

آرتاب

Artab



انجمن علمی مهندسی آب دانشگاه محقق اردبیلی

شماره سوم، بهار ۹۸

به همراه فایل صوتی مقالات

Water Engineering Science Association of UMA

Number 3, Spring 2019

With Audio File Articles

آنچه در این شماره می خوانید:

مدل سازی بارش رواناب روزانه | پیش و پهنه بندی خشکسالی | آشنایی با نرم افزار Hydrus-1D

معرفی کتاب مدیریت سیلاب | برآورد تبخیر تعرق مرجع | مصاحبه اختصاصی با: Dr Ozgur Kisi

In this Issue:

Daily Rainfall - Runoff Modeling | Drought monitoring and zoning | Introduction of Hydrus-1D Software

Introduction of flood management book | Reference Evapotranspiration Estimation

Exclusive Interview with Dr Ozgur Kisi

اَلْقَابِ

مقاله حداکثر در ۱۰ صفحه A4 شامل متن، شکل و جدول - اندازه فونت فارسی ۱۲ و برای متون انگلیسی ۱۰ - فونت برای متون فارسی B Nazanin و برای متون انگلیسی Times new Roman - مطالب خود را به نشانی نشریه ارسال نمایید.

داوری مقالات توسط اساتید مشاور انجمن صورت خواهد گرفت و پس از تایید، در شماره جاری نشریه به چاپ خواهد رسید.

ساختار مقاله:

۱- عنوان مقاله.

۲- نام، نام خانوادگی و مرتبه علمی نویسنده (گان).

۳- چکیده: شامل مطلب اصلی مقاله به صورت فشرده (۱۵۰ تا ۲۰۰ کلمه).

۴- کلید واژه: ۳ تا ۵ واژه از میان کلمات اصلی مقاله.

۵- متن مقاله.

۶- نتایج: بحث و جمع بندی مطالب بیان شده.

۷- منابع.

منبع مقاله: باید شامل نام نویسنده یا نویسندگان، سال، عنوان مقاله، نام مجله، جلد و شماره مجله و شماره صفحات باشد.

منبع کنفرانس: در این مراجع باید نام نویسنده یا نویسندگان، تاریخ برگزاری کنفرانس، عنوان مقاله، نام کنفرانس، شماره صفحات یا شماره مقاله و شهر و کشور محل برگزاری کنفرانس قیل شود.

منبع کتاب: درج کتاب در فهرست منابع باید شامل نام نویسنده (نویسندگان)، سال نشر، عنوان کتاب، نام نشر، شماره ویرایش و محل نشر باشد.

معرفی جشنواره نشریات دانشجویی استان اردبیل

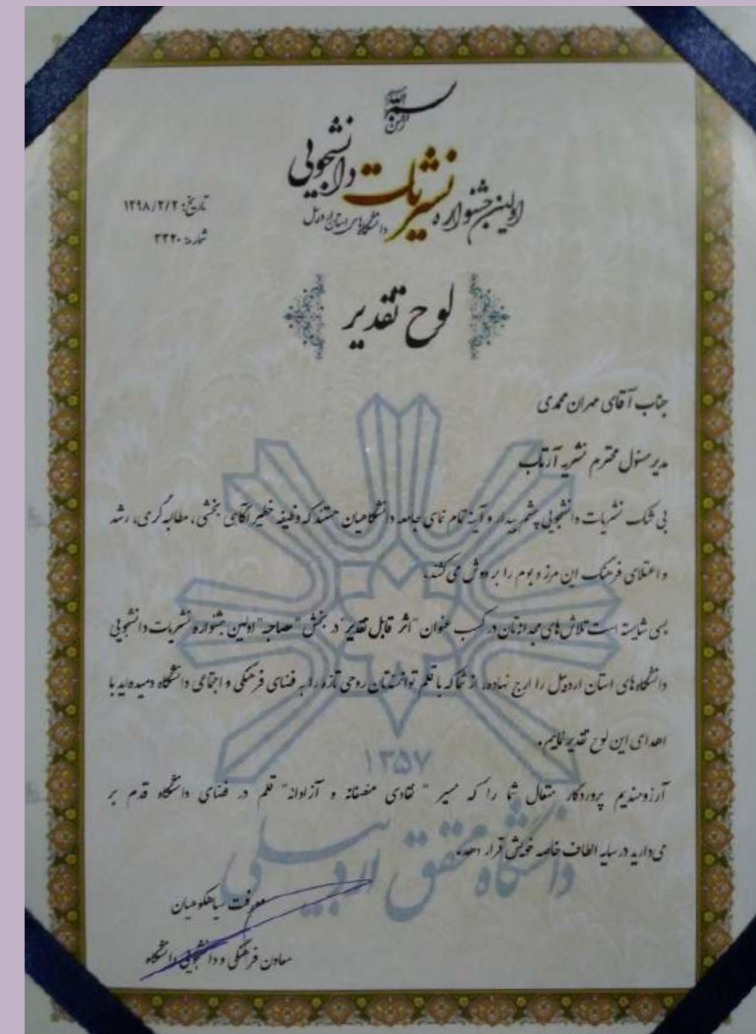
نشریات دانشگاهی یکی از ارکان اساسی فعالیت‌های فرهنگی و اجتماعی دانشجویان و عامل مهمی در بسط فرهنگ گفتگو و ایجاد فضای نقد، آگاهی بخشی، اطلاع رسانی، فرهنگ سازی و طرح موضوعات مختلف در دانشگاه‌ها هستند. از این رو حمایت و تقویت این حوزه از فعالیت‌های دانشجویی، سبب ایجاد بستر مناسبی برای رشد فضای پویا و با نشاط فکری، فرهنگی و اجتماعی و افزایش توانمندی و مشارکت دانشگاهیان در عرصه‌های مختلف زندگی اجتماعی فراهم می‌کند. جشنواره نشریات دانشجویی دانشگاه‌های استان به منظور تقویت زمینه‌های فعالیت و مهارت‌های دانشجویان در حوزه نشریات و رسانه‌های دانشجویی و بهبود سطح کیفی نشریات دانشجویی، برگزار می‌شود.

اهداف اولین جشنواره استانی نشریات دانشجویی عبارتند از:

- توسعه کمی - کیفی و تلاش در جهت انتشار منظم نشریات دانشجویی.
- بررسی و ارزشیابی نشریات دانشجویی، نمایش ظرفیت‌های واحدهای دانشگاهی و تقدیر از برگزیدگان و فعالان برتر نشریات دانشجویی.
- ترویج و ارج نهادن به آثار مکتوب دانشجویان مراکز و واحدهای آموزشی استان در زمینه‌های علمی، فرهنگی، اجتماعی، هنری، ادبی و سیاسی.
- توجه به ظرفیت‌های نشریات دانشجویی برای ارتقا روزنامه نگاری تخصصی و علمی.
- ایجاد بستر گفت و گو و تعامل سازنده بین فعالان نشریات دانشجویی.
- تبادل تجربه میان دست اندرکاران نشریات دانشجویی.

مخاطبان جشنواره:

کلیه دانشجویان مراکز و واحدهای دانشگاهی استان اردبیل.
فارغ التحصیلان مراکز و واحدهای دانشگاهی استان اردبیل که در زمان انتشار نشریه، شاغل به تحصیل بوده‌اند.



کسب مقام سوم نشریه آرتاب (شماره دو)

اولین جشنواره نشریات دانشجویی

دانشگاه‌های استان اردبیل

سخن مساور

Counselor's speech

مهسا حسنپور کاشانی

Mahsa Hasanpour kashani

به نام پروردگار بی‌همتا
وَجَعَلْنَا مِنَ الْمَاءِ كُلَّ شَيْءٍ حَيٍّ

خدا را بی‌نهایت سپاسگزاریم که توفیق تهیه و انتشار شماره سوم از فصلنامه علمی تخصصی آرتاب را در فصل زیبای بهار به تلاشگران علم مهندسی آب عطا فرمود. فصل بهار با تمام زیبایی‌های خود، فصل تشکیل سیلاب‌ها بدلیل وقوع بارش‌های بهاری و ذوب شدن ذخایر برفی بجا مانده از فصل زمستان، نیز می‌باشد. متأسفانه بهار امسال، شدت این سیلاب‌ها بسیار زیاد بود که باعث ایجاد خسارات فراوانی در بخش‌هایی از کشورمان گردید. یکی از دلایل وقوع این سیلاب‌های شدید، پدیده تغییر اقلیم بود. تلاش کنیم تا اطلاعات و تحقیقات خود را از این پدیده تغییر اقلیم افزایش دهیم و سهم خود را در تشکیل این پدیده خطرناک به حداقل برسانیم.

امید داریم مطالب این نشریه مورد استفاده دانشجویان و محققین گرامی قرار گیرد. ما را در هر چه پر بارتر نمودن مطالب فصلنامه آرتاب یاری فرمایید.
با آرزوی توفیق

Content

فهرت

آرتاب

مقالات ۸

- ۱۰ پایش و پهنه‌بندی خشکسالی با استفاده از مقایسه شاخص‌های **MCZI** و **ZSI, SPI, CZI**
- ۲۰ مدل‌سازی بارش - رواناب روزانه رودخانه دره‌رود واقع در استان اردبیل
- ۴۲ **Reference Evapotranspiration Estimation Using Adjusted Locally Coefficient of Angstrom's Radiation Model in an Arid - Cold Region**

معرفی کتاب و نرم‌افزار ۴۶

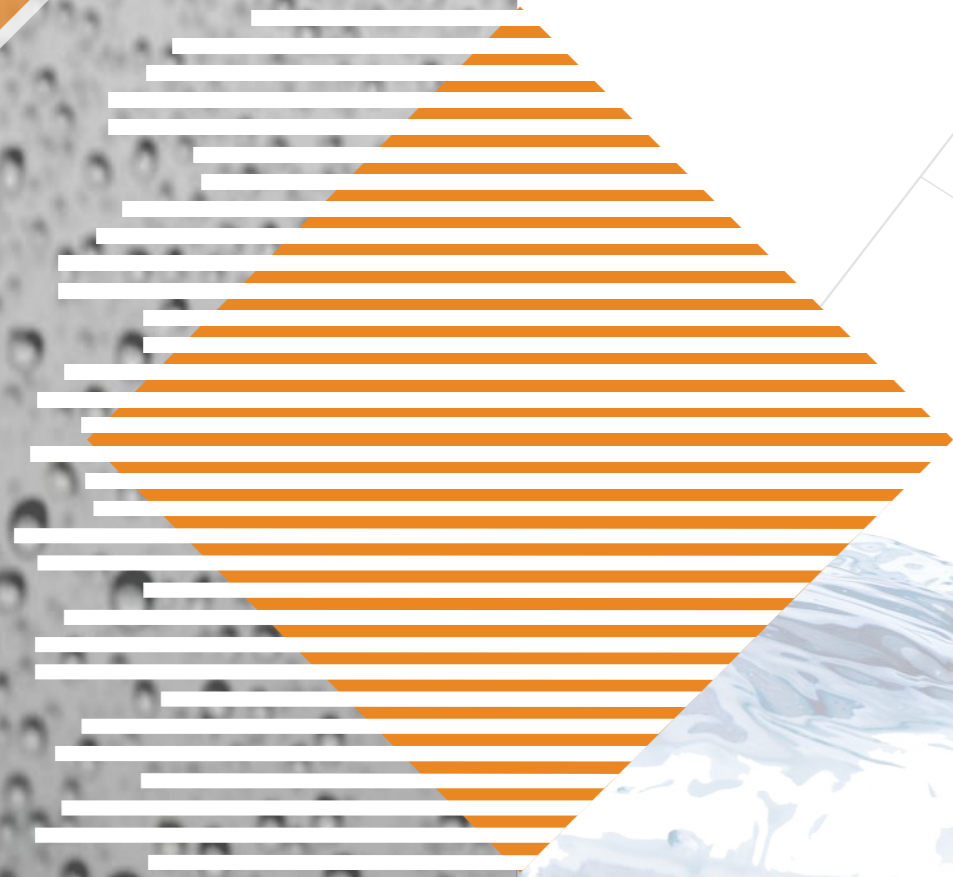
- ۴۸ راهنمای پاکسازی اماکن مسکونی بعد از سیلاب
- ۴۹ مدیریت سیلاب شهری
- ۵۰ معرفی نرم‌افزار Hydrus-1D

مصاحبه ۵۶

- ۵۷ مصاحبه اختصاصی با: **Dr Ozgur Kisi**

اخبار و مطالب دانشجویی ۶۰

- ۶۲ نقش تغییر اقلیم در بروز سیل
- ۶۵ گزارش آب منطقه‌ای استان: وضعیت مخازن سدها
- ۶۶ سدهای لاستیکی
- ۶۹ فرآیند تصفیه آب و فاضلاب صنعتی، به صورت یکجا و بدون آلودگی زیستی



مقالات Articles

توجه:

بر روی هر مقاله یک **QR Code** می باشد.
با اسکن این کد می توانید فایل صوتی از خلاصه مقاله را دریافت نمایید.

پایش و پهنه‌بندی خشکسالی با استفاده از مقایسه شاخص‌های ZSI MCZI و SPI, CZI (مطالعه موردی: استان کهگیلویه و بویراحمد)



چاپ شده در نشریه آرتاب بهار ۹۸

نویسندگان:

محمدتقی آوند (دانشجوی دکتری گروه آبخیزداری دانشگاه تربیت مدرس تهران)

منابع:

- (۱) انصافی مقدم، ط. ۱۳۸۶. ارزیابی چند شاخص خشکسالی اقلیمی و تعیین مناسب‌ترین شاخص در حوضه دریاچه نمک، مجله تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۴(۲): ۲۸۸ - ۲۷۱.
- (۲) زارع زاده مهریزی، م و س. مرید. (۱۳۹۰) پایش خشکسالی با استفاده از تراز مخزن سد و شاخص‌های هواشناسی؛ مطالعه موردی سیستم آب زاینده‌رود اصفهان، مجله تحقیقات آب و خاک ایران، سال چهل و دوم، ۳ (۳) علیزاده، ا. ۱۳۷۸. هیدرولوژی کاربردی، دانشگاه فردوسی مشهد، چاپ یازدهم، ص ۲۳۷
- (۴) وزارت راه و شهرسازی، سازمان هواشناسی کشور، <https://www.irimo.ir>
- (۵) محمدی، م. و. بردی‌شیخ و ح. احمدی. ۱۳۸۹. پهنه‌بندی شدت خشکسالی در استان سیستان و بلوچستان با شاخص (SPI) به کمک سیستم اطلاعات جغرافیایی. مجموعه مقالات همایش ملی ژئوماتیک، تهران، اردیبهشت ۸۹.
- (۶) مفعیدی‌پور، ن. و. بردی‌شیخ، م. اونق و ا. سعدالدین. ۱۳۹۱. بررسی رابطه خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در حوزه آبخیز اترک، پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، ۲۶-۱۶، ۵.
- (۷) میرزایی، علی اصغر و غ، سبوعه ۱۳۹۰. نرم افزارهای تخصصی مهندسی آب، انتشارات کیان رایانه سبز، چاپ اول.
- (۸) ملکی نژاد، ح و م، سلیمانی مطلق. ۱۳۹۰. بررسی شدت خشکسالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیک در حوضه چغلوئندی، م. پژوهش آب ایران، ۷۲-۶۱، ۹.
- (۹) کریمی، و، م. حبیب نژاد روشن و ع. آبکار. ۱۳۹۰. بررسی شاخص خشکسالی هواشناسی در ایستگاه‌های سینوپتیک مازندران، فصلنامه مهندسی آبیاری و آب، سال دوم، شماره ۵، پاییز ۱۳۹۰.
- (۱۰) مرادی، ح. ر. م. رجبی، و م. فرج‌زاده. ۱۳۸۷. تحلیل روند و خصوصیات مکانی شدت خشکسالی‌های استان فارس. فصلنامه علمی - پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران. ۱۰۹-۹۷: (۱)۴.
- (۱۱) محمدی قلعه‌نی، م، ک، ابراهیمی و ش، ایران‌نژاد. ۱۳۹۰. بررسی تاثیر خشکسالی بر نوسانات سطح آب زیرزمینی با استفاده از شاخص بارش استاندارد در دشت ساوه، مجله آب و آبیاری اهواز، شماره ۲۰، ۱۷-۲۹.
- (۱۲) فرخ‌نیا، ا. س. مرید و ه. قائمی. ۱۳۸۷. داده کاوی روی سیگنال‌های بزرگ مقیاس اقلیمی برای پیش‌بینی بلند مدت خشکسالی، سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشکده مهندسی عمران دانشگاه تبریز، تبریز.
- (۱۳) رضیعی، طیب، پ. دانش کار آراسته، ر. اختری و ب. ثقفیان. ۱۳۸۶. بررسی خشکسالی‌های هواشناسی در استان سیستان و بلوچستان با استفاده از نمایه SPI و مدل زنجیره مارکوف، تحقیقات منابع آب ایران. سال سوم، شماره اول. تهران

(14) Hong, W. Hayes, M. J. Welss, A. and Hu, Q. 2001. An evaluation the standardized precipitation index, the china-z index and the statistical z-score. International Journal of Climatology, 21:745-758.

چکیده

خشکسالی ناشی از کاهش بارش رواناب و رطوبت خاک و افزایش درجه حرارت هوا و عمق سطح ایستابی، نسبت به شرایط میانگین دراز مدت است. خشکسالی را می‌توان به چهار گروه عمده هواشناسی، هیدرولوژی و اقتصادی اجتماعی تقسیم نمود، که در خشکسالی هواشناسی مقدار بارندگی‌ها نسبت به مقدار میانگین سنجیده می‌شود. در این پژوهش، با استفاده از داده‌های بارندگی ماهانه و سالانه ۵ ایستگاه سینوپتیک و یک ایستگاه باران‌سنجی وابسته به سازمان هواشناسی استان کهگیلویه و بویراحمد، وقایع خشکسالی با استفاده از نمایه‌ها: شاخص بارش استاندارد (SPI^۱)، شاخص Z چینی (CZI^۲)، شاخص Z چینی اصلاح شده (MCZI^۳) و عدد شاخص (ZSI^۴)، تعیین شد. نتایج حاصل از مقایسه مقدار ضریب تعیین (R^۲) نشان داد که شاخص‌های SPI, ZSI و CZI در تمام ایستگاه‌ها روند مشابهی دارند و همچنین منحنی‌های مربوط به این سه شاخص در تمام ایستگاه‌ها تقریباً برهم منطبق بودند و همبستگی بسیار خوبی به صورت دو به دو بین آنها مشاهده شد که برای شاخص MCZI اینگونه نبود. سپس نقشه‌های هم‌مدت و هم‌شدت خشکسالی (پهنه‌بندی خشکسالی) به منظور تعیین مناطق مستعد خشکسالی و همچنین پیش‌بینی وضعیت آینده بر اساس هر چهار شاخص مذکور و به وسیله نرم‌افزار ArcMap برای دوره سالانه رسم شد.

واژه‌های کلیدی: بارندگی ماهانه، شاخص خشکسالی، همبستگی، پهنه‌بندی، خشکسالی هواشناسی

^۱ - standardized precipitation index
^۲ - china z index
^۳ - modified china z index
^۴ - z score index

مقدمه

(محمدی و همکاران، ۱۳۸۹). محمدی قلعه‌نی و همکاران (۲۰۱۱) به منظور بررسی رابطه‌ی بین خشکسالی و آب زیرزمینی در آبخوان دشت ساوه، از شاخص SPI استفاده کردند. نتایج تحقیق ایشان نشان دادند که شاخص SPI با مقیاس زمانی ۲۴ و ۴۸ ماهه با تراز سطح آب زیرزمینی با تأخیر زمانی ۵ ماهه بیشترین همبستگی را داشته است. پایش خشکسالی با استفاده از شاخص‌های هواشناسی و تراز مخزن سد در سیستم آب زاینده‌رود اصفهان انجام گرفت. در این تحقیق از دو شاخص شناخته شده هواشناسی خشکسالی موثر (EDI) و بارندگی استاندارد (SPI) با روش هیدرولوژیکی بر اساس تراز مخزن، برای پایش خشکسالی سیستم منابع آب زاینده‌رود مقایسه شد که بدین منظور دوره خشکسالی ۱۳۷۷-۱۳۸۰ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که هر کدام از روش‌ها قابلیت‌هایی دارند که طی دوره خشکسالی می‌توانند به مدیریت خشکسالی کمک کنند. همچنین نتایج نشان داد که برای اعلام شروع وضعیت خشکسالی بهتر است از روش SPI با دوره ۶ ماهه استفاده گردد. طول دوره بهره‌برداری و اعمال اقدامات مدیریتی برای پایش روش تراز مخزن و برای اعلام خاتمه آن EDI قابل توصیه است (زارع زاده مهریزی و مرید، ۱۳۹۰). ملکی‌نژاد و سلیمانی مطلق (۱۳۹۰) به بررسی شدت خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیک با استفاده از دو شاخص بارش استاندارد و شاخص سطح آب استاندارد (Standard Water Surface Index) در حوضه چغلوندی پرداختند. نتایج نشان‌دهنده افزایش شدت و تداوم خشکسالی‌ها به‌ویژه خشکسالی هیدرولوژیک در سالهای اخیر و وجود تأخیر زمانی متفاوت بین وقوع خشکسالی هواشناسی و خشکسالی هیدرولوژیک آبهای سطحی و زیرزمینی است. تحلیل خشکسالی‌ها همچنین با استفاده از آزمون دنباله‌ها (Runs approach) که مشابه آزمون تئوری متغیرهای گسسته می‌باشد، انجام می‌گیرد که این روش خصوصیات تصادفی سری‌های زمانی را مورد بررسی قرار می‌دهد (علیزاده، ۱۳۸۷). محمدی مطلق و همکاران (۱۳۹۰) با استفاده از سری‌های زمانی حاصل از شاخص بارش استاندارد شده (SPI) و زنجیره مارکوف، پایش، پایش‌بینی و گسترش خشکسالی در سطح استان فارس مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که در تمامی ایستگاه‌ها وضعیت تقریباً نرمال بر اساس شاخص SPI با مقیاس زمانی شش ماهه، بیشترین فراوانی را.

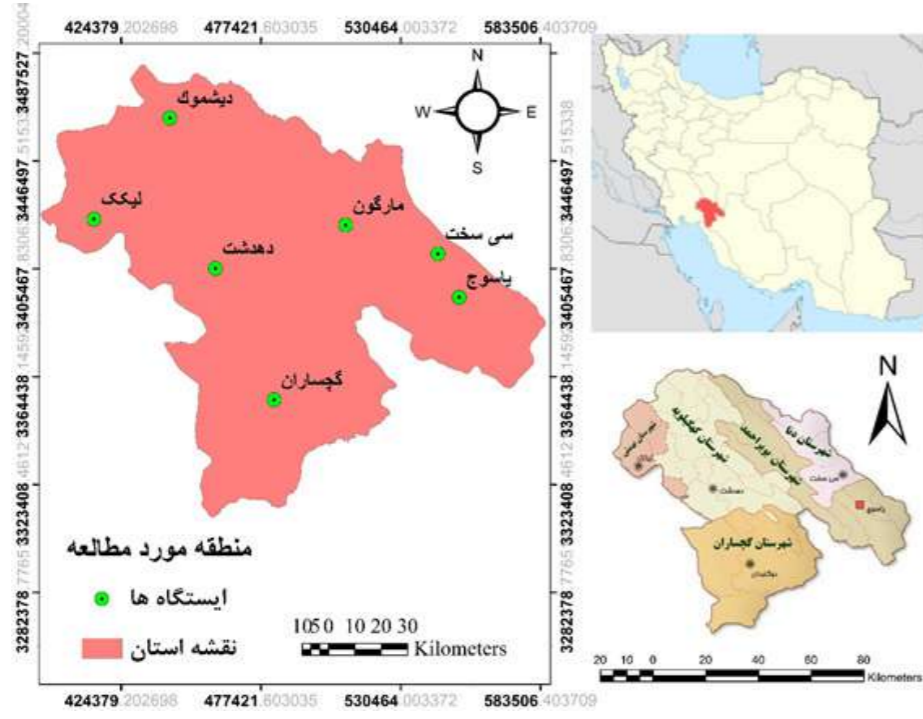
دارا می‌باشد در پژوهشی دیگر، امکان محاسبه شاخص بارش استاندارد شده به وسیله برازش توزیع نرمال و لوگ نرمال به داده‌های بارش بررسی شد. برای این کار ۱۹ سری زمانی از بارش ماهانه ۷۶ سال مورد استفاده قرار گرفت. در این مطالعه این فرض که توزیع گاما نمایش بهتری از داده‌های بارش نسبت به توزیع نرمال و لوگ نرمال در مقیاس‌های زمانی ۱۲، ۶، ۳، ۱، و ۲۴ ماهه خواهد داشت آزمایش گردید. محاسبات نشان داد که برای شاخص بارش استاندارد شده برای مقیاس زمانی ۱۲ یا ۲۴ ماهه توزیع احتمال نرمال یا لوگ نرمال به راحتی می‌تواند به جای توزیع گاما مورد استفاده قرار گیرد که تقریباً نتایج مشابهی تولید می‌کند (آنجلیدیس و همکاران، ۲۰۱۲). هانگ و هائیز شاخص‌های China-Z SPI، (CZI) و statistical Z-Score را در مقیاس‌های زمانی ۱۲ و ۹، ۶، ۳، ۱ ماهه برای چهار ایالت در کشور چین از ژانویه ۱۹۵۱ الی دسامبر ۱۹۹۸ برای نشان دادن اقلیم خشک، مرطوب و وقایع سیل و زلزله بررسی کردند. در این مطالعه محاسن و معایب کاربرد هر شاخص مقایسه شد. نتایج تحقیق نشان داد که شاخص‌های CZI و Z-Score می‌توانند نتایج مشابه با SPI را برای همه مقیاس‌های زمانی داشته باشند. محاسبات CZI و Z-Score در مقایسه با SPI ساده‌تر است و شاید شاخص‌های بهتری جهت پایش اقلیم مرطوب باشند. شاخص منبع آب زیرزمینی GRI نیز به وسیله مندیسنو و همکاران (۲۰۰۸)، به عنوان شاخص مفید و قابل اعتماد برای پایش پیش‌بینی وضعیت خشکسالی آب و زمین‌شناسی برای منطقه‌ی مدیترانه به کار برده شده است. فرخ‌نیا و همکاران (۱۳۸۷) از سیگنال‌های بزرگ مقیاس اقلیمی به منظور پیش‌بینی خشکسالی استان تهران استفاده کردند. بررسی‌ها نشان داد که ارتباط مناسبی بین سیگنال‌های SST و SLP شهریورماه در مناطقی از منطقه با شاخص خشکسالی SPI در سال آبی بعد وجود دارد و سپس از روش‌های شبکه‌های عصبی مصنوعی و فازی-عصبی به منظور مدلسازی پیش‌بینی استفاده گردید. باکانلی و همکاران (۲۰۰۸) از سیستم استنتاج فازی-عصبی تطبیقی به منظور پیش‌بینی خشکسالی در ترکیه استفاده نمودند. مدل‌های پیش‌بینی مختلفی برای SPI با مقیاس‌های زمانی ۱، ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که ترکیب مقادیر پیشین بارندگی و شاخص SPI در پژوهشی که در مورد تحلیل روند و

خصوصیات مکانی شدت خشکسالی‌های استان فارس انجام شده، نتیجه گرفته شد که، شدت خشکسالی در نواحی مرکزی استان بیشتر از سایر نواحی است و وجود روند در کلیه ایستگاه‌ها بجز ایستگاه چهار دانگه ظاهر شده است (مرادی و همکاران، ۱۳۸۷). با یکدیگر، بهبود عملکرد مدل‌ها را به همراه دارد. هدف از این تحقیق بررسی و مقایسه چهار شاخص خشکسالی با استفاده از داده‌های بارندگی استان کهگیلویه و بویراحمد و تعیین و پهنه‌بندی خشکترین سال بین دوره آماری موجود می‌باشد. این پژوهش در واقع اولین مطالعه کلی خشکسالی در این استان می‌باشد و مطالعات بعدی در آینده نزدیک تکمیل کننده این پژوهش خواهد بود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه استان کهگیلویه و بویراحمد به مرکزیت شهر یاسوج در جنوب غربی ایران و در طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۴۲ دقیقه شرقی و عرض ۳۰ درجه و ۹ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۵۷ دقیقه شمالی قرار دارد. مساحت این استان ۱۶ هزار و ۲۴۹ کیلومتر مربع می‌باشد. سطح زیر کشت اراضی

جنگلی ۸۷۳۶۰۴ هکتار، سطح مراتع زیر کشت ۵۵۲۷۹۶ هکتار، سطح زیر کشت اراضی زراعی ۲۲۸۵۹۸ هکتار و سطح زیر کشت اراضی باغی ۴۳۴۲۰ هکتار، طبق آمار در سال ۱۳۹۵ می‌باشد (سازمان جهاد کشاورزی استان کهگیلویه و بویر احمد). این استان از غرب و جنوب غرب به استان خوزستان و از جنوب و جنوب شرق استان فارس و از جنوب غرب به استان بوشهر و از شرق به استان چهارمحال و بختیاری محدود می‌شود. استان کهگیلویه و بویراحمد دارای دو ناحیه سردسیر و گرمسیر می‌باشد. بخش گرمسیر آن با ارتفاع متوسطی حدود ۹۰۰ متر از سطح دریا در قسمت جنوب و غرب استان قرار گرفته است در این ناحیه بادهای گرم خوزستان می‌وزد و دارای آب و هوایی نسبتاً گرم و نیمه خشک است، ناحیه سردسیر استان با ارتفاع متوسطی در حدود ۲۱۰۰ متر از سطح دریا، حدود ۴۳ درصد مساحت استان را در شمال و شرق آن شامل می‌گردد. متوسط بارندگی در این بخش بین ۶۰۰ تا ۸۰۰ میلی‌متر در سال است. این ناحیه از استان که در واقع جنوبی‌ترین بخش زاگرس مرطوب می‌باشد با جنگلهای وسیع بلوط پوشیده شده و سرچشمه رودهای مهم و پرآبی همانند کارون و مارون است (سازمان هواشناسی کشور).



