نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۶، شماره ۴، مهر – آبان ۱۳۹۱، ص. ۸۶۳-۸۵۴

Journal of Water and Soil
Vol. 26, No.4, Sept.-Oct. 2012, p. 854-863

استفاده از سیستم‌های استنتاج فازی (FIS) در برآورد تبخیر و تعرق مرجع روزانه

حوریه مرادی[1*]- حسین انصاری[2]- سید مجید هاشمی‌نیا[3]- امین علیزاده[4]- علی وحیدیان کامیاد[5]- سید محمد جواد موسوی[6]

تاریخ دریافت:۹۰/۱/۲۹
تاریخ پذیرش:۹۱/۳/۲۱

چکیده

تبخیر و تعرق یکی از اجزای اصلی چرخه هیدرولوژی و تخمین نیاز آبیاری است. در سال‌های اخیر استفاده از سیستم‌های هوشمند برای برآورد پدیده‌های هیدرولوژی افزایش چشمگیری داشته است؛ لذا این پژوهش با هدف بررسی امکان استفاده ازکارآمدی سیستم‌های استنتاج فازی، درایجاد نگاشت بین پارامترهای هواشناسی و تبخیر و تعرق گیاه مرجع و مقایسه دقت این سیستم‌ها با روش‌های ترکیبی صورت گرفت. براین اساس پس از بررسی مدل‌های مختلف موجود و بررسی ترکیب‌های مختلف داده‌های روزانه هواشناسی، ۵ مدل برای برآورد تبخیر و تعرق مرجع روزانه ارائه شد. در این مدل‌ها تبخیر و تعرق محاسبه شده از معادله پنمن – مونتیث – فائو به عنوان خروجی مدل در نظر گرفته شد و کارایی مدل‌های مورد مقایسه با استفاده از آماره‌های ریشه میانگین مربع خطا، خطای انحراف میانگین، ضریب تعیین و معیار جاکوویدز (t) و معیار صباغ وهمکاران (R^2/t) مورد ارزیابی قرار گرفت. اطلاعات مورد استفاده از داده‌های هواشناسی ایستگاه سینوپتیک مشهد طی دوره آماری ۵۰ ساله، از سال ۱۳۳۹ تا ۱۳۸۹بود، که از میان داده‌های موجود، ۷۵ درصد به عنوان آموزش مدل و۲۵برای درصد تست مدل مورد استفاده قرار گرفتند. مقایسه نتایج مدل‌های فازی ارائه شده با پارامترهای ورودی متفاوت با دو روش پنمن- مونتیث – فائو و هارگریوز- سامانی نشان دادند که، سیستم‌های فازی قادر به برآورد تبخیر و تعرق مرجع روزانه با دقت قابل قبولی هستند. به طوری که مدل فازی با ۴ متغیر ورودی بالاترین همبستگی (۰/۹۹) را داشته و با در نظر گرفتن سایر پارامترهای ارزیابی، مدل با دو پارامتر دما و رطوبت نسبی (R^2=۰/۹۵،$RMSE$= ۰/۱۸،MBE= ۰/۹۶ و t =۲۲، R^2/t ۰/۰۴) تطابق بسیار خوبی با مدل پنمن – مونتیث – فائو در مرحله آموزش داشت. در مرحله آزمون نیز، نتایج بسیار مشابه مرحله آموزش بوده و مدل فازی با ۲ دما و رطوبت نسبی بهترین تطابق را بدست داد. با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق، می‌توان مدل فازی را به عنوان یکی از روش‌های برآورد تبخیر تعرق مرجع روزانه با دقت بالا معرفی نمود.

واژه های کلیدی:سیستم استنتاج فازی، تبخیر و تعرق روزانه، مدل پنمن- مانتیث- فائو

مقدمه

برآورد دقیق میزان آب مورد نیاز در پروژه‌های آبیاری از اولین و مهم‌ترین اطلاعات مورد نیازی است که سهم مهمی در موفقیت طرح یا پروژه دارد، زیرا برآورد نادرست آن چه به صورت بیش برآورد یا کم برآورد میزان آب مصرفی، مشکلات عمده‌ای را ایجاد می‌کند. اگر برآورد کمتر از مقدار واقعی آب مصرفی باشد، طرح یا پروژه با ایجاد مشکل در انتقال آب مواجه می‌شود، زیرا تاسیسات و سازه‌های طراحی شده قادر نخواهند بود آب مورد نیاز زمین‌های تحت پوشش را انتقال دهند و تنش وارد شده به گیاهان تحت پوشش شبکه موجب خسارت‌های جبران ناپذیر به عملکرد محصولات زراعی می‌گردد. در شرایطی که مقدار آب مصرفی در منطقه بیشتر ازمقدار مورد نیاز محاسبه شود، هزینه احداث شبکه انتقال آب افزایش یافته و گاه اقتصادی بودن احداث شبکه‌ها را نیز زیر سوال می‌برد. افزایش میزان آب داده شده به گیاهان علاوه بر تحمیل هزینه زیاد، کاهش راندمان کاربرد آب رانیز به دنبال داشته و عملاً علاوه بر کاهش کمیت و کیفیت محصول باعث تشدید محدودیت در برداشت منابع پرارزش آب شده و خسارات ناشی از توسعه ناپایدار را دو چندان خواهد کرد (۴). یکی از پیش نیاز های اساسی بهبود مدیریت مصرف آب در مزرعه، تخمین دقیق آب مصرفی گیاه است. از آنجایی که به دست آوردن تبخیر و تعرق برای هر نوع زراعت و یا پوشش گیاهی امری بسیار

۱، ۲، ۳ و ۴- به ترتیب دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشیار، مربی و استاد گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: Email: moradi.hu@yahoo.com)
۵- استاد گروه ریاضی، دانشکده علوم ریاضی، دانشگاه فردوسی مشهد
۶- مربی گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

Archive of SID
www.SID.ir

مشکل است، در عمل ابتدا پارامتری به نام تبخیر و تعرق مرجع محاسبه و سپس به کمک آن تبخیر و تعرق گیاه مورد نظر برآورد می‌گردد. در ایران آب مصرفی گیاهان حدود ۷۱ درصد مصرف کل منابع آبی کشور را به خود اختصاص می‌دهد، بنابراین برای برآورد آب مصرفی گیاه اطلاع از میزان تبخیر و تعرق لازم و ضروری است (۲).

