نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره5، جلد9، آذر - دی 1394، ص. 730-720

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 5, Vol. 9, Dec.-Jan. 2015, p. 720-730

تخمین نیاز آبیاری با استفاده از توابع توزیع احتمال (مطالعه موردی: گندم پائیزه)

سیّد صابر شریفی بناب[1*] امیرحسین ناظمی[2]، علی‌اشرف صدرالدینی[3]، احمد فاخری فرد[4]، فرزین سلماسی[5]

تاریخ دریافت: 1394/3/25 تاریخ پذیرش: 1394/9/11

چکیده

اطلاعات اندک ناشی از شرایط اقلیمی غیرقابل پیش‌بینی، به عدم قطعیت در تصمیم‌گیری‌های بخش کشاورزی منجر می‌شود. به همین دلیل، تحلیل‌های احتمالاتی با احتمال وقوع متفاوت ضمن افزایش انعطاف‌پذیری در تصمیم‌گیری‌ها، می‌تواند ضریب اطمینان تصمیمات را نیز بالا برد. در این تحقیق با بهره‌گیری از اطلاعات ایستگاه هواشناسی سینوپتیک تبریز نسبت به تعیین مقادیر بارش مؤثر و تبخیر- تعرق گیاه موردمطالعه (گندم) در طول دوره‌های میانی و پایانی رشد در منطقه موردمطالعه (دشت تبریز) در دوره آماری 29 ساله (از سال 1982 تا 2010) اقدام شد. با تجزیه و تحلیل مقادیر بارش مؤثر و تبخیر- تعرق به‌عنوان متغیرهای احتمالاتی، روشی مطمئن برای تخمین نیاز آبیاری بر اساس توابع توزیع احتمال ارائه شد. با بررسی 12 تابع توزیع احتمال مختلف، مشخص شد که برای داده‌های بارش ماهانه با مقادیر بیش‌تر از 30 میلی‌متر، تابع توزیع لوگ نرمال سه پارامتری بهترین نتایج را به دست داد اما برای داده‌های تبخیر تعرق، تابع توزیع مشخصی به دست نیامد. هم‌چنین، یکی از مزیت‌های روش ارائه‌شده، به دست دادن فرمول‌های جامع برای برآورد مقدار نیاز آبیاری گیاه با ترکیبی از احتمالات وقوع متفاوت (برای دوره‌های مختلف رشد) است. نتایج به‌دست‌آمده هم‌چنین نشان داد که مقدار نیاز آبیاری گزارش‌شده در برنامه NETWAT که در واقع در سطح احتمال 50 درصد بوده و در بسیاری از طرح‌های آبیاری در ایران از آن استفاده می‌شود، با مقادیر محاسبه‌شده در این تحقیق متفاوت است. لذا با توجه به گزارش‌های مشابه در پژوهش‌های مختلف، استفاده از روش ارائه‌شده در این تحقیق به‌منظور تخمین دقیق‌تر نیاز آبیاری گیاه (در سطوح احتمالاتی مختلف) به‌ویژه برای شرایط بحرانی (تبخیر- تعرق زیاد و بارندگی کم) و یا برای گیاهان حساس به تنش آبی (در سطح احتمال 80 درصد و یا بالاتر) توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: باران مؤثر، برنامه NETWAT، تبخیر و تعرق، تحلیل‌های احتمالاتی، دشت تبریز، گیاه گندم

مقدمه

نیاز آبیاری گیاه تفاضل باران مؤثر از نیاز آبی گیاه است. با توجه به این‌که نیاز آبی گیاه به‌عنوان مقدار آب مورد نیاز برای جبران تلفات ناشی از تبخیر- تعرق تعریف شده است (کمالی و همکاران، 1387)، لذا نیاز آبیاری را می‌توان تفاضل باران مؤثر از تبخیر- تعرق گیاه تعریف نمود.

آنچه در برنامه‌ریزی‌های معمول پروژه‌های آبی صورت می‌گیرد، استفاده از مقادیر میانگین است که ممکن است گاهی اوقات زمینه‌ساز خطاهای محاسباتی بزرگی گردد که سبب عدم تکافوی منابع آبی ملحوظ شده و نیز افت شدید محصول گردد. به همین دلیل تحلیل‌های احتمالاتی با احتمالات مختلف، ضمن افزایش انعطاف‌پذیری در تصمیم‌گیری‌ها، می‌تواند ضریب اطمینان تصمیمات را نیز بالا برد.

محاسبات نیاز آبی و نیاز آبیاری در طرح‌ها معمولاً به‌صورت احتمالاتی صورت می‌گیرد. اگر تبخیر- تعرق ماهانه طی یک دوره‌ی آماری طولانی‌مدت برای سال‌های گوناگون محاسبه شود، به دلیل تغییرات شرایط آب و هوایی اعداد متفاوتی به دست خواهند آمد. به‌عبارت دیگر تبخیر- تعرق یک پارامتر تصادفی است که از توزیع‌های آماری تبعیت می‌کند و چنانچه بر اساس میانگین چندساله- ی داده‌های هواشناسی محاسبه گردد، نتیجه حاصله از احتمال وقوع 50 درصد برخوردار است. باران مؤثر نیز به‌عنوان جزئی از بارندگی در سال‌های مختلف از توزیع‌های آماری تبعیت می‌کند. به همین علت می‌توان در موارد مختلف از ترکیب احتمالاتی بارندگی و تبخیر- تعرق

1- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
2و3و4- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
5- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
(* - نویسنده مسئول: Email:sharifi.sab@gmail.com)

استفاده نمود (عرفانیان و همکاران، 1389 و فرجزاده و همکاران، 1387).

