

تأثیر پدیده انسو بر نوسانات تبخیر و تعرق مرجع در چند اقلیم نمونه سرد کشور

علی اکبر سبزی پرور^{۱*} - سارا تنیان^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۵/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۹/۲۶

چکیده

در این تحقیق به بررسی تأثیر پدیده انسو بر تغییرات تبخیر و تعرق مرجع (ET_0) در مقیاس‌های ماهیانه، فصلی و سالانه با استفاده از شاخص نوسانات جنوبی (SOI) پرداخته می‌شود. بدین منظور ۱۳ شهر واقع در اقلیم‌های سرد کشور با طول دوره آماری ۵۰ سال (۱۹۵۷-۲۰۰۶) جهت این مطالعه انتخاب شد. در ابتدا، مقادیر متوسط ماهیانه، فصلی، و سالیانه تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از روش استاندارد توصیه شده سازمان فائو برای ایستگاه‌های تحت مطالعه محاسبه شد. سپس مقادیر SOI در فازهای النینو، لانینا و نرمال از یکدیگر تفکیک و میانگین اختلاف مقادیر ET_0 در هر یک از فازها با آزمون من-ویتی محاسبه شد. در سطوح اطمینان قابل قبول همبستگی معنی داری بین زوج‌های آماری ET_0 و SOI مشاهده شد. نتایج حاصل از همبستگی‌ها در مقیاس ماهیانه، در ۷۲٪ موارد همبستگی مستقیم معنی‌دار بین تبخیر و تعرق مرجع با شاخص نوسانات جنوبی، و همبستگی معکوس در ۲۸٪ موارد را تایید نمود. به طور کلی، در مواردی که ضرایب همبستگی مثبت (مستقیم) بود، در مقیاس ماهیانه، مقدار ET_0 به طور متوسط در فاز النینو ۱۰/۸٪ کمتر از فاز نرمال و ۱۴/۸٪ کمتر از فاز لانینا بود. بر عکس، مقدار ET_0 در فاز لانینا نیز به طور متوسط ۱۳/۱٪ بیشتر از ET_0 در فاز نرمال بدست آمد. متوسط تأخیر زمانی برای اوج تأثیرگذاری بر تبخیر و تعرق مرجع در مناطق مورد مطالعه برای ضرایب همبستگی مثبت، ۳/۲ ماه به دست آمد. طبق نتایج به دست آمده، بیشترین تأثیرپذیری تبخیر و تعرق مرجع از پدیده انسو به ترتیب در ماه‌های نوامبر، اکتبر و دسامبر به وقوع پیوست. همچنین ارزیابی‌های مقیاس فصلی نشان داد که تأثیرپذیری تبخیر و تعرق مرجع از پدیده انسو در فصل پاییز ۶۸٪ از تأثیرپذیری کل فصول را در شهرهای مورد مطالعه شامل می‌شود. در مقایسه با نتایج بدست آمده از اقلیم‌های گرم، شهرهای اقلیمی سرد این مطالعه حساسیت بیشتری به سیگنال‌های انسو نشان دادند. نتایج تحقیق حاضر می‌تواند در مدیریت بهتر منابع آبی به ویژه در بخش کشاورزی قبل از وقوع فازهای مختلف انسو مفید باشد.

واژه‌های کلیدی: پدیده انسو، شاخص نوسان جنوبی، تبخیر و تعرق مرجع، تغییرپذیری، اقلیم‌های سرد

مقدمه

پدیده نوسانات جنوبی را از تغییرات فشار این مراکز در اقیانوس آرام استوایی شناسایی و معرفی کرد. شاخص مثبت بیانگر فشار زیاد هوا در جزایر تاهیتی، و فشار کم در حوالی اندونزی و داروین استرالیا می‌باشد، که تحت عنوان لانینا (La Nina) شناخته می‌شود. شاخص منفی (فاز النینو) نشانگر فشار نسبتاً بالای هوا در حوالی اندونزی - داروین و فشار تقریباً کم در حوالی تاهیتی می‌باشد (۳). در زمان وقوع النینو دمای سطح آب اقیانوس گرم‌تر از میانگین آن در طول سال خواهد بود (۸).

کشاورزی یکی از بزرگترین بخش‌های وابسته به شرایط آب و هوایی است. سطح وسیعی از محصولات کشاورزی در طول دوره رشد خود از آب استفاده می‌کنند (۲۰). کاملاً مشخص است، هنگامی که آب منبع محدود کننده نباشد گیاهان می‌توانند به بالاترین سطح تولید خود برسند. علت این است که بین مقدار آب تعرق یافته توسط گیاه و ماده خشک جمع شده در آن ارتباط قوی وجود دارد (۱۳ و ۱۷). لذا رفع کامل نیاز آبی گیاه از طریق تعیین دقیق و صحیح تبخیر و تعرق،

پدیده انسو یکی از عوامل ایجاد تغییر اقلیم میباشد. این پدیده یک زوج اقیانوسی - اتمسفری است که هر چهار تا هفت سال یکبار اتفاق می‌افتد (۶). واژه انسو از ترکیب دو واژه نوسان جنوبی (Southern Oscillation) و النینو (El Nino) گرفته شده است. النینو مؤلفه اقیانوسی پدیده می‌باشد که با ایجاد جریان‌های گرم در ایام سال نو مسیحی در سواحل اکوادور و پرو اتفاق می‌افتد (۲۵). نوسانات جنوبی نیز مؤلفه اتمسفری پدیده انسو می‌باشد، که معمولاً اختلاف فشار سطحی بین دو جزیره تاهیتی در شرق، و داروین استرالیا در غرب اقیانوس آرام به عنوان مبنای اندازه‌گیری شاخص نوسانات جنوبی می‌باشد (۶). اولین بار گیلبرت واکر در سال ۱۹۲۲

۱ و ۲ - استاد و دانشجوی سابق کارشناسی ارشد گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

(Email: swsabzi@basu.ac.ir

*) نویسنده مسئول:

است و تأثیر پدیده انسو بر ناهنجاری‌های دمایی و بارش مورد بررسی قرار گرفته است. طبق تحقیقات مدرس پور (۹) که در ۱۵ ایستگاه هواشناسی و برای دوره آماری ۳۰ ساله انجام شد، پدیده انسو بر میزان دمای مناطق مختلف کشور تأثیرگذار گزارش شده است.

همچنین با استفاده از شاخص چند متغیره انسو (MEI: Multivariate Enso Index) نقش پدیده انسو بر بارش‌های فصلی استان آذربایجان شرقی توسط خورشید دوست و قویدل رحیمی (۲) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاکی از ارتباط مثبت و معنی‌دار بین شاخص چند متغیره انسو و بارش‌های پاییزی آذربایجان شرقی بود، که باعث افزایش بارش در فاز گرم (الینو) و کاهش نزولات در فاز سرد (لانینا) شده بود (۲). ناظم‌السادات و همکاران (۱۱)، طبق تحقیق خود در دوره آماری ۱۹۵۱ تا ۱۹۹۹ نوسانات بارش جنوب و جنوب غرب ایران و بر هم کنش آن با پدیده انسو را مورد بررسی قرار دادند، آنها نشان دادند که افزایش و شدت تواتر پدیده الینو با روند افزایش بارش فصل سرد در این مناطق در ارتباط می‌باشد. ناظم‌السادات و همکاران (۱۰) در دوره ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۲ با در نظر گرفتن شاخص SOI در فصل تابستان به عنوان پیش‌گوکننده، و شرایط خشک و تر در پاییز به عنوان پیش‌گو شونده نشان دادند که با وقوع یک الینوی تابستانه و در شرایطی که شاخص $SOI > 5$ باشد، شرایط ترسالی پاییزه در بسیاری از نقاط کشور در سطح معنی داری ۹۵٪ پیش‌بینی می‌گردد. این در شرایطی است که با وقوع لانینای تابستانه ($SOI > 5$) در تعداد زیادی از ایستگاه‌های مورد مطالعه، شرایط خشکسالی پیش‌بینی می‌گردد. تأثیر پدیده فرا اقلیمی انسو بر تغییرات تبخیر-تعرق مرجع (ET_0) در چند نمونه اقلیمی گرم توسط سبزی پرور و همکاران (۲۴) در دوره اقلیمی ۵۰ ساله مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نامبردگان در مقیاس ماهیانه حاکی از همبستگی مثبت بین مقدار شاخص SOI و مقدار تبخیر-تعرق مرجع در ۸۸ درصد از موارد مورد مطالعه بود. در این تحقیق حداکثر اختلاف در میانگین‌های ET_0 در فاز الینو ۱۰/۱ درصد کمتر از فاز لانینو بدست آمد (۲۴).

در دهه‌های اخیر مطالعات زیادی روی تأثیر انسو بر تغییرات بارش، دما، و رطوبت در نیمکره شمالی به انجام رسیده است و اندرکنش این پدیده بزرگ مقیاس نیمکره جنوبی را بر توزیع پارامترهای فوق در نیمکره شمالی به اثبات رسانده‌اند (۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱ و ۲۱). زمانی که توزیع بارش، دما و رطوبت در فازهای مختلف انسو تحت تأثیر معنی‌دار این پدیده بزرگ مقیاس قرار می‌گیرند، می‌توان انتظار داشت که انسو روی تغییر پذیری فرآیندهای کوچک مقیاسی نظیر تبخیر و تعرق اثرگذار و آنرا به صورت ایستگاهی و منطقه‌ای دچار ناهنجاری نماید.

تبخیر و تعرق به عنوان مهم‌ترین گزینه در تعیین نیاز آبی، تحت تأثیر پارامترهای مختلف هواشناسی مانند دما، باد، رطوبت نسبی، تابش و دیگر پارامترها قرار می‌گیرد، لذا با توجه به اهمیت تبخیر

و بالا بردن راندمان کاربرد آب از اهمیت بسزایی برخوردار است. به گفته رزگران و همکاران (۲۳)، جامعه مدرن در آینده برای تخصیص مؤثر منابع آب با دو پیشامد تغییر اقلیم و کشمکش‌های در حال رشد بر سر آب در میان بخش‌های اقتصادی روبرو خواهد بود. سازوکار پیوند از دور یکی از موضوعات با اهمیت در توجیه رفتار اقلیم می‌باشد. گاهی اجزای سیستم اقلیمی اثرات خود را بر مکانی دورتر از محل وقوع آن تحمیل می‌کنند. این‌گونه تأثیرگذاری به پیوند از دور (Teleconnection) موسوم می‌باشد. از جالب توجه‌ترین نمونه‌های این سازوکار می‌توان به نوسانات جنوبی اشاره کرد (۷).

