

Comparison of the Facebook's Prophet, Thornthwaite, and Blaney-Criddle Models for daily evapotranspiration time series forecasting (Case study: Aleshtar county)

Hafez Mirzapour, Ali Haghizadeh*, Shohkufe Hasanvand, Leila Ghasemi

Department of Range and Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Lorestan University, Khorramabad, Iran

* Corresponding author; Email: alihaghi20@gmail.com

(Received: 29 July 2024

Revised: 15 September 2024

Accepted: 12 October 2024)

Extended Abstract

Introduction: Evapotranspiration is one of the most important components of the hydrological cycle. However, due to its complexity, it is difficult to estimate as it can be influenced by numerous factors. Estimating evapotranspiration is crucial for studies such as water resources management and global climate change. In this research, due to the high importance of evapotranspiration estimation, modeling and forecasting of evapotranspiration values in the city of Aleshtar and the selection of the most suitable model were addressed.

Materials and methods: In this study, evapotranspiration was simulated using the Blaney-Criddle and Thornthwaite methods, as well as Facebook's Prophet model. Facebook's Prophet model is available in both R and Python programming languages. In the Facebook's Prophet model, the evaporation trend is determined on a weekly, seasonal, and annual basis. For this purpose, the data used in this study were obtained from the Aleshtar weather station for the statistical period of 2017-2023. Initially, the trend of evapotranspiration was investigated using the Mann-Kendall test. Subsequently, the Blaney-Criddle, Thornthwaite, and Facebook's Prophet models were run using the average temperature. Finally, evaluation criteria were used to assess the performance of the models and determine the most suitable one. These criteria included the root mean square error (RMSE), mean absolute error (MAE), coefficient of determination (R^2), Nash-Sutcliffe efficiency (NSE), Pearson correlation coefficient (Pearson's r), and Willmott's index of agreement (d).

Results and Discussion: Analysis of the time series of precipitation, mean temperature, and mean relative humidity data in relation to evapotranspiration revealed that despite fluctuations in the time series of these factors, there was an increasing trend in mean temperature and mean precipitation; and the evapotranspiration data exhibited an upward trend, indicating an increase in evapotranspiration over the study period. Model performance evaluation results showed that Facebook's Prophet model performed best with the lowest root mean square error (RMSE=1.33), mean absolute error (MAE=0.79), highest coefficient of determination ($R^2=0.88$), Nash-Sutcliffe efficiency (NSE=0.88), Willmott's index of agreement ($d=0.967$), and Pearson correlation coefficient (Pearson's $r = 0.939$) compared to other models. The results showed that the mean actual evapotranspiration, as well as the simulated evapotranspiration using the Blaney-Criddle, Thornthwaite, and Facebook's Prophet model methods during the statistical period were 4.06, 5.28, 5.26, and 4.11 mm, respectively. Facebook's Prophet model provided the closest simulation of evapotranspiration compared to the observed values. The Mann-Kendall test confirmed an increasing trend in the data, suggesting a rise in evapotranspiration over the statistical period. Additionally, it was observed that the time series data for the Blaney-Criddle method and Facebook's Prophet model exhibited a relatively regular trend, while the Thornthwaite method showed an irregular trend in evapotranspiration data over time. According to the Facebook's Prophet model, evapotranspiration reached its peak during the dry months, from early July to early October, and was at its lowest during the cold months of January, February, and March. Additionally, a weekly analysis revealed that the highest and lowest evaporation and transpiration rates occurred on Tuesday and Fridays, respectively. Based on the research findings, the performance of the Blaney-Criddle and Thornthwaite methods is very similar.

Conclusion: Based on the results, it can be concluded that due to the suitable accuracy of the Facebook's Prophet model in predicting evapotranspiration, this model can be used in future studies as well. Additionally, based on the results, the one-year forecast trend indicated that the increase in evapotranspiration in Aleshtar County will continue. Therefore, careful planning is necessary to mitigate evapotranspiration. The findings of this research can also be applied to optimize water management strategies.

Keywords: Mann-Kendall test, Evapotranspiration, Time series, Facebook's Prophet model.

Citation: Mirzapour, H., Haghizadeh, A., Hasanvand, Sh., & Ghasemi, L. (2025). Comparison of the Facebook's Prophet, Thornthwaite, and Blaney-Criddle Models for daily evapotranspiration time series forecasting (Case study: Aleshtar county). *Integrated Watershed Management*, 5(1), 97-111. doi: 10.22034/iwm.2024.2037072.1168

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Integrated Watershed Management. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).



مقایسه مدل‌های Facebook's Prophet و Blaney-Criddle و Thornthwaite در پیش‌بینی سری‌های زمانی تبخیر و تعرق روزانه (مطالعه موردی: شهرستان اشتر)

حافظ میرزاپور، علی حقی‌زاده*، شکوفه حسونوند، لیلا قاسمی

گروه مهندسی مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

* نویسنده مسئول: alihaghi20@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۲۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۶/۲۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۰۸

چکیده مبسوط

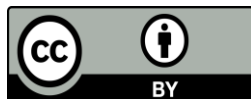
مقدمه: تبخیر و تعرق یکی از مهم‌ترین اجزای چرخه هیدرولوژیکی است، اما به دلیل پیچیدگی، تخمین آن دشوار است، زیرا تحت تأثیر عوامل متعددی قرار گیرد. برآورد تبخیر و تعرق در انجام مطالعاتی از قبیل کنترل و مدیریت منابع آبی و تغییر اقلیم جهانی بسیار حائز اهمیت است. در پژوهش حاضر، به دلیل اهمیت بالای برآورد تبخیر و تعرق، به مدل‌سازی و پیش‌بینی مقادیر تبخیر و تعرق در شهرستان اشتر و انتخاب مناسب‌ترین مدل پرداخته شد. **مواد و روش‌ها:** در این پژوهش شبیه‌سازی تبخیر و تعرق با استفاده از روش‌های Blaney-Criddle، Thornthwaite، و مدل Facebook's Prophet انجام شد. مدل Facebook's Prophet در زبان‌های برنامه‌نویسی R و Python قابل دسترس می‌باشد. در مدل Facebook's Prophet روند تبخیر و تعرق به صورت هفتگی، فصلی و سالانه تعیین می‌شود. به همین منظور داده‌های مورد استفاده در این پژوهش برای دوره آماری ۱۴۰۲-۱۳۹۶ از ایستگاه هواشناسی شهرستان اشتر دریافت شد. در ابتدا روند تبخیر و تعرق با استفاده از آزمون من-کندال مورد بررسی قرار گرفت. سپس با استفاده از دمای میانگین روش‌های Blaney-Criddle، Thornthwaite، و مدل Facebook's Prophet اجرا شدند. نهایتاً، معیارهای بررسی عملکرد مدل‌ها جهت تعیین مناسب‌ترین مدل مورد ارزیابی قرار گرفتند. این معیارها شامل پارامترهای میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین خطای مطلق (MAE)، ضریب تعیین (R^2) ضریب نش ساتکلایف (NSE) ضریب همبستگی پیرسون (Pearson's r) و شاخص توافق ویلموت (d) بودند.

