تخمین تبخیر– تعرق بالقوه گیاه مرجع با استفاده از منطق فازی و شبکه عصبی مصنوعی

نادر پیرمرادیان*[۱]، بهروز ابول پور[۲]

۱*- دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز، دانشکده کشاورزی، گروه مهندسی آب، شیراز، ایران، صندوق پستی: ۳۶۴-۷۱۳۶۵

۲- مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی فارس، ایران.

npirmorad@gmail.com

چکیده

مهم‌ترین جزء نیاز آبی، تبخیر-تعرق گیاه می‌باشد. با توجه به تأثیر عوامل نامطمئن در میزان تبخیر- تعرق گیاه مرجع و جهت تخمین هرچه دقیق‌تر این پارامتر، از سیستم‌های استنتاج فازی و شبکه عصبی مصنوعی در این پژوهش استفاده شد. محاسبه تبخیر تعرق گیاه مرجع به روش پنمن- مانتیث نیاز به داده‌های زیاد پارامترهای جوی دارد. با توجه به محدودیت اطلاعات هواشناسی از نظر زمانی و مکانی، نیاز به مدلسازی تبخیر- تعرق بر اساس داده‌های موجود می‌باشد. در منطقه مورد مطالعه (حوزه آبریز رودخانه‌های کر و سیوند)، تنها پارامتر جوی که در تمام نقاط حوزه و در طول دوره آماری مورد نظر در این تحقیق موجود می‌باشد، اندازه‌گیری‌های مربوط به دمای هوا می‌باشد. بر این اساس، ابتدا در دو ایستگاه موجود منطقه، مقادیر ET_O برای ماه‌های مختلف در یک دوره ۳۰ ساله و بر اساس روش پنمن- مانتیث محاسبه گردید. در ادامه بر اساس روش شبیه‌سازی سیستم استنتاج فازی شبکه عصبی وفق‌پذیر ANFIS، مدل شبیه‌سازی بین مقادیر محاسبه ET_O به روش پنمن- مانتیث و متوسط دمای هوا به صورت ماهانه در یکی از ایستگاه‌ها تهیه شد. همچنین مقادیر ET_O براساس مدل شبیه‌سازی کامپیوتری و روش پنمن- مانتیث در ایستگاه دیگری محاسبه گردید. بر اساس مدل تخمینی ET_O حاصله از داده‌های ایستگاه اول، مقادیر ET_O برای ماه‌های مختلف در این دوره آماری بر اساس متوسط دمای هوا در ایستگاه دوم محاسبه شد. همچنین مقادیر ET_O حاصله از روش پنمن- مانتیث با دو متغیر ورودی متوسط دمای هوا و تبخیر از تشتک کلاس A، بر اساس روش ANFIS نیز شبیه‌سازی شد. تطابق نتایج حاصله از مدل شبیه‌سازی تبخیر تعرق پتانسیل بر اساس روش ANFIS و داده‌های متوسط دمای هوای ماهانه با مقادیر حاصله از روش پنمن- مانتیث، توانایی مدل ANFIS در برآورد مقادیر تبخیر- تعرق ماهانه گیاه مرجع را در شرایط عدم وجود داده‌های کامل روش پنمن- مانتیث نشان داد.

کلمات کلیدی: تبخیر- تعرق، شبکه عصبی مصنوعی، منطق فازی.

Archive of SID

www.SID.ir

مقدمه

تخمین دقیق میزان منابع و مصرف آب در یک حوزه، به دلیل وجود عوامل موثر متعدد، بسیار مشکل می‌باشد. اکثر این عوامل گنگ، نادقیق و نامشخص بوده که با مباحث ریاضی کلاسیک معمول قابل بررسی نمی‌باشد. بنابراین در سال‌های اخیر استفاده از مباحث تئوری منطق فازی در شبیه‌سازی و بهینه‌سازی حوزه آبریز جایگاه خود را پیدا کرده و اکثر محققین این رشته این مفاهیم را به عنوان ابزار بسیارقوی در این زمینه معرفی کرده‌اند(۲۱و۲۲).

عمده مسئله مهم در بهینه‌سازی مصرف آب در یک حوزه آبریز بزرگ، مسئله میزان نیازآبی و تخصیص بهینه آن به صورت پویا در نقاط مختلف یک حوزه آبریز می‌باشد. شاید با وجود فراوانی مدل‌های شبیه‌سازی و پیش‌بینی نیاز آبی، محاسبه مجدد این متغیر امری بدیهی و آسان بنظر آید. اما بکارگیری این مدل‌ها در سطح یک حوزه آبریز بزرگ در دوره‌های زمانی متفاوت، به دلیل عدم اطمینان در متغیرهای پایه و مورد نیاز این مدل‌ها، این مسئله را پیچیده کرده است. قدم اول در این زمینه انتخاب یک روش مناسب با توجه به شرایط منطقه مورد مطالعه می‌باشد. به عنوان مثال به منظور مطالعه تبخیر- تعرق گیاه که از اجزای نیاز آبی گیاه می‌باشد، می‌توان از روش‌هایی همچون بلانی کریدل، هارگریوز، پنمن فائو، پنمن مانتیت و غیره استفاده نمود (۹). انتخاب این مدل‌ها نیاز به ابزار مطالعات متعددی دارد که معمولاً در سطح یک حوزه بسیار وقت‌گیر و هزینه‌بر می‌باشد (۷). از طرفی اکثر این روش‌ها بخصوص روش پنمن مانتیت که در سال‌های اخیر نظر اکثر محققین دنیا و کشورمان را به خود معطوف کرده است (۴و۱۰)، دارای پارامترهای زیادی است که در اکثر موارد نیاز به فرضیات اولیه‌ای دارد که در نهایت نتایج این مدل‌ها را نامطمئن می‌سازد.

تئوری مجموعه فازی یک چارچوب ریاضی را در مدل‌سازی شرایط گنگ و نامشخص ایجاد می‌کند. شبکه‌های عصبی دارای قابلیت آموزش این چنین پیچیدگی‌های تولید اطلاعات و کلاس‌بندی ورودی‌ها می‌باشند. کنترل پیوندی[1] با بهره‌گیری از فوائد این دو تئوری و همچنین از سایر تکنیک‌های جدید، یک ابزار قوی را برای کنترل هوشمند ایجاد می‌کند.

