

بررسی داده‌های سنجش از دور به منظور پایش رطوبت خاک در استان کرمان، مطالعه موردی: حوزه آبخیز سد بافت

پیمان معدنچی^{۱*}، محمود حبیب‌نژادروشن^۲، کاکا شاهی^۳، کریم سلیمانی^۴ و احمد فاتحی‌مرج^۵

^۱ مربی پژوهشی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کرمان، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرمان، ایران،
^۲ استاد، دانشکده مرتع و آبخیز، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران،
^۳ دانشیار، دانشکده مرتع و آبخیز، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران و
^۴ دانشیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۵/۱۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۲/۰۶

چکیده

در حال حاضر انواع روش‌های عملی و قابل اعتمادی برای اندازه‌گیری رطوبت خاک در مقیاس نقطه‌ای و جهانی وجود دارد. توسعه دقیق تکنیک‌های اندازه‌گیری، سامانه را برای نظارت مستمر قادر می‌سازد. به تازگی پیشرفت قابل توجهی در تکنیک سنجش از دور به دست آمده که به پژوهشگران اجازه می‌دهد، نقشه رطوبت خاک را در هر نقطه از جهان به صورت دقیق و مکرر داشته باشند. این پیشرفت‌ها برای به دست آوردن داده‌های مورد اطمینان از حوضه‌های دوردست یا بدون آمار، کمک می‌کند و از صرف وقت و هزینه اضافی جلوگیری به عمل می‌آورد. مطالب فوق ضرورت انجام این پژوهش را بیان می‌کند. پرسش اصلی این است که آیا داده‌های سنجش از دور MERRA-LAND در برآورد رطوبت خاک حوزه آبخیز بافت دقت قابل قبولی دارند؟ برای این که به این پرسش پاسخ داده شود، بعد از دانلود داده‌ها و قرائت آن‌ها برای صحت‌سنجی داده‌ها از روش همبستگی پیرسون بین داده‌های متوسط ماهانه ماهواره و بارندگی متوسط ماهانه ایستگاه‌های سینوپتیک بافت و باران‌سنجی کیسکان در دوره ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۳ استفاده شد. نتایج نشان داد که با اطمینان ۹۹ درصد در ایستگاه کیسکان (که در وسط حوضه واقع شده است) و با اطمینان ۹۵ درصد در ایستگاه بافت بین داده‌های متوسط ماهانه رطوبت خاک سطحی سنجش از دور با متوسط بارندگی ماهانه همبستگی بالایی وجود دارد، سپس برای مقایسه بین میانگین داده‌های MERRA-LAND از پایگاه سرویس داده‌های علوم زمین گودارد (GES DISC) به عنوان داده‌های پیش‌بینی شده در تاریخ و ساعت مشخص و درصد رطوبت حجمی به دست آمده از ۱۴ نقطه نمونه برداری شده از سطح خاک و منطقه محدوده ریشه در حوزه آبخیز بافت در همان ساعت و تاریخ به عنوان داده‌های در محل استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها از روش T جفتی در محیط نرم‌افزار SPSS برای هر دو نوع نمونه (سطحی و محدوده ریشه) انجام شد. نتایج نشان داد که به علت کمتر بودن T محاسبه شده از T جدول با درجه آزادی ۱۳ در مقایسه رطوبت حجمی سطحی و منطقه ریشه با داده‌های سنجش از دور سطحی و منطقه ریشه با اطمینان ۹۹ درصد اختلاف معنی‌داری دیده نمی‌شود و می‌توان به بخش‌های اجرایی توصیه کرد تا به جای صرف وقت و هزینه زیاد از درصد رطوبت حجمی ارائه شده از این پایگاه برای پیش‌بینی و پایش رطوبت خاک استفاده کنند.

واژه‌های کلیدی: رطوبت خاک سطحی، رطوبت خاک محدوده ریشه، صحت‌سنجی داده‌ها، علوم زمین گودارد، داده‌های Merra-Land

مقدمه

سنجش از دور، علم، فن و هنر کسب اطلاعات در مورد پدیده‌ها از فاصله دور و بدون تماس با آن‌ها است. این فناوری محققین را به خوبی در جایگاهی فراتر از محدودیت‌های انسان قرار می‌دهد و جمع‌آوری اطلاعات در مناطقی را فراهم می‌کند که انسان به دلیل هزینه زیاد، بعد مسافت و خطرناک بودن، نمی‌تواند به طور مستقیم آن‌ها را شناسایی کند. این فناوری هم اکنون در عرصه‌های مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد که مهمترین آن‌ها عبارتند از: مدیریت زیرساخت شهری و جغرافیای تجاری، مدیریت سیلاب، کنترل رودخانه‌ها و حوزه‌های آبخیز، مدیریت ذخایر کوهستان، پایش محیط زیست، کنترل ذخایر آبی، مدیریت ذخایر جنگلی، مدیریت مرتع و آبخیزداری، مدیریت کشاورزی و عملیات زراعی، امور نظامی، باستان‌شناسی، اقیانوس‌نگاری، اقلیم‌شناسی و زمین‌شناسی. سامانه‌های سنجش از دور با تجزیه و تحلیل انرژی منعکس شده یا ساطع شده از پدیده‌ها، به تولید اطلاعات در مورد آن‌ها می‌پردازند (Darvishsefat و همکاران، ۲۰۰۶). منبع این انرژی، خورشید یا خود سامانه است. به محض رسیدن انرژی به یک پدیده، مقداری از آن منعکس می‌شود، مقداری از پدیده عبور می‌کند و مقداری نیز جذب می‌شود. پدیده‌ها مقداری از انرژی جذب شده را دوباره به صورت حرارت ساطع می‌کنند. انرژی منعکس یا ساطع شده از پدیده، در راه رسیدن به سنجنده با جو زمین برخورد کرده، از آن عبور می‌کند (Rezaie و Fatehi، ۲۰۱۱). سنجنده به دستگاهی اطلاق می‌شود که انرژی الکترومغناطیسی را دریافت، اندازه‌گیری و ثبت می‌کند (Alavipanah، ۲۰۱۱). در پژوهشی، کاربرد روش‌های ماهواره‌ای در تشخیص خشکسالی و ارزیابی توده زیستی وحشی در مغولستان بررسی شده است، معیارهای توده زیستی وحشی در یک ایستگاه پژوهشی در بوم سامانه استپ نیمه‌خشک در طول سال‌های ۱۹۹۷-۱۹۸۵ با نمایه‌های ماهواره‌ای سلامت گیاه^۱ VHI حاصل از داده‌های سنجنده AVHRR^۲

