



بررسی تأثیر تنش کم آبی و مقادیر مختلف کود نیتروژن بر عملکرد، اجزای عملکرد و کارآیی مصرف آب سیب زمینی (*Solanum tuberosum* L.)

حمیدرضا باقری^{۱*}، محمدحسین قربینه^۲، عبدالمهدی بخشنده^۳، جواد طایی^۴، عبدالمحمد محنت کش^۵، بهرام اندرزبان^۶
 ۱. دانشجوی دکتری زراعت دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان.
 ۲. دانشیار گروه زراعت دانشکده کشاورزی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان.
 ۳. استاد گروه زراعت دانشکده کشاورزی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان.
 ۴. استادیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه جیرفت.
 ۵. استادیار پژوهش مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری.
 ۶. استادیار پژوهش مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان.

تاریخ دریافت: ۹۳/۰۳/۰۴؛ تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۶/۳۰

چکیده

به منظور بررسی اثر سطوح مختلف تنش کم آبی و کود نیتروژن بر عملکرد و سایر صفات زراعی سیب زمینی رقم بون، آزمایشی در سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱ با سه سطح تنش کم آبی S_1 ، S_2 و S_3 (به ترتیب تأمین ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی سیب زمینی پس از سبز شدن تا پایان دوره رشد) به عنوان فاکتورهای اصلی و ۴ تیمار کود نیتروژن N_1 ، N_2 ، N_3 و N_4 (به ترتیب تأمین ۱۰۰، ۶۶، ۳۳ و صفر درصد نیاز کودی) به عنوان فاکتورهای فرعی به صورت کرت‌های خردشده، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری به اجرا درآمد. در این آزمایش، تنش کم آبی در صد ماده خشک غده‌ها را افزایش داد، اما مقادیر نیتروژن روند مشخصی در تغییرات این صفت ایجاد نکرد. با اعمال تنش خشکی و کاهش مصرف کود نیتروژن تعداد غده در بوته و وزن غده‌ها کاهش یافت. عملکرد غده قابل فروش در تیمارهای S_1 و S_2 اختلاف معنی‌دار نداشت اما تنش آبی (S_3) منجر به افت شدید عملکرد شد. تیمارهای N_1 ، N_2 و N_3 باعث افزایش عملکرد غده قابل فروش به ترتیب به میزان ۳۰، ۳۶ و ۱۱ درصد نسبت به شاهد (N_4) شدند. به علت کاهش عملکرد غده در تیمارهای S_2 و S_3 در بالاترین سطح مصرف نیتروژن (N_1)، اثر متقابل تنش خشکی و نیتروژن بر عملکرد غده، معنی‌دار شد. تیمار N_2 در شرایط تنش شدید کم آبی و تنش متوسط دارای بالاترین و تیمار N_4 در شرایط بدون تنش دارای کمترین کارآیی مصرف آب بود. بر اساس تجزیه رگرسیون مرحله‌ای، صفت میانگین وزن غده قابل فروش به تنهایی بیشترین تغییرات عملکرد غده در واحد سطح را توجیه کرد.

واژه‌های کلیدی: بون، برهمکنش، رژیم آبیاری، ماده خشک، وزن غده.

مقدمه

و کشاورزان را بر آن داشته تا با رفع کمبود عناصر غذایی و با مدیریت صحیح مصرف آب و کود، تولید این محصول را به توان ژنتیکی آن نزدیک کنند (Haase et al., 2007). کمبود آب در مناطق مختلف کشور عملکرد و تولید بسیاری از محصولات کشاورزی را شدیداً تحت تأثیر قرار داده، به طوری که حفظ، نگهداری و استفاده بهینه از منابع آب در مصارف کشاورزی همراه با افزایش کارآیی مصرف آب در تولید انواع محصولات زراعی، از اصول اساسی توسعه

سیب زمینی (*Solanum tuberosum* L.) یکی از محصولات غده‌ای مهم است که نقش عمده‌ای در تغذیه مردم جهان دارد. تولید سالانه بیش از ۵/۵ میلیون تن سیب زمینی در کشور، این محصول را در ردیف مهم‌ترین مواد غذایی قابل مصرف بعد از گندم قرار داده است (ICT Center of Iran Jihad-e-Agriculture Ministry, 2013). افزایش مصرف این گیاه در صنعت و صنایع غذایی همگام با روند افزایشی جمعیت جهان، متخصصان کشاورزی

از مرحله رشد اولیه غده‌ها باعث حفظ محصول و افزایش کارایی مصرف آب نسبت به نمونه شاهد، شده است. سایر محققان نیز کاهش عملکرد، اجزای عملکرد شامل تعداد غده در بوته و میانگین وزن غده در بوته و همچنین افزایش کارایی مصرف آب را در اثر اعمال تنش‌های رطوبتی گزارش کرده‌اند (Sobhani and hamidi, 2013; Alva et al., 2012; Liu et al., 2006; Ayas, 2013).

علاوه بر تأمین نیاز آبی، ارقام جدید سیب‌زمینی به مقادیر بالای کود نیتروژن نیاز دارند (Errebhi et al., 1999). فراوانی نیتروژن موجب تحریک رشد رویشی سیب‌زمینی می‌شود و غده‌بندی را به تأخیر می‌اندازد، ولی تا زمانی که سایر عوامل محیطی و گیاهی محدودکننده نباشد، موجب افزایش رشد غده و عملکرد می‌گردد (Khajehpoor, 2007). هنگامی که گیاه در شرایط غیرعادی از جمله مصرف بیشتر از حد کود نیتروژن رشد نماید، تولید پروتئین کاهش یافته و نیتروژن به شکل غیر پروتئینی در گیاه تجمع می‌یابد (Doring et al., 2005).

آلوا و همکاران (Alva et al., 2012) گزارش کردند مصرف بهینه کود نیتروژن، وزن خشک گیاه، تعداد غده، وزن غده و خصوصیات کیفی و کمی غده‌ها را بهبود بخشیده ولی مصرف بیش‌ازحد آن سبب تأخیر در نمو و تغییر خصوصیات کیفی و کمی غده‌ها می‌گردد.