نتایج و بحث: با بررسی روند سری زمانی داده‌های بارش، دمای میانگین و رطوبت میانگین هوا نسبت به تبخیر و تعرق مشخص گردید که با وجود نوسان در سری زمانی این عوامل، روند افزایشی میانگین دما و همچنین روند افزایشی میانگین بارندگی دیده می‌شود و روند داده‌های تبخیر و تعرق به صورت صعودی بوده و تبخیر و تعرق در طی سالیان مورد پژوهش در حال افزایش است. نتایج ارزیابی عملکرد مدل‌ها نشان داد که مدل Facebook's Prophet با میانگین مربعات خطا ($RMSE=1.33$)، میانگین خطای مطلق ($MAE=0.79$)، ضریب تعیین ($R^2=0.88$)، ضریب نش ساتکلایف ($NSE=0.88$)، شاخص توافق ویلموت ($d=0.967$) و ضریب همبستگی ($Pearson's\ r = 0.939$) بهتر نسبت به سایر مدل‌ها، دارای بهترین عملکرد بود. نتایج نشان دهنده این بود که میانگین تبخیر و تعرق واقعی و همچنین شبیه‌سازی شده با استفاده از روش‌های Blaney-Criddle، Thornthwaite، و مدل Facebook's Prophet در طی دوره آماری به ترتیب برابر با ۴/۰۶، ۵/۲۸، ۵/۲۶ و ۴/۱۱ میلی‌متر می‌باشد. مدل Facebook's Prophet نزدیک‌ترین شبیه‌سازی تبخیر و تعرق را نسبت به مقادیر مشاهداتی داشت. آزمون من-کندال نشان داد که روند داده‌ها صعودی است و تبخیر و تعرق در طول دوره آماری در حال افزایش می‌باشد. علاوه بر این سری زمانی مشاهده شده در روش‌های Blaney-Criddle و مدل Facebook's Prophet از روند تغییرات تقریباً منظمی برخوردارند، در حالی که در روش Thornthwaite داده‌های تبخیر و تعرق در طول سری زمانی روند نامنظمی داشتند. براساس نتایج مدل Facebook's Prophet، تبخیر و تعرق در ماه‌های خشک سال از اوایل تیرماه تا اوایل مهرماه بیشترین حد خود را داشته و در ماه‌های سرد سال از قبیل دی‌ماه، بهمن‌ماه و اسفندماه دارای پایین‌ترین حد خود بودند. همچنین بر اساس بررسی هفتگی مشخص گردید که در روز سه‌شنبه و جمعه به ترتیب بیشترین و کمترین تبخیر و تعرق اتفاق افتاده است. براساس نتایج تحقیق، عملکرد روش‌های Blaney-Criddle و Thornthwaite بسیار به یکدیگر نزدیک است. نتیجه‌گیری: براساس نتایج به دست آمده می‌توان نتیجه‌گیری کرد که با توجه به دقت مناسب مدل Facebook's Prophet در پیش‌بینی تبخیر و تعرق، می‌توان در مطالعات آبی نیز از این مدل استفاده کرد. همچنین براساس نتایج حاصل، روند یکسال پیش‌بینی داده‌ها نشان داد که افزایش تبخیر و تعرق در شهرستان اشتر ادامه خواهد داشت. لذا به منظور کاهش تبخیر و تعرق بایستی برنامه‌ریزی‌های دقیق صورت گیرد. همچنین می‌توان از نتایج پژوهش حاضر در برنامه‌ریزی برای استفاده بهینه از آب استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: آزمون من-کندال، تبخیر و تعرق، سری زمانی، مدل Facebook's Prophet

استناد: میرزاپور، ح.، حقی‌زاده، ع.، حسونوند، ش. و قاسمی، ل. (۱۴۰۴). مقایسه مدل‌های Facebook's Prophet، Blaney-Criddle و Thornthwaite در پیش‌بینی سری‌های زمانی تبخیر و تعرق روزانه (مطالعه موردی: شهرستان اشتر). مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، ۵(۱)، ۹۷-۱۱۱.

حق چاپ:



حق چاپ برای نویسنده (گان) این مقاله محفوظ است. بر اساس قوانین انتشارات با دسترسی آزاد، تمام مطالعات چاپ شده در این نشریه به صورت آزاد در وبسایت نشریه برای عموم بدون پرداخت هزینه قابل دسترس است.

مقدمه

طراحی کانال‌های آبیاری و تقسیم آب داشته و همچنین روی بلایای طبیعی مانند خشکسالی مؤثر است (Mobasheri *et al.*, 2005). برخی از عوامل اصلی و مؤثر بر تبخیر و تعرق عبارتند از دما، بارش، رطوبت و تابش خورشیدی. هر تغییری در این پارامترها بر میزان تبخیر و تعرق و آب مورد نیاز گیاه تأثیر خواهد گذاشت (Le Houérou, 1996). مدل‌های مختلفی برای برآورد تبخیر و تعرق ارائه شده است که تفاوت عمده آنها در تعداد پارامترهای هواشناسی مورد نیاز است و لازم است در هر منطقه باتوجه به داده‌های هواشناسی، بهترین روش غیرمستقیم جهت برآورد انتخاب گردد (Pour Yazdankhah *et al.*, 2013). اطلاع از وضعیت آبی تبخیر و تعرق در مقیاس‌های هفتگی و ماهانه می‌تواند در تصمیم‌گیری‌ها برای برنامه‌ریزی بهتر کمک کند. پژوهشگران زیادی با استفاده از مدل‌های مختلف به بررسی و پیش‌بینی تبخیر و تعرق پرداخته‌اند که در ادامه به تعدادی از این پژوهش‌ها اشاره می‌شود.

Oo و Phyu (۲۰۲۰) با استفاده از مدل Prophet دمای شهر ماینتکیینا در کشور میانمار، را پیش‌بینی کرده‌اند. نتایج این پژوهش نشان داده است که پیش‌بینی دمای دو سال آینده بسیار نزدیک و منطبق بر داده‌های اندازه‌گیری شده است؛ اما با افزایش بازه زمانی، خطا بیشتر شده است. Thiyagarajan و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده از مدل Prophet به پیش‌بینی دما و ردیابی ناهمسانی در سیستم‌های حسگر دمایی در سطح دریا در استرالیا پرداخته‌اند. نتایج این پژوهش نشان داده است که مدل Prophet عملکرد مناسب‌تری از مدل‌هایی مانند Auto ARIMA و Bagged داشته است و نیز با افزایش بازه پیش‌بینی از یک روز به هفت روز، نتایج مدل بهبود یافته است. Haris و همکاران (۲۰۲۲) در پژوهشی، به پیش‌بینی دمای هوای شهر جاکارتا با استفاده از مدل‌های LSTM و Prophet پرداخته‌اند. در این پژوهش دمای هوا در بازه‌های زمانی ۲ تا ۱۶۸ ساعت مورد پیش‌بینی قرار گرفته‌اند که مطابق نتایج، با افزایش بازه زمانی

امروزه افزایش خشکسالی ناشی گرمایش جهانی، یکی از مهم‌ترین مسائلی است که موجب افزایش روزافزون اهمیت مدیریت منابع آب در برخی مناطق شده است (Sarigöl & Katipoğlu, 2024). تبخیر و تعرق یک عنصر اساسی در چرخه هیدرولوژی است که نقش حیاتی در تعادل آب (Shabani *et al.*, 2024) به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک (Cem Kuzucu & Taş, 2024) ایفا می‌کند. به تعبیر Adesogan و Sasanya (۲۰۲۳) تبخیر و تعرق انرژی است که چرخه هیدرولوژی را به حرکت درمی‌آورد (Adesogan & Sasanya, 2023). کنترل تبخیر در بهینه‌سازی استفاده از انرژی آب، کاهش هزینه‌های برق و کاهش اثرات زیست‌محیطی نقش اساسی دارد (Wang *et al.*, 2024). تبخیر و تعرق، دما و رطوبت موجود در جو را تعدیل می‌کنند. به همین دلیل، ارتباط زیادی بین اقلیم، هیدرولوژی و بوم‌شناسی وجود دارد (Gharbia *et al.*, 2018). برآورد دقیق تبخیر و تعرق می‌تواند در مطالعاتی از قبیل بررسی تغییرات اقلیم جهانی و کنترل منابع آبی مورد استفاده قرار گیرد (Liu *et al.*, 2010). همچنین در طرح‌های آبیاری، تأسیسات آبی، مطالعات زهکشی و هیدرولوژیکی بسیار حائز اهمیت است. به‌طور کلی تبخیر و تعرق پدیده‌ای با تغییرات مکانی است، نه نقطه‌ای و با توجه به تغییرات مکانی، عوامل دخیل در تبخیر اعم از سطح تبخیر شونده و عوامل محیطی مؤثر بر آن می‌بایست به طور صحیح مدل‌سازی گردد (Allen *et al.*, 2007). تبخیر و تعرق یکی از ویژگی‌های اصلی بیلان آبی هر منطقه و همچنین یکی از عوامل کلیدی و کاربردی برای برنامه‌ریزی درست و مناسب آبیاری برای بهبود راندمان آب مصرفی در هر منطقه می‌باشد (Granger, 2000). از طرفی تبخیر و تعرق تأثیر قابل ملاحظه‌ای در اقلیم جهانی از طریق چرخه هیدرولوژی دارد و تخمین و برآورد آن کاربردهای مهمی در پیش‌بینی رواناب، پیش‌بینی عملکرد محصول و تعیین کاربری اراضی،

مصنوعی پرداختند. نتایج حاکی از آن بود که نوسانات دما بیشتر در فصل پاییز و زمستان اتفاق می‌افتد. با توجه به روند تغییر اقلیم و نیز در فصل تابستان بادهای غربی غیرفعال می‌باشند، لذا بیشترین دقت اندازه‌گیری پیش‌بینی دما در فصل تابستان و کمترین دقت اندازه‌گیری در فصل پاییز است.