ماهواره NOAA^۳، مقایسه شده است، نتایج حاکی از آن است که این نمایه‌ها معرف خوبی برای برآورد تولید توده زیستی هستند (Kogan و همکاران، ۲۰۰۴). طی پژوهشی تحت عنوان ارزیابی و ارتقای برآورد هیدرولوژی سطح زمین MERRA^۴ از آمار ۵۸۳ ایستگاه اندازه‌گیری عمق برف در ایالات متحده و آمار رواناب ۱۸ حوضه در ایالات متحده استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که برای استفاده پژوهشگران داده‌های MERRA-LAND^۵ دقیق‌تر از داده‌های MERRA است (Reichle و همکاران، ۲۰۱۱). در پژوهشی تحت عنوان ارزیابی پیش‌بینی داده‌های MERRA-LAND برای اندازه‌گیری رطوبت خاک به این نتیجه رسیدند که رطوبت خاک محدوده ریشه در داده‌های MERRA-LAND در مقایسه با مشاهدات ۸۵ ایستگاه اندازه‌گیری رطوبت خاک در ایالات متحده از داده‌های MERRA دقیق‌تر و قابل توجه‌تر است (Yongang و همکاران، ۲۰۱۱). اعتبارسنجی سری داده‌های ماهانه بارندگی (سری داده‌های ۳ B43) ماهواره TRMM^۶ در قرقیزستان انجام شد و نتایج آن‌ها نشان داد، بین داده‌های ماهواره‌ای و مقادیر مشاهده‌ای، همبستگی و تطابق بالایی در بیشتر نقاط قرقیزستان وجود دارد (Karasva و همکاران، ۲۰۱۱). در پژوهشی، با استفاده از داده‌های MERRA-LAND شاخص خشکسالی چندمتغیره را ابداع کردند که ترکیبی از شاخص استاندارد شده بارش و شاخص استاندارد شده رطوبت خاک است و برای توصیف خشکسالی استفاده می‌شود، به عبارت دیگر، شاخص^۷ MSDI دارای شرایط خشکسالی هواشناسی و کشاورزی برای توصیف کلی خشکسالی است. در این پژوهش، شاخص MSDI پیشنهاد شد و توصیف شرایط خشکسالی برای بیش از چند تقسیم‌بندی آب و هوایی در کالیفرنیا و کارولینای شمالی استفاده شد (Hao و Aghakochak، ۲۰۱۳). برای تعیین روند خشکسالی‌های هواشناسی و کشاورزی در ایران که

³ National Oceanic and Atmospheric Administration

⁴ The Modern- Era Retrospective Analysis

⁵ The Modern- Era Retrospective Analysis-Land

⁶ The Tropical Rainfall Measuring Mission

⁷ Multivariate Standardized Drought Index

¹ Vegetation Health Index

² Advanced Very High Resolution Radiometer

خصوصیات حوضه و کنش و واکنشی که بین این دو رخ می‌دهد، است که برای رشد و بهره‌وری محصول در شرایط دیم از الزامات است. حال با توجه به این‌که استفاده از تکنیک سنجش از دور این امکان را برای کاربر فراهم کرده است که مکرر و با دقت زیاد بتواند این آمار و اطلاعات را از حوضه‌هایی که دسترسی به آن‌ها سخت است و حوضه‌های فاقد آمار در اختیار داشته باشد، به نظر می‌رسد که مقایسه کردن این داده‌ها با اطلاعات در محل در حوضه‌های مختلف کشور الزامی است و اجرای این پژوهش در استان کرمان ضروری به نظر می‌رسد. هدف این پژوهش این است که آیا داده‌های MERRA-LAND در برآورد رطوبت خاک حوزه آبخیز بافت دقت قابل قبولی دارد؟ و آیا می‌توان به بخش اجرا توصیه کرد که از داده‌های مورد نظر برای پایش خشکسالی کشاورزی استفاده کند.

مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی و ویژگی‌های طبیعی استان کرمان: استان کرمان با مساحت ۱۸۲۳۰۱ کیلومتر مربع در جنوب شرقی ایران بین ۲۱' ۵۴° تا ۳۴' ۵۹° طول شرقی و ۲۹' ۲۶° تا ۳۲° عرض شمالی قرار دارد که پهناورترین استان از نظر وسعت است. حد شمالی استان به استان‌های خراسان و یزد، حد جنوبی آن به استان هرمزگان، حد شرقی به استان سیستان و بلوچستان و حد غربی آن به استان فارس محدود است. استان کرمان در طیف ارتفاعی ۱۹۰ متر در دشت لوت تا ۴۴۶۵ متر از سطح دریا در کوه هزارراین به‌عنوان چهارمین قله بلند ایران واقع شده است. متوسط بارندگی سالانه استان ۱۳۳ میلی‌متر است که حدود ۵۸ درصد متوسط بارش سالانه کشور و حدود ۱۹ درصد میانگین بارش کره زمین است. مساحت باغات استان معادل ۲۲ درصد مساحت باغات کشور و رتبه نخست کشوری با ۷۹۵۰۹۲ هکتار مساحت اراضی را به‌خود اختصاص داده است. مساحت مراتع عمدتاً از نوع مراتع فقیر و متوسط با ۷۷۰۰۰۰۰ هکتار و مساحت جنگل‌ها ۲/۵ میلیون هکتار عمدتاً از نوع جنگل‌های تنک، مساحت مناطق کویری و بیابانی استان ۶/۳ میلیون هکتار که در هم‌جواری یکی از

هدف آن بررسی ویژگی‌های خشکسالی هواشناسی و کشاورزی و همین‌طور روند آن‌ها در چند ناحیه مختلف از نظر آب و هوایی ایران بود، از شاخص^۱ SPI و^۲ SSI (رطوبت خاک استاندارد شده) از سال ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۳ استفاده کردند، آزمون من‌کنندال نشان داد که شمال و قسمت‌هایی از شمال غرب و مرکز ایران به احتمال ۹۵ درصد روند خشکسالی قابل ملاحظه‌ای را تجربه کرده است و خشکسالی شدیدی کل کشور را در بین سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۱ درگیر کرده است (Aghakochak و Golian، ۲۰۱۴). در پژوهشی که بر روی خشکسالی شرق آفریقا در سال ۲۰۱۱ انجام شد، از شاخص MSDI استفاده کردند که مدلی آزمون‌شده به‌وسیله داده‌های ماهانه بارندگی و رطوبت خاک به‌دست آمده از MERRA-LAND است، نتایج نشان داد که پیش‌بینی شاخص چندمتغیره با مشاهدات سازگار است و علاوه بر این نتایج تاکید بر کاربرد بالقوه مدل برای هشدار زودهنگام احتمال خشکسالی در شرق آفریقا داشت (Aghakochak، ۲۰۱۴). بخش کشاورزی و منابع طبیعی اولین بخشی است که اثرات خشکسالی را دریافت و بروز می‌دهند. با توجه به نتایج پژوهش‌های گذشته کاهش رطوبت خاک از مشخصه‌های مهم شروع خشکسالی کشاورزی است که برای پایش آن شاخص‌های مختلفی ابداع شده است (Mahdavi، ۲۰۱۴) و از طرف دیگر، پیشرفت تکنیک سنجش از دور به پایش هر چه دقیق‌تر خشکسالی کمک می‌کند و این‌که استان کرمان از نظر عرض جغرافیایی در محدوده‌ای قرار دارد که در تمامی فصول سال امکان وقوع خشکسالی وجود دارد، ضرورت انجام این نوع از پژوهش‌ها مشخص می‌شود. خشکسالی‌های کشاورزی نتیجه کمبود رطوبت خاک است که بر اثر به هم خوردن تعادل میان تامین آب و هدررفت آن از طریق تبخیر و تعرق به‌وجود می‌آید. متأسفانه در اغلب حوضه‌های کشور اطلاعاتی از داده‌های رطوبت خاک در دست نبوده، در صورت وجود داده نیز به‌دلیل محدودیت منابع از پراکنش مناسب برخوردار نیستند، عامل رطوبت خاک مهمترین عامل حاصل از فعل و انفعالات بارندگی و

