

کاربرد حالت‌های هارگریوز- سامانی و جنسن- هیز در ارزیابی تبخیر تعرق گیاه مرجع یونجه در اصفهان

پیام نجفی^۱

چکیده

برآورد دقیق تبخیر- تعرق یکی از فاکتورهای اساسی در طراحی سیستم‌های آبیاری و ساختمان‌های ذخیره و انتقال آب است. روش‌های متعددی برای محاسبه تبخیر- تعرق گیاه مرجع ارایه شده است. بسیاری از روش‌ها به داده‌های متعدد هواشناسی نیازمند می‌باشد اما برخی از این داده‌ها در دسترس نیستند و به فرض دسترسی، از دقت کافی برخوردار نیستند. بنابر این روش‌های مبتنی بر حداقل داده‌های اقلیمی گسترش یافتند که روش‌های هارگریوز- سامانی و جنسن- هیز از جمله هستند. در این تحقیق، دو روش مذکور هر کدام در چهار حالت متفاوت، بر پایه داده‌های لایسیمیتری گیاه مرجع یونجه واقع در محل ایستگاه تحقیقات کشاورزی و هواشناسی کبوترآباد اصفهان مورد مقایسه قرار گرفته است. نتایج این تحقیق حاکی از دقت این دو روش را برای ارزیابی تبخیر-تعرق گیاه مرجع یونجه در شرایطی که معادله پیشنهاد شده توسط سامانی و پسرکلی (۱۹۸۶) برای تشعشع برون زمینی استفاده شود، می‌باشد. در این حالت، دقت ارزیابی تبخیر و تعرق افزایش یافته و به حدود ۱۵ درصد می‌رسد. حالت‌های اخیر دارای ضریب همبستگی بالایی نسبت سایر روش‌ها بوده در نتیجه با اصلاح خطی روابط اصلی بر مبنای داده‌های لایسیمیتری منطقه متوسط خطای نسبی تا حدود ۹ درصد کاهش می‌یابد. در نهایت بررسی‌های این تحقیق نشان داد که روابط ارایه شده آلن (۱۹۹۶) و سامانی- پسرکلی (۱۹۸۶) برای ارزیابی ضریب رابطه هارگریوز- سامانی اختلاف قابل توجهی با یکدیگر ندارند.

واژه‌های کلیدی: تبخیر- تعرق، گیاه مرجع یونجه، هارگریوز- سامانی، جنسن- هیز، تشعشع برون زمینی، ضریب رابطه هارگریوز- سامانی

^۱ - استادیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان (اصفهان)، ایران، اصفهان، صندوق پستی ۱۵۸- ۸۱۵۹۵
P-najafi@Khuisf.ac.ir

مقدمه

محاسبه تبخیر - تعرق یکی از اساسی ترین نیازهای طراحی سیستم های آبیاری و ساختمان های ذخیره و انتقال آب می باشد. لذا محققین بسیاری طی سالیان طولانی در تلاش بوده اند تا بهترین روش ها را بیابند و یا اینکه روش های موجود را مورد مقایسه قرار داده، دقیق ترین آن ها را برگزیده و برای مناطق مختلف اصلاح نمایند.

از میان روش های مختلف، دو روش هارگریوز- سامانی^۱ و جنسن-هیز^۲ از اهمیت قابل توجهی برخوردار هستند. زیرا ضمن آنکه از دقت نسبتاً خوبی در مناطق خشک و نیمه خشک برخوردار هستند، به داده های هواشناسی کمی در مقایسه با سایر روش ها نیازمند می باشند (۱۵).

روش هارگریوز- سامانی حاصل نتایج تحقیقات هارگریوز و سامانی طی سال های ۱۹۷۵ تا ۱۹۸۲ می باشد. معادله مذکور با استفاده از داده های ۸ ساله منطقه دیویس کالیفرنیا^۳ توسعه یافته است. بررسی های مختلف خصوصاً در مناطقی چون اسپندال استرالیا^۴، لومپوت کالیفرنیا^۵، سی بورگ نیوجرسی^۶، آریزونا^۷، دامین هائیتی^۸ و همچنین مقایسه با روش پنمن اصلاح شده در مناطق مختلف بنگلادش نشان می دهد که معادله فوق ارزیابی خوبی از تبخیر- تعرق گیاه مرجع را ارائه می دهد (۱۲). در ایران نیز در این زمینه

تحقیقاتی صورت گرفته از آن جمله خواجه زاده (۱۳۷۴) برای ۶۴ نقطه از ایستگاه های سینوپتیک سازمان هواشناسی ایران، روش هارگریوز- سامانی را بر مبنای معادله پنمن اصلاح شده و جنسن- هیز، اصلاح کرده است. بررسی ها نشان می دهد که اصلاح معادله مذکور با مرجعیت روش جنسن- هیز، برای ایستگاه دانشگاه صنعتی اصفهان از موفقیت خوبی برخوردار بوده است (۲).

رابطه جنسن- هیز برای اولین بار در سال ۱۹۶۳ به چاپ رسید. این روش، حاصل ۳۰۰۰ مشاهده مربوط به تبخیر- تعرق و به وسیله آزمایش های نمونه برداری از خاک طی ۳۰ سال به دست آمده است. این روش بیشتر در غرب آمریکا مورد استفاده قرار گرفته است (۹).

