مجله پژوهش آب ایران
سال هفتم/ شماره دوازدهم/ بهار و تابستان ۱۳۹۲ (۱-۱۰)

بررسی تأثیر تغییرات شوری آب زیرزمینی کم عمق بر ضریب گیاهی K_c ذرت

غلامحسین کریمی[۱*] و عبدعلی ناصری[۲]

چکیده

برای بررسی ضرایب گیاهی K_c ذرت تابستانه تحت شرایطی که از آب زیرزمینی کم عمق و شور در تأمین بخشی از نیاز آبی گیاه استفاده می‌شود، تحقیقی در لایسی‌مترهای ستونی به قطر ۰/۸ و ارتفاع ۱/۲ متر انجام شد. سطح آب زیرزمینی در لایسی‌مترها با استفاده از بطری ماریوت در عمق ۰/۶ متر ثابت نگه داشته شد. تیمارهای مورد استفاده شامل سه سطح شوری آب زیرزمینی معادل ۲/۵، ۵ و ۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر و دو سطح آبیاری معادل ۱۰۰ و ۷۰ درصد نیاز آبیاری محاسبه شد. آزمایش به صورت فاکتوریل و در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. یک تیمار کشت ذرت بدون آب زیرزمینی با سه تکرار و با آبیاری کامل به عنوان تیمار شاهد در نظر گرفته شد. در این پژوهش معادله مربوط به اجزاء ضریب گیاهی واقعی K_{ca}، شامل ضریب مربوط به آبیاری K_{ci} و ضریب مربوط به آب زیرزمینی K_{cg}، بر اساس معادله توازن حجم به دست آمد و منحنی‌های مربوطه ترسیم شد. نتایج نشان داد که میزان مشارکت آب زیرزمینی در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد در شوری‌های که ذکر شد به ترتیب ۵/۲۸، ۴/۶۱ و ۳/۷۶ درصد و با ۷۰ درصد تأمین نیاز آبی، ۲۵/۰۰، ۲۲/۰۹ و ۱۹/۷۱ درصد بوده است. که این اختلاف در سطح ۵ درصد معنی‌دار است. منحنی‌های ضریب گیاهی واقعی و اجزاء آن در دو حالت آبیاری کامل و کم آبیاری نیز از الگوی متفاوتی پیروی نمود.

واژه‌های کلیدی: آب زیرزمینی کم عمق و شور، ذرت، ضریب گیاهی، لایسی‌متر، مشارکت آب زیرزمینی.

ارجاع: کریمی غ. و ناصری ع. ۱۳۹۲. بررسی تأثیر تغییرات شوری آب زیرزمینی کم عمق بر ضریب گیاهی Kc ذرت. مجله پژوهش آب ایران. ۷(۱۲):۱-۱۰.

۱- دانش آموخته دکترای آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.
۲- استاد گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.
*** نویسنده مسئول:** karimi1925@gmail.com
تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۰۱/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۰۷/۱۶

مقدمه

ضریب گیاهی K_c نسبت تجربی تبخیر و تعرق گیاه تحت شرایط استاندارد ET_c، به تبخیر و تعرق گیاه مرجع ET_0، است. شرایط استاندارد به وضعیت گیاهان کشت شده در مزارع وسیع و تحت مدیریت مطلوب بدون محدودیت آب در خاک، اشاره دارد. در این شرایط ET_c کران بالای تبخیر و تعرق گیاه است و بیانگر شرایط مدیریتی است که در آن تبخیر و تعرق گیاه به دلیل کمبود آب، تراکم کشت، بیماری‌ها، علف‌های هرز، آفت‌ها یا تنش شوری محدود نمی‌شود (وزیری و همکاران، ۱۳۸۷). مقادیر ضریب گیاهی را می‌توان به صورت تجربی بر اساس شرایط اقلیمی برای هر گیاه به دست آورد (کانگ و همکاران، ۲۰۰۱). تبخیر و تعرق گیاه تحت شرایط غیراستاندارد با تعدیل ضریب گیاهی برای شرایط متفاوت با استاندارد، اصلاح می‌شود. منظور از شرایط غیراستاندارد، هر گونه شرایط یا ویژگی محیطی متفاوت از استاندارد است که تبخیر و تعرق گیاه را محدود کند. در شرایط محلی ممکن است تبخیر و تعرق واقعی گیاهان به دلیل انواع شرایط نامطلوب نظیر وجود آفت‌ها و بیماری‌ها، شوری، حاصل‌خیزی پایین خاک، تنش آبی و یا ماندابی متفاوت با تبخیر و تعرق گیاه تحت شرایط استاندارد شود. این تفاوت می‌تواند باعث کاهش رشد گیاه و پوشش گیاهی منجر شده و موجب کاهش تبخیر و تعرق واقعی نسبت به شرایط استاندارد شود. تبخیر و تعرق گیاه تحت شرایط غیراستاندارد با استفاده از ضریب تنش آبی K_s، یا اصلاح ضریب گیاهی K_c برای انواع تنش‌ها و محدودیت‌های محیطی مؤثر بر تبخیر و تعرق، محاسبه می‌شود (وزیری و همکاران، ۱۳۸۷). رایت (۱۹۸۲) اصلاحاتی برای ضرایب گیاهی ارایه داد که علاوه بر انعکاس مرحله رشد گیاه، نمناکی خاک سطحی و آب قابل دسترس خاک را هم به حساب می‌آورند. مشارکت آب زیرزمینی در مصرف آب گیاه نیز می‌تواند در یک ضریب گیاهی اصلاح شده منعکس شود (کانگ و همکاران، ۲۰۰۱). هنگامی که مصرف آب زیرزمینی به وسیله گیاه در بیلان آب آبیاری وارد می‌شود، سرعت تخلیه آب از رطوبت ذخیره شده در خاک کاهش یافته، دور آبیاری افزایش می‌یابد و سرانجام این که تعداد کل آبیاری‌ها و کل عمق آب لازم آبیاری کاهش می‌یابد (آیارز و هوتمیچر، ۱۹۹۴). وستکات (۱۹۸۸) گزارش کرد که برنامه‌ریزی آبیاری باید به گونه‌ای توسعه یابد که به زارع اجازه دهد تا بخشی از آب زیرزمینی کم عمق را تا زمانی که جریان رو به بالای نمک در ناحیه ریشه حداقل باشد، برای تأمین ET گیاه استفاده کند. جنسن (۱۹۷۲) یک مدل برنامه‌ریزی آبیاری را تشریح نمود که حاوی روابط تجربی لازم برای محاسبه هر دو فرآیند زه‌کشی به آب زیرزمینی و حرکت از آن است. اما در معادله مربوط به جریان از آب زیرزمینی، توسعه ریشه گیاه، موقعیت آب زیرزمینی و شوری آن در نظر گرفته نمی‌شود. این موارد فاکتورهایی هستند که مصرف آب از آب زیرزمینی کم عمق را تحت تأثیر قرار می‌دهند (آیارز و هوتمیچر، ۱۹۹۴). ارایه یک معادله ریاضی برای ضرایب گیاهی که در آن اثر خاک، گیاه، اقلیم، آب زیرزمینی کم عمق و فاکتورهای مدیریتی در نظر گرفته شود مشکل است، از این‌رو آزمایش‌های مزرعه‌ای لازم است (آیارز و همکاران، ۲۰۰۶).

