





## مقدمه

استفاده از تبخیرتعرق پتانسیل گیاه مرجع ( $ET_0$ ) برای تعیین نیاز آبی گیاهان مختلف بسیار متداول می‌باشد. برای تخمین  $ET_0$  از روش های متداولی استفاده می‌شود که متداول‌ترین آن در سطح جهان، معادله پنمن-مانیت (آلن و همکاران، ۱۹۹۸) است، اما مشکل بزرگ این معادله آن است که به داده‌های هواشناسی زیادی نیاز دارد که تنها در ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک اندازه‌گیری می‌شوند. تعداد این ایستگاه‌ها نیز در سطح کشور و از جمله استان فارس کم می‌باشد. بنابراین می‌توان به عنوان راهکاری ساده از معادله‌های دیگر که مبتنی بر دما هستند استفاده نمود، زیرا اندازه‌گیری دما در بسیاری از ایستگاه‌های هواشناسی متداول است. در سطح استان فارس در چهار تحقیق انجام شده معادله‌های ساده‌تر تخمین  $ET_0$  بر مبنای معادله پنمن-مانیت واسنجی شده‌اند. این معادله‌ها عبارتند از: معادله هارگریوز (فولادمند و حقیقت، ۲۰۰۷)، معادله‌ای برای جنوب ایران بر مبنای داده‌های ماهانه دما و بارندگی (فولادمند و همکاران، ۲۰۰۸)، معادله تورنتوایت (احمدی و فولادمند، ۲۰۰۸) و معادله بلانی-کریدل (فولادمند و احمدی، ۲۰۰۹). کلیه این معادله‌ها با استفاده از داده‌های هواشناسی هفت ایستگاه سینوپتیک در استان فارس و هفت ایستگاه سینوپتیک در اطراف این استان تا سال ۲۰۰۰ میلادی واسنجی شده‌اند. هدف از این تحقیق، تعیین مناسب‌ترین معادله برای هر ماه سال در منطقه مرودشت در استان فارس می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی سینوپتیک به منطقه مرودشت ایستگاه تخت‌جمشید است، اما این ایستگاه دارای آمار هواشناسی طولانی‌مدت نمی‌باشد. به همین دلیل در این تحقیق از دو ایستگاه سینوپتیک سدرودزن و زرقان که به منطقه مرودشت بسیار نزدیک می‌باشند، استفاده شده است. این دو ایستگاه دارای اقلیم نیمه‌خشک می‌باشند، لذا می‌توان نتیجه گرفت که اقلیم منطقه مرودشت نیز نیمه‌خشک است. بر این اساس در این تحقیق از داده‌های هواشناسی سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۶ میلادی ایستگاه‌های سینوپتیک سدرودزن و زرقان استفاده شده است تا مناسب‌ترین روش تخمین  $ET_0$  در هر ماه سال برای منطقه مرودشت تعیین گردد. در ادامه ابتدا معادله‌های مورد نظر ارائه شده است.



الف- معادله واسنجی شده هارگریوز به صورت زیر می‌باشد (فولادمند و حقیقت، ۲۰۰۷):

$$ET_o = 0.408 \times C_H \times (T_m + 17.8) \times (T_{max} - T_{min})^{0.5} \times R_a \quad (1)$$

در معادله فوق  $ET_o$  برحسب میلی‌متر در روز،  $T_m$ ،  $T_{max}$  و  $T_{min}$  به ترتیب میانگین، حداکثر و حداقل دمای ماهانه برحسب درجه سانتی‌گراد،  $R_a$  تشعشع ماورای جوی برحسب مگاژول بر متر مربع در روز (که از معادله‌های ارائه شده به وسیله آلن و همکاران (۱۹۹۸) قابل محاسبه است) و  $C_H$  ضریب واسنجی شده معادله هارگریوز می‌باشد که برای هر ماه سال در ایستگاه‌های سدردوزن و زرقان تعیین شده است (فولادمند و حقیقت، ۲۰۰۷).

