

شہرام لک،^۱ احمد نادری،^۲ سید عطا اللہ سیادت،^۳ امیر آئینہ بند^۴ و قربان نور محمدی^۵

$$\begin{aligned} & \left(\begin{array}{ccc} N_3 = & N_2 = & N_1 = \\ D_3 = & D_2 = & D_1 = \end{array} \right) \end{aligned}$$

۱. دانشجوی دوره دکتری تخصصی فیزیولوژی گیاهان زراعی و عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی اهواز (مکاتبه کننده)
۲. استادیار، عضو هیأت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی صفی آباد - دزفول
۳. استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان
۴. استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز
۵. استاد، عضو هیأت علمی گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد علوم تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی

رویشی ذرت و قبل از گرده‌افشانی تأکید کرده‌اند. کمبود آب در مرحله رشد رویشی بر گسترش برگ‌ها و توسعه ساقه تأثیر گذاشته و میزان تجمع مواد را در این اندام‌ها به شدت کاهش می‌دهد (Nesmith and Ritchie, 1992) و در نتیجه با توجه به این که در شرایط تنش خشکی، رشد زایشی گیاه به ذخایر موجود در ساقه و برگ بیشتر وابسته است عدم تشکیل مناسب دانه می‌تواند به دلیل ناکافی بودن مواد فتوسنتزی در زمان گرده‌افشانی، پر شدن دانه و قبل از آن باشد (Zinselmier *et al.*, 1995).

علاوه بر کمبود آب، کمبود نیتروژن مورد نیاز نیز می‌تواند اثرات کاهشی بیشتری را بر رشد و عملکرد گیاه وارد آورد. تغییر در مقادیر قابل دسترس نیتروژن عملکرد گیاه را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد. مقدار نیتروژن قابل دسترس بر توزیع مواد فتوسنتزی بین اندام‌های رویشی و زایشی مؤثر است. بعضی از مراحل فنولوژیکی رشد و نمو در اثر کمبود نیتروژن به تأخیر می‌افتد (Girardin *et al.*, 1987). به عقیده دانشمندان مدیریت نامناسب آبیاری و نیتروژن اصلی‌ترین عوامل کاهش‌دهنده عملکرد ذرت محسوب می‌شوند (Norwood, 2000). گزارشات متعددی در خصوص تأثیر مثبت نیتروژن بر افزایش تعداد دانه در بلال، وزن دانه و عملکرد دانه ذرت وجود دارد (Osborne *et al.*, 2002). در شرایط کمبود آب در خاک که جذب عناصر غذایی به ویژه نیتروژن را تحت تأثیر قرار می‌دهد، لزوم برقراری تناسب میان نیتروژن مصرفی و فراهمی رطوبت در خاک ضروری به نظر می‌رسد. در شرایطی که آب کافی در اختیار نباشد، مدیریت شرایط مطلوب کارساز نبوده و به هدر رفتن منابع تولید به ویژه آب و نیتروژن منجر می‌گردد و کارایی مصرف آب و نیتروژن را کاهش می‌دهد.

تراکم بهینه گیاه در واحد سطح نیز یکی از عوامل مهم و مؤثر در تولید محصولات زراعی نظیر ذرت است. محققان به این امر پی برده‌اند که عملکرد بالا در اثر مصرف کود، تأمین رطوبت و استفاده از ارقام جدید تنها

کمبود آب از محدودکننده‌ترین عوامل تولید محصولات زراعی نظیر ذرت در سراسر جهان است. کمربند کشت ذرت در دنیا به دلیل ویژگی‌های خاص این گیاه به دلیل چهار کربنه بودن و به ویژه گرمایسندی آن تطابق نزدیکی با مناطق خشک و نیمه خشک دارد. در مناطق خشک و نیمه خشک، شرایط ایده‌آل جهت تولید عملکرد زیاد این گیاه، به جز رطوبت کافی، قابل تأمین می‌باشد. کشور ایران با داشتن تنوع آب و هوایی مناسب از جمله مناطق مستعد تولید ذرت است و این در حالی است که دو سوم زمین‌های کشاورزی ایران در مناطق نیمه خشک قرار دارند که عملاً با تنش خشکی مواجه هستند (ساکی‌نژاد، ۱۳۸۲). استان خوزستان به دلیل دارا بودن اراضی مسطح و حاصلخیز و انرژی نوری زیاد، برای تولید گیاهان زراعی به ویژه ذرت دانه‌ای مناسب است، در این استان در برخی سال‌ها به دلیل عدم دسترسی به آب کافی و یا هم‌زمانی رشد ذرت با سایر گیاهان زراعی نظیر برنج و یا محصولات جالیزی، این گیاه در طول دوره رشد و به خصوص در مرحله رشد رویشی و پیش از ظهور گل تاجی با کمبود آب مواجه می‌شود. اثرات سوء ناشی از کمبود آب بر رشد و نمو و عملکرد ذرت بستگی به زمان وقوع و شدت تنش، مرحله نمو و ژنوتیپ گیاه دارد. نتایج برخی مطالعات نشان داده است که کمبود آب در دوره رشد رویشی در مقایسه با کمبود آب در مراحل گل‌دهی و پر شدن دانه تأثیر کمتری بر عملکرد نهایی ذرت داشته است (Denmead and Shaw, 1960). به گزارش ازبورن و همکاران (Osborne *et al.*, 2002) تنش کمبود آب در مراحل قبل از گل‌دهی، گل‌دهی و بعد از گل‌دهی، عملکرد ذرت را به ترتیب ۲۵، ۵۰ و ۲۱ درصد درمقایسه با تیمار شاهد کاهش داد. گزارش‌هایی مبنی بر حساس بودن مرحله گل‌دهی و گرده‌افشانی در ذرت نسبت به کمبود آب ارائه شده است (Westgate, 1994). با این وجود محققین بر اهمیت تأمین آب کافی در مرحله رشد

زمانی به دست می‌آید که تعداد گیاه در واحد سطح نیز بهینه باشد (صادقی، ۱۳۷۹). با توجه به این موضوع در سال‌های اخیر تحقیقات در زمینه تعیین تراکم گیاهی بهینه نسبت به دیگر عوامل مؤثر در تولید بیشتر مورد بررسی قرار گرفته است. تراکم بهینه جهت دستیابی به حداکثر عملکرد اقتصادی به ژنوتیپ، هدف تولید و فراهمی آب و مواد غذایی قابل استفاده در خاک خصوصاً نیتروژن بستگی دارد. در شرایط مطلوب، افزایش تعداد گیاهان در واحد سطح تا رسیدن به یک حد مناسب موجب افزایش عملکرد ذرت می‌شود (نورمحمدی و همکاران، ۱۳۷۶). گرچه در سطوح پایین تراکم بوته، بخش اعظم ماده خشک گیاه در بلال جای می‌گیرد، اما با افزایش تراکم بوته، کاهش مقدار ماده خشک اختصاص یافته به بلال با افزایش تعداد بلال در واحد سطح جبران شده و در مجموع بر عملکرد دانه در واحد سطح افزوده می‌شود، ولی زیاد شدن تعداد گیاهان و بروز کمبود آب و یا عناصر غذایی در خاک ممکن است نتیجه مطلوب را در پی نداشته باشد (Duncan, 1975). در این شرایط لازم است تراکم گیاهی به گونه‌ای تأمین شود تا ضمن به دست آوردن عملکرد قابل قبول، کارایی مصرف آب و نیتروژن نیز افزایش یابد. با وجود این که مطالعه مدیریت‌های زراعی همانند تعیین میزان مناسب مصرف نیتروژن و تراکم گیاهی بیشتر در شرایط مطلوب رطوبتی انجام گرفته است ولی وجود شرایط مطلوب با توجه به نوسانات دائمی شرایط اقلیمی و درجه مدیریت تولیدکننده همواره امکان‌پذیر نمی‌باشد.

این تحقیق با هدف بررسی کاربرد مقادیر مختلف نیتروژن و تراکم بوته در شرایط متفاوت رطوبتی بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و کارایی مصرف آب ذرت و تعیین راهکارهایی جهت دستیابی به افزایش بازدهی مصرف منابع در شرایط استان خوزستان اجرا گردید.

این تحقیق در دو سال متوالی ۱۳۸۳ و ۱۳۸۴ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان اجرا گردید. در هر سال سه آزمایش هر یک به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به اجرا درآمد. در هر آزمایش یک سطح تیمار آبیاری اعمال گردید. تیمار آبیاری دارای سه سطح شامل آبیاری مطلوب (I_1)، تنش ملایم (I_2) و تنش شدید رطوبتی (I_3) (به ترتیب آبیاری بر اساس تخلیه ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی) بود. تا مرحله چهار تا پنج برگی (مرحله استقرار گیاهچه) آبیاری‌ها بر اساس تخلیه رطوبتی معادل ۳۰ درصد ظرفیت زراعی در همه کرت‌ها انجام و از این مرحله به بعد تا ۱۰ روز پیش از رسیدگی فیزیولوژیک دانه تیمارهای آبیاری دقیقاً اعمال گردید. در هر آزمایش، نیتروژن به عنوان کرت اصلی دارای سه سطح (N_1 ، N_2 و N_3 به ترتیب کاربرد معادل ۱۴۰، ۱۸۰ و ۲۲۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار) از منبع اوره و تراکم بوته نیز به عنوان کرت فرعی دارای سه سطح تراکم ۶، ۷/۵ و ۹ بوته در مترمربع به ترتیب D_1 ، D_2 و D_3 بودند. هر کرت فرعی دارای هفت خط کاشت به طول هفت متر و به فاصله ۷۵ سانتی متر از یکدیگر بود.

