نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۳ شماره ۲ / تابستان ۱۴۰۲/ صفحات ۱۰۳-۸۵

Combined effect of Irrigation Regimes and Nitrogen Levels on Yield, Radiation and Nitrogen Use Efficiencies in Maize

Nasrin Heidari[1], Yaser Alizadeh[2*], Hamzeali Alizadeh[3]

Received: 21 January 2022 Accepted: 09 August 2022
1-Graduated Master of Agronomy, University of Ilam, Iran.
2-Assist. Prof., Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Ilam, Iran.
3-Assist. Prof., Faculty of agriculture, Dept. of Irrigation and Drainage Engineering, Faculty of Agriculture, University of Ilam, Iran.
*Corresponding Author Email: y.alizadeh@ilam.ac.ir, yaseralizade5@gmail.com

Abstract

Background & Objective: The aims of this study was to investigate the radiation and nitrogen use efficiency at different irrigation regime and nitrogen rate in Ilam climatic condition.

Material & Methods: The experiment was conducted as a split-plot based on randomized complete block design with three replications in Agronomy Research Farm of Ilam University. The experimental factors included 3 irrigation regime (100, 80, and 60 percent of field capacity) and nitrogen rate at three levels (0, 100 and 150 $kg.ha^{-1}$).

Results: The highest grain and biological yield were obtained with 5275 and 17209 $kg.ha^{-1}$ in I_{100} N_{150} treatment, respectively. Radiation use efficiency of Maize was affected by irrigation regime and nitrogen rate. Radiation use efficiency was in the range of 1.97 ($I_{60}N_0$ treatment) to 2.66 $g.MJ^{-1}$ (I_{100} N_{150} treatment). The highest and lowest of radiation absorbed were obtained in I100 N150 and $I_{60}N_0$ respectively. The highest of nitrogen use efficiency of agronomic (47.5 $kg.kg^{-1}$) and uptake (1.6 $kg.kg^{-1}$) were observed in $I_{100}N_0$ treatment and the highest of nitrogen use efficiency of physiologic was obtained $I_{80}N_0$. Nitrogen uptake in harvested biomass increased with additional N fertilizer application. The nitrogen uptake increased from ~65 $kg.ha^{-1}$ at $I_{60}N_0$ treatment to ~280 $kg.ha^{-1}$ for $I_{100}N_{150}$ treatments.

Conclusion: In this study, an inverse relationship was observed between radiation use efficiency and agronomic nitrogen use efficiency. The results of the experiment showed that the application of higher nitrogen rate was not the appropriate strategy for compensating for the reduced grain yield under low irrigation.

Keywords: Drought Stress, LAI, Nitrogen Efficiency, Radiation Absorbed, Sustainable Resource Management

CC BY NC

DOI: 10.22034/saps.2022.50174.2822

اثرات توأم رژیم آبیاری و سطوح نیتروژن بر عملکرد و کارایی استفاده از نور و نیتروژن در ذرت

نسرین حیدری[۱]، یاسر علی‌زاده[۲*]، حمزه علی علیزاده[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۵/۱۸
۱-دانش آموخته مقطع کارشناسی ارشد زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام
۲-استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام.
۳-استادیار گروه علوم مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام
*مسئول مکاتبه: E-mail: y.alizadeh@ilam.ac.ir, yaseralizade5@gmail.com

چکیده

هدف: این مطالعه به منظور بررسی اثر رژیم های مختلف آبیاری و میزان مصرف نیتروژن بر کارایی مصرف نور و نیتروژن و رابطه آن‌ها در شرایط آب و هوایی ایلام انجام شد.

مواد و روش: آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه ایلام اجرا شد. آبیاری بعنوان عامل اصلی در سه سطح (I_{100}=۱۰۰، I_{80}=۸۰ و I_{60}=۶۰ درصد نیاز آبی گیاه)، و کود نیتروژن بعنوان عامل فرعی در سه سطح (N_0=۰، N_{100}=۱۰۰ و N_{150}=۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) بود.

یافته‌ها: بالاترین میزان عملکرد دانه و زیستی به ترتیب با ۵۲۷۵ و ۱۷۲۰۹ کیلوگرم در هکتار در تیمار I_{100} N_{150} بدست آمد. پایین ترین میزان عملکرد دانه (۱۸۸۳ کیلوگرم در هکتار) و زیستی (۷۹۴۸ کیلوگرم در هکتار) در تیمار $I_{60}N_0$ مشاهده شد. کارایی مصرف نور گیاه ذرت، تحت تاثیر تیمارهای مختلف آبیاری و نیتروژن قرار گرفت و بین ۱/۹۷ (تیمار $I_{60}N_0$) تا ۲/۶۶ گرم بر مگاژول (تیمار I_{100} N_{150}) متغییر بود. بالاترین میزان جذب تشعشع (۱۲۶۱ مگاژول بر متر مربع) در تیمار I_{100} N_{150} بدست آمد و کمترین میزان جذب تشعشع (۷۴۰ مگاژول بر متر مربع) در تیمار $I_{60}N_0$ مشاهده شد. بیشترین کارایی زراعی(۴۷/۵) و جذب (۱/۶) نیتروژن در تیمار $I_{100}N_0$ بدست آمد و بالاترین کارایی مصرف نیتروژن (۳۰/۸۴) در تیمار $I_{80}N_0$ حاصل شد.

نتیجه‌گیری: در رژیم‌های مختلف آبیاری، رابطه بین کارایی مصرف نور و کارایی زراعی نیتروژن، یک رابطه معکوس بود. همچنین نتایج آزمایش نشان داد که استفاده از نیتروژن بیشتر، راهکار مناسبی برای بهبود عملکرد دانه در شرایط کم آبیاری نیست.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، جذب تشعشع، شاخص سطح برگ، کارایی نیتروژن، مدیریت پایدار منابع

مقدمه

پیش بینی می‌شود تقاضای جهانی برای غذا تا سال ۲۰۵۰، بیش از ۷۰ درصد افزایش یابد (تیلمن و همکاران ۲۰۱۱). با توجه به رشد سریع جمعیت در جهان به خصوص در کشورهای در حال توسعه بخش کشاورزی ناچار به افزایش میزان تولید از طریق افزایش سطح زیرکشت و افزایش میزان تولید در واحد سطح می‌باشد (الیاس و همکاران ۲۰۱۴). بنابراین یکی از راه‌های جلوگیری از گسترش زمین‌های زیرکشت و کاهش فشار به منابع طبیعی مثل جنگل‌ها و مراتع، افزایش تولید در

واحد سطح است (مولر و همکاران ۲۰۱۲). با افزایش نرخ نهاده‌های زراعی، بیشترین افزایش در کارایی تولید محصولات کشاورزی، در نیم قرن گذشته حاصل شده است (وانگ و همکاران ۲۰۱۷). با اینحال با توجه به محدودیت‌های شدید منابع و اثرات تنش‌های محیطی بر تولید، افزایش عملکرد در آینده با تمرکز بر افزایش کارایی مصرف منابع مهمی چون آب، نیتروژن و نور حاصل خواهد شد (تیلمن و همکاران ۲۰۰۲).

در شرایط بهینه خاک، دسترسی بدون محدودیت به آب و عناصر غذایی، و بدون وجود تنش‌های زیستی، گیاهان بیشترین استفاده از نور را می‌برند (رافائل و کولا ۲۰۰۵). بعبارتی در شرایط بهینه رشد و بدون محدودیت منابع، تولید ماده خشک و عملکرد گیاهان، به میزان نور جذب شده توسط کانوپی گیاه و کارایی تبدیل نور جذب شده به مواد فتوسنتزی بستگی دارد (مونتیث ۱۹۷۲ و لیو وهمکاران ۲۰۱۲). ولی عملکرد در نظام‌های تولید در بسیاری از مناطق دنیا به دلیل کمبود آب و نیتروژن (بعنوان اصلی‌ترین عوامل تعیین کننده امنیت غذایی در جهان)، محدود می‌گردد (لی و همکاران ۲۰۰۹). کمبود آب و نیتروژن، شاخص سطح برگ و سرعت فتوسنتز در گیاهان را کاهش می‌دهد و در نتیجه میزان جذب نور و کارایی استفاده از آن را در گیاه کم می‌کند، که در نهایت منجربه کاهش عملکرد می‌گردد (تکسیرا و همکاران ۲۰۱۴). تنش خشکی که اغلب با تنش گرمایی همراه است باعث کاهش سطح برگ و بسته شدن روزنه ها در گیاهان می‌شود و جز اصلی‌ترین عوامل کاهش کارایی مصرف نور(کاسینتینو و همکاران ۲۰۱۴) و کارایی مصرف نیتروژن (گونزالس و همکاران ۲۰۱۰) می‌باشد. در نظام-های فشرده، کشاورزان برای دستیابی به عملکردهای بالا، میزان مصرف نهاده‌های آب و نیتروژن را افزایش می‌دهند (تیلمن و همکاران ۲۰۰۲)، که افزایش مصرف این نهاده‌ها، کارایی مصرف منابع را کاهش داده و از طرفی آلودگی‌های زیست محیطی مانند پدیده اوترافیکاسیون، افزایش انتشار N_2O، افزایش شست و شو و بالا رفتن میزان نیترات در آب‌های زیرزمینی را بدنبال دارد (جعفری خوینی و همکاران ۲۰۲۰). بهترین سطوح مصرف آب و نیتروژن در تولید محصولات کشاورزی، مقداری است که در کنار بالاترین عملکرد، بیشترین میزان کارایی این منابع را نیز به همراه داشته باشد. برای تعیین بهترین میزان مصرف منابع، درک نحوه تولید محصول و ضرایب کارایی مصرف، در شرایط بهینه و کمبود منابع لازم است(پاپانوف و انگلز ۲۰۰۳ و کانت و همکاران ۲۰۱۱).

