تغییر اقلیم، دما، سنجنده مودیس ترا.

مقدمه

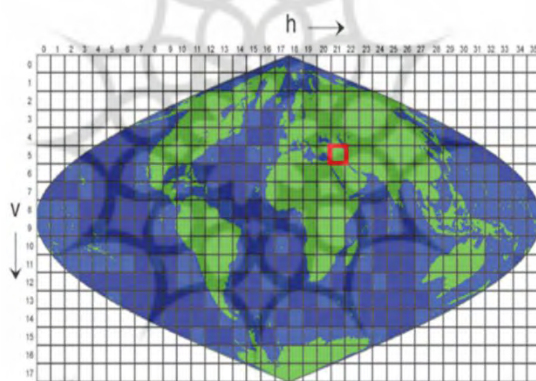
گسترش روزافزون صنایع و استفاده بی‌رویه از سوخت‌های فسیلی موجب افزایش گازهای گلخانه‌ای و گرمایش جهانی و بروز پدیده تغییر اقلیم شده است. اثر فعالیت‌های بشری روی محیط، به‌ویژه آن‌هایی که در ارتباط با گرم‌شدن ناشی از افزایش گازهای گلخانه‌ای هستند، نشان می‌دهد که، به احتمال زیاد، تعدادی از فراسنج‌های اقلیمی در حال تغییرند (ودرهیت و همکاران، ۲۰۰۲: ۴۰۰). از مهم‌ترین فراسنج‌های اقلیمی که در جو زمین تحت تأثیر گازهای گلخانه‌ای قرار دارند دمای هوا و افزایش آن در نزدیک سطح زمین است که تبادل رطوبتی بین سطح زمین و آتمسفر را از طریق فرایند تبخیر کنترل می‌کند (سان و همکاران، ۲۰۰۵: ۳۷). به طوری که میانگین دمای کره زمین در صد سال گذشته 0.74°C درجه سلسیوس افزایش یافته و تا سال ۲۱۰۰ این افزایش به ۳ درجه سلسیوس خواهد رسید (لوین سون و فتیگ، ۲۰۱۴: ۳۴). در حال حاضر گرم‌شدن کره زمین و

پاسخ‌های زیست‌محیطی آن باعث تغییرات زیادی در سیستم هیدرولوژیکی محلی و منابع آب در دسترس شده است (میسخ کی و همکاران، ۲۰۱۰: ۹۵) که پیامد آن، به‌ویژه در مناطق آسیب‌پذیر، پدیده خشک‌سالی است که از مهم‌ترین بلایای طبیعی (ناشی از کمبود بارش) تلقی می‌شود و زیان‌های بسیاری را بر جوامع بشری وارد می‌کند (پیرمردیان و همکاران، ۲۰۰۰: ۶۵). مدیریت بهینه مصرف آب در چند دهه گذشته موضوع بحث بسیاری از محافل علمی است. اولین گام در بهبود مدیریت بهره‌برداری آب و در نهایت افزایش راندمان مصرف، برآورد دقیق ET است. عنصر ET یکی از مهم‌ترین اجزای بیلان آبی در طبیعت محسوب می‌شود و بسیار متأثر از مؤلفه‌های اقلیمی مهم همچون دما است و تحت تأثیر تغییر اقلیم می‌تواند واکنش‌های مختلفی را از خود بروز دهد (گویال، ۲۰۰۴: ۱). بنابراین، در بررسی بیلان آب هر حوضه، محاسبه ET اهمیت زیادی دارد (جعفرپور، ۲۰۰۲: ۱۱۰). زیرا ET به همراه جریان سطحی و نفوذ آب در خاک از جمله مؤلفه‌های بیلان آب محسوب می‌شود. با توجه به تغییرات زمانی- مکانی فراسنج‌های اقلیمی و در نتیجه ET، استفاده از روش‌های مبتنی بر سنجش از دور، که این تغییرات را در نظر می‌گیرند، مطلوب‌تر است. کریمی و همکاران (۲۰۱۳: ۳۵۳) با استفاده از تصاویر لندست و الگوریتم سبال به برآورد ETa در دشت ماهیدشت کرمانشاه پرداختند. ثنائی‌نژاد و همکاران (۲۰۱۲: ۵۴۰) توزیع مکانی ETa در زیرحوضه آبریز مشهد را با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس و به‌کارگیری الگوریتم سبال با احتساب اثرهای توپوگرافی بررسی کردند. براساس نتایج به‌دست‌آمده، نواحی‌ای با پوشش گیاهی پراکنده و کم با دمای پایین دارای مقادیر بالای ETa هستند و مناطق دارای دمای بالا و پوشش گیاهی پراکنده و کم از مقدار ETa کمی برخوردارند. امیدوار و همکاران (۲۰۱۳: ۳۸) پژوهشی به برآورد ETa با استفاده از تصاویر سنجنده استر و مدل متریک در ایستگاه‌های مشهد، گل‌مکان، و قوچان پرداختند. نتایج حاکی از حداکثر میزان ETa برای سه ایستگاه یادشده به‌ترتیب برابر با ۹/۱۳، ۷/۲۹، و ۲/۳۷ میلی‌متر در روز است. فالز و همکاران (۲۰۰۹: ۳۹۸) با استفاده از تصاویر ماهواره لندست و مدل بیلان انرژی مقادیر ETa را در برزیل محاسبه کردند. نتایج نشان داد که مدل متریک می‌تواند به منظور برآورد مصرف آب و بهبود مدیریت آن در نواحی نیمه‌خشک و تحت آبیاری شمال شرق برزیل به‌کار رود. سان و همکاران (۲۰۱۱: ۱۰۸۶) با استفاده از تصاویر لندست به برآورد ETa در کاربری‌های مختلف و برای حوضه دریاچه ناسی در چین پرداختند و نتایج مثبتی را از آن گزارش کردند. باباجعفری و همکاران (۲۰۱۵: ۱) با استفاده از تصاویر سنجنده AVHRR، NOAA، و به‌کارگیری الگوریتم SEBS، مقادیر ETa را به‌صورت ماهانه برای کاربری‌های کشاورزی در منطقه آخوله دشت تبریز برآورد کردند. مقایسه نتایج حاصل از الگوریتم یادشده با مقادیر مشاهداتی نشان از دقت مناسب مدل با ضریب تعیین ۰/۸ دارد. در این راستا، مرادی و همکاران (۲۰۱۶: ۳۹) به ارزیابی دقت فرآورده تبخیر- تفرق پتانسیل سنجنده مودیس با استفاده از آمار ایستگاه‌های همیدی استان زنجان پرداختند. ایشان ابتدا تبخیر- تفرق پتانسیل روزانه را به روش پنمن مانیتیت فائو در چهار ایستگاه زنجان محاسبه کردند و با نتایج حاصله از محصول تبخیر- تفرق سنجنده مودیس مقایسه کردند. نتایج بررسی ایشان نشان داد که فرآورده سنجنده مودیس میزان تبخیر- تفرق پتانسیل را به‌جز در یکی از ایستگاه‌ها کم‌تر از میزان محاسبه‌شده به روش پنمن مانیتیت فائو برآورد کرده است. از میان سایر روش‌های برآورد ETa با استفاده از داده‌های سنجش از دور می‌توان به پژوهش‌های آلن و همکاران (۲۰۰۰: ۳۸۰) با استفاده از مدل METRIC و پژوهش‌های کاویانی و همکاران (۲۰۱۱: ۱۶۱)، جیا و همکاران (۲۰۱۳: ۷۳)، جرج و همکاران (۲۰۱۳: ۱)، پاک‌پرور و همکاران (۲۰۱۴: ۲۰۱۴)، و رضایی‌بنفشه و همکاران (۲۰۱۴: ۲۴۱) با استفاده از مدل SEBI اشاره کرد. در تحقیقات یادشده، محققان برای ارزیابی ETa از الگوریتم‌های METRIC و SEBI استفاده کردند. طبق تحقیق مو و همکاران (۲۰۰۷)، در بیشتر این الگوریتم‌ها از اصل تبادل انرژی بین اتمسفر و سطح زمین استفاده شده است. اگرچه در این روش‌ها ارزیابی تابش خالص به‌نسبت دقیق صورت می‌گیرد، به‌سبب پیچیده‌بودن شارهای (آهنگ تغییر) گرمای خاک و گرمای محسوس ارزیابی مقادیر