در هر دو سال اجرای پژوهش، قطعه آزمایشی پیش از کشت ذرت زیر کشت گندم بود. مقدار کود فسفر بر مبنای مصرف ۹۰ کیلوگرم فسفر (P_2O_5) در هر هکتار از منبع سوپر فسفات تریپل محاسبه و مصرف شد و نیتروژن مورد نیاز از منبع اوره تأمین گردید. ۵۰ درصد از نیتروژن مورد نیاز هر تیمار به عنوان پایه و ۵۰ درصد باقی مانده نیز به صورت سرک در مرحله چهار تا شش برگی مصرف شد. برای کنترل شیمیایی علف‌های هرز، مزرعه پیش از کاشت بوسیله مخلوط سم آترازین و لاسو (یک کیلوگرم آترازین + چهار لیتر لاسو) با استفاده از سمپاش تراکتوری سمپاشی گردید و سپس دیسک سبک زده شد. در طول دوره رشد نیز مبارزه با

علف‌های هرز به صورت دستی انجام گرفت. کشت بذر به صورت دستی در اوایل مرداد ماه انجام و بوته‌های اضافی در مرحله ۴-۲ برگی تنک شدند. بافت خاک از نوع رس سیلتی، وزن مخصوص ظاهری خاک ۱/۳۴ گرم بر سانتی متر مکعب، رطوبت خاک در ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی به ترتیب ۲۴/۸ و ۱۱/۲ درصد و رطوبت اشباع خاک نیز ۴۹/۶ درصد بود. جهت تعیین درصد رطوبت وزنی خاک در شرایط ظرفیت مزرعه از دو عمق ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی متری خاک از تکرارهای

هر آزمایش نمونه‌برداری شد. نمونه‌های خاک دست نخورده در حلقه‌های لاستیکی مخصوص ریخته شد و پس از آن که با اضافه کردن آب مقطر به حالت اشباع در آمد بر روی صفحات ویژه دستگاه‌های مخصوص گذاشته شد و تحت مکش ۰/۳ اتمسفر قرار گرفت، سپس نمونه‌ها بلافاصله در آون در دمای ۱۰۵ درجه به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شدند و درصد رطوبت وزنی آن‌ها در شرایط ظرفیت زراعی با استفاده از رابطه زیر (علیزاده، ۱۳۷۴) تعیین گردید:

$$100 \times \frac{\text{وزن خاک خشک (گرم)} - \text{وزن خاک مرطوب (گرم)}}{\text{وزن خاک مرطوب (گرم)}} = \text{رطوبت وزنی خاک (درصد)}$$

جهت تعیین دقیق زمان آبیاری در هر آزمایش، با گذشت ۴۸ ساعت از زمان آبیاری به صورت روزانه و متوالی توسط آگر از خاک مزرعه در عمق توسعه ریشه نمونه‌برداری انجام شد تا درصد رطوبت وزنی خاک مشخص شود. پس از رسیدن درصد رطوبت وزنی خاک به میزان تعیین شده جهت اعمال تیمار آبیاری از رابطه زیر (علیزاده، ۱۳۷۴) حجم آب مصرفی مورد نیاز هر تیمار محاسبه شد:

$$V = \frac{(FC - \theta_m) \times P_b \times D_{\text{Root}} \times A}{E_i}$$

V = حجم آب آبیاری بر حسب مترمکعب

FC = درصد رطوبت وزنی خاک در حد ظرفیت زراعی

θ_m = درصد رطوبت وزنی خاک قبل از آبیاری

P_b = وزن مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی متر مکعب)

A = مساحت آبیاری شده بر حسب مترمربع

D_{Root} = عمق توسعه ریشه بر حسب متر

E_i = راندمان آبیاری

بدین ترتیب حجم آب مورد نیاز در هر مرتبه آبیاری در هر آزمایش محاسبه و بر اساس کارایی توزیع آب ۹۰ درصد با استفاده از پمپ و کنتور به صورت یکنواخت توزیع گردید. میانگین دو ساله حجم آب

مصرفی در هر هکتار در سطوح I_1 ، I_2 و I_3 به ترتیب ۶۱۴۲، ۶۱۱۰ و ۶۰۶۳ مترمکعب بود. فاصله میان آبیاری‌ها نیز در تیمارهای I_1 ، I_2 و I_3 به ترتیب ۶، ۹ و ۱۳ روز محاسبه گردید.

در مرحله ابریشم‌دهی پس از حذف حواشی، پنج گیاه از خطوط نمونه‌برداری برداشت و شاخص سطح برگ و محتوای نسبی آب برگ بلال محاسبه شدند. سطح هر برگ با استفاده از معادله زیر (سبحانی، ۱۳۷۹) محاسبه گردید:

$$S = 0.46 (L.W) + 0.00046 (L.W)^2$$

که در آن S سطح برگ، L و W نیز به ترتیب حداکثر طول و عرض برگ سبز ذرت می‌باشند. محتوای نسبی آب برگ بلال جهت بررسی چگونگی واکنش گیاه به تنش کمبود آب اندازه‌گیری شد.

برگ بلال سه بوته از ردیف‌های دوم و ششم هر کرت فرعی قبل از آبیاری در ساعت ۱۲ ظهر جدا و در آزمایشگاه بلافاصله از این برگ‌ها دیسک‌هایی تهیه و توزین شدند و وزن تازه آن‌ها ثبت گردید. پس از آن دیسک‌ها به مدت ۲۴ ساعت درون ظروف حاوی آب مقطر در دمای چهار درجه سانتی گراد قرار داده شدند تا به حالت اشباع کامل رسیدند. در پایان این مرحله رطوبت سطحی دیسک‌های برگگی توسط حوله‌های

کاغذی نم گیری و مجدداً وزن شدند. وزن مذکور به عنوان وزن اشباع ثبت گردید. نمونه‌ها جهت محاسبه وزن خشک به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۲ درجه سانتی گراد قرار داده شدند. محتوای نسبی آب برگ بلال با استفاده از رابطه زیر (علیزاده، ۱۳۷۴) محاسبه شد:

$$100 \times \frac{\text{وزن خشک برگ} - \text{وزن تازه برگ}}{\text{وزن خشک برگ} - \text{وزن اشباع برگ}} = \text{محتوای نسبی آب برگ بلال (درصد)}$$

آزمایش در هر سال، با تشکیل لایه سیاه در قاعده دانه‌ها، در نیمه آذرماه با برداشت دستی تمام بوته‌های موجود در دو مترمربع وسط هر کرت پایان یافت. محصول کل هر کرت فرعی ابتدا بسته‌بندی و اتیکت گذاری شد و جهت انجام اندازه گیری‌های مورد نظر به آزمایشگاه منتقل گردید. در آزمایشگاه بلال‌ها جهت تعیین عملکرد و اجزای عملکرد دانه جدا شدند. ابتدا وزن تر بخش‌های مختلف تعیین (وزن اولیه) و سپس جهت تعیین درصد رطوبت اندام‌های مختلف و دانه و محاسبه عملکرد ماده خشک کل و دانه، نمونه‌های تصادفی از محصول بخش‌های مختلف و دانه هر کرت برداشت، توزین و در دمای ۷۲ درجه سانتی گراد به مدت ۴۸ ساعت در آون خشک گردید و با توجه به وزن اولیه اندام‌ها و دانه، عملکرد ماده خشک کل و عملکرد دانه بر اساس وزن خشک آن‌ها تصحیح شد. اجزای عملکرد شامل تعداد ردیف دانه در بلال، تعداد دانه در بلال و وزن هزار دانه با استفاده از ۱۰ بلال که به صورت تصادفی از خطوط ۴ و ۵ و ۶ هر کرت جدا شدند، محاسبه گردید.

کارآیی اقتصادی و بیولوژیک مصرف آب با استفاده از روابط زیر (هاشمی دزفولی، ۱۳۷۳) محاسبه شدند:

$$\text{عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)} / \text{حجم آب مصرفی (مترمکعب در هکتار)} = \text{کارآیی اقتصادی مصرف آب بر حسب تولید دانه (کیلوگرم بر مترمکعب)}$$

$$\text{عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار)} / \text{کل حجم آب مصرفی (مترمکعب در هکتار)} = \text{کارآیی بیولوژیک مصرف آب بر حسب تولید کل ماده خشک (کیلوگرم بر مترمکعب)}$$

در پایان اجرای این پژوهش، به منظور تجزیه واریانس مرکب داده‌ها پس از انجام آزمون بارتلت، از مدل آماری آزمایش کرت‌های خرد شده در مکان در سال بر اساس طرح بلوک‌های کامل تصادفی استفاده شد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار رایانه‌ای MSTATc و MINITAB انجام و مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد انجام شد.