معادله هارگریوز- سامانی (۱۹۸۵) برای برآورد تبخیر- تعرق گیاه مرجع یونجه به شکل زیر ارائه شده است (۱۱):

$$ET_0 = 0.0162R_s(T_c + 17.8)$$

که در آن:

ET_0 تبخیر- تعرق گیاه مرجع یونجه برحسب میلی متر بر روز

R_s تشعشع خورشیدی برحسب میلی متر بر روز

T_c درجه حرارت میانگین ماهانه بر حسب سانتی گراد

هارگریوز- سامانی (۱۹۸۲) رابطه زیر را برای تشعشع خورشیدی به شکل زیر ارائه داده اند (۱۰):

$$R_s = K_T R_d T D^{0.5}$$

¹ Hargreaves-Sammani
² Jensen- Haise
³ Davis California
⁴ Aspendal Australia
⁵ Lompoc California
⁶ Seabrook New Jersey
⁷ Arizona
⁸ Damin Haiti

$$ES = 1.00016 - 0.032126 \times \cos(\pi J/6) - 0.003354 \times \sin(\pi J/6)$$

$$OM = \text{Arc cos}(-tg(L_a) tg(DEC))$$

کتسوپیلوس و باباجی مویپولوس^۳ (۱۹۹۷)

برای مقادیر ماهیانه تشعشع برون زمینی رابطه‌ای به شکل زیر ارائه داده‌اند (۱۳):

$$R_a = M + C_1 \cos(2\pi J/12 + C_2) + C_3 \cos(2\pi J/12 + C_4)$$

که در آن:

R_a تشعشع برون زمینی بر حسب میلی‌متر در

روز

M و C1 تا C4 همگی مقادیری هستند که

جهت کوتاه‌تر شدن معادله اصلی ارائه شده‌اند و

به شکل زیر محاسبه می‌شوند:

$$M = 14.9425 - 0.0098 L_a - 0.00175 L_a^2$$

$$C_1 = -0.5801 + 0.1834 L_a - 0.00066 L_a^2$$

$$C_2 = 3.1365 - 0.00489 L_a + 0.000061 L_a^2$$

$$C_3 = 0.597 - 5.36 \times 10^{(-6)} \times L_a^3$$

$$C_4 = 2.9588 - 0.00909 L_a + 0.00024 L_a^2$$

$$C_5 = 0.597 - 5.36 \times 10^{(-6)} \times L_a^3$$

$$C_6 = 0.597 - 5.36 \times 10^{(-6)} \times L_a^3$$

$$C_7 = 0.597 - 5.36 \times 10^{(-6)} \times L_a^3$$

$$C_8 = 0.597 - 5.36 \times 10^{(-6)} \times L_a^3$$

$$C_9 = 0.597 - 5.36 \times 10^{(-6)} \times L_a^3$$

$$C_{10} = 0.597 - 5.36 \times 10^{(-6)} \times L_a^3$$

$$C_{11} = 0.597 - 5.36 \times 10^{(-6)} \times L_a^3$$

$$C_{12} = 0.597 - 5.36 \times 10^{(-6)} \times L_a^3$$

$$C_{13} = 0.597 - 5.36 \times 10^{(-6)} \times L_a^3$$

$$C_{14} = 0.597 - 5.36 \times 10^{(-6)} \times L_a^3$$

$$C_{15} = 0.597 - 5.36 \times 10^{(-6)} \times L_a^3$$

$$C_{16} = 0.597 - 5.36 \times 10^{(-6)} \times L_a^3$$

$$C_{17} = 0.597 - 5.36 \times 10^{(-6)} \times L_a^3$$

$$C_{18} = 0.597 - 5.36 \times 10^{(-6)} \times L_a^3$$

$$C_{19} = 0.597 - 5.36 \times 10^{(-6)} \times L_a^3$$

$$C_{20} = 0.597 - 5.36 \times 10^{(-6)} \times L_a^3$$

$$C_{21} = 0.597 - 5.36 \times 10^{(-6)} \times L_a^3$$

$$C_{22} = 0.597 - 5.36 \times 10^{(-6)} \times L_a^3$$

$$C_{23} = 0.597 - 5.36 \times 10^{(-6)} \times L_a^3$$

$$C_{24} = 0.597 - 5.36 \times 10^{(-6)} \times L_a^3$$

$$C_{25} = 0.597 - 5.36 \times 10^{(-6)} \times L_a^3$$

$$C_{26} = 0.597 - 5.36 \times 10^{(-6)} \times L_a^3$$

$$C_{27} = 0.597 - 5.36 \times 10^{(-6)} \times L_a^3$$

که در آن R_a تشعشع برون زمینی بر حسب

میلی‌متر بر روز

TD اختلاف میانگین حداکثر ماهانه و

میانگین حداقل ماهانه^۱ درجه حرارت بر حسب

سانتی‌گراد

K_T ضریب رابطه هارگریوز- سامانی

تشفشع بالای اتمسفر^۱ تشعشع خورشیدی

است که به سطح افقی بالای اتمسفر زمین

می‌تابد و در پیشگویی میزان تابش خورشیدی

سطح زمین بسیار مفید است. برای R_a جداول و

روابط زیادی ارائه شده است که از جمله آن

روابط، رابطه پیشنهاد شده در مقاله سامانی و

پسرکلی^۲ (۱۹۹۶) می‌باشد (۱۴):

