

پیش‌بینی تغییرات تبخیر در مخازن چاه‌نیمه‌های سیستان با استفاده از مدل‌های شبیه‌ساز تصادفی

دکتر عباسعلی قادری^{۱*}، حیدرعلی یوسفیان ناظر^۲

چکیده

تبخیر در مطالعات هیدرولوژی و منابع آب و تعیین نیاز آبی گیاه از اهمیت خاصی برخوردار است و به‌عنوان یکی از مهم‌ترین فراسنج‌های جوی، اهمیت ویژه‌ای در مدیریت آب و برنامه‌ریزی آبیاری در کشاورزی دارد. در منطقه سیستان درجه حرارت بالا و همچنین وزش باد موجب شده‌است تا از مجموع ۱/۵ میلیارد مترمکعب آب ذخیره‌شده در چهار چاه‌نیمه سیستان، سالانه حجم بسیار زیادی آب از سطح چاه‌نیمه‌ها تبخیر شود. با توجه به خشکسالی‌های منطقه، مدیریت صحیح و بهینه آب چاه‌نیمه‌ها، به‌خصوص در فصول کم‌آبی، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است؛ بنابراین هدف از مطالعه حاضر، محاسبه میزان تبخیر، بررسی روند تغییرات تبخیر و پیش‌بینی تبخیر طی سال‌های آتی در چاه‌نیمه‌های سیستان است. در این تحقیق برای پیش‌بینی تبخیر از تشت در چاه‌نیمه‌های سیستان از مدل‌های سری زمانی آریماس استفاده شد. بدین منظور از آمار و اطلاعات تبخیر از تشت طی سال‌های ۱۳۷۶ تا ۱۳۹۳ استفاده شد. همچنین در جهت پیش‌بینی تبخیر از مدل‌های حالت-وینترز، برون‌یابی منحنی روند و مدل‌های ساریما استفاده شد. نتایج ارزیابی مدل‌های حالت-وینترز، برون‌یابی روند و ساریما نشان داد که بر اساس رتبه‌بندی مجموع معیارهای ارزیابی، مدل ساریما (1,1,1)(1,1,1) دارای دقت بیشتری در تخمین مقادیر تبخیر در دوره صحت‌سنجی (۱۳۸۸-۱۳۹۳) است؛ به طوری که مقدار R^2 ، MBE، MAE و RMSE به ترتیب ۰/۹۸، ۰/۲۶، ۱/۸۲- و ۳۴/۸۲ به دست آمد؛ بنابراین در ادامه از این مدل برای پیش‌بینی تبخیر تا سال ۱۴۰۰ استفاده شد. نتایج نشان داد که میزان تبخیر از ۴۴۸۴ میلی‌متر در سال ۱۳۷۶ به ۴۸۸۹ میلی‌متر در سال ۱۴۰۰ افزایش می‌یابد که نشان می‌دهد ۰/۴ حجم مخازن چاه‌نیمه‌ها صرف تبخیر می‌شود؛ بنابراین به‌منظور کاهش تبخیر از چاه‌نیمه‌ها ارائه راه‌کارهای مدیریتی لازم ضروری است.

جغرافیا و توسعه، شماره ۵۸، بهار ۱۳۹۹
تاریخ دریافت: ۹۸/۰۶/۲۱
تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۷/۲۱
صفحات: ۲۲۵-۲۳۸



واژه‌های کلیدی:

مدل حالت-وینترز، برون‌یابی منحنی روند، تبخیر، چاه‌نیمه، مدل ساریما.

مقدمه

اقلیمی است و مناطق خشک و نیمه‌خشک را بیش‌ازپیش تحت تأثیر خود قرار داده‌است؛ بنابراین آگاهی هرچه بیشتر در زمینه پیش‌بینی و بررسی تغییرات تبخیر کمک زیادی به متخصصان در زمینه مدیریت منابع آب منطقه به‌صورت فعالیت‌های آب‌خیزداری و عملیات کشاورزی می‌کند. «برن» روند تبخیر و عوامل تأثیرگذار آنرا در کانادا مورد ارزیابی قرار داد. نتایج تحقیق نشان‌دهنده روند کاهش تبخیر در فصل گرم (ماه‌های اکتبر، اوت، ژوئن و ژوئیه) و روند کاهش سرعت باد بود (Burn & Hesch, 2007: 72). سالاری جزئی و همکاران به تجزیه و تحلیل روند مکانی و زمانی تبخیر از تشت در حوضه آبریز کارون و دز

تبخیر یکی از مهم‌ترین اجزای چرخه هیدرولوژیکی است و تخمین دقیق آن برای بسیاری از مطالعات، از جمله برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب ضروری است. علاوه بر آن مدیریت منابع آب در سطح جهان براساس توسعه پایدار مورد توجه قرار گرفته و توسعه پایدار به بیان ساده، آنچنان توسعه و مدیریتی است که بتواند ایجاد، حفظ و افزایش کیفیت زندگی بشر را در همه زمان‌ها آشکارا در نظر داشته باشد؛ بنابراین مدیریت این منبع حیاتی در چارچوب تعریف فوق در کشورهای دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک از اهمیت بیشتری برخوردار است. در این میان تبخیر از جمله پارامترهای

در پیش‌بینی تبخیر-تعرق مرجع استان کرمان را مورد ارزیابی قرار دادند (سیفی و ریاحی مدوار، ۱۳۹۰: ۲۳). رادمنش و همکاران در تحقیقی به بررسی روند تبخیر از مخزن سد دز و پیش‌بینی آن به کمک سری زمانی پرداختند. مقایسه مقادیر پیش‌بینی شده با مقادیر واقعی مشخص کرد که مدل هلت-وینترز دارای دقت بیشتری است و قابل‌اعتمادتر است (رادمنش و همکاران، ۱۳۹۰: ۸۸). آقاجانلو روند تغییرات تبخیر-تعرق گیاه مرجع ماهانه در ۱۰ ایستگاه سینوپتیک واقع در شمال و شمال‌غرب کشور با استفاده از آزمون‌های ناپارامتری کندال و اسپیرمن مورد مطالعه قرار داد.

نتایج این مطالعه نشان داد که تبخیر-تعرق گیاه مرجع دارای روند افزایشی در اغلب ایستگاه‌ها بوده و روندهای کاهشی معنی‌دار فقط در ایستگاه قزوین مشاهده شده‌است. بیشترین روندهای معنی‌دار به ترتیب در ایستگاه‌های زنجان و رامسر به دست آمد و در مقابل، هیچ روند معنی‌داری در داده‌های تبخیر-تعرق گیاه مرجع ماهانه ایستگاه گرگان توسط آزمون‌های روند شناسایی نشده‌است. براساس نتایج به دست آمده، ماه فوریه دارای بیشترین تعداد روندهای افزایشی معنی‌دار بوده‌است (آقاجانلو و طبری، ۱۳۹۰: ۳۵). بهمنی و همکاران در تحقیقی به بررسی تحلیل روند تبخیر از مخزن و پیش‌بینی آن به کمک سری‌های زمانی بر روی مخازن استان خوزستان پرداختند. آن‌ها در ابتدا روند تبخیر را با استفاده از آزمون من-کندال فصلی بررسی کردند. سپس با روش سری زمانی تبخیر از مخازن را پیش‌بینی کردند. نتایج نشان داد به دلیل محدودیت‌های داده‌ها و فرضیه‌های به کار گرفته شده در روش سری زمانی این مدل‌ها برای پیش‌بینی‌های کوتاه‌مدت قابل‌اطمینان هستند (Bahmani et al, 2013: 79). ژاژاریا و همکاران به بررسی روندیابی تبخیر از تشت با استفاده از روش‌های پارامتری (شیب خط رگرسیون) و