بطوریکه میزان شاخص سطح برگ از ۴/۹ در آبیاری مطلوب به ترتیب به ۳/۷ و ۲/۶ در تیمارهای تنش ملایم و شدید رطوبتی رسید (جدول ۱ و ۲). در این تحقیق میانگین محتوای نسبی آب برگ بلال در زمان ابریشم‌دهی از ۹۰/۲ درصد در شرایط مطلوب به ۸۶/۸ و ۷۹/۹ درصد به ترتیب در تنش ملایم و شدید رطوبتی کاهش یافت (جدول ۲). کاهش شاخص سطح برگ در شرایط تنش را می‌توان به کاهش محتوای نسبی آب برگ نسبت داد. نتایج آزمایش کوسکولولا و فکت (Cosculleola and Fact, 1992) نیز نشان داد که با افزایش تنش کمبود آب، پتانسیل آب برگ در ذرت به طور فزاینده‌ای منفی شد و شاخص سطح برگ کاهش

نتایج این تحقیق نشان داد که با افزایش شدت تنش رطوبتی شاخص سطح برگ کاهش معنی‌داری یافت

یافت. مقدار نیتروژن مصرفی تأثیر زیادی بر تولید و گسترش سطح برگ داشت. گیاهان با دریافت نیتروژن بیشتر، سطح برگ بیشتری نسبت به گیاهان با نیتروژن مصرفی کمتر داشتند (جدول ۱ و ۲). با افزایش مصرف نیتروژن شاخص سطح برگ در تیمار کاربرد ۲۲۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار (N_3) به ۳/۹ رسید در حالی که میانگین شاخص سطح برگ در تیمار N_1 (کاربرد ۱۴۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار) از ۳/۵ فراتر نرفت (جدول ۲)، هرچند کاربرد کود نیتروژن موجب افزایش شاخص سطح برگ گردید، لیکن تفاوت بین دو تیمار کاربرد ۱۸۰ و ۲۲۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار معنی دار نبود (جدول ۲). رشد کند گیاهان در مراحل اولیه و در نتیجه اختصاص کم مواد فتوسنتزی به برگ‌ها، باعث کاهش سطح برگ در مقادیر کم مصرف نیتروژن گردید. در این تحقیق، افزایش مصرف نیتروژن در شرایط آبیاری مطلوب، تأثیر مثبتی بر افزایش شاخص سطح برگ داشت، در حالی که در تیمار تنش رطوبتی شدید، شاخص سطح برگ در سطوح مختلف نیتروژن تفاوت معنی داری نداشت (جدول ۱ و ۳). این وضعیت احتمالاً ناشی از اختلال در فرآیند جذب نیتروژن توسط گیاه در شرایط تنش شدید رطوبتی بود. ساکی نژاد (۱۳۸۲) نیز گزارش نمود که کمبود شدید آب در خاک موجب محدود شدن توانایی گیاه جهت جذب نیترات از خاک می‌شود.

با افزایش تراکم بوته، شاخص سطح برگ افزایش معنی داری نشان داد. بطوریکه بیشترین شاخص سطح برگ معادل ۳/۳، ۳/۹ و ۴/۱ به ترتیب در تراکم‌های ۶۰۰۰، ۷۵۰۰ و ۹۰۰۰ بوته در هکتار در مرحله ابریشم‌دهی به دست آمد (جدول ۱ و ۲). افزایش تراکم بوته با کاهش سطح برگ در هر بوته و افزایش شاخص سطح برگ همراه بود. زمانی و کوچکی (۱۳۷۳) نیز افزایش حداکثر شاخص سطح برگ را با افزایش تراکم بوته‌های ذرت گزارش داده و اعلام داشتند که در بیشترین تراکم شاخص سطح برگ به ۳/۱۷ رسید.

گزارشات مشابهی در خصوص تأثیر مثبت افزایش تراکم بوته بر شاخص سطح برگ توسط بلومنتال و همکاران (Blumenthal et al., 2003) و منووکس و همکاران (Monneveux et al., 2005) ارائه شده است. اثرات متقابل آبیاری و تراکم بوته و نیتروژن و تراکم بر شاخص سطح برگ معنی دار بود (جدول ۱). در هر سطح آبیاری و یا نیتروژن مصرفی، افزایش تراکم موجب افزایش شاخص سطح برگ گردید، هر چند افزایش تراکم بوته در شرایط تنش شدید رطوبتی و یا هنگام مصرف مقادیر کمتر کود، تأثیر مثبت چندانی بر این شاخص نداشت (جدول ۳). این نتایج نشان داد که افزایش تراکم بوته تنها در شرایط آبیاری مطلوب و یا همراه با مصرف مقادیر زیاد نیتروژن سودمند می‌باشد و در سایر شرایط اثر چندانی بر افزایش شاخص سطح برگ نخواهد داشت. وقتی آب آبیاری به اندازه کافی فراهم باشد و یا تغذیه گیاه با نیتروژن کافی صورت گیرد اثرات منفی افزایش تراکم بوته بر سطح برگ تک بوته کاهش یافته ولی در مجموع با افزایش تراکم بوته، شاخص سطح برگ افزایش می‌یابد.

اثر سطوح مختلف آبیاری، نیتروژن و تراکم بوته و اثرات متقابل آن‌ها بر تعداد ردیف دانه در بلال معنی دار نبود (جدول ۱). معنی دار نشدن اثر تیمارهای مختلف بر این صفت نشان‌دهنده ثبات نسبی این جزء از عملکرد دانه در مقابل تغییرات شرایط محیطی است. از آن جا که تعداد نهایی ردیف دانه پیش از سایر اجزای عملکرد بر روی ناحیه نموی بلال تعیین می‌شود (Hanway, 1992)، احتمالاً در مرحله تعیین تعداد ردیف دانه در بلال رقابت چندانی بین مخزن‌های فیزیولوژیک برای دریافت مواد پرورده وجود نداشته و اثر تیمارهای مورد مطالعه تغییر معنی داری در این صفت ایجاد نکرده است. اثر سطوح مختلف آبیاری، نیتروژن، تراکم و اثر متقابل آبیاری و نیتروژن بر تعداد دانه در بلال معنی دار بود (جدول ۱). با افزایش شدت تنش خشکی، تعداد دانه

جدول ۱- خلاصه نتایج تجزیه واریانس مرکب شاخص سطح برگ در مرحله ابریشم دهی، محتوای نسبی آب برگ بلال، عملکرد دانه و اجزای آن، عملکرد بیولوژیکی، شاخص برداشت و کارایی اقتصادی و بیولوژیکی مصرف آب

Table 1. Summary of combined analysis of variance for Leaf Area Index (LAI) at silking, Relative Water Content (RWC) of ear leaf, grain yield and its components, biological yield, harvest index and economical and biological water use efficiency

S. O. V.	منابع تغییرات	df.	میانگین مربعات (MS)								
			شاخص سطح برگ در	محتوای نسبی آب	تعداد ردیف	تعداد دانه	وزن	عملکرد	عملکرد	شاخص	کارایی اقتصادی
			مرحله ابریشم دهی	برگ بلال	در بلال	در بلال	هزار دانه	دانه	بیولوژیک	برداشت	مصرف آب
			LAI at	RWC of ear	Row No.	Grain No.	1000 KW	Grian	Biological	Harvest	Economical
			silking	leaf	per ear	per ear		yield	yield	index	water use
											efficiency
Year (Y)	سال	1	2708.8 ^{ns}	1734 ^{ns}	0.32 ^{ns}	14666 ^{ns}	202.3 ^{ns}	82017 ^{ns}	1197446 ^{ns}	15.9 ^{ns}	201.3 ^{ns}
Irrigation (I)	آبیاری	2	76719**	1769986**	0.21 ^{ns}	334718**	4397.7**	1693234	4949286**	104.6**	4152.8**
Y × I	سال × آبیاری	2	125.6 ^{ns}	14028 ^{ns}	0.0022 ^{ns}	783 ^{ns}	29.7 ^{ns}	7169 ^{ns}	12183 ^{ns}	1.8 ^{ns}	10.7 ^{ns}
Rep/ Y × I	تکرار / سال × آبیاری	12	577.4	70238	1.28	5726	364	17429	86546	11.1	46.5
Nitrogen (N)	نیترژن	2	3137.8**	79222 ^{ns}	0.3 ^{ns}	563.09**	802.6 ^{ns}	290884**	868169**	17.8 ^{ns}	776.7**
Y × N	سال × نیترژن	2	41.4 ^{ns}	2069 ^{ns}	0.003 ^{ns}	278	1.9 ^{ns}	605 ^{ns}	1497 ^{ns}	0.3 ^{ns}	1.5 ^{ns}
I × N	آبیاری × نیترژن	4	382.7*	3276 ^{ns}	0.02 ^{ns}	5930*	67.1 ^{ns}	31784*	92430**	2.4 ^{ns}	83.3*
Y × I × N	سال × آبیاری × نیترژن	4	26.2 ^{ns}	544 ^{ns}	0.0014 ^{ns}	78 ^{ns}	1.6 ^{ns}	274 ^{ns}	745 ^{ns}	0.25 ^{ns}	0.7 ^{ns}
Error (E _a)	اشتباه a	24	120.3	30470	1.2	2074	313	11030	31159	10.9	29.7
Density (D)	تراکم	2	7757.4**	125707**	0.78 ^{ns}	200651**	6878.7**	79025**	753910**	163.6**	210.5**
Y × D	سال × تراکم	2	41.3 ^{ns}	177 ^{ns}	0.007 ^{ns}	40 ^{ns}	0.5 ^{ns}	1012 ^{ns}	1394 ^{ns}	2.1 ^{ns}	2.6 ^{ns}
I × D	آبیاری × تراکم	4	959.3**	12125 ^{ns}	0.04 ^{ns}	71 ^{ns}	88.6 ^{ns}	21418**	70057**	5.9 ^{ns}	56.6**
Y × I × D	سال × آبیاری × تراکم	4	47.3 ^{ns}	271 ^{ns}	0.001 ^{ns}	54 ^{ns}	0.3 ^{ns}	308 ^{ns}	355 ^{ns}	0.6 ^{ns}	0.8 ^{ns}
N × D	نیترژن × تراکم	4	159.1*	5720 ^{ns}	0.21 ^{ns}	1672 ^{ns}	159.7 ^{ns}	16607**	38908**	5.3 ^{ns}	44.5*
Y × N × D	سال × نیترژن × تراکم	4	54.7 ^{ns}	2775 ^{ns}	0.01 ^{ns}	441 ^{ns}	6.3 ^{ns}	2735 ^{ns}	4640 ^{ns}	0.7 ^{ns}	7.3 ^{ns}
I × N × D	آبیاری × نیترژن × تراکم	8	24.1 ^{ns}	7493 ^{ns}	0.05 ^{ns}	931 ^{ns}	45.9 ^{ns}	3448 ^{ns}	4427 ^{ns}	5.1 ^{ns}	9.2 ^{ns}
Y × I × N × D	سال × آبیاری × نیترژن × تراکم	8	50.8 ^{ns}	5043 ^{ns}	0.07 ^{ns}	325 ^{ns}	4.5 ^{ns}	2152 ^{ns}	2401 ^{ns}	2.1 ^{ns}	5.7 ^{ns}
Error (E)	اشتباه	72	46.7	8228	0.51	1135	194.5	2003	14476	4.7	5.3

ns, * and **: non- significant, significant at 0.05 and 0.01 probability levels, respectively.

ns, * و **: به ترتیب غیر معنی دار، معنی دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد.