براساس مطالعات انجام شده، میزان تبخیر و تعرق ارتباط مستقیمی با متغیرهای اقلیمی قرار دارد. بنابراین، انتظار بر این است که با ایجاد تغییر در پارامترهای اقلیمی به خصوص دمای هوا و بارش، میزان تبخیر و تعرق نیز تغییر یابد؛ به همین دلیل، بررسی تغییرات پارامترهای هواشناسی و نیز تأثیرات آنها روی تبخیر و تعرق پتانسیل در هر منطقه اهمیت زیادی دارد. در شهرستان الشتر نیز با توجه افزایش دما بایستی روند تغییرات تبخیر و تعرق مورد بررسی قرار گیرد. چرا که افزایش تبخیر و تعرق افزایش نیاز آبی را در پی دارد و بایستی مدیریت بهینه منابع آب صورت گیرد. بنابراین هدف از پژوهش حاضر، مدل‌سازی و پیش‌بینی مقادیر تبخیر و تعرق در شهرستان الشتر با استفاده از مدل Prophet و روش‌های Thornthwaite و Blaney-Criddle است، در نهایت نیز مناسب‌ترین روش برای پیش‌بینی تبخیر و تعرق در شهرستان الشتر معرفی می‌گردد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

شهرستان الشتر در شمال استان لرستان با مساحت ۱۵۶۷ کیلومترمربع بین طول جغرافیایی ۴۳° ۴۷' تا ۴۸° ۳۱' شرقی و عرض جغرافیایی ۳۸° ۳۳' تا ۳۴° ۱' شمالی واقع شده است (شکل ۱). از نظر ژئومورفولوژی، این حوضه به دو واحد کوه و دشت تقسیم می‌شود که دارای اقلیم مدیترانه‌ای است (Amouzegari et al., 2020). میانگین بارندگی ۴۸۰ میلی‌متر و ارتفاع از سطح دریا ۱۵۶۷/۵ متر است. حداقل دما ۷- و حداکثر مقدار در این منطقه برابر با

پیش‌بینی، خروجی مدل Prophet دارای خطای کمتری نسبت به LSTM بوده است. Abdelraouf و همکاران (۲۰۲۴) در پژوهشی چندین روش مبتنی بر دما نسبت به معادله پنمن مانیتث در استان قهرمان مرعش^۱ در کشور ترکیه را مورد بررسی قرار دادند. نتایج کلی بیانگر آن بود که تکنیک‌های Samani & Hargreaves و Blaney-Criddle اصلاح‌شده می‌توانند جایگزین مناسبی برای تخمین تبخیر و تعرق باشند. Elagib و همکاران (۲۰۲۴) در پژوهشی تأثیر تبخیر و تعرق بر شدت خشکسالی را در سودان و سودان جنوبی بررسی کردند. نتایج مرتبط با پژوهش حاضر نشان داد که روش Thornthwaite در مناطقی که متغیرهای هواشناسی کامل در دسترس نیستند ارزش بسیاری دارد. Ataei و همکاران (۲۰۲۰) روند تبخیر و تعرق گیاه مرجع در ایستگاه‌های سینوپتیک استان خراسان رضوی را به روش پنمن مانیتث مورد بررسی و تحلیل قرار دادند. نتایج این تحلیل نشان دهنده‌ی این بود که تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع (ET_0) سالانه تمامی ایستگاه‌های استان دارای مقدار مثبت از آماره آزمون Z_{MK} هستند و در هفت ایستگاه این روند در سطح ۵ درصد معنی دار است. Heidari Motlagh و همکاران (۲۰۲۱) به ارزیابی مدل‌های مختلف برآورد تبخیر و تعرق مرجع در دشت الشتر پرداختند. در این تحقیق ۱۵ مدل مختلف جهت برآورد تبخیر و تعرق مرجع بررسی شد. نتایج حاکی از آن بود که مدل‌های Jensen-Hayes و Turc از گروه تشعشعی به ترتیب با ($RMSE = 1/14$) و ($RMSE = 1/42$) میلی‌متر و مدل Samani & Hargreaves از گروه دمایی با ($RMSE = 1/72$) میلی‌متر بیشترین دقت را جهت برآورد (ET_0) را در منطقه مطالعاتی داشتند. Hassanvand و همکاران (۲۰۲۲) در یک مطالعه به بررسی تغییر اقلیم در ناحیه غربی ایران استان لرستان شهرستان الشتر بر مبنای ارزیابی و پیش‌بینی تغییرات دما با استفاده از مدل شبکه عصبی

روش تحقیق

در این پژوهش داده‌های دما، تبخیر و تعرق، رطوبت نسبی و بارش از ایستگاه هواشناسی شهرستان الشتر برای دوره آماری ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۲ شمسی (۲۰۱۸ تا ۲۰۲۳ میلادی) اخذ و مورد استفاده قرار گرفت. باتوجه به اینکه قبل از آنالیز و مدل‌سازی نیاز است داده‌ها از نظر وجود روند بررسی شوند (Allen et al., 2002) با استفاده از آزمون من-کندال، روندهای احتمالی موجود در داده‌ها مورد بررسی قرار گرفت. سپس با استفاده از مدل‌های Facebook's Prophet، Blaney-Criddle و Thornthwaite شبیه‌سازی انجام شد. در ادامه با توجه به ارزیابی مدل‌ها با استفاده از روش‌های مختلف آماری، مناسب‌ترین مدل انتخاب گردید و پیش‌بینی تبخیر و تعرق انجام شد.

بررسی روند داده‌ها

بررسی روند علاوه بر مشخص کردن نوسانات طولانی مدت فرایندهای هیدرولوژیکی، دوره تناوب و دیگر خصوصیات آنها را مشخص می‌کند (Sang et al., 2014). از بین آزمون‌های موجود برای بررسی روند ناپارامتری سری‌های زمانی هیدرولوژیکی آزمون من-کندال مناسب‌ترین آزمون برای داده‌های هیدرولوژی که نامتوازن بوده و داده‌های پرت دارند (Hamed, 2008). به همین دلیل، در این تحقیق از آزمون من-کندال که یکی از مزایای مهم آن تشخیص تغییرات ناگهانی روند نسبت به میانگین می‌باشد، استفاده شد. در این آزمون آماره $u(t)$ مقداری است که معنی‌داری در سطح اطمینان مورد نظر، جهت و بزرگی (کاهش) $u(t) < 0$ و افزایشی $u(t) > 0$ روند را مشخص می‌نمایند. روندهای کوتاه‌مدت و نقطه شروع آنها در سری به وسیله نمودارهای سری‌های مقادیر $u(t)$ و $u'(t)$ مورد بررسی قرار می‌گیرد. فرضیه صفر این آزمون H_0 داده‌ها را بدون روند و فرضیه جایگزین یعنی H_A ، روند

افزایشی یا کاهشی برای داده‌ها فرض می‌کند (Dastaran et al., 2022).

مدل Facebook's Prophet

این مدل در سال ۲۰۱۷ توسط تیم علم داده شرکت متا (Facebook) توسعه داده شده است (Vishwas & Patel, 2020). از مزایای اصلی مدل Facebook's Prophet سرعت و دقت مناسب آن در پیش‌بینی داده‌ها و نیز حفظ روابط فصلی آن‌ها است (Arslan, 2022). ویژگی‌های این مدل سبب شده است که بتوان به راحتی و بدون دانستن جزئیات پیچیده مدل پایه، آن را مورد استفاده قرار داد (Satrio et al., 2021). طبق گفته مدیران Facebook's Prophet بهترین عملکرد را با سری‌های زمانی دارد که دارای اثرات فصلی و چندین فصل از داده‌های تاریخی است و داده‌های پرت را از داده‌های استاندارد جدا می‌کند. در مدل Facebook's Prophet پیش‌بینی‌ها بر اساس یک مدل افزایشی می‌باشد (Taylor & Letham 2018). مدل Facebook's Prophet اخیراً در پیش‌بینی خشکسالی (Basak et al., 2022)، تخمین تبخیر و تعرق (Rahman et al., 2020) و شبیه‌سازی رواناب استفاده شده است (Xiao et al., 2022). مقایسه مدل Facebook's Prophet و رگرسیون بردار پشتیبان^۲ (SVR) نشان می‌دهد که مدل Facebook's Prophet از انواع SVR عملکرد بهتری دارد (Rahman, et al., 2020). رابطه (۱) مدل Facebook's Prophet را تعریف می‌کند:

$$y(t) = g(t) + s(t) + h(t) + e(t) \quad (1)$$

که در آن $y(t)$ روند تغییرات سری زمانی، $g(t)$ روند تغییرات غیر دوره‌ای، $s(t)$ تغییرات دوره‌های فصلی، $h(t)$ داده‌های گسسته بیشتر از یک روز (قابلیت تعطیلات) را نشان می‌دهد و $e(t)$ تغییرات ناگهانی در داده‌ها را نادیده می‌گیرد. تکنیک بر این فرض استوار است که داده‌های سری زمانی را می‌توان به‌عنوان