افزایش مصرف نیتروژن در خاک، درصد ماده خشک غده‌ها را به‌طور معنی‌دار کاهش می‌دهد (Darwish et al., 2011; Eskandari et al., 2006). ایاز (Ayas, 2013) گزارش کرد یک رابطه خطی مثبت و معنی‌دار بین میزان نیتروژن خاک با اجزای عملکرد شامل تعداد غده در بوته و میانگین وزن غده‌ها وجود دارد. وانگ و همکاران (Wang et al., 2007) و یزدان دوست (Yazdandoost, 2003) نیز به نتایج مشابهی دست یافتند. تحقیقات متعددی به کاهش عملکرد غده در واحد سطح ناشی از عدم یا کاهش مصرف نیتروژن در خاک اشاره داشته‌اند (Yazdandoost, 2003; Mousavi Fazl et al., 2003).

نتایج بسیاری از پژوهش‌ها حاکی از آن است که ترکیب مناسبی از تیمارهای کود نیتروژن و رژیم آبیاری به‌طوری‌که گیاه در یک دوره خاص یا در تمام فصل رشد با سطح معینی از تنش آبی مواجه شود، ممکن است منجر به حصول حداکثر راندمان مصرف آب در گیاه شود (Shock et al., 2007).

پایدار کشاورزی بوده و به‌عنوان فاکتور مهمی در چشم‌انداز توسعه همه‌جانبه کشور در نظر گرفته شده است. در حال حاضر کارایی مصرف آب در بخش کشاورزی کشور، به‌عنوان عمده‌ترین مصرف‌کننده آب، کمتر از یک کیلوگرم ماده خشک بر مترمکعب آب مصرفی است و چنانچه همین روند ادامه یابد، احتمالاً دستیابی به چشم‌انداز تولید محصولات کشاورزی در سال ۱۴۰۰ با آب‌های موجود و قابل استحصال، ممکن نخواهد بود؛ بنابراین با توجه به بحران خشک‌سالی در کشور، استراتژی درازمدت برنامه‌های کشاورزی باید بر مبنای راهکارهای تفاهم و مقابله با خشکی استوار باشد (Samadi and Ebrahimi, 2010).

تحقیقات متعددی نشان داده سیب‌زمینی حساس به تنش خشکی در همه مراحل نمو به‌ویژه مرحله تشکیل غده است (Fabeiro et al., 2001; Ayas, 2013; Shock et al., 2013). ریشه کم‌عمق با گسترش محدود و ناتوانی آن در جذب آب از اعماق پایین‌تر، از دلایل این حساسیت به شمار می‌رود به‌طوری‌که در خاک‌های با ظرفیت رطوبتی پایین، حساسیت به تنش خشکی بیشتر بروز می‌کند (Ayas, 2013). تنش خشکی می‌تواند باعث کاهش سطح برگ و فتوسنتز شود. اعمال تنش خشکی در مرحله غده‌دهی نسبت به دیگر مراحل، عملکرد را به میزان بیشتری پایین می‌آورد و ممکن است بر بازارپسندی محصول نیز تأثیرگذار باشد (Ierna and Mauromicale, 2006). همچنین کمبود آب باعث کاهش تعداد ساقه و ماده خشک، اختلال در فتوسنتز، ایجاد عوارض فیزیولوژیکی مثل ترک‌خوردگی، رشد ثانویه و غده‌های تغییر شکل یافته نیز می‌شود (King et al., 2004).

شدت، زمان و مدت کمبود رطوبت خاک طی مراحل مختلف رشد سیب‌زمینی بر عملکرد این گیاه تأثیرگذار است. در این ارتباط کینگ و همکاران (King et al., 2004) اظهار داشتند کمبود رطوبت خاک در اواسط و اواخر غده‌بندی سیب‌زمینی موجب کاهش عملکرد غده می‌گردد. شوک و همکاران (Shock et al., 1998) نیز بیان داشتند که در برخی شرایط سیب‌زمینی می‌تواند نسبت به کمبود رطوبت خاک پیش از غده بندی بدون کاهش معنی‌دار در عملکرد غده، تحمل نشان دهد.

شاه‌نظری و همکاران (Shahnazari et al., 2007) اثر کم‌آبیاری را بر گیاه سیب‌زمینی بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که اعمال تنش با کاهش ۳۰ درصد نیاز آبی پس

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱ به‌منظور بررسی اثر سطوح مختلف آبیاری (تنش کم‌آبی) و سطوح کود نیتروژنی بر عملکرد و سایر صفات زراعی سیب‌زمینی در ایستگاه تحقیقاتی چهارتخته مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری با اقلیم منطقه‌ای نیمه مرطوب با تابستان معتدل و زمستان بسیار سرد (Karimi, 2003) به اجرا درآمد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه به شرح جدول ۱ می‌باشد.

1998; Zhang et al., 2006; Shahnazari et al., 2007).

سیب‌زمینی، یکی از محصولات عمده استان چهارمحال و بختیاری است که به دلیل تغییر پارامترهای اقلیمی و کاهش ریزش‌های جوی در سال‌های گذشته، تولید آن کاهش یافته است. از سویی تأثیر رژیم‌های آبیاری و مقادیر متفاوت کود نیتروژنی در بهبود راندمان مصرف آب و حفظ محصول در بسیاری از گزارش‌ها تأیید شده است، از این‌رو تحقیق حاضر با هدف بررسی اثرات این تیمارها بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه سیب‌زمینی، ارزیابی کارایی مصرف آب و همچنین بررسی نقش اجزای عملکرد در توجیه تغییرات عملکرد غده در واحد سطح اجرا شد.