ETA با عدم قطعیت روبه‌روست. علاوه بر این، به‌نظر می‌رسد که هنوز فرآوردهٔ ETA در کشور برای یک دورهٔ مستمر چندساله به وسیلهٔ ایستگاه‌های زمینی ارزیابی نشده است. از این رو، در پژوهش حاضر به مقایسهٔ داده‌های رقمی ETA پایگاه ntsg با دما و بارش استان پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش برای واکاوی ETA استان آذربایجان شرقی، از داده‌های فرآوردهٔ دورسنجی MOD16A2 در فواصل زمانی هشت روزانه در بازهٔ زمانی ۲۰۱۴-۲۰۰۰ استفاده شد. فرآورده‌هایی که دارای پیشوند MOD هستند از داده‌های ماهوارهٔ ترا بهره می‌گیرند. سیستم تصویر این فرآورده سینوسی است و داده‌های آن با فرمت HDF بر روی وبگاه مربوطه در دسترس است (ftp://ftp.ntsg.umt.edu). برای خواندن این داده‌ها، از دستور HDFTOOL در نرم‌افزار متلب استفاده شده است. داده‌های عددی ETA استان مورد مطالعه در داخل کاشی H21v05 در دسترس است. اندازهٔ این کاشی ۱۲۰۰ × ۱۲۰۰ کیلومتر است. حرف H بیانگر وجه افقی و حرف V نشان‌دهندهٔ وجه عمودی کاشی است (شکل ۱). در این پژوهش، علاوه بر داده‌های فرآوردهٔ MOD16A2، داده‌های دماهای بیشینه، کمینه، و بارش ۱۱ ایستگاه همدید استان نیز در بازهٔ زمانی ۲۰۱۴-۲۰۰۰ به‌کار گرفته شد (جدول ۱).



شکل ۱. جایگاه کاشی ۱۲۰۰ × ۱۲۰۰ کیلومتری فرآوردهٔ مودیس محدودهٔ سرخرنگ

جدول ۱. موقعیت ایستگاه‌های همدید مورد مطالعه

ردیف	نام ایستگاه	طول جغرافیایی (درجهٔ قوسی)	عرض جغرافیایی (درجهٔ قوسی)	ارتفاع از دریا (متر)
۱	اهر	۴۷/۰۵۱۵۱۷	۳۸/۴۸۹۳۷	۱۳۶۴
۲	بناب	۴۶/۰۵۲۱۶۹	۳۷/۳۷۰۰۳۶	۱۳۷۸
۳	تبریز	۴۶/۲۳۳۷۸۰	۳۸/۱۲۲۴۳۳	۱۳۲۷
۴	شرق تبریز	۴۶/۳۴۳۸۶۰	۳۸/۰۵۳۳۱۲	۱۳۹۱
۵	جلفا	۴۵/۶۰۷۲۴۷	۳۸/۹۳۲۰۷۰	۱۳۶۳
۶	سراب	۴۷/۵۰۷۸۳۲	۳۷/۹۳۵۱۱۲	۱۳۶۵
۷	سهند	۴۶/۱۴۶۱۴۵	۳۷/۳۷۷۷۰۲	۱۳۶۸
۸	کلیبر	۴۷/۰۳۲۶۸۵	۳۸/۸۶۸۸۹۵	۱۳۷۸
۹	مراغه	۴۶/۲۴۵۶۲۱	۳۷/۳۹۰۶۳۷	۱۳۶۲
۱۰	مرند	۴۵/۷۷۰۳۵۰	۳۸/۳۸۱۶۴۳	۱۳۷۸
۱۱	میانه	۴۷/۳۲۲۰۰۸	۳۷/۴۲۱۰۸۲	۱۳۶۵