تبخیر و تعرق را بیش از حد واقعی برآورد می‌کند. از این رو نسخه اصلاح شده روش Thornthwaite (Wilmott) برای زمانی که دمای هوا بالاتر از ۲۶ درجه سانتی‌گراد است ایجاد شده است. اگرچه این مدل در ابتدا با داده‌های ماهانه مورد استفاده قرار گرفته است، اما یک عامل (فاکتور) تصحیح برای اعمال این مدل روی داده‌های روزانه ایجاد شده است. داده ورودی، میانگین دمای هوا (T_{mean}) و داده‌های خروجی مدل نیز شامل تبخیر و تعرق مرجع، تبخیر و تعرق واقعی (با استفاده از ضرایب گیاهی) هستند. روابط روش Thornthwaite و Thornthwaite اصلاح شده در رابطه (۲) ارائه شده است (Willmott et al., 1985).

$$c = \frac{N}{360}$$

$$\text{If } T_{mean} \leq 0^{\circ}\text{C}$$

$$ETR = 0$$

$$\text{If } 0^{\circ}\text{C} \leq tMEAN \leq 26^{\circ}\text{C}$$

$$ETR = 16C \left(10^{\frac{T_{mean}}{I}} \right)^a \quad (2)$$

$$I = \sum_{n=1}^{12} (0.2T_{normal})^{1.514}$$

$$a = 6075 \times 10^{-7} I^3 - 7.711 \times 10^{-5} I^2 + 1.712 \times 10^{-2} I + 0.4^4$$

$$\text{If } T_{mean} > 26^{\circ}\text{C}$$

$$ETR = C(-415.85 + 32.24T_{mean} - 0.43T_{mean}^2)$$

که در آن C: ضریب تصحیح تبدیل مقیاس زمانی ماهانه به روزانه، N: ساعات آفتابی (ساعت)، ETR: تبخیر و تعرق مرجع روزانه (میلی‌متر)، T_{mean} : میانگین روزانه دمای هوا (درجه سانتی‌گراد)، I: شاخص حرارتی و T_{normal} : دمای نرمال (درجه سانتی‌گراد) است.

روش Blaney-Criddle

روش Blaney-Criddle فقط با استفاده از میانگین دمای هوا، تبخیر و تعرق شبیه‌سازی می‌کند (Hosseini et al., 2016). در این مدل، داده‌ی ورودی میانگین دمای هوا (T_{mean}) و داده‌های خروجی نیز شامل تبخیر و تعرق مرجع، تبخیر و تعرق واقعی (با استفاده از ضرایب گیاهی) هستند. فرمول روش Blaney-Criddle در رابطه (۳) ارائه شده است.

ترکیبی از ویژگی‌های متعدد مانند روندهای فصلی و غیرفعال توصیف کرد (Rumsey et al., 2017). نیروی ریاضی Facebook's Prophet مستلزم شناسایی و مدل‌سازی این مولفه‌ها با استفاده از تعدادی از روش‌های ریاضی و آماری است:

✓ رگرسیون خطی و سری فوریه برای مدل‌سازی روند یک سری زمانی استفاده می‌شوند.

✓ مدل‌های افزایشی برای توصیف یک سری زمانی غیرفعال استفاده می‌شود.

یک مدل رگرسیون خطی یا غیرخطی اغلب برای کشف و مدل‌سازی هریک از الگوها یا روندهای اساسی در داده‌ها برای روند سری زمانی استفاده می‌شود. Facebook's Prophet مدل مناسبی برای مدیریت داده‌های گم شده^۳ است و داده‌های پرت^۴ را به خوبی از داده‌های استاندارد جدا می‌کند (Dastaran et al., 2022). از توانایی‌های دیگر این مدل شناسایی خودکار روندهای روزانه هفتگی، فصلی و سالانه است. مطالعه منابع نشان می‌دهد که تعداد مقادیر پیش‌بینی مدل Facebook's Prophet می‌تواند بین ۱۵-۲۵ درصد داده‌های اولیه باشد. مهم‌ترین مزیت مدل Facebook's Prophet توانایی در تبدیل داده‌های گسسته به داده‌های پیوسته است تا پیش‌بینی به بهترین شکل انجام پذیرد. این مدل در شناسایی روند فصلی بودن داده‌ها به صورت خودکار عمل می‌کند و در صورت وجود روند، تغییرات فصلی آنها را نمایش می‌دهد (Dastaran et al., 2022).

روش Thornthwaite

یک مدل ساده است که در محاسبات خود فقط به میانگین دمای هوا نیاز دارد. تحقیقات و مطالعات قبلی نشان می‌دهد که روش Thornthwaite ممکن است تبخیر و تعرق را در شرایط خشک، کمتر از واقعیت تخمین بزند، درحالی که در مناطق مرطوب استوایی

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2} \quad (7)$$

$$Pearson's\ r = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}} \quad (8)$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \quad (9)$$

در روابط فوق، P_i مقدار محاسباتی O_i مقدار مشاهداتی، \bar{P} مقدار میانگین محاسباتی \bar{O} مقدار میانگین مشاهداتی و n تعداد داده‌ها است.

نتایج و بحث

در این پژوهش روند تغییرات داده‌های تبخیر و تعرق منطقه الشتر؛ بین سال‌های ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۲ با استفاده از مدل Facebook's Prophet و همچنین دو روش Blaney-Cridle و Thornthwaite مورد بررسی قرار گرفت. در همین راستا در اولین اقدام، روند داده‌های تبخیر و تعرق با استفاده از آزمون من-کندال بررسی شد. در این آزمون مشاهده می‌شود که $p\text{-value} = 0/0000004$ می‌باشد که با توجه به اینکه معیار آلفا در این پژوهش $0/01$ است، پس فرض صفر رد می‌شود و فرض ۱ برقرار است. به این معنی که داده‌ها دارای روند هستند و با توجه به پلات من-کندال داده‌ها (شکل ۳) روند داده‌ها صعودی است و تبخیر و تعرق در طی سالیان مورد پژوهش در حال افزایش می‌باشد که با نتایج Ataei و همکاران (۲۰۲۰) مطابقت دارد. همچنین این نتیجه با نتایج پژوهش Hassanvand و همکاران (۲۰۲۲) نیز مطابقت دارد؛ براساس مطالعه‌ی آن‌ها، در دوره آماری ۳۰ ساله (۱۹۸۹ - ۲۰۱۹) دماهای متوسط، بیشینه و کمینه در شهرستان الشتر دارای روندی افزایشی بود.

$$ETR = p(0.46T_{mean} + 8) \quad (3)$$

که در آن ETR: تبخیر و تعرق مرجع روزانه (میلی‌متر)، P : درصد میانگین روزانه ساعات آفتابی و T_{mean} : میانگین روزانه دمای هوا (درجه سانتی‌گراد) است.

ارزیابی عملکرد مدل‌ها

با توجه به اینکه در ارزیابی عملکرد مدل‌ها بایستی پارامترهای مختلفی بررسی گردد تا میزان دقت نتایج به‌وضوح مشاهده شود، در این تحقیق از معیارهای میانگین مربعات خطا^۵ (RMSE)، میانگین خطای مطلق^۶ (MAE)، ضریب تعیین^۷ (R^2) ضریب نش ساتکلایف^۸ (NSE) ضریب همبستگی پیرسون^۹ (Pearson's r) و شاخص توافق ویلموت^{۱۰} (d^{11}) استفاده شد. هرچه R^2 ، NSE و d به عدد یک نزدیک باشند، عملکرد مدل دارای کارایی بالاتری است در این حالت معمولاً مقادیر معیارهای RMSE و MAE به سمت صفر میل می‌کنند (Salas, 1993). ضریب همبستگی پیرسون (Pearson's r) بین -۱ و ۱ می‌باشد. اگر ضریب همبستگی پیرسون برابر ۱ باشد بیانگر رابطه مستقیم کامل بین دو متغیر است. اگر برابر -۱ باشد وجود یک رابطه معکوس کامل بین دو متغیر را نشان می‌دهد. اگر برابر صفر باشد نشان می‌دهد که بین دو متغیر هیچ رابطه خطی وجود ندارد (De Witte, 2022). روابط استفاده شده برای معیارهای ارزیابی به‌صورت روابط ۴ تا ۹ می‌باشد:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2} \quad (4)$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n |P_i - O_i| \quad (5)$$

$$R^2 = \frac{(\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})(O_i - \bar{O}))^2}{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2 \sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (6)$$