پوودا و همکاران (۲۱)، طی تحقیقی که در منطقه کلمبیا با داده‌های آماری سال‌های ۱۹۹۸-۱۹۵۸ انجام دادند، تأثیرات مختلف پدیده انسو بر متغیرهای هیدرولوژیکی را بررسی کردند. شاخص گیاهی (Normalized Difference Vegetation Index) NDVI در زمان وقوع الینو بخصوص در طی ماه‌های سپتامبر تا نوامبر و ژوئن تا اوت همان سال و دسامبر تا فوریه سال بعد کاهش نشان دادند. کاهش فعالیت‌های گیاهی طی پدیده الینو، کاملاً با کاهش بارش، کاهش جریان آبراهه‌ها، کاهش رطوبت خاک، و طبق فرضیه محققان همین تحقیق با کاهش تبخیر و تعرق گیاهان مرتبط می‌باشد.

مزا (۱۷)، به بررسی تأثیر پدیده انسو بر تبخیر و تعرق مرجع در حوضه رودخانه میپو، واقع در شیلی پرداخت. وی ابتدا اقدام به جداسازی فازهای مختلف انسو بر اساس معیار ترنسرس نمود. طبق نتایج این تحقیق، در فصل تابستان تفاوت چندانی در میزان تبخیر و تعرق فازهای مختلف انسو دیده نشد، در حالی که در فصل زمستان میزان تبخیر و تعرق در سال‌های لانینا ۳۰ درصد بیشتر از سال‌های الینو گزارش شد. در سایر فصول نیز، مقادیر تبخیر و تعرق در سال‌های لانینا بیشتر از سال‌های الینو گزارش شد. در مقیاس ماهیانه، در تمامی موارد تبخیر و تعرق در فاز الینو کمتر از فاز نرمال بدست آمد.

رولنیک و انهوف (۲۲)، طی مطالعه خود از سال ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۰ در جنگل‌های آمازون در منطقه ونزوئلا تأثیر چرخه انسو را بر توازن انرژی مورد بررسی قرار دادند. طبق نتایج آنان، الینوی سال ۹۸-۱۹۹۷ شاهد کاهش بارش، کاهش تعرق گیاهی، افزایش مقدار کمبود فشار بخار اشباع و کاهش تبخیر و تعرق واقعی گیاه به ۵۰ درصد تبخیر و تعرق پتانسیل بودند.

محققان در نیوزلند با مطالعه پهنای حلقه‌های درختان کائوری با شاخص‌های مختلف پدیده انسو از جمله دمای سطح آب منطقه نیو ۳،۴ و شاخص SOI به حساسیت درختان کائوری به این پدیده پی بردند. حلقه درختان در سال‌های متناظر با الینو پهن تر و در سال‌های همراه با لانینا باریک‌تر بودند (۱۴).

همانند دیگر مناطق جهان مطالعاتی نیز در ایران انجام گرفته

نیمه خشک کشور انتخاب شد (جدول ۱). نوع اقلیم هر منطقه با استفاده از نتایج پروژه پهنه‌بندی اقلیم کشاورزی با روش یونسکو که توسط غفاری و همکاران (۵)، در موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور انجام شده بود، مشخص گردید. این پهنه‌بندی در حقیقت نوعی پهنه‌بندی اقلیم کشاورزی می‌باشد که بر مبنای سه معیار اصلی رژیم رطوبتی، تیپ زمستان و تیپ تابستان استوار است. انتخاب ایستگاهها و دوره آماری به گون‌های بود که کمترین خلاء آماری را شامل شد و حتی الامکان پهنه مناطق سرد و خشک و سرد نیمه خشک کشور را پوشش داد.

تعرق، و تأثیرپذیری الگوهای مختلف بارش و دما از پدیده انسو که توسط محققین مختلف به اثبات رسیده است و فقدان تحقیقات مشابه در مورد تبخیر و تعرق در کشور، تحقیق حاضر بر این تلاش است، تا اثر این پدیده را در فازهای مختلف الینو و لائینا بر مقدار تبخیر تعرق مرجع در اقلیم‌های سرد خشک و سرد نیمه خشک کشور بررسی نماید.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق ۱۳ شهر از شهرهای مناطق سرد خشک و سرد

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی و نوع اقلیم شهرهای مورد مطالعه

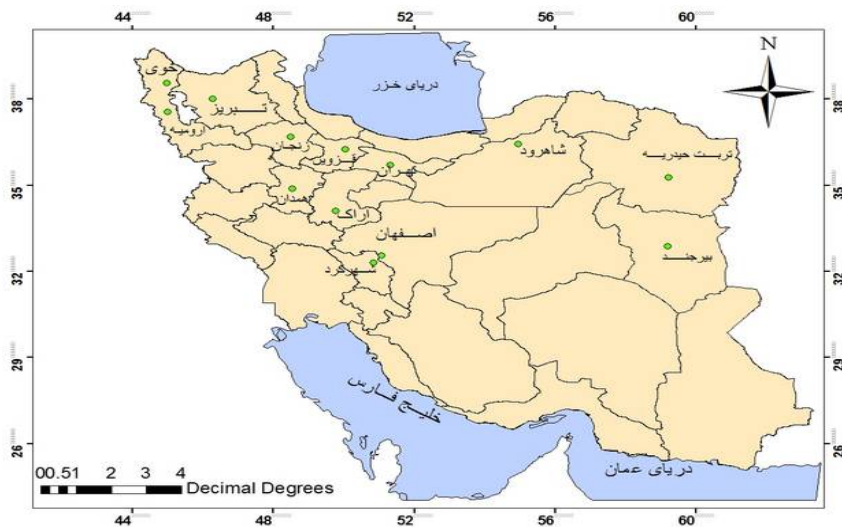
نام ایستگاه	نوع اقلیم*	ارتفاع (m)	عرض جغرافیایی (درجه شمالی)	طول جغرافیایی (درجه شرقی)
اراک	SA-K-W	۱۷۰۸	۳۴° ۶'	۴۹° - ۴۶'
ارومیه	SA-K-M	۱۳۱۵/۹	۳۷° ۳۳'	۴۵° - ۵'
اصفهان	A-C-W	۱۵۵۰/۴	۳۳° ۳۳'	۵۱° - ۴'
بیرجند	A-C-W	۱۴۹۱	۳۳° ۵۲'	۵۹° - ۱۲'
تبریز	SA-K-M	۱۳۶۱	۳۸° ۵'	۴۶° - ۱۷'
تربت حیدریه	SA-K-W	۱۴۵۰/۸	۳۵° ۱۶'	۵۹° - ۱۳'
تهران	A-C-W	۱۱۹۰/۸	۳۵° ۴۱'	۵۱° - ۱۹'
زنجان	SA-K-W	۱۶۶۳	۳۶° ۴۱'	۴۸° - ۲۹'
خوی	SA-K-M	۱۱۰۳	۳۸° ۳۳'	۴۴° - ۵۸'
شاهرود	A-C-W	۱۳۴۵/۳	۳۶° ۲۵'	۵۴° - ۵۷'
شهرکرد	SA-K-M	۲۰۴۸/۹	۳۳° ۱۷'	۵۰° - ۵۱'
قزوین	SA-K-W	۱۲۷۹/۲	۳۶° ۱۵'	۵۰° - ۳'
همدان	SA-K-W	۱۶۷۹/۷	۳۵° ۱۲'	۴۸° - ۴۳'

A-C-W: اقلیم خشک با زمستان خنک و تابستان گرم

* نوع اقلیم بر اساس طبقه‌بندی یونسکو

SA-K-W: اقلیم نیمه خشک با زمستان سرد و تابستان گرم

SA-K-M: اقلیم نیمه خشک با زمستان سرد و تابستان معتدل



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه

استفاده از نرم افزار SPSS ضرایب همبستگی بین شاخص نوسانات جنوبی هر یک از ۱۲ ماه سال با تاخیر و تعرق مرجع ماه مربوطه (به صورت همزمان)، و با ماه‌های بعد (تا ۳ ماه بعد از سال وقوع پدیده انسو، با تاخیر زمانی حداکثر ۱۴ ماهه) بررسی شد. میزان همبستگی با استفاده از دو آزمون همبستگی پیرسون (Pearson) و اسپیرمن (Spearman) در سطح معنی‌داری ۹۵ درصد و ۹۹ درصد بررسی شد. ضریب همبستگی پیرسون (r_p) شاخص میزان رابطه خطی بین X و Y می‌باشد که شرط نرمال بودن توزیع توأم X و Y را دارد، ولی ضریب همبستگی اسپیرمن (r_s) متناظر ناپارامتری ضریب همبستگی پیرسون است که نیاز به شرط نرمال بودن را نداشته و علاوه بر رابطه خطی، برای آشکار سازی روابط غیرخطی نیز بکار می‌رود (۱). در مقیاس فصلی نیز ضرایب همبستگی به صورت همزمان و فصول بعد، با تاخیرهای زمانی تا زمستان سال بعد از وقوع انسو محاسبه شد. در مقیاس سالانه، بعد از میانگین‌گیری ۱۲ ماهه از SOI و ET_0 ماهیانه، ضرایب همبستگی به روش مشابه استخراج شد. در مواردی که ضرایب همبستگی معنی‌دار بودند، سری‌های ET_0 با توجه به شاخص SOI به ترتیب صعودی مرتب شدند. بعد از مرتب سازی مقادیر SOI به صورت صعودی، ۲۵ درصد آخر (مقادیر کمتر SOI) شاخص نوسانات جنوبی به عنوان فاز النینو، ۲۵ درصد پایینی (مقادیر بیشتر SOI) شاخص نوسانات جنوبی به عنوان فاز لانینا و مقادیر بین این دو محدوده به عنوان فاز نرمال در نظر گرفته شد (۱۵ و ۱۸). نسبت متوسط مقادیر ET_0 در فازهای النینو و لانینا نسبت به هم و نسبت به متوسط ET_0 فاز نرمال محاسبه شد. در نهایت با استفاده از آزمون من-ویتنی و در محیط نرم افزار SPSS و با تشکیل ۴۵۹ سری مکانی و زمانی، معنی‌داری اختلاف میانگین‌های ET_0 محاسبه شده در فازهای مختلف مورد آزمون قرار گرفت. لازم به ذکر است در این تحقیق ماه‌های ژانویه تا مارس به عنوان فصل زمستان، آوریل تا ژوئن به عنوان بهار، ژوئیه تا سپتامبر به عنوان فصل تابستان و اکتبر تا دسامبر به عنوان فصل پاییز در نظر گرفته شده است. ضمناً با توجه به منشاء تقویمی داده‌های SOI که میلادی است، کلیه محاسبات همبستگی در این تحقیق بر اساس ماه‌های میلادی ارائه شده است.

نتایج و بحث

پس از محاسبه ضرایب همبستگی به ترتیبی که ذکر شد، ماه‌های تأثیرپذیر و تأثیرگذار در هر شهر همراه با ضرایب همبستگی، تاخیر زمانی، و مقادیر p -value مربوط به آزمون من-ویتنی در جدول ۲ (مقیاس ماهیانه)، جدول ۴ (مقیاس فصلی) و جدول ۵ (مقیاس سالانه) ارائه شد. میانگین آماری (مقیاس ماهیانه) کلیه شهرهای مورد مطالعه نیز در جدول ۳ درج شده است.

