

ارزیابی تأثیر مدیریت کاربرد نیتروژن بر تحمل به تنش خشکی و کارایی استفاده از آب باران در گندم دیم

محمدحسین سدري^{۱*}، احمد گلچین^۲، ولی فیضی اصل^۳ و عادل سی و سه مرده^۴

۱. استادیار بخش تحقیقات خاک و آب مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کردستان، سازمان تحقیقات، آموزش و

ترویج کشاورزی، سنندج، ایران

۲. استاد، گروه خاکشناسی دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان

۳. استادیار، مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور

۴. دانشیار، گروه زراعت دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۲/۱۲ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۱/۲۷)

چکیده

به منظور بررسی تأثیر مدیریت کاربرد نیتروژن بر تحمل به تنش خشکی در گندم دیم، دو آزمایش جداگانه و همزمان در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی با سه زمان کاربرد شامل T₁ - کل نیتروژن در پاییز T₂ - دوسوم نیتروژن در پاییز و یک سوم در بهار T₃ - یکدوم نیتروژن در پاییز و یکدوم در بهار به عنوان کرت اصلی و با پنج سطح نیتروژن شامل ۰، ۳۰، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار از منبع اوره به عنوان کرت فرعی با سه تکرار در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی به صورت کرت‌های یک‌بار خرد شده در دو سال زراعی ۱۳۹۱-۹۲ و ۱۳۹۲-۹۳ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم قاملو (کردستان) اجرا شد. نتایج نشان داد، که با مصرف نیتروژن، تحمل به تنش خشکی در گندم دیم افزایش یافت. کاربرد نیتروژن، کارایی استفاده از آب باران، کارایی زراعی نیتروژن و تحمل به تنش خشکی را در گندم دیم افزایش داد. کاربرد ۶۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن در پاییز (بدون تقسیط) با بیشترین عملکرد دانه، کارایی زراعی نیتروژن و آب باران و شاخص STI، بهترین تیمار در تحمل به تنش خشکی گندم دیم بود. بین غلظت‌های نیتروژن و پتاسیم در برگ، رابطه هم‌افزایی (سینرژیستی) برقرار بود. این موضوع نیز مؤید افزایش تحمل به تنش خشکی گندم دیم با مدیریت بهینه نیتروژن بود.

واژه‌های کلیدی: اوره، خشکی، کارایی زراعی، کارایی استفاده از آب باران، گندم.

Evaluation of nitrogen application management on drought tolerance and water use efficiency of rain in rainfed wheat

Hossein Sedri Mohammad^{1*}, Ahmad Golchin², Vali Fiezaslasi³ and Adel Sioseh-Mardeh⁴

1. Assistant Professor of Kurdistan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Sanandaj, Iran

2. Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agricultural, University of Zanjan, Zanjan, Iran

3. Assistant Professor of Dryland Agricultural Research Institute (DARI), Maragheh, Iran

4. Associate Professor, Department of Plant Breeding, Faculty of Agricultural, University of Kurdistan, Iran

(Received: May 1, 2016 - Accepted: Feb. 15, 2017)

ABSTRACT

In order to study the effects of rates and timing of nitrogen application on grain yield, drought tolerance (DT) and water use efficiency of rain (WUE) in rainfed wheat, two experiments were carried out including rainfed and supplemental irrigation conditions. Treatments were different rates of nitrogen consist of 0, 30, 60, 90 and 120 kg.ha⁻¹ as sub-plots and time of nitrogen application included T₁- total in the fall, T₂- 2/3 in the fall + 1/2 in the spring and T₃- 2/3 in the fall + 1/3 in the spring as main-plots with three replications in splitplot test as randomized complete block design in Kurdistan province during (2012-2014). The results showed that application of nitrogen was increased drought tolerance of wheat rainfed. Nitrogen increased water use efficiency (WUE) of rain, nitrogen agronomic efficiency (NAE) and DT of rainfed wheat. Fall application of 60 kg N.ha⁻¹ had the highest grain yield, NAE, WUE and STI index and was the best treatment with respect to DT. There was synergistic relationship between N and K concentrations in leaf. This is could be confirmed increasing of DT of rainfed wheat by nitrogen optimized management.

Keywords: Drought, nitrogen agronomic efficiency, urea, water use efficiency of rain, wheat.

* Corresponding author E-mail: sedri_mh@yahoo.com

مقدمه

بر پایه آمار ۶۳ درصد سطح زیر کشت گندم در ایران به صورت دیم است که در طول فصل رشد در معرض تنش خشکی قرار دارد، زیرا حدود ۹۰ درصد این زمین‌ها در مناطقی با بارندگی کمتر از ۵۰۰ میلی‌متر قرار دارند (Ghaffari, 2007). خشکی، یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزنده است که هر ساله آسیب فراوانی به گیاهان زراعی و باغی در جهان و به ویژه ایران به عنوان کشوری خشک و نیمه‌خشک وارد می‌کند. گیاهان در شرایط طبیعی، همواره در معرض تنش هستند. برخی از محققان بر این باورند، تنها ۱۰ درصد از زمین‌های قابل کشت دنیا بدون هرگونه تنش هستند. تنش خشکی در قسمت اعظمی از دوره رشد و تنش گرمایی در اواخر دوره رشد گندم دیم از عامل‌های تهدیدکننده تولید محصول در مناطق خشک و نیمه‌خشک به شمار می‌آیند (Mohammadi et al., 2009). اگر به دلایل مختلفی تنش رطوبتی و گرمایی در محیط گیاه رخ دهد، جذب نیتروژن با مشکل روبه‌رو می‌شود و به دلیل ایجاد وقفه در چرخه نورساخت (فتوسنتز) و افزایش تنفس یاخته‌ای، عملکرد کمی و کیفی گندم دیم کاهش می‌یابد (Barnabas et al., 2008; Acevedo et al., 2009). کنترل تنش‌های رطوبتی و گرمایی در شرایط دیم به دلیل وابسته بودن آن‌ها به عامل‌های اقلیمی، مشکل و در برخی موارد غیرممکن است. با کاربرد بهینه کودهای نیتروژنی و رعایت تناوب مناسب در کشت گندم دیم می‌توان افزون بر رفع نیاز نیتروژنی گیاه، بر تنش خشکی نیز چیره شد (Ryan et al., 2008). نیتروژن در گیاهان با بیشترین غلظت، گلوگاه رشد به شمار می‌آید. این عنصر نقش مهمی در افزایش عملکرد دارد، به طوری که کمبود آن بیش از دیگر عنصرهای غذایی عملکرد را محدود می‌کند. کمبود نیتروژن از عمومی‌ترین و شایع‌ترین کمبود عنصرهای غذایی در غلات دانه‌ریز به شمار می‌آید (Malakouti & Homaei, 2004). در مناطق خشک و نیمه‌خشک، کمبود مواد آلی در خاک به عنوان منبع طبیعی نیتروژن مورد نیاز گیاه و وجود تنش رطوبتی، به عنوان مانع اصلی جذب نیتروژن، همواره مطرح بوده و پس از

تنش رطوبتی، تنش نیتروژنی مهم‌ترین عامل محدودکننده تولید گندم دیم در این مناطق به شمار می‌آید (Ryan et al., 2008). کاربرد کودهای شیمیایی در مناطق دیم با محدودیت و تنگناهای جدی مدیریتی همراه است، از جمله این مشکلات، زمان، میزان و منبع کود نیتروژنی و عامل‌های محیطی دخیل در تولید محصولات دیم مانند توزیع و میزان بارندگی است که ناهم‌هنگی آن‌ها با زمان و میزان کاربرد کودهای شیمیایی می‌تواند موجب آسیب رساندن به محصول شود (Malakouti & Nafisi, 1994). نیتروژن به میزان زیاد توسط گیاهان از خاک جذب می‌شود، بنابراین برای رشد بهینه گیاه، تأمین میزان کافی نیتروژن قابل استفاده در خاک، اهمیت ویژه‌ای دارد (Antep, 1997). جذب و شرکت نیتروژن در سوخت‌وساز (متابولیسم) گیاهی بیشتر به عامل‌های محیطی (رطوبت و دما) و ژنتیکی گیاه (ویژگی‌های ریشه توان انتقال دوباره نیتروژن) بستگی دارد که این موضوع، مشکلات مدیریت کاربرد نیتروژن را در شرایط دیم دو چندان می‌کند. نزدیک به ۸۰ درصد نیتروژن مورد نیاز گیاه، از راه جریان توده‌ای و به همراه آب جذب می‌شود (Johnston & Fowler, 1992). میزان کاربرد کودهای نیتروژنی برای گندم دیم اهمیت ویژه‌ای دارد، زیرا که در کاربرد کم‌وزیاد این عنصر افزون بر تشدید تأثیر تنش‌های رطوبتی و گرمایی روی سوخت‌وساز گیاه، عملکرد اقتصادی آن نیز کاهش می‌یابد (Fowler & Brydon, 1989a; Prihar, 1989). با بررسی تأثیر سطوح مختلف نیتروژن (۰، ۳۰، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار) بر عملکرد و اجزای عملکرد چند رقم گندم دوروم مشخص شد که افزایش نیتروژن تا سطح ۹۰ کیلوگرم در هکتار، تأثیر معنی‌داری بر عملکردهای زیست‌توده (بیوماس) و دانه گندم دیم دارد (Ryan et al., 1997). با کاربرد ۰، ۲۸، ۵۶، ۸۴ و ۱۱۲ کیلوگرم نیتروژن در هکتار، عملکرد زیستی و دانه گندم دیم با کاربرد نیتروژن تا ۸۴ کیلوگرم نیتروژن در هکتار افزایش معنی‌داری نشان داد (Halvorson et al., 2004). کاربرد ۶۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص به صورت تقسیط (نصف به هنگام کشت در پاییز و نصف دیگر در بهار در مرحله