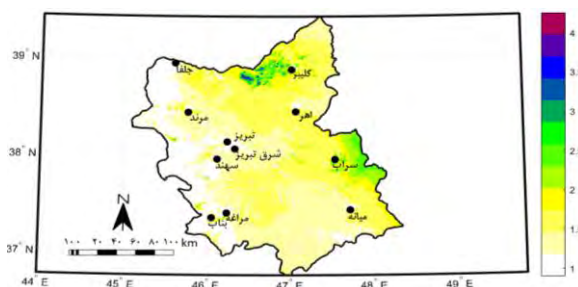
از آن‌جا که تفکیک اسمی داده‌های به‌کارگرفته‌شده سنجنده مودیس ۱۰۰۰ متر است، به مختصات دقیق جغرافیایی ایستگاه‌های هواشناسی نیاز است تا بتوان داده‌های ایستگاه‌های زمینی را با نزدیک‌ترین یاخته نماینده ایستگاه‌ها بر روی تصاویر سنجنده مودیس مقایسه کرد. این کار برای ارزیابی توانایی سنجنده مودیس در برآورد داده‌های ETa در منطقه ایجاد شد. به همین منظور، از نرم‌افزار Google Earth برای یافتن مختصات ایستگاه‌ها استفاده شد. در ادامه مختصات هر ایستگاه همدید بر روی منطقه با مختصات داده‌های مودیس مقایسه شد و نزدیک‌ترین یاخته سنجنده مودیس به هر ایستگاه به عنوان یاخته نماینده ایستگاه برگزیده شد.

از آن‌جا که ET در حله اول متأثر از عنصر دما است، برای تبیین بیشتر Eta، به واکاوی همبستگی بین دماهای بیشینه و کمینه تک‌تک ایستگاه‌های همدید با تبخیر- تعرق یاخته نماینده آن‌ها بر روی سنجنده مودیس اقدام شد. همچنین، بر روی ماتریس داده‌های یادشده عمل تحلیل رگرسیون اعمال شد تا میزان تغییرات ETa آشکار شود. در ادامه چون هدف از پژوهش کنونی برآورد ETa برای تبیین بیلان آب استان است، همبستگی بین بارش ایستگاه‌های همدید استان با ETa یاخته نماینده آن‌ها نیز ارزیابی شد. با توجه به این‌که داده‌های سنجنده مودیس به‌صورت هشت روزانه هستند، با برنامه‌نویسی در نرم‌افزار متلب، داده‌های دماهای بیشینه، کمینه، و بارش ایستگاه‌ها نیز متناسب با داده‌های سنجنده مودیس هشت روزانه شد و یک ماتریس با آرایه 690×11 به‌دست آمد که عدد ۶۹۰ نماینده زمان داده‌های ETa هشت روزانه و عدد ۱۱ نماینده ایستگاه‌های همدید بوده است. بررسی‌ها نشان داد که سنجنده مودیس فقط داده‌های ETa یاخته‌های نماینده ایستگاه‌های اهر، جلفا، سراب، سهند، مرند، و میانه را در اختیار قرار می‌دهد و برای سایر ایستگاه‌ها به دلیل قرارگیری یاخته در کلاس پوشش زمینی، که در حال ساخت و ساز می‌باشند، داده ETa ثبت نشده است.

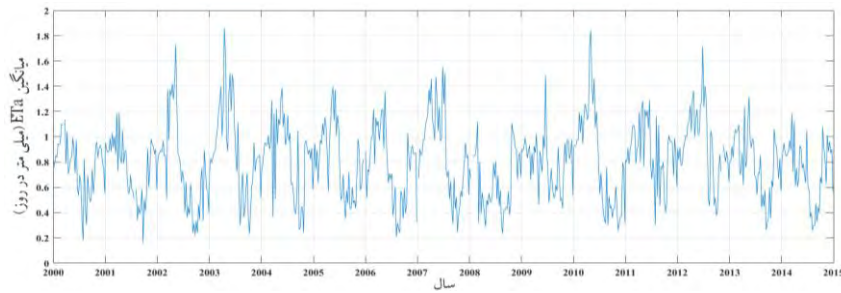
یافته‌های تحقیق

برای برآورد مقدار ETa بلندمدت استان، به پردازش رقومی داده‌های ETa بر روی ۱۲۴۵۴۶ یاخته داخل مرزهای استان پرداخته شد (شکل ۲). میانگین فراسنج یادشده در بازه زمانی ۲۰۰۰-۲۰۱۴، $0/6$ میلی‌متر در روز برآورد شد. علاوه بر این، برای بررسی میزان تغییرات زمانی ETa، سری زمانی میانگین آن به‌طور سالانه در بازه زمانی مطالعاتی ترسیم شد (شکل ۳). با توجه به شکل ۳، می‌توان گفت که بالاترین مقدار ETa استان در سال‌های ۲۰۰۳، $1/9$ میلی‌متر در روز و پایین‌ترین آن در سال ۲۰۰۱، $0/1$ میلی‌متر در روز بوده است.