* کلیه میانگین مربعات در عدد ثابت ۱۰۰۰ ضرب شده اند.

جدول ۲- مقایسه میانگین شاخص سطح برگ در مرحله ابریشم دهی، محتوای نسبی آب برگ بلال، عملکرد دانه و اجزای آن، عملکرد بیولوژیکی، شاخص برداشت و کارایی اقتصادی و بیولوژیکی مصرف آب

Table 2. Mean comparison for LAI at silking, RWC of ear leaf, grain yield and its components, biological yield, harvest index and economical and biological water use efficiency

تیمار Treatment	شاخص سطح برگ در مرحله ابریشم دهی LAI at silking	محتوای نسبی آب برگ بلال (درصد) RWC of ear leaf (%)	تعداد ردیف در بلال Rows per ear	تعداد دانه در بلال Grains per ear	وزن هزاردانه (گرم) 1000 KW (g)	عملکرد دانه (گرم در مترمربع) Grian yield (gm ⁻²)	عملکرد بیولوژیک (گرم در مترمربع) Biological yield (gm ⁻²)	شاخص برداشت (درصد) Harvest index (%)	کارآیی اقتصادی مصرف آب (کیلوگرم دانه بر متر مکعب آب مصرفی) water use economical efficiency (kgm ⁻³)	کارآیی بیولوژیکی مصرف آب (کیلوگرم ماده خشک بر مترمکعب آب مصرفی) water use biological efficiency (kgm ⁻³)
Irrigation ()										
I ₁ آبیاری مطلوب	4.9 a	90.8 a	14.2 a	559.6 a	253.8 a	1050.2 a	2016.4 a	52.3 a	1.71 a	3.28 a
I ₂ تنش ملایم	3.7 b	86.9 b	14.1 a	497.5 b	244.9 b	898.2 b	1761.3 b	51.1 a	1.47 b	2.89 b
I ₃ تنش شدید	2.6 c	79.5 c	14.1 a	403.2 c	235.8 c	697.2 c	1413.3 c	49.4 b	1.15 c	2.34 c
Nitrogen ()										
N ₁ ۱۴۰ کیلوگرم در هکتار	3.5 b	84.5 a	14.1 a	405.4 b	240.8 a	800.1 b	1588.8 b	50.3 a	1.31 b	2.60 b
N ₂ ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار	3.8 a	85.9 a	14.2 a	497.8 a	245.2 a	903.5 a	1768.6 a	51.0 a	1.48 a	2.90 a
N ₃ ۲۲۰ کیلوگرم در هکتار	3.9 a	86.9 a	14.2 a	512.1 a	248.5 a	942.1 a	1833.6 a	51.4 a	1.54 a	3.00 a
Density ()										
D ₁ ۶ بوته در مترمربع	3.3 c	87.3 a	14.3 a	545.2 a	255.4 a	838.7 b	1596.2 b	52.4 a	1.37 b	2.62 b
D ₂ ۷/۵ بوته در مترمربع	3.9 b	85.7 b	14.1 a	491.6 b	246.2 a	911.4 a	1775.7 a	51.3 b	1.49 a	2.91 a
D ₃ ۹ بوته در مترمربع	4.1 a	84.2 c	14.0 a	423.6 c	232.9 a	895.6 a	1819.1 a	49.1 c	1.47 a	2.98 a

* در هر ستون و در هر گروه تیمار اعداد دارای حروف یکسان تفاوت معنی داری در سطح پنج درصد براساس آزمون چنددامنه ای دانکن ندارند.

* Means followed by similar letters, in each column, are not significantly different ($P < 0.05$)- Using Duncan Multiple Range Test (DMRT)

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات متقابل آبیاری × نیتروژن، آبیاری × تراکم بوته و نیتروژن × تراکم بوته بر شاخص سطح برگ مرحله ابریشم دهی، تعداد دانه در بلال، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی و کارایی اقتصادی و بیولوژیکی مصرف آب

Table 3. Mean comparison of interaction effects of irrigation × nitrogen, irrigation × plant density, nitrogen × plant density on LAI at silking stage, number of grain per ear, grain yield biological yield and economical and biological water use efficiency

تیمار Treatment	شاخص سطح برگ مرحله ابریشم دهی LAI at silking	تعداد دانه در بلال Grains per ear	عملکرد دانه (گرم در متر مربع) Grain yield (gm ⁻²)	عملکرد بیولوژیکی (گرم در متر مربع) Biological yield (gm ⁻²)	کارایی اقتصادی مصرف آب (کیلو گرم دانه بر متر مکعب آب مصرفی) Economical water use efficiency (Kgm ⁻³)	کارایی بیولوژیکی مصرف آب (کیلو گرم ماده خشک بر متر مکعب آب مصرفی) Biological water use efficiency (Kgm ⁻³)
Irrigation * Nitrogen						
I ₁ N ₁	4.5 b	508.4 b	932.4 b	1808.7 b	1.51 b	2.94 b
I ₁ N ₂	5.1 a	573.2 a	1077.8 a	2066.8 a	1.75 a	3.36 a
I ₁ N ₃	5.3 a	597.2 a	1140.5 a	2173.6 a	1.85 a	3.53 a
I ₂ N ₁	3.5 d	453.0 c	800.3 c	1598.2 c	1.31 c	2.62 c
I ₂ N ₂	3.8 c	512.3 b	927.0 b	1810.7 b	1.51 b	2.97 b
I ₂ N ₃	3.9 c	527.3 b	967.3 b	1875.2 b	1.59 b	3.08 b
I ₃ N ₁	2.4 e	389.8 d	667.7 d	1359.5 d	1.10 d	2.25 d
I ₃ N ₂	2.5 e	407.9 d	705.7 d	1428.4 d	1.17 d	2.36 d
I ₃ N ₃	2.7 e	411.9 d	718.3 d	1451.9 d	1.19 d	2.40 d
Irrigation * Plant density						
I ₁ D ₁	4.3 c	616.5 a	972.2 b	1818.5 c	1.58 b	2.95 c
I ₁ D ₂	5.1 b	566.3 a	1081.8 a	2070.3 b	1.76 a	3.36 b
I ₁ D ₃	5.4 a	495.9 a	1096.7 a	2160.3 a	1.78 a	3.51 a
I ₂ D ₁	3.3 f	555.4 a	852.6 d	1619.8 d	1.40 d	2.66 d
I ₂ D ₂	3.9 f	502.5 a	930.3 c	1816.2 c	1.53 c	2.98 c
I ₂ D ₃	4.0 d	434.8 a	911.8 c	1848.1 c	1.50 c	3.03 c
I ₃ D ₁	2.4 h	463.7 a	691.2 f	1350.4 f	1.14 f	2.23 f
I ₃ D ₂	2.7 g	405.9 a	722.1 e	1440.5 e	1.19 e	2.38 e
I ₃ D ₃	2.6 g	340.0 a	678.4 f	1448.9 e	1.12 f	2.40 e
Nitrogen * plant density						
N ₁ D ₁	3.1 f	502.7 a	762.5 e	1471.1 d	1.25 e	2.41 d
N ₁ D ₂	3.6 d	468.0 a	860.1 d	1674.4 c	1.41 d	2.74 c
N ₁ D ₃	3.7 d	380.5 a	777.7 e	1620.9 c	1.27 e	2.66 c
N ₂ D ₁	3.4 e	559.9 a	863.5 d	1637.9 c	1.42 d	2.68 c
N ₂ D ₂	3.9 c	496.0 a	921.2 c	1800.4 b	1.51 c	2.95 b
N ₂ D ₃	4.1 b	437.6 a	925.7 b c	1867.6 b	1.52 b c	3.06 b
N ₃ D ₁	3.4 e	572.9 a	890.0 d	1679.7 c	1.46 d	2.75 c
N ₃ D ₂	4.1 b	510.7 a	952.7 b	1852.2 b	1.56 b	3.04 b
N ₃ D ₃	4.3 a	452.6 a	983.4 a	1968.7 a	1.61 a	3.23 a

* در هر ستون و در هر گروه تیمار میانگین های دارای حروف یکسان تفاوت معنی داری در سطح ۵٪ بر اساس آزمون چنددامنه ای دانکن ندارند.