شکل ۱- نقشه منطقه مورد مطالعه

در این تحقیق از داده‌های بارندگی ۵ ایستگاه سینوپتیک یاسوج، دهدشت، گچساران، سیسخت، لیکک و دو ایستگاه باران‌سنجی دیشموک و مارگون که مربوط به سازمان هواشناسی استان کهگیلویه و بویراحمد است مورد استفاده قرار گرفت (جدول ۱). طول دوره آماری این ایستگاه‌ها از سال ۱۳۷۵ تا سال ۱۳۹۴ بوده است. پس از مرتب کردن داده‌ها در نرم‌افزار اکسل درستی و صحت داده‌ها با آزمون توالی مورد ارزیابی قرار گرفتند. وقایع خشکسالی با استفاده از نمایه‌های شاخص بارش استاندارد (SPI)، شاخص Z چینی (CZI)، شاخص Z چینی اصلاح شده (MCZI)، عدد شاخص Z (ZSI)، تعیین شد. برای محاسبه تمام شاخص‌ها از نرم‌افزار DIP استفاده شد، که مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۲۴ ماهه و یکساله محاسبه شدند. روش محاسبه نمایه‌های مختلف خشکسالی و همچنین مشخصات خشکسالی، به شرح زیر می‌باشد:

این نمایه به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$SPI = \frac{Pi - \bar{P}}{SD} \quad (1)$$

در معادله (۱)، Pi: بارندگی سال i ام و SD: انحراف معیار بارش در دوره آماری و P میانگین بارندگی بلندمدت می‌باشد.

جدول ۲- طبقه بندی SPI (Edwards and Mckee, ۱۹۹۷)

وضعیت آب و هوایی	نمایه SPI
شدیدا مرطوب	۲ و بیشتر
بسیار مرطوب	۱/۵ تا ۱/۹۹
مرطوب متوسط	۱ تا ۱/۴۹
نزدیک نرمال	۰/۹۹ تا ۰/۰۹۹
خشک متوسط	-۱ تا -۱/۴۹
بسیار خشک	-۱/۵ تا -۱/۹۹
شدیدا خشک	۲ و کمتر

جدول ۱- نوع و مختصات ایستگاه‌های مورد مطالعه

ایستگاه	نوع ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)	طول دوره آماری
یاسوج	سینوپتیک	552679	3394637	۱۸۳۲	۱۳۹۴-۱۳۷۴
گچساران	سینوپتیک	482377	3355736	۶۷۰	۱۳۹۴-۱۳۷۴
دهدشت	سینوپتیک	460132	3405664	۷۹۳	۱۳۹۴-۱۳۷۴
سیسخت	سینوپتیک	544628	3411224	۲۱۳۳	۱۳۹۴-۱۳۷۴
لیکک	سینوپتیک	414034	3424407	۷۶۰	۱۳۹۴-۱۳۷۴
مارگون	باران‌سنجی	524843	3423959	۱۵۲۰	۱۳۹۴-۱۳۷۴
دیشموک	باران‌سنجی	442905	3462876	۱۵۰۰	۱۳۹۴-۱۳۷۴

شاخص Z چینی (CZI) و شاخص Z چینی اصلاح‌شده (MCZI) براساس تبدیل ریشه سوم ویلسون - هیلفرتی (کندل و استوارت، ۱۹۷۷) شکل گرفته است. با این فرض که داده‌های بارندگی از توزیع پیرسون تیپ سه پیروی می‌کنند، برای طبقه‌بندی این شاخص از همان طبقات شاخص SPI استفاده می‌شود. برای محاسبه CZI به جای میانگین از میانه استفاده شده است که آن را CZI اصلاح شده یا MCZI می‌نامند (میرزایی و سبوع، ۱۳۹۰). معادلات این شاخص به صورت زیر می‌باشد:

$$Zij = \frac{6}{Csi} \left(\frac{Csi}{2} \phi_{ij} + 1 \right)^{1/3} - \frac{6}{Csi} + \frac{Csi}{6} \quad (2)$$

در معادله (۲) Zij: شاخص i، CZI: مقیاس زمانی مورد نظر که می‌تواند ۱، ۲، ۳، ... تا ۴۴ سال و Z: سال مورد نظر می‌باشد.

$$Csi = \frac{\sum_j^n (X_{ij} - \bar{X}_i)^2}{n \times \sigma_i^3} \quad (3)$$

در معادله (۳) Csi: ضریب چولگی و n: تعداد کل سال‌های دوره آماری

$$\phi_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_i}{\sigma_i} \quad (4)$$

و نیز: شاخص Z- SCORE (ZSI) اساس این شاخص انحراف از میانگین نسبت به انحراف

معیار داده‌های آماری است و معادله آن به صورت زیر می‌باشد: (۵)

$$ZSI = \frac{Pi - \bar{P}}{SD} \quad (5)$$

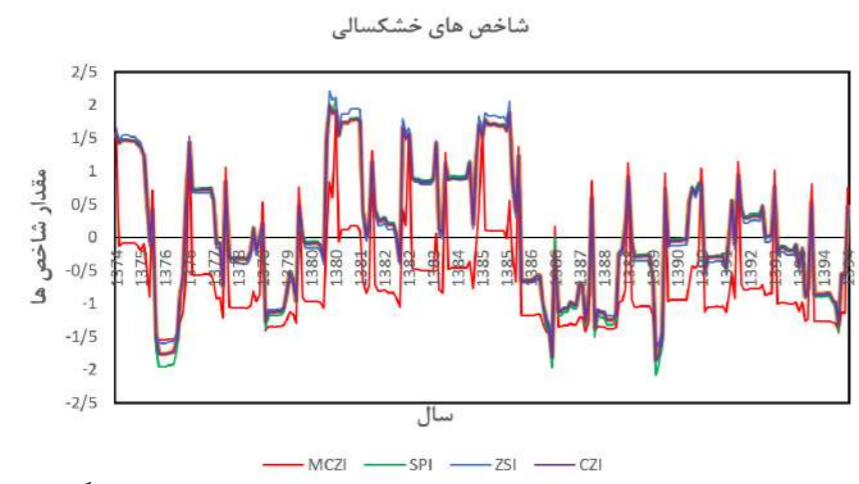
در معادله (۵)، Pi: بارندگی سال i ام و SD: انحراف معیار بارش در دوره آماری و P میانگین بارندگی بلندمدت می‌باشد (میرزایی و سبوع، ۱۳۹۰).

نتایج و بحث

با بررسی آمار هواشناسی ماهانه و سالانه برای هر شش ایستگاه، شاخص‌های بارش استاندارد، شاخص Z چینی، شاخص عدد Z و شاخص Z چینی اصلاح‌شده محاسبه شدند که به عنوان نمونه، همانگونه که در نمودار (۱) نشان داده شده سه منحنی بارش استاندارد و شاخص عدد Z و شاخص Z چینی روند یکسانی دارند که می‌توان نتیجه گرفت که این سه شاخص برای تعیین دوره‌های خشک تفاوت چندانی با یکدیگر ندارند ولی شاخص Z چینی اصلاح‌شده با آنها تفاوت فاحشی در روند دارد.

نتایج حاصل از نرم‌افزار DIP نشان می‌دهد در سال ۸۶-۸۷ در چهار ایستگاه دهدشت، گچساران، دیشموک و لیکک تقریباً خشکسالی شدید وجود داشته در حالی که در سه ایستگاه یاسوج، سیسخت و مارگون خشکسالی به صورت متوسط بوده است. با توجه به نتایج حاصل دو شاخص SPI و ZSI به دلیل پیش‌بینی زود هنگام، داشتن پیچیدگی کمتر، استفاده از پارامتر بارش به تنهایی، قابل استفاده بودن برای هر مکان از دلایل مطلوبیت این دو شاخص می‌باشد. اما محدودیتی که بعضی از این شاخص‌ها دارند برای مقیاس‌های بیشتر از ۲۴ ماهه نتایج به دست آمده قابل اعتماد نیست.

همبستگی خطی بالایی بین سه شاخص ZSI, SPI و CZI به صورت دو به دو در هر سه ایستگاه مشاهده شده، ولی همبستگی بین شاخص MCZI با سه شاخص ذکر شده در مقیاس زمانی یکساله پایین است و در بعضی از موارد همبستگی معکوس دارد (جدول (۴) تا (۹)). همبستگی بالا و انطباق منحنی‌های مربوط به سه شاخص ZSI, SPI و CZI حاکی از آن است که این سه شاخص نتیجه مشابهی دارند، ولی MCZI این گونه نیست، لذا در مطالعات حتما باید شاخص MCZI را به طور مجزا در نظر گرفت. نتیجه تحقیقات (Wu et al: ۲۰۰۱) که با استفاده از داده‌های بارندگی ماهانه، به ارزیابی شاخص و ۹، ۶، ۳، ۲، زمانی مقیاس‌های در ZSI و SPI، CZI های ۲۱ ماهه، برای اقلیم‌های خشک و مرطوب کشور چین پرداختند، نشان می‌دهد که هر سه شاخص، نتایج یکسانی را برای همه مقیاس‌های زمانی به همراه داشته است. بنابراین، با یافته‌های تحقیق حاضر مطابقت دارد. شباهت عملکرد شاخص ZSI به شاخص SPI در نشان دادن خشکسالی‌های شدید از دیگر نتایج به دست آمده می‌باشد که این نتایج، با نتایجی که در بررسی چند شاخص خشکسالی اقلیمی و تعیین مناسب‌ترین شاخص در حوضه دریاچه نمک (انصافی مقدم، ۱۳۸۶) و بررسی شاخص خشکسالی هواشناسی در ایستگاه‌های سینوپتیک مازندران (کریمی و همکاران، ۱۳۹۰) به دست آمد، همخوانی دارد.



نمودار ۱- مقایسه شاخص‌های SPI, MCZI, CZI, ZSI با مقیاس ۱۲ ماهه در ایستگاه یاسوج

جدول ۴- ضریب همبستگی (R^2) رگرسیون خطی بین چهار شاخص خشکسالی ایستگاه یاسوج

شاخص‌های خشکسالی						
مقیاس زمانی	SPI-ZSI	SPI-MCZI	SPI-CZI	CZI-MCZI	CZI-ZSI	MCZI-ZSI
۳ ماهه	۰/۹۵	۰/۷۷۶	۰/۷۷۴	۰/۷۷۱	۰/۹۸۲	۰/۷۵۷
۶ ماهه	۰/۹۶۸	۰/۷۷۲	۰/۹۸۹	۰/۷۸۸	۰/۹۸۸	۰/۷۹۳
۹ ماهه	۰/۹۸۷	۰/۸۳۱	۰/۹۹۶	۰/۸۴۷	۰/۹۹۳	۰/۸۵۳
۱۲ ماهه	۰/۹۹۲	۰/۸۰۲	۰/۹۹۷	۰/۸۲۶	۰/۹۹۶	۰/۸۳۲
۲۴ ماهه	۰/۹۹۵	۰/۷۵۲	۰/۹۹۶	۰/۷۸۳	۰/۹۹۸	۰/۷۵۸
یکساله	۰/۹۹۳	۰/۴۰۶	۰/۹۹۹	۰/۳۸۳	۰/۹۹۶	۰/۳۴۸

جدول ۵- ضریب همبستگی (R^2) رگرسیون خطی بین چهار شاخص خشکسالی ایستگاه دهدشت

شاخص‌های خشکسالی						
مقیاس زمانی	SPI-ZSI	SPI-MCZI	SPI-CZI	CZI-MCZI	CZI-ZSI	MCZI-ZSI
۳ ماهه	۰/۸۷۵	۰/۸۲	۰/۹۵۲	۰/۷۵	۰/۹۶۵	۰/۶۹۵
۶ ماهه	۰/۹۶۵	۰/۸۳۹	۰/۹۸۸	۰/۸۵۹	۰/۹۸۷	۰/۸۶۸
۹ ماهه	۰/۹۸۱	۰/۸۴۴	۰/۹۹۳	۰/۸۶۹	۰/۹۹۴	۰/۸۷۹
۱۲ ماهه	۰/۹۹	۰/۸۱	۰/۹۹۵	۰/۸۸۳	۰/۹۹	۰/۸۴
۲۴ ماهه	۰/۹۹۳	۰/۷۵۶	۰/۹۹۲	۰/۷۹۱	۰/۹۹	۰/۷۹۲
یکساله	۰/۹۹۴	۰/۲۷۳	۰/۳۱۱	۰/۳۱۵	۰/۲۸	۰/۲۷۴

جدول ۶- ضریب همبستگی (R^2) رگرسیون خطی بین چهار شاخص خشکسالی ایستگاه گچساران

شاخص‌های خشکسالی						
مقیاس زمانی	SPI-ZSI	SPI-MCZI	SPI-CZI	CZI-MCZI	CZI-ZSI	MCZI-ZSI
۳ ماهه	۰/۹۱	۰/۷۵۸	۰/۹۵۲	۰/۷۱۶	۰/۹۸۱	۰/۷۰۲
۶ ماهه	۰/۹۵۶	۰/۷۹۶	۰/۹۸۳	۰/۷۹۳	۰/۹۸	۰/۷۸۳
۹ ماهه	۰/۶۰۴	۰/۵۵	۰/۶۱۶	۰/۸۴۵	۰/۹۹	۰/۸۴
۱۲ ماهه	۰/۹۸	۰/۸۴	۰/۹۹	۰/۸۷	۰/۹۹	۰/۸۷
۲۴ ماهه	۰/۶۱۹	۰/۵۳	۰/۶۱	۰/۸۷	۰/۹۹	۰/۸۷
یکساله	۰/۹۹	۰/۳۶	۰/۹۹	۰/۳۷	۰/۹۹	۰/۳۹

جدول ۷- ضریب همبستگی (R^2) رگرسیون خطی بین چهار شاخص خشکسالی ایستگاه سی سخت

شاخص‌های خشکسالی						
مقیاس زمانی	SPI-ZSI	SPI-MCZI	SPI-CZI	CZI-MCZI	CZI-ZSI	MCZI-ZSI
۳ ماهه	۰/۹۲	۰/۷۴	۰/۵۲	۰/۲۸	۰/۵۳	۰/۶۲
۶ ماهه	۰/۹۷	۰/۷۶	۰/۹۵	۰/۷۹	۰/۹۱	۰/۷۶
۹ ماهه	۰/۹۸	۰/۸۱	۰/۹۹	۰/۸۲	۰/۹۸	۰/۸۳
۱۲ ماهه	۰/۹۹	۰/۸۰	۰/۹۹	۰/۸۲	۰/۹۹	۰/۸۳
۲۴ ماهه	۰/۹۹	۰/۸۳	۰/۹۹	۰/۸۵	۰/۹۹	۰/۸۵
یکساله	۰/۹۸	۰/۱۰۶	۰/۹۹	۰/۱۰۶	۰/۹۸	۰/۱۰۳

جدول ۸- ضریب همبستگی (R^2) رگرسیون خطی بین چهار شاخص خشکسالی ایستگاه لیکک

شاخص‌های خشکسالی						
مقیاس زمانی	SPI-ZSI	SPI-MCZI	SPI-CZI	CZI-MCZI	CZI-ZSI	MCZI-ZSI
۳ ماهه	۰/۹۷	۰/۹۴	۰/۸۹	۰/۸۷	۰/۹۷	۰/۹۲
۶ ماهه	۰/۹۵	۰/۸۵	۰/۹۸	۰/۸۷	۰/۹۸	۰/۸۷
۹ ماهه	۰/۹۴	۰/۸۹	۰/۹۸	۰/۸۹	۰/۹۹	۰/۹۰
۱۲ ماهه	۰/۹۹	۰/۹۵	۰/۹۹	۰/۹۴	۰/۹۹	۰/۹۴
۲۴ ماهه	۰/۸۷	۰/۸۹	۰/۸۷	۰/۹۸	۰/۹۵	۰/۹۵
یکساله	۰/۹۹	۰/۲۷	۰/۹۸	۰/۳۵	۰/۹۹	۰/۲۷

جدول ۹- ضریب همبستگی (R^2) رگرسیون خطی بین چهار شاخص خشکسالی ایستگاه دیشموک

شاخص‌های خشکسالی						
مقیاس زمانی	SPI-ZSI	SPI-MCZI	SPI-CZI	CZI-MCZI	CZI-ZSI	MCZI-ZSI
۳ ماهه	۰/۹۹۲	۰/۷۷۴	۰/۸۹۶	۰/۷۵۴	۰/۵۶۹	۰/۳۷۸
۶ ماهه	۰/۹۶	۰/۷۹	۰/۹۸۷	۰/۸۰	۰/۹۸۳	۰/۸۰
۹ ماهه	۰/۹۸۲	۰/۸۰۵	۰/۹۷۹	۰/۸۱	۰/۹۶	۰/۸۲۴
۱۲ ماهه	۰/۹۹۱	۰/۷۸	۰/۹۹۶	۰/۸۰	۰/۹۹۵	۰/۸۰
۲۴ ماهه	۰/۹۹۴	۰/۷۸۳	۰/۹۹۶	۰/۸۰	۰/۹۹۵	۰/۸۰
یکساله	۰/۹۹۴	۰/۳۷	۰/۹۹	۰/۳۷	۰/۹۹۵	۰/۳۲

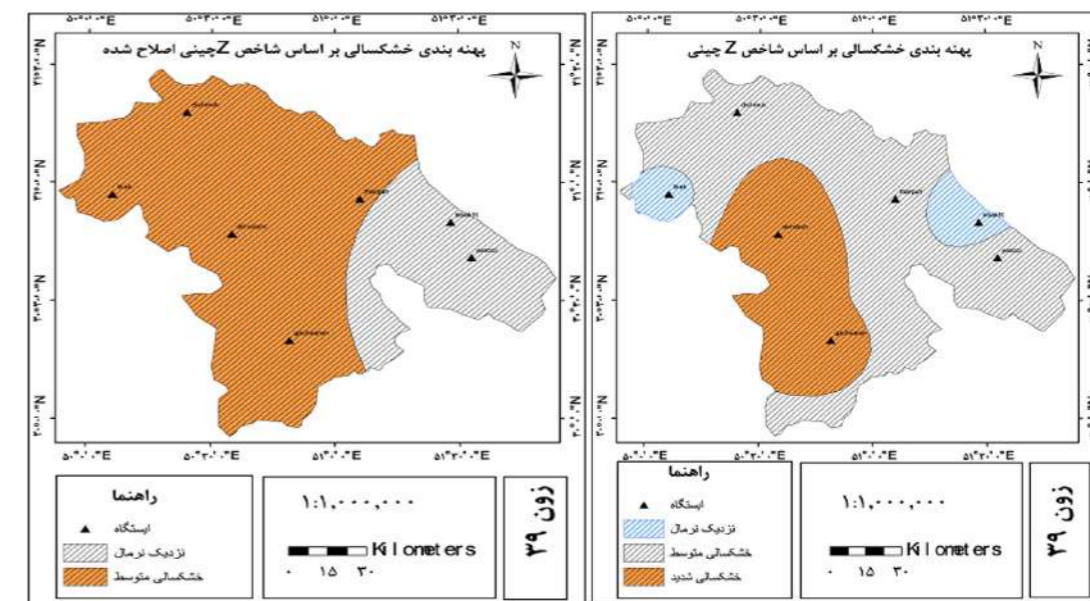
نتایج

برای پایش خشکسالی شاخص‌های فراوانی وجود دارد که هر کدام جنبه‌های مثبت زیادی دارند. بررسی روند خشکسالی طی ۲۰ سال گذشته (سال‌زراعی ۱۳۷۵-۷۶ تا ۱۳۹۴-۹۵) نشان می‌دهد که شدیدترین خشکسالی طی سال زراعی ۱۳۸۶-۸۷ در استان رخ داده است. وقوع خشکسالی به صورت متناوب طی دهه اخیر نیز نشان می‌دهد که این پدیده جزء جدایی‌ناپذیر اقلیم این منطقه می‌باشد. با توجه به اینکه در اکثر سال‌های مورد بررسی در این پژوهش، بین میزان تغییرات مقادیر شاخص‌های ZSI، SPI و CZI همبستگی بالایی وجود داشت می‌توان نتیجه گرفت که این سه شاخص در مورد پایش خشکسالی در استان کهگیلویه و بویراحمد تفاوت زیادی با هم ندارند لذا استفاده از این شاخص‌ها (با توجه به سادگی محاسبه) برای بررسی خشکسالی خصوصا برای بازه‌های سالانه در مقایسه با شاخص MCZI مناسب‌تر می‌باشند. همچنین روند تغییرات شاخص SPI در مناطق سردسیر و گرمسیر استان بسیار شبیه به هم می‌باشد، همبستگی بالای تغییرات این سه شاخص در شش ایستگاه با خصوصیات اقلیمی متفاوت در استان نشان می‌دهد که در بارش‌های استانی بیشتر الگوهای بارشی هم‌دید و منطقه‌ای نقش دارند. گرچه کاملا طبیعی است که در استان کهگیلویه و بویراحمد مناطق ریز اقلیم (میکروکلیم) نیز وجود دارند که با این روند همخوانی نداشته باشند.

با توجه به اینکه مطالعات این پژوهش نشان می‌دهد که از سال ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۴ وضعیت ترسالی و افزایش بارش اتفاق نیفتاده است، لذا در صورت تداوم کاهش بارندگی طی سالهای آینده و همچنین عدم توجه به بحث مدیریت آب در استان و فرهنگ‌سازی جهت مصرف بهینه آب در بخش‌های مختلف، خطر وقوع خشکسالی از نوع هیدرولوژیکی قابل انتظار می‌باشد.

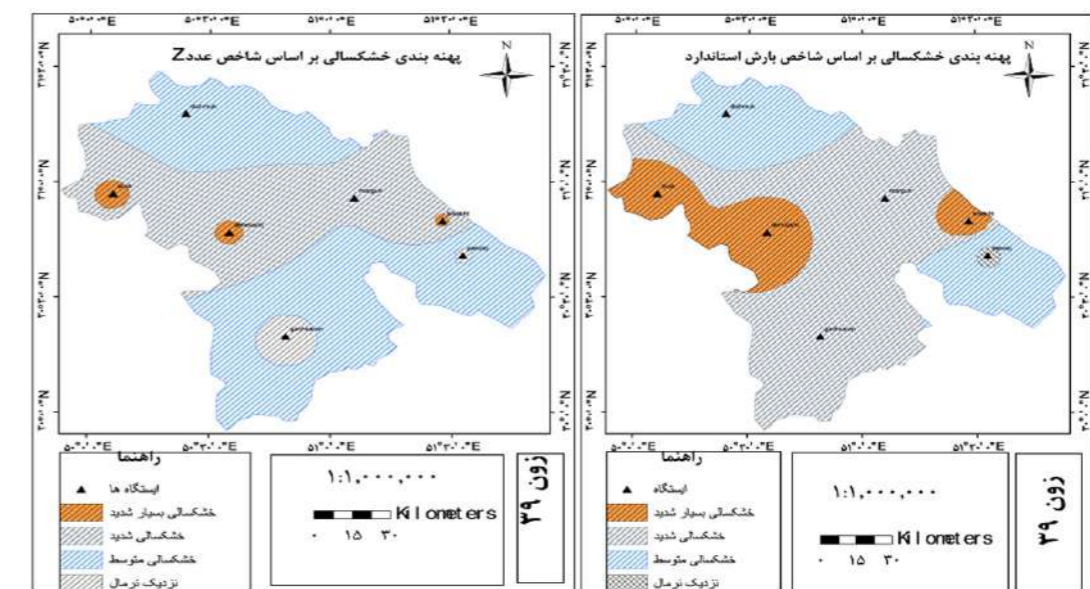
به کشاورزان توصیه می‌شود که محصولاتی که نیاز آبی زیادی دارند با محصولاتی که نیاز آبی کمتری دارند را جایگزین کنند. همچنین تغییر روش‌های آبیاری و مکانیزه کردن کاشت و برداشت برای زیاد کردن بازده آبیاری و افزایش عملکرد؛ تهیه سند آمایش منطقه و بازنگری جدی در سیاست‌های توسعه‌ای به ویژه در زمینه الگوی کشت، استقرار صنایع آبر و ... و همچنین تهیه سند مدیریت بحران منابع آب با رویکرد ناحیه‌ای.

به منظور بررسی شدت و مدت خشکسالی از نتایج محاسبات مربوط به چهار شاخص بالا و به منظور بررسی وسعت خشکسالی از تبدیل اطلاعات نقطه‌ای به منطقه‌ای و تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خشکسالی استفاده گردید. در این مطالعه از روش IDW (با توجه به نوع داده‌ها و منطقه مورد مطالعه و مرور منابع) که روشی تأیید شده برای تبدیل اطلاعات نقطه‌ای به منطقه‌ای در مقیاس سالانه می‌باشد، استفاده شد. سیستم نقشه پایه استفاده شده، سیستم جغرافیایی بوده و پهنه‌بندی با استفاده از نرم‌افزار ArcMap انجام گردید. شکل‌های (الف تا د) نتایج پهنه‌بندی شدت خشکسالی هواشناسی با استفاده از چهار روش ZSI، SPI، CZI و MCZI را در مقیاس سالانه و برای سال ۸۶-۸۷ به عنوان خشکترین سالی که در دوره آماری موجود اتفاق افتاده را نشان می‌دهند. به رغم تفاوتی که در هر یک از روش‌های پایش در تعیین وضعیت خشکسالی وجود دارد، ولی روند کلی در چهار شاخص بجز شاخص MCZI یکسان است، هر چند ممکن است مراتب خشکسالی متفاوت به دست آمده باشد.



