

تأثیر سطوح مختلف آبیاری بر خصوصیات کمی و کیفی ذرت علوفه‌ای (رقم NS) و تعیین عمق بهینه آبیاری آن در شرایط کمبود آب

سجاد حیدری سورشجانی^{۱*}، محمد شایان‌نژاد^۱، مسعود نادری^۱ و بیژن حقیقتی^۲

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۹/۰۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۳/۱۷)

چکیده

این پژوهش به منظور بررسی تأثیر سطوح مختلف آبیاری بر عملکرد کمی و کیفی و تعیین عمق بهینه آبیاری ذرت علوفه‌ای در منطقه شهرکرد، در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با ۷ تیمار شامل ۴۰، ۵۵، ۷۰، ۸۵، ۱۰۰، ۱۱۵ و ۱۳۰ درصد کمبود رطوبت خاک در ۳ تکرار به روش آبیاری جویچه‌ای انجام شد. تأثیر سطوح مختلف آبیاری بر عملکرد، بهره‌وری مصرف آب، درصد ماده خشک، ارتفاع و قطر میانه ساقه و قطر، طول و وزن بلال معنی‌دار بود. سطوح مختلف آب آبیاری تأثیر معنی‌داری روی درصد پروتئین و درصد روغن دانه نداشت، اما تأثیرش بر درصد فیبر بوته معنی‌دار بود. با افزایش عمق آبیاری میزان، طول ساقه، وزن بلال و درصد فیبر بوته افزایش یافت. کمترین و بیشترین عملکرد ذرت به ترتیب مربوط به سطوح آبیاری ۴۰ و ۱۳۰ درصد آبیاری کامل به ترتیب برابر با ۴۳/۱ و ۸۸/۱ تن در هکتار بود. بیشترین و کمترین میزان بهره‌وری مصرف آب نسبت به عملکرد محصول تازه، به ترتیب مربوط به تیمارهای ۵۵ و ۱۳۰ درصد آبیاری کامل و به ترتیب برابر ۱۶/۱۷ و ۱۰/۱ کیلوگرم در مترمکعب بود. نتایج آنالیز اقتصادی نشان داد که عمق آب مصرفی بهینه برای ذرت علوفه‌ای در شهرکرد ۵۸۲/۵ میلی‌متر می‌باشد که معادل ۸۶ درصد عمق آبیاری کامل است.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری مصرف آب، تابع تولید، خواص کمی و کیفی، سطوح مختلف آب آبیاری، عمق بهینه آبیاری

۱. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۲. مرکز تحقیقات کشاورزی شهرکرد

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: s_heidari24@yahoo.com

مقدمه

محدودیت منابع آب شیرین و کاهش روزافزون آن به دلیل افزایش جمعیت جهان و به تبع آن فعالیت‌هایی که در جهت پاسخ‌گویی به نیازهای این جمعیت صورت می‌گیرد، در آینده نه‌چندان دور انسان را با چالش بزرگی به‌نام کم‌آبی روبه‌رو خواهد ساخت. و افزایش فعالیت‌های صنعتی، ازدیاد گازهای گلخانه‌ای موجود در جو و پدیده تغییر اقلیم، سبب تغییر شکل و کاهش نزولات جوی شده و افزایش تقاضای آب سبب کاهش ذخایر آب، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک شده است. به دلیل توزیع نامتوازن جمعیت، آب شیرین و ثروت در جهان، تقسیم متعادل و مساوی منابع آب مشکل است (۲۱). حدود ۱۸ درصد از مردم دنیا به آب‌های سالم دسترسی ندارند (۲۴). طبق تحقیقات انجام شده برای تولید مواد غذایی مورد نیاز جمعیت ایران در دو دهه آینده، تمام منابع آب زیرزمینی و سطحی مصرف شده و کشور با کمبود آب مواجه خواهد شد (۱۱) و تنها در سایه "تولید بیشتر محصول به ازای هر واحد آب مصرفی در واحد سطح" مصرف بهینه آب امکان‌پذیر است. برنامه‌ریزی برای استفاده هر چه بهتر از منابع آب، امری اجتناب‌ناپذیر است و روش‌های کم‌آبیاری، از جمله روش‌های آبیاری با دیدگاه افزایش تولید به‌ازای واحد مصرف آب، می‌بایست در اولویت امور تحقیقاتی در بخش کشاورزی قرار گیرد (۲۰). علی‌رغم جایگاه بارز گیاهان علوفه‌ای در کشور و نقش این گیاهان در امنیت غذایی و به‌خصوص تولید پروتئین و فرآورده‌های دامی، امروزه همچنان کمبود تولید این گیاهان در کشور وجود دارد (۵). بر طبق آمار رسمی فائو ایران در سال ۲۰۰۸ میلادی حدود ۲۹۷۱۰۳۰ تن ذرت به ارزش ۷۲۰۵۱۸ هزار دلار وارد کرده است که نشان دهنده نیاز بالای کشور به این علوفه است (۹). گیاهانی مانند ذرت علوفه‌ای از جمله گیاهان گروه C₄ هستند که جهت تولید علوفه به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک مورد توجه زیادی قرار گرفته‌اند (۵). علوفه ذرت به دلیل عملکرد بالا، مواد غذایی مناسب، امکان آسان سیلو شدن و ترکیب با مواد غذایی دیگر، یکی از مهم‌ترین علوفه‌های

مورد استفاده در صنعت دامپروری است (۲۲).

در چند دهه اخیر با مشاهده عینی کمبود آب در بسیاری از مناطق جهان و به‌خصوص ایران، بسیاری از محققین مطالعات خود را به سوی روش‌های صرفه‌جویی و ذخیره آب معطوف ساخته‌اند. آکتم (۲۳) ارتباط بین میزان آب و عملکرد و کیفیت محصول ذرت را، تحت کم‌آبیاری، طی دو سال متوالی در سنلیورفای ترکیه مطالعه کرد. تیمارهای آبیاری در این مطالعه نسبت به آبیاری کامل شامل: ۱۰٪، ۲۰٪ و ۳۰٪ کاهش آب از تشتک تبخیر کلاس A بودند. در هر دو سال بیشترین و کمترین عملکرد به ترتیب مربوط به تیمار آبیاری کامل و ۳۰٪ کاهش آب از تشتک به دست آمد. بیشترین بهره‌وری مصرف آب با مقادیر ۱/۳۳ و ۱/۳۶ کیلوگرم بر مترمکعب در تیمار ۱۰٪ کاهش آب از تشتک و کمترین آن با مقادیر ۱/۱۸ و ۱/۱۹ کیلوگرم بر مترمکعب در تیمار ۳۰٪ کاهش آب از سطح تشتک تبخیر به دست آمد. بالاترین میزان شاخص سطح برگ برای آبیاری کامل به دست آمد، در حالی که کمترین آن برای تیمار ۳۰٪ حاصل شد. در مورد پارامترهای کیفی هرچند مقدار پروتئین افزایش یافت، اما مقادیر آهن، روی و مس مطابق با افزایش تنش آب کاهش یافتند.

مشعل و همکاران (۱۵) طی پژوهشی اثرات کم‌آبیاری بر توابع تولید و هزینه گیاه ذرت از رقم سینگل کراس ۷۰۴ را مورد بررسی قرار دادند. نتایج به دست آمده نشان داد که آبیاری کامل (۱۰۰ درصد نیاز آبی) بیشترین عملکرد محصول در واحد سطح و به‌میزان ۷۷۳۶۰ کیلوگرم در هکتار را به همراه داشت. علاوه بر آن بیشترین درآمد ناخالص، مربوط به تیمار با ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه، و بیشترین درآمد خالص مربوط به تیمار با کاهش ۱۰ درصدی در مصرف آب نسبت به حالت آبیاری کامل به دست آمد.