ب- معادله ارائه شده برای جنوب ایران بر مبنای داده‌های ماهانه دما و بارندگی به صورت زیر می‌باشد (فولادمند و همکاران، ۲۰۰۸):

$$ET_o = 0.408 \times 0.0045 \times (T_m + 46.2) \times (T_{max} - T_{min} - 0.0156P)^{0.11} \times R_a \quad (2)$$

در معادله فوق  $ET_o$  برحسب میلی‌متر در روز و  $P$  بارندگی ماهانه برحسب میلی‌متر می‌باشد.

ج- معادله واسنجی شده تورنتوایت به صورت زیر می‌باشد (احمدی و فولادمند، ۲۰۰۸):

$$i_m = \left(\frac{T_m}{5}\right)^{1.51} \quad (3)$$

$$I_m = \sum i_m$$

(۴)

$$a = 6.75 \times 10^{-7} I^3 - 7.71 \times 10^{-5} I^2 + 1.792 \times 10^{-2} I + 0.492 \quad (5)$$

$$T_{eff} = k(T_m + A) = \frac{k}{2}(3T_{max} - T_{min}) \quad (6)$$



$$ET_0 = 16 \left( \frac{10T_{eff}}{I} \right)^a \quad (7)$$

در معادله‌های فوق  $ET_0$  مجموع تبخیرتعرق در ماه مورد نظر برحسب میلی‌متر،  $I_m$  شاخص حرارتی هر ماه سال،  $I_m$  شاخص حرارتی سالانه و  $T_{eff}$  دمای مؤثر ماهانه برحسب درجه سانتی‌گراد می‌باشند.  $k$  نیز ضریب واسنجی شده معادله است که برای هر ماه سال در ایستگاه‌های سد رودزن و زرقان تعیین شده است (احمدی و فولادمند، ۲۰۰۸).

د- معادله واسنجی شده بلانی- کریدل به صورت زیر می‌باشد (فولادمند و احمدی، ۲۰۰۹):

$$ET_0 = (a + 8.13bP) + (0.46bP)T_{eff} \quad (8)$$

در معادله فوق  $ET_0$  برحسب میلی‌متر در روز،  $P$  ضریب مربوط به طول روز یا درصد سالانه تابش آفتاب در ماه می‌باشد که به صورت روزانه توصیف شده است (دورنباس و پروئیت، ۱۹۷۷) و  $T_{eff}$  نیز از معادله (۶) محاسبه می‌شود.  $a$  و  $b$  نیز ضرایب معادله هستند که برای هر ماه سال در ایستگاه‌های سد رودزن و زرقان تعیین شده‌اند (فولادمند و احمدی، ۲۰۰۹).

در پایان مقادیر  $ET_0$  از معادله‌های پنمن-مانتیت و معادله‌های (۱)، (۲)، (۷) و (۸) برای کلیه ماه‌های سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۶ در ایستگاه‌های سد رودزن و زرقان تخمین زده شد و نتایج چهار روش ذکر شده برای هر ماه سال و هر ایستگاه به طور جداگانه با معادله پنمن-مانتیت مقایسه گردید. برای این منظور از معادله زیر استفاده شد (فولادمند و همکاران، ۱۳۸۸):

$$RMSE = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}{n} \right]^{0.5} \quad (9)$$

در معادله فوق  $x_i$  مقادیر تبخیرتعرق محاسبه شده از روش پنمن-مانتیت و  $y_i$  مقادیر تبخیرتعرق محاسبه شده از یکی از معادله‌های (۱)، (۲)، (۷) و (۸) و  $n$  تعداد داده‌ها برای هر ماه سال (برابر ۶) می‌باشد. حداقل مقدار  $RMSE$  برابر صفر است و هرچه مقدار آن کمتر باشد مناسب‌تر است (فولادمند و همکاران، ۱۳۸۸).



## نتایج و بحث

مقادیر RMSE حالت‌های مختلف تخمین ETo برای ایستگاه‌های سدرودزن و زرقان در جدول‌های ۱ و ۲ ارائه شده است، با این توضیح که معادله‌های (۱)، (۲)، (۷) و (۸) به ترتیب با H, R, T و B نشان داده شده‌اند.