پرداختند. نتایج آزمون روند آن‌ها نشان داد که در ۷۰ درصد موارد سری‌های سالانه و فصلی مورد مطالعه دارای روند منفی و در ۳۰ درصد باقیمانده دارای روند مثبت بوده‌اند. همچنین در حدود نیمی از موارد روندهای مشاهده شده از نظر آماری معنی‌دار بوده‌اند (سالاری جزی و همکاران، ۱۳۸۸: ۴۸). نوذر قهرمان و همکاران به تحلیل روند تغییرات تبخیر از تشت در مقیاس سالانه و فصلی در استان خوزستان با استفاده از روش‌های پارامتری و ناپارامتری پرداختند، به منظور تحلیل روند داده‌های تبخیر از تشت از دو روش غیرپارامتری، من-کندال و ضریب p اسپیرمن و دو روش پارامتری تحلیل رگرسیون و ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد. در این مطالعه مشخص شد در سری زمانی سالانه براساس آزمون‌های من-کندال، p اسپیرمن و پیرسون دارای روند بوده‌است. نتایج حاصل از تحلیل رگرسیون هیچ‌گونه روند معنی‌داری را نشان نداد (قهرمان و همکاران، ۱۳۸۸: ۵۳). رودریک و همکاران به بررسی روند تبخیر در کانبرا پرداختند و نتایج آن‌ها حاکی از روند معنی‌دار کاهشی در تبخیر بود (Roderick et al, 2009: 775). رضانی اعتدالی و همکاران کیفیت عملکرد هریک از مدل‌های آرماکس، آرما و AR در برآورد مقادیر مفقود و پیش‌بینی مقادیر آتی سری زمانی تبخیر از سطح آزاد آب را مورد بررسی قرار دادند. نتایج این مطالعه نشان داد که در رابطه با مقادیر مفقود با استفاده از داده‌های استاندارد شده، مدل آرماکس با استفاده از سری‌های زمانی دمای کمینه، دمای بیشینه، متوسط دما، سرعت باد، رطوبت نسبی و ساعات آفتابی به عنوان پیش‌بینی‌کننده، در مراحل واسنجی و اعتبارسنجی نسبت به سایر روش‌ها به بهترین نتایج منجر می‌شود (رضانی اعتدالی و ابابایی، ۱۳۸۹: ۱۱۴). سیفی و همکاران در تحقیقی دقت مدل‌های مختلف سری زمانی

داد که مقدار بارش کاهش و دمای متوسط، تبخیر پتانسیل و تبخیر واقعی افزایش خواهد یافت (میان‌آبادی و همکاران، ۱۳۹۵: ۴۰۸). خورشیددوست و همکاران در مطالعه‌ای به پیش‌بینی پتانسیل تبخیر با حذف نوپز داده‌ها در ایستگاه سینوپتیک تبریز با استفاده از دو رویکرد شبکه عصبی و شبکه عصبی-موجکی همراه با نوپز زدایی داده‌ها پرداختند. با ارزیابی نتایج هریک از این مدل‌ها توسط معیارهای آماری و گرافیکی، مدل شبکه عصبی در مرحله صحت‌سنجی در اولویت قرار گرفت (خورشیددوست، ۱۳۹۵: ۱۱۴). حسینی و زرین در مطالعه‌ای به پیش‌بینی اثرات تغییر اقلیم بر تبخیر تعرق پتانسیل در حوضه آبریز کشف رود پرداختند. نتایج به دست آمده حاکی از افزایش دمای حداقل ۳ درجه و تبخیر تعرق پتانسیل تا ۰,۳۵ میلی‌متر در روز در تمامی حوضه آبریز کشف‌رود است (حسینی و زرین، ۱۳۹۷: ۸۳). اسدی به پیش‌بینی تبخیر و تعرق پتانسیل با استفاده از مدل غیرخطی NARX در استان یزد پرداخت که نتایج نشان داد استفاده از پارامترهای کمکی به نحو قابل توجهی دقت پیش‌بینی مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل را افزایش می‌دهد (اسدی، ۱۳۹۷: ۴۶).

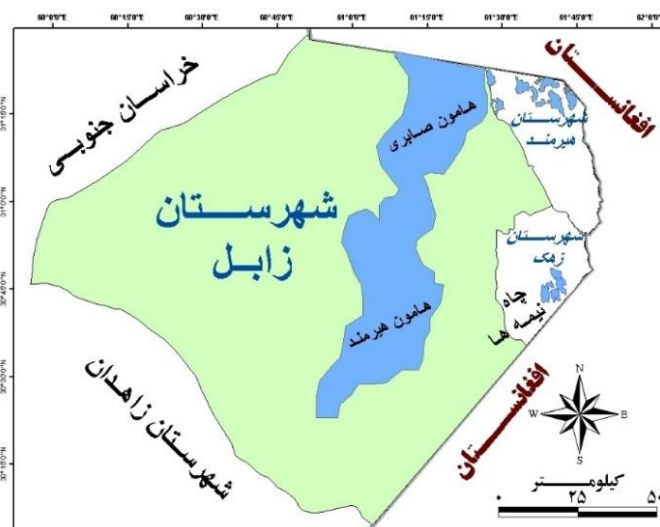
دهقانی و همکاران به بررسی میزان تبخیر روزانه با استفاده از مدل‌های هوشمند شبکه‌های بیزین و شبکه‌های عصبی مصنوعی در حوضه دهنو استان لرستان پرداختند، نتایج حاصل نشان داد که هر دو مدل به کاررفته با دقت قابل قبولی توانسته‌اند به شبیه‌سازی میزان تبخیر روزانه بپردازند که از بین این مدل‌ها، مدل شبکه بیزین در مرحله صحت‌سنجی در اولویت قرار گرفت (دهقانی و همکاران، ۱۳۹۷: ۸۵). در منطقه سیستان درجه حرارت بالا و همچنین وزش باد موجب شده است تا از مجموع ۱/۵ میلیارد مترمکعب آب ذخیره شده در چهار چاه‌نیمه سیستان، سالانه حجم بسیار زیادی آب از سطح چاه‌نیمه‌ها تبخیر شود؛