ب

الف



د

ج

اشکال ۲ (الف تا د)- پهنه‌بندی خشکسالی هواشناسی با استفاده از شاخص CZI (الف)، شاخص MCZI (ب)، شاخص SPI (ج) و شاخص ZSI (د) در استان کهگیلویه و بویراحمد در سال ۱۳۸۶-۱۳۸۷

مدل سازی بارش - رواناب روزانه رودخانه دره رود واقع در استان اردبیل



چاپ شده در نشریه شماره ۴۱ علوم و مهندسی آبیاری زمستان ۹۷

نویسندگان:

محمد رضا نیک پور (استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه محقق اردبیلی)

هادی ثانی خانی (استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه کردستان)

سجاد محمودی بابلان (دانشجوی کارشناسی ارشد گروه منابع آب دانشگاه پردیس ابوریحان تهران)

سعید نسترنی عموقین (دانشجوی کارشناسی ارشد گروه منابع آب دانشگاه تهران)

References:

منابع:

- 1- Aytok, A. and Alp, M., 2008. An application of artificial intelligence for rainfall-runoff modeling. *Journal of Earth System Science*, 2(117), pp.155-145.
- 2- Behzad, M. Asghari, K. Eazi, M. and Palhang, M., 2009. Generalization performance of support vector machines and neural networks in runoff modeling. *Expert Systems with applications*, 4(36), pp.7629-7624
- 3- Botsis, D. Latinopoulos, P. and Diamantaras, K., 2011. Rainfall-Runoff Modeling Using Support Vector Regression and Artificial Neural Networks. In 12th International Conference on Environmental Science and Technology, Rhodes, Greece.
- 4- Ferreira, C., 2006. Automatically defined functions in gene expression programming. In *Genetic Systems Programming*. Springer Berlin Heidelberg.
- 5- Ferreira, C., 2001. Gene Expression Programming: a new adaptive algorithm for solving problems. *Complex Systems*, 2(13), pp.129-87.
- 6- Ghorbani, M.A. and Dehghani, R., 2015. Application of bayesian neural networks, support vector machines and gene expression programming analysis of rainfall - runoff monthly (case study: Kakarza river). *Irrigation Sciences and Engineering*, 2(39), pp.138-125. (In Persian).
- 7- He, Z. Wen, X. Liu, H. and Du, J., 2014. A comparative study of artificial neural network, adaptive neuro fuzzy inference system and support vector machine for forecasting river flow in the semiarid mountain region. *Journal of Hydrology*, 509, pp.386-379.
- 8- Jayawardena, A.W. Muttill, N. and Fernando, T.M.K.G., 2005. Rainfall-runoff modeling using genetic programming. In *International Congress on Modeling and Simulation Society of Australia and New Zealand*.
- 9- Kisi, O., 2008. Stream flow forecasting using neuro-wavelet technique. *Journal of Hydrological Processes*, 20(22), pp.4152-4142.
- 10- Nourani, V. Komasi, M. and Mano, A., 2009. A multivariate ANN-wavelet approach for rainfall-runoff modeling. *Journal of Water resources management*, 14(23), pp.2894-2877.
- 11- Marofi, S. Amir-Moradi, K. and Parsafar, N., 2012. River flow prediction using Artificial Neural Network and Wavelet Neural Network models (Case study: Barandozchay River). *Water and Soil Science*, 3(23), pp.103-93. (In Persian).

- 12- Nabizadeh, M. Mosaedi, A. and Dehghani, A.A., 2012. Intelligent estimation of stream flow by Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System). *Water and Irrigation Management*, 1(2), pp.80-69. (In Persian).
- 13- Rezaei, E. Khashei-Siuki, A. and Shahidi A., 2014. Design of groundwater level monitoring network, using the model of least squares support vector machine (LS-SVM). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 4(45), pp.-389 396. (In Persian).
- 14- Salajegheh, A. Fathabadi, A. and Mahdavi, M., 2009. Investigation on the efficiency of neuro-fuzzy method and statistical models in simulation of rainfall-runoff process. *Journal of Range and Watershed Management*, 1(62), pp.-65 79.
- 15- Shafiee-Jood, M. Abrishamchi, A. and Salavitar, A., 2012. Evaluation of water resources development plans in multi-reservoir darehrood sub catchment system using performance indices. *Journal of Water and Wastewater*, 3, pp.32-22. (In Persian).
- 16- Shu, C. and Ouarda, T.B.M.J., 2008. Regional flood frequency analysis at ungauged sites using the adaptive neuro-fuzzy inference system. *Journal of Hydrology*, 1(349), pp.43-31.
- 17- Soltani, A. Ghorbani, M.A. Fakhri-Fard, A. Darbandi, S. and Farsadizadeh, D., 2010. Genetic programming and application in rainfall-runoff modeling. *Water and Soil Science*, 4(20), pp.71-62. (In Persian).
- 18- Suykens, J.A. De Brabanter, J. Lukas, L. and Vandewalle, J., 2002. Weighted least squares support vector machines, pp. robustness and sparse approximation. *Neurocomputing*, 1(48), pp.105-85.
- 19- Taheri, H. and Ghafouri M., 2012. Comparison between active learning method and support vector machine for runoff modeling. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 1(60), pp.32-16.
- 20- Tokar, A.S. and Markus, M., 2000. Precipitation-runoff modeling using artificial neural networks and conceptual models. *Journal of Hydrologic Engineering*, 2(5), pp.161-156.
- 21- Vapnic, V.N., 1998. *Statistical Learning Theory*. Wiley, New York, USA.
- 22- Yu, P.S. Chen, S.T. and Chang, I.F., 2006. Support vector regression for real-time flood stage forecasting. *Journal of Hydrology*, 3(328), pp.716-704.

چکیده

مدل سازی بارش- رواناب یکی از پراهمیت ترین موضوعات در مدیریت منابع آب های سطحی برای اتخاذ تدابیر مناسب در مواقع سیلاب و بروز خشک سالی ها است. در این تحقیق از مدل های شبکه های عصبی مصنوعی، برنامه ریزی بیان ژن، موجک- عصبی و حداقل مربعات ماشین بردار پشتیبان به منظور تخمین جریان روزانه رودخانه دره رود استفاده شد. داده های دبی و بارش روزانه ایستگاه مشیران واقع بر رودخانه مذکور و در بالادست سد عمارت به کار گرفته شد. نتایج نشان داد که الگوی تعریف شده بر اساس دبی روز قبل و بارش همان روز می تواند بهترین برآورد را از رواناب روزانه داشته باشد. همچنین نتایج بیانگر عملکرد قابل قبول مدل ها و برتری مدل موجک- عصبی با بیشترین ضریب همبستگی ($R=0/952$)، کمترین ریشه میانگین مربعات خطا ($RMSE=1/589$) و ضریب نش-ساتکلیف برابر $0/905$ در مرحله صحت سنجی بود. در برآورد دبی بیشینه نیز مدل مذکور با میانگین خطای نسبی $25/97$ درصد، از خطای کمتری نسبت به سایر مدل ها برخوردار بود.

واژه های کلیدی: برنامه ریزی بیان ژن، تخمین جریان، حداقل مربعات ماشین بردار پشتیبان، شبکه عصبی مصنوعی، موجک- عصبی.

مقدمه

بارش- رواناب یکی از پیچیده‌ترین فرآیندهای هیدرولوژیکی است که از متغیرهای مختلف فیزیکی و هیدرولوژیکی تأثیر می‌پذیرد. لذا درک و پیش‌بینی فرآیندهای تولید رواناب و انتقال آن به نقطه خروجی حوضه آبخیز یکی از اساسی‌ترین مباحث علم هیدرولوژی محسوب می‌شود (Salajegheh et al., 2009). از سوی دیگر، با توجه به محدودیت منابع آب شیرین قابل استحصال، پیش‌بینی هرچه دقیق‌تر دبی جریان و تغییرات آن در طول سال از ارکان اساسی برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب‌های سطحی است (Nabizadeh et al., 2012). نظر به اهمیت موضوع، تاکنون تحقیقات متعددی در خصوص استفاده از مدل‌های مختلف هوشمند شامل شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANNs)، برنامه‌ریزی بیان ژن (GEP)، فازی- عصبی (NF)، موجک- عصبی (WNN) و ماشین بردار پشتیبان (SVM) برای تخمین جریان (رواناب) روزانه و ماهانه رودخانه‌ها و همچنین روندیابی سیلاب صورت پذیرفته است.

Tokar and Markus (2000) جریان ماهانه سه حوضه متفاوت آبخیز را از نظر شرایط آب و هوایی و خصوصیات فیزیوگرافی، با استفاده از ANNs و مدل مفهومی تعادل آب (Watbal) مدل‌سازی کردند. در نهایت مدل ANNs نتیجه بهتری به همراه داشت. Jayawardena et al. (2005) با استفاده از برنامه‌ریزی ژنتیک (GP) و با به-کارگیری داده‌های روزانه، بارش- رواناب دو حوضه نسبتاً بزرگ را در کشور چین شبیه‌سازی کردند که نتایج حاصل با داده‌های واقعی مطابقت خوبی داشت. Nourani et al. (2009) برای مدل‌سازی بارش- رواناب حوضه ليقوان چاي از تلفیق تحلیل موجک با مدل ANN استفاده کردند. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که مدل پیشنهاد شده به دلیل استفاده از سری‌های زمانی با مقیاس چندگانه به‌عنوان لایه ورودی مدل ANN، قادر به پیش‌بینی رویدادهای بارندگی طولانی‌مدت و کوتاه‌مدت می‌باشد. Aytel and Alp (2008) با مدل‌های ANN و GEP بارش- رواناب روزانه رودخانه جونیتا در ایالت پنسیلوانیای آمریکا را شبیه‌سازی کردند. نتایج تحقیق، برتری مدل GEP را نسبت به ANN در تخمین رواناب روزانه رودخانه مذکور نشان داد. Kisi (2008) عملکرد مدل ترکیبی WNN را با مدل NF در مدل کردن جریان ماهانه مقایسه و براساس نتایج تحقیق، مدل WNN را برای این منظور پیشنهاد نمود. Soltani et al. (2010) با کاربرد GEP در شبیه‌سازی فرآیند

بارش- رواناب روزانه حوضه آبخیز ليقوان، با تعریف دو مجموعه عملگر ریاضی به این نتیجه دست یافتند که مدل حاصل از مجموعه عملگرهای اصلی مناسب‌تر است. در سال‌های اخیر SVM به‌عنوان یک مدل جدید به‌منظور تخمین متغیرهای هیدرولوژیکی به‌کار گرفته می‌شود و موفقیت‌های قابل توجه در زمینه‌های مختلف، از جمله مدل‌سازی و پیش‌بینی بارش و رواناب ماهانه به همراه داشته است. Behzad et al. (2009) با استفاده از آمار یک ایستگاه هیدرومتری واقع بر روی رودخانه بختیاری، جریان روزانه را با در نظر گرفتن آمار روز قبل پیش‌بینی نمودند. نتایج نشان داد که SVM از عملکرد بهتری نسبت به ANNs برخوردار است. Yu et al. (2006) در مطالعه‌ای با استفاده از مدل SVM به پیش‌بینی سطح رقومی سیل در رودخانه لن- یانگ تایوان پرداختند. نتایج نشان داد که مدل به‌خوبی سطح آب رودخانه را برای 1 تا 6 ساعت بعد پیش‌بینی می‌کند. Taheri and Ghafouri (2012) رواناب روزانه یکی از ایستگاه‌های رودخانه کارون را با به‌کارگیری داده‌های بارش، رطوبت و دما مدل‌سازی نمودند. در تحقیق مذکور مدل SVM نتیجه بهتری را نسبت به روش یادگیری فعال به‌همراه داشت. Botsis et al. (2011) بارش- رواناب روزانه حوضه آبخیزی واقع در کالیفرنیا را شبیه‌سازی کردند. مدل SVM با سه نوع تابع کرنل با مدل ANN مورد مقایسه قرار گرفت. در نهایت SVM شبیه‌سازی دقیق‌تری از بارش- رواناب داشت. Ghorbani and Dehghani (2015) کارایی سه مدل شبکه عصبی بیزین SVM، (BNN) و GEP را در تخمین رواناب ماهانه رودخانه کاکارضا مورد مقایسه قرار دادند. از میان سه مدل مذکور، BNN بهترین نتیجه را به همراه داشت. رودخانه دره‌رود به‌عنوان مهم‌ترین سرشاخه رود مرزی ارس در ایران، یکی از رودخانه‌های مهم استان اردبیل و یکی از منابع اصلی تأمین آب بخش‌های مختلف استان می‌باشد. از سوی دیگر روی رودخانه مذکور سد مخزنی عمارت در حال ساخت می‌باشد. بنابراین در تحقیق حاضر، نظر به موقعیت استراتژیک رودخانه مذکور و اهمیت مدیریت صحیح بهره‌برداری از آن، پیش‌بینی مقدار دبی جریان حائز اهمیت می‌باشد. با بررسی منابع انجام شده می‌توان گفت استفاده از روش‌های مدل‌سازی غیرخطی برای پیش‌بینی مقدار جریان رودخانه ضروری به نظر می‌رسد.

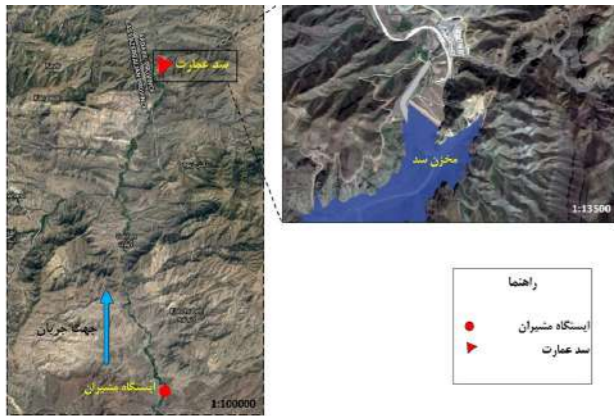
با بررسی منابع انجام شده می‌توان گفت استفاده از روش‌های مدل‌سازی غیرخطی برای پیش‌بینی مقدار جریان رودخانه ضروری به نظر می‌رسد. لذا در این راستا مدل ANN به‌دلیل سادگی و کارآمدی بالا، مدل GEP به‌دلیل ارائه روابط صریح بین متغیرهای ورودی و خروجی، مدل LS-SVM به‌دلیل کارایی و سرعت بالا و مدل WNN به‌دلیل استفاده از نویززدایی در ساختار داده‌ها، برای تخمین جریان ورودی به مخزن سد عمارت (واقع بر رودخانه دره‌رود، استان اردبیل) مورد ارزیابی قرار گرفت. در بین مدل‌های ذکر شده دامنه مطالعات انجام شده در زمینه مدل‌های WNN و LS-SVM به خصوص در مطالعات مدل‌سازی بارش- رواناب و هیدرولوژی، نسبتاً کم و محدود می‌باشد. در این تحقیق از ضرایب همبستگی موجود بین متغیرهای دبی جریان و بارش برای تعیین ورودی مدل‌های هوشمند استفاده شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز دره‌رود با وسعتی برابر 14310 کیلومتر مربع بخش قابل توجهی از استان اردبیل را تحت پوشش قرار می‌دهد. 68 درصد وسعت حوضه در استان اردبیل و 32 درصد آن در استان آذربایجان شرقی است. دره‌رود که یکی از رودخانه‌های مهم حوضه آبریز مذکور می‌باشد، به‌عنوان مهم‌ترین سرشاخه رود مرزی ارس در ایران، از الحاق دو سرشاخه اصلی قره‌سو و اهرچای تشکیل می‌گردد (Shafiee-Jood et al., 2012). برای شبیه‌سازی رواناب روزانه دره‌رود از داده‌های آماری مربوط به ایستگاه هیدرومتری مشیران واقع در رودخانه مذکور و در بالادست سد عمارت طی دوره آماری 26 ساله از سال 1367 تا سال 1393 استفاده گردید. لازم به ذکر است که بر اساس گزارش‌های موجود، سد عمارت در سال 1397 بهره‌برداری خواهد شد. ایستگاه هیدرومتری مشیران در 47/52 درجه طول جغرافیایی، 38/53 درجه عرض جغرافیایی، در ارتفاع 780 متری از سطح دریا واقع شده است. شکل (1) محدوده و موقعیت کلی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. داده‌های بارش و رواناب روزانه از سازمان هواشناسی و شرکت آب منطقه‌ای استان اردبیل اخذ شد.

تعداد کل نمونه‌ها در طول دوره آماربرداری، معادل 9340 داده می‌باشد. 70 درصد داده‌های مذکور (6538 داده) به‌عنوان داده‌های آموزش و 30 درصد داده‌ها (2802 داده) به‌عنوان داده‌های صحت‌سنجی در نظر گرفته شد. در جدول (1) متغیرهای آماری مربوط به داده‌های اندازه‌گیری شده در بازه زمانی مذکور نشان داده‌شده است. انتخاب الگوهای مناسب به‌منظور انتخاب ترکیب مناسب از متغیرهای ورودی مدل‌ها، از آزمون‌های آماری استفاده شد و مقادیر ضرایب خود همبستگی جزئی متغیر دبی و همبستگی متقابل متغیرهای بارش و دبی محاسبه گردید. مقادیر همبستگی بین متغیرهای دبی و بارش و تأخیرهای آن‌ها در جدول (2) ارائه شده است. در جدول مذکور، متغیرهای Q و R به ترتیب بیانگر مقادیر اندازه‌گیری شده بارش و دبی در ایستگاه هیدرومتری مشیران می‌باشد و اندیس t شاخص گام زمانی فعلی می‌باشد. با توجه به همبستگی متقابل و معنی‌دار بین متغیرهای ورودی و خروجی، الگوهای مختلفی برای تخمین رواناب روزانه رودخانه دره‌رود مطابق با جدول (3) استفاده شد.



شکل 1- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

جدول 1- خصوصیات آماری مقادیر دبی روزانه رودخانه مورد استفاده در بازه زمانی 93-1367

متغیر	واحد	تعداد رکورد	میانگین	حداقل	حداکثر	انحراف معیار	ضریب تغییرات	چولگی
R(t)	(mm)	9340	0/984	0	44/5	2/992	2/040	4/861
Q(t)	(m ³ /day)	9340	8/622	0	185/2	10/899	1/262	2/229

جدول 2- مقادیر همبستگی بین متغیرهای بارش و دبی

Q _{t-1}	R _t	R _{t-1}	R _{t-2}
0/916	0/107	0/126	0/115

جدول ۳- ساختار الگوهای مورد استفاده در تحقیق حاضر

شماره الگو	ساختار ورودی	خروجی
۱	R_t	Q_t
۲	R_{t-1}, R_t	Q_t
۳	R_{t-2}, R_{t-1}, R_t	Q_t
۴	Q_{t-1}, R_t	Q_t
۵	Q_{t-1}, R_{t-1}, R_t	Q_t
۶	$Q_{t-1}, R_{t-2}, R_{t-1}, R_t$	Q_t

مدل‌های هوشمند

در تحقیق حاضر برای اجرای مدل‌های WNN، ANNs و LS-SNM از کد نوشته شده توسط نویسندگان مقاله در محیط برنامه‌نویسی MATLAB و برای به‌کارگیری مدل GEP از نرم‌افزار GeneXproTools استفاده گردید. در ادامه به توضیح مختصر مدل‌های مذکور و ضرایب به‌کار رفته برای واسنجی مدل‌ها پرداخته می‌شود.

شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANNs)

ساختار کلی ANNs از شبکه بیولوژیکی مغز انسان الهام گرفته است. ANNs با پردازش روی داده‌ها قوانین کلی را فرامی‌گیرد و خروجی‌های شبکه با خروجی‌های مطلوب (اندازه‌گیری شده) مقایسه می‌شود. در ابتدا با استفاده از داده‌ها و مقادیر اندازه‌گیری شده موجود، شبکه آموزش داده می‌شود. متغیرهای مؤثر که در مدل‌سازی شبکه‌های عصبی نقش اساسی دارند شامل تعداد تکرار و نوع تابع آموزش، تعداد لایه‌های شبکه و تعداد نرون‌های لایه میانی می‌باشد. گام مهم قبل از وارد کردن داده‌ها به مدل، نرمال‌سازی داده‌ها می‌باشد. این عمل خصوصاً وقتی دامنه تغییرات ورودی‌ها زیاد باشد کمک شایانی به آموزش بهتر و سریع‌تر مدل می‌کند. اصولاً وارد کردن داده‌ها به صورت خام باعث کاهش سرعت و دقت شبکه می‌شود (He et al, ۲۰۱۴). برای نرمال‌سازی داده‌های تحقیق حاضر از رابطه (۱) استفاده شد. در این رابطه، X_n مقدار نرمال شده ورودی X_i ، X_{min} و X_{max} ترتیب مقادیر حداکثر و حداقل داده‌ها می‌باشد. به منظور به حداقل رساندن خطای مدل‌سازی پس از انجام تحلیل حساسیت، توابع و مقادیر بهینه در نظر گرفته شده برای شبکه عصبی مورد استفاده در تحقیق حاضر به شرح جدول (۴) می‌باشد.

$$X_n = 0.1 + 0.8 \frac{X_i - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad (1)$$

موجک- عصبی (WNN)

موجک، یک موج کوچک است که انرژی آن در ناحیه کوچکی متمرکز شده و ابزار مناسبی برای بررسی پدیده‌های گذرا است. موجک نوسان حداقلی دارد که به سمت صفر نزول می‌کند و این نزول باید در جهات مثبت و منفی واقع در دامنه‌اش محدود شود. این مشخصه باعث می‌شود که موجک انعطاف‌پذیر بوده و مانند یک تابع رفتار کند، بنابراین با توجه به رفتارهای موجی نامنظم پدیده‌های هیدرولوژیک، قابلیت مدل‌سازی این پدیده‌ها توسط امواج نامنظم (موجک‌ها) نسبت به امواج منظم (امواج سینوسی) بیشتر است (Nourani et al, ۲۰۰۹). موجک دارای سه مشخصه تعداد نوسان محدود، بازگشت سریع به صفر در هر دو جهت مثبت و منفی در دامنه خود و میانگین صفر است که شرط مقبولیت نامیده می‌شود و به شکل رابطه (۲) بیان می‌شود.

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \phi(t) dt = 0 \quad (2)$$

در رابطه فوق، $\phi(t)$ تابع تبدیل موج (موجک مادر) است. عبارت مادر به این دلیل به کار رفته است که توابع (موجک‌های) متفاوت به وجود آمده بر اساس متغیرهای مقیاس و انتقال همگی از تابع پایه (موجک مادر) ناشی می‌شوند. تبدیل موجک عملگری است که یک تابع را به مجموعه‌ای از تبدیل موجک‌های مادر اصلاح شده تبدیل می‌کند که این تبدیل موجک‌های اصلاح شده همان تبدیل موجک دختر می‌باشند (Marofi et al, ۲۰۱۲). بعد از تعیین نوع موجک مادر، مهم‌ترین اقدام تعیین سطح تجزیه بود. استفاده از حداکثر سطح تجزیه موجب کند شدن فرآیند آموزش و در برخی موارد می‌تواند موجب کاهش دقت مدل نیز گردد. برای انتخاب سطح تجزیه تبدیل موجک گسسته، رابطه (۳) استفاده شد (Nourani et al, ۲۰۰۹). در این رابطه، L سطح تجزیه، NS تعداد داده‌های سری زمانی و Int تابع جزء صحیح می‌باشد. در تحقیق حاضر از موجک‌های خانواده دابچیز (Daubechies) با سطح تجزیه ۳ استفاده گردید. در نهایت داده‌های حاصل از تجزیه توسط موجک پس از نرمال‌سازی (با استفاده از رابطه ۱) به‌عنوان ورودی شبکه عصبی تعریف شد.

$$L = Int(\log(N)) \quad (3)$$

برنامه‌ریزی بیان ژن (GEP)

روش برنامه‌ریزی بیان ژن، در سال ۱۹۹۹ توسط فریرا ارائه شد (Ferreira, ۲۰۰۱). این روش ترکیبی از روش‌های برنامه‌ریزی ژنتیک (GP) و الگوریتم ژنتیک (GA) بوده که در آن، کروموزوم‌های خطی و ساده با طول ثابت، مشابه با آنچه در الگوریتم ژنتیک استفاده می‌شود و ساختارهای شاخه‌ای با اندازه‌ها و اشکال متفاوت، مشابه با درختان تجزیه در برنامه‌ریزی ژنتیک، ترکیب می‌شوند. از آنجایی که در این روش تمام ساختارهای شاخه‌ای با اندازه اشکال متفاوت، در کروموزوم‌های خطی با طول ثابت کدگذاری می‌شوند، معادل این است که در این روش فنوتیپ و ژنوتیپ از هم جدا می‌شوند و سیستم می‌تواند از تمام مزایای تکاملی به سبب وجود آن‌ها بهره‌مند شود. اکنون با وجود اینکه فنوتیپ در GEP، همان نوع از ساختارهای شاخه‌ای مورد استفاده در GP را شامل می‌شود، اما ساختارهای شاخه‌ای که به وسیله GEP استنتاج می‌شوند (که بیان درختی نیز نامیده می‌شود) مبین تمامی ژنوم‌های مستقل هستند. به‌طور خلاصه می‌توان گفت در GEP به‌سازی‌ها در یک ساختار خطی اتفاق افتاده و سپس به‌صورت ساختار درختی بیان می‌شود و این موجب می‌شود تنها ژنوم اصلاح شده به نسل بعد منتقل شده و نیازی به ساختارهای سنگین برای تکثیر و جهش وجود نداشته باشد (Ferreira, ۲۰۰۶). در این روش پدیده‌های مختلف با استفاده از مجموعه‌ای از توابع و مجموعه‌ای از ترمینال‌ها، مدل‌سازی می‌شوند. مجموعه توابع، معمولاً شامل توابع اصلی حسابی $\{+, -, \times, /, \}$ ، توابع مثلثاتی و سایر توابع ریاضی و یا توابع تعریف شده توسط کاربر است که معتقد است، می‌تواند برای تفسیر مدل مناسب باشند. مجموعه ترمینال‌ها، از مقادیر ثابت و متغیرهای مستقل مسأله تشکیل شده‌اند (Ferreira, ۲۰۰۱). برای استخراج رابطه ریاضی برآورد مقدار دبی در این تحقیق علاوه بر چهار تابع اصلی حسابی، از توابع مثلثاتی شامل \sin و \cos و هم‌چنین عملگرهای $\sqrt{\quad}$ ، \ln ، \exp و power استفاده گردید. پس از تحلیل حساسیت مدل برنامه‌ریزی بیان ژن در تخمین دبی، متغیرهای مورداستفاده و نرخ آن‌ها در جدول (۵) ارائه شده است.

ماشین بردار پشتیبان (SVM)

ایده اصلی SVM که به‌عنوان فرآیندهای رگرسیونی و طبقه‌بندی شناخته می‌شوند، توسط Vapinc (۱۹۹۸) مطرح گردید. رگرسیون بردار پشتیبان جهت توصیف رگرسیون با استفاده از ماشین بردار پشتیبان می‌باشد. در این روش، تلاش بر این است تا وابستگی بین مجموعه داده‌های ورودی $X = (\vec{x}_1, \vec{x}_2, \dots, \vec{x}_n)$ از فضای R^n و مقادیر خروجی $Y = (\vec{y}_1, \vec{y}_2, \dots, \vec{y}_n)$ که در آن $y_i \in R$ از طریق تابع $y(x_i)$ تخمین زده شود. در این روش فرض بر این است که نمونه‌ها به‌صورت مستقل و از یک توزیع احتمالاتی نامعین گرفته شده‌اند. در مدل SVM برای حل معادلات از برنامه‌ریزی دوگانه استفاده می‌شود. لذا حل مسائل در ابعاد بزرگ با استفاده از مدل مذکور، هزینه محاسباتی را به‌شدت افزایش می‌دهد. برای رفع این مشکل، Suykens et al (۲۰۰۲) روش حداقل مربعات ماشین بردار پشتیبان (LS-SVM) را ارائه نمودند. در این مدل از معادلات خطی ساده برای حل مسائل استفاده می‌شود که به‌طور مؤثری پیچیدگی الگوریتم را کاهش می‌دهد. تابع رگرسیونی مورد استفاده برای تخمین مسائل به‌صورت رابطه (۴) می‌باشد.

$$y(x_i) = w^T \cdot \phi(x_i) + b \quad (4)$$

که در آن ترسیم غیرخطی ورودی‌ها در فضای ویژگی با ابعاد بالا می‌باشد. متغیرهای w و b به‌ترتیب مقادیر وزن‌ها و بایاس تابع رگرسیون هستند که از طریق حداقل سازی تابع هدف در رابطه (۵) تعیین می‌گردد.

$$\min_{w, e, b} j(w, e) = \frac{1}{2} w^T \cdot w + \frac{\gamma}{2} \sum_{i=1}^N e_i^2 \quad (5)$$

با محدودیت:

$$y_i = w^T \cdot \phi(x_i) + b + e_i \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (6)$$

که در آن γ متغیر تنظیم‌کننده بخش خطا و e_i خطای داده‌های آموزش می‌باشد. در نهایت تابع تخمین مدل LS-SVM به‌صورت رابطه (۷) تعریف می‌شود.

$$y(x) = \sum_{i=1}^N a_i K(x_i, x_j) + b \quad (7)$$

در رابطه صفحه قبل، $K(x_i, x_j)$ تابع کرنل نامیده می‌شود که مطابق رابطه (۸)، به‌عنوان تابعی با ایجاد ضرب داخلی در فضای ویژگی معرفی می‌شود (Rezaei et al, ۲۰۱۴).

$$K(x_i, x_j) = \langle \phi(x_i) \times \phi(x_j) \rangle \quad i, j = 1, 2, \dots, N \quad (8)$$

برای تحلیل حساسیت مدل LS-SVM توابع کرنل خطی، چندجمله‌ای و پایه شعاعی مورد آزمون قرار گرفت که از بین توابع مذکور، کرنل چندجمله‌ای از بالاترین سرعت و کمترین خطا برخوردار بود. ضمناً مقادیر متغیرهای تنظیم‌کننده و کرنل به‌ترتیب برابر ۲۰ و $[2 \text{ و } 0/2]$ در نظر گرفته شد.