به همین منظور، در تحقیق حاضر طول دوره آماری ۵۰ سال (۱۹۵۷-۲۰۰۶) انتخاب شد. موقعیت جغرافیایی و نوع اقلیم شهرهای مورد مطالعه در شکل ۱ و جدول ۱ نمایش داده شده است. در ابتدا داده‌های هواشناسی از طریق سایت رسمی سازمان هواشناسی ایران دریافت شد. اطلاعات هواشناسی شامل دمای ماکزیمم، دمای مینیمم، فشار بخار اشباع، رطوبت نسبی ماکزیمم و مینیمم، سرعت باد و فشار هوا بود. سپس خلاءهای آماری پارامترها تکمیل شد و با استفاده از نرم‌افزار SPSS صحت و همگنی داده‌ها از طریق آزمون ران (Run-test) مورد آزمون قرار گرفت. در مرحله بعد با وارد کردن داده‌ها در محیط نرم‌افزار اکسل، عملیات آماده‌سازی داده‌ها جهت استفاده در نرم‌افزار REF-ET به منظور استخراج تاخیر و تعرق مرجع (ET_0) انجام شد. در این تحقیق نرم افزار REF-ET جهت محاسبه تاخیر و تعرق گیاه مرجع چمن استفاده شد. روش مورد استفاده در این تحقیق روش پنمن ماتیت فائو (۱۲) می‌باشد. روش پنمن ماتیت توسط سازمان فائو (Food and Agriculture Organization, FAO) به عنوان روش استاندارد محاسبه تاخیر و تعرق مرجع با تنوع آب و هوایی مختلف ارائه شده است (رابطه ۱). این معادله در مورد تاخیر و تعرق یک گیاه مرجع فرضی با ارتفاع ۱۲ سانتیمتر و مقاومت سطحی ثابت ۷۰ ثانیه بر متر و آلیدو ۰/۲۳ تعریف شده است. از این معادله جهت برآورد تاخیر و تعرق گیاه مرجع در بازه‌های زمانی ساعتی تا ماهیانه استفاده می‌شود. جهت اطلاع از جزئیات معادله فوق به مرجع آلن و همکاران (۱۲) مراجعه شود.

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{\bar{T} + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (1)$$

در روابط فوق ET_0 : تاخیر-تعرق گیاه مرجع (mm/d)؛ R_n : تابش خالص در سطح محصول (Mj/m^2d)؛ G : شار حرارتی خاک (Mj/m^2d)؛ \bar{T} : متوسط درجه حرارت هوا (c^0)؛ e_s : فشار بخار اشباع (kpa)؛ e_a : فشار بخار واقعی (kpa)؛ Δ : شیب منحنی فشار بخار در مقابل درجه حرارت (kpa/c)؛ γ : ثابت سایکرومتریک (kpa/c)؛ u_2 : سرعت باد در ارتفاع ۲ متری (m/s) می‌باشند.

داده‌های ماهیانه شاخص نوسان جنوبی (SOI) در دوره زمانی مذکور از سایت سازمان هواشناسی استرالیا استخراج شد (۱۶). با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرونوف (Kolmogrov-Smirnov) و نرم افزار SPSS از نرمال بودن داده‌های ET_0 و شاخص نوسانات جنوبی در مقیاس فصلی و ماهیانه اطمینان به عمل آمد. برای بررسی در مقیاس‌های فصلی و سالانه از داده‌های SOI متوسط سه ماهه و دوازده ماهه گرفته شد. در مرحله بعد، با توجه به اینکه آغاز پدیده انسو معمولاً از اوایل سال میلادی می‌باشد، با

طبق نتایج مندرج در جدول ۲، در حالت کلی ۷۲ درصد از ماه‌های تأثیرپذیر دارای ضریب همبستگی مثبت و ۲۸ درصد دارای ضریب همبستگی منفی می‌باشند. در همبستگی‌های مثبت تأثیر پدیده انسو بر ET_0 بصورت مستقیم می‌باشد. یعنی در مقادیر منفی SOI (النینو) مقدار ET_0 کمتر، و در مقادیر مثبت SOI (لانینا) مقدار ET_0 نسبت به فاز نرمال بیشتر می‌باشند. در شرایط همبستگی مثبت حدود ۳۰ درصد اختلاف میانگین‌های بین دو فاز النینو و لانینا با فاز نرمال دارای سطح معنی‌داری قابل قبول می‌باشند که از این میان ۶۱/۵ درصد مربوط به اختلاف فاز النینو با نرمال، و ۳۸/۵ درصد مربوط به اختلاف فاز لانینا با فاز نرمال می‌باشد. لذا به نظر می‌رسد در ماه‌هایی که ضریب همبستگی معنی‌دار و مثبت بین ET_0 و SOI وجود دارد، تعداد ماه‌هایی که در آن ET_0 از فاز النینو تأثیر می‌پذیرد، بسیار بیشتر از ماه‌هایی است که از فاز لانینا تأثیر می‌گیرد (حدود ۱/۶ برابر). این نتیجه که در شهرهای اصفهان و تبریز بیشتر به چشم می‌خورد، می‌تواند باعث کاهش نیاز آبی و بالابردن سطح زیر کشت در اقلام کشت شده گردد (جدول ۲). این نتیجه با نتایج تحقیق ناظم‌السادات و همکاران (۱۰) که نشان دادند تأثیرات انسو بر خشکسالی پاییزه بعد از یک لانینای تابستانه کمتر از تأثیر این پدیده بر ترسالی پاییزه بعد از یک النینوی تابستانه می‌باشد، سازگاری نشان می‌دهد. همچنین با توجه به جدول ۲ حدود ۷۰ درصد از ماه‌هایی که دارای ضریب همبستگی مثبت بودند، دارای اختلاف معنی‌دار بین میانگین مقادیر ET_0 در دو فاز النینو و لانینا می‌باشند، که حاکی از اثرگذاری قابل ملاحظه پدیده انسو بر مقدار تبخیر و تعرق این ایستگاهها می‌باشد. در مواردی که ضرایب همبستگی منفی می‌باشند، از میان اختلاف میانگین‌های معنی‌دار ET_0 در دو فاز النینو و لانینا با فاز نرمال، ۸۲ درصد مربوط به اختلاف میانگین ET_0 در فاز لانینا و نرمال می‌باشد که نشان می‌دهد در این شرایط (همبستگی منفی)، فاز لانینا تأثیر بیشتری بر تغییرات ET_0 مرجع در اقلیم‌های سرد می‌گذارد.

با توجه به جدول ۲، از نمونه‌های بارز همبستگی منفی، دو شهر بیرجند و شهرکرد می‌باشند که در مجموع ۸۰ درصد موارد معنی‌دار اختلاف میانگین ET_0 در دو فاز النینو و لانینا با فاز نرمال، مربوط به اختلاف میانگین معنی‌دار ET_0 بین دو فاز لانینا و نرمال می‌باشد. این نتیجه نیز حاکی از کاهش تبخیر و تعرق به طور استثنائی در فاز لانینا نسبت به فاز نرمال می‌باشد (به دلیل همبستگی معکوس معنی‌دار، در مقادیر بالای SOI تبخیر و تعرق مرجع کمتر می‌شود). در حالت کلی نتایج حاصل از همبستگی‌های ماهیانه حاکی از این است که ماه نوامبر به تنهایی ۲۰ درصد از ماه‌های تأثیرپذیر را به خود اختصاص داده است و بعد از آن ماه‌های اکتبر و دسامبر با ۱۳/۱ درصد رتبه دوم را بین ماه‌های تأثیرپذیر دارند.

نتایج نشان داد که به جز شهر خوی سایر شهرها در مقیاس ماهیانه دارای ضرایب همبستگی معنی‌دار با شاخص نوسانات جنوبی می‌باشند (جدول ۲). در ۸۳ درصد از شهرهایی که در مقیاس ماهیانه دارای همبستگی بودند، در مقیاس فصلی نیز همبستگی معنی‌دار داشتند و فقط در دو شهر همدان و شهرکرد در مقیاس فصلی همبستگی معنی‌دار فصلی وجود نداشت (جدول ۴). با توجه به نتایج جدول ۲، در بین شهرهای مورد مطالعه، از نظر تعداد و مقدار بیشترین ضرایب همبستگی مثبت تبخیر و تعرق مرجع با شاخص نوسانات جنوبی، متعلق به شهر قزوین بود. نتایج عزیززی (۴) و ناظم‌السادات (۱۰) نیز نشان داد که شهر قزوین در زمره شهرهایی می‌باشد که بیشترین حساسیت را به پدیده انسو دارند. همچنین با توجه به نتایج جدول ۲، در قزوین به جز ماه‌های فوریه، مارس و آوریل، در سایر ماهها مقدار ET_0 تحت تأثیر نوسانات جنوبی قرار می‌گیرد. در این شهر تغییرات نوسانات جنوبی در ماه می به تنهایی باعث تغییرات در ET_0 ماه‌های می تا نوامبر به مدت ۷ ماه پیاپی می‌شود. بیشترین تغییرات حادث شده ET_0 شهر قزوین در ماه‌های اکتبر و نوامبر دیده می‌شود که از نظر مقدار و تداوم حائز اهمیت است. با توجه به ضرایب همبستگی و تبیین، تغییرات شاخص نوسانات جنوبی در ماه‌های می، ژوئن و سپتامبر به ترتیب مسئول تغییرات ۳۰، ۲۹ و ۲۵ (۰/۲۵)، $R^2=0/30$ و ۰/۲۹) درصدی تغییرات تبخیر و تعرق مرجع در ماه اکتبر می‌باشد (جدول ۲). در شهر قزوین ۵۸ درصد از همبستگی‌های معنی‌دار مربوط به همبستگی با نوسانات جنوبی ماه‌های بهار می‌باشد. بیشترین مقدار ضریب همبستگی در مقیاس ماهیانه در بین شهرهای مورد مطالعه، متعلق به شهر قزوین و اثرگذاری انسو در ماه می بر ET_0 ماه اکتبر با تأخیر زمانی پنج ماهه به مقدار ۰/۵۵ می‌باشد (جدول ۲). با توجه به نتایج جدول ۳، متوسط تأخیر زمانی در مقیاس ماهیانه برای تأثیرگذاری پدیده انسو بر تبخیر و تعرق مرجع در شهر قزوین ۲/۸ ماه می‌باشد که به طور متوسط باعث کاهش ۱۱/۲ درصدی تبخیر و تعرق مرجع در فاز النینو نسبت به فاز نرمال می‌شود. افزایش تبخیر و تعرق مرجع در فاز لانینا نسبت به فاز نرمال ۷/۸ درصد می‌باشد. همچنین بیشترین ضریب همبستگی در مقیاس فصلی نیز متعلق به شهر قزوین، و ارتباط نوسانات جنوبی فصل بهار و تبخیر و تعرق مرجع فصل پاییز، به مقدار ۰/۵۷ می‌باشد (جدول ۴).

