



بر آورد تبخیر-تعرق واقعی گیاه در سطح احتمالاتی متفاوت: مطالعه موردی در مراغه، آذربایجان شرقی

جعفر نیک‌بخت

دانشجوی دوره دکتری آبیاری و زهکشی، دانشگاه تربیت مدرس

کوروش محمدی

استادیار و عضو هیئت علمی گروه آبیاری و زهکشی، دانشگاه تربیت مدرس

مجید احتشامی

استادیار و عضو هیئت علمی دانشکده عمران، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی

چکیده

برای طراحی سامانه‌های آبیاری، توصیه شده است از مقادیر میانگین ET_c روزانه برای دوره حداکثر نیاز آبی و احتمال وقوع مناسب استفاده شود. این حالت از بروز تنش آبی در گیاه تحت آبیاری به دلیل عدم توانایی سامانه آبیاری در تأمین نیاز آبی گیاه جلوگیری خواهد کرد. عوامل مؤثر بر انتخاب سطح احتمال وقوع و دوره آبیاری نوع گیاه، نوع بافت خاک مزرعه، ریسک‌پذیری زارع و نوع سامانه آبیاری می‌باشند. در این تحقیق ابتدا تاریخ شروع و خاتمه دوره‌های حداکثر نیاز آبی گیاهان الگوی کشت سد علویان واقع در شمال شهر مراغه استخراج شد. با توجه به تاریخ به دست آمده، منحنی‌های میانگین ET_c روزانه گیاهان الگوی کشت برای دوره‌های یک الی ۳۰ روزه حداکثر نیاز آبی با احتمال وقوع‌های متفاوت استخراج شد. نتایج حاکی از اختلاف قابل ملاحظه در مقادیر میانگین ET_c روزانه با سطح احتمال وقوع‌های متفاوت می‌باشد که این حالت تأثیر قابل توجهی در مقادیر ظرفیت سامانه‌های آبیاری می‌گذارد. از منحنی‌های استخراج شده، می‌توان مقدار میانگین ET_c روزانه برای دوره حداکثر نیاز آبی تعیین شده و با احتمال وقوع توصیه شده را به دست آورد. با توجه به نتایج حاصل، در صورت استفاده از مقادیر میانگین ET_c روزانه برای دوره‌های ۱۰ روزه حداکثر نیاز آبی و در سطح احتمالاتی ۵۰٪، تا ۲۱٪ کمتر از مقدار مورد لزوم گیاه در دوره حداکثر نیاز آبی به آن آب تحویل می‌گردد. تنش وارد شده در این حالت کاهش قابل ملاحظه در محصول گیاهان حساس ایجاد خواهد کرد.

واژه‌های کلیدی: تبخیر - تعرق گیاه مرجع و گیاهان زراعی، ضریب گیاهی، سطح احتمال وقوع، دوره حداکثر نیاز آبی

مقدمه

افزایش روزافزون جمعیت جهان و نیاز شدید آن به مواد غذایی از یک سو و محدودیت منابع آب و خاک قابل دسترس از سوی دیگر، لزوم برنامه‌ریزی استفاده صحیح‌تر از منابع آب و خاک موجود را دو چندان می‌نماید. استفاده از ارقام پر محصول گیاهان و کاربرد روش‌های به‌زراعی برای برداشت محصول بیشتر از واحد سطح، احداث سد برای مهار و ذخیره آبهای سطحی و رودخانه‌ها، پخش سیلاب‌ها برای تغذیه مصنوعی آبخوان‌ها، برداشت بهینه از منابع سطحی و زیرزمینی هر منطقه و برنامه‌ریزی صحیح آبیاری برای رساندن آب در موقع مناسب به مقدار لازم، می‌تواند جزو راهکارهای عملی استفاده مطلوب‌تر از منابع آب و خاک محدود هر منطقه باشد.

پایه و اساس برنامه‌ریزی آبیاری و طراحی ظرفیت سامانه‌های آبیاری تبخیر-تعرق^۱ می‌باشد (Amatya et. al., 1995; Mohammad, 1998) که برای تخمین تبخیر - تعرق واقعی گیاه (ET_C)، دو روش می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد: استفاده از لایسیمتر و استفاده از روابط تجربی. استفاده از لایسیمتر به دلیل هزینه‌های زیاد ساخت یا نصب و نگهداری آن فقط به مسائل و مراکز تحقیقاتی محدود می‌شود. بنابراین امروزه استفاده از رابطه (۱) برای محاسبه ET_C متداول می‌باشد.

$$ET_C = K_C * ET_0 \quad (1)$$

که در آن، ET_C تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه^۲ (میلیمتر در روز)؛ K_C ضریب گیاهی و ET₀ تبخیر-تعرق گیاه مرجع^۳ (میلیمتر در روز) می‌باشد (Allen et. al., 1998).

کاربرد روش معتبر برای برآورد مقدار ET₀ و استفاده از آن برای تخمین ET_C از بروز تنش آبی در گیاه در صورت عدم تأمین نیاز آبی آن یا هرز روی آب در صورت تخمین بیش از مقدار لزوم آب، جلوگیری خواهد نمود. این حالت موجب افزایش تولید محصول و مدیریت بهینه آب می‌شود (Hargreaves and Allen, 2003). بنابراین اولین مرحله برای محاسبه ET_C، برآورد مقادیر ET₀ می‌باشد. روش‌های زیادی برای برآورد مقدار ET₀ از طریق داده‌های هواشناسی ابداع و توصیه شده است. یکی از روابطی که تأکید برای استفاده از آن برای برآورد مقادیر ET₀ می‌باشد، آخرین رابطه بازنگری شده پنمن - مانتیث^۴ توسط سازمان خواربار و کشاورزی جهانی (FAO) می‌باشد. این رابطه که در نشریه شماره ۵۶ سازمان مذکور به طور مبسوط تشریح شده است رابطه فائو - پنمن - مانتیث (FP-M) نامیده می‌شود (Allen et. al., 1998). برای برآورد مقادیر ET₀ توسط رابطه (FP-M) نیاز به داده‌های هواشناسی ثبت شده در ایستگاه‌های هواشناسی مجهز می‌باشد.