9- Pearson's Correlation Coefficient

10- Willmott's agreement index

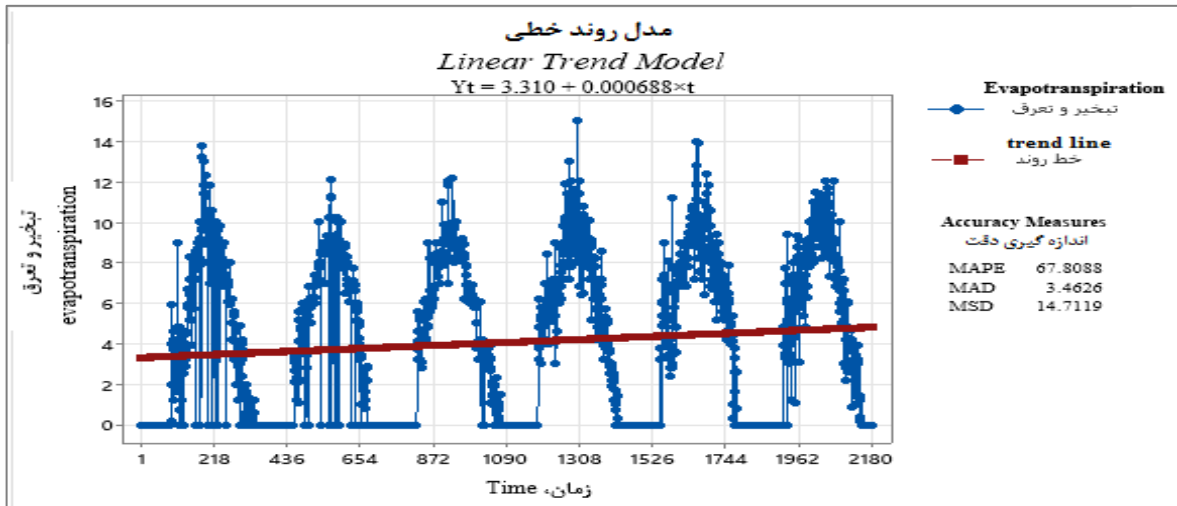
11- Willmott's agreement index

5- Root Mean Square Error

6- Mean Absolute Error

7- R-squared correlation

8- Nash-Sutcliffe Efficiency

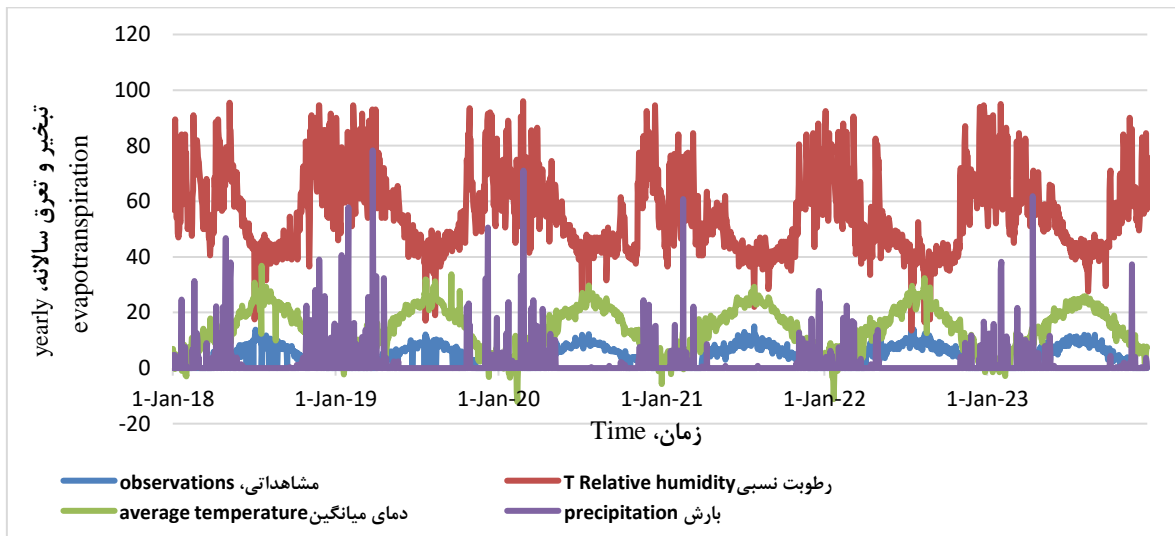


شکل ۳- پلات من-کندال داده‌های تبخیر و تعرق

Figure 3- Mann-Kendall plot of evapotranspiration data

داده‌های دما دارای الگوی فصلی می‌باشند نوسان زیادی در طول سال دارند. لیکن همانطور که مشاهده می‌شود در نهایت افزایش میزان تبخیر و تعرق در منطقه اتفاق افتاده است. ممکن است این نوسانات ناشی از تغییرات اقلیمی باشد. در پژوهش Heydari و همکاران (۲۰۲۴) نیز نشان داده شده است که براساس پیش‌بینی‌های انجام شده با سناریوهای اقلیمی، در منطقه الشتر افزایش در روند افزایشی در میزان بارش وجود دارد، در پژوهش حاضر نیز روند افزایشی بارش نشان داده شده است.

همچنین مقایسه نمودارهای بارش، دمای میانگین و رطوبت میانگین هوا با تبخیر و تعرق واقعی نشان داد که با افزایش بارش تبخیر و تعرق کاهش می‌یابد، با افزایش دمای میانگین، تبخیر و تعرق افزایش می‌یابد که با نتایج Taş و Cem Kuzucu (۲۰۲۴) و نیز Ding و همکاران (۲۰۲۴) مطابقت دارد. علاوه بر این با افزایش رطوبت نسبی هوا، تبخیر و تعرق کاهش می‌یابد (شکل ۴). براساس شکل (۴) در طی دوره‌ی مورد مطالعه، بارش با نوسان همراه است ولی دمای میانگین و رطوبت میانگین هوا نوسان اندکی دارند. علاوه بر این میانگین دما و میانگین بارندگی افزایش یافته است.



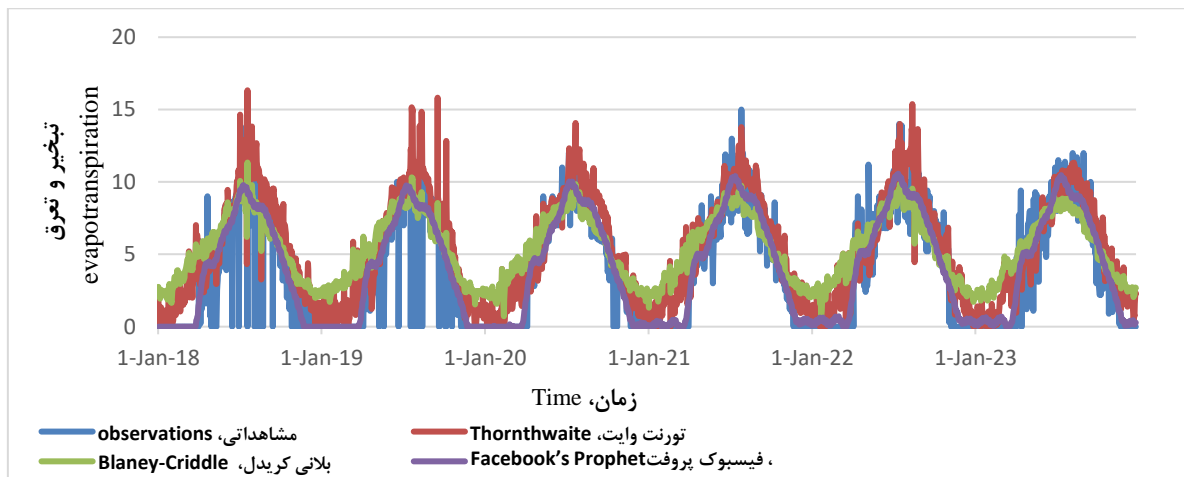
شکل ۴- نمودار ارتباط بین بارش، دمای میانگین و رطوبت نسبی با تبخیر و تعرق

Figure 4- Graph of relationship between precipitation, average temperature and relative humidity with evapotranspiration

اجرای مدل‌ها

میانگین دما با مقدار k ثابت $1/3$ ، در عرض 50 درجه، دمای میانگین $13/1$ ، (دمای آستانه ویلموت 26 درجه) و ساعات آفتابی 12 ساعته محاسبه شده‌اند. نمودار شبیه‌سازی مدل‌ها در شکل (۵) ارائه شده است.