کارایی مصرف نور، قابلیت پیشبینی عملکرد را در شرایط مختلف محیطی میسر می‌کند (سینکلایر و ماچو ۱۹۹۹) و از طرفی میزان تشعشع رسیده به سطح پوشش گیاهان زراعی در مناطق نیمه گرمسیر (مانند ایلام)، یک موقعیت مناسب برای استفاده بهینه از آن در جهت افزایش تولید می‌باشد (آوال و همکاران ۲۰۰۶) اما عوامل مختلفی مانند آب و نیتروژن (بعنوان اصلی‌ترین عوامل کاهش عملکرد در ایران (دیهیم‌فرد و همکاران ۲۰۱۵))، میزان جذب و کارایی مصرف نور در گیاهان را به شدت تحت تاثیر قرار می‌دهد (پاتانه و کاسانتینو ۲۰۱۳). نیتروژن باعث سرعت گسترش سطح برگ گیاه و افزایش میزان جذب نور در گیاهان می‌گردد و همچنین به عنوان ترکیب اصلی رنگدانه های کلروفیل، سرعت فتوسنتز را در ذرت به حداکثر می‌رساند (ارل و دیویس ۲۰۰۳ و زاهور و همکاران ۲۰۱۰). رابطه بین غلظت نیتروژن برگ و سرعت فتوسنتز گیاه ذرت، در چند مطالعه بیان شده است (سینکلایر و ماچو ۱۹۹۹و پاپانوف و انگلز ۲۰۰۳ و جعفری خوینی و همکاران ۲۰۲۰). نیتروژن با تاثیر مستقیم بر شاخص سطح برگ و کارایی فتوسنتزی در گیاهان، بر تولید ماده خشک اثر می‌گذارد(تافته و سپاس-خواه ۲۰۱۲). کمبود نیتروژن باعث کاهش جذب وکارایی نور،کاهش رشد زایشی و در نهایت کاهش عملکرد گیاه می‌گردد (ماسیگنام و همکاران ۲۰۱۲ و شاهرخ‌نیا و سپاس‌خواه ۲۰۱۶). از طرف دیگر، مصرف زیاد نیتروژن، باعث کاهش کارایی زراعی آن شده و همچنین تأثیر نامطلوبی بر محیط زیست مانند اسیدی شدن خاک، آلودگی محیط زیست و کاهش فعالیت میکروبی خاک خواهد داشت(چن و همکاران ۲۰۱۵ و ژو و همکاران ۲۰۱۶). کاهش مصرف کود نیتروژن و بهبود کارایی استفاده از نیتروژن، برای تولید پایدار ذرت ضروری است (اسریواستاوا و همکاران ۲۰۱۸).

گیاه ذرت بدلیل پتانسیل بالای تولید و همچنین اهمیت بالا در تامین علوفه برای دام و طیور، جز غلات

مهم دنیا محسوب می‌گردد (فائو ۲۰۱۳). در ایران به دلیل نیاز صنعت طیور و دامپروری، ذرت به‌عنوان مهم‌ترین منبع تأمین پروتئین و انرژی در تغذیه دام و طیور از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بر اساس آمار فائو، سطح زیر کشت ذرت در ایران نسبت به سال‌های گذشته کاهش‌یافته است(فائو ۲۰۱۶). یکی از دلایل اصلی کاهش سطح زیرکشت ذرت، محدودیت منابع آبی در کشور می-باشد (احسانی و خالدی ۲۰۰۳). در شرایط رشد بدون محدودیت، گیاه ذرت به دلیل مسیر فتوسنتزی چهارکربنه، تولید بیومس بالاتری نسبت به غلات سه کربنه مانند گندم دارد که باعث افزایش کارایی مصرف نور و نیتروژن در این گیاه می شود (تکسیرا و همکاران ۲۰۱۴ و جعفری خوینی و همکاران ۲۰۲۰). از آنجایی که رابطه مستقیم و قوی بین میزان افزایش ماده خشک و کارایی مصرف نور وجود دارد، بنابراین در شرایط عدم محدودیت آب، افزایش نیتروژن، کارایی مصرف نور را افزایش می‌دهد (کاستینو و همکاران ۲۰۱۶) اما در شرایط کمبود آب، اطلاعات کمتری در زمینه اثر نیتروژن بر کارایی مصرف نور و نیتروژن وجود دارد. هدف از این مطالعه بررسی اثر رژیم‌های مختلف آبیاری و سطوح مختلف نیتروژن بر عملکرد، کارایی مصرف نور و نیتروژن در گیاه ذرت بوده و در نهایت سعی گردید تا رابطه بین کارایی مصرف نور و نیتروژن در شرایط بهینه و محدودیت آب و نیتروژن، در گیاه ذرت ارزیابی شود.

مواد و روش

مشخصات آزمایش

به منظور بررسی اثر رژیم‌های مختلف آبیاری و سطوح مختلف کود نیتروژن بر کارایی مصرف نور و نیتروژن گیاه ذرت، آزمایشی در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام با طول جغرافیایی ۴۶ درجه و۲۸دقیقه و عرض جغرافیایی۳۳ درجه و۳۷ دقیقه و با ارتفاع ۱۱۷۴ متر از سطح دریا در سال ۱۳۹۶-۹۷ انجام گردید. آب و هوای منطقه بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی آمبرژه، معتدل و نیمه مرطوب می‌باشد. آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی، با سه تکرار و ۹ تیمار اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل آبیاری بعنوان عامل اصلی در سه سطح (I_{100}=۱۰۰، I_{80}=۸۰ و I_{60}=۶۰ درصد نیاز آبی گیاه) و کود نیتروژن از منبع اوره در سه سطح (N_0=۰، N_{100}=۱۰۰ و N_{150}=۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) بعنوان عامل فرعی در نظر گرفته شد.

آماده‌سازی زمین و نهاده‌های مصرفی

زمین محل اجرای آزمایش در اوایل فروردین‌ماه شخم‌خورده و در اواسط اردیبهشت‌ماه عملیات آماده‌سازی تکمیلی، شامل دیسک، تسطیح و کرت بندی انجام شد. در تاریخ۲۳ اردیبهشت، در کرت‌هایی به ابعاد ۳×۴ متر کاشت بذرها بافاصله خطوط ۷۵ سانتی‌متری انجام گرفت. رقم مورد آزمایش هیبرید متوسط رس SC604 بود. در هر کرت چهار خط کشت ایجاد شد. کشت به‌صورت کپه‌ای (سه بذر در هر کپه) بافاصله۲۰ سانتی‌متراز هم روی خطوط کشت انجام شد. پس از استقرار کامل گیاهچه بوته‌های اضافی حذف شدند و مزرعه به تراکم ۷ بوته در مترمربع رسید. با توجه به نتایج آزمون خاک (جدول ۱) میزان ۱۰۰کیلوگرم در هکتار کود فسفر از منبع فسفات آمونیوم بصورت پایه قبل از کاشت استفاده شد.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

بافت خاک	اسیدیته خاک	هدایت الکتریکی ($dS.m^{-1}$)	ماده آلی (٪)	نیتروژن کل (٪)	پتاسیم ($mg.kg^{-1}$)	فسفر ($mg.kg^{-1}$)
لومی رسی شنی	۷/۲۵	۲/۵۶	۱/۱	۰/۰۱۷	۳۹۳	۱۰

کاربرد نیتروژن از منبع کود اوره با ماده موثره ۴۶٪ بر اساس تیمارهای نیتروژن، در دو نوبت، ۵۰ درصد زمان کشت و ۵۰ درصد باقی‌مانده بصورت سرک در مرحله پنج‌تا شش برگی شدن گیاه، به‌صورت نواری اضافه شد. آبیاری کرت‌ها با استفاده از نوارهای آبیاری(نوارهای تیپ) صورت گرفت. میزان آب ورودی به هر کرت با استفاده از کنتور اندازه‌گیری و تعیین شد. تا زمان استقرار کامل گیاهچه‌ها تمامی کرت‌ها به میزان برابری آب دریافت کردند. از مرحله پنج تا شش برگی گیاه ذرت تا زمان برداشت، تیمارهای آبیاری اعمال شدند. به منظور اعمال تیمارهای آبیاری، قبل و بعد از هر آبیاری، نمونه خاک‌هایی از عمق ۲۰ سانتی‌متری از هر کرت برداشت‌شده و میزان رطوبت وزنی محاسبه گردید. حجم آب آبیاری برای هر تیمار، بر اساس درصد نیاز آبی گیاه، به روش ظرفیت مزرعه از **رابطه** ۱ محاسبه شد.

$$\mathbf{V}=\frac{(\mathbf{Fc}-\boldsymbol{\theta}\mathbf{m})\times\mathbf{pb}\times\mathbf{Droot}\times\mathbf{A}}{\mathbf{Ei}} \quad \text{(رابطه۱)}$$

در **رابطه** ۱، V: حجم آب آبیاری(m^3)، Fc: درصد رطوبت وزنی در حد ظرفیت مزرعه، θ_m : درصد رطوبت وزنی قبل از آبیاری، Pb : وزن مخصوص ظاهری خاک(g/cm^3)، D_{root}: عمق توسعه ریشه (m)، A: مساحت آبیاری شده (m^2) و E_i: راندمان آبیاری(درصد) می‌باشد.

نمونه برداری

نمونه‌برداری از ۱۵ روز پس از سبز شدن تا زمان برداشت هر دو هفته یک‌بار (شش مرحله) به منظور اندازه‌گیری سطح برگ و وزن خشک، در تیمارهای مختلف انجام شد. در مرحله برداشت پس از حذف اثر حاشیه، از نیمه دست نخورده هر کرت آزمایشی، برداشت انجام گردید و پس از انتقال به آزمایشگاه، عملکرد دانه و عملکرد زیستی[1] ذرت اندازه‌گیری شده و شاخص برداشت ذرت نیز بر اساس رابطه ۲ محاسبه گردید. برای اندازه‌گیری سطح برگ، از دستگاه سطح برگ سنج (مدل LICOR-3100C) استفاده شد و جهت اندازه‌گیری وزن خشک، نمونه‌ها در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت قرارگرفتند. پس از خشک شدن نمونه‌ها وزن آن‌ها توسط ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱اندازه‌گیری شد.

$$HI=\frac{GY}{BY}\times 100 \quad \text{رابطه(۲)}$$

در **رابطه** ۲، GY و BY به ترتیب عملکرد دانه و عملکرد زیستی گیاه ذرت می‌باشد

محاسبات بخش نور

کارایی مصرف نور به میزان تولید ماده خشک به ازای هر واحد از انرژی تشعشعی رسیده به سطح پوشش گیاه گفته می‌شود (مونتیث ۱۹۷۲). وجود رابطه خطی بین ماده خشک تولیدی و تشعشع تجمعی در بسیاری از گیاهان زراعی مشخص شده است (یولا و همکاران ۲۰۱۹ و سینکلایر و ماچو ۱۹۹۲). شیب خط رگرسیونی بین این دو متغیر، مقدار کارایی مصرف نور را نشان می‌دهد (لیو و همکاران ۲۰۱۲).

برای محاسبه کارایی مصرف نور، میزان شاخص سطح برگ روزانه و همچنین تشعشع جذب شده روزانه برآورد شد. بدین منظور مقادیر شاخص سطح برگ روزانه با برازش تابع لجستیک پیک (**رابطه** ۳) به مقایر LAI اندازه‌گیری شده (Y) تعیین گردید (تسوبو و همکاران ۲۰۰۵).

$$y = a + b \times 4 \times (\exp(-(x-c)/d))/(1+\exp(-(x-c)/d))^2 \quad \textbf{رابطه (۳)}$$

در رابطه ۳، a: عرض از مبدا، b: زمان رسیدن به حداکثر LAI، c: حداکثر LAI و d: نقطه عطف منحنی که در آن رشد سطح برگ وارد مرحله خطی می‌شود.