هر قطعه آزمایش به سه تکرار به ابعاد ۱۶×۲۴ متر (۳۸۴ مترمربع) تقسیم شد. سپس هر تکرار به سه کرت اصلی به ابعاد ۴×۱۴ متر (زمان کاربرد نیتروژن) و هر کرت اصلی به پنج کرت فرعی به ابعاد ۴×۴ متر (پنج سطح کود نیتروژنی) تقسیم شد. درون بلوک‌ها، بین کرت‌های اصلی ۲ متر و بین کرت‌های فرعی ۱ متر فاصله در نظر گرفته شد. در هر دو قطعه، پیش از کوددهی، از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری، ده نمونه خاک مرکب از هر تکرار تهیه و اندازه‌گیری ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک بر پایه روش‌های توصیه‌شده در مؤسسه تحقیقات خاک و آب انجام شد (Ali-Ehyaei & Behbehani-Zadeh, 1993). خلاصه برخی از ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک محل آزمایش در جدول ۱ آمده است. خاک با بافت لومی رسی، آهکی و با واکنش قلیایی و بدون شوری بود.

بذرهای گندم از رقم آذر ۲، با چارچ‌کش به نسبت ۲ در هزار آغشته و به کمک دستگاه بذرکار همدانی بهبودیافته کشت شد. مقادیر مختلف نیتروژن از منبع کود اوره (۴۶ درصد) و مقادیر ثابت کودهای فسفوری و پتاسیمی بر پایه آزمون خاک به ترتیب از منابع کودی سوپرفسفات تریپل و سولفات پتاسیم به همراه ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی، همزمان با کاشت به‌طور یکنواخت در عمق ۸ سانتی‌متری، در همه کرت‌های آزمایش جایگذاری شد. در بهار، بقیه کود اوره، پیش از آغاز بارندگی به‌صورت سرک در مرحله پنجه‌دهی در سطح کرت‌ها به‌طور یکنواخت توزیع شد. میانگین بارندگی محل اجرا در سال‌های زراعی ۹۲-۱۳۹۱ و ۹۳-۱۳۹۲ به ترتیب ۲۵۶/۱ و ۲۹۴ میلی‌متر بود. رطوبت وزنی خاک در حدود ظرفیت مزرعه و نقطه پژمردگی دائم به ترتیب ۲۸/۴۷ و ۱۱/۶۵ درصد بود. به‌منظور تعیین میزان آب مورد نیاز در قطعه آزمایش (آبیاری تکمیلی)، میزان رطوبت در اعماق ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی‌متری خاک با روش درصد رطوبت وزنی، در مرحله‌های مختلف پدیدشناختی (فنولوژیکی) اندازه‌گیری شد. سپس با استفاده از رابطه (۱) عمق آب مورد نیاز برحسب میلی‌متر، محاسبه و آبیاری تکمیلی با استفاده از سامانه آبیاری بارانی در دو مرحله گلدهی و پر شدن

پنجه‌دهی گندم) افزون بر افزایش عملکرد دانه موجب افزایش تحمل به تنش خشکی گندم دیم شد (Sedri & Roohi, 2008). شاخص‌های چندی برای اندازه‌گیری شدت تنش خشکی و تنش نیتروژنی و اثر متقابل آن‌ها در گیاهان مطرح شده است که از راه این شاخص‌ها می‌توان میزان تنش خشکی را در مدیریت‌های مختلف کاربرد نیتروژن برآورد و آن را بهبود بخشید. هدف از این پژوهش یافتن مناسب‌ترین میزان نیتروژن و بهترین زمان کاربرد آن با بهره‌گیری از شاخص‌های تنش خشکی و همچنین معرفی مناسب‌ترین شاخص مرتبط با مدیریت کاربرد نیتروژن برای کاهش تأثیر تنش خشکی و دستیابی به عملکردهای بهینه در گندم دیم است.

مواد و روش‌ها

به‌منظور ارزیابی تأثیر مقادیر مختلف و زمان کاربرد نیتروژن بر تحمل به تنش خشکی در گندم دیم، دو آزمایش در دو شرایط رطوبتی جداگانه و کنار هم شامل آزمایش اول در شرایط دیم (تنش رطوبتی) و آزمایش دوم در شرایط آبیاری تکمیلی (بدون تنش رطوبتی) هرکدام با سه زمان کاربرد به‌عنوان کرت اصلی شامل: T₁- کاربرد کل نیتروژن در پاییز T₂- کاربرد دوسوم نیتروژن در پاییز همزمان با کاشت و یک‌سوم دیگر به‌صورت سرک در بهار T₃- کاربرد نصف نیتروژن در پاییز همزمان با کاشت و نصف دیگر به‌صورت سرک در بهار و پنج سطح نیتروژن شامل ۰، ۳۰، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار به‌عنوان کرت فرعی و در سه تکرار در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی به‌صورت کرت‌های یک‌بار خردشده در دو سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱ و ۹۳-۱۳۹۲ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم قاملو (کردستان) اجرا شد. در پاییز قطعه زمینی به مساحت ۲۷۵۶ مترمربع با نظام تناوبی آیش- گندم، انتخاب و برای آماده‌سازی زمین، عملیات خاک‌ورزی با گاوآهن قلمی به همراه دیسک انجام شد. سپس برای اجرای آزمایش در دو شرایط دیم و آبیاری تکمیلی، قطعه زمین به دو قسمت یکسان به ابعاد ۵۲×۲۴ متر (۱۲۴۸ مترمربع) تقسیم و بین دو قطعه آزمایش، ۵ متر فاصله در نظر گرفته شد.

دانه در مرز نقطه پژمردگی دائم و مصادف با قطع بارندگی و بروز تنش خشکی به طور یکنواخت انجام گرفت.

In: عمق خالص آبیاری (میلی متر)
Dz: عمق توسعه ریشه (میلی متر)
 θ_{FC} : رطوبت حجمی خاک در ظرفیت مزرعه
 θ_i : رطوبت حجمی خاک پیش از آبیاری

$$I_n = (\theta_{FC} - \theta_i) \times D_z \quad (1)$$

جدول ۱. ویژگی‌های خاک محل آزمایش (عمق ۰-۳۰ سانتی متری) در سال‌های ۱۳۹۱-۹۲ و ۱۳۹۲-۹۳

Table 1. Soil properties (0-30 cm depth) of experiment location in 2012-2013 and 2013-2014

K.ava	P.ava	NH ₄ ⁺ (mg.kg ⁻¹)	NO ₃ ⁻	Total Nitrogen (%)	pH	EC (dS.m ⁻¹)	OC	T.N.V (%)	Sp	Year
205	8.18	5.11	14.26	0.06	7.63	0.67	0.76	34.75	41.76	1
224	11.78	4.56	14.7	0.09	7.61	0.48	0.96	33.00	46.71	2

TOL (Tolerance) شاخص اختلاف عملکرد تیمارها در شرایط مطلوب و تنش خشکی است (Rosille & Hambilin, 1981) و از رابطه (۴) محاسبه شد. میزان بالای TOL، نشانه حساسیت تیمار به تنش خشکی بوده و انتخاب تیمار بر پایه مقادیر کم TOL است.

$$TOL = Y_p - Y_s \quad (4)$$

SSI (Stress Susceptibility Index): این شاخص از رابطه (۵) محاسبه شد (Fischer & Maurer, 1978).

$$SSI = (1 - (Y_s / Y_p)) / SI \quad (5)$$

میزان SI (سختی محیط)، از رابطه $SI = 1 - (\hat{Y}_s / \hat{Y}_p)$ محاسبه شد که در آن \hat{Y}_s و \hat{Y}_p به ترتیب میانگین عملکرد تیمار در شرایط تنش و مطلوب است. میزان کمتر شاخص SSI، نشان‌دهنده تغییر کم عملکرد تیمار در شرایط تنش نسبت به شرایط مطلوب و در نتیجه پایداری بیشتر (مقاومت به تنش خشکی) آن تیمار است.