در طراحی سامانه‌های آبیاری پس از تعیین ET₀، با توجه به رابطه (۱) مقادیر ET_C محاسبه می‌شود. در مرحله بعدی با توجه به نوع گیاه و عمق توسعه ریشه آن، نوع بافت خاک و عمق آن و زمان وقوع حداکثر دوره نیاز آبی گیاه در طول دوره رشد آن، ظرفیت سامانه آبیاری تعیین می‌شود. اگر برای محاسبه مقادیر ET₀ و استفاده از آن برای برآورد مقادیر ET_C از میانگین داده‌های بلند مدت هواشناسی استفاده گردد، سطح احتمالاتی مقادیر ET₀ و ET_C محاسبه شده در این حالت ۵۰٪ خواهد بود. سامانه آبیاری که بر اساس آن طراحی شود در یک دوره ۱۰ ساله آبیاری، انتظار می‌رود که قادر به تأمین نیازهای گیاه در ۵ سال باشد و در ۵ سال دیگر نیازهای گیاه بیش از ظرفیت طراحی شده سامانه خواهد بود. بنابراین گیاه در این مدت دچار تنش آبی شده و میزان محصول تولید شده، کمتر از مقدار مورد انتظار خواهد بود (نیک‌بخت و میرلطیفی، ۱۳۸۲).

مواردی که برای انتخاب مقدار میانگین ET_C روزانه با احتمال وقوع و دوره متوسط‌گیری خاص در نظر گرفته می‌شوند عبارتند از:

1. Evapotranspiration
2. Crop Evapotranspiration
3. Reference Evapotranspiration
4. Penman-Monteith

الف) نوع گیاه: در این حالت عمق توسعه ریشه، ارزش اقتصادی گیاه و نیز حساسیت گیاه به تنش آبی بایستی در نظر گرفته شوند. برای گیاهان ارزشمند و حساس به تنش آبی مانند سبزیجات که نسبت به غلات و سایر گیاهان زراعی دارای عمق توسعه ریشه کمی بوده و ارزش زیادی دارند، بایستی علاوه بر انتخاب دور آبیاری کوتاه، سطح احتمال وقوع بالایی را نیز در نظر گرفت. جنسن و همکاران (۱۹۹۰) برای گیاهان با ارزش و یا دارای عمق توسعه ریشه کم، استفاده از سطح احتمالاتی ۸۰ یا ۹۰ درصد را توصیه نموده‌اند.

ب) نوع بافت خاک: برای خاک‌هایی با بافت سبک که ظرفیت نگهداری رطوبت پائینی دارند نیز بایستی از دور آبیاری کوتاه با سطح احتمالاتی زیادتر نسبت به خاک‌هایی با بافت متوسط و سنگین در نظر گرفت.

ج) ریسک‌پذیری بهره‌بردار: کشاورزی که دارای زمین زراعی کوچکی بوده و اقتصاد زندگی خود را از طریق آن تأمین می‌کند نمی‌تواند سطح ریسک بالایی را بپذیرد. بنابراین برای چنین حالتی در یک دوره معین بایستی از میانگین ET_c روزانه با سطح احتمالاتی بالا استفاده نمود.

د) نوع سامانه آبیاری: برای سامانه‌های آبیاری که دارای دور آبیاری کوتاه می‌باشند (مانند سامانه آبیاری قطره‌ای، و بارانی) در یک سطح احتمالاتی معین نمی‌توان از دوره متوسط‌گیری بالایی استفاده کرد. در این حالت سامانه قادر به تأمین نیاز آبی گیاه در طول دوره حداکثر نیاز آبی نبوده و گیاه دچار تنش آبی خواهد شد. این مورد به خصوص برای گیاهان با ارزش، مزرعه با بافت خاک سبک و بهره‌بردار با ریسک‌پذیری پایین دارای اهمیت فراوانی می‌باشد. بنابراین قبل از طراحی ظرفیت سامانه آبیاری ضرورت دارد تا منحنی‌های میانگین ET_c روزانه با سطح احتمالاتی متفاوت برای دوره‌های حداکثر نیاز آبی استخراج گردد تا از روی آنها با توجه به عوامل مذکور و نیز "دوره حداکثر نیاز آبی گیاه"، مقدار ET_c با سطح احتمال وقوع معین انتخاب شود (Cuenca, 1989).

پروت و همکاران (۱۹۷۲) برای منطقه کالیفرنیا مرکزی، نیکسون و همکاران (۱۹۷۲) برای منطقه ساحل کالیفرنیا، رایت و جنسن (۱۹۷۲) برای منطقه کیمبرلی واقع در جنوب ایالت آیداهو آمریکا و هم‌چنین نیک‌بخت و میرلطیفی (۱۳۸۲) برای منطقه تهران منحنی‌های ET_0 روزانه با سطح احتمال وقوع‌های متفاوت و میانگین ET_0 روزانه با سطح احتمال وقوع‌های متفاوت برای دوره‌های حداکثر وقوع ET_0 را استخراج نمودند.

منحنی‌های استخراج شده در تحقیقات گفته شده برای کل ایام سال بود. با توجه به دوره رشد گیاه، کاربرد منحنی‌های مذکور در طراحی سامانه‌های آبیاری برای تأمین نیاز آبی گیاه خاص قابلیت کاربرد ندارد. بنابراین ضرورت دارد قبل از طراحی سامانه آبیاری، منحنی‌های میانگین ET_c روزانه با سطح احتمال وقوع‌های متفاوت برای دوره‌های ۱ الی ۳۰ روزه حداکثر نیاز آبی استخراج شود. از طریق منحنی‌های استخراج شده مقدار صحیح میانگین ET_c روزانه تعیین شده و سامانه آبیاری طراحی گردد. در تحقیق حاضر منحنی‌های میانگین ET_c روزانه با سطح احتمال وقوع‌های متفاوت برای دوره‌های ۱ روزه، ۳ روزه، ... و ۳۰ روزه حداکثر نیاز آبی برای گیاهان الگوی کشت سد علویان مراغه استخراج گردید.

مواد و روش‌ها:

سد علویان در نزدیکی روستایی به همین نام بر روی رودخانه صوفی‌چای قرار دارد. این سد در شمال غربی ایران و دامنه جنوبی کوه سهند و جنوب شرقی دریاچه ارومیه به فاصله ۱۲۰ کیلومتری جنوب غربی شهرستان تبریز و در ۳/۵ کیلومتری شمال مراغه قرار دارد. آب ذخیره شده در مخزن سد، آب مورد نیاز ۱۰۳۵۰ هکتار از اراضی پائین دست آن را تأمین می‌کند. ۶۶۰۰ هکتار از اراضی مذکور در اراضی هموار دشت مراغه واقع بوده و تحت پوشش کانال‌های آبیاری مدرن می‌باشد و محصولات الگوی زراعی پیشنهادی در آن کشت می‌شود. بقیه اراضی باغات و مزارع واقع شده در کوهپایه‌ها و تراس‌های ایجاد شده در دامنه کوه‌ها می‌باشند که توسط انهار سنتی آبیاری می‌شوند. جدول (۱) مشخصات اقلیمی منطقه مورد مطالعه و جدول (۲) گیاهان الگوی زراعی و سطوح زیر کشت آنها را نشان می‌دهد.