جدول ۱. خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک مزرعه

Table 1. Chemical and physical characteristics of field soil

هدایت الکتریکی	اسیدیته	کربن آلی	کربنات کلسیم	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	روی
E.C.	pH	O.C.	T.N.V.	N	P _{ava}	K _{ava}	Zn
(ds/m)		(%)	(%)	(%)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)
0.598	7.90	0.502	20.5	0.071	9.6	310	0.49
منگنز	آهن	مس	جرم حجمی	رس	سیلت	شن	بافت خاک
Mn	Fe	Cu	Density	Clay (%)	Silt (%)	Sand (%)	Soil texture
(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(gr/cm ³)				
7.91	3.52	0.81	1.4	31.5	43.5	25.0	لوم رسی Clay loam

نیاز آبی سیب‌زمینی بر اساس پژوهشی که محنت‌کش (Mehnatkesh, 1994) به‌منظور تعیین آب موردنیاز و دور آبیاری سیب‌زمینی در شهرکرد انجام داد و با در نظر گرفتن راندمان آبیاری در سیستم آبیاری جوی و پشته، معادل ۸۶۰۰ مترمکعب آب در هکتار در نظر گرفته شد؛ بنابراین تیمارهای S₁، S₂ و S₃ به ترتیب به‌صورت آبیاری با ۸۶۰۰، ۶۴۵۰ و ۴۳۰۰ مترمکعب آب در هکتار لحاظ گردید. اعمال تنش با کاهش مقدار آب در هفته (دور ثابت آبیاری) به‌وسیله سیستم لوله‌کشی تا مزرعه و با استفاده از کنتور با دقت یک لیتر انجام شد. در زمان اجرای طرح (کاشت تا برداشت) میزان بارندگی صفر میلی‌متر بود.

تیمارهای کود نیتروژنی شامل N₁، N₂، N₃ و N₄ به ترتیب مصرف ۴۰۰، ۲۶۶، ۱۳۳ و صفر کیلوگرم کود اوره در هکتار در نظر گرفته شد. کود نیتروژنی (اوره) با توجه به تیمارهای آزمایشی طی دو مرحله (نیمی در مرحله آغاز

در این پژوهش رقم بورن مورد مطالعه قرار گرفت. بورن رقمی است زودرس با عملکرد مطلوب که قابلیت سازگاری بالایی با شرایط آب و هوایی چهارمحال و بختیاری نشان داده است. آزمایش با سه سطح آبیاری S₁ (آبیاری کامل، تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی)، S₂ (تأمین ۷۵ درصد) و S₃ (تأمین ۵۰ درصد نیاز آبی سیب‌زمینی پس از سبز شدن بوته‌ها تا پایان دوره رشد) به‌عنوان فاکتورهای اصلی و چهار تیمار کود نیتروژن (N₁: تأمین ۱۰۰ درصد نیاز کودی، N₂: 66 درصد نیاز کودی، N₃: 33 درصد نیاز کودی و N₄: بدون مصرف کود) به‌عنوان فاکتورهای فرعی به‌صورت کرت‌های خردشده، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. در مجموع آزمایش شامل ۳۶ کرت آزمایشی و هر کرت با مساحت ۲۷ مترمربع شامل ۶ ردیف کاشت به طول ۶ متر بافاصله بین ردیف ۷۵ سانتی‌متر و با تراکم ۶/۷ بوته در مترمربع بود.

معنی‌دار بود. سطوح کود نیتروژن به‌جز درصد ماده خشک غده‌ها، سایر صفات مورد مطالعه شامل تعداد و وزن غده‌های قابل‌فروش، عملکرد غده بذری و قابل‌فروش در واحد سطح و کارایی مصرف آب را تحت تأثیر قرار داد. در این پژوهش اثر متقابل تنش خشکی و کود نیتروژن بر صفات وزن غده قابل‌فروش، عملکرد غده بذری و قابل‌فروش در واحد سطح و کارایی مصرف آب معنی‌دار بود (جدول ۲ و ۳).

ماده خشک غده‌ها مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد با اعمال تنش کم‌آبی درصد ماده خشک غده‌ها به‌طور معنی‌دار افزایش می‌یابد. در آزمایش حاضر در تیمارهای آبیاری کامل (S_1) و تأمین ۷۵٪ نیاز آبی (S_2)، درصد ماده خشک غده‌ها بدون تفاوت آماری (به ترتیب ۲۰/۶ و ۲۰/۹ درصد) ولی در تیمار تأمین ۵۰ درصد نیاز آبی (S_3) میزان ماده خشک غده‌ها به ۲۲/۹ درصد رسید. درصد ماده خشک غده‌ها تحت تأثیر تیمارهای کود نیتروژن قرار نگرفت (جدول ۴). درویش و همکاران (Darwish et al., 2006) به این نتیجه رسیدند که با اعمال تنش خشکی (کم‌آبیاری) بر درصد ماده خشک غده‌ها به‌طور معنی‌داری افزوده می‌شود به‌طوری‌که در آزمایش آن‌ها در رژیم‌های آبیاری تأمین ۱۲۵ و ۶۰ درصد نیاز آبی سیب‌زمینی، میزان ماده خشک غده‌ها از ۲۰/۳۹ به ۲۱/۴۴ درصد افزایش یافت. همچنین آن‌ها دریافتند که با افزایش سطح نیتروژن مصرفی در کشت سیب‌زمینی از ۱۲۵ به ۵۰۰ کیلوگرم سولفات آمونیوم در هکتار، میزان ماده خشک از ۲۱/۷ به ۲۰/۴ درصد کاهش می‌یابد. به نظر می‌رسد علت افزایش درصد ماده خشک ناشی از اعمال تنش خشکی، کاهش پتانسیل آب اطراف ریشه و کمبود آب در دسترس گیاه است که در نتیجه آن آب کم‌تری به بافت‌های زنده گیاه هدایت و درصد ماده خشک غده‌ها افزایش می‌یابد. پژوهش‌های متعددی مؤید این مطلب است که با کاهش میزان آبیاری و اعمال تنش خشکی، ضمن کاهش عملکرد، درصد ماده خشک غده‌ها افزایش می‌یابد که نتیجه این تحقیق با پژوهش‌های یادشده مطابقت دارد (Eskandari et al., 2011; Ayas and Korukcu, 2010; Ayas, 2013; Porter et al., 1999). در این آزمایش اثر متقابل تنش خشکی و نیتروژن بر درصد ماده خشک غده‌ها معنی‌دار نبود (جدول ۲).