در شهر قزوین، در مقیاس فصلی ۶۰ درصد از فصول تأثیر گذار مختص فصل بهار، و ۶۰ درصد فصول تأثیرپذیر مربوط به فصل پاییز می‌باشند. البته در این شهر تبخیر و تعرق مرجع فصلی به جز فصل زمستان در سایر فصول با متوسط تأخیر زمانی کمتر از یک فصل تحت تأثیر تغییرات نوسانات جنوبی سه فصل بهار، تابستان و پاییز قرار می‌گیرند (جدول ۴). تجزیه و تحلیل تأثیرپذیری ET_0 از انسو در سایر شهرها نیز به همین صورت است که جهت جلوگیری از افزایش حجم مقاله، صرفاً به ارائه نتایج کلی اکتفا می‌شود.

جدول ۲- جزئیات آماری ماه‌های تأثیر گذار، ماه‌های تأثیر پذیر، ضرایب همبستگی، تأخیر زمانی و درصد تغییرات میانگین‌ها در مواردی که مقادیر ET_0 دارای اختلاف معنی‌دار بوده اند (مقیاس ماهیانه)

ایستگاه	ماه تأثیر گذار (SOI)	ماه تأثیر پذیر (ET ₀)	ضریب همبستگی	تأخیر زمانی (ماه)	(E-N)/N%		(L-N)/N%		(E-L)L%	
					P-Value	تغییرات %ET ₀	P-Value	تغییرات %ET ₀	P-Value	تغییرات %ET ₀
اراک	می	دسامبر	۰/۳۶*	۷	۰/۳۱	-	۰/۰۲**	۳۳/۳	۰/۰۲**	-۲۰/۲
	ژوئن	دسامبر	۰/۳۵*	۶	۰/۴۹	-	۰/۰۵۴+	۱۰/۳	۰/۰۵۴+	-۱۹/۵
	اوت	نوامبر	۰/۲۹*	۳	۰/۰۲**	-۹/۸	-	۰/۲۲	۰/۲۲	-
	سپتامبر	نوامبر	۰/۴۲**	۲	۰/۱۱	-	۰/۰۲*	۱۸/۲	۰/۰۲*	-۲۲/۳
ارومیه	فوریه	اوت	۰/۲۹*	۶	۰/۵۶	-	۰/۰۲**	۸/۰	۰/۰۲**	-۵/۳
	مارس	اوت	۰/۲۸*	۵	۰/۱۹	-	۰/۲۹	-	۰/۰۴*	-۷/۵
	آوریل	می	۰/۲۸*	۱	۰/۳۶	-	۰/۱۸	-	۰/۰۶+	-۷/۲
	ژوئن	اوت	۰/۳۲*	۲	۰/۹۲	-	۰/۰۸+	۵/۸	۰/۱۸	-
	ژوئن	سپتامبر	۰/۳۷**	۳	۰/۲۶	-	۰/۲۹	-	۰/۲۵	-
	ژوئن	اکتبر	۰/۲۸*	۴	۰/۳۹	-	۰/۴۳	-	۰/۲۸	-
	ژوئن	نوامبر	۰/۳۴*	۵	۰/۲۶	-	۰/۲۲	-	۰/۰۶+	-۱۲/۷
	ژوئن	ژانویه+ ^۱	۰/۳۰*	۶	۰/۱۸	-	۰/۴۴	-	۰/۱۶	-
	ژوئیه	نوامبر	۰/۳۴*	۴	۰/۳۹	-	۰/۰۹*	۹/۶	۰/۰۵*	-۱۲/۹
	ژوئیه	ژانویه+ ^۱	۰/۳۳*	۶	۰/۰۴*	-۱۴/۳	۰/۶۵	-	۰/۱۴	-
	سپتامبر	اکتبر	۰/۳۰*	۱	۰/۰۲*	-۱۲/۵	۰/۳۶	-	۰/۰۳*	-۱۶/۷
	سپتامبر	نوامبر	۰/۴۰**	۲	۰/۰۸*	-۹/۴	۰/۱۱	-	۰/۰۱**	-۱۷/۴
اکتبر	اکتبر	۰/۳۲*	۰	۰/۳۵	-	۰/۰۲*	۱۲/۱	۰/۰۲*	-۱۶/۹	
اکتبر	نوامبر	۰/۳۸**	۱	۰/۲۴	-	۰/۰۶**	۱۵/۵	۰/۰۷**	-۱۷/۶	
نوامبر	نوامبر	۰/۳۵*	۰	۰/۰۳*	-۱۱/۶	۰/۱	-	۰/۰۵**	-۱۹/۷	
اصفهان	مارس	ژوئن	۰/۳۵*	۳	۰/۰۲*	-۵/۵	۰/۱۹	-	۰/۰۱۴*	-۸/۲
	مارس	سپتامبر	۰/۲۸*	۶	۰/۵۳	-	۰/۱۸	-	۰/۱۳	-
	مارس	اکتبر	۰/۳۷**	۷	۰/۰۳*	-۱۱/۷	۰/۴۵	-	۰/۰۱۳*	-۱۴/۳
	آوریل	ژوئن	۰/۴۱**	۲	۰/۰***	-۹/۲	۰/۷۳	-	۰/۰۴**	-۸/۵
	آوریل	اوت	۰/۲۹*	۴	۰/۰۰۶**	-۸/۱	۰/۹۳	-	۰/۱۱	-
	آوریل	اکتبر	۰/۳۸**	۶	۰/۰۱۲*	-۱۱/۹	۰/۳۱	-	۰/۰۵*	-۸/۰
	اوت	اوت	۰/۳۵*	۰	۰/۰۹+	-۳/۲	۰/۵۵	-	۰/۰۳*	-۸/۲
	اوت	نوامبر	۰/۳۲*	۳	۰/۳۵	-	۰/۲۶	-	۰/۱+	-۱۱/۹
	سپتامبر	نوامبر	۰/۳۱*	۲	۰/۰۲*	-۸/۴	۰/۷۸	-	۰/۱۶	-
	نوامبر	نوامبر	۰/۳	۰	۰/۲۳	-	۰/۰۹+	۱۰/۹۰	۰/۰۹+	-۱۳/۰
بیرجند	ژانویه	فوریه	۰/۳۶**	۱	۰/۱۵	-	۰/۲۸	-	۰/۰۴**	۱۰/۵۹
	ژانویه	نوامبر	۰/۴۷**	۱۰	۰/۱۵	-	۰/۰۶*	-۹/۱	۰/۰۸**	۱۹/۹۳
	فوریه	نوامبر	۰/۳۱*	۹	۰/۵۸	-	۰/۰۳*	-۱۳/۱	۰/۰۳*	۱۸/۹۲
	فوریه	دسامبر	۰/۳۶**	۱۰	۰/۴۹	-	۰/۰۲**	-۱۶/۴	۰/۰۱*	۲۴/۵۲
	مارس	سپتامبر	۰/۳۳*	۶	۰/۰۶*	۸/۷	۰/۴۱	-	۰/۰۳*	۱۲/۱۹
	مارس	نوامبر	۰/۲۸*	۸	۰/۰۹+	۸/۹	۰/۲۵	-	۰/۱۵	-
	مارس	دسامبر	۰/۳۶**	۹	۰/۰۵*	۹/۹	۰/۰۸+	-۱۰/۶	۰/۰۱*	۲۲/۹
	می	می	۰/۳۰*	۰	۰/۰۸+	-۷/۲	۰/۲۲	-	۰/۰۲*	-۱۱/۵
	می	ژوئن	۰/۳۶**	۱	۰/۲۴	-	۰/۱۶	-	۰/۰۲*	-۹/۱
	می	اکتبر	۰/۳۸**	۵	۰/۱۲	-	۰/۳	-	۰/۰۱**	-۱۳/۴
	می	فوریه+ ^۱	۰/۳۶**	۸	۰/۹۵	-	۰/۰۳*	-۱۱/۹	۰/۰۲*	۹/۵
	اوت	فوریه+ ^۱	۰/۳۱*	۶	۰/۹۸	-	۰/۰۱**	-۱۶/۷	۰/۰۱**	۱۵/۵
سپتامبر	فوریه+ ^۱	۰/۳۳*	۵	۰/۷	-	۰/۲۰*	-۱۵/۶	۰/۰۸**	۱۵/۶	
اکتبر	فوریه+ ^۱	۰/۲۹*	۴	۰/۳۴	-	۰/۰۴*	-۱۳/۵	۰/۰۶+	۱۳/۸	

E: El Nino Phase

L: La Nina Phase

N: Normal Phase

*- معنی‌داری در سطح ۹۵٪^۱ ژانویه+ : ماه ژانویه سال بعد از وقوع انسو

مارس+ : ماه مارس سال بعد از وقوع انسو

** - معنی‌داری در سطح ۹۹٪^۱ - معنی‌داری در سطح ۹۹٪

*** - معنی‌داری در سطح ۹۹٪^۱ فوریه+ : ماه فوریه سال بعد از وقوع انسو

ادامه جدول ۲- جزئیات آماری ماه‌های تأثیر گذار، ماه‌های تأثیر پذیر، ضرایب همبستگی، تاخیر زمانی و درصد تغییرات میانگین‌ها در مواردی که مقادیر ET₀ دارای اختلاف معنی‌دار بوده اند (مقیاس ماهیانه)