¹ Standardized Precipitation Index

² Standardized Soil Moisture Index

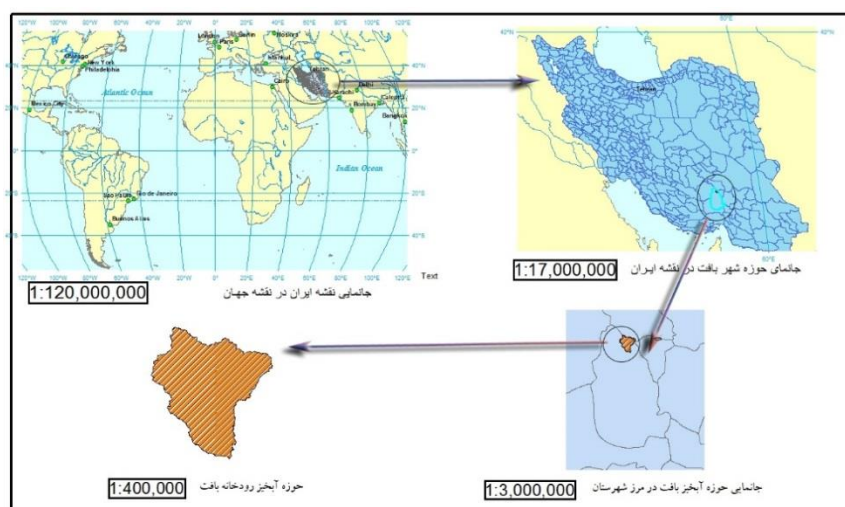
به ارتفاع بیشینه ۴۳۸۱ متر و حدود ۲۲ کیلومتری شمال شرقی شهر بافت سر چشمه می‌گیرد.

این رودخانه پس از عبور از بخش شرقی شهرستان بافت به سمت جنوب ادامه یافته و کمی پایین دست روستای کم‌کلاغ با رودخانه زردشت که در غرب رودخانه بافت جریان دارد تلاقی کرده، رودخانه دهوج را تشکیل می‌دهند و به سمت شرق ادامه یافته، سپس، با جهت شمال-جنوبی و به نام هلیل رود جریان می‌یابد و پس از طی مسیری نسبتاً طولانی در چاله جازموریان در جنوب شرقی استان کرمان تخلیه می‌شود. محل سد بافت در حدود سه کیلومتری شمال شرقی شهر بافت واقع شده است و نزدیک‌ترین محل از حوضه سد بافت تا شهر کرمان ۱۲۵ کیلومتر فاصله دارد. حوضه آبخیز سد بافت به لحاظ تقسیم‌بندی حوضه‌ای در حوضه آبخیز چاله جازموریان قرار دارد و مهمترین روستاهای موجود در حوضه آبخیز سد بافت عبارتند از: کیسکان، دره‌مرید، آب‌بحری، قنات‌گاو، گونوئی، سنگوئی، مغوئی بالا و پایین، ده-رضاقلی، ده‌میرزایی، بوستان، پیروئی، باغ فتک، باغ حسن و درودی پایین است.

به‌طور کلی، رودخانه بافت از شمال به جنوب حوضه جریان دارد. حوضه مورد مطالعه از نظر شکل کشیده با ضریب گراویلیوس ۱/۳۸ است و ارتفاع متوسط حوضه ۲۷۲۶ متر و شیب متوسط ۱۲/۸۵ درصد است. شکل ۱، نقشه موقعیت حوضه آبخیز سد بافت را در استان کرمان و شهرستان بافت نشان می‌دهد.

بزرگ‌ترین کویرهای دنیا (کویر لوت) قرار دارد. این استان با در بر گرفتن حدود ۱۱ درصد از مساحت کشور بخش وسیعی از پیکره جنوب شرقی فلات مرکزی ایران را می‌پوشاند و به واسطه آن کلیه فعل و انفعالات پیچیده و خشن طبیعی مربوط به شرایط آب و هوایی خشک و شدید کویری را دارد. اما از آنجایی که دو سوم این سرزمین را کوه‌ها می‌پوشاند، وجود گستره وسیع ارتفاعات از نفوذ و تسلط کامل شرایط سخت کویری بر پهنه استان تا حد قابل ملاحظه‌ای کاسته است.

موقعیت حوضه آبخیز سد بافت: حوضه آبخیز سد بافت منطقه‌ای واقع در شمال شرقی شهرستان بافت است، این حوضه در بین طول جغرافیایی $31^{\circ} 54'$ تا $56^{\circ} 16' 45''$ شرقی و عرض جغرافیایی $29^{\circ} 14' 17''$ تا $29^{\circ} 27' 33''$ شمالی واقع شده است و ایستگاه‌های هیدرومتری و رسوب‌سنجی پل بافت در ارتفاع ۲۲۹۵ متر از سطح دریا با موقعیت جغرافیایی $56^{\circ} 23' 37''$ و عرض جغرافیایی $29^{\circ} 14' 20''$ در نزدیکی خروجی حوضه قرار دارد. مساحت حوضه ۲۶۷ کیلومتر مربع، از شمال به گردنه کفنوئی، کوه شاه، کوه یاس چمن و از جنوب به شهر بافت و از غرب به کوه پلنگی، کوه سیاه، کوه دره‌مرید و کوه قله‌سنگ و از شرق به حوضه آبخیز رودخانه بزنجان محدود می‌شود. مهمترین رودخانه موجود در حوضه مورد مطالعه، رودخانه بافت می‌باشد که طویل‌ترین سر شاخه آن از ارتفاعات کوه شاه در شمال شرقی حوضه



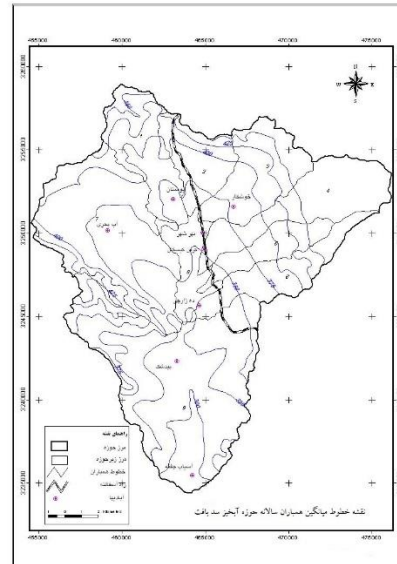
شکل ۱- نقشه موقعیت حوضه مورد مطالعه در ایران و جهان