سبز شدن و نیم دیگر در مرحله آغاز غده‌بندی) به‌صورت نواری در دو طرف پشته‌ها به خاک افزوده شد. فسفر و پتاسیم به ترتیب به‌صورت سوپرفسفات تریپل و سولفات پتاسیم، بر پایه آزمون خاک در کرت‌های آزمایش به‌طور یکنواخت همزمان با کاشت، مصرف و عناصر ریزمغذی نیز بر مبنای تعیین حدود بحرانی آهن، روی و منگنز که توسط مؤسسه خاک و آب تعیین‌شده، به ترتیب به‌صورت سکوسترین ۱۳۸، سولفات روی و سولفات منگنز در طی دوره رشد، در اختیار گیاه قرار گرفت. به‌منظور جلوگیری از اختلاط آب آبیاری و تیمارهای کودی، آبیاری هر یک از پشته‌ها در کرت‌های آزمایشی به‌صورت مستقل انجام و از خروج آب کرت‌ها جلوگیری شد.

کاشت بر اساس نتایج تحقیقات صورت گرفته (Bagheri and Safari, 2009) و بررسی تاریخ کاشت غالب منطقه، دهه سوم خردادماه انجام و برداشت در اواخر مهرماه با حذف حاشیه‌ها در سطح ۱۸ مترمربع برای هر کرت، صورت گرفت. غده‌های تولیدی در اندازه‌های درشت با قطر بزرگ‌تر از ۵۵ میلی‌متر، متوسط بذری با قطر ۳۵ تا ۵۵ میلی‌متر و غده‌های ریز با قطر کمتر از ۳۵ میلی‌متر توزین شدند. غده‌های بزرگ‌تر از ۳۵ میلی‌متر به‌عنوان غده‌های قابل‌فروش در نظر گرفته شد. در این آزمایش عملکرد غده بذری و قابل‌فروش در واحد سطح، اجزای عملکرد شامل تعداد غده در بوته، میانگین وزن غده‌ها و برخی صفات مرتبط با عملکرد مانند درصد ماده خشک غده‌ها و نهایتاً کارایی مصرف آب اندازه‌گیری و محاسبه شد. درصد ماده خشک غده‌ها با تناسب وزن خشک به وزن تر غده‌ها و کارایی مصرف آب با تناسب عملکرد غده تر بر حجم آب مصرفی در واحد سطح تعیین گردید.

تجزیه آماری و مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) با استفاده از نرم‌افزارهای SAS و MSTATC در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت و نمودارها با نرم‌افزار Excel رسم شد.

نتایج و بحث

نتایج آزمایش نشان داد اثر تنش کم‌آبی بر درصد ماده خشک غده‌ها، میانگین وزن غده‌های قابل‌فروش، عملکرد غده قابل‌فروش در واحد سطح و کارایی مصرف آب،

جدول ۲. تجزیه واریانس درصد ماده خشک غده‌ها، تعداد غده قابل فروش در بوته و وزن غده قابل فروش (آزمایش کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی)

Table 2. Analysis of variance for tuber dry matter (%), No. of marketable tubers and marketable tubers weight (split plot experiment based on randomized complete block design)

منابع تغییر (S.O.V)	درجه آزادی df	میانگین مربعات (Mean of Squares)		
		درصد ماده خشک غده Tuber dry matter (%)	تعداد غده قابل فروش در بوته No. of marketable tubers per plant	وزن غده قابل فروش Marketable tubers weight
تکرار Replication	2	4.20*	1.7 ^{ns}	1739.3**
تنش کم‌آبی Water deficit stress (S)	2	18.76*	8.0 ^{ns}	8349.2*
خطای اصلی Main error	4	1.98	3.2	668.4
کود نیتروژن Nitrogen Fertilizer (N)	3	0.71 ^{ns}	4.2*	4093.2**
تنش خشکی × کود نیتروژن S * N	6	1.32 ^{ns}	1.9 ^{ns}	379.5*
خطای فرعی Sub error	18	0.97	0.97	111.0
ضریب تغییرات (درصد) C.V. (%)	-	4.6	12.8	10.7

***، * و ns به ترتیب بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ درصد، ۵ درصد و بدون اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

***, *: significantly different at a=0.05 and a=0.01 probability levels, respectively; ns: non-significant.

جدول ۳. تجزیه واریانس عملکرد غده بذری، عملکرد غده قابل فروش و کارایی مصرف آب (آزمایش کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی)

Table 3. Analysis of variance for seed tuber yield, marketable tuber yield and WUE (split plot experiment based on randomized complete block design).

منابع تغییر (S.O.V)	درجه آزادی df	میانگین مربعات (Mean of Squares)		
		عملکرد غده بذری Seed tuber yield	عملکرد غده قابل فروش Marketable tuber yield	کارایی مصرف آب WUE
تکرار Replication	2	20.9 ^{ns}	207.2**	4.07**
تنش کم‌آبی Water deficit stress (S)	2	193.3 ^{ns}	1970.7**	6.83**
خطای اصلی Main error	4	57.2	93.2	1.66
کود نیتروژن Nitrogen Fertilizer (N)	3	31.1**	381.5**	8.79**
تنش خشکی × کود نیتروژن S * N	6	25.7**	90.7**	1.92**
خطای فرعی Sub error	18	11.9	14.4	0.28
ضریب تغییرات (درصد) C.V. (%)	-	14.7	8.2	7.3

***، * و ns به ترتیب بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ درصد، ۵ درصد و بدون اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

***, *: significantly different at a=0.05 and a=0.01 probability levels, respectively; ns: non-significant.

در بوته نیز افزایش می‌یابد. او دریافت بین صفت تعداد غده در بوته و میزان آب مصرفی همبستگی مثبت و بسیار معنی‌دار ($r=0.97$) برقرار است. در آزمایش حاضر برهمکنش تنش خشکی و نیتروژن بر تعداد غده قابل‌فروش در بوته معنی‌دار نبود (جدول ۲).

