

## Prediction of Evaporation Changes in Half Well Reservoirs of Sistanv By Using Randomized Simulator Models

Dr. AbbasAli Ghaderi<sup>1\*</sup>, Heidar Ali Yosefian Nazer<sup>2</sup>

1- Assistant Professor of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Sistan and Baluchestan

2- Graduate of Civil Engineering, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Sistan & Baluchestan



Ghaderi, A.A & Yosefian Nazer, H.A (2020). [Prediction of Evaporation Changes in Half Well Reservoirs of Sistan By Using Randomized Simulator Models]. *Geography and Development*, 18 (58), 225-238, <http://dx.doi.org/10.22111/GDIJ.2020.5362>

**doi:** <http://dx.doi.org/10.22111/GDIJ.2020.5362>

### ABSTRACT

**Received:**12/09/2019

**Accepted:**12/12/2019

#### Keywords:

Evaporation,  
Extracting the  
trend curve,  
Half well,  
Holt-Winters model,  
Sarima model.

Evaporation is one of the most important components of the hydrological cycle and its precise estimation is essential for many studies, including planning and managing water resources. In addition, water resource management has been considered on the basis of sustainable development in the world and sustainable development, in simple terms, is such a development and management that can clearly establish, maintain and enhance human quality of life at all times. Therefore, management of this vital resource in the context of the above definition is of more importance in countries with a dry and semi-arid climate. In this regard, evaporation is one of the climatic parameters and has affected the arid and semi-arid regions more than ever. Therefore, increasing awareness about the evolution of evapotranspiration is of great help to experts in the field of water resources management in the area of watershed management and agricultural operations. In Sistan, the high temperatures and winds have caused the total of 1.5 billion cubic meters of water stored in four half wells in Sistan to evaporate very large volume water annually from the surface of the half wells. Therefore, the purpose of this study is to calculate the evaporation rate, study the process of evapotranspiration, evaluate the accuracy of time series models including ARIMA, Holt-Winters, and extracting the trend models in estimating the evaporation rate and prediction of evaporation over the coming years in the Sistan partial water half wells.

Copyright©2020, Geography and Development. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution- noncommercial 4.0 International License which permits copy and redistribute the material just in noncommercial usages, provided the original work is properly cited.

### Extended Abstract

#### 1-Introduction

**E**

vaporation is one of the most important components of the hydrological cycle and its precise estimation is essential for many studies, including planning and managing water resources. In addition, water resource management has been considered on the basis of sustainable development in the world

and sustainable development, in simple terms, is such a development and management that can clearly establish, maintain and enhance human quality of life at all times. Therefore, management of this vital resource in the context of the above definition is of more importance in countries with a dry and semi-arid climate. In this regard, evaporation is one of the climatic parameters and has affected the arid and semi-arid regions more than ever. Therefore, increasing awareness about the evolution of evapotranspiration is of great help to experts in the field of water resources management in the area of watershed management and agricultural operations. In Sistan, the high temperatures and winds have caused the total of 1.5 billion cubic meters of water stored in four half wells in Sistan to evaporate very large volume water annually from the surface of the

#### \*Corresponding Author:

Dr. AbbasAli Ghaderi

**Address:** Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Sistan and Baluchestan

**Tel:** +98(9155435928)

**E-mail:** ghaderi@eng.usb.ac.ir

half wells. Therefore, the purpose of this study is to calculate the evaporation rate, study the process of evapotranspiration, evaluate the accuracy of time series models including ARIMA, Holt-Winters, and extracting the trend models in estimating the evaporation rate and prediction of evaporation over the coming years in the Sistan partial water half wells.

## 2-Methods and Material

In this research, ARIMA time series models were used to predict the evaporation from the Pan in the half wells of Sistan. For this purpose, the data and evaporation data from the Pan were used during 1997-2014. After verifying the normality of the data, the evapotranspiration was calculated using Mann-Kendall, Wald Wolfowitz and Minimum Squared Errors. The results showed that the slope of the trend line is positive. Then, to predict evaporation with Holt-Winters, extracting the trend curve and SARIMA models were used from 70% of the data for training (1997-2009) and 30% of the data for verifying (2009-2014).

## 3-Results and Discussion

The results of the Mann-Kendall tests on evaporation data indicate that evaporation from the Pan does not have a trend and the slope of the trend line is negative in Minimum Squares method. While the Wald test strongly indicates positive trend of evaporation in the region. The result of the present study shows that evaporation have occurred in the area in the region. Based on evaluation criteria the best Holt-Winters model is the model with  $\alpha$ ,  $\beta$  and  $\gamma$  coefficients at 0.1, 0.1, 0.1, respectively. So that  $\sigma^2$ , MAE, MBE and RMSE were 0.98, 65.81, 62.87 and 86.05 respectively. While the best model for extracting the trend curve is the model with  $\sigma^2$ , MAE, MBE and RMSE in 0.98, 34.02, 23.62 and 42.98 respectively. The results of the total ranking of evaluation criteria show that the SARIMA (1,1,1) (1,1,1) model has more accurately in estimate the evaporation values during the verification period (2009-2014) compared to the other model So that the  $\sigma^2$ , MAE, MBE and RMSE values were 0.98, 26, -1.82 and 34.82, respectively. Therefore, this model was used to predict evaporation until 2021. The actual and predicted evaporation rates in Sistan show that the annual evaporation rate increased from 4484 mm in 1997 to 4889 mm in 2021.