جدول ۴- مقادیر متغیرهای مورداستفاده در مدل شبکه‌های عصبی مصنوعی

متغیر	بهترین مقدار
نوع شبکه عصبی	Feed-forward back propagation
تعداد لایه پنهان	۱
الگوریتم آموزشی	Levenberg-Marquardt
تعداد نرون	۱-۱۰
تابع انتقالی برای لایه اول	TANSIG
تابع انتقالی برای لایه دوم	RURELIN
تعداد تکرار	۱۰۰۰

جدول ۵- مقادیر متغیرهای مورداستفاده در روش برنامه‌ریزی بیان ژن

تنظیمات کلی	عملکردهای ژنتیکی
تعداد کروموزوم‌ها	۳۰
اندازه رأس	۷
تعداد ژن در هر کروموزوم	۳
تعداد جمعیت تولیدی	۱۰۰۰
تابع پیوند	مجموع (+)
	نرخ جهش ۰/۰۴۴
	نرخ وارون سازی ۰/۱
	نرخ ترانهش درج متوالی ۰/۱
	نرخ ترانهش ریشه درج متوالی ۰/۱
	نرخ ترکیب تک نقطه‌ای ۰/۳

معیارهای ارزیابی مدل

در تحقیق حاضر به‌منظور ارزیابی دقت و کارایی مدل‌ها از نمایه‌های ضریب همبستگی (R)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب نش‌ساتکلیف (NS) طبق روابط زیر استفاده گردید. بهترین مقدار برای معیارهای مذکور به ترتیب یک، صفر و یک می‌باشد.

$$R = \frac{\sum_{i=1}^N (Q_i^O - \bar{Q}^O) (Q_i^P - \bar{Q}^P)}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (Q_i^O - \bar{Q}^O)^2 \sum_{i=1}^N (Q_i^P - \bar{Q}^P)^2}} \quad (9)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Q_i^O - Q_i^P)^2}{N}} \quad (10)$$

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q_i^O - Q_i^P)^2}{\sum_{i=1}^N (Q_i^O - \bar{Q}^O)^2} \quad (11)$$

در روابط فوق، و به‌ترتیب مقادیر دبی مشاهداتی و محاسباتی توسط مدل در گام زمانی i ام، N تعداد گام‌های زمانی، و نیز به ترتیب میانگین مقادیر دبی مشاهداتی و محاسباتی می‌باشد. علاوه بر معیارهای فوق از نمودارهای پراکنش حول خط یک به یک و سری زمانی مقادیر مشاهداتی و محاسباتی برای مقایسه و تحلیل بیشتر نتایج استفاده شد.

نتایج و بحث

ارزیابی مدل‌ها بر اساس شاخص‌های آماری

در جدول‌های (۶) تا (۹) شاخص‌های آماری عملکرد مدل‌های مورد استفاده در تحقیق حاضر برای مراحل آموزش و صحت‌سنجی و به‌ازای الگوهای مختلف گزارش شده است. بر اساس نتایج گزارش شده در جدول‌های (۵) تا (۸)، برای مدل GEP، الگوی شماره ۵ و برای سایر مدل‌ها الگوی شماره ۴ به‌طور نسبی بهترین عملکرد را به‌همراه داشت. الگوی ۴ در مقایسه با سایر الگوهای ترکیبی تعداد داده‌های ورودی کمتری نیاز دارد و مزیت مهم آن کاهش زمان اجرای مدل‌ها و پیچیدگی آن‌ها می‌باشد. بنابراین جریان رودخانه دره‌رود در گام زمانی فعلی در حالت کلی متأثر از مقدار آن در روز قبل و بارش همان روز می‌باشد و استفاده از مقادیر بارش در گام‌های زمانی پیشین نیز تأثیری بر بهبود نتایج مدل‌ها در تخمین جریان رودخانه نداشت. از سوی دیگر ملاحظه می‌شود که در کلیه مدل‌ها، الگوهای ۱، ۲ و ۳ نتایج ضعیفی را به دنبال داشته است و این حاکی از آن است که در حوضه آبریز دره‌رود صرفاً با استفاده از مقادیر بارش به تنهایی نمی‌توان برآورد صحیحی از جریان رودخانه داشت. در تحقیقات مشابه سایر محققین در خصوص شبیه‌سازی جریان رودخانه نیز الگوی تعریف شده براساس ترکیب گام‌های زمانی فعلی و پیشین بارش-رواناب، بهترین نتیجه را به‌دنبال داشت که از آن جمله می‌توان به تحقیقات (Jayawardena et al, ۲۰۰۵); (Ghorbani and Dehghani, ۲۰۱۵); (Nourani et al, ۲۰۰۹) اشاره نمود. مقایسه نتایج مدل‌های مختلف به‌ازای بهترین الگو حاکی از آن است که مدل WNN با بیشترین ضریب همبستگی (R=۰/۹۵۲)، کمترین ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE=۱/۵۸۹) و همچنین ضریب نش‌ساتکلیف برابر ۰/۹۰۵ در مرحله صحت‌سنجی عملکرد بهتری را نسبت به سایر مدل‌ها در تخمین جریان رودخانه از خود نشان داده است. علاوه بر آن، شاخص‌های آماری مربوط به مرحله آموزش مدل مذکور به مقادیر مطلوب نزدیک‌تر است. این درحالی است که عملکرد سایر مدل‌ها تقریباً مشابه یکدیگر می‌باشد. از سوی دیگر مقدار ضریب نش‌ساتکلیف مراحل آموزش و صحت‌سنجی کلیه مدل‌های مورد مطالعه در تحقیق حاضر به‌ازای الگوهای مطلوب، بزرگتر از ۰/۸ حاصل شده است که حاکی از عملکرد قابل قبول آن‌ها می‌باشد (He et al, ۲۰۱۴; Shu and Ouarda, ۲۰۰۸).

ارزیابی مدل‌ها بر اساس نمودارهای پراکنش و سری زمانی

در شکل‌های (۲) تا (۵) نمودارهای پراکنش حول خط یک به یک (y=x) و سری زمانی مدل‌های مورد استفاده در تحقیق حاضر برای مرحله صحت‌سنجی و به‌ازای بهترین الگو نمایش داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در کلیه مدل‌ها پراکنش مناسبی حول محور یک به یک دیده می‌شود و در نمودارهای سری زمانی آن‌ها هم‌پوشانی قابل قبولی بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی وجود دارد. از سوی دیگر با توجه به نمودارهای سری زمانی برای یک روز معین، تأثیر بارش بر مقدار جریان رودخانه کاملاً محسوس است، به‌طوری‌که فراز و نشیب مقدار دبی با نوسانات بارش همسو می‌باشد. برتری الگوی ۴ را نیز می‌توان به این موضوع مرتبط دانست.

جدول ۶- مقادیر شاخص‌های آماری عملکرد مدل LS-SVM برای الگوهای مختلف در مراحل آموزش و صحت‌سنجی

الگو	آموزش		صحت‌سنجی	
	ضریب همبستگی (R)	ریشه میانگین مربعات خطا (m ^۳ /s)	ضریب همبستگی (R)	ریشه میانگین مربعات خطا (m ^۳ /s)
۱	۰/۱۰۰	۱۲/۲۹۹	۰/۰۴۴	۷/۸۱۴
۲	۰/۱۳۷	۱۲/۲۴۵	۰/۰۵۶	۷/۸۳۳
۳	۰/۱۸۲	۱۲/۱۵۵	۰/۰۳۳	۷/۸۶۷
۴	۰/۹۲۸	۴/۵۸۶	۰/۹۳۳	۱/۹۳۸
۵	۰/۹۳۰	۴/۵۱۹	۰/۹۲۹	۲/۰۰۹
۶	۰/۹۳۰	۴/۵۲۰	۰/۹۳۰	۱/۹۹۱

جدول ۷- مقادیر شاخص‌های آماری عملکرد مدل WNN برای الگوهای مختلف در مراحل آموزش و صحت‌سنجی

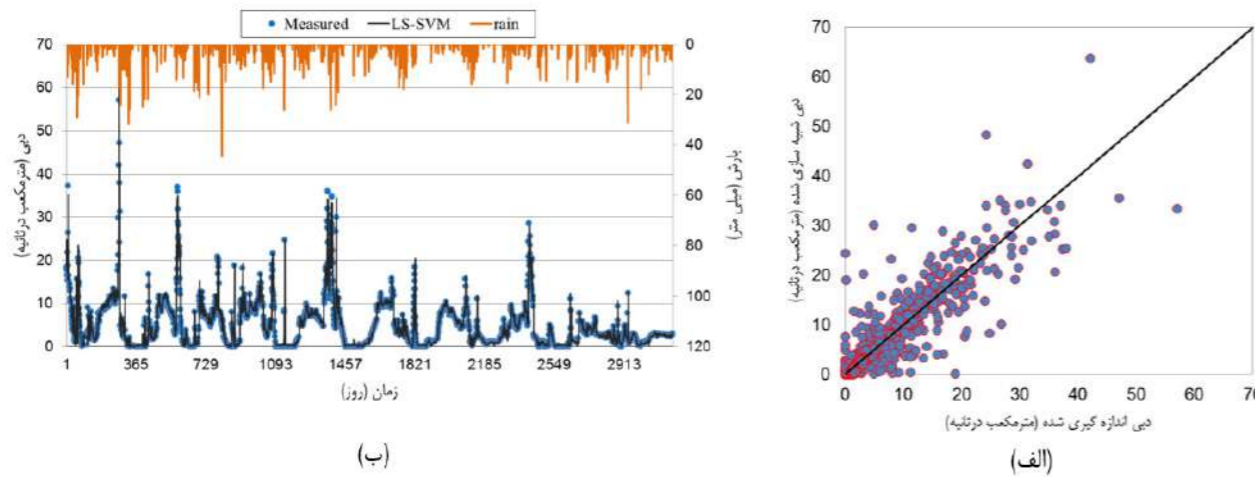
الگو	آموزش			صحت‌سنجی		
	ضریب همبستگی (R)	ریشه میانگین مربعات خطا (m ³ /s)	نسبت ساتکلیف	ضریب همبستگی (R)	ریشه میانگین مربعات خطا (m ³ /s)	نسبت ساتکلیف
۱	-۰/۲۳۸	۱۲/۰۲۷	۰/۰۵۶	۰/۱۳۱	۸/۰۶۰	-۰/۱۰۵
۲	-۰/۲۵۱	۱۲/۰۱۷	۰/۰۶۲	۰/۱۳۲	۸/۰۰۸	-۰/۱۲۴
۳	-۰/۳۳۶	۱۱/۶۳۹	۰/۱۱۳	۰/۱۳۴	۸/۱۱۱	-۰/۱۲۵
۴	-۰/۹۷۴	۲/۸۰۹	۰/۹۴۸	۰/۹۵۲	۱/۵۸۹	۰/۹۰۵
۵	-۰/۹۷۲	۲/۸۶۸	۰/۹۴۶	۰/۹۴۲	۱/۷۴۰	۰/۸۸۶
۶	-۰/۹۷۴	۲/۸۴۱	۰/۹۴۷	۰/۹۴۷	۱/۷۲۸	۰/۸۸۹

جدول ۸- مقادیر شاخص‌های آماری عملکرد مدل GEP برای الگوهای مختلف در مراحل آموزش و صحت‌سنجی

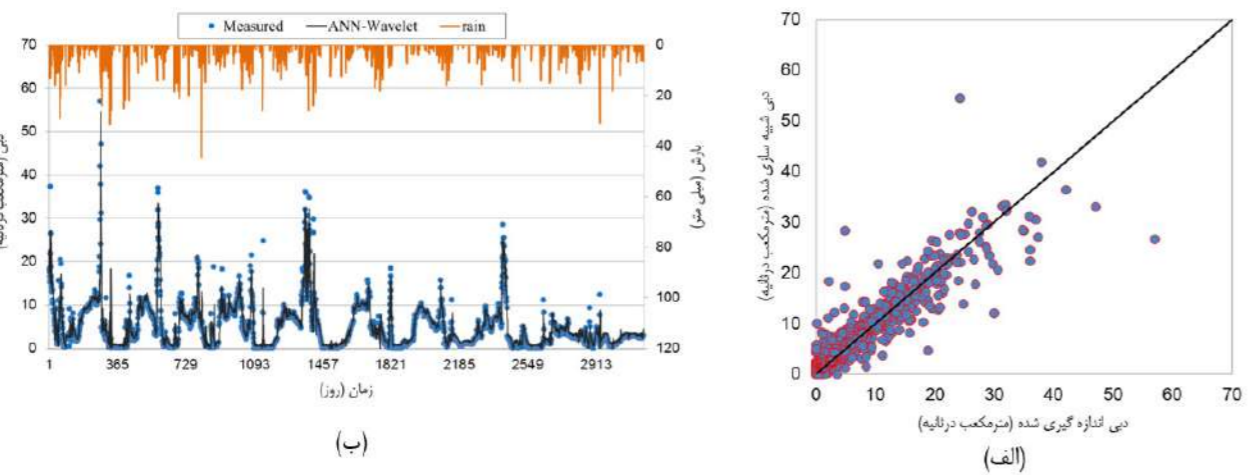
الگو	آموزش			صحت‌سنجی		
	ضریب همبستگی (R)	ریشه میانگین مربعات خطا (m ³ /s)	نسبت ساتکلیف	ضریب همبستگی (R)	ریشه میانگین مربعات خطا (m ³ /s)	نسبت ساتکلیف
۱	-۰/۱۷۵	۱۲/۱۳۹	۰/۰۳۰	۰/۰۷	۷/۴۶۳	-۰/۰۱۷
۲	-۰/۲۰۹	۱۲/۰۵۲	۰/۰۴۳	۰/۰۹۵	۷/۷۹	-۰/۰۲۸
۳	-۰/۱۲۷	۱۲/۲۲۹	۰/۰۱۶	۰/۰۱۴۵	۷/۷۰۶	-۰/۰۳۵
۴	-۰/۹۱۶	۴/۹۳۹	۰/۸۳۹	۰/۹۲۸	۱/۹۸۴	۰/۸۵۳
۵	-۰/۹۲۷	۵/۰۲۹	۰/۸۳۳	۰/۹۳۰	۱/۹۳۱	۰/۸۶۰
۶	-۰/۷۸۰	۱/۴۱۰	۰/۸۳۴	۰/۹۲۸	۱/۹۳۶	۰/۸۵۹

جدول ۹- مقادیر شاخص‌های آماری عملکرد مدل ANNs برای الگوهای مختلف در مراحل آموزش و صحت‌سنجی

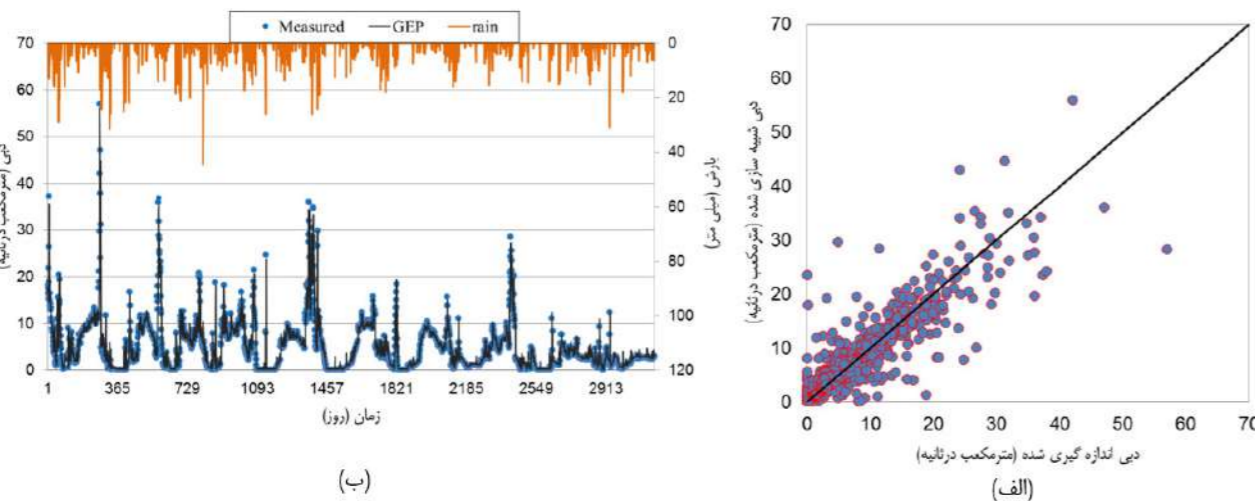
الگو	آموزش			صحت‌سنجی		
	ضریب همبستگی (R)	ریشه میانگین مربعات خطا (m ³ /s)	نسبت ساتکلیف	ضریب همبستگی (R)	ریشه میانگین مربعات خطا (m ³ /s)	نسبت ساتکلیف
۱	-۰/۱۳۰	۱۲/۲۵۴	۰/۰۱۷	۰/۰۷۷	۷/۷۷۲	-۰/۰۱۸
۲	-۰/۲۴۰	۱۲/۰۰۰	۰/۰۵۷	۰/۰۸۷	۷/۷۷۰	-۰/۰۴۲
۳	-۰/۲۲۳	۱۲/۰۵۰	۰/۰۴۹	۰/۱۲۷	۷/۷۶۳	-۰/۰۵۵
۴	-۰/۹۳۰	۴/۳۵۰	۰/۸۷۵	۰/۹۳۰	۱/۹۱۱	۰/۸۶۰
۵	-۰/۹۳۰	۴/۶۳۰	۰/۸۵۹	۰/۹۳۰	۱/۹۳۴	۰/۸۶۱
۶	-۰/۹۲۸	۴/۶۱۰	۰/۸۶۱	۰/۹۳۰	۱/۹۳۲	۰/۸۶۱



شکل ۲- نمودارهای حاصل از مدل LS-SVM به‌ازای بهترین الگو در مرحله صحت‌سنجی (الف): پراکنش حول محور یک به یک (ب): سری زمانی مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده

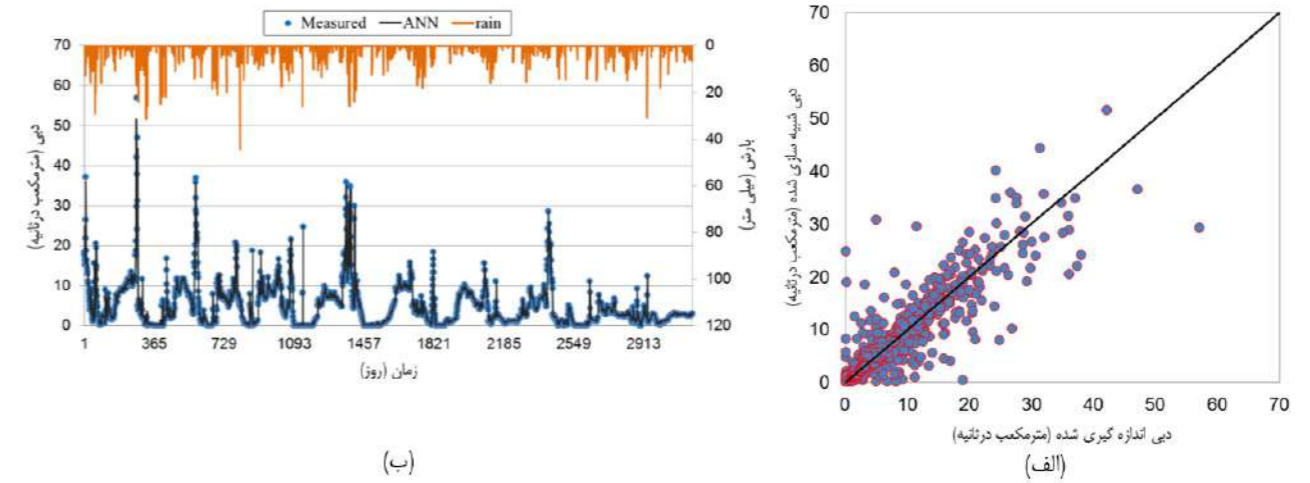


شکل ۳- نمودارهای حاصل از مدل WNN به‌ازای بهترین الگو در مرحله صحت‌سنجی (الف): پراکنش حول محور یک به یک (ب): سری زمانی مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده



شکل ۴- نمودارهای حاصل از مدل GEP به‌ازای بهترین الگو در مرحله صحت‌سنجی (الف): پراکنش حول محور یک به یک (ب): سری زمانی مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده

از دبی روز قبل و بارندگی همان روز می‌باشد. در این راستا میزان تأثیرپذیری دبی جریان از دبی روز قبل به مراتب بیشتر از میزان بارندگی می‌باشد و لزوماً افزایش مقدار بارندگی موجب افزایش دبی نمی‌گردد. مقادیر ضرایب همبستگی (جدول ۲) نیز به لحاظ آماری حاکی از تأثیرپذیری کمتر دبی جریان از متغیر بارش می‌باشد. بررسی شاخص‌های آماری نشان داد که مدل‌های مورد استفاده در تحقیق حاضر از عملکرد قابل قبول در برآورد روزانه رودخانه دره‌رود برخوردار می‌باشند. همچنین نظر به دقت بالاتر مدل WNN می‌توان از مدل مذکور به‌عنوان ابزاری کارآمد و قابل اعتماد در تخمین جریان رودخانه مذکور استفاده نمود. کارایی مدل‌های مختلف در پیش‌بینی دبی بیشینه نیز مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصله دلالت بر این داشت که عملکرد مدل‌ها در این خصوص مشابه یکدیگر بوده و در عین حال مدل WNN در تخمین مقادیر پیک جریان در مقایسه با سایر مدل‌ها به‌صورت جزئی عملکرد بهتری را دارد. در مجموع با توجه به نتایج قابل قبول مدل‌های مورد استفاده در تحقیق حاضر، ضرایب و توابع به‌کار رفته برای واسنجی آن‌ها می‌تواند برای تخمین جریان حوضه آبریز دره‌رود بسیار مفید باشد.



شکل ۵- نمودارهای حاصل از مدل ANN به‌ازای بهترین الگو در مرحله صحت‌سنجی (الف): پراکنش حول محور یک به یک (ب): سری زمانی مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده

$$R (\%) = \left| \frac{Q_o - Q_c}{Q_o} \right| \times 100 \quad (13)$$

تخمین دبی بیشینه جریان (دبی سیلاب) در بازه‌های پایین‌دست رودخانه، به‌منظور مدیریت و کنترل سیلاب بسیار حائز اهمیت می‌باشد. با توجه به نتایج جدول (۹) مشاهده می‌شود که خطای مدل‌ها در برآورد مقادیر دبی بیشینه تقریباً یکسان بوده و کمترین خطا به مقدار ۲۵/۹۷ درصد مربوط به مدل WNN می‌باشد.

ارزیابی مدل‌ها در پیش‌بینی دبی بیشینه (سیلاب) مقادیر بیشینه دبی به‌دست آمده از بهترین الگوهای مدل‌های مختلف و مقادیر مشاهداتی متناظر آنها به‌همراه قدر مطلق خطای نسبی هر مدل در جدول (۱۰) ارائه شده است. لازم به ذکر است که برای محاسبه خطای نسبی از رابطه (۱۳) استفاده شد. در رابطه مذکور، RE معرف خطای نسبی، Q_c و Q_o به‌ترتیب مقادیر دبی بیشینه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده می‌باشد.

جدول ۱۰- کارایی مدل‌های مورد مطالعه در شبیه‌سازی دبی بیشینه جریان

میانگین قدرمطلق خطا	ماشین بردار پشتیبان	برنامه‌ریزی بیان ژن	شبکه عصبی	موجک-عصبی	ماشین بردار پشتیبان	برنامه‌ریزی بیان ژن	شبکه عصبی	موجک-عصبی	میانگین قدرمطلق خطا
۵۷/۰۰	۳۲/۵۰	۲۹/۱۸	۲۹/۳۷	۳۰/۴۶	۴۱/۲۳	۴۸/۸۱	۴۸/۴۷	۴۶/۵۶	۴۶/۵۶
۴۷/۰۶	۳۶/۵۱	۲۶/۰۷	۳۶/۶۳	۲۷/۴۰	۲۲/۴۲	۲۲/۲۵	۲۲/۱۶	۲۱/۷۸	۴۱/۷۸
۴۲/۰۶	۵۲/۷۵	۵۴/۵۶	۵۱/۶۸	۳۹/۰۲	۲۷/۷۹	۲۹/۷۲	۲۲/۸۷	۷/۲۳	۷/۲۳
۳۷/۸۸	۲۴/۲۹	۲۳/۱۳	۲۴/۲۷	۳۶/۸۸	۳۵/۸۸	۳۸/۹۴	۳۵/۹۳	۲/۶۴	۲/۶۴
۳۷/۲۴	۲۲/۲۰	۲۱/۰۵	۲۲/۱۲	۲۸/۷۷	۴۰/۳۹	۴۲/۴۷	۴۰/۶۰	۲۲/۷۴	۲۲/۷۴
۳۶/۹۰	۳۴/۸۸	۳۴/۳۶	۳۴/۹۹	۲۷/۵۰	۵/۴۷	۷/۱۵	۵/۱۸	۲۵/۴۷	۲۵/۴۷
۳۶/۰۰	۲۸/۸۹	۲۷/۸۴	۲۸/۹۶	۲۳/۸۱	۱۹/۷۵	۲۲/۶۷	۱۹/۵۶	۳۳/۸۶	۳۳/۸۶
۳۵/۹۵	۲۰/۷۳	۱۹/۶۱	۲۰/۶۰	۲۰/۸۵	۴۲/۳۴	۴۵/۴۵	۴۲/۷۰	۴۲/۰۰	۴۲/۰۰
۳۵/۹۰	۳۱/۴۷	۳۰/۵۶	۳۱/۵۵	۳۱/۷۹	۱۲/۳۴	۱۴/۸۷	۱۲/۱۲	۱۱/۴۵	۱۱/۴۵
۲۵/۹۷	۲۷/۷۳	۳۰/۴۹	۲۷/۵۱	۲۷/۵۱	۲۷/۵۱	۳۰/۴۹	۲۷/۷۳	۲۵/۹۷	۲۵/۹۷

نتایج

استفاده قرار گرفت. به‌منظور شبیه‌سازی جریان رودخانه شش الگوی متفاوت تعریف شد. در کلیه مدل‌ها با ترکیب بارش و دبی دقت تخمین جریان روزانه بهبود یافت. چنانچه بیشترین دقت مدل‌ها در ترکیب ورودی رواناب با یک تأخیر زمانی و بارش روزانه فراهم شد. این نشان دهنده تأثیرپذیری زیاد جریان حوضه آبریز دره‌رود

در تحقیق حاضر کارایی مدل‌های مختلف هوشمند در تخمین جریان روزانه رودخانه دره‌رود مورد بررسی قرار گرفت. در این راستا حجم وسیعی از مقادیر دبی و بارش روزانه مشاهداتی طی دوره آماری ۲۶ ساله، در ایستگاه هیدرومتری مشیران واقع بر روی رودخانه مذکور مورد

- 11- Jacovides, C. P. and Kontonyiannis, H. 1995. Statistical Procedures for the Evaluation of Evapotranspiration Computing Models. *Agric. Water Manage.*, 371-365 :27.
- 12- López-Urrea, R., Martín de Santa Olalla, F., Fabeiro, C. and Moratalla, A. 2006. Testing Evapotranspiration Equations Using Lysimeter Observations in a Semiarid Climate. *Agri. Water Manage.*, 26-15 :85.
- 13- Meshram, D. T., Gorantiwar, S. D., Mitral, H. K. and Purohit, R. C. 2010. Comparison of Reference Crop Evapotranspiration Methods in Western Part of Maharashtra State. *J. Agro. meteorol.*, :(1)12 46-44.
- 14- Mohawesh, O. E. 2011. Evaluation of Evapotranspiration Models for Estimating Daily Reference Evapotranspiration in Arid and Semiarid Environments. *Plant Soil Environ.*, 152-145 :(4)57.
- 15- Petkovic', D., Gocic', M., Shamshirband, Sh., Qasem, S. N. and Trajkovic, S. 2016. Particle swarm optimization-based radial basis function network for estimation of reference evapotranspiration. *Theor. and Applied Climat.*, 563-555 :(3) 125.
- 16-Petkovic', D., Gocic', M., Trajkovic, S., Shamshirband, Sh., Motamedi, Sh., Hashim, R. and Bonakdari, H. 2015. Determination of the most influential weather parameters on reference evapotranspiration by adaptive neuro-fuzzy methodology. *Comp. and Elec. in Agric.*, -277 :114 284.
- 17- Shamshirband, Sh., Amirmojahedi, M., Gocic', M. and Akib, Sh. 2016. Estimation of Reference Evapotranspiration Using Neural Networks and Cuckoo Search Algorithm. *J. Irrig. Drain. Eng.*, 142 2)).
- 18- Temesgen, B., Eching, S., Davidoef, B. and Frame, K. 2005. Comparison of Some Reference Evapotranspiration Equations for California. *J. Irrig. Drain. Eng.*, 84-73 :(1)131.
- Trajkovic, S. 2007. Hargreaves Versus Penman-Monteith under Humid Conditions. *J. Irrig. Drain. Eng.*, 42-38 :(1)133.
- 19- Wagner, B., Tarnawski, V. R. Hennings., Müller, V., Wessolek, U., Plagge, R. 2001. Evaluation of pedo-transfer functions for unsaturated soil hydraulic conductivity using an independent data set. *Geoderma*, 297-275 :102.
- 20- Xu, C. Y. and Chen, D. 2005. Comparison of Seven Models for Estimation of Evapotranspiration and Groundwater Recharge Using Lysimeter Measurement Data in Germany. *Hydrol. Processes*, 3734-3717 :19.
- 21- Xu, J. z., Peng, S. H., Luo, Y. F. and Wei, Z. 2009. Influences of angstrom's Coefficients on Estimate on Solar Radiation and Reference Evapotranspiration by Penman-Monteith Equation. *Proceedings of 16th IAHR-APD Congress and 3rd Symposium of IAHR-ISHS. October 2008 23-20, Hohai University, Nanjing, China.*
- 22- Xu, J. z., Peng, S. H., Yang, S. H., Luo, Y. F. and Wang, Y. J. 2012. Predicting Daily Reference Evapotranspiration in a Humid Region of China by the Locally Calibrated Hargreaves-Samani Equation Using Weather Forecast Data. *J. Agr. Sci. Tech.*, 1342-1331 :14.
- 23- Xu, J. Z., Peng, S. Z., Zhang, R. M. and Li, D. X. 2006. Neural Network Model for Reference Crop Evapotranspiration Prediction Based on Weather Forecast. *J. Hydraul. Eng.*, 379-376:(3)37. (in Chinese).