میانگین وزن غده قابل‌فروش میانگین وزن غده قابل‌فروش متأثر از تنش کم‌آبی و تیمارهای کود نیتروژنی بود. حداکثر وزن غده‌ها در رژیم آبیاری کامل مشاهده شد (۱۱۸ گرم) که از نظر آماری تفاوتی با رژیم آبیاری تأمین ۷۵ درصد نیاز آبی (S_2) نداشت ولی در تیمار S_3 (تأمین ۵۰ درصد نیاز آبی) غده‌های سبک‌تر با میانگین وزن ۶۸/۶ گرم تولید شد (جدول ۴) که می‌توان نتیجه گرفت در این رژیم آبیاری، میانگین وزن غده‌ها به رده غده‌های بذری نزدیک‌تر است. فابیرو و همکاران (Fabeiro et al., 2001) گزارش کردند علی‌رغم اینکه که تنش رطوبتی در مرحله قبل از دوره آغازش غده تا پایان دوره رشد، باعث افزایش نسبت غده‌های ریز می‌گردد اما در شرایطی که رطوبت خاک در مراحل پایانی رشد غده‌ها تأمین شود، درصد غده‌های متوسط و بزرگ افزایش می‌یابد (بر میانگین وزن غده‌ها افزوده می‌شود). وانگ و همکاران (Wang et al., 2007) بیان داشتند که افزایش پتانسیل ماتریک خاک باعث کاهش معنی‌دار وزن غده‌های بازارپسند شد. ایاز و کوروکو (Ayas and Korukcu, 2010) نیز دریافتند که با کاهش میزان آبیاری از سطح کامل به ۵۰ درصد آب موردنیاز، وزن غده قابل‌عرضه به بازار از ۱۷۸ به ۷۷ گرم کاهش می‌یابد. در تحقیق دیگری ایاز (Ayas, 2013) دریافت که بین میزان آب مصرفی در کشت سیب‌زمینی (۸۰۰-۱۳۰ میلی‌متر) و میانگین وزن غده‌ها یک رابطه خطی مثبت با ضریب تبیین ۰/۹۵ برقرار است.

بررسی نتایج آزمایش حاضر حاکی از تأثیر مثبت مصرف نیتروژن بر میانگین وزن غده‌ها است. بیشترین وزن غده‌ها در تیمارهای N_1 و N_2 (به ترتیب ۱۱۵ و ۱۱۹ گرم) و سبک‌ترین غده‌ها در تیمار بدون نیتروژن (حدود ۷۷ گرم) مشاهده شد (جدول ۴). در آزمایش یزدان دوست (Yazdandoost, 2003) وزن متوسط غده، متأثر از کود نیتروژنی بود. وی گزارش کرد با افزایش مصرف نیتروژن بر وزن غده‌ها افزوده می‌شود اما این افزایش وزن از تیمار ۱۷۰ کیلوگرم اوره تا ۳۴۵ کیلوگرم در هکتار معنی‌دار نبود.

تعداد غده قابل‌فروش در بوته تیمارهای آبیاری اثر معنی‌دار بر تعداد غده قابل‌فروش در بوته نداشتند (جدول ۲). با این حال تنش خشکی منجر به کاهش تعداد غده در بوته شد. بیشترین تعداد غده قابل‌فروش در بوته در تیمار آبیاری کامل (S_1) و کمترین آن در تیمار S_3 (به ترتیب ۸/۴ و ۷/۴ غده در بوته) مشاهده شد (جدول ۴). فابیرو و همکاران (Fabeiro et al., 2001) اظهار داشتند در شرایطی که وضعیت رطوبت خاک در مرحله رسیدگی سیب‌زمینی مطلوب باشد درصد غده‌های متوسط و بزرگ افزایش می‌یابد، در حالی که تنش رطوبتی در مرحله قبل از دوره آغازش غده تا پایان دوره رشد، می‌تواند باعث تولید درصد زیادی از غده‌های ریز گردد. اسکندری و همکاران (Eskandari et al., 2011) گزارش کردند مرحله آغازش غده از مراحل بسیار حساس رشد سیب‌زمینی نسبت به کمبود رطوبت خاک است به طوری که هرگونه تنش رطوبتی در این دوران می‌تواند باعث کاهش تشکیل غده در گیاه سیب‌زمینی شود. در آزمایش آن‌ها تعداد غده در بوته در تیمار تأمین ۷۰ درصد نیاز آبی قبل از آغازش غده با تیمار شاهد (تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی) تفاوت نداشت ولی تیمار تأمین ۷۰ درصد نیاز آبی در کل دوره رشد، منجر به کاهش معنی‌دار تعداد غده در بوته شد. نتایج آزمایش باغانی (Baghani, 2009) نیز نشان داد که بیشترین میزان غده‌های قابل‌ارائه به بازار در شرایط رژیم آبیاری تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی سیب‌زمینی حاصل می‌شود و با کاهش حجم آبیاری، تعداد غده کاهش می‌یابد. یوان و همکاران (Yuan et al., 2003) نیز نتایج مشابهی را در مورد افزایش معنی‌دار تعداد غده‌های بازارپسند همراه با افزایش حجم آب مصرفی، گزارش کردند.

برخلاف اثر غیر معنی‌دار تیمارهای آبیاری، تعداد غده قابل‌فروش در بوته تحت تأثیر معنی‌دار تیمارهای کودی قرار گرفت، به طوری که با افزایش مصرف کود نیتروژنی، تعداد غده در بوته نیز افزایش یافت. تیمارهای N_1 و N_2 بدون اختلاف آماری به ترتیب منجر به تولید ۸/۲ و ۸/۱ غده در بوته شدند ولی بوته‌های سیب‌زمینی در تیمارهای N_3 و N_4 به ترتیب ۷/۶ و ۶/۷ غده تولید کردند. به عبارتی تیمارهای N_1 ، N_2 و N_3 باعث شدند تعداد غده در بوته به ترتیب به میزان ۲۲، ۲۱ و ۱۳ درصد نسبت به تیمار شاهد (N_4) افزایش یابد (جدول ۴). ایاز (Ayas, 2013) گزارش کرد که با افزایش مصرف نیتروژن در کشت سیب‌زمینی تعداد غده

جدول ۴. مقایسه میانگین درصد ماده خشک غده، تعداد غده قابل فروش در بوته و وزن غده قابل فروش سیب‌زمینی تحت تأثیر سطوح مختلف تنش کم‌آبی و کود نیتروژن.

Table 4. Means comparison of tuber dry matter (%), No. of marketable tubers and marketable tubers weight of potato as affected by different water deficit and nitrogen fertilizer levels.