عامر (۱۷) اثر سطوح مختلف آبیاری را روی گیاه ذرت، در قالب طرح اسپلیت پلات تصادفی در ۵ سطح آبیاری ET ۰/۶، ET ۰/۸، ۱ET، ۱/۲ET، و ET ۱/۴ که نسبتی از تبخیر تعرق گیاه هستند در منوفیای مصر بررسی کرد. نتایج نشان داد که

کیلومتری شهرکرد و در عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۱۸ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۴۹ دقیقه شرقی قرار دارد و به لحاظ توپوگرافی در بخش شمالی رشته کوه زاگرس قرار گرفته است. ارتفاع این مرکز ۲۰۶۰ متر از سطح دریا می‌باشد. میانگین بلند مدت دمای سالیانه محل آزمایش ۱۱/۸ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارش سالیانه ۳۲۱/۵ میلی‌متر می‌باشد. اقلیم منطقه براساس طبقه‌بندی آمبرژه، نیمه‌خشک سرد می‌باشد (۳). خصوصیات خاک زراعی و آب آبیاری محل تحقیق که از چاه تأمین می‌شد در جداول (۱، ۲ و ۳) ارائه شده‌اند.

این تحقیق در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۷ تیمار با ۳ تکرار انجام شد. تیمارها شامل دو تیمار آبیاری بیش از حد ۱۱۵ و ۱۳۰ درصد کمبود رطوبت خاک، تیمار آبیاری کامل (۱۰۰ درصد کمبود رطوبت خاک) و چهار تیمار کم‌آبیاری ۴۰، ۵۵، ۷۰ و ۸۵ درصد کمبود رطوبت خاک، در نظر گرفته شد. دلیل انتخاب این تیمارها به دست آوردن شکل کامل‌تری از تابع تولید و تعیین دقیق ترعق عمیق بهینه آب مصرفی بود. بنابراین برای اجرای طرح ۲۱ پلات ایجاد گردید. ابعاد هر پلات ۳×۴ متر و فاصله بین آنها یک متر منظور گردید.

محاسبات برنامه‌ریزی آبیاری و عملیات زراعی

۱. عمق و حجم آبیاری با استفاده از داده‌های هواشناسی بلند مدت منطقه و استفاده از روش فائو-پنمن-مونتیت معادله (۱) میزان تبخیر-تعرق گیاه در فاصله بین دو آبیاری برای هر دو محصول محاسبه شد (۲).

$$ET_c = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \left[\frac{890}{T + 273} \right] U_p (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 U_p)} \quad [1]$$

ET، تبخیر-تعرق مرجع (mm/day)، R_n تابش خالص در سطح پوشش گیاهی ($MJm^{-2}d^{-1}$)، T متوسط دمای هوا در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین (C^0)، U_p متوسط سرعت باد در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین (m/s)، $(e_s - e_a)$ کمبود فشار بخار در ارتفاع ۲ متری (kpa)، Δ شیب منحنی فشار بخار (kpa/C^0)، γ ضریب رطوبتی (kpa/C^0)، G شار گرما به داخل

کمترین و بیشترین عملکرد به ترتیب متعلق به ET_c ۰/۶ و ET_c ۱ بود و بالاترین و پایین‌ترین شاخص سطح برگ به ترتیب متعلق به سطوح ET_c ۱/۴ و ET_c ۰/۶ بود.

دجامان (۱۸) در لینکالن نبرسکا تحقیقات گسترده‌ای روی گیاه ذرت انجام داده که از جمله آنها: کم‌آبیاری، مقایسه روش‌های مختلف آبیاری در تولید ذرت، کم‌آبیاری روی ارقام مختلف ذرت با ضرایب گیاهی متفاوت، تأثیر ریزمغذی‌ها در کم‌آبیاری و غیره می‌باشند. ایشان طی دو سال متوالی با اعمال کم‌آبیاری روی ذرت دانه‌ای و با در نظر گرفتن چهار تیمار ۱۰۰، ۷۵، ۶۰، ۵۰٪ نیاز آبی گیاه و یک تیمار بدون آبیاری، بیان کرد میزان تولید دانه در تیمار آبیاری کامل (۱۰۰٪) تقریباً مشابه تیمار ۷۵٪ بوده ولی نسبت به دو تیمار ۶۰٪، ۵۰٪ و تیمار بدون آبیاری به‌طور معنی‌داری بیشتر بود. بیشترین بهره‌وری مصرف آب در سال ۲۰۰۹ مربوط به تیمار ۶۰٪ و در سال ۲۰۱۰ متعلق به تیمار ۱۰۰٪ نیاز آبی گیاه بود. اهمیت تولید ذرت و محدودیت منابع آب در ایران و جهان بر هیچ‌کس پوشیده نیست. تغییر اقلیم و خشکسالی در شهرکرد موجب تغییر شکل و کاهش نزولات جوی شده و سطح آب زیرزمینی افت زیادی داشته است. از طرفی گیاه ذرت علوفه‌ای به‌طور وسیعی در این منطقه کشت می‌شود، بنابراین انجام این تحقیق ضروری به نظر می‌رسد؛ به‌خصوص که در مورد رقم ذرت انتخاب شده، در این منطقه تحقیقات زیادی انجام نشده است. هدف از انجام این تحقیق تعیین تابع تولید ذرت علوفه‌ای، بررسی تأثیر کم‌آبیاری و بیش آبیاری بر عملکرد و بهره‌وری مصرف آب و تعیین عمق آب مصرفی بهینه با توجه به عملکرد کیفی و بهره‌وری مصرف آب ذرت علوفه‌ای در منطقه شهرکرد است.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در زمینی به مساحت ۶۰۰ مترمربع به روش آبیاری جویچه‌ای روی ذرت علوفه‌ای رقم NS در محل مرکز تحقیقات کشاورزی شهرکرد انجام شد. مرکز تحقیقات شهرکرد در ۸

جدول ۱. خصوصیات شیمیایی خاک مزرعه تحقیقاتی

| Mn (mg/kg) | Zn (mg/kg) | K (mg/kg) | P (mg/kg) | N (%) | TNV (%) | OC (%) | EC (dS/m) | PH | عمق خاک (cm) |
|------------|------------|-----------|-----------|-------|---------|--------|-----------|-----|--------------|
| ۷/۹۱ | ۰/۰۴۹ | ۳۱۰ | ۹/۶ | ۰/۰۷۱ | ۲۰/۵ | ۰/۵۰۲ | ۰/۵۹۸ | ۷/۹ | ۰-۳۰ |
| ۴/۴۰ | ۰/۰۳۰ | ۲۸۰ | ۴ | ۰/۰۳۴ | ۳۶ | ۰/۲۵۰ | ۰/۵۷۰ | ۷/۷ | ۳۰-۶۰ |

جدول ۲. خصوصیات فیزیکی خاک مزرعه تحقیقاتی

| وزن مخصوص ظاهری (gr/cm ^۳) | بافت خاک | درصد شن | درصد سیلت | درصد رس | عمق خاک (cm) |
|---------------------------------------|----------|---------|-----------|---------|--------------|
| ۱/۳۶ | لومی-رسی | ۲۵ | ۴۳/۵ | ۳۱/۵ | ۰-۳۰ |
| ۱/۴۱ | رسی | ۱۷ | ۳۸ | ۴۵ | ۳۰-۶۰ |

