



# برآورد 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<sup>۱</sup> می‌باشد (Amatya et. al., 1995; Mohammad, 1998) که برای تخمین تبخیر - تعرق واقعی گیاه (ET<sub>C</sub>)، 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<sub>C</sub> متداول می‌باشد.

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

که در آن، ET<sub>C</sub> تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه<sup>۲</sup> (میلیمتر در روز)؛ K<sub>C</sub> ضریب گیاهی و ET<sub>0</sub> تبخیر-تعرق گیاه مرجع<sup>۳</sup> (میلیمتر در روز) می‌باشد (Allen et. al., 1998).

کاربرد روش معتبر برای برآورد مقدار ET<sub>0</sub> و استفاده از آن برای تخمین ET<sub>C</sub> 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<sub>C</sub>، برآورد مقادیر ET<sub>0</sub> می‌باشد. روش‌های زیادی برای برآورد مقدار ET<sub>0</sub> از طریق داده‌های هواشناسی ابداع و توصیه شده است. یکی از روابطی که تأکید برای استفاده از آن برای برآورد مقادیر ET<sub>0</sub> می‌باشد، آخرین رابطه بازنگری شده پنمن - مانتیث<sup>۴</sup> توسط سازمان خواربار و کشاورزی جهانی (FAO) می‌باشد. این رابطه که در نشریه شماره ۵۶ سازمان مذکور به طور مبسوط تشریح شده است رابطه فانو - پنمن - مانتیث (FP-M) نامیده می‌شود (Allen et. al., 1998). برای برآورد مقادیر ET<sub>0</sub> توسط رابطه (FP-M) نیاز به داده‌های هواشناسی ثبت شده در ایستگاه‌های هواشناسی مجهز می‌باشد.

در طراحی سامانه‌های آبیاری پس از تعیین ET<sub>0</sub>، با توجه به رابطه (۱) مقادیر ET<sub>C</sub> 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 ET<sub>0</sub> و استفاده از آن برای برآورد مقادیر ET<sub>C</sub> از میانگین داده‌های بلند مدت هواشناسی استفاده گردد، سطح احتمالاتی مقادیر ET<sub>0</sub> و ET<sub>C</sub> 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<sub>C</sub> 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 (دومارتین)          | 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) | ۱۱۷۹۵               |
| 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)؛  $\Delta$ : شیب منحنی فشار بخار اشباع (کیلوپاسکال بر درجه سانتیگراد)؛  $\gamma$ : 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<sup>۱</sup>  $ET_C$  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٪، ۱.۰٪، ۲.۵٪، ۵.۰٪، ۷.۵٪، ۹.۰٪، ۹.۵٪ و ۹.۹٪ 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  $K_C$ -End،  $K_C$ -Mid،  $K_C$ -Ini و حداکثر ارتفاع گیاه در طول دوره رشد در جدول (۴) آورده شده است. هم‌چنین در جدول (۴) مقادیر  $K_C$ -End و  $K_C$ -Mid 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.

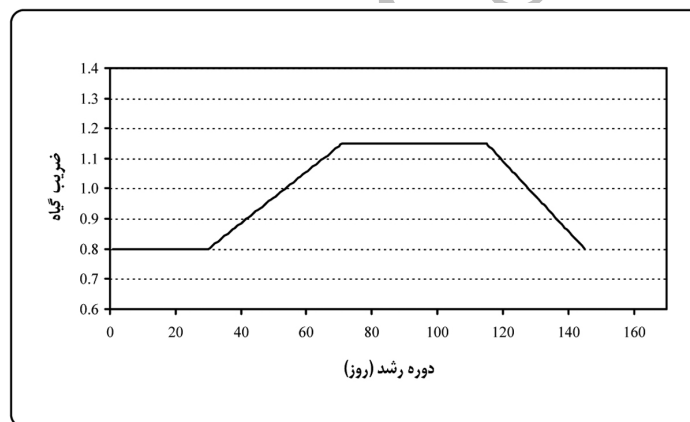
جدول ۳- تاریخ کشت، برداشت و طول مراحل دوره رشد و طول کل دوره رشد گیاهان الگوی کشت سد علیابان.

| 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                       | ۳۰  | ۴۵  | ۳۰  | ۱۴۵             |
| باغات (انگور) | اول اردیبهشت  | اواخر مهر    | ۲۰                       | ۵۰  | ۹۰  | ۲۰  | ۱۸۰             |