ناپارامتری (من-کندال) در شمال هند پرداختند. نتایج به دست آمده کاهش روند تبخیر از تشت را در اکثر فصول موسمی نشان داد (Jhajharia et al, 2014: 10). سارانی پارامترهای کیفی چاه‌نیمه‌ها را مورد ارزیابی قرار داد. نتایج نشان داد که کاهش آب ورودی به چاه‌نیمه‌ها در اثر خشکسالی و تبخیر زیاد منجر به کاهش کیفیت آب چاه‌نیمه‌ها شده است؛ در نتیجه برای مصارف شرب و کشاورزی نیاز به کنترل کیفی آب است (سارانی و همکاران، ۱۳۹۴: ۴۴). فرسادیان و همکاران در تحقیقی با استفاده از روش نگاشت خود-سامان به عنوان یک روش شبکه عصبی مصنوعی غیر-نظارت‌شونده به پیش‌بینی تبخیر-تعرق گیاه مرجع پرداختند. نتایج به دست آمده نشان داد که حتی ساده‌ترین مدل نگاشت خود-سامان با ترکیب متوسط دمای هوا و حداکثر ساعات آفتابی به عنوان ورودی نیز خطای کمتری نسبت به معادلات تجربی دارد (فرسادیان و همکاران، ۱۳۹۴: ۳۹). زارع‌ایبانه و همکاران در مطالعه‌ای به پیش‌بینی تبخیر-تعرق مرجع ماهانه با استفاده از مدل سری‌های زمانی پرداختند. در این مطالعه آزمون ریشه واحد برای بررسی مانایی سری‌های زمانی انجام شد و با توجه به روش باکس-جنکینز، مدل‌های آریمای فصلی روی داده‌های نمونه برازش و مناسب‌ترین آن‌ها انتخاب شدند. سپس از مدل‌های آریمای فصلی برای پیش‌بینی ۱۲ ماهه استفاده شد که پیش‌بینی‌های خارج از نمونه خوبی به دست دادند؛ به طوری که در بین همه ایستگاه‌های مورد بررسی کمترین ضریب همبستگی پیرسون ۰,۹۸۸ و بیشترین جذر میانگین مربع خطا ۰,۵۱۵ میلی‌متر بر روز به دست آمد (زارع‌ایبانه و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۰۸). میان‌آبادی و همکاران در مطالعه‌ای به پیش‌بینی تغییرات تبخیر واقعی سالانه در مناطق خشک با استفاده از چارچوب اصلاح‌شده بادیکو در حوضه آبریز نیشابور-رخ پرداختند. نتایج بررسی تغییر اقلیم نشان

مواد و روش‌ها

مخازن چاه‌نیمه‌ها در بخش شمالی رود هیرمند در منطقه سیستان و در موقعیت جغرافیایی $30^{\circ} 18'$ تا $31^{\circ} 20'$ عرض شمالی، $60^{\circ} 40'$ تا $61^{\circ} 50'$ طول شرقی قرار دارد که در شکل ۱ نشان داده شده‌است.

بنابراین هدف از تحقیق حاضر محاسبه میزان تبخیر، بررسی روند تغییرات تبخیر، ارزیابی دقت مدل‌های سری زمانی شامل مدل‌های آریما، هالت-وینترز و برون‌یابی روند در تخمین میزان تبخیر و پیش‌بینی تبخیر طی سال‌های آتی در چاه‌نیمه‌های سیستان است.



شکل ۱: منطقه مورد مطالعه و موقعیت چاه‌نیمه‌ها

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۴

زمان‌های قبل از t برآورد می‌شود (خرمی و بزرگ‌نیا، ۱۳۸۶: ۴۵).

مدل خودهمبسته-میانگین متحرک $ARIMA(p,q)$: هرگاه دو مدل قبلی در یکدیگر ادغام شوند، مدل آریما با مرتبه‌های p و q تصادفی مربوط به زمان‌های قبل از t برآورد می‌شود (معادله ۱).

$$Z_t = \mu + \sum_{i=1}^p (Z_{t-i} - \mu) - \sum_{i=1}^q \theta_i a_{t-i} + a_t \quad 1$$

که در آن: Z_t : مقدار پیش‌بینی شده، Z_{t-i} : اطلاعات مربوط به گذشته سری، μ : میانگین سری، θ : ضرایب مدل، a_t و a_{t-i} به ترتیب اغتشاش در حال و گذشته است (خرمی و بزرگ‌نیا، ۱۳۸۶: ۴۶).

مدل‌های سری زمانی

مدل تصادفی خودهمبسته $AR^2(p)$:

اساس این مدل بر پایه زنجیره مارکوف^۴ در زنجیره زمانی بنا شده‌است. یک سری زمانی از زنجیره مارکوف تبعیت می‌کند، هرگاه که هر داده ثبت‌شده سری زمانی در زمان t با زمان قبل و یا زمان بعد از خود مرتبط باشد (خرمی و بزرگ‌نیا، ۱۳۸۶: ۴۳).

مدل میانگین متحرک $MA^5(q)$:

در این مدل متغیر t از روی مقدار تصادفی در همان لحظه به علاوه q برابر مقدار تصادفی مربوط به

- 1-ARIMA
- 2-Holt-Winters
- 3-Auto-Regressive
- 4-Markov
- 5-Moving average

برون‌یابی منحنی روند از داده‌ها

در این روش با استفاده از رگرسیون کمترین مربعات یک خط روند به داده‌ها برازش می‌یابد، سپس در مدل ضربی با تقسیم داده‌ها بر عامل روند و در مدل جمعی با تفریق روند از داده‌ها، داده‌ها فاقد روند می‌شوند. در ادامه با استفاده از میانگین متحرک مرکزی (با طولی برابر با طول دوره فصلی)، داده‌های فاقد روند هموار می‌شوند. پس از محاسبه میانگین متحرک، در مدل ضربی با تقسیم داده‌ها بر آن و در مدل جمعی با تفریق داده‌ها از آن، مقادیری به‌عنوان فصلی خام^۱ حاصل می‌شود. در هر پریود فصلی، میانه مقادیر فصلی خام محاسبه شده و سپس تعدیل می‌شود. این میانه‌های تعدیل‌شده را شاخص‌های فصلی^۲ می‌نامند. از این شاخص‌های فصلی برای تبدیل داده‌ها به داده‌های فصلی تعدیل‌شده^۳ استفاده می‌شود. برای این منظور از نرم‌افزار مینی‌تب^۴ ۱۵ استفاده شد (خرمی و بزرگ‌نیا، ۱۳۸۶: ۶۲).

آزمون کمترین مربعات خطا^۵

به‌طور کلی در این روش عرض از مبدأ و شیب خط رگرسیون را به‌وسیله حداقل کردن خطا بین دو متغیر مستقل (زمان، X) و وابسته (مقدار فراسنج، Y) به‌دست می‌آورند و سپس آماره $t = b/S_b$ که در آن b عرض از مبدأ خط برازش داده شده و S_b انحراف معیار داده‌ها است، تعریف می‌شود.

$$S_b^2 = \frac{S^2}{\sum (X - X_i)^2} \quad ۵$$

که در آن S^2 از رابطه (۶) به‌دست می‌آید:

$$S^2 = \sum (Y - Y_i)^2 / (n-2) \quad ۶$$

مدل خودهمبسته- میانگین متحرک تلفیق‌شده

ARIMA(p,d,q)

از آنجاکه برای استفاده از مدل‌های فوق باید فرایند ایستایی برقرار باشد، از این‌رو باکس و همکاران در شرایط نایستایی، مدل آریما را با در نظر گرفتن مرتبه تفاضلی d ارائه کردند (Box et al, 1994: 92).