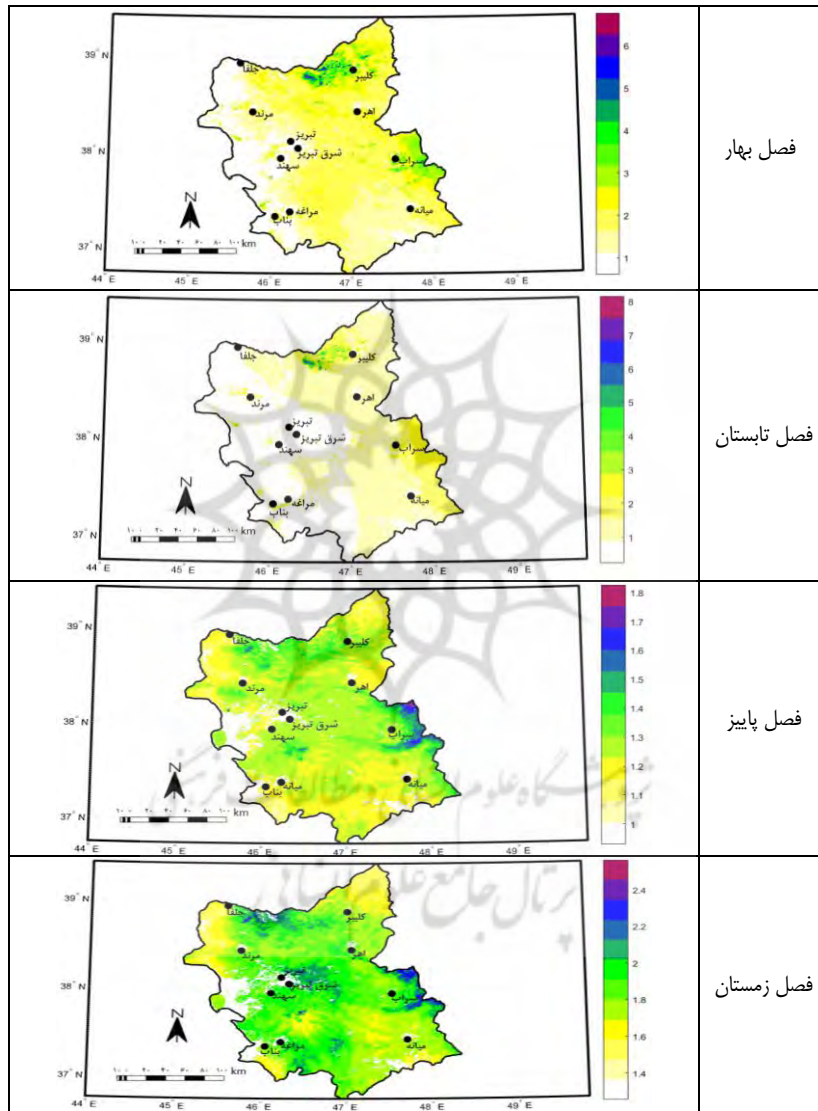
بر اساس شکل ۴، مشخص می‌شود که مناطقی با بیشترین و کمترین مقدار تبخیر در هر یک از فصول سال متفاوت‌اند و، بسته به زمان آن، مناطق مختلفی را در سطح استان شامل می‌شود. کمترین مقدار تبخیر- تعرق واقعی استان در فصول گرم سال است (جدول ۲). زیرا در این فصول منابع آب کمتری برای تبخیر نسبت به فصول سرد در دسترس است. به عبارتی، مقدار تبخیر- تعرق واقعی در فصل فراوانی آب بیشتر می‌شود.