STI (Stress Tolerance Index)، شاخصی است که توسط Fernandez (1992) ارائه و میزان آن از رابطه (۶) محاسبه شد. بر پایه این شاخص، تیمار مقاوم‌تر به تنش خشکی، مقادیر بالاتر شاخص STI را دارند.

$$STI = (Y_p * Y_s) / (\hat{Y}_p)^2 \quad (6)$$

ضریب‌های K_1 و K_2 ، با تعدیل شاخص STI، کلاس‌بندی میزان و زمان مناسب کود (نیتروژن) در زیر اقلیم‌ها را امکان‌پذیر می‌سازد. در شاخص تعدیل‌شده (Modified Stress-Tolerance) MSTI

در مرحله آغاز گلدهی، نمونه برگ پرچم تهیه و غلظت نیتروژن (با روش کج‌دال) و پتاسیم با روش نورسنجی شعله‌ای (فلیم فوتومتری) اندازه‌گیری شد. در زمان رسیدگی گندم (با رطوبت دانه حدود ۱۳ درصد)، ۰/۵ متر از دو انتهای هر کرت فرعی حذف و بقیه کرت به صورت دستی و کف‌بر برداشت و عملکرد زیست‌توده تعیین شد. پس از خرمن‌کوبی، عملکرد دانه تعیین و عملکرد کلش از تفاضل عملکرد زیست‌توده و عملکرد دانه محاسبه شد. در آغاز پس از تعیین عملکرد دانه، به ترتیب در شرایط رطوبتی آزمایش دیم (Y_s) و آزمایش آبیاری تکمیلی (Y_p)، برای ارزیابی تأثیر مقادیر و زمان کاربرد نیتروژن بر تحمل به تنش خشکی گندم دیم، شاخص‌های مقاومت یا حساسیت به تنش خشکی GMP، MP، TOL، SSI، STI، MSTI در تیمارهای مختلف کاربرد نیتروژن، محاسبه و مقایسه شدند. (MP Mean Productivity)، شاخص میانگین تولید است و از میانگین حساسی عملکرد تیمار کودی در شرایط مطلوب و تنش خشکی و از رابطه (۲) محاسبه شد (Rosille & Hambilin, 1981). مقادیر بالای MP نشانه حساسیت تیمار به تنش خشکی است.

$$MP = (Y_s + Y_p) / 2 \quad (2)$$

GMP (Geometric Mean Productivity)، شاخص میانگین هندسی تولید است و از رابطه (۳) محاسبه شد (Fernandez, 1992). مقادیر بالای GMP نشانه حساسیت تیمار به تنش خشکی است.

$$GMP = (Y_s * Y_p)^{1/2} \quad (3)$$

پس از گردآوری داده‌های آزمایش، تجزیه‌های آماری با نرم‌افزارهای MSTATC و STATG انجام شد.

نتایج

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌های آزمایش اول (شرایط رطوبتی دیم) پس از آزمون یکنواختی اشتباه‌های آزمایشی نشان داد، تأثیر سال بر عملکرد زیست‌توده ($p < 0/05$) و بر شاخص برداشت ($p < 0/01$) معنی‌دار بوده و بر دیگر ویژگی‌های اندازه‌گیری شده معنی‌دار نشد. تأثیر زمان کاربرد نیتروژن تنها بر شاخص برداشت معنی‌دار شد ($p < 0/01$) و بر دیگر ویژگی‌ها معنی‌دار نبود. تأثیر مقادیر نیتروژن بر عملکردهای زیست‌توده، دانه و کلس، وزن هزاردانه، شاخص برداشت و زراعی نیتروژن و کارایی استفاده از آب باران معنی‌دار ($p < 0/01$) بود. اثر متقابل سال در زمان کاربرد نیتروژن تنها برای شاخص برداشت معنی‌دار بود و بر هیچ‌کدام از ویژگی‌های دیگر معنی‌دار نبود. اثر متقابل سال در مقادیر نیتروژن بر هیچ‌کدام از ویژگی‌ها معنی‌دار نبود. اثر متقابل زمان کاربرد در مقادیر نیتروژن بر عملکرد دانه معنی‌دار بود ($p < 0/05$) و بر دیگر ویژگی‌ها معنی‌دار نشد. اثر متقابل سال در زمان کاربرد در مقادیر نیتروژن بر عملکردهای زیست‌توده و کلس و شاخص برداشت ($p < 0/01$) و بر کارایی زراعی نیتروژن ($p < 0/01$) معنی‌دار بود و بر عملکرد دانه، وزن هزاردانه و کارایی استفاده از آب باران معنی‌دار نشد (جدول ۲).

مقایسه میانگین‌های تأثیر تیمارها بر عملکرد دانه

عملکرد دانه با کاربرد ۳۰، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن نسبت به شاهد به‌طور میانگین به ترتیب به میزان ۴۷۸، ۹۶۱، ۱۰۸۶ و ۸۵۰ کیلوگرم در هکتار افزایش داشتند که این اختلاف معنی‌دار ($p < 0/05$) بود (جدول ۴). رابطه بین نیتروژن کاربردی با عملکرد دانه نشان داد، ۹۸ درصد از تغییرات عملکرد دانه وابسته به نیتروژن بود و بیشترین عملکرد دانه با کاربرد ۸۷ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به دست آمد (شکل ۱). تأثیر زمان کاربرد نیتروژن بر عملکرد دانه نشان داد که زمان T_1 نسبت به دو زمان T_2 و

Index) که به صورت K_1STI و K_2STI معرفی می‌شود، K_1 و K_2 ضریب‌های تصحیح‌کننده شاخص STI بوده و با توجه به شرایط محیطی و احتمال بروز شرایط مطلوب (بدون تنش خشکی) یا نامطلوب (تنش خشکی) در زیر منطقه یا زیر اقلیم محاسبه شد. مقادیر ضریب‌های K_1 و K_2 از رابطه‌های $K_1 = Y^2p / \bar{Y}^2p$ و $K_2 = Y^2s / \bar{Y}^2s$ محاسبه شدند. مقادیر Y^2p و Y^2s به ترتیب مربع عملکرد هر تیمار نیتروژن در شرایط مطلوب و تنش خشکی و \bar{Y}^2p و \bar{Y}^2s به ترتیب مربع میانگین عملکرد همه تیمارهای نیتروژن در شرایط مطلوب و تنش خشکی است. به‌منظور بررسی و مقایسه وضعیت تأثیر تیمارهای مختلف (مقادیر و زمان کاربرد نیتروژن) بر تنش خشکی گندم دیم، در دو مرحله ظهور سنبله و دو هفته پس از ظهور سنبله، از کرت‌های آزمایش در شرایط دیم (دارای تنش) ده عدد برگ تهیه و محتوی نسبی آب (RWC)^۱ برگ از رابطه (۷) محاسبه شد.

$$\%RWC = \frac{\text{جرم خشک برگ} - \text{جرم تر برگ}}{\text{جرم خشک برگ} - \text{جرم تورژسانس برگ}} \times 100 \quad (7)$$

کارایی استفاده از آب (WUE)^۲ باران برای هر تیمار از رابطه (۸) محاسبه شد (French & Schultz, 1984) در این رابطه، WUE، کارایی استفاده از آب باران ($\text{kg.mm}^{-1}.\text{ha}^{-1}$)، عملکرد دانه در تیمار نیتروژن ($\text{kg}.\text{ha}^{-1}$)، RF، میزان باران در سال زراعی (mm).

$$WUE = \frac{GY}{RF} \quad (8)$$

کارایی زراعی نیتروژن (NAE)^۳ برای هر کرت از رابطه (۹) محاسبه شد. در این رابطه، NAE، کارایی زراعی نیتروژن (kg.kg^{-1})، $GY(N)$ ، عملکرد دانه در تیمار نیتروژن ($\text{kg}.\text{ha}^{-1}$)، $GY(\text{Check})$ ، عملکرد دانه در تیمار شاهد ($\text{kg}.\text{ha}^{-1}$) و NF: کود نیتروژنی مصرف شده در هر تیمار ($\text{kg}.\text{ha}^{-1}$).

$$NAE = \frac{GY(N) - GY_{\text{Check}}}{NF} \quad (9)$$

1. Relative Water Content
2. Water Use Efficiency
3. Nitrogen Agronomic Efficiency

به دو روش تقسیمی نیتروژن T2 و T3 به ترتیب به میزان ۳/۲۷ و ۵/۰۳ کیلوگرم در کیلوگرم افزایش داشت که این اختلاف معنی‌دار ($p < 0.05$) بود (شکل ۳).