## 4-Conclusion

The predicted values of evaporation can be used to manage water resources and make necessary management decisions in the coming years. Due to the area of the half wells (more than 14500

hectares), the rate of evaporation from the half wells by 2021 will increase to more than 650 million cubic meters while the volume of half wells is more than one billion and five hundred million cubic meters, it shows that 0.4 percent of the volume of half wells water is spent to evaporate from it and is wasted. Therefore, in order to reduce evaporation from the half wells, it is necessary to provide necessary management solutions. Also, obtained results from evaporation prediction will be effective in better planning of water resources in order to considering possible ways of drought effect reduction. In Sistan region, crises such as the destruction of forests, the expansion of deserts, etc. are the main causes of the increase in evaporation. Therefore, proceedings such as reviving Hamoon Wetland, preserving and reviving the forests of Niatak and Jazink, etc., which increase humidity and thus reduce evaporation, should be given special attention.

**Keywords:** Evaporation, Extracting the trend curve, Half well, Holt-Winters model, SARIMA model.

## 5-References

- Aghajani, M., & Tabari, H. (2011). Disclosure of the process of temporal changes in the evapotranspiration of the monthly reference plant in northern and northwestern Iran. Article presented at the First National Congress of Modern Agricultural Sciences and Technologies.  
[https://www.civilica.com/Paper-MAST01-MAST01\\_061.html](https://www.civilica.com/Paper-MAST01-MAST01_061.html)
- Asadi, M. A. (2018). Prediction of evaporation and potential transpiration using NARX nonlinear model (Case study, Yazd province). *Two dry scientific-research journals*, 8(2), 37-49.  
[http://aridbiom.yazd.ac.ir/article\\_1403.html](http://aridbiom.yazd.ac.ir/article_1403.html)
- Bahmani, R., Radmanesh, F., Eslamian, S., & Parham, G. A. (2013). Reservoir evaporation trend analysis and its prediction using time series. *Irrigation Sciences and Engineering (JISE) (Scientific Journal of Agriculture)*, 36(3), 67-80.  
<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](https://books.google.com/books/about/Time_Series_Analysis.html?id=sRzvAAAAMAAJ)
- Burn, D. H., & Hesck, 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>
- Dehghani, R., Torabi, H., & Yonesi, H. A. (2018). Estimation of daily evaporation using Bayesian network (Case study: Dehno basin, Lorestan province). *Quarterly Journal of Environmental Science and Technology*, 21(5), 73-89.  
[http://jest.srbiau.ac.ir/article\\_12152\\_0.html](http://jest.srbiau.ac.ir/article_12152_0.html)