روش‌های Blaney-Criddle و Thornthwaite برای شبیه‌سازی تبخیر و تعرق شهرستان الشتر با معیارهای



شکل ۵- نمودار شبیه‌سازی تبخیر و تعرق با استفاده از روش‌های Blaney-Criddle و Thornthwaite و مدل Facebook's Prophet

Figure 5- Evapotranspiration simulation diagram using Blaney-Criddle and Thornthwaite methods and Facebook's Prophet model

در ادامه جهت بررسی و انتخاب بهترین مدل جهت پیش‌بینی تبخیر و تعرق شهرستان الشتر از معیارهای ارزیابی که در جدول (۱) ارائه شده‌اند استفاده شد.

براساس شکل (۵)، از بین ۳ مدل مذکور، شبیه‌سازی حاصل از مدل Facebook's Prophet به داده‌های مشاهداتی نزدیک‌تر بود.

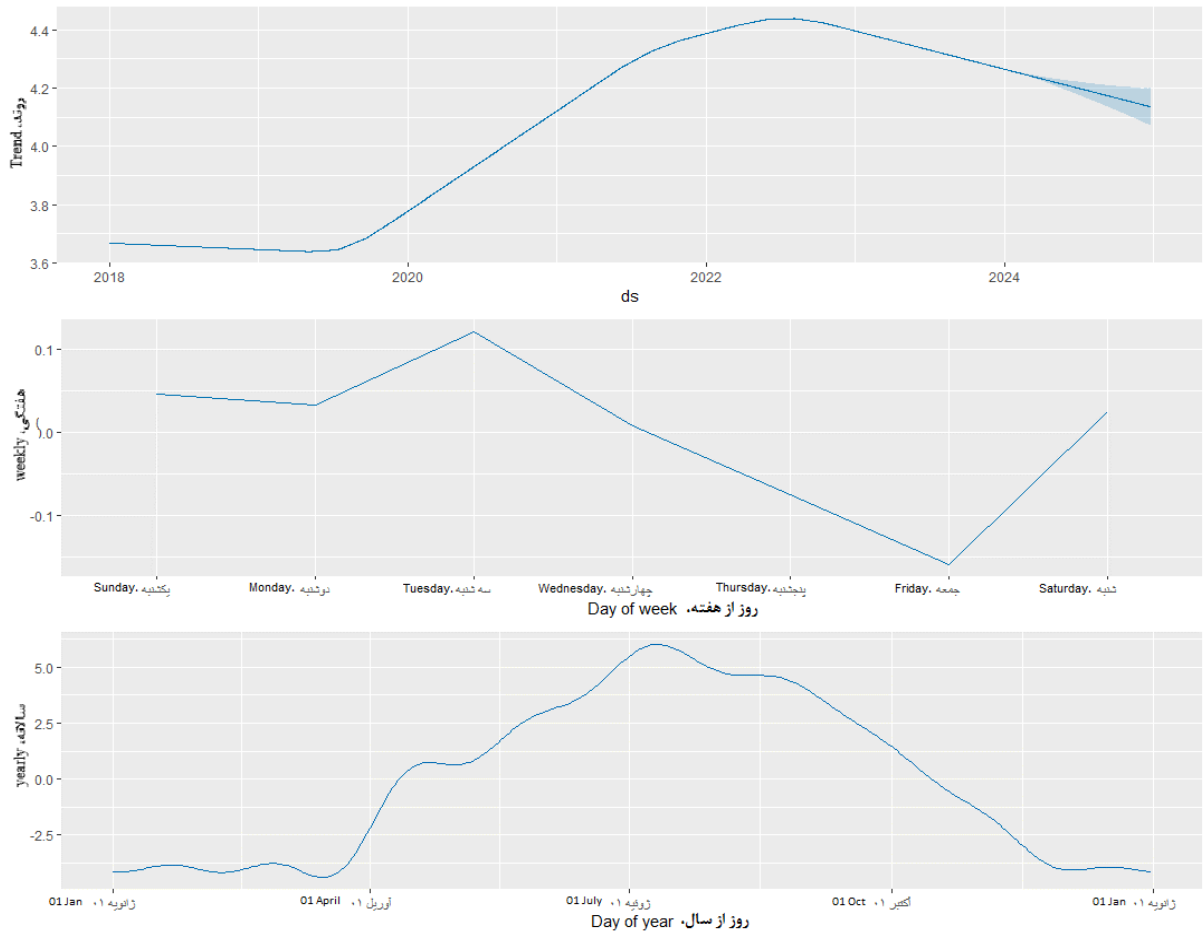
جدول ۱- ارزیابی عملکرد جهت انتخاب مناسب‌ترین مدل

Table 1- Evaluating the performance to choose the most suitable model

معیار ارزیابی Evaluation criteria	تورنت وایت Thornthwaite	بلانی کریدل Blaney-Criddle	فیسبوک پروفیت Facebook's Prophet
R^2	0.784	0.79	0.88
RMSE	2.16	2.43	1.33
MAE	1.58	1.98	0.791
NSE	0.639	0.14	0.88
Pearson's r	0.886	0.889	0.939
d	0.913	0.841	0.967

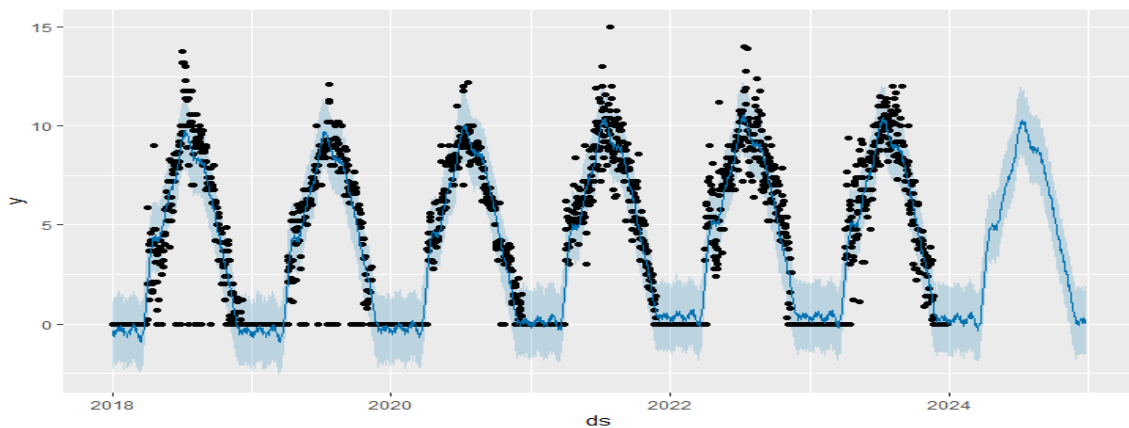
سیاه نشان دهنده‌ی مقادیر اصلی تبخیر هستند و فقط تا سال 2024 دیده می‌شوند. پس از آن، مقادیر تبخیر که با استفاده از مدل پیش‌بینی شده‌اند مشاهده می‌شوند. لذا ناحیه آبی‌رنگ حاکی از مقادیر پیش‌بینی شده می‌باشد و نواحی بالا و پایین آن نیز که آبی کم‌رنگ هستند، به صورت تقریبی حد بالا و حد پایین را نشان می‌دهند. نتایج حاصل از این نمودار نشان دهنده‌ی افزایش روند تبخیر و تعرق در سال‌های آینده در الشتر می‌باشد.

