

کاربرد شاخص خشکسالی مؤثر (EDI) برای بررسی دوره‌های خشکی (مطالعه موردی: ایستگاه‌های تبریز، بندر انزلی و زاهدان)

شیوا اختیاری خواجه^{۱*} و یعقوب دین‌پژوه^۲

*- نویسنده مسئول، دانش‌آموخته‌ی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، گروه مهندسی آب، دانشگاه تبریز. Shiva.ekhtiyari@gmail.com

۲- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه تبریز.

تاریخ پذیرش: ۹۵/۹/۳

تاریخ دریافت: ۹۵/۴/۶

چکیده

در این مطالعه، مشخصات خشکسالی ایستگاه‌های تبریز، بندرانزلی و زاهدان طی دوره‌ی آماری از سال آبی ۳۱-۱۳۳۰ تا ۹۱-۱۳۹۰ با استفاده از شاخص خشکسالی مؤثر (EDI) مورد بررسی قرار گرفت. در این مطالعه شاخص بارش مؤثر روزانه، با محاسبه‌ی شاخص‌های دیگر از قبیل میانگین بارش مؤثر روزانه (MEP) برای هر روز سال، مقدار تفاضل بارش مؤثر روزانه از میانگین بارش مؤثر (DEP)، مقادیر استاندارد شده‌ی DEP (که با SEP نشان داده می‌شود) و بارندگی مورد نیاز برای برگشت به شرایط نرمال (که با PRN نمایش داده می‌شود)، به دست آمد و در نهایت شاخص خشکسالی مؤثر (EDI) برای ایستگاه مورد مطالعه در کل دوره‌ی آماری به دست آمد. همچنین نمودار سری زمانی مربوط به پارامترهای محاسبه شده نیز رسم گردید. طبق نتایج به دست آمده معلوم شد که سال‌های آبی ۸۷-۱۳۸۶، ۸۷-۱۳۸۶ و ۸۱-۱۳۸۰ به ترتیب برای ایستگاه‌های تبریز، بندر انزلی و زاهدان خشک‌ترین سال آبی در طول دوره‌ی آماری ۶۰ ساله می‌باشند. براساس تعداد روزهایی که در هر ایستگاه خشکسالی رخ داده است، می‌توان نتیجه گرفت که ایستگاه‌های بندرانزلی، تبریز و زاهدان به ترتیب با ۲۴۰۷، ۱۵۱۷ و ۱۳۳۸ روز خشک از کل دوره‌ی آماری به ترتیب تعداد در رتبه‌های اول تا سوم جای گرفته‌اند.

کلید واژه‌ها: تبریز، بندر انزلی، زاهدان، خشکسالی، شاخص خشکسالی مؤثر.

مقدمه

خشکسالی به دوره‌ای از زمان اطلاق می‌شود که کمبود آب، خساراتی به محصولات کشاورزی، منابع آبی و ... وارد نموده و محیط‌زیست و زندگی بشر را مختل می‌نماید. البته خشکسالی بسته به منطقه و هدف مورد بررسی می‌تواند تعاریف مختلفی داشته باشد، چرا که میزان کمبود آب در مناطق مختلف تعاریف متفاوتی دارد. پیش‌بینی وقوع خشکسالی تقریباً غیرممکن است و طبیعتاً پدیده‌ای است که آهسته پیش‌روی می‌کند، لذا با شناسایی به موقع آن در مراحل اولیه، امکان کاهش اثرات مخرب آن بر بخش‌های مختلف محیط‌زیست، کشاورزی، منابع آبی و ... فراهم خواهد نمود.

زمان و مکان وقوع خشکسالی و میزان شدت آن به کمک شاخص‌های خشکسالی تعیین می‌گردد. دانشمندان به منظور ارزیابی این پدیده شاخص‌های مختلفی را ارائه نمودند. شاخصی در شناخت پدیده‌ی خشکسالی مؤثر خواهد بود که بتواند ارزیابی دقیق، ساده و روشنی را از این پدیده ارائه نماید. شاخص خشکسالی مؤثر (EDI [Effective Drought Index]) از جمله روش‌هایی است که براساس مقدار بارش روزانه تجمعی با روش وزن‌دهی استوار است (Moggadasi et al., 2005). این روش تنها روش شناخته شده است که خشکی روزانه و همچنین دوره‌های خشکی (که به مدت چندین سال به طول انجامیده باشد) را تعیین می‌کند. در ایران در زمینه‌ی شاخص EDI کارهای اندکی

صورت گرفته است. Moggadasi et al. (2005) وضعیت خشکسالی استان تهران را در سال آبی ۷۸-۱۳۷۷ به کمک شاخص خشکسالی مؤثر (EDI) به‌طور نقطه‌ای و مکانی پایش و ارزیابی نموده و به بررسی حساسیت شاخص نسبت به طول دوره آماری پرداختند. همچنین ایشان طی مقاله‌ای جداگانه اقدام به پایش مکانی خشکسالی‌های رخ داده طی سال‌های ۷۸-۱۳۷۷ تا ۸۰-۱۳۷۹ در استان تهران به کمک شاخص دهک‌ها (DI - Deciles Index) و شاخص بارش استاندارد شده (SPI - Standardized Precipitation Index) و شاخص خشکسالی مؤثر (EDI) با استفاده از برنامه GIS (Geographic Information system) نمودند. Akhtari, Mahdian و Morid (2007) شاخص‌های خشکسالی را تحلیل مکانی نموده و پایش خشکسالی را بر اساس شاخص‌های SPI و EDI با آمار مربوط به ۴۳ ایستگاه در سطح استان تهران انجام دادند. Morid و Paymzod (2008) طی دوره آماری ۷۸-۱۳۷۷ تا ۸۰-۱۳۷۹ روش پایش هیدرولوژیکی خشکسالی به نام روش چانگ با مقیاس روزانه را با شاخص هواشناسی خشکسالی مؤثر (EDI) برای استان تهران مورد بررسی قرار دادند. امروزه این شاخص بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. Byun و Wilhite (1999) ضمن برشمردن معایب سایر شاخص‌های ارائه شده، شاخص‌های جدید بارش مؤثر (EP (Effective Precipitation) و میانگین بارش مؤثر (MEP (Mean of Effective Precipitation) و در