شکل ۲. نقشه میانگین ETa در بازه زمانی پانزده‌ساله



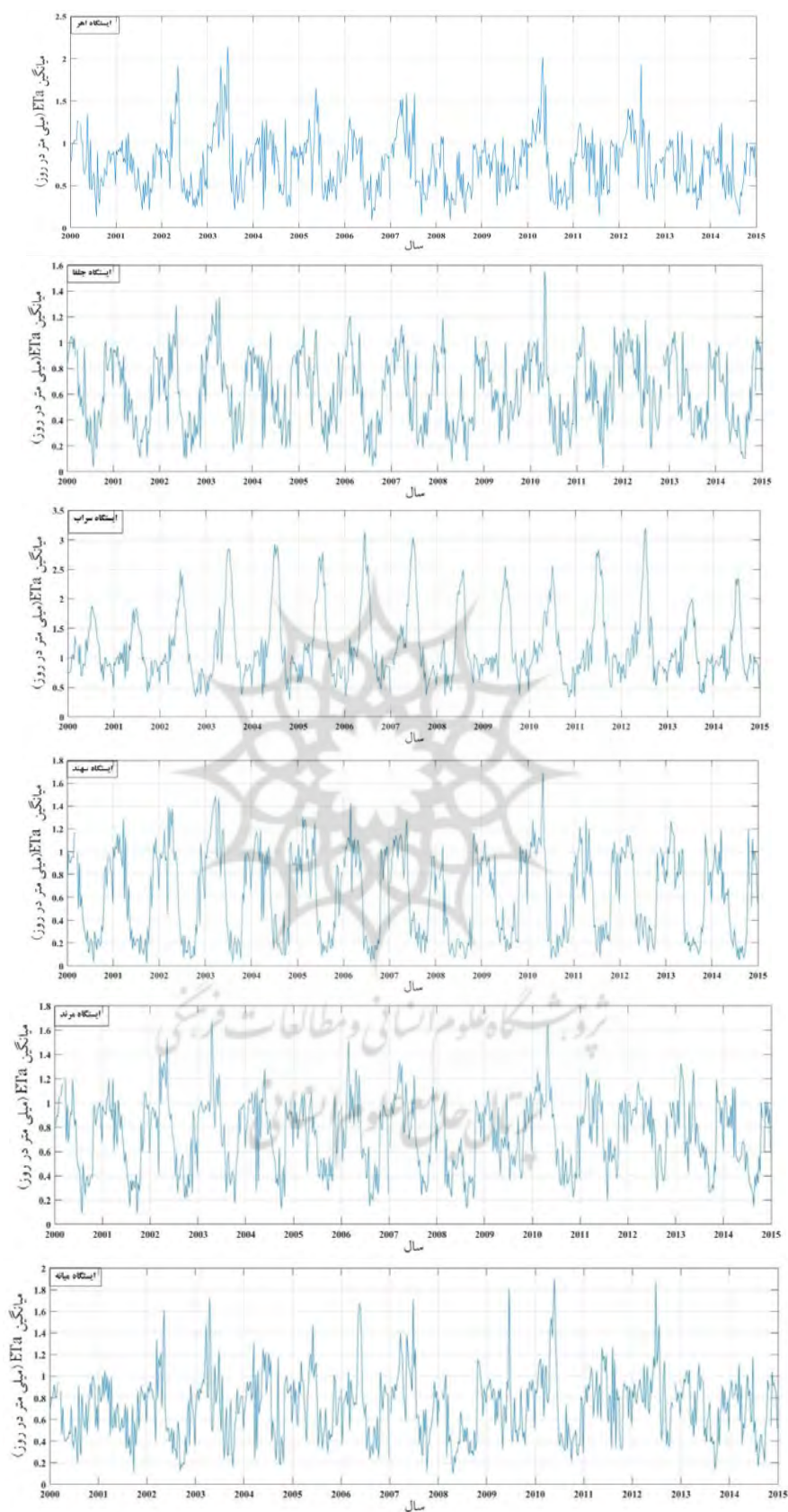
شکل ۳. نمودار سری زمانی میانگین ETa (میلی متر در روز) یاخته‌های استان در بازه زمانی پانزده‌ساله



شکل ۴. نقشه میانگین ETa در فصول مختلف سال در بازه زمانی پانزده‌ساله

جدول ۲. مقادیر میانگین ETa در مقیاس فصلی

نام فصل	مقدار
بهار	۰/۷
تابستان	۰/۴
پائیز	۰/۶
زمستان	۰/۷



شکل ۵. سری زمانی ETa (میلی متر در روز) یاخته نماینده ایستگاه‌ها در بازه زمانی پانزده ساله (منبع: نگارنده)

در ادامه، برای بررسی میزان تغییرات زمانی ETa ایستگاه‌های همدید زمینی، سری زمانی آن‌ها در بازه زمانی مطالعاتی ترسیم شد (شکل ۵). با توجه به شکل ۵، می‌توان دریافت که بالاترین و پایین‌ترین مقدار تغییرات ETa ایستگاه‌های زمینی مربوط به ایستگاه‌های سراب و سه‌پند بوده است و مقدار آن به ترتیب ۳/۳ (میلی‌متر در روز) در سال ۲۰۱۲ و ۰/۰۱ (میلی‌متر در روز) در سال ۲۰۰۱ است.

از آن‌جاکه یکی از گام‌های اساسی در ارزیابی اثرهای تغییر اقلیم بررسی تغییرات دما است و تغییرات دما نیز در نوع خود موجب تغییراتی در مؤلفه‌های چرخه هیدرولوژیکی و از آن جمله ETa می‌شوند، بررسی تغییرپذیری ETa در صورت وقوع نوسانات دماهای بیشینه و کمینه ضروری است. برای این منظور، نخست میانگین دماهای بیشینه و کمینه هشت روزانه ایستگاه‌های همدید زمینی و میانگین مقادیر ETa هشت روزانه یاخته مربوط به هر یک از ایستگاه‌های زمینی محاسبه شد. در جدول ۳ مقادیر میانگین دماهای بیشینه و کمینه ایستگاه‌های اهر، جلفا، سراب، سه‌پند، مرند، و میانه ارائه شده است (برای سایر ایستگاه‌ها به دلیل قرارگیری یاخته در کلاس پوشش زمین ساخت‌وساز شده داده‌ای ثبت نشده است). دلیل متفاوت بودن مقادیر ETa در جدول ۳ با ETa برآورد شده در ۱۲۴۵۴۸ یاخته استان این است که در جدول ۳ مقدار تبخیر- تعرق واقعی یاخته‌ای که هر یک از ایستگاه‌های زمینی در آن واقع شده بود به‌عنوان مقدار ETa ایستگاه‌ها محسوب شد.

در ادامه، به سبب هم‌خط بودن دما با ETa، همبستگی بین میانگین دماهای بیشینه و کمینه هشت روزانه شش ایستگاه همدید با ETa هشت روزانه یاخته نماینده ایستگاه‌ها در سطح اطمینان ۹۵ درصد برآورد شد (جدول ۴). طبق جدول ۴، بالاترین ضریب همبستگی بین فراسنج‌های یادشده در ایستگاه جلفا، سه‌پند، و سراب $R = -0.6$ بوده است.