جدول ۱- مشخصات اقلیمی منطقه مورد مطالعه

نام ایستگاه هواشناسی	سینوپتیک مراغه
دوره آماری موجود	۱۹۸۴ تا ۲۰۰۲
متوسط حداقل درجه حرارت	۷/۶۳ °C
متوسط حداکثر درجه حرارت	۱۸/۱۹ °C
میانگین درجه حرارت روزانه	۱۲/۹۱ °C
متوسط دمای تر	۶/۷۴ °C
متوسط سرعت باد در ارتفاع ۲ متری	۱/۵۸ m/sec
متوسط رطوبت نسبی	٪۳۹
متوسط ساعات آفتابی سالانه	۲۴۹۶/۱ ساعت
میانگین بارش سالانه	۳۳۰/۷ mm
میانگین تبخیر سالانه	۱۲۶۳/۱ mm
متوسط تبخیر-تعرق سالانه (FP-M)	۱۲۲۴/۶ mm
اقلیم منطقه (دومارتن)	نیمه خشک

جدول ۲- سطوح زیر کشت محصولات الگوی زراعی

نام محصول	سطح زیر کشت (هکتار)
گندم	۱۴۴۲
جو	۹۶۱
یونجه	۴۸۱
پیاز	۲۴۰
سیبزمینی	۲۴۰
ذرت علوفه‌ای	۷۲۰
حبوبات	۴۸۱
گوجه‌فرنگی	۲۴۰
باغات (انگور)	۱۷۹۵
جمع کل	۶۶۰۰

پارامترهای هواشناسی جزو متغیرهای تصادفی بوده و از حالت توزیع نرمال تبعیت می‌کنند (علیزاده، ۱۳۷۴). هم‌چنین منحنی فراوانی داده‌های تبخیر-تعرق روزانه برای دوره‌های زمانی طولانی مدت دارای شکل نرمال می‌باشد (Nixon et. al., 1972). برای محاسبه مقادیر ET_C در سطح احتمالاتی متفاوت لازم بود ابتدا مقادیر ET_0 و K_C استخراج شود. در ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک، مقادیر پارامترهای هواشناسی هر ۳ ساعت یک بار قرائت و ثبت می‌شود. مقادیر میانگین روزانه پارامترهای هواشناسی با متوسط‌گیری از ۸ قرائت ثبت شده برای هر روز حاصل خواهد شد. با استفاده از میانگین مقادیر روزانه پارامترهای هواشناسی، مقادیر ET_0 روزانه با روش فائو-پنمن-مانتیث (FP-M) (رابطه ۲) برای دوره آماری موجود (۱۹ سال) محاسبه شد.

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_a - e_d)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (2)$$

که در آن: ET_0 : تبخیر-تعرق گیاه مرجع (چمن) (میلیمتر در روز)؛ R_n : تابش خالص در سطح گیاه (میلیون ژول بر متر مربع در هر روز)؛ G : جریان گرمایی زمین (میلیون ژول بر متر مربع در هر روز)؛ T : متوسط درجه حرارت هوا در ارتفاع ۲ متری (درجه سانتیگراد)؛ U_2 : سرعت باد در ارتفاع ۲ متری (متر بر ثانیه)؛ $e_a - e_d$: کمبود فشار بخار اشباع اندازه‌گیری شده در ارتفاع ۲ متری (کیلوپاسکال)؛ Δ : شیب منحنی فشار بخار اشباع (کیلوپاسکال بر درجه سانتیگراد)؛ γ : ثابت سایکرومتری (کیلوپاسکال بر درجه سانتیگراد)؛

۹۰۰: ضریبی برای گیاه مرجع (کیلوگرم-درجه کلون بر کیلوژول در روز)؛ 0.34 : ضریب باد برای گیاه مرجع (ثانیه بر متر) (Allen et al., 1998).

با استفاده از اطلاعات جمع‌آوری شده از کشاورزان خیره و اداره خدمات جهاد کشاورزی منطقه مورد مطالعه، تاریخ کشت و برداشت محصولات الگوی کشت استخراج گردید. با توجه به اطلاعات جمع‌آوری شده و نیز اقلیم منطقه، طول دوره‌های چهارگانه رشد هر گیاه (۱- مرحله ابتدائی رشد، ۲- مرحله رشد و توسعه گیاه، ۳- مرحله میانی، ۴- مرحله نهایی) و نیز K_C مربوط به مرحله ابتدائی رشد (K_{C-Ini})، دوره میانی رشد (K_{C-Mid}) و نقطه آخر مرحله چهارم (K_{C-End}) از جداول ارائه شده توسط (FAO) استخراج شد. مقادیر K_{C-Mid} و K_{C-End} به دست آمده از جدول بایستی با توجه به اطلاعات اقلیمی منطقه و با استفاده از روابط ۳ و ۴ تصحیح شوند (Allen et al., 1998).

$$K_{C-mid} = K_{C-mid-table} + [0.04(U_2 - 2) - 0.004(RH_{min} - 45)] \left[\frac{h}{3} \right]^{0.3} \quad (3)$$

$$K_{C-end} = K_{C-end-table} + [0.04(U_2 - 2) - 0.004(RH_{min} - 45)] \left[\frac{h}{3} \right]^{0.3} \quad (4)$$

$K_{C-Mid-table}$: مقدار ضریب گیاهی به دست آمده از جدول برای مرحله میانی رشد؛ $K_{C-End-table}$: مقدار ضریب گیاهی به دست آمده از جدول برای نقطه آخر مرحله انتهایی رشد؛ h : حداکثر ارتفاع گیاه (متر)؛ U_2 : سرعت باد در ارتفاع ۲ متری (متر بر ثانیه)؛ RH_{min} : رطوبت نسبی حداقل (%).