به دلیل آن که تبخیر و تعرق فرآیندی غیر خطی و شدیداً وابسته به عوامل اقلیمی است، به‌کارگیری مدل‌های ریاضی با در نظر گرفتن تمام فاکتورهای موثر بر آن مشکل بوده و با خطاهای قابل توجهی روبروست. همچنین عدم قطعیت و عدم دقت موجود در برآورد تبخیر و تعرق در پیچیدگی این پدیده نقش عمده‌ای دارد، ضمن اینکه این عدم قطعیت به شرایط اقلیمی و هیدرولوژیکی وابسته بوده و عدم دقت به خطاهای انسانی یا اندازه گیری نیز مربوط می‌شود (۱۰). یکی از شیوه‌های برخورد با خطاهای ناشی از عدم قطعیت و دقت، استفاده از تئوری مجموعه‌های فازی است. به طور نظری هر سیستمی که توسط منطق فازی طراحی شده باشد، توسط سایر تکنیک‌های مرسوم طراحی نیز قابل پیاده سازی است، اما ممکن است نسبت به شیوه منطق فازی پیچیده‌تر و مشکل‌تر باشد. منطق فازی را اولین بار لطفی زاده در سال ۱۹۶۵ معرفی کرد (۲۳). منطق فازی روش نسبتاً جدیدی است که شیوه‌های مرسوم برای طراحی و مدل سازی یک سیستم را که نیازمند ریاضیات پیشرفته و نسبتاً پیچیده‌ای است با استفاده از مقادیر وشرایط زبانی و یا به عبارتی دانش فرد خبره و با هدف ساده سازی و کارآمد شدن طراحی سیستم جایگزین می‌کند. هدف این نظریه یافتن الگوهای ریاضی است که با استفاده از تفکر، استنتاج انسانی و همچنین با الگوهای طبیعی و واقعی تطابق و سازگاری داشته باشد. اگر چه سیستم‌های فازی پدیده‌های غیر قطعی و نامشخص را توصیف می‌کنند، با این حال تئوری مجموعه فازی یک تئوری دقیق است (۹ و ۱۱).

درسال‌های اخیر استفاده از مدل‌های هوش مصنوعی برای شبیه سازی مسائل مختلف رواج بیشتری یافته است. مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و سیستم‌های استنتاج فازی دو نمونه بارز از این مدل‌ها می‌باشند. محققان بخش صنعت آب نیز در زمینه‌های مختلف هیدرولوژی از جمله تخمین بار معلق رودخانه، رابطه بارش- رواناب، تعیین فاصله زهکش‌ها و پدیده تبخیر از تشت از مدل‌های هوش مصنوعی کم و بیش بهره گرفته‌اند، درزمینه مدل کردن تبخیر و تعرق مرجع نیز با استفاده از این مدل‌ها مطالعاتی به انجام رسیده است که در ادامه به تعدادی از آن‌ها اشاره شده است (۲). زارع ابیانه و همکاران (۳) برای برآورد مدل‌های پیش بینی تبخیروتعرق گیاه مرجع در منطقه همدان ازشبکه عصبی مصنوعی و سیستم استنتاج عصبی فازی استفاده نمودند. آن‌ها در تحقیق خود به این نتیجه رسیدند که ازمیان مدل‌های بررسی شده، مدل ترکیبی فازی عصبی باترکیب پارامترهای دمای حداقل، دمای حداکثر و ساعات آفتابی روزانه ازدقت بالاتری جهت تخمین تبخیر و تعرق برخوردار است. احمدزاده قره‌گویز و همکاران (۲) شبکه عصبی مصنوعی و سیستم تطبیقی فازی- عصبی را به منظور مدل‌سازی تبخیر و تعرق مرجع در مناطق بسیار خشک ایران مورد استفاده قرار دادند. ادهیامبو و همکاران (۲۶) از روش منطق فازی برای تخمین تبخیر و تعرق گیاه مرجع استفاده نمودند. در این مطالعه دو مدل فازی مورد استفاده قرار گرفت، در مدل اول تابش خورشیدی و رطوبت نسبی هوا و در مدل دوم علاوه بر دو پارامتر مذکور، سرعت باد نیز به عنوان داده‌های ورودی منظور شد. نتایج تحقیق نشان داد که روش فازی با سه پارامتر ورودی خطایی نزدیک به روش پنمن- مانتیث داشت، با این تفاوت که در روش پنمن- مانتیث داده‌های ورودی بیشتری مورد نیاز است. جیا بینگ (۲۲) مقدار تبخیر و تعرق گیاه مرجع را در کشور چین با استفاده از منطق فازی و شبکه عصبی مصنوعی و ترکیب این دو مدل (ANFIS) برآورد کرده و نتایج حاصل را با روش پنمن- مانتیث- فائو مقایسه کردند و نتیجه گرفتند که مدل ANFIS با تعداد ساعات آفتابی و حداکثر دما به عنوان داده‌های ورودی مدل، نتایج بهتری داشته و نسبت به دو مدل دیگر برتری نسبی دارد. آیتک (۱۴) از مدل سیستم استنتاج فازی- عصبی (ANFIS) برای تخمین ET_O برای منطقه کالیفرنیا استفاده کردند. آن‌ها نتایج حاصل از مدل ANFISرا با روش‌های متداول برآورد تبخیر و تعرق مرجع مانند معادلات پنمن، معادله پنمن- مانتیث- فائو و هارگریوز مقایسه کردند و نتیجه گرفتند که مدلANFIS در مقایسه با سایر روش‌ها برتر بوده و آن را به عنوان یک مدل تخمین تبخیر و تعرق مرجع پیشنهاد کردند. دوگان (۱۸) برای برآورد تبخیر و تعرق مرجع از سیستم تطبیقی فازی – عصبی استفاده نمود. در این مطالعه از داده‌های روزانه هواشناسی مانند تابش خورشیدی، دمای هوا، رطوبت نسبی و سرعت باد که از ایستگاه مورگان واقع در سانفرانسیسکو بدست آمده بود به عنوان ورودی‌های مدل استفاده کرده است. در این تحقیق با مقایسه نتایج مدل با مدل پنمن- مونتیث، نتیجه گرفتند که مدل سیستم استنتاج فازی-عصبی نسبت به سایر روش‌های تجربی برتری داشته و می‌توان از این مدل جهت برآورد تبخیر و تعرق مرجع روزانه استفاده نمود. کیسی (۲۴) از سیستم تلفیقی فازی و الگوریتم ژنتیک[1] برای مدل‌سازی تبخیر و تعرق مرجع روزانه در منطقه کالیفرنیا استفاده کرده و نتیجه گرفتند که مدل مورد استفاده ابزار توانمندی برای تخمین تبخیر و تعرق مرجع روزانه بوده و آن را برای برآورد این پارامتر پیشنهاد کردند. کوبانر (۱۷) از دو مدل مختلف سیستم تطبیقی فازی عصبی به منظور شبیه سازی تبخیر و تعرق مرجع در لس‌آنجلس استفاده کرده و نتایج مشابهی با دیگر محققین در خصوص توانمندی مدل فازی-عصبی در برآورد تبخیر و تعرق گیاه

1- GeneticFuzzy

Archive of SID

www.SID.ir

مرجع را بدست آورد.

هرچند در مطالعات انجام شده از داده‌های ورودی متفاوتی برای مدل فازی استفاده شده است و مدل‌های ارائه شده فازی با روش‌های متفاوت برآورد تبخیر و تعرق مقایسه شده‌اند، اما تقریباً تمامی نتایج این تحقیقات نشان دادندکه مدل فازی ابزار مناسبی برای تخمین تبخیر و تعرق مرجع روزانه بوده و می‌توان آن را برای برآورد این پارامتر پیشنهاد نمود. علاوه بر منطق فازی، برخی از محققین از شبکه‌های عصبی مصنوعی برای برآورد تبخیر و تعرق استفاده کرده و این شبکه‌ها را به عنوان ابزار مناسبی برای برآورد این پارامتر معرفی کرده‌اند (۶ و ۷).

