

پیش بینی تبخیر- تعرق پتانسیل ماهانه با استفاده از مدل های ماشین بردار پشتیبان، برنامه ریزی ژنتیک و سیستم استنتاج عصبی - فازی

ام‌البنی محمدرضاپور^۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۸/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۲/۰۸

چکیده

علی‌رغم اهمیت تبخیر-تعرق در برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آبی، وابستگی آن به مولفه‌های اقلیمی از یک سو و تاثیرپذیری این مولفه‌ها از یکدیگر از سوی دیگر تخمین تبخیر-تعرق را دشوار ساخته است. به همین منظور، در این پژوهش، به بررسی امکان پیش‌بینی این مولفه‌ی مهم در استان سیستان و بلوچستان با استفاده از مدل‌های فراابتکاری از قبیل سیستم استنتاج عصبی - فازی، برنامه ریزی بیان ژن و ماشین بردار پشتیبان پرداخته شد. در این راستا، ابتدا بر اساس رابطه‌ی فائو پنمن-مانتیت، میزان تبخیر-تعرق پتانسیل ماهانه در چهار ایستگاه سینوپتیک زاهدان، زابل، ایرانشهر و چابهار با استفاده از داده‌های هواشناسی ماهانه برای یک دوره ۳۰ ساله محاسبه گردید که این مقادیر به عنوان مرجع برای مقایسه نتایج مدل‌های مورد مطالعه در تحقیق استفاده گردید. در این تحقیق با توجه به تعداد پارامترهای در نظر گرفته شده برای مدلسازی از ۵ الگو استفاده شده است. الگوی ۱ شامل ورودی‌های متوسط دمای هوا، ساعات آفتابی و رطوبت نسبی در یک ماه مشخص، الگوی ۲ شامل متوسط دمای هوا، رطوبت نسبی و سرعت باد در همان ماه، الگوی ۳ شامل متوسط دمای هوا، رطوبت نسبی و سرعت باد در همان ماه، الگوی ۴ شامل متوسط دمای هوا، رطوبت نسبی، سرعت باد و ساعات آفتابی در همان ماه و یک ماه قبل می‌باشد. مقایسه‌ی نتایج در مدل‌های مختلف بر اساس آماره‌های ضریب تبیین و جذر میانگین مربعات خطا صورت گرفت. با توجه به نتایج مشاهده می‌شود در مدل نروفازی در ایستگاه زاهدان الگوی ۲، در ایستگاه زابل و چابهار الگوی ۳ و در ایستگاه ایرانشهر الگوی ۵ با مقادیر ضریب تبیین به ترتیب ۰/۹۴۵، ۰/۹۸۲، ۰/۲۶ و ۰/۴۴۳ از دقت بیشتری برخوردار هستند. همچنین بررسی نتایج در مدل برنامه ریزی بیان ژن نشان‌دهنده این است که در بخش آزمون الگوی ۴ از بقیه الگوها با ضریب تبیین ۰/۹۷۴، ۰/۹۸۱۱، ۰/۹۸۲ و ۰/۸۱۵ در ایستگاه‌های زاهدان، زابل، ایرانشهر و چابهار دارای دقت بالاتری می‌باشد. در مدل ماشین بردار پشتیبان نیز با توجه به مقادیر ضریب تبیین ایستگاه‌های زاهدان، زابل، ایرانشهر و چابهار با مقادیر ۰/۹۹۷، ۰/۹۹۸، ۰/۹۹۸ و ۰/۹۷۹ در بخش آزمون در همه ایستگاه‌ها الگوی ۵ از دقت بهتری برخوردار می‌باشد. مقایسه بین ۳ مدل در این تحقیق نیز نشان داد که در همه ایستگاه‌ها مدل ماشین بردار پشتیبان در مرتبه اول و سپس مدل برنامه ریزی بیان ژن و در آخر مدل نروفازی برای تخمین مقادیر تبخیر-تعرق پتانسیل ماهانه قرار دارند.

واژه‌های کلیدی: پارامترهای اقلیمی، مدل سازی، روش پنمن - مانتیت، سیستان و بلوچستان.

^۱ استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه زابل، ۰۹۱۱۳۸۰۶۰۳۳ nmohammadrezapour@yahoo.com (مسئول مکاتبه)

مقدمه

تبخیر و تعرق یکی از مولفه های اصلی بیلان آب در یک منطقه و از جمله عوامل اثرگذار جهت برنامه ریزی دقیق آبیاری می باشد. لذا، برآورد دقیق نیاز آبی گیاه، تاثیر شایانی بر کاهش معضل بحران آب، به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک خواهد داشت. روش های متعددی برای محاسبه تبخیر-تعرق وجود دارد که در یک تقسیم بندی کلی، می توان آن ها را به دو دسته روش های مستقیم و غیرمستقیم تقسیم نمود. از یکی از رایج ترین روش های غیر مستقیم، استفاده مقادیر برآورد شده ی تبخیر-تعرق گیاه مرجع با استفاده از معادله ی فائونپنمن-مانتیت اصلاح شده می باشد. در این روش، پس از تعیین نیاز آبی گیاه مرجع، نیاز آبی گیاه مورد نیاز بر اساس ضرایب گیاهی به دست می آید (Allen, et al., 1998). تعداد داده های مورد نیاز در روش پنمن-مانتیت به رغم دقت قابل قبول آن، همواره ذهن محققان را به سمت استفاده از روش های ساده تر و در عین حال دقیق معطوف ساخته است. نتایج پژوهش های پیشین حاکی از این واقعیت است که مدل های خطی، به دلیل تغییرپذیری زیاد مولفه ی تبخیر-تعرق عملکرد مناسبی در برآورد آن نداشته و باید از مدل های غیرخطی استفاده نمود که خود نیازمند برآورد پارامترهای زیادی خواهد بود (wang et al, 2009). در این راستا، مدل های هوشمند با توجه به توانایی در حل پدیده های غیرخطی و پیچیده می تواند مفید واقع شود. از جمله ی این مدل ها می توان به مدل های شبکه عصبی فازی، برنامه ریزی بیان ژن و ماشین بردار پشتیبان اشاره نمود. نتایج پژوهشی در ترکیه نشان داد که روش های فراابتکاری مانند شبکه عصبی مصنوعی، الگوریتم ژنتیک، برنامه ریزی ژنتیک و سیستم های استنتاج فازی قابلیت بالایی در برآورد میزان تبخیر - تعرق دارند (kisi, 2000). زیرا این مدل ها اولاً نیاز به رابطه ریاضی برای پدیده های پیچیده مورد بررسی ندارند، ثانیاً چون با مدل های بهینه سازی تلفیق شده اند،

ورودی های آن ها تحلیل حساسیت شده و ساختار بهینه آن ها بصورت خودکار استخراج می شود (شایان نژاد، ۱۳۸۵). به همین دلیل، پژوهش های متعددی به ارزیابی مدل های هوش مصنوعی در برآورد تبخیر-تعرق پتانسیل پرداخته اند. در تحقیقی با استفاده از داده های مشاهده شده تحت کلاس A، کاربرد روش های شبکه های عصبی مصنوعی، سیستم استنتاج فازی- عصبی و هم چنین روش تجربی استیفان- استوارت، جهت برآورد تبخیر روزانه کرمان مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تحقیق نشان داد که روش عصبی- فازی نسبت به بقیه روش ها، از دقت بیشتری برای برآورد تبخیر از تحت برخوردار است (شادمانی و معروفی، ۱۳۹۰). در پژوهشی در ساری به منظور دستیابی به تخمین میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع، از روش رگرسیون چند متغیره (MLR) و روش های نوین هوش مصنوعی شامل، شبکه عصبی پرسپترون چند لایه (MLP) و سیستم استنتاجی فازی- عصبی تطبیقی (ANFIS) مورد استفاده قرار گرفت. نتایج پژوهش نشان داد، زمانی که از ۴ پارامتر برای ورودی مدل استفاده شود، مدل های شبکه عصبی (MLP) و رگرسیونی (MLR) از دقت و کارایی بالاتری در شبیه سازی تبخیر و تعرق گیاه مرجع برخوردارند در حالی که با کاهش پارامتر ورودی به ۳ و کمتر، مدل شبکه عصبی (ANFIS) در مقایسه با دو مدل دیگر دارای دقت بیشتری در برآورد این پارامتر مهم اقلیمی می باشد (کولائیان و همکاران، ۱۳۹۲). در پژوهشی در استان خوزستان، برای برآورد تبخیر - تعرق گیاه مرجع برای اصلاح معادله تجربی هارگریوز از داده های سطح زمین بجای داده های دمای هوا استفاده شده است. به همین منظور از داده های ۴۱۴ تصویر ماهواره ای سنجنده مودیس برای یک دوره دو سال (۲۰۰۶ و ۲۰۰۷) مربوط به طرح توسعه نیشکر مورد استفاده قرار گرفت. نتایج با مبنا قرار دادن معادله فائو پنمن مانتیت نشان داد معادله هارگریوز با هر نوع داده ورودی از دقت یکسانی برخوردار است. در پژوهشی برای ارزیابی حساسیت