در این پژوهش اثر مشارکت آب زیرزمینی کم عمق با سه درجه شوری بر ضریب گیاهی ذرت در یک تحقیق لایسی‌متری تشریح شده است. این مقاله روشی برای استفاده از داده‌های مربوط به مصرف آب گیاه از آب زیرزمینی کم عمق (که از طریق کشت گیاه ذرت در لایسی‌مترهای ستونی جمع‌آوری شد) با هدف اصلاح ضریب گیاهی ذرت و انعکاس مشارکت آب زیرزمینی کم عمق در تبخیر و تعرق به عنوان تابعی از شوری آب زیرزمینی ارایه می‌دهد.

برای محاسبه ضریب گیاهی K_c معمولاً از مطالعات لایسی‌متری استفاده می‌شود. در این روش در یکی از لایسی‌مترها گیاه چمن کشت می‌شود و فرض بر این است که هیچ گونه محدودیتی از نظر مقدار آب آبیاری و مواد غذایی نداشته باشد. در این صورت تبخیر و تعرق آن را تبخیر و تعرق پتانسیل یا ET_0 می‌نامند و در لایسی‌متر دیگر گیاه مورد نظر مثلاً ذرت کشت می‌شود و آن هم از نظر مقدار آب آبیاری و مواد غذایی نباید محدودیتی داشته باشد و تبخیر و تعرق آن ET_c نامیده می‌شود. سپس برای یک دوره مورد نظر (روزانه، هفتگی یا ماهانه) مقدار K_c برابر است با:

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_0} \qquad (۱)$$

در صورت اعمال کم آبیاری و یا وجود آب زیرزمینی کم عمق، مقدار تبخیر و تعرق گیاه را می‌توان از معادله توازن

حجم زیر به دست آورد:

$$ET_a = I + R_e + G_c - D \pm \Delta W \quad (۲)$$

که در آن، ET_a تبخیر و تعرق واقعی گیاه در شرایط تنش آبی و یا وجود آب زیرزمینی کم عمق، G_c مشارکت آب زیرزمینی در تبخیر و تعرق گیاه، I مقدار آب آبیاری، D مقدار نفوذ عمقی از ناحیه ریشه، ΔW تغییرات رطوبت خاک در ناحیه ریشه و R_e بارندگی مؤثر است. اگر فرض شود که تغییرات رطوبت خاک در طی دوره مطالعه نسبت به عوامل دیگر ناچیز باشد ($\Delta W \cong ۰$) و مجموعه $I_N = I + R_e - D$ در نظر گرفته شود، می‌توان نوشت:

$$ET_a = I_N + G_c \quad (۳)$$

اگر طرفین معادله ۳ بر ET_0 تقسیم شود خواهیم داشت:

$$\frac{ET_a}{ET_0} = \frac{I_N}{ET_0} + \frac{G_c}{ET_0} \quad (۴)$$

و یا:

$$K_{ca} = K_{ci} + K_{cg} \quad (۵)$$

که در آن، K_{ca} ضریب گیاهی واقعی، K_{ci} ضریب گیاهی مربوط به آبیاری و K_{cg} ضریب گیاهی مربوط به آب زیرزمینی کم عمق است. با توجه به معادله ۵ دیده می‌شود که K_{ca} از دو جزء K_{ci} و K_{cg} تشکیل می‌شود، که در طراحی‌ها چنانچه از K_{ci} استفاده شود مقدار آب آبیاری لازم را می‌توان از معادله زیر به دست آورد:

$$I_N = K_{ci}.ET_0 \quad (۶)$$

همچنین در صورت عدم وجود آب زیرزمینی کم عمق، مقدار G_c=۰ شده و خواهیم داشت:

$$K_{ca} = K_{ci} \quad (۷)$$

در این تحقیق هدف تعیین میزان مشارکت آب زیرزمینی کم عمق در تأمین بخشی از نیاز آبی گیاه و یا به عبارت دیگر تعیین مقادیر K_{ci} و K_{cg} است.