تاکنون مطالعاتی به‌منظور تخمین تبخیر- تعرق در سطوح گوناگون احتمال صورت گرفته است. (Pruitt et al., 1972)، (Nixon et al., 1972) و(Wright et al., 1972) منحنی‌های توزیع تبخیر- تعرق روزانه را در سطوح گوناگون احتمال تهیه کردند. در ایران نیز نیکبخت و میرلطیفی (1381) و نیکبخت و همکاران (1386) با استفاده از داده‌های طولانی‌مدت هواشناسی، منحنی‌های توزیع تبخیر- تعرق روزانه را در سطوح احتمال وقوع متفاوت (به ترتیب برای تهران و سد علویان مراغه) تهیه کردند. فولادمند (1388) نیز با تخمین نیاز آبیاری گیاهان زراعی مهم استان فارس در سطوح گوناگون احتمال نشان داد که نیاز آبیاری گزارش‌شده در برنامه‌ی NETWATکه در واقع در سطح احتمال 50 درصد بوده و در بسیاری از طرح‌های آبیاری در ایران نیز از آن استفاده می‌شود (علیزاده و کمالی، 1386)، با نیاز آبیاری گیاهان گوناگون در سطح احتمال 50 درصد در مناطق انتخاب شده اختلاف قابل‌توجهی دارد.

پیش‌تر، از توابع توزیع احتمال در علوم آب استفاده‌شده است.آژار و همکاران معادله بیلان آبی را که در آن بارش و تبخیر- تعرق پدیده‌هایی تصادفی در نظر گرفته‌شده‌اند، به کاربردند. در این پژوهش برای برآورد بارش و تبخیر- تعرق در دوره‌های هفت‌روزه از توزیع نرمال استفاده شده است (Azhar et al., 1992). یائو و همکاران برای تخمین نیاز آبی طرح در کره جنوبی با استفاده ازمعادله فائو پنمن مانتیث، پس از بررسی نه توزیع احتمال مختلف، تابع لجستیک تعمیم یافته را به‌عنوان تابع توزیع بهینه برگزیدند (Yoo et al., 2008).

آنچه در تمامی این پژوهش‌ها مشترک است، تأکید بر استفاده از یک تابع توزیع احتمال برای برآورد بارش یا تبخیر- تعرق است. هم‌چنین تاکنون برآورد نیاز آبیاری با استفاده از توابع توزیع احتمال مورد هدف پژوهش‌های انجام‌گرفته نبوده است.

هدف این پژوهش برآورد نیاز آبیاری در مقیاس ماهانه برای گیاه گندم به‌عنوان یکی از محصولات استراتژیک و مهم تولیدی با احتمالات وقوع متفاوت و با استفاده از توابع توزیع احتمال مختلف و تحلیل آن است که می‌تواند درصد اطمینان مقدار آب قابل تخصیص ماهانه در دوره رشد گیاه بر مبنای احتمال وقوع موردنظر را مشخص کند.

مواد و روش‌ها

برای این پژوهش آمار و اطلاعات ایستگاه سینوپتیک تبریز در دوره آماری 29 ساله (از سال 1982 تا 2010) استفاده گردید. ایستگاه سینوپتیک تبریز در طول جغرافیایی 46 درجه و 17 دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی 38 درجه و 41 دقیقه شمالی و با ارتفاع 1361 متر از سطح دریا در شمال غرب ایران واقع شده است. شکل 1 موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. مشخصات بارش و خصوصیات اقلیمی این ایستگاه در دوره آماری ذکرشده در جداول 1 و 2 ارائه شده است. دوره رشد گیاه انتخاب شده (گندم) در دشت تبریز از دهه دوم مهر آغاز شده (کمالی و همکاران، 1387) و تا دهه اول تیر ماه ادامه می‌یابد. با توجه به اطلاعات موجود در نرم‌افزار NETWAT نیاز آبیاری گیاه گندم در دشت تبریز در مراحل میانی و پایانی رشد است. لذا به دلیل انطباق بیش‌تر دوره رشد گندم با ماه‌های میلادی و هم‌چنین به‌دلیل ثابت بودن ضریب گیاهی در مراحل میانی و پایانی رشد گندم، ماه‌های مارس، آوریل، می و ژوئن هدف این تحقیق قرار گرفتند.

مشخصات خاک منطقه موردمطالعه

اراضی ایستگاه تحقیقاتی کرکج وابسته به دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز واقع در کیلومتر 12 جاده تبریز-باسمنج برای بررسی در این پژوهش انتخاب گردید. جعفر زاده و همکاران (1375) خاک‌های این منطقه را با داشتن 63/6 درصد شن، 24/2 درصد رس و 12/2 درصد سیلت جزء خاک‌های لوم شنی گزارش نموده‌اند. بر اساس این گزارش در عمق 0 تا 15 سانتی‌متری، درصد حجمی رطوبت در ظرفیت زراعی 28 درصد و در نقطه پژمردگی دائم 8 درصد است.

محاسبه بارش مؤثر

نخستین گام در تخمین نیاز آبیاری، اطلاع از میزان رطوبت خاک تأمین شده به‌وسیله باران در ناحیه ریشه گیاه است (Marinus et al, 2009).

جدول1- مشخصات بارش در ایستگاه سینوپتیک تبریز در دوره زمانی 2010-1982

پارامتر	میانگین بارش سالانه (mm)	حداکثر و حداقل بارش سالانه (mm)	میانگین بارش ماهانه (mm)	ماه‌های حداکثر بارش و درصد کل از بارش سالانه (%)	میانگین حداکثر بارش ماهانه (mm)	ماه‌های حداقل بارش و درصد کل از بارش سالانه (%)	میانگین حداقل بارش ماهانه (mm)
مقدار	251/5	380 سال 1982 148 سال 1990	21	آوریل و می33/3 درصد	45/3آوریل	جولای، اوت و سپتامبر، 6 درصد	2/9اوت

جدول2- خصوصیات اقلیمی روزانه ایستگاه سینوپتیک تبریز در دوره زمانی 2010-1982

پارامتر	میانگین سرعت باد (m/s)	میانگین حداقل دما (°C)	میانگین حداکثر دما (°C)	میانگین دما (°C)	میانگین ساعات آفتابی (hr)	میانگین رطوبت نسبی متوسط (%)	میانگین تبخیر (mm)
مقدار	3	7/6	18/5	12/7	8	52	5/5

شکل 1- موقعیت جغرافیایی منطقه موردمطالعه

ازآنجایی‌که تنها قسمتی از بارش رسیده به زمین، برای رشد و تولید محصول، توسط گیاه مورد استفاده قرار می‌گیرد، لازم است به‌منظور برآورد دقیق میزان آب در دسترس گیاه بارش مؤثر ماهانه محاسبه شده و در برآورد نیاز آبیاری لحاظ شود. با توجه به عمومیت روش SCS و امکان کاربرد آن در مناطق مختلف و انواع شرایط آب و هوایی، به‌منظور برآورد باران مؤثر از این روش استفاده گردید. پارامترهای ورودی این رابطه، تبخیر- تعرق پتانسیل و بارش ماهانه می‌باشند. برای محاسبه تبخیر- تعرق از روش متداول فائو- پنمن- مانتیث استفاده گردید و سپس با استفاده از داده‌های 29 ساله بارش ماهانه ایستگاه سینوپتیک تبریز (از سال 1982 تا 2010) باران مؤثر برای عمق آبیاری 75 میلی‌متری محاسبه گردید.