برای این کار تبخیر- تعرق پتانسیل برآورد شده از روش پنمن-مانتیت مرجع قرار گرفت و نتایج نشان داد که روش GEP توانایی خوبی برای ارائه مدل عددی بر اساس داده های منطقه ای داراست (Aytac and seydou, 2012). شیر و همکاران در سال ۲۰۱۲ در تحقیقی در شمال اسپانیا در کشور باسک از مدل برنامه ریزی بیان ژن (GEP) برای برآورد تبخیر و تعرق مرجع روزانه (ET_0) چهار ایستگاه آب و هوایی استفاده شده و روش پنمن-مانتیت به عنوان مرجع انتخاب و نتایج GEP با سیستم تطبیقی عصبی فازی استنتاج (ANFIS)، پرستلی- تیلور و مدل هارگریوز - سامانی مقایسه گردید. نتایج نشان دادند GEP بهتر از مدل ANFIS، پرستلی- تیلور و هارگریوز- سامانی است و مدل ANFIS را به عنوان دومین مدل انتخاب گردید (shiri et al., 2012). در دو قسمت از شمال کالیفرنیا از مدل های رگرسیون ماشین بردار پشتیبان، شبکه های عصبی و مدل های تجربی برای برآورد تبخیر و تعرق روزانه گیاه مرجع در استفاده گردید (Gou, 2011 ; Kisi, 2014). نتایج نشان داد که مدل ماشین بردار پشتیبان در هر دو قسمت کالیفرنیا از دقت بالاتری نسبت به بقیه مدلها برخوردار است. در تحقیق ترزی در سال ۲۰۱۳ به مقایسه برنامه نویسی بیان ژن (GEP) و سیستم تطبیقی مبتنی بر استنتاج عصبی فازی (ANFIS) به منظور برآورد تبخیر روزانه دریاچه ای در بخش جنوب غربی ترکیه با ترکیب ورودی های مختلف انجام گردید و مشاهده شد که نتایج مدل GEP نسبت به مدل ANFIS بهتر است (Terzi, 2013). در تحقیقی در جنوب شرق ترکیه برای پیش بینی تبخیر ماهانه از شبکه عصبی مصنوعی و ماشین بردار پشتیبان استفاده شد. نتایج نشان داد که هر دو مدل شبکه های عصبی و ماشین بردار پشتیبان از دقت بالا و نزدیک به هم برخوردار هستند (Güven and kisi, 2011). همچنین در تحقیقی در هند برای برآورد تبخیر از تشتک، از مدل های شبکه های عصبی مصنوعی، نروفازی، ماشین بردار پشتیبان، منطق فازی و مدل های تجربی هارگریوز - سامانی و استفان -

تبخیر - تعرق گیاه مرجع در دو منطقه اصفهان و رشت با اقلیم های نیمه خشک و معتدل به کمک دو روش هوشمند شبکه های عصبی با ساختار پرسپترون چند لایه (MLP) و برنامه ریزی بیان ژن (GEP) برای آنالیز حساسیت تبخیر-تعرق گیاه مرجع به پارامترهای هواشناسی استفاده شد. نتایج تحقیق نشان داد که در منطقه اصفهان مدل شبکه عصبی مصنوعی با ورودی های بیشینه و کمینه دما، رطوبت، سرعت باد و تعداد ساعات آفتابی بهترین نتیجه را جهت تخمین تبخیر و تعرق مرجع ارائه داد. همچنین در منطقه رشت نیز با ورودی های کمینه و بیشینه دما، بیشینه رطوبت و تعداد ساعات آفتابی، مدل شبکه عصبی مصنوعی مقادیر تبخیر و تعرق مرجع را نسبت به واقعیت بهتر پیش بینی می کند (نجفی و همکاران، ۱۳۹۳). در پژوهشی نه روش مختلف تخمین تبخیر - تعرق گیاه مرجع مبتنی بر انتقال جرم در مقیاس ماهانه در حوضه دریاچه ارومیه استفاده شده است. بررسی نتایج نشان داد که روش مییر (M) به عنوان روش مناسب برای برآورد تبخیر - تعرق گیاه مرجع تشخیص داده شده است (بابامیری و دین پژوه، ۱۳۹۳).

بررسی روند تبخیر و تعرق پتانسیل ماهانه در استان سیستان و بلوچستان در قالب ۱۶ الگوی زمانی تاخیری با استفاده از برنامه ریزی ژنتیک برای در یک دوره ۴۰ ساله مدل سازی گردید. نتایج نشان داد که تمامی مدل های مورد قبول این تحقیق در الگوی ۱۰ به بالا بدست آمده است (محمدرضاپور و همکاران، ۱۳۹۴). گو و همکاران (۲۰۱۱) در تحقیقی برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع بصورت روزانه با استفاده از ماشین بردار پشتیبان صورت پذیرفت که نتایج تحقیق نشان داد که مدل ماشین بردار پشتیبان می تواند داده های تبخیر و تعرق گیاه مرجع را تا ۹۰٪ با مقادیر محاسبه شده با روش پنمن-مانتیت تقریب بزند (Gou, et al, 2011). توانایی عملکرد برنامه ریزی بیان ژن (GEP) برای مدل سازی تبخیر-تعرق پتانسیل با استفاده از داده های آب و هوایی ده ساله کشور ساحلی، بورکینا فاسو مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

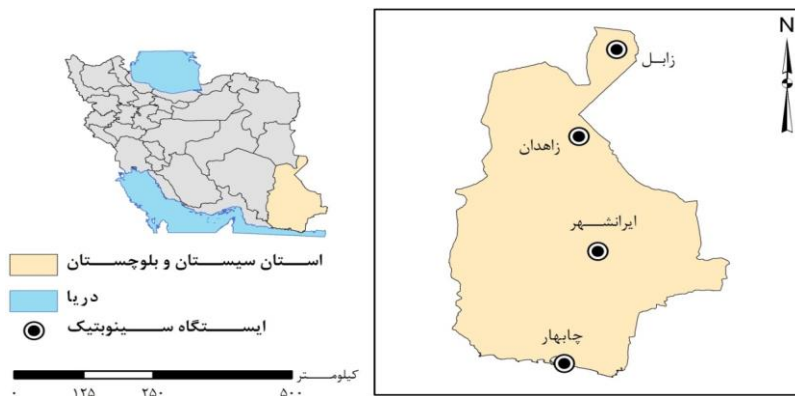
این پژوهش در محدوده‌ی استان سیستان و بلوچستان واقع در حد فاصل بین فاصل بین ۲۵ تا ۳۱ درجه عرض شمالی و ۵۸ تا ۶۳ درجه طول شرقی در جنوب شرقی ایران، با وسعتی در حدود ۱۸۱۴۷۱ کیلومتر مربع صورت گرفت (شکل ۱). داده‌های مورد استفاده در این تحقیق از ۴ ایستگاه زابل، زاهدان، ایرانشهر و چابهار جمع‌آوری شده است. در هر یک از این ایستگاه‌ها، آمار بلندمدت مولفه‌های اقلیمی شامل دمای هوا، رطوبت نسبی، ساعات آفتابی و سرعت باد به صورت ماهانه در طول دوره‌ی آماری ۱۳۹۰-۱۳۴۵ جمع‌آوری شد. جدول (۱) میانگین متغیرهای مورد استفاده برای مدل‌سازی تبخیر - تعرق پتانسیل ماهانه در طول دوره آماری برای هر یک از ایستگاه‌ها را نشان می‌دهد.

