جغرافیا (فصلنامه علمی ـ پژوهشی و بین‌المللی انجمن جغرافیای ایران)
دوره جدید، سال سیزدهم، شماره ۴۷، زمستان۱۳۹۴

مدل‌سازی سیستم دینامیک
با استفاده از الگوی توزیع زمانی و مکانی خشکسالی در ایران

شهمراد علیزاده[۱] و حسین محمدی[۲]

تاریخ وصول: ۱۳۹٤/٤/۱٦، تاریخ تایید: ۱۳۹٤/٥/۱۲

چکیده

پیشرفت و صنعتی شدن جوامع بشری در قرن گذشته باعث تشدید غلظت گازهای گلخانه‌ای و تغییرات در آب و هوای نقاط مختلف کره زمین شده است. نماد این تغییرات اقلیمی، در تغییر مقادیر طولانی مدت پارامترهای هواشناسی می‌باشد.

خشکسالی‌ها پدیده‌های حدی هیدرولوژیکی هستند که با فقدان طولانی مدت بارندگی در یک منطقه وسیع مشخص می‌شوند و در هر وضعیت اقلیمی ممکن است رخ دهند. این پدیده اثرات قابل توجهی بر اقتصاد محیط زیست و منابع آب دارد. از این‌رو، بررسی تاثیرات اقلیمی بر خشکسالی می‌تواند نقش مهمی در برنامه‌ریزی و مدیریت سیستم‌های منابع آب، به ویژه در یک دوره خشک آب و هوایی داشته باشد. توجه به پدیده تغییر اقلیم و تاثیر آن بر منابع آب از اهمیت بالائی برخوردار می‌باشد که در کشورمان کمتر به آن پرداخته شده است. در این تحقیق به شناسائی اثرات تغییرات اقلیمی بر الگوی توزیع زمانی و مکانی خشکسالی با رویکرد پویائی سیستم پرداخته شده است که به بررسی همزمان چندین عامل و ارتباط دوگانه تغییرات اقلیمی با روندهای زمانی و مکانی خشکسالی پرداخته است.

کلیدواژگان: سیتم دینامیک، تغییرات اقلیمی، الگوی زمانی، الگوی مکانی، خشکسالی، ایران.

۱. دانشجوی دکتری جغرافیای طبیعی دانشگاه آزاد واحد علوم وتحقیقات تهران، Email:takmod4160@yahoo.com
۲. استاد اقلیم شناسی گروه جغرافیای طبیعی دانشگاه تهران، Email:hmmohammadi@ut.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

مقدمه

منابع آب اگرچه تجدیدپذیر هستند، اما حجم آنها ثابت بوده و در مقابل تقاضا برای آن رو به افزایش است به‌گونه‌ای که طی صد سال اخیر تقاضای جهانی برای آب بیش از شش برابر شده است. به این ترتیب سرانه آبی برای مردم جهان رو به کاهش است، از طرفی آلایندها اعم از پساب‌های صنعتی، زه‌آب‌های کشاورزی و فاضلاب‌های شهری و روستایی، منابع آبی را تحت تأثیر قرار می‌دهند (کارآموز وهمکاران، ۱۳۸۵).

تأثیر تغییر اقلیم بر منابع آب موضوعی جدی است که باعث دغدغه خاطر دست‌اندرکاران در سطح ملی و بین‌المللی شده است. حتی اگر همین امروز انتشار گازهای گلخانه‌ای متوقف شود، افزایش دما، تأثیرات وابسته شامل خشکسالی‌ها و طغیان رودخانه‌ها برای چند دهه آینده ادامه خواهد یافت. تغییرات در بارش همراه با افزایش دما و کاهش پوشش برف بر کیفیت و کمیت آب تأثیر می‌گذارد. تغییر در اقلیم می‌تواند منجر به تغییر در چرخه هیدرولوژیکی شده و شرایط ویژه‌ای را در منابع آب منطقه‌ای ایجاد نماید. تغییرات اقلیمی مبحث پیچیده‌ای است که به سادگی نمی‌توان آن را تعریف نمود، وقوع پدیده‌هایی از قبیل افزایش یا کاهش ناگهانی دما، بارندگی و غیره طی یک یا چند سال را می‌توان دلیلی بر تغییر اقلیم آن منطقه دانست. این تغییرات ناشی از تغییرات آب و هوایی در چند دهه بوده است که از مشخصه خاص این پدیده رفتار پیچیده و چندمولفه‌ای آن است که تحت‌تاثیر اجزاء مختلفی از این سامانه قرار می‌گیرد (Huang et al.,2014).

مشاهده می‌شود از یک طرف، وقوع تغییرات اقلیمی منجر به ایجاد مخاطرات و چالش‌های متعدد اقلیمی و جغرافیایی شده و از طرف دیگر وجود مولفه‌ها و شرایط تاثیرگذار مختلف بر خشکسالی و شدت اثرات آن لزوم استفاده از مدل‌های دینامیک در این زمینه را نشان می‌دهد. استفاده از مدل‌های تغییر مولفه‌های اقلیمی ابزار اصلی برای تجزیه و تحلیل علل و عواقب تغییرات الگوهای حوادث اقلیمی و ارزیابی اثرات زمین تغییر استفاده از اکوسیستم‌ها و حمایت از برنامه‌ریزی و سیاست استفاده از منابع آب و خاک می‌باشد که از جمله این موارد مدل‌های مبتنی بر رویکرد پویایی سیستم است (Luo et al.,2010).

در ایران که یک منطقه شناخته شده برای خشکسالی مکرر به علت بارندگی غیر قابل پیش‌بینی و درجه حرارت بالا است، مدل‌های شبیه‌سازی وابستگی‌های متقابل بین در دسترس بودن آب،

Archive of SID

www.SID.ir

فرسایش زمین، در دسترس بودن مواد غذایی، رفاه اجتماعی و اقتصادی و تاثیر سیاست‌های سازگاری جدید می‌تواند در افق‌های زمانی چند ۱۰ ساله اجرا شود و توسط ترکیب مدل‌سازی دینامیک آب و سیستم، شبیه‌سازی واقع‌گرایانه از کمبود آب اثرات بر سیستم‌های طبیعی مشاهده شود و اجرای سیاست‌های منتخب در مدل در انتخاب‌های ارزیابی گزینه‌های متعدد کمک نماید. مطالعات نشان داده است که تکنیک پویایی سیستم یک ابزار قدرتمند برای سیستم‌ها و سیاست‌های مدل‌سازی است اما از آن در رابطه با مدل‌سازی الگوی تغییرات زمانی و مکانی خشکسالی به‌منظور شبیه‌سازی سیاست‌های خشکسالی و سازگاری در ایران استفاده نشده است. در بسیاری از مطالعات قبلی ارتباط‌های مهم بین خشکسالی و تغییرات اقلیمی و الگوهای زمانی و مکانی اثرات آن در ترکیب بین تمام سیستم‌های مربوط به خشکسالی به‌منظور به دست آوردن درک کامل از وابستگی‌های متقابل بین آنها بر رویکرد سیستم دینامیک در ایران تبیین نشده است. به همین دلیل در این پایان‌نامه، بحث فشرده‌ای پیرامون مهندسی پویایی سیستم خشکسالی و اهمیت آن به‌عنوان مدیریت ریسک تغییر اقلیمی مطرح می‌گردد تا ضمن نگرشی نو به جایگاه آن در اقلیم‌شناسی خشکسالی و الگوهای تغییرات زمانی و مکانی آن با توجه به اهمیت موضوع و کاربرد روزافزون آن توزیع زمانی و مکانی تغییرات خشکسالی در ایران بررسی و تحلیل گردد.