Reference Evapotranspiration Estimation Using Adjusted Locally Coefficient of Angstrom's Radiation Model in an Arid - Cold Region

Published in *Journal of Agricultural Science and Technology* winter2019



Writers:

Majid Raof (Water Engineering Department, University of Mohaghegh Ardabili, Iran.)

Javanshir Azizi Mobaser (Water Engineering Department, University of Mohaghegh Ardabili, Iran.)

References:

- 1- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. and Smith, M. 1998. Crop Evapotranspiration guidelines for Computing Crop Water Requirement. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, PP. 28-20.
- 2- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. and Smith, M. 2006. Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements. *FAO Irrig. and Drain. paper No. 56. pp: 107-98.*
- 3- Antonio, R. P. 2004. The Priestley-Taylor Parameter and the Decoupling Factor for Estimating Reference Evapotranspiration. *Agric. For. Meteorol.*, 313-305 :125.
- 4- Bakhtiari, B., Ghahreman, N., Liaghat, A. M. and Hoogenboom, G. 2011. Evaluation of Reference Evapotranspiration Models for Semiarid Environment Using Lysimeter Measurements. *J. Agr. Sci. Tech.*, 237-223 :13.
- 5- da Silva, V. J., Carvalho, H. D., da Silva, C. R., de Camargo, R. and Teodoro, R. E. F. 2011. Performance of Different Methods of Estimating the Daily Reference Evapotranspiration in Uberlandia, MG. *Biosci. J. Uberlândia*, 101-95 :(1)27
- 6 Doorenbos, J. and Kassam, A. H. 1979. Yield response to water. *FAO Irrig. and Drain. Paper No. 33, FAO, Rome, Italy. 193 pp.*
- 7- Feltrin, R. M., de Paiva, J. B. D., de Paiva, E. M. C. D and Beling, F. A. 2011. Lysimeter Soil Water Balance Evaluation for an Experiment Developed in the Southern Brazilian Atlantic Forest Region. *Hydr. Processes*, 2328-2321 :(15)25.
- 8- Gocic', M., Motamedi, Sh., Shamshirband, Sh., Petkovic', D., Sudheer, Ch., Hashim, R. and Arif, M. 2015. Soft computing approaches for forecasting reference evapotranspiration. *Comp. and Elec. in Agric.*, 173-164 :113.
- 9- Gocic', M., Petkovic', D. and Shamshirband, Sh. 2016. Comparative analysis of reference evapotranspiration equations modelling by extreme learning machine. *Comp. and Elec. in Agric.*, 63-56 :127.
- 10- Hossein, D., Tahei, Y. and Velu, R. 2004. Assessment of Evapotranspiration Estimation Models for Use in Semi-arid Environments. *Agri. Water Manage.*, 106-64:91.

where, ET_0 is the reference evapotranspiration [$mm\ day^{-1}$], R_n is the net radiation at the crop surface [$MJ\ m^{-2}\ day^{-1}$], G is the soil heat flux density [$MJ\ m^{-2}\ day^{-1}$], T is the mean daily air temperature at 2 m height [$^{\circ}C$], u_2 is the wind speed at 2 m height [$m\ s^{-1}$], e_s is the saturation vapor pressure [kPa], e_a is the actual vapor pressure [kPa], $(e_s - e_a)$ is the saturation vapor pressure deficit [kPa], Δ is the slope vapor pressure curve [$kPa\ ^{\circ}C^{-1}$] and γ is the psychrometric constant [$kPa\ ^{\circ}C^{-1}$].

The FAO-56 PM is a physically based approach which requires measurements of air temperature, relative humidity, solar radiation, and wind speed. Net radiation, R_n , is the most important parameter in the calculation of ET_0 by FAO-56 PM (Xu, et al., 2009). Solar radiation, R_s , can be calculated with the Angstrom formula, which relates solar radiation to extraterrestrial radiation and relative sunshine duration as:

$$R_s = \left(a_s + b_s \frac{n}{N} \right) R_a \quad (2)$$

Where, R_s is the solar or shortwave radiation [$MJ\ m^{-2}\ day^{-1}$], n is the actual duration of sunshine [hour], N is the maximum possible duration of sunshine or daylight hours [hour], n/N is the relative sunshine duration [-], R_a is the extraterrestrial radiation [$MJ\ m^{-2}\ day^{-1}$], a_s is the regression constant, expressing the fraction of extraterrestrial radiation reaching the earth on overcast days ($n = 0$), $a_s + b_s$ is the fraction of extraterrestrial radiation reaching the earth on clear days ($n = N$). Depending on atmospheric conditions (humidity, dust) and solar declination (latitude and month), the Angstrom's values a_s and b_s will vary. Where no actual solar radiation data are available and no calibration has been carried out for improving a_s and b_s parameters, the values $a_s = 0.25$ and $b_s = 0.50$ are recommended (Allen et al., 2006). Values for R_a and N for different latitudes are listed in FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56, or could be calculated from related equations. The actual duration of sunshine, n , is recorded with a Campbell Stokes sunshine recorder. Net radiation is measured in some meteorological stations such as Ardabil station. Estimation of various R_s using equation (2), can affect ET_0 values change, because the hypothetical surface with uniform albedo of 0.23 can't be realized in the measurement of net radiation in all climate stations. Based on solar radiation determined with different regimes of a_s and b_s , influence on calculation of ET_0 have been investigated (Xu et al., 2006). Xu et al. (2009) concluded that errors in ET_0 caused by different values of a_s and b_s are not neglectable. Gocic' et al. (2015) indicated that SVM-W (support vector machine-wavelet) is the best methodology for prediction of ET_0 , whereas SVM-Wavelet and SVM-FFA (support vector machine-firefly algorithm) models have higher correlation coefficient as compared to ANN (artificial neural network) and GP (genetic programming) computational methods. Petkovic' et al. (2015) used the neuro-fuzzy inference system (ANFIS) for selection of the most influential reference evapotranspiration (ET_0) parameters. They concluded that, among the input variables, sunshine hours, actual vapor pressure, and minimum air temperature are the most influential for ET_0 estimation. In another research, Petkovic' et al. (2016) showed that the radial basis function network with particle swarm optimization (RBFN-PSO) had better statistical

ABSTRACT

Acceptable estimation of reference Evapotranspiration (ET_0) values by the Penman-Monteith FAO (PM FAO) equation require to precision solar radiation (R_s) data. R_s values could be estimated using the Angstrom's radiation model. The aim of this study is determining the a_s and b_s coefficient (a_s Angstrom's parameters) for the Ardabil plain as an arid and cold region. Angstrom's radiation model and PM FAO equation were calibrated for the study area, by optimizing the a_s and b_s parameter using Generalized Reduced Gradient (GRG) method. Measured R_s data were prepared from the Ardabil synoptik station and measured ET_0 data were collected using three lysimeters that installed at the Hangar research station. Calibrated results showed that optimized a_s and b_s values were calculated 0.117 and 0.384, respectively. Errors including RMSE, AE and RE values were decreased and fitted parameters, including R^2 and regression line slope (m) were improved in calibrated models respect to those original models. The GMER values for the original models showed that Angstrom's radiation model overestimated the R_s values and PM FAO equation underestimated the ET_0 values. Locally calibrated models were estimated R_s and ET_0 values better than those original one. Nash-Sutcliffe efficiency coefficient (NSE) values proved that R_s and ET_0 estimation are not satisfied for original models, but are satisfied for calibrated models. However calibrating of Angstrom's radiation model and PM FAO equation are required for each region.

Keywords: Evapotranspiration, Penman-Monteith, Calibration, Validation, Lysimeter, Ardabil

INTRODUCTION

Accurate estimates of actual evapotranspiration are a prerequisite for real time irrigation forecasting (Doorenbos and Kassam 1979). Lysimeters have been used to analyze precipitation (P), drainage water, root water uptake, and also to determine actual evapotranspiration (ET_a) (Young et al., 1996; Bakhtiari et al. 2011). Specific devices and lysimeters are required to determine evapotranspiration, various physical parameters and soil water balance (Allen et al., 2006). The estimation of crop evapotranspiration (ET_c) often involves calculating the reference evapotranspiration (ET_0) (Xu et al., 2012). Reference evapotranspiration (Grass) is defined as the evapotranspiration rate from a hypothetical crop with an assumed height of 0.12 m, a fixed surface resistance of $70\ s.m^{-1}$, and an albedo of 0.23. The only factors affecting ET_0 are climatic parameters. Consequently, ET_0 is a climatic parameter and can be computed from weather data (Allen et al., 1998). The FAO Penman-Monteith combination equation (FAO56- PM Equation) was proposed as a standard method for estimating reference evapotranspiration, and for evaluating other equations. It is accepted worldwide as the optimum method and the standard for evaluating other methods (e.g., Jacovides and Kontonyiannis, 1995; Antonio, 2004; Hosseinet al., 2004; Xu and Chen, 2005; López- Urrea et al., 2006; Trajkovic, 2007; Meshram et al., 2010; da Silva et al., 2011; Mohawesh, 2011).

From the original Penman-Monteith, the aerodynamic and surface resistance equations, the FAO Penman-Monteith method to estimate ET_0 can be derived as (Temesgen, et al., 2005):

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

Table 1. Statistics of observed meteorological data.

Statistic parameters		T _{max} (°C)	T _{min} (°C)	T _{avg} (°C)	RH _a (%)	R _s (MJ/m ² .day)	n (hr)	u ₂ (m/s)
Calibration period (22 July 2014 to 13 September 2014)	Maximum	40.4	16.2	29.9	96	7.63	13	7.37
	Minimum	15.4	6.2	12.6	22.6	0.81	0.2	1.25
	Average	26.43	11.4	19.1	61.58	6.17	9.89	3.46
	Cv (%)	19.53	20.43	16.61	27.51	23.64	34.48	42.2
Validation period (14 September 2014 to 10 October 2014)	Maximum	29	16.2	20.2	97.12	5.93	11.2	9.12
	Minimum	10.4	3.4	8.5	37.62	1.59	0.2	0.62
	Average	22.26	8.5	14.83	72.76	4.09	6.75	3.06
	Cv (%)	37.16	20.56	18.72	19.27	33.17	46.05	70.2

Lysimeters Characteristics

Three lysimeters were installed to determine the water balance equation, estimate reference evapotranspiration, and calibrate Angstrom's Radiation Model (determining the as and bs coefficients) in Hangar Farm site. Sectional drawing of a lysimeter is illustrated in Figure 2. Dimensions of each lysimeter were 60 cm diameter and 90 cm height. To measure the water content changes in each lysimeter, 6 sensors (gypsum block) were installed at depth of ,25 ,15 ,5 60 ,40 and 80 cm, from the soil surface. To measure soil moisture, it is necessary that the resistance of the gypsum

blocks is measured, then, the values of the block resistance are converted to soil moisture using a calibration curve. Blocks resistance data was measured at 10:00 AM and 18:00 PM every day using an ELE-MC302 soil moisture instrument. Drained water was collected in a drainage tank located under the lysimeters and was measured two times every day, the same as blocks resistance.

blocks is measured, then, the values of the block resistance are converted to soil moisture using a calibration curve. Blocks resistance data was measured at 10:00 AM and 18:00 PM every day using an ELE-MC302 soil moisture instrument. Drained water was collected in a drainage tank located under the lysimeters and was measured two times every day, the same as blocks resistance. In the lysimeters, grass was planted, as reference crop, on 22 July, 2015, and irrigated every 3 days, according to the lysimeters soil type. Given that the purpose of this study was to measure potential evapotranspiration, the irrigation interval was chosen to avoid plant stress. For irrigation intervals of 3 days, soil type did not create restrictions. Figure 2 illustrates schematic of lysimeters and its devices.

To calculate soil water storage, lysimeters soil was divided into 6 layers, including the depth of 70-50 ,50-32.5 ,32.5-20 ,10-0 ,10-0, and 90-70 cm, according to the depth of installation of gypsum blocks (at depths of 60 ,40 ,25 ,15 ,5 and 80 cm). The value of the soil water content was obtained for each of the layers using the gypsum blocks data. To determine some soil physical and hydraulic properties, three disturbed and three undisturbed soil sample were taken. The total soil water

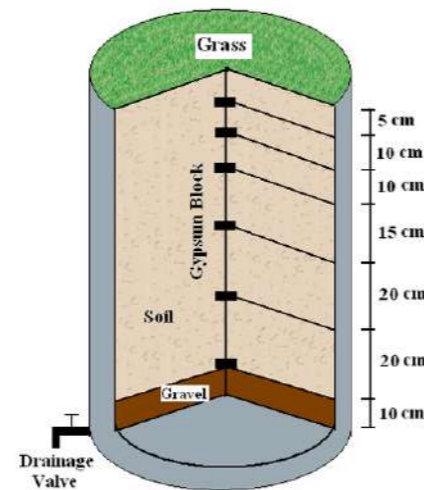


Figure 2. Sectional drawing of a lysimeter used for ET0 measurement.

characteristics than radial basis function network with back propagation (RBFN-BP) and could be helpful for the ET0 estimation. Shamshirband et al. (2016) indicated that combination of adaptive neuro fuzzy interference system (ANFIS) and cuckoo search algorithm (CSA) could be used for ET0 estimation with high reliability. Gocic´ et al. (2016) used the extreme learning machine (ELM) for estimating monthly reference evapotranspiration (ET0) in two weather stations including Nis and Belgrade, Serbia. Results showed that adjusted Hargreaves model was found to be superior in modeling monthly ET0 than the Priestley-Taylor and Turc models.

The main aim of this study was to investigate the effect of different values of Angstrom's coefficients for estimation of solar radiation and ET0 in Ardabil plain as an arid and cold region, using lysimeter data.

MATERIALS AND METHODS

Site Description

This study was conducted in Ardabil plain(38° , 10 to 38° ,15 N, 48° ,15 to 48° ,20 E and 1350 m elevation above the sea). The Ardabil climate station (38° ,15 N, 48° ,17 E) was selected as a typical climate station in an arid and cold region in northeast of Iran (Figure 1). Experimental site was located at Hangar Farm of Mohagheh Ardabili University. The annual mean precipitation rate, average minimum monthly temperature, and average maximum monthly temperature through 1995 to 2015 were obtained as 280.9 mm, 2.4 °C, and 15.07 °C, respectively. For the following two reasons, the length of the study period was considered 81 days. 1. The growth period of the grass is 45 days and then the cutting period. Thus, the earliest 45 days were the growth period, and the end 36 days were the cutting period. 2. Snow in early November (Aban) led to the completion of the study period.

At the study period, the averages of minimum (Tmin) and maximum air temperature (Tmax), daily sunshine hour (n), actual relative humidity (RH_a), solar radiation (R_s), and wind speed (v) were 10.43 °C, 25.04 °C, 8.85 hr, 5.25 ,%65.31 mm/day and 3.33 m/s, respectively. Statistical parameters of the observed meteorological data from 22 July, 2014, to 10 October, 2014, (calibration and validation periods) are listed in Table 1.

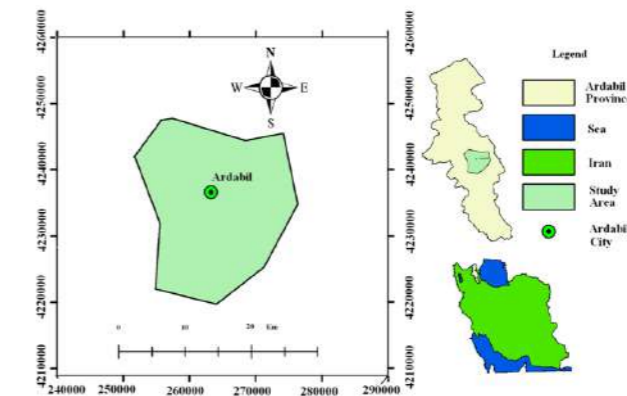


Figure 1. Location of study area.

Results were categorized into four groups by analysis of the relative error using the following criteria (Xu et al., 2009): RE <10% indicates very good, 10% < RE < 15% indicates good, 15% < RE < 20% indicates acceptable, and RE > 20% indicates poor result. To evaluate the overestimation or underestimation of Angstrom's radiation model and PM FAO equation, geometric mean error ratio (GMER) were also used as follows:

$$GMER = \exp\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln\left(\frac{O_i}{P_i}\right)\right) \quad (10)$$

If predicted values were equal to observed values, GMER reach unity. A GMER > 1 indicates overestimation and GMER < 1 shows underestimation of the mentioned values (Wagner et al., 2001). In all evaluation equations (Equations 6 to 10), O_i and P_i represent the observed and predicted data, respectively.

RESULTS AND DISCUSSION

Soil Properties and Water Balance

Results from the granulometric analysis of the samples collected at the site of the lysimeters installation are shown in Table 2. The amount of sand percentage, which was over 60% of the total in all lysimeters, caused soil available water to decrease and drained water to increase. Some soil hydraulic properties that determine the soil available water are illustrated in Table 3. Total soil available water was 140 mm/m, as calculated from the field capacity and permanent wilting point water content. Volumetric soil water content changes in depth of 60, 40, 25, 15, 5 and 80 cm and water storage in the period are shown in Figure 3. In this figure, increase in water content indicates irrigation (wetting trend) and decrease in the water content indicates soil water extraction (drying trend). Because evaporation is more intense in the surface layer, for the depth of 5 and 15 cm, water content changes more rapidly than other depths. The positive and negative values of water storage represent the frequent addition and depletion of water in the lysimeters.

Evaluation of Estimated R_s and ET_0 during the Entire Period

Daily radiation values estimated by the Angstrom's radiation model and daily ET_0 values estimated by the PM FAO equation compared with the measured data are illustrated in Figures 4 and 5, respectively, in which R_s and ET_0 values are also shown around the 1:1 (one to one) line. Regression equation has been derived between the measured and estimated R_s and ET_0 with zero interception. The radiation values in warm

Table 2. Some soil physical properties of the study site.

Parameter	Particle Density (gr/m ³)	Bulk density (gr/m ³)	Total Porosity (%)	Granulometry			Texture Class
				Clay (%)	Silt (%)	Sand (%)	
Mean	2.4235	1.225	49.45	6.67	31.47	61.87	Sandy
Standard Deviation	0.0456	0.0925	3.203	0.9428	2.494	2.944	
CV	0.02	0.07	0.06	0.14	0.08	0.04	Loam

storage was determined by the sum of storage in each of the considered layers (Equation 3) (Feltrin et al., 2011):

$$S = \int_0^L \theta dz \approx \sum_{i=1}^n \theta \Delta z = \theta L \quad (3)$$

Where, S is the soil water storage (mm), theta is the volumetric soil water content (cm³/cm³), L is the total soil depth (mm), and n is the number of layer. Thus, the change in soil water storage was determined by the difference between the values of the soil water content obtained in the final and initial time of each period (daily period), using equation 4:

$$\Delta S = S_f - S_i \quad (4)$$

Where, ΔS is the change in soil water storage (mm), S_i and S_f are the initial and final soil water storage (mm), respectively. The water balance equation of the lysimeters was used to calculate the grass evapotranspiration (ET_0). The evapotranspiration was obtained by the difference between the soil water inputs and outputs (Equation 5):

$$ET = P - D \pm \Delta S \quad (5)$$

Where, ET is the evapotranspiration (mm), P is the rainfall (mm), D is the drainage (mm), and ΔS is the change in soil water storage (mm).

PM FAO Equation: Calibration and Validation

The coefficients a_s and b_s , with the original values of 0.25 and 0.5, respectively, should be determined according to the local calibration. Based on observed evapotranspiration data from 22 July to 13 September, 2014, local calibration was performed to determine the values of coefficients a_s and b_s through nonlinear multiple regression for the ET_0 calculated using the FAO-56 PM equation and measured ET_0 . The nonlinear multiple regressions were realized using the Solver extension of Excel software with Generalized Reduced Gradient method (GRG). The locally calibrated PM FAO equation was validated for the data from 14 September to 10 October 2014, by comparing the results with the measured data. For evaluation of the ET_0 calculated by PM FAO equation relative to the measured data, firstly, the calculated and measured data were plotted around the 1:1 line. Linear regressions with zero interception were made, and slopes and determination coefficients (R^2) were calculated.

Statistical Analysis

In the present study, root mean square error (RMSE), average absolute errors (AE), Nash-Sutcliffe efficiency coefficient (NSE) and relative error (RE), were used to evaluate the Angstrom's radiation model (in estimation of R_s) and PM FAO equation (in estimation of ET_0), derived from different values of a_s and b_s coefficient. Statistical parameters were calculated using the following expressions:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2} \quad (6)$$

$$AE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (|O_i - P_i|) \quad (7)$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (8)$$

$$RE = \frac{\sum_{i=1}^n |O_i - P_i|}{\sum_{i=1}^n O_i} \times 100 \quad (9)$$

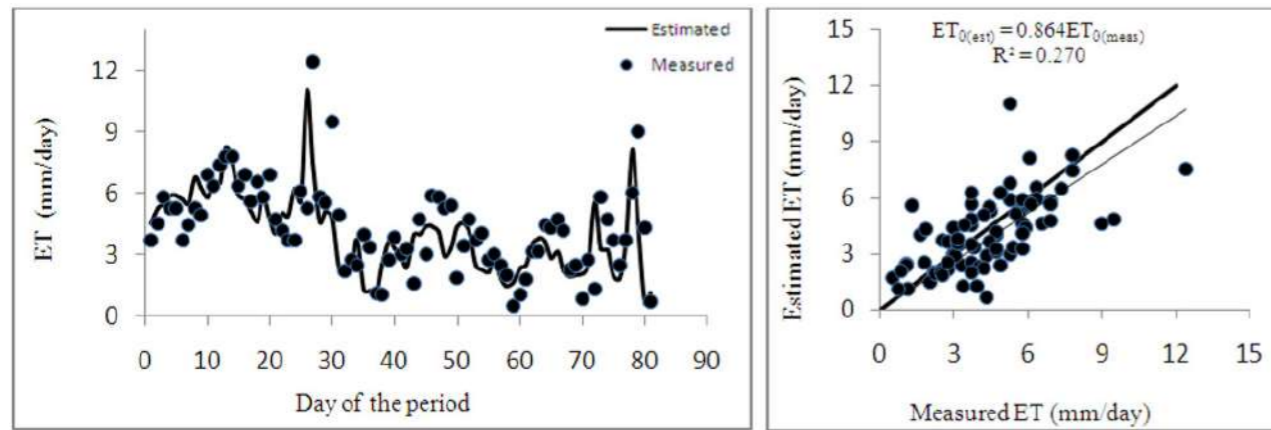


Figure 5. Daily ET₀ values estimated by the PM FAO equation compared with the measured data, before local calibration (during the entire period and around the 1:1 line)

Table 4. Statistical parameters of Angstrom’s radiation model and PM FAO equation before local calibration.

Angstrom’s radiation model			PM FAO equation		
Parameter	Value	Explanation	Parameter	Value	Explanation
R ² (-)	0.861	Acceptable	R ² (-)	0.27	Non acceptable
M (line slope) (-)	1.475	Non acceptable	M (line slope) (-)	0.864	Non acceptable
RMSE (mm/day)	2.882	High	RMSE (mm/day)	1.778	High
AE (mm/day)	2.688	High	AE (mm/day)	1.342	High
NSE (-)	-0.114	Non satisfied	NSE (-)	0.291	Non satisfied
RE (%)	49.061	Poor	RE (%)	30.96	Poor
GMER (-)	0.656	Overestimated	GMER (-)	1.054	Underestimated

Value of R² is acceptable for radiation model, but it is small for PM FAO equation. For ET₀ values, points are very far from 1:1 line. In Table 4, M values represent the slope of the fitted line between the measured and estimated data with zero interception. The value of M close to one indicates high accuracy of the model. For both models, Nash-Sutcliffe efficiency coefficient (NSE) values are not acceptable, because NSE of both models is less than 0.36. This parameter is better for ET₀ estimation than for R_s estimation. The GMER values showed that the Angstrom’s radiation model overestimated the R_s values, but PM FAO equation underestimated the ET₀ values. R_s overestimation and ET₀ underestimation related to parameters of those equations. In the study period, the average of overestimation of R_s is 2.69 mm/day, corresponding to a relative difference of approximately 49.06 % with respect to measured R_s data. The average of underestimation of ET₀ is 0.29 mm/day, corresponding to a relative difference of approximately 6.66 % with respect to measured ET₀ data. These overestimation and underestimation could not be ignored.

Local Calibration and Validation

Local calibration of Angstrom’s radiation model and then PM FAO equation was carried out using two third of the entire data, including 54 days. Calibration was performed by optimization of Angstrom’s a_s and b_s coefficients using the Solver extension of Excel software with Generalized Reduced Gradient (GRG) method. Local a_s and b_s coefficients were obtained equal to 0.117 and 0.384, respectively. To validate the models, values of R_s and ET₀, were estimated using calibrated

Table 3. Some soil hydraulic properties of the study site.