نهایت شاخص خشکسالی مؤثر EDI را معرفی نموده و به توضیح پیرامون آن‌ها پرداختند. همچنین آن‌ها این شاخص‌ها را در دشت‌های بلند مناطق ایالات متحده طی سال‌های آماری ۱۹۶۰ تا ۱۹۹۶ مورد آزمایش قرار داده و نتایج را با گزارشات گذشته خشکسالی مقایسه نمودند. ایشان طی بحث پیرامون نمودارهای مرسوم بارندگی روزانه و شاخص‌های خشکسالی به این نتیجه رسیدند که شاخص‌های مرتبط با EP (از جمله EDI) برای استفاده کاربردی مناسب است. همچنین دریافتند که تمامی شاخص‌های جدید محاسبه شده از EP در منطقه مطالعاتی نتایج مطلوبی نشان می‌دهد. از بین این شاخص‌ها، EDI به‌عنوان بهترین شاخص در ارزیابی شدت خشکسالی به‌صورت جهانی و PRN (Precipitation needed for Returning to Normal) نیز به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص در مناطق محدود با سری زمانی شناسایی شدند. Morid، Bagherzadeh و Smakhtin (2007) عملکرد هفت شاخص خشکسالی شامل شاخص دهک‌ها، شاخص درصد نرمال، شاخص بارش استاندارد شده، شاخص Z چینی، شاخص Z چینی اصلاح شده (MCZI)، شاخص Z اسکور و شاخص خشکسالی مؤثر را در استان تهران به‌منظور پایش خشکسالی باهم مقایسه نمودند. از بحث پیرامون شاخص‌ها نتیجه گرفته شده که شاخص‌های Z چینی اصلاح شده MCZI (Modified China Z Index) و شاخص درصد نرمال PN (Percent of Normal) برای ارزیابی خشکسالی در استان تهران مناسب نیستند. شاخص DI نیز حساسیت زیادی به تغییرات مکانی و زمانی در طول دوره‌های مرطوب از خود نشان داد. شاخص EDI نسبت به DI و SPI پاسخ سریع‌تری به شرایط خشکی اضطراری از خود نشان داده و نسبت به دیگر شاخص نیز توسعه شرایط خشکی را بهتر نمایان می‌سازد. این در حالی است که نیاز به سری روزانه داده‌های بارش به‌عنوان ضعف این شاخص شناخته شد. Kim، Byun و Choi (2009) به‌منظور انتخاب یک شاخص پایه، دو شاخص هواشناسی EDI و SPI را برای ایستگاه سئول در کره‌ی جنوبی در دوره آماری ۱۸۰۷ تا ۲۰۰۶ مورد ارزیابی قرار دادند. همچنین آن‌ها شاخص‌هایی هم‌چون شاخص EDI اصلاح شده (CEDI (corrected EDI)، شاخص EDI تجمعی (Accumulated EDI)، شاخص EDI تجمعی سالانه منفی (YAEDI (Year Accumulated negative EDI) را به‌منظور اصلاح و بهسازی شاخص EDI ارائه نمودند. ایشان به مقایسه و بررسی نقاط ضعف و قدرت دو شاخص نامبرده پرداختند. Byun و Kim (2010) به مقایسه‌ی عملکرد شاخص‌های EDI و SPI در سئول کره‌ی جنوبی پرداختند. ایشان در این تحقیق مقیاس‌های زمانی ۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲ و ۲۴ ماهه را برای شاخص SPI برگزیدند. ایشان نمودار نقطه‌ای حداقل مقدار EDI در برابر SPI را به‌منظور ارزیابی دقت اندازه‌گیری دو شاخص خشکسالی ترسیم نمودند. نتایج حاکی از این است که هم‌بستگی واضح و مشخصی بین دو شاخص وجود ندارد، اما در طولانی‌مدت شاخص SPI رفتار

مشابه‌ی همانند رفتار EDI از خود نشان می‌دهد. از نتایج می‌توان دریافت که در بازه‌های زمانی کوتاه‌مدت‌تر شاخص SPI شدت خشکسالی را کمتر از وضعیت واقعی آن برآورد می‌نماید. Wambua، Mutua و Raude (2014) عملکرد شاخص‌های EDI و SPI را در پیش‌بینی خشکسالی با استفاده از شبکه‌ی عصبی مصنوعی در بالادست حوضه‌ی رودخانه‌ی تانا (Tana river basin) بررسی نمودند. نتایج حاکی از این است که هر دو شاخص در ابتدای دوره، خشکسالی را با دقت خوبی پیش‌بینی نمی‌کنند، اما با گذشت زمان که تعداد داده‌های ورودی نرم‌افزار بیشتر می‌شود، دقت شاخص‌ها در مدل‌سازی خشکسالی نیز بهتر می‌گردد. با مقایسه‌ی مقادیر ضریب تعیین R^2 محاسبه شده بین شاخص‌های محاسباتی و مشاهداتی می‌توان به این نتیجه پی برد که شاخص EDI نسبت به شاخص SPI همبستگی بهتری با داده‌های مشاهداتی داشته و در نتیجه در پیش‌بینی خشکسالی بهتر عمل می‌نماید. Jain et al (2015) به‌منظور تعیین مناسب‌ترین شاخص‌ها در حوضه‌ی رودخانه‌ی کن واقع در مرکز هند به مقایسه‌ی شاخص‌های SPI، EDI، نمره‌ی Z استاندارد Z-score، Z چینی، انحراف از میانگین بارش RD (Rainfall Departure) و شاخص خشکسالی بر مبنای دهک بارش (Rainfall Decile based Drought Index) RDDI پرداختند. نتایج حاکی از این است که تمامی شاخص‌ها در بازه‌ی زمانی یک ماهه طول دوره‌ی خشکی را نادرست تخمین می‌زنند. همچنین نتیجه گرفته شد که در بازه‌ی زمانی ۹ ماهه شاخص‌ها بهترین همبستگی را باهم نشان می‌دهند. Jain et al. (2015) به این نتیجه رسیدند که شاخص EDI به این علت که از بازه‌ی زمانی خاصی برخوردار نیست همبستگی بهتری با سایر شاخص‌ها در تمامی بازه‌های زمانی (کوتاه یا طولانی) از خود نشان می‌دهد اما بهترین همبستگی در بازه‌ی زمانی ۹ ماهه رخ داده است. هم‌چنین دریافتند که این شاخص، خشکسالی را زودتر از سایر شاخص‌ها پیش‌بینی می‌کند که این مزیت بزرگی برای یک شاخص خشکسالی محسوب می‌شود. در یک منبع معتبر و بسیار جدید (WMO, 2016) این شاخص توسط Svoboda و Fuchs به عنوان یکی از مهم‌ترین شاخص‌های تشخیص آغاز و خاتمه‌ی دوره‌ی خشکی محسوب شده است و مزایای متعدد آن در مرجع مذکور به تفصیل آمده است. در جدیدترین مطالعه Deo et al. (2017) این شاخص را برای بررسی خشکسالی‌های هواشناختی در کشور استرالیا به‌کار بردند. هدف اصلی این مطالعه کاربرد شاخص EDI برای بررسی دوره‌های خشکی ایستگاه‌های تبریز، بندرانزلی و زاهدان در دوره‌ی آماری ۳۱-۱۳۳۰ تا ۹۱-۱۳۹۰ می‌باشد. به‌نظر می‌رسد چنین مطالعه‌ای با توجه به داده‌های بارش روزانه در این سه ایستگاه به انجام نرسیده است (مطالعات موجود در زمینه خشکسالی در مقیاس ماهانه و یا سالانه صورت گرفته است).

فرضی مراحل محاسبات آغاز می‌شود که در ادامه به آن پرداخته می‌شود.

بارش مؤثر روزانه

درک صحیح مفهوم EP یا بارش مؤثر برای تحلیل نتایج خشکسالی با روش EDI بسیار ضروری می‌باشد. مقدار بارش مؤثر از جمع کردن بارش با یک تابع کاهش وابسته به زمان به دست می‌آید. در حقیقت بارش مؤثر که برای هر روز از دوره آماری مورد مطالعه قابل محاسبه است، تابعی از بارندگی همان روز و یک دوره‌ی ماقبل خود می‌باشد؛ به طوری که بارش‌های اخیر نسبت به بارش‌های قدیمی‌تر وزن بیشتری را در EP به خود اختصاص می‌دهند. بدیهی است که محاسبات EP برای سال اول آماری انجام‌پذیر نخواهد بود، از این رو به تعداد $\{(-1) - \text{تعداد سال آماری}\}$ * ۳۶۵، EP قابل محاسبه است. Byun و Wilhite (1999) روابط مختلفی را برای محاسبه‌ی EP ارائه نمودند، که با توجه به تحقیق (Moggadasi et al (2005) رابطه‌ی (۱) به عنوان رابطه‌ی مناسب در تحقیق حاضر نیز انتخاب گردید:

$$EP_i = \sum_{m=1}^i [(\sum_{m=1}^n P_m) / n] \quad (1)$$

که در آن i تداوم فرضی و P_m مقدار بارش در $m - 1$ روز قبل (میلی‌متر) می‌باشد.