مرکز سرویس‌های داده و اطلاعات علوم زمین گودارد (GES DISC^۱): در این پایگاه اطلاعات و داده‌ها، پس از مقایسه بین برداشت‌های سنجنده‌های تخصصی و مشاهدات زمینی از سال ۱۹۸۰ تا حال حاضر ارائه شده (Huffman و همکاران، ۲۰۰۹؛ Xie و همکاران، ۲۰۰۳)، برای داده‌های بارش جهانی از پروژه GCPP^۲ و برای ارزیابی رواناب از اطلاعات ۱۸ حوزه آبخیز در ایالات متحده آمریکا بهره گرفته‌اند (Mahanama و همکاران، ۲۰۱۲) و در مورد رطوبت خاک سطحی ۹۸ سایت SCAN^۳ برای برآورد رطوبت خاک سطحی استفاده شد و تنها ۸۵ سایت از ۹۸ سایت برای ارزیابی رطوبت منطقه ریشه برای تخمین رطوبت خاک نقطه‌ای مورد استفاده قرار گرفت (Lie و همکاران، ۲۰۱۱). در مورد عمق برف از داده‌های اندازه‌گیری شده عمق برف از مرکز داده‌های ملی آب و هوا^۴ (WMO Miller و Tedesco، ۲۰۱۰) استفاده شد. در مجموع ۵۸۳ ایستگاه واقع در نیمکره شمالی (بیشتر در روسیه، اروپا و آلاسکا) برای دوره اکتبر ۲۰۰۲ تا اوت ۲۰۰۹ استفاده شد.

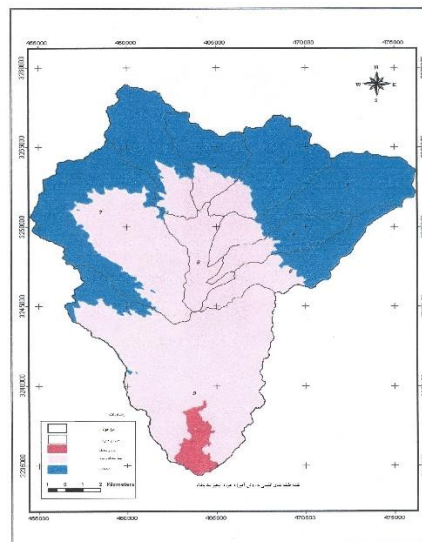
عواملی که برای دانلود داده‌ها در این پایگاه باید مشخص باشد، شامل: ۱- طول و عرض جغرافیایی ابتدا و انتها محدوده که با نقطه‌گذاری بر روی نقشه مشخص می‌شود، ۲- تاریخ فرض شده باید در محدوده ۱۹۸۰/۰۱/۰۱ تا دو هفته قبل از زمان ورود به پایگاه برای دانلود داده باشد (اطلاعات سنجش از دور بعد از دو هفته روی سایت پایگاه قابل دسترسی است)، ۳- مشخص کردن متغیرهای مورد نیاز کاربر از بین ۵۰ متغیر لحاظ شده در پایگاه و ۴- فرمت فایل ارائه اطلاعات که کاربر توان قرائت آن را دارد از بین پنج نوع فرمت ارائه اطلاعات، است.

پیشنهاد می‌شود که برای دانلود داده‌ها از ایستگاه GES DISC بهتر است کاربر، داده‌های مورد لزوم پژوهش خود را از بین ۵۰ نوع داده و انواع واریانس‌ها مشخص کند تا حجم زیادی از داده را دانلود نکند و

اقلیم حوزه آبخیز سد بافت: میانگین سالانه بارش در حوزه آبخیز سد بافت بر اساس نقشه خطوط هم‌باران سالانه بین ۳۰۰ تا ۴۵۰ میلی‌متر در نوسان است که در شکل ۲ نمایش داده شده است.



شکل ۲- نقشه خطوط میانگین هم‌باران سالانه حوزه آبخیز سد بافت



شکل ۳- نقشه طبقه‌بندی اقلیمی به روش آمبروزه حوزه آبخیز سد بافت

متوسط دمای سالانه بیش از ۱۵ درجه سانتی‌گراد در زیرحوضه پیروپیه در پایین‌دست حوضه و تا کمتر از یک درجه سانتی‌گراد در کوه‌های لاله‌زار در شمال حوضه نوسان دارد.

¹ Goddard Earth Science Data and Information Services Center

² Global Climatology Precipitation Project

³ Soil Climate Analysis Network

⁴ World Meteorological Organization

استفاده می‌شود که داده‌های این حسگر از آدرس <http://gmao.gsfc.nasa.gov/research/merra/merra-land.php> دانلود می‌شود (Reichle و همکاران، ۲۰۱۱).

روش تحقیق: داده‌های حاصل از MERRA-LAND به صورت ساعتی، میانگین روزانه و میانگین ماهانه از طریق ابزار MDISC قابل دسترس است و فایل داده‌ها را می‌توان با فرمت HDF یا HDF4 در محیط GIS قرائت کرد. باید توجه داشت که این اعداد درصد رطوبت حجمی هستند، این داده‌ها از ۱۹۸۰/۰۱/۰۱ تا حال حاضر در دسترس است. به علت این که پایگاه اطلاعات هم رطوبت سطحی و هم رطوبت منطقه ریشه را در دسترس قرار داده است و بررسی هر دو این داده‌ها مد نظر این مطالعه بود، نمونه‌برداری از محل‌های برداشت هم از سطح و هم از منطقه ریشه در فصل بهار انجام شد و سعی شد که نمونه‌برداری پراکنش مناسبی در سطح حوضه داشته باشد. مختصات محل‌های نمونه‌برداری، ساعت نمونه‌برداری و تاریخ آن باید یادداشت شد تا دقیقاً همان اطلاعات از پایگاه داده‌ها دانلود شود.