مدل خودهمبسته- میانگین متحرک تلفیق‌شده

فصلی SARIMA(p,d,q)(P,D,Q)

هرگاه در یک سری بعد از هر فاصله زمانی مشخص (S)، شباهت‌هایی پیدا شود، سری دارای رفتار فصلی یا تناوبی با دوره تناوب S می‌شود.

مدل حالت-وینترز

با استفاده از این روش به‌آسانی می‌توان هموار کردن نمایی را به سری‌هایی که شامل روند و تغییرات فصلی هستند، تعمیم داد. این رویه برآوردهای پویایی از مؤلفه‌های روند (T_t)، سطح (\bar{X}_t) و مؤلفه فصلی (F_t) فراهم می‌آورد (خرمی و بزرگ‌نیا، ۱۳۸۶: ۵۳). معادله هموار کردن نمایی به‌صورت زیر است:

$$\bar{X}_t = \alpha(\bar{X}_{t-1} + T_{t-1}) + (1-\alpha) \frac{X_t}{F_{t-s}} \quad ۲$$

$$T_t = \beta T_{t-1} + (1-\beta)(\bar{X}_t - \bar{X}_{t-1}) \quad ۳$$

$$F_t = \gamma F_{t-s} + (1-\gamma) \frac{X_t}{\bar{X}_t} \quad ۴$$

اگر سری، S دوره زمانی در هر سال داشته باشد، عامل فصلی مرتبط با آن در سال قبل با F_{t-s} نشان داده می‌شود. α ، β و γ ضرایب هموارسازی نمایی حالت-وینترز هستند که بین صفر و یک می‌باشند (خرمی و بزرگ‌نیا، ۱۳۸۶: ۵۴).

- 1- Raw Seasonal
- 2- Seasonal Indices
- 3- Seasonally Adjusted Data
- 4- Minitab
- 5- Minimum squares error

می شود که در ازای $S=0$ آماره $U_c=0$ خواهد بود. سپس اگر $|U_c| > u_1 - \alpha/2$ ، به طوری که $U_1 - \alpha/2$ چندک $1 - \alpha/2$ از توزیع نرمال استاندارد است، باشد فرض روند نمی تواند رد شود (نادریان فر و همکاران، ۱۳۸۸: ۱۷).

آزمون والد-ولفowitz^۱

برای یک سری به طول N (که X_1, X_2, \dots, X_N) است آماره $R = \sum_{i=1}^{N-1} x_i x_{i+1} + x_1 x_N$ در صورتی که اعضای نمونه مستقل باشند، از توزیع نرمال با میانگین و پراش زیر تبعیت می کند (نادریان فر و همکاران، ۱۳۸۸: ۱۸).

$$\bar{R} = (S_1^2 - S_2)/(N-1) \quad ۱۰$$

۱۱

$Var(R) = (S_2^2 - S_4)/(N-1) - \bar{R}^2$
 $+ (S_1^4 - 4S_1^2 S_2 + 4S_1 S_3 + S_2^2 - 2S_4)/(N-1)(N-2)$
 که در آن $S_r = N m_r'$ و m_r' گشتاور r ام نمونه حول مبدأ است. مقدار $u = \frac{R - \bar{R}}{\sqrt{V(R)}}$ از توزیع استاندارد (میانگین صفر و پراش یک) تبعیت می کند و برای آزمون فرضیه استقلال در سطح α می توان $|u|$ را با $u_{\alpha/2}$ متناظر با احتمال تجاوز $\alpha/2$ مقایسه کرد (نادریان فر و همکاران، ۱۳۸۸: ۱۹).

ارزیابی مدل

در این تحقیق، برای ارزیابی دقت مدل ها و مقایسه نسبی نتایج به دست آمده از هریک از آن ها، با داده های واقعی از نمایه های آماری زیر استفاده شده است.

فرضیه های صفر و مقابل به صورت زیر تعریف می شوند:

$$H_0: b=0, H_1 \neq 0 \quad ۷$$

اگر قدر مطلق $t = b/s_b$ از $t_{1-\alpha/2, n-2}$ از جدول تی- استیودنت بزرگ تر باشد، فرض H_0 رد خواهد شد، در این صورت شیب خط اختلاف معنی داری با صفر خواهد داشت و در سطح ۵ درصد معنی دار است و از آن به عنوان روند در سری زمانی یاد می شود (خرمی و بزرگنیا، ۱۳۸۶: ۶۸).

آزمون من-کندال

اگر y_t سری مقادیر سالانه عامل مورد نظر باشد، به طوری که $t=1, 2, \dots, N$ باشد (تعداد سال های آماری است)، هر مقدار y_t' (به طوری که $t=t'+1, t'+2, \dots, N$) مقایسه می شود و سری جدید Z_k با مقادیر $+1, 0, -1$ به ترتیب در ازای $y_t > y_t', y_t = y_t', y_t < y_t'$ ساخته می شود به طوری که در آن $K = (t'-1)(2N-t')/2 + (t-t')$ است. آماره من-کندال (U_c) از رابطه ۸ به دست می آید که در آن S مجموع همه Z_k ها، $V(S)$ پراش S بوده و مقدار m بر حسب اینکه S منفی یا مثبت باشد، $+1$ یا -1 خواهد بود.

$$u_c = \frac{S + m}{\sqrt{V(S)}} \quad ۸$$

$$V(S) = \frac{1}{18} \left[N(N-1)(2N+5) - \sum_{i=1}^n e_i(e_i-1)(2e_i+5) \right] \quad ۹$$

که در آن n تعداد گروه های جفتی و e_i تعداد مشاهدات در i امین گروه است. در این روش فرض

هر روش براساس معیارهای ذکرشده رتبه داده شد و روشی که در آن مجموع رتبه‌ها کمتر بود به‌عنوان روش برتر انتخاب شد. به‌منظور آزمون کردن مدل‌های سری زمانی از ۷۰ درصد داده‌ها برای آموزش (۱۳۸۸-۱۳۷۶) و ۳۰ درصد داده‌ها (۱۳۹۳-۱۳۸۸) برای صحت‌سنجی استفاده شد و پس از یافتن بهترین مدل سری زمانی مقدار تبخیر تا سال ۱۴۰۰ پیش‌بینی خواهد شد.

نتایج و بحث

بررسی آزمون‌های روند

به‌منظور بررسی روند تبخیر از آزمون‌های من-کندال، کمترین مربعات خطا و والد-ولفوویتز استفاده شد که نتایج آن در جدول ۱ ارائه شده‌است. نتایج بررسی آزمون‌های من-کندال روی داده‌های تبخیر نشان می‌دهد که تبخیر از تشتت فاقد روند است و در روش کمترین مربعات شیب خط روند منفی است، درحالی‌که آزمون والد قویاً حاکی از مثبت‌بودن روند تبخیر در منطقه است.