جدول ۱- مقادیر RMSE حالت‌های مختلف تخمین تبخیرتعرق در سدرودزن.

T	B	R	H	ماه سال	T	B	R	H	ماه سال
۰/۷۷	۱/۰۰	۱/۰۹	۱/۰۰	Jul	۰/۳۰	۰/۲۶	۰/۶۸	۰/۲۲	Jan
۰/۹۴	۱/۵۲	۱/۵۶	۱/۳۹	Aug	۰/۲۶	۰/۴۰	۰/۴۶	۰/۴۲	Feb
۰/۷۸	۱/۱۰	۱/۳۱	۱/۱۰	Sep	۰/۲۱	۰/۵۳	۰/۳۵	۰/۵۲	Mar
۰/۷۴	۱/۰۰	۰/۷۳	۰/۹۸	Oct	۰/۳۲	۰/۴۳	۰/۵۷	۰/۴۹	Apr
۰/۸۴	۰/۶۹	۰/۲۶	۰/۶۸	Nov	۰/۸۰	۰/۹۷	۰/۸۳	۰/۹۷	May
۰/۴۸	۰/۱۹	۰/۷۷	۰/۱۴	Dec	۱/۲۵	۱/۶۲	۱/۶۰	۱/۵۷	Jun

نتایج این دو جدول نشان می‌دهد که در ایستگاه‌های سدرودزن و زرقان در هر ماه سال چه معادله‌ای برای تخمین تبخیرتعرق مناسب‌تر می‌باشد. چنانچه در این دو جدول مشاهده می‌شود تنها در چهار ماه سال، معادله مناسب برای تخمین تبخیرتعرق در این دو ایستگاه یکسان است (ماه‌های **February** و **March** معادله **T** و ماه‌های **October** و **November** معادله **R**)، اما در سایر ماه‌های سال، معادله مناسب برای تخمین تبخیرتعرق در این دو ایستگاه یکسان نمی‌باشد. لذا برای دستیابی به نتیجه‌ای قابل قبول برای کل منطقه مرودشت، میانگین ماهانه مقادیر RMSE حالت‌های مختلف تخمین تبخیرتعرق در دو ایستگاه سدرودزن و زرقان محاسبه شد. این نتایج در جدول ۳ ارائه شده است.



همایش ملی مدیریت بحران آب  
*The National Conference on Water Crisis Management*  
دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت، اسفندماه ۱۳۸۸



جدول ۲- مقادیر **RMSE** حالت‌های مختلف تخمین تبخیرتغرق در زرقان.

T	B	R	H	ماه سال	T	B	R	H	ماه سال
۳/۳۵	۱/۳۷	۱/۳۹	۲/۷۴	Jul	۰/۵۶	۰/۲۱	۰/۸۴	۰/۴۶	Jan
۴/۰۲	۱/۹۱	۱/۹۴	۳/۴۶	Aug	۰/۴۸	۰/۵۴	۰/۵۳	۰/۵۸	Feb
۳/۰۷	۱/۶۶	۱/۵۵	۲/۶۸	Sep	۰/۲۳	۰/۶۴	۰/۴۵	۰/۷۱	Mar
۲/۴۰	۱/۴۱	۱/۰۷	۲/۱۴	Oct	۰/۷۹	۰/۵۹	۰/۶۵	۰/۹۹	Apr
۱/۵۰	۰/۷۲	۰/۲۶	۱/۱۵	Nov	۱/۶۸	۱/۴۴	۰/۹۵	۱/۹۵	May
۰/۸۰	۰/۱۳	۰/۸۸	۰/۴۸	Dec	۳/۵۶	۱/۸۹	۱/۹۵	۲/۸۹	Jun

جدول ۳- میانگین مقادیر **RMSE** حالت‌های مختلف تخمین تبخیرتغرق در ایستگاه‌های سد رودزن و زرقان.