ایستگاه	ماه تأثیر گذار (SOI)	ماه تأثیر پذیر (ET ₀)	ضریب همبستگی	تأخیر زمانی (ماه)	(E-N)/N%		(L-N)/N%		(E-L)/L%	
					P-Value	تغییرات ET ₀ %	P-Value	تغییرات ET ₀ %	P-Value	تغییرات ET ₀ %
بندر	ژانویه	اوت	۰/۳*	۷	۰/۸۲	-	۰/۱۵	-	۰/۱۴	-
	فوریه	اوت	۰/۳*	۶	۰/۳۶	-	۰/۶۷	-	۰/۲۸	-
	مارس	ژوئیه	۰/۳*	۴	۰/۱۶	-	۰/۳۲	-	۰/۱	-
	مارس	اوت	۰/۳۸**	۵	۰/۰۴*	-۳/۶	۰/۰۳*	۵/۱	۰/۰۱**	-۸/۳
	مارس	ژانویه+ ^{۱۰}	۰/۲۹*	۱۰	۰/۰۶+	-۹/۷	۰/۳۱	-	۰/۰۵*	-۱۸/۱
	آوریل	ژوئن	۰/۲۸*	۲	۰/۹۶	-	۰/۰۱**	۱۰/۹	۰/۰۴*	-۱۰/۴
	آوریل	ژوئیه	۰/۴۵**	۳	۰/۰۵*	-۶/۳	۰/۰۷+	۷/۴	۰/۰۶**	-۱۲/۷
	آوریل	اوت	۰/۴۷**	۴	۰/۰۱*	-۶/۷	۰/۳۴	-	۰/۰۳*	-۹/۹
	آوریل	سپتامبر	۰/۲۹*	۵	۰/۰۶*	-۵/۸	۰/۶۴	-	۰/۱۳	-
	ژوئن	اوت	۰/۳۲*	۲	۰/۱۴	-۵/۰	۰/۷۰	-	۰/۰۳*	-۶/۳
بندر	سپتامبر	اکتبر	۰/۳۱*	۱	۰/۰۲*	-۱۲/۶	۰/۴۷	-	۰/۰۱*	-۱۵/۴
	سپتامبر	نوامبر	۰/۲۹*	۲	۰/۵	-	۰/۰۷+	۱۴/۹	۰/۰۲*	-۱۷/۸۰
	ژانویه	مارس	۰/۳۴*	۲	۰/۴۳	-	۰/۷۹	-	۰/۴۰	-
	ژانویه	اکتبر	۰/۳۳*	۹	۰/۱	-	۰/۲۷	-	۰/۵۵	-
	فوریه	می	۰/۳۷**	۳	۰/۷۷	-	۰/۳۳	-	۰/۸۶	-
	فوریه	ژوئن	۰/۳۸**	۴	۰/۴۹	-	۰/۶۶	-	۰/۷۴	-
	مارس	مارس	۰/۳۴*	۰	۰/۶۶	-	۰/۳۰	-	۰/۵۰	-
	مارس	دسامبر	۰/۳۴*	۹	۰/۴۹	-	۰/۰۳*	-۱۴/۱	۰/۰۱*	۲۲/۳
	می	ژوئن	۰/۳۹**	۱	۰/۲	-	۰/۱۹	-	۰/۰۵*	-۵/۶
	می	اوت	۰/۲۹*	۳	۰/۱۷	-	۰/۴۹	-	۰/۰۶+	-۵/۹
بندر	می	فوریه+ ^{۱۰}	۰/۳۶**	۹	۰/۸۸	-	۰/۰۴*	-۱۷/۱	۰/۰۲*	۲۰/۴
	سپتامبر	نوامبر	۰/۳۹**	۲	۰/۰۸+	-۹/۴	۰/۱۷	-	۰/۰۳*	-۱۶/۳
	نوامبر	نوامبر	۰/۲۹*	۰	۰/۱۱	-	۰/۶	-	۰/۳۰	-
	ژوئیه	مارس+ ^{۱۰}	۰/۴۳**	۸	۰/۵۷	-	۰/۰۳**	-۱۶/۹	۰/۰۱**	۲۵/۵
	اوت	مارس+ ^{۱۰}	۰/۳۳*	۷	۰/۴۲	-	۰/۰۶+	-۱۲/۲	۰/۰۳*	۱۹/۳
	می	ژوئیه	۰/۳*	۲	۰/۳۹	-	۰/۵۳	-	۰/۱۲	-
	می	اوت	۰/۳۳*	۳	۰/۷۳	-	۰/۴۸	-	۰/۰۸+	۹/۹
	می	سپتامبر	۰/۲۸*	۴	۰/۳۳	-	۰/۵۶	-	۰/۱۹	-
	ژوئیه	نوامبر	۰/۲۸*	۴	۰/۴۹	-	۰/۰۸+	-	۰/۰۷+	-۱۶/۶
	ژوئیه	دسامبر	۰/۳۶**	۵	۰/۳۸	-	۰/۰۵*	۲۱/۲	۰/۰۵*	-۲۳/۳
بندر	سپتامبر	نوامبر	۰/۳۲*	۲	۰/۲۸	-	۰/۰۶+	۱۵/۳	۰/۰۲*	-۱۹/۸
	سپتامبر	دسامبر	۰/۳۰*	۳	۰/۲۱	-	۰/۵۴	-	۰/۱۳	-
	اکتبر	دسامبر	۰/۳۰*	۲	۰/۲۳	-	۰/۲۲	-	۰/۰۴*	-۱۹/۹
	دسامبر	دسامبر	۰/۳۱*	۰	۰/۴۵	-	۰/۱۵	-	۰/۱۸	-
	مارس	اکتبر	۰/۳۰*	۷	۰/۰۵*	-۹/۷	۰/۵۳	-	۰/۰۸+	-۱۳/۴
	آوریل	می	۰/۳۳*	۱	۰/۰۲*	-۹/۸	۰/۵۹	-	۰/۰۴*	-۱۰/۲
	آوریل	اکتبر	۰/۳۷**	۶	۰/۰۱**	-۱۷/۶	۰/۸۹	-	۰/۰۳*	-۱۶/۶
	آوریل	نوامبر	۰/۳*	۷	۰/۰**	-۲۰/۴	۰/۵۵	-	۰/۱	-
	می	می	۰/۲۸*	۰	۰/۰۶+	-۸/۲	۰/۷	-	۰/۰۲*	-۹/۵
	می	دسامبر	۰/۳۵*	۷	۰/۳۶	-	۰/۲۶	-	۰/۰۴*	-۱۹/۹
بندر	اوت	دسامبر	۰/۳۵*	۴	۱	-	۰/۰۲*	۲۰/۸	۰/۰۲*	-۲۰/۷

-۱۹/۲	۰/۰۳***	-	۰/۵۳	-۱۹/۱	۰/۰۰***	۰	۰/۳۸**	مارس	مارس	میلان
-	۰/۱۶	-	۰/۴	۵/۶	۰/۱+	۶	-۰/۳*	سپتامبر	مارس	
-	۰/۱۲	-	۰/۶۵	-	۰/۳۱	۳	-۰/۳۳*	ژوئیه	آوریل	
۸/۹	۰/۰۶+	-	۰/۶	۷/۶	۰/۰۸+	۴	-۰/۳۵*	اوت	آوریل	
۱۱/۰	۰/۰۲**	-۶/۲	۰/۰۷+	-	۰/۳۹	۵	-۰/۴۲**	سپتامبر	آوریل	
-	۰/۱۵	-۱۵/۷	۰/۸+	-	۰/۷۸	۸	-۰/۲۸*	دسامبر	آوریل	
۱۹/۸	۰/۰۹+	-	۰/۱۴	-	۰/۸۲	۹	-۰/۳۱*	فوریه+۱	می	
-۲۶/۲	۰/۰۳*	-	۰/۲۰	-	۰/۱۸	۲	۰/۳۱*	فوریه+۱	دسامبر	

E: El Nino Phase L: La Nina Phase N: Normal Phase

***- معنی داری در سطح ۹۹/۹۹% **- معنی داری در سطح ۹۹% *- معنی داری در سطح ۹۵% ° ژانویه+۱: ماه ژانویه سال بعد از وقوع انسو
 °° فوریه+۱: ماه فوریه سال بعد از وقوع انسو °°° مارس+۱: ماه مارس سال بعد از وقوع انسو

ادامه جدول ۲- جزئیات آماری ماههای تأثیر گذار، ماههای تأثیر پذیر، ضرایب همبستگی، تأخیر زمانی و درصد تغییرات میانگین ها در مواردی که مقادیر ET₀ دارای اختلاف معنی دار بوده اند (مقیاس ماهیانه)

ایستگاه	ماه	تأثیر گذار (SOI)	ماه	تأثیر پذیر (ET ₀)	ضریب همبستگی	تأخیر زمانی (ماه)	(E-N)/N%		(L-N)/N%		(E-L)/L%	
							تغییرات ET ₀ %	P- Value	تغییرات ET ₀ %	P- Value	تغییرات ET ₀ %	P- Value
تهران	فوریه	اوت	اوت	-۰/۳۱*	۶	-	۰/۶۹	-	۰/۰۸+	-	۰/۱۶	
	فوریه	نوامبر	نوامبر	-۰/۳*	۹	-	۰/۱۶	-	۱	-	۰/۳۰	
	فوریه	دسامبر	دسامبر	-۰/۳۳*	۱۰	-	۰/۲۵	-	۰/۳۰	-	۰/۰۷+	
	مارس	دسامبر	دسامبر	-۰/۴۷**	۹	-	۰/۲۷	-	۰/۰۵***	-۱۲/۷	۰/۰۰۶**	
	مارس	فوریه+۱	فوریه+۱	-۰/۳۸***	۱۱	-	۰/۵۹	-	۰/۰۵*	-۱۴/۵	۰/۰۴*	
	آوریل	دسامبر	دسامبر	-۰/۳۴*	۸	-	۰/۸۸	-	۰/۰۵*	-۱۰/۹	۰/۱+	
	ژوئن	ژوئیه	ژوئیه	-۰/۳۵*	۱	-	۰/۸۷	-	۰/۳۷	-	۰/۱۶	
	ژوئن	سپتامبر	سپتامبر	-۰/۳۱*	۳	-	۰/۹	-	۰/۰۶+	-۵/۵۰	۰/۱۸	
	اوت	فوریه+۱	فوریه+۱	-۰/۳۴*	۶	-	۱	-	۰/۰۰***	-۱۹/۲	۰/۰۰۷**	
	اوت	مارس+۱	مارس+۱	-۰/۳۴*	۷	-	۰/۷۷	-	۰/۰۱**	-۱۳/۵	۰/۰۲*	
سپتامبر	ژانویه+۱	ژانویه+۱	-۰/۳۱*	۴	-	۰/۴۵	-	۰/۰۱*	-۱۳/۷	۰/۰۳*		
فرودین	ژانویه	ژانویه	ژانویه	۰/۳۳*	۰	-	۰/۹۵	-	۰/۰۵*	۱۷/۴	۰/۲۵	
	مارس	می	می	۰/۲۹*	۲	-	۰/۱۶	-	۰/۲۸	-	۰/۰۵*	
	مارس	ژوئن	ژوئن	۰/۳۲*	۳	-	۰/۳۸	-	۰/۱۲	-	۰/۰۵*	
	آوریل	می	می	۰/۳۸**	۱	-	۰/۰۳*	-۶/۹	۰/۰۸+	۷/۴	۰/۰۰۶**	
	آوریل	ژوئن	ژوئن	۰/۳۸**	۲	-	۰/۲۸	-	۰/۴	-	۰/۰۰۸**	
	آوریل	اکتبر	اکتبر	۰/۳۸**	۶	-	۰/۰۲*	-۹/۵	۰/۶	-	۰/۰۲*	
	می	می	می	۰/۳۰*	۰	-	۰/۳۱	-	۰/۲۳	-	۰/۰۲*	
	می	ژوئن	ژوئن	۰/۳۹**	۱	-	۰/۱۱	-	۰/۳۶	-	۰/۰۱**	
	می	ژوئیه	ژوئیه	۰/۳۶**	۲	-	۰/۱۴	-	۰/۶	-	۰/۰۸+	
	می	اوت	اوت	۰/۳۹**	۳	-	۰/۸۳	-	۰/۰۹+	۴/۸	۰/۰۴*	
می	سپتامبر	سپتامبر	۰/۳۰*	۴	-	۰/۲۷	-	۱	-	۰/۲۹		
می	اکتبر	اکتبر	۰/۵۵**	۵	-	۰/۱۷	-	۰/۰۲*	۱۲/۱	۰/۰۱۲*		
می	نوامبر	نوامبر	۰/۳۴*	۶	-	۰/۲۱	-	۰/۱۲	-	۰/۱۳۳		
ژوئن	اکتبر	اکتبر	۰/۵۴**	۴	-	۰/۰۳*	-۱۵/۸	۰/۰۸+	۲/۹	۰/۰۰***		
ژوئن	نوامبر	نوامبر	۰/۳۵*	۵	-	۰/۰۶+	-۹/۸	۰/۵۳	-	۰/۰۰۸**		
ژوئن	دسامبر	دسامبر	۰/۳۳*	۶	-	۰/۰۶+	-۵/۷	۰/۲۹	-	۰/۰۱*		
ژوئن	ژانویه+۱	ژانویه+۱	۰/۳۱*	۷	-	۰/۳۳	-	۰/۱۹	-	۰/۰۳*		