جدول ۱: بررسی آزمون‌های روند بر تغییرات تبخیر

کمترین مربعات		والد-ولفوویتز		من-کندال		
روند منفی	-۰/۰۰۰۳	روند مثبت	۷۵/۹۴*	روند ندارد	-۰/۷۳ ^{ns}	تبخیر

* و ns به‌ترتیب معنی‌داری قوی و عدم‌معنی‌داری است. مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۴

به‌طوری‌که میزان R^2 ، MAE، MBE^2 و $RMSE^3$ به‌ترتیب ۰/۹۸، ۶۵/۸۱، ۶۲/۸۷ و ۸۶/۰۵ به‌دست آمد. درحالی‌که پس از آن مدل حالت-وینترز با مؤلفه سطح، روند و فصل به‌ترتیب ۰/۶، ۰/۲، ۰/۲ دارای R^2 ، MAE، MBE و $RMSE$ به‌ترتیب ۰/۹۶، ۷۲/۸۱، ۶۵/۸۶ و ۹۱/۵۸ است. بیشترین خطا را در بین مدل‌های برازش داده شده مدل‌های با ضرایب یکسان ۰/۴ و ۰/۶ داشتند که دقت کمی داشتند. شکل ۲

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (Z^*(x_i) - Z(x_i))}{n} \quad 12$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |Z^*(x_i) - Z(x_i)|}{n} \quad 13$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \{Z^*(x_i) - Z(x_i)\}^2} \quad 14$$

$$r_{xy} = \frac{COV(x, y)}{\sigma_x \sigma_y} \quad 15$$

که در آن‌ها: $Z^*(x_i)$: مقدار تخمینی متغیر موردنظر در نقطه (x_i) ، $Z(x_i)$: مقدار واقعی متغیر موردنظر در نقطه (x_i) ، n تعداد مشاهدات، COV و σ به‌ترتیب کوواریانس و واریانس بین متغیر X و Y ، هرچه مقادیر مجذور میانگین مربعات خطا و میانگین انحراف خطا کمتر باشد، دقت روش بیشتر است. MAE معرف انحراف معیار است که هرچه مقدار آن به صفر نزدیک‌تر باشد، انحراف روش کمتر خواهد بود (Tanny et al, 2008: 227). برای یافتن مدل برتر به

نتیجه مطالعه حاضر این موضوع را نشان می‌دهد که تبخیر از تشتت در منطقه اتفاق افتاده است.

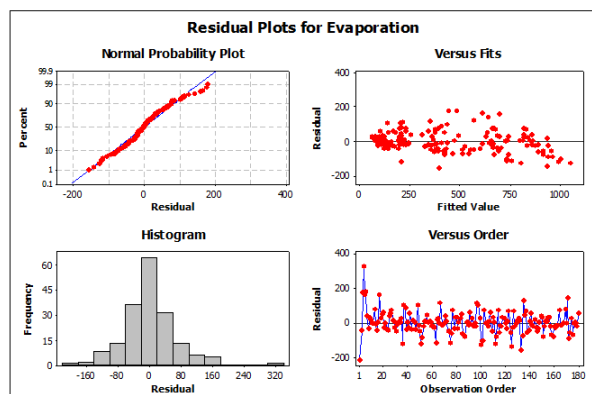
پیش‌بینی با مدل حالت-وینترز^۱

با ایجاد تغییر در سه مؤلفه سطح، روند و فصل که به‌ترتیب با α ، β و γ نشان داده می‌شود، بهترین مدل براساس معیارهای ارزیابی به‌دست آمد. نتایج حاکی از آن است که مدل حالت وینترز با سه مؤلفه سطح، روند و فصل با ضریب ۰/۱ دارای رتبه کمتری است

2- Mean Bias Error
3- Root Mean Square Error

1- Mean Absolute Error

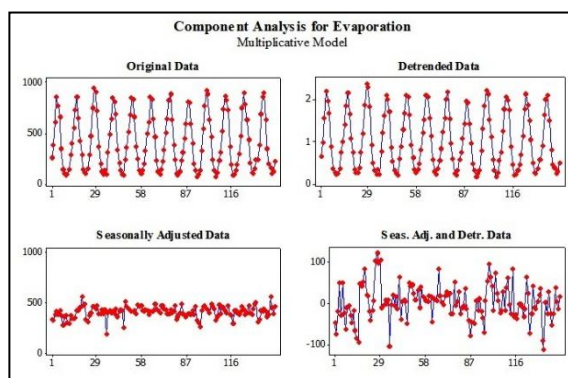
باقیمانده‌های حاصل از برازش مدل پرداخته شده که حاکی از نرمال بودن باقیمانده‌ها دارد و نشان می‌دهد که مدل خطای کمتری دارد.



شکل ۳: تجزیه و تحلیل باقیمانده‌های بهترین مدل

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۴

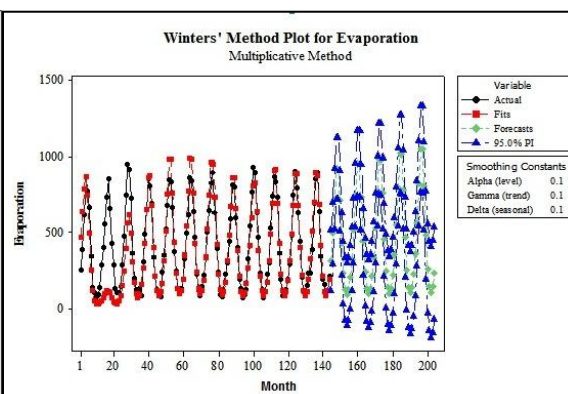
در نهایت از مقادیر فصلی و فاقد روند برای پیش‌بینی در ۶۰ ماه آینده (۱۳۸۸-۱۳۹۳) استفاده شده است. در شکل ۵ نیز آنالیز مؤلفه‌های اصلی پیش‌بینی مقدار تبخیر به روش برون‌یابی روند از داده‌ها به صورت تفکیک شده نشان داده شده است. همچنین در شکل ۶ نیز نتایج حاصل از باقیمانده‌های مدل نشان داده شده است که حکایت از نرمال بودن باقیمانده‌ها دارد.



شکل ۵: آنالیز مؤلفه‌های اصلی پیش‌بینی به روش برون‌یابی روند

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۴

نشان‌دهنده برازش حاصل از بهترین مدل حالت-وینترز با ضرایب α ، β و γ به ترتیب ۰/۱، ۰/۱، ۰/۱ است که مقادیر تبخیر را برای دوره آماری ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۳ پیش‌بینی کرده است. همچنین در شکل ۳ به بررسی