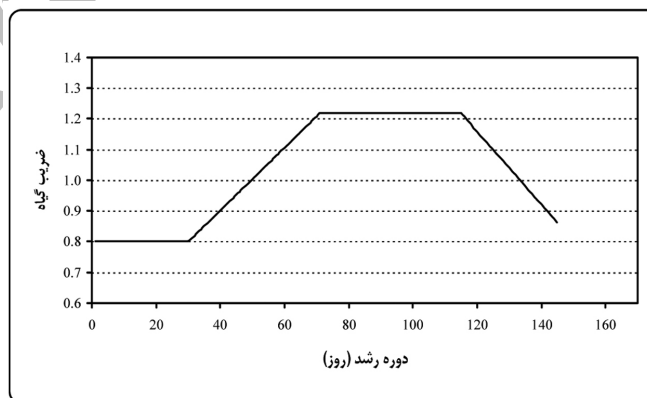
جدول ۴- ضریب گیاهی مراحل مختلف و حداکثر ارتفاع گیاهان الگوی کشت سد علویان.

| نام گیاه      | ضریب گیاهی مراحل مختلف رشد |                       |                       |                       |                    | حداکثر ارتفاع گیاه (h) (متر) |
|---------------|----------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------|------------------------------|
|               | K <sub>C-End(B)</sub>      | K <sub>C-End(A)</sub> | K <sub>C-Mid(B)</sub> | K <sub>C-Mid(A)</sub> | K <sub>C-Ini</sub> |                              |
| 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                            |

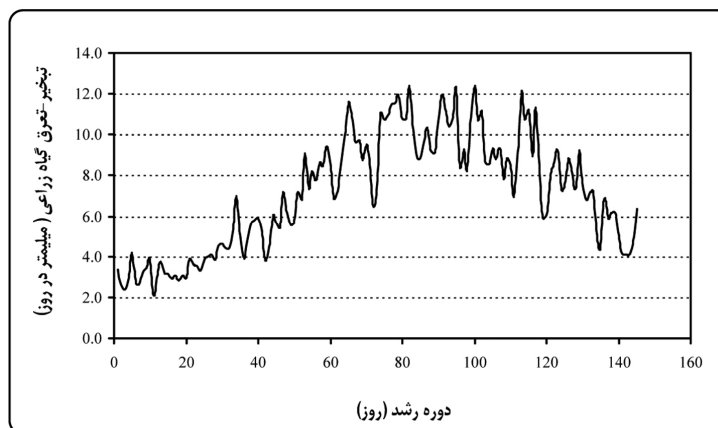
(A): قبل از تصحیح (B): بعد از تصحیح با پارامترهای اقلیمی منطقه



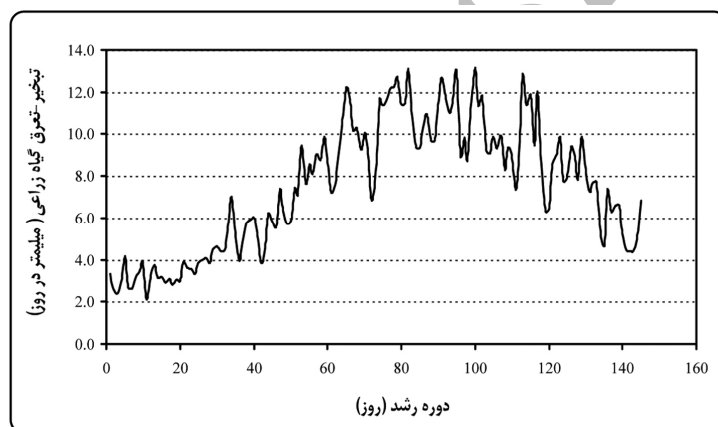
شکل ۱- تغییرات مقدار K<sub>C</sub> در طول دوره رشد گوجه‌فرنگی (قبل از تصحیح با پارامترهای اقلیمی منطقه).



شکل ۲- تغییرات مقدار K<sub>C</sub> در طول دوره رشد گوجه‌فرنگی بعد از تصحیح با پارامترهای اقلیمی (سال ۲۰۰۲).