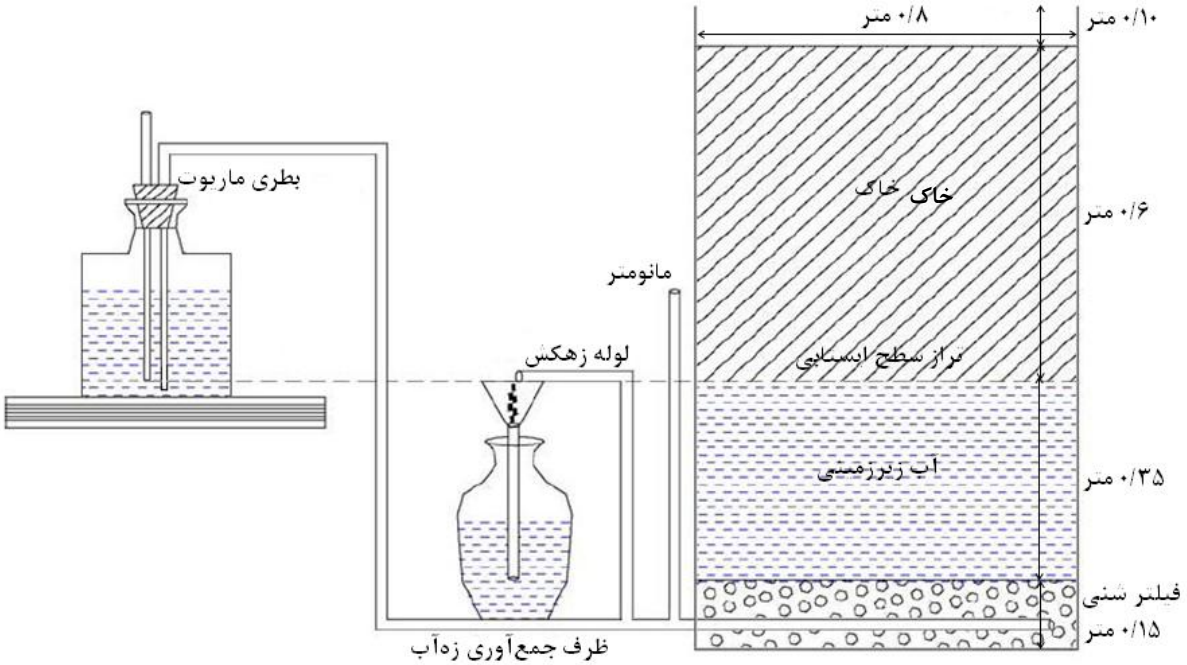
مواد و روش‌ها

این آزمایش در تابستان سال ۱۳۸۸ در مزرعه آزمایشی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شد. در این طرح، با توجه به اجرای زهکش‌های زیرزمینی کم عمق در منطقه و عمق فعال ریشه ذرت (امام، ۱۳۸۳)، برای سفره آب زیرزمینی عمق ۰/۶ متر در نظر گرفته شد. شوری آب آبیاری که منبع آن رودخانه کارون است، در طول فصل کشت در محدوده ۱/۵ تا ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر متغیر است. لذا برای آب زیرزمینی سه تیمار شوری به میزان S_1=۲/۵ dS/m، S_2=۵ dS/m و S_3=۷/۵ dS/m که تقریباً معادل یک، دو و سه برابر شوری آب آبیاری بوده و در محدوده تحمل ذرت نسبت به شوری هستند، اعمال شد. در شوری یک برابر انتظار کاهش محصول وجود ندارد (حق‌نیا، ۱۳۷۱). دور آبیاری در این تحقیق پس از استقرار گیاه به صورت ثابت هفتگی بوده و مقدار آن بر اساس مجموع تبخیر صورت گرفته از تشتک تبخیر کلاس A مستقر در ایستگاه هواشناسی مزرعه در هفته ما قبل آبیاری تخمین زده شد. برای مقدار آبیاری دو تیمار، یکی تیمار کم آبیاری معادل ۷۰ درصد و دیگری معادل ۱۰۰ درصد نیاز آبیاری محاسبه شده در نظر گرفته شد. آزمایش به صورت فاکتوریل و در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. نوع و ترکیب شش تیمار اصلی طرح در جدول ۱ ارایه شده است. همچنین یک تیمار کشت ذرت با آبیاری کامل و بدون آب زیرزمینی برای محاسبه ضریب گیاهی پایه (آیارز و هوتمیچر، ۱۹۹۴) در نظر گرفته شد. تبخیر و تعرق گیاه مرجع چمن نیز از طریق یک تیمار جداگانه کشت چمن با آبیاری کامل و بدون شرایط آب زیرزمینی تعیین شد (وزیری و همکاران، ۱۳۸۷). بنابراین چنانچه تیمار کشت ذرت بدون آب زیرزمینی و تیمار کشت چمن نیز در نظر گرفته شود تعداد کل تیمارها ۸ مورد بود و مجموعاً ۲۴ لایسی‌متر از جنس پلی‌اتیلن به قطر ۸۰ و ارتفاع ۱۲۰ سانتی‌متر مطابق شکل ۱ استفاده شد.

جدول ۱- نوع و ترکیب تیمارهای اصلی طرح برای عمق ۰/۶ متر آب زیرزمینی

شوری آب زیرزمینی (dS/m)	درصد آبیاری	
	I_1=۱۰۰٪ ET	I_2=۷۰٪ ET
S_1 =۲/۵	$I_1 S_1$	$I_2 S_1$
S_2 =۵	$I_1 S_2$	$I_2 S_2$
S_3 =۷/۵	$I_1 S_3$	$I_2 S_3$

در تیمارهایی که آبیاری کامل انجام شد و نیز در آبیاری چمن (که هر دو روز یک‌بار انجام می‌شد) برای اطمینان از تأمین آب لازم گیاه، حدود ۵ تا ۱۰ درصد بیشتر از آب محاسبه شده به لایسی‌مترها داده می‌شد تا آب اضافی از زهکش لایسی‌مترها خارج و گیاه کمبودی از نظر آب آبیاری نداشته باشد. به کمک تبخیر و تعرق پتانسیل روزانه مربوط به کشت چمن و تبخیر روزانه قرائت شده از تشتک تبخیر، ضریب تشتک تبخیر تعیین شد.



شکل ۱- لایسی‌مترهای ستونی و سیستم کنترل سطح ایستابی اقتباس از (کهلون و همکاران، ۲۰۰۴) و (گووینگ و همکاران، ۲۰۰۹)

لایسی‌مترها در سه ردیف هشت تایی برای سه تکرار در خاک مزرعه کار گذاشته شدند. بین هر دو ردیف مجاور یک ترانشه به عرض ۱/۳ متر و عمق ۱/۵ متر برای حرکت بین ردیف‌ها، نصب سیستم کنترل سطح آب زیرزمینی و نصب ظروف جمع‌آوری زه‌آب مرتبط با هر لایسی‌متر، حفر شد. دیواره ترانشه‌های مذکور نیز برای جلوگیری از ریزش خاک اطراف لایسی‌مترها و ایجاد لایه عایق برای آن‌ها با بلوک و سیمان دیوار چینی شد. لایسی‌مترها با رعایت پروفیل طبیعی خاک مزرعه تا رسیدن به تراکم طبیعی ۱/۴۵ gr/cm^3 از همان خاک پر شدند و پس از آن به مدت ۴ روز به روش غرقاب تحت شستشو قرار گرفتند. شوری زه‌آب خروجی از لایسی‌مترها از حدود ۲۱ dS/m در ابتدای عملیات شستشو کاهش یافت و به شوری تعادلی در پایان آن رسید و سپس ثابت ماند. ویژگی‌های بافت خاک درون لایسی‌مترها در جدول ۲ ارایه شده است که از عمق تا سطح تقریباً یکسان است.