استوارت استفاده گردید (Gulay and Buyukyildiz, 2015). نتایج تحقیق خود نشان داد که مدل‌های ماشین بردار پشتیبان و منطق فازی از دقت مناسبی برای برآورد تبخیر روزانه برخوردار هستند.

با توجه به اهمیت تعیین دقیق و به موقع تبخیر - تعرق پتانسیل در محاسبات بیلان آبی، شبیه‌سازی تولیدات گیاهی و برنامه ریزی‌های آبیاری از یک سو و نبود داده‌های مناسب هواشناسی از سوی دیگر، ارائه یک مدل ساده، کم هزینه و دقیق را در ارائه این پارامتر ضروری می‌نماید. لذا هدف از انجام این تحقیق بررسی دقت مدل‌های عصبی - فازی، برنامه ریزی بیان ژن و رگرسیون ماشین بردار پشتیبان در تخمین تبخیر - تعرق پتانسیل استان سیستان و بلوچستان بصورت ماهانه می‌باشد.

جدول (۱): میانگین آماری پارامترهای مورد استفاده در مدل‌سازی تبخیر و تعرق پتانسیل ماهانه

ایستگاه	دمای میانگین (درجه سانتیگراد)	رطوبت نسبی (%)	سرعت باد (کیلومتر بر ساعت)	ساعات آفتابی (ساعت)	ارتفاع از سطح دریا	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
زاهدان	۱۸/۵۷	۳۳/۰۹	۲۷۶/۹۴	۹/۰۹	۱۳۶۹	۶۰-۵۳	۲۹-۲۸
زابل	۲۲/۲۱	۳۷/۴۴	۴۵۷/۸۲	۸/۸۳	۴۸۹/۲	۶۱-۲۹	۳۱-۱۳
ایرانشهر	۲۶/۸۵	۳۰/۲۸	۱۸۰/۲۳	۹/۱۶	۵۹۱	۶۰-۴۲	۲۷-۱۲
چابهار	۲۶/۲۸	۷۲/۶۶	۲۵۸/۹۷	۸/۶۵	۸	۶۰-۳۰	۲۵-۱۴



شکل (۱): ایستگاه‌های مورد مطالعه در استان سیستان و بلوچستان

پیش‌بینی تبخیر-تعرق

فائوپنمن-مانتیت اصلاح شده به صورت ذیل محاسبه شد.

قبل از استفاده از مدل‌های هوش مصنوعی، میزان تبخیر-تعرق در طول دوره‌ی آماری برگزیده در تمام ایستگاه‌ها، در مقیاس ماهانه با استفاده از رابطه‌ی

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

ساختار مناسب ANFIS متناسب با داده‌های ورودی، نوع توابع عضویت ورودی و خروجی، قوانین و تعداد تابع عضویت انتخاب می‌شود.

مدل برنامه ریزی بیان ژن:

برنامه‌ریزی بیان ژن (Gene expression (GEP programming) یک روش جدید برنامه‌نویسی خود محور می‌باشد (کوزا، ۱۹۹۲). این روش ترکیبی از روش‌های برنامه‌ریزی ژنتیک و الگوریتم ژنتیک بوده که در آن، کروموزوم‌های خطی و ساده با طول ثابت، مشابه با آنچه که در الگوریتم ژنتیک استفاده می‌شود، و ساختارهای شاخه‌ای با اندازه‌ها و اشکال متفاوت، مشابه با درختان تجزیه در برنامه‌ریزی ژنتیک، ترکیب می‌شوند. در این روش، ابتدا یک تابع هدف برای مسئله مشخص شده، سپس با استفاده از یک فرآیند گام به گام، با تغییر ساختار تابع، بهترین تابع هدف با کم‌ترین خطا بدست می‌آید. اولین مرحله در الگوریتم GEP، تولید جمعیت اولیه از راه حل‌هاست. سپس کروموزوم‌ها به صورت بیان درختی نشان داده می‌شوند؛ در مرحله بعد باید کارایی یا سازگاری هر عضو جمعیت کروموزوم‌ها را مورد ارزیابی قرار داد. این کار با استفاده از یک تابع برازش صورت می‌گیرد. آنگاه با حفظ جواب‌های برتر و حذف جواب‌های ضعیف‌تر به تدریج به جواب مطلوب نزدیک شویم. تفاوت اساسی موجود بین برنامه ریزی ژنتیک و الگوریتم ژنتیک به طبیعت هر یک از افراد بر می‌گردد، به نحوی که افراد در الگوریتم ژنتیک، ردیف‌های خطی با طول ثابت (کروموزوم‌ها) می‌باشند، لکن در برنامه‌ریزی ژنتیک، افراد شامل شاخه‌های مجزای متشکل از علائم ریاضی هستند. در این پژوهش، ترکیبی از کلیه عملگرها نظیر

که در آن که در آن ET_o میزان تبخیر-تعرق گیاه مرجع $(mm.day^{-1})$ ، R_n تابش خالص در سطح گیاه $(MJ.m^{-2}.day^{-1})$ ، G چگالی جریان گرمای خاک $(MJ.m^{-2}.day^{-1})$ ، γ ضریب ثابت سایکرومتری $(KPa/^\circ C)$ ، T دمای متوسط هوا $(^\circ C)$ ، u_2 سرعت با در ارتفاع ۲ متری $(m.s^{-1})$ ، $e_s - e_a$ کمبود فشار بخار اشباع $(KPa/^\circ C)$ و Δ شیب منحنی فشار بخار $(KPa/^\circ C)$ می‌باشد. سپس، این مقادیر به عنوان مرجع جهت مقایسه مقادیر پیش‌بینی تبخیر-تعرق پتانسیل ماهانه با مدل‌های مورد استفاده انتخاب شدند. در تمام مدل‌ها، دو-سوم داده‌های ورودی در مرحله‌ی آموزش و یک-سوم آن‌ها در مرحله‌ی آزمون استفاده شد. مدل‌های منتخب، شامل برنامه‌ریزی بیان ژن، سیستم استنتاج عصبی-فازی و ماشین بردار پشتیبان بود.

مدل سیستم استنتاج عصبی - فازی:

یکی از مدل‌های مورد استفاده در این پژوهش، سیستم استنتاج عصبی-فازی می‌باشد. پروفیسور جنگ در سال ۱۹۹۳ مدل ANFIS (Adaptive neuro-fuzzy inference system) را ارائه کرد که قابلیت ترکیب توانایی دو روش منطق فازی و شبکه عصبی مصنوعی را داشت (شیرساز ۲۰۱۰ و رمان ۲۰۰۸). در مدل نروفازی، روند آموزش شامل دو مرحله می‌باشد. در مرحله اول، در حالی که پارامترهای بخش مقدم (توابع عضویت) ثابت فرض می‌شوند، با استفاده از روش حداقل مربعات پارامترهای بخش تالی تعیین می‌شوند. سپس در مرحله دوم، سیگنال‌های خطا پس انتشار می‌یابند. در ANFIS قوانین ثابت می‌باشند و آنچه بهینه سازی می‌شود، شکل توابع عضویت است.

آمده از ماشین‌های بردار پشتیبان تاثیر دارد و بردارهای پشتیبان و به دنبال آن پیچیدگی و توانایی تعمیم‌پذیری شبکه موثر است. تابع Kernel : تابع وزنی است که در تکنیک‌های پیش بینی غیر پارامتریک استفاده می شود.

متغیرهای ورودی به مدل‌ها:

در این تحقیق با توجه به داده های ورودی که شامل میانگین درجه حرارت، ساعات آفتابی، سرعت باد، رطوبت نسبی ماهانه می باشند الگوهای مختلفی ارائه شده است. تعداد ۵ الگوی متفاوت انتخاب گردید. الگوی ۱ شامل متوسط دمای هوا، ساعات آفتابی و رطوبت نسبی در همان ماه ، الگوی ۲ شامل متوسط دمای هوا، رطوبت نسبی، و سرعت باد در همان ماه، الگوی ۳ شامل متوسط دمای هوا ، رطوبت نسبی و سرعت باد در همان ماه، الگوی ۴ شامل متوسط دمای هوا، رطوبت نسبی، سرعت باد و ساعات آفتابی در همان ماه و الگوی ۵ شامل متوسط دمای هوا، رطوبت نسبی، سرعت باد و ساعات آفتابی در همان ماه و یک ماه قبل میباشد. الگوهای ورودی در جدول (۲) آورده شده است.