در تحقیقی تأثیر متغیرهای مختلف آب و هوایی بر تبخیر- تعرق گیاه مرجع بررسی شده و نتایج حاکی از آن است، مدل‌هایی که بر اساس دمای هوا و تابش عمل می‌کنند، دارای نتایج بسیار رضایت‌بخشی هستند (۱۱). مقدار تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه مرجع با استفاده از لایسیمتر زهکش‌دار در اصفهان طی دو سال اندازه-گیری، با نتایج ۱۲ روش محاسباتی مقایسه شد و به ترتیب روش‌های جنسن- هیز، کریستین‌سن- هارگریوز، بلانی- کریدل اصلاح شده و پنمن به عنوان مناسب‌ترین روش‌ها برای این منطقه معرفی گردید (۸). انتصاری و همکاران (۲) تبخیر- تعرق پتانسیل را در چند منطقه از ایران با روش پنمن- مانتیث محاسبه نمودند و با دیگر روش‌های توصیه شده سازمان خوار و بار جهانی (تشت تبخیر، پنمن، پنمن اصلاح شده، تشعشع و بلانی کریدل) مورد مقایسه قرار دادند و قابلیت اتکا به روش پنمن- مونتیث را تحلیل نمودند. صمدی و مجدزاده (۱۲) ضمن اندازه‌گیری تبخیر- تعرق گیاه مرجع (چمن) توسط لایسیمتر در کرمان تعدادی از روش‌های محاسباتی (بلانی-کریدل، تورنت وایت و پنمن- فائو) را مورد ارزیابی قرار دادند و نتیجه

[1] Hybrid Control

Archive of SID

www.SID.ir

گرفتند که معادله بلانی-کریدل مناسب‌ترین روش برای استفاده در مناطق خشک است. در پژوهش پیرمرادیان و همکاران (۳) در منطقه مورد مطالعه، ضریب گیاهی و نیاز آبی برای گیاه برنج در دو سال متوالی تعیین گردید. نتایج نشان داد که تبخیر-تعرق گیاه برنج در این منطقه بین ۳/۷۶ تا ۹/۳۴ میلی‌متر در روز تغییر می‌کند. ضریب گیاهی برنج در مرحله ابتدائی رشد برابر ۰/۹۷، مرحله میانی برابر ۱/۲۵ و برای مرحله پایانی برابر ۱/۰۹ بدست آمد.

در پژوهش فولادمند و سپاسخواه (۱۵)، سه روش مختلف برای تخمین تبخیر تعرق بالقوه سطوح گیاهی (ET_o) در منطقه باجگاه (استان فارس) ارزیابی شد. با استفاده از میانگین داده‌های هواشناسی، مقادیر ماهانه ET_o با استفاده از معادله‌های پنمن- فائو، پنمن- مانتیث و هارگریوز تخمین زده شد. بررسی‌ها نشان داد که نتایج معادله‌های پنمن- مانتیث و هارگریوز تا اندازه‌ای به هم شبیه‌اند. ولی میزان ET_o را برای همه سال‌ها کمتر از روش پنمن- فائو تخمین می‌زنند. همچنین در تحقیق فولادمند (۱۴)، با استفاده از داده‌های هواشناسی ایستگاه سینوپتیک شیراز، چهار حالت معادله هارگریوز برای محاسبه تبخیر تعرق ماهانه گیاه مرجع با روش پنمن- مانتیت مقایسه گردید. نتایج نشان داد که معادله‌ای که مقدار بارندگی ماهانه نیز در آن وارد شده است، نزدیک‌ترین حالت به معادله پنمن- مانتیت می‌باشد. لذا از این معادله که شامل آمار میانگین حداقل و حداکثر دما و مجموع بارندگی ماهانه می‌باشد، می‌توان برای تخمین مقدار تبخیر تعرق ماهانه در منطقه شیراز به جای معادله پنمن- مانتیت استفاده نمود.

در تحقیقات Abolpour و Javan (۱۷)، بر اساس مجموعه داده‌های متغیرهای ورودی چون نفوذ عمقی، عمق خالص آبیاری و مصرف آب، از روش سیستم استنتاج فازی شبکه عصبی وفق‌پذیر ANFIS در آموزش دبی ورودی استفاده گردید. از مقایسه بین مقادیر اندازه‌گیری شده مصرف آب در لایسیمترهای تحقیقاتی با مقادیر تخمینی از روش پنمن- مانتیث، مشخص گردید که روش FIS با درنظر گرفتن رفتار فازی می‌تواند اختلافات را به حداقل برساند. علاوه بر این با بهره‌گیری از توابع عضویت فازی حاصله از این روش، چگونگی تغییرات در میزان دبی ورودی مزارع در دستیابی به یک مصرف بهینه آب در این منطقه مشخص گردید.

عوامل و فاکتورهایی همچون سطوح زیرکشت، الگوی کشت، وضعیت خاک، اقلیم منطقه و غیره بر تخمین تبخیر- تعرق گیاه اثرگذار بوده و تغییرات مکانی و زمانی این عوامل خود باعث تغییرات زیادی در این متغیر در سطح یک حوزه آبریز می‌گردد (۱ و ۷). روش پنمن- مانتیث علاوه‌بر این‌که در حال حاضر روش برتری در دنیا معرفی گردیده، در مطالعات و تحقیقات زیادی نیز در کشور مورد استفاده قرار گرفته است (۴، ۹ و۱۳). هرچند تعیین روش برتر گام مهمی در تخمین نیاز آبی اراضی کشاورزی می‌باشد ولی تهیه پارامترهای مورد نیاز این روش و به طور کلی محاسبه نیاز آبی اراضی کشاورزی بر اساس این روش، نیاز به تحقیقات وسیع دارد. محاسبه تبخیر تعرق گیاه مرجع به روش پنمن- مانتیث نیاز به داده‌های زیاد پارامترهای جوی دارد. به دلیل عدم وجود ایستگاه‌های اندازه‌گیری اطلاعات جوی به حد کافی در حوزه مورد مطالعه، امکان محاسبه این متغیر به این روش در زیر حوزه‌های

Archive of SID
www.SID.ir

مختلف این حوزه آبریز نمی‌باشد. حتی در بعضی از مناطق که ایستگاه‌های هواشناسی موجود می‌باشد، طول دوره آماربرداری آن‌ها کوتاه است. در این شرایط، تحقیقاتی در بررسی ارتباط بین تبخیر تعرق پتانسیل و متغیرهایی چون متوسط دمای هوای ماهانه در دنیا صورت گرفته است (۱۶).

در این مطالعه، سعی بر آن است که با بهره گرفتن از رهیافت‌های جدید در علوم، گامی در جهت برآورد دقیق‌تر تبخیر- تعرق گیاه مرجع در شرایط عدم وجود اطلاعات کامل برداشته شود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه حوزه آبریز کر و سیوند بود که به نام حوزه آبریز طشک – بختگان – مهارلو نیز نامیده می‌شود و در شمال استان فارس، در دامنه‌های شرقی، بخش جنوبی کوه‌های زاگرس قرار گرفته است. این منطقه محدوده جغرافیایی بین ۴۵` و ۵۱° تا ۳۰` و ۵۴° طول شرقی و ۰۱` و ۲۹° تا ۱۵` و ۳۱° عرض شمالی را در بر گرفته است. کل مساحت حوزه بالغ بر ۳۱۵۱۱ کیلومترمربع، شامل مناطق کوهستانی با مساحت ۱۶۶۳۰ کیلومترمربع و مناطق پست و دریاچه‌ها با مساحت ۱۴۸۸۱ کیلومترمربع می‌باشد.