* Means followed by similar letters, in each column and each group of treatments, are not significantly different (p<0.05) – Using Duncan Multiple Range Test (DMRT)

در هر بلال کاهش یافت به گونه‌ای که کمترین تعداد دانه در بلال (۴۰۳/۲ دانه در بلال) به تیمار تنش شدید رطوبتی تعلق داشت (جدول ۲). با توجه به ثبات نسبی تعداد ردیف‌های دانه در بلال در تیمارهای مختلف، جزء اصلی تغییرات تعداد دانه در هر بلال، تغییرات تعداد دانه در هر ردیف بود. اعمال تنش رطوبتی در طول مراحل رویشی و زایشی و برخورد مراحل نموی تعیین‌کننده تعداد دانه در ردیف با تنش رطوبتی، موجب ایجاد اختلال در فرآیند مزبور گردید که نتیجه آن کاهش تعداد دانه در بلال بود. مصرف نیتروژن بیشتر باعث افزایش معنی‌دار تعداد دانه در بلال گردید (جدول ۱ و ۲). در این تحقیق، مصرف مقادیر بیشتر نیتروژن موجب افزایش شاخص سطح برگ و افزایش فراهمی مواد پرورده برای بلال از طریق دوام فتوسنتز گردید و به دلیل کاهش رقابت دانه‌ها برای عناصر غذایی، تعداد دانه در بلال افزایش یافت (جدول ۲). قاسمی پیر بلوطی (۱۳۸۱) گزارش داد که فراهمی عناصر غذایی به ویژه نیتروژن در دوره بحرانی تشکیل دانه یعنی یک تا دو هفته قبل تا سه هفته پس از ابریشم‌دهی از طریق افزایش سرعت رشد گیاه بر تعداد دانه مؤثر است و این وضعیت موجب ایجاد یک همبستگی قوی میان تعداد دانه در بلال با شاخص سطح برگ در مرحله ابریشم‌دهی شد. در مطالعات متعدد، تأثیر مثبت مصرف نیتروژن بر افزایش تعداد دانه در بلال در هیبریدهای مختلف ذرت گزارش شده است (Osborne *et al.*, 2002). اثر متقابل سطوح مختلف آبیاری و نیتروژن از لحاظ تعداد دانه در بلال معنی‌دار بود (جدول ۱). مصرف ۱۸۰ و ۲۲۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار در تیمار آبیاری مطلوب به طور محسوسی موجب افزایش تعداد دانه در بلال شد، هر چند با مصرف مقادیر زیاد نیتروژن اثرات منفی کمبود آب بر تعداد دانه در بلال جبران نگردید (جدول ۳). تأثیر مثبت افزایش مصرف نیتروژن بر تعداد دانه در بلال در شرایط آبیاری مطلوب، احتمالاً ناشی از جذب

مناسب نیتروژن در رژیم مطلوب رطوبتی خاک بوده است.

افزایش تراکم بوته موجب کاهش معنی‌دار تعداد دانه در بلال شد. تعداد دانه در بلال در کمترین تراکم بوته با میانگین ۵۴۵/۲ دانه در هر بلال به طور معنی‌دار نسبت به سایر تراکم‌ها بیشتر بود (جدول ۱ و ۲). تعداد دانه در بلال یکی از اجزاء مهم عملکرد دانه در ذرت است که به شدت تحت تأثیر تراکم بوته قرار می‌گیرد و با افزایش تراکم بوته به طور ناگهانی کاهش می‌یابد (Andrade *et al.*, 1993). پژوهشگران دلیل اصلی این تغییرات را کاهش نفوذ نور فعال در فتوسنتز، کاهش فتوسنتز در واحد گیاه و کاهش سرعت رشد گیاه می‌دانند (Tollenaar and Aguiñaga, 1992).

نتایج این تحقیق نشان داد که تنش رطوبتی موجب کاهش معنی‌دار وزن نهایی دانه گردید. بیشترین کمترین وزن هزار دانه به ترتیب مربوط به سطوح آبیاری مطلوب و تنش شدید رطوبتی بود (جدول ۱ و ۲). کاهش وزن هزار دانه در تنش شدید رطوبتی را می‌توان به کمتر بودن کربوهیدرات‌های ذخیره‌ای قبل از مرحله گرده‌افشانی در اندام‌های رویشی و کاهش دوام سطح برگ که در نتیجه دوره پرشدن دانه‌ها را کوتاه می‌نماید، نسبت داد. اگرچه افزایش مصرف نیتروژن وزن هزار دانه را افزایش داد، اما این افزایش از نظر آماری معنی‌دار نبود (جدول ۱ و ۲). از آن جا که در این تحقیق زمان کاربرد نیتروژن قبل از مرحله گلدهی بود بنابراین وجود نیتروژن کافی از سقط سنبلچه‌ها و گل‌ها جلوگیری نمود و بدین ترتیب بیشترین تأثیر مصرف نیتروژن بر روی تعداد دانه بود، زیرا افزایش کاربرد نیتروژن موجب افزایش تعداد دانه در بلال گردید، با افزایش تعداد دانه اسیمیلات‌های حاصل از فتوسنتز جاری و مواد ذخیره‌ای بین دانه‌های بیشتری توزیع شده و در نتیجه وزن دانه تغییر چندانی نکرد. احتمالاً چنانچه کاربرد نیتروژن بعد از مرحله گلدهی صورت می‌گرفت چون تعداد دانه‌ها (مخازن) قبلاً تعیین شده بود، تغییرات بیشتری در وزن

تک دانه به وجود می آمد. اثر تراکم بوته بر وزن هزار دانه بسیار معنی دار بود و با افزایش تراکم بوته وزن هزار دانه کاهش یافت، بطوریکه بیشترین وزن هزار دانه با میانگین ۲۵۵/۴ گرم از کمترین تعداد بوته در واحد سطح به دست آمد (جداول ۱ و ۲). کمتر بودن ذخیره کربوهیدرات ها در ساقه ها قبل از مرحله گرده افشانی و کاهش فتوسنتز جاری ناشی از کاهش دوام سطح برگ پس از گل دهی و بالا بودن تنفس در تراکم های بالا، موجب کاهش محسوس وزن هزار دانه در تراکم های مزبور گردید. نتایج پژوهش های انجام شده توسط امام و رنجبر (۱۳۷۹) با یافته های این تحقیق مبنی بر کاهش وزن هزار دانه در اثر افزایش تراکم بوته مطابقت دارد. اثرات متقابل سطوح مختلف آبیاری × نیتروژن، آبیاری × تراکم، نیتروژن × تراکم و اثرات متقابل سه جانبه آبیاری × نیتروژن × تراکم بر وزن هزار دانه معنی دار نگردید (جدول ۱).

اثر سطوح مختلف آبیاری بر عملکرد دانه از لحاظ آماری معنی دار بود و در تنش شدید رطوبتی در مقایسه با آبیاری مطلوب، عملکرد دانه به میزان حدود ۳۵ درصد کاهش یافت (جداول ۱ و ۲)، این کاهش عمدتاً به دلیل کاهش تعداد دانه در بلال و وزن هزار دانه بود (جدول ۲). عملکرد نهایی ذرت بستگی به نمو موفقیت آمیز گل ها، باروری کامل آن ها، تکوین رویان و تجمع نشاسته و پروتئین در دانه دارد و هر کدام از این فرآیندها نیاز به عرضه مستمر مواد پرورده دارد (Tollenaar and Daynard, 1978). تنش رطوبتی از طریق کاهش سطح برگ ها و اختلال در روند جذب و انتقال عناصر غذایی، عرضه مواد پرورده را کاهش داده و موجب تغییر در اجزای عملکرد و کاهش عملکرد دانه می شود (Nissanka *et al.*, 1997).

اثر تیمار نیتروژن نیز بر عملکرد دانه معنی دار بود (جدول ۱) و افزایش کاربرد نیتروژن باعث افزایش عملکرد دانه شد، هر چند بین تیمار کاربرد ۱۸۰ و ۲۲۰

کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار تفاوت معنی دار وجود نداشت (جدول ۲). افزایش عملکرد دانه ناشی از افزایش مصرف نیتروژن، به دلیل ایجاد مخزن قوی یعنی تعداد دانه بیشتر و فعالیت منبع یعنی شاخص سطح برگ بیشتر و دوام زیادتر آن بود (جدول ۲). گزارشات مختلف نشان داده است که سرعت رشد گیاه در طول مدت ابریشم دهی که ارتباط زیادی با تعداد دانه در بلال و در نهایت عملکرد دانه دارد به طور مؤثری تحت تأثیر مصرف نیتروژن قرار می گیرد (صادقی، ۱۳۷۹). اثر متقابل آبیاری و نیتروژن بر عملکرد دانه معنی دار بود (جدول ۱). مصرف مقادیر زیاد کود در شرایط آبیاری مطلوب، به صورت قابل ملاحظه ای موجب افزایش عملکرد دانه شد در حالی که در شرایط تنش شدید رطوبتی، مصرف مقادیر بیشتر کود منجر به افزایش محسوس و چشمگیر عملکرد دانه نگردید (جدول ۳). به نظر می رسد این وضعیت ناشی از کاهش جذب و افزایش هدر روی نیتروژن در شرایط کمبود آب در خاک بوده است.