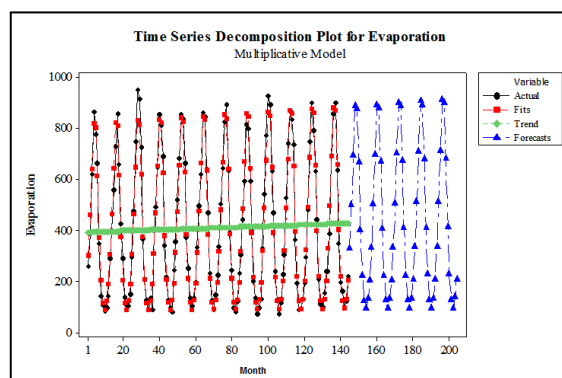


شکل ۲: برازش بهترین مدل حالت وینترز

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۴

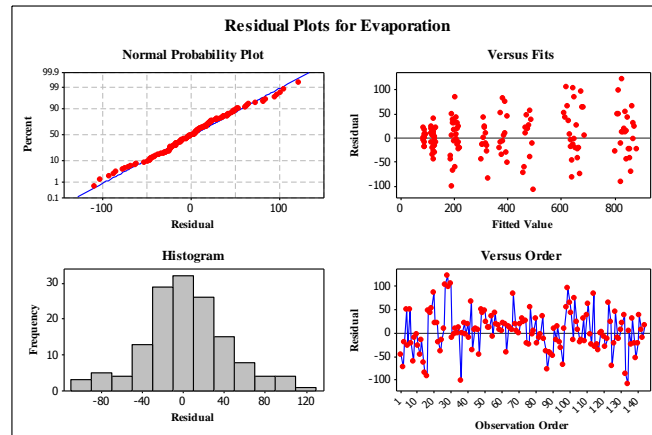
مدل برون‌یابی منحنی روند

شکل ۴ نشان‌دهنده مقادیر واقعی خام، داده‌های فاقد روند، داده‌های فصلی اصلاح‌شده و همچنین داده‌های فصلی و فاقد روند تبخیر است که از مقادیر روند برای پیش‌بینی تبخیر استفاده می‌شود. همان‌طور که اشاره شد در ابتدا روند از داده‌ها حذف شد و داده‌های فاقد روند تولید شدند و پس از هموار کردن و تعیین میانه مقادیر فصلی، داده‌های اصلاح‌شده فصلی ایجاد شده و



شکل ۴: مقادیر واقعی و تخمینی مدل برون‌یابی روند

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۴



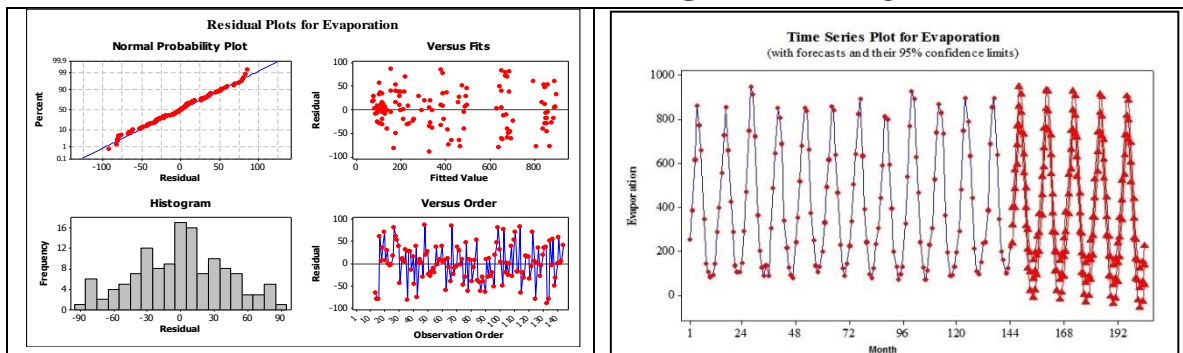
شکل ۶: تجزیه و تحلیل باقیمانده‌های مدل برون‌یابی روند

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۴

می‌دهد که مدل ساریما $(1,1,1)(1,1,1)$ دقت بیشتری در تخمین مقادیر تبخیر در دوره صحت‌سنجی (۱۳۸۸-۱۳۹۳) نسبت به سایر مدل‌ها دارد به طوری که مقدار R^2 ، MAE، MBE و RMSE به ترتیب ۰/۹۸، ۲۶، $1/82$ و $34/82$ به دست آمد. پس از این مدل، مدل ساریما $(2,1,2)(2,1,2)$ دارای دقت بیشتری نسبت به سایر مدل‌ها بود، به طوری که مقدار R^2 ، MAE، MBE و RMSE به ترتیب ۰/۹۸، $26/71$ ، $9/19$ و $35/73$ به دست آمد. کمترین میزان دقت را نیز مدل ساریما $(0,1,2)(0,1,2)$ داشت. در شکل ۷ نمودار مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده تبخیر برای مدل برتر (ساریما $(1,1,1)(1,1,1)$) دوره صحت‌سنجی نشان داده شده است.

مدل ساریما^۱

تابع خود همبستگی برای تفاضلی شده، فصلی بودن را به طور برجسته‌ای نشان می‌دهد؛ بنابراین به جای تفاضلی کردن غیرفصلی یک تفاضل فصلی با توجه به همبستگی بالا در تأخیر ۱۲ به داده‌ها اعمال شد. برای تعیین مقادیر اتورگرسیو و میانگین متحرک نیز با توجه به شکل توابع ACF^3 و $PACF^3$ رتبه مدل تعیین شد. نظر به اینکه تابع خودهمبستگی (ACF) سریع‌تر از تابع خودهمبستگی جزئی ($PCAF$) قطع شده است؛ بنابراین مدل دارای شکل اتورگرسیو فصلی خواهد بود. مقدار $PACF$ بعد از تأخیر ۲ کاهش یافته است و در محدوده اطمینان قرار گرفته است. نتایج حاصل از رتبه‌بندی مجموع معیارهای ارزیابی نشان

شکل ۸: تحلیل باقیمانده‌های مدل ساریما $(1,1,1)(1,1,1)$

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۴

شکل ۷: مقادیر پیش‌بینی با مدل ساریما $(1,1,1)(1,1,1)$

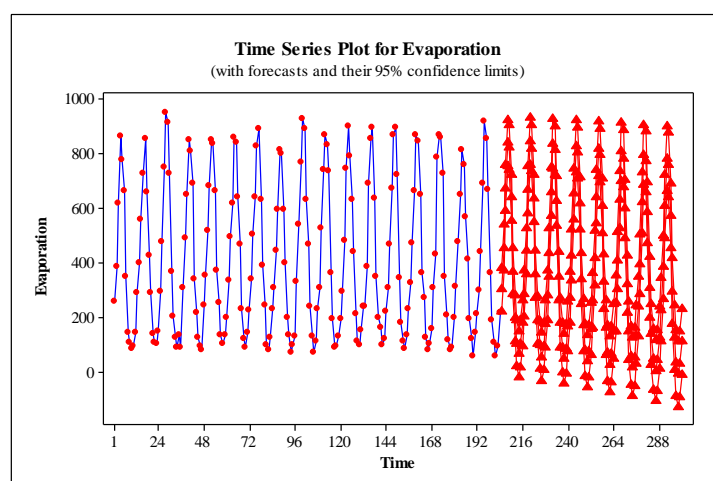
تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۴

- 1- Sarima
- 2- Autocorrelation function
- 3- Partial autocorrelation function

جدول ۲: نتایج حاصل از صحت‌سنجی مقادیر پیش‌بینی شده تبخیر بر حسب میلی‌متر (۱۳۸۸-۱۳۹۳)

RMSE	MAE	MBE	R ²	رتبه	
۸۶/۰۵	۶۵/۸۱	۶۲/۸۷	۰/۹۸	۳	هالت-وینترز (۰/۱-۰/۱-۰/۱)
۴۲/۹۸	۳۴/۰۲	۲۳/۶۲	۰/۹۸	۲	برون‌یابی منحنی روند
۳۴/۸۲	۲۶	-۱/۸۲	۰/۹۸	۱	ساریما (1,1,1)(1,1,1)

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۴



شکل ۹: مقادیر پیش‌بینی مدل ساریما (1,1,1)(1,1,1) در دوره ۱۴۰۰-۱۳۹۳

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۴

توجه به مطالب فوق و آنچه از مدل‌های آماری که در این مقاله در منطقه مورد مطالعه استفاده شده است، نشان می‌دهد که مقادیر تبخیر در آینده در این منطقه رو به افزایش است و این افزایش با توجه به مدل‌های پیش‌بینی تا سال ۱۴۰۰ بخش زیادی از آب مخازن را اتلاف می‌کند. در مقایسه با سایر روش‌های تحلیلی محاسبه تبخیر در منطقه پیش‌بینی‌های مدل‌های آماری نیز تا حد زیادی به هم نزدیک است. در نتیجه استفاده از مدل‌های آماری مشابه در منطقه تا حد زیادی می‌تواند مورد استفاده قرار بگیرد.