جدول ۲- ویژگی‌های بافت خاک درون لایسی‌مترهای مورد آزمایش

بافت خاک	عمق خاک (cm)	درصد رس	درصد سیلت	درصد شن
Silt Loam	۰-۳۰	۲۲	۵۰	۲۸
Silt Loam	۳۰-۶۰	۲۳	۵۰	۲۷

برای هر کدام از لایسی‌مترها مطابق شکل ۱، یک بطری ماریوت با گنجایش ۳۰ لیتر در نظر گرفته شد که از طریق لوله رابط به زهکش هر لایسی‌متر متصل شد. عملکرد مشترک لوله زهکش (برای خروج آب اضافی) و لوله ماریوت (برای تأمین آب زیرزمینی) موجب تثبیت سطح ایستابی در لایسی‌مترها می‌شد. مقدار آب مصرف شده درون مخزن مدرج سیستم ماریوت همان مشارکت آب زیرزمینی در تأمین نیاز آبی گیاه بوده است که به صورت هفتگی ثبت می‌شد. در صورتی که آب آبیاری داده شده بیش از نیاز آبی گیاه بود، آب اضافی از طریق لوله زهکش خارج می‌شد و حجم آن از آب داده شده کسر می‌شد تا معادله توازن حجم رعایت شده باشد. همچنین از آب خروجی شبکه زهکشی مزرعه برای تهیه آب زیرزمینی با شوری‌های مورد نظر و پر کردن مخزن بطری ماریوت استفاده می‌شد.

برای آماده‌سازی خاک درون لایسی‌مترها به هر کدام از آن‌ها با توجه به تجزیه خاک و توصیه کودی (امام، ۱۳۸۳)، کود پایه فسفات و پتاس بر اساس میزان ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار افزوده شد. پس از اختلاط کود با خاک سطحی لایسی‌مترها، یک پشته در وسط هر لایسی‌متر

ایجاد شد. سپس در تاریخ ۸۸/۰۵/۰۱ بر اساس تراکم ۸۰ هزار بوته در هکتار و با تراکم چهار برابر، تعداد ۱۶ عدد بذر ذرت ضد عفونی شده SC704 در عمق ۳ تا ۴ سانتی‌متری خاک طرفین پشته در هر لایسی‌متر کاشته شد (امام، ۱۳۸۳). مرحله اول کود ازته نیز بر اساس میزان ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار همراه با آب آبیاری اول در همان روز داده شد. پنج روز پس از کشت تقریباً تمام بذرها جوانه زدند. عملیات تنک کردن در سه مرحله یعنی ۲۰، ۴۰ و ۵۰ روز پس از کشت انجام شد (امام، ۱۳۸۳) و تعداد بوته‌ها به ترتیب به ۸، ۵ و در نهایت به ۴ بوته در هر لایسی‌متر کاهش یافت. باقی‌مانده کود ازته نیز در دو مرحله یکی در مرحله ۴ برگی (۲۰ روز پس از کشت) و دیگری در مرحله گل‌دهی (۶۵ روز پس از کشت) همراه آب آبیاری داده شد. همچنین برای به حداقل رساندن اثرات محیطی، کشت ردیفی ذرت در محیط پیرامون لایسی‌مترها نیز انجام شد.

پس از استقرار گیاه و تکمیل مرحله ابتدایی رشد، در تاریخ ۸۸/۰۵/۲۹ تیمارهای مورد نظر اجرا گردید و عوامل معادله ۲ در هر لایسی‌متر به صورت هفتگی (معادل دور آبیاری) اندازه‌گیری و ET_a محاسبه شد. در معادله مذکور، مشارکت آب زیرزمینی G_c، از کاهش مقدار آب در مخزن بطری ماریوت قرائت می‌شود. مقدار آب زهکشی شده D، مقدار آبی است که در ظرف جمع‌آوری زه‌آب مربوط به هر لایسی‌متر جمع‌آوری می‌شود و ΔW تغییر در ذخیره رطوبتی خاک می‌باشد. چون تغییرات ΔW در طول فصل رشد در مقایسه با سایر عوامل ناچیز است (بارگاهی و موسوی، ۱۳۸۵)، بنابراین از اندازه‌گیری آن صرف‌نظر و سایر عوامل سمت راست معادله اندازه‌گیری شد. جزء مشارکت آب زیرزمینی نیز از معادله زیر محاسبه شد.

$$\text{درصد مشارکت آب زیرزمینی} = \frac{G_C}{ET_a} \times ۱۰۰ \qquad (۸)$$

مقادیر ضرایب گیاهی در حضور آب زیرزمینی به صورت هفتگی محاسبه شد و برای برازش منحنی از بین داده‌های مذکور از یک چند جمله‌ای درجه ۵ مطابق معادله ۹ که بیشترین همبستگی را داشت استفاده شد.

$$K_c = a_0 + a_1(x) + a_2(x)^2 + a_3(x)^3 + a_4(x)^4 + a_5(x)^5 \qquad (۹)$$

که در آن a_0، a_1، a_2، a_3، a_4 و a_5 ضرایب رگرسیون و x زمان از ابتدای کشت بر حسب روز است. قابل ذکر است که آیارز و هوتمیچر (۱۹۹۴) از یک چند جمله‌ای درجه ۴ در تحقیقات خود استفاده کردند. مقادیر ضریب گیاهی به روش پنمن- مونتیث و مطابق نشریه FAO56 نیز برای مقایسه تعیین شد. برای اندازه‌گیری شوری از دستگاه پورتابل مدل AZ8361 پس از کالیبره شدن استفاده شد. همچنین با استفاده از نرم‌افزار MSTATC داده‌ها تجزیه و تحلیل آماری شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه آماری مربوط به تأثیر مقدار آبیاری، شوری آب زیرزمینی و برهمکنش مقدار آبیاری و شوری آب زیرزمینی بر میزان مشارکت آب زیرزمینی و مقادیر ضریب گیاهی K_{ci}، K_{cg} و K_{ca} در جدول ۳ ارایه شده است.

جدول ۳- میانگین مربعات صفات مورد بررسی متأثر از دو فاکتور شوری آب زیرزمینی و مقدار آبیاری

منابع خطا	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		مشارکت آب زیرزمینی	K_{ci}	K_{cg}	K_{ca}
تکرار	۲	۰/۰۰۲^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}
مقدار آبیاری	۱	۱۴۱۲/۴۶۱**	۰/۲۰۲**	۰/۰۹۰**	۰/۰۲۲**
شوری آب زیرزمینی	۲	۱۷/۴۳۹**	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۰۳**	۰/۰۰۱**
برهمکنش آبیاری و شوری	۲	۵/۴۱۲**	۰/۰۰۲**	۰/۰۰۱**	۰/۰۰۵**
خطا	۱۰	۰/۰۰۷	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
کل	۱۷	-	-	-	-
ضریب تغییرات C.V.	-	۰/۶۳٪	۱/۶۰٪	۳/۳۸٪	۰/۴۳٪

*: معنی‌دار در سطح ۵ درصد **: معنی‌دار در سطح ۱ درصد

مشارکت آب زیرزمینی در تبخیر و تعرق گیاه

درصد مشارکت آب زیرزمینی در تبخیر و تعرق گیاه برای شش ترکیب تیمار اصلی طرح و مقایسه آماری میانگین‌ها در جدول ۴ ارایه شده است.