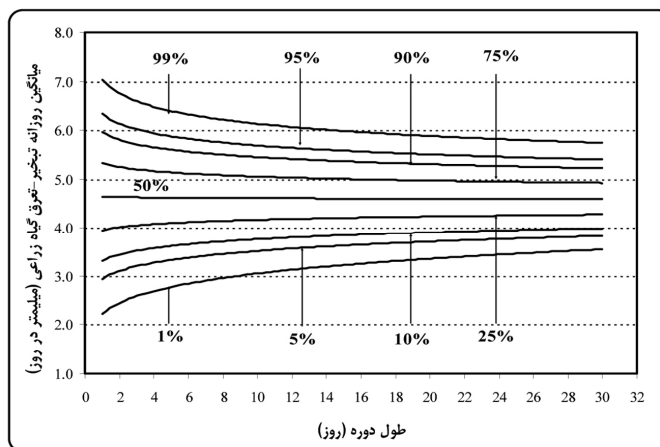
شکل ۳- تغییرات مقدار  $ET_c$  در طول دوره رشد گوجه‌فرنگی قبل از تصحیح مقادیر  $K_c$  (سال ۲۰۰۲).



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 چوپایزه 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 |  |
| سیب      | 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 |  |
| زمینی    | 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 (%) |     |     |     |
|               | ۹۵                  | ۹۰  | ۷۵  | ۵۰  | ۹۵                  | ۹۰  | ۷۵  | ۵۰  |
| گندم          | ۷/۲                 | ۶/۹ | ۶/۴ | ۵/۸ | ۷/۶                 | ۷/۲ | ۶/۵ | ۵/۸ |
| جو            | ۵/۷                 | ۵/۴ | ۵/۱ | ۴/۶ | ۵/۹                 | ۵/۶ | ۵/۱ | ۴/۶ |
| چین اول       | ۷/۳                 | ۷/۰ | ۶/۴ | ۵/۸ | ۷/۹                 | ۷/۴ | ۶/۸ | ۶/۰ |
| چین دوم       | ۹/۶                 | ۹/۲ | ۸/۴ | ۷/۶ | ۱۰/۱                | ۹/۶ | ۸/۸ | ۷/۷ |
| چین سوم       | ۷/۱                 | ۶/۸ | ۶/۳ | ۵/۸ | ۷/۴                 | ۷/۳ | ۶/۶ | ۵/۹ |
| پیاز          | ۹/۶                 | ۹/۲ | ۸/۵ | ۷/۷ | ۱۰/۱                | ۹/۵ | ۸/۸ | ۷/۷ |
| سیب‌زمینی     | ۹/۷                 | ۹/۲ | ۸/۴ | ۷/۷ | ۱۰/۱                | ۹/۵ | ۸/۶ | ۷/۷ |
| ذرت علوفه‌ای  | ۹/۶                 | ۹/۲ | ۸/۴ | ۷/۶ | ۱۰/۱                | ۹/۵ | ۸/۶ | ۷/۷ |
| حبوبات        | ۹/۴                 | ۸/۹ | ۸/۳ | ۷/۶ | ۹/۹                 | ۹/۳ | ۸/۵ | ۷/۶ |
| گوجه‌فرنگی    | ۹/۷                 | ۹/۲ | ۸/۴ | ۷/۶ | ۱۰/۰                | ۹/۵ | ۸/۶ | ۷/۷ |
| باغات (انگور) | ۹/۶                 | ۹/۲ | ۸/۴ | ۷/۶ | ۱۰/۰                | ۹/۶ | ۸/۶ | ۷/۷ |

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 | ۷۵ و ۵۰           | ۹۰ و ۵۰ |
| گندم          | ۰/۶                            | ۱/۱     | ۱/۴               | ۱۹      |
| جو            | ۰/۵                            | ۰/۸     | ۱/۱               | ۱۷      |
| چین اول       | ۰/۶                            | ۱/۲     | ۱/۵               | ۲۱      |
| چین دوم       | ۰/۸                            | ۱/۶     | ۲/۰               | ۲۱      |
| چین سوم       | ۰/۵                            | ۱/۰     | ۱/۳               | ۱۷      |
| پیاز          | ۰/۸                            | ۱/۵     | ۱/۹               | ۱۹      |
| سیب‌زمینی     | ۰/۷                            | ۱/۵     | ۲/۰               | ۱۹      |
| ذرت علوفه‌ای  | ۰/۸                            | ۱/۶     | ۲/۰               | ۲۱      |
| حبوبات        | ۰/۷                            | ۱/۳     | ۱/۸               | ۱۷      |
| گوجه‌فرنگی    | ۰/۸                            | ۱/۶     | ۲/۱               | ۲۱      |
| باغات (انگور) | ۰/۸                            | ۱/۶     | ۲/۰               | ۲۱      |

**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. Ehteshami<sup>1</sup>**

*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.

---

1. andy