نتیجه

تبخیر به‌عنوان یکی از مهم‌ترین فراسنج‌های جوی، در مدیریت آب و برنامه‌ریزی آبیاری در کشاورزی

مقادیر واقعی و پیش‌بینی‌شده تبخیر در سیستان نشان می‌دهد که میزان تبخیر سالانه از سال ۱۳۷۶ تا سال ۱۴۰۰ از ۴۴۸۴ میلی‌متر به ۴۸۸۹ میلی‌متر افزایش یافته است. لازم‌به‌ذکر است که مقادیر تبخیر سالانه از سال ۱۳۹۳ تا ۱۴۰۰ با استفاده از بهترین مدل به‌دست آمد. از مقادیر پیش‌بینی تبخیر می‌توان در جهت مدیریت منابع آب استفاده کرد و راه‌کارهای مدیریتی لازم را در سال‌های آتی اتخاذ کرد. با توجه به مساحت چاه‌نیمه‌ها (بیش از ۱۴۵۰۰ هکتار)، میزان تبخیر از چاه‌نیمه‌ها تا سال ۱۴۰۰ به بیش از ۶۵۰ میلیون متر مکعب افزایش می‌یابد، در حالی که حجم چاه‌نیمه‌ها بیش از یک میلیارد و پانصد میلیون متر مکعب بوده و نشان می‌دهد ۰/۴ حجم آب چاه‌نیمه‌ها صرف تبخیر از آن می‌شود و هدر می‌رود. با

برنامه‌ریزی بهتر منابع آب در جهت بهره‌برداری مطلوب برای تخفیف اثرات احتمالی ناشی از خشکسالی لازم است. در منطقه سیستان بحران‌هایی همانند از بین رفتن جنگل‌ها، گسترش کویرها، بیابان‌ها و... از عوامل اصلی افزایش تبخیر هستند؛ بنابراین اقداماتی همچون احیای تالاب هامون، حفظ و احیای جنگل‌های نیاتک، جزینک و... که باعث افزایش رطوبت و در نتیجه کاهش تبخیر می‌شوند باید مورد توجه ویژه قرار گیرند.

منابع

-آقاجانلو، محمدباقر؛ حسین طبری (۱۳۹۰). آشکارسازی روند تغییرات زمانی تبخیر تعرق گیاه مرجع ماهانه در شمال و شمال‌غرب ایران. مقاله ارائه‌شده در اولین کنگره ملی علوم و فناوری‌های نوین کشاورزی.

https://www.civilica.com/Paper-MAST01-MAST01_061.html

-اسدی، محمدمبین (۱۳۹۷). پیش‌بینی تبخیر و تعرق پتانسیل با استفاده از مدل غیرخطی NARX (مطالعه موردی، استان یزد)، دوفصلنامه علمی- پژوهشی خشک‌بوم دوره هشتم. شماره پیاپی ۲. صفحات ۴۹-۳۷.

http://aridbiom.yazd.ac.ir/article_1403.html

-حسینی، سیده‌فاطمه؛ آذر زرین (۱۳۹۷). پیش‌بینی اثرات تغییر اقلیم بر تبخیر تعرق پتانسیل در حوضه آبریز کشف رود با استفاده از مدل RegCM4 و روش هارگریوز سامانی. مقاله ارائه‌شده در دومین کنفرانس ملی آب‌وهواشناسی ایران.

<https://profdoc.um.ac.ir/paper-abstract-1069140.html>

-خرمی، مصطفی؛ ابوالقاسم بزرگ‌نیا (۱۳۸۶). تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی با نرم‌افزار میننی‌تب ۱۴. مشهد. سخن‌گستر.

<https://www.gisoom.com/book/1428107/%DA%A9%D8%AA%D8%A7%D8%A8-%D8%AA%D8%AC%D8%B2%DB%8C%D9%87-%D9%88-%D8%AA%D8%AD%D9%84%DB%8C%D9%84-%D8%B3%D8%B1%DB%8C-%D9%87%D8%A7%DB%8C-%D8%B2%D9%85%D8%A7%D9%86%DB%8C-%D8%A8%D8%A7-%D9%86%D8%B1%D9%85-%D8%A7%D9%81%D8%B2%D8%A7%D8%B1-MINITAB-14/>

به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک اهمیت ویژه‌ای دارد. در منطقه سیستان درجه حرارت بالا و همچنین وزش باد موجب شده‌است تا سالانه حجم بسیار زیادی از آب ذخیره‌شده در چهار چاه‌نیمه موجود تبخیر شود؛ بنابراین محاسبه میزان تبخیر، بررسی روند تغییرات آن و پیش‌بینی تبخیر طی سال‌های آتی کمک زیادی به متخصصان در زمینه مدیریت منابع آب منطقه به‌صورت فعالیت‌های آبخیزداری و عملیات کشاورزی می‌کند. در این تحقیق به‌منظور پیش‌بینی تبخیر از تشت در چاه‌نیمه‌ها از آمار و اطلاعات تبخیر از تشت طی سال‌های ۱۳۷۶ تا ۱۳۹۳ استفاده شد. با استفاده از آزمون‌های من-کندال، والد-ولفوویتز و کمترین مربعات خطا روند تغییرات تبخیر محاسبه و شیب خط روند مثبت به‌دست آمد. سپس برای پیش‌بینی تبخیر با مدل‌های حالت-وینترز، برون‌یابی منحنی روند و مدل‌های ساریما از ۷۰ درصد داده‌ها برای آموزش (۱۳۷۶-۱۳۸۸) و ۳۰ درصد داده‌ها (۱۳۸۸-۱۳۹۳) برای صحت‌سنجی استفاده شد و نتایج نشان داد که براساس رتبه‌بندی مجموع معیارهای ارزیابی، مدل ساریما (1,1,1) (1,1,1) دارای دقت بیشتری در تخمین مقادیر تبخیر در دوره صحت‌سنجی (۱۳۸۸-۱۳۹۳) است، به‌طوری‌که مقدار R^2 ، MAE، MBE و RMSE به‌ترتیب ۰/۹۸، ۲۶، ۱/۸۲- و ۳۴/۸۲ به‌دست آمد؛ بنابراین در ادامه از این مدل برای پیش‌بینی تبخیر تا سال ۱۴۰۰ استفاده شد. نتایج نشان داد که میزان تبخیر از ۴۴۸۴ میلی‌متر در سال ۱۳۷۶ به ۴۸۸۹ میلی‌متر در سال ۱۴۰۰ افزایش می‌یابد، که نشان می‌دهد ۰/۴ حجم مخازن چاه‌نیمه‌ها صرف تبخیر می‌شود؛ بنابراین در جهت کاهش تبخیر از چاه‌نیمه‌ها ارائه راهکارهای مدیریتی لازم ضروری است. همچنین