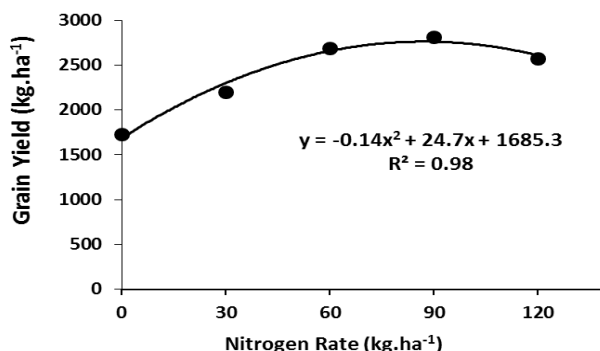
مقایسه میانگین‌های تأثیر نیتروژن بر کارایی استفاده از آب باران (WUE)

با افزایش سطوح نیتروژن کارایی استفاده از آب باران افزایش یافت اما سطوح N60 و N90 نسبت به دیگر سطوح، بالاترین میزان کارایی را به خود اختصاص دادند (جدول ۴). میانگین کارایی استفاده از آب باران در زمان T1 نسبت به دو روش تقسیمی T2 و T3 به ترتیب به میزان ۱/۴۳ و ۰/۸۴ $\text{kg}\cdot\text{mm}^{-1}\cdot\text{ha}^{-1}$ بیشتر بود که این اختلاف معنی‌دار ($p < 0.01$) بود (جدول ۳). میانگین کارایی استفاده از آب باران در زمان T1 در سطوح N60 و N90 نسبت به شاهد به ترتیب به میزان ۵/۴۶ و ۵/۱۴ $\text{kg}\cdot\text{mm}^{-1}\cdot\text{ha}^{-1}$ بیشتر بود که این اختلاف معنی‌دار ($p < 0.05$) شد (شکل ۴).

T3 به ترتیب به میزان ۳۶۷ و ۲۱۷ کیلوگرم در هکتار افزایش عملکرد نشان داد (جدول ۳) اما این اختلاف از لحاظ آماری معنی‌دار نبود، با این وجود معنی‌داری اثر متقابل زمان کاربرد در مقادیر نیتروژن نشان داد، سطوح N60 و N90 با کاربرد کل نیتروژن در پاییز (T1) نسبت به شاهد به ترتیب به میزان ۱۳۹۹ و ۱۴۹۵ کیلوگرم در هکتار افزایش عملکرد دانه داشتند و به‌طور مشترک در یک کلاس آماری قرار گرفتند که این اختلاف معنی‌دار ($p < 0.05$) بود (شکل ۲).

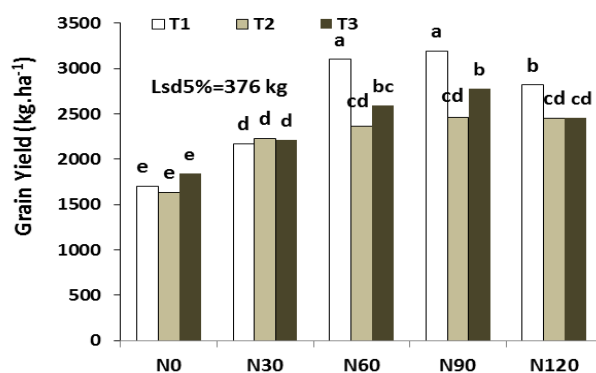
مقایسه میانگین‌های تأثیر نیتروژن بر کارایی زراعی نیتروژن (NAE)

کارایی زراعی نیتروژن در سطوح ۳۰ و ۶۰ کیلوگرم در هکتار به بیشترین میزان در مقایسه با شاهد رسید و با افزایش کاربرد کود نیتروژنی، این کارایی نیز در سطوح ۹۰ و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار کاهش یافت (جدول ۴). میانگین کارایی زراعی نیتروژن در زمان کاربرد T1 نسبت



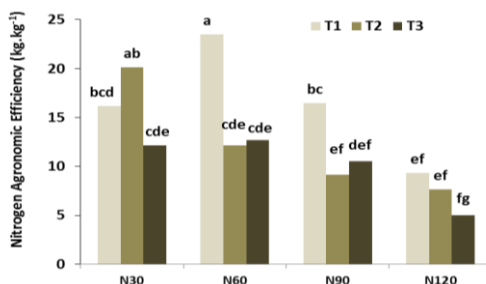
شکل ۱. رابطه پلی‌نومیال بین سطوح نیتروژن و عملکرد دانه گندم

Figure 1. Polynomial relation between nitrogen rate and grain yield of wheat



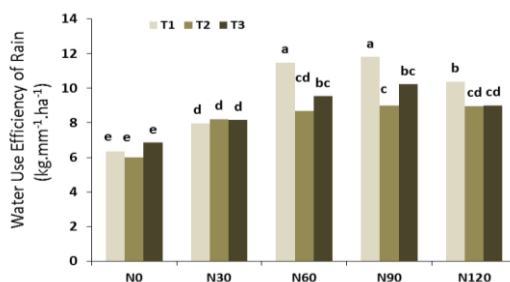
شکل ۲. اثر متقابل زمان کاربرد و سطوح نیتروژن بر عملکرد دانه گندم

Figure 2. Interaction effect of application time and nitrogen rate on grain yield of wheat



شکل ۳. اثر متقابل زمان و سطوح نیتروژن بر کارایی زراعی نیتروژن در گندم

Figure 3. Interaction effect of application time and nitrogen rate on nitrogen agronomic efficiency in wheat



شکل ۴. اثر متقابل زمان و سطوح نیتروژن بر کارایی استفاده از آب باران در گندم

Figure 4. Interaction effect of application time and nitrogen rate on water use efficiency of rain in wheat

جدول ۲. میانگین مربعات اثر سال، زمان کاربرد و سطوح نیتروژن بر عملکردهای زیست توده، دانه و کله، وزن هزاردانه، شاخص برداشت، کارایی زراعی نیتروژن و کارایی استفاده از آب باران

Table 2. Mean squares the effect of year, rates and application time of nitrogen on biomass, grain and straw yields, harvest index, thousand kernel weight (TKW), nitrogen agronomic efficiency (NAE) and water use efficiency of rain (WUE)

SOV	df	Mean Squar						
		Biological Yield	Grain Yield	Straw Yield	Harvest Index	TKW	NAE	WUE of rain
Year	1	142046072 *	7545238 n.s	84113533 n.s	0.073 **	5.50 n.s	154.7 n.s	249.8 n.s
Error	2	5163012	1116569	1479911	0.001	3.37	44.8	16.3
Time	2	1895103 n.s	1023772 n.s	227897 n.s	0.004 **	18.11 n.s	195.6 n.s	15.5 n.s
Year × Time	2	2849888 n.s	1093187 n.s	622039 n.s	0.002 *	8.48 n.s	111.2 n.s	16.7 n.s
Error	8	3525033	355146	1706283	0.001	4.48	57.9	4.5
N	4	34574775 **	3494677 **	16265379 **	0.008 **	134.12 **	837.6 **	46.1 ***
Year × Nitrogen	4	537688 n.s	103993	321107	0.001	9.13	19.3	0.98
Time × Nitrogen	8	1459309 n.s	243500 *	971775 n.s	3.747 n.s	6.69 n.s	66.6 n.s	3.4 n.s
Year × Time × Nitrogen	8	1113528**	77813 n.s	803895 **	1.906 **	2.10 n.s	48.6 *	1.22 n.s
Error	48	3623334	58178	241992	0.001	6.27	20.8	0.78
CV (%)		9.21	10.04	11.90	7.93	6.75	44.16	10.02

* و ** به ترتیب علامت معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

* n.s, * and ** indicated non-significant, significant at 5% and 1%, respectively.

جدول ۳. مقایسه میانگین‌های اثر زمان کاربرد نیتروژن بر عملکردهای زیست توده، دانه و کله، وزن هزاردانه، شاخص برداشت، کارایی زراعی نیتروژن و کارایی استفاده از آب باران

Table 3. Mean comparisons of effect of nitrogen rates on biological, grain and straw yields, harvest index, thousand kernel weight (TKW), nitrogen agronomic efficiency (NAE) and water use efficiency (WUE) of rain

Time	Biological Yield (kg.ha ⁻¹)	Grain Yield (kg.ha ⁻¹)	Straw Yield (kg.ha ⁻¹)	Harvest Index (%)	TKW (g)	NAE (kg.kg ⁻¹)	WUE of rain (kg.mm ⁻¹ .ha ⁻¹)
T ₁	6761 a	2597 a	4163 a	0.39 a	37.81 a	13.10 a	9.60 a
T ₂	6264 a	2230 a	4035 a	0.37 b	36.27 b	9.83 ab	8.17 b
T ₃	6580 a	2380 a	4201 a	0.37 b	37.21 ab	8.07 b	8.76 ab
LSD5%	1118	354.8	777.7	0.018	1.260	4.531	1.266

حرف‌های همسان علامت معنی دار نبودن در سطح احتمال ۵ درصد است.