درصدهای ارایه شده، از متوسط مقادیر آن در هر دور آبیاری در طول فصل رشد به دست آمد. میزان مشارکت

آب زیرزمینی در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد برای سه سطح شوری ۲/۵، ۵ و ۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب ۵/۲۸، ۴/۶۱ و ۳/۷۶ درصد و در سطح آبیاری ۷۰ درصد، ۲۵/۰۰، ۲۲/۰۹ و ۱۹/۷۱ درصد بوده است. بیشترین مقدار مشارکت مربوط به تیمار I_2S_1 به میزان ۲۵/۰۰ درصد و کمترین آن مربوط به تیمار I_1S_3 به میزان ۳/۷۶ درصد بوده است. در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد، اگرچه نیاز آبی گیاه از طریق تشتک تبخیر محاسبه شد و ۱۰۰ درصد آن در اختیار گیاه قرار گرفت، ولی باز هم گیاه از آب زیرزمینی با شوری‌های ذکر شده به ترتیب به میزان ۵/۲۸، ۴/۶۱ و ۳/۷۶ درصد استفاده کرد. برای این مسأله دو احتمال ممکن است وجود داشته باشد؛ ۱- نیاز آبی محاسبه شده از تشتک تبخیر تقریبی بوده و کمتر از مقدار واقعی برآورد شده است و چون آب آبیاری به طور کامل داده نشده است، گیاه کمبود آب داده شده را از آب زیرزمینی تأمین کرده است، ۲- وجود آب در عمق ۰/۶ متر باعث خیز کاپیلاریته شده و در دسترس بودن آب باعث افزایش تبخیر از سطح خاک و تعرق گیاه شده است. گیاه در چنین شرایطی هیچ گونه محدودیتی از نظر آب نداشته و در نتیجه روزنه‌های گیاه مجبور به بسته شدن نخواهند بود و گیاه بیش از محاسبات معمول آب مصرف می‌کند. با توجه به تحقیقاتی که در گذشته انجام شده است احتمال دوم به واقعیت نزدیک‌تر است. بنز و همکاران (۱۹۸۴) مشارکت آب زیرزمینی به عمق ۰/۵ تا ۱ متر در مصرف آب گیاه یونجه را علی‌رغم آبیاری تا سطح ۱۳۰ درصد نیاز آبی، حدود ۲۳ درصد گزارش کردند (آیارز و هوتمیچر، ۱۹۹۴). مطابق جدول ۴ با افزایش شوری آب زیرزمینی، میزان مشارکت آب زیرزمینی در تبخیر و تعرق گیاه در تمام موارد در سطح ۵ درصد به شکل معنی‌داری کاهش یافته است. برهمکنش دو عامل مذکور نیز بر میزان مشارکت آب زیرزمینی تأثیر معنی‌دار داشته است. می‌توان گفت افزایش شوری آب زیرزمینی از طریق کاهش پتانسیل (انرژی) اسمزی آب، باعث کاهش شیب پتانسیل بین آب زیرزمینی و ریشه گیاه شده و حرکت آب از سفره آب زیرزمینی به سمت ریشه را کند خواهد کرد. افزایش مقدار آب آبیاری نیز پتانسیل آب در منطقه ریشه را افزایش داده و به طور مشابه کاهش مشارکت آب زیرزمینی را به دنبال خواهد داشت. به عبارت دیگر، میزان مشارکت آب زیرزمینی با کاهش سطح جایگزینی رطوبت افزایش می‌یابد. برعکس، هنگامی که انرژی پتانسیل آب خاک در بخش‌هایی از منطقه ریشه گیاه در اثر افزایش شوری یا کاهش مقدار رطوبت کاهش می‌یابد، تغییر فاز به سمت جذب بیشتر از آب زیرزمینی به وجود می‌آید، زیرا ممکن است پتانسیل آب در نزدیکی سطح ایستابی بیشتر باشد. در این حالت هرچه شوری آب زیرزمینی کمتر باشد، گیاه از آب زیرزمینی بیشتر استفاده می‌کند. بنابراین ترکیب پتانسیل ماتریک و اسمزی آب خاک در منطقه ریشه می‌تواند مشارکت آب زیرزمینی را تحت تأثیر قرار دهد.

جدول ۴- برهمکنش شوری آب زیرزمینی و مقدار آبیاری بر میزان مشارکت آب زیرزمینی

صفت مورد بررسی	شوری آب زیرزمینی (dS/m)	درصد آبیاری	
		I_1=۱۰۰٪ ET	I_2=۷۰٪ ET
مشارکت آب زیرزمینی (٪)	S_1 =۲/۵	۵/۲۸^{d}	۲۵/۰۰^{a*}
	S_2 =۵	۴/۶۱^{e}	۲۲/۰۹^{b}
	S_3 =۷/۵	۳/۷۶^{f}	۱۹/۷۱^{c}

*** اعداد دارای حرف مشترک، طبق آزمون دانکن در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.**

ضرایب گیاهی در حضور آب زیرزمینی کم‌عمق و شور

اجزاء ضریب گیاهی شامل K_{ci} و K_{cg} و ضریب گیاهی واقعی K_{ca} مربوط به شش ترکیب تیمار اصلی طرح در حضور آب زیرزمینی به عمق ۰/۶ متر، با استفاده از معادله‌های ۳، ۴ و ۵ و نیز ضریب مربوط به کشت بدون آب زیرزمینی $K_{c\text{-}Base}$ به صورت هفتگی محاسبه شدند. منحنی‌های ضریب گیاهی از طریق آنالیز رگرسیون ترسیم گردید. در جدول ۵ متوسط مقادیر ضرایب گیاهی K_{ci}، K_{cg} و K_{ca} در طول فصل و مقایسه آماری میانگین‌ها ارایه شده است.

مطابق جدول مذکور برهمکنش مقدار آبیاری و شوری آب زیرزمینی بر اجزاء ضریب گیاهی تقریباً در تمام موارد در سطح ۵ درصد معنی‌دار بوده است.