$$R_a = 916.732 \times (OM \times \sin$$

$$(L_a) \times \sin(DEC) + \cos(L_a) \times \cos(DEC)$$

$$\times \sin(OM) / ES \times 10 / (596 - 0.55 T_C)$$

$$Ra$$

Ra تشعشع بالای اتمسفری بر حسب

میلی‌متر در روز

TC متوسط درجه حرارت بر حسب

سانتی‌گراد

L عرض جغرافیایی محل

J شماره ماههای میلادی

OM, EC, DEC مقادیری هستند که جهت

کوتاه‌تر شدن معادله اصلی ارائه شده‌اند و به شکل

زیر محاسبه می‌شوند:

$$DEC = -0.00117 - 0.40117 \times \cos(\pi J/6) + 0.00163 \times \cos(\pi J/3) + 0.00208 \sin(\pi J/3)$$

$$DEC = -0.00117 - 0.40117 \times \cos(\pi J/6) + 0.00163 \times \cos(\pi J/3) + 0.00208 \sin(\pi J/3)$$

$$DEC = -0.00117 - 0.40117 \times \cos(\pi J/6) + 0.00163 \times \cos(\pi J/3) + 0.00208 \sin(\pi J/3)$$

$$DEC = -0.00117 - 0.40117 \times \cos(\pi J/6) + 0.00163 \times \cos(\pi J/3) + 0.00208 \sin(\pi J/3)$$

$$DEC = -0.00117 - 0.40117 \times \cos(\pi J/6) + 0.00163 \times \cos(\pi J/3) + 0.00208 \sin(\pi J/3)$$

$$DEC = -0.00117 - 0.40117 \times \cos(\pi J/6) + 0.00163 \times \cos(\pi J/3) + 0.00208 \sin(\pi J/3)$$

$$DEC = -0.00117 - 0.40117 \times \cos(\pi J/6) + 0.00163 \times \cos(\pi J/3) + 0.00208 \sin(\pi J/3)$$

$$DEC = -0.00117 - 0.40117 \times \cos(\pi J/6) + 0.00163 \times \cos(\pi J/3) + 0.00208 \sin(\pi J/3)$$

$$DEC = -0.00117 - 0.40117 \times \cos(\pi J/6) + 0.00163 \times \cos(\pi J/3) + 0.00208 \sin(\pi J/3)$$

³ Kotsopoulos and Babajimopoulos

¹ Extraterrestrial Radiation
² Sammani and Pessaraki

$$C1 = 38 - \frac{z}{152.5}$$

17

$$Tx = \frac{-2.5 - 1.4(e2 - e1) - z}{550}$$

18

که در روابط فوق $e1, e2$ به ترتیب فشار بخار اشباع در میانگین حداکثر و حداقل دما در گرم ترین ماه سال بر حسب کیلوپاسکال و Z ارتفاع از سطح دریا می باشد.

نتایج حاصل از روش فوق می تواند از روزانه تا ماهانه باشد، ولی انجمن مهندسی عمران آمریکا توصیه می کند که حداقل زمان استفاده از آن ۵ روزه باشد (۸).

دورنباس و پرویت^۲ (۱۹۹۷) رابطه ارزیابی تشعشع خورشیدی را به شکل زیر ارائه داده اند (۹):

$$Rs = Ra(0.25 + 0.5 \frac{n}{N})$$

19

که در آن n ساعت واقعی روشنایی روز بر حسب ساعت در روز

کتسویپولوس و باباجی مویپولوس^۳ (۱۹۹۷) رابطه زیر را برای محاسبه مقدار متوسط N در یک ماه ارائه داده اند (۱۳):

$$N = M + C1 \cos(2\pi J/12 + C2)$$

20

که در آن:

M ، $C1$ و $C2$ مقادیری هستند که جهت کوتاه تر شدن معادله اصلی ارائه شده اند و به شکل زیر محاسبه می شوند:

که در آن:

S درصد تابش نور خورشید

TD اختلاف درجه حرارت حداکثر و حداقل

بر حسب درجه سانتی گراد

همچنین آلن^۱ (۱۹۹۶) در مقاله خود رابطه زیر

را برای مناطق غیر ساحلی پیشنهاد نموده است:

$$Kt = \left(\frac{P}{P_0} \right)^{0.5}$$

13

که در آن P متوسط فشار اتمسفر در محل بر

حسب کیلو پاسکال

P_0 متوسط فشار اتمسفر در سطح دریا

(۱۰۱/۳ کیلوپاسکال)

روش جنسن- هیز بیشتر برای گیاه یونجه به

کار می رود. استفاده از روش مذکور، برای گیاه

مرجع چمن نیز با به کار بردن ضریب گیاهی

مربوط به آن، امکان پذیر است، ولی این کار

به ندرت صورت می گیرد (۸). در هر صورت،

رابطه جنسن- هیز برای گیاه مرجع یونجه به

شکل زیر ارائه می شود (۸):

$$ET_0 = \frac{Ct(T - Tx)Rs}{x}$$

14

که در آن:

C_1 ، CH ، $C1$ و Tx مقادیری هستند که

جهت کوتاه تر شدن معادله اصلی ارائه شده اند و

به شکل زیر محاسبه می شوند:

$$c_1 = \frac{1}{C1 + 7.3CH}$$

15

$$CH = \frac{5}{e2 - e1}$$

16

² Doorenbos and Pruitt

³ Kotsopoulos and Babajimopoulos

¹ Allen

وارد گردد (۹). در طول مدت آبیاری آب ورودی توسط کنتور اندازه‌گیری می‌شد. بعد از هر آبیاری، آب داده شده به داخل لایسیمترها و همچنین در فاصله بین دو آبیاری، مقدار زهاب با ظروف مدرج بر حسب لیتر اندازه‌گیری شده است و سپس با توجه به مساحت لایسیمتر مقادیر حاصل به عمق معادل تبدیل گردیده است (۳، ۴، ۵، ۶). رطوبت ابتدا و انتهای دوره معادل و تغییرات رطوبتی صفر در نظر گرفته شد.

از آن جایی که روش مورد استفاده در آبیاری لایسیمتر مذکور دوره ای می باشد، لذا بعد از هر عمل آبیاری، قسمتی از آب در خاک باقی می ماند، بخشی توسط گیاه مصرف می شود و نهایتاً بخش دیگری در عمق نفوذ کرده و به وسیله لوله های جمع آوری کننده زهکشی به مخزن آب زهکش می ریزد. با توجه به توضیحات فوق، میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع در لایسیمتر از طریق رابطه ذیل به دست می آید:

$$ET_0 = I + R - D + \Delta S$$

24

که در آن ET_0 تبخیر و تعرق گیاه مرجع بر حسب میلی متر

I آب آبیاری بر حسب میلی متر

R بارندگی بر حسب میلی متر

D زهاب بر حسب میلی متر

ΔS تغییرات رطوبت بر حسب میلی متر

همچنین در رابطه فوق، واحد همه عوامل یکسان است. لازم به ذکر است مقادیر بارندگی به همراه کلیه داده‌های هواشناسی مورد نیاز در روش‌های هارگریوز- سامانی و جنسن- هیز از ایستگاه هواشناسی که در فاصله ۲۰۰ متری محل تحقیق قرار دارد، جمع آوری گردیده است.

$$M = 12.073 + 0.00284 La$$

21

$$C1 = 0.0434 La + 0.00075 La^2$$

22

$$C2 = 3.0376$$

23

J و La پیش از این معرفی شده‌اند.

سامانی و پسرکلی (۱۹۸۶) در تحقیق خود، برای محاسبه RS به جای رابطه (۱۹) از رابطه (۲) استفاده کرده و تبخیر-تعرق را به روش جنسن-هیز محاسبه کرده‌اند (۱۴).

مواد و روش‌ها

این تحقیق در محل ایستگاه تحقیقات کشاورزی و هواشناسی کبوترآباد اصفهان انجام گرفته است. کبوترآباد در فاصله ۲۲ کیلومتری شرق شهرستان اصفهان در عرض جغرافیایی ۳۱،۳۲ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱،۵۱ درجه شرقی واقع است. این منطقه، در ارتفاع ۱۵۴۵ متری از سطح دریا واقع است و در ارتفاع آن از سطح دریا ۱۵۴۵ می باشد.

به منظور تعیین تبخیر - تعرق گیاه مرجع یونجه، از سه عدد لایسیمتر به ابعاد $1 \times 2 \times 1/2$ متر استفاده شده است. لایسیمترها از نوع زهکش دار بدون سطح ایستابی و بافت خاک داخل آن، رس سیلتی بوده است. مکش رطوبتی خاک همواره توسط تانسیمترهای نصب شده در اعماق ۳۰ و ۶۰ سانتی متری کنترل گردیده و مواقعی که قرائت تانسیمتر نصب شده از حد معینی (۴۰ سانتی بار) بیشتر می شد، آبیاری انجام می گرفته است. علت انتخاب ۴۰ سانتی بار برای زمان آبیاری، تعریف گیاه مرجع است که بر اساس آن هیچ گونه تنش رطوبتی نباید به گیاه

این تحقیق، برای سه سال متوالی ۱۳۷۲، ۱۳۷۳ و ۱۳۷۴ انجام گرفته است. در سال ۱۳۷۲ گیاه در لایسمتر یونجه، در سومین سال رشد بود. در این تحقیق، دو روش هارگریوز- سامانی و جنسن- هیز هر کدام به چهار شیوه مختلف با نتایج به دست آمده از داده‌های لایسمتری مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. این هشت شیوه، مطابق جدول ۱ تعریف می‌شوند.