T₁: کاربرد کل نیتروژن در پاییز، T₂: کاربرد دوسوم نیتروژن در پاییز و یک سوم دیگر به صورت سرک در بهار، T₃: کاربرد نصف نیتروژن در پاییز همزمان با کاشت و نصف دیگر به صورت سرک در بهار.

* Different letters within a column indicates significant difference (P < 0.05)

Total nitrogen in the fall (T₁), nitrogen splitting 2/3 in the fall +1/3 in the spring (T₂) and nitrogen splitting 1/2 in the fall +1/2 in the spring (T₃).

جدول ۴. مقایسه میانگین‌های تأثیر سطوح نیتروژن بر عملکردهای زیست‌توده، دانه و کلس، وزن هزاردانه، شاخص برداشت،

کارایی زراعی نیتروژن و کارایی استفاده از آب باران

Table 4. Mean comparisons of effect application time of nitrogen on biomass, grain and straw yields, harvest index, thousand kernel weight (TKW), nitrogen agronomic efficiency (NAE) and water use efficiency (WUE) of rain

Nitrogen Rate (kg.ha ⁻¹)	Biological Yield (kg.ha ⁻¹)	Grain Yield (kg.ha ⁻¹)	Straw Yield (kg.ha ⁻¹)	Harvest Index (%)	TKW (g)	NAE (kg.kg ⁻¹)	WUE of rain (kg.mm ⁻¹ .ha ⁻¹)
0	4319 c	1727 d	2593 c	0.41 a	40.96 a	0 d	6.4 d
30	6027 b	2205 c	3822b	0.37 b	38.91 b	16.2 a	8.1 c
60	7405 a	2688 ab	4717 a	0.37 b	35.80 c	16.1 a	9.9 ab
90	7604 a	2813 a	4791 a	0.37 b	34.47 c	12.1 b	10.3 a
120	7319 a	2577 b	4742 a	0.36 b	35.35 c	7.31 c	9.5 b
LSD5%	403	162	329	0.021	1.68	3.06	0.59

حرف‌های همسان، علامت عدم معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد است.

* Different letters within a column indicates significant difference ($P < 0.05$).

جدول ۵. شاخص‌های حساسیت و تحمل به تنش خشکی در گندم در تیمارهای مختلف نیتروژن در سال‌های زراعی ۹۳-۱۳۹۲ و

۱۳۹۲-۹۳ و

Table 5. Drought stress tolerance and sensitivity indices of nitrogen treatments during 2012-2013 and 2013-2014

Year	Time	N	Y _p	Y _s	MP	GMP	TOL	SSI	STI	K ₁ STI	K ₂ STI
2012-13	T ₁	N0	2493	2244	2368	2365	249	0.41	0.44	0.21	0.30
		N30	2947	2529	2738	2730	418	0.58	0.59	0.39	0.50
		N60	4102	3727	3914	3910	375	0.37	1.21	1.55	2.23
		N90	4212	3722	3967	3960	490	0.48	1.24	1.67	2.28
		N120	3744	3199	3471	3461	545	0.60	0.95	1.01	1.29
	T ₂	N0	2165	1736	1950	1938	429	0.81	0.30	0.11	0.12
		N30	3683	2470	3076	3016	1213	1.35	0.72	0.74	0.58
		N60	4000	2529	3264	3180	1471	1.51	0.80	0.97	0.68
		N90	3768	2430	3099	3026	1338	1.46	0.72	0.78	0.57
		N120	4459	2515	3487	3348	1944	1.79	0.89	1.34	0.74
	T ₃	N0	2542	2330	2436	2434	212	0.34	0.47	0.23	0.34
		N30	3355	2492	2923	2891	863	1.05	0.66	0.57	0.55
		N60	3737	2823	3280	3248	914	1.00	0.83	0.89	0.88
		N90	3974	3079	3527	3498	895	0.92	0.97	1.16	1.22
		N120	4208	2551	3380	3276	1657	1.62	0.85	1.14	0.73
2013-14	T ₁	N0	1468	1160	1314	1305	307	1.03	0.24	0.07	0.07
		N30	2319	1807	2063	2047	512	1.09	0.60	0.43	0.42
		N60	2814	2476	2645	2640	339	0.59	0.99	1.05	1.30
		N90	3008	2671	2839	2834	337	0.55	1.14	1.39	1.75
		N120	3068	2437	2752	2734	631	1.01	1.06	1.34	1.35
	T ₂	N0	1706	1531	1618	1616	175	0.50	0.37	0.15	0.19
		N30	2472	1996	2234	2221	476	0.95	0.70	0.58	0.60
		N60	2664	2205	2434	2423	459	0.85	0.84	0.80	0.87
		N90	3137	2493	2815	2797	644	1.01	1.11	1.47	1.48
		N120	3507	2393	2950	2897	1114	1.57	1.19	1.97	1.47
	T ₃	N0	1616	1360	1488	1483	256	0.78	0.31	0.11	0.12
		N30	2302	1936	2119	2111	367	0.78	0.63	0.45	0.51
		N60	2810	2371	2590	2581	438	0.77	0.95	1.00	1.14
		N90	3128	2483	2805	2787	644	1.01	1.11	1.45	1.46
		N120	3740	2371	3056	2978	1370	1.80	1.26	2.37	1.52

زمان کاربرد و سطوح کود نیتروژنی بر شاخص‌های حساسیت و تحمل به تنش خشکی در گندم دیم نشان داد، عملکرد گندم در شرایط دیم (Y_s) با شاخص‌های STI، GMP، K₂STI، MP و K₁STI به ترتیب با ضریب تبیین ۰/۹۴، ۰/۹۴، ۰/۹۲، ۰/۹۱ و ۰/۷۷ همبستگی مثبت و معنی‌دار ($P < 0.01$) و با

تأثیر زمان کاربرد و سطوح نیتروژن بر شاخص‌های حساسیت و تحمل به تنش خشکی در گندم دیم تأثیر سطوح نیتروژن و زمان کاربرد بر شاخص‌های حساسیت و تحمل به تنش خشکی در گندم دیم در سال‌های زراعی ۹۲-۱۳۹۱ و ۹۳-۱۳۹۲ در جدول ۵ آمده است. جدول ماتریس ضریب همبستگی تأثیر

شاخص SSI همبستگی منفی معنی‌دار ($P < 0.05$) و با شاخص TOL همبستگی نداشت.

به‌طور صعودی افزایش داشت، اما پس از نقطه بیشینه (۹۴ کیلوگرم در هکتار) میزان این شاخص کاهش یافت.

تأثیر سطوح نیتروژن بر میانگین شاخص STI

میانگین شاخص STI مربوط به سطوح مختلف نیتروژن در دو سال زراعی ۱۳۹۱-۹۲ و ۹۳-۱۳۹۲ و میانگین دوسالانه شاخص STI، همگی از معادله‌های پلی‌نومیال پیروی کردند (جدول ۶). شاخص STI از N0 تا N90 به‌طور صعودی و با شیب تند افزایش و پس از آن در سطح N120 آغاز به کاهش کرد. میزان بیشینه این شاخص با کاربرد ۱۱۲ کیلوگرم نیتروژن در هکتار محقق شد. با توجه به تعریف شاخص STI، با افزایش سطح نیتروژن از N30 به N90 مقاومت به تنش خشکی در گندم دیم افزایش یافت.

تأثیر زمان کاربرد T₂ (دو سوم نیتروژن در پاییز و یک‌سوم در بهار) بر میانگین شاخص STI میانگین شاخص STI در زمان تقسیمی کاربرد دوسوم نیتروژن در پاییز و یک‌سوم در بهار به‌صورت سرک (T₂) در دو سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱ و ۹۳-۱۳۹۲ و میانگین دوسالانه شاخص STI، همگی از معادلات پلی‌نومیال پیروی کردند (جدول ۶). شاخص STI از N0 به سمت N120 به‌طور صعودی و با شیب تند افزایش نشان داد. بنابراین با کاربرد نیتروژن، مقاومت به تنش خشکی در گندم دیم به‌طور صعودی افزایش یافت، زیرا که اوج منحنی با کاربرد ۱۲۹ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و خارج از محدوده سطوح نیتروژنی قابل دسترس است.