درروش SCS با استفاده از مقادیر باران و تبخیر- تعرق ماهانه و هم‌چنین عمق ذخیره آب یا عمق آبیاری و کاربرد رابطه شماره 1، باران مؤثر برآورد می‌شود (Anonymous, 1993):

$$P_{eff} = f(D)[1.25(R)^{0.824} - 2.93] \times 10^{(0.000955 ET_c)} \quad (1)$$

در رابطه شماره 1، P_{eff} بارندگی مؤثر (میلی‌متر)، R بارندگی در ماه موردنظر (میلی‌متر)، ET_c تبخیر-تعرق گیاه در ماه موردنظر (میلی متر) و f(D) تابعی است که از رابطه 2 حساب می‌شود:

$$f(D) = 0.53 + 0.0116D - 8.94 \times 10^{-5} D^2 + 2.32 \times 10^{-7} D^3 \quad (2)$$

که در آن D میزان تخلیه رطوبت خاک قبل از آبیاری (میلی‌متر) است. درصورتی‌که مقدار D در اختیار نباشد، به‌جای آن رقم 75 میلی متر در نظر گرفته می‌شود و در این صورت f(D) برابر 1 خواهد شد (Hess., 2010).

لازم به ذکر است که این محاسبات برای گیاه مرجع (ET_O) صورت گرفته و کلیه مقادیر منفی حاصل‌شده از رابطه 1 (فرمول بارش مؤثر) به دلیل اینکه بارش با مقدار منفی بی‌معنی بوده و به مفهوم عدم تأثیرگذاری بارش است صفر منظور شده‌اند. هم‌چنین با توجه به این‌که مجموع بارش ماهانه کم‌تر از 10 میلی‌متر، بارش مؤثر منظور نمی‌شود (Dastane., 1978)، بارش مؤثر ماه‌های جولای، اوت و سپتامبر، صفر منظور شده است.

اگر نسبت میانگین بارش مؤثر بر میانگین بارش با نام ضریب بارش مؤثر خوانده شود، با توجه به جدول 3 ملاحظه می‌شود که ضریب بارش مؤثر برای ماه‌های مختلف، متفاوت بوده و از 58/7 درصد تا 89/7 درصد متغیر است، لذا هر چند جدول فوق بیانگر متوسط بارش مؤثر 72 درصدی برای ایستگاه سینوپتیک تبریز در طول سال هست، اما به‌منظور در اختیار داشتن برنامه آبی دقیق‌تر، توجه به ضریب بارش مؤثر برای ماه‌های مختلف، ضروری بوده و به تحلیل دقیق‌تر میزان آب در دسترس گیاه کمک شایانی می‌نماید.

جدول 3-اطلاعات مربوط به بارش مؤثر ماهانه برای ایستگاه سینوپتیک تبریز

ماه	میانگین تبخیر- تعرق گیاه مرجع (mm)	میانگین بارش (mm)	میانگین بارش مؤثر (mm)	ضریب بارش مؤثر
ژانویه	26/3	19/4	11/8	60/9
فوریه	38/7	17/8	10/9	61/4
مارس	76/6	30/9	20/9	67/9
آوریل	116/1	44/8	32/2	71/9
می	166/2	37/1	29/9	80/6
ژوئن	227/1	12/4	10/6	85/6
جولای	276	5/3	0	89/7
اوت	253/3	3	0	81/1
سپتامبر	172/2	6/9	0	77/9
اکتبر	99/9	22/1	14/7	66/5
نوامبر	46/1	26/3	16/3	62/3
دسامبر	28	22/2	13	58/7

بر این اساس بارش وارد شده در برنامه‌ریزی‌ها برای ماه مارس (11 اسفند تا 12 فروردین) بایستی 67/9 درصد بارش تخمینی باشد. با توجه به جدول 3 این عدد برای ماه‌های آوریل (13 فروردین تا 11 اردیبهشت)، می (12 اردیبهشت تا 11 خرداد) و ژوئن (12 خرداد تا 10 تیر) به ترتیب 71/9، 80/6 و 85/6 درصد است.

گیاه نمونه انتخابی در این مطالعه گندم پائیزه است. گندم گیاهی یک‌ساله، تک‌لپه، خودگشن، از تیره غلات، خانواده گندمیان و جنس تریتیکوم است که مهم‌ترین محصول کشاورزی جهان است. (احمدی و همکاران، 1383 و فاضلی نسب و همکاران، 1389). تولید سالیانه گندم در جهان حدود 600 میلیون تن است و تقریباً 20% انرژی و 25% نیازهای پروتئینی جمعیت جهان را فراهم می‌کند (فرج زاده اصل و همکاران، 1387). کشت گیاه گندم در منطقه مورد مطالعه (دشت تبریز) از دهه دوم مهر آغاز می‌شود (کمالی و همکاران، 1387). اطلاعات گندم مورد مطالعه در قالب جدول 4 بیان شده است.