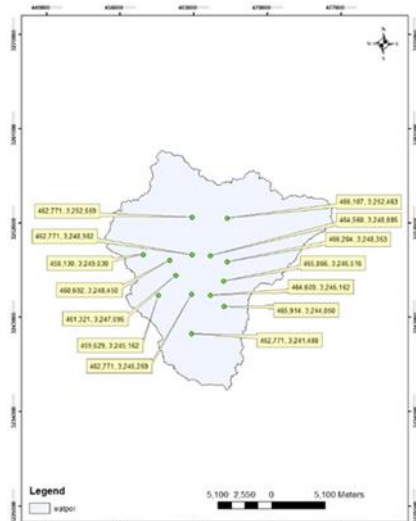
در طول فصل رشد گیاه از ماه فروردین تا خرداد ۱۴ نمونه از سطح حوضه برداشت شد (چهار نمونه در فروردین چهار نمونه در اردیبهشت و شش نمونه در خرداد) که با ارسال این نمونه‌ها به آزمایشگاه درصد رطوبت وزنی سطح و محدوده ریشه محاسبه شد. همان‌طور که گفته شد، آزمایشگاه درصد رطوبت وزنی را می‌دهد و برای تعیین وزن مخصوص ظاهری، از هر افق پروفیل، نمونه‌برداری انجام شد. نمونه‌ها در آزمایشگاه در دمای ۱۰۵ درجه برای ۲۴ ساعت در اون نگهداری و سپس، وزن شدند و از طریق تقسیم وزن نمونه خشک به حجمش، وزن مخصوص ظاهری خاک هر افق به دست آمد. برای متوسط‌گیری، وزن مخصوص ظاهری بر اساس حاصل ضرب وزن مخصوص هر یک از افق‌های رسوب در عمق افق مربوطه و تقسیم آن بر کل عمق حفرشده محاسبه شده، درصد رطوبت وزنی به درصد رطوبت حجمی تبدیل شد (آماره‌ای که از GES DISC دانلود می‌شود، بر اساس رطوبت حجمی است). سپس داده‌ها به روش T جفتی با هم مقایسه می‌شوند. برای تعیین درصد رطوبت

در ضمن نوع فایلی که می‌تواند قرائت کند را مشخص کند که با همان فرمت داده‌ها در اختیار کاربر قرار گیرد.

MERRA-LAND: تجزیه و تحلیل مجدد و مدرن برای پژوهش‌ها و برنامه‌های کاربردی (MERRA) یک آزمایش مجدد پیشرفته است که علاوه بر پارامترهای جوی، برآوردهای جهانی رطوبت خاک، شار حرارتی پنهان، برف و رواناب از سال ۱۹۷۹ تا کنون را فراهم می‌کند. MERRA-LAND یک مجموعه تکمیلی و پیشرفته‌ای از اطلاعات هیدرولوژیکی سطح زمین را ایجاد می‌کند. داده‌های MERRA و MERRA-LAND در نیمکره شمالی، با اندازه‌گیری عمق برف (از ۵۸۳ ایستگاه) و با تحلیل مستقل آب معادل برف، اختلافی ندارند. رطوبت خاک MERRA-LAND با مقایسه مشاهدات ۹۵ ایستگاه SCAN در ایالات متحده برای رطوبت سطحی و ۸۵ ایستگاه SCAN برای رطوبت خاک منطقه ریشه از دقت بیشتری نسب به داده‌های MERRA برخوردار است. با چند استثناء، داده‌های MERRA-LAND دقیق‌تر از تخمین‌های MERRA به نظر می‌رسد، بنابراین، برای کسانی که علاقه‌مند به استفاده از خروجی MERRA برای مطالعات هیدرولوژیکی سطح زمین هستند توصیه می‌شود که از داده‌های MERRA-LAND استفاده کنند (Rienecker و همکاران، ۲۰۱۱).

محصولات MERRA-LAND عبارتند از داده‌های هواشناسی مانند بارش، تابش، درجه حرارت و رطوبت هوا و همچنین، پارامترهای سطح زمین و سیلاب مانند رطوبت خاک، برف و رواناب که می‌توانند برای انواع پژوهش‌ها و برنامه‌های کاربردی استفاده شوند (Reichle و همکاران، ۲۰۱۱). بر اساس ترکیب تعداد زیادی از مشاهدات جوی، داده‌های MERRA از سال ۱۹۷۹ تا کنون با دقت زمانی و مکانی زیادی در دسترس است. داده‌های هواشناسی از مشاهدات روزانه سازمان جهانی هواشناسی (WMO) و داده‌های دمای هوای روزانه از سنجنده AMSR-E متعلق به دانشگاه مونتانا به دست می‌آید و برای داده‌های رطوبت خاک از حسگر^۱ AMSR-E دانشگاه ویرجی آمستردام

¹ Advanced Microwave Scanning Radiometer



شکل ۴- جانمایی محل نمونه‌برداری‌ها در سطح حوزه آبخیز سد بافت

بعد از قرائت داده‌های سنجش از دور، میزان رطوبت خاک سطحی و عمق ریشه که از آزمایشگاه به دست آمده بود با اعداد پیش‌بینی شده رطوبت خاک سطحی و عمق ریشه از سنجش از دور با روش T جفتی در محیط نرم‌افزار SPSS با هم مورد مقایسه میانگین قرار گرفتند (آزمون T جفتی برای مقایسه میانگین‌هایی استفاده می‌شود که دو اندازه‌گیری روی یک موضوع وجود داشته باشد).

نتایج و بحث

با توجه به آمار متوسط بارندگی ماهانه ایستگاه سینوپتیک بافت و باران‌سنجی کیسکان و داده‌های ماهانه رطوبت خاک سطحی از پایگاه GIS DISC در دوره زمانی ۲۰۰۹/۰۱/۰۱ تا ۲۰۱۳/۱۲/۳۰ و استفاده از آزمون همبستگی پیرسون در محیط نرم‌افزار SPSS، با توجه به sig بالای ۰/۰۱ در جدول ۱ و sig زیر ۰/۰۱ در جدول ۲، همبستگی داده‌های حاصل از سنجنده با آمار متوسط بارندگی ایستگاه سینوپتیک بافت با اطمینان ۹۵ درصد و با آمار متوسط بارندگی ماهانه ایستگاه کیسکان با اطمینان ۹۹ درصد معنی‌دار است، که در جداول ۱ و ۲ نشان داده شده است. در جدول ۳، اطلاعات آزمایشگاه خاکشناسی از نمونه‌ها ارائه شده است.

منطقه ریشه در سه عمق پنج، ۲۵ و ۵۰ سانتی‌متری به صورت ماهانه در فصل رشد گیاه، درصد رطوبت محاسبه شد و طبق رابطه (۱) متوسط وزنی آن به دست آمد (Martinez-Fernandez و همکاران، ۲۰۱۵).

$$SM0-50 = SM5.5 + 2SM25.5 + 2SM50.5 \quad (1)$$

بعد از طی مراحل مختلف دانلود و قرائت داده‌های مورد نظر باید اعتبار این اطلاعات مورد سنجش قرار می‌گرفت، برای صحت‌سنجی داده‌های رطوبت خاک سطحی پیش‌بینی شده از سنجش از دور، آزمون همبستگی پیرسون روی آمار متوسط بارندگی ماهانه ایستگاه سینوپتیک بافت (که تقریباً در پنج کیلومتری جنوب غربی حوضه واقع شده است) و ایستگاه باران‌سنجی کیسکان که در داخل حوزه آبخیز سد بافت قرار دارد از تاریخ ۲۰۰۹/۰۱/۰۱ تا ۲۰۱۳/۱۲/۳۰ با مقادیر متوسط ماهانه رطوبت خاک سطحی پیش‌بینی شده از سنجش از دور انجام شد که نتیجه این آزمون حاکی از درصد بالای همبستگی بین آن‌ها بود.