اهداف تحقیق

با توجه به مطالب مطرح شده، مهمترین اهداف این تحقیق عبارتند از:

۱. طراحی مدل مفهومی مبتنی بر پویایی سیستم برای تحلیل اثرات تغییر اقلیم بر خشکسالی،
۲. سنجش تاثیر تغییرات اقلیمی بر تغییرات الگوی توزیع زمانی ومکانی خشکسالی در ایران،
۳. شبیه‌سازی اثرات سناریوهای مختلف تغییرات اقلیمی بر تغییرات الگوی خشکسالی در ایران با استفاده از مدل پویایی سیستم طراحی شده.

Archive of SID

www.SID.ir

پیشینه و سوابق تحقیق

دانش کارآراسته (۱۳۸٦) روند تغییرات زمانی و مکانی بارش و دما در کشور را شناسایی و نواحی تحت‌تأثیر تغییرات اقلیمی را تحلیل کرده است با توجه به تعامل اقلیم و محیط زیست، تغییرات اقلیمی اثرات قابل توجه مثبت و منفی بر زیست بوم به‌ویژه زیست بوم‌های کشاورزی دارد. برای مدیریت هر چه بهتر منابع به‌ویژه منابع آب، ضرورت دارد وقوع تغییرات اقلیمی و میزان تأثیرگذاری آن بر زیست‌بوم کشاورزی شناسایی گردد. داده‌های سنجش از دور این امکان را فراهم می‌آورد که ضمن بررسی همزمان سطوح وسیع، با استفاده از تصاویر متوالی یک چهار چوب زمانی و مکانی مناسب برای بررسی رفتار هیدرولوژیکی زیست بوم‌ها بوجود آید. بدین منظور با استفاده از ٦۹٦ تصویر همزمان دما و بارش ماهانه در سطح کشور به بررسی تغییرات زمانی و مکانی این عوامل اقلیمی به‌عنوان مهم‌ترین و تأثیرپذیرترین عوامل اقلیمی از تغییرات جهانی آب و هوا اقدام شد. تصاویر مورد استفاده مطابق انتظار تغییرات مکانی عوامل مزبور را نشان داد که متاثر از خصوصیات جغرافیایی و توپوگرافیکی کشور می‌باشد.

علیجانی و بابایی (۱۳۸۸)، تحلیل فضایی خشکسالی‌های کوتاه‌مدت ایران را انجام دادند. در این تحقیق پدیده خشکسالی در ایران با استفاده از شاخص بارش استاندارد (SPI) در بازه‌های زمانی ۳ و ٦ ماهه مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت و پس از محاسبه فراوانی نسبی خشکسالی‌ها در ۷۰ ایستگاه سینوپتیک در دوره آماری 2005-1976 با استفاده از روش درون‌یابی کریجینگ معمولی نقشه‌های پهنه‌بندی آنها در محیط ArcGIS تولید گردید. نتایج تحقیق نشان داد که در قسمت‌های شمال غرب، شمال و شمال شرق کشور خشکسالی‌ها بسیار شدید است در صورتی که در مناطق مرکز، جنوب و جنوب شرق خشکسالی‌ها متوسط و ملایم می‌باشد. به‌طورکلی در بازه‌های کوتاه‌مدت که به طورعمده بر روی وضعیت خاک اثر می‌گذارد تمرکز خشکسالی‌ها در نیمه شمالی کشور بیشتر بوده است. به عبارت دیگر اقلیم بارشی کشور در نیمه شمالی متغیرتر از نیمه جنوبی است.

واعظ تهرانی و همکاران (۱۳۸۹) توسعه یک مدل نوسازی شبکه‌های آبیاری با رویکرد دینامیک سیستم‌ها را مطرح کردند. هدف از پژوهش آنها ارائه روشی نو و موثر با توسعه مدلی برای نوسازی شبکه‌های آبیاری با رویکرد دینامیک سیستم‌ها بود، شناخت بهتر شبکه‌های آبیاری و

Archive of SID

www.SID.ir

آزمایش سیاست‌های بهره‌برداری مورد نظر تحت سناریوهای متفاوت و تعیین سیاست مناسب در تامین نیازهای پایه و اساسی شبکه‌ها از مهمترین اهداف ساخت مدل بود.

محمدی مطلق و همکاران (۱۳۹۰)، تعیین الگوی توزیع زمانی بارندگی و روابط منحنی‌های شدت- مدت- فراوانی را مورد مطالعه قرار دادند. بیشتر الگوهای توزیع زمانی بارندگی که در طرح‌ها و پروژه‌های مربوط به منابع آب به‌کار می‌روند معرف بارندگی واقعی نیستند، بلکه با توجه به ایمنی لازم در مصرف آب یا جلوگیری از سیلابهای نبه نسبت شدید تدوین گردیده‌اند. در برخی از این الگوها سلیقه شخصی در تنظیم آنها اعمال گردیده و در برخی دیگر مانند شدت – مدت – فراوانی (IDF)، شدیدترین ریزش‌ها بدون توجه به ترتیب طبیعی آنها مدنظر بوده است. تحقیق حاضر تلاشی به‌منظور تعیین الگوی توزیع زمانی بارش، همچنین بررسی روابط منحنی شدت – مدت – فراوانی حوزه آبریز دالکی بود. برای این منظور، آمار یک دوره ۲۸ ساله ایستگاه باران نگار بوشیگان کازرون و در مجموع ۲۱۸ هایتوگراف بارش استخراج و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و الگوی توزیع زمانی به روش پیل گریم ترسیم و پس از آن روابط مربوط به منحنی شدت – مدت – فراوانی به‌دست آمد. نتایج تحقیق نشان داد که شدیدترین بخش بارش در همه تداوم‌های کوتاه مدت (کمتر از ٦ ساعت) در ۲۵ درصد دوم (چارک دوم) و بارندگی‌های با تداوم میان‌مدت و بلندمدت در ۲۵ درصد سوم (چارک سوم) می‌باشد. به همین علت، بارش‌های طولانی مدت به علت اشباع بودن خاک و وجود شدیدترین بخش بارش در نیمه دوم تا سوم سبب وقوع سیلابهای شدیدتر در حوضه آبریز می‌شوند و می‌توانند یکی از دلایل سیل‌خیز بودن حوضه باشند. همچنین شکل نمودارهای بی‌بعد الگوی توزیع زمانی به‌دست آمده در تداوم مختلف به صورت S کشیده بوده و از یک خط مستقیم تبعیت نمی‌کنند که نشان‌دهنده عدم یکنواخت بودن بارش باران در طول مدت بارش می‌باشد. در پایان با ایجاد بین حداکثر بارش روزانه و حداکثر بارش کوتاه‌مدت و تداوم آن در دوره بازگشت‌های مختلف مشخص شد که حداکثر بارش t ساعته ایستگاه با حداکثر بارش روزانه در دوره بازگشت مختلف رابطه مستقیم و با تداوم بارش رابطه توانی دارد.