تأثیر زمان کاربرد نیتروژن بر میانگین شاخص STI

تأثیر زمان کاربرد T₁ (کل نیتروژن در پاییز) بر میانگین شاخص STI میانگین شاخص STI در کاربرد کل نیتروژن در پاییز (T₁) در دو سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱ و ۹۳-۱۳۹۲ و میانگین دوسالانه شاخص STI، همگی از معادله‌های پلی‌نومیال پیروی کردند (جدول ۶). شاخص STI از N0 تا N90 به‌طور صعودی و با شیب تند افزایش و سپس از سطح N90 به سمت N120 آغاز به کاهش کرد. بر پایه تعریف شاخص STI، با افزایش سطح نیتروژن از N30 به سمت N90 مقاومت به تنش خشکی در گندم دیم در کاربرد کل نیتروژن در پاییز

تأثیر زمان کاربرد T₃ (نصف نیتروژن در پاییز و نصف در بهار) بر میانگین شاخص STI

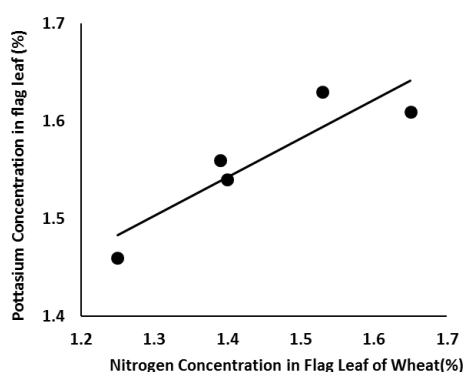
میانگین شاخص STI در زمان تقسیمی نصف نیتروژن در پاییز و نصف دیگر در بهار (T₃) و میانگین دوسالانه شاخص STI، همگی از معادله‌های پلی‌نومیال پیروی کردند (جدول ۶). شاخص STI از N0 به سمت N120 (ماکزیمم منحنی با کاربرد ۱۱۲ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به دست آمد) به‌طور صعودی و با شیب تند افزایش نشان داد و با افزایش نیتروژن مقاومت به تنش خشکی در گندم دیم به‌طور صعودی افزایش یافت.

جدول ۶. معادله‌های تأثیر سطوح نیتروژن و زمان‌های مصرف بر شاخص STI در سال‌های زراعی ۹۲-۱۳۹۱، ۹۳-۱۳۹۲ و میانگین دو سالانه

Table 6. Equations the effect of nitrogen rates and application time on STI during 2012-2013 and 2013-2014 and means of two years

Factor	Year	Equation	R ²
Nitrogen rate	2012-13	$Y = -7 \times 10^{-3}x^2 + 0.013x + 0.38$	0.98
	2013-14	$Y = -5 \times 10^{-3}x^2 + 0.01x + 0.30$	0.99
	Mean	$Y = -6 \times 10^{-3}x^2 + 0.013x + 0.34$	0.99
Total nitrogen in the fall (T ₁)	2012-13	$Y = -9 \times 10^{-3}x^2 + 0.02x + 0.21$	0.98
	2013-14	$Y = -1 \times 10^{-4}x^2 + 0.02x + 0.34$	0.93
	Mean	$Y = -1 \times 10^{-4}x^2 + 0.02x + 0.28$	0.93
Nitrogen splitting 2/3 in the fall +1/3 in the spring (T ₂)	2012-13	$Y = -9 \times 10^{-3}x^2 + 0.01x + 0.38$	0.98
	2013-14	$Y = -5 \times 10^{-3}x^2 + 0.01x + 0.35$	0.83
	Mean	$Y = -4 \times 10^{-3}x^2 + 0.01x + 0.37$	0.97
Nitrogen splitting 1/2 in the fall +1/2 in the spring (T ₃)	2012-13	$Y = -4 \times 10^{-3}x^2 + 0.01x + 0.31$	0.98
	2013-14	$Y = -5 \times 10^{-3}x^2 + 0.001x + 0.45$	0.96
	Mean	$Y = -5 \times 10^{-5}x^2 + 0.01x + 0.38$	0.99

رگرسیون با رابطه $K_{Conc} = -1/76 + 2/23 N_{Conc}$ با ضریب تبیین $0/81$ وجود داشت که این رابطه در سطح احتمال 5% معنی‌دار بود. از این رابطه چنین استنباط می‌شود که بین غلظت‌های نیتروژن و پتاسیم، رابطه هم‌افزایی (سینرژیستی) برقرار بود، به طوری که با افزایش غلظت نیتروژن به دلیل کاربرد کود نیتروژنی، غلظت پتاسیم نیز در برگ پرچم افزایش یافته است (شکل ۶).



شکل ۶. همبستگی بین غلظت نیتروژن و پتاسیم در برگ

پرچم گندم

Figure 6. Correlation of nitrogen and potassium concentrations in flag leaf

تأثیر زمان کاربرد و سطوح نیتروژن بر محتوای نسبی

آب (RWC) در برگ

نتایج جدول تجزیه واریانس تأثیر زمان کاربرد و مقادیر نیتروژن بر محتوای نسبی آب در برگ پرچم در دو مرحله ظهور سنبله (RWC_1) و دو هفته پس از ظهور سنبله (RWC_2) نشان داد که تأثیر اصلی زمان کاربرد و سطوح نیتروژن و اثر متقابل زمان کاربرد در سطوح نیتروژن بر RWC_1 معنی‌دار نبود. تأثیر مقادیر نیتروژن بر RWC_2 در سطح احتمال 5% معنی‌دار بود ولی اثر اصلی زمان کاربرد و اثر متقابل زمان کاربرد در سطوح نیتروژن بر RWC_2 معنی‌دار نشد (جدول ۷). مقایسه میانگین‌های تأثیر سطوح نیتروژن بر RWC_2 نشان داد که همه سطوح نیتروژن نسبت به شاهد افزایش داشتند که این اختلاف در سطح احتمال 5% معنی‌دار بود و همه سطوح نیتروژن در یک کلاس آماری قرار گرفتند (جدول ۸). افزایش میزان RWC در سطوح مختلف نیتروژن نسبت به

تأثیر سطوح نیتروژن بر غلظت نیتروژن در برگ

پرچم و شاخص STI

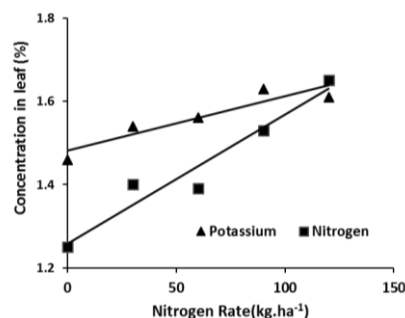
تأثیر سطوح نیتروژن بر غلظت نیتروژن در برگ از رابطه خطی با شیب مثبت $1/26$ و $N_{Conc} = 0/03X^2 + 1/26$ با ضریب تبیین $0/94$ پیروی کرد (شکل ۵). با افزایش سطوح نیتروژن از $N0$ به سمت $N120$ ، غلظت نیتروژن در برگ پرچم افزایش نشان داد. بین شاخص STI و غلظت نیتروژن برگ پرچم، رابطه رگرسیونی قوی با رابطه $STI = -2/27 + 2/15 N_{Conc}$ و $R^2 = 0/96$ وجود داشت به طوری که این رابطه در سطح آماری 5% معنی‌دار بود.

تأثیر سطوح نیتروژن بر غلظت پتاسیم در برگ پرچم

و شاخص STI

تأثیر سطوح نیتروژن بر غلظت پتاسیم در برگ پرچم از رابطه خطی با شیب مثبت پیروی کرد. با افزایش سطوح نیتروژن از $N0$ به سمت $N120$ ، غلظت پتاسیم در برگ افزایش یافت و از رابطه خطی زیر با ضریب تبیین $0/85$ پیروی کرد (شکل ۵).

$$K_{Conc} = 0/013X^2 + 1/48$$



شکل ۵. تأثیر سطوح مختلف کاربرد نیتروژن بر غلظت‌های

نیتروژن و پتاسیم در برگ پرچم گندم

Figure 5. Effect of nitrogen rates on potassium and nitrogen concentrations in flag leaf

بین شاخص STI و غلظت پتاسیم در برگ پرچم نیز

رگرسیون خطی معنی‌دار در سطح احتمال 1% درصد $R^2 = 0/94$ و $STI = -7/32 + 5/23 K_{Conc}$ وجود داشت.

رابطه هم‌افزایی بین غلظت‌های نیتروژن و پتاسیم در برگ پرچم

بین غلظت‌های نیتروژن و پتاسیم برگ پرچم، رابطه

در برگ در دو هفته پس از ظهور سنبله (RWC_2) به‌عنوان وابسته، رابطه‌ای با رابطه $43/7 N + 0/3 N + 0/02N^2 = RWC_2$ با ضریب تبیین $0/74$ برقرار بود اما بین سطوح نیتروژن به‌عنوان متغیر مستقل و محتوای نسبی آب در برگ پرچم در مرحله ظهور سنبله (RWC_1)، رابطه‌ای ضعیف از نوع پلی‌نومیال با ضریب تبیین $0/19$ وجود داشت.

