



دانشگاه گوارز و منابع طبیعی

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیست و دوم، شماره پنجم، ۱۳۹۴

<http://jwsc.gau.ac.ir>

گزارش کوتاه علمی

## مدل‌سازی تبخیر- تعرق پتانسیل ماهانه با استفاده از برنامه‌ریزی ژنتیک در استان سیستان و بلوچستان

\*ام‌البنی محمدرضاپور<sup>۱</sup>، امین امینی‌راکان<sup>۲</sup> و فاطمه کاراندیش<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup>استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه زابل، دانش‌آموخته گروه مهندسی منابع آب، دانشگاه زابل

تاریخ دریافت: ۹۳/۵/۱۴؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۲/۳

### چکیده

**سابقه و هدف:** تبخیر- تعرق یکی از پارامترهایی اساسی در حوزه‌های مختلف کشاورزی و مدیریت منابع آبی بوده و پیش‌بینی آن در تعیین سیاست‌های آینده این بخش‌ها جزو ملزومات می‌باشد. بنابراین در این پژوهش، با استفاده از روش برنامه‌ریزی ژنتیک، مدلی برای بررسی روند تغییرات میزان تبخیر- تعرق در استان سیستان و بلوچستان از روش برنامه‌ریزی ژنتیک تدوین گردید.

**مواد و روش‌ها:** بدین منظور، میزان تبخیر- تعرق مرجع در مقیاس ماهانه با استفاده از روش پنمن-مانتیت و بر اساس داده‌های هواشناسی از قبیل میانگین دما، رطوبت نسبی، ساعات آفتابی، سرعت باد و مقدار بارش برای یک دوره ۴۰ ساله در طی سال‌های ۱۳۴۵ تا ۱۳۹۱ در ایستگاه‌های زابل، ایرانشهر، چابهار و زاهدان محاسبه شده و در ۱۶ الگوی زمانی تأخیری جداگانه مرتب شد. سپس به مدل‌سازی مقادیر تبخیر- تعرق ماهانه بر اساس برنامه‌ریزی ژنتیک با استفاده از نرم‌افزار GeneXproTools برای توسعه و اجرای مدل‌های مبتنی بر برنامه‌ریزی ژنتیک استفاده شد. ۸۰٪ داده‌ها در بخش آموزش برای تدوین مدل‌ها و ۲۰٪ درصد در بخش آزمون برای صحت‌سنجی مدل‌ها و برآورد میزان دقت آن‌ها مورد استفاده قرار گرفت. در انتها، از شاخص‌های ضریب تبیین ( $R^2$ ) و جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) به منظور بررسی و ارزیابی دقت مدل در مقایسه با روش پنمن-مانتیت استفاده شد.

**یافته‌ها:** بر اساس آماره‌های ضریب تبیین و جذر مربعات خطا مشخص شد در تمامی ایستگاه‌ها و مدل‌های ارایه شده بر اساس الگوهای ۱، ۲ و ۳، به‌علت کم بودن حافظه مدل یا متغیر مستقل، از دقت کمی برای پیش‌بینی میزان تبخیر- تعرق برخوردار هستند. بهترین مدل‌ها برای ایستگاه‌های زاهدان، زابل، ایرانشهر و چابهار به‌ترتیب در الگوهای ۱۳، ۱۰، ۱۲ و ۱۳ به‌دست آمد. همچنین بهترین مدل برای ایستگاه زابل با خطای ۱/۰۳ میلی‌متر در روز و ضریب تبیین ۰/۹۶ به‌دست آمد.