- Farsadnia, F, Zahmati, S., Qahraman, B., & Moqadamnia, A. (2015). Provide a non-supervised forecasting technique in the reference plant evapotranspiration estimate. Iranian Journal of Water Resources Research, 11(3), 31-42. [http://iwrr.sinaweb.net/article\\_13988.html](http://iwrr.sinaweb.net/article_13988.html)
- Hoseini, S. F., & Zarin, A. (2018). Predicting the effects of climate change on the evaporation of potential transpiration in the Kashfar River Basin using the RegCM4 model and the Samani Hargreaves method. Paper presented at the Second National Conference on Meteorology of Iran. <https://profdoc.um.ac.ir/paper-abstract-1069140.html>
- Jhajharia, D., Singh, V., Kumar, R., & Choudhary, R. (2015). Searching evidence for the existence of evaporation paradox in arid environments of northwest India. Glob.Nest J,17(1),3-11. [https://journal.gnest.org/sites/default/files/Submissions/gnest\\_01356/gnest\\_01356\\_published.pdf](https://journal.gnest.org/sites/default/files/Submissions/gnest_01356/gnest_01356_published.pdf)
- Khorrami, M., & Bozorgnia, A. (2017). Analysis of time series with minitab 14 software. Mashhad: Sokhan Gostar. <https://www.gisoom.com/book/1428107/%DA%A9%D8%AA%D8%A7%D8%A8-%D8%AA%D8%AC%D8%2%DB8C%D9%87-%D9%88-%D8%AA%D8%AD%D9%84%B%8C%D9%84-%D8%B3%D8%B1%DB%8C-%D9%87%D8%A7%B%8C-%D8%B2%D9%85%8%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/>
- Khorshidoost, A. M., Jahanbakhshasl, S., Abbasi, H., Farzin, S., & Mirhashemi, H. (2016). Predicting the potential of evaporation by removing data noise at Tabriz Synoptic Station. Journal of Water and Soil Knowledge, 26(4), 105-118. [https://water-soil.tabrizu.ac.ir/article\\_5859\\_728.html](https://water-soil.tabrizu.ac.ir/article_5859_728.html)
- Mianabadi, A., Alizade, A., Sanaienezad, S. H., Qahraman, B., & Davari, K. (2016). Predicting real annual evaporation changes in arid regions using the modified Badiko framework (Case study: Neishabour catchment area-Rokh). Iranian Irrigation and Drainage Magazine, 10(3), 398-411. <https://profdoc.um.ac.ir/paper-abstract-1059869.html>
- Naderianfar, M., Ansari, H., Dehghan, H., & Salari, M. (2009). Predicting groundwater level changes in Neyshabur plain with temporal series model. Paper presented at the National Conference on Sustainable Development Patterns in Water Management. [https://www.civilica.com/Paper-CSDPWM01-CSDPWM01\\_129.html](https://www.civilica.com/Paper-CSDPWM01-CSDPWM01_129.html)
- Qahraman, N., Bazrafshan, j., & Qarekhani, A. (2009). Analysis of the process of changes in evaporation from the pan on an annual and seasonal scale in Khuzestan province using parametric and non-parametric methods. Paper presented at the 10th National Irrigation and Evaporation Reduction Seminar. [https://www.civilica.com/Paper-ABYARI10-ABYARI10\\_183.html](https://www.civilica.com/Paper-ABYARI10-ABYARI10_183.html)
- Radmanesh, F., Eslamian, S., Bahmani, R., & Dadgostar, A. (2011). Investigating the process of evaporation of Dez Dam and predicting it with the help of time series. Paper presented at the First National Conference on Meteorology and Agricultural Water Management. [https://www.civilica.com/Paper-NCAGM01-NCAGM01\\_020.html](https://www.civilica.com/Paper-NCAGM01-NCAGM01_020.html)
- Ramazanietedali, H., & Ababaie, B. (2010). Use of time series models to estimate missing values and predict future time series of evaporation. Paper presented at the 3rd National Conference on Irrigation and Drainage Network Management. [https://www.civilica.com/Paper-IDNC03-IDNC03\\_105.html](https://www.civilica.com/Paper-IDNC03-IDNC03_105.html)
- 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>
- Sarani, A., Hashemimonfared, S. A., & qaderi, A. (2015). Measurement of qualitative parameters of feeding lakes due to seasonal mixing (Case study of Sistan semi-wells No. 3 and 4). Article presented at the 14th National Hydraulic Conference of Iran. [https://www.civilica.com/Paper-IHC14-IHC14\\_193.html](https://www.civilica.com/Paper-IHC14-IHC14_193.html)
- Salarijazi, M., Akhondali, A. M., & Taqian, M. (2009). Analysis of spatial and temporal evaporation from the pan in the Karun and Dez watersheds. Paper presented at the 10th National Irrigation and Evaporation Reduction Seminar. [https://www.civilica.com/Paper-ABYARI10-ABYARI10\\_154.html](https://www.civilica.com/Paper-ABYARI10-ABYARI10_154.html)
- Seifi, A., & Riahimadvar, H. (2011). Comparative evaluation of the accuracy of different time series models MA, AR, ARMA in predicting the evapotranspiration reference reference: A case study of Kerman province. Paper presented at the first Regional Conference on Water Resources Development. [https://www.civilica.com/Paper-RWRDC01-RWRDC01\\_059.html](https://www.civilica.com/Paper-RWRDC01-RWRDC01_059.html)
- Tanny, J., Cohen, S., Assouline, S., Lange, F., Grava, A., Berger, D., . . . Parlange, M. (2008). Evaporation from a small water reservoir: Direct measurements and estimates. *Journal of Hydrology*, 351(1-2), 218-229. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169407007561>
- Zareabyane, H., Afrooz, A., Mirzaie, M., & Baqeri, H. (2015). Predicting the monthly reference evapotranspiration using the time series model. *Journal of Water and Soil*, 30(1), 99-111. <https://jsw2.um.ac.ir/index.php/jsw/article/view/38212>



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

دکتر عباسعلی قادری<sup>۱\*</sup>، حیدرعلی یوسفیان ناظر<sup>۲</sup>

### چکیده

تبخیر در مطالعات هیدرولوژی و منابع آب و تعیین نیاز آبی گیاه از اهمیت خاصی برخوردار است و به‌عنوان یکی از مهم‌ترین فراسخ‌های 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 تست در چاه‌نیمه‌های سیستان از مدل‌های سری زمانی آریمای استفاده شد. بدین منظور از آمار و اطلاعات تبخیر از تست 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  $RMSE$  و  $MAE$  به ترتیب ۰/۹۸، ۰/۲۶ و 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 ۴/۱ 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: ۹۸/۰۹/۲۱  
صفحات: ۲۳۸-۲۲۵



واژه‌های کلیدی:

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

برخوردار است. در این میان تبخیر از جمله پارامترهای اقلیمی است و مناطق خشک و نیمه‌خشک را بیش‌ازپیش تحت‌تأثیر 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 کاهشی تبخیر در فصل گرم (ماه‌های اکتبر، اوت، ژوئن و ژوئیه) و روند کاهشی سرعت باد بود (Burn & Hesch, 2007: 72).