میانگین بارش مؤثر روزانه

MEP_i مقدار متوسط بارش مؤثر روزانه می‌باشد. همان‌طور که قبلاً نیز ذکر گردید، برای هر روز از سال به تعداد (۱-تعداد سال آماری) مقدار EP_i محاسبه می‌شود. بنابراین، با میانگین‌گیری از مقادیر EP_i مربوط به هر روز از دوره فرضی مقدار MEP_i همان روز به دست می‌آید. از آنجائی که تغییرات MEP_i زیاد است، Byun و Wilhite (1999) توصیه نمودند تا از میانگین متحرک ۵ روزه در محاسبه‌ی MEP_i (میلی‌متر) استفاده گردد.

پارامتر DEP_i (Deviation of MEP)

اختلاف مقادیر EP_i از MEP_i (مقدار متوسط بارش مؤثر) به کمک رابطه‌ی زیر محاسبه شد:

$$DEP_i = EP_i - MEP_i \quad (2)$$

که در آن MEP_i میانگین بارش مؤثر چند ساله (میلی‌متر)، EP_i بارش مؤثر (میلی‌متر) و DEP_i به عنوان اختلاف بین EP_i و MEP_i (میلی‌متر) شناخته می‌شود. چنانچه مقدار DEP_i مثبت گردد نشان‌دهنده‌ی ذخیره‌ی آب در همان تاریخ و مکان می‌باشد و مقدار منفی آن، معنی عکس دارد.

مواد و روش‌ها

ایستگاه‌های مورد مطالعه از سه اقلیم متفاوت ایران شامل تبریز، بندر انزلی و زاهدان انتخاب شد: تبریز مرکز استان آذربایجان شرقی بوده و در منتهی‌الیه مشرق و جنوب شرق جلگه‌ی تبریز قرار گرفته است. مختصات جغرافیایی شهر تبریز ۳۸ درجه و ۳۶ دقیقه شمالی و ۴۶ درجه و ۴۹ دقیقه شرقی و ارتفاع شهر از سطح دریا ۱۳۴۸ تا ۱۵۶۱ متر می‌باشد. میانگین دمای سالانه شهر تبریز در حدود ۱۱/۹ درجه سانتی‌گراد، میانگین بارش سالانه آن در حدود ۳۰۰ میلی‌متر می‌باشد. در شهر تبریز معمولاً در طول فصل تابستان میزان بارندگی بسیار ناچیز بوده و به ندرت بارش رخ می‌دهد. اقلیم تبریز به روش کوپن با نماد Bsk نمایش داده می‌شود یعنی دارای اقلیم نیمه‌خشک می‌باشد. بندر انزلی در ساحل دریای خزر و در استان گیلان واقع شده است. مختصات جغرافیایی آن در طول ۴۹ درجه و ۲۸ دقیقه و عرض ۳۷ درجه و ۲۸ دقیقه واقع شده است. ارتفاع آن از سطح دریاهای آزاد منهای ۲۴ متر است. میزان بارندگی شهرستان بندر انزلی تا ۱۸۹۲ میلی‌متر نیز گزارش شده است. بیشترین مقدار بارش در طول سال مربوط به ماه‌های شهریور و مهر می‌باشد. میزان رطوبت نسبی سالیانه به طور متوسط در حدود ۷۱ تا ۹۷ درصد و میانگین دمای سالانه بندر انزلی ۱۶/۲ درجه‌ی سانتی‌گراد است. اقلیم بندرانزلی به روش کوپن با نماد Cfa نمایش داده می‌شود یعنی دارای اقلیم نیمه‌گرمسیری مرطوب می‌باشد. زاهدان مرکز استان سیستان و بلوچستان است که در شمال این استان واقع شده است. مختصات جغرافیایی آن ۶۰ درجه و ۵۱ دقیقه شرقی و ۲۹ درجه و ۳۰ دقیقه شمالی می‌باشد. ایستگاه زاهدان ۱۳۸۵ متر از سطح دریا ارتفاع دارد. میانگین بارش سالیانه زاهدان ۷۲ میلی‌متر است. میانگین دمای بیشینه‌ی سالانه ۳۷ درجه سانتی‌گراد و میانگین دمای کمینه‌ی آن در حدود ۱۲/۶- درجه سانتی‌گراد ثبت شده است. میانگین سالانه‌ی رطوبت نسبی آن در حدود ۳۳ درصد می‌باشد. اقلیم زاهدان به روش کوپن با نماد BW نمایش داده می‌شود یعنی دارای اقلیم گرم و خشک می‌باشد.

شاخص EDI

به منظور پایش هرچه بهتر خشکسالی، کوتاه‌تر نمودن مقیاس زمانی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. مزیت اصلی شاخص خشکسالی مؤثر نسبت به سایر شاخص‌های شناخته شده این است که، این شاخص از مقیاس زمانی روزانه برخوردار است. لازم به ذکر است که تنها داده‌ی مورد نیاز این روش، داده‌های بارندگی می‌باشد. مراحل محاسباتی این شاخص با انتخاب دوره‌ی فرضی کمبود آب آغاز و با ادامه‌ی عملیات دوره‌ی واقعی آن تعیین می‌گردد. مقصود از دوره‌ی فرضی در نظر گرفتن یک دوره‌ی کمبود بارش فرضی قبل از شروع دوره‌ی آماری است. این دوره‌ی فرضی می‌تواند ۳۶۵ روزه یا ۱۵ روزه باشد. پس از انتخاب دوره‌ی

اختیاری خواجه و دین پژوه: کاربرد شاخص خشکسالی مؤثر (EDI) برای...

DEP_i هر روز با تداوم واقعی مقدار بارندگی مورد نیاز برای برگشت به شرایط نرمال روزانه (PRN_j) با استفاده از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$PRN_j = \frac{DEP_j}{\sum_{N=1}^j \left(\frac{1}{N}\right)} \quad (4)$$

در رابطه‌ی فوق اندیس j نشان‌دهنده‌ی تداوم واقعی، PRN_j مقدار بارندگی لازم برای برگشت به شرایط نرمال از کمبود بارش را نشان می‌دهد (میلی‌متر).

شاخص خشکسالی مؤثر

مقدار کمبود بارش نسبت به وضعیت نرمال نشان‌دهنده‌ی شدت خشکسالی می‌باشد، لذا PRN_j را می‌توان به عنوان شدت خشکسالی ارزیابی نمود. بنابراین، در شرایط آب و هوایی مختلف نیاز به استاندارد نمودن مقدار PRN_j می‌باشد. EDI_j در واقع شکل استاندارد شده‌ی PRN_j بوده و به عنوان شدت خشکسالی معرفی می‌گردد، که به کمک رابطه‌ی ۵ قابل محاسبه است:

$$EDI_j = \frac{PRN_j}{ST(PRN_j)} \quad (5)$$

که در آن $ST(PRN_j)$ انحراف معیار PRN_j می‌باشد. EDI_j (میلی‌متر) وضعیت خشکی را مستقل از شرایط آب و هوایی نشان می‌دهد. پس از محاسبه‌ی مقادیر شاخص EDI_j برای هر روز از سال (۳۶۵ روز) طبقه‌بندی خشکسالی به شرح جدول (۱) انجام می‌شود (Byun et al. (2016). در ادامه مراحل محاسباتی شاخص EDI به صورت طرح‌واره‌ای آورده شده است (شکل ۱). لازم به ذکر است که در مطالعه‌ی حاضر کلیه شاخص‌های فوق در محیط Matlab اجرا گردید.