پس از تصحیح مقادیر K_C ، مقادیر ET_C روزانه هر یک از گیاهان الگوی کشت منطقه مورد مطالعه با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد. با توجه به دوره آماری موجود، برای هر روز دوره رشد، ۱۹ مقدار ET_C روزانه وجود خواهد داشت. برای محاسبه مقادیر ET_C روزانه با احتمال وقوع‌های متفاوت، لازم است تا مقادیر ET_C روزانه مربوط به هر روز دوره رشد از بقیه روزها تفکیک گردد. پس از جداسازی، با استفاده از رابطه توزیع نرمال (رابطه ۵)، مقادیر ET_C روزانه با احتمال وقوع مورد نظر برآورد می‌شود.

$$x = \bar{x} + k.S \quad (5)$$

x : مقدار متغیر تصادفی در سطح احتمالاتی مورد نظر، \bar{x} : میانگین جامعه آماری، S : انحراف معیار جامعه آماری، K : ضریب فراوانی است.

در این تحقیق تعداد اعضای جامعه آماری ۱۹ مقدار ET_C روزانه مربوط به هر روز دوره رشد می‌باشد. مقدار K با توجه به سطح احتمالاتی از جداول آماری مربوط به توزیع نرمال قابل استخراج می‌باشد (علیزاده، ۱۳۷۴).

در حال حاضر، در طراحی پروژه‌های آبیاری و برنامه‌ریزی‌های مربوطه، از نرم‌افزارهای تهیه شده برای محاسبه ET_C مانند "Cropwat" استفاده می‌شود. اطلاعات ورودی این نرم‌افزار، میانگین بلندمدت داده‌های ماهانه هواشناسی می‌باشد. نرم‌افزار پس از محاسبه مقادیر میانگین ET_C روزانه برای ماه‌های مختلف سال، آنها را به صورت مقادیر ۱۰ روزه تبدیل نموده و به عنوان خروجی ارائه می‌دهد. طراحی بر اساس حداکثر مقدار استخراج شده از بین مقادیر خروجی صورت خواهد گرفت. در این حالت به دلیل عدم تأمین نیاز آبی گیاه در طول دوره حداکثر نیاز آبی آن، تنش آبی بر آن وارد خواهد شد.

در تحقیق حاضر برای بررسی اثر دوره میانگین‌گیری بر مقدار ET_C ، مقدار میانگین ET_C روزانه برای دوره‌های یک الی ۳۰ روزه حداکثر نیاز آبی با احتمال وقوع‌های مختلف استخراج شد. برای این کار لازم بود ابتدا تاریخ وقوع دوره‌های یک روزه، ۳ روزه، ۵ روزه،

... و ۳۰ روزه حداکثر نیاز آبی گیاه در طول دوره رشد آن تعیین شود. با استفاده از مقادیر ET_C روزانه با سطح احتمالاتی ۰/۹۹، مقادیر میانگین‌های متحرک^۱ ET_C روزانه برای دوره‌های یک روزه، ۳ روزه، ۵ روزه، ۷ روزه، ۱۰ روزه، ۱۵ روزه، ۲۰ روزه و ۳۰ روزه در دوره رشد گیاه محاسبه شد. با مشخص شدن مقدار حداکثر هر یک از مقادیر فوق، روز شروع و خاتمه دوره‌های حداکثر نیاز آبی گیاه تعیین گردید. با استفاده از مقادیر اولیه ET_C روزانه و با توجه به روز شروع و خاتمه هر یک از دوره‌های حداکثر نیاز آبی، مقادیر میانگین ET_C روزانه برای دوره‌های یک الی ۳۰ روزه حداکثر نیاز آبی در طول دوره رشد هر گیاه تعیین گردید. در این حالت نیز با توجه به دوره آماری موجود، برای هر کدام از دوره‌های حداکثر نیاز آبی، ۱۹ مقدار برای هر یک از مقادیر میانگین ET_C روزانه وجود خواهد داشت. با استفاده از رابطه (۵)، مقادیر میانگین ET_C روزانه با سطوح احتمال وقوع ۰/۱، ۰/۵، ۱/۱۰، ۰/۲۵، ۰/۵۰، ۰/۷۵، ۰/۹۰، ۰/۹۵ و ۰/۹۹ برای هر یک از طول دوره‌های حداکثر نیاز آبی در طول دوره رشد هر یک از گیاهان الگوی کشت محاسبه شد.

نتایج و بحث

جدول (۳) تاریخ کشت، برداشت و طول دوره‌های چهارگانه رشد گیاهان الگوی کشت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. مقادیر K_C -Ini، K_C -Mid، K_C -End و حداکثر ارتفاع گیاه در طول دوره رشد در جدول (۴) آورده شده است. هم‌چنین در جدول (۴) مقادیر K_C -Mid و K_C -End پس از انجام تصحیحات لازم با استفاده از پارامترهای اقلیمی درج شده است. مقادیر تصحیح شده مندرج در جدول (۴)، میانگین مقادیر تصحیح شده برای دوره آماری موجود می‌باشد. با توجه به مقادیر جدول (۴)، ملاحظه می‌شود که تصحیح مقادیر در اکثر گیاهان باعث افزایش مقدار آنها گردیده است. این حالت ناشی از متفاوت بودن اقلیم منطقه مورد مطالعه با اقلیم ناحیه‌ای که مقادیر K_C در آن استخراج شده، می‌باشد. شکل‌های (۱) و (۲) به عنوان نمونه تغییرات مقدار K_C در طول دوره رشد گوجه‌فرنگی را قبل از تصحیح و بعد از تصحیح با استفاده از اطلاعات هواشناسی سال ۲۰۰۲ را نشان می‌دهد. تفاوت دو نمودار که ناشی از اثر اقلیم می‌باشد، به خوبی در این شکل‌ها مشاهده می‌گردد. هم‌چنین شکل (۳) تغییرات ET_C روزانه گوجه‌فرنگی قبل از تصحیح مقادیر K_C و شکل (۴) تغییرات آن بعد از تصحیح با استفاده از پارامترهای هواشناسی سال ۲۰۰۲ را نشان می‌دهد. شکل‌های (۳) و (۴) نیز بخوبی تأثیر انجام عملیات تصحیح مقدار K_C بر ET_C روزانه را نشان می‌دهد.