-۱۸/۵	۰/۰۲**	-	۰/۱۷	-۱۴/۱	۰/۰۲*	۳	۰/۴۴**	اکتبر	ژوئیه
-۲۰/۴	۰/۰۲*	-	۰/۱۷	-	۰/۱۱	۴	۰/۳۳*	نوامبر	ژوئیه
-۸/۰	۰/۰۷+	-	۰/۱۵	-	۰/۸	۲	۰/۴۶**	اکتبر	اوت
-	۰/۱۲	۳/۰	۰/۰۴*	-	۰/۹۷	۳	۰/۳۶**	نوامبر	اوت
-۱۸/۷	۰/۰۴**	-	۰/۱۷	-۱۴/۱	۰/۰۱۳*	۱	۰/۵۱**	اکتبر	سپتامبر
-	۰/۱۶	-	۰/۲۸	-	۰/۶	۲	۰/۳۹**	نوامبر	سپتامبر
-۱۹/۲	۰/۰۱**	۷/۰	۰/۰۸+	-۱۳/۵	۰/۰۱**	۰	۰/۴۹**	اکتبر	اکتبر
-	۰/۵	-	۰/۵	-	۰/۶	۰	۰/۳۱*	نوامبر	نوامبر
-	۰/۷۵	-	۰/۳۱	-	۰/۳۵	۰	۰/۳۹**	دسامبر	دسامبر

E: El Nino Phase L: La Nina Phase N: Normal Phase
 *** معنی داری در سطح ۹۹/۹۹٪ ** معنی داری در سطح ۹۹٪ * معنی داری در سطح ۹۵٪ ° ژانویه+۱ : ماه ژانویه سال بعد از وقوع انسو
 °° فوریه+۱ : ماه فوریه سال بعد از وقوع انسو °°° مارس+۱ : ماه مارس سال بعد از وقوع انسو

نوسانات جنوبی قرار می گیرند.

با توجه به جدول ۴ ضرایب همبستگی در تمام شهرهایی که در مقیاس فصلی دارای همبستگی معنی دار می باشند به جز شهرهای بیرجند و تهران مثبت می باشند. ارتباط معکوس ET₀ این دو شهر در مقیاس فصلی با پدیده انسو می تواند به دلیل تاثیرات عوامل محلی نظیر تاثیر قوی میکرو اقلیم های خاص در محل، عوامل جغرافیایی خاص، بادهای کوهستانی و فعالیت های صنعتی باشد که تاثیر پدیده انسو را ضعیف و یا حتی معکوس نموده اند.

با توجه به نتایج جدول ۳، در مواردی که ضرایب همبستگی مثبت است، به طور متوسط ET₀ فاز الینو ۱۰/۸ درصد کمتر از فاز نرمال و ۱۴/۸ درصد کمتر از فاز لانینا می باشد. مقدار ET₀ فاز لانینا نیز به طور متوسط ۱۳/۱ درصد بیشتر از فاز نرمال می باشد. بیشترین تأخیر زمانی نوسانات جنوبی برای اوج تأثیرگذاری بر تبخیر و تعرق مرجع در ضرایب همبستگی مثبت، مربوط به شهر شاهرود با متوسط ۴/۶ ماه، و کمترین تأخیر زمانی مربوط به شهر همدان با متوسط ۱ ماه می باشد. به طور متوسط، شهرهای مورد مطالعه دارای همبستگی SOI-ET₀ معنی دار در سطح ۹۵٪ و با متوسط تأخیر زمانی ۳/۲ ماه تحت تأثیر

جدول ۳- میانگین ایستگاهی، نوع همبستگی، متوسط تاخیر زمانی و متوسط درصد تغییرات میانگین ها در مواردی که مقادیر ET₀ آنها دارای اختلاف معنی دارند (مقیاس ماهیانه)

نام ایستگاه	نوع همبستگی	ضریب همبستگی	متوسط تاخیر زمانی (ماه)	(E-N)/N (%)	(L-N)/N (%)	(E-L)/L (%)
اراک	مثبت	۰/۳۶**	۴/۵	-۹/۸	۲۰/۹	-۲۰/۷
ارومیه	مثبت	۰/۳۳*	۳/۱	-۱۱/۹	۱۰/۲	-۱۳/۴
اصفهان	مثبت	۰/۳۴*	۳/۳	-۸/۳	۱۰/۹	-۱۰/۳
بیرجند	مثبت	۰/۳۳*	۳	-۷/۲	-	-۱۱/۳
بیرجند	منفی	-۰/۳۴*	۷/۴	۹/۱	-۱۲/۶	۱۶/۴
تبریز	مثبت	۰/۳۳*	۴/۲۵	-۷/۴	۷/۷	-۱۲/۴
تهران	مثبت	۰/۳۴*	۱/۵	-۹/۴	-	-۹/۲
تهران	منفی	-۰/۳۷**	۸/۲	-	۱۵/۱	۲۱/۹
شاهرود	مثبت	۰/۳۳*	۴/۶	-۱۳/۱	۲۰/۸	-۱۵/۰
شهرکرد	منفی	-۰/۳۴*	۶/۷	-	-۱۱/۹	۱۶/۱
قزوین	مثبت	۰/۳۸**	۲/۷	-۱۱/۲	۷/۸	-۱۳/۱
زنجان	مثبت	۰/۳۱*	۲/۷	-	۱۲/۲	-۱۹/۹
همدان	منفی	-۰/۳۰*	۳	-	-	۹/۹
همدان	مثبت	۰/۳۵*	۱	-۱۹/۱	-	-۲۲/۷
تربت حیدریه	مثبت	۰/۳۵*	۵/۸	۶/۵۷	-۱۰/۹	۱۰/۲
میانگین کلی	موارد مثبت	۰/۳۴*	۳/۲	-۱۰/۸	۱۳/۱۲	-۱۴/۸
میانگین کلی	موارد منفی	-۰/۳۴*	۶/۵	۷/۹	-۱۱/۷۸	۱۴/۹

جدول ۴- نتایج آماری فصول تأثیر گذار و تأثیر پذیر، ضریب همبستگی، تاخیر زمانی و درصد تغییرات میانگین‌ها در مواردی که مقادیر ET_0 آنها دارای اختلاف معنی‌دارند (مقیاس فصلی)

ایستگاه	فصل تأثیر گذار (SOI)	فصل تأثیر پذیر (ET ₀)	ضریب همبستگی	تأخیر زمانی (فصل)	(E-N)/N (%)		(L-N)/N (%)		(E-L)L (%)	
					درصد تغییرات	P-Value	درصد تغییرات	P-Value	درصد تغییرات	P-Value
اراک	تابستان	پاییز	۰/۳۲*	۱	۰/۰۸+	-۴/۸	-	۰/۶۵	-	۰/۲
	پاییز	پاییز	۰/۳۴*	۰	-	-	۰/۸۱	-	۰/۷۶	
اصفهان	بهار	پاییز	۰/۳۱*	۲	۰/۰۴**	-۹/۳	-	۰/۲۵	-	۰/۰۴*
	پاییز	پاییز	۰/۳۳*	۰	-	-	۰/۰۱*	۹/۴	۰/۰۸**	
ارومیه	تابستان	پاییز	۰/۳۱*	۱	-	-	۰/۱۳	-	۰/۴۶	
	پاییز	پاییز	۰/۳۹**	۰	۰/۹	-	۰/۰۵+	۸/۷	۰/۱۱	
بیرجند	زمستان	پاییز	۰/۴۰**	۳	۰/۰۵*	۸/۱	-	۰/۳۲	-	۰/۰۲*
	بهار	بهار	۰/۳۵*	۰	-	-	۰/۲۶	-	۰/۰۲*	
حیدریه	زمستان	تابستان	۰/۳۰*	۲	۰/۸۰	-	۰/۰۳*	۵/۸	۰/۰۶+	
	بهار	تابستان	۰/۳۴*	۱	۰/۰۷+	-۵/۱	-	۰/۴۹	-	۰/۰۱**
تبریز	پاییز	پاییز	۰/۳۱*	۰	-	-	۰/۷۸	-	۰/۰۷+	
	تابستان	زمستان +	۰/۳۲*	۲	۰/۷۸	-	۰/۱۰	-	۰/۰۹+	
تهران	پاییز	پاییز	۰/۳۹*	۰	-	-	۰/۷۱	-	۰/۴۷	
	بهار	پاییز	۰/۳۴*	۲	۰/۰۲**	-۱۷/۶	-	۰/۳۹	-	۰/۱۸
شاهرود	بهار	بهار	۰/۴۳**	۰	۰/۰۹+	-۵/۰	-	۰/۱۵	-	۰/۰۳*
	بهار	تابستان	۰/۳۴*	۱	-	-	۰/۱۱	-	۰/۱۲	
قزوین	بهار	پاییز	۰/۵۷**	۲	۰/۰۵**	-۱۴/۱	-	۰/۳۰	-	۰/۰۳**
	تابستان	پاییز	۰/۵۳**	۱	۰/۰۵**	-۱۳/۲	-	۰/۰۸+	۵/۱	۰/۰۱**
میانگین تأثیر پذیری ضرایب همبستگی مثبت	پاییز	پاییز	۰/۴۸**	۰	۰/۳۴	-	۰/۰۵*	۸/۸	۰/۰۲*	
	میانگین تأثیر پذیری ضرایب همبستگی منفی	پاییز	۰/۳۷**	۰/۸	-	-	-	۰/۹	۸/۳	-
		۰/۳۶**		۲/۵	-	۸/۱	-	-	-	۱۳/۷

***- معنی‌داری در سطح ۹۹/۹%

** - معنی‌داری در سطح ۹۹%

* - معنی‌داری در سطح ۹۵%

جدول ۵- ضرایب همبستگی سالانه تبخیر و تعرق مرجع و نوسانات جنوبی و میزان درصد تغییرات ET_0 در فازهای مختلف (مقیاس سالانه)

نام ایستگاه	ضریب همبستگی	(E-N)/N (%)		(L-N)/N (%)		(E-L)L (%)	
		درصد تغییرات	P-Value	درصد تغییرات	P-Value	درصد تغییرات	P-Value
ارومیه	۰/۳۴*	۰/۰۷+	-۴/۶	۰/۰۹+	۴/۹	۰/۰۱*	-۹/۰
اصفهان	۰/۳۲*	-	-	۰/۳	-	۰/۰۷+	-۵/۵
تبریز	۰/۳۲*	-	-	۰/۱۵	-	۰/۰۲*	-۸/۲
تربت حیدریه	۰/۳۸**	۰/۸۵	-	۰/۰۴**	۷/۴	۰/۰۱**	-۷/۶
قزوین	۰/۳۷**	۰/۰۲*	-۶/۳	۰/۵۴	-	۰/۰۲*	-۸/۵
میانگین کلی	۰/۳۵*	-	-۵/۴	-	۶/۲	-	-۷/۸