جدول 4- اطلاعات گندم کشت‌شده در دشت تبریز حاصل از نرم‌افزار OPTIWAT

تاریخ کشت		طول مراحل مختلف رشد (روز)				ضرایب گیاهی پایه		
روز	ماه	آغازین	توسعه	میانی	پایانی	آغازین	میانی	پایانی
11	مهر	25	124	75	37	0/15	1/1	0/2

بر اساس دستورالعمل FAO-56 با توجه به اینکه دوره زمانی انتخاب شده برای برآورد نیاز آبیاری، ماهانه است، لذا ضریب گیاهی یک جزئی (K_C) استفاده می‌شود (Allen et al., 1998). با در نظر گرفتن جدول 4 مشخص می‌شود که کشت گیاه گندم 11 مهر (3 اکتبر) آغاز شده و ماه‌های مارس، آوریل و می از مراحل میانی رشد گیاه بوده و ضریب گیاهی (K_C) برای مرحله میانی برابر با 1/1 است. ماه ژوئن نیز مرحله پایانی رشد گیاه بوده و ضریب گیاهی برای این ماه برابر با 0/2 خواهد بود.

معیارهای استفاده شده برای ارزیابی نحوه توزیع مقادیر حاصله از مدل با داده‌های مشاهداتی و نیز داده‌های حاصل از روش SCS، به‌صورت زیر می‌باشند:

جذر میانگین مربع خطا (RMSE):

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(z_i^* - z_i)^2}{n}} \quad (3)$$

که $z^*(x_i)$ مقدار تخمین زده شده و $z(x_i)$ مقدار مشاهده شده در نقطه i ام است. n نیز تعداد مشاهدات است.

ضریب تبیین (R^2):

$$R^2 = 1 - \frac{SSE}{SS_{yy}} \quad (4)$$

لازم به ذکر است که هرچه مقدار RMSE کم‌تر و مقدار R^2 بیش‌تر (نزدیک به یک) باشد، نتیجه حاصل شده، دقیق‌تر است (Vijayaraghavan et al., 2006).

تحلیل مؤلفه‌های بارش و تبخیر- تعرق

در این پژوهش، داده‌های 29 ساله ایستگاه سینوپتیک تبریز (از

سال 1982 تا 2010) برای داده‌های بارش و تبخیر- تعرق مورد مطالعه قرار گرفتند. در نخستین گام، داده‌های بارش به ترتیب نزولی (بزرگ به کوچک) و داده‌های تبخیر- تعرق به‌صورت صعودی (کم‌تر به بیش‌تر) مرتب و به چهار گروه تقسیم‌بندی شدند و عملکرد هر یک از توزیع‌ها برای بزرگ‌ترین و کوچک‌ترین گروه و هم‌چنین داده‌های پیرامون میانگین بر اساس معیارهای آماری مذکور مورد بررسی و ارزیابی قرارگرفته و درنهایت توزیعی که در مجموع چارک‌ها دارای عملکرد بهتری بود انتخاب گردید.

با استفاده از داده‌های 29 ساله مذکور، برای هر ماه 29 داده ماهانه حاصل شد. با توجه به دوره رشد گیاه انتخاب شده (گندم)، ماه-های مارس، آوریل، می و ژوئن برای بررسی انتخاب گردیدند. با برازش توابع توزیع احتمال بر روی داده‌های بارش و تبخیر- تعرق و با توجه به این نکته که مناسب‌ترین تابع توزیع برای احتمالات وقوع متفاوت، با توجه به عملکرد تابع در چارک مربوطه، تعیین می‌شود، پس از چارک‌بندی نتایج به‌دست آمده از توزیع‌های مختلف و با بهره-گیری از معیارهای ارزیابی خطا، بهترین تابع توزیع برای هر چارک و برای هر ماه، استخراج شد.

به‌منظور برآورد نیاز آبیاری، در اولین گام، برازش توابع توزیع برای داده‌های بارش ماهانه (در طول 29 سال آماری) انجام شد و پس از بررسی نتایج، بهترین تابع توزیع با احتمال وقوع 50 درصد، 80 درصد و در حالت کلی ارائه گردید. سپس بارش مؤثر ماهانه محاسبه و ضریب بارش مؤثر برای هر ماه ارائه شد. حاصل‌ضرب ضریب بارش مؤثر در بارش با احتمال معین، بارش مؤثر با احتمال مربوطه است. در دومین گام تبخیر تعرق ماهانه برای گیاه مرجع با استفاده از فرمول فائو پنمن مانتیث محاسبه شد و برازش توزیع برای داده‌های به‌دست آمده صورت گرفت. با بررسی نتایج، بهترین تابع توزیع برای احتمال 50 درصد، 80 درصد و نیز در حالت کلی منظور گردید. حاصل‌ضرب ضریب گیاهی گندم در ماه مربوطه برابر تبخیر و تعرق گیاه گندم در آن ماه است. ازآنجایی‌که نیاز آبیاری حاصل کسر مقدار بارش مؤثر از مقدار تبخیر و تعرق گیاه است، تفاضل تبخیر- تعرق با احتمال وقوع معین (50 یا 80 درصد) از مقدار بارش مؤثر با احتمال مربوطه، نیاز آبیاری با احتمال مشخص را به دست می‌دهد.

برآورد نیاز آبیاری

با توجه به مطالب بیان‌شده می‌توان روشی جامع را برای برآورد نیاز آبیاری ترسیم نمود. بر این اساس در صورت استفاده از برآوردهای ماهانه و در اختیار داشتن مقادیر باران مؤثر و تبخیر- تعرق گیاهی، (که در این تحقیق گیاه گندم در نظر گرفته شده است) می‌توان تخمینی از نیاز آبیاری ماهانه با احتمال وقوع معین به دست آورد.

جدول 5- توابع توزیع احتمال مورد استفاده در پژوهش

پارامترها	نام و رابطه تابع توزیع احتمال	پارامترها	فرمول
	Frechet (3P)		Beta
	Gamma 3P (Pearson Type 3)		Gamma (2P)
	Generalized Gamma (4P)		Generalized Gamma (3P)
	Gumbel Max		Gumbel Min
	Normal		Where $z \equiv \frac{x-\mu}{\sigma}$ Lognormal (3P)
	Pearson Type 6 (4P)		Pearson Type 6 (3P)

بدین‌صورت که با در دست داشتن احتمال وقوع باران مؤثر و تبخیر- تعرق مرجع (با احتمال معین) و در دست داشتن ضریب گیاهی برای هر مرحله از رشد، نیاز آبیاری ماهانه بر اساس رابطه 5 تعیین می‌گردد.

$$IWR(x) = ET_C(x) - P_{eff}(x) \quad (5)$$

در رابطه 5، $IWR(x)$ نیاز آبیاری ماهانه با احتمال وقوع x، $ET_C(x)$ تبخیر و تعرق گیاهی با احتمال وقوع x و باران مؤثر $P_{eff}(x)$ با احتمال وقوع x است.