-سیفی، اکرم؛ حسین ریاحی-مدوار (۱۳۹۰). ارزیابی مقایسه‌ای دقت مدل‌های مختلف سری زمانی MA,AR,ARMA در پیش‌بینی تبخیر تعرق مرجع: مطالعه موردی استان کرمان. مقاله ارائه‌شده در اولین همایش منطقه‌ای توسعه منابع آب.

https://www.civilica.com/Paper-RWRDC01-RWRDC01_059.html

-سالاری جزئی، میثم؛ علی‌محمد آخوندعلی؛ مهرداد تقیان (۱۳۸۸). تجزیه و تحلیل روند مکانی و زمانی تبخیر از تشت در حوضه آبریز کارون و دز. مقاله ارائه‌شده در دهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر.

https://www.civilica.com/Paper-ABYARI10-ABYARI10_154.html

-فرسادنیا، فرهاد؛ سعیده زحمتی؛ بیژن قهرمان؛ علیرضا مقدم‌نیا (۱۳۹۴). ارائه تکنیک پیش‌بینی غیرنظارت‌شونده در برآورد تبخیر- تعرق گیاه مرجع، مجله تحقیقات منابع آب ایران دوره یازدهم. شماره پیاپی ۳. صفحات ۴۲-۳۱.

http://iwrr.sinaweb.net/article_13988.html

-قهرمان، نودر؛ جواد بذرافشان؛ ابوذر قره‌خانی (۱۳۸۸). تحلیل روند تغییرات تبخیر از تشت در مقیاس سالانه و فصلی در استان خوزستان با استفاده از روش‌های پارامتری و ناپارامتری. مقاله ارائه‌شده در دهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر.

https://www.civilica.com/Paper-ABYARI10-ABYARI10_183.html

-میان‌آبادی، آمنه؛ امین علیزاده؛ سیدحسین ثنائی‌نژاد؛ بیژن قهرمان؛ کامران داوری (۱۳۹۵). پیش‌بینی تغییرات تبخیر واقعی سالانه در مناطق خشک با استفاده از چارچوب اصلاح‌شده بادیکو (مطالعه موردی: حوضه آبریز نیشابور- رخ)، مجله آبیاری و زهکشی ایران دوره دهم. شماره پیاپی ۳. صفحات ۴۱۱-۳۹۸.

<https://profdoc.um.ac.ir/paper-abstract-1059869.html>

-نادریان‌فر، محمد؛ حسین انصاری؛ هادی دهقان؛ مؤده سالاری (۱۳۸۸). پیش‌بینی تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت نیشابور با مدل سری‌های زمانی. مقاله ارائه‌شده در همایش ملی الگوهای توسعه پایدار در مدیریت آب.

https://www.civilica.com/Paper-CSDPWM01-CSDPWM01_129.html

-خورشیددوست، علی‌محمد؛ سعید جهانبخش‌اصل؛ حامد عباسی؛ سعید فرزین؛ حمید میرهاشمی (۱۳۹۵). پیش‌بینی پتانسیل تبخیر با حذف نویز داده‌ها در ایستگاه سینوپتیک تبریز. مجله دانش آب و خاک دوره بیست و ششم. شماره پیاپی ۴. صفحات ۱۱۸-۱۰۵.

https://water-soil.tabrizu.ac.ir/article_5859_728.html

-دهقانی، رضا؛ حسن ترابی؛ حجت‌الله یونسی (۱۳۹۷). تخمین میزان تبخیر روزانه با استفاده از شبکه بیزین (مطالعه موردی: حوضه دهنو، استان لرستان)، فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست دوره بیست و یکم. شماره پیاپی ۵. صفحات ۸۹-۷۳.

http://jest.srbiau.ac.ir/article_12152_0.html

-رادمنش، فریدون؛ سید سعید اسلامیان؛ رامین بهمنیغ امیرحسین دادگستر (۱۳۹۰). بررسی روند تبخیر سد دز و پیش‌بینی آن به کمک سری زمانی. مقاله ارائه‌شده در اولین کنفرانس ملی هواشناسی و مدیریت آب کشاورزی.

https://www.civilica.com/Paper-NCAGM01-NCAGM01_020.html

-مضان‌اعتدالی، هادی؛ بهنام ابابایی (۱۳۸۹). استفاده از مدل‌های سری زمانی در برآورد مقادیر مفقود و پیش‌بینی مقادیر آبی سری زمانی تبخیر. مقاله ارائه‌شده در سومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی.

https://www.civilica.com/Paper-IDNC03-IDNC03_105.html

-زارع‌ایبانه، حمید؛ علی افروزی؛ محسن میرزایی؛ حسین باقری (۱۳۹۴). پیش‌بینی تبخیر-تعرق مرجع ماهانه با استفاده از مدل سری‌های زمانی، مجله آب و خاک دوره سی‌ام. شماره پیاپی ۱. صفحات ۱۱۱-۹۹.

<https://jsw2.um.ac.ir/index.php/jsw/article/view/38212>

-سارانی، اشکان؛ سیدآرمان هاشمی‌منفرد؛ عباسعلی قادری (۱۳۹۴). اندازه‌گیری پارامترهای کیفی دریاچه‌های تغذیه‌گرا در اثر اختلاط فصلی (مطالعه موردی چاه‌نیمه شماره ۳ و ۴ سیستان). مقاله ارائه‌شده در چهاردهمین کنفرانس ملی هیدرولیک ایران.

https://www.civilica.com/Paper-IHC14-IHC14_193.html

- Bahmani, R., Radmanesh, F., ESLAMIAN, S., & PARHAM, G. A (2013). Reservoir evaporation trend analysis and its prediction using time series.
<https://www.sid.ir/en/journal/ViewPaper.aspx?ID=541709>
- Box, G. E. P., Jenkins, G. M., & Reinsel, G. C. (1994). Time Series Analysis: Forecasting and Control: Prentice Hall.
https://books.google.com/books/about/Time_Series_Analysis.html?id=sRzvAAAAMAAJ
- Burn, D. H., & Hesch, N. M (2007). Trends in evaporation for the Canadian Prairies. *Journal of Hydrology*, 336(1-2), 61-73 .
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S002216940600669X>
- Jhahharia, D., Singh, V., Kumar, R., & Choudhary, R. (2014). Searching evidence for the existence of evaporation paradox in arid environments of northwest India. *Glob. Nest J*, 16, 1-9 .
https://journal.gnest.org/sites/default/files/Submissions/gnest_01356/gnest_01356_published.pdf
- Roderick, M. L., Hobbins, M. T., & Farquhar, G. D. (2009). Pan evaporation trends and the terrestrial water balance. II. Energy balance and interpretation. *Geography Compass*, 3(2), 761-780 .
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1749-8198.2008.00214.x>
- Tanny, J., Cohen, S., Assouline, S., Lange, F., Grava, A, Berger, D.,...Parlange, M. (2008). Evaporation from a small water reservoir: Direct measurements & estimates. *Journal of Hydrology*, 351(1-2), 218-229 .
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169407007561>