***- معنی‌داری در سطح ۹۹/۹%

** - معنی‌داری در سطح ۹۹%

* - معنی‌داری در سطح ۹۵%

که بعد از فصل بهار (شامل ۳۶ درصد از فصول تأثیر گذار) رتبه دوم را در میان فصول تأثیر گذار (۳۲ درصد) دارد (جدول ۴). در بین شهرهایی که در مقیاس فصلی از تغییرات نوسانات جنوبی تأثیر می‌پذیرند، استثنائاً دو شهر تربت حیدریه و تهران در فصل پاییز تحت تأثیر نوسانات

تأثیر پذیری تبخیر و تعرق مرجع در فصل پاییز (۶۸ درصد) و تابستان (۱۶ درصد) بیشترین تأثیر پذیری کل فصول را شامل می‌شوند، که با نتایج مقیاس ماهیانه هم‌خوانی دارد. در مقیاس فصلی (جدول ۴)، فصل پاییز یکی از موثرترین فصول تأثیر گذار می‌باشد، به نحوی

در مقایسه با اقلیم های گرم می باشد. به طوری که در ایستگاه های واقع در اقلیم سرد مقدار ET_0 را در فاز نینو تا $14/8$ درصد کمتر از مقدار تبخیر و تعرق در فاز لانینا نشان داد. این نتیجه موید حساسیت بیشتر شهرهای واقع در اقلیم سرد با سیگنال های انسو می باشد. البته تعداد موارد همبستگی های مثبت ($SOI-ET_0$) مشاهده شده در اقلیم سرد 16 درصد کمتر از تعداد همبستگی های مثبت اقلیم گرم بود (۲۴).

در مقیاس سالانه، شهرهای ارومیه، اصفهان، تبریز، تربت حیدریه و قزوین در سطح معنی داری 95% دارای متوسط ضریب همبستگی $0/35$ می باشد. نتایج تحلیل سالانه (جدول ۵) نشان می دهد که ET_0 در فاز نینو نسبت به فاز نرمال و لانینا به ترتیب $5/4$ و $7/8$ درصد کاهش می یابد. با توجه به جدول ۲، شهرهای مذکور جزء شهرهایی می باشند که در تمام موارد دارای همبستگی مثبت با شاخص نوسانات جنوبی بودند. برخلاف نتایج مقیاس های ماهیانه و فصلی که بیشترین ضریب همبستگی متعلق به شهر قزوین بود، در مقیاس سالانه بیشترین ضرایب همبستگی به شهر تربت حیدریه تعلق دارد. لازم به ذکر است که در مقیاس های بزرگتر مانند مقیاس فصلی و مقیاس سالانه تعداد همبستگی ها کاهش می یابد ولی با توجه به اهمیت تعیین مقادیر آبیاری در مقیاس های کوچک تر، نتایج تحلیل ماهیانه کاربردی تر می باشد.

برخی از شهرها با وجود داشتن ضرایب همبستگی قوی در مقیاس ماهیانه، در مقیاس های فصلی و سالانه فاقد ضرایب همبستگی معنی دار بودند (مانند شهرهای همدان و شهرکرد در مقیاس فصلی و شهرهای اراک، بیرجند، تهران، شاهرود، زنجان و همدان در مقیاس سالانه) که می تواند به دلایل زیر مرتبط باشد:

۱- تبخیر و تعرق مرجع در برخی ماه های فصل دارای ضرایب همبستگی مثبت و در برخی ماه های دیگر ضرایب همبستگی منفی با تغییرات نوسانات جنوبی داشته اند که ممکن است در میانگین گیری های فصلی و سالانه تأثیر یکدیگر را خنثی نمایند.

۲- گاهی شروع پدیده انسو با شروع سال میلادی همزمان نیست، به طوری که در طی سال نیمی از شاخص های نوسان جنوبی مثبت و نیم دیگر منفی می باشند که در این صورت تأثیرات آنها در مقیاس میانگین های فصلی یا سالانه ظاهر نمی شود.

۳- سازوکارهای اقلیمی ایران در شهرهای مختلف از عوامل گوناگونی تأثیر می پذیرند (مانند پدیده های خرد اقلیمی) که گاهی این عوامل مستقل از پدیده انسو و جریانات بزرگ مقیاس گردش عمومی جو عمل می نمایند. لذا تبخیر و تعرق مرجع نیز که وابسته به شرایط آب و هوایی می باشد، در برخی موارد ممکن است دارای تغییراتی مستقل از پدیده انسو باشند.

جنوبی قرار نمی گیرند. شهرهای ارومیه، اصفهان، بیرجند، زنجان و شاهرود تنها در فصل پاییز، و شهرهای تبریز و قزوین علاوه بر فصل پاییز در سایر فصول نیز تحت تأثیر پدیده انسو قرار می گیرند. متوسط تأخیر زمانی تأثیرپذیری فصل پاییز به دلیل تأثیر همزمان در شش شهر از شهرهای مورد مطالعه، کمتر از یک فصل می باشد.

همانطور که قبلاً گفته شد، بیشترین ضریب همبستگی مثبت در مقیاس فصلی مربوط به تأثیرات پدیده انسو در فصل بهار بر ET_0 پاییز (با تأخیر شش ماهه) در شهر قزوین به مقدار $0/57$ می باشد و بیشترین ضریب همبستگی منفی نیز مربوط به تأثیرات نوسانات شاخص SOI در فصل زمستان بر تبخیر و تعرق فصل پاییز با تأخیر سه فصل در شهر بیرجند به مقدار $-0/40$ می باشد که هر دو در سطح 99% معنی دارند. در مقیاس فصلی نیز حدود 73 درصد از موارد اختلاف میانگین ET_0 بین فازهای نینو و لانینا معنی دار می باشند که حاکی از اثرگذاری قوی نوسانات جنوبی بر تغییرات فصلی ET_0 این شهرها می باشد. به طور کلی در مقیاس فصلی در همبستگی های مثبت $SOI-ET_0$ مقدار تبخیر و تعرق مرجع با تأخیر زمانی حدود یک فصل، در فاز نینو نسبت به فاز نرمال $9/9$ درصد کاهش می یابد. همچنین تبخیر و تعرق مرجع در فاز لانینا نیز $8/3$ درصد نسبت به فاز نرمال افزایش می یابد (جدول ۴).

نتایج به دست آمده در شهرهای مختلف با مطالعات مشابه در مورد تأثیر پدیده انسو بر سایر پارامترها هم خوانی دارد. برای مثال طبق نتایج مدرس پور (۹) با وقوع پدیده انسو، در شهرهای ارومیه، تبریز و اصفهان در فصل پاییز در فاز نینو شاهد کاهش دما (زیر میانگین ۳۰ ساله) و افزایش بارش می باشیم. کاهش دما و افزایش روزهای بارانی و به دنبال آن کاهش کمبود فشار بخار اشباع در صورت ثابت بودن سایر پارامترهای موثر بر تبخیر و تعرق می تواند باعث کاهش ET_0 شود. همچنین کاهش ET_0 در فاز نینو فصل تابستان در شهر تبریز با کاهش دما در این فصل (طبق نتایج مدرس پور)، و افزایش ET_0 در فاز لانینا در فصل پاییز، با کاهش بارش در فصل پاییز و تأثیر آن بر کمبود فشار بخار اشباع (طبق نتایج خورشیددوست و قویدل رحیمی (۲) مطابقت دارد. مطابق با نتایج پژوهش عزیزی (۴)، شهر شاهرود در اثر وقوع هر هشت پدیده نینو مورد بررسی، از شرایط ترسالی برخوردار بوده است که به نوبه خود به کاهش کمبود فشار بخار اشباع و کاهش ET_0 منجر شده است (جدول ۳ و ۴).

سبزی پرور و همکاران (۲۴) تأثیر پدیده انسو را بر میزان تغییر پذیری ET_0 در چند نمونه اقلیم گرم کشور با استفاده از نمایه SOI مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج آن ها نشان داد که در زمان وقوع نینو، مقدار ET_0 نسبت به فاز لانینا در سطح معنی داری 95% تا $10/1$ درصد کاهش نشان می دهد. مقایسه نتایج تحقیق حاضر با پژوهش نامبردگان حاکی از حساسیت بیشتر اقلیم های سرد به نوسانات انسو

نتیجه گیری

به نوع اقلیم شهرهای مورد مطالعه و نیاز آبی گیاهان در طول دوره رشد حائز اهمیت می باشد. به طور کلی در ضرایب همبستگی مثبت $SOI-ET_0$ و در مقیاس فصلی، ET_0 با تأخیر زمانی حدود یک فصل، در فاز لاینیو نسبت به فاز نرمال ۹/۹ درصد کاهش نشان داد و در فاز لاینیو نیز ۸/۳ درصد نسبت به فاز نرمال افزایش داشت. نتایج این تحقیق نشان داد که ET_0 در مقیاس سالانه نیز در شهرهای اصفهان، ارومیه، تربت حیدریه، قزوین و تبریز با تغییرات شاخص SOI رابطه دارد. با وجود اینکه آغاز پدیده انسو معمولاً از اوایل شروع سال میلادی می باشد، اما در هیچ کدام از شهرهای مورد مطالعه همبستگی معنی دار همزمان در فصل زمستان (ژانویه، فوریه، مارس) مشاهده نشد، که با توجه به فاصله مکانی بین ایران و مکان اصلی وقوع انسو، این فرضیه تقویت می شود که تأثیر انسو بر فرآیند ET_0 در شهرهای مختلف با تأخیر زمانی متفاوتی ظاهر می شود. بررسی نتایج نشان داد که بین تأخیرهای زمانی حادث شده با بعد فاصله، طول جغرافیایی و عرض جغرافیایی ایستگاه های مورد مطالعه رابطه فیزیکی معنی داری وجود ندارد. بطور مثال متوسط تأخیر زمانی حادث شده در اصفهان ۳/۳ ماه بود در حالیکه در شهرکرد با فاصله زمانی نه چندان دور، تأخیر زمانی بدست آمده ۶/۷ ماه به دست آمد. بررسی علت این امر نیاز به مطالعات جامع تری دارد. تأثیرپذیری تبخیر و تعرق از پدیده انسو در فصل بهار در دو شهر تربت حیدریه و قزوین، و در فصل تابستان در شهرهای تبریز و قزوین از نظر مدیریت منابع آب از اهمیت فراوان برخوردار است.