تفاوت بین میانگین عملکرد دانه در تراکم های مختلف بوته بسیار معنی دار بود (جدول ۱). افزایش تعداد بوته در واحد سطح منجر به افزایش معنی دار عملکرد دانه گردید، هر چند میان عملکرد دانه در تراکم های ۷۵۰۰۰ و ۹۰۰۰۰ بوته در هکتار اختلاف معنی داری وجود نداشت (جدول ۲). بالاتر بودن عملکرد در تراکم های مزبور نسبت به تراکم ۶۰۰۰۰ بوته در هکتار، مربوط به تعداد بیشتر بلال در واحد سطح بود، چون دو جزء دیگر عملکرد دانه یعنی تعداد دانه در بلال و وزن هزار دانه با افزایش تراکم کاهش یافتند (جدول ۲). با توجه به وجود رابطه خطی بین عملکرد دانه و شاخص سطح برگ که توسط ایرمایر و میلبورن (Irmiren and Milborn, 1980) گزارش شده است می توان انتظار داشت که افزایش تراکم بوته با افزایش شاخص سطح برگ در جامعه گیاهی و افزایش نور دریافتی و در نتیجه افزایش ظرفیت فتوسنتزی گیاه به

تولید حداکثر عملکرد دانه منجر گردد. اثر متقابل سطوح مختلف آبیاری $\times$ تراکم بر عملکرد دانه در سطح یک درصد معنی دار شد (جدول ۱). بیشترین عملکرد دانه به میزان ۱۰۹۶/۷ گرم در مترمربع از بالاترین تراکم بوته در آبیاری مطلوب (I_1D_3) به دست آمد که از نظر آماری با میانگین تیمار تراکم متوسط در شرایط آبیاری مطلوب (I_1D_2) تفاوت نداشت (جدول ۳). نتایج این تحقیق نشان داد که توصیه برای تراکم‌های بوته بالا تنها در شرایط مطلوب می‌تواند مفید باشد و در شرایط تنش، استفاده از تراکم‌های بوته بالا نه تنها مفید نیست بلکه ممکن است نتیجه نامطلوبی را در پی داشته باشد. لیانگ و همکاران (Liang et al., 1992) تراکم بالا، آبیاری زیاد و مصرف زیاد کود را برای دستیابی به عملکرد بالا توصیه نمودند. راسمن و کوک (Rossman and Cook, 1966) نیز در آزمایشی نشان دادند که در شرایط محدودیت رطوبتی، حداکثر عملکرد ذرت از تراکم ۴/۵ تا ۵/۵ بوته در مترمربع به دست آمد در حالی که با بهبود شرایط آبیاری، بیشترین عملکرد دانه از تراکم ۵/۵ تا ۶ بوته در مترمربع حاصل می‌شود.

اثر متقابل سطوح مختلف نیتروژن $\times$ تراکم بر عملکرد دانه در سطح یک درصد معنی دار بود و بیشترین عملکرد دانه به میزان ۹۸۳/۴ گرم در مترمربع مربوط به تیمار کاربرد ۲۲۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار و تراکم بوته ۹۰۰۰۰ در هکتار (N_3D_3) بود (جداول ۱ و ۳). در شرایط مطلوب رطوبتی اثرات توأم افزایش تراکم بوته و مصرف نیتروژن مثبت بود و موجب افزایش عملکرد دانه گردید، در تراکم‌های پائین به دلیل کاهش تعداد بلال در واحد سطح عملکرد دانه کمتر بود و افزایش نیتروژن به دلیل محدودیت ظرفیت هر گیاه در استفاده از نیتروژن تا حد معینی مؤثر بود، نیتروژن مازاد بدون استفاده باقی ماند و از دسترس خارج گردید. با افزایش تراکم بوته، عملکرد دانه در واحد سطح به دلیل افزایش تعداد بلال در واحد سطح افزایش یافت، این در

حالی بود که از لحاظ سایر عوامل به ویژه عنصر غذایی نیتروژن محدودیتی وجود نداشت. در نتیجه به موازات افزایش تراکم بوته باید نیتروژن در دسترس افزایش یابد. این نتایج با گزارشات بلومنتال و همکاران (Blumenthal et al., 2003) و منووکس و همکاران (Monneveux et al., 2005) که گزارش نمودند در تراکم‌های بالا تأمین عناصر غذایی کافی به ویژه نیتروژن ضروری می‌باشد، مطابقت دارد.

اثر کمبود آب، مصرف نیتروژن و تراکم بوته بر عملکرد بیولوژیک معنی دار بود (جدول ۱). با افزایش شدت تنش رطوبتی، عملکرد بیولوژیک کاهش یافت (جدول ۲). این نتایج یافته‌های سپهری و همکاران (۱۳۸۱) و ازبوری و همکاران (Osborne et al., 2002) مبنی بر کاهش عملکرد بیولوژیکی در اثر تنش رطوبتی را تأیید نمود. دلیل افزایش تولید کل ماده خشک در گیاهان در شرایط آبیاری مطلوب، گسترش بیشتر و تداوم طولانی‌تر سطح برگ بود که موجب ایجاد منبع فیزیولوژیکی کافی جهت استفاده هر چه بیشتر از نور دریافتی و تولید ماده خشک گردید (جدول ۲).

کاهش سطح نیتروژن مصرفی از ۲۲۰ به ۱۴۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار، عملکرد بیولوژیک را به طور متوسط ۶۰۳ گرم در مترمربع کاهش داد (جدول ۲). در مقادیر بیشتر نیتروژن، سرمایه گذاری مواد فتوسنتزی در بخش‌های برگ و ساقه افزایش یافته و در نتیجه مواد تجمع یافته در دانه نیز فزونی یافت. کمبود نیتروژن به علت کاهش اندازه و دوام سطح برگ، باعث کاهش میزان نور دریافتی، کارایی استفاده از نور و فتوسنتز گیاه زراعی شد و به موازات آن عملکرد بیولوژیک کاهش یافت (جدول ۲).

تفاوت میانگین عملکرد بیولوژیک در تراکم‌های بوته مختلف معنی دار بود و با افزایش تراکم بوته عملکرد بیولوژیکی افزایش یافت (جداول ۱ و ۲).

اگر چه رقابت برای جذب نور، مواد غذایی، آب و جذب گاز کربنیک هم در تراکم‌های بالا بیشتر است ولی به نظر می‌رسد در شرایط آب و هوایی خوزستان، رقابت بین بوته‌ای حتی در بیشترین تراکم مورد بررسی در این تحقیق، در محدوده تراکم مطلوب قرار داشت. اثر متقابل آبیاری $\times$ تراکم بر عملکرد بیولوژیک در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). مقایسه میانگین‌های اثر متقابل آبیاری $\times$ تراکم بوته نشان داد که تیمار بیشترین تراکم بوته در شرایط آبیاری مطلوب (I_1D_3) از برتری قابل ملاحظه‌ای از لحاظ تولید ماده خشک در مقایسه با دیگر تیمارها برخوردار بود. در حالی که در شرایط رطوبتی شدید، تغییر عملکرد بیولوژیکی در اثر افزایش تراکم قابل ملاحظه نبود (جدول ۳). کاهش عملکرد بیولوژیک در کلیه تراکم‌ها در شرایط تنش شدید رطوبتی، ناشی از افت عملکرد دانه و وزن خشک بخش‌های رویشی به دلیل افزایش رقابت بود. در شرایط آبیاری مطلوب و تنش ملایم رطوبتی، با افزایش تعداد بوته در واحد سطح کاهش وزن خشک تک بوته جبران و عملکرد ماده خشک افزایش یافت ولی در شرایط تنش شدید رطوبتی، کاهش شدید وزن خشک تک بوته‌ها جبران نشد و در نتیجه تفاوت میان عملکرد بیولوژیک در میان تراکم‌ها معنی‌دار نگردید (جدول ۳)، بنابراین در زراعت ذرت توصیه تراکم‌های بوته بالا تنها در شرایط مطلوب می‌تواند مفید باشد. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که روند تغییرات عملکرد ماده خشک در اثر تراکم بوته در کلیه سطوح کاربرد نیتروژن روند یکسانی نداشت. در سطوح بالاتر مصرف نیتروژن با افزایش تراکم بوته، کاهش وزن تک بوته‌ها جبران شد و در نتیجه آن عملکرد بیولوژیکی افزایش یافت (جدول ۳).