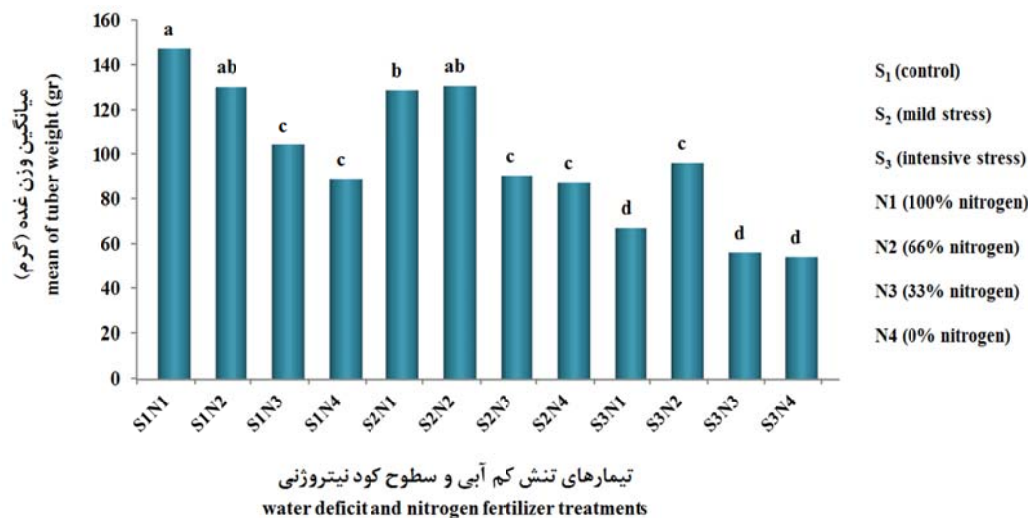
Treatments	تیمارهای آزمایش	درصد ماده خشک غده Tuber dry matter (%)	تعداد غده قابل فروش در بوته No. of marketable tubers per plant	میانگین وزن غده قابل فروش (گرم) Marketable tubers weight (gr)
Water deficit stress سطوح تنش کم‌آبی				
S ₁ (control)	شاهد (بدون تنش)	20.6 b	8.4 a	117.9 a
S ₂ (mild stress)	تنش ملایم	20.9 b	8.2 a	109.5 a
S ₃ (intensive stress)	تنش شدید	22.9 a	7.4 a	68.6 b
Nitrogen levels سطوح نیتروژن مصرفی				
N1 (100% nitrogen)	تأمین ۱۰۰٪ نیتروژن	21.8 a	8.2 a	115.3 a
N2 (66% nitrogen)	تأمین ۶۶٪ نیتروژن	21.2 a	8.1 a	118.6 a
N3 (33% nitrogen)	تأمین ۳۳٪ نیتروژن	21.6 a	7.6 ab	83.8 b
N4 (0% nitrogen)	بدون مصرف نیتروژن	21.3 a	6.7 b	77.0 b

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، تفاوت معنی‌داری با استفاده از آزمون LSD ندارند ($P < 5\%$). Means in each column followed by similar letters are not significantly different at 0.05 probability level, using LSD (Least Significant Difference) test.

نداشت، لیکن در رژیم آبیاری ۵۰ درصد تأمین نیاز آبی (S₃) معادل ۱۸/۸ تن در هکتار و در شرایط تأمین آب کامل (S₁) به ۲۵/۸ تن در هکتار رسید. عملکرد غده قابل فروش نیز از این‌روال تبعیت کرد و تیمار آبی ۷۵ درصد تأمین نیاز آبی (S₂) منجر به تولید عملکردی بدون اختلاف آماری با رژیم آبیاری کامل شد (به ترتیب ۵۱/۲ و ۵۵/۹ تن در هکتار)، ولی عملکرد غده قابل فروش به شدت تحت تأثیر تنش آبی (S₃) قرار گرفت و در این تیمار عملکرد به ۳۱/۷ تن در هکتار کاهش یافت (جدول ۵). ایرنا و مائورومیکال (Ierna and Mauromicale, 2006) گزارش کردند اعمال تنش کم‌آبی تا حد ۵۰ درصد نیاز آبی سیب‌زمینی موجب افزایش مقاومت روزنه‌ای و کاهش میزان فتوسنتز برگ، بیومس اندام هوایی، رشد غده و در نتیجه عملکرد غده در واحد سطح می‌گردد. در آزمایش دملاش (Demelash, 2013) بیشترین عملکرد غده قابل فروش در بازار در تیمار آبی بدون تنش و حداقل عملکرد در تیمار آبی همراه با تنش شدید (۱۸۳ میلی‌متر آبیاری) مشاهده شد. تحقیقات دیگر نیز مؤید این است که با افزایش سطح آبیاری، میزان عملکرد غده سیب‌زمینی افزایش می‌یابد (Ayas, 2013; Alva et al., 2012; Darwish et al., 2006).

برهمکنش تنش کم‌آبی و نیتروژن میانگین وزن غده‌ها را تحت تأثیر قرار داد (جدول ۲). در این آزمایش، افزایش سطح کود نیتروژنه از ۲۶۶ به ۴۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار در سطوح تنش آبی شدید (S₃) و تنش متوسط (S₂)، نه تنها افزایش میانگین وزن غده را در پی نداشته بلکه باعث کاهش معنی‌دار آن نیز شده است (شکل ۱) که احتمالاً دلیل آن فیزیولوژیک و مرتبط با تناسب مصرف آب و نیتروژن در گیاه می‌باشد. یکی از اثرات افزایش مصرف نیتروژن در سیب‌زمینی رقابت غده و اندام‌های هوایی برای جذب مواد فتوسنتزی است. در واقع افزایش نیتروژن سبب افزایش سهم اندام‌های هوایی از مواد فتوسنتزی و در نتیجه کاهش سهم غده‌ها و کوچک‌تر شدن آن‌ها می‌گردد (Yazdandoost, 2003; Khalaghani et al., 1997). از این‌رو، احتمالاً افزایش مصرف نیتروژن در شرایط محدودیت آب، منجر به برتری اندام‌های هوایی در رقابت با غده‌ها جهت جذب مواد فتوسنتزی شده و باعث معنی‌دار شدن اثر متقابل تنش کم‌آبی و نیتروژن بر وزن غده‌ها شده است.

عملکرد غده بذری و قابل فروش در واحد سطح هرچند عملکرد غده بذری در رژیم‌های آبیاری تفاوت معنی‌داری



شکل ۱. مقایسه میانگین اثر متقابل تنش کم آبی و سطوح کود نیتروژن بر میانگین وزن غده.
Fig 1. Mean comparison of water deficit and nitrogen fertilizer levels interaction for mean of tuber weight; LSD test ($P < 5\%$).