میزان تشعشع خورشیدی روزانه بر اساس تعداد ساعات آفتابی استخراج شده از داده‌های ایستگاه هواشناسی کشاورزی ایلام، به روش گودریان و وانلار (۱۹۹۳) محاسبه شد و تشعشع جذب شده روزانه بر اساس **رابطه** ۴ بدست آمد.

[1]- Biological yield

$$I_{abs} = I_0 \times (1 - P) \times (1 - \exp(-K \times LAI)) \quad \text{رابطه (۴)}$$

در رابطه ۴، Iabs: نور جذب شده توسط کانوپی (مگاژول بر مترمربع)، I0: نور رسیده به بالای کانوپی (مگاژول بر مترمربع)، P: ضریب انعکاس که ۰/۰۶ منظور شد، K: ضریب خاموشی گیاه ذرت که ۰/۷ در نظر گرفته شد و LAI: شاخص سطح برگ است.

محاسبه بخش نیتروژن

برای محاسبه کارایی مصرف نیتروژن، علاوه بر کود مصرفی، میزان نیتروژن موجود در خاک نیز در نظر گرفته شد. که برای این منظور عمق خاک حاصلخیز

رابطه (۵)

کارایی جذب (بازیافت) نیتروژن (NRE[۲]) :

رابطه (۶)

کارایی مصرف نیتروژن (کارایی فیزیولوژیک) (NUE[۳]):

رابطه (۷)

شاخص برداشت نیتروژن (NHI[۴]):

رابطه (۸)

در معادلات ۵-۸، Y، عملکرد دانه ذرت، N_s و N_f به ترتیب نشان دهنده میزان نیتروژن موجود در خاک و نیتروژن مصرفی، Nu، نشاندهنده کل نیتروژن جذب شده در گیاه ذرت (نیتروژن جذب شده در کل زیست توده سرپا اعم از بذر و کاه و کلش) و Y_n، نیتروژن جذب شده در بذر ذرت می‌باشد

تجزیه و تحلیل داده‌ها

برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم افزار Minitab. Ver 16 استفاده شده و مقایسه میانگین آماری با استفاده

برای ذرت، ۳۰ سانتیمتر در نظر گرفته شد و با توجه به درصد نیتروژن و وزن مخصوص ظاهری خاک (جدول۱) میزان نیتروژن در هکتار محاسبه شد. میزان نیتروژن جذب شده توسط گیاه ذرت نیز از ضرب ماده خشک گیاه در درصد نیتروژن بخش‌های مختلف گیاه (دانه و شاخساره) بدست آمد و میزان کل نیتروژن جذب شده در گیاه از مجموع نیتروژن دانه و شاخساره بدست آمد. در پایان جنبه های مختلف کارایی نیتروژن با استفاده از معادلات ۵تا۸ محاسبه گردید.کارایی زراعی استفاده از نیتروژن (ANUE[۱]):

$$ANUE = \frac{Y}{N_s+N_f}$$

$$NRE = \frac{N_u}{N_s+N_f}$$

$$NUE = \frac{Y}{N_u}$$

$$\boldsymbol{NHI = \frac{Y_n}{N_u}}$$

از آزمون حداقل اختلاف معنی دار (LSD) در سطح احتمال ۵٪ انجام شد. رسم شکل‌ها در محیط نرم افزار EXCEL انجام گرفت.

نتایج و بحث

عملکرد زیستی، دانه و شاخص برداشت

نتایج تجزیه واریانس داده ها نشان داد که اثر نیتروژن، آب و اثر متقابل این دو بر تمامی خصوصیات عملکرد دانه، عملکرد زیستی، شاخص برداشت و حداکثر شاخص سطح برگ[۵] در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود (جدول۲).

1- Agronomic Nitrogen Use Efficiency
2- Nitrogen Recovery Efficiency
3- Nitrogen Utilization Efficiency
4- Nitrogen Harvest Index
5- Maximum leaf area index (LAI_{max})

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر تیمارهای آب و نیتروژن بر عملکرد زیستی و دانه، شاخص برداشت و حداکثر شاخص سطح برگ گیاه ذرت

منابع تغییر	درجه آزادی	حداکثر شاخص سطح برگ	عملکرد زیستی	عملکرد دانه	شاخص برداشت
بلوک	۲	۰/۰۳۲ **	۱۱۵۴۴۴۸**	۴۳۷۶۰۱**	۰/۸۱**
آبیاری	۲	۲/۳**	۷۵۵۳۵۴۳۴**	۱۴۲۹۲۶۳۰.**	۰/۹۵**
اشتباه a	۴	۰/۰۸	۴۳۱	۳۲۱	۰/۰۵
نیتروژن	۲	۱/۴**	۳۶۹۰۳۴۸۶**	۱۸۱۶۴۴۶**	۰/۲**
نیتروژن× آب	۴	۰/۹**	۴۸۰۴۲۸۱**	۵۳۴۸۵۱**	۰/۱**
اشتباه b	۱۲	۰/۰۳	۲۴۲	۱۲۵	۰/۰۰۱
ضریب تغییرات (٪)	-	۱۳/۵	۱۶/۲۰	۱۴/۹۰	۱۱/۱۶

ns،*، ** به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد می باشد.

بالاترین میزان عملکرد دانه و زیستی به ترتیب با ۵۲۷۵ و ۱۷۲۰۹ کیلوگرم در هکتار در تیمار $I_{100}N_{150}$ بدست آمد. پایین ترین میزان عملکرد دانه (۱۸۸۳ کیلوگرم در هکتار) و زیستی (۷۹۴۸ کیلوگرم در هکتار) در تیمار $I_{60}N_0$ مشاهده شد (جدول ۳). در هر رژیم آبیاری، افزایش مصرف نیتروژن تا حدودی باعث افزایش عملکرد دانه و زیستی در ذرت شد، اما میزان افزایش متفاوت بود. بطوریکه در آبیاری ۱۰۰٪، بین هر سه سطح نیتروژن از نظر عملکرد دانه ذرت تفاوت معنی‌دار وجود
داشت، اما تفاوت عملکرد دانه در رژیم آبیاری ۸۰٪، بین سطوح ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن مشاهده نشد و در رژیم آبیاری ۶۰٪، تفاوت معنی‌داری از نظر عملکرد دانه، بین سطوح مصرف و عدم مصرف نیتروژن مشاهده نگردید. برخلاف عملکرد دانه، عملکرد زیستی بطور کل در هر رژیم آبیاری، با افزایش مصرف نیتروژن، افزایش معنی‌داری نشان داد(جدول ۳). بالاترین میزان شاخص برداشت (۳۲٪) در تیمار $I_{100}N_{100}$ مشاهده شد. کاهش میزان آب مصرفی، شاخص برداشت در گیاه ذرت را کاهش داد بطوریکه کم‌ترین شاخص برداشت (۲۲٪) در تیمار آبیاری ۶۰٪ مشاهده شد. در هر رژیم آبیاری، بالاترین شاخص برداشت، در مصرف ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار حاصل شد (جدول۳). اگرچه اثر کود شیمیایی نیتروژن بر خصوصیات عملکردی گیاه ذرت در شرایط آبیاری کامل، بزرگتر بود، اما در شرایط کمبود آب نیز باعث افزایش عملکرد و شاخص برداشت در ذرت شد (لیانگ و همکاران ۲۰۲۰). یکی از دلایل کاهش رشد گیاه ذرت در تنش خشکی، کاهش حلالیت و جذب نیتروژن بوده و افزایش نیتروژن در خاک در شرایط تنش خشکی، تا حدودی بهبود رشد گیاه را بدنبال دارد (لی و همکاران ۲۰۲۰). در این آزمایش، افزایش مصرف نیتروژن باعث بهبود رشد گیاه ذرت و افزایش بیوماس کل در تمامی تیمارهای آبی گردید اما با کاهش مصرف آب، اثرات مثبت نیتروژن کمتر شده بطوریکه در رژیم آبیاری ۶۰٪، تفاوتی از نظر عملکرد دانه بین سطوح مختلف نیتروژن مشاهده نگردید که این نتیجه با نتایج برخی محققین نیز مطابقت دارد (گونزالس و همکاران ۲۰۱۰ و لی و همکاران ۲۰۲۰ و ۲۰۰۹).

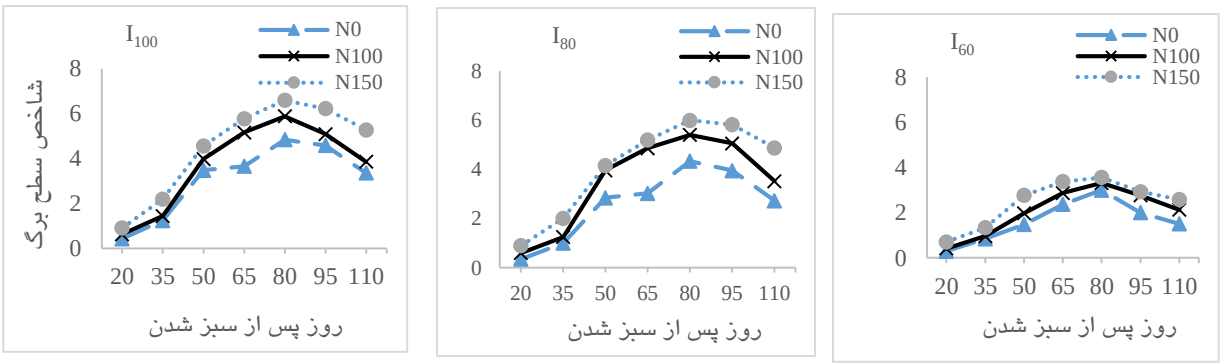
شاخص سطح برگ

بالاترین شاخص سطح برگ (۶/۵) در تیمار $I_{100}N_{150}$ بدست آمد و کمترین شاخص سطح برگ (۳) در تیمار $I_{60}N_0$ مشاهده شد (جدول ۳ و شکل ۱). کاهش آبیاری و نیتروژن، شاخص سطح برگ ذرت را کاهش داد. همچنین تیمارهای تحت تنش خشکی و کمبود نیتروژن، بعد از رسیدن به نهایت سطح برگ با سرعت بیشتری سطح برگ خود را از دست داده و در اصطلاح نرخ نگهداری سطح برگ در آنها پایین تر بود. در هر رژیم آبیاری، شاخص سطح برگ، تحت تاثیر نیتروژن افزایش یافت. نتایج بدست آمده در این آزمایش با گزارشات محققان دیگر در گیاه ذرت نیز مطابقت دارد (تکسیرا و همکاران ۲۰۱۴ لی و همکاران ۲۰۲۰ لیانگ و همکاران ۲۰۲۰).