با توجه به نتایج مطالعات فوق هدف این پژوهش، بررسی امکان استفاده از کار آمدی سیستم‌های است نتاج فازی در ایجاد نگاشت بین پارامترهای هواشناسی و تبخیر و تعرق گیاه مرجع و مقایسه دقت این سیستم‌ها با روش‌های ترکیبی می‌باشد. علاوه بر این به دلیل کامل نبودن اطلاعات مورد نیاز از یک طرف و هزینه بالای ثبت اطلاعات برای پارامترهای هواشناسی مرتبط با تبخیر و تعرق از سوی دیگر، سعی شده تا نسبت به ارائه مدلی با استفاده از حداقل داده‌های هواشناسی اقدام گردد.

مواد و روش‌ها

حدود وموقعیت جغرافیایی منطقه

شهرستان مشهد واقع در پهنه جغرافیایی استان خراسان رضوی با وسعت تقریبی ۱۰۴۵ کیلومتر مربع از شمال به کلات، از شمال غرب به شهرستان درگز، از غرب به نیشابور، از جنوب به تربت حیدریه و از شرق به سرخس و تربت جام محدود می‌شود. این منطقه در محدوده ۳۶ درجه و ۱۶ دقیقه عرض شمالی و ۵۹ درجه و ۳۸ دقیقه طول شرقی و متوسط ارتفاع حدود ۱۰۰۰ متر از سطح دریا قرار گرفته است.

روش‌های برآورد تبخیر و تعرق مرجع روزانه

معادله پنمن- مانتیث-فائو(PMF56)

به منظور برآورد مقدار تبخیر و تعرق گیاه مرجع به روش پنمن- مانتیث-فائو از رابطه زیر استفاده شد (۱۳) :

$$ET_o = \frac{0.408\,\Delta(R_n - G) + \gamma[890/(T+273)]U_2(e_a - e_d)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34\,U_2)} \quad (۱)$$

که، ET_o: تبخیر و تعرق گیاه مرجع (mmd^{-1})، R_n: تابش خالص در سطح پوشش گیاهی ($MJm^{-2}\ d^{-1}$)، T: متوسط دمای هوا در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین (^oC)، U_2: سرعت باد در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین (ms^{-1})، $e_a - e_d$: کمبود فشار بخار در ارتفاع ۲ متری (kPa)، Δ: شیب منحنی فشار بخار در مقابل دما ($kPa\ ^oC^{-1}$)، γ: ضریب رطوبتی ($kPa\ ^oC^{-1}$) و G: شار گرما به داخل خاک ($MJm^{-2}d^{-1}$) می‌باشند. برای به دست آوردن اجزای معادله پنمن- مانتیث-فائو از دستورالعمل ارایه شده در نشریه شماره ۵۶ فائو استفاده گردید (۱۳).

معادله هارگریوز - سامانی

هنگامی که داده‌های تابش خورشیدی، رطوبت نسبی و یا سرعت باد در دسترس نباشند، می‌توان ازمعادله هارگریوز- سامانی برای برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع به صورت زیر استفاده نمود:

$$ET_o=0.0023(T_{mean}+17.8)\,(T_{max}-T_{min})^{0.5}\,R_a \quad (۲)$$

تبخیر و تعرق گیاه مرجع و تابش فرا زمینی (R_a) درمعادله ۲ بر حسب میلیمتر بر روز تعیین می‌شوند. معادله ۲ در هر منطقه جدید باید با مقایسه کرد ET_o بدست آمده به دو روش هارگریوز- سامانی و پنمن- مونتیث-فائو در ایستگاه های هواشناسی دارای داده‌های کامل تابش خورشیدی، دمای هوا، رطوبت و سرعت باد، ارزیابی و تایید شود (۱۱).

کاربرد مدل‌های فازی در برآورد تبخیر و تعرق

ساختار مدل فازی

همان‌طور که عنوان شد سیستم‌های استنتاج فازی، مدل‌های غیر خطی هستند که رابطه ورودی – خروجی یک سیستم واقعی را با استفاده از قوانین "اگر- آنگاه فازی"توصیف می‌کنند (۲۱). ساختار عمومی قوانین تدوین شده به صورت زیر می‌باشد:

$$\text{Rule m : IF } (X_1 \text{ is } A_{1,m}) \text{ AND } (X_2 \text{ is } A_{2,m}) \text{ AND } (X_k \text{ is } A_{k,m}) \text{ THEN Y is } \ldots \quad (۳)$$

به عبارت دیگر، یک قانون فازی، بیان رابطه بین k متغیر ورودی $X_1, X_2, \ldots X_k$ و خروجی Y است. عبارت $A_{k,m}$ در بخش مقدم قوانین مجموعه‌های فازی را نشان می‌دهد که برای جداسازی فضای ورودی به داخل مناطق همپوشانی کننده به کار می‌رود. یک مجموعه فازی یک تعمیم از مجموعه‌های کلاسیک است که تابع عضویت به عنوان یک موضوع از درجه در یک فرم باینری تعریف می‌شود (هرکدام از عدم عضویت یا عضویت کامل) (۷). به منظور ساخت مدل فازی در این تحقیق، ابتدا پارامترهای ورودی مشخص شد. سپس پارامترهای مورد نظر با استفاده از فازی سازها (توابع عضویت) فازی شدند و با تشریح قواعد استنتاج جهت برآورد تبخیر و تعرق با استفاده از داده‌های ورودی، مقادیر خروجی با استفاده از روش نا فازی سازی مرکز ثقل تولید شدند. فازی سازی شاخص‌های ورودی و خروجی، با توجه به دامنه تغییرات آن‌ها (با توجه به اطلاعات موجود) و بر اساس پیشنهادات محققین به ویژه فائو ۲۴ و ۵۶، برای پارامترهای دما، رطوبت نسبی، تابش خورشیدی و باد به ترتیب ۹،۹، ۸ و ۷ بازه بکار

Archive of SID

www.SID.ir

گرفته شد (۱۳ و ۱۹). همچنین خروجی مدل نیز با ۱۰ سطح و متناسب با تغییرات ورودی در دوره آموزش مدل مدنظر قرار گرفت. با توجه به کاربرد گسترده توابع عضویت مثلثی و ذوزنقه‌ای در مسائل کاربردی و نتایج حاصل از بررسی‌ها، در این تحقیق نیز برای فازی سازی متغیرهای ورودی و خروجی از هر دو تابع فوق استفاده گردید.

تعریف قوانین فازی و ترکیب توابع

با توجه به توابع عضویت متغیرهای ورودی و خروجی و درجه همپوشانی آن‌ها و نیز ارتباط ورودی و خروجی مدل در دوره آموزش، قوانین مختلفی با وزن‌های متفاوت تعریف شد. به منظور تکمیل مراحل مدل سازی، در این تحقیق برای استنتاج فازی از روش ممدانی[1] و استلزام[2] از روش حداقل و برای تجمیع قوانین فازی[3] و از روش حداکثر استفاده شد (۱۶، ۲۳ و۲۵).