جدول ۱- تعریف شیوه‌های مورد بررسی بر اساس روابط بکار رفته

عنوان شیوه	رابطه اصلی	رابطه Rs	رابطه Ra	رابطه Kt
H - S (1)	1	2	3	12
H - S (2)	1	2	3	13
H - S (3)	1	2	6	12
H - S (4)	1	2	6	13
J - H (1)	14	2	3	12
J - H (2)	14	2	6	12
J - H (3)	14	19	6	-
J - H (4)	14	19	3	-

C میانگین داده‌های محاسباتی در یک روش

نتایج و بحث

مقادیر مختلف تبخیر-تعرق گیاه مرجع یونجه برای منطقه کبوترآباد اصفهان بر اساس داده‌های لایسمتری و هواشناسی و حالت‌های روابط تجربی هارگریوز-سامانی و جنسن-هیز بر اساس آنچه در جدول (۱) شرح داده شد، محاسبه گردید. شکل ۱ میانگین این مقادیر محاسبه شده و تفاوت میزان محاسبه شده به روش‌های مذکور را در مقایسه با داده‌های لایسمتری به صورت نمودار نمایش می‌دهد. بر اساس این شکل در مجموع در میان هشت حالت مورد مطالعه میزان تبخیر-تعرق محاسبه شده در روش‌های H-S(1)، H-S(2)، J-H(1) و J-H(4) کمتر از چهار حالت دیگر بوده است و همین امر باعث شده است که اختلاف بین نمودارهای حالت‌های فوق الذکر با نمودار لایسمتری کمتر باشد. این وضعیت در ماه فروردین به وضوح بیشتری مشهود است. همچنین این شکل نشان می‌دهد که

به منظور مقایسه شیوه‌های مختلف فوق از پارامترهایی نظیر میانگین درصد متوسط قدر مطلق خطای نسبی (MARE)، تعداد خطاهای بزرگ تر از ۱۰ درصد ($NE > 10\%$)، حداکثر خطای نسبی (MAX) و همچنین ضریب همبستگی (R^2) استفاده شد. مقادیر درصد متوسط قدرمطلق خطای نسبی و ضریب همبستگی به شرح زیر محاسبه می‌شوند (۱۲):

$$MARE = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{ABS(L_i - C_i)}{L_i}}{N} \times 100 \quad 25$$

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N L_i C_i - nLC}{\sqrt{(\sum_{i=1}^N L_i^2 - NL^2)(\sum_{i=1}^N C_i^2 - NC^2)}} \quad 26$$

که در آن‌ها L_i تبخیر و تعرق پتانسیل حاصل از لایسمتری در یک ماه

C_i تبخیر و تعرق پتانسیل محاسبه شده در یک روش در یک ماه

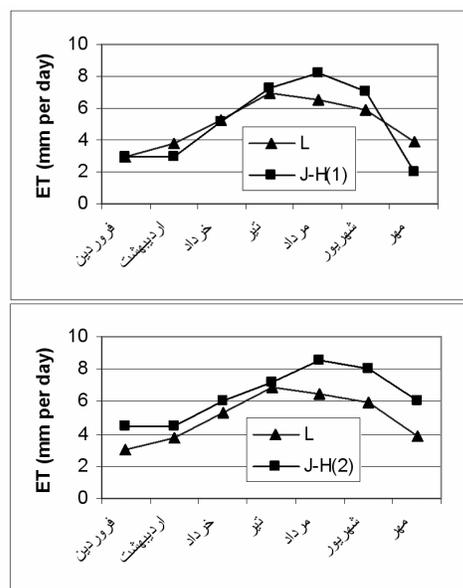
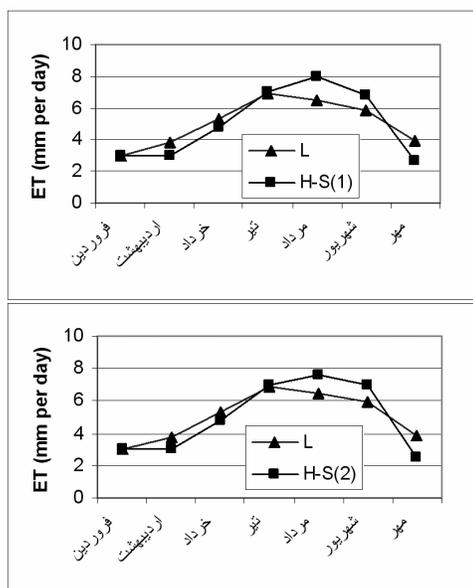
N تعداد کل ماه‌های مورد مطالعه در یک ماه