تنش خشکی اثر معنی‌داری بر شاخص برداشت گذاشت و با افزایش شدت تنش رطوبتی شاخص برداشت کاهش یافت. بیشترین شاخص برداشت به میزان

۵۲/۳ درصد متعلق به آبیاری مطلوب بود که از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با شاخص برداشت در تیمار تنش ملایم رطوبتی نداشت (جدول ۱ و ۲). در این تحقیق، تنش رطوبتی عملکرد دانه را به میزان بیشتری نسبت به عملکرد ماده خشک کاهش داد، که در نتیجه آن شاخص برداشت کاهش یافت. ستر (Setter, 1990) اظهار داشت که کمبود آب از جمله عوامل محدود کننده رشد و نمو گیاه می‌باشد که علاوه بر کاهش ماده خشک تولیدی، موجب اختلال در تسهیم کربوهیدرات‌ها به دانه و در نتیجه کاهش شاخص برداشت می‌شود. تفاوت بیشترین و کمترین شاخص برداشت به دست آمده در سطوح مختلف نیتروژن حدود یک درصد بود که از لحاظ آماری معنی‌دار نبود (جدول ۱ و ۲). نتایج به دست آمده نشان داد که کاربرد نیتروژن تغییری در نحوه توزیع مواد فتوسنتزی بوجود نیاورد و عملکرد دانه و ماده خشک را به نسبت یکسانی افزایش داد. گزارشات مشابهی مبنی بر عدم تأثیر کاربرد مقادیر مختلف نیتروژن بر شاخص برداشت ارائه گردیده است (قاسمی پیربلوطی، ۱۳۸۱). اثر سطوح مختلف تراکم بوته نیز بر نظر شاخص برداشت معنی‌دار بود (جدول ۱). با افزایش تراکم بوته، شاخص برداشت به دلیل کاهش شدید تسهیم مواد پرورده به دانه کاهش یافت، تراکم بوته ۶۰۰۰۰ در هکتار (D_1) با میانگین ۵۲/۴ درصد و تراکم بوته ۹۰۰۰۰ در هکتار (D_3) با میانگین ۴۹/۱ درصد به ترتیب بیشترین و کمترین میزان شاخص برداشت را داشتند (جدول ۲). از آنجائیکه بین اندام‌های رویشی و زایشی جهت دریافت مواد فتوسنتزی رقابت درون گیاهی وجود دارد، با افزایش تراکم بوته و افزایش رقابت میان گیاهان این رقابت داخلی نیز تشدید می‌شود و به این دلیل که مخزن‌های فیزیولوژیک زایشی دیرتر از مخزن‌های فیزیولوژیک رویشی شکل می‌گیرند، معمولاً اثرات سوء ناشی از رقابت در درجه نخست بر مخزن‌های فیزیولوژیک زایشی (اقتصادی) اثر گذاشته و در شرایط رقابت شدید ممکن است حتی

موجب نازایی تعدادی از اندام‌های زایشی گردد گاردنر و همکاران، ۱۳۷۲). اثر سایر تیمارهای مورد مطالعه در این آزمایش بر شاخص برداشت معنی‌دار نبود (جدول ۱).

کارآیی مصرف آب از خصوصیات مهم فیزیولوژیک گیاه در رابطه با توانایی در مقابله با کمبود آب است. میان سطوح مختلف آبیاری از لحاظ کارآیی اقتصادی و بیولوژیک مصرف آب اختلاف معنی‌دار وجود داشت، با افزایش فواصل آبیاری و افزایش شدت تنش رطوبتی کارآیی‌های مزبور کاهش معنی‌دار نشان دادند، بطوریکه کمترین کارآیی اقتصادی و بیولوژیک مصرف آب به ترتیب با میانگین ۱/۱۵ و ۲/۳۴ کیلوگرم بر مترمکعب به تیمار تنش شدید رطوبتی تعلق داشت (جدول ۱ و ۲). دلیل کاهش کارآیی اقتصادی و بیولوژیک مصرف آب در شرایط تنش رطوبتی، کاهش عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی در این شرایط بود (جدول ۲). در شرایط آبیاری مطلوب حفظ همیشگی آب در حد نیاز، موجب شد تا گیاهان با سرعت مناسبی به رشد و نمو پرداخته و این وضعیت موجب افزایش عملکرد دانه و ماده خشک در تیمار یاد شده گردید (جدول ۲). با توجه به وجود رابطه مستقیم میان عملکرد دانه و ماده خشک با کارآیی اقتصادی و بیولوژیکی مصرف آب و یکسان بودن تقریبی حجم آب مصرفی در طول دوره رشد در کلیه تیمارها، این وضعیت باعث افزایش کارآیی استفاده از آب شد. نیسانکا و همکاران (Nissanka et al., 1997) اظهار نمودند که کاهش کارآیی مصرف آب در شرایط تنش رطوبتی، ناشی از کاهش بیشتر فتوسنتز در مقایسه با تنفس گیاه می‌باشد. این محققین دلیل این امر را به وارد آمدن خسارت به مزوفیل برگ در اثر تنش رطوبتی نسبت دادند.

اختلاف میان سطوح مختلف نیتروژن از لحاظ کارآیی اقتصادی و بیولوژیک مصرف آب معنی‌دار بود و افزایش کاربرد نیتروژن موجب بهبود کارآیی‌های مذکور گردید (جدول ۱ و ۲). عامل اصلی و مؤثر در

اختلاف کارآیی مصرف آب (اقتصادی و بیولوژیک) میان تیمارهای کودی، تفاوت میان این تیمارها از لحاظ عملکرد دانه و ماده خشک بود. زیرا میان سطوح مختلف کاربرد نیتروژن از لحاظ رسیدگی گیاهان تفاوت معنی‌داری وجود نداشت و میزان آب مصرفی نیز برای تمام سطوح کودی تقریباً یکسان بود. افزایش مصرف نیتروژن در شرایط آبیاری مطلوب باعث افزایش معنی‌دار کارآیی اقتصادی و بیولوژیک استفاده از آب در مقایسه با سایر تیمارها گردید. بطوریکه کاربرد ۲۲۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار در تیمار آبیاری مطلوب (I1N3) از لحاظ کارآیی‌های مزبور نسبت به سایر تیمارها برتری داشت (جدول ۳). افزایش مصرف نیتروژن در شرایط آبیاری مطلوب از طریق رشد سریع تر برگ‌ها، سرعت بسته شدن سایه انداز گیاهی را افزایش داد و موجب به حداقل رساندن تصعید آمونیوم و کاهش تلفات آب از سطح خاک گردید، این وضعیت باعث افزایش عملکرد دانه و ماده خشک و بهبود کارآیی استفاده از آب شد.

در این تحقیق، کارآیی اقتصادی و بیولوژیکی مصرف آب با افزایش تراکم بوته افزایش معنی‌داری یافت (جدول ۱ و ۲). به طور کلی هر عامل مدیریتی که بدون افزایش قابل ملاحظه میزان آب مصرفی، منجر به افزایش عملکرد دانه و ماده خشک شود، کارآیی استفاده از آب را افزایش خواهد داد. در این تحقیق افزایش تراکم بوته از طریق افزایش عملکرد دانه و ماده خشک موجب افزایش کارآیی مصرف آب شد (جدول ۲). هم چنین افزایش کارآیی اقتصادی و بیولوژیکی مصرف آب ضمن افزایش تراکم کاشت با استفاده کارآتر از آب موجود به واسطه تعداد بیشتر بوته در واحد سطح و تلفات کمتر آب به واسطه تبخیر نیز ارتباط داشت. اثرات متقابل سطوح مختلف آبیاری × تراکم از یک سو و نیتروژن × تراکم از سوی دیگر بر کارآیی استفاده از آب معنی‌دار بود (جدول ۱). بررسی مقایسات میانگین اثرات متقابل آبیاری × تراکم نشان داد که تراکم ۹ بوته در

مترمربع در شرایط آبیاری مطلوب (I_1D_3) به دلیل تولید بیشترین عملکرد دانه و ماده خشک نسبت به سایر تیمارها برتر بود، هر چند در این شرایط میان تراکم‌های ۷/۵ و ۹ بوته در مترمربع از لحاظ کارایی اقتصادی مصرف آب تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۲). در این تحقیق عکس‌العمل کارایی اقتصادی و بیولوژیک مصرف آب ذرت نسبت به تغییر تراکم بوته با تغییر مقدار مصرف نیتروژن، متفاوت بود. در مقادیر کمتر مصرف نیتروژن، تراکم بوته متوسط به دلیل تولید بیشتر عملکرد دانه و ماده خشک، بالاترین کارایی مصرف آب را داشت در حالی که با کاربرد سطوح بالاتر نیتروژن، بیشترین تراکم از لحاظ این صفت برتری نشان داد (جدول ۳).

تمام شواهد حاکی از آن است که اگر مقدار مصرف نیتروژن زیاد باشد با افزایش تأمین آب، کارایی استفاده از این نهاده نیز افزایش می‌یابد. در چنین شرایطی، به منظور استفاده کامل از این مواد و در نتیجه تولید حداکثر عملکرد، تراکم بوته در واحد سطح باید بیشتر باشد، در حالی که وقتی مقدار مصرف کود کم باشد با افزایش تراکم بوته و افزایش تأمین آب، کارایی استفاده از آب کاهش می‌یابد.

در مجموع نتایج به دست آمده نشان داد که آبیاری علاوه بر اطمینان بیشتر و سطح بالایی عملکرد، استفاده کارآتر از سایر نهاده‌های با ارزش نظیر کود نیتروژن را نیز ممکن می‌سازد. زیرا در شرایط مطلوب و حتی تنش ملایم رطوبتی افزایش مصرف نیتروژن با افزایش قابل ملاحظه عملکرد همراه بود و افزایش تراکم بوته تا سطح متوسط (۷/۵ بوته در مترمربع) تأثیر بسیار مثبتی بر عملکرد دانه داشت. در شرایط تنش شدید رطوبتی به دلیل کاهش جذب و افزایش هدرروی نیتروژن ناشی از کمبود شدید آب در خاک، کارایی مصرف کود کاهش یافت و تأثیر مثبت افزایش مصرف نیتروژن بر عملکرد دانه غیر محسوس و ناچیز بود. در چنین شرایطی نیز بکارگیری تراکم‌های خیلی زیاد نه تنها عملکرد را افزایش نداد، بلکه موجب کاهش کارایی مصرف کود گردید. به نظر می‌رسد در صورت عدم دسترسی به آب کافی و مواجهه گیاه با کمبود شدید آب در خاک، کاهش مصرف نیتروژن و تراکم بوته ضمن تولید محصول در حد قابل قبول، کاهش هزینه‌ها و افزایش کارایی استفاده از منابع را بدنبال خواهد داشت.