مقدار استاندارد شده‌ی DEP_i (SEP_i)

به منظور مقایسه‌ی نتایج مناطق مختلف بدون در نظر گرفتن شرایط آب و هوایی آنها، مقدار DEP_i با استفاده از رابطه‌ی ۳ نرمال گردید:

$$SEP_i = \frac{DEP_i}{ST(EP_i)} \quad (3)$$

که در آن $ST(EP_i)$ انحراف معیار بارش مؤثر (میلی‌متر) برای هر روز از دوره‌ی فرضی بوده، SEP_i نیز مقدار استاندارد شده‌ی DEP_i (میلی‌متر) می‌باشد.

دوره‌ی خشک و تداوم واقعی

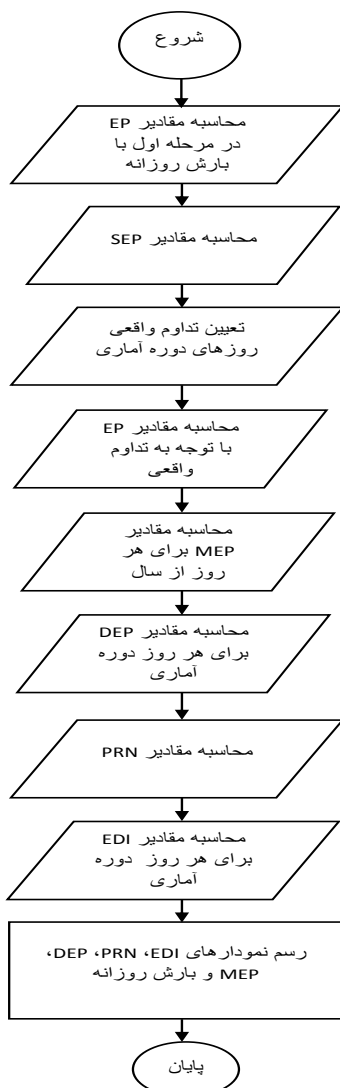
مشخص است که مقادیر منفی مربوط به DEP_i و SEP_i نشان‌دهنده‌ی این است که بارندگی کمتر از حد نرمال بوده و بنابراین دوره‌ی خشکی اتفاق افتاده است. دوره‌ی خشک به دوره‌ای اطلاق می‌گردد که مقادیر مربوط به این پارامترها به طور متوالی منفی باشد. تداوم واقعی خشکی نیز از جمع بستن دوره‌ی فرضی با دوره‌ی تر یا خشک به دست می‌آید. برای هر روز از دوره‌ی آماری تداوم واقعی محاسبه شد.

بارندگی مورد نیاز برای برگشت به شرایط نرمال روزانه (PRN_j)

با توجه به دوره‌ی تداوم واقعی محاسبه شده، با تکرار محاسبات مراحل قبل مقدار بارش مورد نیاز برای برگشت به شرایط نرمال قابل محاسبه خواهد بود. بدین ترتیب که برای هر روز از دوره‌ی مورد نظر با در دست داشتن دوره‌ی تداوم واقعی، مقادیر EP_i ، MEP_i و DEP_i مجدداً محاسبه می‌گردد. تنها تفاوت بین محاسبات این مرحله با محاسبات قبلی در مقدار تداوم (فرضی یا واقعی) می‌باشد. در مرحله‌ی اول محاسبات با تداوم فرضی انجام گرفته بود، درحالی‌که این بار با تداوم واقعی محاسبه شده درگام قبلی مقادیر پارامترها محاسبه می‌شود. پس از محاسبه مقدار

جدول ۱- محدوده‌ی شاخص EDI و نوع خشکسالی از نظر شدت

مقدار EDI	نوع خشکسالی
$EDI \leq -2$	بسیار شدید
$-2 < EDI \leq -1.5$	شدید
$-1.5 < EDI \leq -1$	ملايم
$-1 < EDI \leq +1$	نرمال از نظر بارش



شکل ۱- طرح‌واره ی برنامه ی رایانه ای کلی جهت محاسبه ی شاخص EDI

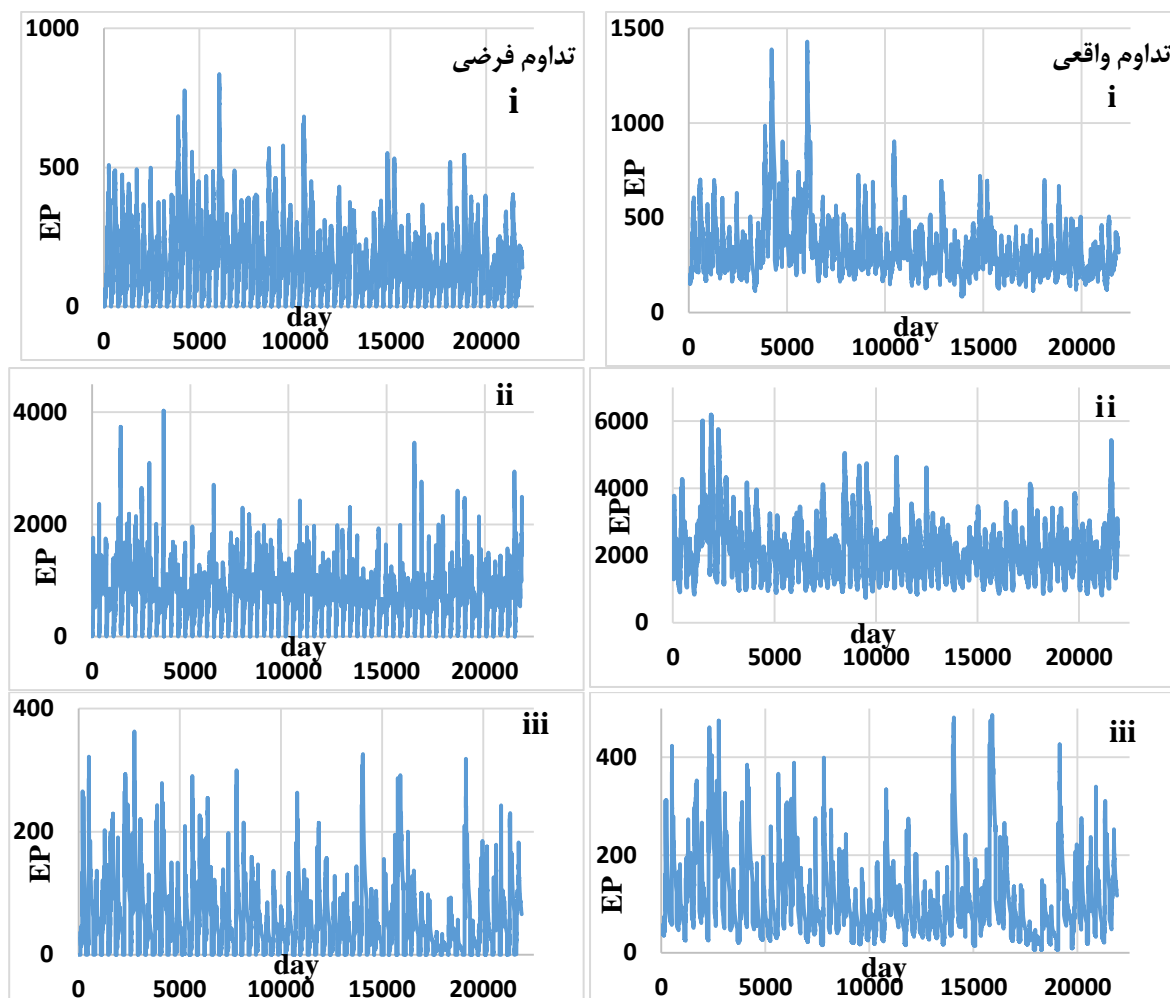
ایستگاه معادل ۸۳۵ میلی‌متر است که در روز نوزدهم فروردین ماه سال ۱۳۴۸ تجربه شده است. مقایسه ی حداکثر مقدار EP ایستگاه تبریز با ایستگاه مهرآباد تهران (Moggadasi et al., 2005) نشان می‌دهد که حداکثر مقدار EP ایستگاه تبریز بیش از دو برابر مقدار نظیر در تهران است. همچنین بنا بر گزارش Byun و Wilhite (1999) حداکثر مقدار پارامتر EP ایستگاه نبراسکای ایالت متحده ی آمریکا در حدود تقریباً دو برابر این مقدار برای ایستگاه تبریز می‌باشد.