در این تحقیق بر اساس روش پنمن مانتیث و راهنمایی های نشریه FAO56، برنامه‌ای کامپیوتری برای محاسبه ET_O تهیه گردید. در تخمین تبخیر- تعرق گیاه مرجع به روش پنمن- مانتیت، نیاز به پارامترهائی چون، درجه حرارت هوا، رطوبت هوا، سرعت باد و سایر پارامترهای جوی می‌باشد. بر اساس این روش، برنامه کامپیوتری و داده‌های جوی، تبخیر تعرق ماهانه گیاه مرجع در یک دوره آماری ۳۰ ساله در دو ایستگاه حوزه محاسبه گردید. لازم به ذکر است ایستگاه‌ها پس از بررسی اولیه، با توجه به دوره آماری، وجود و صحت اطلاعات انتخاب شد. در منطقه مورد مطالعه، تنها پارامتر جوی که در تمام نقاط حوزه و در طول دوره آماری مورد نظر در این تحقیق موجود می‌باشد، اطلاعات اندازه‌گیری شده دمای هوا می‌باشد. بنابراین در ادامه به منظور تخمین تبخیر تعرق گیاه مرجع با استفاده از دمای هوا، در دو ایستگاه حوزه که دارای آمار کامل بودند، مقادیر ET_O برای ماه‌های مختلف در یک دوره ۳۰ ساله به وسیله شبیه‌سازی کامپیوتری و بر اساس روش پنمن- مانتیت محاسبه گردید. سپس بر اساس روش شبیه‌سازی سیستم استنتاج فازی شبکه عصبی وفق پذیر ANFIS، مدل شبیه سازی بین مقادیر محاسبه شده ET_O به روش پنمن- مانتیت و متوسط دمای هوا به صورت ماهانه در یکی از ایستگاه‌ها تهیه شد. متغیر ورودی مدل، متوسط دمای هوا در این ایستگاه و متغیر خروجی تبخیرتعرق گیاه مرجع به روش پنمن- مانتیت بود. مدل شبیه‌سازی بدست آمده قادر است مقادیر تبخیر تعرق ماهانه گیاه مرجع را بر اساس متوسط دمای ماهانه در این ایستگاه محاسبه نماید. حال سوال این است که مدل بدست آمده بر اساس دمای هوا، آیا قادر خواهد بود برای نقاط دیگر حوزه مورد استفاده قرار گیرد یا خیر؟ بنابراین به منظور بررسی این مورد، بر اساس مدل تخمینی ET_O حاصله از داده‌های ایستگاه اول، مقادیر ET_O برای ماه‌های مختلف در این دوره آماری بر اساس متوسط دمای هوا در ایستگاه دوم محاسبه گردید. همچنین مقادیر ET_O حاصله از روش پنمن- مانتیت با دو متغیر ورودی متوسط دمای هوا و تبخیر از تشتک کلاس A، بر اساس روش ANFIS نیز شبیه‌سازی شد.

Archive of SID

www.SID.ir

تئوری روش

سیستم‌های فازی– عصبی، شبکه‌های تطبیقی چندلایه است که از عناصر اصلی و توابع سیستم‌های منطق فازی حاصل شده‌اند. با بهره‌گیری از مفاهیم معماری شبکه[1] و الگوریتم آموختن[2] در مباحث شبکه عصبی در سیستم‌های فازی عصبی، موفقیت‌های زیادی در مدل‌سازی و کنترل سیستم‌های پیچیده بدست آمده است. در مراجع چندین گونه از شبکه‌های فازی– عصبی دیده می‌شود (۱۹و۲۰). شاخص این روش‌ها، سیستم استنتاج فازی- عصبی وفق پذیر[3] ANFIS بوده که توسط Yang در سال ۱۹۹۶ بسط یافته است (بیان شده توسط Li و همکاران) (۲۱). این روش بر اساس مفاهیم روش‌های شبکه عصبی در سیستم‌های فازی بسط یافته است. هدف اصلی در این روش آموختن شکل توابع عضویت برای سیستم فازی است که از خصوصیات تطابقی روش‌های شبکه عصبی حاصل می‌شود. Takagi، Sogno و Kang از اولین محققین بودند که این قابلیت را می‌دانستند. بعداً Yang با چنین دیدگاهی روش ANFIS را به صورت یک روش سیستماتیک برای تطابق با مقادیر مشاهده شده چندین کاربرد متفاوت بسط داد. این مدل اجازه می‌دهد که سیستم‌های فازی در مباحث آموختن پارامترها از الگوریتم آموختن گسترش برگشتی وفق‌پذیر[4] استفاده نمایند. در ANFIS عمومی به خوبی سیستم‌های استنتاج فازی FIS تکامل می‌یابد (بیان شده توسط Li و همکاران) (۲۱). یک سیستم استنتاج فازی FIS می‌تواند برقراری یک ترسیم غیرخطی از متغیرها را بررسی کند که به صورت f بیان می‌گردد. در واقع f یک مقدار تخمینی از یک مقدار خاص مشاهده شده می‌باشد و می‌تواند به صورت زیر محاسبه شود:

$$f(x)=\frac{\sum_{l=1}^{m} y^{l}\left(\prod_{i=1}^{n}\mu_{A_i^l}(x_i)\right)}{\sum_{l=1}^{m}\left(\prod_{i=1}^{n}\mu_{A_i^l}(x_i)\right)} \qquad (۱)$$

در این صورت y^l یک خروجی اولیه از استلزام مامدنی یا یک مقدار ثابت در استلزام سوگنو می‌باشد. مقدار تابع عضویت $\mu_{A_i^l}(x_i)$ بر روی نقاط فضایی ورودی $\mathbf{x}=[x_1,\ldots,x_n]$ از قانون فازی l می‌باشد. فرض ارتباط "و" در گذاره‌ها به صورت حاصل ضرب جبر کلاسیک بوده که در این صورت روش چگالی مرکزی[5] برای دی فازی[6] استفاده می‌گردد. بنابراین رابطه فوق به صورت زیر خواهد بود:

$$f(x)=\sum_{l=1}^{m} w_l\, b_l(x) \qquad (۲)$$

در اینجا اگر w_l برابر y^l باشد آنگاه مقدار $\boldsymbol{b_l}$ به صورت زیر خواهد بود:

$$b_l(x)=\frac{\prod_{i=1}^{n}\mu_{A_i^l}(x_i)}{\sum_{l=1}^{m}\left(\prod_{i=1}^{n}\mu_{A_i^l}(x_i)\right)} \qquad (۳)$$

تاکنون مقدار f برای یک نقطه از دامنه تغییرات ورودی یا برای یک X از مجموعه متغیرهای ورودی $D=\{x_1,\ldots,x_i\}$ محاسبه شده است ($i=1,2,\ldots,n$ برای متغیرهای ورودی و $j=1,2,\ldots,h$ برای داده‌های

[1] Architecture network
[2] Learning algorithm
[3] Adaptive neuro fuzzy inference system
[4] Adaptive backpropagation learning algorithm
[5] Center of gravity method
[6] Defuzzifing

Archive of SID
www.SID.ir

مشاهده‌ای). حال اگر F مقادیر محاسبه شده متناوب نقاط مجموعه متغیر ورودی باشد، در آن صورت F برابر $f(x)$ برای سایر متغیرهای ورودی خواهد بود. به عبارت دیگر تابع F بر محدوده [a,b] برای مقدار متغیرهای ورودی $D=\{x^1,\ldots,x^h\}$ خواهد بود که این متغیرها در این محدوده [a,b] قرار دارند.