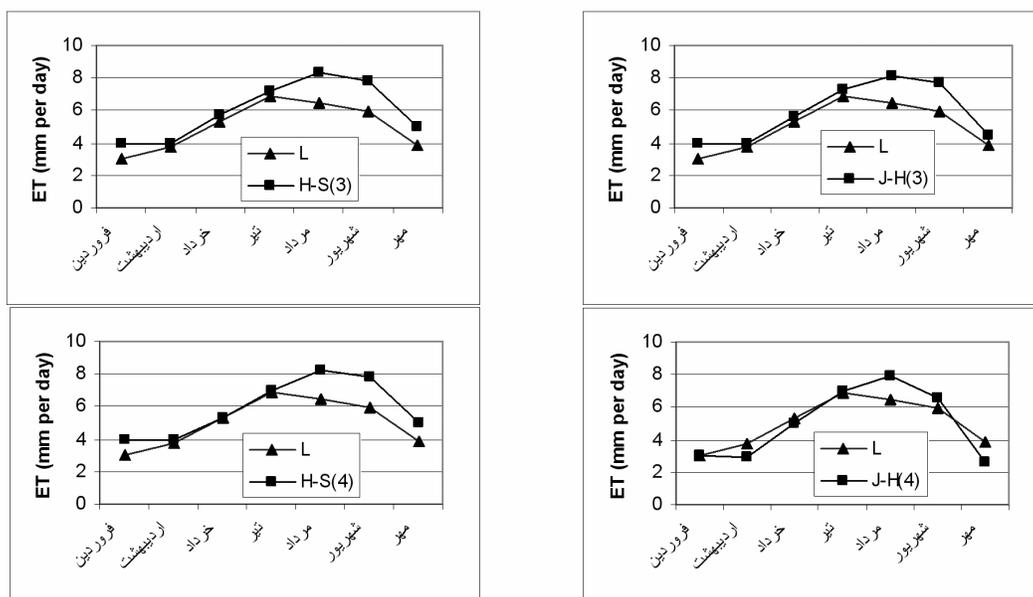
L میانگین داده‌های لایسمتری

سامانی (۱) و (۲) و جنسن- هیز (۱) و (۴) تقریباً در یک رده و بهتر از سایر روش‌هاست. در این حالت‌ها خطاهای بیشتر از ۱۰ درصد و حداکثر خطای نسبی نیز بهتر از چهار روش دیگر برآورد شده‌اند. بالاتر بودن ضریب همبستگی در روابط مذکور نشان دهنده مناسب بودن رگرسیون خطی برای اصلاح روش‌های مذکور است. این چهار رابطه روابطی هستند که از رابطه سامانی و پسرکلی (۱۹۸۶) برای محاسبه تشعشع برون زمینی استفاده کرده‌اند. همچنین این شرایط نشان می‌دهد که روابط ارزیابی RS یا تشعشع خورشیدی تفاوت چندانی را در ارزیابی تبخیر- تعرق گیاه مرجع یونجه ایجاد نکرده‌اند. همین طور دو رابطه ارائه شده برای ضریب رابطه هارگریوز- سامانی تفاوت چندانی با یکدیگر ندارند. در هر صورت چهار رابطه برگزیده با میزان واقعی تبخیر- تعرق ۱۵ درصد خطا نشان می‌دهند که لازم است بر پایه داده‌های لایسیمتری اصلاح شوند.

نقطه نمودارهای مربوط به هارگریوز- سامانی (۱) و (۲) و جنسن- هیز (۱) و (۴) نسبت به سایر شیوه‌ها کمتر و نزدیک‌تر به نمودار لایسیمتری است. به علاوه در ماه مهر تبخیر- تعرق محاسبه شده در چهار حالت مورد بحث کمتر از مقدار لایسیمتری است در حالی که در سایر حالت‌ها مقدار محاسبه شده بیش از لایسیمتری برآورد شده است. بررسی دامنه نوسانات تبخیر- تعرق محاسبه شده نشان دهنده نوسانات بیشتر در حالت‌های هارگریوز- سامانی (۱) و (۲) و جنسن- هیز (۱) و (۴) در مقایسه با چهار حالت دیگر است. این مطلب نشان می‌دهد که چهار حالت مذکور (روش‌های H-S(1), H-S(2), J-H(1) و H(1) حساسیت بیشتری نسبت به تغییرات درجه حرارت دارند.

جدول ۲ مقادیر میانگین پارامترهای فوق را به تفکیک نشان می‌دهد. در این جدول با توجه به میزان خطا، روابط رده‌بندی شده‌اند. جدول ۲ نشان می‌دهد میزان دقت چهار روش هارگریوز-





شکل ۱- مقایسه تبخیر و تعرق محاسبه شده در روش های مختلف با مقادیر لایسیمتری برای گیاه مرجع یونجه در منطقه کبوتر آباد اصفهان

جدول ۲- رده بندی روش های مختلف مورد استفاده برای ارزیابی تبخیر و تعرق گیاه مرجع یونجه در منطقه

R^2	$MAXE$ (%)	$NE \geq 10\%$	$MARE$ (%)	روش	رده بندی
۰/۹۴	۳۹/۷۱	۴	۱۵/۳۲	J-H(4)	۱
۰/۹۴	۴۰/۶۰	۴	۱۵/۴۷	H-S(2)	۲
۰/۹۴	۴۰/۸۹	۴	۱۵/۸۸	H-S (1)	۳
۰/۹۴	۳۷/۸۹	۴	۱۵/۹۴	J-H(1)	۴
۰/۸۸	۵۲/۹۹	۵	۲۴/۵۳	H-S (3)	۵
۰/۸۶	۵۴/۷۵	۵	۲۴/۹۳	H-S (4)	۶
۰/۸۹	۵۷/۳۰	۵	۲۶/۱۰	J-H(3)	۷
۰/۸۹	۶۵/۴۴	۶	۳۰/۸۷	J-H(2)	۸

۲۹

H-S(2) :

$$ET = 1.5827 + .0111375 \times Rs \times (TC + 17.8)$$

۳۰

که در آن Rs از رابطه ۲ محاسبه می شود.

همچنین در روابط فوق با توجه به نتایج به دست آمده برای محاسبه تشعشع برون زمینی از رابطه سامانی و پسرکلی (۱۹۸۶) استفاده می شود. به علاوه در معادله ۲۹ برای به دست آوردن Kt موجود در رابطه Rs از رابطه ۱۲ و در معادله ۳۰ از رابطه ۱۳ استفاده می گردد. روابط اصلاحی مذکور برآورد تبخیر- تعرق پتانسیل را بر حسب میلی متر در روز در دوره های ماهانه ارایه می دهد.