جدول ۳. خصوصیات شیمیایی آب مزرعه تحقیقاتی

| مقدار | پارامتر | مقدار | پارامتر |
|-------|---------------------------------------|-------|-------------------------|
| ۴/۳ | HCO _۳ ⁻ (meq/L) | ۷/۳۵ | PH |
| ۰ | CO _۳ ^{۲-} (meq/L) | ۰/۳۴۵ | EC (dS/m) |
| ۰/۰۳ | SO _۴ ^{۲-} (meq/L) | ۰/۲۱ | Na ⁺ (meq/L) |
| ۳/۱۱ | Ca ^{۲+} (meq/L) | ۰/۴۲ | K ⁺ (meq/L) |
| ۱/۲۷ | Mg ^{۲+} (meq/L) | ۰/۵۱ | Cl ⁻ (meq/L) |

(۴) حجم آب آبیاری محاسبه و با استفاده از کنتور اندازه‌گیری و توسط شیلنگ به هر پلات منتقل شد.

$$V = \frac{d_g \times A_p \times 1000}{1000} \quad [4]$$

V حجم آب آبیاری بر حسب لیتر بر روز، A_p مساحت هر کرت بر حسب مترمربع می‌باشد. مقدار آب آبیاری هر تیمار، با اعمال ضرایب مربوط به سطوح آبیاری تیمارها (۷۰، ۵۵، ۴۰) شده از رابطه (۳) به دست آمد و آبیاری کلیه تیمارها هم‌زمان انجام شد.

$$d_n = MAD \times (\theta_{Fc} - \theta_{pwp}) \times \rho_b \times D_{rz} \quad [5]$$

۲. دور آبیاری: برای محاسبه دور آبیاری، ابتدا عمق خالص آبیاری براساس میزان رطوبت خاک در نقاط FC و PWP با استفاده از رابطه (۵) محاسبه شد:

خاک (MJm^{-۲}d^{-۱})

$$ET_c = K_c \times ET \quad [2]$$

در این رابطه ET_c تبخیر- تعرق گیاه (mm/day)، K_c ضریب گیاهی می‌باشد.

$$d_g = \frac{\sum_{i=1}^y ET_c}{E_a} \quad [3]$$

در این رابطه d_g عمق ناخالص آبیاری E_a راندمان آبیاری بر حسب اعشار می‌باشد.

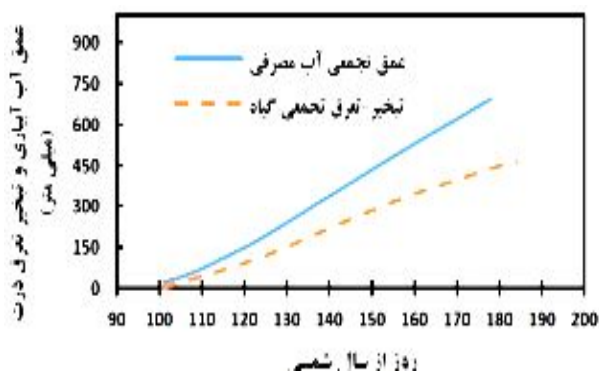
به دلیل پایین بودن شوری آب و خاک مزرعه تحقیقاتی نیاز آبتیوی در نظر گرفته نشد. انتهای پلات‌ها مسدود و رواناب صفر بود ولی چون تلفات ناشی از فرونشست عمقی آب وجود داشت لذا راندمان آبیاری (E_a) برابر با ۷۰ درصد در نظر گرفته شد. در نهایت با قرار دادن عمق ناخالص آب آبیاری در معادله

مزرعه لومی‌رسی بود بعد از انجام چند آبیاری سطح خاک سله بسته و نیاز به سله‌شکنی و ترمیم پشته‌ها داشت تا هم نفوذ آب بهبود یابد و هم تبادل هوا بهتر صورت گیرد. بنابراین دو ماه پس از کاشت، نزدیک به دوره گلدهی، سله‌شکنی به‌صورت دستی، توسط بیل انجام شد. همزمان با سله‌شکنی ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره به زمین داده شد. آخرین آبیاری در تاریخ ۲۵ شهریور ماه انجام شد. برداشت محصول به‌صورت دستی و توسط داس علوفه چین، ۱۰۶ روز بعد از کاشت در تاریخ ۱ تا ۳ مهرماه انجام شد. برداشت ذرت برای سیلوکردن علوفه‌ی آن زمانی صورت می‌گیرد که دانه‌ها حالت خمیری داشته و برگ‌ها سبز باشند (۱۲). این موقع زمانی است که گیاه ۷۰ تا ۷۵ درصد آب داشته و با سیلو نمودن آن علوفه با کیفیت خوب به‌دست می‌آید. از پلات‌های مربوط به هر تیمار، قطعاتی به مساحت ۱/۵ مترمربع از دو ردیف وسط که نمایانگر عملکرد گیاه در شرایط واقعی مزرعه در کشت‌های وسیع هستند انتخاب و برداشت شد. سپس توزین و برای تعیین خواص کیفی و کمی به آزمایشگاه انتقال یافتند. پارامترهای کمی مورد بررسی شامل: عملکرد، ارتفاع ساقه، قطر میانه ساقه، قطر بلال، طول بلال، وزن بلال و درصد ماده خشک و پارامترهای کیفی شامل: فیبر، پروتئین و روغن دانه بود. اندازه‌گیری ازت پودر ذرت که شامل مخلوطی از ساقه، برگ و بلال بود به‌روش هضم تر و با استفاده از دستگاه Kjeldahl - Gerhardt صورت گرفت، و با اعمال ضریب گیاهی مربوط به ذرت علوفه‌ای میزان پروتئین ذرت نسبت به وزن خشک ماده محاسبه گردید. میزان فیبر موجود در اندام‌های گیاهی ذرت با استفاده از روش محلول‌های شوینده کروسیل تعیین گردید. روغن دانه با استفاده از دستگاه سوکسله تمام اتوماتیک، مدل velp-Ser148 اندازه‌گیری شد. در ادامه مقدار آب مصرفی بهینه در شرایط محدودیت منابع آب، با روشی که انگلیش (۱۹) استفاده کرده بود، صورت پذیرفت. تجزیه واریانس و تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 و آزمون LSD و ترسیم نمودارها توسط نرم‌افزار Excel 2013 انجام گردید.

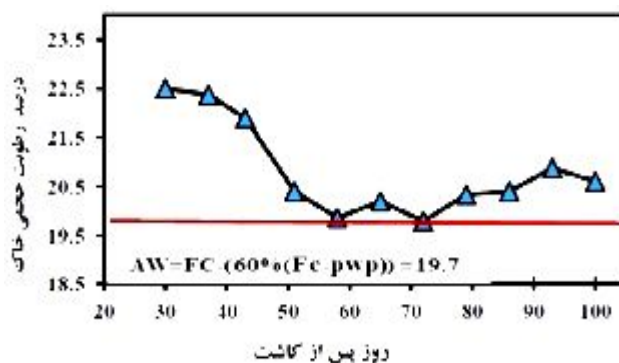
d_n عمق آب در هر آبیاری (mm/day)، θ_{Fc} رطوبت وزنی خاک در ظرفیت زراعی مزرعه (gr/gr)، θ_{pwp} رطوبت وزنی خاک در نقطه پژمردگی دائم برحسب ρ_b (gr/gr) وزن مخصوص ظاهری خاک مزرعه (gr/cm^3)، D_{z} حداکثر عمق توسعه ریشه (mm) سپس با استفاده از ماکزیمم تبخیر-تعرق گیاه (براساس داده‌های بلند مدت هواشناسی) و عمق خالص آب آبیاری d_n محاسبه شده از معادله (۵) دور آبیاری با استفاده از معادله (۶) محاسبه شد:

$$T = \frac{d_n}{ET_{cMax}} \quad [6]$$

T دور آبیاری و ET_{cMax} ماکزیمم تبخیر-تعرق گیاه می‌باشد. مقدار T در زمان پیک مصرف بیشتر از ۷ روز به‌دست آمد. با توجه به برنامه آبیاری محل اجرای تحقیق و حقایب اختصاص یافته برای این طرح و برای اطمینان از عدم وارد شدن تنش به گیاه در تیمار آبیاری کامل، دور آبیاری ۷ روز در نظر گرفته شد. تا ۲۱ روز پس از کاشت ذرت تمام تیمارها به‌طور یکسان و به‌صورت غرقابی و با دور آبیاری ثابت (۷ روز) آبیاری شدند. بعد از میخ‌کوبی و طناب‌کشی مزرعه، در تاریخ ۱۸ خرداد ماه ۱۳۹۲، مقدار ۱/۲ کیلوگرم (۲۳ کیلوگرم در هکتار) بذر ذرت، رقم NS به‌صورت دستی کاشته شد و مزرعه به‌وسیله نهرکن پلات‌بندی شد. طول هر پلات ۴ متر و عرض آن ۳ متر و در هر پلات ۴ ردیف ذرت کاشته شد. فاصله بین پشته‌ها ۶۰ سانتی‌متر و فاصله بذرهای روی پشته در ابتدا ۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد ولی ۲۲ روز پس از کاشت عملیات وجین صورت گرفت و فاصله بین دو گیاه بین ۷ تا ۱۰ سانتی‌متر تنظیم شد. سه هفته پس از کاشت ذرت برای کنترل علف‌های هرز، کل مزرعه با سم علف‌کش کروز به میزان ۱۰۰ سی‌سی در ۱۰۰ لیتر آب، سم‌پاشی گردید. تیمارهای کم آبیاری مورد نظر ۲۸ روز پس از کاشت بذر اعمال گردید. هم‌زمان با آخرین آبیاری کامل ۲۲ روز بعد از کاشت بذر ذرت، ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره (سرک) به‌صورت دستی به زمین داده شد. به‌منظور کاهش رقابت برای جذب آب، حذف علف‌های هرز در طول دوره داشت به‌صورت دستی انجام گرفت. از آن‌جایی که بافت خاک



شکل ۱- ب عمق تجمعی آب کاربردی در تیمار آبیاری کامل و تبخیر- تعرق تجمعی ذرت علوفه ای در طول فصل رشد



شکل ۱- الف تغییرات رطوبت حجمی خاک قبل از هر آبیاری در عمق ۶۰ تا ۶۰ سانتی متری، در طول فصل رشد

دول ۴. حجم آب کاربردی در هر هکتار در طول فصل رشد و عملکرد ذرت علوفه ای در هر تیمار

| سطح آبیاری | ٪۴۰ آبیاری | ٪۵۵ آبیاری | ٪۷۰ آبیاری | ٪۸۵ آبیاری | ٪۱۰۰ آبیاری | ٪۱۱۵ آبیاری | ٪۱۳۰ آبیاری |
|---------------------------------------|------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|
| مقدار آب کاربردی (m ^۳ /ha) | ۲۶۹۰ | ۳۶۹۷ | ۴۷۰۵ | ۵۷۱۲ | ۶۷۲۰ | ۷۷۲۷ | ۸۷۳۵ |
| عملکرد (ton/ha) | ۴۳ | ۵۹ | ۷۳ | ۷۹ | ۸۷ | ۸۶ | ۸۸ |

نتایج و بحث

مقادیر آب کاربردی

اعمال سطوح مختلف آبیاری برای گیاه ذرت علوفه ای ۲۸ روز پس از کاشت زمانی که گیاه در مرحله ۳ تا ۴ برگگی بود و به خوبی استقرار یافته بود آغاز گردید. در ابتدا مقدار FC و PWP خاک با استفاده از دستگاه صفحات فشاری در آزمایشگاه تعیین شد. سپس به منظور بررسی تغییرات رطوبت خاک و اطمینان از وارد نشدن تنش به گیاه در تیمار آبیاری کامل، قبل از آبیاری رطوبت خاک در تیمار T5 توسط دستگاه TDR در دو عمق ۳۰ تا ۳۰ و ۶۰ تا ۶۰ سانتی متری با دو بار تکرار اندازه گیری شد. میزان رطوبت موجود در خاک، با استفاده از میانگین رطوبت به دست آمده از دو عمق ذکر شده تعیین و با رطوبت سهل الوصول خاک مقایسه شد (شکل ۱- الف). نتایج نشان داد در تیمار آبیاری کامل در طول فصل رشد تنشی به گیاه وارد نشده است (شکل ۱- الف). مقدار

تخلیه مجاز برای ذرت علوفه ای ۶۰ درصد در نظر گرفته شد (۱۱). مقدار تجمعی آب مصرفی در تیمار آبیاری کامل و میزان تبخیر- تعرق گیاه در طول فصل رشد که از تشتک تبخیر کلاس A مستقر در ایستگاه هواشناسی محل تحقیق به دست آمده در شکل (۱- ب) ارائه شده است. ضریب گیاهی در مرحله اولیه رشد ذرت ۰/۴۵، مرحله توسعه ۰/۹، مرحله میانی ۱/۱۳ و مرحله انتهایی رشد ۰/۷ در نظر گرفته شد (۱۴).

مقادیر آب کاربردی برای هر تیمار، در طول فصل رشد برای ذرت علوفه ای در جدول (۴) ارائه شده است. در این پژوهش مقدار آب کاربردی در تیمار آبیاری کامل برابر با ۶۷۲۰ مترمکعب در هکتار شد. حال آنکه انصاری (۱) برای رقم ۳۰۳، ۹۳۹۰ مترمکعب در هکتار آب برای تیمار آبیاری کامل به کار برد.

جدول ۵. نتایج تجزیه واریانس بهره‌وری مصرف آب، عملکرد کل و عملکرد یک بوته ذرت علوفه‌ای در سطوح آبیاری مختلف

| میانگین مربعات | | | درجه آزادی | منابع تغییر |
|--|---------------------------------|------------------------|------------|--------------|
| بهره‌وری مصرف آب (کیلوگرم بر مترمکعب) | عملکرد کل (کیلوگرم در هکتار) | عملکرد بوته (گرم) | | |
| ۱۳/۲۵** | ۸/۶۶×۱۰ ^۸ ** | ۳/۵۵×۱۰ ^۵ * | ۶ | سطوح آبیاری |
| ۰/۹۹ | ۴/۵۳۱×۱۰ ^۶ | ۸/۶۶×۱۰ ^۴ | ۱۲ | خطا |
| ۷/۱۶ | ۲/۸ | ۳۱/۰۴ | | ضریب تغییرات |

* و **: به ترتیب بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪ و ns: بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار می‌باشد

جدول ۶. مقایسه میانگین‌های بهره‌وری مصرف آب، عملکرد کل و عملکرد بوته ذرت علوفه‌ای در سطوح آبیاری مختلف

| بهره‌وری مصرف آب (کیلوگرم بر مترمکعب) | عملکرد کل (تن در هکتار) | عملکرد بوته (گرم) | سطوح آبیاری |
|--|----------------------------|----------------------|------------------|
| ۱۶/۰ ^a | ۴۳/۱ ^e | ۵۴۹ ^c | ۴۰٪ آبیاری کامل |
| ۱۶/۲ ^a | ۵۹/۸ ^d | ۶۸۳ ^c | ۵۵٪ آبیاری کامل |
| ۱۵/۷ ^{ab} | ۷۳/۸ ^c | ۷۳۳ ^{bc} | ۷۰٪ آبیاری کامل |
| ۱۳/۹ ^{bc} | ۷۹/۵ ^b | ۸۵۶ ^{bc} | ۸۵٪ آبیاری کامل |
| ۱۳/۰ ^{cd} | ۸۷/۳ ^a | ۱۰۴۶ ^{abc} | ۱۰۰٪ آبیاری کامل |
| ۱۱/۲ ^d | ۸۶/۹ ^a | ۱۲۴۵ ^{ab} | ۱۱۵٪ آبیاری کامل |
| ۱۰/۱ ^d | ۸۸/۱ ^a | ۱۵۲۱ ^a | ۱۳۰٪ آبیاری کامل |

اعداد هر ستون که دارای یک حرف مشترک هستند، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد ندارند

عملکرد محصول

عملکرد کل افزایش می‌یابد. متفاوت بودن رقم کشت شده، نوع خاک، آب و هوای منطقه، تاریخ کاشت، مدیریت مزرعه و مقدار آب کاربردی، می‌تواند از دلایل اختلاف میزان تولید ذرت در این طرح با تحقیقات محققین دیگر باشد. مقایسه میانگین‌ها نشان داد عملکرد محصول تازه در تیمارهای ۱۱۵، ۱۰۰ و ۱۳۰ درصد آبیاری کامل، تفاوت معنی‌دار نداشت (جدول ۶).