θ _r (cm ³ /cm ³)	θ _{FC} (cm ³ /cm ³)	θ _s (cm ³ /cm ³)	K _s (cm/day)	α (-)	n (-)
0.1226	0.2626	0.4945	281.6	0.01556	1.76466

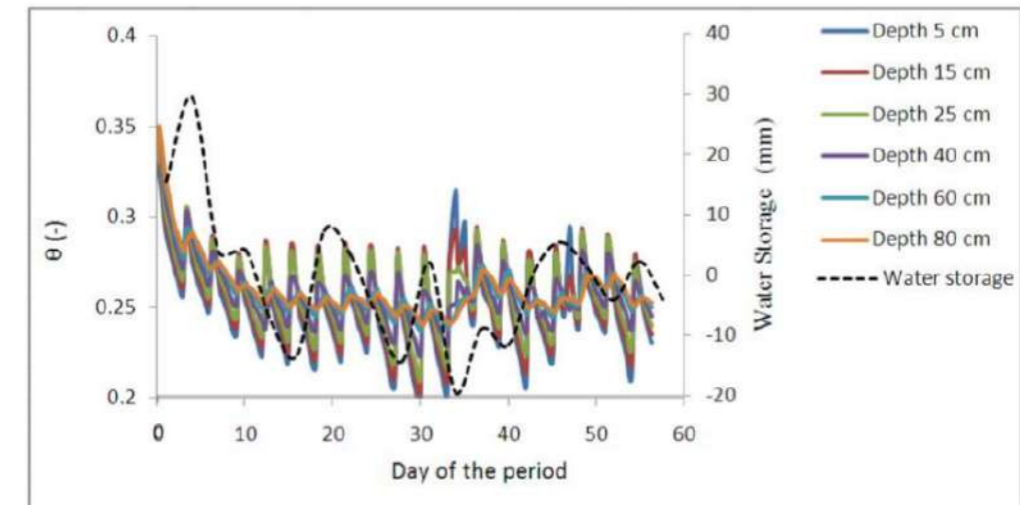


Figure 3. Volumetric soil water content changes in depth of 60 ,40 ,25 ,15 ,5 and 80 cm and daily water storage.

days are greater than cold days. According to Figures 4 and 5, measured daily radiation values fluctuated between 0.81 and 7.63 mm/day and measured evapotranspiration (ET₀) values fluctuated between 0.54 and 12.42 mm/day. Before local calibration and validation (with a_s=0.25 and b_s=0.75, recommended by FAO), the PM FAO model had a high error and therefore the model must be calibrated and validated locally. Statistical parameters of Angstrom’s radiation model and PM FAO equation estimation are showed in Table 4. In both R_s and ET₀ estimation with a_s and b_s coefficient recommended by FAO, results are not satisfactory. The RMSE, AE, and RE, which explain the error between the measured and estimated parameters, have high values, indicating that Angstrom’s radiation model and PM FAO equation require calibration in each region.

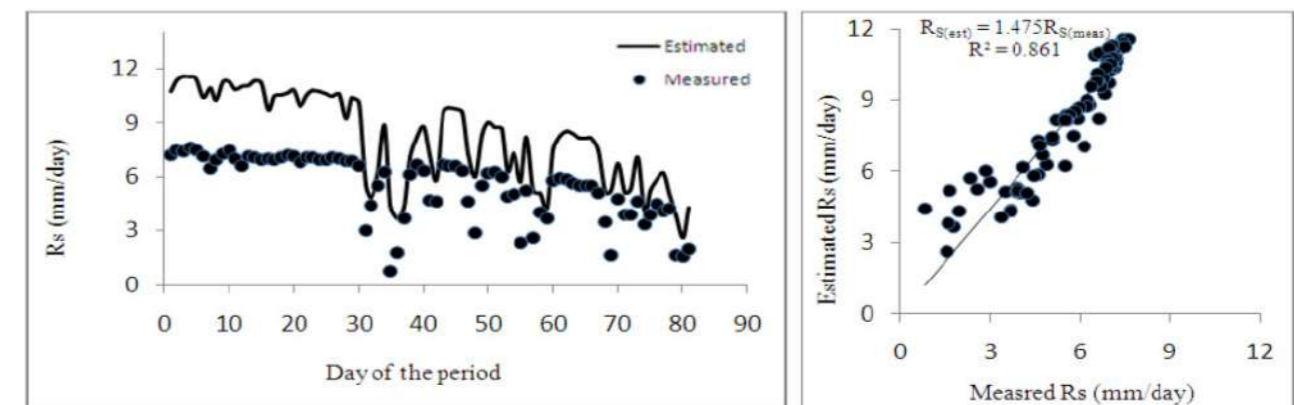


Figure 4. Daily radiation values (R_s) estimated by the Angstrom’s radiation model compared with the measured data, before local calibration (during the entire period and around the 1:1 line)

CONCLUSION

For an arid-cold region, the Angstrom's radiation model and the PM FAO equation

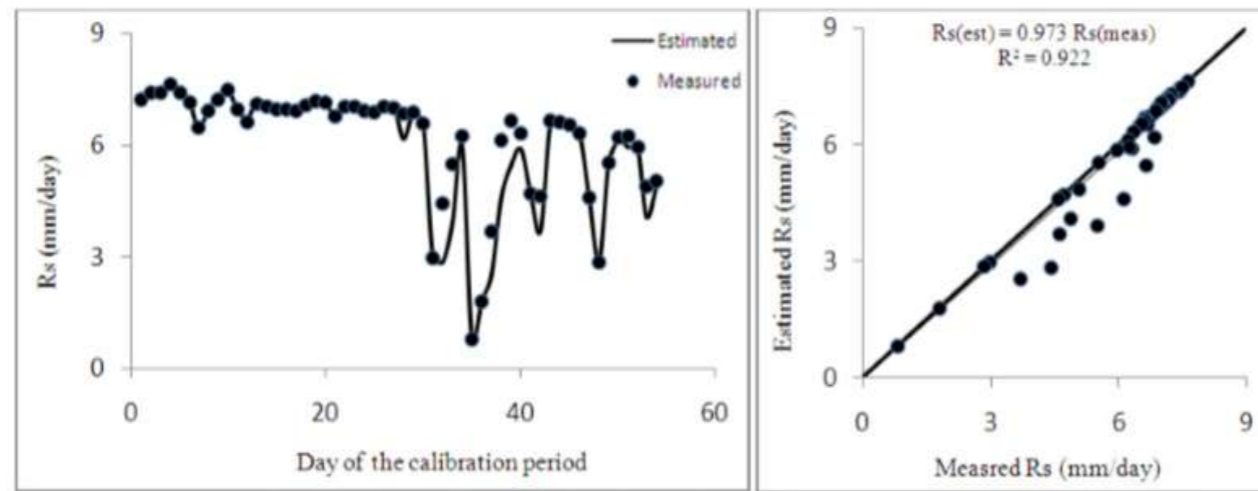


Figure 6. Daily Rs values estimated by the locally calibrated Angstrom's radiation model compared with the measured data (during the calibration period and around the 1:1 line)

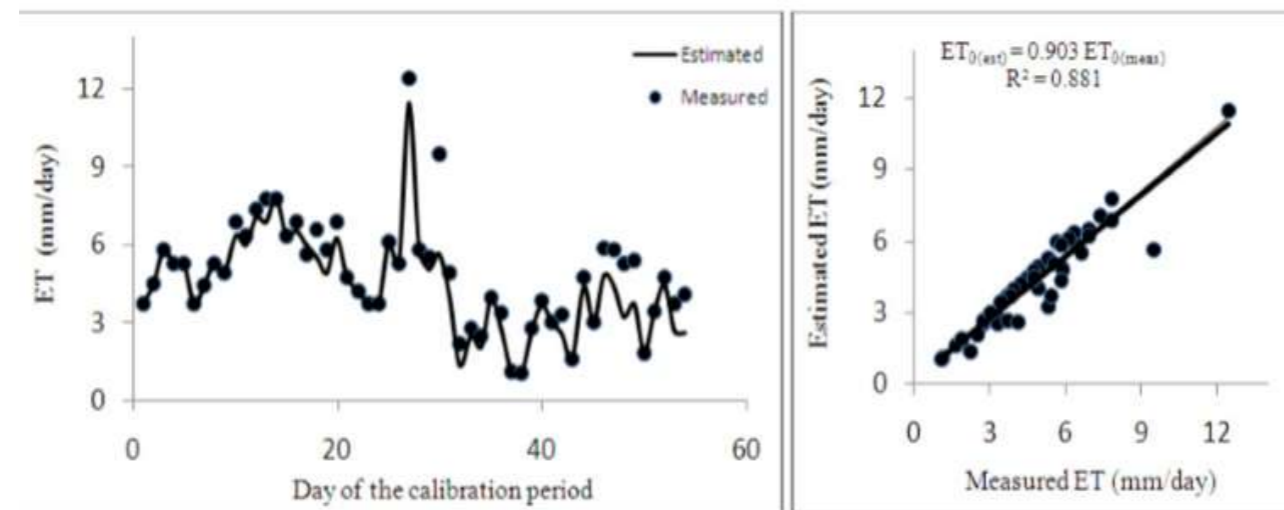


Figure 7. Daily ET0 values estimated by the locally calibrated PM FAO equation compared with the measured data (during the calibration period and around the 1:1 line)

Table 5. Statistical parameters of locally calibrated Angstrom's radiation model and PM FAO equation in the calibration stage.

Angstrom's radiation model			PM FAO equation		
Parameter	Value	Explanation	Parameter	Value	Explanation
R ² (-)	0.922	Acceptable	R ² (-)	0.881	Acceptable
M (line slope) (-)	0.973	Acceptable	M (line slope) (-)	0.903	Acceptable
RMSE (mm/day)	0.483	Low	RMSE (mm/day)	0.818	Low
AE (mm/day)	0.215	Low	AE (mm/day)	0.447	Low
NSE (-)	0.891	Satisfied	NSE (-)	0.838	Satisfied
RE (%)	3.483	Very good	RE (%)	9.183	Very good
GMER (-)	1.045	Underestimated	GMER (-)	1.101	Underestimated

radiation and ET0 equation for one third of the entire data, including 27 days. Coefficients as and bs in the current study are much smaller than the original value suggested by Allen et al. (2006) and Xu et al. (2009).

Evaluation of Estimated Rs and ET0 during the Calibration and Validation Periods

Coefficients as and bs were estimated in Ardabil plain as an arid-cold region to improve results of Angstrom's radiation model and PM FAO equation for estimation of Rs and ET0. In the calibration step, the values of as and bs were determined as 0.117 and 0.384 for the study region. The Rs and ET0 values were re-calculated with these new values of as and bs. For calibration step, estimated daily radiation values compared with those measured one are illustrated in Figure 6. Estimated daily ET0 values compared with the measured data, also, are illustrated in Figure 7. The statistical parameters of the Angstrom's radiation model and PM FAO equation, related to the calibration step, are given in Table 5. Validation of the model was carried out with 27 data. The values obtained from the calibration step, were used in the validation step. The values of ET0 and Rs obtained in the validation step are shown in Figures 8 and 9, respectively. The statistical parameters of the Angstrom's radiation model and PM FAO equation, related to the validation step, are also given in Table 6. Comparing the results of the original Angstrom's radiation model and original PM FAO equation with those locally calibrated showed that the errors (RMSE, AE and RE) were decreased and the fitted parameters (M, R2 and NSE) were improved. In estimation of Rs, the RMSE, AE and RE decreased 2.427 mm/day, 2.381 mm/day and %42.041, respectively. In estimation of ET0, the RMSE, AE and RE also decreased 1.01mm/day, 0.895 mm/day and %16.246, respectively. The R2 values in validation step were increased compared to before calibration from 0.861 to 0.935 for Rs model and from 0.27 to 0.877 for ET0 equation, indicating that the ET0 estimation improved highly. The GMER values in different stages proved that underestimation or overestimation of Rs and ET0 decreased in locally calibrated models and caused the line slopes (M) reach near unity and the points were perched in around the 1:1 line in Figures 6 to 9. If NSE values reach values more than 0.36, the efficiency of the model will be satisfactory. In locally calibrated models, compared to the original models, the NSE values were increased from 0.114- to 0.887 in Rs model and from 0.291 to 0.809 in ET0 model. The RE value and its criteria showed that the original Angstrom's radiation model and the original PM FAO equation have poor accuracy, whereas the locally calibrated ones have very good and good accuracy, respectively.

with original recommended angstrom's coefficients were evaluated. The capabilities to estimate Rs and ET0 values were examined using some statistical parameters. Both original models had low accuracy in estimation of Rs and ET0 values. Originals Angstrom's radiation model overestimated and original PM FAO equation underestimated the values of daily Rs and ET0, respectively. Therefore, local calibration of both models was performed in Ardabil plain using the measured Rs and ET0 values. Three lysimeters were installed at the study site to measure ET0 values. To optimize the as and bs parameters, the GRG optimization method from the Solver extension of Excel software was used. To calibrate the Angstrom's radiation model and PM FAO equation, as and bs coefficients were determined by using the Solver extension of Excel software. The values of as and bs were determined as 0.117 and 0.384 for the study region (compared to 0.25 and 0.5 as original values). The errors of Angstrom's radiation model and PM FAO equation were decreased and the fitted parameters were increased by local calibration of the models. By using the new values of as and bs (using calibrated models), the estimates for Rs and ET0 improved and the accuracy of the models increased. Therefore, the calibration of Rs and PM FAO models is essential for each region.

ACKNOWLEDGMENT

The authors are grateful to University of Mohaghegh Ardabili for the financial resource provided for the research project titled "Determination of Reference Evapotranspiration in Ardabil plain using the lysimeter data".

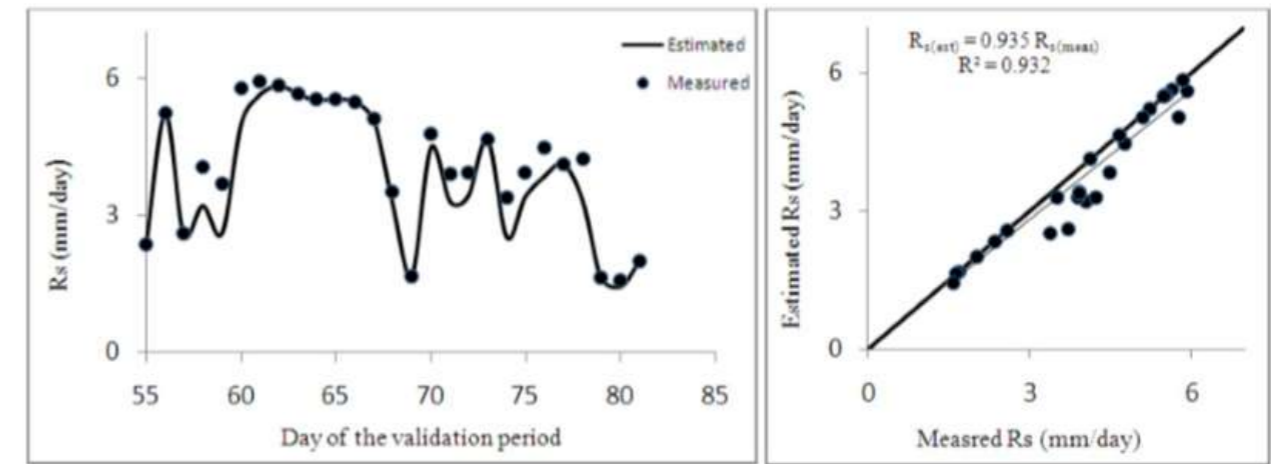


Figure 8. Comparing the estimated Rs values with the measured data in validating the locally calibrated Angstrom's radiation model

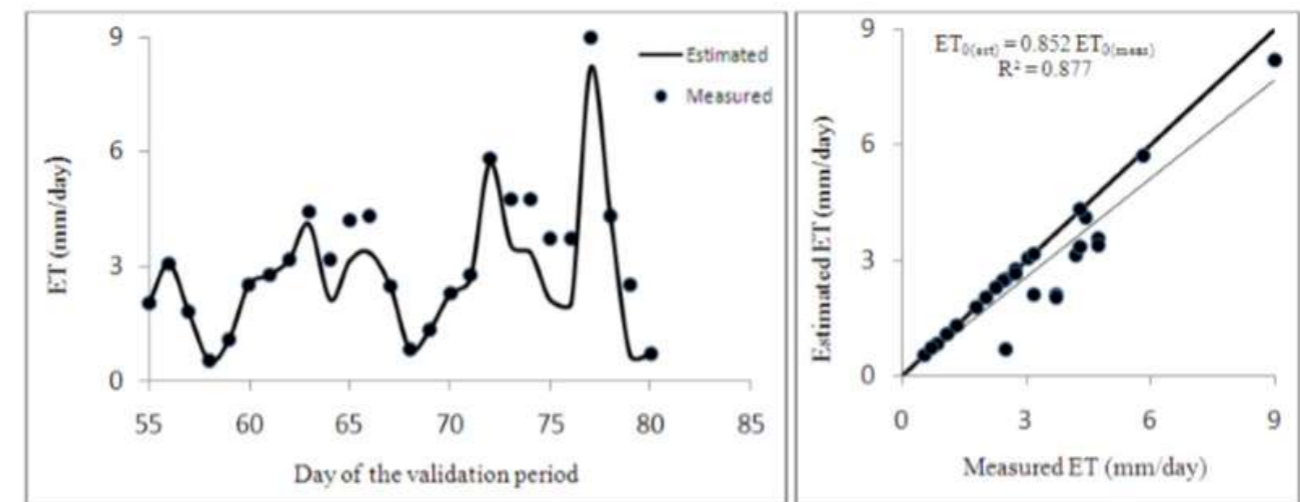


Figure 9. Comparing the estimated ET0 values with the measured data in validating the locally calibrated PM FAO equation

Table 6. Statistical parameters of locally calibrated Angstrom's radiation model and PM FAO equation in the validation stage.

Angstrom's radiation model			PM FAO equation		
Parameter	Value	Explanation	Parameter	Value	Explanation
R ² (-)	0.935	Acceptable	R ² (-)	0.877	Acceptable
M (line slope) (-)	0.932	Acceptable	M (line slope) (-)	0.852	Acceptable
RMSE (mm/day)	0.455	Low	RMSE (mm/day)	0.768	Low
AE (mm/day)	0.287	Low	AE (mm/day)	0.447	Low
NSE (-)	0.887	Satisfied	NSE (-)	0.809	Satisfied
RE (%)	7.02	Very good	RE (%)	14.714	Good
GMER (-)	1.083	Underestimated	GMER (-)	1.171	Underestimated

Book and Software introduction



Attention:

You can download files by scanning qr code.

معرفی کتاب و نرم افزار

توجه:

با اسکن QR code می توانید فایل هارا دریافت کنید

معرفی کتاب



گردآورنده:

مهسا حسنیپور کاشانی (استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه محقق اردبیلی)

مدیریت سیلاب شهری

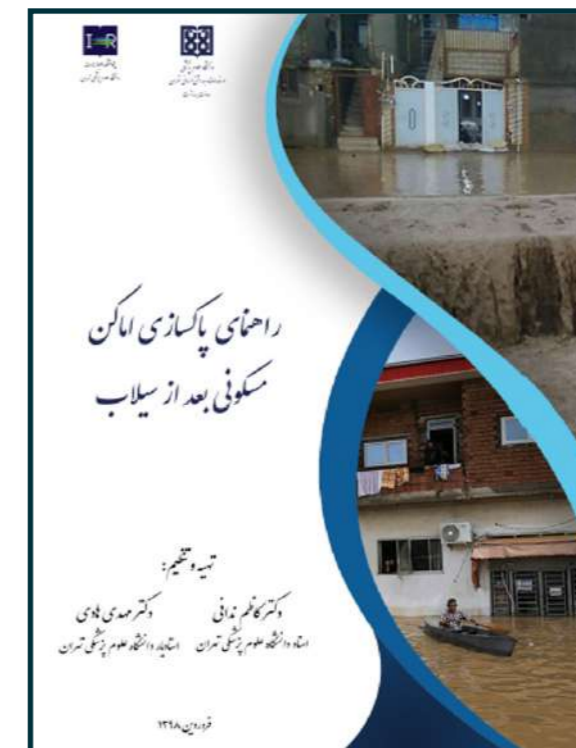
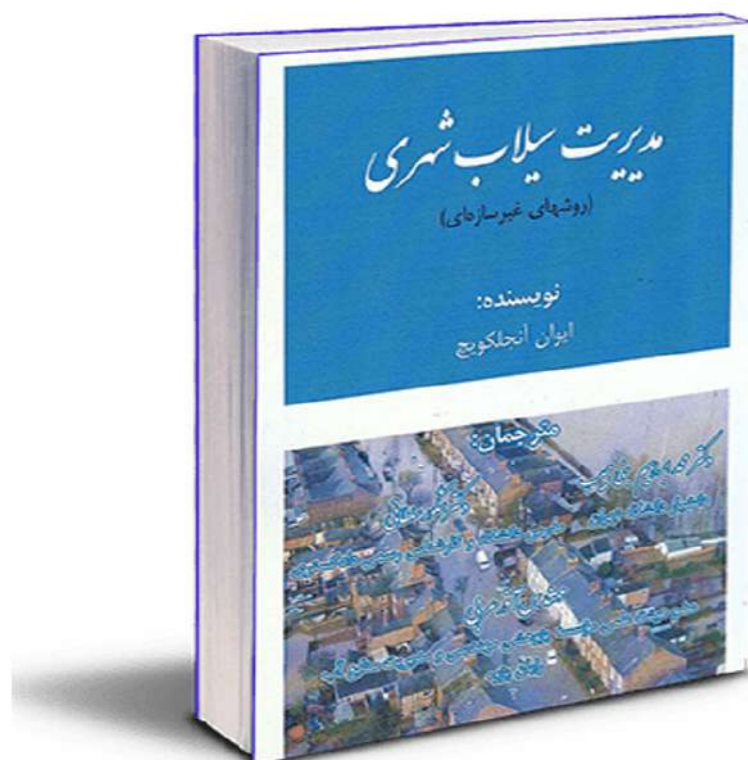
کتاب «مدیریت سیلاب شهری» (روش‌های غیر سازه‌ای) نوشته ایوان آنجلکوویچ در ۱۳۶ صفحه از سوی انتشارات البرز فردانش منتشر شده است. این کتاب توسط محمد ابراهیم بنی حیب، عضو هیأت علمی دانشگاه تهران؛ شکور سلطانی، مدرس دانشگاه و کارشناس رسمی دادگستری؛ و آذر عربی، عضو هیأت علمی موسسه پژوهشی مهندسی مدیریت منابع آب رایان پژوه، به فارسی ترجمه شده است. این کتاب شامل یازده فصل است که شامل منشأ، وضعیت و دورنمای سیل، مدیریت یکپارچه سیل شهری، تسکین سیل، سیاست‌های کاربری اراضی و توسعه، پیش‌بینی و هشدار سیل، مدیریت بلایای طبیعی، ضد سیلاب کردن، مسائل حقوقی و نهادی، مشارکت همگانی مستقیم، تأمین مالی مدیریت سیل و اثرات محیطی سیل‌زدگی می‌باشد.

منشأ سیلاب در شهرها، بالارفتن سطح آب در رودخانه‌های بزرگ هم‌جوار می‌باشد که این امر خود ناشی از تغییرات شدید آب و هوایی و یا وقوع رگبارهای گسترده در سطح مناطق شهری است. این عوامل منجر به وارد آمدن خسارات فیزیکی و نیز بوجود آمدن آلودگی در نتیجه جاری شدن سیلاب شهری می‌شود. مولف این کتاب در پیش‌گفتار آن نوشته است: مخاطبان اصلی این راهنما، متخصصان بخش دولتی در همه سطوحی هستند که اقدامات مربوط به تسکین سیلاب و برنامه‌ریزی آن را به عهده دارند. مهندسان مشاور، برنامه‌ریزان شهری، مدرسان و قانون‌گذاران نیز ممکن است بتوانند از این راهنما به منظور گسترش دامنه کار خود به طور مفید استفاده کنند. از ویژگی‌های برجسته این کتاب، تأکید آن بر مسائل غیرسازه‌ای در مدیریت سیلاب همچون ارتباطات، اثرات اجتماعی سیل‌زدگی، مشارکت عمومی و آموزش و اطلاع رسانی همگانی است.

راهنمای پاکسازی اماکن مسکونی بعد از سیلاب

این کتاب کم حجم ولی مهم، بدلیل وقوع سیلاب‌های عظیم در بخش‌هایی از کشورمان در ابتدای سال ۹۸ در سریع‌ترین زمان ممکن توسط دکتر کاظم ندافی و مهدی هادی از اساتید دانشگاه علوم پزشکی تهران تهیه و تنظیم گردیده است. یکی از مهمترین نگرانی‌ها بعد از وقوع سیلاب در مناطق مسکونی، بروز آسیب‌های جدی به اماکن مسکونی، وسایل و تجهیزات موجود در این اماکن است. در اغلب موارد، اماکن و تجهیزات به طور کلی غیر قابل استفاده شده و یا در صورتی که قابلیت استفاده مجدد داشته باشند به دلیل خیس خوردگی و آلوده شدن آنها به عوامل آلاینده میکروبی، بایستی با روش‌های مناسب و با در نظر گرفتن الزامات بهداشتی پاکسازی و ضدعفونی آنها انجام و سپس مورد استفاده مجدد قرار گیرند.

در این راهنما سعی شده است تا برخی از نکات مورد توجه در خصوص نحوه پاکسازی اماکن مسکونی به زبان ساده در اختیار آسیب‌دیدگان ناشی از سیل قرار گیرد تا میزان نگرانی‌های بهداشتی در استفاده مجدد از این اماکن تا حد ممکن کاهش یابد.



معرفی نرم افزار Hydrus-1D

گردآورنده:

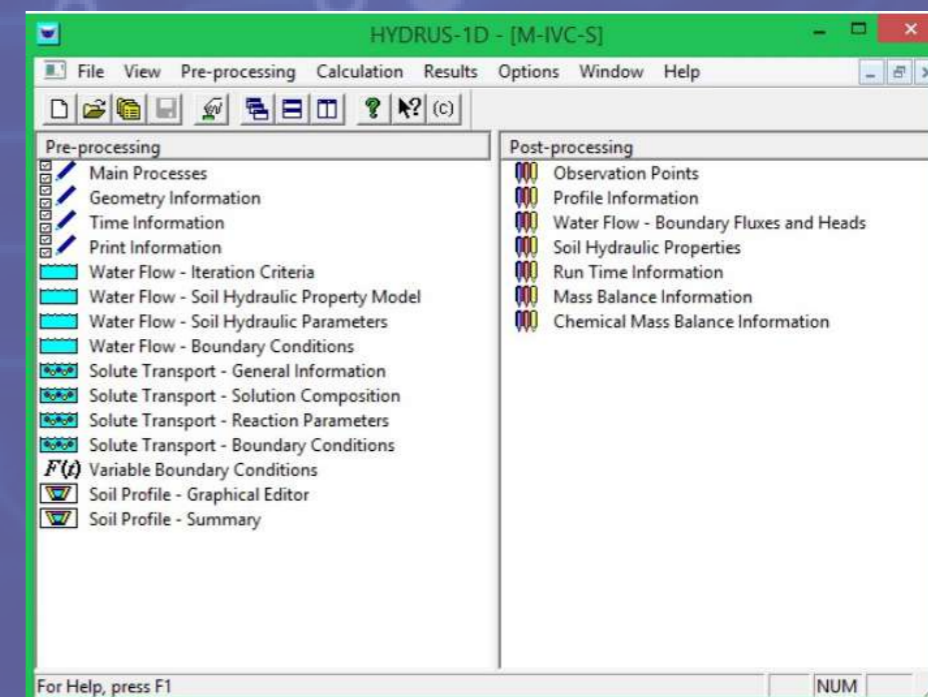
مهران محمدی (دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب دانشگاه محقق اردبیلی)



Hydrus 1D مدلی با پایه ویندوز و پیشرفته می باشد که در ارتباط با آنالیز انتقال یک بعدی آب، املاح و گرما و همچنین جذب ریشه ای در محیط های متخلخل است. این مدل توسط سیمیونک و همکاران در آزمایشگاه شوری خاک آمریکا بسط داده شده است. نرم افزار Hydrus قادر است حرکت یک، دو و سه بعدی آب، املاح، حرارت، جذب آب توسط ریشه و همچنین رشد ریشه را در شرایط اشباع و غیر اشباع در خاک را شبیه سازی کند. همچنین نرم افزار Hydrus توانایی تخمین ویژگی های هیدرولیکی و انتقال املاح خاک به روش معکوس را دارد. این نرم افزار از معادله ریچاردز برای حل معادلات حاکم بر جریان آب در خاک استفاده می کند.