اگر مقدار متغیر خروجی به ازاء مقادیر متغیرهای ورودی $D=\{x^1,\ldots,x^h\}$ برابر Q^h باشد، در روش ANFIS می‌بایست مجموع مربعات اختلاف بین مقادیر مشاهده شده $Q^h(x)$ با مقدار محاسبه شده $F(X)$ حداقل گردد. بنابراین:

$$\min:\sum_{j=1}^{h}\left|F(x^j)-Q(x^j)\right|^2 \qquad (۴)$$

به عنوان مثال فرض شود که سیستم استنتاج فازی دارای چهار متغیر ورودی x_1 و x_2 x_3 و x_4 باشد و هر ورودی دو تابع عضویت داشته باشند (به عنوان مثال A_1 و A_2 برای متغیر ورودی x_1) بنابراین ۱۶ قانون فازی "اگر - آنگاه" وجود دارد. در اینجا الگوریتم شبکه عصبی، یک شبکه پنج لایه به صورت شکل (۱) می‌باشد. مکانیزم استلزام برای این مدل TSK در شکل (۱-الف) نمایش داده شده است (فقط برای یک قانون). معماری شبکه عصبی بر اساس روش ANFIS در شکل (۱-ب) آمده است.

قانون اول در این مثال برای چهار متغیر ورودی مدل فازی TSK به صورت زیر است:

قانون (۱): اگر x_1 عضو A_1، x_2 عضو B_1، x_3 عضو C_1 و x_4 عضو D آنگاه:

$$f_1 = p_1^1 x_1 + p_2^1 x_2 + p_3^1 x_3 + p_4^1 x_4 + p_5^1$$

در اینجا زیرنویس‌ها معرف قانون (۱) می‌باشد. مقدار متغیر خروجی از گروه i در لایه k به صورت $O_{k,i}$ می‌باشد. هرگروه در لایه یک می‌تواند تابع عضویتی به صورت زیر داشته باشد:

$$\mu_A(x)=\frac{1}{1+\left|\frac{x-c_i}{a_i}\right|^{2b_i}} \qquad (۵)$$

در اینجا a_i ، b_i و c_i پارامترهای تابع عضویت[1] بوده و ضرائب غیرخطی این معادله می‌باشند. مقدار تابع خروجی از گره ثابت در لایه ۲ برای همه متغیرهای ورودی به صورت زیر است:

$$O_{2,i}=w_i=\mu_{A_j}(x_1)\mu_{B_j}(x_2)\cdots\mu_{D_j}(x_4) \quad ،i=1,2,\ldots,16 \quad ،j=1,2$$

در لایه ۳، تابع گره‌های ثابت در نرمالیزه کردن ورودی‌ها استفاده می‌شود. هرگره‌ای در لایه ۴، یک مقدار تابع یافته شده بوده و پارامترهای وفق‌پذیر یا "پارامترهای پی‌درپی[2]" نامیده می‌شوند. در لایه ۵، تنها یک جمع جبری ساده صورت می‌گیرد. و برای گره‌های واقع بر لایه‌های ۳، ۴ و ۵ به ترتیب به صورت زیر می‌باشد:

$$O_{3,i}=\overline{W}_i=\frac{w_i}{\sum_{i=1}^{16}w_i} \quad ،i=1,2,\ldots,16 \qquad (۶)$$

$$O_{4,i}=\overline{w}_i f_i=\overline{w}_i(p_1^i x_1+p_2^i x_2+p_3^i x_3+p_4^i x_4+p_5^i) \qquad (۷)$$

$$O_{5,1}=\sum_i \overline{w}_i f_i \qquad (۸)$$

[1] Premise parameters
[2] Consequent parameter

Archive of SID

www.SID.ir

بنابراین شبکه ANFIS بر اساس مدل فازی TSK تشکیل شده است. این شبکه می‌تواند بر اساس الگوریتم برگشتی وفق‌پذیر، پارامترهای ذکر شده در فوق را تصحیح نماید. در روابط (۱۱و۱۲)، هرگره دارای مقدار اولیه‌ای بوده و مقدار تخمینی متغیر خروجی، یک ترکیب خطی از پارامترهای پی درپی می‌باشد.

روند خطاء و آزمونی که در جهت یافتن پارامترهای رابطه (۹ و۱۲) به منظور دستیابی به شرایط رابطه (۸) انجام می‌گردد، اصطلاحاً "آموختن" مدل نامیده می‌شود. آموختن می‌تواند به دو صورت روند پیشرو یا پسرو مشاهده گردد. در این تحقیق، به منظور آموختن مدل ANFIS از نرم‌افزار MATLAB R12 استفاده شد و پارامترهای روابط (۹ و ۱۲) بر اساس این نرم‌افزار محاسبه گردید.

نتایج

در محاسبه نیاز آبی اراضی کشاورزی، در مرحله اول نیاز به تخمین تبخیر- تعرق گیاه مرجع می‌باشد. در این تحقیق بر اساس روش پنمن - مانتیث و راهنمایی‌های نشریه FAO56، برنامه کامپیوتری در محیط اکسل برای محاسبه ET_O تهیه گردید (۱۸). در تخمین تبخیر تعرق گیاه مرجع به روش پنمن - مانتیث، نیاز به پارامترهائی همچون، درجه حرارت هوا، رطوبت هوا، سرعت باد و سایر پارامترهای جوی می‌باشد. پارامترهای مورد نیاز برای یک دوره آماری ۳۰ ساله (۱۳۵۰ تا ۱۳۸۰)، از دو ایستگاه اقلیم‌شناسی باجگاه و کوشکک استفاده گردید. سایر پارامترهای مورد نیاز در این روش از رساله‌های موجود در این رابطه استخراج گردیده است. بر این اساس، تبخیر تعرق ماهانه گیاه مرجع در این دوره آماری در این دو ایستگاه محاسبه گردید.