جهش، برگشت، سه نوع مختلف ترانهش و سه نوع عملگر ترکیب مجدد مورد استفاده قرار گرفت (قربانی ، ۲۰۰۱).

مدل ماشین بردار پشتیبان:

ماشین بردار پشتیبان (SVM) (Support Vector Machine) از جمله روش‌های نسبتاً جدیدی است که در سالهای اخیر کارایی خوبی نسبت به روشهای قدیمی تر برای دسته بندی و رگرسیون از جمله شبکه های عصبی پرسپترون چند لایه نشان داده است. از برتری‌های مدل ماشین بردار پشتیبان نسبت به سایر روشها آن است که با داده های آموزشی کمتر و متغیرهای کمتری کار می کند اما نسبت به تغییر متغیرها بسته به داده های آموزشی حساس است. یک ماشین یادگیری (f)، یک ورودی (X) را می‌گیرد و آن را با استفاده از وزنهای α به یک خروجی تبدیل می‌کند. متغیرهای مهم در ماشین‌های بردار پشتیبان عبارتند از: متغیر: این متغیر تنظیم حواشی و اندازه‌ی متغیرهای دور افتادگی را کنترل می‌کند. متغیر گاما: در یک ماشین بردار پشتیبان مقدار گاما در تابع تقلیل غیر حساس بایستی انتخاب شود. اپسیلون بر انعطاف پاسخ‌های بدست

جدول(۲): الگوهای انجام شده توسط مدل‌های مورد استفاده در این تحقیق جهت تخمین تبخیر و تعرق پتانسیل

نام الگو	پارامترهای خروجی در هر الگو	پارامترهای ورودی در هر الگو
۱	<i>ET_o</i>	TSR
۲	<i>ET_o</i>	TSW
۳	<i>ET_o</i>	TRW
۴	<i>ET_o</i>	TSRW
۵	<i>ET_o</i>	TSRW(TSRW)-1

و \bar{T}^E نیز به ترتیب میانگین مقادیر مشاهداتی و تخمینی دمای هوا می‌باشد. N نیز نشانگر تعداد داده‌ها می‌باشد.

نتایج و بحث

همانطور که قبلاً بیان شد هدف از این تحقیق برآورد تبخیر - تعرق پتانسیل با استفاده از سه مدل نروفازی، برنامه ریزی ژنتیک و ماشین بردار پشتیبان می‌باشد. بدینمنظور پس از اینکه با استفاده از نرم افزار MATLAB و نرم افزار GeneXproTools دو سوم داده ها برای آموزش مدل‌ها استفاده شدند، از یک سوم باقیمانده داده ها نیز برای تست هرمدل استفاده شد.

نتایج مدل نروفازی:

در مدل‌سازی با نروفازی پارامترهایی وجود دارند که تغییرات آنها باعث تغییر عملکرد مدل می‌گردد و در سرعت همگرایی و مرغوبیت جواب‌ها تأثیر گذار خواهد بود. بدست آوردن بهترین پارامترها بر اساس سعی و خطا می‌باشد. مهمترین پارامتر در مدل‌سازی نروفازی انتخاب تابع عضویت می‌باشد. برای مدل نروفازی، ۵ تابع مثلثی، دوزنقه ای، گوسی، گوسی ۲ و زنگوله‌ای مورد آزمون قرار گرفته است. پس از سعی و خطاهای انجام شده در مدل نروفازی از تابع گوسی برای مدل‌سازی استفاده شده است. نتایج ارزیابی ترکیب‌های مختلف ورودی در مدل نروفازی در جدول ۳ ارائه شد.

که ETO : تبخیر و تعرق پتانسیل (mm/month)، T: متوسط دمای هوا ($^{\circ}C$)، S: ساعت آفتابی (hours)، W: سرعت باد (km/month) و R: رطوبت نسبی (%) می‌باشند. برای مدل‌سازی تبخیر - تعرق پتانسیل با مدل سیستم استنتاج عصبی - فازی و ماشین بردار پشتیبان از نرم افزار MATLAB استفاده شده و همچنین از نرم‌افزار GeneXproTools برای توسعه و اجرای مدل برنامه‌ریزی ژنتیک استفاده به عمل آمد. دو سوم داده‌ها برای آموزش مدل‌ها و یک سوم باقیمانده برای آزمون مدل‌ها استفاده شده است.

معیارهای ارزیابی

شاخص‌های آماری مورد استفاده شامل ضریب تبیین (R^2) که بیان‌کننده‌ی همبستگی داده‌های تخمین زده شده توسط مدل‌ها و داده‌های محاسباتی می‌باشد و جذر میانگین مربعات خطاها (RMSE) که میزان خطا را بیان می‌کند، می‌باشد که به منظور بررسی و ارزیابی دقت مدل‌ها مورد استفاده واقع شدند. شاخص‌های یاد شده به ترتیب با استفاده از روابط (۲ و ۳) قابل محاسبه است.

$$R^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^N (T_i^O - \bar{T}^O)(T_i^E - \bar{T}^E)}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (T_i^O - \bar{T}^O)^2 \sum_{i=1}^N (T_i^E - \bar{T}^E)^2}} \right)^2 \quad (2)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (T_i^E - T_i^O)^2}{N}} \quad (3)$$

در این روابط T_i^E و T_i^O به ترتیب مقادیر دمای مشاهداتی و تخمینی در زمان گام زمانی i بوده، \bar{T}^O

جدول (۳): ضریب تبیین و خطای الگوهای مختلف در بخش تست در مدل نروفازی (خطا بر حسب میلی‌متر در روز می‌باشد)

چابهار		ایرانشهر		زابل		زاهدان		الگو	نوع مدل
R ² ضریب تبیین	RMSE خطا	R ² ضریب تبیین	RMSE خطا	R ² ضریب تبیین	RMSE خطا	R ² ضریب تبیین	RMSE خطا		
۰/۳۱۶	۶/۸۹۴	۰/۱۸۰	۲۷/۶۱۴	۰/۴۹۱	۱۰/۲۷۱	۰/۸۸۹	۱/۳۶۲	ANFIS1	عصبی - فازی تطبیقی (نروفازی)
۰/۲۰۴	۲/۶۳۰	۰/۲۱	۳۵/۸۶۹	۰/۸۶۴	۳/۱۷۴	۰/۹۴۵	۰/۴۷	ANFIS2	
۰/۴۴۳	۶/۵۹۱	۰/۰۶۳	۳۱/۸۶۹	۰/۹۸۲	۰/۶۹۸	۰/۹۳۷	۰/۶۳۷	ANFIS3	
۰/۲۷۲	۵۲/۱۹۵	۰/۱۱۸	۲۵/۳۰	۰/۵۶۵	۷/۵۶۹	۰/۳۸۲	۶/۲۸۲	ANFIS4	
۰/۱۰۹	۶۸/۲	۰/۲۶۰	۶/۶۶	۰/۲۳۵۸	۹/۳۳	۰/۶۹۱	۳/۳۶	ANFIS5	

برنامه‌ریزی بیان ژن نیز پارامترهایی وجود دارند که بدست آوردن بهترین مقادیر برای آنها بر اساس سعی و خطا می‌باشد. در این تحقیق تعداد کروموزم‌ها ۳۰، تعداد ژن‌ها در هر کروموزم ۳ و تابع پیوند جمع انتخاب گردیده است. نتایج ارزیابی ترکیب‌های مختلف ورودی در مدل برنامه‌ریزی ژنتیک در جدول ۴ ارائه شدند.

همانطور که از جدول (۳) مشاهده می‌شود در مدل نروفازی در ایستگاه زاهدان الگوی ۲، در ایستگاه زابل الگوی ۳، در ایستگاه ایرانشهر الگوی ۵ و در ایستگاه چابهار الگوی ۳ دارای بیشترین مقادیر ضریب تبیین و الگوی ۴، ۵، ۳ و ۵ به ترتیب دارای کمترین مقادیر برای ایستگاه‌های مذکور می‌باشند.