جدول۳. مقایسه میانگین برهمکنش آبیاری و نیتروژن بر عملکرد زیستی، عملکرد دانه، شاخص برداشت و حداکثر شاخص سطح برگ در گیاه ذرت

رژیم آبیاری (درصد نیاز آبی)	سطوح نیتروژن ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد زیستی ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد دانه ($kg.ha^{-1}$)	شاخص برداشت (٪)	حداکثر شاخص سطح برگ
	۰	۱۰۷۴۰/۷e	۳۳۲۵/۲d	۳۰/۷۵b	۴/۸c
٪۱۰۰	۱۰۰	۱۴۸۱۰/۲b	۴۷۴۳/۳b	۳۲/۰۳a	۵/۹ab
	۱۵۰	۱۷۲۰۹/۲a	۵۲۷۵/۰a	۳۰/۶۵b	۶/۵a
	۰	۹۸۹۱/۸f	۳۰۲۳/۳e	۳۰/۵۲b	۴/۳cd
٪۸۰	۱۰۰	۱۲۱۰۹/۲d	۳۸۷۳/۳c	۳۱/۹۹a	۵/۵b
	۱۵۰	۱۴۳۸۴/۲c	۴۱۹۸/۳c	۲۹/۱۳c	۶/۰ab
	۰	۷۹۴۸/۳i	۱۸۸۳/۳f	۲۳/۷۲de	۳/۰e
٪۶۰	۱۰۰	۸۵۸۵/۸h	۲۰۵۰/۱f	۲۳/۸۰d	۳/۳e
	۱۵۰	۹۲۵۸/۳g	۲۱۰۵/۸f	22.74e	۳/۵de

میانگین‌هایی (± خطای استاندارد) که در هر ستون حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح ٪۵ می‌باشند

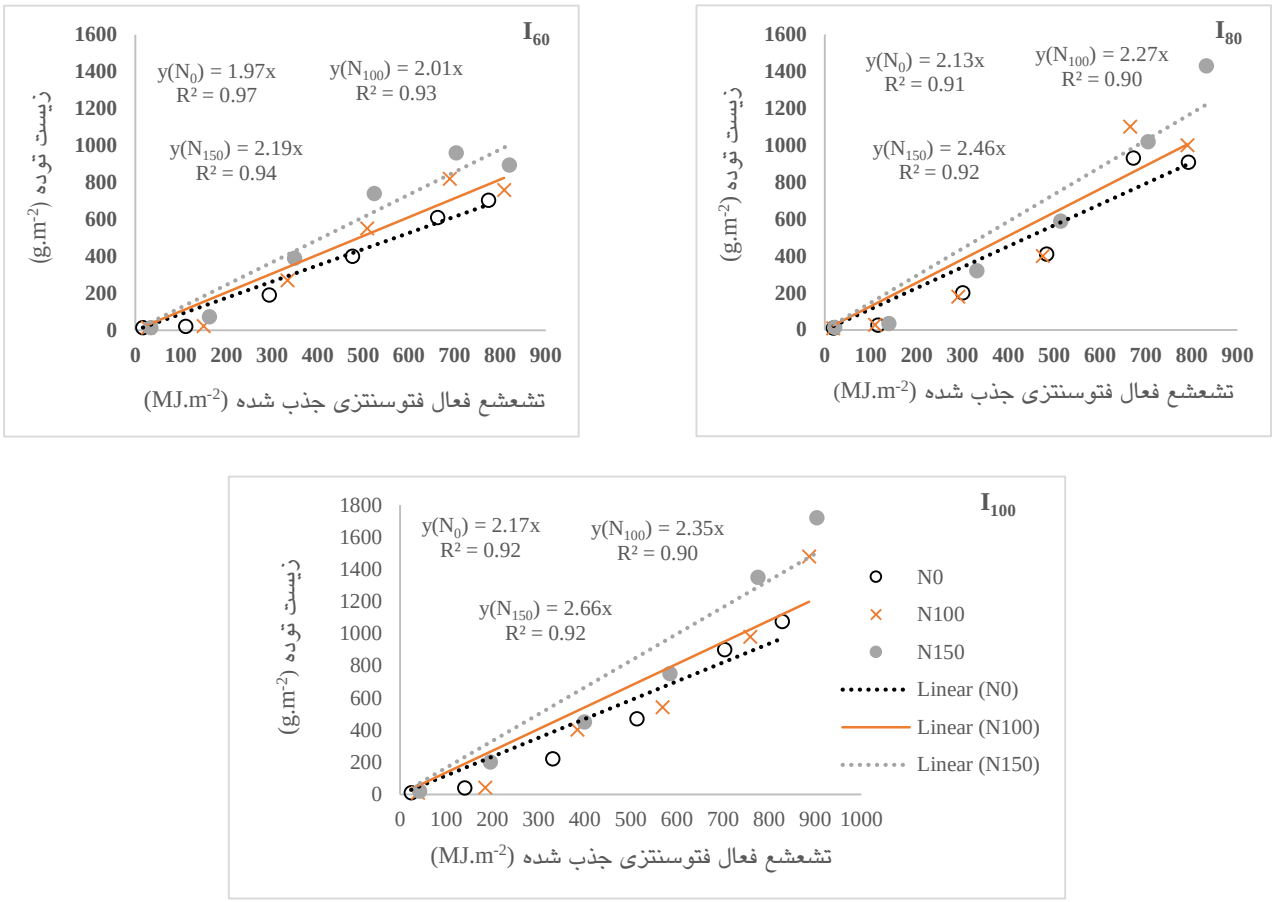


شکل۱- شاخص سطح برگ(LAI) گیاه ذرت تحت تاثیر سطوح آبیاری و نیتروژن.

I_{100}، I_{80}و I_{60} به ترتیب آبیاری ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه و N_0،N_{100} و N_{150} نشاندهنده کاربرد ۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار می‌باشد.

کارایی مصرف نور

نتایج آزمایش نشان داد که در تمام تیمارها، تجمع مادهٔ خشک گیاه ذرت، ارتباط خطی با تشعشع فعال فتوسنتزی (PAR) تجمعی داشت و در همه موارد ضریب تبیین بالاتر از ۰/۹ بدست آمد (شکل ۲). شیب رابطه بین مجموع تشعشع فعال فتوسنتزی جذب شده و وزن خشک گیاه، بیانگر کارایی مصرف نور می‌باشد. در این آزمایش کارایی مصرف نور گیاه ذرت تحت تاثیر تیمارهای مختلف آبیاری و نیتروژن قرار گرفت و بین ۱/۹۷ (تیمار $I_{60}N_0$) تا ۲/۶۶ گرم بر مگاژول (تیمار I_{100} N_{150}) متغییر بود.کارایی مصرف نور گیاه ذرت، فقط در شرایط بدون مصرف نیتروژن و تنش شدید خشکی کمتر از ۲ شد و در تمامی تیمارها بالاتر از ۲ بود (جدول ۴). در تمامی رژیم‌های آبیاری، مصرف نیتروژن باعث افزایش میزان کارایی مصرف نور شد در شرایط تنش ملایم اگرچه میزان کارایی مصرف نور نسبت به آبیاری کامل کاهش یافت اما کاهش از نظر آماری معنی‌دار نشد (جدول ۴).



شکل۲- رابطه بین مجموع تشعشع فعال فتوسنتزی جذب شده و وزن خشک گیاه ذرت تحت تاثیر سطوح آبیاری و نیتروژن. I_{100}، I_{80}و I_{60} به ترتیب آبیاری ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه و N_0،N_{100} و N_{150} نشاندهنده کاربرد ۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار می‌باشد.

جدول ۴. کارایی مصرف نور ذرت ($g.DM.MJ^{-1}$) تحت تاثیر سطوح مختلف آبیاری و نیتروژن

رژیم آبیاری (درصد نیاز آبی)	سطوح نیتروژن ($kg.ha^{-1}$)		
	۰	۱۰۰	۱۵۰
٪۱۰۰	۲/۱۷±۰/۲۱cd	۲/۳۵±۰/۲۲b	۲/۶۶±۰/۲۵a
٪۸۰	۲/۱۳±۰/۲۰cd	۲/۲۷±۰/۲۲bc	۲/۴۶±۰/۲۳ab
٪۶۰	۱/۹۷±۰/۱۸d	۲/۰۱±۰/۲۱cd	۲/۱۹±۰/۲۱cd

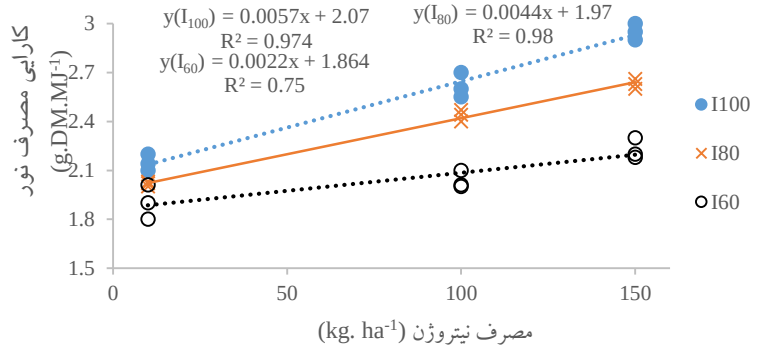
میانگین‌هایی (± خطای استاندارد) که در جدول (ستون و ردیف) حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح ٪۵ می‌باشند

افزایش مصرف نیتروژن باعث افزایش کارایی مصرف نور در گیاه ذرت گردید و این بصورت یک رابطه خطی بود(شکل ۳). اثر نیتروژن بر کارایی مصرف نور در گیاه ذرت، در شرایط کم آبیاری، کاهش یافت (کاهش شیب خط با کاهش مصرف آب) اما همچنان روند خطی و مثبت آن در شرایط کم‌آبی نیز مشاهده شد (شکل ۳).

بعبارت دیگر نتایج این آزمایش نشان داد در صورت کاهش میزان مصرف آب، استفاده از کود شیمیایی نیتروژن به دلیل افزایش دسترسی گیاه به نیتروژن، میزان کارایی مصرف نور را در گیاه ذرت افزایش داد، اما اثر مثبت نیتروژن بر کارایی مصرف نور در شرایط

آبیاری مطلوب، بزرگتر بود و در شرایط کم‌آبیاری، کاهش یافت (جدول۴).