**نتیجه‌گیری:** نتایج مدل‌سازی نشان‌دهنده این است که تمامی مدل‌های قابل قبول این مطالعه در الگوهای بالای ۱۰ به‌دست آمده است و همچنین روش برنامه‌ریزی ژنتیک روش مناسبی برای مدل‌سازی سری ماهانه تبخیر- تعرق می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** برنامه‌ریزی ژنتیک، پنمن-مانتیت، تبخیر- تعرق، سیستان و بلوچستان

\*مسئول مکاتبه: [mohammadrezapour@uoz.ac.ir](mailto:mohammadrezapour@uoz.ac.ir)

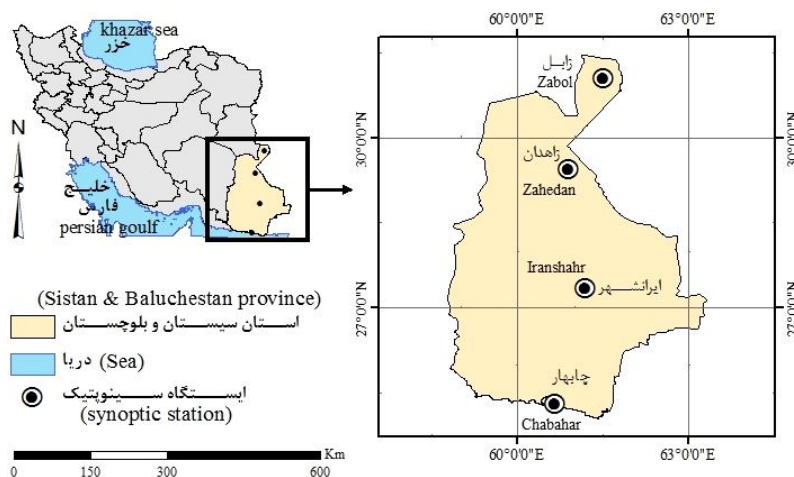
## مقدمه

تبخیر- تعرق مهم‌ترین بخش تشکیل‌دهنده چرخه هیدرولوژیکی پس از بارش بوده و هر گونه تغییر در پارامترهای اقلیمی به دلیل گرمایش جهانی آن را متأثر خواهد کرد (1). روش‌های زیادی برای محاسبه تبخیر- تعرق گیاهان وجود دارد که یکی از پرکاربردترین آن‌ها، استفاده از تبخیر- تعرق مرجع و ضرایب گیاهی می‌باشد (9). تغییرپذیری زیاد تبخیر- تعرق سبب شده که مدل‌های خطی، عملکرد مناسبی در این زمینه نداشته باشند و پژوهشگران به استفاده از مدل‌های غیرخطی روی آورند. استفاده از روش‌های غیرمستقیم مانند شبکه‌های عصبی مصنوعی، منطق فازی و برنامه‌ریزی ژنتیک از راه‌های چیرگی بر این مشکل می‌باشد (10). نتایج بسیاری از پژوهش‌های پیشین بیانگر دقت بالای مدل‌های هوش مصنوعی در تخمین میزان تبخیر- تعرق در مقیاس‌های زمانی

مختلف می‌باشد (6, 7, 11, 2, 3, 4, 5). با این وجود، استفاده از روش برنامه‌ریزی ژنتیک در مدل‌سازی سری زمانی میزان تبخیر- تعرق ماهانه تاکنون مورد بررسی قرار نگرفته است. با توجه به کارایی بالای مدل برنامه‌ریزی ژنتیک، در این پژوهش، دقت این روش در برآورد میزان تبخیر- تعرق مرجع در چهار ایستگاه سینوپتیک زاهدان، زابل، ایرانشهر و چابهار در استان سیستان و بلوچستان مورد بررسی قرار گرفت.

## مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش استان سیستان و بلوچستان با مساحتی حدود ۱۸۱۴۷۱ کیلومتر مربع در حد فاصل بین ۲۵ تا ۳۱ درجه عرض شمالی و ۵۸ تا ۶۳ درجه طول شرقی کشور می‌باشد. شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱- ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه در استان سیستان و بلوچستان.

Figure 1. Chosen Synoptic stations in Sistan and Baluchestan province for study.