### مقدمه

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

۱- استادیار گروه عمران دانشکده فنی مهندسی سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران (نویسنده مسئول)

۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد عمران، گروه عمران دانشکده فنی مهندسی سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

ghaderi@eng.usb.ac.ir  
heidar.yosefian@gmail.com

همکاران در تحقیقی دقت مدل‌های مختلف سری زمانی در پیش‌بینی تبخیر- عرق مرجع استان کرمان را مورد ارزیابی قرار دادند (سیفی و ریاحی‌مدوار، 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 قابل اعتمادتر 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 شده است. 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 نشده است. براساس نتایج به دست آمده، ماه فوریه دارای بیشترین تعداد روندهای افزایشی معنی‌دار بوده است (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 کوتاه مدت قابل اطمینان هستند (Bahmani et al, 2013: 79). ژاژاریا و همکاران به بررسی روندیابی تبخیر از تشت با استفاده از روش‌های پارامتری (شیب خط رگرسیون) و

سالاری جزی و همکاران به تجزیه و تحلیل روند مکانی و زمانی تبخیر از تشت در حوضه آبریز کارون و دز 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 بوده است. 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

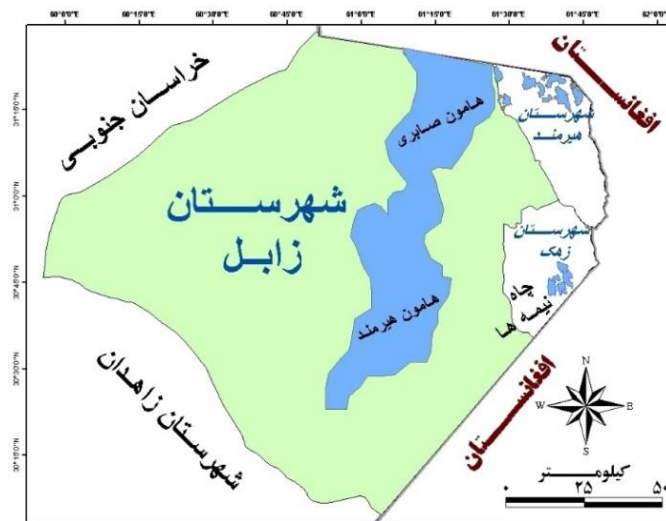
نتایج بررسی تغییر اقلیم نشان داد که مقدار بارش کاهش و دمای متوسط، تبخیر پتانسیل و تبخیر واقعی افزایش خواهد یافت (میان‌آبادی و همکاران، ۱۳۹۵: ۴۰۸). خورشیددوست و همکاران در مطالعه‌ای به پیش‌بینی پتانسیل تبخیر با حذف نویز داده‌ها در ایستگاه سینوپتیک تبریز با استفاده از دو رویکرد شبکه عصبی و شبکه عصبی-موجکی همراه با نویززدایی 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 به‌دست‌آمده 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 قابل‌توجهی 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 به‌کاررفته با دقت قابل‌قبولی 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 شده‌است تا از مجموع ۱/۵ میلیارد مترمکعب آب ذخیره‌شده در چهار چاه‌نیمه سیستان، سالانه حجم بسیار زیادی آب از سطح چاه‌نیمه‌ها تبخیر شود؛

ناپارامتری (من-کندال) در شمال هند پرداختند. نتایج به‌دست‌آمده 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 شده‌است؛ در نتیجه برای مصارف شرب و کشاورزی نیاز به کنترل کیفی آب است (سارانی و همکاران، ۱۳۹۴: ۴۴). فرسادنیا و همکاران در تحقیقی با استفاده از روش نگاشت خود-سامان به‌عنوان یک روش شبکه عصبی مصنوعی غیر-نظارت‌شونده به پیش‌بینی تبخیر-تعرق گیاه مرجع پرداختند. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که حتی ساده‌ترین مدل نگاشت خود-سامان با ترکیب متوسط دمای هوا و حداکثر ساعات آفتابی به‌عنوان ورودی نیز خطای کمتری نسبت به معادلات تجربی دارد (فرسادنیا 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 برآزش و مناسب‌ترین آن‌ها انتخاب شدند. سپس از مدل‌های آریمای فصلی برای پیش‌بینی ۱۲ ماهه استفاده شد که پیش‌بینی‌های خارج از نمونه خوبی به‌دست دادند؛ به‌طوری‌که در بین همه ایستگاه‌های مورد بررسی کمترین ضریب همبستگی پیرسون ۰٫۹۸۸ و بیشترین جذر میانگین مربع خطا ۰٫۵۱۵ میلی‌متر بر روز به‌دست 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.

## 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 شده است.

بنابراین هدف از تحقیق حاضر محاسبه میزان تبخیر، بررسی روند تغییرات تبخیر، ارزیابی دقت مدل‌های سری زمانی شامل مدل‌های آریما<sup>۱</sup>، هالت-وینترز<sup>۲</sup> 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،  $\mu$ : میانگین سری،  $\theta$ : 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 برپایه زنجیره مارکوف<sup>۴</sup> در زنجیره زمانی بنا شده است. یک سری زمانی از زنجیره مارکوف تبعیت می‌کند، هرگاه که هر داده ثبت شده 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



داده می‌شود.  $\alpha$ ،  $\beta$  و  $\gamma$  ضرایب هموارسازی نمایی حالت-وینترز هستند که بین صفر و یک می‌باشند (خرمی و بزرگ‌نیا، ۱۳۸۶: ۵۴).