شاهد (بدون کاربرد نیتروژن)، مبین کاهش تأثیر تنش خشکی ناشی از کاربرد کود نیتروژنی بود زیرا که در شاهد به دلیل بروز خشکی در مرحله دو هفته پس از ظهور سنبله گندم دیم، همزمان با قطع بارندگی و کاهش رطوبت خاک به زیر ظرفیت مزرعه و بروز تنش خشکی آخر فصل (نیمه دوم خردادماه) بود. بین سطح نیتروژن به‌عنوان متغیر مستقل و محتوای نسبی آب

جدول ۷. میانگین مربعات تأثیر زمان کاربرد و میزان نیتروژن بر محتوای نسبی آب در برگ در مرحله ظهور سنبله و دو هفته پس از ظهور سنبله

Table 7. Mean squares the effect of application time and nitrogen rates on Relative Water Content (RWC) in leaves at heading and two weeks after heading

SOV	Mean Squar		
	df	RWC_1	RWC_2
Replication	2	437.774 n.s	2864.413 n.s
Time	2	21.056 n.s	309.70 n.s
Nitrogen	4	33.837 n.s	257.868 *
Time × Nitrogen	8	67.800 n.s	133.335 n.s
CV (%)		12.39	17.92

ns: به ترتیب علامت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و نبود معنی‌داری است.

*, **, ns: Significantly difference at 5 and 1% probability levels, respectively.

جدول ۸. مقایسه میانگین‌های تأثیر سطوح نیتروژن بر محتوای نسبی آب در برگ در مراحل ظهور سنبله و دو هفته پس از ظهور سنبله

Table 8. Mean comparison the effects of nitrogen rates on Relative Water Content (RWC) in leaves at heading and two weeks after heading

Nitrogen Rate ($kg \cdot ha^{-1}$)	RWC_1	RWC_2
	%	%
0	66.83 a	41.88 b
30	69.64 a	54.50 a
60	70.46a	53.96 a
90	66.81 a	51.92 a
120	70.75 a	54.47 a
LSD _{5%}	8.304	8.944

حرف‌های همسان، علامت، معنی‌دار نبودن در سطح احتمال ۵ درصد است.

Different letters within a column indicates significant difference ($P < 0.05$).

به‌طوری‌که با افزایش غلظت نیتروژن در برگ، غلظت پتاسیم نیز افزایش پیدا کرد. بنابراین، چنین استنباط می‌شود که بین غلظت‌های نیتروژن و پتاسیم در گندم دیم، رابطه هم‌افزایی برقرار بود. در دو هفته پس از سنبله‌دهی (همزمان با بروز تنش رطوبتی در خاک) محتوای نسبی آب در برگ، با افزایش کاربرد نیتروژن، نسبت به شاهد افزایش نشان داد، این امر مؤید کاهش شدت تنش خشکی در گندم به دلیل کاربرد کود نیتروژنی است. این نتیجه با نتایج تحقیقات (2012) Elbashier *et al.* و (2014) Feiziasl *et al.*

در بین شاخص‌های حساسیت و تحمل به تنش خشکی مورد بررسی، شاخص STI، به دلیل ضریب تبیین بالاتر نسبت به دیگر شاخص‌های مورد بررسی، مناسب‌ترین شاخص برای ارزیابی تحمل به تنش خشکی در گندم دیم شناخته شد. با افزایش سطح نیتروژن، مقاومت به تنش خشکی در گندم دیم به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. غلظت نیتروژن در برگ پرچم با افزایش کاربرد نیتروژن، به‌طور خطی و مثبت افزایش یافت. بین غلظت‌های نیتروژن و پتاسیم در برگ پرچم نیز همبستگی مثبت وجود داشت،

همانند پتاسیم که مؤثر در سازوکارهای فیزیولوژیکی مقاومت به تنش خشکی گیاه است، بیشتر شده و در پی آن نیز اثر متقابل مثبت بین آب و نیتروژن، رشد گیاه بهبود و در نهایت تحمل به تنش خشکی در گندم دیم افزایش خواهد یافت. این نتیجه با نتایج پژوهش (Meena & Seth, 1974) که اعلام کردند رشد ریشه‌های بذر رقم‌هایی که به کاربرد نیتروژن پاسخ مثبتی نشان می‌دهند، در مرحله گیاهچه‌ای افزایش می‌یابد و در نتیجه کارایی این رقم‌ها برای کاربرد آب افزایش می‌یابد و این ویژگی در شرایط دیم منجر به افزایش مقاومت گیاه به تنش رطوبتی و افزایش عملکرد می‌شود همخوانی دارد. اما این نتیجه با نتایج بررسی‌های برخی از محققان مانند (Van Herwaarde *et al.*, 1998; Sorkhi Lalelou *et al.*, 2010)، مبنی بر نداشتن اثر متقابل بین دو عامل محدودکننده رشد مانند نیتروژن و آب و بهبود نیافتن کمی و کیفی محصول و یا اثر سوء آن در کاربرد مقادیر بیشتر نیتروژن همخوانی نداشت. این نتیجه با نتایج بررسی‌های برخی از پژوهشگران دیگر مبنی بر تأثیر منفی کاربرد نیتروژن بر مقاومت به تنش خشکی در گندم دیم نیز همخوانی نداشت (Van Herwaarden *et al.*, 1998).

نتیجه‌گیری کلی

مقاومت به تنش خشکی در گندم دیم در هر سه زمان کاربرد کود نیتروژن T_1 ، T_2 و T_3 افزایش یافت. اما کاربرد کل نیتروژن در پاییز (T_1) نسبت به دو زمان کاربرد تقسیطی کود (T_2 و T_3)، با تولید بیشینه عملکرد دانه، بیشترین کارایی زراعی نیتروژن، بالاترین کارایی استفاده از آب باران و بالاترین مقاومت به تنش خشکی، به‌عنوان بهترین زمان کاربرد کود نیتروژنی در گندم دیم شناخته شد. کاربرد ۶۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن با در نظر گرفتن اقتصاد کاربرد کود و میانگین افزایش ۹۶۱ کیلوگرم در هکتار عملکرد دانه نسبت به تیمار شاهد (NO)، بیشترین شاخص STI، بیشترین کارایی زراعی نیتروژن و بیشترین کارایی استفاده از آب باران و بیشترین مقاومت به تنش خشکی در گندم دیم به‌عنوان بهترین سطح کاربرد نیتروژن شناخته شد.

مبنی بر اینکه کاربرد نیتروژن منجر به کاهش تنش آبی و افزایش عملکرد دانه گندم دیم می‌شود همخوانی دارد. این نتیجه نیز با نتایج Nielsen & Halvorson (1991)، Jones *et al.* (1993)، Reynolds *et al.* (2000)، Anjum *et al.* (2011)، Ayeneh *et al.* (2010)، Araus & Lopes (2006) و (2002) مبنی بر این‌که کاربرد بهینه کودهای نیتروژنی در تعادل با محیط و رطوبت کافی می‌تواند ضمن کاهش شدت تنش خشکی در گیاه، منجر به تولید بهینه شود، همخوانی دارد. در این آزمایش با کاربرد نیتروژن در همه سطوح نیتروژن، کارایی استفاده از آب باران و تحمل به تنش خشکی افزایش یافت. کمترین کارایی استفاده از آب باران با ۲۶/۵ درصد در سطح N30 و بیشترین آن با ۵۷/۸ درصد در N90 نسبت به شاهد (NO) به دست آمد. این نتیجه با نتایج تحقیق Brown (1971) و Nielsen & Halvorson (1991) که گزارش کردند، با کاربرد کود نیتروژنی، کارایی استفاده از آب به میزان ۴۱ درصد افزایش داشت و تأثیر تنش خشکی در گندم دیم کاهش یافت، همخوانی دارد. پژوهشگران دیگری نیز در نتایج بررسی‌های خود افزایش مقاومت به تنش خشکی و افزایش تولید گندم دیم را در نتیجه مدیریت کاربرد نیتروژن به دلیل تأثیر نیتروژن بر محتوی سبزینه (کلروفیل)، سطح اندام نوساخت‌کننده و تأثیر مثبت بر رشد و گسترش ریشه گزارش کرده‌اند (Seligman *et al.*, 1983; Hafsi *et al.*, 2007). این پژوهشگران همچنین گزارش کردند که کودهای نیتروژنی، اغلب از راه افزایش عمق توسعه ریشه گندم، کارایی استفاده از نیتروژن کاربردی را افزایش می‌دهند. Brown (1971) بر این باور بود، کوددهی نه تنها رشد اندام‌های هوایی، بلکه رشد ریشه را در گیاهان افزایش می‌دهد. بنابراین در این تحقیق چنین استنباط می‌شود که افزایش کارایی استفاده از آب باران در گندم دیم، به دلیل تأثیر مثبت کاربرد نیتروژن بر افزایش توسعه ریشه در خاک بوده باشد. با توسعه بیشتر ریشه در خاک، جذب آب در گیاه افزایش می‌یابد و در نتیجه افزایش جذب آب، حرکت و جذب عنصرهای غذایی محلول در آب خاک از جمله نیتروژن افزایش و جذب عنصرهایی

کردستان در انجام آزمایش‌های مزرعهای و تجزیه‌های خاک و گیاه این پژوهش، تشکر و قدردانی می‌گردد.