چهار ایستگاه سینوپتیک در شهرستان‌های زاهدان، زابل، ایرانشهر و چابهار در طی سال‌های ۱۳۴۵ تا ۱۳۹۱ استفاده شد. سپس به مدل‌سازی مقادیر تبخیر- تعرق ماهانه بر اساس برنامه‌ریزی ژنتیک پرداخته شد.

به‌منظور محاسبه تبخیر- تعرق ماهانه با استفاده از رابطه پنمن- مانیتث (8)، از داده‌های هواشناسی از قبیل میانگین دما، رطوبت نسبی، ساعات آفتابی، سرعت باد و مقدار بارش برای یک دوره ۴۰ ساله در

**نتایج و بحث**

پس از آموزش مدل‌های استخراج شده بر اساس ۸۰ درصد داده‌ها، از مدل‌های ساخته‌شده در مرحله بعدی برای آزمون استفاده شد. در بخش آزمون یا صحت‌سنجی، اعداد به‌دست آمده از مدل‌های مختلف با مقادیر تبخیر و تعرق محاسبه شده از رابطه پنمن-مانتیت در هر ایستگاه بر اساس شاخص‌های ارزیابی منتخب مقایسه شد. جدول ۱ مقادیر خطا و ضریب تبیین در مرحله آزمون را نشان می‌دهد. در تمامی ایستگاه‌ها و مدل‌های ارایه شده بر اساس الگوهای ۱، ۲ و ۳، به‌علت کم بودن حافظه مدل یا متغیر مستقل، از دقت کمی برای پیش‌بینی میزان تبخیر-تعرق برخوردار هستند. ولی، با افزایش حافظه مدل در الگوهای بالاتر، دقت مدل‌ها افزایش پیدا کرده و از الگوی دهم به بعد، به بیش‌ترین میزان دقت خود رسید.

در این پژوهش از نرم‌افزار GeneXproTools برای توسعه و اجرای مدل‌های مبتنی بر برنامه‌ریزی ژنتیک استفاده شد. مقدار ۸۰ درصد داده‌ها برای آموزش و ۲۰ درصد داده‌ها برای آزمون انتخاب شدند. داده‌های آموزش به‌منظور آموزش ماهیت سازوکار پدیده مورد بررسی انتخاب و در شانزده الگوی مختلف وارد نرم‌افزار شدند. الگوی یک در واقع مدل‌سازی تبخیر-تعرق ماه حاضر با استفاده از تبخیر-تعرق یک ماه قبل و الگوی دو محاسبه ماه حاضر با استفاده از تبخیر-تعرق یک و دو ماه قبل و به همین ترتیب مدل الگوی شانزده متشکل از تبخیر-تعرق شانزده ماه قبل می‌باشد. در انتها، از شاخص‌های ضریب تبیین ( $R^2$ ) و جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) به‌منظور بررسی و ارزیابی دقت مدل در مقایسه با روش پنمن-مانتیت استفاده شد.

جدول ۱- ضریب تبیین و خطای مدل‌های مختلف در بخش آزمون (خطا بر حسب میلی‌متر بر روز می‌باشد).