در مرحله بعدی، به دقت در تاریخ‌های مختلف و در ساعت ۱۰ و ۳۰ دقیقه صبح از سطح و از منطقه ریشه نمونه‌برداری انجام شد. این نمونه‌ها در سیلندرهای سروته بسته مخصوص به آزمایشگاه خاکشناسی ارسال شد. در محل‌های نمونه‌برداری اقدام به حفر پروفیل شد و درصد رطوبت وزنی و وزن مخصوص ظاهری نمونه‌ها بر طبق گفته‌های فوق در آزمایشگاه محاسبه شد. سپس، در تاریخ‌ها و ساعت مشخصی که از سطح حوضه نمونه‌برداری شد. داده‌های MERRA-LAND به صورت روزانه در ساعت ۱۰ و ۳۰ دقیقه که ساعت نمونه‌برداری درجا بود، در فرمت HDF4 دانلود شدند و به کمک نرم‌افزار ARCGIS 10.1 که توان قرائت این فایل‌ها را دارد اعداد قرائت شدند. در شکل ۴، محل و پراکنش نقاط نمونه‌برداری مشخص شده است (نقاط در زیرحوضه‌های مختلف حوزه آبخیز سد بافت و از دامنه‌هایی که مورد کشت دیم قرار داشتند، برداشت شده است).

جدول ۱- همبستگی پیرسون بارندگی ایستگاه سینوپتیک بافت با رطوبت خاک سطحی در مقیاس ماهانه

رطوبت خاک سطحی		بارندگی ایستگاه بافت
همبستگی پیرسون بارندگی ایستگاه بافت	۰/۲۷۸*	۱
سطح معنی‌داری	۰/۰۳۲	
تعداد نمونه	۶۰	۶۰
همبستگی پیرسون رطوبت خاک سطحی	۰/۲۷۸*	۱
سطح معنی‌داری	۰/۳۲	
تعداد نمونه	۶۰	۶۰

جدول ۲- همبستگی پیرسون بارندگی ایستگاه باران‌سنجی کیسکان با رطوبت خاک سطحی در مقیاس ماهانه

رطوبت خاک سطحی		بارندگی ایستگاه کیسکان
همبستگی پیرسون بارندگی ایستگاه کیسکان	۰/۵۳۴**	۱
سطح معنی‌داری	۰/۰۰۰	
تعداد نمونه	۶۰	۶۰
همبستگی پیرسون رطوبت خاک سطحی	۰/۵۳۴**	۱
سطح معنی‌داری	۰/۰۰۰	
تعداد نمونه	۶۰	۶۰

جدول ۳- نتایج آزمایشگاه برای نمونه‌های خاک از سطح حوزه آبخیز سد بافت

شماره نمونه	درصد رطوبت وزنی سطحی θ	وزن مخصوص ظاهری سطحی	درصد رطوبت حجمی سطحی θ	وزنی محدوده ریشه	درصد رطوبت ظاهری محدوده ریشه	وزن مخصوص ظاهری محدوده ریشه	درصد رطوبت حجمی محدوده ریشه θ
۱	۲/۱۶	۱/۴۶	۳/۱۵	۲/۳	۱/۴۷	۳/۳۸	۳/۳۸
۲	۰/۸۸	۱/۴۴	۱/۲۶	۰/۹۳	۱/۴۴۵	۱/۳۴۳	۱/۳۴۳
۳	۴/۲	۱/۴۴	۶/۰۵	۴/۴۷	۱/۴۵۵	۶/۵	۶/۵
۴	۱/۹	۱/۴۵	۲/۷۵	۲/۱۳	۱/۴۷۱	۳/۱۳۳	۳/۱۳۳
۵	۰/۸	۱/۴۲	۱/۱۳	۰/۹۲	۱/۴۴۲	۱/۳۲	۱/۳۲
۶	۴	۱/۴۱	۵/۶۴	۴/۲۳	۱/۴۳۵	۶/۰۷	۶/۰۷
۷	۳/۶۷	۱/۴۵	۵/۳۲	۳/۸۷	۱/۴۸۵	۵/۷۵	۵/۷۵
۸	۲/۱۲	۱/۳۹	۲/۹۵	۱/۸	۱/۴۲۸	۲/۵۷	۲/۵۷
۹	۲/۶۳	۱/۴۴	۳/۷۸	۲/۹	۱/۴۶۵	۴/۲۵	۴/۲۵
۱۰	۱/۲	۱/۴۵	۱/۷۴	۱/۳۲	۱/۴۷۴	۱/۹۴	۱/۹۴
۱۱	۰/۹	۱/۴۱	۱/۲۶	۱/۱۲	۱/۴۴۱	۱/۶۱	۱/۶۱
۱۲	۲۹/۴۲	۱/۳۹	۴۰/۹	۳۵/۶۶	۱/۴۲۴	۵۰/۷۹	۵۰/۷۹
۱۳	۳/۲۸	۱/۴۳	۵/۳۸	۳/۴۲	۱/۴۶۱	۴/۹۹	۴/۹۹
۱۴	۳/۰۶	۱/۴۴	۴/۴	۳/۲۷	۱/۴۷۱	۴/۸۱	۴/۸۱

مقایسه داده‌های دانلودشده از مرکز داده‌ها و اطلاعات GES DISC با داده‌های رطوبت خاک درجا: در حال حاضر، دسترسی به پایگاه داده‌های آب خاک در سراسر جهان افزایش یافته است. حضور تعدادی از شبکه‌های رطوبت درازمدت در سراسر

جهان و پیشرفت قابل ملاحظه سنجش از راه دور در سال‌های اخیر به جامعه علمی کمک کرده تا آمار دقیق و مکرری از اندازه‌گیری‌های خاک داشته باشند. تحت شرایط فعلی و مشکلات ناشی از تغییر اقلیم و خشکسالی‌های بلندمدت طولانی در ایران، استفاده از

این نوع ابزار برای نظارت و مدیریت بهتر زمین‌های کشاورزی و منابع آب کمک می‌کند و همین‌طور در وقت و هزینه باعث صرفه‌جویی می‌شود. در جدول ۴، اعداد دانلود شده از مرکز اطلاعات و داده‌های GES و مشاهدات رطوبت خاک درجا ارائه شده است.