میزان کارایی مصرف نور ذرت در این آزمایش با گزارشات برخی محققین مطابقت داشت (ارل و دیویس ۲۰۰۳ و تکسیرا و همکاران ۲۰۱۴) و همچنین با نتایج گزارش شده توسط برخی محققین نیز متفاوت بود (آوال و همکاران ۲۰۰۶ و وانگ و همکاران ۲۰۱۷). به نظر میرسد یکی از دلایل تفاوت در محاسبه کارایی مصرف نور گیاه ذرت در مطالعات مختلف، تخمین تشعشع فعال فتوسنتزی باشد. در این مطالعه میزان تشعشع فعال فتوسنتزی، ۵۰٪ تشعشع کل در نظر گرفته شد اما در برخی مطالعات، آن را ۴۵٪ نیز در نظر میگیرند که باعث بزرگتر شدن کارایی مصرف نور می‌گردد (ارل و دیویس ۲۰۰۳). بسیاری از عوامل مانند رقم (وستیگیت ۱۹۹۶)، تراکم (لیو و همکاران ۲۰۱۲) ، میزان آب در دسترس گیاه(جعفری خوینی و همکاران ۲۰۲۰)، میزان کود مصرفی (فلچر و همکاران ۲۰۰۸) و دمای شبانه (ماجور و همکاران ۱۹۹۱)، بر کارایی مصرف نور ذرت اثر دارد. کم‌آبی باعث بسته شدن روزنه گیاهان شده و سرعت فتوسنتز را در گیاهان کاهش می‌دهد، و از طرفی میزان شاخص سطح برگ در شرایط کم‌آبی کاهش می‌یابد که دو دلیل عمده کاهش کارایی مصرف نور در این شرایط می‌باشد (کاسینتینو و همکاران ۲۰۱۴). رابطه خطی بین افزایش غلظت نیتروژن گیاه و کارایی مصرف نور در ذرت توسط محققین دیگری نیز گزارش شده است (فلچر و همکاران ۲۰۰۸ و جعفری خوینی و همکاران ۲۰۲۰). در گزارشات مختلف بیان شده است که در هر رژیم آبیاری، محدودیت دسترسی به نیتروژن تا ۴۰٪ کارایی مصرف نور در ذرت را کاهش داد (تکسیرا و همکاران ۲۰۱۴ و ماسیگنام و همکاران ۲۰۱۲). همچنین بیان شده است در شرایط محدودیت آب و نیتروژن، میزان بازتابش نور از کانوپی گیاه ذرت افزایش یافته و این باعث کاهش کارایی مصرف نور می‌گردد (چپر و همکاران ۱۹۹۶).



شکل۳- روند تغییرات کارایی مصرف نور گیاه ذرت در پاسخ به سطوح کود نیتروژن در رژیم‌های مختلف آبیاری.
I_{100}، I_{80} و I_{60} به ترتیب نشان‌دهنده آبیاری ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه می‌باشد.

میزان جذب نور

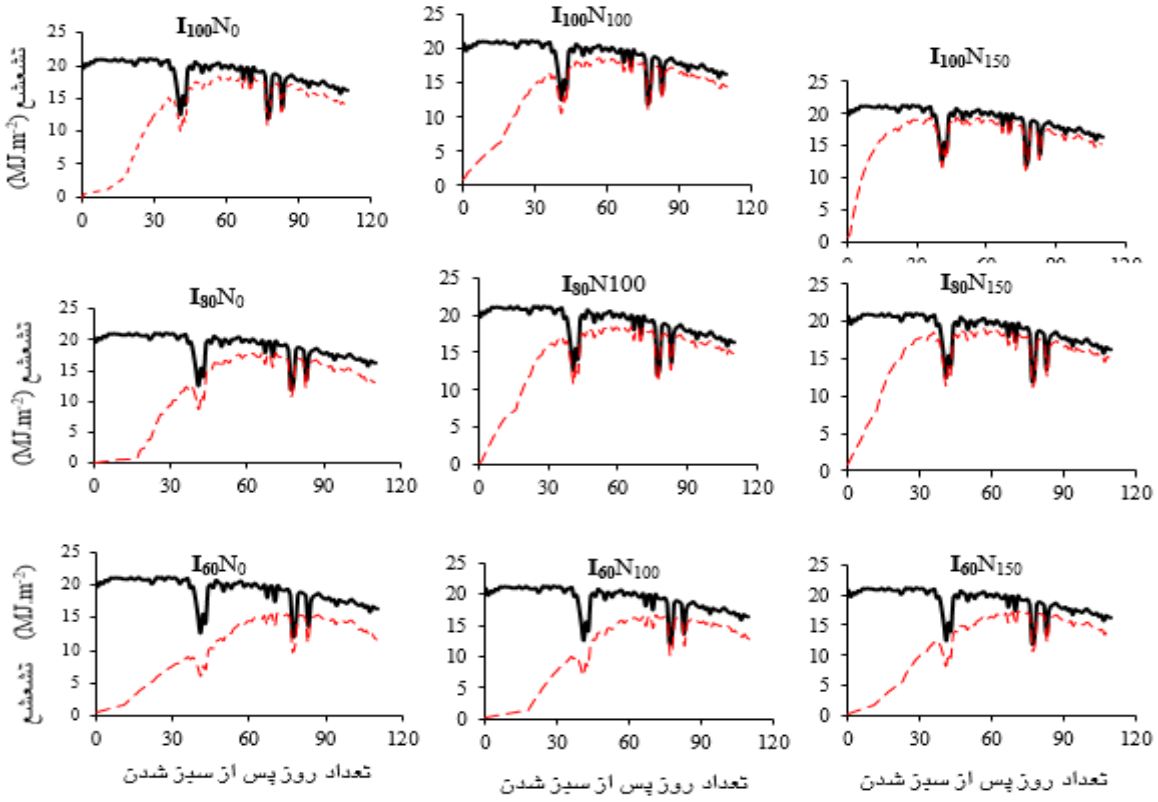
روند تغییرات کل تشعشع رسیده به سطح گیاه و میزان تشعشع جذب شده روزانه توسط کانوپی ذرت در تیمارهای مختلف آزمایش، در شکل ۴ نشان داده شده است. در ابتدای دوره رشد، میزان جذب از کل تشعشع رسیده به سطح پوشش گیاهی کم بود که دلیل آن کوچک بودن شاخص سطح برگ و باز بودن کانوپی گیاه بود. ولی با گذشت زمان و متناسب با افزایش شاخص سطح برگ، میزان جذب نور توسط کانوپی افزایش یافت و پس از رسیدن به میزان حداکثر خود، به علت کاهش سطح برگ، تا انتهای دوره رشد روند نزولی در پیش گرفت (شکل ۴). در هر سطح آبیاری، تیمارهای مصرف نیتروژن نسبت به عدم مصرف، جذب تشعشع بالاتری داشتند. همچنین مصرف نیتروژن، سرعت دستیابی گیاه به حداکثر جذب را افزایش داد. با توجه به اینکه میزان جذب نور، به میزان تشعشع رسیده به کانوپی، شاخص سطح برگ و ضریب خاموشی نور بستگی دارد و از آنجایی که در این آزمایش، ضریب خاموشی یکسان در

نظر گرفته شد، بنابراین تفاوت جذب روزانه تشعشع در تیمارهای مختلف، ناشی از تفاوت در شاخص سطح برگ آنها بود. البته تفاوت در میزان جذب نور، علاوه بر اندازه نهایی شاخص سطح برگ، به سرعت رسیدن به حداکثر شاخص سطح برگ و دوام شاخص سطح برگ در حداکثر نیز ارتباط داشت. بطور کل همانگونه که در شکل ۴ مشخص است کاهش مصرف آب و نیتروژن، میزان جذب روزانه تشعشع در ذرت را کاهش داد (شکل ۴ و جدول ۵). در شرایط آبیاری ۶۰٪ در تمامی سطوح نیتروژن، میزان جذب تشعشع روزانه کمترین بود. بالاترین میزان جذب تشعشع (۱۲۶۱ مگاژول بر متر مربع) در تیمار $I_{100}N_{150}$ بدست آمد و کمترین میزان جذب تشعشع (۷۴۰ مگاژول بر متر مربع) در تیمار $I_{60}N_0$ مشاهده شد (جدول ۵).

جدول ۵- میزان جذب تشعشع فعال فتوسنتزی تجمعی ذرت ($MJ.m^{-2}$) تحت تاثیر سطوح آبیاری و مصرف نیتروژن

رژیم آبیاری (درصد نیاز آبی)	سطوح نیتروژن ($kg.ha^{-1}$)		
	۰	۱۰۰	۱۵۰
٪۱۰۰	۹۵۰±۸۱d	۱۰۸۵±۸۶bc	۱۲۶۱±۹۵a
٪۸۰	۹۳۰±۷۴d	۱۰۰۸±۸۳c	۱۱۷۶±۹۲ab
٪۶۰	۷۴۰±۵۶f	۸۷۰±۶۷ef	۹۰۹±۷۶de

میانگین‌هایی (± خطای استاندارد) که در جدول (ستون و ردیف) حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح ۵٪ می‌باشند



شکل ۴- مجموع تشعشع روزانه کل(خط -) و جذب شده (نقطه چین- -) توسط کانوپی گیاه ذرت تحت تاثیر سطوح مختلف آبیاری و نیتروژن.

I_{100}، I_{80}و I_{60} به ترتیب آبیاری ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه و N_0،N_{100} و N_{150} نشاندهنده کاربرد ۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار می‌باشد

نتایج این آزمایش نشان داد که در شرایط آبیاری کامل، مصرف نیتروژن هم باعث افزایش میزان جذب نور تجمعی (جدول ۵) و هم افزایش جذب نور روزانه (شکل ۴) شد و هم افزایش کارایی مصرف نور را به‌دنبال داشت (شکل۲ و جدول ۴).

تحقیقات مختلف نشان داده است که کاهش جذب نور توسط پوشش گیاهی پس از گرده‌افشانی، ناشی از پیری تدریجی برگ‌های پایین و سایه‌اندازی برگ‌های بالایی می‌باشد (ورگاس و همکاران ۲۰۰۲ و فلچر و همکاران ۲۰۰۸ و پاتانه و همکاران ۲۰۱۳). کمبود نیتروژن و آب، سرعت پیر شدن برگ‌ها را افزایش داده و در نتیجه میزان جذب تشعشع در گیاه ذرت را کاهش می‌دهد (ارل و دیویس ۲۰۰۳ و آوال و همکاران ۲۰۰۶). در شرایط کمبود آب و نیتروژن، برگ‌ها سریعتر پیر شده و همچنین میزان بازتابش نور[1] از برگ‌های گیاه بیشتر می‌شود که در نتیجه این فرآیند، میزان جذب نور کاهش می‌یابد (سینکلایر و ماچو ۱۹۹۹). تا قبل از بسته شدن کانوپی گیاه ذرت (حدوداً تا ۷۰ روز پس از سبز شدن در آزمایش حاضر)، تشعشع جذب شده تجمعی، تحت تاثیر شاخص سطح برگ و طول این دوره قرار دارد (سانو و همکاران ۲۰۰۶) ولی بعد از اینکه گیاه به شاخص سطح برگ بحرانی خود می‌رسد، نوع پراکنش نور در کانوپی میزان جذب نور را تعیین می‌کند (پنگ ۲۰۰۰). نیتروژن و آب با افزایش سرعت رشد گیاه، کاهش سرعت پیری برگ، تغییر رنگ کانوپی و ممانعت از لوله ای شدن برگ ذرت، باعث افزایش جذب نور در گیاه ذرت می‌شود(یولا و همکاران ۲۰۱۹). همانند نتایج این آزمایش، در گزارش دیگری نیز آمده است که در شرایط کمبود آب، نیتروژن میزان جذب تشعشع در گیاه ذرت را افزایش داد (تکسیرا و همکاران ۲۰۱۴).