نتایج مدل برنامه ریزی بیان ژن:

مدل برنامه ریزی بیان ژن برای همه ایستگاه‌ها در نرم‌افزار GeneXproTools اجرا شد. در مدل‌سازی

جدول (۴): ضریب تبیین و خطای الگوهای مختلف در بخش تست در مدل برنامه ریزی بیان ژن (خطا بر حسب میلی‌متر در روز می‌باشد)

چابهار		ایرانشهر		زابل		زاهدان		الگو	نوع مدل
R ² ضریب تبیین	RMSE خطا	R ² ضریب تبیین	RMSE خطا	R ² ضریب تبیین	RMSE خطا	R ² ضریب تبیین	RMSE خطا		
۰/۷۷۵	۰/۵۴۲	۰/۹۵۲	۱/۵۸۱	۰/۹۵۴	۱/۳۱۹	۰/۸۹۱	۰/۸۵۸	GEP1	برنامه ریزی بیان ژن
۰/۷۵۸	۰/۵۹۵	۰/۹۷۰	۰/۶۳۷	۰/۹۵۰	۱/۵۳۱	۰/۹۳۱	۰/۶۴۱	GEP2	
۰/۷۳۲	۰/۵۸۵	۰/۹۷۴	۰/۹۸۳	۰/۹۱۳	۱/۵۹۷	۰/۹۴۲	۰/۵۰۳	GEP3	
۰/۸۱۵۱	۰/۴۹۵	۰/۹۸۲	۰/۴۲۱	۰/۹۸۱۱	۱/۰۶	۰/۹۷۰	۰/۴۵۳	GEP4	
۰/۸۰۲۱	۰/۵۳۸	۰/۹۸۵	۱/۱۳۸	۰/۹۴۶	۱/۵۰۲	۰/۸۹۳	۰/۹۶۰	GEP5	

همانطور که از جدول ۴ مشاهده میشود در مدل برنامه ریزی بیان ژن در همه ایستگاه های زاهدان، زابل، ایرانشهر و چابهار الگوی ۴، دارای بیشترین مقادیر ضریب تبیین و الگوی ۱، ۳، ۱ و ۳ به ترتیب دارای کمترین مقادیر ضریب تبیین برای ایستگاههای مذکور می باشند.

نتایج مدل ماشین بردار پشتیبان:

مدل ماشین بردار پشتیبان برای همه ایستگاههای زابل، زاهدان، ایرانشهر و چابهار در نرم افزار MATLAB اجرا شد. در مدلسازی ماشین بردار

پشتیبان نیز پارامترهایی وجود دارند که تغییرات آنها باعث تغییر عملکرد مدل میگردد و در سرعت همگرایی و مرغوبیت جوابها تأثیرگذار خواهد بود. لذا به منظور بهتر شدن کارایی مدل ماشین بردار پشتیبان سعی و خطاهایی برای بدست آوردن بهترین مقدار برای پارامترهای C و گاما و تابع کرنال انجام شده است. مقادیر قابل قبول برای پارامتر C در هر چهار ایستگاه در محدوده (۰,۶۵ تا ۱,۲۵) و محدوده پارامتر گاما (۵ تا ۱۰) بدست آمد. همچنین توابع کرنال مورد استفاده شامل توابع خطی و RBF بوده است.

جدول (۵): ضریب تبیین و خطای الگو های مختلف در بخش تست در مدل بردار ماشین پشتیبان (خطا بر حسب میلی متر در روز می باشد)

چابهار		ایرانشهر		زابل		زاهدان		الگو	نوع مدل
R ²	RMSE	R ²	RMSE	R ²	RMSE	R ²	RMSE		
ضریب تبیین	خطا	ضریب تبیین	خطا	ضریب تبیین	خطا	ضریب تبیین	خطا		
۰/۷۷۷	۰/۴۵۹	۰/۹۰۵	۱/۴۲۶	۰/۹۷۰	۰/۸۴۲	۰/۹۵۳	۰/۵۶۷	SVM1	رگرسیون ماشین بردار پشتیبان
۰/۸۵۵	۰/۳۸۲	۰/۹۶۰	۰/۷۱۸	۰/۹۹۴	۰/۶۴۵	۰/۹۹۱	۰/۲۳۶	SVM2	
۰/۸۲۱	۰/۴۱۳	۰/۹۸۷	۰/۳۹۰	۰/۹۹۷	۰/۲۴۶	۰/۹۹۳	۰/۲۴۵	SVM3	
۰/۹۰۴	۰/۳۰۱	۰/۹۸۹	۰/۳۷۸	۰/۹۹۷	۰/۲۹۳	۰/۹۹۶	۰/۱۸۹	SVM4	
۰/۹۷۹	۰/۲۰۵	۰/۹۹۸	۰/۳۳۰	۰/۹۹۸	۰/۴۳۴	۰/۹۹۷	۰/۱۷۳	SVM5	

در ایستگاه زاهدان بررسی نتایج مدل نروفازی نشان داد که مدل (ANFIS2) از بین همه الگوها دارای ضریب تبیین بیشتر و مجذور میانگین مربعات خطای کمتری می باشد و به عنوان الگوی برتر در مدل نروفازی معرفی میگردد. همچنین نتایج مدل GEP در این ایستگاه با توجه به مقادیر ضریب تبیین و خطای مدل نشان داد که الگوی ۴ (GEP4) دارای بالاترین دقت می باشد. نتایج مدل SVM نیز نشان دهنده این است که الگوی ۵ (SVM5) در ایستگاه زاهدان از بین همه الگوها دارای مقدار ضریب تبیین بالاتر و مقادیر خطای کمتری میباشد. بررسی نتایج ۳ مدل در ایستگاه زاهدان نشان داده است که مدل ماشین بردار پشتیبان با ورودی های الگوی ۵ (SVM5) بعنوان مدل برتر در مدل برنامه ریزی بیان

همانطور که از جدول ۵ مشاهده میشود در مدل ماشین بردار پشتیبان در همه ایستگاه های زاهدان، زابل، ایرانشهر و چابهار الگوی ۵، دارای بیشترین مقادیر ضریب تبیین و الگوی ۱ نیز در همه ایستگاهها دارای کمترین مقادیر ضریب تبیین می باشند.

بررسی مدل ها در هر ایستگاه:

بررسی کلی و مقایسه ۳ مدل نروفازی، برنامه ریزی بیان ژن و ماشین بردار پشتیبان نشان می دهد که نمی توان یک الگوی مشخص را برای تمام ایستگاهها با دقت مناسب برای برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل ماهانه معرفی نمود و باید برای هر ایستگاه بصورت جداگانه الگوی برتر در مدلها معرفی کرد.

(ANFIS2) نیز در رتبه سوم قرار دارد. بررسی نتایج مدلها نشان داد که در ایستگاه چابهار، در مدل ANFIS زمانی که ورودی ها شامل متوسط دمای هوا، رطوبت نسبی و سرعت باد در همان ماه (ANFIS3) باشند مدل دارای ضریب تبیین بیشتر و خطای کمتری می باشد و به عنوان الگوی برتر معرفی میگردد. همچنین نتایج مدل GEP در این ایستگاه با توجه به مقادیر ضریب تبیین و خطای مدل نشان داد که، الگوی ۴ (GEP4) دارای بالاترین دقت می باشد. نتایج مدل SVM نیز نشان دهنده این است که الگوی ۵ در ایستگاه زابل از بین همه الگوها دارای مقدار ضریب تبیین بالاتر و مقادیر خطای کمتری میباشد. بررسی نتایج ۳ مدل در ایستگاه چابهار نشان داده است که مدل ماشین بردار پشتیبان با ورودی های الگوی ۵ (SVM5) بعنوان مدل برتر و مدل برنامه ریزی بیان ژن با الگوی ۴ (GEP4) به عنوان مدل دوم برای برآورد تبخیر - تعرق پتانسیل ماهانه شناخته شدند. مدل نروفازی (ANFIS2) نیز در رتبه سوم قرار دارد. بررسی نتایج نشان میدهد که در همه ایستگاهها مدل (SVM5) از همه مدلها دقت بالاتری برای مدلسازی تبخیر - تعرق پتانسیل ماهانه برخوردار است. بررسی نتایج مدل نروفازی نشان میدهد که مدل نروفازی در بیشتر ایستگاهها زمانی که پارامترهای ورودی از ۳ به ۴ و بیشتر تغییر می کند، مقادیر ضریب تبیین کاهش یافته و از دقت مدل کاسته می شود که این نتایج با نتایج تحقیق کولائیان و همکاران (۳) مطابقت دارد. در مدل SVM زمانی که از همه متغیرها به عنوان ورودی برای مدلسازی تبخیر و تعرق پتانسیل استفاده شود، دقت مدل از بقیه الگوها بالاتر است که این نتیجه با نتایج گویال و همکاران (۷) که از مدل ماشین بردار پشتیبان برای برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل استفاده کردند، مطابقت دارد. همچنین مقایسه نتایج مدل نروفازی و برنامه ریزی بیان ژن در این تحقیق نیز نشان داد که در همه الگوها مقادیر ضریب تبیین مدل GEP از مدل ANFIS بالاتر است که این نتایج نیز با