دی فازی سازی خروجی مدل

در مدل سازی فازی، استنتاج نهایی منجر به یک نتیجه فازی می‌شود، لذا برای دست‌یابی به عدد حقیقی باید از روش‌های نافازی سازی زیادی که توسط محققین ارائه شده‌اند (مهم‌ترین این روش‌ها عبارتند از: روش میانگین حداکثرها، روش مرکز ثقل، روش محل تقاطع نیمسازها...)، استفاده کرد. در این تحقیق با توجه به جامعیت روش مرکز ثقل، از این روش استفاده شد. در این روش مقدار خروجی با توجه به شکل ۱ از رابطه ۴ محاسبه می‌شود (۱ و ۱۴) :

$$Y = \frac{\int y\mu(y)dy}{\int \mu(y)dy} \qquad (۴)$$

که در آن y مقدار خروجی، $\mu(y)$درجه عضویت خروجی yو Y مقدار حقیقی شاخص خروجی است.

آموزش و تست مدل‌های فازی

برای آموزش و تست مدل در این مطالعه، از داده‌های موجود در ایستگاه سینوپتیک مشهد برای دوره آماری ۵۰ ساله (۱۳۸۹– ۱۳۳۹) استفاده شد، که به دلیل عدم وجود داده‌های کامل هواشناسی در برخی از سال‌ها، روزهایی از سال که دارای اطلاعات کامل مورد نیاز برای محاسبه تبخیر و تعرق در معادله پنمن –مانتیث– فائو بودند، در نظر گرفته شدند. بنابراین پس از حذف نقاط پرت و گمشده، تعداد داده باقیمانده با شرایط فوق در مجموع ۱۷۹۵۶ داده روزانه برای هر پارامتر بود. از این تعداد داده ۷۵ درصد داده‌ها یعنی حدود۱۳۵۰۰ داده برای آموزش مدل و ۲۵ درصد بقیه داده‌ها یعنی در حدود ۴۵۰۰ داده به منظور تست مدل مورد استفاده قرار گرفت.

برای حصول اطمینان از عملکرد یک مدل پیش بینی، لازم است این مدل مورد ارزیابی قرار گیرد. معیارهای مختلفی برای ارزیابی مدل‌های پیش بینی وجود دارد که به طور عمده بر اساس اختلاف بین خروجی‌های پیش بینی شده و خروجی‌های مطلوب و واقعی استوارند. در این تحقیق از سه پارامتر ریشه میانگین مجذور خطا ($RMSE$)، میانگین خطای تورش (MBE) و ضریب تعیین (R^2) برای ارزیابی مدل‌های فازی تعریف شده، استفاده شد. این پارامترها به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(P_i - O_i)^2} \qquad (۵)$$

$$MBE = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(P_i - O_i) \qquad (۶)$$

$$R^2 = \frac{\left[\sum_{i=1}^{N}\left(P_i - \overline{P}\right)\ \left(O_i - \overline{O}\right)\right]^2}{\sum_{i=1}^{N}\left(P_i - \overline{P}\right)^2\ \sum_{i=1}^{N}\left(O_i - \overline{O}\right)^2} \qquad (۷)$$

$$t = \sqrt{\frac{(n-1)(MBE^2)}{(RMSE^2 - MBE^2)}} \qquad (۸)$$

در روابط فوق، N:تعداد نمونه، P_i : مقادیر پیش بینی شده توسط مدل، O_i: مقادیر واقعی و $\overline{P}$: میانگین مقادیر پیش بینی شده توسط مدل، $\overline{O}$: میانگین مقادیر واقعی، t: معیار جاکوویدز و n: تعداد مشاهدات می‌باشد (۲۰). مقدار کمتر t بیانگر دقت بهتر مدل است. در تحقیق حاضر علاوه بر معیارهای معرفی شده توسط جاکویدز، از معیار ترکیبی جدید صباغ و همکاران که حاصل نسبت R^2 به t می‌باشد (R^2/t) نیز استفاده شد که مقادیر بالاتر آن بیانگر سازگاری بالاتر مدل با واقعیت است (۴).

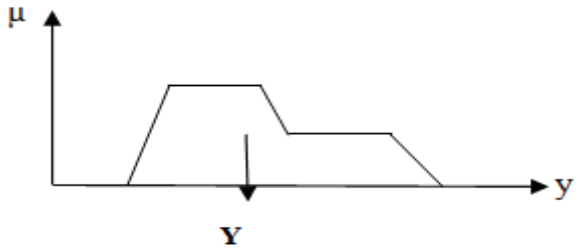
نتایج و بحث

همان‌طور که عنوان شد برای ایجاد مدل‌های فازی در این تحقیق، مقادیر محاسبه شده تبخیر و تعرق روزانه با روش پنمن– مانتیث– فائو (PMF56) به عنوان خروجی در مدل‌ها و ترکیبات متفاوت از پارامترهای موثر در معادله پنمن (جدول ۱) به عنوان ورودی مدل‌ها در نظر گرفته شدند. بعد از ایجاد مدل‌های فازی با ترکیب ورودی‌های متفاوت، مقایسه میان مدل‌های ترکیبی پنمن– مانتیث– فائو و مدل‌های فازی انجام شد. همان‌طور که در جدول نشان داده شده است، در بین پارامترها، میانگین دمای هوا بیشترین و سرعت باد کمترین ضریب همبستگی را با تبخیر و تعرق مرجع روزانه در ایستگاه مورد بررسی دارد.

1- Mamdani
2- Implicatio
3- Aggregation

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱- غیر فازی سازی مرکز ثقل

جدول ۱- آماره‌های آزمون پارامترهای مختلف هواشناسی مؤثر بر تبخیر و تعرق مرجع روزانه

پارامترها	میانگین	انحراف معیار	حداقل	حداکثر	ضریب همبستگی با تبخیر وتعرق
دمای هوا	۱۴/۴	۵/۹	-۱۷/۵	۳۳/۵	۰/۹۱
تابش خورشیدی	۱۹۹/۷	۹۰/۳	۴۵/۹	۳۵۵/۱	۰/۸۶
رطوبت نسبی	۵۴/۳	۲۱/۴	۱۱/۳	۱۰۰	۰/۷۹
سرعت باد	۱/۹۴	۱/۳۱	۰	۹/۳۲	۰/۳۲

پس از بررسی داده‌های فوق که منجر به انتخاب پارامترهای مناسب مدل فازی مورد استفاده نیز شد، نتایج مدل‌های فازی مورد استفاده با مدل پنمن-مانتیث- فائو به عنوان مدل مرجع و مقادیر تبخیر و تعرق بدست آمده از رابطه هارگریوز- سامانی مقایسه شدند. همچنین به منظور بررسی روابط میان معادلات هارگریوز- سامانی و پنمن-مانتیث- فائو، پارامترهای عملکرد برای این دو رابطه نیز محاسبه شد.