لورنزو و همکاران (۲۰۱۰)، تاثیر خشکسالی و مدیریت آب در سیستم‌های مختلف آبیاری را ارزیابی کردند. شاخص بارش استاندارد شده (SPI) و شاخص تبخیر و تعرق استاندارد بارش (SPEI) تحت تاثیر تغییرات آب و هوایی و در دسترس بودن منابع آب با استفاده از دو شاخص

Archive of SID

www.SID.ir

خشکسالی انجام شد. اگر چه بارش، نقش مهمی در توضیح تغییرات زمانی در پارامترهای مورد تجزیه و تحلیل دارد. بزرگترین پاسخ در متغیرهای هیدرولوژیکی طی بازه‌های زمانی از شاخص‌های خشکسالی آب و هوایی بود.

میشرا وشینگ (۲۰۱۱)، موضوع وضعیت خشکسالی در سال‌های اخیر و تقاضای افزایش آب و عوامل تغیرات اقلیمی که در میزان بارش تاثیر دارد را عنوان کردند. بررسی روش‌های مختلف مورد استفاده برای مدل‌سازی خشکسالی، که شامل پیش بینی خشکسالی، مدل سازی بر اساس احتمال، فضا زمانی، تجزیه و تحلیل، استفاده از مدل‌های جهانی آب و هوا برای حالات خشکسالی، و سنجش اثرات تغییر اقلیم در طول سه دهه گذشته بوده است را مورد بررسی قرار دادند.

لی و همکاران (۲۰۱۳)، اکوسیستم‌های مناطق خشک به‌ویژه به تنش‌های محیطی حساس هستند، با استفاده از AEM، به تازگی مدل فرایند فضایی صریح و روشن برای اکوسیستم‌های مناطق خشک، توسعه‌یافته است. هدف، بررسی اثرات تغییرات زیست محیطی بر خشکسالی است. در نتیجه آنها با استفاده از مدلسازی سیستم دینامیکی نشان دادند که بین تغییرات اقلیمی و خشکسالی رابطه دو طرفه‌ای بر قرار است.

زنگ و همکاران (۲۰۱٤)، توزیع مکانی و زمانی بارش در چین، در سال‌های ۱۹٦۱-۲۰۱۲ را بررسی کردند. تحلیل توزیع مکانی و زمانی عواملی که باعث بارش شدید بر اساس داده‌های بارش روزانه ایستگاههای هواشناسی می‌شود را انجام دادند. روند شاخص بارش از جنوب غربی به شمال شرقی رو به کاهش بود، که این ناشی از تفاوت‌های منطقه‌ای و تاثیر توپوگرافی بوده است. علاوه بر این، نتایج رابطه نشان داد که بین بارش و تغییرات اقلیمی رابطه‌ای وجود دارد و تغییرات اقلیمی در توزیع مکانی و زمانی خشکسالی تاثیر دارند.

مواد و روش‌ها

مهم‌ترین بخش هر پژوهش اتخاذ روشی درست و متناسب با محتوا و هدف آن است. با انتخاب روش تحقیق، کار عملی و چگونگی جمع‌آوری اطلاعات و نحوه تجزیه و تحلیل اطلاعات جمع‌آوری شده، پس از آن انتخاب می‌شود. بنابراین انتخاب روش یا روش‌هایی که بتواند به

Archive of SID

www.SID.ir

بهترین وجه خصوصیات و ویژگی‌های جمع‌آوری شده را تحلیل و گزارش نماید، از اهمیت خاصی برخوردار است. به‌طورکلی هر تحقیق در ابتدا در پی طرح مشکل یا مسئله‌ای است، مشکل و مسئله‌ای که پرسش‌های زیادی را در ذهن محقق ایجاد می‌کند و موجب پیدایش فرضیه‌هایی می‌شود. پژوهشگر با جمع‌آوری اطلاعات و آمار موردنیاز و تجزیه و تحلیل آنها به پاسخ به پرسش‌های پژوهشی و تأیید و یا رد فرضیه‌ها می‌پردازد. پژوهش حاضر روشی توصیفی – پیمایشی و بر مبنای کاربردی است که با تلفیق مطالعات کتابخانه‌ای و پیمایش‌های میدانی با به کارگیری رویکردهای تغییرات اقلیمی و رویکرد سیستم‌های دینامیکی است و با توسعه مدل علی و معلولی و دیاگرام نمودار جریان اقدام به تحلیل مولفه‌های موثر بر الگوی تغییرات خشکسالی می‌شود. مدل‌سازی دینامیک سیستم شبیه‌سازی سیستم‌های دینامیکی وابسته به یکدیگر به منظور تشخیص این که چگونه هرکدام از آنها تحت تاثیر عوامل دیگر در طول زمان قرار گیرند، است. مدل پویایی سیستم شامل سهام (یا سطح) که تجمع می یابد و به خاطر ارزش ها در طول زمان، جریان (یا امتیازات) است که آنها را تحت‌تاثیر قرار دهد، و سایر متغیرهایی که می‌تواند بر سهام و جریان تاثیر گذارد. مدل‌سازی دینامیک سیستم قطب علت و معلول و حلقه‌های بازخورد بین متغیرهای سیستم و عوامل را نشان می‌دهد. این حلقه‌های بازخوردی چگونگی تحت تاثیر قرارگرفتن سیستم‌ها را تعیین می‌کنند.

در این تحقیق از داده‌های هواشناسی جمع‌آوری شده ۱۹ ایستگاه هواشناسی دردوره ۲۰۱۰–۱۹۵٦ ایران (جدول ۱)، و با استفاده از یک شاخص مرکب (CI) از خشکسالی‌های هواشناسی به تجزیه و تحلیل ویژگی‌های زمانی و مکانی خشکسالی در ایران پرداخته شد. تکرار وقوع، حوزه و شدت خشکسالی هواشناسی محاسبه و برای آشکار ساختن الگوهای وقوع زمانی و مکانی در بخش‌های مختلف مورد بررسی قرارگرفت و سپس با رویکرد پویایی سیستم اقدام به شبیه‌سازی اثرات در جنبه‌های مختلف پرداخته شد. ارزیابی دقت و صحت نتایج مدل با داده‌های دوره ۵ ساله ۲۰۰۷–۲۰۱۲ بررسی و صحت و اعتبار مدل توسعه‌یافته برای فهم تغییرات پیچیده در الگوی توزیع خشکسالی مورد سنجش قرار گرفت.