### 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<sup>۱</sup> حاصل می‌شود. در هر پریود فصلی، میانه مقادیر فصلی خام محاسبه شده و سپس تعدیل می‌شود. این میانه‌های تعدیل‌شده را شاخص‌های فصلی<sup>۲</sup> می‌نامند. از این شاخص‌های فصلی برای تبدیل داده‌ها به داده‌های فصلی تعدیل‌شده<sup>۳</sup> استفاده می‌شود. برای این منظور از نرم‌افزار مینی‌تب<sup>۴</sup> ۱۵ استفاده شد (خرمی و بزرگ‌نیا، ۱۳۸۶: ۶۳).

### آزمون کمترین مربعات خط<sup>۵</sup>

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  $t = \frac{b}{S_b}$  که در آن  $b$  عرض از مبدأ خط برازش داده شده و  $S_b$  انحراف معیار داده‌ها است، تعریف می‌شود.

### 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:

$$\bar{X}_t = \alpha(\bar{X}_{t-1} + T_{t-1}) + (1-\alpha)\frac{X_t}{F_{t-s}} \quad 2$$

$$T_t = \beta T_{t-1} + (1-\beta)(\bar{X}_t - \bar{X}_{t-1}) \quad 3$$

$$F_t = \gamma F_{t-s} + (1-\gamma)\frac{X_t}{\bar{X}_t} \quad 4$$

اگر سری،  $S$  دوره زمانی در هر سال داشته باشد، عامل فصلی مرتبط با آن در سال قبل با  $F_{t-s}$  نشان

۵

که در آن  $n$  تعداد گروه‌های جفتی و  $e_i$  تعداد مشاهدات در  $i$ امین گروه است. در این روش فرض می‌شود 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 نمی‌تواند رد شود (نادریان‌فر و همکاران، ۱۳۸۸: ۱۷).

### آزمون والد-ولفowitz<sup>۱</sup>

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 می‌کند (نادریان‌فر و همکاران، ۱۳۸۸: ۱۸).

۱۰

$$\begin{aligned} \bar{R} &= (S_1^2 - S_2^2) / (N-1) \\ \text{Var}(R) &= (S_2^2 - S_4^2) / (N-1) - \bar{R}^2 \\ &+ (S_1^4 - 4S_1^2 S_2^2 + 4S_1 S_3^2 + S_2^2 - 2S_4^2) / ((N-1)(N-2)) \end{aligned}$$

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 می‌کند و برای آزمون فرضیه استقلال در سطح  $\alpha$  می‌توان  $|u|$  را با  $u_{\alpha/2}$  متنظر با احتمال تجاوز  $\alpha/2$  مقایسه کرد (نادریان‌فر و همکاران، ۱۳۸۸: ۱۹).

### ارزیابی مدل

در این تحقیق، برای ارزیابی دقت مدل‌ها و مقایسه نسبی نتایج به دست آمده از هر یک از آن‌ها، با داده‌های واقعی از نمایه‌های آماری زیر استفاده شده است.

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

که در آن  $S^2$  از رابطه (۶) به دست می‌آید:

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

فرضیه‌های صفر و مقابل به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$H_0: b=0, H_1 \neq 0 \quad ۷$$

اگر قدر مطلق  $t = b / S_b$  از  $t_{1-\frac{\alpha}{2}, n-2}$  از جدول تی-

استیودنت بزرگ‌تر باشد، فرض  $H_0$  رد خواهد شد، در این صورت شیب خط اختلاف معنی‌داری با صفر خواهد داشت و در سطح ۵ درصد معنی‌دار است و از آن به عنوان روند در سری زمانی یاد می‌شود (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 ( $N$  تعداد سال‌های آماری است)، هر مقدار  $y_t'$  (به طوری که  $t=t'+1, t'+2, \dots, N$ ) مقایسه می‌شود 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 می‌شود به طوری که در آن  $K = (t'-1)(2N-t')/2 + (t-t')$  است. آماره من-کندال ( $U_c$ ) از رابطه ۸ به دست می‌آید 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.

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

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

به هر روش براساس معیارهای ذکر شده 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 تشت 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		تبخیر
روند منفی	-۰/۰۰۰۳	روند مثبت	۷۵/۹۴*	روند ندارد	-۰/۷۳ <sup>ns</sup>	

\* و ns به ترتیب معنی‌داری قوی و عدم معنی‌داری است. مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۴

است به طوری که میزان  $MAE$ ،  $R^2$ ،  $MBE^2$  و  $RMSE^2$  به ترتیب ۰/۹۸، ۶۵/۸۱، ۶۲/۸۷ و ۸۶/۰۵ به دست آمد. درحالی‌که پس از آن مدل حالت-وینترز با مؤلفه سطح، روند و فصل به ترتیب ۰/۶، ۰/۲، ۰/۲ دارای  $R^2$ ،  $MAE$ ،  $MBE$  و  $RMSE$  به ترتیب 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  $\sigma$  به ترتیب کوواریانس و واریانس بین متغیر  $X$  و  $Y$ ، هرچه مقادیر مجذور میانگین مربعات خطا و میانگین انحراف خطا کمتر باشد، دقت روش بیشتر است.