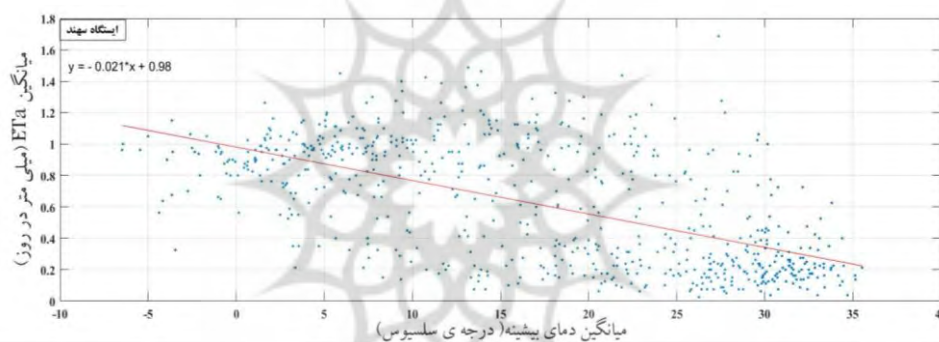
جدول ۳. میانگین دمای ایستگاه‌های همدید مورد مطالعه و ETa هشت روزانه یاخته نماینده آن‌ها

نام ایستگاه	دمای ایستگاه‌ها (درجه سلسیوس)	ETa (میلی‌متر در روز)	دمای بیشینه (درجه سلسیوس)	دمای کمینه (درجه سلسیوس)
اهر	۱۱٫۵	۲٫۵	۳۵٫۰۵	۱۷٫۹۳
جلفا	۱۵٫۳	۱٫۶	۴۱٫۸۳	۲۶٫۲۳
سراب	۹٫۳	۲٫۵	۳۳٫۹۳	۱۴٫۷۶
سه‌پند	۱۲٫۵	۱٫۸	۳۵٫۵۳	۲۴٫۴۷
مرند	۱۲٫۳	۱٫۸	۳۵٫۴	۲۵٫۰۵
میانه	۱۴٫۶	۲	۴۰٫۴۷	۲۲٫۷۳

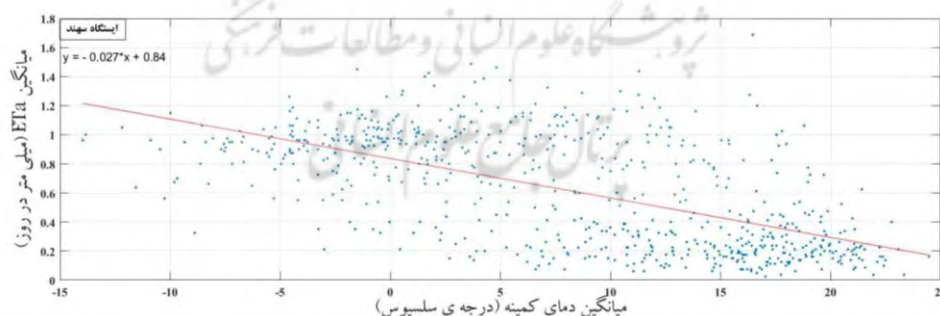
جدول ۴. مقادیر همبستگی میانگین دماهای بیشینه و کمینه با داده‌های ETa یاخته نماینده ایستگاه‌های همدید

نام ایستگاه	دمای بیشینه (درجه سلسیوس)	دمای کمینه (درجه سلسیوس)
اهر	-۰٫۲	-۰٫۲
جلفا	-۰٫۶	-۰٫۶
سراب	-۰٫۶	-۰٫۶
سه‌پند	-۰٫۶	-۰٫۶
مرند	-۰٫۳	-۰٫۴
میانه	-۰٫۱	-۰٫۱

باد و نم نسبی ایستگاه سهند و میانگین آن‌ها در تاریخ ۱۳۸۵/۱۰/۹، که سنجنده برای ETa مقادیری را در دمای زیر صفر درجه سلسیوس اندازه‌گیری شکل‌های ۶ و ۷ نقاط پراکنش مقادیر میانگین دماهای بیشینه و کمینه هشت روزانه ایستگاه‌های سهند را با ETa هشت روزانه یاخته نمایند آن‌ها نشان می‌دهند. بررسی‌ها نشان داد که بین فراسنج‌های یادشده رابطه معکوس برقرار است؛ به طوری که افزایش دمای سطح زمین سبب کاهش ETa و خشکی سطح زمین می‌شود. اساساً بایستی بین دما و ETa رابطه مثبت وجود داشته باشد. تنها عاملی که می‌تواند این رابطه را بر هم بزند نبود آب کافی در محل است. در این گونه موارد، به‌رغم دمای بالای هوا، مقدار تبخیری که سنجنده بر روی یاخته نمایند ایستگاه‌ها اندازه‌گیری کرده پایین بوده است. برخی نقاط پراکنش نیز، به‌رغم دمای زیر صفر درجه سلسیوس، مقادیر بالایی از ETa را نشان می‌دهند. برای واکاوی دقیق‌تر نقاط یادشده، از آن‌جا که ETa تابعی از عوامل مختلف هواشناسی همچون رطوبت نسبی و سرعت باد است، به‌همین منظور، میانگین باد و نم نسبی ایستگاه‌های مطالعاتی در تاریخ روزهایی که سنجنده در دمای زیر صفر درجه سلسیوس مقادیر بالایی از ETa را اندازه‌گیری کرده است بررسی شد. نخست میانگین باد و نم نسبی ایستگاه‌ها و سپس میانگین آن‌ها در تاریخ روزهای یادشده محاسبه شد تا تأثیر فراسنج‌های یادشده در مقدار توزیع ETa مشخص شود. برای نمونه، در جدول ۵، میانگین کرده، ارائه شده است.