Archive of SID

www.SID.ir

تحلیل و بررسی داده‌های موجود

این قسمت به تشریح روش‌های لازم در تهیه و رسم منحنی‌های شدت ـ مساحت ـ فراوان (SAF)[1]، می‌پردازد. برای انجام چنین تحلیلی ابتدا نیاز به انتخاب شاخص مناسب می‌باشد که، شاخص SPI مبنای این مطالعات قرار گرفته است. بخش مهم دیگر این روش مربوط به میان‌یابی‌های مکانی می‌باشد که روش عکس مجذور فاصله را برای این منظور نشان داد. تحلیل فراوانی نیز بخش انتهایی محاسبات می‌باشد.

منطقه مورد مطالعه به مساحت جغرافیایی ایران در حدود ۱۶۵۰۰۰۰ کیلومترمربع می‌باشد. ایران در قاره آسیا واقع شده است و به‌طور تقریبی بین ۲۵ درجه شمالی و ´۳۸°۳۹ عرض جغرافیایی شمالی و بین ´۴۴°۰۰ شرقی و ´۶۳°۲۵ طول جغرافیایی شرقی قرار دارد. میانگین سالانه بارندگی در ایران ۲۲۴ میلیمتر می‌باشد. پراکندگی ایستگاه‌های مورد مطالعه در (شکل۱) آورده شده است. در این تحقیق از روش طبقه‌بندی دومارتن به منظور طبقه‌بندی اقلیمی ایران استفاده گردید. روش دومارتن ساده‌ترین و مرسوم‌ترین روش طبقه‌بندی در بیشتر پروژه‌های کشاورزی، سدسازی و اقلیم‌شناسی می‌باشد. این روش به دلیل آنکه به دو پارامتر متوسط بارش سالانه و متوسط دمای سالانه نیاز دارد که هر دو دردسترس می‌باشند، در ایران کاربرد بیشتری دارد. همچنین این فرمول طبقه‌بندی بیشتری از اقلیم‌ها را دربرمی‌گیرد که شامل اقلیم‌های خشک، نیمه‌خشک، مدیترانه‌ای، نیمه‌مرطوب، مرطوب و بسیار مرطوب می‌باشد (خام‌چین مقدم و رضایی پژند، ۱۳۸۸).

در این روش از دو پارامتر متوسط بارش سالانه (P) (میلی‌متر) و متوسط دمای سالانه (T) (سانتی‌گراد) برای تعیین ضریب خشکی دومارتن (I) استفاده می‌گردد که در رابطه (۱) آمده است.

1. Severity- Area- Frequency

Archive of SID

www.SID.ir

جدول۱: مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه

نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا	درصد داده‌های از دست رفته	نوع اقلیم
آبادان	۴۸° ۱۵' E	۳۰° ۲۲' N	۶/۶	۱۸/۰۹	خشک
اهواز	۴۸° ۴۰' E	۳۱° ۲۰' N	۲۲/۵	۲/۴۳	خشک
اصفهان	۵۱° ۴۰' E	۳۲° ۳۷' N	۱۵۵۰/۴۰	۱/۷۰	خشک
بیرجند	۵۹° ۱۲' E	۳۲° ۵۲' N	۱۴۹۱	۱/۷۶	خشک
تهران	۵۱° ۱۹' E	۳۵° ۴۱' N	۱۱۹۰/۸	۱/۵۵	خشک
زاهدان	۶۰° ۵۳' E	۲۹° ۲۸' N	۱۳۷۰	۲/۳۹	خشک
کرمان	۵۶° ۵۸' E	۳۰° ۱۵' N	۱۷۵۳/۸۰	۱/۵۲	خشک
یزد	۵۴° ۱۷' E	۳۱° ۵۴' N	۱۲۳۷/۲	۱/۵۷	خشک
ارومیه	۴۵° ۵' E	۳۷° ۳۲' N	۱۳۱۵/۹	۲/۱۷	نیمه‌خشک
تبریز	۴۶° ۱۷' E	۳۸° ۵' N	۱۳۶۱	۱/۲۶	نیمه‌خشک
خرم‌آباد	۴۸° ۱۷' E	۳۳° ۲۶' N	۱۱۴۷/۸	۰/۸۸	نیمه‌خشک
شیراز	۵۲° ۳۶' E	۲۹° ۳۲' N	۱۴۸۴/۰۰	۰/۳۷	نیمه‌خشک
کرمانشاه	۴۷° ۹' E	۳۴° ۲۱' N	۱۳۱۸/۶	۲/۰۵	نیمه‌خشک
مشهد	۵۹° ۳۸' E	۳۶° ۱۶' N	۹۹۹/۲	۱/۲۴	نیمه‌خشک
همدان	۴۸° ۳۲' E	۳۴° ۵۲' N	۱۷۴۱/۵۰	۰/۲۲	نیمه‌خشک
بابلسر	۵۲° ۳۹' E	۳۶° ۴۳' N	-۲۱	۱/۶۲	مرطوب
انزلی	۴۹° ۲۸' E	۳۷° ۲۸' N	-۲۶/۲	۱/۸۱	خیلی مرطوب
رامسر	۵۰° ۴۰' E	۳۶° ۵۴' N	-۲۰	۲/۴۹	خیلی مرطوب
رشت	۴۹° ۳۶' E	۳۷° ۱۵' N	-۶/۹	۱/۱۷	خیلی مرطوب

Archive of SID

www.SID.ir

شکل ۱. نقشه ایستگاه‌های مورد مطالعه

Archive

بررسی خشکسالی و پیش‌بینی تغییرات اقلیم در ایران

در این قسمت به‌منظور بررسی ایستگاههای موردنظر و شناخت نوسانات اقلیمی، به‌ویژه خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها و ارائه مدلی جهت پیش‌بینی نوسانات اقلیمی، آمار ماهانه بارش و دمای کشور در دوره آماری (۱۹٦۱ ـ۲۰۰۳) استخراج گردید. با استفاده از روش رگرسیون داده‌های ناقص برآورد و همگنی داده‌ها توسط آزمون توالی‌ها بررسی شد. با استفاده از مدل های باکس ـ جنکینز سری‌های زمانی بارش و دما بررسی و بهترین مدل برازش داده شد. صحت و دقت مدل ها براساس آمارهای SBC,AIC و تحلیل نمودار توابع خود همبستگی و خود همبستگی جزئی تائید گردید. شدت و تداوم خشکسالی‌های و ترسالی با استفاده از نمره Z به صورت فصلی و سالانه مورد بررسی قرار گرفت. از دیرباز مطالعات اقلیمی در زمینه مخاطرات

www.SID.ir

طبیعی زمانی که اثرات شدیدی داشته مورد توجه بوده است. ایران به دلیل قرارگیری در کمربند خشکسالی دنیای قدیم و مجاورت با پرفشار جنب حاره دارای اقلیمی خشک و نیمه خشک می‌باشد و در نتیجه در بیشتر سال‌ها دچار خشکسالی‌های شدید شده است (پاپلی‌یزدی، ۱۳۷۸ : ۱۸۶).