با توجه به جدول (۱) مشاهده شد که مدل Facebook's Prophet بهترین نتایج را ارائه می‌کند. بر اساس نتایج، با توجه به میزان دقت مناسب مدل Facebook's Prophet، پیش‌بینی تبخیر و تعرق شهرستان الشتر با استفاده از این مدل انجام شد. از قابلیت‌های مدل Facebook's Prophet شناسایی روند به صورت روزانه هفتگی، فصلی و سالانه است. در شکل (۶) نمودار هفتگی، ماهانه و سالانه تبخیر و تعرق شهرستان الشتر ارائه شده است. در شکل (۷) نقاط



شکل ۶- نمودار روزانه، هفتگی و سالانه و محدوده پیش‌بینی مدل Facebook's Prophet

Figure 6- Daily, weekly and yearly charts and forecast range of Facebook's Prophet model



شکل ۷- نمودار شبیه‌سازی و پیش‌بینی مدل Facebook's Prophet

Figure 7- Simulated and predicted chart of Facebook's Prophet model

میلی متر می‌باشد و میانگین داده‌های مشاهداتی تبخیر و تعرق نیز برابر با ۴/۰۶ میلی‌متر است. مدل Prophet Facebook's نزدیک‌ترین شبیه‌سازی تبخیر و تعرق را نسبت به مقادیر مشاهداتی تبخیر و

نتایج نشان داد که میانگین تبخیر و تعرق شبیه‌سازی شده با استفاده از روش‌های Blaney-Criddle، Thornthwaite و مدل Facebook's Prophet در طی دوره آماری به ترتیب برابر با ۵/۲۸، ۵/۲۶ و ۴/۱۱

پارامترهای هواشناسی در دوره‌های مختلف زمانی، تأثیر زیادی در تحلیل مناسب تغییرات اقلیمی دارند. در منطقه مورد مطالعه بیشترین تغییرات فصلی در دو فصل پاییز و زمستان رخ می‌دهد چراکه در این فصل‌ها بادهای غربی رطوبت اقیانوس اطلس و دریایی مدیترانه را گرفته و به منطقه زاگرس میانی وارد می‌شود. (Hassanvand *et al.*, 2022). بنابراین در شهرستان الشتر نیز که در شمال استان لرستان واقع شده و ارتفاع آن از سطح آب‌های آزاد ۱۵۶۷ متر و ۱۵ سانتیمتر است کاهش دما مشاهده می‌شود.

در فصل تابستان بادهای غربی غیرفعال هستند (Hassanvand *et al.*, 2022)، بنابراین افزایش دما و افزایش تبخیر وجود دارد. لذا مدل‌های مورد بررسی در این پژوهش روند صعودی تبخیر و تعرق در منطقه الشتر را نشان دادند.

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به بررسی روند داده‌ها با استفاده از آزمون من-کندال، مشخص شد که داده‌ها در بازه زمانی مورد بررسی (۱۴۰۲-۱۳۹۶) دارای روند افزایشی هستند، به این معنی که تبخیر و تعرق در حال افزایش است. در این پژوهش مقادیر داده‌های تبخیر و تعرق با استفاده از روش‌های Blaney-Criddle، Thornthwaite و مدل Facebook's Prophet شبیه‌سازی شد. نتایج ارزیابی مدل‌ها نشان داد که مدل Facebook's Prophet با داشتن آماره‌های دقت بهتر نسبت به سایر مدل‌ها ($R^2=0/88$ ، $RMSE=1/33$ ، $MAE=0/791$ ، $d=0/88$ ، $NSE=0/939$ ، $Pearson's\ r=0/967$)، شبیه‌سازی تبخیر و تعرق را انجام داده است. همچنین روش‌های Blaney-Criddle و Thornthwaite به ترتیب با میزان دقت کمتر و نتایج نزدیک به هم شبیه‌سازی را انجام داده‌اند. بر این اساس از مدل Facebook's Prophet جهت پیش‌بینی یک‌ساله تبخیر و تعرق استفاده شد. این مدل، تبخیر و تعرق منطقه الشتر را با دقت مناسبی شبیه‌سازی و پیش‌بینی کرد. می‌توان از نتایج حاصل از این پژوهش، با هدف برنامه‌ریزی برای

تعرق انجام داد. آزمون من-کندال نشان داد که روند داده‌ها صعودی است و تبخیر و تعرق در طول دوره آماری در حال افزایش می‌باشد. علاوه بر این براساس شکل (۵)، سری زمانی مشاهده شده در روش Blaney-Criddle و مدل Facebook's Prophet از روند تغییرات تقریباً منظمی برخوردارند در حالی که در روش Thornthwaite داده‌های تبخیر و تعرق در طول سری زمانی روند نامنظمی دارند.

در پژوهش حاضر مدل Facebook's Prophet بیشترین دقت را در پیش‌بینی و شبیه‌سازی تبخیر و تعرق دارا بود. براساس نتایج مدل Facebook's Prophet، تبخیر و تعرق در ماه‌های خشک سال از اوایل تیرماه تا اوایل مهرماه بیشترین حد خود را داشته است و در ماه‌های سرد سال مانند دی‌ماه، بهمن‌ماه و اسفندماه دارای پایین‌ترین حد خود بودند. همچنین، بر اساس بررسی هفتگی، در روز سه‌شنبه بیشترین و در روز جمعه کمترین تبخیر و تعرق بین سال‌های ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۳ اتفاق افتاده است. نتایج این پژوهش از لحاظ بالاتر بودن میزان دقت مدل Facebook's Prophet برای پیش‌بینی و شبیه‌سازی، با نتایج Rahman و همکاران (۲۰۲۰) مطابقت دارد. Ramezani و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهش خود نشان دادند که با توجه به معیارهای ارزیابی، روش Thornthwaite دارای دقت پایینی در برآورد تبخیر و تعرق است، لیکن در نتایج Shahedi و Zarei (۲۰۱۱) دقت روش Blaney-Criddle بالاتر از Thornthwaite بود. در مطالعه حاضر روش Thornthwaite نسبت به Blaney-Criddle از دقت بالاتری برخوردار بود. علاوه بر این، همان‌گونه که در شکل (۵) مشاهده می‌شود، روش Thornthwaite تبخیر و تعرق را بیشتر از حد معمول تخمین زد که با نتایج پژوهش Rahman و همکاران (۲۰۲۰) همچنین Adesogan و Sasanya (۲۰۲۳) مطابقت دارد.

مدیریت و برنامه‌ریزی دقیق منابع آبی به دلیل کاهش منابع آب بسیار حائز اهمیت است. بررسی تغییرات

مطالعات آتی، علاوه بر تبخیر و تعرق و تحلیل حساسیت پارامترهای موثر برای پیش‌بینی سری زمانی سایر عوامل اقلیمی نیز مورد استفاده قرار گیرد.

استفاده بهینه از منابع آب استفاده کرد. علاوه بر این پیشنهاد می‌شود، با توجه به دقت مناسب مدل Facebook's Prophet در انجام پیش‌بینی، در

References

- Abdelraouf, R. E., El-Shawadfy, M. A., Bakry, A. B., Abdelaal, H. K., El-Shirbeny, M. A., Ragab, R., & Belopukhov, S. L. (2024). *Estimating ETO and scheduling crop irrigation using Blaney-Criddle equation when only air-temperature data are available and solving the issue of missing meteorological data in Egypt*. In BIO Web of Conferences (Vol. 82, p. 02020). EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20248202020>
- Adesogan, S. O., & Sasanya, B. F. (2023). Efficiency of indirect and estimated evapotranspiration methods in South Western Nigeria. *International Journal of Hydrology Science and Technology*, 15(1), 64-77. <https://doi.org/10.1504/IJHST.2021.10041388>
- Allen, R. G., Bastiaanssen, W., Wright, J. L., Morse, A., Tasumi, M., & Trezza, R. (2007). Evapotranspiration from satellite images for water management and hydrologic balances. *Journal of irrigation and drainage engineering*, 380-394. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(2007\)133:4\(380\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(2007)133:4(380))
- Amouzegari, P., Panahi, M., Mirnia, S. K., & Daneshi, A. (2020). Estimation of preservation value of groundwater resources from the villagers' perspective in Alashtar Watershed, Iran. *Watershed Engineering and Management*, 12(1), 57-71. <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2019.122994.1532> (In Persian)
- Arslan, S. (2022). A hybrid forecasting model using LSTM and Prophet for energy consumption with decomposition of time series data. *PeerJ Computer Science*, 8, e1001. <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.1001>
- Ataei, H., Tashakori Hashemi, S. A., & Raveian, M. (2020). Analysis of the trend of evapotranspiration of reference crop at synoptic stations of Khorasan Razavi province. *Journal of Climate Research*, 1398(38), 113-129. (In Persian)
- Basak, A., Rahman, A. S., Das, J., Hosono, T., & Kisi, O. (2022). Drought forecasting using the Prophet model in a semi-arid climate region of western India. *Hydrological Sciences Journal*, 67(9), 1397-1417. <https://doi.org/10.1080/02626667.2022.2082876>
- Blaney, H. F. (1952). *Determining water requirements in irrigated areas from climatological and irrigation data*. Washington Soil Conservation Service, 48.
- Brouwer, C., & Heibloem, M. (1986). Irrigation water management: irrigation water needs. *Training manual*, 3, 1-5.
- Cem Kuzucu, F., & Taş, İ. (2024). Comparison of Evapotranspiration Values Calculated with Empirical Methods and ETgauge Measurements. *environmental and earth sciences*. *Preprints*. Online: 11 April 2024: 1-11. <https://doi.org/10.20944/preprints202404.0790.v1>
- Dastaran, M., Jafari, S., Moslemi, H., Attarchi, S., & Alavipanah, S.K. (2022). Monitoring Bakhtegan wetland using a time series of satellite data on the Google Earth Engine platform and predicting parameters with Facebook's Prophet model. *RS & GIS for Natural Resources*, 13(4), 1-20. <https://doi.org/10.30495/GIRS.2022.685454> (In Persian)
- De Witte, C. (2022). *Altering functional connectivity in the brain by learning new associations*. BSc-Thesis. Artificial Intelligence. Radboud University.
- Ding, L., Yu, Y., & Zhang, S. (2024). Trend Projections of Potential Evapotranspiration in Yangtze River Delta and the Uncertainty. *Atmosphere*, 15(3), 357. <https://doi.org/10.3390/atmos15030357>
- Elagib, N. A., Ali, M. M., & Schneider, K. (2024). Evaluation and bias correction of CRU TS4. 05 potential evapotranspiration across vast environments with limited data. *Atmospheric Research*, 299, 107194.