جدول ۵. مقایسه میانگین عملکرد غده بذری، عملکرد غده قابل فروش سیب‌زمینی و کارآیی مصرف آب در سطوح مختلف تنش کم آبی و کود نیتروژن

Table 5. Means comparison of potato seed tuber yield, marketable tuber yield and water use efficiency as affected by different water deficit and nitrogen fertilizer levels.

Treatments	تیمارهای آزمایش		عملکرد غده بذری (تن در هکتار) Seed tuber yield (ton/ha)	عملکرد غده قابل فروش (تن در هکتار) Marketable tuber yield (ton/ha)	کارآیی مصرف آب (کیلوگرم بر مترمکعب) WUE (kg/m ³)
	سطوح تنش کم آبی	سطوح تنش کم آبی			
	شاهد (بدون تنش)	شاهد (بدون تنش)	25.828 a	55.853 a	6.49 b
	تنش ملایم	تنش ملایم	25.748 a	51.183 a	8.01 a
	تنش شدید	تنش شدید	18.836 a	31.692 b	7.37 ab
	سطوح نیتروژن مصرفی	سطوح نیتروژن مصرفی			
	تأمین ۱۰۰٪ نیتروژن	تأمین ۱۰۰٪ نیتروژن	23.817 ab	50.414 a	7.68 b
	تأمین ۶۶٪ نیتروژن	تأمین ۶۶٪ نیتروژن	25.456 a	52.809 a	8.45 a
	تأمین ۳۳٪ نیتروژن	تأمین ۳۳٪ نیتروژن	23.643 ab	42.899 b	6.84 c
	بدون مصرف نیتروژن	بدون مصرف نیتروژن	20.966 b	38.749 c	6.17 d

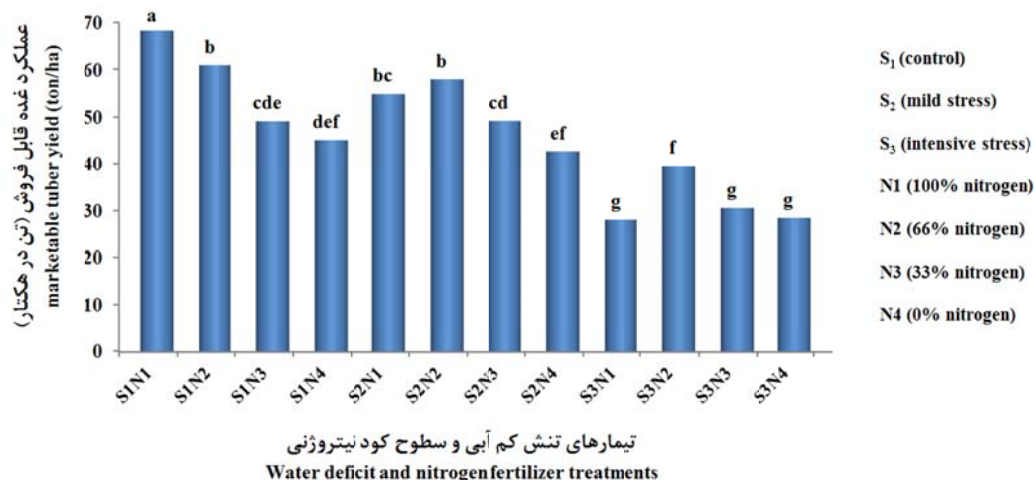
در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، تفاوت معنی‌داری با استفاده از آزمون LSD ندارند ($P < 5\%$).
 Means in each column followed by similar letters are not significantly different at 0.05 probability level, using LSD (Least Significant Difference) test.

تقابل باشد. به طوری که افزایش سطح کود نیتروژنی از ۲۶۶ به ۴۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار در سطوح تنش آبی شدید (S_3) و تنش متوسط (S_2)، نه تنها با افزایش عملکرد همراه نبوده، بلکه باعث کاهش معنی‌دار آن نیز شده است (شکل

برهمکنش سطوح تنش کم آبی و نیتروژن بر عملکرد غده قابل فروش معنی‌دار بود (جدول ۳). به نظر می‌رسد کاهش عملکرد غده در سطوح بالای مصرف نیتروژن در تیمارهای با تنش متوسط و شدید خشکی علت اصلی این

فشار اسمزی و تلاش بیش‌تر گیاه برای حفظ آب سلول‌ها و کاهش تعرق می‌گردد (Pierret et al., 2005). محققان بسیاری معتقدند کاهش تعرق در این شرایط روند عادی زیست گیاه را مختل و منجر به ظهور اثرات بازدارنده از جمله کاهش رشد و عملکرد گیاه می‌گردد (Gonzalez-Dugo et al., 2010; Sadras, 2005; Hopmans and Bristow, 2002)؛ بنابراین به نظر می‌رسد در این آزمایش نیز افزایش مصرف نیتروژن در شرایط تنش خشکی منجر به اختلال در روند جذب نیتروژن و احتمالاً دیگر عناصر غذایی، کاهش تعرق گیاه و درنهایت افت عملکرد اقتصادی شده است.

۲). گونزالس دوگو و همکاران (Gonzalez-Dugo et al., 2010) گزارش کردند جذب نیتروژن توسط گیاه در شرایط تنش خشکی در اکثر گیاهان کاهش می‌یابد حتی اگر نیتروژن معدنی در اختیار گیاه قرار گیرد. محلول آب موجود در خاک عموماً با ترکیبات آنیونی، کاتیونی و آلی از جمله ترکیبات نیتروژنی بارگیری می‌شود. این ترکیبات زمانی به ریشه‌های گیاه منتقل می‌شوند که تعرق گیاه زمینه را برای جذب و جریان آب فراهم سازد (Porporato et al., 2003)؛ بنابراین میزان نیتروژن محلولی که به سطح ریشه‌ها می‌رسد به غلظت آن در محلول خاک و جریان آب در بافت‌های گیاه بستگی دارد. در شرایط تنش خشکی، افزایش غلظت ترکیبات نیتروژنی در اطراف ریشه منجر به افزایش



شکل ۲. مقایسه میانگین اثر متقابل تنش کم‌آبی و سطوح کود نیتروژن بر عملکرد غده قابل‌فروش

Fig 2. Mean comparison of water deficit and nitrogen fertilizer levels interaction for marketable tuber yield; LSD test ($P < 5\%$).