میزان جذب نیتروژن در بخش‌های مختلف گیاه ذرت

رژیم‌های آبیاری و سطوح مختلف کود نیتروژن، بر میزان تجمع نیتروژن در دانه و شاخساره ذرت تاثیر داشت، بطوریکه با افزایش میزان آبیاری، درصد و میزان نیتروژن دانه و شاخساره ذرت افزایش یافت و همین اثر با مصرف نیتروژن نیز مشاهده شد (جدول ۶).

بالاترین درصد نیتروژن دانه (۱/۴۱) و شاخساره (۱/۲۰) در تیمار $I_{100}N_{150}$ مشاهده شد و همچنین بالاترین میزان نیتروژن دانه و شاخساره هم به ترتیب با ۷۴/۱۲ و ۲۰۵/۹۴ کیلوگرم در هکتار در همین تیمار حاصل شد. در هر سطح آبیاری، کاربرد کود نیتروژن، افزایش درصد و میزان نیتروژن در شاخساره و دانه گیاه ذرت را بدنبال داشت (جدول ۶). مصرف ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار نسبت به عدم مصرف کود، در تیمار آبیاری ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰، به ترتیب باعث افزایش ۹۰، ۷۷ و ۳۲ درصد میزان نیتروژن در بیوماس کل (شاخساره+دانه) گیاه ذرت گردید. همچنین در تیمار ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار، میزان نیتروژن در بیوماس کل گیاه ذرت نسبت به عدم مصرف کود، برای آبیاری ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰، به ترتیب ۱۲۳، ۱۲۱ و ۶۶ درصد افزایش یافت. شاخص برداشت نیتروژن گیاه ذرت در هر سطح آبیاری، با افزایش مصرف نیتروژن، کاهش یافت همچنین بالاترین (۲۹) و کم‌ترین (۲۲/۸۸) شاخص برداشت نیتروژن به ترتیب در آبیاری ۸۰٪ و بدون مصرف کود و تیمار آبیاری ۶۰٪ و مصرف ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار مشاهده شد (جدول ۶).کاربرد کود نیتروژن، باعث افزایش غلظت و میزان نیتروژن در گیاه ذرت در شرایط آبیاری کم و مطلوب می‌گردد (وانگ و همکاران ۲۰۱۷). شرایط مطلوب آب در خاک، به دلیل بهبود فرآیندهای زیستی چرخه بیوشیمیایی و افزایش حرکت نیتروژن در خاک، باعث افزایش دسترسی نیتروژن برای گیاهان می‌گردد (یولا و همکاران ۲۰۱۹). اگرچه مصرف نیتروژن بیشتر، در شرایط کمبود آب باعث افزایش جذب نیتروژن در گیاه می‌شود، اما کمبود آب حتی در شرایط وجود نیتروژن در ریزوسفر، باعث کاهش جذب نیتروژن توسط گیاه می‌گردد (یولا و همکاران ۲۰۱۹). گزارش شده است که در شرایط کمبود نیتروژن و آب، غلظت نیتروژن در بیوماس گیاه بطور معنی‌دار کم می‌شود (ژو و همکاران ۲۰۱۶). همچنین همبستگی مثبت و معنی‌دار بین غلظت نیتروژن دانه ذرت با آبیاری و مصرف کود نیتروژن گزارش شده است (زاهور و همکاران ۲۰۱۰).

[1] - Reflected radiation

جدول۶- میزان جذب نیتروژن در گیاه ذرت تحت تاثیر سطوح مختلف آبیاری و مصرف نیتروژن

رژیم آبیاری (درصد نیاز آبی)	سطوح نیتروژن ($kg.ha^{-1}$)	نیتروژن دانه (%)	نیتروژن شاخساره (%)	نیتروژن دانه ($kg.ha^{-1}$)	نیتروژن شاخساره ($kg.ha^{-1}$)	شاخص برداشت نیتروژن NHI (%)
٪۱۰۰	۰	۱/۰۰	۰/۷۶	۳۳/۲۵	۸۱/۶۲	۲۸/۹۴
	۱۰۰	۱/۲۰	۱/۰۱	۵۹/۹۱	۱۵۹/۶۹	۲۷/۰۱
	۱۵۰	۱/۴۱	۱/۲۰	۷۴/۱۲	۲۰۵/۹۴	۲۶/۱۰
٪۸۰	۰	۰/۹۱	۰/۶۸	۲۷/۵۰	۶۷/۲۵	۲۹/۰۲
	۱۰۰	۱/۱۱	۰/۹۳	۴۲/۲۱	۱۲۰/۱۶	۲۷/۴۵
	۱۵۰	۱/۳۳	۱/۰۷	۵۵/۸۳	۱۵۳/۹۰	۲۶/۶۲
٪۶۰	۰	۰/۸۹	۰/۶۵	۱۶/۰۱	۴۹/۷۱	۲۴/۴۰
	۱۰۰	۱/۰۰	۰/۷۶	۲۱/۳۰	۶۵/۲۴	۲۴/۶۱
	۱۵۰	۱/۰۹	۰/۹۱	۲۵/۹۴	۸۴/۷۳	۲۲/۸۸
LSD 5%		۰/۱۸	۰/۱۶	۱۵/۴۰	۲۱/۱۷	۱/۷۵

کارایی زراعی، جذب و مصرف نیتروژن

بیشترین کارایی زراعی(۴۷/۵) و جذب (۱/۶) نیتروژن، در تیمار $I_{100}N_0$ بدست آمد و بالاترین کارایی مصرف نیتروژن، در تیمار $I_{80}N_0$ حاصل شد(جدول ۷). در هر سطح آبیاری، مصرف کود شیمیایی نیتروژن، کاهش هر سه کارایی زراعی، جذب و مصرف نیتروژن را به همراه داشت. کم‌ترین میزان کارایی زراعی (۱۰/۴۷)، جذب (۰/۴۹) و فیزیولوژیک(۱۷/۶۳) نیتروژن، در تیمار $I_{60}N_{150}$ مشاهده شد. کارایی زراعی نیتروژن با کاهش مصرف آب، کم شد. اگرچه بین دو سطح آبیاری ۸۰ و ۱۰۰ درصد تفاوت معنی‌دار نبود اما به طور معنی‌دار میزان کارایی زراعی در رژیم آبیاری ۶۰٪ کمتر از دو سطح آبیاری دیگر بود. در هر سطح نیتروژن، کاهش میزان آبیاری، بیشترین اثر منفی را بر کارایی جذب نیتروژن (نسبت به دو کارایی فیزیولوژیک و زراعی) داشت (جدول۷).

کارایی زراعی نیتروژن در شرایط محدودیت آب، ممکن است بدلیل کاهش دسترسی به نیتروژن کاهش یابد (سیمینو و همکاران ۲۰۰۷). درباره اثر آب بر کارایی زراعی نیتروژن، لازم بذکر است که حداکثر کارایی، زمانی حاصل می‌شود که میزان آبیاری به نیاز آبی گیاه نزدیک باشد بعبارتی ورودی آب بیش از نیاز گیاه و یا کمتر از نیاز گیاه، باعث کاهش کارایی زراعی نیتروژن می‌گردد (نعمت‌پور و همکاران ۲۰۲۰). از آنجاییکه کارایی زراعی نیتروژن، خود به کارایی جذب (میزان نیتروژن جذب شده از کل نیتروژن قابل جذب) و کارایی فیزیولوژیک (رابطه بین تولید عملکرد و نیتروژن جذب شده) وابسته است، در نتیجه تنش خشکی با کاهش این دو کارایی (بدلیل کاهش حلالیت و دسترسی نیتروژن و کاهش رشد و تولید گیاه)، میزان کارایی زراعی در گیاهان را کاهش می‌دهد(سیمینو و همکاران ۲۰۰۷).

کمبود آب، با برهم زدن تعادل غذایی در خاک، باعث کاهش رشد گیاهان می‌گردد. بنابراین تامین عناصر غذایی ضروری از جمله نیتروژن، یکی از راهکارهای بهبود رشد و عملکرد گیاهان در شرایط محدودیت آب است (یولا و همکاران ۲۰۱۹). یافته های این آزمایش نیز نشان داد که مصرف نیتروژن در شرایط آبیاری محدود، باعث بهبود عملکرد دانه و زیستی در ذرت گردید (جدول۳). اما با وجود افزایش عملکرد حاصل از کاربرد کود نیتروژن، کارایی زراعی، جذب و مصرف نیتروژن در ذرت کاهش یافت (جدول ۷). به نظر می‌رسد بهبود عملکرد در ذرت (صورت کسر) کمتر از میزان افزایش نیتروژن در خاک (مخرج کسر) بود، که شاید این از یک طرف به خصوصیات ژنتیکی گیاهان وابسته بوده و از

طرف دیگر شرایط مدیریتی و اقلیمی مختلف تا حدود زیادی بر آن اثرگذار باشد (وانگ و همکاران ۲۰۱۷ و نعمت‌پور و همکاران ۲۰۲۰).