**Table 1. Determination coefficient and Root Mean Square Error (mm/day) of various models in test period.**

چابهار (Chabahar)		ایران‌شهر (Iranshahr)		زابل (Zabol)		زاهدان (Zahedan)		الگو (pattern)
$R^2$	RMSE	$R^2$	RMSE	$R^2$	RMSE	$R^2$	RMSE	
0.614	0.593	0.716	1.610	0.705	2.933	0.710	1.311	1
0.711	0.516	0.885	1.195	0.929	1.602	0.896	0.805	2
0.778	0.449	0.923	0.979	0.919	1.665	0.861	0.970	3
0.804	0.439	0.914	1.140	0.923	2.166	0.929	0.761	4
0.777	0.467	0.919	1.108	0.975	1.302	0.887	0.825	5
0.783	0.452	0.912	0.885	0.904	1.680	0.919	0.746	6
0.756	0.484	0.931	1.049	0.915	1.597	0.930	0.745	7
0.775	0.449	0.925	0.880	0.946	1.277	0.937	0.764	8
0.759	0.494	0.867	1.125	0.877	2.723	0.910	0.730	9
0.795	0.439	0.886	1.444	0.964	1.035	0.923	0.684	10
0.798	0.435	0.924	0.905	0.954	1.232	0.923	0.677	11
0.816	0.435	0.929	0.835	0.945	1.263	0.938	0.606	12
0.836	0.387	0.900	1.015	0.946	1.255	0.950	0.575	13
0.812	0.468	0.902	1.014	0.946	1.246	0.937	0.655	14
0.770	0.456	0.869	1.104	0.950	1.203	0.939	0.602	15
0.808	0.415	0.902	1.056	0.947	1.251	0.942	0.593	16

$$ET_t = Arctg(ET_{t-1}) - Arctg(Exp(5/186 - ET_{t-1})) - \frac{ET_{t-2} - ET_{t-1} - \frac{ET_{t-2}}{1/64} + \frac{ET_{t-1}}{3/567}}{ET_{t-1}} \quad (3)$$

$$\frac{ET_{t-2} + ET_{t-1} - 2/1762 + Ln\sqrt{ET_{t-1}}}{ET_{t-1}} + ET_{t-1} \quad (4)$$

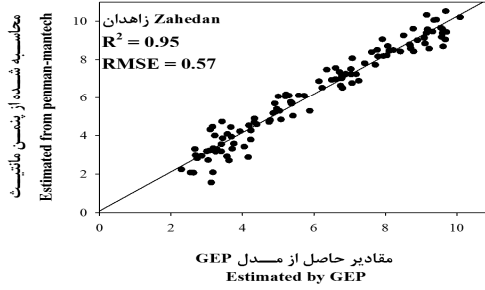
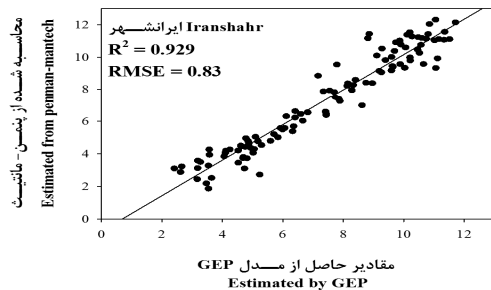
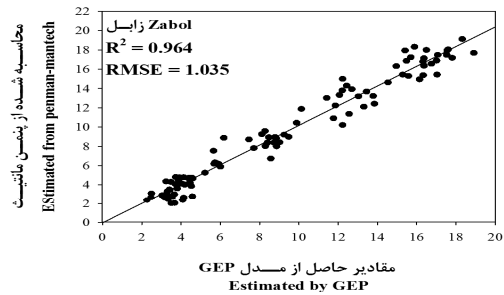
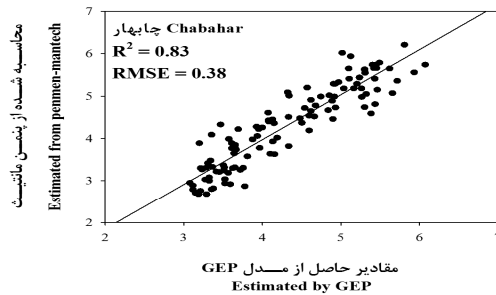
$$ET_t = Sin[ET_{t-1} Sin[Sin(LnET_{t-1}) + Sin(LnET_{t-2})]] + ArctgET_{t-1} + ET_{t-1} + Arctg\left[\frac{8/307}{ET_{t-2} - 8/307ET_{t-1}} + ET_{t-3}\right]$$

که در آن‌ها،  $ET_t$  مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل در ماه  $t$  ام و  $ET_{t-n}$  مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل در  $n$  ماه قبل می‌باشد. با تعیین روابط ریاضی بر اساس الگوهای مذکور، میزان تبخیر-تعرق در ایستگاه‌های مورد بررسی محاسبه شد. شکل‌های ۲ و ۳ به ترتیب روند تغییرات مقادیر تبخیر-تعرق روزانه و انطباق بین مقادیر برآورد شده با رابطه پنمن مانتیث و روابط ریاضی استخراج شده را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود مدل‌های تدوین شده به خوبی توانسته‌اند دوره‌های ماهانه را پیش‌بینی کنند.