نتایج نشان داد که همبستگی بالایی بین مدل‌های فازی ارائه شده با مدل PMF56 وجود دارد. به طوری که بیشترین همبستگی در میان مدل‌های فازی، برای مدل ۴ پارامتری (دما- رطوبت نسبی- سرعت باد-تابش خورشیدی) و کمترین مقدار آن برای مدل با دو ورودی دما و رطوبت نسبی بدست آمده است. این نتایج نشان می‌دهند که مدل فازی به خوبی می‌تواند تبخیر و تعرق مرجع روزانه را با متغیرهای ورودی متفاوت محاسبه نماید. با محاسبه دیگر پارامترهای ارزیابی عملکرد برای مدل‌های فازی ارائه شده و مدل پنمن -مانتیث- فائو در مرحله آموزش، میانگین خطای تورش (MBE) بین ۰/۳۲- و ۰/۵۷ میلی‌متر در روز بدست آمد که این مقدار کم، نشان دهنده دقت بالای مدل‌های فازی توسعه یافته است. علاوه براین، با توجه به نتایج حاصل برای MBE، می‌توان اظهار داشت که مقادیر پیش بینی شده توسط مدل فازی با ورودی‌های دما و رطوبت نسبی کمتر از مقادیر محاسبه شده از مدل پنمن - مانتیث -فائو و مقادیر پیش بینی شده توسط سایر مدل‌های فازی با ورودی‌های متفاوت بیشتر از مقادیر محاسبه شده از مدل پنمن - مانتیث -فائو است.

بررسی و مقایسه مقادیر پارامتر RMSE ارائه شده در جدول۲، نیز نشان می‌دهد که اختلاف تک تک مقادیر پیش بینی شده در مدل فازی تا حدود زیادی با مقادیر محاسبه شده با مدل PMF56 متناظر است. مقدار این متغیر آماری برای مدل‌های فازی ارائه شده بین ۰/۵۹ تا ۰/۹۷ میلی‌متر در روز متغیر بود که این مقادیر کم، نشان دهنده دقت بالای سیستم استنتاج فازی است. همچنین با محاسبه آماره‌های t و R^2/t، می‌توان نتیجه گرفت که مدل فازی با ۲ ورودی دما و رطوبت نسبی، دارای حداقل مقدار معیار جاکوویدز (۲۲/۰۳) را دارا بوده و حداکثر آن(۸۴/۲۶) برای مدل ۲ پارامتری (دما – تابش خورشیدی) می‌باشد. نکته جالب توجه در مقایسه این پارامترها، آن است که کمترین مقدار tکه نشان دهنده تطابق بهتر مدل با مدل PMF56 است برای مدل پنجم (دما- رطوبت نسبی) محاسبه شده است، هر چند که کمترین همبستگی را در بین سایر مدل‌ها داشته است. از طرف دیگر با در نظر گرفتن معیار صباغ و همکاران، مقدار این آماره برای دو مدل ۴و ۲ متغیره (دما- رطوبت نسبی – تابش خورشیدی-سرعت باد) و (دما- تابش خورشیدی) تقریباً یکسان و از بین این دو مدل، مدل فازی با ورودی‌های دما- سرعت باد- تابش خورشیدی و رطوبت نسبی (۰/۰۱۳) نتایج بهتری داشته است. در مجموع مدل چهارم ارائه شده با ورودی‌های دما و رطوبت نسبی، با در نظر گرفتن پارامترهای عملکرد نتایج قابل قبولی را دارد هرچند که در ابتدای بررسی روابط تبخیر و تعرق با سایر پارامترها، تأثیر این عوامل مشخص شده بود (جدول ۲ و شکل ۲).

در مرحله آزمون مدل نیز، نتایج مشابه نتایج مرحله آموزش بوده و در اینجا نیز مدل فازی با ورودی‌های دما، رطوبت نسبی، سرعت باد و

Archive of SID

www.SID.ir

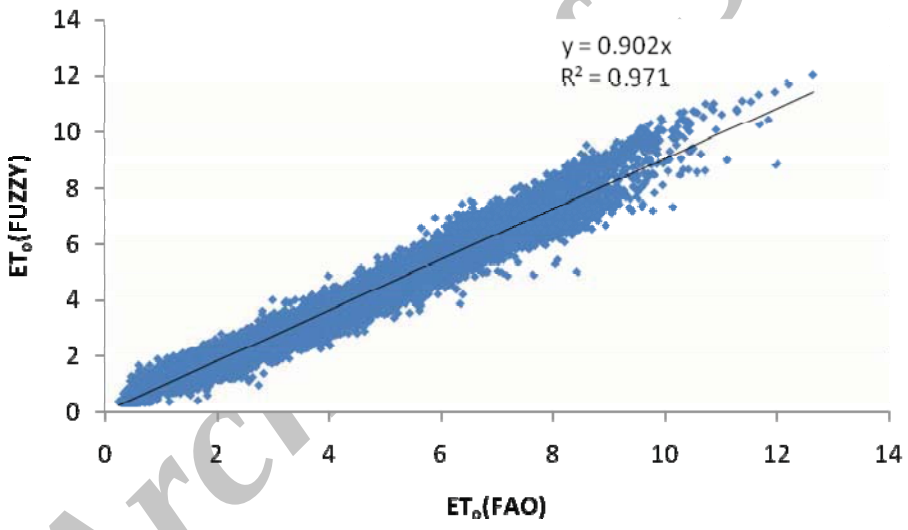
تابش، بالاترین همبستگی با مدل فائو را دارد، ضمن اینکه کمترین مقدار میانگین مطلق خطا را دارا می‌باشد. با در نظر گرفتن معیار های جاکوویدز و صباغ، مدل فازی با ورودی رطوبت نسبی و دما، کمترین مقدار t (۴/۳) و بیشترین مقدار نسبت معیار صباغ (۰/۲) را دارا بود که این نشان دهنده تطابق بهتر با مدل پنمن- مانتیث-فائو می‌باشد. (جدول ۳ و شکل ۳).

به منظور بررسی کارایی مدل‌های فازی ارائه شده، مقایسه‌ای بین مدل‌های فازی و روش هارگریوز- سامانی نیز صورت گرفت. نتایج نشان دادند که در این حالت مدل فازی ۲ متغیره (دما و تابش خورشیدی) بهترین و مدل فازی با ۳ متغیر دما و رطوبت نسبی و سرعت باد کمترین همبستگی را داشته‌اند. میانگین خطای مطلق (MBE) بین ۰/۲۷- تا ۰/۶ میلیمتر در روز تغییر می‌کند و این بیانگر وجود مقادیری اختلاف در برآورد تبخیر و تعرق مرجع روزانه با مدل‌های فازی می‌باشد.