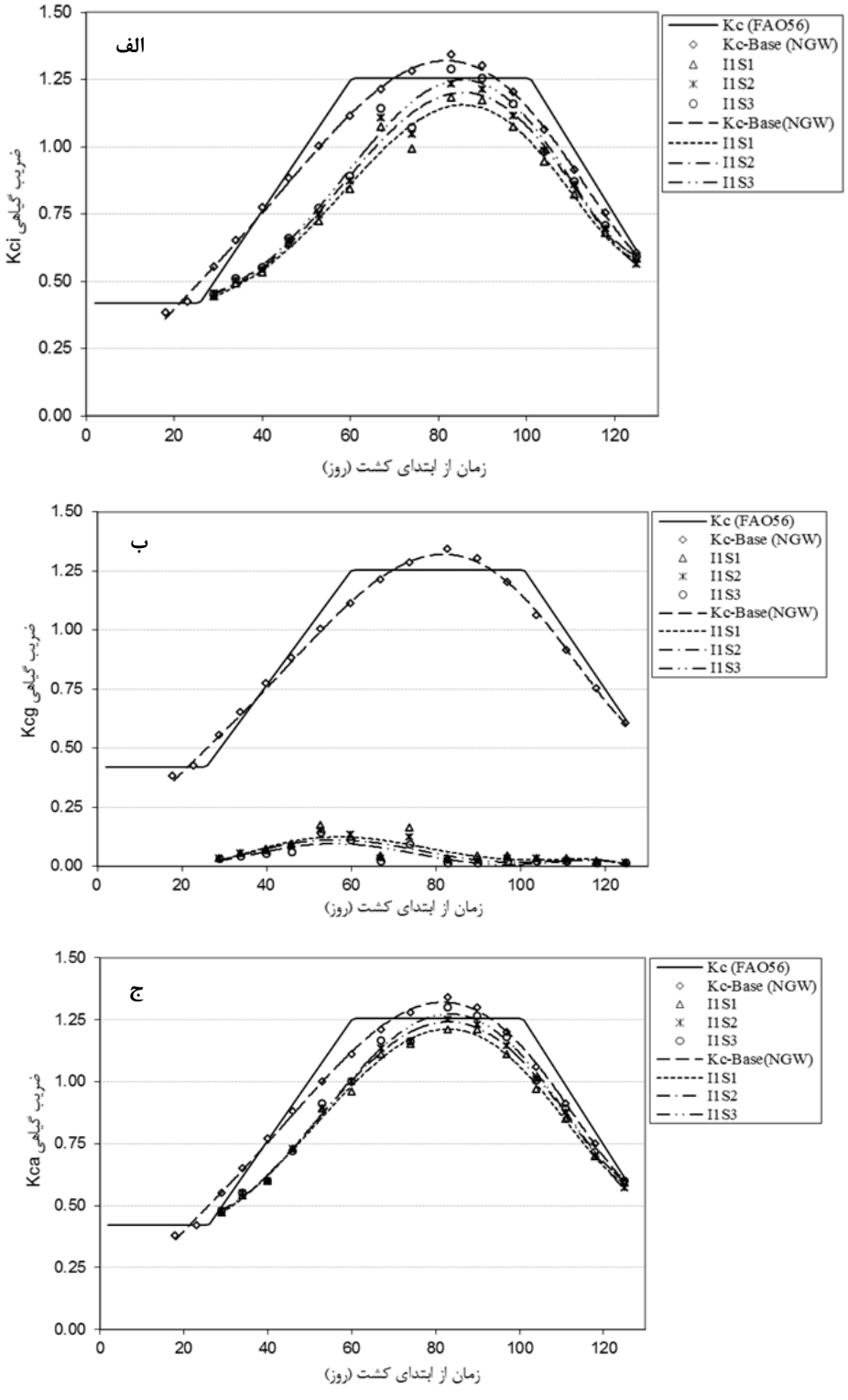
جدول ۵- برهمکنش شوری آب زیرزمینی و مقدار آبیاری بر ضرایب گیاهی K_{ci}، K_{cg} و K_{ca}

صفت مورد بررسی	شوری آب زیرزمینی (dS/m)	درصد آبیاری	
		I_1=۱۰۰٪ ET	I_2= ۷۰٪ ET
K_{ci}	S_1 =۲/۵	۰/۸۱^{c*}	۰/۶۳^{d}
	S_2 =۵	۰/۸۴^{b}	۰/۶۳^{de}
	S_3 =۷/۵	۰/۸۶^{a}	۰/۶۱^{e}
K_{cg}	S_1 =۲/۵	۰/۰۶^{d}	۰/۲۳^{a}
	S_2 =۵	۰/۰۵^{e}	۰/۱۹^{b}
	S_3 =۷/۵	۰/۰۴^{f}	۰/۱۶^{c}
K_{ca}	S_1 =۲/۵	۰/۸۷^{c}	۰/۸۶^{d}
	S_2 =۵	۰/۸۹^{b}	۰/۸۲^{e}
	S_3 =۷/۵	۰/۹۰^{a}	۰/۷۷^{f}

* اعداد دارای حرف مشترک، طبق آزمون دانکن در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