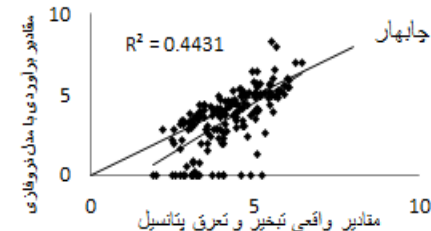
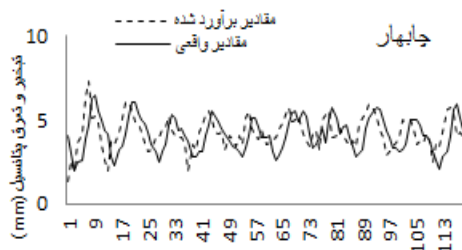
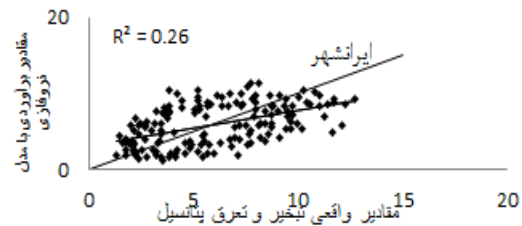
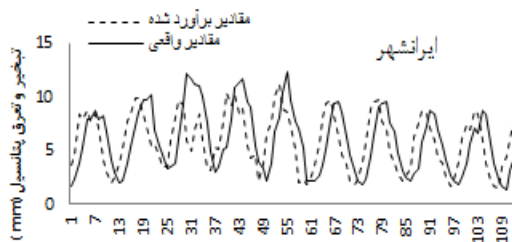
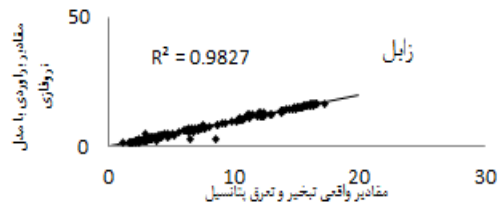
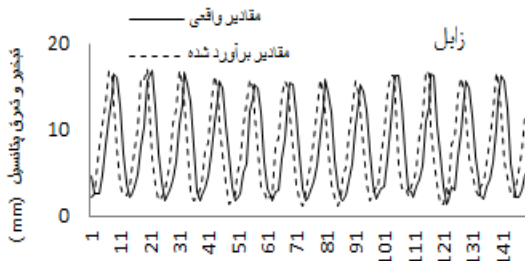
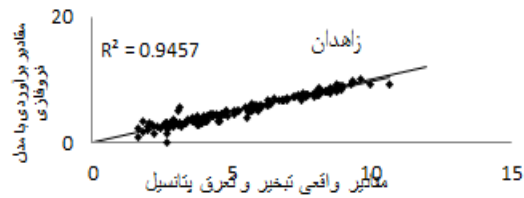
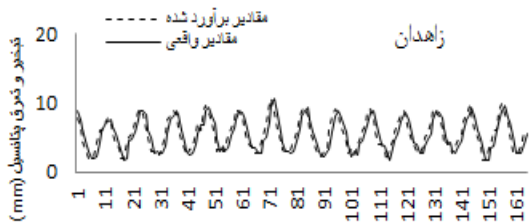
ژن با الگوی ۴ (GEP4) بعنوان مدل دوم برای برآورد تبخیر - تعرق پتانسیل ماهانه شناخته شدند. مدل نروفازی (ANFIS2) نیز در رتبه سوم قرار دارد. بررسی نتایج مدلها نشان داد که در ایستگاه زابل، مدل ANFIS زمانی که ورودی ها شامل متوسط دمای هوا، رطوبت نسبی و سرعت باد در همان ماه (ANFIS3) باشند مدل دارای ضریب تبیین بیشتر و خطای کمتری می باشد و به عنوان الگوی برتر معرفی میگردد. همچنین نتایج مدل GEP در این ایستگاه با توجه به مقادیر ضریب تبیین و خطای مدل نشان داد که، الگوی ۴ (GEP4) دارای بالاترین دقت می باشد. نتایج مدل SVM نیز نشان دهنده این است که الگوی ۵ در ایستگاه زابل از بین همه الگوها دارای مقدار ضریب تبیین بالاتر و مقادیر خطای کمتری می باشد. بررسی نتایج ۳ مدل در ایستگاه زابل نشان داده است که مدل ماشین بردار پشتیبان با ورودی های الگوی ۵ (svm5) بعنوان مدل برتر و مدل نروفازی (ANFIS3) بعنوان مدل دوم برای برآورد تبخیر - تعرق پتانسیل ماهانه شناخته شدند. مدل برنامه ریزی بیان ژن با الگوی ۴ (GEP4) نیز در رتبه سوم قرار دارد. در ایستگاه ایرانشهر بررسی نتایج مدل نروفازی نشان داد که مدل (ANFIS4) از بین همه الگوها دارای ضریب تبیین بیشتر و مجذور میانگین مربعات خطای کمتری می باشد و به عنوان الگوی برتر در مدل نروفازی معرفی میگردد. همچنین نتایج مدل GEP در این ایستگاه با توجه به مقادیر ضریب تبیین و خطای مدل نشان داد که الگوی ۴ (GEP4) دارای بالاترین دقت می باشد. نتایج مدل SVM نیز نشان دهنده این است که الگوی ۵ (SVM5) در ایستگاه زاهدان از بین همه الگوها دارای مقدار ضریب تبیین بالاتر و مقادیر خطای کمتری می باشد. بررسی نتایج ۳ مدل در ایستگاه ایرانشهر نشان داده است که مدل ماشین بردار پشتیبان با ورودی های الگوی ۵ (SVM5) بعنوان مدل برتر و مدل برنامه ریزی بیان ژن با الگوی ۴ (GEP4) بعنوان مدل دوم برای برآورد تبخیر - تعرق پتانسیل ماهانه شناخته شدند. مدل نروفازی

نتایج شیری و همکاران (۱۵) و ترزی و همکاران (۱۶) مطابقت دارد.