جدول۲- آماره‌های آزمون مربوط به مقایسه مدل‌های فازی با مدل ترکیبی PMF56 در مرحله آموزش

مدل فازی با ورودی‌های مختلف	ضریب همبستگی	RMSE(mmd^{-1})	MBE(mmd^{-1})	T	R^2/t
*T_U2_Rh_Rs	۰/۹۹	۰/۵۹	-۰/۳۲	۷۴/۵۵	۰/۰۱۳
T_Rh_Rs	۰/۹۶	۰/۷۷	۰/۲۹	۴۶/۸۱	۰/۰۲
T_U2_Rh	۰/۹۶	۰/۹۱	-۰/۱۹	۲۴/۷۲	۰/۰۳۷
T_Rs	۰/۹۵	۰/۹۷	۰/۵۷	۸۴/۲۶	۰/۰۱۱
T_Rh	۰/۹۴	۰/۹۶	۰/۱۸	۲۲/۰۳	۰/۰۴

*T: دمای متوسط هوا (سانتی‌گراد)، Rh: متوسط رطوبت نسبی روزانه (درصد)، Rs: متوسط تابش خورشیدی روزانه (وات بر متر مربع) و U2: متوسط روزانه سرعت باد در ارتفاع دو متری(متر بر ثانیه)



شکل۲- مقایسه نتایج محاسبه تبخیر و تعرق مدل فازی با ٤ ورودی (دما – تابش خورشیدی – رطوبت نسبی – سرعت باد) در برابر مدل PMF56 (آموزش مدل)

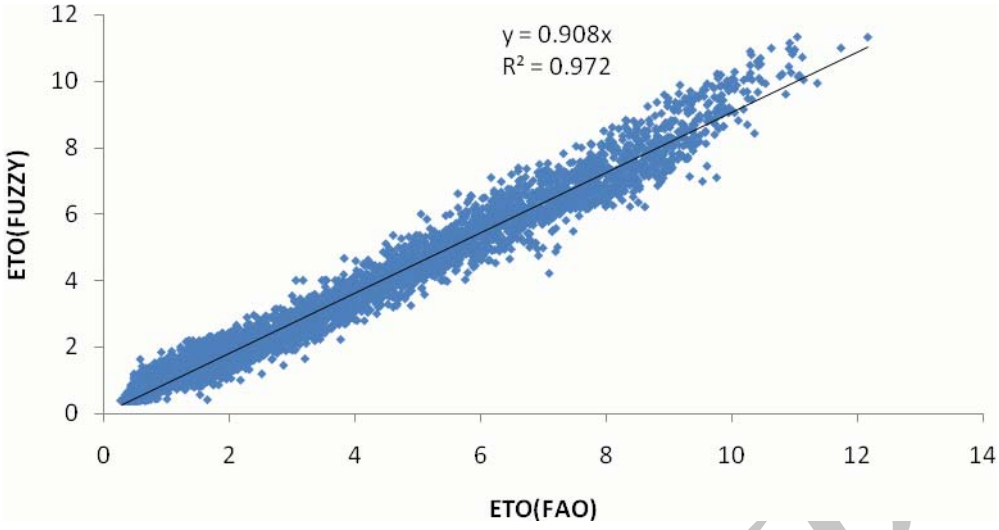
جدول ۳- آماره‌های آزمون مربوط به مقایسه مدل‌های فازی با مدل ترکیبی PMF56 در مرحله آزمون

مدل فازی با ورودی‌های مختلف	ضریب همبستگی	RMSE(mmd^{-1})	MBE(mmd^{-1})	t	R^2/t
*T_U2_Rh_Rs	۰/۹۹	۰/۶۲	-۰/۳۳	۴۲/۵۲	۰/۰۲۳
T_Rh_Rs	۰/۹۵	۰/۸۷	۰/۲۴	۱۹/۳۵	۰/۰۴۷
T_U2_Rh	۰/۹۶	۰/۹۴	-۰/۲۵	۱۸/۵۵	۰/۰۵۰
T_Rs	۰/۹۴	۱/۰۲	۰/۵	۳۷/۵۰	۰/۰۲۴
T_Rh	۰/۹۳	۱/۱	۰/۰۷	۳/۴۰	۰/۲

*T: دمای متوسط هوا (سانتی‌گراد)، Rh: متوسط رطوبت نسبی روزانه (درصد)، Rs: متوسط تابش خورشیدی روزانه (وات بر متر مربع) و U2: متوسط روزانه سرعت باد در ارتفاع دو متری(متر بر ثانیه).

Archive of SID

www.SID.ir



شکل۳- مقایسه نتایج محاسبه تبخیر و تعرق مدل فازی با ٤ ورودی (دما – تابش خورشیدی - رطوبت نسبی - رطوبت نسبی) در برابر مدل PMF56 (آزمون مدل)

در میان مدل‌ها، مدل فازی با ورودی‌های دما، رطوبت نسبی و سرعت باد بهترین نتیجه را داشته است، به طوریکه با داشتن ضریب همبستگی ۰/۸۹، مقدار RMSE یک میلی‌متر در روز و همچنین کمترین معیار جاکوویدز (۲۲/۷۶) و بالاترین مقدار R^2/t(۰/۰۳۵) بیشترین مطابقت را با روش هارگریوز - سامانی در مقایسه با سایر مدل‌ها دارد ضمن اینکه مقادیر این پارامترها در سایر مدل‌ها اختلاف چندانی باهم نداشته و می‌توان نتیجه گرفت که در شرایطی که برخی از پارامترها در دسترس نباشند می‌توان با صرف‌نظر از آن‌ها مقدار تبخیر و تعرق را با دقت قابل قبولی محاسبه نمود. همچنین نتایج مدل‌های فازی با ۴ متغیر (دما- رطوبت نسبی- باد- تابش) و ۳ متغیر (دما- رطوبت نسبی و تابش خورشیدی) تقریباً مشابه بوده و این نشان دهنده آن است که پارامتر باد تاثیر کمتری دارد (جدول ۴).

همان‌طور که عنوان شد نتایج خروجی معادلات پنمن – مونتیث- فائو و هارگریوز – سامانی نیز در مقابل هم مورد بررسی قرار گرفتند. همان طوری که در جدول ۵ نشان داده شده است معادله هارگریوز همبستگی زیادی با روش PMF56دارد. با بررسی سایر معیارهای عملکردهای مدل‌ها نیز معلوم می‌شود که روش سامانی دارای خطای کمی بوده، ضمن اینکه دارای t کمتر (تطابق بهتر) و نسبتR^2/t بیشتری است (جدول ۵).

جدول ٤- آماره‌های آزمون مربوط به مقایسه مدل‌های فازی با روش هارگریوز – سامانی

مدل فازی با ورودی‌های مختلف	ضریب همبستگی	RMSE(mmd^{-1})	MBE(mmd^{-1})	t	R^2/t
*T_U2_Rh_Rs	۰/۹۲	۰/۹۹	-۰/۲۷	۳۷/۷۷	۰/۰۲۲
T_Rh_Rs	۰/۹۶	۰/۸۹	۰/۳۳	۵۳/۱۸	۰/۰۱۷
T_U2_Rh	۰/۸۹	۱/۰۱	-۰/۱۷	۲۲/۷۶	۰/۰۳۵
T_Rs	۰/۹۶	۰/۹۷	۰/۶	۱۰۴/۶۵	۰/۰۰۹
T_Rh	۰/۹۴	۰/۸۱	۰/۲	۳۴/۰۳	۰/۰۲۶

*T: دمای متوسط هوا (سانتی‌گراد)، Rh: متوسط رطوبت نسبی روزانه (درصد)، Rs: متوسط تابش خورشیدی روزانه (وات بر متر مربع) و U2: متوسط روزانه سرعت باد در ارتفاع دو متری(متر بر ثانیه)

جدول ۵- آماره‌های آزمون مربوط به مقایسه مدل پنمن-مونتیث-فائو (PMF56) با روش هارگریوز – سامانی(HS)

مدل	ضریب همبستگی	RMSE(mmd^{-1})	MBE(mmd^{-1})	t	R^2/t
PMF56- HS	۰/۹۳	۱/۰۵	-۰/۰۵	۶/۴	۰/۱۳۴