جدول ۴- داده‌های دانلود شده و درصد رطوبت حجمی خاک سطحی و محدوده ریشه

ردیف	درصد رطوبت حجمی خاک سطحی MERRA- LAND	درصد رطوبت حجمی خاک محدوده ریشه MERRA- LAND	درصد رطوبت حجمی خاک سطحی	درصد رطوبت حجمی خاک منطقه ریشه
۱	۰/۱۰۵۹۱۷	۰/۴۲۳۸۲۱	۳/۱۵	۳/۳۸
۲	۰/۱۰۶۰۶۵	۰/۴۲۲۸۳۵	۱/۲۶	۱/۳۴
۳	۰/۱۰۷۴۵۹	۰/۴۲۳۷۴۷	۶/۰۵	۶/۵
۴	۰/۱۰۷۶۴۲	۰/۴۲۳۸۲۶	۲/۷۵	۳/۱۳
۵	۰/۹۹۰۶۶	۰/۴۲۳۴۰۳	۱/۱۳	۱/۳۲
۶	۰/۹۹۲۱۳	۰/۴۲۳۱۳۶	۵/۶۴	۶/۰۷
۷	۰/۱۰۰۴۳۶	۰/۴۲۵۴۶۵	۵/۳۲	۵/۷۵
۸	۰/۱۰۰۵۵۸	۰/۴۲۵۲۷۴	۲/۹۵	۲/۵۸
۹	۰/۹۵۰۸۵	۰/۴۲۳۲۰۴	۳/۷۸	۴/۳۵
۱۰	۰/۹۵۲۰۶	۰/۴۲۳۱۴۲	۱/۷۴	۱/۹۴
۱۱	۰/۹۳۸۴۷	۰/۴۲۳۲۶۵	۱/۲۶	۱/۶۱
۱۲	۰/۹۳۹۷۰	۰/۴۲۳۴۷۱	۴۰/۹	۵۰/۷۹
۱۳	۰/۹۶۲۹۶	۰/۴۲۳۵۲۶	۵/۳۸	۴/۹۹
۱۴	۰/۹۶۴۳۸	۰/۴۲۲۸۳۵	۴/۴	۴/۸۱

دیگری داده تخمین زده شده به‌وسیله سنجنده سنجش از دور است برای این که اثبات شود که این دو داده با هم اختلاف معنی‌داری ندارند یا خیر، از روش T جفتی در محیط نرم‌افزار SPSS مقایسه میانگین انجام شد، که نتایج آن در جداول ۵ و ۶ آورده شده است.

همان‌طور که در جدول ۴ مشخص است، از هر نقطه در حوزه آبخیز دو داده از درصد حجمی رطوبت خاک سطحی و دو داده از درصد رطوبت خاک در منطقه ریشه در اختیار است (مشاهده‌ای و پیش‌بینی شده) که یکی با نمونه‌گیری درجا محاسبه شد و

جدول ۵- مقایسه میانگین از روش T جفتی بین درصد رطوبت حجمی محدوده ریشه نمونه‌ها و رطوبت منطقه ریشه MERRA-LAND

سطح معنی‌داری	درجه آزادی	T محاسبه شده	خطای استاندارد	انحراف معیار استاندارد	متوسط	جفت مورد آزمون
۰/۰۷۴	۱۳	۱/۹۴۴	۳/۳۹۹۴۲۲	۱۲/۷۱۹۴۷۳	۶/۶۰۹۲۱۷	رطوبت منطقه ریشه و رطوبت منطقه ریشه merra-land

جدول یک درصد = $۳/۰۱۲$ و T جدول پنج درصد = $۲/۱۶۰$ و $df = ۱۳$.

همان‌طور که در جدول ۶ مشخص است، به‌دلیل این که T محاسبه‌شده از T جدول در دو سطح یک و پنج درصد کوچک‌تر است، پس با اطمینان ۹۹ درصد اختلاف معنی‌داری دیده نمی‌شود و می‌توان پیشنهاد کرد که از داده‌های رطوبت سطحی MERRA-LAND

همان‌طور که در جدول ۵ مشخص است، به‌دلیل این که T محاسبه‌شده از T جدول در دو سطح یک و پنج درصد کوچک‌تر است، پس با اطمینان ۹۹ درصد اختلاف معنی‌داری دیده نمی‌شود و می‌توان پیشنهاد کرد که از داده‌های رطوبت منطقه ریشه MERRA-LAND برای محاسبات مورد نیاز استفاده کرد (T)

به‌طور خاص برای اندازه‌گیری رطوبت خاک طراحی شده‌اند، بازیابی شده‌اند. با توجه به موارد ذکر شده، بهتر است که این داده‌ها با مشاهدات درجا در مناطق مختلف کشور مورد آزمون‌های آماری قرار بگیرند و در صورت تأیید در حوزه‌های آبخیزی که فاقد آمار رطوبت خاک هستند و یا این‌که دسترسی به آنجا سخت است، استفاده شود که باعث جلوگیری از اتلاف وقت و هزینه خواهد شد.

برای محاسبات مورد نیاز استفاده کرد (T جدول یک درصد=۳/۰۱۲ و T جدول پنج درصد=۲/۱۶۰ و df=۱۳).

نتیجه‌گیری

از سال ۱۹۷۹ که روش‌های سنجش از دور برای نظارت بر رطوبت خاک پیشنهاد شده‌اند، در طول سه دهه گذشته، رطوبت خاک از ابزارهای ماهواره‌ای که

جدول ۶- مقایسه میانگین از روش T جفتی بین درصد رطوبت حجمی سطحی نمونه‌ها و رطوبت سطحی MERRA-LAND

سطح معنی‌داری	درجه آزادی	T محاسبه شده	خطای استاندارد	انحراف معیار استاندارد	متوسط	جفت مورد آزمون
۰/۰۶۱	۱۳	۲/۰۵۳	۲/۶۹۲۰۰۸	۱۰/۰۷۲۵۷۵	۵/۵۲۷۹۰۸	رطوبت منطقه ریشه و رطوبت منطقه ریشه merra-land

MERRA-LAND مورد تأیید قرار گرفت و برای استفاده ارگان‌های اجرایی برای کم‌کردن هزینه نمونه‌برداری و آزمایشگاه توصیه می‌شود. البته همان‌طور که در نتایج مقایسه‌های آماری مشخص است داده‌های رطوبت منطقه ریشه نسبت به رطوبت سطح خاک از همبستگی بیشتری با داده‌های پیش‌بینی شده سنجش از دور دارد.

در پژوهشی که Behyar (۲۰۱۴) تحت عنوان ارزیابی رطوبت خاک در استان اصفهان به‌وسیله سنجنده AMSR-E انجام داد، به این نتیجه رسید که داده‌های این سنجنده در دوره آماری ۲۰۰۷-۲۰۰۳ به‌صورت هشت روزه و ماهانه با آمار ایستگاهی در سطح ۹۰ و ۹۵ درصد همبستگی معنی‌داری وجود دارد که با نتایج صحت‌سنجی داده‌های سنجش از دور در این پژوهش هماهنگی دارد. در این پژوهش، داده‌های متوسط ماهانه ماهواره با متوسط بارندگی ماهانه دو ایستگاه بافت و کیسکان در طی دوره آماری ۲۰۱۳-۲۰۰۹ مورد آزمون همبستگی پیرسون قرار گرفت که در ایستگاه بافت با ۹۵ درصد و در ایستگاه کیسکان با ۹۹ درصد همبستگی داشتند.