- <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2023.107194>
- Gharbia, S. S., Smullen, T., Gill, L., Johnston, P., & Pilla, F. (2018). Spatially distributed potential evapotranspiration modeling and climate projections. *Science of The Total Environment*, 633, 571-592. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.208>
- Granger, R. J. (2000). Satellite-derived estimates of evapotranspiration in the Gediz basin. *Journal of Hydrology*, 229(1-2), 70-76. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(99\)00200-0](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(99)00200-0)
- Hamed, K. H. (2008). Trend detection in hydrologic data: The Mann-Kendall trend test under the scaling hypothesis. *Journal of hydrology*, 349(3-4), 350-363. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.11.009>
- Haris, M. D., Adytia, D., & Ramadhan, A. W. (2022). Air temperature forecasting with long short-term memory and prophet: a case study of Jakarta, Indonesia. In *2022 International Conference on data science and its applications (ICoDSA)* (pp. 251-256). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICoDSA55874.2022.9862869>
- Hassanvand, M., Borna, R., Zohurian Pardel, M., & Shakiba, A. (2022). Study and evaluation of temperature in Aleshtar city based on artificial neural network model. *Journal of Geography and Environmental Studies*, 11(41), 155-170. (In Persian)
- Heidari Motlagh, A., Nasrolahi, A., Sharifipour, M., & Veysi, S. (2021). Evaluation of Different Models for Estimating Reference Evapotranspiration (ET_o) in Aleshtar Plain. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 52(5), 1409-1421. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2021.319027.668894>
- Heydari, S., Bromand, S., Zeinali, B., & Pourghasemi, E. (2024). Precipitation Forecast of Three Stations of Lorestan Province in the Next 20 Years. *Journal of Environmental Science Studies*, 9(1), 7963-7976. <https://doi.org/10.22034/jes.s.2023.394271.2014>
- Hosseini, S. M., Ganji Khorramdel, N., Kheltabadi Farahani, A. H. (2016). Empirical and intelligence Models Evaluation in Estimation of Reference Evapotranspiration by Minimum Climate Data; case study shahrekord, *Irrigation and Water Engineering*, 7(1), pp. 128-141.
- Le Houérou, H. N. (1996). Climate change, drought and desertification. *Journal of arid Environments*, 34(2), 133-185. <https://doi.org/10.1006/jare.1996.0099>
- Liu, S., Bai, J., Jia, Z., Jia, L., Zhou, H., & Lu, L. (2010). Estimation of evapotranspiration in the Mu Us Sandland of China. *Hydrology and Earth System Sciences*, 14(3), 573-584. <https://doi.org/10.5194/hess-14-573-2010>
- Mobasheri, M., Khavarian, H., Ziaian, P., & Kamali, G. (2005). *Estimation of real evaporation and transpiration using MODIS images and Sabal algorithm*. 84th Geomatic Conference, Tehran. 1-12. (In Persian)
- Oo, Z. Z., & Phyu, S. (2020). Time series prediction based on Facebook Prophet: a case study, temperature forecasting in Myintkyina. *International Journal of Applied Mathematics Electronics and Computers*, 8(4), 263-267. <https://doi.org/10.18100/ijamec.816894>
- Pour Yazdankhah, H., Razavipour, T., Khaledian, M., & Rezaei, M. (2013). *Determining the appropriate methods to estimate reference evaporation and transpiration in Rasht region*. The third national conference on comprehensive management of water resources, Sari (In Persian)
- Rahman, A. S., Hosono, T., Kisi, O., Dennis, B., & Imon, A. R. (2020). A minimalistic approach for evapotranspiration estimation using the Prophet model. *Hydrological Sciences Journal*, 65(12), 1994-2006. <https://doi.org/10.1080/02626667.2020.1787416>
- Ramezani, M., Islamian, S.S., Aghakhani, A., & Mirzaei, S.M.J. (2015). *Selection of the best real evaporation and transpiration equation through lysimetry data*. National Congress of Irrigation and Drainage of Iran. 1-8 (In Persian)
- Rumsey, C. A., Miller, M. P., Schwarz, G. E., Hirsch, R. M., & Susong, D. D. (2017). The role of baseflow in dissolved solids delivery to streams in the Upper Colorado River Basin. *Hydrological Processes*, 31(26), 4705-4718. <https://doi.org/10.1002/hyp.13647>
- Salas, J. D. (1993). Analysis and modelling of hydrological time series. *Handbook of*

- hydrology*, McGraw-Hill, New York, 19.1-19.72.
- Sang, Y. F., Wang, Z., & Liu, C. (2014). Comparison of the MK test and EMD method for trend identification in hydrological time series. *Journal of Hydrology*, 510, 293-298. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.12.039>
- Sarıgöl, M., & Katipoğlu, O.M., (2024). Estimation of monthly evaporation values using gradient boosting machines and mode decomposition techniques in the Southeast Anatolia Project (GAP) area in Turkey. *Acta Geophysica*, 72(2), pp.999-1016. <https://doi.org/10.1007/s11600-023-01067-8>
- Satrio, C. B. A., Darmawan, W., Nadia, B. U., & Hanafiah, N. (2021). Time series analysis and forecasting of coronavirus disease in Indonesia using ARIMA model and PROPHET. *Procedia Computer Science*, 179, 524-532. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.01.036>
- Shabani, M., Asadi, M. A., & Fathian, H. (2024). Improving the daily pan evaporation estimation of long short-term memory and support vector regression models by using the Wild Horse Optimizer algorithm. *Water Supply*, 24(4), 1315-1334. <https://doi.org/10.2166/ws.2024.063>
- Shahedi, K., & Zarei, M. (2011). Assessment of potential evapotranspiration estimation methods in Mazandaran Province. *Irrigation and Water Engineering*, 1(3), 12-21. (In Persian)
- Taylor, S. J., & Letham, B. (2018). Forecasting at scale. *The American Statistician*, 72(1), 37-45. <https://doi.org/10.1080/00031305.2017.1380080>
- Thiyagarajan, K., Kodagoda, S., Ulapane, N., & Prasad, M. (2020). A temporal forecasting driven approach using facebook's prophet method for anomaly detection in sewer air temperature sensor system. In *2020 15th IEEE Conference on industrial electronics and applications (ICIEA)* (pp. 25-30). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICIEA48937.2020.9248142>
- Vishwas, B. V., & Patel, A. (2020). Hands-on Time Series Analysis with Python. *From Basics to Bleeding Edge Techniques*. Berkeley, CA: Apress. (xvii, 407 pages). <https://doi.org/10.1007/978-1-4842-5992-4>
- Wang, J., Cao, X., Cui, X., Wang, H., Zhang, H., Wang, K., Li, X., Li, Z., & Zhou, Y. (2024). Recent advances of green electricity generation: potential in solar interfacial evaporation system. *Advanced Materials*, 36(16), 2311151. <https://doi.org/10.1002/adma.202311151>
- Willmott, C. J., Rowe, C. M., & Mintz, Y. (1985). Climatology of the terrestrial seasonal water cycle. *Journal of Climatology*, 5(6), 589-606. <https://doi.org/10.1002/joc.3370050602>
- Xiao, Q., Zhou, L., Xiang, X., Liu, L., Liu, X., Li, X., & Ao, T. (2022). Integration of hydrological model and time series model for improving the runoff simulation: a case study on BTOP model in Zhou River Basin, China. *Applied Sciences*, 12(14), 6883. <https://doi.org/10.3390/app12146883>