برای نشان دادن قابلیت روش ارائه‌شده در این تحقیق، با در نظر گرفتن ماه‌های مارس، آوریل، می و ژوئن به‌عنوان مراحل میانی و پایانی فصل رشد، نحوه برآورد نیاز آبیاری ماهانه گندم پائیزه برای چهار ماه مذکور شرح داده شده است.

نتایج و بحث

برآورد نیاز آبیاری ماه مارس

برای برآورد داده‌های بارش ماه مارس با احتمالات 80 و 50 درصد، از بین 12 تابع توزیع مذکور در جدول 5، تابع توزیع لوگ نرمال سه پارامتری بهترین نتایج را در مجموع تمام چارک‌ها به‌دست داد. با لحاظ کردن پارامترهای به‌دست‌آمده، فرمول تابع توزیع لوگ نرمال سه پارامتری برای برآورد داده‌های بارش ماه مارس با احتمالات وقوع متفاوت به‌صورت زیر حاصل شد:

$$P(x) = \phi\left(\frac{\ln(x+64.493)-4.5462}{0.15041}\right) \quad (6)$$

بر اساس رابطه 6، برای بارش با احتمال 80 درصد، مقدار 18/676 میلی‌متر و برای بارش با احتمال 50 درصد، مقدار 29/812 میلی‌متر به‌دست می‌آید درحالی‌که در صورت لحاظ نمودن مقادیر احتمالاتی برای نمونه آماری ماه مارس، مقدار 18/4 میلی‌متر برای بارش نظیر احتمال 80 درصد، مقدار 18/4 و مقدار 30/855 میلی‌متر برای بارش نظیر احتمال 50 درصد، استخراج گردید.

برای برآورد داده‌های تبخیر- تعرق گیاه مرجع در ماه مارس، بین توابع توزیع بررسی‌شده برای تمامی چارک‌ها، توزیع واحدی به‌دست نیامد. بر این اساس، در چارک اول، تابع پیرسون تیپ 6 سه پارامتری، برای چارک دوم تابع پیرسون تیپ 3 (یا گامای سه پارامتری) برای چارک سوم، تابع نرمال و برای چارک چهارم، تابع گامای دو پارامتری منجر به بهترین نتایج می‌شوند. از این‌رو به‌منظور برآورد تبخیر- تعرق با احتمال 80 درصد، تابع گامای دو پارامتری و برای برآورد تبخیر- تعرق با احتمال 50 درصد، تابع نرمال می‌تواند مورداستفاده قرار گیرد ولی درصورتی‌که نیاز به استفاده از تنها یک تابع مشخص برای برآورد تبخیر- تعرق در ماه مارس باشد، به دلیل عملکرد قابل‌قبول این تابع در تمامی چارک‌ها، انتخاب تابع پیرسون تیپ 3 منطقی است.

با لحاظ کردن پارامترهای به‌دست‌آمده، فرمول تابع توزیع پیرسون تیپ 3 (گامای سه پارامتری) برای برآورد داده‌های تبخیر- تعرق ماه مارس به‌صورت زیر حاصل شد:

$$ET(x) = \frac{\Gamma_{(x-43.292),9.4476}(3.5303)}{\Gamma(3.5303)} \quad (7)$$

فرمول تابع توزیع نرمال برای برآورد داده‌های تبخیر- تعرق ماه مارس با توجه به پارامترهای حاصل‌شده، بدین شکل تعریف گردید:

$$ET(x) = \phi\left(\frac{x-76.645}{17.337}\right) \quad (8)$$

فرمول تابع توزیع گامای دو پارامتری برای برآورد داده‌های تبخیر- تعرق ماه مارس نیز با توجه به پارامترهای به‌دست‌آمده، به شکل رابطه 9 تعریف گردید:

$$ET(x) = \frac{\Gamma_{(x,3.9218)}(19.543)}{\Gamma(19.543)} \quad (9)$$

برای برآورد میزان تبخیر- تعرق با احتمال وقوع 80 درصد، بر اساس رابطه 9، عدد 90/7928 میلی‌متر و برای برآورد تبخیر- تعرق با احتمال 50 درصد، با استفاده از رابطه 8، مقدار 73/6064 میلی‌متر، به دست آمد که با استفاده از داده‌های واقعی میزان تبخیر- تعرق80 درصد، 89/9 میلی‌متر و برای تبخیر- تعرق 50 درصد 71/3 میلی‌متر حاصل گردید.

با توجه به مطالب ذکرشده، رابطه کلی در برآورد نیاز آبیاری برای ماه مارس، با احتمالات وقوع متفاوت، به‌صورت زیر حاصل شد:

$$IWR_{march}(x) = \left[K_c \times \frac{\Gamma_{(x-43.292)/9.4476}(3.5303))}{\Gamma(3.5303)}\right] - \left[0.67918 \times \phi\left(\frac{\ln(x+64.493)-4.5462}{0.15041}\right)\right] \quad (10)$$

در رابطه 10، K_c ضریب گیاهی و ضریب 0/67918، ضریب بارش مؤثر در ماه مارس است. عبارت اول مربوط به وقوع تبخیر- تعرق گیاهی با احتمال x و عبارت دوم در ارتباط با وقوع بارش مؤثر با احتمال x است که بایستی از تبخیر- تعرق گیاهی کسر شود تا مقدار نیاز آبیاری با احتمال وقوع x برای ماه مارس به دست آید.

با توجه به جدول 4، ماه مارس از مراحل میانی رشد گیاه بوده و ضریب گیاهی این ماه برابر 1/1 است.