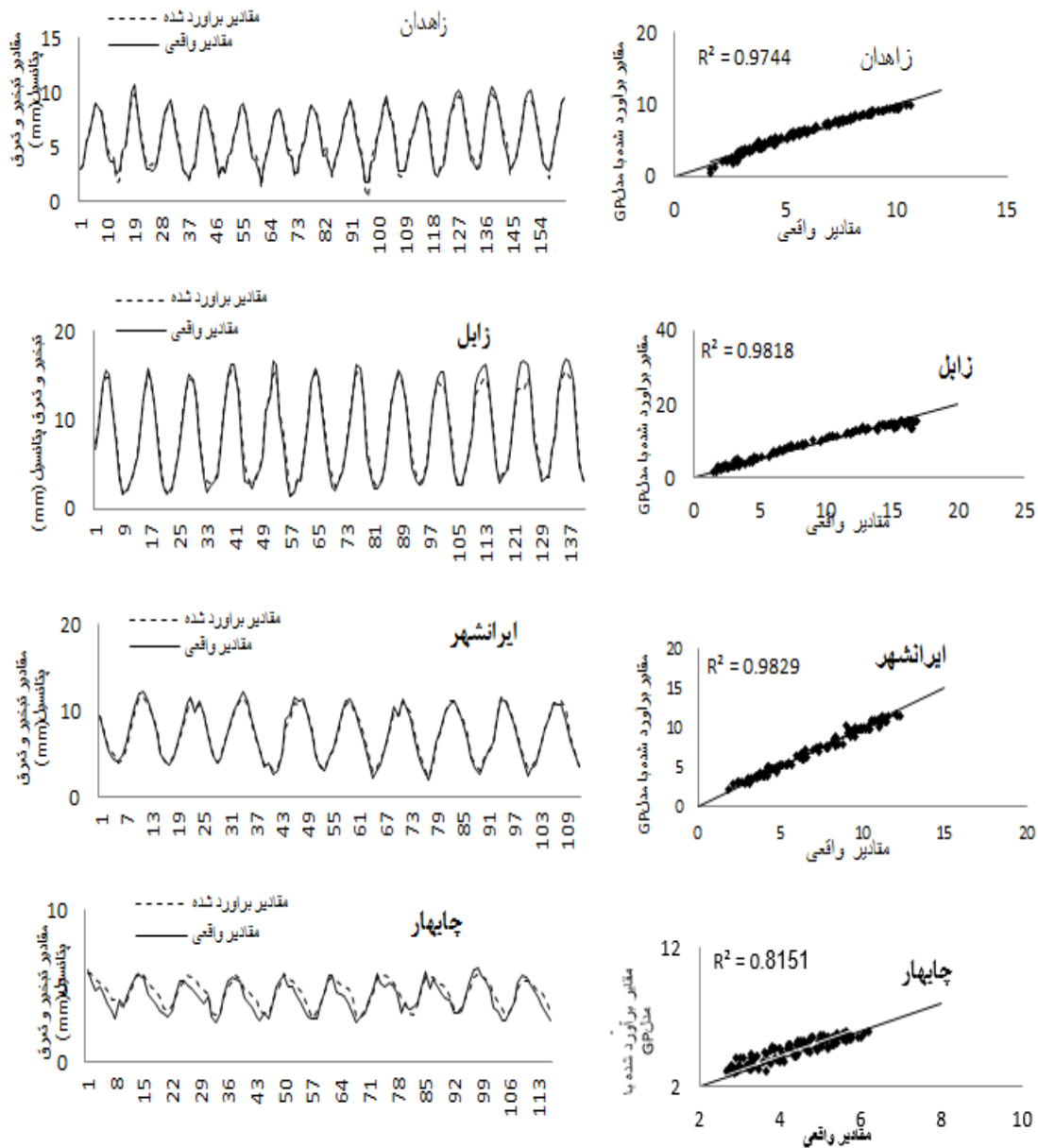
انتخاب بهترین الگو در هر مدل در ایستگاه‌ها:

بررسی نتایج مدل نروفازی در ایستگاه‌ها نشان می‌دهد که در ایستگاه زاهدان الگوی ۲، ایستگاه زابل الگوی ۳، ایستگاه ایرانشهر الگوی ۵ و ایستگاه چابهار الگوی ۳ دارای مقادیر ضریب تبیین بالاتر و مقادیر خطای کمتری هستند که نشان دهنده دقت بالای این

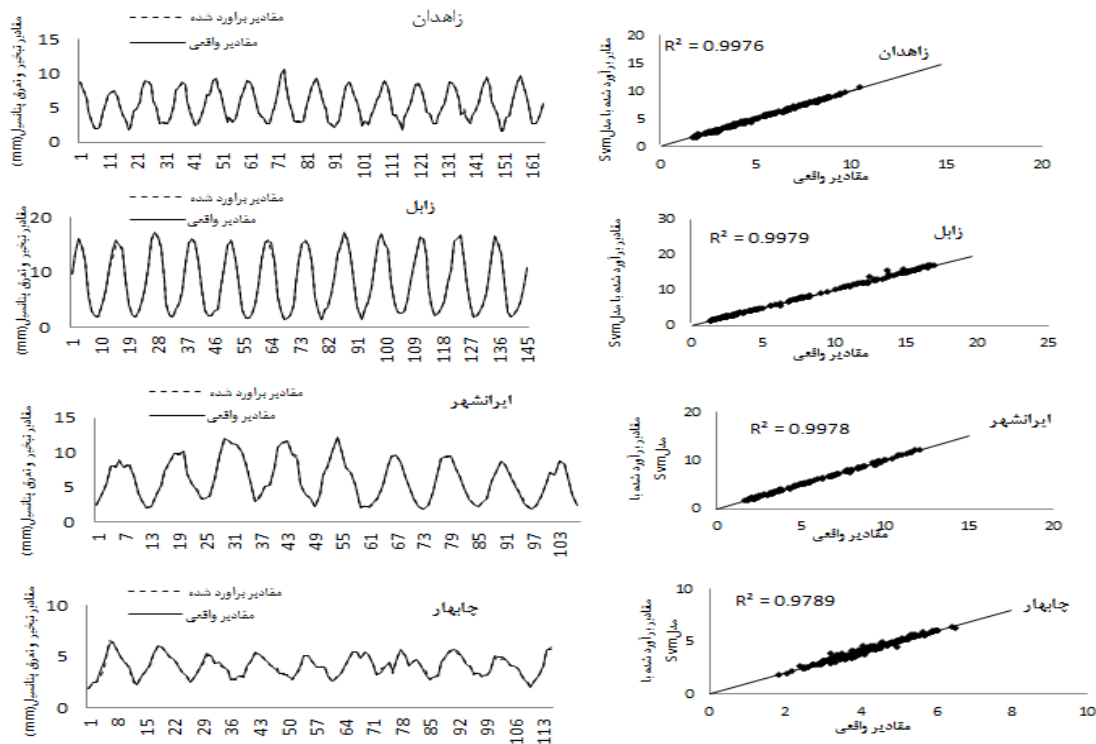
الگوها برای برآورد تبخیر-تعرق پتانسیل ماهانه هستند. همچنین در مدل برنامه‌ریزی بیان ژن الگوی ۴ در همه ایستگاه‌ها و در مدل ماشین بردار پشتیبان الگوی ۵ در همه ایستگاه‌ها از دقت بالایی برای برآورد مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل ماهانه برخوردار است. شکل‌های ۲ تا ۴ نمودار مقادیر واقعی و مقادیر شبیه‌سازی شده با استفاده از هر مدل در الگوی برتر در هر ایستگاه را نشان می‌دهند.



شکل (۲): نمودار مقادیر واقعی و مقادیر شبیه‌سازی شده با استفاده مدل نروفازی در الگوی برتر هر ایستگاه (ایستگاه زاهدان الگوی ۲، ایستگاه زابل الگوی ۳، ایستگاه ایرانشهر الگوی ۵ و ایستگاه چابهار الگوی ۳)



شکل (۳): نمودار مقادیر واقعی و مقادیر شبیه سازی شده با استفاده مدل برنامه ریزی بیان ژن در الگوی برتر هر ایستگاه (همه ایستگاه ها الگوی ۴)



شکل (۴): نمودار مقادیر واقعی و مقادیر شبیه سازی شده با استفاده مدل ماشین بردار پشتیبان در الگوی برتر هر ایستگاه (۵)

همه ایستگاه ها الگوی (۵)

زاهدان، زابل، ایرانشهر و چابهار الگوی ۵ (پارمترهای ورودی شامل متوسط دمای هوا، رطوبت نسبی، ساعات آفتابی و سرعت باد در همان ماه و یک ماه قبل) در مدل ماشین بردار پشتیبان (SVM5) از دقت بالاتری برای مدل سازی تبخیر-تعرق پتانسیل نسبت به بقیه مدل ها برخوردار هستند.