محاسبه تبخیر تعرق گیاه مرجع به روش پنمن- مانتیث نیاز به داده‌های زیاد پارامترهای جوی دارد. به دلیل عدم وجود ایستگاه‌های جوی به حد کافی در این حوزه امکان محاسبه این متغیر به این روش در زیر حوزه‌های مختلف این حوزه آبریز نمی‌باشد. حتی در بعضی از مناطق که ایستگاه‌های هواشناسی موجود بوده، طول دوره آماربرداری آن‌ها در این دوره ۳۰ ساله موجود نمی‌باشد. درحوزه آبریز رودخانه کر و سیوند، تنها پارامتر جوی که در تمام نقاط این حوزه و در طول دوره آماری مورد نظر در این تحقیق موجود می‌باشد، اندازه‌گیری‌های مربوط به دمای هوا می‌باشد. بنابراین در ادامه جهت مدل‌سازی تخمین تبخیر- تعرق گیاه مرجع با استفاده از دمای هوا، در دو ایستگاه باجگاه و کوشکک (ایستگاه‌های موجود در منطقه) مقادیر ET_O برای ماه‌های مختلف در یک دوره آماری به وسیله شبیه‌سازی کامپیوتری و بر اساس روش پنمن- مانتیت محاسبه گردید. در ادامه بر اساس روش شبیه‌سازی سیستم استنتاج فازی شبکه عصبی تطابقی ANFIS، مدل شبیه‌سازی بین مقادیر محاسبه ET_O به روش پنمن- مانتیث و متوسط دمای هوا به صورت ماهانه در ایستگاه کوشکک تهیه گردید. در این بررسی تعداد داده‌های آزمون مدل ۲۰۰ و تعداد داده‌های صحت مدل ۵۲ مورد بود. متغیر ورودی مدل متوسط دمای هوای ایستگاه کوشکک و متغیر خروجی تبخیر تعرق گیاه مرجع به روش پنمن- مانتیث بود. روش حل شبکه عصبی Hybrid، تعداد قوانین فازی ۵ مورد و مقدار RMSE=0.87 برای این مدل بدست آمد (شکل ۱). در این صورت مدل شبیه سازی بدست آمده قادر

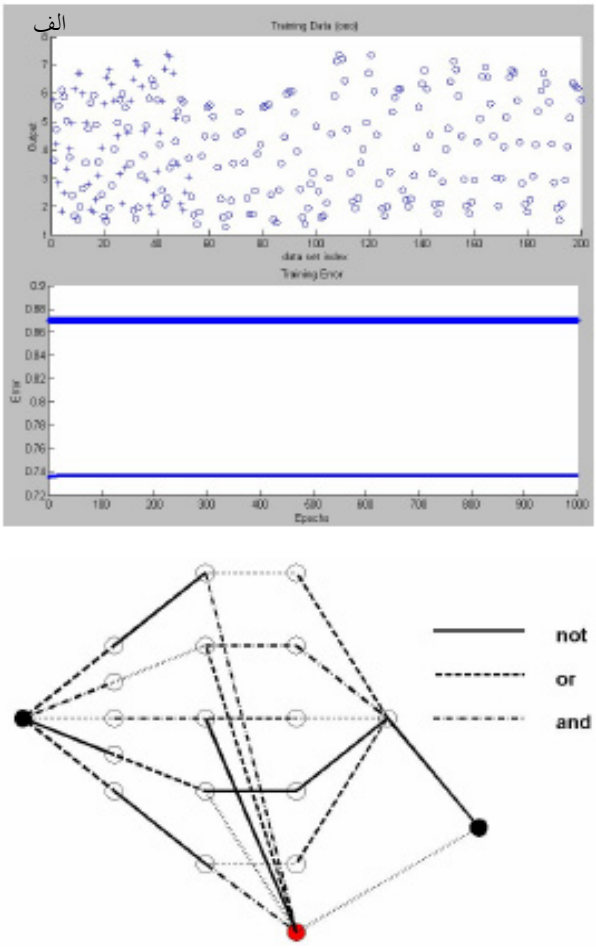
Archive of SID

www.SID.ir

خواهد بود مقادیر تبخیر تعرق ماهانه گیاه مرجع را براساس متوسط دمای ماهانه در ایستگاه کوشکک محاسبه نماید. مسئله بعد این است که آیا مدل بدست آمده قادر خواهد بود برای مناطقی دیگر از حوزه آبریز مورد استفاده قرار گیرد یا خیر؟

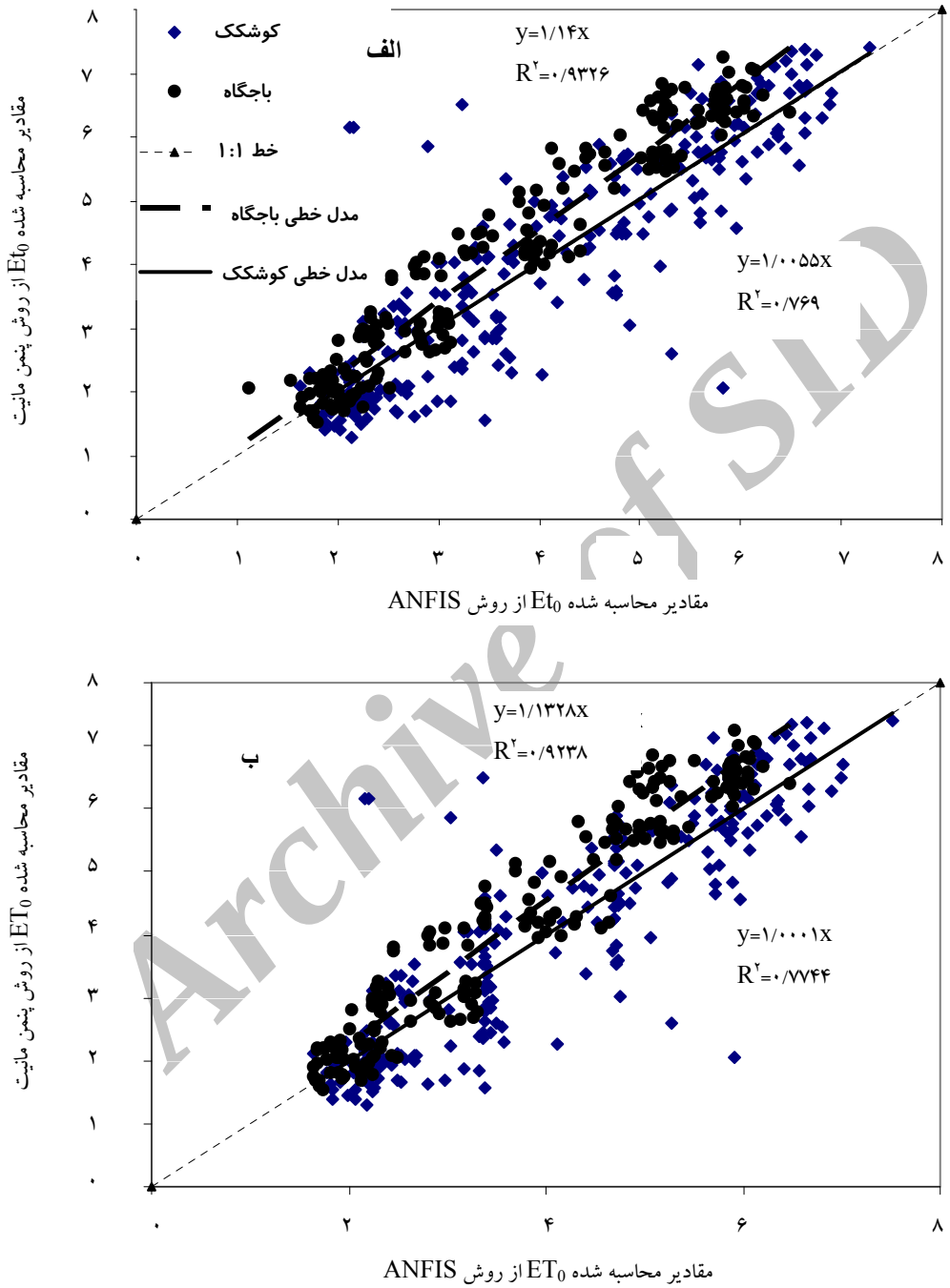
ایستگاه کوشکک تقریباً در مرکز حوزه آبریز مورد نظر قرار داشته و ایستگاه اقلیم‌شناسی باجگاه در حوزه مجاورآن قرار دارد. در مطالب قبلی اشاره شد که مقادیر ET_O بر اساس مدل شبیه‌سازی کامپیوتری و روش پنمن- مانتیت در ایستگاه باجگاه محاسبه شد.