T	B	R	H	ماه سال	T	B	R	H	ماه سال
۲/۰۶	۱/۱۹	۱/۲۴	۱/۸۷	Jul	۰/۴۳	۰/۲۴	۰/۷۶	۰/۳۴	Jan
۲/۴۸	۱/۷۲	۱/۷۵	۲/۴۳	Aug	۰/۳۷	۰/۴۷	۰/۵۰	۰/۵۰	Feb
۱/۹۳	۱/۳۸	۱/۴۳	۱/۸۹	Sep	۰/۲۲	۰/۵۹	۰/۴۰	۰/۶۲	Mar
۱/۵۷	۱/۲۱	۰/۹۰	۱/۵۶	Oct	۰/۵۶	۰/۵۱	۰/۶۱	۰/۷۴	Apr
۱/۱۷	۰/۷۱	۰/۲۶	۰/۹۲	Nov	۱/۲۴	۱/۲۱	۰/۸۹	۱/۴۶	May
۰/۶۴	۰/۱۶	۰/۸۳	۰/۳۱	Dec	۲/۴۱	۱/۷۶	۱/۷۸	۲/۲۳	Jun



همایش ملی مدیریت بحران آب  
*The National Conference on Water Crisis Management*  
دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت، اسفندماه ۱۳۸۸



نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد که در ماه‌های **September, August, July, June, April, January** و در ماه‌های **December** معادله **B**، در ماه‌های **October, May** و **November** معادله **R** و در ماه‌های **March** و **February** معادله **T** مناسب‌ترین معادله تخمین  $ET_0$  در منطقه مرودشت می‌باشند. بنابراین برای منطقه مرودشت می‌توان به جای معادله پنمن - مانتیت مقدار تبخیرتعرق را از معادله مناسب منطقه در دو ایستگاه سد رودزن و زرقان محاسبه نمود و میانگین تبخیرتعرق محاسبه شده در ماه مورد نظر را به عنوان تبخیرتعرق در آن ماه برای کل منطقه در نظر گرفت.

### سپاسگزاری

این مقاله استخراج شده از قسمتی از طرح تحقیقاتی "ارزیابی روش‌های مختلف تخمین تبخیرتعرق مبتنی بر دما در استان فارس" می‌باشد که با حمایت مالی دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت انجام شده است. بدین وسیله از زحمات مسئولین و معاونت پژوهشی این دانشگاه سپاسگزاری می‌گردد.

### منابع

- ۱- فولادمند، ح. ر.، ترابی، ر. و امین‌دین، ا. ۱۳۸۸. کاربرد آمار در خاک و آب. انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت. چاپ اول.
- ۲- Ahmadi, S.H., and Fooladmand, H.R. (۲۰۰۸). Spatially distributed monthly reference evapotranspiration derived from the calibration of Thornthwaite equation: a case study, South of Iran. *Irrig. Sci.* ۲۶, pp. ۳۰۳-۳۱۲.
- ۳- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., and Smith, M. (۱۹۹۸). Crop evapotranspiration. *Irrigation and Drainage Paper*. No. ۵۶. FAO. United Nations, Rome, Italy.
- ۴- Doorenbos, J., and Pruitt, W.O. (۱۹۷۷). Guidelines for predicting crop water requirements.



همایش ملی مدیریت بحران آب  
*The National Conference on Water Crisis Management*  
دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت، اسفندماه ۱۳۸۸



- 
- Irrigation and Drainage Paper. No. ۲۴. FAO. United Nations, Rome, Italy.
- ۵- Fooladmand, H.R., and Ahmadi, S.H. (۲۰۰۹). Monthly spatial calibration of Blaney-Criddle equation for calculating monthly ETo in south of Iran. *Irrig. Drain.* ۵۸, pp. ۲۳۴-۲۴۵.
- ۶- Fooladmand, H.R., and Haghghat, M. (۲۰۰۷). Spatial and temporal calibration of Hargreaves equation for calculating monthly ET<sub>o</sub> based on Penman-Monteith method. *Irrig. Drain.* ۵۶, pp. ۴۳۹-۴۴۹.
- ۷- Fooladmand, H.R., Zandilak, H., and Ravanan, M.H. (۲۰۰۸). Comparison of different types of Hargreaves equation for estimating monthly evapotranspiration in the south of Iran. *Arch. Agrono. Soil Sci.* ۵۴, pp. ۳۲۱-۳۳۰.