موارد گفته‌شده ضرورت اجرای این پژوهش را مورد تأکید قرار می‌دهد و با توجه به نتایج به‌دست آمده داده‌های پیش‌بینی شده برای رطوبت سطحی خاک و داده‌های پیش‌بینی شده برای رطوبت منطقه ریشه از سنجش از دور با داده‌های مشاهده‌ای از سطح حوزه مورد مطالعه با اطمینان ۹۹ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند و با نتایج پژوهش Reichle و همکاران (۲۰۱۱) تحت عنوان ارزیابی و ارتقاء برآورد عوامل هیدرولوژیکی سطح زمین هم‌خوانی دارد. همین‌طور با نتایج پژوهش Yongang و همکاران (۲۰۱۱) تحت عنوان ارزیابی پیش‌بینی داده‌های MERRA-LAND در مقایسه با ۸۵ ایستگاه اندازه‌گیری خاک در ایالات متحده از داده‌های MERRA دقیق‌تر و قابل توجه‌تر است، هم‌خوانی دارد. Aghakochak (۲۰۱۴) با استفاده از شاخص MSDI که شاخص ترکیبی است، از داده‌های رطوبت خاک سطحی و بارندگی ماهانه از MERRA-LAND در مطالعه خشکسالی شرق آفریقا در سال ۲۰۱۱ مشخص کرد که پیش‌بینی شاخص چندمتغیره با مشاهدات درجا سازگاری دارد در این پژوهش نیز داده‌های

منابع مورد استفاده

1. Aghakochak, A. 2014. A multivariate approach for persistence-based drought prediction application to the 2010-2011 East Africa droughts. *Journal of Hydrology*, 519: 1310-1317.
2. Alijani, B. 2002. Variation of 500hpa flow patterns over Iran and surrounding areas and their relationship with climate of Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 71: 41- 4.

3. Azareh, A., M.R. Rahdari, E.R. Sardoi and F.A. Moghadam. 2014. Investigate the relationship between hydrological and meteorological droughts in Karaj Dam Basin. *European Journal of Experimental Biology*, 4(3): 102-107.
4. Bardossy, A. and E.J. Plate. 1992. Space-time model for daily rainfall using atmospheric circulation patterns. *Water Resources Research*, 28(5): 1247-1259.
5. Behyar, M.B. 2014. Evaluation of soil moisture in Isfahan Province by AMSR-E sensor. *Quarterly Journal of Geographic Research*, 112: 1-8 (in Persian).
6. Belayneh, A., J. Adamowski, A.B. Khalil, B. Ozga-Zielinski. 2014. Long-term SPI drought forecasting in the Awash River Basin in Ethiopia using wavelet neural network and wavelet support vector regression models. *Journal of Hydrology*, 508: 418-429.
7. Bhuiyan, C. 2008. Desert vegetarian during droughts: response and sensitivity. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37: 907-912.
8. Bhuiyan, C. 2004. Various drought indices for monitoring drought condition in Aravalli terrain of India. In: *Proceedings of the XXth ISPRS Congress*, Istanbul, Turkey.
9. Eslamian, S., A. Zarei and A. Abrishamchi. 2004. Regional estimates of low flows in the river basin of Mazandaran. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 8(1): 37-27 (in Persian).
10. Ezzine, H., A. Bouziane and D. Ouazar. 2014. Seasonal comparisons of meteorological and agricultural drought indices in morocco using open short time-series data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 26: 36-48.
11. Golian, S., O. Mazdiyasn and A. Aghakouchak. 2014. Trend in meteorological and agricultural drought in Iran. *Applied Climatology*, doi:10.1007/s00704-014-11396.
12. Gumbel, E.J. 1963. Statistical forecast of droughts. *Hydrological sciences Journal*, 8(1): 5-23.
13. Guttman, N.B. 1998. Comparing the palmer drought index and the standardized precipitation index 1. *Journal of the American Water Resources Association*, 34(1): 113-121.
14. Vangelis, H., D. Tigkas and G. Tsakiris. 2013. The effect of PET method on Reconnaissance Drought Index (RDI) calculation. *Journal of Arid Environments*, 88: 130-140.
15. Hao, Z. and A. Aghakouchak. 2013. A multivariate multi-index drought modeling framework. *Journal of Hydrometeorology*, 15: 89-101.
16. Tabari, H., J. Nikbakht and P. Hosseinzadeh Talaee. 2013. Hydrological drought assessment in northwestern Iran based on Streamflow Drought Index (SDI). *Water Resources Management*, 27: 137-151.
17. Martínez-Fernández, J., A.N. González-Zamora and A. Gumuzzio. 2015. A soil water based index as a suitable agricultural drought indicator. *Journal of Hydrology*, 522: 265-273.
18. Kagan, F. 1990. Remote sensing of weather impacts on vegetation in non-homogeneous areas. *Journal of Remoteness*, 11(18): 1405-1419.
19. Kogan, F., R. Stark, A. Gitelson, L. Jargalsaikhan, C. Dugrajav and S. Tsooj. 2004. Derivation of pasture biomass in Mongolia from AVHRR-based vegetation health indices. *Journal of Remoteness*, 25(14): 2889-2896.
20. Mahdavi, M. 2014. Drought forecast using satellite imagery and Markov chain. MSc Thesis, نام دانشگاه؟، 164 pages.
21. Mishra, A.K. and V.P. Singh. 2010. A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*, 391: 202-216.
22. Mishra, A.K and V.P. Singh. 2011. Drought modeling, a review. *Journal of Hydrology*, 403: 157-179.
23. Nalbantis, I. 2008. Evaluation of a hydrological drought index. *European Water Resources Association*, 23(24): 67-77.
24. Nalbantis, I. and G. Tsakiris. 2009. Assessment of hydrological drought revisited. *Water Resources Management*, 23: 881-897.
25. Rienecker, M.M., M.J. Suarez, R. Gelaro, R. Todling, J. Bacmeister, E. Liu, M.G. Bosilovich, S.D. Schubert, L. Takacs, G.K. Kim and S. Bloom. 2011. MERRA: NASA's modern-era retrospective analysis for research and applications. *Journal of Climate*, 24: 3624-3648.
26. Reichle, R.H. and R. Koster. 2011. Assessment and enhancement of MERRA land surface hydrology estimates. *Journal of Climate*, 24: 6322-6338.
27. Schaefer, G.L., M.H. Cosh and T.J. Jackson. 2007. The USDA natural resources conservation service Soil Climate Analysis Network (SCAN). *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 24: 2073-2077.
28. Yongang, YI., J. Kimball and R.H. Reichle. 2011. Evaluation of MERRA land surface estimates in preparation for the soil moisture active passive mission. *Journal of Climate*, 24: 3797-3816.