بنابراین در ادامه بر اساس مدل تخمینی ET_O حاصله از داده‌های ایستگاه کوشکک، مقادیر ET_O برای ماه‌های مختلف در این دوره آماری بر اساس متوسط دمای هوا در ایستگاه باجگاه محاسبه گردید. شکل ۲ مقایسه مقادیر محاسبه شده از روش پنمن- مانتیث و مقادیر محاسبه شده بر اساس متوسط دمای هوا در ایستگاه باجگاه را نشان می‌دهد. در این شکل، مقادیر تخمینی ET_O از مدل ANFIS و محاسبه شده از روش پنمن- مانتیت در این دوره آماری در ایستگاه باجگاه و کوشکک با ۵ قانون فازی آمده است.



شکل ۱: ساختار شبکه عصبی، نتایج آموزش و صحت مدل شبیه سازی تبخیر-تعرق پتانسیل بر اساس متوسط دمای ماهانه ایستگاه هواشناسی کوشکک (۲۰۰ سری داده برای آموزش و ۵۲ سری داده برای صحت سنجی مدل)

www.SID.ir



شکل۲: مقادیر محاسبه شده تبخیر-تعرق گیاه مرجع از روش پنمن- مانتیت و مدل ANFIS با ۵ قانون (الف) و ۷ قانون فازی (ب) بر اساس متوسط دمای هوای ماهانه ایستگاه های کوشکک و باجگاه

Archive of SID
www.SID.ir

بنابراین R^2=۰/۹۳ در ایستگاه باجگاه دلالت بر شبیه‌سازی مناسب ET_O با دمای هوای این ایستگاه دارد. در ادامه، این مراحل با ۷ قانون فازی تکرار شد که نتایج در شکل ۲ آمده است. شاخص‌های دیگر آماری در ارزیابی مدل‌های استخراج شده، استفاده شد که نتایج آن در جدول ۱ آمده است. نتایج حاکی از آن است که مدل‌های بدست آمده مبتنی بر اطلاعات دمای هوا به خوبی توانسته است به شبیه‌سازی مقادیر ET_0 بپردازد.

جدول ۱: نتایج محاسبات شاخص های آماری مدل های تخمین تبخیر-تعرق گیاه مرجع در ایستگاه اقلیم شناسی باجگاه و ایستگاه هواشناسی کوشکک

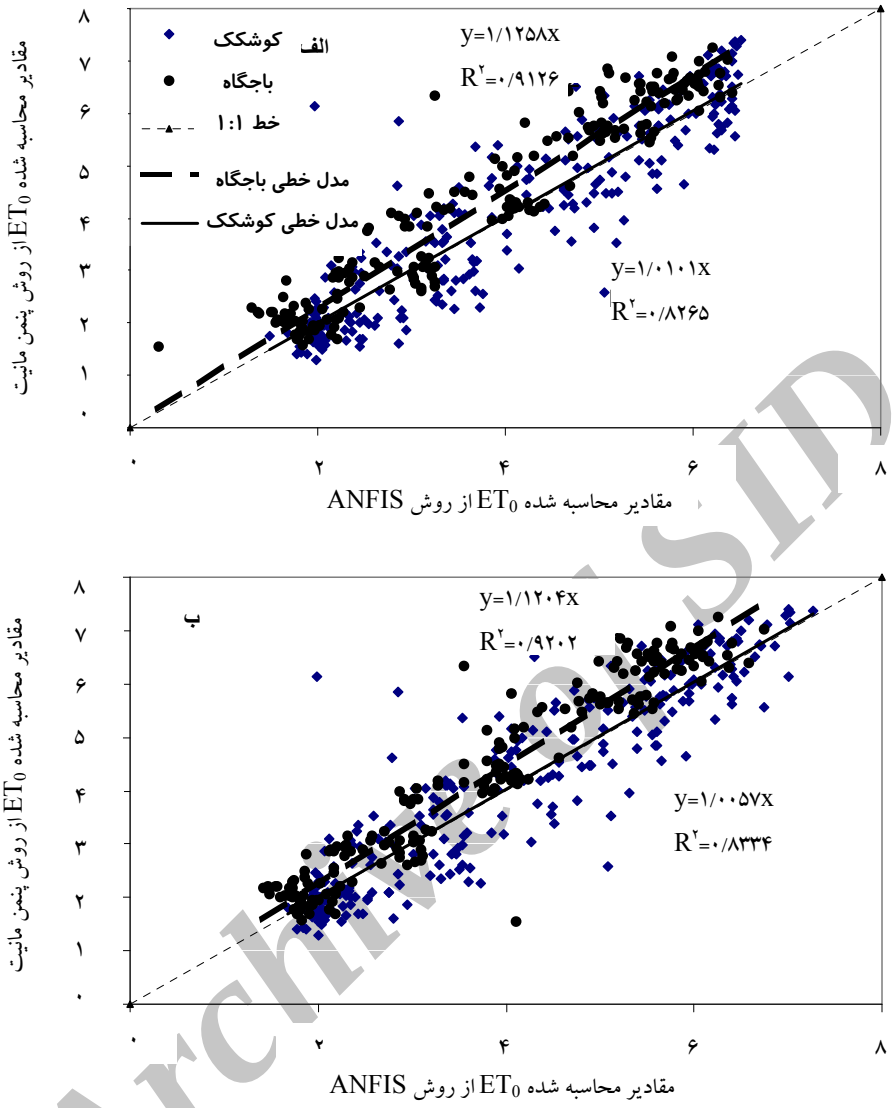
Model	STEYX	CORREL	COVAR	DEVSQ	FTEST	RSQ	TTEST	ZTEST	Avg-Err(%)	Max-Err(%)	Min-Err(%)
TEK5K	۰/۷۳۹	۰/۸۷۷	۲/۳۶۱	۱۳۶۴/۴	۰/۰۲۹	۰/۷۶۹	۰/۴۴۲	$۵/۶۷\times۱۰^{-۶}$	۴/۰۶۸	۱۸۱/۶۱	۰/۰۵۷
TEK5B	۰/۳۹۰	۰/۹۶۶	۲/۵۵۴	۱۰۵۵/۹	۰/۰۱۹	۰/۹۳۳	۰/۰۰۱	۰/۰	۳/۷۰۱	۴۶/۰۲	۰/۷۳۱
TEEK5K	۰/۶۵۵	۰/۹۰۹	۲//۵۰۵	۱۳۹۲/۴	۰/۰۶۹	۰/۸۲۷	۰/۴۰۸	$۱/۶۱\times۱۰^{-۵}$	۴/۰۵۵	۹۵/۷۶	۰/۱۰۲
TEEK5B	۰/۴۶۱	۰/۹۵۶	۲/۶۵۵	۱۰۹۷/۹	۰/۰۹۲	۰/۹۱۴	۰/۰۰۲	۰/۰	۳/۷۱۸	۷۹/۸۲	۰/۱۱۱
TEEK7K	۰/۶۵۶	۰/۹۱۳	۲/۵۷۰	۱۴۱۹/۵	۰/۱۳۹	۰/۸۳۳	۰/۴۳۴	$۱/۵۷\times۱۰^{-۵}$	۴/۰۶۵	۹۶/۵۴	۰/۰۴۴
TEEK7B	۰/۴۳۸	۰/۹۵۹	۲/۶۲۶	۱۰۸۱/۴	۰/۰۶۰	۰/۹۲۱	۰/۰۰۳	۰/۰	۳/۷۵۱	۱۶۷/۵۴	۰/۰۸۱
TEK7K	۰/۷۳۷	۰/۸۸۰	۲/۳۹۲	۱۳۷۶/۱	۰/۰۴۳	۰/۷۷۴	۰/۵۰۰	$۲/۴۸\times۱۰^{-۶}$	۴/۰۸۹	۱۸۵/۹۷	۰/۰۰۸
TEK7B	۰/۴۱۳	۰/۹۶۱	۲/۵۳۶	۱۰۵۱/۳	۰/۰۱۷	۰/۹۲۴	۰/۰۰۲	۰/۰	۳/۷۲۷	۳۵/۶۵	۰/۰۸۱