جدول۲: آمار توصیفی بارش سالانه ایستگاه‌ها

ایستگاه	میانگین	انحراف معیار	حداقل	حداکثر
آبادان	158.94	61.39	47.40	297.80
اهواز	234.54	84.08	72.90	468.80
اصفهان	118.34	42.20	48.10	215.70
بیرجند	166.87	50.97	64.50	292.70
تهران	235.04	72.37	100.10	399.10
زاهدان	80.80	41.53	18.30	173.00
کرمان	143.82	43.81	45.10	263.60
یزد	59.61	26.59	19.30	118.40
ارومیه	330.93	103.49	125.80	579.30
تبریز	290.65	85.84	147.60	547.20
خرم آباد	506.84	126.10	237.10	771.10
شیراز	327.79	106.32	96.20	621.70
کرمانشاه	455.20	133.83	147.30	785.50
مشهد	256.81	72.78	130.70	427.00
همدان	324.56	87.89	101.30	517.70
بابلسر	908.57	161.35	658.00	1325.50
انزلی	1779.27	335.84	1156.20	2661.60
رامسر	1227.20	286.21	755.10	1794.30
رشت	1354.69	253.12	957.80	1967.60

خصوصیات بارش سالانه کشور

میانگین، انحراف معیار، حداقل و حداکثر بارش سالانه ایستگاههای بررسی شده در جدول (۲) ارائه شده است. در بین این ایستگاهها انزلی با ۱۷۷۹/۲۹ میلیمتر بیشترین بارش را دارد و کمترین بارش هم با ۵۹/۶۱ میلیمتر در ایستگاه یزد دیده شده است. بیشترین انحراف معیار بارش در ایستگاه انزلی و کمترین آن در ایستگاه یزد بوده است. یعنی بارش انزلی بیشترین

Archive of SID

www.SID.ir

تغییرپذیری را داشته است. کمترین مقدار بارش انزلی در یک سال ۱۱۵٦/۲ میلیمتر و در یزد ۱۹/۳ میلیمتر بوده است. حداکثر بارش در انزلی ۲٦٦۱/٦ و در یزد ۱۱۸/٤ میلیمتر است.

مدل‌سازی سیستم پویا برای سنجش تغییرات اقلیمی بر میزان بارش و خشکسالی

برای مدل‌بندی رابطه بین سه عامل زمین، اقلیم ارتفاع، طول و عرض جغرافیایی با بارش‌های سالانه و فصلی کشور، از داده‌های ماهانه ۱۹ ایستگاه سینوپتیک، اقلیم‌شناسی و باران‌سنجی برای یک دوره زمانی ٤۲ ساله (۱۹٦۱ـ۲۰۰۳) استفاده شد. نقص آماری ایستگاهها نسبت به ٤۲ سال بر اساس مدل رگرسیونی با هماهنگ‌ترین ایستگاهها تکمیل شد.

مدل انتخابی برای ایجاد این رابطه، مدل رگرسیونی چندمتغیره با استفاده از روش ورود گام به گام متغیرها به مدل بود. صحت و دقت مدل‌ها نیز با آزمودن چهار فرضیه خطی بودن رابطه، ناهمبسته بودن خطاهای مدل، نرمال بودن باقیمانده‌ها و ثابت بودن واریانس باقی مانده‌ها سنجیده شد. نتایج حاصل از اجرای این مدل، بر روی بارش‌های فصلی و سالانه نشان از ترکیب‌های متفاوت هر کدام از این سه متغیر بر روی توزیع مکانی بارش‌های فصلی و سالانه بود. به‌طوریکه ترکیب دو متغیر طول جغرافیایی و عرض جغرافیایی، به ترتیب ٦۹، ٦٦ و ٤٦ درصد تغییرات مکانی بارش‌های فصل پاییز، بارش‌های سالانه و بارش‌های فصل بهار را توجیه می‌کنند. ترکیب دو متغیر عرض جغرافیایی و ارتفاع حدود ٦۳ درصد تغییرات مکانی بارش فصل تابستان و ترکیب سه متغیر طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی و ارتفاع ٤۷ درصد تغییرات مکانی بارش را در فصل زمستان تبیین می‌کنند.

برای مدل‌بندی رابطه زمین ـ اقلیم با بارش‌های سالانه و فصلی و بررسی تاثیرات تغییرات اقلیمی بر الگوی توزیع زمانی و مکانی خشکسالی در ایران و دستیابی به یک الگوی مناسب در این زمینه، داده‌های ۱۹ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک، اقلیم‌شناسی و باران‌سنجی از سازمان هواشناسی واقع در تهران، اخذ گردید. با بررسی داده‌ها مشخص گردید که می‌توان از میان این ایستگاهها که طول دوره آماری آنها بیش از ۱۵ سال است، به نتایج قابل قبولی دست یافت. سپس با به‌کار بستن بالاترین ضریب همبستگی معنی‌دار ۰/۸ = r در سطح ۰۵/۰=α که معمولاً مربوط به نزدیک‌ترین ایستگاهها نسبت به یکدیگر می‌شد، با استفاده از مدل رگرسیونی یک

Archive of SID

www.SID.ir

متغیره به تطویل و بازسازی داده‌ها تا ٤٢ سال پرداخته شود. در این برآوردها سعی بر آن بوده است تا از ایستگاههای با دوره آماری کامل به‌عنوان مبنا استفاده گردد. همگن بودن داده‌ها نیز با استفاده از آزمون ران تست مورد بررسی قرار گرفت و از همگن بودن داده‌ها در طول دوره آماری اطمینان حاصل شد. به مشخصات ایستگاهها و پراکنش مکانی آن‌ها در بخش‌های پیشین اشاره شد. بعد از فراهم نمودن داده‌های بلندمدت بارش در مقیاس‌های زمانی سالانه و فصلی، از مدل‌های رگرسیونی چند متغیره برای مدل‌بندی رابطه عوامل زمین اقلیم با بارش‌های فصلی و سالانه استفاده شد. در این مدل‌های آماری فرض بر این است که رابطه بین متغیرهای مستقل (ارتفاع، طول جغرافیایی و عرض جغرافیایی) و متغیرهای وابسته (میزان بارش سالانه و فصلی) به صورت زیر است:

$$y = b_0 + b_1(x_1) + b_2(x_2) + ... + b_p(x_p)$$

که در این معادله b1,b2,...,bp ضرایب رگرسیون جزئی و b0 مقدار عرض از مبدا است که مقدار ثابت رگرسیون نیز نامیده می شود.

مدل بارش سالانه

با وارد کردن گام به گام سه متغیر ارتفاع، طول و عرض جغرافیایی به مدل رگرسیونی مشاهده گردید که بهترین مدل ارائه شده برای تخمین بارش‌های سالانه کشور، مدلی با دو متغیر طول و عرض جغرافیایی است. میزان ضریب همبستگی این مدل رگرسیونی دو متغیره با مقدار بارش سالانه ۰,۸۱٦ و ضریب تعیین آن ۰,٦٦٥ است . یعنی حدود ٦٦ درصد تغییرات مکانی بارش در کشور توسط این دو متغیر می‌تواند تعیین شود.