Archive of SID

www.SID.ir

نتیجه گیری

به منظور بررسی کارآیی سیستم‌های استنتاج فازی در محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع در تحقیق حاضر از پنج مدل فازی با ترکیب چهار پارامتر هواشناسی؛ دما، رطوبت نسبی، سرعت باد و تابش خورشیدی استفاده و نتایج خروجی مدل‌های فازی با مدل‌های هارگریوز–سامانی و پنمن–مانتیث–فائو مقایسه شدند. در کلیه مدل‌های فازی مورد استفاده، پارامترهای مورد نظر با استفاده از توابع عضویت فازی مثلثی و ذوزنقه‌ای فازی شده و پس از اعمال قواعد استنتاج ممدانی، خروجی ترد مدل‌ها با استفاده از روش نا فازی سازی مرکز ثقل، تولید شدند. نتایج ارائه شده، نشان دادند که مدل‌های فازی توسعه یافته تطابق نسبتاً بالایی با مدل ترکیبی مورد مقایسه (PMF56) داشته و لذا توانایی لازم برای برآورد تبخیر و تعرق در مقیاس زمانی روزانه را دارا می‌باشند. همچنین با در نظر گرفتن معیارهای جدید ارزیابی مدل‌های تبخیر و تعرق (جاکوویدز و صباغ) انتخاب مدل بهتر به طور نسبی سهل‌تر شده است. بر اساس نتایج بدست آمده این تحقیق، اختلافات مشاهده شده در محاسبات تبخیر و تعرق حاصل از مدل فازی با مدل فائو را می‌توان به عواملی نسبت داد که علاوه بر پارامترهای در نظر گرفته شده به عنوان ورودی مدل بر تبخیر و تعرق تأثیر دارند. با این حال به دلیل اینکه در برآورد تبخیر و تعرق مرجع روزانه، تغییرات کوتاه مدت پارامترهای هواشناسی موثر بر تبخیر و تعرق در نظر گرفته نمی‌شوند، انتخاب پارامترهای موثر و در صورت امکان حذف برخی از آن‌ها به منظور کاهش متغیرهای ورودی، می‌تواند کمک زیادی در برآورد سریع و کم هزینه تبخیر و تعرق روزانه در مدل‌سازی نماید. همان طور که نتایج نشان دادند پارامتر دمای هوا به دلیل اینکه متأثر از منبع انرژی است بیشترین تأثیر را بر تبخیر و تعرق روزانه در این منطقه دارد و از طرفی هم چون در ساعات مختلف روز دچار تغییرات زیادی می‌شود، به نظر می‌رسد می‌تواند باعث بروز تفاوت‌هایی در تبخیر و تعرق روزانه به دست آمده از سایر روش‌ها شود. در تحقیق حاضر نیز، نتایج نشان دادند که همبستگی بالایی بین تبخیر و تعرق برآورد شده از مدل‌های فازی وروش PMF56 وجود دارد و می‌توان از این مدل برای برآورد تبخیر و تعرق مرجع روزانه استفاده نمود. از آنجائی که در مدل‌های فازی امکان مدل‌سازی پارامترهای ورودی و خروجی با عدم قطعیت بالا (که در برخی موارد اجتناب ناپذیر بوده و حتی جزئی از سیستم هستند) وجود داشته و خروجی مدل می‌تواند به تغییرات جزئی در محدوده تعریف شده‌ای از داده‌های ورودی حساس نباشد، در نتیجه این مدل‌ها به خوبی می‌توانند پارامترهایی نظیر تبخیر و تعرق را که دارای عدم قطعیت بالایی هستند، برآورد کنند. این نتیجه مشابه نتایج حاصل از تحقیقات گذشته برای مدل‌سازی تبخیر و تعرق با منطق فازی است (جیابینگ (۲۲)، آیتک (۱۴)، دوگان (۱۸)، کیسی (۲۴) و کوبانر(۱۷)). در پایان می‌توان نتیجه گرفت که سیستم استنتاج فازی به دلیل داشتن مبانی تئوری دقیق، ابزار مفیدی برای مدل‌سازی تبخیر و تعرق مرجع روزانه بوده و در مقایسه با مدل مبنای مورد استفاده که به پارامترهای متعدد نیاز دارند و همچنین دارای محاسبات پیچیده‌ای در محاسبه تبخیر و تعرق می‌باشد، روش مفیدی برای برآورد دقیق تبخیر و تعرق روزانه است.

منابع

۱- انصاری ح.، داوری ک. و ثنایی نژاد ح. ۱۳۸۹. پایش خشکسالی با استفاده از شاخص جدید بارندگی تبخیر و تعرق استاندارد شده توسعه یافته بر اساس منطق فازی. مجله آب و خاک (علوم وصنایع کشاورزی). شماره۱. جلد۲۴. ص ۵۲ – ۳۸.

۲- احمدزاده قره گویز ک.، لطیفی م. و محمدی ک. ۱۳۸۹. مقایسه سیستم‌های هوش مصنوعی (ANFISوANN) در تخمین میزان تبخیر و تعرق مرجع در مناطق بسیار خشک ایران. مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). شماره۴. جلد۲۴. ص ۶۸۹ – ۶۷۹.

۳- زارع ابیانه ح.، بیات ورکشی م.، معروفی ص.، امیری چایجان ر. ۱۳۸۹. ارزیابی سیستم‌های هوشمند عصبی در کاهش پارامترهای تخمین تبخیر و تعرق گیاه مرجع. مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). شماره۲، جلد۲۴. ص ۳۰۵ –۲۹۷.

۴- سبزی پرور ع.ا.، تفضلی ف.، زارع ابیانه ح.، بانژاد ح.، موسوی بایگی م.، غفوری م.، محسنی موحد ا. و مریانجی ز. ۱۳۸۷. مقایسه چند مدل برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع در یک اقلیم سرد و نیمه خشک به منظور استفاده بهینه از مدل‌های تابش. مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). شماره۲، جلد۲۲. ص ۳۴۰ –۳۲۸.

۵- شایان نژاد م. ۱۳۸۵. مقایسه دقت روش‌های شبکه عصبی مصنوعی و پنمن – مانتیث در محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل. همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی. اهواز.

۶- شایان نژاد م.، ساداتی‌نژاد س.ج. و فهمی ه. ۱۳۸۶. تعیین تبخیر و تعرق بالقوه با استفاده از روش رگرسیون فازی. مجله تحقیقات منابع آب، شماره ۳. سال سوم. ص ۱۹ – ۹.