نتایج و بحث

به منظور بررسی نتایج تحقیق حاضر نمودار داده‌های بارش روزانه، میانگین بارش روزانه و میانگین بارش ماهانه ایستگاه‌ها در دوره ی آماری مورد نظر از اول مهر سال ۱۳۳۰ تا آخر شهریور سال ۱۳۹۱ و همچنین تمامی پارامترهای لازم برای محاسبه شاخص خشکسالی مؤثر در محیط زبان برنامه‌نویسی متلب کدی برای ترسیم آن‌ها نوشته شد.

شکل (۲) نمودار مقادیر بارش مؤثر روزانه با تداوم فرضی و در حالت تداوم واقعی نشان می‌دهد. به طوری که از این شکل برای ایستگاه تبریز می‌توان استنباط کرد بیشترین مقدار EP در این

اختیاری خواجه و دین پژوه: کاربرد شاخص خشکسالی مؤثر (EDI) برای...



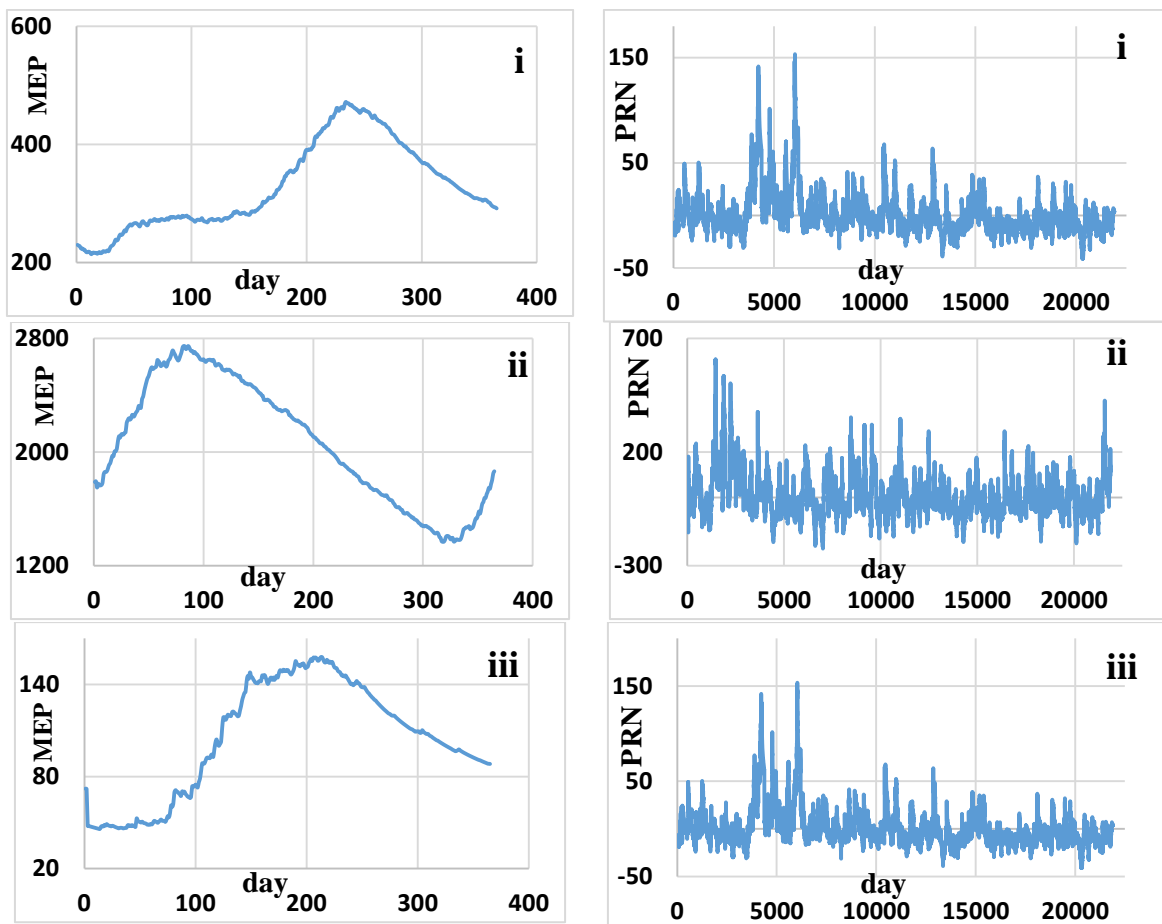
شکل ۲- نمودار بارش مؤثر روزانه با تداوم فرضی و واقعی (بر حسب میلی‌متر). i: ایستگاه تبریز، ii: بندر انزلی و iii: زاهدان

آبی ۷۸-۱۳۷۷ (Moggadasi et al., 2005) در حدود ۴۴۰ میلی‌متر بوده است، که تقریباً مشابه با مقدار متناظر در ایستگاه تبریز است.

در ایستگاه تبریز کمبودهای بارش مورد نیاز برای برگشت به شرایط نرمال در برخی از روزهای دوره‌ی آماری مورد نظر به ۴۰ میلی‌متر نیز رسیده است. در روزهای پرباران که نیازی به بارش اضافی برای جبران کمبود آن نیست، مقدار بارش اضافی در موارد بسیار نادر به ۱۵۰ میلی‌متر نیز رسیده است. نتایج نشان داد که در طول دوره‌ی آماری مورد مطالعه در بازه‌ی زمانی اواسط سال ۱۳۴۲ تا اواخر سال ۱۳۴۷ مقدار PRN به‌طور پیوسته مقادیر مثبت به خود گرفته است. در واقع می‌توان این سال‌ها را به‌عنوان سال‌های پرآب برای ایستگاه تبریز معرفی نمود. جدول (۲) حداکثر و حداقل مقادیر پارامترهای PRN و DEP محاسبه شده در ایستگاه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

از مقایسه‌ی شکل (۲) در دو حالت تداوم فرضی و واقعی می‌توان فهمید مقادیر بارش مؤثر با تداوم واقعی به مراتب بیشتر از مقدار نظیر با تداوم فرضی (۳۶۵ روز) است.