بهره‌وری مصرف آب

اثر سطوح مختلف آبیاری بر بهره‌وری مصرف آب در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). بهره‌وری مصرف آب از تقسیم عملکرد محصول تازه در واحد سطح برحسب کیلوگرم بر

اثر سطوح مختلف آب آبیاری بر میزان عملکرد محصول تازه ذرت علوفه‌ای در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). کمترین و بیشترین عملکرد محصول تازه به ترتیب مربوط به سطوح آبیاری ۴۰ و ۱۳۰ درصد آبیاری کامل با مقادیر به ترتیب ۴۳ و ۸۸ تن در هکتار بود (جدول ۶). مشعل و همکاران (۱۵) در پردیس دانشگاه تهران مقدار عملکرد، رقم سینگل کراس 704، تحت روش آبیاری جویچه‌ای برای دو تیمار ۴۰ و ۱۲۰٪ به ترتیب ۴۲ و ۶۲ تن در هکتار به دست آورد. نتایج محققان دیگر از جمله کافی دجامان (۱۸)، رضایی و همکاران (۸) و فهیمان و همکاران (۱۳) نشان می‌دهد با افزایش آب کاربردی

جدول ۷. نتایج تجزیه واریانس برخی خصوصیات کمی ذرت علوفه‌ای در سطوح آبیاری مختلف

| میانگین | مربعات | | | | | منابع تغییر |
|--------------|----------------|----------------------|----------------------|----------------------------|-------------------|-------------|
| | وزن بلال (گرم) | طول بلال (سانتی‌متر) | قطر بلال (سانتی‌متر) | قطر میانه ساقه (سانتی‌متر) | ارتفاع ساقه (متر) | درجه آزادی |
| سطوح آبیاری | ۳۵۰۱۳۰** | ۷۸/۰۸* | ۲/۴۳** | ۰/۱۶۹* | ۰/۱۴۷** | ۶ |
| خطا | ۲۰۸۵۶ | ۲۱/۸۳ | ۰/۳۸۱ | ۰/۰۴۷ | ۰/۰۱ | ۱۲ |
| ضریب تغییرات | ۲۰/۶۰ | ۱۵/۶۰ | ۱۳/۷۴ | ۱۱/۰۸ | ۴/۵۱ | |

* و **: به ترتیب بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪ و ns: بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار می‌باشد

جدول ۸. مقایسه میانگین‌های برخی خصوصیات کمی بوته ذرت علوفه‌ای در سطوح آبیاری مختلف

| سطوح آبیاری | ارتفاع ساقه (متر) | قطر میانه ساقه (سانتی‌متر) | قطر بلال (سانتی‌متر) | طول بلال (سانتی‌متر) | وزن بلال (گرم) |
|------------------|--------------------|----------------------------|----------------------|----------------------|-------------------|
| ۴۰٪ آبیاری کامل | ۱/۹۰ ^c | ۱/۶۶ ^c | ۳/۲۲ ^c | ۲۳/۸ ^c | ۲۶۶ ^e |
| ۵۵٪ آبیاری کامل | ۲/۰۶ ^{bc} | ۱/۸۲ ^{bc} | ۳/۴۶ ^c | ۲۴/۳ ^c | ۳۵۰ ^{de} |
| ۷۰٪ آبیاری کامل | ۲/۱۷ ^b | ۱/۸۴ ^{bc} | ۴/۲۵ ^{bc} | ۲۹/۴ ^{bc} | ۷۵۵ ^{cd} |
| ۸۵٪ آبیاری کامل | ۲/۲۰ ^b | ۱/۹۸ ^{bc} | ۴/۶۵ ^{ab} | ۲۹/۶ ^{bc} | ۷۰۰ ^{bc} |
| ۱۰۰٪ آبیاری کامل | ۲/۴۰ ^a | ۲/۰۷ ^{ab} | ۵/۱۸ ^{ab} | ۳۳/۳ ^{ab} | ۸۵۰ ^b |
| ۱۱۵٪ آبیاری کامل | ۲/۴۷ ^a | ۱/۹۲ ^{bc} | ۵/۰۲ ^{ab} | ۳۰/۲ ^{bc} | ۹۵۰ ^b |
| ۱۳۰٪ آبیاری کامل | ۲/۴۸ ^a | ۲/۴۱ ^a | ۵/۶۵ ^a | ۳۸/۶ ^a | ۱۲۳۳ ^a |

اعداد هر ستون که دارای یک حرف مشترک هستند، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد ندارند

عملکرد بوته

اثر سطوح مختلف آب آبیاری بر میزان عملکرد بوته در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). کمترین و بیشترین عملکرد به ترتیب مربوط به سطوح آبیاری ۴۰ و ۱۳۰ درصد آبیاری کامل با مقادیر به ترتیب ۵۴۹ و ۱۵۲۱ گرم بود (جدول ۶). برخی خصوصیات کمی اندازه‌گیری شده در بوته ذرت علوفه‌ای:

ارتفاع ساقه: اثر سطوح مختلف آب آبیاری بر ارتفاع ساقه در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۷). کمترین و بیشترین آن، به ترتیب مربوط به سطوح آبیاری ۴۰ و ۱۳۰ درصد آبیاری کامل، با مقادیر به ترتیب ۱/۹ و ۲/۵ متر بود (جدول ۸). این

مقدار آب مصرفی در واحد سطح بر حسب مترمکعب حاصل شد. بیشترین و کمترین مقدار آن، به ترتیب مربوط به تیمارهای ۵۵ و ۱۳۰ درصد آبیاری کامل و مقادیر آنها به ترتیب برابر ۱۶/۲ و ۱۰/۱ کیلوگرم در مترمکعب به دست آمد. نتایج به دست آمده برای این شاخص (جدول ۶) با تحقیقات مشعل و همکاران (۱۵) و سالمی و مشرف (۱۰) مطابقت دارد. دجامان (۱۸) بیشترین بهره‌وری مصرف آب را برای تیمار آبیاری کامل به دست آورد. آکتم (۲۳) بیشترین بهره‌وری مصرف آب را برای تیمار ۸۰ درصد آبیاری کامل محاسبه کردند.

جدول ۹. نتایج تجزیه واریانس درصد ماده خشک و برخی خصوصیات کیفی ذرت علوفه‌ای در سطوح آبیاری مختلف

| میانگین مربعات | | | | | |
|----------------|------------|---------------|---------------------|-----------|--------------------|
| منابع تغییر | درجه آزادی | درصد ماده خشک | درصد پروتئین | درصد فیبر | درصد روغن دانه |
| سطوح آبیاری | ۶ | ۱۳/۰۷* | ۰/۲۴۸ ^{ns} | ۳۲/۲۳** | ۰/۰۱ ^{ns} |
| خطا | ۱۲ | ۳ | ۰/۰۹ | ۰/۵۹۲ | ۰/۰۱۱ |
| ضریب تغییرات | | ۶/۰۹ | ۱/۶۳ | ۲/۳۹ | ۳/۳۹ |

* و **: به ترتیب بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪ و ns: بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار می‌باشد

بیشترین آن، به ترتیب مربوط به سطوح آبیاری ۴۰ و ۱۳۰ درصد آبیاری کامل با مقادیر به ترتیب ۲۶۶ و ۱۲۳۳ گرم بود (جدول ۸).