۷- صیادی ح.، اولاد غفاری ا.، فعالیان ا و اشرف صدرالدینی ع. ۱۳۸۸. مقایسه عملکرد شبکه‌های عصبیRBF و MLPدر برآورد تبخیر و تعرق

Archive of SID

www.SID.ir

گیاه مرجع. مجله دانش آب و خاک. شماره ۱. جلد ۱۹. ص ۱۲ -۱.
۸- فلاح قالهری غ.ع.، موسوی بایگی م.، حبیبی ن. م.، خوشحال ج. ۱۳۸۸. پیش بینی بارش فصلی بر اساس الگوهای همدید با استفاده از تئوری مجموعه‌های فازی. جغرافیا و توسعه. شماره۱۵. ص ۱۳۲ -۱۱۳.
۹- قاسم نژادمقدم ن.، بقائی نیا ف. و بافنده زنده ع. ۱۳۷۸. منطق فازی به زبانی ساده. ماهنامه کنترل کیفیت. شماره ۲۴. ص ۵۱ -۴۳.
۱۰- کوچک‌زاده م. و بهمنی ع. ۱۳۸۴. ارزیابی عملکرد شبکه‌های عصبی مصنوعی در کاهش پارامترهای مورد نیاز، جهت برآورد تبخیر و تعرق مرجع. مجله علوم کشاورزی: سال یازدهم. شماره ۴. ص ۹۷ – ۸۷.
۱۱- کوره پزان دزفولی ا. ۱۳۸۵. اصول تئوری مجموعه‌های فازی و کاربردهای آن در مدل‌سازی مسائل آب. انتشارات جهاد دانشگاهی صنعتی امیر کبیر. تهران ۲۶۱ صفحه.
۱۲- وزیری ژ.، سلامت ع.، انتصاری م.ر.، مسچی م.، حیدری ن. و دهقانی سانیچ ح. ۱۳۸۷. تبخیر و تعرق (دستوالعمل محاسبه آب مورد نیاز گیاهان). انتشارات کمیته ملی آبیاری وزهکشی. تهران ۳۶۲ صفحه.
13- Allen R.G., Raes, L.S., and Smith M. 1998. Crop Evapotranspiration Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper. No. 56. FAO. Rome, Italy. 301 p.
14- Aytek A. 2008. Co-active neurofuzzy inference system for evapotranspiration modeling. Department of Civil Engineering, Hydraulics Division Gaziantep University: http://www.spiringle.com.
15- Bardossy A., Bogardi I., and Duckstein L. 1990a. Fuzzy regression in hydrology. Water Resources Research. No. 26(7). pp1497-1508.
16- Coa Z., and Kandel A. 1989. Application of some Fuzzy Implication Operators. FSS. No. 3. pp 42-52.
17- Cobaner M. 2011. Evapotranspiration estimation by two different neurofuzzy inference systems. Journal of Hydrology. Vol. 398, Issue: 3-4.pp 292-302.
18- Dogan E. 2009. Reference Evapotranspiration Estimation using adaptive nerofuzzy inference system. Journal of Irrigation and Drianage Engineering. No.58. pp 617-628.
19- Doorenbos J., and Pruitt W.O. 1977. Guidelines for Predicting Crop Water Requirements. Food and Agricultural Organization of the United Nations. Rome, Italy. FAO Irrigation and Drainage Paper 24. 2nd ed., 156 p.
20- Jacovides C.P. 1997. Reply to comment on Statistical procedures for the evaluation ofevapotranspiration models. Agricultural Water Management. No. 3. pp 95-97.
21- Jacqin A.P. and Shamseldin A.Y. 2006.Development of rainfall runoff models using Takagi Sugeno fuzzy inference systems. Journal of Hydrology, Vol. 329, Issue 1-2. pp. 154-173.
22- Jia Bing C. 2004. Prediction of daily reference evapotranspiration using adaptive neurofuzzy inference system. Trans. of the Chinese Society of Agricultural Engineering. No. 20(4). pp 13-16.
23- Kerre E.E. 1992. A comparative study of the behavior of some popular fuzzy implication operators on the generalized modus ponens. In: Zadeh L. and Kacprzyk J. Editors. Fuzzy Logic for the Management of Uncertainty. Wiley, New York (1992). pp 281–295.
24- Kisi,Ozgür. 2010. Fuzzy Genetic Approach for modeling Reference Evapotranspiration. Journal of Irrigation and Drianage Engineering . Vol. 136(3). pp175-183.
25- Lee C.C. 1990. Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic in Controller – part I & II. IEEE Transaction on systems, Man and Cybernetics. March/April. No. 20(2). Pp 419-435.
26- Odhiambo L.O., Yoder R.E., and Yoder D.C. 2001,a. Estimating of reference crop evapotranspiration using fuzzy state models. Trans of the ASAE. No. 44(3). pp 543-550.

Archive of SID

www.SID.ir

Journal of Water and Soil
Vol. 26, No.4, Sept.-Oct. 2012, p. 854-863

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۶، شماره ۴، مهر – آبان ۱۳۹۱، ص. ۸۶۳-۸۵۴

Estimation of Daily Reference Evapotranspiration with Fuzzy Inference Systems

H. Moradi[1]*- H. Ansari[2]- S.M. Hasheminia[3]- A. Alizadeh[4]- A. Vahidian Kamyad[5]- S.M.J. Mosavi[6]

Received: 18-4-2011
Accepted: 10-6-2012

Abstract

Evapotranspiration is one of the major components of hydrologic cycle and estimation of irrigation needs. In recent years the use of intelligent systems for estimating hydrological phenomena has increased significantly.In this study the possibility of using fuzzy inference system efficiency, creating a bridge between meteorological parameters and evapotranspiration, and comparing the accuracy of reference evapotranspiration using these systems were investigated. After analyzing the different models and different combinations of daily meteorological data, five models for estimating daily reference evapotranspiration were presented. For these models, the calculated evapotranspirationfrom Penman-Monteith-FAO equation was considered as a baseand the efficiency of other models was evluated using statistical methods such as root mean squared error, error of the mean deviation, coefficient of determination,Jacovides(t) and Sabbaghet al. (R^2/t) criteria. The used data were collected from Mashhad's meteorological synoptic station for a period of 50-years (from 1339 to 1389).From the available data, 75 percentwas used for training the model and the rest of 25 percent was utilized for the testing purposes. The results derived from the fuzzy models with different input parameters as compared with Penman-Monteith-FAO and Hargreaves-Samani methods showed that fuzzy systems were very well able to estimate the daily reference evapotranspiration.Fuzzy model so that the highest correlation with the four input variables (r=0.99) had in mind and evaluate other parameters, the model with two parameters, temperature and relative humidity (RMSE=0.96, MBE =0.18, R^2=0.95, t=22, = and R^2 / t=0.04) match very well with the model Penman - Monteith - FAO had stage training. In the test phase, training phase was very similar results and the model with the second phase of temperature and relative humidity will get the best match. According to the results of this study it can be concluded that fuzzy model approach is an appropriate method to estimatethe daily reference evapotranspiration. In addition, the fuzzy models do not require complex calculations which are required forcombination methods.

Keywords: Fuzzy Inference Systems, Daily evapotranspiration, Penman-Monteith-FAO model, Hargreaves-Samani model

1,2,3,4- Former MSc Student, Associate Professor, Lecture and Professor of Water Engineering Department, Faculty of Agricultur, Ferdowsi University of Mashhad, Respectively
(*-Corresponding Author Email: moradi.hu@yahoo.com)
5- Professor of Mathematics Department, Faculty of Mathematical Sciences, Ferdowsi University of Mashhad
6- Lecture, Department of Horticultural Science, Faculty of Agricultur, Ferdowsi University of Mashhad

Archive of SID
www.SID.ir