شکل (۳) نمودارهای مربوط به MEP و PRN برای ایستگاه‌های مطالعاتی را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل می‌توان استنباط نمود که مقدار میانگین بارش مؤثر روزانه تبریز در روزهای مابین دهه‌ی دوم آبان تا اواخر آذر ماه و در روزهای دهه‌ی دوم فروردین تا دهه‌ی دوم خرداد افزایش داشته است. بیشترین مقدار میانگین بارش مؤثر روزانه معادل ۴۷۲ میلی‌متر است که مربوط به روز ۲۴م اردیبهشت ماه می‌باشد. همین مقدار مورد نظر طبق یافته‌های Byun و Wilhite (1999) برای منطقه‌ی نبراسکا در ایالت متحده‌ی آمریکا تقریباً در حدود ۱۰۰۰ میلی‌متر است که تقریباً ۲/۱۲ برابر مقدار متناظر برای ایستگاه تبریز می‌باشد. مقدار متناظر در ایستگاه مهرآباد تهران طی سال



شکل ۳- نمودار مربوط به مقادیر MEP و PRN در ایستگاه‌های مطالعاتی. i: ایستگاه تبریز، ii: ایستگاه بندرانزلی و iii: ایستگاه زاهدان

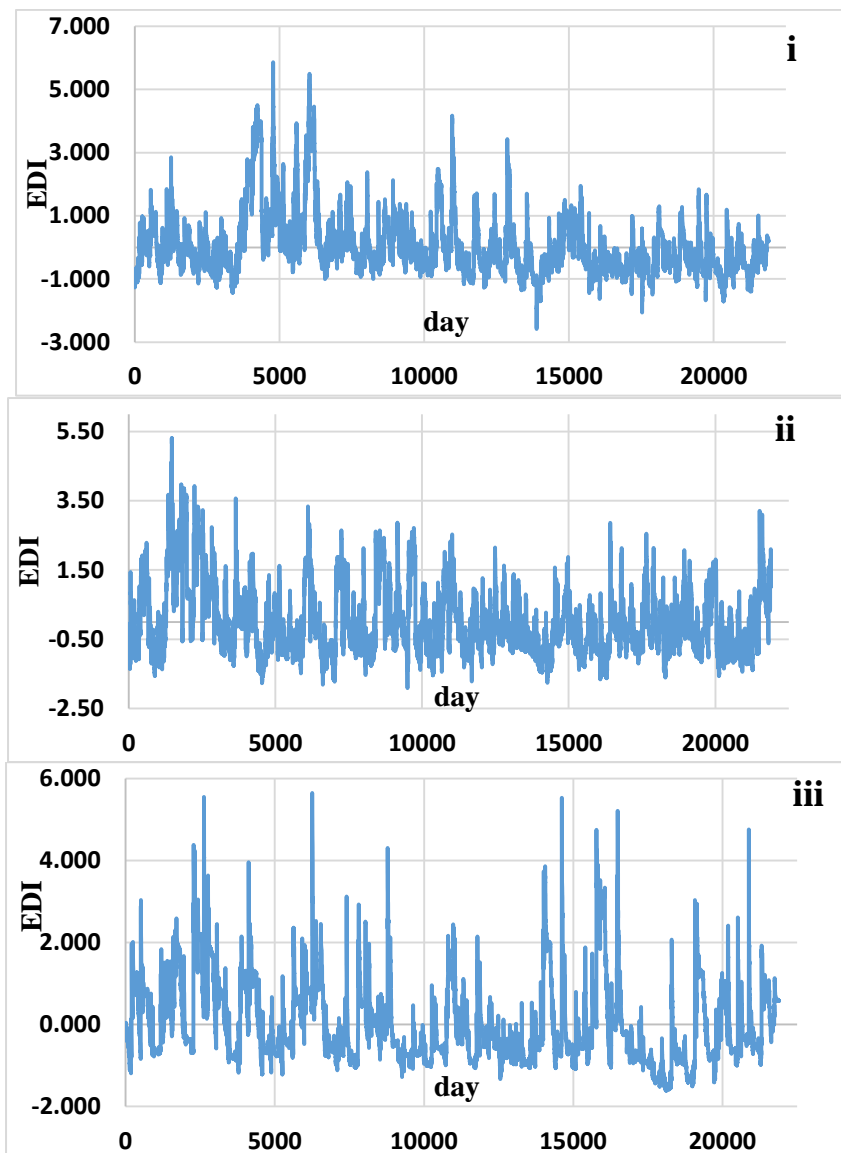
جدول ۲- حداکثر و حداقل مقادیر پارامترهای PRN و DEP محاسبه شده در ایستگاه‌های مورد مطالعه

نام ایستگاه	کمترین مقدار DEP (میلی‌متر)	بیشترین مقدار DEP (میلی‌متر)	کمترین مقدار PRN (میلی‌متر)	بیشترین مقدار PRN (میلی‌متر)
تبریز	-۲۶۶/۲۹	۱۰۵۱/۲	-۴۱/۱۲	۱۵۳/۴۳
بندر انزلی	-۱۴۵۷/۸	۴۲۳۵/۵	-۲۲۵/۱۲	۶۰۸/۲۶
زاهدان	-۱۲۹/۰۱	۳۶۳/۷۲	-۱۹/۹۲	۵۵/۱۹

خشکسالی شدید روی داده است، نیز در فصل پاییز واقع شده است. در طی همین دوره‌ی آماری به مدت ۱۳۴۹ روز (که معادل ۶/۱۵ درصد کل دوره‌ی آماری است)، تبریز شاهد خشکسالی ملایم بوده است. بقیه‌ی روزهای دوره‌ی آماری در وضعیت نرمال و یا حتی بهتر از نرمال از لحاظ طبقه‌بندی شاخص EDI قرار داشته است. شکل (۴) نمودارهای مقادیر پارامتر EDI را در ایستگاه‌های مطالعاتی نشان می‌دهد.

با توجه به مقادیر EDI نتایج نشان داد که برای ایستگاه تبریز تعداد روزهایی که در طول دوره‌ی آماری مورد نظر خشکسالی بسیار شدید رخ داده است برابر با ۲۲ روز (معادل ۰/۱ درصد) از کل روزهای دوره‌ی آماری (۲۱۹۰۰ روز) است. اکثر روزهایی که خشکسالی بسیار شدید در تبریز مشاهده شده است در فصل پاییز مشاهده شد. با شاخص EDI تعداد روزهای با خشکسالی شدید در حدود ۱۴۶ روز (معادل ۰/۶۶ درصد کل دوره‌ی آماری) طبق طبقه‌بندی شاخص EDI بود. بیشترین تعداد روزهایی که

اختیاری خواجه و دین پژوه: کاربرد شاخص خشکسالی مؤثر (EDI) برای...



شکل ۴- نمودارهای مقادیر EDI برای ایستگاه‌های i: تبریز، ii: بندر انزلی و iii: زاهدان

شدت خشکسالی تأثیری که خشکسالی بسیار شدید دارد به مراتب بیشتر از خشکسالی ملایم است. در جدول (۳) تعداد روزهای خشک با درجه‌ی شدت متفاوت در ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان داده شده است. شاخص خشکسالی مؤثر برای ایستگاه مهرآباد تهران طی سال آبی ۷۸-۱۳۷۷ در اکثر مواقع سال آبی زیر خط صفر قرار دارد (Moggadasi et al., 2005). البته مقایسه‌ی سالانه با چندین سال آبی کار درستی نمی‌باشد، زیرا بازه‌ی زمانی مورد نظر با یکدیگر هم‌خوانی ندارند. همچنین برای منطقه‌ی نبراسکا نیز EDI نوساناتی که از خود نشان می‌دهد زیر خط صفر قرار دارند. پس این منطقه نیز در اکثر مواقع در دوره‌ی آماری مورد نظر شاهد خشکسالی بوده است (Kim, Byun and Choi, 2009).

سال آبی ۸۷-۱۳۸۶ اولین رتبه‌ی سال خشک در ایستگاه تبریز را دارا بود به طوری که جمعا ۱۸۲ روز از کل سال خشکسالی روی داده است. ۱۲۶ روز آن خشکسالی از نوع ملایم و ۵۶ روز دیگر از نوع شدید بوده است و خشکسالی بسیار شدید در این سال مشاهده نشد. دومین رتبه‌ی سال خشک را نیز می‌توان به سال ۸۰-۱۳۷۹ اختصاص داد که طی آن ۱، ۱۹ و ۱۵۴ روز به ترتیب خشکسالی بسیار شدید، شدید و ملایم تجربه شده است. سومین رتبه‌ی سال خشک نیز مربوط به سال ۷۰-۱۳۶۹ می‌باشد که تعداد کل روزهای خشک آن ۱۷۱ روز است، اما ۲۱ روز از ۱۷۱ روز خشکسالی بسیار شدید رخ داده است. رتبه‌بندی سال خشک برای ایستگاه مزبور نیز براساس تعداد روزهای خشکی صورت گرفته است، نه براساس شدت خشکی مشاهده شده، زیرا از لحاظ

جدول ۳- تعداد روزهای خشک بسیار شدید، شدید و ملایم با شاخص EDI در ایستگاه‌های مورد مطالعه.