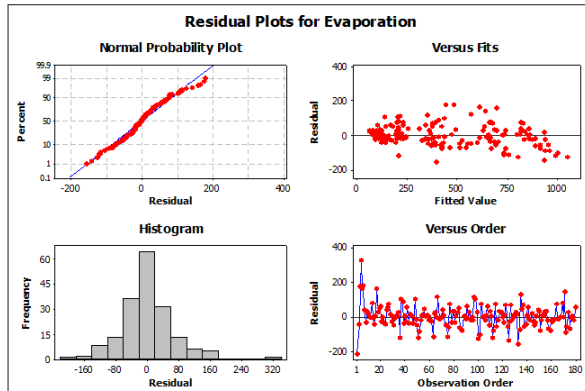
$MAE$  ۱ معرف انحراف معیار است که هرچه مقدار آن به صفر نزدیک‌تر باشد، انحراف روش کمتر خواهد بود (Tanny et al, 2008: 227). برای یافتن مدل برتر

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

#### پیش‌بینی با مدل حالت-وینترز<sup>۱</sup>

با ایجاد تغییر در سه مؤلفه سطح، روند و فصل که به ترتیب با  $\alpha$ ،  $\beta$  و  $\gamma$  نشان داده می‌شود، بهترین مدل براساس معیارهای ارزیابی به دست آمد. نتایج حاکی از آن است که مدل حالت وینترز با سه مؤلفه سطح، روند و فصل با ضریب ۰/۱ دارای رتبه کمتری

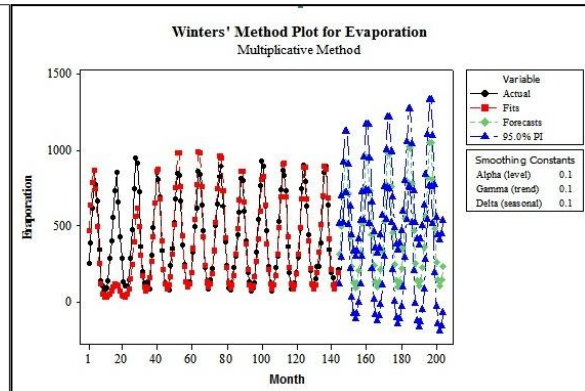
بررسی باقیمانده‌های حاصل از برازش مدل پرداخته شده که حاکی از نرمال بودن باقیمانده‌ها دارد و نشان می‌دهد که مدل خطای کمتری دارد.



شکل ۳: تجزیه و تحلیل باقیمانده‌های بهترین مدل

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۴

نشان‌دهنده برازش حاصل از بهترین مدل حالت-وینترز با ضرایب  $\alpha$ ،  $\beta$  و  $\gamma$  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



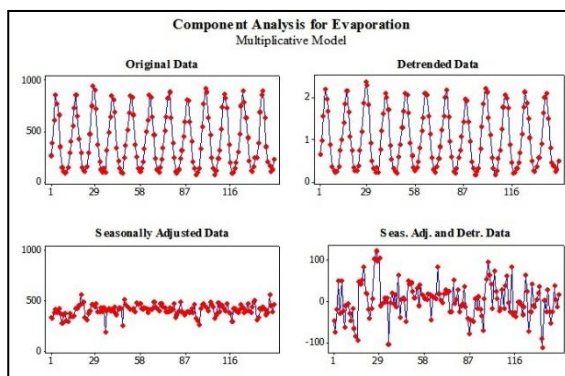
شکل ۲: برازش بهترین مدل حالت وینترز

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.

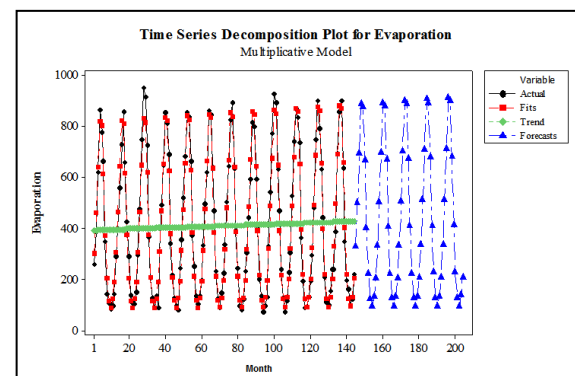
### مدل برون‌یابی منحنی روند

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



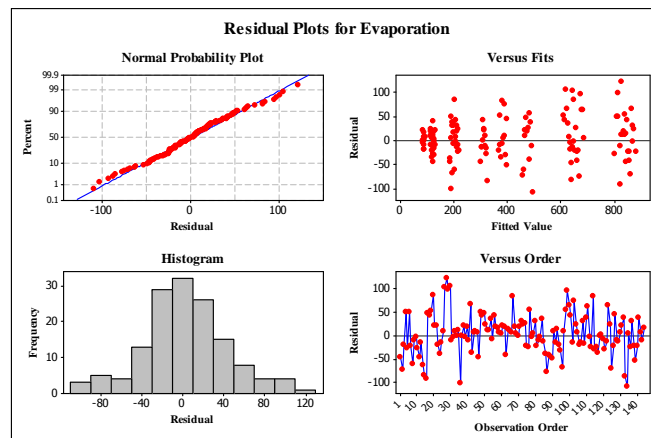
شکل ۵: آنالیز مؤلفه‌های اصلی پیش‌بینی به روش برون‌یابی روند