ماده خشک و برخی خصوصیات کیفی اندازه‌گیری شده در بوته ذرت علوفه‌ای

ماده خشک: تأثیر سطوح مختلف آب آبیاری بر درصد ماده خشک بوته ذرت در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۹). کمترین و بیشترین آن، به ترتیب مربوط به سطوح آبیاری ۴۰ و ۱۱۵ درصد آبیاری کامل با مقادیر به ترتیب ۲۴/۳۷ و ۳۱/۱۲ درصد وزن تر بوته بود (جدول ۱۰). نتایج استخروئیه و همکاران (۷) و رضایی و همکاران (۸) نشان داد با کاهش میزان آب آبیاری درصد ماده خشک ذرت علوفه‌ای کاهش می‌یابد.

پروتئین: با توجه به جدول (۹) تأثیر سطوح مختلف آب آبیاری بر مقدار پروتئین بوته معنی‌دار نبود. در تحقیق آکتم (۲۳) با کاهش عمق آب آبیاری میزان پروتئین بوته افزایش یافت. بیشترین درصد پروتئین بوته ذرت برابر با ۱۹ درصد برای تیمار ۱۰۰ درصد و کمترین مقدار آن برای تیمار ۷۰ درصد آبیاری کامل برابر با ۱۸ درصد نسبت به ماده خشک به‌دست آمد (جدول ۱۰).

فیبر: تأثیر سطوح مختلف آب آبیاری بر درصد فیبر یک بوته ذرت در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۹). به‌طور کلی با افزایش میزان آب آبیاری درصد فیبر بوته ذرت افزایش می‌یابد. کمترین و بیشترین آن، به ترتیب مربوط به سطوح آبیاری ۴۰

همکاران (۸) مطابقت دارد. در نتایج دجامان (۱۸) سطوح مختلف آبیاری تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع بوته نداشت. مقایسه میانگین‌ها نشان داد ارتفاع ساقه در تیمارهای آبیاری ۱۰۰، ۱۱۵ و ۱۳۰ درصد تفاوت معنی‌داری نداشت.

قطر ساقه: اثر سطوح مختلف آب آبیاری بر قطر میانه ساقه (ارتفاع ۶۰ سانتی‌متری) در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۷). به طوری که کمترین و بیشترین آن، به ترتیب مربوط به سطوح آبیاری ۴۰ و ۱۳۰ درصد آبیاری کامل با مقادیر به ترتیب ۱/۶۶ و ۲/۴۱ سانتی‌متر بود (جدول ۸).

قطر بلال: اثر سطوح مختلف آب آبیاری بر قطر بلال (با پوست) در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۷). کمترین و بیشترین آن، به ترتیب مربوط به سطوح آبیاری ۴۰ و ۱۳۰ درصد آبیاری کامل با مقادیر به ترتیب ۳/۲۲ و ۵/۶۵ سانتی‌متر بود (جدول ۸). نتایج تحقیق رضایی و همکاران (۸) نیز نشان می‌دهد با افزایش عمق آب کاربردی، قطر بلال افزایش می‌یابد. قطر بلال در تیمارهای آبیاری ۸۵، ۱۰۰، ۱۱۵ و ۱۳۰ درصد تفاوت معنی‌داری نداشت.

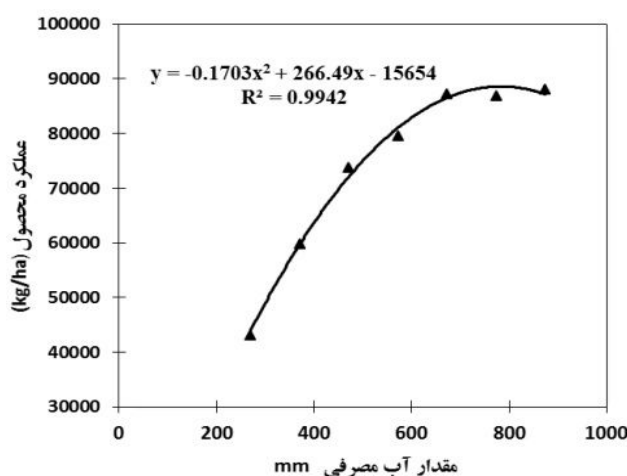
طول بلال: اثر سطوح مختلف آب آبیاری بر طول بلال (با پوست) در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۷). کمترین و بیشترین آن، به ترتیب مربوط به سطوح آبیاری ۴۰ و ۱۳۰ درصد آبیاری کامل با مقادیر به ترتیب ۲۳/۸ و ۳۸/۶ سانتی‌متر بود (جدول ۸). با نتایج رضایی و همکاران (۸) مشابهت دارد.

وزن بلال: اثر سطوح مختلف آب آبیاری بر وزن بلال (با پوست) در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۷). کمترین و

جدول ۱۰. مقایسه میانگین‌های درصد ماده خشک و برخی خصوصیات کیفی ذرت علوفه‌ای در سطوح آبیاری مختلف

| سطوح آبیاری | درصد ماده خشک | درصد پروتئین | درصد فیبر | درصد روغن دانه |
|------------------|---------------------|---------------------|--------------------|-------------------|
| ۴۰٪ آبیاری کامل | ۲۴/۳۷ ^c | ۱۸/۲۳ ^b | ۲۷/۳ ^e | ۳ ^a |
| ۵۵٪ آبیاری کامل | ۲۷/۷۶ ^b | ۱۸/۲۳ ^b | ۲۸/۶ ^e | ۳/۰۶ ^a |
| ۷۰٪ آبیاری کامل | ۲۸/۷۶ ^{ab} | ۱۸ ^b | ۳۰/۷ ^d | ۳/۱۲ ^a |
| ۸۵٪ آبیاری کامل | ۲۸/۹۴ ^{ab} | ۱۸/۴۶ ^{ab} | ۳۳/۵ ^c | ۳/۱۰ ^a |
| ۱۰۰٪ آبیاری کامل | ۲۹/۶۶ ^{ab} | ۱۸/۹۱ ^a | ۳۴/۲ ^{bc} | ۳/۱۵ ^a |
| ۱۱۵٪ آبیاری کامل | ۳۱/۱۲ ^a | ۱۸/۳۹ ^{ab} | ۳۴/۹ ^{ab} | ۳/۰۴ ^a |
| ۱۳۰٪ آبیاری کامل | ۲۸/۱۵ ^{ab} | ۱۸/۲۵ ^b | ۳۵/۷ ^a | ۳/۱۵ ^a |

اعداد هر ستون که دارای یک حرف مشترک هستند، اختلاف معنی‌داری براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد ندارند



شکل ۲. تابع تولید ذرت علوفه‌ای در آبیاری جویچه‌ای، خاک لومی رسی و دور آبیاری ثابت ۷ روز

تعیین مقدار آب مصرفی بهینه ذرت علوفه‌ای در شرایط محدودیت منابع آب

برای تعیین مقدار آب مصرفی بهینه لازم است توابع درآمد، هزینه و سود تهیه گردد. این کار با استفاده از روش انگلیش و همکاران (۲۰) انجام می‌شود (۶).