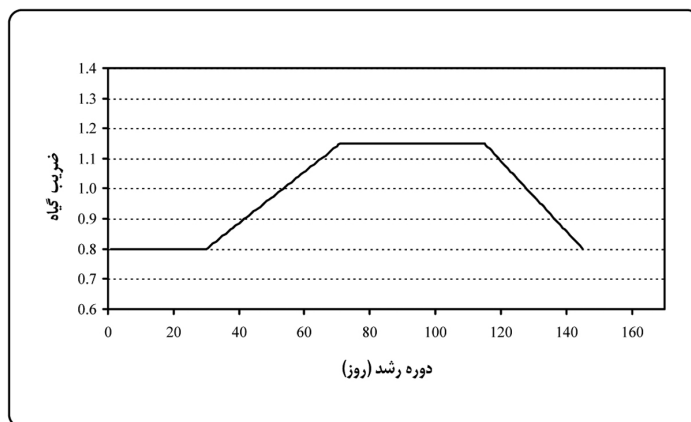
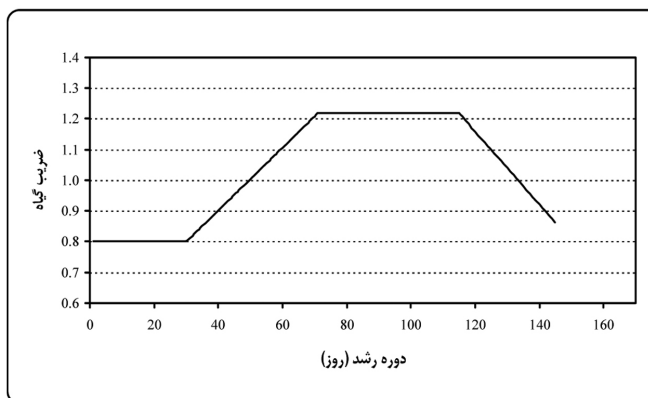
جدول ۳- تاریخ کشت، برداشت و طول مراحل دوره رشد و طول کل دوره رشد گیاهان الگوی کشت سد علیابان.

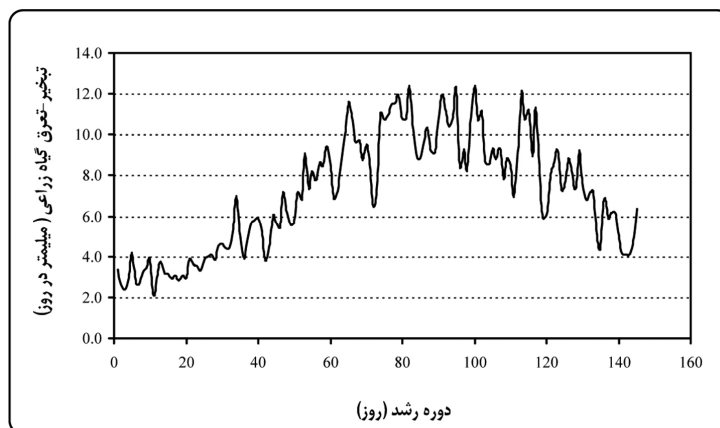
نام گیاه	تاریخ کشت	تاریخ برداشت	طول مراحل مختلف دوره رشد				طول کل دوره رشد
			اول	دوم	سوم	آخر	
گندم	اواسط آبان	اواسط تیر	۳۰	۱۴۰	۴۰	۳۰	۲۴۰
جو	اول آبان	اواخر خرداد	۳۰	۱۴۰	۴۰	۳۰	۲۴۰
چین اول	اواسط فروردین	اواخر خرداد	۱۰	۳۰	۲۵	۱۰	۷۵
یونجه	اواخر خرداد	اواسط مرداد	۵	۲۰	۱۰	۱۰	۴۵
چین سوم	اواسط مرداد	اواخر شهریور	۵	۲۰	۱۰	۱۰	۴۵
پیاز	اواسط فروردین	اواسط شهریور	۱۵	۲۵	۷۰	۴۰	۱۵۰
سیب‌زمینی	اواسط فروردین	اواخر شهریور	۴۵	۳۰	۷۰	۲۰	۱۶۵
ذرت علوفه‌ای	اول اردیبهشت	اواسط مرداد	۳۰	۳۰	۳۰	۲۰	۱۱۰
حبوبات	اول اردیبهشت	اواسط مرداد	۲۰	۳۰	۴۰	۲۰	۱۱۰
گوجه‌فرنگی	اول اردیبهشت	اواخر شهریور	۳۰	۴۰	۴۵	۳۰	۱۴۵
باغات (انگور)	اول اردیبهشت	اواخر مهر	۲۰	۵۰	۹۰	۲۰	۱۸۰

جدول ۴- ضریب گیاهی مراحل مختلف و حداکثر ارتفاع گیاهان الگوی کشت سد علویان.

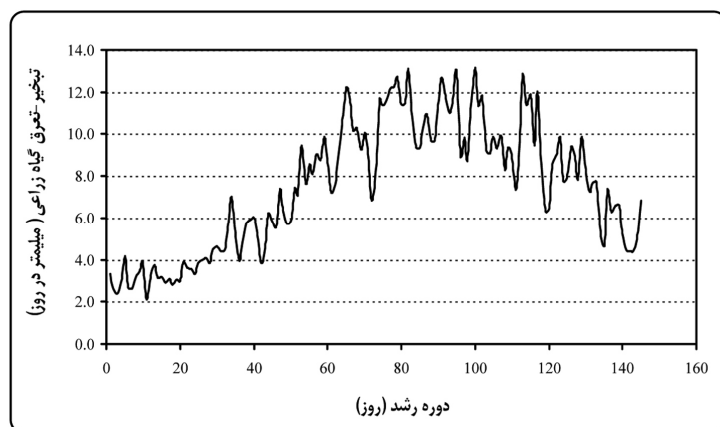
نام گیاه	ضریب گیاهی مراحل مختلف رشد					حداکثر ارتفاع گیاه (h) (متر)
	$K_C\text{-End(B)}$	$K_C\text{-End(A)}$	$K_C\text{-Mid(B)}$	$K_C\text{-Mid(A)}$	$K_C\text{-Ini}$	
گندم	۰/۴۷	۰/۴	۱/۱۱	۱/۱۵	۰/۴	۱
جو	۰/۴۵	۰/۴	۱/۱۰	۱/۱۵	۰/۴	۱
چین اول	۱/۲۰	۱/۱۵	۱/۲۱	۱/۲	۰/۴	۰/۷
چین دوم	۱/۲۳	۱/۱۵	۱/۲۶	۱/۲	۰/۴	۰/۷
چین سوم	۱/۱۹	۱/۱۵	۱/۲۷	۱/۲	۰/۴	۰/۷
پیاز	۰/۸۱	۰/۷۵	۱/۰۶	۱/۰۵	۰/۷	۰/۴
سیب زمینی	۱/۰۹	۰/۷۵	۱/۱۹	۱/۱۵	۰/۵	۰/۶
ذرت علوفه‌ای	۱/۱۴	۱/۰۵	۱/۲۰	۱/۱۵	۰/۳	۱/۵
حبوبات	۰/۴۱	۰/۳۵	۱/۱۸	۱/۱۵	۰/۴	۰/۴
گوجه‌فرنگی	۰/۸۴	۰/۸	۱/۱۹	۱/۱۵	۰/۶	۰/۶
باغات (انگور)	۰/۴۵	۰/۴۵	۰/۹۰	۰/۸۵	۰/۳	۲

(A): قبل از تصحیح (B): بعد از تصحیح با پارامترهای اقلیمی منطقه

شکل ۱- تغییرات مقدار K_C در طول دوره رشد گوجه‌فرنگی (قبل از تصحیح با پارامترهای اقلیمی منطقه).شکل ۲- تغییرات مقدار K_C در طول دوره رشد گوجه‌فرنگی بعد از تصحیح با پارامترهای اقلیمی (سال ۲۰۰۲).