خطی بودن رابطه بین متغیرهای مستقل با متغیر وابسته نیز با استفاده از آمارهF آزمون شد و مشخص گردید که F محاسباتی (۱۸,٦۳۷) بزرگتر از F جدول بوده و رد نتیجه فرضیه خطی بودن رابطه بین متغیرهای مستقل با متغیر وابسته در این مدل تائید می‌شود. ناهمبسته بودن خطاها نیز توسط شاخص دوربین ـ واتسون مورد آزمون قرار گرفت. مقدار این شاخص برای مدل بارش سالانه ۲,٤۱۹ است و چون در حدفاصل بین ۱,۵ تا ۲,۵ قرار می‌گیرد پس ناهمبسته بودن خطاها نیز تایید می‌گردد. نرمال بودن خطاها هم با استفاده از نمودار P.P plot آزمون شد.

Archive of SID

www.SID.ir

در این نمودار چون مختصات نقاط مشاهده شده در حول و حوش خط نرمال قرار گرفته‌اند پس می‌توان گفت که مانده‌ها از توزیع نرمال پیروی می‌کنند. اما ثابت بودن واریانس خطاها توسط نموداری که محور افقی آن مقادیر استاندارد شده پیش‌بینی و محور عمودی آن مقادیر استاندارد شده یاقیمانده‌هاست آزمون می‌شود. بر اساس شکل ۳ مشاهده می‌شود که روند خاصی در این نمودار مشاهده نمی‌شود پس ثابت بودن واریانس خطاها نیز تایید می‌شود. پس با توجه به نتایج آزمون فرضیات می‌توان مدل رگرسیونی دو متغیره بارش‌های سالانه با عوامل زمین اقلیم را براساس جدول ضرایب مدل (۱) به شرح ذیل ارایه داد:

$$Annual\ Rain = 18743.6 + (-283.7 \times Longitude) + (-138.2 \times Latitude)$$

مدل‌سازی شاخص SPI در ایستگاههای کشور

در این بخش مدل‌سازی شاخص SPI به عنوان شاخص وضعیت خشکسالی در ایستگاههای کشور با استفاده از مدل شبکه عصبی شعائی برای هر ایستگاه صورت گرفته است. متغیرهای مستقل شبکه عصبی، رطوبت نسبی، دما و کمبود اشباء می‌باشند که با توجه به اثر آنها بر روی بارش انتخاب شده‌اند. متغیر وابسته شاخص SPI است. در نتیجه تلاش شده است که با استفاده از این سه متغیر مستقل مدلی از نوع شبکه‌ی عصبی شعائی برای پیش‌بینی خشکسالی در ایستگاهها ارائه شود. شبکه‌های عصبی شعایی با توجه به اینکه جزو الگوریتم‌های هوشمند محسوب شده و از توابع غیرخطی استفاده می‌کنند در مدل‌سازی پدیده‌هایی که رفتار غیرخطی دارند عملکرد بهتری دارد در نتیجه انتظار می‌رود که در مدل‌سازی پدیده‌های پویا یعنی پدیده‌هایی که رفتار آنها در طول زمان دچار تغییر می‌شود، عملکرد بهتری داشته باشد. بنابراین می‌توان برای پیش‌بینی و شبیه‌سازی رفتارهای غیرخطی این مدل را به کار برد.

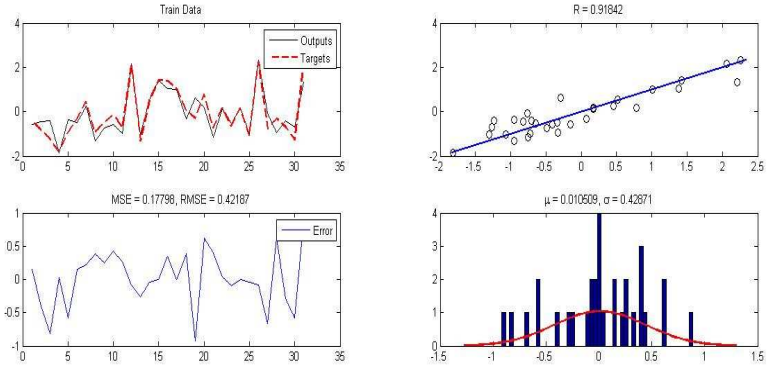
مدل مورد استفاده برای تمامی ایستگاهها مدلی با یک لایه پنهان است اما تعداد نرون‌ها برای ایستگاههای مختلف متفاوت است. برای انتخاب تعداد نرون‌ها از روش آزمون و خطا استفاده شده است. یعنی برای هر ایستگاه تعداد زیادی مدل با تعداد نرون‌های متفاوت ساخته شد و در نهایت شبکه‌ای که عملکرد مناسبی از خود نشان داد به‌عنوان مدل مناسب انتخاب شد. برای ایجاد مدل‌ها در تمامی ایستگاهها سال‌های۱۹٦۱ تا ۱۹۹۰ برای آموزش شبکه انتخاب شد و برای آزمون توان پیش‌بینی سال‌های ۱۹۹۱ تا ۲۰۰۳ پیش‌بینی شد.

Archive of SID

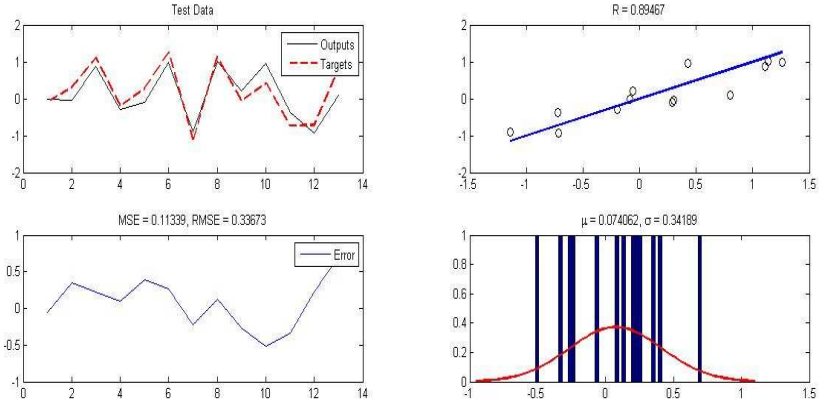
www.SID.ir

مدل‌سازی شاخص خشکسالی در ایستگاه آبادان

در شکل (۲) نتایج آموزش شبکه عصبی برای ایستگاه آبادان (به عنوان نمونه) ارائه شده است. با توجه به اینکه مقدار ضریب تشخیص یا همان ضریب تعیین به نحوی است که ۹۱ درصد از تغییرات را توجیه می‌کند و مقدار میانگین خطا ۰/۱۸ است می‌توان گفت که این مدل عملکرد نسبتاً خوبی در هنگام آموزش داشته است. اما برای پیش‌بینی که در شکل (۳) ارائه شده است مدل فقط ۸۹ درصد از تغییرات را توجیه کرده است که عملکرد مناسبی محسوب نمی‌شود اما با توجه به اینکه مقدار میانگین خطا ۰/۱۱ است در مجموع می‌توان این مدل و نتایج آن را پذیرفت.