STEYX: خطای استاندارد، CORREL: ضریب همبستگی، COVAR: کوواریانس، DEVSQ: مربع انحرافات، FTEST: آزمون F، RSQ: ضریب تبیین، TTEST: آزمون T، ZTEST: آزمون Z، Avg-Err(%): میانگین درصد خطا، Max-Err(%): حداکثر درصد خطا، Min-Err(%): حداقل درصد خطا

همانطور که مشاهده می‌گردد، مدل‌های حاصله از ۵ و ۷ قانون فازی اختلاف زیادی با یکدیگر ندارند. ابول پور (۱) ارتباط بین پارامترهای جوی بر روی تبخیر تعرق پتانسیل و تبخیر از تشت در منطقه کرمان را بررسی نمود و مشاهده کرد که ارتباط معنی‌داری بین مقادیر تبخیر تعرق پتانسیل ماهانه با تبخیر از تشت موجود است. بنابراین در ادامه تحقیق، مقادیر ET_O حاصله از روش پنمن- مانتیت با دو متغیر ورودی متوسط دمای هوا و تبخیر از تشت کلاس A، بر اساس روش ANFIS شبیه‌سازی شد که نتایج در شکل ۳ آمده است.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۳: مقادیر محاسبه شده تبخیر- تعرق گیاه مرجع از روش پنمن- مانتیت و مدل ANFIS با ۵ قانون (الف) و ۷ قانون فازی (ب) بر اساس متوسط دمای هوای ماهانه و تبخیر از تشتک کلاس A ایستگاه‌های کوشکک و باجگاه

هر چند این مدل نسبتاً دارای ضرائب و شاخص‌های آماری بهتری می‌باشد، ولی به دلیل عدم وجود آمار و اطلاعات کافی از تبخیر از تشت در ایستگاه‌های مختلف در سطح این حوزه، استفاده از این مدل در موارد کمتری امکان‌پذیر است.

بحث

بررسی و مدل‌سازی رفتار هر پدیده فیزیکی که مطمئن و مشخص باشد، ساده و امکان‌پذیر است. به دلیل عوامل نامطمئن و گنگ، مدل‌سازی رفتار هر متغیر در تبخیر- تعرق گیاه ساده نبوده و نیاز به تکنیک‌های خاص دارد. بخصوص مدل‌سازی مصرف آب در یک حوزه آبریز به دلیل ارتباط این متغیر با متغیرهای بسیار

Archive of SID
www.SID.ir

زیاد در یک حوزه آبریز، این مسئله را پیچیده‌تر کرده است. مشکلات این مدل‌سازی در شرایطی که نیاز به بهینه‌سازی مصرف آب نیز باشد، شدیدتر خواهد بود. در سال‌های اخیر منطق فازی توانسته راه‌گشای خوبی در مباحث مدل‌سازی باشد. هدف اصلی در این تحقیق بررسی این مفاهیم در شبیه‌سازی تبخیر- تعرق در یک حوزه آبریز بزرگ بود. بنابراین از روش ANFIS به عنوان یک ابزار برای شبیه‌سازی مصرف آب در این حوزه آبریز استفاده گردید.

اگرچه روش‌های شبکه عصبی چون روش ANFIS توانایی زیادی در شبیه‌سازی رفتار پدیده‌های فیزیکی گنگ و نامطمئن دارد، ولی انتخاب متغیرهای پیش‌بینی ورودی و نحوه تشکیل مجموعه داده‌های مربوطه به آن، نقش بسیار مهمی در بهبود نتایج حاصله دارد. در این تحقیق مشاهده گردید که شبیه‌سازی تبخیر- تعرق گیاه مرجع در هر نقطه، می‌تواند به صورت‌های گوناگونی بر اساس انتخاب متغیرهای پیش بینی ورودی مثلاً دمای ماهانه یا تبخیر از تشت A صورت گیرد. مشاهده شده که شبیه‌سازی تبخیر-تعرق گیاه مرجع می‌تواند بر اساس صرفاً متغیرهای ورودی ایستگاه باجگاه صورت گیرد. تمام حالت‌های ممکن مورد بررسی قرار گرفت و مشاهده گردید که مدل شبیه‌سازی تبخیر- تعرق گیاه مرجع با دمای ماهانه اندازه‌گیری شده در این ایستگاه می‌تواند متغییر ورودی مطمئنی در تخمین تبخیر-تعرق گیاه مرجع در سایر نقاط این حوزه باشد. حتی در این شرایط مدل حاصله توانائی شبیه‌سازی مصرف آب در نقاط مختلف این حوزه را دارا می‌باشد.