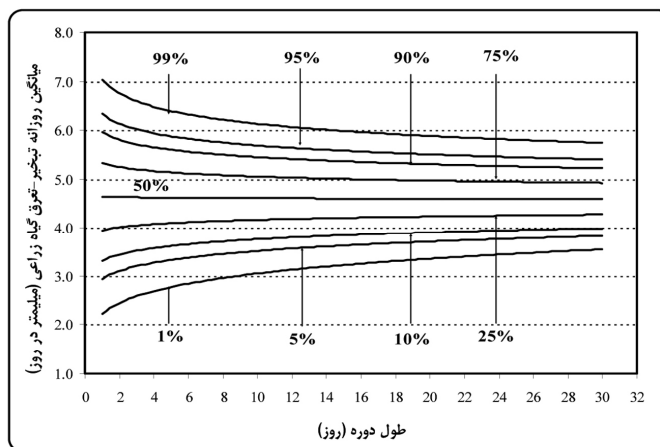


شکل ۳- تغییرات مقدار ET_c در طول دوره رشد گوجه‌فرنگی قبل از تصحیح مقادیر K_c (سال ۲۰۰۲).



شکل ۴- تغییرات مقدار ET_c در طول دوره رشد گوجه‌فرنگی بعد از تصحیح مقادیر K_c (سال ۲۰۰۲).

جدول (۵) تاریخ شروع و خاتمه دوره‌های یک الی ۳۰ روزه حداکثر نیاز آبی گیاهان الگوی کشت را نشان می‌دهد. نکته مهمی که با توجه به تاریخ‌های نوشته شده در جدول (۵) نتیجه می‌شود این است که در هیچ یک از دوره‌های حداکثر نیاز آبی کلیه روزهای دوره بطور الزامی در محدوده ماه خاص نبوده و امکان دارد برخی از روزهای آن در یک ماه و بقیه روزهای آن در ماه دیگر رخ دهد. شکل (۵) تغییرات میانگین ET_c روزانه گیاه جو پاییزه برای دوره‌های یک الی ۳۰ روزه حداکثر نیاز آبی در سطح احتمال وقوع‌های متفاوت را نشان می‌دهد. همانگونه که از شکل (۵) نیز مشاهده می‌شود منحنی ۵۰٪ موازی محور افقی (محور دوره میانگین‌گیری) می‌باشد. هم‌چنین جفت‌های دوگانه منحنی‌ها که مجموع احتمال وقوع آنها ۱۰۰٪ می‌باشند، تقریباً به فاصله یکسان از منحنی ۵۰٪ قرار دارند. با توجه به شکل (۵)، بعد از دوره متوسط‌گیری ۲۴ روزه، شیب کلیه منحنی‌ها برابر با صفر شده و کلیه آنها موازی محور افقی می‌گردند. بنابراین پس از دوره ۲۴ روزه در سطح احتمالاتی معین مقدار میانگین ET_c روزانه تغییر نمی‌کند و ثابت می‌ماند. هم‌چنین با توجه به شکل (۵) نتیجه می‌شود که در یک دوره متوسط‌گیری خاص، با افزایش سطح احتمالاتی مقدار میانگین ET_c روزانه افزایش خواهد یافت و در یک سطح احتمالاتی معین، با افزایش دوره متوسط‌گیری برای احتمال وقوع‌های بیشتر از ۵۰٪ مقدار میانگین ET_c روزانه کاهش و برای احتمال وقوع‌های کمتر از ۵۰٪ مقدار میانگین ET_c روزانه افزایش می‌یابد.



شکل ۵- نمودار توزیع میانگین ET_c روزانه گیاه جو پاییزه برای دوره‌های ۱ الی ۳۰ روزه حداکثر نیاز آبی با سطح احتمال وقوع متفاوت

جدول ۵- تاریخ شروع و خاتمه دوره‌های یک الی ۳۰ روزه حداکثر نیاز آبی گیاهان زراعی الگوی کشت