شکل۲. نتایج آموزش شبکه عصبی شعائی در ایستگاه آبادان



شکل۳. نتایج پیش‌بینی خشکسالی با شبکه عصبی شعائی در ایستگاه آبادان

www.SID.ir

نتیجه‌گیری اثرات تغییرات اقلیمی بر الگوی توزیع زمانی و مکانی خشکسالی در ایران

نتایج مدل‌سازی با استفاده از شبکه‌های عصبی شعائی برای خشکسالی‌های ایستگاههای کشور با استفاده از سه متغیر مستقل دما، رطوبت نسبی و کمبود اشباع نشان داد که استفاده از این روش می‌تواند رویکرد مناسبی برای پیش‌بینی شاخص خشکسالی در اکثر ایستگاههای کشور باشد. با توجه به اینکه روش شبکه‌های عصبی شعائی روشی مناسب برای تحلیل سیستم‌هایی با رفتار غیرخطی است می‌تواند عملکرد خوبی در قبال پدیده‌هایی که در طول زمان رفتارشان دچار تغییر می‌شود داشته باشد. در این تحقیق به‌منظور مدل‌سازی اثرات تغییر اقلیم بر خشکسالی از مدل شبکه عصبی شعاعی استفاده شد که در اکثر ایستگاههای کشور عملکردی مناسب با ضریب تشخیص ۹۰ درصد و بیشتر داشت. این نوع از شبکه عصبی برای مطالعه پدیده‌های متغیر در زمان عملکرد مناسبی دارد. باتوجه به اینکه متغیرهای مورد بررسی در این تحقیق از نوع پدیده‌های پویا (دینامیک) می‌باشد به طورلازم، باید از یک مدل با توانائی‌های کافی برای بررسی رفتار خشکسالی و رابطه آن با متغیرهای دیگر استفاده کرد. شبکه عصبی شعائی با توجه به عملکرد غیرخطی و هوشمند بودن و نتایج این تحقیق به‌عنوان یک بار در بازه دوازده ماهه شرق و جنوب‌غرب کشور بالای ٦ درصد کل دوره، خشکسالی بسیار شدید داشته‌اند. خشکسالی بسیار شدید بالای ٤,٦ درصد به غرب، مرکز و شرق کشور اختصاص داشته و بقیهٔ مناطق کشور کمتر از ٤ درصد کل دوره خشکسالی بسیار شدید داشته‌اند. در این بازه بیشترین خشکسالی بسیار شدید ۲۷ مورد و حداقل صفر است. در بازه بیست و چهارماهه خشکسالی‌های بسیار شدید بالای ۵ درصد به غرب، شرق و جنوب شرق کشور مربوط می‌شود و بقیه مناطق کشور خشکسالی‌های بسیار شدید کمتر از ۵ درصد را تجربه کرده‌اند. درصد خشکسالی‌های بسیار شدید بازه بیست‌وچهار ماهه یک درصد کاهش یافته، ولی دامنهٔ پراکندگی آن نسبت به بازه دوازده ماهه افزایش یافته است . در این بازه بیشترین خشکسالی بسیار شدید ۲۳ مورد و حداقل صفر است .از نظر خشکسالی شدید در بازه دوازده ماهه جنوب،غرب، جنوب شرق و جنوب غرب دریای خزر (ایستگاه رشت) بیش از ٦ درصد کل دوره خشکسالی شدید داشته‌اند (۲۲ ایستگاه) و بقیهٔ مناطق کشور کمتر از ٦ درصد کل دوره، خشکسالی شدید داشته‌اند. حداکثر خشکسالی شدید بازه دوازده ماهه ۳۸ مورد و حداقل آن ۳ مورد است. در بازه بیست وچهارماهه

Archive of SID

www.SID.ir

درصد خشکسالی شدید همانند بازه دوازده ماهه یک درصد کاهش یافته، ولی دامنهٔ پراکندگی آن در درصدهای بالای ٦ درصد افزایش یافته است. در این بازه حداکثر خشکسالی شدید ۳۷ مورد و حداقل آن ۳ مورد است. پراکندگی فضایی خشکسالی‌های بسیار شدید در بازه دوازده ماهه الگوی نصف‌النهاری دارد. بیشترین فراوانی این دسته از خشکسالی‌ها در مرکز و جنوب کشور مشاهده می‌شود. در رتبه بعدی غرب، شرق، مرکز و جنوب شرق کشور قرار دارد که حداکثر خشکسالی‌های بسیار شدید در کل دوره ۳ درصد است. در بقیه مناطق کشور خشکسالی شدید کمتر از ۳ درصد کل دوره را تجربه کرده‌اند. در همین بازه روند تغییرات خشکسالی‌های شدید از یک الگوی مداری پیروی می‌کند. درواقع فقط خشکسالی‌های شدید در بازه دوازده ماهه یک الگوی مداری را دنبال می‌کنند و بقیه دوره‌ها دارای الگوی نصف‌النهاری هستند. در بازه بیست وچهار ماهه بیشترین فراوانی نسبی خشکسالی‌های بسیار شدید در غرب، شرق و جنوب شرق مشاهده شده که مقدار آن به ۵ درصد می‌رسد.

نواحی جنوب، شمال غرب، سواحل دریای خزر و مرکز کشور کمتر از ۳ درصد دوره دارای خشکسالی‌های بسیار شدید شده‌اند. در حقیقت این طبقه از خشکسالی‌های بسیار شدید یک الگوی مداری را دنبال می‌کنند. خشکسالی‌های شدید بیش از ۹ درصد به جنوب شرق، جنوب و مرکز کشور اختصاص دارند و مناطق جنوب، جنوب غرب و سواحل دریای خزر بالای ٦ درصد خشکسالی شدید داشته‌اند و بقیهٔ مناطق کشور، خشکسالی کمتر از ٦ درصد را تجربه کرده‌اند و از لحاظ پهنه‌بندی فضایی پهنهٔ یکنواختی را تشکیل می‌دهند. خشکسالی‌های شدید دارای الگوی مداری هستند. فراوانی بیشتر خشکسالی‌های متوسط به آذربایجان محدود شده که حداکثر ۱۵ درصد دورهٔ مطالعه است و بقیهٔ مناطق کشور از نواحی فراوان خشکسالی‌های متوسط خارج هستند. خشکسالی‌های ملایم به‌طور عمده در نواحی جنوب شرق مشاهده می‌شوند. نتیجهٔ پژوهش نشان می‌دهد شمال غرب و سواحل دریای خزر به استثنای ایستگاه رشت، در بازه دوازده ماهه کمترین خشکسالی بسیار شدید را داشته و در بازه بیست‌وچهار ماهه، همچنان شمال غرب و سواحل دریای خزر کمترین خشکسالی بسیار شدید را داشته‌اند.ضریب همبستگی بین طبقه‌های خشکسالی در هر دو بازه نشان می‌دهد که تنها طبقهٔ خشکسالی بسیار شدید در هر دو بازه، دارای ضریب همبستگی معنادار در سطح یک درصد هستند و بیانگر آن است که مناطقی که در بازه دوازده ماهه دچار خشکسالی بسیار شدید بوده‌اند، در بازه بیست‌وچهار ماهه نیز دارای

Archive of SID

www.SID.ir

خشکسالی بسیار شدید هستند. بنابراین با توجه به پهنه‌بندی مکانی بازه‌ها، نتیجه می‌شود که غرب، شرق و جنوب شرق بیشترین خشکسالی‌های بسیار شدید را داشته‌اند که به طور مستقیم می‌توانند بر آبهای زیرزمینی و جریان رودخانه اثرگذار باشند.