بر اساس آماره‌های ضریب تبیین و جذر مربعات خطا، بهترین مدل‌ها برای ایستگاه‌های زاهدان، زابل، ایرانشهر و چابهار به ترتیب در الگوهای ۱۳، ۱۰، ۱۲ و ۱۳ به دست آمد (جدول ۱). بنابراین، می‌توان از مدل‌های به دست آمده از این الگوها برای پیش‌بینی تبخیر-تعرق مناطق استفاده نمود. همچنین بهترین مدل در ایستگاه زابل با ضریب تبیین ۰/۹۶ به دست آمده است. ساختار ریاضی این روابط برای ایستگاه‌های مذکور به ترتیب در روابط یک تا چهار ارائه شده است.

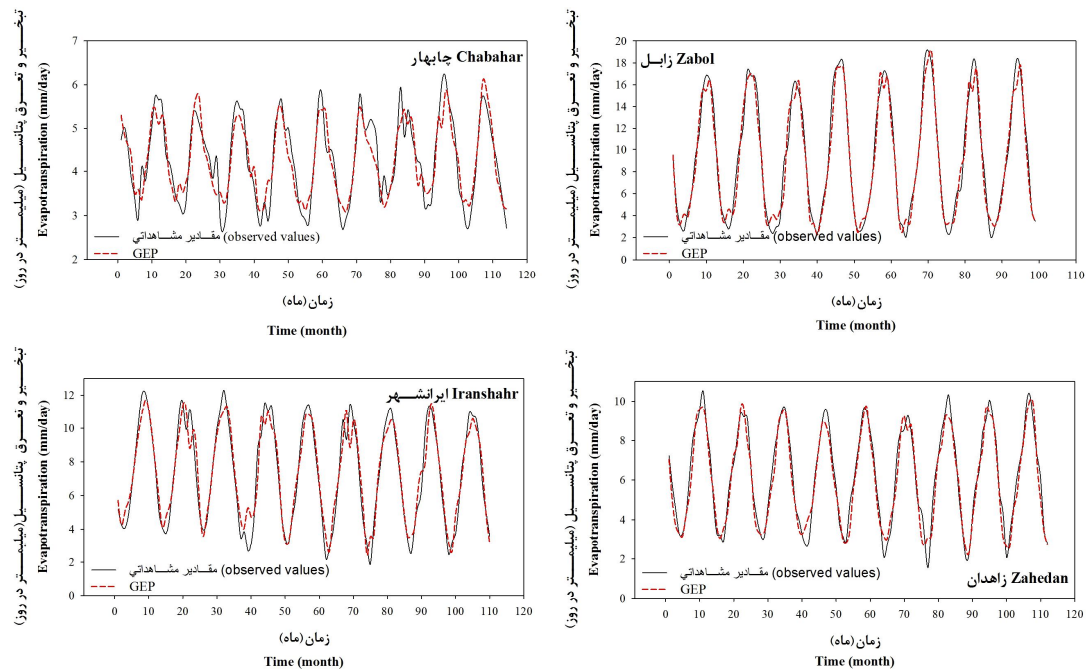
$$ET_t = \frac{ET_{t-1}ET_{t-1}}{ET_{t-2} + ET_{t-1}} + 2\left[ Sin(Exp(Sin\sqrt{ET_{t-1}})) \right] + LnET_{t-2} \quad (1)$$

$$ET_t = 1/69 \cdot Arctg(ET_{t-1} + ET_{t-1} + \sqrt{ET_{t-1}}) + Arctg(2ET_{t-1} - ET_{t-2}) + ET_{t-1} - LnET_{t-2} - LnET_{t-1} + 1/265 + \sqrt{Ln(ET_{t-2} + ET_{t-1})} \quad (2)$$