تابع تولید

با توجه به مقادیر آب کاربردی در طول فصل رشد و عملکرد کل هر تیمار (جدول ۴) می‌توان تابع تولید محصول را رسم کرد و معادله آن تابع را به‌دست آورد (شکل ۲).
که در آن $y(w)$ مقدار عملکرد کل بر حسب کیلوگرم در هکتار و w مقدار آب مصرفی بر حسب میلی‌متر می‌باشد. با

و ۱۳۰ درصد آبیاری کامل با مقادیر به‌ترتیب ۲۷/۳ و ۳۵/۷ درصد ماده خشک بود (جدول ۱۰).

درصد روغن دانه: تأثیر سطوح مختلف آب آبیاری بر درصد روغن دانه ذرت معنی‌دار نبود (جدول ۹). بیشترین درصد روغن دانه، مربوط به تیمار ۱۰۰ درصد آبیاری کامل برابر با ۳/۱۵ درصد و کمترین آن مربوط به تیمار ۴۰ درصد آبیاری کامل، برابر ۳ درصد نسبت به وزن خشک دانه به‌دست آمد (جدول ۱۰). سالمی و مشرف (۱۰) بیشترین درصد چربی دانه را برابر با ۴/۸۷ درصد برای تیمار ۱۰۰ درصد و کمترین مقدار آن برای تیمار ۶۰ درصد آبیاری کامل برابر با ۴/۴۹ درصد نسبت به ماده خشک به‌دست آوردند.

$$A = \frac{V}{w} \times 0.1 \quad [11]$$

با ترکیب معادلات ۱۰ و ۱۱ معادله ۱۲ به دست می‌آید:

$$I(W) = 0.1V \left[-235/0.14w + 363956/2 - \frac{79742520}{w} \right] \quad [12]$$

مقدار آب مصرفی بهینه در شرایط محدودیت آب، مقداری است که مقدار سود در معادله (۱۲) را حداکثر کند، این مقدار را می‌توان با مساوی صفر قرار دادن مشتق معادله (۱۲) به دست آورد.

$$\frac{dI(w)}{dw} = 0.1V \left[-235/0.14 + \frac{79742520}{w^2} \right] = 0 \rightarrow w = 582/5 \text{ mm} \quad [13]$$

بنابراین مقدار آب مصرفی در شرایط محدودیت آب برابر ۵۸۲/۵ میلی‌متر است. مقدار آب مورد نیاز در حالت آبیاری کامل ۶۷۲ میلی‌متری باشد، بنابراین مقدار آب مصرفی بهینه در شرایط محدودیت آب حدود ۸۶ درصد آبیاری کامل است، که برابر مقدار آبی است که باید به گیاه داده شود تا سود خالص حاصل از واحد سطح حداکثر شود. اگر این مقدار در معادله (۱۱) قرار گیرد با مشخص بودن حجم کل آب قابل دسترس که همان حجم آب مصرفی در آبیاری کامل است می‌توان سطح زیر کشت را ۱۱/۵ درصد افزایش داد و به حداکثر سود دست یافت. نتایج مشعل و همکاران (۱۳۸۷) نشان داد بیشترین درآمد ناخالص، مربوط به تیمار با ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه، و بیشترین درآمد خالص مربوط به تیمار با کاهش ۱۰ درصدی در مصرف آب نسبت به حالت آبیاری کامل می‌باشد. محمدی و همکاران (۱۶) تیمار آبیاری کامل را به عنوان اقتصادی‌ترین تیمار توصیه کردند.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی سطوح مختلف آب آبیاری تأثیر معنی‌داری روی عملکرد محصول تازه، بهره‌وری مصرف آب و برخی خصوصیات کمی ذرت علوفه‌ای از جمله درصد ماده خشک، ارتفاع ساقه، قطر میانه ساقه، قطر بلال، طول بلال و وزن بلال در بوته داشت. همچنین تأثیر سطوح مختلف آب آبیاری بر

مشتق‌گیری از معادله (۸) و برابر صفر قرار دادن آن، در شرایطی که محدودیت آب نداریم، مقدار آبی که بیشترین عملکرد را دارد برابر ۷۸۲ میلی‌متر به دست می‌آید. که این مقدار تقریباً برابر مقدار آبی است که باید در تیمار ۱۱۵ درصد آبیاری کامل داده شود. اگر قیمت یک کیلوگرم ذرت علوفه‌ای مشخص باشد، تابع درآمد آن به صورت معادله (۷) نوشته می‌شود.

$$b(w) = A[p.y(w)] \quad [7]$$

که در آن $b(w)$ میزان درآمد ناخالص بر حسب ریال، A سطح زیر کشت بر حسب هکتار و p قیمت یک کیلوگرم ذرت علوفه‌ای بر حسب ریال است. با توجه به قیمت ۱۳۸۰ ریال برای هر کیلوگرم ذرت علوفه‌ای (۴) معادله فوق به شکل زیر نوشته می‌شود.

$$b(w) = A \left[-235/0.14w^2 + 367756/2w - 21602520 \right] \quad [8]$$

تابع هزینه

تابع هزینه در این قسمت با در نظر گرفتن مبلغ ۵۸۱۴۰۰۰۰ ریال هزینه تولید ذرت علوفه‌ای در یک هکتار (کاشت، داشت، برداشت) و قیمت هر مترمکعب آب آبیاری ۳۸۰ ریال (۴) به صورت معادله (۹) به دست می‌آید.

$$C(w) = A[58140000 + 3800w] \quad [9]$$

که در آن $C(w)$ مقدار هزینه کل بر حسب ریال می‌باشد.

تابع سود

تابع سود از تفاضل توابع درآمد (معادله ۸) و هزینه (معادله ۹) به صورت زیر به دست می‌آید

$$I(w) = A \left[-235/0.14w^2 + 363956/2w - 79742520 \right] \quad [10]$$

که در آن $I(w)$ مقدار سود خالص بر حسب ریال می‌باشد. با استفاده از تابع سود می‌توان عمق آب مصرفی بهینه را در شرایط محدودیت در منابع آب به صورت زیر تعیین نمود. اگر حجم آب موجود در طول فصل زراعی برای یک منطقه V متر مکعب باشد، سطحی که می‌توان با w میلی‌متر آب زیر کشت برد با رابطه زیر تعیین می‌شود:

رفتن آب و کاهش بهره‌وری مصرف آب می‌شود. با توجه به نتایج مقایسه میانگین‌های خصوصیات کمی و کیفی ذرت علوفه‌ای در بین تیمارهای آبیاری ۱۳۰، ۱۱۵ و ۱۰۰ درصد آبیاری کامل به جز میزان فیبر تفاوت معنی‌داری در عملکرد کمی و کیفی این سه تیمار وجود ندارد. لذا مصرف بیش از حد آب سودی برای کشاورز نخواهد داشت. نتایج بهینه‌سازی آب آبیاری نشان داد در شرایطی که محدودیت آب نداریم، بیشترین عملکرد در واحد سطح به ازای مقدار آب مصرفی ۷۸۲ میلی‌متر در طی دوره رشد ذرت، به‌دست آمد. اما در شرایط کمبود آب، در اثر کم‌آبیاری و استفاده از ۵۸۲/۵ میلی‌متر آب در طول دوره رشد که حدود ۸۶ درصد آبیاری کامل است، می‌توان سطح زیر کشت را ۱۱/۵ درصد افزایش داد تا سود خالص حاصل از واحد سطح حداکثر شود و همچنین در مصرف آب صرفه‌جویی به‌عمل می‌آید.