با در نظر گرفتن احتمال وقوع 80 درصد و استفاده از توزیع لوگ نرمال سه پارامتری برای برآورد بارش و توزیع گامای دو پارامتری برای برآورد داده‌های تبخیر- تعرق، فرمول برآورد نیاز آبیاری با احتمال وقوع 80 درصد برای ماه مارس عبارت است از:

$$IWR_{march}(80\%) = \left[K_c \times \frac{\Gamma_{(x,3.9218)}(19.543)}{\Gamma(19.543)}\right] - \left[0.67918 \times \phi\left(\frac{\ln(x+64.493)-4.5462}{0.15041}\right)\right] \quad (11)$$

با استفاده از رابطه 11می‌توان نوشت:

$$IWR_{march}(80\%) = (1.1 \times 90.7928) - (0.67918 \times 18.676) = 87.19 \quad (12)$$

این نتیجه بیانگر آن است که نیاز آبیاری مزرعه در ماه مارس با احتمال 80 درصد، تقریباً برابر با 87 میلی‌متر است.

در صورت لحاظ کردن احتمال وقوع 50 درصد و استفاده از توزیع

لوگ نرمال سه پارامتری برای برآورد بارش و توزیع نرمال برای برآورد داده‌های تبخیر- تعرق، فرمول برآورد نیاز آبیاری با احتمال وقوع 50 درصد برای ماه مارس عبارت است از:

$$IWR_{march}(50\%) = [K_c \times \phi(\frac{x-76.645}{17.337})] - \left[0.67918 \times \phi\left(\frac{\ln(x+64.493)-4.5462}{0.15041}\right)\right] \quad (13)$$

با استفاده از رابطه 13 می‌توان نوشت:

$$IWR_{march}(50\%) = (1.1 \times 73.6064) - (0.67918 \times 29.812) = 60.72 \quad (14)$$

با توجه به رابطه 14 نیاز آبیاری مزرعه در ماه مارس با احتمال 50 درصد، برابر با 60/7 میلی‌متر است. درحالی‌که در صورت استفاده از مقادیر میانگین 29 ساله ایستگاه سینوپتیک تبریز این مقدار برابر 57/5 میلی‌متر است.

با توجه به استفاده از داده‌های میانگین در برنامه‌ی NETWAT، مقادیر نیاز آبیاری توصیه شده در این برنامه در سطح احتمالاتی 50 درصد می‌باشند. نیاز آبیاری ارائه شده در برنامه‌ی NETWAT برای ماه مارس در دشت تبریز (برای گیاه گندم) 32 میلی‌متر است که با مقادیر محاسبه‌شده در این پژوهش متفاوت است. تفاوت سال‌های آماری به‌کار رفته در برنامه ذکرشده و این پژوهش می‌تواند از جمله دلایل این اختلاف باشد.

طبق روند گفته شده برای ماه مارس، رابطه کلی برآورد نیاز آبیاری، فرمول برآورد نیاز آبیاری با احتمال وقوع 80 درصد و فرمول برآورد نیاز آبیاری با احتمال وقوع 50 درصد برای سایر ماه‌ها را نیز می‌توان به‌دست آورد. این نتایج در جدول 6 ارائه شده است. با توجه به نتایج ارائه شده از مقادیر میانگین در جدول 6 و مقایسه آن با نتایج حاصل شده از توزیع احتمال 50 درصد مشاهده می‌شود که در صورت کم بودن مقادیر بارش و غالب بودن مؤلفه تبخیر- تعرق، نتایج این دو روش تفاوت محسوسی با یکدیگر ندارند. هم‌چنین مشاهده می‌شود که مقادیر نیاز آبیاری ارائه شده در برنامه‌ی NETWAT با مقادیر نیاز آبیاری میانگین و نیاز آبیاری با احتمال وقوع 50 درصد و 80 درصد متفاوت می‌باشند. چنین نتیجه‌ای به‌وسیله‌ی عرفانیان و همکاران (1389) در استان خراسان رضوی نیز با مقایسه‌ی نتایج محاسبه‌شده- ی نیاز آبیاری با ارقام ذکر شده در سند ملی گزارش شده است. هم- چنین در تحقیقات مشابه در استان فارس (فولادمند 1388، فولادمند 1389، فولادمند 1390، منصوری و فولادمند 1392) نیز اختلاف قابل‌توجه نیازآبیاری ارائه شده در برنامه‌ی NETWAT با نیاز آبیاری گیاهان گوناگون در سطح احتمال 50 درصد گزارش شده است. لذا توصیه می‌شود که برای برآورد نیاز آبیاری گیاهان به‌جای استفاده از مقادیر گزارش شده در برنامه‌ی NETWAT از روش ارائه شده در این پژوهش در سطوح گوناگون احتمال استفاده شود.

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر روشی مطمئن برای برآورد نیاز آبیاری با استفاده از توابع توزیع احتمالاتی معرفی شد. روش ارائه شده می‌تواند به‌عنوان الگویی جامع در محاسبات نیاز آبیاری طرح‌های آبیاری و (در صورت صرف‌نظر کردن از مقادیر بارش مؤثر) در محاسبات نیاز آبی طرح‌های مدیریت منابع آب توسط طراحان و مهندسین مشاور مورد استفاده قرار گیرد.

برای برآورد نیاز آبیاری، توابع توزیع احتمال در دوره‌های ماهانه مورد استفاده قرار گرفتند. برای گیاهان حساس به تنش آبی و شرایط بحرانی (تبخیر- تعرق زیاد و بارندگی کم) توزیع احتمال 80 درصد و برای گیاهان غیر حساس و شرایط غیر بحرانی استفاده از توزیع احتمال 50 درصد توصیه می‌گردد.

با بررسی 12 تابع توزیع احتمال مختلف، مشخص شد که برای داده‌های بارش ماهانه با مقادیر بیش‌تر از 30 میلی‌متر، تابع توزیع لوگ نرمال سه پارامتری بهترین نتایج را به دست می‌دهد اما برای داده‌های تبخیر و تعرق، تابع توزیع مشخصی به دست نیامد. لذا استفاده از یک تابع توزیع احتمال مشخص برای به دست آوردن فرمول برآورد نیاز آبیاری با احتمال وقوع معین، مقدور نیست. نتایج این تحقیق هم‌چنین نشان داد که نیاز آبیاری گزارش شده در برنامه NETWAT که در واقع در سطح احتمال 50 درصد است، با مقادیر نیاز آبیاری گیاه گندم در سطح احتمال 50 درصد در دشت تبریز اختلاف قابل‌توجهی دارد. با توجه به گزارش‌های مشابه در پژوهش‌های مختلف، بازنگری و به‌روز رسانی سند ملی آب ضروری به نظر می‌رسد.