نتیجه گیری

در این تحقیق، دقت مدل های سیستم استنتاج عصبی - فازی (ANFIS)، برنامه ریزی بیان ژن (GEP) و ماشین بردار پشتیبان (SVM) در تخمین تبخیر - تعرق پتانسیل ماهانه استان سیستان و بلوچستان بررسی شد. برای این منظور از داده های دما، ساعات آفتابی، سرعت باد و رطوبت نسبی بصورت ماهانه به عنوان پارمترهای ورودی مدل و مقادیر تبخیر-تعرق پتانسیل ماهانه بعنوان خروجی از مدل انتخاب شدند. مقادیر برآورد شده از هر یک از مدل ها با مقادیر تبخیر-تعرق پتانسیل محاسبه شده با روش پنمن - مانیتث مقایسه شدند. ارزیابی مدل با استفاده از ضریب تبیین و مقادیر مجذور میانگین مربعات خطا صورت گرفته است. مدل سازی برای ۴ ایستگاه زاهدان، زابل، ایرانشهر و چابهار از سال ۱۹۶۴ تا ۲۰۱۰ بصورت ماهانه انجام شده است. بررسی نتایج مدل ها در هر ایستگاه نشان داد که همه ایستگاه های

منابع

- بابامیری، ا. و ی. دین پژوه. ۱۳۹۳. مقایسه و واسنجی نه روش تخمین تبخیر-تعرق گیاه مرجع مبتنی بر انتقال جرم در حوضه آبریز دریاچه ارومیه. مجله پژوهش های جفافت آب و خاک. ۱۵۳-۱۳۵. ۲۱(۵).
- شایان نژاد، م. ۱۳۸۵. مقایسه روش های شبکه های عصبی مصنوعی و پنمن-مونتیث در محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل. همایش ملی مدیریت شبکه های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- شادمانی، م. و ص. معروفی. ۱۳۹۰. مقایسه چند روش برآورد تبخیر روزانه از تشت- مطالعه موردی منطقه کرمان. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک. ۵(۱۵).
- کولانیان، ع. م. غلامی سفید کوهی و م. ضیاتبارا احمدی. ۱۳۹۲. ارزیابی روش های نوین محاسباتی در برآورد تبخیر و تعرق روزانه (مطالعه موردی دشت ناز- ساری). دوازدهمین همایش ملی آبیاری. کاهش تبخیر. دانشگاه شهید باهنر کرمان.
- محمد رضا پور، ا. امینی و ف. کاراندیش. ۱۳۹۴. مدل سازی تبخیر-تعرق پتانسیل ماهانه با استفاده از برنامه ریزی ژنتیک در استان سیستان و بلوچستان. مجله پژوهش های جفافت آب و خاک. ۳۱۳-۳۰۷. ۲۲(۵).
- نجفی، م. و. عظیمی و م. شایان نژاد. ۱۳۹۳. ارزیابی دقت روش های هوشمند و آنالیز حساسیت تبخیر-تعرق گیاه مرجع به پارامترهای هواشناسی در دو اقلیم مختلف. اکوهیدرولوژی. ۲۴-۱۷(۱):۱.
- یار احمدی. ج. و ع. رحیمی خوب. ۱۳۹۳. اصلاح معادله هارگریوز با جایگزینی دمای سطح زمین به جای دمای هوا برای برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع. مجله پژوهش های جفافت آب و خاک. ۵۴-۲۳۹. ۲۱(۶).
- Aytac, G and T. Seydou. 2012. Regional-Specific Numerical Models of Evapotranspiration Using Gene Expression Programming Interface in Sahel. Water Resources Management (2012) 26: 4367-4380.
- Ghorbani, M., J. Shiri and H. Kazemi. 2010. Estimating Maximum, Minimum and Mean air temperature of Tabriz using artificial intelligence approaches. J of water and soil sciences. 20(1): 88- 104. (in Persian).
- Gulay Tezal and Buyukyildiz. 2015. Modeling of daily pan evaporation in subtropical climate ANN, LS-SRV, fuzzy logic, and ANFIS, Thero Appl Climatol. 15. 1392.
- Guo, x., X. Sun and X. Ma. 2011. Prediction of daily crop reference evapotranspiration value through a least- square support vector machine model. Hydrology Reserch. 42(4). 268-274.
- Guven, A. And O. Kişi. 2011. Daily pan evaporation modeling using linear genetic programming technique, 29 (2):135-145.
- Kisi, O. 2007. Adaptive neurofuzzy computing technique for Evapotranspiration Estimation. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. No. 133(4). pp. 368-379.
- Kisi, O. and M. Zounemat-Kermani. 2014. Comparison of Two Different Adaptive Neuro-Fuzzy Inference Systems in Modelling Daily Reference Evapotranspiration. Water Resources Management, 28: 2655-2675.
- Koza, J. 1992. Genetic Programming: On the Programming of Computers by Natural Selection. MIT Press, Cambridge, MA.
- Remesan, R., M. A. Shamim, and D. Han. 2008. Model data selection using gamma test for daily solar radiation estimation. Hydrological Processes, 22:4301-4309.
- Shirsath P.B. and A.K. Singh. 2010. A comparative study of daily pan evaporation estimation using ANN, regression and climate based models. Water Resource Management, 24:1571-1581.
- Shiri, j., O. Kişi, G. Landaras, J. López and A.H. Nazemi. 2012. Daily reference evapotranspiration modeling by using genetic programming approach in the Basque Country (Northern Spain). *Journal of Hydrology*, 414:316-302.

Terzi, O. 2013. Daily pan evaporation estimation using gene expression programming and adaptive neural-based fuzzy inference system. Journal Computing & Applications, Sep 2013, Vol. 23 Issue 3/4, p1035.

Wang, W. C. and W. L. Men. 2008. Online prediction model based on support vector machine. Neurocomputing, 71, 550-558.

Monthly Forecast of Potential Evapotranspiration Models Using Support Vector Machine (SVM), Genetic programming and Neural - Fuzzy Inference System

Omolbanin Mohamadrezapour¹

Abstract

Despite the importance of evapotranspiration in the planning and management of water resources, its dependence on climatic factors on the one hand and influence of each of these components on the other hand has made it difficult to estimate evapotranspiration. Therefore, in this study, attempts to explore the possibility of predicting these important component in Sistan and Baluchestan using meta-heuristic models such as neuro-fuzzy inference system, GEP and SVM. In this regard, according to the FAO Penman-Monteith equation, the monthly potential evapotranspiration in four synoptic stations- Zahedan, Zabol, Iranshahr, and Chabahar- was calculated using the monthly weather data. These values as a reference to compare the results of the Neuro-fuzzy inference models, genetic programming, and SVM methods were studied. The five models applied in this study were: Model 1 includes input of average air temperature, shiny hours and relative humidity in the same month. Model 2 includes average air temperature, relative humidity, and wind speed in the same month. Model 3 includes average air temperature, relative humidity, and wind speed in the same month. Model 4 includes average air temperature, relative humidity, wind speed, and average shiny hours in the same month, and model 5 includes average air temperature, relative humidity, wind speed, and shiny hours in the same month and the earlier month. The results of different models were compared based on the statistical coefficient of determination and root mean square error. These findings show that in the neuro-fuzzy model, the models 2 ($r^2= 0.945$), 3 ($r^2= 0.982$), 4($r^2= 0.26$), and 5 ($r^2= 0.423$), respectively in Zahedan, Zabol and Chabahar, and Iranshahr Chabahar stations own greater accuracy. Analysis of results in the gene- expression planning model also indicates that in the test section, the model no. 4, with the coefficients of 0.974, 0.9811, 0.982, and 0.815, respectively for the stations of Zahedan, Zabol, Iranshahr, and Chabahar, has higher accuracy. Likewise, in the SVM model, due to the coefficients of determination, 0.997, 0.998, 0.998, and 0.979, respectively in the stations of Zahedan, Zabol, Iranshahr, and Chabahar, the model 5 had the highest accuracy. Comparison of 3 models in this study also showed that in all stations, the Support Vector Machine, the programming model of gene expression, and the neuro-fuzzy model were paced in the first, the second, and the third levels of importance for estimating the monthly potential evapotranspiration.

Keywords: Climate Parameters, Modeling, Penman – Monteith (P-M), Sistan and Baluchistan.

¹ Assistant Professor of Water Engineering, Department of Water Engineering, faculty of Soil & Water, University of Zabol. (corresponding author)