به طور کلی با وجود ضرایب همبستگی مثبت و کاهش تبخیر و تعرق در فاز لاینیو، و با توجه به نتایج تحقیقات مختلف بر نوسانات بارش که حاکی از افزایش بارش در فازهای لاینیو می باشد می توان با توجه به منابع آبی و با مدیریت صحیح و تخمین دقیق نیاز آبی، سطح زیر کشت محصولات را در ماه های وقوع لاینیو افزایش داد. برعکس، در صورت بروز فاز لاینیو (کاهش بارش و افزایش تبخیر و تعرق در ایران)، با کاهش سطح زیر کشت، انتخاب الگوی کشت مناسب و استفاده بهینه از آب موجود خسارت کمتری را در بخش کشاورزی و منابع آب شاهد باشیم.

در این تحقیق بعد از محاسبه ضرایب همبستگی بین تبخیر و تعرق مرجع و شاخص SOI ، در مواردی که ضرایب همبستگی معنی دار بودند، داده های شاخص SOI به ترتیب صعودی و فازهای مختلف انسو بر اساس ۲۵ درصد بالایی و ۲۵ درصد پایینی شاخص SOI به ترتیب به عنوان فازهای لاینیو و لاینیو و مقادیر بین این دو محدوده به عنوان فاز نرمال در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد مقدار ET_0 در ۹۲ درصد از شهرهای مورد بررسی با شاخص نوسانات جنوبی در سطح ۹۵٪ دارای همبستگی معنی دار بودند. تأثیرپذیری ET_0 از انسو در موارد همبستگی مثبت، با متوسط تأخیر زمانی ۳/۲ ماه بدست آمد که می تواند در پیش بینی تغییرات نیاز آبی مفید باشد. طبق نتایج به دست آمده، ماه های فصل بهار و فصل تابستان با حداکثر تعداد ماه های تأثیرگذار باعث ایجاد بیشترین تغییرات در ET_0 ماه های فصل تابستان و پاییز شدند. در بین ضرایب همبستگی معنی دار مشاهده شده در مقیاس ماهیانه، ۷۲ درصد موارد دارای ضریب همبستگی مثبت ($r=0/34$) و ۲۸ درصد موارد دارای ضریب همبستگی منفی ($r=-0/34$) بودند. در ضرایب همبستگی مثبت، مقدار ET_0 به طور متوسط در فاز لاینیو ۱۰/۸ درصد کمتر از فاز نرمال و ۱۴/۸ درصد کمتر از فاز لاینیو بود. مقدار ET_0 در فاز لاینیو نیز به طور متوسط ۱۳/۱ درصد بیشتر از ET_0 در فاز نرمال بدست آمد. تعداد ماه هایی که در ضرایب همبستگی مثبت دارای اختلاف میانگین معنی دار بین دو فاز لاینیو و نرمال بودند، به طور قابل ملاحظه ای بیشتر از تعداد اختلاف میانگین معنی دار دو فاز لاینیو و نرمال بود. همچنین در مواردی که ضرایب همبستگی $SOI-ET_0$ منفی بود، تعداد ماه هایی که مقدار ET_0 توسط فاز لاینیو تحت تأثیر معنی دار قرار گرفته بودند بیشتر از تأثیرات فاز لاینیو بود. لذا در حالت کلی در زمان وقوع پدیده انسو، کاهش معنی دار ET_0 بیشتر از افزایش معنی دار آن اتفاق افتاد. بیشترین تأثیر پذیری ET_0 از پدیده انسو به ترتیب مربوط به ماه های نوامبر، اکتبر و دسامبر (ماه های فصل پاییز) بود. در مقیاس فصلی، در ۸۰ درصد مناطق مورد مطالعه مقدار ET_0 فصل پاییز تحت تأثیر تغییرات شاخص نوسانات جنوبی قرار گرفت. این نتیجه با توجه

منابع

- ۱- تریولا م، تهرانیان م، و بزرگ نیا ا. ۱۳۸۰. آمار کاربردی (همراه با برنامه های کامپیوتری). چاپ سوم، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.
- ۲- خورشید دوست ع.م، و قویدل رحیمی ی. ۱۳۸۵. ارزیابی اثر پدیده انسو بر تغییرپذیری بارش های فصلی استان آذربایجان شرقی با استفاده از شاخص چند متغیره انسو. مجله پژوهش های جغرافیایی، ۵۷، ۱۵-۲۶.
- ۳- خوش اخلاق ف. ۱۳۷۷. پدیده انسو و تأثیر آن بر رژیم بارش ایران. فصل نامه تحقیقات جغرافیایی، ۴۴۷، ۱۲۱-۱۳۹.
- ۴- عزیزی ق. ۱۳۷۹. ال نینو و دوره های خشکسالی - ترسالی در ایران. مجله پژوهش های جغرافیایی، ۳۸، ۷۱-۸۴.
- ۵- غفاری ع، دپائو ا، و قاسمی دهکردی و.ر. ۱۳۸۴. پهنه بندی اقلیم کشاورزی ایران با روش یونسکو، موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور.

- مرکز تحقیقات بین‌المللی کشاورزی در مناطق خشک (ایکاردا) و موسسه تحقیقات خاک و آب.
- ۶- غیور ح. و خسروی م. ۱۳۸۱. تأثیر پدیده انسو بر ناپهنجاری‌های بارش تابستانی و پاییزی منطقه جنوب شرق ایران. فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی، ۵۲۳، ۱۴۱-۱۷۴.
- ۷- غیور ح. و عساکره ح. ۱۳۸۰. مطالعه اثر پیوند از دور بر اقلیم ایران مطالعه موردی: اثر نوسانات اطلس شمالی و نوسانات جنوبی بر تغییرات میانگین ماهیانه دمای جاسک، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی. ۵۲۹، ۱۱۳-۹۳.
- ۸- کریمی‌خواججه‌لنگی ص. ۱۳۸۵. ارتباط انسو با نوسانات الگوی بارش ماهیانه در ایران (مطالعه موردی شهرکرد). مجله نیوار، ۴۳-۵۲.
- ۹- مدرس پور آ. ۱۳۷۶. تأثیر رویداد انسو (النینو/ نوسان جنوبی) بر بارندگی و دمای ایران. مجله نیوار. ۳۳، ۸۲-۶۷.
- ۱۰- ناظم‌السادات م.ج.، انصاری بصیر ا. و پیشوایی م.ر. ۱۳۸۶. ارزیابی سطح معنی‌داری برای پیش‌بینی دوران خشکسالی و ترسالی فصل پاییز و شش ماهه سرد ایران بر اساس وضعیت فازهای تابستانه ENSO. مجله تحقیقات منابع آب ایران. ۱، ۲۴-۱۲.
- ۱۱- ناظم‌السادات م.ج.، سامانی ن. و مولایی نیکخو م. ۱۳۸۴. تغییر اقلیم در جنوب و جنوب غرب ایران از دیدگاه مشاهدات بارش، برهمکنش با پدیده النینو نوسانات جنوبی. مجله علمی کشاورزی، ۲۸، ۹۹-۸۱.
- 12- Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., and Smith M. 1998. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. pp 301.
- 13- Chang J. 1968. Climate and Agriculture. An Ecological Survey. Ed. Andine. Pp 296.
- 14- Fowler A.M., Boswijk G., Gergis G., and Lorrey A. 2008. ENSO history record in Agathis Australis (Kauri) tree ring. Part A: Kauri's potential as an ENSO proxy, Royal Meteorological Society, 28: 1-20.
- 15- Guetter A.K., and Georgakakos K.P. 1996. Are the El Nino and La Nina Predictors of the Iowa River Seasonal Flow? Journal of Applied Meteorology, 35: 690- 705.
- 16- [Http://www.bom.gov.au](http://www.bom.gov.au) (Visited: 12/10/2009)
- 17- Meza F.J. 2004. ENSO effects on reference evapotranspiration (ET₀) at the Maipo river basin, Chile. Bulletin of the American Meteorological Society, 3567-3572.
- 18- Nazemosadat M.J. 1999. The impact of ENSO on autumnal rainfall in Iran Drough, New's Network, 11:15-19.
- 19- Nazemosadat M.J., and Cordery I. 2000. On the relationships between ENSO and autumnal rainfall in Iran. Int. J. Climatol, 1:47- 46.
- 20- Oram P.A. 1989. Sensitivity of gricultural prediction to climatic change, an update. Climate and Food Security, IRR. Manila, Philippines. 25-44.
- 21- Poveda G., Jaramillo A., Gil M.M., Quiceno N., and Mantilla'a R. 2001. Seasonality in ENSO-related precipitation, river discharges, soil moisture, and vegetation index in Colombia. Water Resources Research, 37:2169 –2178.
- 22- Rollenbeck R., and Anhuf D. 2007. Characteristics of water and energy balance in an Amazonian lowland rainforest in Venezuela and the impact of the ENSO cycle. Journal of Hydrology, 337:337-390.
- 23- Rosegrant M.W., Ringler C., McKinney D.C., CAI X., and Donoso G. 2000. Integrated economic-hydrologic water modeling at the basin scale: the Maipo river basin. Agricultural Economics, 24: 33-46.
- 24- Sabziparvar A.A., Mirmasoudi S.H., Tabari H., Nazemosadat M.J., Maryanaji Z. 2011. ENSO teleconnection impacts on reference evapotranspiration variability in some warm climates of Iran. International Journal of Climatology, 31:1710-1723.
- 25- Trenberth K.E. 1997. The Definition of El Niño, Bulletin of the American Meteorological Society, 78 (12): 2771-2777.

The Impact of ENSO Event on Reference Crop Evapotranspiration Variability in Some Typical Cold Climates of Iran

A.A. Sabziparvar^{1*} - S. Tanian²

Received: 01-08-2012

Accepted: 16-12-2012

Abstract

The main aim of this research is investigating the effect of ENSO phenomenon on reference evapotranspiration (ET_0) on monthly, seasonal and annual time scales, using Southern Oscillation Index (SOI). For this purpose, 13 sites located in cold climate regions with 50 years (1957-2006) meteorological data were selected. In the first step, the reference evapotranspiration rates were determined for the selected sites by using FAO recommended approach. In the second step, different phases (El Nino, La Nina and normal) were separated in terms of SOI and the mean deviation of ET_0 values at each phase were compared by Mann-Whitney test. At statistical significant levels ($p < 0.1$), good correlation were found between the ET_0 values and SOI. About 72% of correlations were positive and the rest (28%) were negative. In positive SOI- ET_0 correlations, the monthly averages of ET_0 values during El Nino phases were 14.8% and 10.8% lower than ET_0 of La Nina and Normal phases, respectively. On the contrary, the average ET_0 rates in La Nina phases were 13.1% higher than the corresponding values of normal phases. The mean time lag to observe the highest impact of ENSO on ET_0 was 3.2 months. The highest effective months in the study sites was found to be November, October and December, respectively. In seasonal time scale, 68% of the statistical significant affecting cases were occurred in autumn. It was found that the cold climates were more sensitive to the ENSO signals than warm climates. The results can be useful for policy makers in water resources management and agricultural sectors.

Keywords: Reference evapotranspiration, ENSO, SOI, Teleconnection

1,2- Professor and Former M.Sc Student of Irrigation and Drainage Department, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University Hamedan

(*- Corresponding Author Email: swsabzi@basu.ac.ir)