نام ایستگاه	تعداد کل روزهای دوره‌ی آماری	خشکسالی بسیار شدید (درصد)	خشکسالی شدید (درصد)	خشکسالی ملایم (درصد)	کل روزهای خشک (درصد)
تبریز	۲۱۹۰۰	۲۲ (۰/۱)	۱۴۶ (۰/۶۶)	۱۳۴۹ (۶/۱۶)	۱۵۱۷ (۶/۹۳)
بندر انزلی	۲۱۹۰۰	-	۲۲۲۲ (۱۰/۱۵)	۱۸۵ (۰/۸۴)	۲۴۰۷ (۱۰/۹۹)
زاهدان	۲۱۹۰۰	-	۲۳۱ (۱/۰۵)	۱۱۰۷ (۵/۰۵)	۱۳۳۸ (۶/۱۱)

- با توجه به PRN پرباران‌ترین سال‌های زاهدان متعلق به اواخر سال ۱۳۳۶ تا اواسط تابستان ۱۳۳۹ بوده و ضمناً از اوایل سال ۱۳۷۳ تا اواسط تابستان ۱۳۷۵ سال‌های پربارانی داشته است.
- با توجه به شاخص EDI ایستگاه‌های بندرانزلی و زاهدان گرچه شاهد خشکسالی‌های بسیار شدید در طول دوره‌ی آماری نبودند ولی تعداد خشکسالی‌های شدید در این دو ایستگاه در مقایسه با تبریز بیشتر بوده است.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه با توجه به آمار بارش‌های روزانه‌ی سه ایستگاه با اقلیم متفاوت مقدار شاخص خشکسالی مؤثر (EDI) برای دوره‌ی آماری مشابه ۳۱-۱۳۳۰ تا ۹۱-۱۳۹۰ محاسبه شد. نتایج نشان داد که بارش مؤثر روزانه (EP) مستقل از بارش‌های روزانه نمی‌باشد و نوسانات آن مشابه نوسانات بارش‌های روزانه است. ضمناً مقدار بارش مؤثر با تداوم واقعی به مراتب بیشتر از مقدار نظیر با تداوم فرضی (۳۶۵ روز) است. از طرفی هرچه اقلیم ایستگاه خشک‌تر باشد دامنه‌ی نوسان پارامتر EP کاهش می‌یابد. علت آن به نقش بارش روزهای پیشین در محاسبه‌ی EP ارتباط دارد که با مرطوب‌تر شدن اقلیم ایستگاه و بیشتر شدن وزن بارش محدودده‌ی تغییرات مقدار EP نیز افزایش می‌یابد. افزون بر این، ایستگاه‌های مرطوب از نظر قدرمطلق مقدار DEP نسبت به ایستگاه‌های خشک دارای DEP بزرگتر بودند. هرچه مقدار بیشینه‌ی DEP برای ایستگاه خاصی بیشتر باشد مقدار کمینه نیز کمتر خواهد بود. با توجه به شاخص EDI ایستگاه‌های بندرانزلی، تبریز و زاهدان به ترتیب با ۲۴۰۷، ۱۵۱۷ و ۱۳۳۸ روز خشک از کل دوره‌ی آماری در رتبه‌های اول تا سوم جای گرفتند.

تقدیر و تشکر

در این مطالعه از راهنمایی‌های خانم دکتر مهنوش مقدسی استفاده شد، که بدین وسیله تشکر می‌گردد.

اهم نتایج به‌دست آمده در مطالعه حاضر به شرح زیر است:

- میانگین بارش روزانه در ایستگاه‌های تبریز، بندرانزلی و زاهدان به ترتیب صفر تا ۳/۵، صفر تا ۴۵ و صفر تا دو میلی‌متر در روز بود و حداکثر بارش روزانه این ایستگاه‌ها به ترتیب ۶۰، ۳۶۰ و ۵۵ میلی‌متر در روز بود. بیشترین بارش در کل دوره‌ی آماری به‌طور متوسط در این سه ایستگاه به ترتیب در فروردین، آبان و بهمن اتفاق می‌افتد.
- بیشترین مقدار بارش مؤثر روزانه (EP) در تبریز، بندرانزلی و زاهدان به ترتیب ۸۳۵، ۴۰۰۰ و ۳۶۳ میلی‌متر به‌دست آمد، که به ترتیب در تاریخ‌های ۱۳۴۸/۱/۱۹، ۱۳۴۱/۶/۲۶ و ۱۳۳۹/۱/۲۷ تجربه شده بود. در سایر روزهای سال EP از ارقام مذکور کمتر بود.
- حداکثر بارش مؤثر روزانه (EP) بندرانزلی در حدود ۵ برابر مقدار نظیر در ایستگاه تبریز است و مقدار این پارامتر در زاهدان نصف مقدار نظیر در تبریز بود.
- میانگین بارش مؤثر (MEP) به دلیل دادن وزن به داده‌های بارش همان روز و روزهای پیشین در یک ایستگاه مشابه دارای مقداری برابر با چندین برابر بارش روزانه در همان روز است.
- بیشترین مقدار بارش مؤثر روزانه در تبریز، بندرانزلی و زاهدان به ترتیب ۴۷۲، ۲۷۵۰ و ۱۵۸ میلی‌متر می‌باشد که به ترتیب در روزهای ۱۲۴م اردیبهشت، ۱۲۶م آذر و سوم اردیبهشت اتفاق می‌افتد.
- بیشترین مقدار انحراف بارش مؤثر از میانگین بارش روزانه (DEP) برای ایستگاه‌های تبریز، بندرانزلی و زاهدان به ترتیب ۱۰۵۱، ۴۲۳۵ و ۳۶۳ میلی‌متر به‌دست آمد.
- مقدار بارش مورد نیاز برای برگشت به شرایط نرمال (PRN) در بندرانزلی به مراتب بیشتر از تبریز و در تبریز بیشتر از زاهدان است. به‌طور کلی PRN برای ایستگاه‌های با اقلیم مرطوب بیشتر از ایستگاه‌های خشک و نیمه‌خشک است.
- مقدار PRN برای تبریز از اواسط سال ۱۳۴۲ تا اواخر سال ۱۳۴۷ به‌طور پیوسته مقادیر مثبت داشته که به‌عنوان پر آب‌ترین سال‌های ایستگاه تبریز شناخته شد.