شکل ۲- مقایسه مقادیر تبخیر-تعرق از رابطه پنمن مانتیث و مقادیر محاسبه شده از مدل GEP حاصل از بهترین مدل‌های انتخاب شده برای هر ایستگاه (بر حسب میلی‌متر بر روز).

Figure 2. Comparison of Evapotranspiration estimated by Penman-Monteith and best models of GEP for stations (mm/day).



شکل ۳- تغییرات تبخیر- تعرق محاسبه شده از مدل GEP حاصل از بهترین الگوهای انتخاب شده برای هر ایستگاه در دوره آزمون.

Figure 3. Variation of estimated evapotranspiration from best chosen patterns using GEP for all stations in test period.

اطلاعاتی از وضعیت رابطه بین متغیرهای ورودی و خروجی حاصل نمی‌شود، اما برنامه‌ریزی بیان ژن می‌تواند چنین رابطه‌ای را شناسایی کرده و ارائه دهد و بنابراین با استفاده از این مدل می‌توان اقدام به بررسی و صحت‌سنجی برخی مدل‌های تجربی نمود. در نتیجه روش برنامه‌ریزی ژنتیک یک روش بسیار مناسب و دقیق برای مدل‌سازی پارامترهای اقلیمی به‌خصوص تبخیر- تعرق می‌باشد.

### سپاسگزاری

بدین وسیله از پژوهشکده تالاب هامون دانشگاه زابل که این پژوهش با حمایت مالی آن پژوهشکده صورت پذیرفت سپاسگزاری می‌نمائیم.

### نتیجه‌گیری

نظر به دشواری تخمین تبخیر- تعرق با ماهیت هیدرولوژیکی، در این پژوهش به تدوین مدلی برای پیش‌بینی آن پرداخته شده و در این راستا، مدل‌هایی مبتنی بر داده‌های به‌دست آمده از ماه‌های گذشته در هر ایستگاه ارایه شد. بهترین مدل در ایستگاه زابل با ضریب تبیین ۰/۹۶ به‌دست آمده است. تمامی مدل‌های قابل قبول این مطالعه در الگوهای بالای ۱۰ به‌دست آمده است. نکته مهم قابل توجه این است که شبکه‌های عصبی مصنوعی و سیستم استنتاج عصبی فازی با فرآوری داده‌های ورودی و ایجاد ترکیب‌های مختلف، هر چند بهترین حالت را از نظر به حداقل رسیدن خطا انتخاب می‌نمایند، ولی هیچ‌گونه