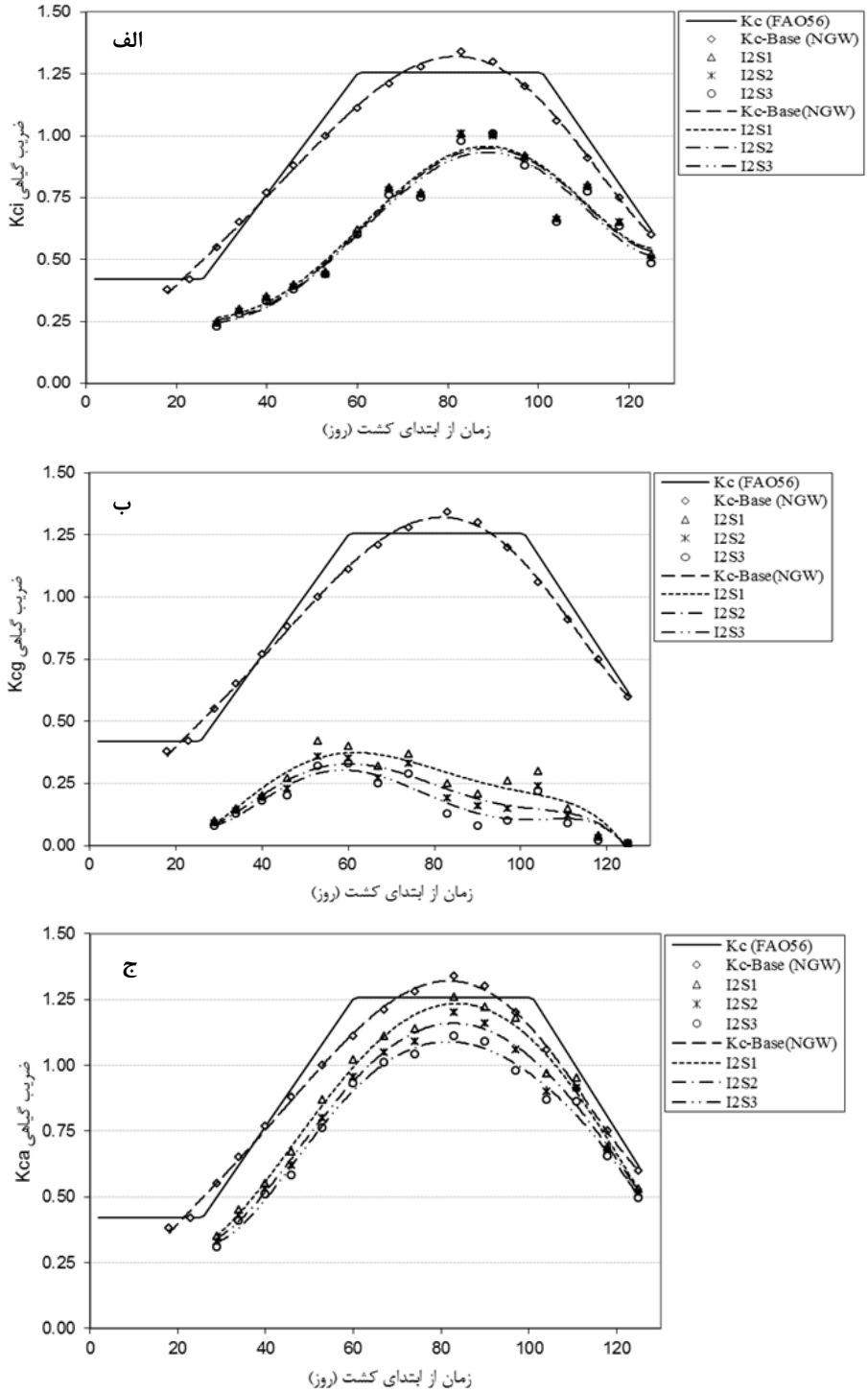
همچنین در شکل ۲ (الف)، (ب) و (ج) به ترتیب منحنی ضرایب گیاهی K_{ci}، K_{cg} و K_{ca} در سه سطح شوری و در ۱۰۰ درصد تأمین نیاز آبی و در شکل ۳ منحنی‌های مذکور در ۷۰ درصد تأمین نیاز آبی ارایه شده است. در شکل‌های ۲ و ۳ منحنی ضریب گیاهی پایه $K_{c\text{-}Base}$ که از داده‌های مربوط به لایسی‌متر بدون آب زیرزمینی تهیه شده است، به همراه منحنی ترسیم شده طبق نشریه FAO56 نیز برای مقایسه ارایه شده‌اند. مطابق شکل ۲ (الف) در شرایط ۱۰۰ درصد تأمین نیاز آبیاری، منحنی‌های ضریب گیاهی مربوط به آبیاری K_{ci}، با افزایش شوری آب زیرزمینی به منحنی پایه نزدیک‌تر شده‌اند. به عبارت دیگر، با افزایش شوری آب زیرزمینی به بیش از میزان تحمل گیاه، تمایل گیاه به استفاده از این آب کمتر شده و ترجیحاً آب لازم خود را بیشتر از آب آبیاری تأمین می‌کند. در نتیجه ضرایب گیاهی K_{ci} مربوط به تیمار I_1S_3 به ترتیب بیشتر از ضرایب مربوط به تیمار I_1S_2 و I_1S_1 است. احتمالاً اختلاط آب زیرزمینی و آب آبیاری و تبخیر بیشتر از سطح خاک مربوط به تیمارهایی با شوری کمتر نیز در کاهش K_{ci} آن تیمار موثر بوده است. در شکل ۲ (ب) مقادیر ضریب گیاهی مربوط به آب زیرزمینی K_{cg}، در شرایط ۱۰۰ درصد تأمین نیاز آبیاری، در هر سه سطح شوری آب زیرزمینی ناچیز و منحنی‌ها به خط مستقیم نزدیک بوده و هر چند اختلاف آن‌ها اندک است اما با افزایش شوری آب زیرزمینی مقادیر ضریب گیاهی کاهش داشته است، زیرا در شوری بالای آب زیرزمینی، نیاز آبی گیاه عمدتاً از طریق رطوبت فراهم شده با آبیاری تأمین شده است. در شکل ۲ (ج) منحنی‌های مربوط به ضریب گیاهی واقعی K_{ca}، که از حاصل جمع دو ضریب K_{ci} و K_{cg} به دست آمده است، از همان الگوی شکل ۴ (الف) پیروی کرده‌اند. به عبارت دیگر در شرایط آبیاری کامل، با افزایش شوری آب زیرزمینی مشارکت آب زیرزمینی در مصرف آب گیاه کاهش اما ضرایب گیاهی افزایش داشته است. این مسأله با یافته‌های گریمز و هندرسون (۱۹۸۴) و آیارز و هوتمیچر (۱۹۹۴) مطابقت دارد. آیارز و هوتمیچر (۱۹۹۴) در این خصوص چنین بیان کرده‌اند؛ «با افزایش شوری آب زیرزمینی به بیش از دو برابر حد آستانه شوری گیاه، بیشتر آب مصرفی گیاه از رطوبت فراهم شده بوسیله آبیاری خواهد بود تا آب زیرزمینی»، و این شرایط نیز مانند آن است که آب زیرزمینی وجود ندارد (G_c=۰)، که در این صورت $K_{ca} \rightarrow K_{ci}$ خواهد شد. در شکل ۳ (الف) اختلاف منحنی‌های ضریب گیاهی مربوط به آبیاری K_{ci}، در شرایط کم آبی یعنی ۷۰ درصد تأمین نیاز آبیاری، ناچیز است. اما در شکل ۳ (ب) مقادیر ضریب گیاهی مربوط به آب زیرزمینی K_{cg}، با افزایش شوری آب زیرزمینی کاهش یافته و اختلاف منحنی‌ها به وضوح قابل مشاهده است. در این حالت گیاه کمبود آب لازم خود را متناسب با شوری آب زیرزمینی از آن استخراج کرده است. اما هر چقدر شوری آب زیرزمینی بیشتر باشد، سهم مشارکت آب زیرزمینی در تأمین نیاز آبی گیاه کمتر و مقادیر ضریب گیاهی نیز کمتر بوده است. در شکل ۳ (ج) منحنی‌های مربوط به ضریب گیاهی واقعی K_{ca}، که از حاصل جمع دو ضریب K_{ci} و K_{cg} به دست آمده است، از همان الگوی شکل ۵ (ب) پیروی کرده‌اند. مقایسه شکل ۲ (ج) و ۳ (ج) نشان می‌دهد که منحنی ضرایب گیاهی

واقعی K_{ca}، در حالت آبیاری کامل و حالت کم آبیاری الگویی مخالف یکدیگر داشته‌اند. همچنین ضرایب گیاهی در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد، بیشتر از ضرایب مربوط به آبیاری در سطح ۷۰ درصد بوده‌اند و به منحنی پایه نزدیک‌ترند.