آشنایی با محیط نرم افزار

برای فراخوانی محیط این نرم افزار دو بار کلیک کنید. پنجره ای مطابق شکل زیر نشان داده می شود. این پنجره از پنج قسمت نوار عنوان، نوار منو، نوار ابزار، صفحه کاری و نوار وضعیت تشکیل شده است.



در نوار منو هشت منوی Help، File، View، Pre-processing، Calculation، Results، Options، Window و File قرار گرفته است. در منوی File دستورات زیر را می توان انجام داد:

New: ایجاد یک پروژه جدید

Open: فراخوانی پروژه ها به نرم افزار

Project Manager: مدیریت پروژه های ایجاد شده

Save: ذخیره کردن پروژه و یا ذخیره کردن تغییرات جدید بر روی پروژه

Save As: ذخیره کردن پروژه به صورت ایجاد یک پروژه جدید

Save As Input for Modflow: ذخیره پروژه به عنوان اطلاعات ورودی برای شبیه سازی در نرم افزار Modflow

Recent Files: نمایش مسیر پروژه های جدید ایجاد شده

Exit: خروج از نرم افزار

در منوی View قابلیت نمایش یا پنهان کردن نوار ابزار (Toolbar)، نوار وضعیت (Status Bar) و لیست داده های شبیه سازی معکوس در پنجره محاوره ای (List Boxes for Inverse Data) قرار داده شده است.

برای انجام شبیه سازی در HYDRUS لازم است مشخصات پروژه و داده های اولیه به نرم افزار معرفی و وارد شوند. در منوی Pre-processing مراحل تعیین مشخصات پروژه قرار داده شده است و با انتخاب هر کدام از گزینه های موجود پنجره مرتبط با آن نمایش داده می شود. با انتخاب نوع پروژه از گزینه Main Processes گزینه های موجود در این منو فعال یا غیر فعال می شوند.

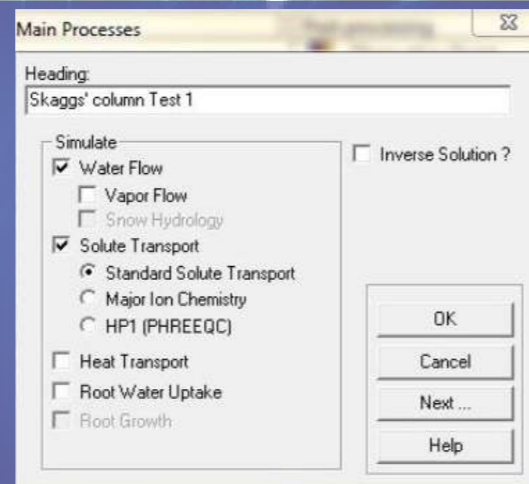
در منوی Calculation گزینه Execute HYDRUS جهت شبیه سازی مدل قرار داده شده است. البته این کار پس از ورود دقیق و کامل اطلاعات اولیه می بایست صورت گیرد در غیر این صورت برنامه اجرا نمی شود.

پس از انجام شبیه سازی نتایج در منوی Results قابل مشاهده است. با انتخاب هر کدام از گزینه های موجود می توان نتایج شبیه سازی شده را مشاهده نمود. فعال یا غیر فعال بودن هر گزینه به نوع شبیه سازی انتخاب شده در منوی Pre-processing بستگی دارد.

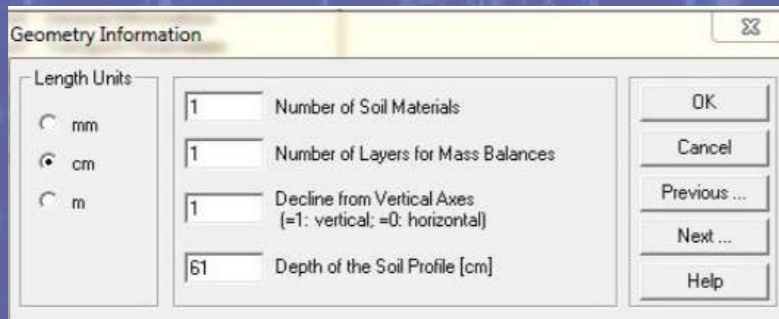
با انتخاب منوی Options از نوار منو پنجره Program Options نمایش داده می شود. در این پنجره محل ذخیره فایل های تنظیمات و پیکره بندی مدل، محل پیش فرض ذخیره پروژه ها و مکان ذخیره پایگاه داده این نرم افزار نشان داده شده است. با استفاده از علامت نشان داده شده (...) در هر قسمت می توان مکان مورد نظر را برای ذخیره اطلاعات انتخاب نمود.

با انتخاب شبیه‌سازی انتقال املاح می‌توان از سه گزینه موجود بر اساس نوع پروژه استفاده کرد. ابتدا گزینه Standard Solute Transport برای شبیه‌سازی انتقال املاح در حالت کلی بوده و به صورت پیش فرض انتخاب شده است. طراحان HYDRUS ابزار HP1 را برای شبیه‌سازی انتقال مواد شیمیایی به نرم‌افزار اضافه نموده‌اند که با استفاده از مدل PHREEQC به شبیه‌سازی می‌پردازد.

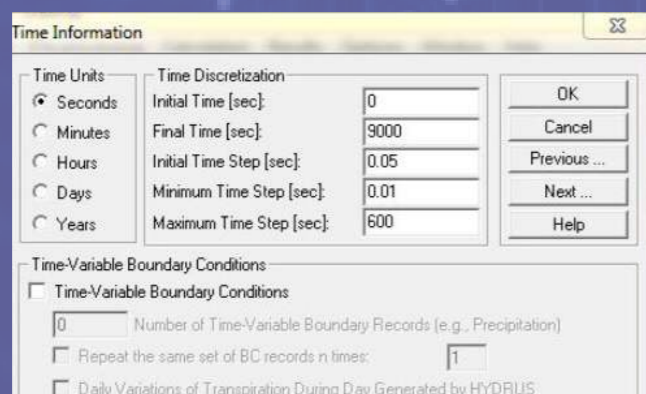
گزینه Major Ion Chemistry یون‌های اصلی را شبیه‌سازی می‌کند که عمدتاً در نیمرخ خاک ممکن است تجمع یابند.



پس از ورود داده‌های هر قسمت با انتخاب Ok اطلاعات ذخیره شده و پنجره نمایش داده شده بسته می‌شود. برای ورود داده‌های هر قسمت می‌بایست در پنجره اصلی نرم‌افزار بر روی آن دو بار کلیک کرده یا مراحل ورود داده‌ها را به صورت گام به گام با انتخاب گزینه Next در پنجره Main Process پیش برد. در مرحله بعد نیاز است تا داده‌های مرتبط با هندسه مدل وارد شود. این داده‌ها عبارتند از: واحد طول، تعداد لایه‌های خاک، تعداد لایه‌های بیلان جرم، میزان انحراف از محور عمودی و عمق نیمرخ خاک. میزان انحراف از محور عمودی بر حسب کسینوس زاویه بین محور عمودی و نیمرخ خاک در نظر گرفته شده بنابراین برای خاک‌های مطبق با لایه‌بندی عمودی عدد وارد شده برابر ۱ و در خاک‌های مطبق با لایه‌بندی افقی عدد وارد شده برابر صفر می‌باشد.



با کلیک بر Next به مرحله بعد وارد شوید. پنجره Time Information نمایش داده می‌شود. واحد زمان در قسمت Time Units انتخاب شود. در قسمت Time Discretization به ترتیب زمان شروع شبیه‌سازی، زمان پایان شبیه‌سازی، اولین گام زمانی برای شبیه‌سازی، کمترین گام زمانی و بیشترین گام زمانی برای شبیه‌سازی را تعیین کنید. در مسائل عددی برای شروع شبیه‌سازی ابتدا یک گام زمانی حدس زده شده سپس با توجه به دامنه تعیین شده برای گام‌های زمانی مسئله حل می‌شود. نخستین گام زمانی بر اساس نوع مسئله می‌بایست تعیین شود مثلاً در حل مسائلی که به شبیه‌سازی نفوذ آب در یک خاک خشک پرداخته می‌شود به دلیل وجود شیب هیدرولیکی بالا نیاز است یک گام زمانی بسیار کوچک در نظر گرفته شود.



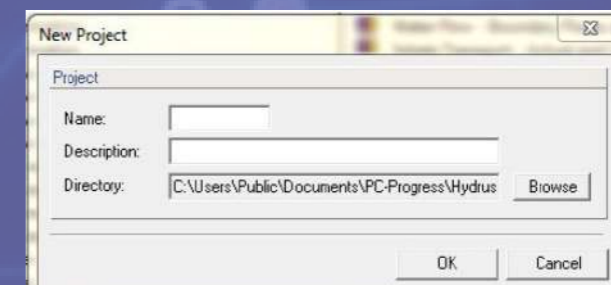
منوی Window نحوه نمایش پنجره موجود در نرم‌افزار را نمایش می‌دهد. با استفاده از این منو می‌توان پنجره‌ها را به صورت آبخاری، افقی، عمودی و با مرتب‌سازی آیکن‌ها نمایش داد. البته توجه داشته باشید از منو وقتی استفاده می‌شود که تعداد پروژه‌های باز شده در پنجره اصلی نرم‌افزار زیاد بوده و بخواهید محیط کاری همه پروژه‌ها را مشاهده کنید.

منوی Help نیز به عنوان ابزاری مفید می‌تواند اطلاعاتی در مورد نحوه کار با نرم‌افزار به کاربران ارائه کند. از نوار ابزار نیز می‌توان برای دسترسی به بخش‌های مختلف نرم‌افزار استفاده نمود. ابزار موجود از چپ به راست به ترتیب به منظور ایجاد پروژه، فراخوانی پروژه‌ها، دسترسی به پنجره مدیریت پروژه‌ها، ذخیره‌سازی، اجرای برنامه، نمایش آبخاری، نمایش افقی و نمایش عمودی پنجره‌ها استفاده می‌شوند. سه گزینه آخر نیز راهنمای نرم‌افزار محسوب می‌شوند.

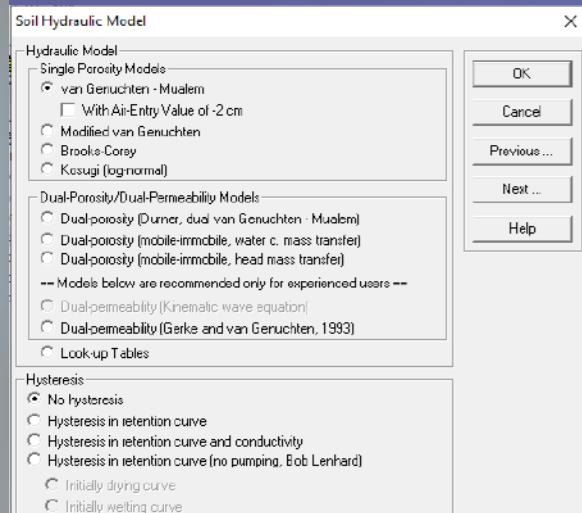
با ورود به پنجره مدیریت پروژه‌ها می‌توان لیست پروژه‌های ایجاد شده را مشاهده کرد. این پنجره از دو زبانه تشکیل شده است. در زبانه Project Groups مشاهده می‌کنید که پروژه‌های موجود در گروه‌های مشخص شده قرار گرفته‌اند. با دو بار کلیک بر هر گروه، زیر گروه‌های آن نمایش داده می‌شود. این زیر گروه‌ها در منوی Projects قرار گرفته‌اند. در این قسمت می‌توان پروژه‌های جدید ایجاد و یا پروژه‌های موجود را حذف نمود. از این زبانه برای تغییر نام یا باز کردن هر پروژه می‌توان استفاده کرد. صفحه کاری متشکل از دو قسمت Pre-processing و Post-processing می‌باشد. از Pre-processing به منظور ورود اطلاعات اولیه مدل استفاده می‌شود. با دو بار کلیک بر هر کدام از گزینه‌های مشخص شده پنجره ورود اطلاعات مربوطه نمایش داده می‌شود. پس از مدل‌سازی می‌توان از Post-processing به منظور نمایش نتایج استفاده نمود.

چگونگی ایجاد پروژه در نرم‌افزار HYDRUS

در ایجاد هر پروژه، نخستین گام معرفی پروژه می‌باشد. با استفاده از گزینه New می‌توان ایجاد یک پروژه جدید را به HYDRUS معرفی کنید. با انتخاب New پنجره‌ای مطابق شکل زیر نمایش داده می‌شود.



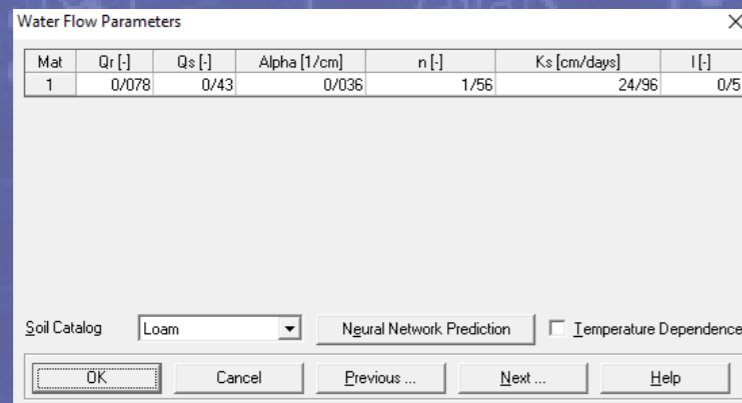
در این پنجره نام، توضیحات و محل ذخیره پروژه مشخص می‌شود. با انتخاب گزینه Ok صفحه کاری نمایش داده می‌شود. تعیین نوع مدل اساسی‌ترین قسمت هر پروژه می‌باشد. با انتخاب گزینه Main Process پنجره تعیین مدل باز می‌شود. با استفاده از HYDRUS 1D می‌توان به شبیه‌سازی جریان آب (Water Flow)، انتقال املاح (Solute Transport)، انتقال گرما (Heat Transport)، جذب آب توسط ریشه (Root Water Uptake)، رشد ریشه (Root Growth) و انتقال در اکسید کربن (Transport CO₂) پرداخت. گزینه Inverse Solution برای مدل‌سازی معکوس استفاده می‌شود. با انتخاب شبیه‌سازی دی اکسید کربن نمی‌توان به شبیه‌سازی معکوس پرداخت بنابراین Inverse Solution غیر فعال می‌شود. در مدل‌سازی جریان آب می‌توان به شبیه‌سازی جریان بخار و برف پرداخت. گزینه Snow Hydrology زمانی فعال می‌شود که از شبیه‌سازی انتقال گرما استفاده گردد. با ورود به این پنجره جریان آب به صورت پیش فرض انتخاب شده است. اگر از این گزینه برای شبیه‌سازی استفاده نشود شرایط اولیه برای بار فشاری جریان به صورت ثابت فرض می‌شود.



در گام بعد مدل هیدرولیکی مورد استفاده را انتخاب می‌کنیم.

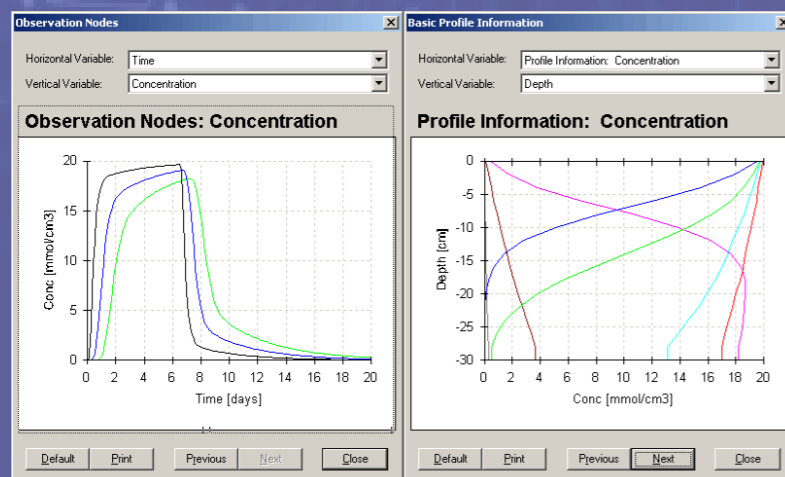
مدل‌های گوناگونی در این مرحله از جمله مدل‌های Van Genuchten - Brooks Corey و Kosugi ... وجود دارد.

مرحله بعد مربوط به اطلاعات خاک (ضرایب معادله ونگنوختن) می‌باشد. اگر اطلاعات خاک مانند Q_p , Q_s , Q_r و آلفا و سایر اطلاعات موجود باشد می‌توانیم در این مرحله وارد کنیم. با انتخاب گزینه Neural network Prediction می‌توان با وارد کردن درصد Sand, Silt, Clay این ضرایب را بدست آورد. یا با استفاده از گزینه Soil Catalog نوع خاک را انتخاب و ضرایب معادله را بدست آورد. در آخر ok را می‌زنیم.



در مرحله بعد می‌توان شرایط مرزی را اعمال نمود. شرایط در مرز بالا و پایین در این مرحله انتخاب می‌شود. در مرحله بعد پروفیل خاک بدست آمده را می‌توان مشاهده کرد، و با اعمال گزینه‌های مختلف به شرایط مدنظر خود تبدیل کنیم.

مرحله بعدی آخرین مرحله از این نرم‌افزار می‌باشد که می‌توانیم اطلاعات در عمق‌های مختلف را تغییر یا تصحیح یا مشاهده کنیم. با اجرای مدل می‌توان نمودارهای بدست‌آمده را تحلیل کرد.



اگر زمان‌هایی که شرایط مرزی رخ می‌دهند، ثبت شده باشند می‌بایست گزینه Time-Variable Boundary Conditions انتخاب شده و تعداد و نوع شرایط مرزی موجود وارد شوند در غیر این صورت شرایط مرزی در شبیه‌سازی ثابت در نظر گرفته می‌شوند. تغییرات روزانه تعرق در این مدل با دو فرض زیر شبیه سازی می‌شود:

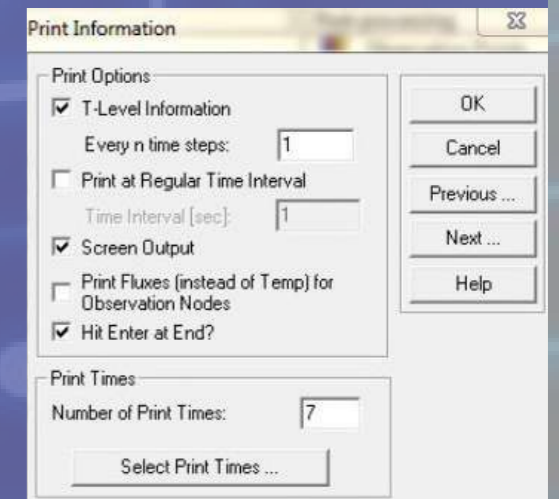
۱- میزان تعرق در ساعت‌های ۰-۶ و ۱۶-۲۴ برابر ۱ درصد کل تعرق روزانه در نظر گرفته می‌شود.

۲- میزان تعرق از منحنی سینوسی استفاده می‌شود

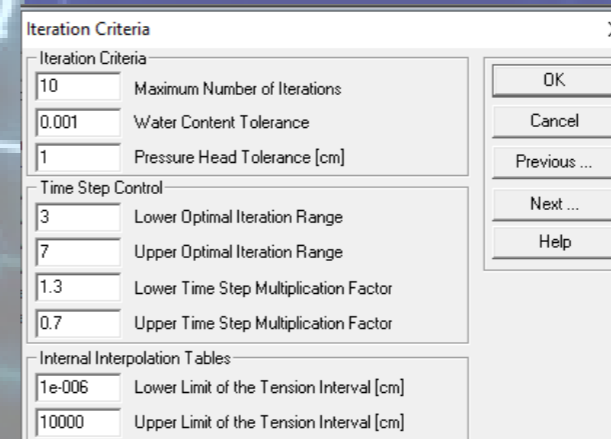
میزان بارندگی نیز با استفاده از یک تابع کسینوسی محاسبه می‌شود

تبخیر-تعرق پتانسیل با استفاده از رابطه پنمن-ماتیتث، رابطه هارگریوز و یا بیلان انرژی سطحی می‌تواند محاسبه شود.

در مرحله بعد نحوه نمایش خروجی‌ها تعیین می‌شود. می‌توان خروجی‌ها را در هر n گام زمانی یا با فواصل زمانی مشخص نمایش داد. از گزینه های T-Level Information و Print at Regular Time Interval به این منظور می‌توان استفاده کرد. با انتخاب Screen Output نتایج به دست‌آمده در حین شبیه‌سازی روی مانیتور نمایش داده می‌شود. گزینه بعدی به منظور نمایش خروجی در نقاط مشاهده‌ای می‌باشد. پس از اجرای برنامه پنجره نمایش اجرای برنامه بسته می‌شود.



اگر بخواهید مراحل اجرای برنامه را مشاهده کنید گزینه اگر بخواهید مراحل اجرای برنامه را مشاهده کنید گزینه Hit Enter at End را انتخاب کنید. پس از مشاهده خروجی با انتخاب کلید Enter این پنجره بسته می‌شود. همچنین می‌توان در قسمت Select Print Times زمان مورد نظر برای نمایش خروجی‌ها را انتخاب کرد.



در مرحله بعد اطلاعات مربوط به تکرار وارد می‌شود. ماکسیمم تکرارها و سایر پارامترها از جمله کنترل گام‌های زمانی در این مرحله وارد می‌شود.

Scientific Interview:

1. ► Please introduce yourself.

My name is Ozgur Kisi. I received B.Sc. in Civil Engineering from the Cukurova University, Turkey (1997), M.Sc. in Hydraulics from the Erciyes University, Turkey (1999), and Ph.D. degree from Istanbul Technical University, Turkey (2003). Now, I am full Professor of Civil Engineering.

2. ► Where do you work?

I currently work at the Faculty of Natural Sciences and Engineering, Ilia State University, Tbilisi, Georgia.

3. ► What are your skills and research interests?

My research fields and interests are Hydrology, Water Quality Modeling, Environmental Impact Assessment, Water Resources Management, Artificial Intelligence, Hydrological Modeling, Rivers, Civil Engineering, Water Resources Engineering, Prediction, Sediments, Integrated Water Resources Management, Rainfall Runoff Modeling, Evapotranspiration, Evaporation, Lakes, Forecasting, Soft Computing, Rainwater Harvesting, groundwater, lake level and trend analysis.

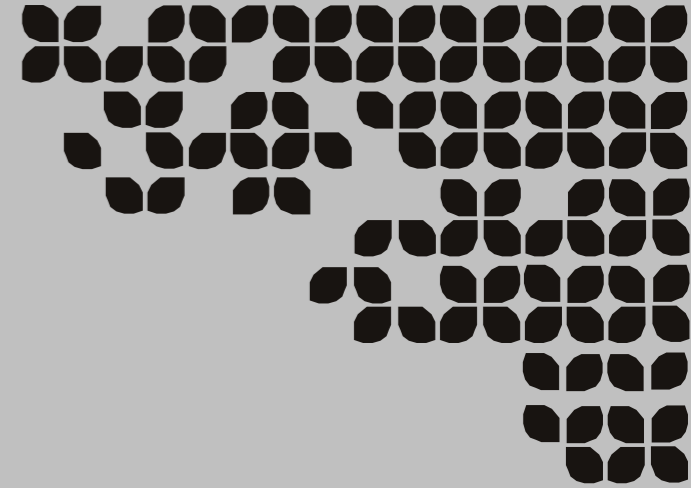
4. ► How many papers have you published in Journals?

I have over 300 published papers in different journals and my Google scholar h-index is almost high and equal to 62.



Journal WATER

Water Engineering Science Association of UMA



مصاحبه اختصاصی با
Dr Ozgur Kisi

**Exclusive interview with
Dr Ozgur Kisi**

7. ► Have you ever received a scientific award?

Yes, I am the recipient of the 2006 International Tison Award (given by the International Association of Hydrological Sciences (IAHS)) for my paper entitled «Suspended sediment estimation using neuro-fuzzy and neural network approaches» published in HSJ in 2005. In this paper, we investigated the potential of neuro-fuzzy and neural network approaches to simulate the relationship between the streamflow and the suspended sediment using the USGS data. We proposed a new approach to sediment transport calculation and compared it with multiple linear regression and rating curves. Although the ANN and neuro-fuzzy techniques are frequently used in many sub-domains of hydrology, but their applications in sediment modeling were only few, hence our paper was regarded as innovative. The results obtained showed that the new approaches perform accurately in representing the real system than the sediment rating curve and the multiple linear regression.



Thank you for taking time for this interview.

5. ► How many projects have you worked?

I have worked on more than 20 projects in different fields such as lake evaporation estimation, drought forecasting, Pan-evaporation modeling, simulation of suspended sediment, Rainfall-runoff modeling, Prediction of Permanent Wilting Point and Field Capacity and prediction of water quality parameters. I am an active participant in numerous national research projects

6. ► Have you ever been a journal reviewer or editor?

Yes, I have served as an Editorial Board Member of several reputed journals such as Irrigation & Drainage Systems Engineering, Journal of Hydrologic Engineering (ASCE), ISH Journal of Hydraulic Engineering, Arabian Journal of Geosciences and Austin Journal of Irrigation). I have also served as a Guest Editor for Special Issues published in Hydrological Hazards in a Changing Environment- Early Warning, Forecasting, and Impact Assessment (Advances in Meteorology) in 2015.



I also have served as a Reviewer for more than 80 journals indexed in Science Citation Index (SCI) such as ASCE Journal of Irrigation and Drainage Engineering, Journal of Hydrologic Engineering, Journal of Hydrology, Water Resources Management, Water Resources Research, Hydrological Processes, Hydrological Sciences Journal, Hydrology Research, Water Science and Technology and Journal of Hydroinformatics.

اخبار و گزارش‌های آبی

به دلیل وقوع سیل‌های اخیر در کشور عزیزمان تلاش بر این شد تا در شماره سه نشریه آرتاب ، مطالبی در این زمینه مطرح شود.

Water News and Reports

نقش تغییر اقلیم در بروز سیل

← ندا اخلاقی (دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب دانشگاه گیلان)

گزارش آب منطقه‌ای استان: وضعیت مخازن سدها

← نیما محسن‌زاده (دانشجوی کارشناسی گروه مهندسی آب دانشگاه محقق اردبیلی)

سدهای لاستیکی

← بخشی از پروژه هاشم طالبی (دانشجوی کارشناسی گروه مهندسی آب دانشگاه محقق اردبیلی) به راهنمایی دکتر کانونی

فرآیند تصفیه آب و فاضلاب صنعتی، به صورت یکجا و بدون آلودگی زیستی

← سالار سرداری (دانشجوی کارشناسی گروه مهندسی آب دانشگاه محقق اردبیلی)

نقش تغییر اقلیم در بروز سیل

تغییر اقلیم چقدر در بروز سیل نقش دارد؟

سیلاب‌ها خطرات طبیعی پیچیده‌ای هستند که می‌توانند به زیان‌های گسترده اجتماعی و اقتصادی منجر شوند. بر اساس داده‌های هیات بین‌دولتی تغییر اقلیم (Intergovernmental Panel on Climate Change) که در اصل زیرمجموعه‌ای از سازمان ملل است و همه داده‌های علمی، فنی و اجتماعی و اقتصادی مربوط به مخاطرات آب و هوایی را ارزیابی و تحلیل می‌کند، تغییرات اقلیمی اخیر تأثیرات بسزایی در بزرگی و تناوب رویدادهای شدید هیدرولوژیکی در بسیاری از نقاط دنیا داشته است. نقش تغییرات اقلیمی در بروز سیل‌های اخیر نیازمند انجام مطالعات علمی و کارشناسی دقیق است، اما در هر صورت این مساله دور از ذهن نیست. ضمن این‌که نباید فراموش کرد بارندگی‌های رخ داده در چند استان کشور از نوع بارش‌های با دوره بازگشت بالا بوده‌اند. تغییر اقلیم در اصل عاملی است که می‌تواند بر دوره بازگشت و شدت حوادثی نظیر سیل اثرگذار باشد. اما تأثیرات ناشی از تغییر اقلیم چقدر می‌تواند تعیین‌کننده باشد؟



مطالعات تخصصی آبخیزداری جدی‌تر گرفته شود.