نام گیاه	تاریخ	طول دوره حداکثر نیاز آبی (روز)								
		۱	۳	۵	۷	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰
یونجه	ش	۳۰ تیر	۲ مرداد	۳ مرداد	۳۰ تیر	۲۹ تیر	۲۱ تیر	۱۹ تیر	۱۴ تیر	۹ تیر
	خ	۳۰ تیر	۴ مرداد	۷ مرداد	۵ مرداد	۷ مرداد	۴ مرداد	۷ مرداد	۷ مرداد	۷ مرداد
جو	ش	۲۶ آذر	۲۶ آذر	۲۶ آذر	۲۵ آذر	۲۶ آذر	۲۳ آذر	۱۹ آذر	۱۶ آذر	۹ آذر
	خ	۲۶ آذر	۲۸ آذر	۳۰ آذر	۳۱ آذر	۴ خرداد	۶ خرداد	۷ خرداد	۹ خرداد	۷ خرداد
گندم	ش	۱۶ خرداد	۱۲ خرداد	۱۶ خرداد	۱۶ خرداد	۱۲ خرداد	۸ خرداد	۳ خرداد	۲ خرداد	۲۸ آذر
	خ	۱۶ خرداد	۱۴ خرداد	۲۰ خرداد	۲۲ خرداد	۲۱ خرداد	۲۲ خرداد	۲۲ خرداد	۲۶ خرداد	۲۶ خرداد
حبوبات	ش	۲۳ تیر	۲۱ تیر	۲۰ تیر	۲۱ تیر	۲۱ تیر	۱۶ تیر	۱۲ تیر	۸ تیر	۲ تیر
	خ	۲۳ تیر	۲۳ تیر	۲۴ تیر	۲۶ تیر	۳۰ تیر	۳۰ تیر	۳۱ تیر	۱ مرداد	۳۱ تیر
ذرت	ش	۲۳ تیر	۲۱ تیر	۲۰ تیر	۳۰ تیر	۳۰ تیر	۲۱ تیر	۲۱ تیر	۲۰ تیر	۱۴ تیر
	خ	۲۳ تیر	۲۳ تیر	۲۴ تیر	۳۰ تیر	۵ مرداد	۴ مرداد	۹ مرداد	۱۳ مرداد	۱۲ مرداد
علوفه‌ای	ش	۳۰ تیر	۷ مرداد	۳۰ تیر	۳ مرداد	۳۰ تیر	۳۰ تیر	۲۱ تیر	۲۰ تیر	۱۶ تیر
	خ	۳۰ تیر	۹ مرداد	۳ مرداد	۹ مرداد	۸ مرداد	۱۳ مرداد	۹ مرداد	۱۳ مرداد	۱۴ مرداد
زمینی	ش	۳۰ تیر	۲ مرداد	۳۰ تیر	۳ مرداد	۳۰ تیر	۳۰ تیر	۲۱ تیر	۲۰ تیر	۱۶ تیر
	خ	۳۰ تیر	۴ مرداد	۳ مرداد	۹ مرداد	۸ مرداد	۱۳ مرداد	۹ مرداد	۱۳ مرداد	۱۴ مرداد
پیاز	ش	۳۰ تیر	۲۱ تیر	۳۰ تیر	۳۰ تیر	۳۰ تیر	۲۱ تیر	۲۱ تیر	۲۰ تیر	۱۴ تیر
	خ	۳۰ تیر	۲۳ تیر	۳ مرداد	۵ مرداد	۸ مرداد	۴ مرداد	۹ مرداد	۱۳ مرداد	۱۲ مرداد
انگور	ش	۹ مرداد	۷ مرداد	۳۰ تیر	۳ مرداد	۳۱ تیر	۳۰ تیر	۲۱ تیر	۲۰ تیر	۱۶ تیر
	خ	۹ مرداد	۳ مرداد	۹ مرداد	۹ مرداد	۹ مرداد	۱۳ مرداد	۹ مرداد	۹ مرداد	۱۴ مرداد

ش: تاریخ شروع دوره خ: تاریخ خاتمه دوره آذر: اردیبهشت ماه

مقادیر میانگین ET_c روزانه گیاهان الگوی کشت در سطوح احتمالاتی متفاوت و دوره‌های متوسط‌گیری ۵ روزه و ۱۰ روزه در جدول (۶) آورده شده است. مقادیر جدول (۶) به وضوح نشان‌دهنده تأثیر دوره میانگین‌گیری و سطح احتمالاتی بر مقدار میانگین ET_c روزانه است. برای بررسی‌های بهتر، اختلاف مقادیر میانگین ET_c روزانه برای دوره ۱۰ روزه حداکثر نیاز آبی در سطوح

احتمال متفاوت محاسبه گردید (جدول ۷). با توجه به مقادیر جدول (۷)، به عنوان نمونه برای طراحی سامانه آبیاری جهت تأمین نیاز آبی گیاه گوجه‌فرنگی، در صورت استفاده از سطح احتمال ۵۰ درصد نسبت به سطوح احتمالاتی ۷۵٪ و ۹۰٪، به ترتیب ۰/۸ میلیمتر در روز و ۱/۶ میلیمتر در روز کمتر از مقدار توصیه شده آن، آب تحویل داده خواهد شد. به جز گندم و حبوبات برای سایر گیاهان، کلیه روزهای دوره ۱۰ روزه حداکثر نیاز آبی در طول یک ماه خاص واقع نشده است (جدول ۵). بنابراین زمانی که در طراحی سامانه آبیاری از سطح احتمال وقوع ۵۰٪ استفاده شود نسبت به سطوح احتمال ۷۵٪ و ۹۰٪ به ترتیب ۱۰٪ و ۲۱٪ کمتر از مقدارهای توصیه شده آن، آب تحویل داده خواهد شد. تنش آبی ایجاد شده در این حالت در صورت استفاده از مقادیر میانگین ET_C روزانه دوره‌های ۱۰ روزه حداکثر نیاز آبی که تمام روزهای دوره ۱۰ روزه در یک دوره خاص در نظر گرفته شده است تشدید خواهد شد.

جدول ۶- مقادیر میانگین ET_C روزانه گیاهان الگوی کشت در دوره‌های ۵ روزه و ۱۰ روزه حداکثر نیاز آبی با سطوح احتمال وقوع متفاوت (میلیمتر در روز)

نام گیاه	دوره ۵ روزه				دوره ۱۰ روزه			
	سطح احتمال وقوع (%)				سطح احتمال وقوع (%)			
	۵۰	۷۵	۹۰	۹۵	۵۰	۷۵	۹۰	۹۵
گندم	۵/۸	۶/۵	۷/۲	۷/۶	۵/۸	۶/۴	۶/۹	۷/۲
جو	۴/۶	۵/۱	۵/۶	۵/۹	۴/۶	۵/۱	۵/۴	۵/۷
چین اول	۶/۱۰	۶/۸	۷/۴	۷/۹	۵/۸	۶/۴	۷/۰	۷/۳
چین دوم	۷/۷	۸/۸	۹/۶	۱۰/۱	۷/۶	۸/۴	۹/۲	۹/۶
چین سوم	۵/۹	۶/۶	۷/۳	۷/۴	۵/۸	۶/۳	۶/۸	۷/۱
پیاز	۷/۷	۸/۸	۹/۵	۱۰/۱	۷/۷	۸/۵	۹/۲	۹/۶
سیب‌زمینی	۷/۷	۸/۶	۹/۵	۱۰/۱	۷/۷	۸/۴	۹/۲	۹/۷
ذرت علوفه‌ای	۷/۷	۸/۶	۹/۵	۱۰/۱	۷/۶	۸/۴	۹/۲	۹/۶
حبوبات	۷/۶	۸/۵	۹/۳	۹/۹	۷/۶	۸/۳	۸/۹	۹/۴
گوجه‌فرنگی	۷/۷	۸/۶	۹/۵	۱۰/۰	۷/۶	۸/۴	۹/۲	۹/۷
باغات (انگور)	۷/۷	۸/۶	۹/۶	۱۰/۰	۷/۶	۸/۴	۹/۲	۹/۶

جدول ۷- اختلاف مقادیر میانگین ET_C روزانه گیاهان الگوی کشت برای دوره ۱۰ روزه حداکثر نیاز آبی و با سطوح احتمالاتی متفاوت