(ج)

شکل ۲- منحنی‌های ضرایب گیاهی K_{ci} (الف)، K_{cg} (ب) و K_{ca} (ج) در ۷۰ درصد تأمین نیاز آبی



شکل ۳- منحنی‌های ضرایب گیاهی K_{ci} (الف)، K_{cg} (ب) و K_{ca} (ج) در ۱۰۰ درصد تأمین نیاز آبی

نتیجه‌گیری

در این پژوهش دیده شد که میزان مشارکت آب زیرزمینی در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد برای سه سطح شوری ۲/۵، ۵ و ۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب ۵/۲۸، ۴/۶۱ و ۳/۷۶ درصد و با ۷۰ درصد تأمین نیاز آبی، ۲۵/۰۰، ۲۲/۰۹ و ۱۹/۷۱ درصد بوده است. اختلاف مقادیر مذکور در تمام موارد در سطح ۵ درصد معنی‌دار است. می‌توان گفت ترکیب پتانسیل ماتریک و اسمزی آب خاک در منطقه ریشه، مشارکت آب زیرزمینی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد، اگرچه نیاز آبی گیاه از طریق تشتک تبخیر محاسبه و ۱۰۰ درصد آن در اختیار گیاه قرار گرفت، ولی باز هم گیاه از آب زیرزمینی با شوری‌های ذکر شده به ترتیب ۵/۲۸، ۴/۶۱ و ۳/۷۶ درصد استفاده نمود. در این پژوهش معادله‌های مربوط به اجزاء ضریب

گیاهی واقعی K_{ca}، شامل ضریب مربوط به آبیاری K_{ci}، و ضریب مربوط به آب زیرزمینی K_{cg}، بر اساس معادله بیلان رطوبت به دست آمد و منحنی‌های مربوطه در دو حالت آبیاری کامل و کم آبیاری به میزان ۷۰ درصد نیاز آبی و به ازاء سه سطح شوری آب زیرزمینی ترسیم شد. منحنی‌های مذکور در دو حالت آبیاری کامل و کم آبیاری از الگوی متفاوتی پیروی کردند. در حالت آبیاری کامل و شرایطی که آب زیرزمینی کم عمق دارای شوری بیش از تحمل گیاه باشد، گیاه ترجیحاً آب مورد نیاز خود را از آب آبیاری تأمین می‌کند ولی در شرایط کم آبیاری فقط در صورتی که آب زیرزمینی دارای کیفیت مناسبی برای جذب گیاه باشد، می‌تواند در تأمین بخشی از آب مورد نیاز گیاه مشارکت کند.

سپاس‌گزاری

بدین وسیله از قطب علمی مدیریت بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری و زهکشی دانشگاه شهید چمران اهواز و دفتر تحقیقات و استانداردهای شبکه‌های آبیاری و زهکشی سازمان آب و برق خوزستان، به خاطر همکاری و تأمین هزینه‌های این طرح پژوهشی سپاس‌گزاری می‌شود.

منابع

۱. امام ی. ۱۳۸۳. زراعت غلات. انتشارات مرکز نشر دانشگاه شیراز. چاپ دوم. ۱۷۵ ص.

۲. بارگاهی خ. و موسوی ع.ا. ۱۳۸۵. تأثیر سطح ایستابی کم عمق و شوری آب زیرزمینی بر کمک آب زیرزمینی به تبخیر و تعرق گلرنگ در گلخانه. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۰(۳):۵۹-۶۹.

۳. حق‌نیا غ. ح. ۱۳۷۱. راهنمای تحمل گیاهان نسبت به شوری (ترجمه). انتشارات جهاد دانشگاهی. دانشگاه مشهد. ۳۲ ص.

۴. وزیری ژ. سلامت ع. ر. انتصاری م. ر. مسجی م. حیدری ن. و دهقانی سانیچ ح. ۱۳۸۷. تبخیر و تعرق گیاهان (دستورالعمل محاسبه آب مورد نیاز گیاهان). انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. ۳۸۹ ص.

5. Allen R. G. Pereira L. S. Raes D. and Smith M. 1998. Crop Evapotranspiration (Guidelines for Computing Crop Water Requirements). Irrigation and Drainage paper. No.56. FAO. Rome.
6. Ayars J. E. Christen E. W. Soppe R. W. and Meyer W. S. 2006. The resource potential of in-situ shallow ground water use in irrigated agriculture: a review. Irrig. Sci. 24(3):147-160.
7. Ayars J. E. and Hutmacher R. B. 1994. Crop coefficients for irrigation cotton in the presence of groundwater. Irrig. Sci. 15(1):45-52.
8. Ayars J. E. and Schoneman R. A. 1986. Use of saline water from a shallow water table by cotton. Trans. ASAE. 29(6):1674-1678.
9. Gowing J. W. Rose D. A. and Ghamarnia H. 2009. The effect of salinity on water productivity of wheat under deficit irrigation above shallow groundwater. Agric. Water Manag. 96(6):517-524.
10. Grimes D. W. and Henderson D. W. 1984. Developing the resource potential of a shallow groundwater. California Water Resources Bulletin. 188(3):517-524.
11. Howell T. A. Hatfield J. L. Yamada H. and Davis K. R. 1984b. Evaluation of cotton canopy temperature to detect crop water stress. Trans ASAE. 27(1):84-88.
12. Hutmacher R. B. Ayars J. E. Vail S. S. Bravo A. D. Dettinger D. and Schoneman R. A. 1996. Uptake of shallow groundwater by cotton: growth stage, groundwater salinity effects in column lysimeters. Agric. Water Manag. 31(3):205-223.
13. Kahlown M. A. Ashraf M. and Zia U. H. 2005. Effect of shallow groundwater table on crop water requirements and crop yields. Agric. Water Manag. 76(1):24-35.
14. Kang S. Zhang F. Hu X. Jerie P. and Zhang L. 2001. Effects of shallow water table on capillary contribution, evapotranspiration, and crop coefficient of maize and winter wheat in a semi-arid region. Aust. J. Agric. Res. 52(3):317-327.
15. Westcot D. W. 1988. Reuse and disposal of higher salinity subsurface drainage water-A review. Agric. Water Manag. 14(1-4):483-511.
16. Wright J. L. 1982. New evapotranspiration crop coefficients. Irrigation and Drainage Division. ASCE. 108 IR2. 57-74.