جدول۷- کارایی جذب، مصرف و زراعی نیتروژن در گیاه ذرت تحت تاثیر سطوح مختلف آبیاری و مصرف نیتروژن

رژیم آبیاری (درصد نیاز آبی)	سطوح نیتروژن ($kg.ha^{-1}$)	کارایی زراعی نیتروژن ANUE ($kg.kg^{-1}$)	کارایی جذب نیتروژن NRE ($kg.kg^{-1}$)	کارایی مصرف نیتروژن NUE ($kg.kg^{-1}$)
	۰	۴۷/۵۴	۱/۶۴	۲۸/۹۴
٪۱۰۰	۱۰۰	۲۸/۴۸	۱/۲۸	۲۲/۱۳
	۱۵۰	۲۳/۹۷	۱/۲۷	۱۸/۷۷
	۰	۴۳/۱۸	۱/۳۵	۳۰/۸۴
٪۸۰	۱۰۰	۲۲/۷۸	۰/۹۶	۲۳/۴۳
	۱۵۰	۱۹/۰۸	۰/۹۵	۲۰/۴۵
	۰	۲۵/۷۵	۰/۹۳	۲۶/۴۱
٪۶۰	۱۰۰	۱۲/۵۲	۰/۵۰	۲۱/۶۱
	۱۵۰	۱۰/۴۷	۰/۴۹	۱۷/۶۳
LSD 5%		۱۰/۲۳	۰/۳۳	۲/۳۲

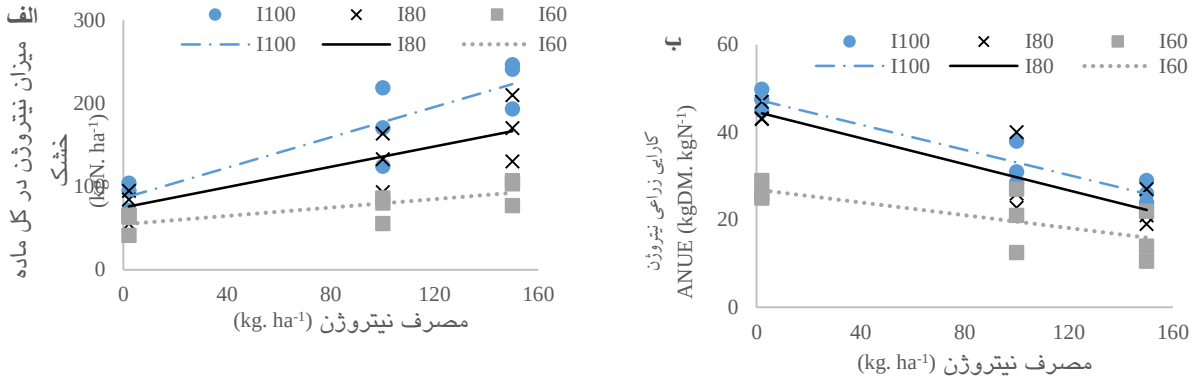
کارایی مصرف نیتروژن بر خلاف دو کارایی دیگر در شرایط آبیاری ۸۰٪ بالاتر از آبیاری کامل بود (جدول ۷). با توجه به اینکه کارایی مصرف، به کل نیتروژن در دسترس ارتباط ندارد و صرفا به نیتروژن جذب شده و کارایی گیاه در تبدیل آن به ماده خشک وابسته است. البته با توجه به عدم معنی داری در سطح آبیاری ۱۰۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی، می‌توان اینگونه بیان کرد تنش خشکی ملایم، اثری بر کارایی جذب، مصرف و زراعی نیتروژن در ذرت نداشت.

رابطه بین میزان جذب نیتروژن و کارایی زراعی با کاربرد نیتروژن

میزان نیتروژن کل در بیوماس نهایی گیاه با افزایش مصرف نیتروژن افزایش یافت. همچنین در شرایط افزایش میزان آبیاری میزان جذب نیتروژن بالاتر بود(شکل۵-الف). اما روند کارایی زراعی نیتروژن با روند جذب نیتروژن رابطه معکوس نشان داد (شکل ۵-ب) بعبارتی با افزایش میزان مصرف نیتروژن، اگرچه میزان نیتروژن در بیوماس کل ذرت بیشتر شد، اما کارایی زراعی کم شد. با افزایش مصرف کود، میزان جذب نیتروژن در گیاه افزایش یافت اما این افزایش با یک شیب کمتر همراه شده و این باعث کاهش کارایی گردید. (از آنجایی که روند سه کارایی نیتروژن تقریبا مشابه بود در نتیجه کارایی زراعی برای بررسی رابطه‌ها مدنظر قرار گرفت) (شکل ۵).

افزایش مصرف نیتروژن، باعث افزایش غلظت نیتروژن در بیوماس گیاه ذرت می‌گردد، اما هرچه میزان نیتروژن مصرفی افزایش می‌یابد، نرخ افزایشی جذب کمتر می‌شود اگرچه همچنان باعث افزایش غلظت نیتروژن در گیاه ذرت می‌گردد (یولا و همکاران ۲۰۱۹). کارایی زراعی نیتروژن، با افزایش غلظت نیتروژن در گیاه کاهش می‌یابد و میزان کاهش کارایی نیتروژن در گیاه، با افزایش غلظت نیتروژن روند سریعتری داشته و تحت تاثیر تنش خشکی، میزان کاهش کارایی زراعی نیتروژن بزرگتر می‌گردد (تکسیرا و همکاران ۲۰۱۴). با توجه به اینکه خاک محل آزمایش در ۳۰ سانتیمتری، حدود ۷۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن داشت (با توجه باینکه ریشه ذرت تا ۶۰ سانتیمتری هم قادر به جذب نیتروژن بوده و این میزان افزایش می یابد)، به نظر می-رسد یک دلیل روند کاهشی کارایی نیتروژن در هر دو

سطح مصرف کود (N_{100}, N_{150})، میزان نیتروژن قابل دسترس در خاک و عدم کمبود شدید در خاک بود. در نتیجه اگر خاک منطقه آزمایش، کمبود شدید نیتروژن داشته باشد، ممکن است استفاده از سطوحی از نیتروژن تا حدودی باعث افزایش کارایی این عنصر نیز گردد. و این می‌تواند دلیل تفاوت اثر مصرف نیتروژن بر کارایی زراعی این عنصر در آزمایشات مختلف باشد.

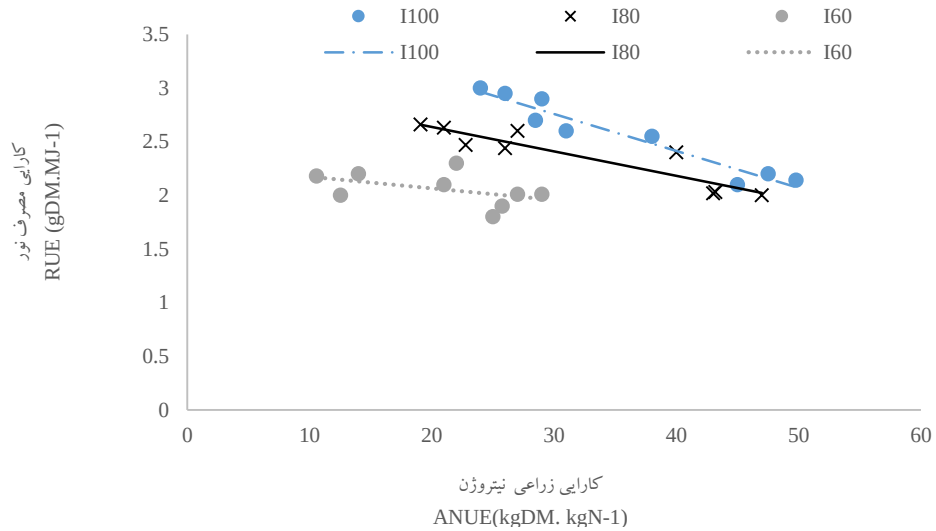


شکل۵- میزان جذب نیتروژن در بیوماس کل (الف) و کارایی زراعی نیتروژن (ب) در گیاه ذرت تحت تاثیر مصرف نیتروژن و رژیم‌های آبیاری.

I_{100}، I_{80} و I_{60} به ترتیب نشان‌دهنده آبیاری ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه می‌باشد.

رابطه بین کارایی مصرف نور و کارایی زراعی نیتروژن

بین کارایی مصرف نور و کارایی زراعی نیتروژن، رابطه معکوس مشاهده شد که شیب این رابطه، در شرایط رژیم آبیاری ۶۰٪ کوچکتر از دو رژیم آبیاری دیگر بود(شکل ۶).



شکل۶- رابطه بین کارایی مصرف نور و کارایی زراعی نیتروژن تحت تاثیر مصرف نیتروژن و رژیم‌های آبیاری.

I_{100}، I_{80} و I_{60} به ترتیب نشان‌دهنده آبیاری ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه می‌باشد.

افزایش میزان آب مصرفی، باعث افزایش کارایی نور و نیتروژن در گیاه ذرت گردید. اما در هر سطح آبیاری، افزایش میزان نیتروژن با وجود اینکه افزایش میزان کارایی مصرف نور را بدنبال داشت، کارایی زراعی نیتروژن را کاهش داد (شکل ۶). محدودیت آب و نیتروژن به دلیل کاهش زیست توده ذرت، میزان کارایی مصرف نور را کاهش داد اما افزایش نیتروژن بخصوص در شرایط کم آبیاری، به شدت باعث کاهش کارایی زراعی نیتروژن می‌گردد(تکسیرا و همکاران ۲۰۱۴). در شرایط آبیاری کامل افزایش مصرف نیتروژن، افزایش میزان عملکرد را بدنبال داشت اما در شراط آبیای ۶۰٪ افزایش نیتروژن، اثر معنی‌دار بر عملکرد ذرت نداشته (جدول۳) و کاهش کارایی مصرف نیتروژن را بدنبال داشت (جدول۶، شکل ۵). دسترسی بالاتر به آب، از طریق افزایش جذب نیتروژن و نور باعث افزایش کارایی مصرف نور و در نتیجه افزایش عملکرد در ذرت می‌گردد. همچنین افزایش میزان غلظت نیتروژن در بیوماس گیاه نیز با بالا بردن کارایی مصرف نور، باعث افزایش عملکرد ذرت می‌شود (یولا و همکاران ۲۰۱۹).

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج این آزمایش مشخص شد که بین کارایی مصرف نیتروژن و نور در شرایط مطلوب و محدودیت نیتروژن و آب، ارتباط وجود دارد. محدودیت نیتروژن، عمدتا بدلیل کاهش کارایی مصرف نور، باعث کاهش عملکرد گردید و محدودیت آب از طریق کاهش جذب نور و نیتروژن، باعث کاهش عملکرد در ذرت شد. افزایش مصرف نیتروژن در تمام سطوح آبیاری، باعث افزایش کارایی مصرف نور و کاهش کارایی زراعی، جذب و مصرف نیتروژن شد. در سطح آبیاری ۶۰٪، افزایش کارایی مصرف نور در سطوح مختلف نیتروژن معنی‌دار نشد اما کاهش کارایی زراعی نیتروژن بسیار شدید بود. همچنین نتایج حاصل از بررسی عملکرد دانه نشان داد که در رژیم آبیاری ۱۰۰٪، بالاترین عملکرد دانه ذرت در تیمار ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن بدست آمد اما در رژیم آبیاری ۸۰٪، تفاوت معنی‌داری بین عملکرد دانه در ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن مشاهده نشد و همچنین در آبیاری ۶۰٪ بین سطوح مختلف نیتروژن تفاوت معنی-داری از نظر عملکرد دانه ذرت حاصل نشد. بنابراین میزان مصرف نیتروژن در گیاه ذرت باید بر اساس میزان آب در دسترس تنظیم گردد تا با بهبود کارایی مصرف نور در جهت افزایش عملکرد، کاهش چندانی از نظر کارایی زراعی نیتروژن مشاهده نشود. در شرایط این آزمایش در تیمارهای آبی ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه، به ترتیب مصرف ۱۵۰، ۱۰۰ و ۰ کیلوگرم نیتروژن توصیه می‌گردد تا تعادلی بین عملکرد و بالاترین کارایی زراعی نیتروژن حاصل گردد. نتایج آزمایش نشان می‌دهد بسته به شرایط خاک و منابع در دسترس، بایستی برای ایجاد تعادل بین عملکرد اقتصادی و اثرات زیست محیطی در جهت بالاترین بهره‌وری در گیاه ذرت، مدیریت آب و نیتروژن انجام گردد.