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۴



شکل ۴: مقادیر واقعی و تخمینی مدل برون‌یابی روند

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۴



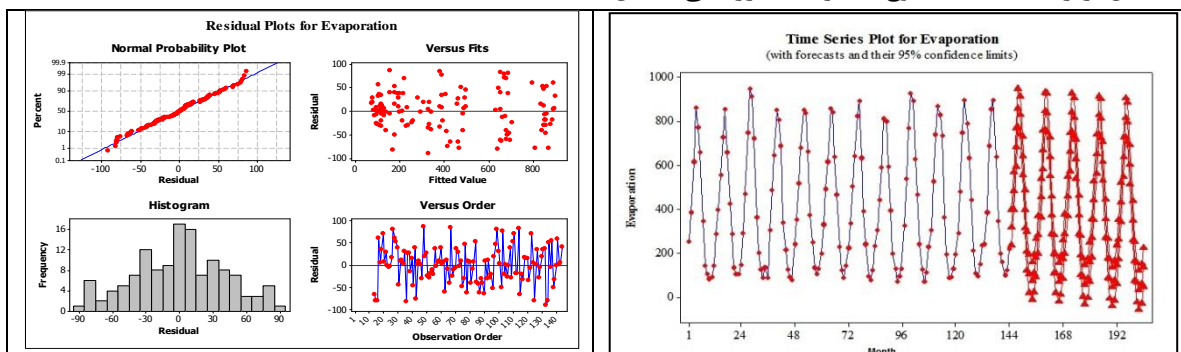
شکل ۶: تجزیه و تحلیل باقیمانده‌های مدل برون‌یابی روند

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۴

مدل ساریما<sup>۱</sup> که مدل ساریما  $(1,1,1)(1,1,1)$  دقت بیشتری در تخمین مقادیر تبخیر در دوره صحت‌سنجی  $(1388-1393)$  نسبت به سایر مدل‌ها دارد به طوری که مقدار  $R^2$ ، MAE، MBE و RMSE به ترتیب  $0.98$ ،  $26$ ،  $1/82$  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  $0.98$ ،  $26/71$ ،  $9/19$  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<sup>۱</sup>

تابع خود همبستگی برای سری 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  $ACF^2$  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

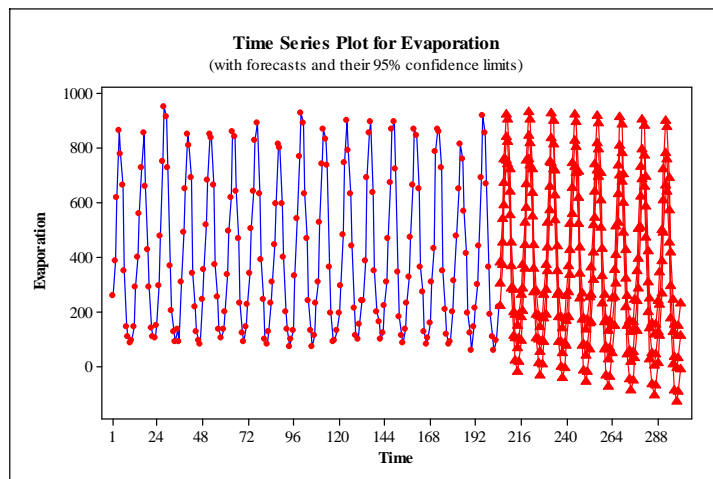
شکل ۷: مقادیر پیش‌بینی با مدل ساریما  $(1,1,1)(1,1,1)$ 

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۴

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

RMSE	MAE	MBE	R <sup>2</sup>	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

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 به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک اهمیت ویژه‌ای دارد. در منطقه سیستان درجه حرارت بالا و

مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده تبخیر در سیستان نشان می‌دهد که میزان تبخیر سالانه از سال ۱۳۷۶ تا سال ۱۴۰۰ از ۴۴۸۴ میلی‌متر به ۴۸۸۹ میلی‌متر افزایش یافته است. لازم به ذکر است که مقادیر تبخیر سالانه از سال ۱۳۹۳ تا ۱۴۰۰ با استفاده از بهترین مدل به دست 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 مترمکعب افزایش می‌یابد، در حالی که حجم چاه‌نیمه‌ها بیش از یک میلیارد و پانصد میلیون مترمکعب بوده و نشان می‌دهد ۰/۴ حجم آب چاه‌نیمه‌ها صرف تبخیر از آن می‌شود و هدر می‌رود. با توجه به مطالب فوق و آنچه از مدل‌های آماری که در