نام گیاه	اختلاف ET_C (میلیمتر در روز)			اختلاف ET_C (%)		
	۷۵ و ۵۰	۹۰ و ۵۰	۹۵ و ۵۰	۷۵ و ۵۰	۹۰ و ۵۰	۹۵ و ۵۰
گندم	۰/۶	۱/۱	۱/۴	۱۰	۱۹	۲۴
جو	۰/۵	۰/۸	۱/۱	۱۱	۱۷	۲۴
چین اول	۰/۶	۱/۲	۱/۵	۱۰	۲۱	۲۶
چین دوم	۰/۸	۱/۶	۲/۰	۱۱	۲۱	۲۶
چین سوم	۰/۵	۱/۰	۱/۳	۹	۱۷	۲۲
پیاز	۰/۸	۱/۵	۱/۹	۱۰	۱۹	۲۵
سیب‌زمینی	۰/۷	۱/۵	۲/۰	۹	۱۹	۲۶
ذرت علوفه‌ای	۰/۸	۱/۶	۲/۰	۱۰	۲۱	۲۶
حبوبات	۰/۷	۱/۳	۱/۸	۹	۱۷	۲۴
گوجه‌فرنگی	۰/۸	۱/۶	۲/۱	۱۰	۲۱	۲۸
باغات (انگور)	۰/۸	۱/۶	۲/۰	۱۰	۲۱	۲۶

نتیجه گیری:

هدف اساسی از این پژوهش، بررسی تأثیر سطح احتمال وقوع و نیز دوره متوسط‌گیری بر مقدار ET_C بوده است. نتایج تحقیق به عمل آمده برای اراضی زیر پوشش سد علویان نشان داد که استفاده از سطح احتمال ۵۰٪ باعث تحویل مقدار آب کمتری نسبت به مقادیر توصیه گردیده، شده که این حالت باعث بروز تنش آبی در گیاه می‌گردد و ممکن است موجب افت زیادی در مقدار محصول تولیدی می‌گردد. با توجه به مقادیر مندرج در جدول (۶) و تاریخ شروع و خاتمه دوره‌های یک الی ۳۰ روزه حداکثر نیاز آبی (جدول ۵)، نتیجه می‌شود گیاهانی که قبل از شروع فصل تابستان و دوره گرما دوره رشد خود را به اتمام می‌رسانند، نسبت به سایر گیاهان در یک دوره حداکثر نیاز آبی یکسان و در سطح احتمال معین به مقدار آب کمتری نیاز خواهند داشت. با توجه به نتایج تحقیق، لازم است قبل از طراحی یک سامانه آبیاری و بهره‌برداری از آن جهت تأمین نیاز آبی گیاه، بین درآمدهای حاصل از تولید محصول و هزینه‌های تحمیلی بر طرح، بررسی کامل صورت گیرد تا طرح از نظر اقتصادی کاملاً توجیه‌پذیر باشد. استفاده از سطوح احتمالاتی بالا (بیشتر از ۹۵٪) موجب حصول اطمینان زیاد در خصوص تحویل کامل آب به گیاه می‌گردد لیکن برای بیشتر محصولات، هزینه اجرای سامانه بیش از درآمدهای حاصل از فروش محصول تولیدی خواهد شد.

منابع و مأخذ:

۱. نیک‌بخت، ج، میرلطیفی، س م، ۱۳۸۲. تأثیر روش محاسبه ET_0 ، احتمال وقوع و طول دوره حداکثر مصرف آب بر تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه مرجع. مجله علوم خاک و آب. جلد ۱۶، شماره ۲، صفحه: ۲۲۳-۲۳۱.
۲. علیزاده، ۱۳۷۴. اصول هیدرولوژی کاربردی. چاپ پنجم، انتشارات آستان قدس رضوی، مشهد.
3. Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., and Smith, M., 1998. Crop Evapotranspiration Guidelines For Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper, NO. 56, Rome, Italy.
4. Amatya, D.M., Skaggs, R.W., and J.D., Gregory, 1995. Comparison of methods for estimating REF-ET. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 121(6): 427-435.
5. Cuenca, R.C. 1989. Irrigation System Design, An Engineering Approach. Prentice Hall, New Jersey, U.S.A..
6. Hargreaves, G.H. and Allen, R.G. 2003. History and evaluation of Hargreaves evapotranspiration equation. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 129(1): 53-63.
7. Jensen, M.E., Burman, R.D. and Allen, R.G. 1990. Evapotranspiration and Irrigation Water Requirement. ASCE Manual, No.70, U.S.A..
8. Mohammad, F.S. 1998. Calibration and use of evapotranspiration equations under arid climatic conditions. Agricultural Engineering Journal, 7(3&4): 185-200.
9. Nixon, P.R., Lawless, G.P. and Richardson, G.V. 1972. Coastal California evapotranspiration frequencies. Proceeding of the American Society of Civil Engineers, Journal of the Irrigation and Drainage Division, (IR2): 185-91.
10. 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 the Irrigation and Drainage Division, (IR2): 177-84.
11. Wright, J.L. and Jensen, M.E. 1972. Peak Water requirements in Southern Idaho. Proceeding of the American Society of Civil Engineers, Journal of the Irrigation and Drainage Division, 98(IR2): 193-201

Estimation of Crop Evapotranspiration in Different Probability Levels: Case study in Maragheh, East AzarBaijan

J. Nikbakht

Ph.D. Student, Irrigation and Drainage Engineering, Tarbiat Modares University

K. Mohammadi

Assistant professor, Department of Irrigation and Drainage Engineering, Tarbiat Modares University

M. Ehteshami¹

Assistant professor, Faculty of Engineering, Khajeh Nassir-o-aldin Toossi Universit

Keywords: Crop and reference Evapotranspiration, crop coefficient, probability level, peak water requirement period

Abstract

It is recommended to use the average daily crop evapotranspiration (ET_c) to calculate the peak water requirement with proper probability level. In this case, crop will receive necessary water and it will prevent the water stress. The effecting factors on choosing probability level are soil texture, risk level accepted by farmers, and irrigation method. In this research, starting and ending dates of maximum water requirement period for crop patterns in agricultural lands under Alavian Dam, Maragheh, have been determined. Based on these dates, average daily ET_c for periods of 1 to 30 day with different probability levels have been calculated. The results show that the differences in ET_c in different probability levels are considerable and it can affect the design of irrigation system, significantly. In addition, it is possible to obtain the average daily ET_c for peak water requirement period with selected probability level from calculated curves. The comparison with 10-day period with 50% probability level, which is a common procedure in irrigation system design, showed that crop can receive up to 25% less water in peak period. This stress for sensitive crops can significantly reduce the crop yield.