نتایج به‌دست آمده از توزیع احتمال 80 درصد نشان داد که استفاده از مقادیر میانگین برای برآورد نیاز آبیاری شرایط بحرانی (تبخیر و تعرق زیاد و بارندگی کم) و یا برای گیاهان حساس به تنش آبی می‌تواند به خطای محاسباتی بزرگی منجر شود که ممکن است به روبرو شدن با کمبود شدید منابع آبی یا از دست رفتن بخش بزرگی از محصول منجر شود. لذا برای اطمینان بیش‌تر می‌توان مقدار نیاز آبیاری شرایط بحرانی یا گیاهان حساس به تنش آبی را در سطح احتمال 80 درصد در نظر گرفت.

یکی از مزیت‌های روش ارائه شده انعطاف‌پذیری این روش برای برآورد نیاز آبیاری است. بر اساس روش ارائه‌شده، می‌توان ترکیبی از توزیع احتمال 80 درصد و 50 درصد را برای دوره رشد یک گیاه، به‌منظور برآورد نیاز آبیاری به کار گرفت. بدین شرح که در دوره حساس رشد، مقادیر نظیر احتمال 80 درصد و دوره‌های غیر حساس، مقادیر نظیر احتمال 50 درصد مورد استفاده قرار گیرد. هم‌چنین امکان به‌کارگیری روش ارائه‌شده در این پژوهش برای یک مزرعه، در حالتی که به‌صورت همزمان زیر کشت چندین گیاه قرار می‌گیرد، وجود دارد.

جدول ٦- برآورد نیاز خالص آبیاری با استفاده از توابع توزیع احتمال برای گیاه انتخابی به ازای احتمالات وقوع متفاوت در دشت تبریز

ماه	نیاز آبیاری میانگین	نیاز آبیاری (NETWAT)	احتمال وقوع	تبخیر- تعرق گیاهی					باران مؤثر					=	نیاز آبیاری
				K_C	×	نام و رابطه تابع توزیع برای برآورد تبخیر- تعرق	−		ضریب بارش مؤثر	×	نام و رابطه تابع توزیع برای برآورد بارش				
آوریل	۹۳/۲	۶۲	فرمول عمومی	K_C	×	فریشت ۳ پارامتری	−		ضریب بارش مؤثر	×	لوگ نرمال ۳ پارامتری				
			۵۰٪	۱/۱	×	گامای ۲ پارامتری	−		۰/۷۲	×	لوگ نرمال ۳ پارامتری			=	۹۴/۳
			۸۰٪	۱/۱	×	فریشت ۳ پارامتری	−		۰/۷۲	×	لوگ نرمال ۳ پارامتری			=	۱۲۰/۶
می	۱۵۴/۳	۱۱۸	فرمول عمومی	K_C	×	گامبل حداقل	−		ضریب بارش مؤثر	×	لوگ نرمال ۳ پارامتری				
			۵۰٪	۱/۱	×	نرمال	−		۰/۸۱	×	لوگ نرمال ۳ پارامتری			=	۱۵۴
			۸۰٪	۱/۱	×	گامبل حداقل	−		۰/۸۱	×	گامای تعمیم‌یافته ۳ پارامتری			=	۱۸۸/۱
ژوئن	۴۰	۹۱	فرمول عمومی	K_C	×	گامای تعمیم‌یافته ۴ پارامتری	−		ضریب بارش مؤثر	×	پیرسون تیپ ۶ سه پارامتری				
			۵۰٪	۰/۲	×	گامبل حداقل	−		۰/۸۶	×	گامای ۲ پارامتری			=	۳۹
			۸۰٪	۰/۲	×	گامای تعمیم‌یافته ۴ پارامتری	−		۰/۸۶	×	پیرسون تیپ ۶ سه پارامتری			=	۵۰/۲

منابع

احمدی،ج.، زالی،ع.، یزدی صمدی،ب.، طالعی،ع.، قنادها،م.ر.، فابریکی اورنگ،ص. 1383. مطالعه ژنتیکی خصوصیت ریشه گندم (Triticumaestivum L.) در شرایط تنش خشکی. مجله علوم زراعی ایران، 6: 4.

جعفر زاده،ع.ا.، کسرائی،ر.، نیشابوری،م.ر. 1375. مطالعات تفصیلی 18 هکتار از اراضی و خاک‌های ایستگاه تحقیقاتی کرکج. مجله دانش کشاورزی. 1: 7.

عرفانیان،م.، علیزاده،ا و محمدیان،آ. 1389. بررسی تغییرات احتمالی نیاز کنونی آبیاری گیاهان نسبت به ارقام مندرج در سند ملی آبیاری (مطالعه موردی: استان خراسان رضوی). مجله آبیاری و زهکشی ایران. 4: 3. 492-478.

علیزاده،ا. 1385. طراحی سیستم‌های آبیاری. جلد اول: طراحی سیستم‌های آبیاری سطحی. انتشارات دانشگاه امام رضا (ع). 450 ص. چاپ دوم.

علیزاده،ا، کمالی،غ.ع.، کشاورز،ع و دهقانی،م. 1387. نیاز آبی گیاهان در ایران. انتشارات دانشگاه امام رضا (ع). 228 ص. چاپ دوم.

فاضلی نسب،ب.، مهرابی،ع.ا.، ایزدی دربندی، ع. 1389. بررسی تنوع ژنتیکی ژنو تیپ‌های مختلف گندم با استفاده از نشانگرهای پروتئین‌های ذخیره‌ای و ریز ماهواره‌ها. فصل‌نامه ژنتیک نوین. دوره پنجم. شماره 2. ص: 93-81.

فرج زاده اصل،م. کاشکی،ع و شایان،س. 1387. تحلیل تغییرپذیری عملکرد محصول گندم دیم با رویکرد تغییرات اقلیمی (منطقه مورد مطالعه استان خراسان رضوی). فصل‌نامه مدرس علوم انسانی.13: 3. 256-227.