سپاسگزاری

از زحمات همکاران بخش تحقیقات خاک و آب مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی

REFERENCES

1. Acevedo, E., Silva, P. & Silva, H. (2009). Wheat growth and physiology. In: B. C. Curtis, Rajaram, S. & Gómez Macpherson, H (Ed), *Bread Wheat Improvement and Production*. (pp 1-31). Food and Agriculture Organization of the United Nations.
2. Ali-Ehyaie, M. V. & Behbehani-Zadeh, A. A. (1993). *Methods of soil analysis (Volume I)*. Soil and Water Research Institute, Publication No. 893, (pp. 129), Iran. (in Farsi)
3. Anjum, S. A., Xie, X. L., Wang, M. F., Saleem, Man, C. & Lei, W. (2011). Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. *African Journal of Agricultural Research*, 6(9), 2026-2032.
4. Antep, S. (1997). Evaluation of some chemical of soil nitrogen available based on ¹⁵nitrogen technique. *Common Soil Sci, Plant Anal*, 28, 537- 550.
5. Ayeneh, A., Van Ginkel, M., Reynolds, M. P. & Ammar, K. (2002). Comparison of leaf, spike, peduncle, and canopy temperature depression in wheat under heat stress. *Field Crops Research*, 79, 173-184
6. Barnabas, B., Jager, K. & Feher, A. (2008). The effect of drought and heat stress on reproductive processes in cereals. *Plant, Cell and Environment*, 31, 11-38.
7. Brown, P. L. (1971). Water use and soil water depletion by dryland winter wheat as affected by nitrogen fertilization. *Agronomy Journal*, 63, 43-46.
8. Ejaz, A., Waraich, R., Saifullah, A. & Sabir, M. (2007). Nitrogen Nutrition and water Stress Effects on Growth Yield Water Use Efficiency of Wheat (*Triticum aestivum*). *Pakistan Journal of Agricultural Science*, 44(1), 64-73.
9. Elbashier, E. M. E., Tahir, I. S. A., Saad, A. I. & Ibrahim, M. A. S. (2012). Wheat genotypic variability in utilizing nitrogen fertilizer for a cooler canopy under a heat-stressed irrigated environment. *African Journal of Agricultural Research*, 7(3), 385-392.
10. Feiziasl, V. & Valizadeh, G. R. (2003). The effects of nitrogen rate and application times on wheat yield under dryland farming conditions. Iran. *Soil Water Science Journal*, 17, 29-38.
11. Feiziasl, V., Fotovat, A. Astaraei, A., Lekzian, A. & Mosavishaklmani, M. (2014). Determination of soil and plant water balance and its critical stages for rainfed wheat using Crop Water Stress Index (CWSI). *Journal of Water and Soil*, 28, 804-817. (in Farsi)
12. Feiziasl, V. (2007). *Study on the effects of different sources and rates of soil nitrogen on quality and quantities of rainfed wheat*. Dry Land Agriculture Research Institute (DARI), Registered number 86/317, 146. (in Farsi)
13. Fernandez, G. C. J. (1992). Effective selection criteria for assessing stress tolerance. In: Kuo, C. G. (Ed), *Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and Other Food Crops in Temperature and Water Stress*. Publication, Tainan, Taiwan, pp 257-270.
14. Fischer, R. A. & Maurer, R. (1978). Drought resistance in spring wheat cultivars. Part 1: Grain yield response. *Australian Journal of Agricultural Research*, 29, 897-912.
15. French, R. J. & Schultz, J. E. (1984). Water use efficiency of wheat in a Mediterranean- type environment. I. The relation between yield, water use and climate. *Australian Journal of Agricultural Research*, 35, 743-764.
16. Fowler, D. B., Brydon, J. & Buker, R. J. (1989). Nitrogen fertilization of no-till winter wheat and rye. I. Yield and agronomic responses. *Agronomy Journal*, 81, 66-72.
17. Ghaffari, A. (2007). *Methods of increasing of production in rainfed land of Iran*. Publication of agricultural education, pp. 91. (in Farsi)
18. Jepsen, D. R. (2010). *Nitrogen management and variety selection for dryland production of hard red winter wheat in Northeastern Oregon*. M.Sc. thesis, Oregon State University. pp 97.
19. Jones, M., Mathys, G. & Rijks, D. (1993). The Agrometeorology of rainfed barley-based farming systems. *International Symposium*, Tunis, 6-10 March, pp. 272-288.
20. Johnston, A. M. & Fowler, D. B. (1992). Response of no-till winter wheat to nitrogen fertilization and drought stress. *Canadian Journal of Plant Science*, 72, 1075-1089.
21. Hafsi, M., Akhter, J. & Monneveux, P. (2007). Leaf senescence and carbon isotope discrimination in durum wheat (*Triticum durum* Desf.) under severe drought conditions. *Cereal Research Communications*, 35, 71-80.

22. Halvorson, A. D., Nielsen, D. C. & Reule, C. A. (2004). Nitrogen fertilization and rotation effects on no-till dryland wheat production. *Agronomy Journal*, 96, 1196-1201.
23. Johnston, A. M. & Fowler, D. B. (1992). Response of no-till winter wheat to nitrogen fertilization and drought stress. *Canadian Journal of Plant Science*, 72, 1075-1089.
24. Lopes, M. S. & Araus J. L. (2006). Nitrogen source and water regime effects on durum wheat photosynthesis and stable carbon and nitrogen isotope composition. *Physiologia Plantarum*, 126(3), 435-445.
25. Malakouti, M. J. & Homaei, M. (2004). *Soil fertility in arid regions: Problems and solutions*. Tarbiat Modares University Publication. Tehran, Iran. (in Farsi)
26. Malakouti, M. J. & Nafisi, M. (1994). *Fertilization of dryland and irrigated soils*. Tarbiat Modares University Press. (in Farsi)
27. Meena, N. L. & Seth, J. (1974). Root distribution pattern and nitrogen uptake of some wheat and triticale germplasms in relation to rates and methods of nitrogen application. In: *Symposium On use of radiation and radioisotopes in studies of plant productivity*. Food and Agric, Committee of the Dept of Atomic energy, Govt, India.
28. Mohammadi, M., Karimizadeh, R. & Naghavi, M. R. (2009). Selection of bread wheat genotypes against heat and drought tolerance based on chlorophyll content and stem reserves. *Journal of Agriculture and Social Science*, 5(5), 119-122.
29. Nielsen, D. C. & Halvorson, A. D. (1991). Nitrogen fertility influence on wheat stress and yield of winter wheat. *Agronomy Journal*, 83, 1065-1070.
30. Nielsen, E.T. & Orcutt, D. M. (1996). *The Physiology of Plants under Stress: Abiotic Factors*. New York, John Wiley and Sons. pp 689.
31. Prihar, S. S., Sandhu, K. S., Singh, M., Verma, H. N. & Singh, R. (1989). Response of dryland wheat to small supplemental irrigation and fertilize nitrogen in Submontane Punjab. *Fertilizer Research*, 21, 23-28.
32. Reynolds, M. P., Delgado, M. I., Gutierrez-Rodriguez, B. M. & Larque-Saavedra, A. (2000). Photosynthesis of wheat in a warm, irrigated environment. I. Genetic diversity and crop productivity. *Field Crops Research*, 66, 37-50.
33. Ryan, J., Pala, M., Masri, S., Singh, M. & Harris, H. (2008). Rainfed wheat-based rotations under Mediterranean conditions: Crop sequences, nitrogen fertilization, and stubble grazing in relation to grain and straw quality. *European Journal of Agronomy*, 28, 112-118.
34. Ryan, J., Nsarellah, N. & Mergoum, M. (1997). N fertilization of durum wheat in the rainfed area of Morocco: biomass, yield. *Cereal Res Communications*, 25, 85-90.
35. Rosille, A. A. & Hambilin, J. (1981). Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. *Crop Science*, 21, 43-46.
36. Sedri, M. H. & Roohi, I. (2008). *To study the effect of nitrogen and potassium fertilizers on drought tolerance, quantity and quality of rain fed wheat (Azar2)*. Agricultural and Natural Resources Research Center of Kurdistan. Registered number 88/1537. (in Farsi)
37. Seligman, N., Loomis, G., Burke, R. S. J. & Abshahi, A. E. (1983). Nitrogen nutrition and canopy temperature in field-grown spring wheat. *The Journal of Agricultural Science (Cambridge)*, 101, 691-697.
38. Sorkhi Lalelou, F., Shakiba, M. R., Dabbagh Mohammadi-Nassab, A. & Mohammadi, S. A. (2010). Effects of drought stress and nitrogen nutrition on seed yield and proline content in bread and durum wheat genotypes. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 8 (3and 4), 857-860.
39. Van Herwaarden, A. F., Farquhar, G. D., Angus, J. F., Richards, R. A. & Howe, G. N. (1998). Haying-off, the negative grain yield response of dryland wheat to nitrogen fertiliser. I. Biomass, grain yield, and water use. *Australian Journal of Agricultural Research*, 49, 1067-1081.