شکل ۶. نمودار همبستگی میانگین دمای بیشینه با میانگین ETa هشت روزانه یاخته نمایند ایستگاه سهند



شکل ۷. نمودار همبستگی میانگین دمای کمینه با میانگین ETa هشت روزانه یاخته نمایند ایستگاه سهند

جدول ۵. وضعیت باد و نم نسبی ایستگاه سهند در تاریخ ۱۳۸۵/۱۰/۹

میانگین باد ایستگاه در مطالعاتی (متر بر ثانیه)	میانگین باد ایستگاه در تاریخ ۱۳۸۵/۱۰/۹ (متر بر ثانیه)	میانگین نم نسبی در دوره مطالعاتی (درصد)	میانگین نم نسبی در تاریخ ۱۳۸۵/۱۰/۹ (درصد)
۴/۶	۱/۴	۲۴/۰۵	۴۰/۳۲

با توجه به جدول ۴، می‌توان نتیجه گرفت که تأثیر میانگین نم نسبی ایستگاه سهند در تاریخ یادشده نسبت به میانگین باد در آن تاریخ در افزایش ETa ایستگاه در دماهای زیر صفر درجه سلسیوس بیشتر بوده است. در ادامه، برای واکاوی تغییرات ETa در سطح استان، یک مدل رگرسیون خطی بر روی ماتریس داده‌های دمای بیشینه با ETa هشت روزانه ایستگاهها برآزش داده شد و، با بررسی حدود بالا و پایین شیب خط تغییرات ETa در سطح اطمینان ۹۵ درصد، مقدار تغییرات فراسنج یادشده به روش رابطه ۱ برآورد شد:

$$B(1,1) + B(2,1) \times T = ET \quad (1)$$

در رابطه ۱، ET تغییرات (ETa (mm.d) است، T دماهای بیشینه و کمینه شش ایستگاه (C°، 1، 2) B شیب (در سطح اطمینان ۹۵ درصد)، و B (1, 1) عرض از مبدأ است. نتایج بررسی‌ها نشان داد که با افزایش دما به اندازه 1 C°، ETa در سطح استان ۰/۰۲ میلی‌متر در روز کاهش می‌یابد.

در ادامه، با توجه به هدف پژوهش (مقایسه مقادیر رقومی ETa پایگاه ntsg با دما و بارش استان)، رابطه بین بارش ایستگاه‌های همدید زمینی با ETa یاخته نماینده آن‌ها در بازه زمانی مطالعاتی واکاوی شد. بررسی همبستگی میانگین بارش‌های هشت روزانه ایستگاه‌های همدید زمینی با میانگین ETa هشت روزانه یاخته نماینده آن‌ها در بازه زمانی مطالعاتی نشان داد که بین فراسنج‌های یادشده رابطه مثبت برقرار بوده است. رابطه مثبت بین بارش و ETa را می‌توان این‌گونه توجیه کرد که هر چه میزان بارندگی بیشتر باشد آب قابل دسترس گیاه و خاک زیاد و موجب افزایش ETa خواهد شد. برای نمونه، نقاط پراکنش مقادیر میانگین بارش هشت روزانه ایستگاه سهند با ETa هشت روزانه یاخته نماینده آن در شکل ۸ ارائه شده است. مقادیر میانگین بارش و همبستگی آن با میانگین ETa یاخته‌ای که ایستگاه سهند در آن قرار گرفته در جدول ۶ ارائه شده است. مقادیر در سطح ۹۵ درصد معنادارند.



شکل ۸. نمودار همبستگی میانگین بارش با میانگین ETa یاخته نماینده ایستگاه سهند

جدول ۶. مقادیر همبستگی بارش با داده‌های ETa ایستگاه‌های همدید

نام ایستگاه	میانگین بارش (میلی‌متر)	همبستگی بارش با ETa (میلی‌متر در روز) یاخته نماینده ایستگاه‌ها
اهر	۲۷۱/۳۴	۰/۲۲
جلفا	۲۳۳/۹	۰/۱
سراب	۲۴۸	۰/۰۹
سهند	۲۰۵/۳۸	۰/۲۲
مرند	۳۷۴	۰/۱۸
میانه	۲۷۱	۰/۰۸

بحث و نتیجه‌گیری

بررسی داده‌های رقومی ETa استان آذربایجان شرقی نشان داد که بین میانگین دماهای بیشینه و کمینه هشت روزانه ایستگاه‌های زمینی با ETa هشت روزانه یاخته نماینده آن‌ها رابطه معکوس و منفی برقرار است. اصولاً باید بین دما و ETa رابطه مستقیم وجود داشته باشد؛ زیرا هر چه هوا گرم‌تر می‌شود گیاه آب بیشتری را تبخیر می‌کند. تنها یک عامل می‌تواند این رابطه را بر هم بزند و آن نبود آب در منطقه است. بنابراین وجود رابطه منفی بین دما و ETa را می‌توان این‌گونه توجیح کرد که با نزدیک شدن به فصل گرم سال منابع محلی آب رو به کاهش می‌گذارند؛ در نتیجه با کم شدن آب با وجود افزایش دما، مقادیر ETa کاهش می‌یابد. به سبب این که آب چندان برای تبخیر در محل موجود نیست. همچنین، نتایج نشان داد که کمترین مقدار ETa استان مربوط به فصل تابستان بوده است. بررسی شیب خط تغییرات در اثر افزایش دمای بیشینه ایستگاه‌های همدید زمینی در سطح اطمینان ۹۵ درصد نشان داد که به ازای افزایش هر ۱ درجه سلسیوس از دما، ETa به اندازه ۰/۰۲ میلی‌متر در روز کاهش می‌یابد. قرارگیری منطقه در اقلیمی که فصل گرم و بدون بارش و فصل سرد و بارشی از خصوصیات آن است علت ارتباط معکوس بین دما و تبخیر- تعرق واقعی را روشن می‌کند. جنبه نوآورانه این پژوهش پردازش داده‌های رقومی ETa در هر کیلومتر استان مطالعاتی است.