به منظور اصلاح روش های برگزیده از مدل رگرسیون خطی استفاده شده است (۱). بر اساس اصلاح خطی روابط برگزیده جنسن- هیز به شکل زیر در می آیند:

J-H(1) :

$$ET_0 = 1.502 + 0.6804 Ct \times (T-Tx) \times Rs/X$$

۲۷

که در آن Rs از رابطه ۲ محاسبه می شود.

J-H(4) :

$$ET_0 = 1.5534 + 0.693 \times Ct \times (T-Tx) \times Rs/X$$

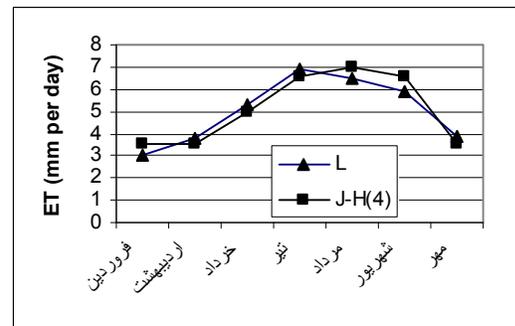
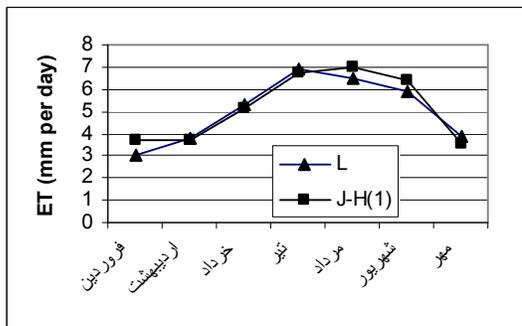
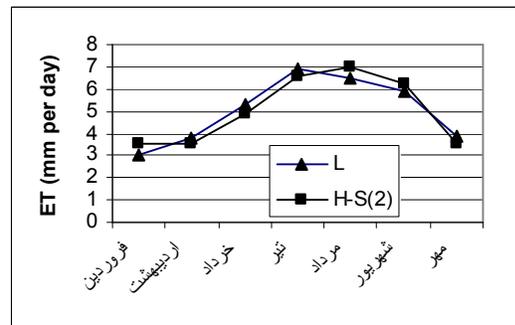
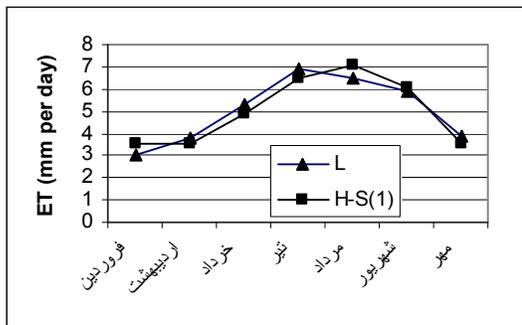
۲۸

که در آن Rs از رابطه ۱۹ محاسبه می شود.

نتایج حاصل از اصلاح روابط برگزیده هارگریوز- سامانی به شکل زیر است:

H-S(1) :

$$ET = 1.6236 + 0.0110566 \times Rs \times (TC + 17.8)$$



شکل ۲- مقایسه مقادیر اصلاح شده روش های برگزیده با مقادیر لایسیمتری

دهد. همان طور که در شکل ۲ مشهود است نمودارها در مقایسه با شکل ۱ به نمودارهای لایسیمیتری بسیار نزدیک تر شده اند و جدول ۳ نیز نشان می دهد که خطای ارزیابی به حدود ۹٪ تقلیل یافته است. بر این اساس، اصلاح انجام شده برای منطقه ی مورد بررسی قابل قبول بوده است.

جدول ۳ مقادیر متوسط قدر مطلق خطای نسبی را نشان می دهد. همچنین در شکل ۲ این مقادیر در مقایسه با مقادیر لایسیمیتری ترسیم شده اند. هر دو گواهی هستند بر این مطلب که اصلاح خطی، روش های فوق الذکر را قادر ساخته که دقت مقادیر ارزیابی شده را افزایش

جدول ۳- میانگین قدر مطلق خطای نسبی روش های اصلاح شده به تفکیک ماه

J-H(4)	J-H(1)	H-S(2)	H-S(1)	
۲۶/۷۱	۳۰/۳۵	۲۶/۷۸	۲۶/۴۷	فروردین
۵/۱۸	۲/۴۳	۵/۰۶	۵/۳۵	اردیبهشت
۷/۲۱	۴/۳۱	۷/۰۶	۷/۵۶	خرداد
۵/۹۸	۳/۹۴	۶/۸۳	۶/۲۹	تیر
۳/۵۷	۵/۷۸	۳/۶۷	۳/۸۴	مرداد
۴/۸۱	۶/۸۱	۵/۴۷	۴/۹۸	شهریور
۸/۷۴	۷/۴۸	۸/۷۵	۷/۹۴	مهر
۸/۸۸	۸/۷۳	۹/۰۹	۸/۹۲	میانگین

جمع بندی و پیشنهادها

برون زمینی، برای گیاه مرجع یونجه، معادلات توصیه شده توسط سامانی- پسرکلی مناسب است و در ارتباط با ضریب رابطه هارگریوز- سامانی (Kt)، معادلات سامانی- پسرکلی و آلن تفاوتی با یکدیگر ندارند.