### منابع

1. Esmailpour, M., and Dinpaghuh, Y. 2012. Trend analyses of long term evapotranspiration in south catchment of Aras. *J. Geograph. Environ. Schematization*. 47: 193-210. (In Persian)
2. Goyal, M.K., Bharti, B., Quilty, J., Adamowski, J., and Pandey, A. 2014. Modeling of daily pan evaporation in sub-tropical climates using ANN, LS-SVR, Fuzzy Logic, and ANFIS. *Expert systems with applications*. 41: 5267-5276.
3. Guven, A., and Kisi, O. 2013. Monthly pan evaporation modeling using linear genetic programming. *J. Hydrol.* 503: 178-185.
4. Kisi, O., Shiri, J., and Tombul, M. 2013. Modeling rainfall-runoff process using soft computing techniques. *J. Com. Geosci.* 51: 108-117.
5. Kisi, O. 2014. Evolutionary neural networks for monthly pan evaporation modeling. *J. Hydrol.* 498: 36-45.
6. Kisi, O., and Ozturk, O. 2007. Adaptive neuro fuzzy computing technique for evapotranspiration estimation. *J. Irrig. Drain. Eng. ASCE*. 133: 4. 368-379.
7. Kumar, M., Bandyopadhyay, A., Raghuwanshi, N.S., and Singh, R. 2008. Comparative study of conventional and artificial neural network-based ET0 estimation models. *J. Irrig. Sci.* 26: 6. 531-545.
8. Penman, H.L. 1948. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proc. Roy. Soc. London*. 194: 120-145.
9. Rao, L.Y., Sun, G., Ford, C.R., and Vose, J.M. 2011. Modeling potential evapotranspiration of two forested watersheds in the southern Apalachinas. *Advanced in forest hydrology (ASABE)*. 54: 6. 2067-2078.
10. Wang, Y.M., Traore, S., and Kerh, T. 2009. Computational performance of reference evapotranspiration in semiarid zone of Africa. *Sci. Research and Essay*. 4: 6. 577-583.
11. Zare Abyaneh, H., Bayat Varkeshi, M., Marofi, S., and Amiri Chayjan, R. 2010. Evaluation of artificial neural network and adaptive neuro fuzzy inference system in decreasing of reference evapotranspiration parameters. *J. Water Soil (Agr. Sci. Technol.)*. 24: 2. 297-305.



Gorgan University of Agricultural  
Sciences and Natural Resources

*J. of Water and Soil Conservation, Vol. 22(5), 2016*  
<http://jwsc.gau.ac.ir>

### Short Technical Report

## Modeling of monthly potential evapotranspiration using genetic programming in Sistan and Baluchestan province

\*O. Mohammadrezapour<sup>1</sup>, A. Amini Rakan<sup>2</sup> and F. Karandish<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Assistant Prof., Dept. of Water Engineering, University of Zabol,

<sup>2</sup>M.Sc. Graduate, Dept. of Water Resource Engineering, University of Zabol

Received: 08/05/2014; Accepted: 02/22/2015

#### Abstract

**Background and Objectives:** Evapotranspiration is one of the parameters that have special importance in various areas of agriculture and water resources management also for definition of future policies its estimation is required. The main objective of this research is to determine mathematical models for estimating evapotranspiration and studying assessment of Genetic programming in estimating evapotranspiration.

**Materials and Methods:** In this study, using the Penman-Monteith method, the reference evapotranspiration / month was calculated based on meteorological data such as average temperature, relative humidity, sunny hours, wind speed and precipitation amount for a period of 40 years (1345 to 1391) in the stations of Zabol, Iranshahr, Chabahar and Zahedan and 16 separate lag time patterns were arranged. Then, the monthly evapotranspiration rates were modeled using GeneXproTools software to develop and implement the models based on genetic programming. 80% of data were used in the education to develop the models and the remaining 20% were used in the test to verify the models and evaluate their accuracy. Finally, the coefficients of determination ( $R^2$ ) and root mean square error (RMSE) were used to analyze and verify the accuracy of the model and compare it with Penman-Monteith method.

**Results:** Based on the statistical coefficients of determination and root mean square error, it was found that due to low memory, the model or an independent variable, in all stations and models provided based on patterns 1, 2 and 3, there is little accuracy in prediction of the evapotranspiration value. The best models obtained for the stations of Zahedan, Zabol, Iranshahr and Chabahar were respectively in the patterns of 13, 10, 12 and 13. Moreover, the best model for Zabol station was obtained with an error of 1.03 mm in day and its coefficient of determination was 0.96.

**Conclusion:** The results indicate that all acceptable models for this study were obtained in more than 10 patterns. Moreover, Genetic programming is an optimal method for modeling the monthly- series evapotranspiration.

**Keywords:** Evapotranspiration, Genetic programming, Modeling, Sistan va Baluchestan

---

\* Corresponding Author; Email: mohammadrezapour@uoaz.ac.ir