منابع

- 1- Akhtari, R., Mahdian, M.H. and Morid, S., 2007. Assessment of spatial analysis of SPI and EDI drought indices in Tehran province. *Iran-Water Resources Research*, 2(3), pp.27-38. (In Persian).
- 2- Byun, H.R. and Wilhite, D.A., 1999. Objective quantification of drought severity and duration. *Journal of Climate*, 12(9), pp.2747-2756.
- 3- Byun, H.R. and Kim, D.W., 2010. Comparing the effective drought index and the standardized precipitation index. *Economics of drought and drought preparedness in a climate change context. López-Francos A.(comp.), López-Francos A.(collab.). Options Méditerranéennes. Sér. A. Séminaires Méditerranéens*, (95), pp.85-89.
- 4- Deo, R.C., Byun, H.R., Adamowski, J.F. and Begum, K., 2017. Application of effective drought index for quantification of meteorological drought events: a case study in Australia. *Theoretical and Applied Climatology*, 128(1-2), pp.359-379.
- 5- Jain, V.K., Pandey, R.P., Jain, M.K. and Byun, H.R., 2015. Comparison of drought indices for appraisal of drought characteristics in the Ken River Basin. *Weather and Climate Extremes*, 8, pp.1-11.
- 6- Kim, D.W., Byun, H.R. and Choi, K.S., 2009. Evaluation, modification, and application of the Effective Drought Index to 200-Year drought climatology of Seoul, Korea. *Journal of Hydrology*, 378(1-2), pp.1-12.
- 7- Moggadasi, M. Paymozd, S. Morid, S., 2005. Monitoring Spatial Droughts of 1998-99 to 2001-02 in Tehran Province using the DI, SPI, EDI and GIS. Human Sciences Tarbiat Moddares University Press. 1(9): 197-215. (In Persian).
- 8- Moggadasi, M. Morid, S. Ghaemi, H. and Samani, J. M.V., 2005. Daily Drought Monitoring, Tehran Province. *Journal of Iranian Agriculture Science*. 36(1): 51-62. (In Persian).
- 9- Morid, S., Smakhtin, V. and Bagherzadeh, K., 2007. Drought forecasting using artificial neural networks and time series of drought indices. *International Journal of Climatology*, 27(15), pp.2103-2111.
- 10- Morid, S. and Paymozd, S., 2008. Comparison of Hydrological and Meteorological Methods for Daily Drought Monitoring: A Case Study, the 1998-2000 Drought Spell of Tehran, Iran. *JWSS-Isfahan University of Technology*, 11(42), pp.325-333. (In Persian).
- 11- Svoboda, M. and Fuchs, B., 2016. Handbook of Drought Indicators and Indices.
- 12- Wambua, R.M., Mutua, B.M. and Raude, J.M., 2014. Performance of Standardized Precipitation Index (SPI) and Effective Drought Index (EDI) in Drought forecasting using Artificial Neural Networks (ANNs) for upper Tana River basin, Kenya. *Internafional Journal of Engineering Research & Technology*, 3(11), pp.547-556.

EXTENDED ABSTRACT

Application of Effective Drought Index (EDI) in Characterizing Drought Periods (Case study: Tabriz, Bandar Anzali, and Zahedan)

S. Ekhtiari Khajeh^{*1} and Y. Dinpazhooh²

1^{*} - Corresponding author, M.S.c. graduate, Department of Water Engineering, University of Tabriz, Iran. (*Shiva.ekhtiary@gmail.com*).

2- Associate Professor, Department of Water Engineering, University of Tabriz, Iran.

Received: 26 June 2016

Accepted: 23 November 2016

Keywords: Tabriz, Bandar Anzali, Zahedan, Drought, Effective Drought Index.

Introduction

Drought refers to a period of time when water shortage occurs and, therefore, the environment and human life are disrupted. Of course, depending on the regional considerations and the objectives of any research, drought can have different definitions since the lack of water in different regions is defined differently. Drought forecasting is almost impossible and is usually a phenomenon that progresses slowly. As a result, well-timed detection in the early stages makes it possible to reduce the adverse effects on different parts of the environment, agriculture, water resources, etc. Drought characteristics such as duration and severity can be determined by drought indices. Scientists have proposed various indexes to assess this phenomenon. Drought index is a useful tool to assess drought characteristics. Effective Drought Index (EDI) is a new method which is based on the cumulative daily precipitation and uses a weighting method.

Methodology

Effective Drought Index

In order to monitor the drought in a better way, selecting the time scale is of particular importance. The main advantage of effective drought index compared to other known indices is the daily time scale of this index.

Daily Effective Precipitation

The effective precipitation that is calculated for each day is a function of certain daily precipitation and the rainfall of previous days. Therefore, the recent days' precipitation gets a larger weight in the EP compared with that of distant days. Obviously, the calculations for the EP for the first year will be impossible, so the total number of the EPs is equal to $\{(number\ of\ years - 1) * 365\}$.

The following equation was found to be the most proper relationship for calculating the EP.

$$EP_i = \sum_{n=1}^i \left[\left(\sum_{m=1}^n P_m \right) / n \right] \quad (1)$$

where i is the dummy period and P_m is the total precipitation received in the past m days.

Dry period and actual duration

Dry period refers to a time when values of DEP_i and SEP_i parameters are consecutively negative. The actual dry duration is calculated by adding the dummy duration and the dry period.

Precipitation required for a Return to Normal (PRN_j)

regarding the actual duration, the amount of precipitation needed for returning to normal conditions is calculated by iterating the calculation process in the previous steps. Thus, for each day of the time period with actual duration in hand, the values of EP_i , MEP_i and DEP_i are recalculated again. After calculating the DEP_i for every day with actual duration, the precipitation needed for returning to the daily normal (PRN_j) conditions can be obtained using the following equation:

$$PRN_j = \frac{DEP_j}{\sum_{N=1}^j \left(\frac{1}{N}\right)} \quad (2)$$

where j is the index for actual duration and PRN_j is the amount of precipitation needed for returning the normal condition (mm).

Effective Drought Index

EDI_j is the standardized value of the PRN_j and is introduced as the severity of the drought, which is calculated using the following equation:

$$EDI_j = \frac{PRN_j}{ST(PRN_j)} \quad (3)$$

where $ST(PRN_j)$ is the standard deviation of the PRN_j time series.

Findings

Figure 2 shows daily effective precipitation with dummy and actual durations. As can be seen in this figure, the highest amount of EP in Tabriz station is around 835 mm, which was experienced on April 19, 1969. Figure 3 shows the diagrams for the MEP and the PRN values for the selected stations. It can be concluded that the MEP of Tabriz station during the second decade of October to the second decade of December as well as the second decade of April to the middle of May was relatively too large. The greatest amount of mean of effective daily precipitation was about 472 mm, which corresponds to May 24th.

Conclusions

Average daily precipitation in Tabriz, Bandar-e Anzali and Zahedan stations are respectively 0-3.5, 0-45 and 0-2 mm per day and the maximum value of daily precipitation of the stations are respectively 60, 360 and 55 mm per day. Most of the precipitation received in the mentioned three stations is experienced in April, November and February, respectively.

Maximum daily effective precipitation (EP) obtained in Tabriz, Bandar Anzali and Zahedan were about 835, 4000 and 363 mm, respectively, which were experienced on 1969/4/8, 1962/9 /17 and 1960/1/16, respectively. In the other days of the year, the EP values were less than the mentioned values.

Effective precipitation (EP) is independent of daily precipitation and its fluctuation pattern is similar to the daily precipitation perturbation.

The maximum daily effective precipitation (EP) in Bandar-e Anzali is about 5 times greater than that of Tabriz station and the value of this parameter in Zahedan is half the corresponding value for Tabriz.

Mean values of effective precipitation (EP) calculated by actual duration were greater than

corresponding values calculated with dummy duration (365 days). The reason for this is the attribution of more weight to the rainfall occurring in the day under question and less as such to adjacent previous days.

References

- 1- Byun, H.R. and Wilhite, D.A., 1999. Objective quantification of drought severity and duration. *Journal of Climate*, 12(9), pp.2747-2756.
- 2- Kim, D.W., Byun, H.R. and Choi, K.S., 2009. Evaluation, modification, and application of the Effective Drought Index to 200-Year drought climatology of Seoul, Korea. *Journal of Hydrology*, 378(1-2), pp.1-12.
- 3- Morid, S., Smakhtin, V. and Bagherzadeh, K., 2007. Drought forecasting using artificial neural networks and time series of drought indices. *International Journal of Climatology*, 27(15), pp.2103-2111.