منابع

- Allen, R.G.; Tasumi, M. and Trezza, R. (2000). Satellite-Based Energy Balance for Mapping Evapotranspiration with Internalized Calibration (METRIC)-Model, *ASCE Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 133(4): 380-394.
- BabaJafari, H.; Pymozd, Sh.; Moghaddasi, M. and Baghri, M. (2015). Evaluation of SEBS Algorithm in Estimation of Real Evapotranspiration Based on Images of AVHRR of NOAA Satellite (Case Study: Tabriz Plain), *Journal of Applied Research in Water Sciences*, 2: 1-10 (In Persian).
- Folhes, M.T.; Renno, C.D. and Soares, J.V. (2009). Remote sensing for irrigation water management in the semi-arid Northeast of Brazil, *Agricultural Water Management*, 96(10): 1398-1408.
- George, P.; Prasanna, H.G.; P. V., Vara Prasad; Terry, A. H, Scott A. S. (2013). Lysimetric evaluation of SEBAL using high resolution airborne imagery from BEAREX08, *Advances in Water Resources*, in press.
- Goyal, R.K. (2004). Sensitivity of evapotranspiration to global warming: A case study of arid zone of Rajasthan (India), *Agricultural Water Management*, 69(1): 1-11.
- Jafarpoor, A. (2002). *Principles of Climatology*, Third Edition, Payame Noor University Press, Tehran (In Persian).
- 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(1): 73-91.
- Karamooz, M. and Araghinejad, SH. (2002). *Advanced Hydrology*, Second Edition, Imam Reza University Press (In Persian).
- Karimi, A.; Bansoleh, B.F. and Hesari, H. (2012). Estimate of real evapotranspiration on a regional scale using the Sabal algorithm and Landsat images, *Irrigation and Drainage Journal of Iran*, 4: 353-364 (In Persian).
- Kaviani, A.; Sohrabi, T. and Arasteh, P. (2011). Evapotranspiration and water productivity estimation using SEBAL algorithm and comparison with lysimeter data, *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 1(2): 161-171 (In Persian).
- Levinson, D.H. and Fettig, C.J. (2014). *Climate change: Overview of data sources, observed and predicted temperature changes, and impacts on public and environmental health*, *Climate Change and Global Public Health*, New York: Springer, pp. 31-47.
- Mischke, S.; Aichner, B.; Diekmann, B.; Herzsuh, U.; Plessen, B.; Wünnemann, B. and Zhang, C. (2010). Ostracods and stable isotopes of a late glacial and Holocene lake record from the NE Tibetan Plateau, *Chemical Geology*, 276(1-2): 95-103.
- Moradi, F.; Kamali, GH. and Vazifeh Doost, A. (2015). Estimation of crop potential Evapotranspiration Based on MODIS Products by using of statistics of the synoptic stations in Zanjan, *Climatological studies*, 23(24): 39-49.
- Mu, Q.; Heinsch, F.A.; Zhao, M. and Running, S.W. (2007). Development of a global evapotranspiration algorithm based on MODIS and global meteorology data, *Remote Sensing of Environment*, 111: 519-536.
- Omidvar, J.; Davari, K.; Arshad, S.; Moosavi Bybaigi, M.; Akbari, M. and Hosseini, A.F. (2012). Estimation of Actual Evapotranspiration by Using Aster and Metric Models, *Journal of Irrigation Engineering and Water Engineering*, 9: 38-49 (In Persian).

- Pakparvar, M.; Cornelis, W.; Pereira, L.S.; Gabriels, D.; Edraki, M.; Hafeez, M. and Kowsar S.A. (2014). Remote sensing estimation of actual evapotranspiration and crop coefficients for a multiple land use arid landscape of southern Iran with limited available data, *Journal of Hydroinformatics*, 16(6): 1441-1460.
- Pirmoradian, N.; SHamsnia, A. and Shahrokhnia, M. A. (1999). Monitoring and analysis of spatial distribution of drought severity in 1379-1380 cropping season in Fars province using the Standard of Precipitation Index (SPI) in the geographic information system environment, *Journal of Water Resources Engineering Research*, 1: 61-70 (In Persian).
- Rezaiebanafsheh, M.; Jahanbakhsh, S. and Valizadeh, KH. (2013). Estimate of real evapotranspiration in the White River Basin using satellite imagery processing, *Geographical Space Scientific-Research Quarterly*, 44: 241-262 (In Persian).
- Sanaieejad, H.; Nori, S. and Hashemina, M. (2011). Estimation of Real Evapotranspiration Using Satellite Images in Mashhad Region, *Water and Soil Journal*, 3: 540-547 (In Persian).
- Sun, Y.J.; Wang, J.F.; Zhang, R.H.; Gillies, R.R.; Xue, Y. and Bo, Y.C. (2005). Air temperature retrieval from remote sensing data based on thermodynamics, *Theoretical and Appl. Climatol*, 80(1): 37-48.
- 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 modeling in agriculture*, 54(3): 1086-1092.
- Weatherhead, E.C.; Stevermer, A.J. and Schwartz, B.E. (2002). Detecting environmental changes and trends, *Physics and Chemistry of the Earth*, Parts A/B/C. 27(6-8): 399-403.
- Yaghobzadeh, M.; Boromandnasab, S.; Ezadpanah, Z. and Sayedkaboli, H. (2015). Investigation of the spatial and temporal changes of evapotranspiration by means of remote sensing in semi-arid regions, *Journal of Water Research in Agriculture*, 2: 221-234 (In Persian).