درصد فیبر در یک بوته معنی‌داری بود. با افزایش عمق آب آبیاری میزان عملکرد، طول ساقه، وزن بلال و درصد فیبر بوته افزایش می‌یابد. سطوح مختلف آب آبیاری، تأثیر معنی‌داری روی درصد پروتئین و درصد روغن دانه نداشت. کمترین و بیشترین عملکرد به ترتیب مربوط به سطوح آبیاری ۴۰ و ۱۳۰ درصد آبیاری کامل با مقادیر به ترتیب ۴۳/۱۱ و ۸۸/۱۵ تن در هکتار بود. بیشترین بهره‌وری مصرف آب آبیاری با مقدار ۱۶/۲ کیلوگرم بر مترمکعب مربوط به تیمار ۵۵ درصد آبیاری کامل و کمترین آن با مقدار ۱۰/۱ برای تیمار ۱۳۰ درصد آبیاری کامل به‌دست آمد. اگر هدف دستیابی به بیشترین عملکرد باشد تیمار ۱۳۰ درصد آبیاری کامل توصیه می‌شود. اما از آنجایی که میزان افزایش محصول در تیمار ۱۳۰ درصد آبیاری کامل نسبت به تیمار آبیاری کامل کمتر از ۱ درصد بود و همچنین عملکرد تیمار ۱۱۵ درصد آبیاری کامل کمتر از تیمار آبیاری کامل به‌دست آمد، مصرف آب، بیش از حد نیاز گیاه موجب هدر

منابع مورد استفاده

- انصاری، ح. ۱۳۸۶. تعیین عمق شاخص و بهینه آبیاری در ذرت‌های زودرس با هدف احتساب حداکثر سود، آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی) ۲۲(۲): ۱۱۶-۱۰۷.
- انصاری، ح.، ح. شریفان و ک. داوری، ۱۳۹۰. آبیاری عمومی (اصول و عملیات)، جهاد دانشگاهی مشهد.
- اعتدالی، س. و ج. گیوی، ۱۳۹۱. ارزیابی کیفی تناسب اراضی منطقه شهرکرد برای ذرت علوفه‌ای به‌روش فائو و با استفاده از برنامه ALES. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی) ۲۶: ۱۳۵۹-۱۳۴۹.
- بی‌نام. ۱۳۹۳. هزینه تولید محصولات کشاورزی در سال زراعی ۱۳۹۲. گزارش سالانه بخش زراعت. سازمان جهاد کشاورزی استان چهارمحال و بختیاری.
- حیدری ذوله، ح. ۱۳۸۵. بررسی اثرات کم آبیاری بر عملکرد و راندمان مصرف آب سه گیاه علوفه‌ای ذرت، سورگم و ارزن در کشت دوگانه بعد از گیاه جو. پایان‌نامه کارشناسی ارشد گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی کرج، دانشگاه تهران.
- خیرابی، ج.، ع. ر. توکلی، م. ر. انصاری و ع. ر. سلامت. ۱۳۷۵. دستورالعمل‌های کم‌آبیاری (نشریه شماره ۲)، کمیته ملی آبیاری و زهکشی.
- رضائی استخری، ع.، ع. ر. هوشمند، س. برومندنسب و م. ج. خانجانی. ۱۳۹۱. تأثیر کم‌آبیاری و خشکی موضعی ریشه بر عملکرد، اجزاء عملکرد و بهره‌وری مصرف آب گیاه ذرت دانه‌ای هیبرید سینگل کراس ۷۰۴، آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی) ۲۶(۶): ۱۵۲۱-۱۵۱۴.
- رضائی، ع.، ع. ر. غفوری، ف. علی‌اصغری، ز. امیرتیموری، گ. کریمی و ر. مقیمی. ۱۳۸۶. بررسی تأثیر تنش آبی بر محصول ذرت

- علوفه‌ای در منطقه کرمان، نهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، کرمان.
۹. سلطانی، م. و ف. عزیزی. ۱۳۸۹. بررسی عملکرد و کیفیت علوفه در سه هیبرید تجاری ذرت (KSC077, KSC077, KSC027) در رژیم‌های مختلف آبیاری، ارائه دستاوردها و تحقیقات نوین علمی در جهت ارتقا بهره‌وری در نهاده‌های مهم کشاورزی در راستای جهاد اقتصادی، فصل اول.
۱۰. سالمی، ح. ر. و ل. مشرف. ۱۳۸۵. تأثیرات کم‌آبیاری بر خصوصیات کیفی و عملکرد ارقام ذرت دانه‌ای در منطقه اصفهان، تحقیقات مهندسی کشاورزی ۷(۱۶): ۷۱-۸۴.
۱۱. سپاس‌خواه، ع. ع. توکلی و س. ف. موسوی. ۱۳۸۵. اصول و کاربرد کم‌آبیاری، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، نشریه شماره ۱۰۰ صفحه ۲۸۸.
۱۲. صیدمرادی، ع. ا. ۱۳۸۵. گیاه ذرت، دبیرخانه کشاورزی، وبلاگ گروه کشاورزی اداره کل شهرستان‌های استان تهران (<http://www.agrigroup11.blogfa.com>).
۱۳. فهیمان، ا. ا. دادی، م. ر. چائی‌چی و غ. ع. اکبری. ۱۳۹۰. بررسی اثر روش‌های کم‌آبیاری بر عملکرد کمی و کیفی گیاهان علوفه‌ای تابستانه (ذرت، سورگوم و ارزن علوفه‌ای)، اولین کنگره ملی علوم و فناوری‌های نوین کشاورزی، دانشگاه زنجان.
۱۴. قیصری، م. م. میرلطیفی، م. همایی و م. ا. اسدی. ۱۳۸۵. تعیین نیاز آبی ذرت علوفه‌ای و ضریب گیاهی آن در مراحل مختلف رشد، تحقیقات مهندسی کشاورزی ۷(۲۵): ۱۴۲-۱۲۵.
۱۵. مشعل، م. م. وراوی‌پور، س. ا. س. نوری و ا. زارع زیرک. ۱۳۸۷. بهینه‌سازی عمق آب مصرفی ذرت با کم‌آبیاری (مطالعه موردی: دشت و رامین)، آب، خاک و گیاه در کشاورزی ۸(۴): ۱۳۴-۱۲۳.
۱۶. محمدی، ی. ب. یوسفی، س. برومند نسب، ع. هوشمند و س. م. علوی. ۱۳۹۱. تأثیر کم‌آبیاری و الگوی کشت بر صفات مورفولوژیک ذرت سینگل کراس ۵۰۰ در منطقه اهواز. مجموعه چکیده مقالات اولین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه.
17. Ameer. H. K. 2010. Corn crop response under managing different irrigation and salinity levels. *J. Agr. Water Manage.* 97: 1553 –1563.
18. Djaman, k. 2011. Crop evapotranspiration, crop coefficients, plant growth and yield parameters, and nutrient uptake dynamics of maize (zea mays l.) Under full and limited irrigation. Effect of irrigation on yield and above-ground biomass, University of Nebraska, Lincoln. pp.: 61-67.
19. English, M. 1990. Deficit irrigation I: Analytical framework. *ASCE, J. Irrig. Drain. Eng.* 16(3): 399-412.
20. English, M. Raja, S. N. 1996. Perspectives on deficit irrigation. *J. Agr. Water Manage.* 32: 1-14.
21. Harremoes, P. 2002. Water ethics: a substitute for over-regulation of a scarce resource. *J. Water Sci. Technol.* 45(8): 45-113.
22. Neylon, J. M., L. Kung, 2003. Effects of Cutting Height and Maturity on the Nutritive Value of Corn Silage for Lactating Cows. *J. Dairy Sci.* 36: 2961-2963.
23. Oktem, A. 2008. Effect of water shortage on yield, and protein and mineral compositions of drip-irrigated sweet corn in sustainable agricultural systems. *J. Agric. Water Manage.* 95: 1003-1010.
24. WHO. 2000. Global Water Supply and Sanitation Assessment 2000 Report, WHO/UNICEF Joint Monitoring Program for Water Supply and Sanitation, World Health Organization, Geneva, Switzerland.