References

- ۱. تأثیر تراکم بوته و تنش خشکی در مرحله رشد رویشی بر عملکرد، اجزای عملکرد و کارایی استفاده از آب در ذرت دانه‌ای. مجله علوم زراعی ایران. جلد دوم، شماره سوم. صفحات ۶۲-۵۱.
- ۲. اثر آرایش و تراکم کاشت بر جذب تشعشع، عملکرد و اجزای عملکرد ذرت دانه‌ای. خلاصه مقالات سومین کنگره زراعت و اصلاح نباتات ایران. دانشگاه تبریز. صفحه ۱۹۱.
- ۳. مطالعه اثر تنش آب بر روند جذب عناصر ازت، فسفر، پتاسیم و سدیم در دوره‌های مختلف رشد، با توجه به خصوصیات مرفولوژیک و فیزولوژیک گیاه ذرت در شرایط آب و هوایی اهواز. پایان‌نامه دوره دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی. واحد علوم و تحقیقات اهواز. ۲۸۸ ص.
- ۴. راهنمای تعیین شاخص سطح برگ گیاهان زراعی. نشریه ترویجی. سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی. وزارت کشاورزی.
- ۵. تأثیر تنش آب و مقادیر مختلف نیتروژن بر مراحل رشد و نمو، عملکرد و اجزای عملکرد ذرت. مجله علوم زراعی ایران. جلد چهارم، شماره سوم. صفحات ۲۰۱-۱۸۴.

- . تأثیر تراکم بوته و مقادیر کود ازته بر ویژگی‌های فیزیولوژیک، عملکرد و اجزاء عملکرد ذرت دانه‌ای در منطقه کوشک استان فارس. پایان‌نامه کارشناسی ارشد زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز. ۹۵ ص.
- . رابطه آب و خاک و گیاه. چاپ اول. انتشارات آستان قدس. ۳۵۳ ص.
- . بررسی اثر مقادیر مختلف کود نیتروژن بر نحوه الگوی تخصیص ماده خشک در ذرت دانه‌ای رقم SC704 در منطقه ورامین. پایان‌نامه کارشناسی ارشد زراعت، دانشگاه تهران. ۹۸ ص.
- فیزیولوژی گیاهان زراعی. ترجمه سرمدنیا، غ. و ع. کوچکی. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۴۶۷ ص.
- زراعت غلات. جلد اول. انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز. ۴۴۶ ص.
- . . مفهوم کارآیی مصرف آب. نشریه پژوهش و سازندگی. شماره ۲۵. صفحات ۳۷-۳۴.

- Andrade, F. H., S. A. Uhart and M. I. Frugone. 1993.** Intercepted radiation at flowering and kernel number in maize: Shade versus plant density effects. *Crop Sci.* 33: 482-485.
- Blumenthal, M., J. Lyon and W. Stroup. 2003.** Optimal plant population and nitrogen for dryland corn in Western Nebraska. *Agron. J.* 95: 878-883.
- Cosculleola, F. and J. M. Fact. 1992.** Determination of the maize (*Zea mays* L.) yield function in respect to water using a line source sprinkler. *Field Crops Abst.* 93: 5611.
- Denmead, O. T. and R. H. Shaw. 1960.** The effects of soil moisture stress at different stages of growth on the development and yield of corn. *Agron. J.* 52: 272 - 274.
- Duncan, W. G. 1975.** Maize in the crop physiology. Cambridge Univ. press. London. New York. Melbourne.
- Girardin, P., M. Tollenaar, A. Deltour and J. Muldoon. 1987.** Temporary N starvation in maize (*Zea mays* L.): effects on development, dry matter accumulation and grain yield. *Agronomie (Paris).* 7: 289 – 296.
- Hanway, J. J. 1992.** How a corn plant develops. Iowa coop. Ext. Ser. Spec. Rep. 48.
- Iremiren, G. O. and G. M. Milborn. 1980.** Effects of plant density on ear barrenness in maize. *Exptl. Agric.* 16: 321-326.
- Liang, B. C., M. R. Millard and A. F. Mackenzie. 1992.** Effects of hybrid, population densities, fertilization and irrigation on grain corn (*Zea mays* L.) in Quebec. *Can. J. of plant Sci.* 72: 1163 - 1170.
- Monneveux, P., P. H. Zaidi and C. Sanchez. 2005.** Population density and low nitrogen affects yield - associated traits in tropical maize. *Crop Sci.* 45: 535-545.
- Nesmith, D. S. and J. T. Ritchie. 1992.** Short and long-term responses of corn to a pre- anthesis soil water deficit. *Agron. J.* 84:107-113.
- Nissanka, S. P., M. A. Dixon and M. Tollenaar. 1997.** Canopy gas exchange response to moisture stress in old and new maize hybrid. *Crop Sci.* 37: 172 - 181.
- Norwood, C. A. 2000.** Water use and yield of limited irrigated and dry land corn. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 365 - 370.
- Osborne, S. L., J. S. Scheppers, D. D. Francis and M. R. Schlemmer. 2002.** Use of spectral radiance to in - season biomass and grain yield in nitrogen and water - stressed corn. *Crop Sci.* 42: 165 -171.

- Rossman, E. C. and R. L. Cook. 1966.** Soil parathion and date, rate and pattern of planting. P. 53-101. In: W. H. Pierre *et al.* (Ed). Advanced in Corn Production: Principles and Practices. Iowa State Univ. Press, Ames, IA.
- Setter, T. L. 1990.** Transport/harvest index: Photosynthetic partitioning in stressed plants. P. 17-36. Stress responses in plant: Adaptation and accumulation mechanism. Wiley-Liss, Inc. New York. 14853.
- Tollenaar, M. and A. Aguidera. 1992.** Radiation use efficiency of an old and a new maize hybrid. Agron. J. 84: 536-541.
- Tollenaar, M. and T. B. Daynard. 1978.** Effect of defoliation on kernel development in maize. Can. J. Plant. Sci. 58: 207-212.
- Westgate, M. E. 1994.** Water status and development of the maize endosperm and embryo during drought. Crop Sci. 34: 76-83.
- Zinselmeier, C., M. J. Lauer and J. S. Boyer. 1995.** Reversing drought-induced losses in grain yield: sucrose maintains embryo growth in maize. Crop Sci. 35: 1390-1400.

Effect of different levels of nitrogen and plant density on grain yield, its components and water use efficiency in maize (*Zea mays* L.) cv. SC. 704 under different moisture conditions in Khuzestan

Sh. Lack¹, A. Naderi², S. A. Siadat³, A. Ayenehband⁴ and Gh. Noormohammadi⁵

ABSTRACT

In order to study the effect of different levels of nitrogen and plant density under different moisture conditions on grain yield and yield components, biological yield and economic and biological water use efficiency of a maize hybrid (*Zea mays* L.) cv. SC. 704 a research was conducted in 2004 and 2006 cropping seasons, in experimental field in Agriculture and Natural Resources Sciences University of Khuzestan, Ahvaz, Iran. Irrigation treatments were implemented separately in three experiment including. Optimum irrigation (I_1), Moderate stress (I_2) and Severe stress (I_3) (irrigation treatments were applied based on depletion of 30%, 40% and 50% of field capacity, respectively). Until 4 to 5 leaf stage (seedling establishment stage) irrigations carried out after depletion of 30% field capacity in all treatments and after this stage irrigation treatments were applied. A split plot arrangement in Randomized Complete Block Design with three replication was used for each experiment. In each experiment three nitrogen levels ($N_1=140$, $N_2=180$ and $N_3=220$ Kg N ha⁻¹) were applied in main plots and three plant densities ($D_1=6$, $D_2=7.5$ and $D_3=9$ plants m⁻²) were assigned to sub-plots. Results of combined analysis of variance indicated that the effect of moisture stress, nitrogen and plant densities on grain and biological yield was significant. The maximum grain yield (1050.2 gm⁻²) was harvested from optimum irrigation (I_1). Severe moisture stress decreased the grain yield by 35% in comparison with optimum irrigation. This reduction was mainly due to reduction of grain number per ear and 1000 kernel weight. Grain yield increased with increasing nitrogen application. The yield difference between nitrogen levels was mainly due to positive effect of nitrogen on grain number per ear. The response of grain yield to increase in plant densities was positive. All yield components except number of rows per ear were sensitive to plant densities. Harvest index decreased as severity of moisture stress and plant densities increased, but there was no significant difference between different levels of nitrogen. Decreasing irrigation intervals increased economic and biological water use efficiency. The highest means of economic (1.71 kgm⁻³) and biological (3.28 kgm⁻³) water use efficiency, belonged to optimum irrigation. Increasing nitrogen application increased economic and biological water use efficiency. The response of these efficiencies to plant densities was also positive. Results of this study, suggest that; in order to increase input use efficiency and decrease the costs, nitrogen consumption rate, plant densities and available water in soil should be proportionated. Under moisture stress conditions, reduction in input levels, not only decreases the costs, but also increases the efficiency of resources used.

Key words: Maize, Moisture stress, Nitrogen, Plant density, Water use efficiency.

Received: July 2006

- 1- Ph.D. Student and Faculty member of Ahvaz Islamic Azad University, Ahvaz, Iran (Corresponding author).
- 2- Assistant Professor, Safiabad Agricultural Research Center, Dezful, Iran.
- 3- Professor, Agriculture and Natural Resources Sciences University of Khuzestan, Ahvaz, Iran.
- 4- Assistant Professor, Faculty of Agriculture, University of Shahid Chamran, Ahvaz, Iran.
- 5- Professor, Department of Agronomy, Sciences and Research Unit, Islamic Azad University, Tehran, Iran.