در بهمن ۱۳۹۷/ فوریه ۲۰۱۹ مقاله‌ای علمی - پژوهشی در مجله تخصصی آب چاپ شد که در آن به موضوع تأثیرات ناشی از تغییرات اقلیمی بر تناوب سیلاب و محدوده تحت‌تأثیر در شمال ایران پرداخته شد. نویسندگان در این مقاله به بررسی اثرات فضایی و موقتی تغییرات اقلیمی بر تناوب سیل و محدوده تحت‌تأثیر در زیرحوضه رودخانه تلار پرداختند که از ارتفاعات ۲۵۰۰ متری جنوب قائم‌شهر و رشته‌کوه‌های البرز در سوادکوه سرچشمه می‌گیرد. از سوی دیگر آنها با بررسی وضعیت رودخانه نکا و جنگل‌های داراب‌کلا که درست در مجاورت حوضه مورد مطالعه بوده است، تلاش کردند داده‌هایی مستند استخراج کنند.

به‌علاوه مطالعه‌ای هم انجام شده است که در آن تأثیرات آتی ناشی از تغییرات اقلیمی را بر میزان جریان رودخانه حوضه گرگان‌رود در شمال ایران بررسی کرده‌اند. در این مورد آخر به طور مشخص این نتیجه حاصل شده است که یک افزایش عمده در درجه حرارت بیشینه در ماه‌های اردیبهشت تا خرداد و یک افزایش خرد هم در حفاصل ماه‌های فروردین تا آبان وجود دارد. نویسندگان مقاله به این جمع‌بندی رسیده‌اند که تغییرات اقلیمی بر میزان جریان آب در آینده اثر خواهد گذاشت و احتمالاً به تغییر در الگوهای موقتی آن منجر خواهد شد. نتایج این تحقیقات در ضمن نشان می‌دهد حوضه‌های رودخانه‌ای شمال کشور از سه جنبه درجه حرارت، میزان بارندگی و جریان آب، سطوحی افزایشی را تجربه خواهند کرد (بررسی اثر تغییر اقلیم بر میزان آبدی سالانه رودخانه‌ها (مطالعه موردی: رودخانه گرگان‌رود)). چنین بررسی‌ها و مطالعاتی برای مدیریت سیلاب مفید است، زیرا در آنها منابع مختلف روان‌آب به جای این‌که تنها بر محدوده‌های پایین دست که از سیلاب متأثر می‌شوند تأکید شود، در محدوده بالادست نیز مدنظر قرار می‌گیرد. در حقیقت مطالعاتی از این دست از این منظر اهمیت دارند که کمک می‌کنند بهترین مکان برای استقرار ابزارهای پیش‌بینی سیلاب مشخص شود.

این نکته را هم نباید فراموش کرد که با تغییرات اقلیمی نمی‌توان زمان و حجم وقوع سیل را بر اساس یک مبنای آماری دقیق محاسبه کرد. زیرا شدت پدیده‌های اقلیمی از نظر عددی ممکن است در آینده تغییر کند. بنابراین شیوه‌ای را باید اتخاذ کرد که بیشتر فیزیکی باشد تا بتواند همزمان داده‌های هیدرولوژیکی و هواشناسی را با یکدیگر تلفیق کند. در نتیجه برای این منظور اغلب از روش‌های آنالیزی یا شبیه‌سازی به روش Monte Carlo استفاده می‌کنند. علم هواشناسی می‌تواند با استفاده از این روش‌ها شدت، مدت استمرار یا تناوب سیل‌ها را مشخص کند. اما مهم‌ترین نکته برای انجام چنین کاری این است که مدل‌های صحیح هواشناسی و در عین حال مدل‌سازی‌های درست از حوضه آبخیز انجام شود.

اثر تغییرات اقلیمی بر افزایش خطر سیلاب در اروپا

دانشمندان می‌گویند گرمایش جهانی باعث افزایش دامنه و تناوب بارندگی‌های حداکثری می‌شود و این موضوع می‌تواند به نوبه خود به بروز سیلاب‌های شدید و پر دامنه‌تر در رودخانه‌های سیلابی منجر شود. سال ۲۰۰۸/۱۳۸۷ دو محقق به نام‌های روجر دانکرز (Rutger Dankers) و لوک فین (Luc Feyen) به ارزیابی اثرات ناشی از تغییر اقلیم و برآورد احتمال خطر سیلاب‌های مهیب در اروپا اقدام کردند. نتیجه حاکی از آن بود که به احتمال زیاد در اواخر قرن حاضر در بسیاری از رودخانه‌های اروپا (هم از نظر مقیاس و هم از نظر تناوب) سطوح تخلیه حداکثری مشاهده خواهد شد. بر اساس این مطالعه در برخی رودخانه‌ها به‌ویژه آنها که در نواحی غربی و بخش‌هایی از شرق اروپا واقع شده‌اند می‌توان شاهد کاهش دوره بازگشت سیل بود؛ یعنی اگر در گذشته سیلاب در این رودخانه‌ها هر صد سال یکبار اتفاق می‌افتاد، در آینده این اتفاق احتمالاً هر ۵۰ سال یا حتی کمتر رخ خواهد داد.

اما از سوی دیگر، یک کاهش ملموس هم در بروز خطر سیلاب در بخش‌های شمال شرقی پیش‌بینی شده است. زیرا در این مناطق زمستان‌ها اغلب گرم‌تر است و کوتاه‌تر بودن فصل بارش برف می‌تواند میزان ذوب برف را در بهار به شکل محسوسی کاهش دهد. این پیش‌بینی در عین حال می‌گوید در سایر رودخانه‌های بخش‌های مرکزی و جنوبی اروپا احتمالاً جریان حداکثری کاهش محسوسی خواهد داشت.

وقتی می‌گوییم «تغییر اقلیم» از چه حرف می‌زنیم؟

تغییرات اقلیمی به معنای تغییر در الگوهای اقلیمی منطقه‌ای و جهانی است. به طور مشخص این یک تغییر آشکار و واضح است که از اواسط تا اواخر قرن ۲۰ میلادی پیش‌تاری کرده است. دانشمندان تغییرات اقلیمی را با افزایش سطح دی‌اکسیدکربن اتمسفر که در اصل حاصل سوخت‌های فسیلی است، ارتباط می‌دهند. کشورهای چین، ایالات متحده و هندوستان به ترتیب سه کشوری هستند که بیشترین میزان انتشار گاز دی‌اکسیدکربن را دارند. اما از سوی دیگر بیش از ۳۰ درصد گرم‌تر شدن جهانی کره زمین به ذراتی شامل متان، کربن سیاه و گازهای هیدروفلوروکربن‌ها بازمی‌گردد که از طریق زباله‌های شهری، واحدهای تصفیه هوا، واحدهای سوختی، گازهای آشپزخانه‌ای و تولیدات نفت و گاز منتشر می‌شوند. این ذرات آلاینده در عین حال به شدت به سیستم تنفسی انسان آسیب می‌زنند. طبق نتایج یک مطالعه علمی، محدود کردن سریع این آلاینده‌های کوتاه عمر می‌تواند تا حدود ۵۰ درصد از گرم شدن کره زمین بکاهد.



گزارش آب منطقه‌ای استان: وضعیت مطلوب مخازن سدها

معاون حفاظت و بهره‌برداری شرکت آب منطقه‌ای اردبیل خبر داد؛

وضعیت مطلوب مخازن سدهای استان در پی بارش‌های اخیر منطقه

معاون حفاظت و بهره‌برداری شرکت آب منطقه‌ای اردبیل گفت: در پی بارندگی‌های اخیر در سطح استان ذخیره در پشت سدها از وضعیت مطلوبی برخوردار می‌باشد.

به گزارش اداره روابط عمومی شرکت آب منطقه‌ای اردبیل، مهندس نبی‌اله‌پاسبان‌عیسی‌لو با بیان این مطلب افزود: میزان بارندگی‌ها از اول مهر ماه سال ۹۷ تاکنون به مرز ۲۶۱ میلی‌متر رسیده که نسبت به مشابه سال گذشته ۱۰ درصد افزایش داشته و به تبع این بارش‌ها، آب ورودی به مخازن سدهای استان نیز نسبت به مدت مشابه سال قبل ۵۷ درصد افزایش و ۱۴۶ میلیون متر مکعب ورودی به سدها ثبت شده است.

وی در خصوص آخرین وضعیت ذخیره آب در پشت سدهای در دست بهره‌برداری استان تصریح کرد: هم‌اکنون ۶۳ درصد ظرفیت مخازن سدهای استان پر بوده و با حجم ۱۹۰ میلیون متر مکعب وارد فصل بهره‌برداری خواهیم شد که این حجم علیرغم اینکه نسبت به مشابه سال قبل ۱۲ درصد افزایش دارد ولی میبایست صرفه‌جویی، مدیریت بهینه مصرف و جلوگیری از اتلاف آب در بخش‌های شرب و کشاورزی انجام گیرد تا بخشی از ورودی مطلوب امسال برای سالهای آتی ذخیره گردد.

معاون حفاظت و بهره‌برداری شرکت آب منطقه‌ای اردبیل همچنین به تلاش پرسنل معاونت حفاظت و بهره‌برداری درآبگیری صد در صدی ۱۸ سد استان اشاره و اضافه نمود: کلیه سدهای در دست بهره‌برداری شهرستان کوثر و نمین تا تراز نرمال پر می‌باشند و انتظار افزایش تولید و کاهش تنش آبی در پایاب سدهای مذکور را داریم.

رابطه میان تغییرات اقلیمی و سیل

سیل زمانی رخ می‌دهد که میزان بارندگی که به سطح زمین یا رودخانه‌ها می‌رسد، توسط خاک جذب یا توسط رودخانه زهکش و درست تخلیه نمی‌شود. شکل و ظرفیت هر سیستم رودخانه‌ای، موقعیت زمین‌های اطراف، میزان پوشش گیاهی، طول مدت بارندگی، درجه اشباع زمین و حجم آب رها شده از جمله مواردی هستند که در بروز یا افزایش شدت سیلاب موثرند. بارندگی‌های شدید و طولانی‌مدت، خاک اشباع شده از آب و بسیاری مسائل دیگر در بروز سیل موثر هستند. با این همه کارشناسان معتقدند اتمسفر گرم‌تر زمین در افزایش بی‌سابقه بارندگی‌های شدید اخیر نقش اساسی داشته است، زیرا هوای گرم‌تر رطوبت بیشتری را به شکل بخار آب در خود نگه می‌دارد و رطوبت بیشتر به معنای آب بیشتری است که می‌تواند به صورت باران ظاهر شود.

نتایج تحقیقات در سال ۲۰۱۷/۱۳۹۶ نشان داده است به ازای هر یک درجه سانتی‌گراد افزایش درجه گرمای جو زمین، ظرفیت اتمسفر هم برای نگهداشت رطوبت در حدود ۷ درصد افزایش خواهد یافت و به همین دلیل است که یک توفان وقتی در جوی با هوای گرم رخ می‌دهد، اغلب میزان بارندگی بیشتری را هم نسبت به توفانی در یک منطقه با هوای سرد در پی خواهد داشت. ناسا در سال ۲۰۱۸/۱۳۹۷ اعلام کرد متوسط درجه گرمای سطحی زمین در حال حاضر ۱/۱ درجه سانتی‌گراد بیشتر از آن چیزی است که در اواخر دهه ۱۸۰۰ میلادی بوده یعنی در شرایط کنونی ظرفیت بالقوه جو زمین برای بارندگی‌های سنگین و شدید افزایش یافته است.

مطالعات نشان می‌دهد تناوب سیلاب‌ها بسته به اقلیم محلی و ویژگی‌های حوضه آبخیز در مناطق مختلف جهان متفاوت است. عدم قطعیت مربوط به اثرات ناشی از تغییرات اقلیمی بر رویدادهای شدید، یک مبحث چالشی هم در مقیاس محلی و هم در مقیاس منطقه‌ای است.

از یک سو، نتایج مطالعات نشان داده است تغییرات اقلیمی بر میزان تخلیه نیمی از رودخانه‌های ایران تأثیر بارزی داشته و همان‌طور که قابل حدس است، میزان تخلیه یکی از ویژگی‌های مهم در بروز سیلاب است. از سوی دیگر، تناوب و بزرگی سیلاب‌ها تحت تأثیر تغییرات تدریجی کاربری زمین هم قرار می‌گیرد که البته این مسأله در جای خود می‌تواند باعث تشدید و وخیم‌تر شدن اوضاع هم بشود. به عنوان مثال شهرنشینی و توسعه شهری از جمله عواملی است که می‌تواند خطر سیل را افزایش دهد.

کارشناسان می‌گویند ارزیابی اثرات کنونی و آتی اقلیم در عین حال نیازمند برآورد درست از کاربری‌های آتی زمین نیز هست، زیرا این مسأله می‌تواند سازگاری بهتری با شرایط را در پی داشته باشد. مدل‌سازی هیدرولوژیک هم یک نقش مهم در شبیه‌سازی تغییرات احتمالی آینده و تأثیرات حاصل از آنها دارد و در نتیجه می‌تواند کمک کند تا تجارب مدیریتی صحیح در حوضه آبخیز به شکل بهتری تعیین و اجرایی شوند.

آنچه سیل می‌بلعد...

تبعات سیل بسیار گسترده است و می‌تواند حتی شامل محدوده‌ای فراتر از زمین‌های آب گرفته هم بشود. سیل می‌تواند باعث شود فاضلاب‌های کشاورزی، مواد شیمیایی استفاده شده در مزارع و سایر انواع آلاینده‌ها شسته و وارد راه‌آب‌ها شوند. بدیهی است مجموعه این موارد قابلیت وارد ساختن آسیب جدی را به سلامت انسان‌ها دارد. کارشناسان می‌گویند با این‌که وقوع سیل موقت است اما تأثیراتی که ایجاد می‌کند اغلب ماندگار هستند. به همین دلیل در چنین شرایطی باید تدابیر درست در ابعاد گوناگون اتخاذ شود.

منبع: <http://jamejamdaily.ir/newspaper/item/20976>
<http://www.magiran.com/npview.asp?ID=3889330>

سدهای لاستیکی

مقدمه

ساخت سدهای لاستیکی تکنولوژی نسبتاً جدیدی می‌باشد که برای مهار آب‌های سطحی به کارگرفته شده است. قبل از این نوع سدها برای مهار و هدایت آب به سوی زمین‌های وسیع و آبروها، از دریچه‌های فولادی و تخته‌های چوبی استفاده می‌شد که در جلوی دریچه‌ها قرار می‌گرفت تا آب با فشار بیشتری جریان داشته باشد. در این کار نیز به نیروی انسانی نیاز بود و اگر در باز کردن این دریچه‌ها تأخیری روی می‌داد سیل ایجاد می‌شد و دریچه را با خود می‌برد. سد لاستیکی از سازه‌های دریایی سنگینی است که از آن جهت به دام انداختن آب‌های جاری روی زمین بهره می‌برند. این سدها برای جبران نقص‌های دریچه‌های فولادی و چوبی که با نیروی انسانی تنظیم می‌شد به وجود آمد.

ایده استفاده از سدهای لاستیکی اولین بار در سال ۱۹۵۰ توسط «ایمبرسون» مطرح شد. در سال ۱۹۶۵ اولین سد لاستیکی بادی در ژاپن برای ذخیره‌سازی آب به بهره‌برداری رسید. هم اکنون در حدود ۱۰۰ سد لاستیکی در آمریکای شمالی، بیش از ۱۰۰۰ سد لاستیکی در ژاپن و خاور دور و در مجموع ۲۶۰۰ سد در نقاط مختلف جهان به طور موفقیت‌آمیز در دست بهره‌برداری می‌باشند. اولین سد لاستیکی ایران در سال ۱۳۷۵ در استان مازندران بر روی رودخانه بابل و در حاشیه دریای مازندران توسط شرکت لاستیک‌سازی ساتوجو با هدف جلوگیری از تداخل آب شور دریای مازندران با آب رودخانه‌ی بابل ساخته شد. ارتفاع این سد ۱۰/۳ و طول آن ۶۰ متر و از نوع بادی می‌باشد. سد لاستیکی در مقابل انواع دیگر دریچه‌های فولادی و چوبی دارای فوایدی می‌باشند؛ از جمله مقاومت بیشتر در برابر سیل و ایجاد جریان رودخانه‌ای منظم‌تر، قابلیت تنظیم رسوب موجود در مسیر. کاربردهای سدهای لاستیکی:

۱. کنترل سیلاب‌ها و تنظیم جریان رودخانه

این کار توسط دستگاه‌های الکترونیکی در اتاق کنترل و به طور خودکار انجام می‌گیرد. پایین آمدن رقوم سطح آب از یک سطح مشخص به معنای پایان سیلاب است که در این صورت دستگاه الکترونیکی کنترل دستور افراشتن سد را اعلام می‌دارد که با این اعلام کمپرسور هوا به کار افتاده و سد را باد می‌کند.

۲. کنترل رسوب رودخانه

از آن‌جا که سکوی بتنی محل استقرار سد لاستیکی در کف رودخانه و هم‌تراز با بستر آن کار گذاشته می‌شود در هنگام خواباندن سد شرایط رودخانه مانند شرایط قبل از احداث سد لاستیکی است. این ویژگی باعث می‌شود که پشت سدهای لاستیکی را رسوب پر نکند، زیرا در هنگام وقوع سیل که بیشترین بار رسوب‌گذاری رودخانه است سد به صورت اتوماتیک به حالت خوابیده در می‌آید و رودخانه شرایط طبیعی پیدا می‌کند. نحوه کار و سهولت اجرا و بهره‌برداری از سدهای لاستیکی آن‌ها را مناسب برای جایگزینی برخی سدهای کوتاه می‌سازد. این سدها با توجه به طراحی سریع سهولت نصب و بهره‌برداری، هزینه اندک اجرای طرح، مدت زمان کوتاه اجرا، انعطاف‌پذیری قابل توجه آن در مقابل عوامل خارجی، امکان تغییر شکل و سبکی می‌توانند در بسیاری از طرح‌های آبی کشور به ویژه در نواحی ساحلی شمالی و جنوبی که با مشکلات متعدد آبی از جمله کمبود آب کشاورزی و سیلاب‌های فصلی روبرو هستند، مناسب واقع شوند. این سدها که از یک تیوپ بزرگ و حجیم تشکیل شده‌اند بر روی یک بستر بتنی نصب و بوسیله آب یا هوا پر می‌شوند اتصال بدنه پلاستیکی به بستر بتنی با استفاده از مهارهای فولادی صورت می‌پذیرد.

کاربرد این سدها متنوع بوده و می‌توان از اثرات آنها در افزایش حجم ذخیره‌سازی سدهای بزرگ، استفاده از آنها به جای دریچه‌های فولادی، کاهش فرسایش رودخانه‌ها، کنترل سیلاب به عنوان بندهای انحرافی، ساخت حوضچه‌های پرورش آبزیان و ... نام برد.

مراحل اجرای سدهای لاستیکی:

- قالب‌بندی، آرماتوربندی و کارگذاری بلت‌ها و ورق‌های مخصوص جهت اجرای مراحل بعدی
- جای‌گذاری نازل‌ها و لوله‌های انتقال هوا
- بتن‌ریزی و عملیات نگهداری از بتن
- برش، اتصال و پیش قسمت پلاستیکی به شالوده و نازل‌های مربوطه با دستگاه‌های مخصوص



شکل ۱- سدهای لاستیکی

بخش‌های مختلف سدهای لاستیکی:

۱- بدنه سد

بخش نوین سدهای لاستیکی بدنه آن می‌باشد که از اجزای لاستیک و نوع خاصی از الیاف تقویت‌کننده تشکیل می‌شود، بدنه سدهای لاستیکی قطعه قطعه بوده و مانند پازل به یکدیگر متصل می‌شوند. برای جلوگیری از آسیب بدنه در برابر عناصر مخاطره‌آمیز محیطی از مواد مقاومی چون کلروپرن (CR) و اتیلن‌پروپیلن مونومر استفاده می‌شود.

۲- بستر سد و تجهیزات کنترل

بستر سد عموماً در کف به صورت سطح و در دو طرف به صورت شیب‌دار ساخته می‌شود، لوله‌هایی که در پر و خالی کردن آب یا هوا به کار می‌روند عمدتاً در بستر کار گذاشته می‌شوند، بدنه‌ی لاستیکی سد به وسیله لوله و میله در محل نگه داشته و توسط پیچ مهار نصب می‌گردد، با تزریق رزین پلی‌استر در محل این قسمت سخت و محکم می‌شود بخش بیرونی پیچ‌های مهار پس از عبور از سوراخ‌های تعبیه‌شده در بدنه سد لاستیکی توسط مهره و واشر به بستر محکم می‌گردد. ارتفاع این پیچ و مهره‌ها پس از بستن سد لاستیکی بایستی پایین‌تر از سطح کف بستر رودخانه باشد تا از تجمع گل و لای هنگامی که سد خالی است جلوگیری به عمل آید.

۳- سیستم تنظیم و بهره‌برداری

ابعاد یک اتاق کنترل استاندارد در حدود ۱۰ مترمربع می‌باشد، اجزای اتاق کنترل شامل موارد زیر است: اتاق کنترل شامل یک قاب کنترل و یک کمپرسور هوا است.

- سنسورکنترل سطح آب - قاب کنترل - کمپرسور آب - گنج کنترل و تنظیم فشار هوا
- شیر پرکردن هوا - شیرخالی‌کردن هوا - شیر دستی - شیر شناور

تصفیه آب و فاضلاب صنعتی

با تلاش فناوران شهرک علمی و تحقیقاتی اصفهان؛

فرآیند تصفیه آب و فاضلاب صنعتی، به صورت یکجا و بدون آلودگی زیستی محقق شد.

فرسول ۳۰ که توسط شرکت سرورپویان رستاخیز، مستقر در شهرک علمی و تحقیقاتی اصفهان ساخته شده است، فرآیند تصفیه آب و فاضلاب صنعتی را یکجا و بدون آلودگی زیستی به ارمغان می‌آورد. به گزارش روابط عمومی شهرک علمی و تحقیقاتی اصفهان، فرسول ۳۰ می‌تواند کشور را از صرف هزینه‌های بالای واردات مواد اولیه و اپراتوری تولید این دسته از تصفیه‌کننده‌های آب و فاضلاب بی‌نیاز کند، همچنین خط تولید این محصول در حال حاضر با تلاش یک تیم ۱۵ نفره از متخصصان شرکت سرورپویان رستاخیز و در کارخانه‌ای به مساحت ۲۰ هزار متر مربع در حال فعالیت است.

به گفته سینا صمیمی مخترع این محصول، سوسپانسیون، به ذرات جامد معلق در مایع گفته می‌شود که در اشکال گوناگون، در صنایع مختلف و با خواص متعدد کاربرد دارند و مورد استفاده قرار می‌گیرند. وی مواد مورد استفاده این محصول را در صنعت تصفیه آب و فاضلاب می‌داند و آن را به دو دسته گندزداها و زلال‌کننده‌ها تقسیم می‌کند. صمیمی می‌گوید: گندزداها بیشتر وظیفه جداسازی عناصر بیماری‌زا از آب و فاضلاب را برعهده دارند و زلال‌کننده‌ها به پاکسازی آب از عناصر و مواد کدرکننده آن می‌پردازند و هر دو باعث ته‌نشینی، یا ایجاد لجن می‌شوند.

وی با بیان اینکه فرسول ۳۰ یا سوسپانسیون فرات سدیم تولید شده توسط این شرکت، عملیات گندزدایی و زلال کردن را با هم انجام می‌دهد، وی افزود: از طرفی، برخی آلاینده‌های موجود در آب به قدری کوچک‌اند که ته‌نشینی با محلول‌های تصفیه‌گر به راحتی میسر نیست و چند سانتی‌متر حرکت آن‌ها ممکن است هزاران سال زمان ببرد، به طوریکه سوسپانسیون فرات آن‌ها را به هم می‌چسباند و باعث ته‌نشینی آن‌ها می‌شود. مدیرعامل این شرکت فناور اظهار کرد: از طرفی حجم به اصطلاح لجن تولید شده از فرآیند ته‌نشینی، جداسازی آن از آب و میزان آلاینده‌گی و دفع آنها چالش‌های مهم تصفیه پساب‌های صنعتی هستند، برای مثال لجن حاصل از تصفیه پساب‌های فولادی به روش سنتی ممکن است آثار مخربی برای محیط‌زیست در بر داشته باشد و این در حالی است که لجن حاصل از ته‌نشینی با فرسول ۳۰ حتی می‌تواند به شکل کود در بخش کشاورزی مورد استفاده قرار گیرد.

منبع: ماهنامه علوم، تحقیقات و فناوری

به دلایل زیر استفاده از سدهای بادی ارجحیت دارد :

- ۱- سدهای بادی اقتصادی‌تر هستند به ویژه در سدهای بزرگ با ارتفاع بیشتر از ۲ متر عملکرد خوبی از خود نشان داده‌اند.
- ۲- مشکل رسوب‌زدایی از آب را ندارند.
- ۳- به مخزن ذخیره نیازی نیست.
- ۴- به دلیل افت کم لوله‌های هوارسان قطر لوله انتقال هوا به مراتب کوچک‌تر بوده و بر این اساس هزینه‌های طرح کاهش می‌یابد.
- ۵- نسبت ارتفاع به محیط در سدهای بادی از سدهای آبی کوچک‌تر است و لذا ماده لاستیک کم‌تری برای ساخت تیوب لازم است.
- ۶- زمان پر و خالی کردن هوا به مراتب از نوع آبی کم‌تر است.
- ۷- سدهای بادی در آب و هوای سرد عملکرد بهتری دارند.
- ۸- خطر خوردگی و گرفتگی در سیستم لوله‌های انتقال هوا به مراتب کاهش می‌یابد.

برخی از مشکلات سدهای لاستیکی :

- ۱- آسیب‌دیدگی بدنه سد در هنگام خالی کردن باد بدنه.
- ۲- برخورد اجسام بزرگ و نوک تیز که موجب آسیب به بدنه می‌شود.
- ۳- فرار و خروج هوا.

به عنوان مثال، یک سد لاستیکی بر روی رودخانه تجن اجرا شده است که برخی اطلاعات آن بصورت زیر می‌باشد:

عنوان پروژه: طرح ساماندهی و زیباسازی رودخانه تجن در محدوده شهر ساری

هدف: ایجاد دریاچه مصنوعی به منظور قایقرانی پدالی

طول محدوده مطالعاتی: ۵/۱ کیلومتر

طول سد : دو دهانه ۶۰ متری

ارتفاع سد : ۵/۲ متر

حجم عملیات خاکی : ۶۰۰۰ متر مکعب

حجم بتن‌ریزی : ۲۴۰۰ مترمکعب

حجم سنگ‌چین و گابیون : ۱۸۰۰ مترمکعب

زمان مطالعات: ۱۳۸۷

زمان اجرای سد: ۱۳۸۸-۱۳۸۹

در انتها، با توجه به خواص و کارایی سدهای لاستیکی و همچنین سازگاری با محیط، سادگی طراحی، کوتاه بودن زمان طرح و ساخت، ایمنی و پایداری مناسب آنها نسبت به سازه‌های صلب، سادگی و سهولت بهره‌برداری و در نهایت کاهش هزینه‌های اجرایی، امید آن است که جهت صرفه‌جویی اقتصادی و حل برخی مشکلات سازه‌های هیدرولیکی استفاده از این سدها در طرح‌های آبی کوچک و بزرگ کشور به نحو شایسته انجام پذیرد.

Artab