سپاسگزاری

بدینوسیله از حوزه‌های معاونت پژوهشی منطقه یک دانشگاه آزاد اسلامی و دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز به جهت پیگیری مراحل تایید و همچنین تامین هزینه طرح پژوهشی حاضر، تشکر و سپاسگزاری می‌گردد.

منابع

۱. ابول‌پور، ب.، ۱۳۷۵. بررسی ارتباط بین پارامترهای جوی برروی تبخیر تعرق پتانسیل و تبخیر از تشت در منطقه کرمان. محموعه مقالات ششمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، ۱۰ و ۱۱ شهریور ماه، دانشگاه کرمان، ایران، صفحات ۱۹۲ تا ۱۹۷.

۲. انتصاری، م.ر.؛ نوروزی، م.؛ سلامت، ع.ر.؛ احسانی، م. و توکلی، ع.ر. ۱۳۷۵ . مقایسه روش پنمن- مانتیث با سایر روشهای توصیه شده جهت محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل (ET_O) در چند منطقه مختلف ایران. مجموعه مقالات هشتمین سمینار کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، مقاله شماره ۱۱، صفحات ۲۳۷-۲۲۱.

۳. پیرمرادیان. ن.؛ کامکار، ع.ر. و سپاس‌خواه، ع.ر.، ۱۳۸۱. ضریب گیاهی و نیاز آبیاری برنج در منطقه کوشک استان فارس. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه صنعتی اصفهان، صفحات ۱۵ تا ۲۳ .

۴. پیرمرادیان، ن.، ۱۳۷۶. تعیین نیاز آبی برنج در منطقه کوشکک استان فارس. رساله کارشناسی ارشد، بخش آبیاری، دانشگاه شیراز، ۱۱۱ صفحه.

Archive of SID

www.SID.ir

۵. خواجه زاده، ع.ر.، ۱۳۷۴. اصلاح معادله‌های بلانی-کریدل و هارگریوز- سامانی برای مناطق مختلف ایران. رساله کارشناسی ارشد، بخش آبیاری، دانشگاه شیراز، ۱۵۹ صفحه.

۶. خواجه عبداللهی، م.ح.، ۱۳۷۶. بررسی اثرهای دور آبیاری جویچه ای یک در میان بر روی عملکرد ذرت دانه ای در دو منطقه باجگاه و کوشکک. رساله کارشناسی ارشد، بخش آبیاری، دانشگاه شیراز، ۱۱۶ صفحه.

۷. دفتر مطالعات منابع آب.، ۱۳۸۱. گزارش آمار ایستگاه‌های هواشناسی حوزه آبریز کر و سیوند. آرشیو سازمان آب منطقه ای فارس، ۲۰۵ صفحه.

۸. رحیم زادگان، ر.، ۱۳۷۰. جستجوی روش مناسب برآورد تبخیر و تعرق در منطقه اصفهان. مجله علوم کشاورزی ایران، ۲۲ (۱ و ۲): ۹-۱.

۹. زندپارسا، ش. و سپاس‌خواه، ع.ر.، ۱۳۷۵. تعیین تبخیر تعرق پتانسیل گیاه مرجع براساس برخی عوامل قابل اندازه‌گیری در ایستگاه‌های هواشناسی در ایران. ششمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، ۱۰ و ۱۱ شهریور کربال – ایران صفحه ۱۸ تا ۲۹.

۱۰. سپاس‌خواه، ع.ر.، ۱۳۷۲. رابطه بین تولید محصول و تبخیر تعرق و برنامه‌بندی آبیاری، گندم، چغندرقند، لوبیا و ذرت. معاونت پژوهشی دانشگاه شیراز، گزارش طرح پژوهشی شماره ۴۹ ص ۴۲.

۱۱. سیدعزیزی، ا. ا.، ۱۳۷۷. تخمین تبخیر تعرق بالقوه گیاه مرجع و رسم خطوط هم تبخیر تعرق برای ایران. رساله کارشناسی ارشد، بخش آبیاری ، دانشگاه شیراز، ۱۷۱ صفحه.

۱۲. صمدی، ح. و مجدزاده، ب.، ۱۳۸۲. مقایسه تبخیر- تعرق گیاه مرجع محاسبه شده به وسیله فرمول‌های تجربی با لایسیمتر در کرمان. مجموعه مقالات هشتمین سمینار آبیاری و کاهش تبخیر، صفحات ۲۲-۱۹.

۱۳. فرشی، م.، ۱۳۷۶. تعین نیاز آبی محصولات زراعی. موسسه آب و خاک، مرکز آموزش، ترویج و تحقیقات کشاورزی، وزارت کشاورزی، ایران، ۳۰۵ صفحه.

۱۴. فولادمند، ح.ر.، ۱۳۸۶. ارزیابی پنج روش محاسبه تبخیر تعرق ماهانه در منطقه شیراز. مجله علوم کشاورزی. شماره ۱۳، جلد ۲، صفحات ۳۷۱ تا ۳۷۹.

۱۵. فولادمند، ح.ر. و سپاس‌خواه، ع.ر.، ۱۳۸۴. ارزیابی و واسنجی سه معادله تبخیر تعرق در منطقه ای نیمه خشک. مجله تحقیقات منابع آب ایران. شماره ۱، جلد ۲، صفحات ۱ تا ۶.

۱۶. مهندسین مشاور دزآب.، ۱۳۷۱. گزارش وضع موجود آبیاری و کشاورزی. پروژه طرح آبیاری و زهکشی دشت کربال، مطالعات مرحله اول، جلد سوم، سازمان آب منطقه ای فارس، وزارت نیرو، ۹۷ صفحه.

17. Abolpour, B. and Javan, M., 2007. Optimization model for Allocating water in a River Basin during a Drought. Journal of Irrigation and Drainage Eng., ASCE, Vol 133, No 6, p 559-572.

18. Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D. and Smith, M., 1998. Crop Evapotranspiration. Guidelines for Computing Crop Water Requirements, FAO Irrigation and Drainage Paper, No. 56.

Archive of SID
www.SID.ir

19. Gorzalczany, M.B. and Clusczek, A., 2000. Neuro-Fuzzy Systems for Rule Based Modelling of Dynamic Processes. Proceedings of ESIT, Aachen, Germany, P. 416-422.
20. Jang, J.S.R.; Sun, C.T. and Mizutani, E., 1997. Neuro-Fuzzy and Soft Computing. Computational Approach to learning and Machine Intelligence, Prentice-Hall International, Inc., 614 pp.
21. Li, H.; Chen, G.L.P. and Huang, H.P., 2001. Fuzzy Neural Intelligent Systems. Mathematical Foundation and the Applications in Engineering, CRC Press, 371 pp.
22. Odhiambo, L.O.; Yoder, R.E.; Yoder, D.C. and Hines, J.W., 2001. Optimization of Fuzzy Evapotranspiration Model through Neural Training with Input-Output Examples. Trans. ASAE, Vol. 44, No. 6, P. 1625-1633.

Archive of SID

www.SID.ir