نتایج تحقیق فوق برای مناطق دیگری که از لحاظ شرایط هواشناسی با منطقه اصفهان مشابه باشند، احتمالاً مطابقت دارد. لذا پیشنهاد می شود که مشابه تحقیق فوق برای مناطق مختلف کشور خصوصاً برای روش هارگریوز- سامانی صورت پذیرد. چرا که روش مذکور تنها به درجه حرارت متکی است و Kt برای نقاط مختلف ایران از طریق روابط ارائه شده، به راحتی قابل محاسبه است.

در این تحقیق حالت های مختلف دو روش هارگریوز- سامانی و جنسن- هیز برای ارزیابی تبخیر- تعرق گیاه یونجه مورد بررسی قرار گرفت و برخی از شیوه ها که خطای کمتری را در ارزیابی داشتند، برگزیده و برای منطقه کبوترآباد واسنجی شدند. همچنین در این بررسی نشان داده شد که در میان حالت های برتر، روش های هارگریوز سامانی و جنسن- هیز تفاوت چندانی با یکدیگر ندارند و ارزیابی نسبتاً مشابهی را ارائه می دهند.

به علاوه نتایج محاسبات ثابت کرد که از میان روش های مورد استفاده برای ارزیابی تشعشع

سپاسگزاری

در اینجا لازم است از مسولین و کارشناسان بخش تحقیقات آب و خاک سازمان تحقیقات کشاورزی استان اصفهان خصوصاً جناب آقای

مهندس ستار و همچنین از آقای مهندس نیک سار کارشناس محترم سازمان هواشناسی استان اصفهان که این تحقیق را ممکن ساختند سپاسگزاری شود.

منابع

- ۱- بارچاریا، گ. ک. و ر. جانسون. ۱۳۶۶. مفاهیم و روشهای آماری، جلد دوم. ترجمه مرتضی ابن شهر آشوب، فتاح میکائیلی. انتشارات مرکز نشر دانشگاهی، تهران.
- ۲- خواجه زاده، غ. ۱۳۷۴. اصلاح معادله های بلانی-کریدل و هارگریوز- سامانی برای مناطق مختلف ایران. پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشگاه شیراز.
- ۳- عقدایی، م. ۱۳۶۸. تعیین آب مصرفی گیاه یونجه به روش لایسیمتری. گزارش پژوهشی بخش تحقیقات خاک و آب سازمان تحقیقات کشاورزی استان اصفهان.
- ۴- عقدایی، م. ۱۳۷۲. تعیین آب مصرفی گیاه یونجه به روش لایسیمتری. گزارش پژوهشی بخش تحقیقات خاک و آب سازمان تحقیقات کشاورزی استان اصفهان.
- ۵- عقدایی، م. ۱۳۷۳. تعیین آب مصرفی گیاه یونجه به روش لایسیمتری. گزارش پژوهشی بخش تحقیقات خاک و آب سازمان تحقیقات کشاورزی استان اصفهان.
- ۶- عقدایی، م. ۱۳۷۴. تعیین آب مصرفی گیاه یونجه به روش لایسیمتری. گزارش پژوهشی بخش تحقیقات خاک و آب سازمان تحقیقات کشاورزی استان اصفهان.
- 7- Allen, R.G. 1996. Assessing intergrity of data for reference evapotranspiration estimation. Journal of Irrigation and Drainage Engineering ., Dir., ASCE. Vol 122, NO. 2, 97-106
- 8- Burman, R. and L. O. Pochop. 1994. Evaporation, Evapotranspiration and climatic data. Elsever Sicence B. V.pp., 278.
- 9- Doorenbos J. and W.O. Pruitt. 1977. Crop water requirements. Irrig and Drain., Paper No 24, FAO., Rome, Italy . pp. 248.
- 10- Hargreaves G. H., and Z. A. Samani. 1982. Estimating potential evapotranspiration. Journal of the Irrigation and Drainage Divion, Proceedings of the American Society of Civil Engineere, ASCE, Vol. 108, No. IR3, pp. 223-230.
- 11- Hargreaves G. H., and Z. A. Samani. 1985. Reference crop evapotranspiration from temperation". Transactions of the ASAE., Vol . 28, No. 2., 96-99.
- 12- Jacovides C. P. and H. Kontoyiannis. 1995. Statistical procedures for the evaluation of evapotranspiration computing models. Agric. Water Manage. 27, 365-371.
- 13- Kotsopoulos S. and C. Babajimopoulos. 1997. Analytical estimation of penman eqation parameter. Journal of Irrigation and Drainage Engineering., Dir., ASCE. Vol 123, NO. 4,253-256.

- 14- Samani Z.A. and M.Pessarakli. 1986. Estimating potential crop evapotranspiration with minimum data in Arizona. Transactions of the ASAE., Vol. 29, No. 2., 552-524.
- 15- Samani Z. 2000. Estimating solar radiation and evapotranspiration using minimum climatological data. J. Irrig. And Drain. Eng. ASCE, Vol. 126, No. 4, 265-267.