سپاسگزاری

بدین وسیله از معاونت آموزش و تحصیلات تکمیلی و معاونت پژوهش دانشگاه ایلام در جهت پیشبرد پایان-نامه کارشناسی ارشد اگرتکنولوژی که مقاله حاضر حاصل آنست، قدردانی می‌شود.

منابع مورد استفاده

Akmal M, Hameed UR, Farhatullah D, Asim M and Akbar H. 2010. Response of maize varieties to nitrogen application for leaf area profile, crop growth, yield and yield components. Pakistan journal of Botany, 42: 1941-1947

Awal MA, Koshi H and Ikeda T. 2006. Radiation interception and use by maize/peanut intercrop canopy. Agricultural and Forest Meteorology, 139: 74–83.

Chen X, Cui Z, Fan M, Vitousek P, Zhao M, Ma W, Wang Z, Zhang W, Yan X, Yang J and Deng X. 2014. Producing more grain with lower environmental costs. Nature, 514: 486–489.

Chen Y, Changxin W, Dali X, Tingting Ch, Qinwu Ch, Fanjun Y and Lixing M. G. 2015. Effects of nitrogen application rate on grain yield and grain nitrogen concentration in two maize hybrids with contrasting nitrogen remobilization efficiency. European Journal of Agronomy, 62:79–89.

Cosentino SL, Scordia D, Sanzone E, Testa G and Copani V. 2014. Response of giant reed (*Arundo donax L.)* to nitrogen fertilization and soil water availability in semi-arid Mediterranean environment. European Journal of Agronomy, 60: 22–32.

Cosentino SL, Patanè C, Sanzone, E, Testa G and Scordia D. 2016. Leaf gas exchange, water status and radiation use efficiency of giant reed (*Arundo donax L.*) in a changing soil nitrogen fertilization and soil water availability in a semi-arid Mediterranean area. European Journal of Agronomy, 72:56-69

Deihimfard R, Nassiri Mahallati M and Koocheki AR. 2015. Yield gap analysis in major wheat growing areas of Khorasan province, Iran, through crop modelling. Field Crops Research, 184:28-38.

Earl HG and Davis R.F. 2003. Effect of Drought Stress on Leaf and Whole Canopy Radiation Use Efficiency and Yield of Maize. Agronomy Journal, 95:688–696

Ehsani M and Khaledi H. 2003. Understanding and promoting agricultural water productivity. Iranian Irrigation and Drainage Committee, 11: 657-673. [In Persian].

Elias M, Mulugeta M and Tilahun H. 2014. Response of maize (*Zea mays L.*) for moisture stress condition at different growth stages. International Journal of Recent Research in Life Sciences, 1: 12-21.

FAOSTAT. 2013. Production Statistics. Food and Agriculture Organization of the United Nations, http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor (accessed 07.04.09).

FAOSTAT. 2016. Production Statistics. Food and Agriculture Organization of the United Nations, http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor (accessed 07.04.09).

Fletcher AL, Moot DJ and Stone PJ. 2008. Radiation use efficiency and leaf photosynthesis of sweet corn in response to phosphorus in a cool temperate environment. European Journal of Agronomy, 29: 88–93.

Goudriaan J and Van Laar HH. 1993. Modelling Potential Crop Growth Processes, Kluwer Academic Press, and Netherlands.

Gonzalez-Dugo V, Durand JL and Gastal F. 2010. Water deficit and nitrogen nutrition of crops. A review. Agronomy for Sustainable Development, 30: 529–544.

Jafarikouhinia N, Kazemeini SA and Sinclair TR. 2020. Sweet corn nitrogen accumulation, leaf photosynthesis rate, and radiation use efficiency under variable nitrogen fertility and irrigation. Field Crops Research, 257:107913

Kant S, Bi YM and Rothstein SJ. 2011. Understanding plant response to nitrogen limitation for the improvement of crop nitrogen use efficiency. Journal of Experimental Botany, 62:1499–1509.

Li GH, Zhao B, Dong ST, Zhang JW, Liu P and Lu WP. 2020. Controlled-release urea combining with optimal irrigation improved grain yield, nitrogen uptake, and growth of maize. Agricultural Water Management, 227: 105834.

Li SX, Wang ZH, Hu TT, Gao YJ and Stewart BA. 2009. Nitrogen in dryland soils of China and its management. Advances in Agronomy, 101: 123–181.

Liang QD, Tian HT and Xue S. 2020. Effects of nitrogen application rates and irrigation regimes on grain yield and water use efficiency of maize under alternate partial root zone irrigation. Journal of Integrative Agriculture, 19: 2792–2806.

Liu T, Song F, Liu S and Zhu X. 2012. Light interception and radiation use efficiency response to narrow-wide row planting patterns in maize. Australian Journal of Crop Science. 6: 506-513.

Major DJ, Beasley BW and Hamilton RI. 1991. Effect of maize maturity on radiation-use efficiency. Agronomy Journal, 83:895–903.

Massignam AM, Chapman SC, Hammer GL and Fukai S. 2012. Effects of nitrogen supply on canopy development of maize and sunflower. Crop and Pasture Science, 62: 1045–1055.

Monteith JL. 1972. Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. Journal of Applied Ecology, 9: 747–766.

Mueller ND, Gerber JS, Johnston M, Ray DK, Ramankutty N and Foley JA. 2012. Closing yield gaps through nutrient and water management. Nature, 490: 254–257.

Nematpour A, Eshghizadeh HR, Zahedi M and Gheysari M. 2020. Interactive effects of sowing date and nitrogen fertilizer on water and nitrogen use efficiency in millet cultivars under drought stress, Journal of Plant Nutrition, 43:122-137.

Patane C and Cosentino SL. 2013. Yield, water use and radiation use efficiencies of kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) under reduced water and nitrogen soil availability in a semi-arid Mediterranean area. European Journal of Agronomy, 46:53-62.

Paponov IA and Engels C. 2003. Effect of nitrogen supply on leaf traits related to photosynthesis during grain filling in two maize genotypes with different N efficiency. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 166: 756–763.

Peng S. 2000. Single-leaf and canopy photosynthesis of rice. Studies Plant Science, 7:213–228.

Rouphael Y and Colla G. 2005. Radiation and water use efficiencies of greenhouse zucchini squash in relation to different climate parameters. European Journal of Agronomy, 23:183-194.

Sanoh Y, Oclarit P, Ookawa T, Motobayashi T and Hirasawa T. 2006. Effects of Planting Pattern on the Interception of Solar Radiation by the Canopy and the Light Extinction Coefficient of the Canopy in Rice Plants Direct-sown in a Submerged Paddy Field. Plant Production Science, 9: 334-342.

Schepers JS, Blackmer TM, Wilhelm WW and Resende M. 1996. Transmittance and reflectance measurements of corn leaves from plants with different nitrogen and water supply. Journal of Plant Physiology, 148: 523–529.

Semenov MA, Jamieson PD and Martre P. 2007. Deconvoluting nitrogen use efficiency in wheat: a simulation study. European Journal of Agronomy, 26: 283–294.

Shahrokhnia MH and Sepaskhah AR. 2016. Effects of Irrigation Strategies, Planting Methods and Nitrogen fertilization on yield, water and nitrogen efficiencies of safflower. Agricultural water management, 172: 18-30.

Sinclair TR and Muchow RC. 1999. Radiation use efficiency. Advances in Agronomy, 65: 215–265.

Srivastava RK, Panda RK, Chakraborty A and Halder D. 2018. Enhancing grain yield, biomass and nitrogen use efficiency of maize by varying sowing dates and nitrogen rate under rainfed and irrigated conditions. Field Crops Research, 221:339-349.

Tafteh A and Sepaskhah AR. 2012. Application of HYDRUS-1D model for simulating water and nitrate leaching from continuous and alternate furrow irrigated rapeseed and maize fields. Agricultural Water Management, 113: 19–29.

Teixeira E, George M, Herremana T, Brown H, Fletcher A, Chakwizira E, Ruiter J, Maley Sh and Noble A. 2014. The impact of water and nitrogen limitation on maize biomass and resource-use efficiencies for radiation, water and nitrogen. Field crop research, 168:109-118.

Tilman D, Cassman KG, Matson PA, Naylor R and Polasky S. 2002. Agricultural Sustainability and Intensive production practices. Nature, 418: 671–677.

Tilman D, Balzer C, Hill J and Befort BL. 2011. Global food demand and the Sustainable intensification of agriculture. Proceedings of the National Academy of Sciences, 108:20260–20264.

Tsubo M, Walker S and Ogindo HO. 2005. A simulation model of cereal–legume intercropping systems for semi-arid regions I. Model development. Field Crops Research, 93:10-22.

Ullah H, Santiago-Arenas R, Ferdous Z, Attia A and Datta A. 2019. Improving water use efficiency, nitrogen use efficiency, and radiation use efficiency in field crops under drought stress. Academic Press. Advances in Agronomy, 156: 109-157.

Vargas LA, Andersen MN, Jensen CR and Orgenses VJ. 2002. Estimation of leaf area index, light interception and biomass accumulation of *Miscanthus sinensis* 'Goliath' from radiation measurements. Biomass and Bioenergy, 22: 1-14.

Wang Y, Janz B, Engedal T and Neergaard A. 2017. Effect of irrigation regimes and nitrogen rates on water use efficiency and nitrogen uptake in maize, Agricultural Water Management, 179: 271-276.

Westgate ME. 1994. Water status and development of the maize endosperm and embryo during drought. Crop Science, 34:76–83.

Zahoor A, Riaz M, Ahmad S, Ali H, Khan MB, Javed K, Anjum MA, Ziaulhaq M and Khan MA. 2010. Ontogeny growth and radiation use efficiency of Helianthus annuus L., as affected by hybrids, nitrogenous regimes and planting geometry under irrigated arid conditions. Pakistan journal of Botany, 42: 3197-3207.

Zhu S, Vivanco JM and Manter DK. 2016. Nitrogen fertilizer rate affects root exudation:the rhizosphere microbiome and nitrogen-use-efficiency of maize. Applied Soil Ecology, 107: 324–333.