فولادمند،ح.ر. 1388. تخمین نیاز آبیاری گندم و جو در شرایط بحرانی و سطوح احتمالاتی متفاوت در مناطق مختلف استان فارس. همایش ملی مدیریت بحران آب. مرودشت، اسفند 1388.

فولادمند،ح.ر. 1389 تخمین نیاز آبیاری میانگین و بحرانی گیاهان زراعی مهم استان فارس. دانش آب و خاک. 20: 2. 187-196

فولادمند،ح.ر. 1390. تخمین نیاز آبیاری گیاهان زراعی مهم استان فارس در سطوح گوناگون احتمال. مجله‌ی مهندسی منابع آب. ایران. 4: 2. 74-65.

فولادمند،ح.ر. 1392. برآورد نیاز آبی گوجه‌فرنگی در شرایط ایده‌آل، بحرانی و سطوح احتمالاتی مختلف در استان فارس. اولین همایش ملی بحران آب، خوراسگان (اصفهان). اردیبهشت 1392.

کمالی،غ.، صدقیانیپور،ع.، صداقت کردار،ع. 1387. بررسی پتانسیل اقلیمی کشت گندم دیم در استان آذربایجان شرقی. مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). 22: 2. 483-467.

نیکبخت،ج ومیرلطیفی،س.م. 1381. تأثیر روش محاسبه ET_O ، احتمال وقوع و طول دوره حداکثر مصرف آب بر تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع. مجله علوم خاک و آب. 16: 2,231-223.

نیکبخت،ج.، محمدی،ک و احتشامی،م. 1386. برآورد تبخیر و تعرق واقعی گیاه در سطح احتمالاتی متفاوت: مطالعه موردی در مراغه، آذربایجان شرقی. علوم کشاورزی. 13: 1. 106-95.

Allen,R.G., Pereira,L.S., Raes,D and Smith, M. 1998. Crop Evapotranspiration For Computing CropWater Requirements. FAO Irrigation and DrainagePaper, NO. 56, Rome, Italy.

Azhar,A.H., Murty,V.V.N., Phien,H.N. 1992. Modeling irrigation schedules for lowlandrice with stochastic rainfall. Journal of Irrigation and Drainage Engineering.118: 1.36-55

Dastane,N.G., 1978. Effective rainfall in irrigated agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper, NO.25, Rome, Italy.

Hess,T. 2010. Estimating green waterfootprint in a temperate environment.Water. 2. 351-362. (open access journal; Availableonline: http://www.mdpi.com/2073-4441/2/3/351).

Anonymous. 1993. Irrigation water requirements. In National Engineering Handbook, Part 623 ed.; United States. Department of Agriculture Soil Conservation Service (USDA): washington DC, USA, 1993.

Marinus,G.B., Rob,A.L., K.,Richard,G.A., David,J.M. 2009. Water Requirements for Irrigation and the Environment.1st Ed. PB-Springer NetherlandsDA.81-103.

Nixon,P.R., Lawless,G.P and V.Richardson, G. 1972. Coastal Californiaevapotranspiration frequencies. Proceeding ofthe American Society of Civil Engineers, Journal of Irrigation and Drainage. 2: 185-191.

Pruitt,W.O., Von Oettigen,S and Morgan,D. L. 1972. Central California evapotranspiration frequencies. Proceeding of the American Society of Civil Engineers, Journal of Irrigation and Drainage. 2: 177-184.

Vijayaraghavan,K., Padmesh,T.V.N., Palanivelu,K., Velan,M. 2006. Biosorption ofnickel (II) ions onto Sargassumwightii: application of two-parameter and three parameter isotherm models. Journal of Hazard. Mater. 133: 304–308.

design water requirement using FAO Penman–Monteith and optimal probability distribution function in South Korea. Agricultural water management. 95 :845 – 853

Wright,J.L., and Jensen,M.E. 1972. Peakwater requirements in southern Idaho. Proceeding of the American Society of Civil Engineers. Journal of Irrigation and Drainage. 2: 193-201.

Yoo,S.H, Choi,J.Y, Jang,M.W. 2008. Estimation of

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 5, Vol. 9, Dec.-Jan. 2015, p. 720-730

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره5، جلد9، آذر - دی 1394، ص. 730-720

Estimation of Irrigation Water Requirement using Probability Distribution Functions (PDF)

Case study: (TriticumAestivum L.)

S. S. Sharifi Bonab[1*], A. H. Nazemi[2], A. Ashraf Sadraddini[3], A. Fakheri Fard[4], F.Salmasi[5]
Recived: Jun.15, 2015 Accepted: Dec.02, 2015

Abstract

Imperfect knowledge due to unpredictable climatic conditions leads to uncertainty in decision making in agriculture. Therefore, a probabilistic analysis of the various possibilities besides increasing flexibility in decision-making can also enhance the reliability of decisions. Using Tabriz Synoptic station's data, the values ofthe crop (TriticumAestivum L.) evapotranspiration and effective rainfall in mid to late season in the study area (Tabriz plain) were estimated. Analyzing the effective rainfall and crop evapotranspiration as probabilistic variables, a reliable method for estimating the irrigation water requirement was described using the "probability distributionfunctions".By examining 12 different probability distribution function, it was found that the log normal distribution function achieves the best results for the monthly precipitation data with values greater than 30 mm, but there is no unique probability distribution function for evapotranspiration data.This method can also provide a general formula for calculations of irrigation water requirement with different probability levelsduringthe growing season. Results showed thatthe reported values of irrigation requirement in the NETWAT program that is atthe 50 % probability level andused in most of irrigation projects in Iran, were different the calculated values in this study.According to similar reports in different researches, the represented method is recommended for more precise estimation of irrigation water requirements (with different probabilities) especially in critical situations (with high evapotranspiration and low rainfall values) or for crops that are sensitive to water stress in 80% probabilitylevelor higher.

Keywords: Effective Rainfall, Evapotranspiration,Irrigation Water Requirement, NETWAT program, Probablity Distribution Functions (PDF)

1-M.Sc. Graduated, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz ,Iran
2,3,4 -Professor of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz ,Iran, respectively
5- Associate Prof of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran
(*-Corresponding Author Email:sharifi.sab@gmail.com)