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 شمال غرب ایران. مقاله ارائه شده در اولین کنگره ملی علوم و فناوری‌های نوین کشاورزی. [https://www.civilica.com/Paper-MAST01-AST01\\_061.html](https://www.civilica.com/Paper-MAST01-AST01_061.html)
- اسدی، محمدامین (۱۳۹۷). پیش‌بینی تبخیر و تعرق پتانسیل با استفاده از مدل غیرخطی NARX (مطالعه موردی، استان یزد)، فصلنامه علمی - پژوهشی خشک‌بوم دوره هشتم. شماره پیاپی ۲. صفحات ۴۹-۳۷. [http://aridbiom.yazd.ac.ir/article\\_1403.html](http://aridbiom.yazd.ac.ir/article_1403.html)
- حسینی، سیده فاطمه؛ 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 ارائه شده 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 مینی‌ت‌ب ۱۴. مشهد. سخن‌گستر. <https://www.gisoom.com/book/1428107/%DA%A9%D8%A%D8%A7%D8%A8-%D8%AA%D8%AC%D8%B2%DB8C%D9%87-%D9%88-%D8%AA%D8%AD%D9%84%B%8C%D9%84-%D8%B3%D8%B1%DB%8C-%D9%87%D8%A7%DB%8C-%D8%B2%D9%85%8%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/>
- همچنین وزش باد موجب شده است تا سالانه حجم بسیار زیادی از آب ذخیره شده 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 به صورت فعالیت‌های آبخیزداری و عملیات کشاورزی می‌کند. در این تحقیق به منظور 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 به دست آمد. سپس برای پیش‌بینی تبخیر با مدل‌های هالت-وینترز، برون-یابی 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، به طوری که مقدار  $R^2$ ، MAE، MBE و RMSE به ترتیب ۰/۹۸، 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 در جهت کاهش تبخیر از چاه‌نیمه‌ها ارائه راهکارهای مدیریتی لازم ضروری است. همچنین برنامه‌ریزی بهتر منابع آب در جهت بهره‌برداری مطلوب برای تخفیف اثرات احتمالی ناشی

- خورشیددوست، علی محمد؛ سعید جهانبخش اصل؛ 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](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](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 ارائه شده در اولین کنفرانس ملی هواشناسی و مدیریت آب کشاورزی.  
[https://www.civilica.com/Paper-NCAGM01-NCAGM01\\_020.html](https://www.civilica.com/Paper-NCAGM01-NCAGM01_020.html)
- رضانی‌اعتدالی، هادی؛ بهنام ابابایی (۱۳۸۹). استفاده از مدل‌های سری زمانی در برآورد مقادیر مفقود و پیش‌بینی مقادیر آبی سری زمانی تبخیر. مقاله ارائه شده در سومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی.  
[https://www.civilica.com/Paper-IDNC03-IDNC03\\_105.html](https://www.civilica.com/Paper-IDNC03-IDNC03_105.html)
- زارع‌ابیان، حمید؛ علی افروزی؛ محسن میرزایی؛ حسین باقری (۱۳۹۴). پیش‌بینی تبخیر-تغرق 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 ارائه شده در چهاردهمین کنفرانس ملی هیدرولیک ایران.  
[https://www.civilica.com/Paper-IHC14-IHC14\\_193.html](https://www.civilica.com/Paper-IHC14-IHC14_193.html)
- سیفی، اکرم؛ حسین ریاحی‌مدوار (۱۳۹۰). ارزیابی مقایسه‌ای دقت مدل‌های مختلف سری زمانی MA,AR,ARMA در پیش‌بینی تبخیر تغرق مرجع: مطالعه موردی استان کرمان. مقاله ارائه شده در اولین همایش منطقه‌ای توسعه منابع آب.  
[https://www.civilica.com/Paper-RWRDC01-RWRDC01\\_059.html](https://www.civilica.com/Paper-RWRDC01-RWRDC01_059.html)
- سالاری‌جزی، میثم؛ علی محمد آخوندعلی؛ مهرداد تقیان (۱۳۸۸). تجزیه و تحلیل روند مکانی و زمانی تبخیر از تشت در حوضه آبریز کارون و دز. مقاله ارائه شده در دهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر.  
[https://www.civilica.com/Paper-ABYARI10-ABYARI10\\_154.html](https://www.civilica.com/Paper-ABYARI10-ABYARI10_154.html)
- فرسادیان، فرهاد؛ سعیده زحمتی؛ بیژن قهرمان؛ علیرضا مقدم‌نیا (۱۳۹۴). ارائه تکنیک پیش‌بینی غیرنظارت‌شونده در برآورد تبخیر-تغرق گیاه مرجع، مجله تحقیقات منابع آب ایران دوره یازدهم. شماره پیاپی ۳. صفحات ۴۲-۳۱.  
[http://iwrr.sinaweb.net/article\\_13988.html](http://iwrr.sinaweb.net/article_13988.html)
- قهرمان، نوذر؛ 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 ارائه شده در دهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر.  
[https://www.civilica.com/Paper-ABYARI10-ABYARI10\\_183.html](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؛ مژده سالاری (۱۳۸۸). پیش‌بینی تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت نیشابور با مدل سری‌های زمانی. مقاله ارائه شده در همایش ملی الگوهای توسعه پایدار در مدیریت آب.  
[https://www.civilica.com/Paper-CSDPWM01-CSDPWM01\\_129.html](https://www.civilica.com/Paper-CSDPWM01-CSDPWM01_129.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](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>
- Jhajharia, 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](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>