Archive of SID

www.SID.ir

کتابشناسی

۱. بزرگنیا، ابوالقاسم (۱۳٦٦)، تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی و پیش‌بینی، آستان قدس رضوی، معاونت فرهنگی، ۱۹۰ صفحه؛

۲. پاپلی یزدی، محمدحسین و همکاران (۱۳۷۸)، آیین‌های باران‌خواهی در زمان خشکسالی‌ها، فصل‌نامه جغرافیایی ویژه هوا- اقلیم، سال چهارم شماره ۳ و٤ شماره‌های پیاپی ٥٤ و٥٥ پاییز و زمستان صفحات ۱۸٦تا۲۱۱؛

۳. جوانمرد، سهیلا، گلستانی، سمانه، عابدینی، یوسفعلی (۱۳۹۰)، مطالعه و بررسی برروی توزیع مکانی و زمانی نرخ بارش برروی کشور ایران با استفاده از داده‌های ماهواره TRMM-TMI، همایش ملی تغییر اقلیم و تاثیر آن بر کشاورزی و محیط زیست، ارومیه، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی؛

٤. دانش‌کار اراسته، پیمان (۱۳۸٦)، تحلیل روند تغییرات زمانی و مکانی بارش و دما در کشور به کمک سنجش از دور و شناسایی نواحی تحت‌تأثیر تغییرات اقلیمی، کارگاه فنی اثرات تغییر اقلیم در مدیریت منابع آب، تهران، کمیته ملی آبیاری و زهکشی؛

۵. طایی سمیرمی، مجید؛ فاتحی مرج، احمد؛ میرنیا، سیدخلاق (۱۳۹۱)، بررسی اثرات تغذیه مصنوعی بر توزیع زمانی و مکانی خشکسالی‌های هیدروژئولوژیک با استفاده از شاخص حالت پیزومتریک (مطالعه موردی: دشت گربایگان، استان فارس). تحقیقات منابع آب ایران: بهار و تابستان۱۳۹۱، دوره۸، شماره ۱ (مسلسل ۲۳) از صفحه ۸٦ تا صفحه ۸۹؛

٦. علیجانی بهلول، بابایی فینی‌ام السلمه (پاییز و زمستان ۱۳۸۸)، تحلیل فضایی خشکسالی‌های کوتاه-مدت ایران، جغرافیا و برنامه‌ریزی منطقه‌ای، دوره ۱، پیش شماره از صفحه ۱۰۹ تا صفحه ۱۲۱؛

۷. فرهاد خام‌چین مقدم؛ حجت رضایی پژند (۱۳۸۸)، نقدروش اقلیم‌بندی دومارتن برای بارش حداکثر روزانه در ایران به کمک روش گشتاورخطی، مجله مهندسی دانشگاه آزاد اسلامی مشهد،د وره دوم؛

۸. محمد کارآموز، آزاده احمدیان، سارا نظیف (شهریور ۱۳۸۵)، چالش‌ها و فرصت‌های به‌کارگیری مدل‌های بهره‌برداری بهینه از سیستم‌های منابع آب، اولین همایش منطقه‌ای بهره‌برداری بهینه از منابع آب حوضه کارون و زاینده‌رود، شهرکرد، دانشگاه شهرکرد؛

۹. محمدی مطلق، رضا؛ جلالی کمالی، نوید؛ جلالی کمالی، امیر(۱۳۹۰)، تعیین الگوی توزیع زمانی بارندگی و روابط منحنی‌های شدت- مدت- فراوانی (مطالعه موردی: حوضه آبریز دالکی)، یازدهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، کرمان، دانشگاه شهید باهنر؛

۱۰. ناصری، حمیدرضا؛ آدینه‌وند، روح‌اله؛ صلوی تبار، عبدالرحیم (۱۳۹۰)، مدلسازی پویای سیستم در

Archive of SID

www.SID.ir

مدیریت بهره‌برداری آبخوان دشت تبریز، سی‌امین گردهمایی علوم زمین، تهران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور؛

۱۱. نیرومند، حسینعلی (۱۳۷۹)، تحلیل آماری چند متغیره کاربردی، دانشگاه فردوسی مشهد، ۷٤۰؛

۱۲. واعظ تهرانی، مهسا؛ منعم، محمدجواد؛ باقری، علی (۱۳۸۹)، توسعه یک مدل نوسازی شبکه‌های آبیاری با رویکرد دینامیک سیستمها – مطالعه موردی: شبکه آبیاری دشت قزوین، نهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، تهران، انجمن هیدرولیک ایران، دانشگاه تربیت مدرس؛

13. Ashok K. Mishra, Vijay P. Singh. 2011, Drought modeling – A review. Journal of Hydrology.Volume 403, Issues 1–2, 6 June 2011, Pages 157–175;
14. Chaofan Li, Chi Zhang, GepingLuo, Xi Chen. 2013, Modeling the carbon dynamics of the dryland ecosystems in Xinjiang, China from 1981 to 2007—The spatiotemporal patterns and climate controls. Ecological Modelling.Volume 267, 10 October 2013, Pages 148–15752- J. Lorenzo-Lacruz, S.M. Vicente-Serrano, J.I. Dynamics Modeling;
15. Gies, Lauren, M.S., Purdue University, August 2013, Drought Policy Development and Assessment in East Africa Using Hydrologic and System;
16. Huang, QingXu, et al. "Modeling the impacts of drying trend scenarios on land systems in northern China using an integrated SD and CA model." Science China Earth Sciences 57.4 (2014): 839-854;
17. J. Lorenzo-Lacruz, S.M. Vicente-Serrano, J.I. López-Moreno, S. Beguería, J.M.García-Ruiz, J.M. Cuadrat. 2010, The impact of droughts and water management on various hydrological systems in the headwaters of the Tagus River (central Spain). Journal of Hydrology.Volume 386, Issues 1–4, 28 May 2010, Pages 13–26;
18. Kexin Zhang, Shaoming Pan, Liguo Cao, Yun Wang, Yifei Zhao, Wei Zhang. 2014, Spatial distribution and temporal trends in recipitation extremes over the Hengduan Mountains region, China, from 1961 to 2012. Available online 16 May 2014;
19. López-Moreno, S. Beguería, J.M.García-Ruiz, J.M. Cuadrat. 2010, The impact of droughts and water management on various hydrological systems in the headwaters of the Tagus River (central Spain). Journal of Hydrology.Volume 386, Issues 1–4, 28 May 2010, Pages 13–26;
20. Wang, Hong, et al. "Development and application of a simulation model for changes in land-use patterns under drought scenarios." Computers & Geosciences 37.7 (2011): 831-843.

Archive of SID

www.SID.ir