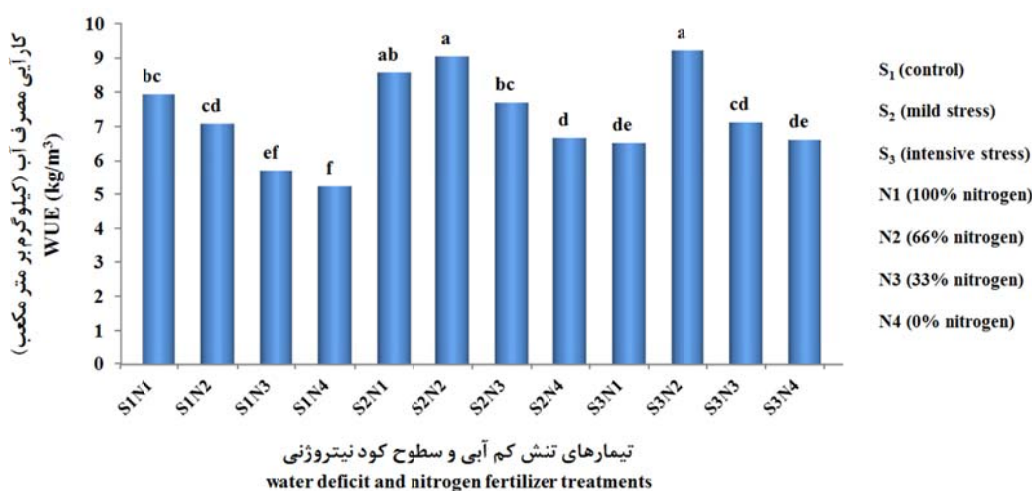
آب به تیمار N_4 (17/6) اختصاص داشت (جدول ۵). مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای آزمایش نشان داد که تیمارهای S_2N_2 و S_3N_2 به ترتیب با کارایی ۹/۰۴ و ۹/۲۱ حداکثر و تیمار S_1N_4 با کارایی ۵/۲۴ کیلوگرم غده تر بر مترمکعب آب مصرفی، حداقل میزان کارایی مصرف آب را به خود اختصاص دادند (شکل ۳).

در آزمایش لیو و همکاران (Liu et al., 2006) نیز در رژیم‌های رطوبتی با مصرف آب کمتر عملکرد غده سیب‌زمینی به‌شدت کاهش یافت و هرچند تفاوت

کارایی مصرف آب در آزمایش حاضر، بیشترین کارایی مصرف آب مربوط به رژیم آبیاری S_2 (معادل ۷/۹۹ کیلوگرم غده تر بر مترمکعب آب مصرفی) بود که البته اختلاف آماری با رژیم آبیاری S_3 نداشت اما میزان آن از نظر آماری از تیمار S_1 (49/6) کیلوگرم غده تر بر مترمکعب آب مصرفی) بیشتر بود. تیمارهای کود نیتروژنی نیز اثر معنی‌دار بر این شاخص مهم داشتند به‌طوری‌که بیشترین کارایی مربوط به تیمارهای N_2 و N_1 (به ترتیب برابر ۸/۴۵ و ۷/۶۸ کیلوگرم غده تر بر مترمکعب آب مصرفی) و حداقل کارایی مصرف

مصرف آب را حساسیت زیاد گیاه سیب‌زمینی به تنش‌های آبی و همچنین بروز بیماری‌های قارچی در آبیاری‌های زیاد ذکر کردند. آزمایش آن‌ها نشان داد که با مصرف بیشتر نیتروژن، کارایی مصرف آب نیز افزایش می‌یابد. ایاز و کوروکو (Ayas and Korukcu, 2010) گزارش کردند با کاهش میزان آبیاری، کارایی مصرف آب نیز کاهش می‌یابد. در آزمایش آن‌ها کارایی مصرف آب در رژیم آبیاری کامل، ۵/۱۷ کیلوگرم غده تر بر میلی‌متر ارتفاع آب در هکتار و در رژیم تأمین ۵۰ درصد نیاز آبی، به ۲/۹۹ رسید.

قابل‌ملاحظه‌ای بین تیمارهای آبیاری از لحاظ کارایی مصرف آب (WUE) وجود نداشت ولی در رژیم‌های کم‌آبیاری کارایی مصرف آب افزایش یافت. موسوی فضل و فائزینیا (Mousavi Fazl and Faenzia, 2008) گزارش کردند بیشترین کارایی مصرف آب مربوط به سطح آبی ۷۵ درصد تأمین نیاز آبی گیاه سیب‌زمینی است (۳/۴ کیلوگرم بر مترمکعب). در آزمایش آن‌ها سطوح ۵۰، ۱۲۵ و ۱۰۰ درصد تأمین نیاز آبی به ترتیب با کارایی ۲/۷، ۲/۵ و ۲/۵ در گروه‌های بعدی قرار گرفتند. آن‌ها علت کاهش کارایی



شکل ۳. مقایسه میانگین اثر متقابل تنش کم‌آبی و سطوح کود نیتروژن بر کارایی مصرف آب
 Fig 3. Mean comparison of water deficit and nitrogen fertilizer levels interaction for WUE; LSD test ($P < 5\%$).

جدید ضریب تبیین افزایش بسیار ناچیزی داشت (مدل ۲). از این رو می‌توان اثر صفت تعداد غده در بوته را در توجیه تغییرات عملکرد غده در واحد سطح نادیده گرفت و چنین استنباط کرد که افزایش عملکرد در اثر افزایش مصرف آب و کود نیتروژن، بیشتر ناشی از افزایش وزن غده‌هاست و در اثر تغییر تیمارهای آبی و کودی، تعداد غده در بوته تغییر مؤثری نخواهد داشت.

$$(1): Y = 10.08 + 0.366w \quad (R^2 = 0.792)$$

$$(2): Y = 12.52 + 0.373w - 0.411n \quad (R^2 = 0.794)$$

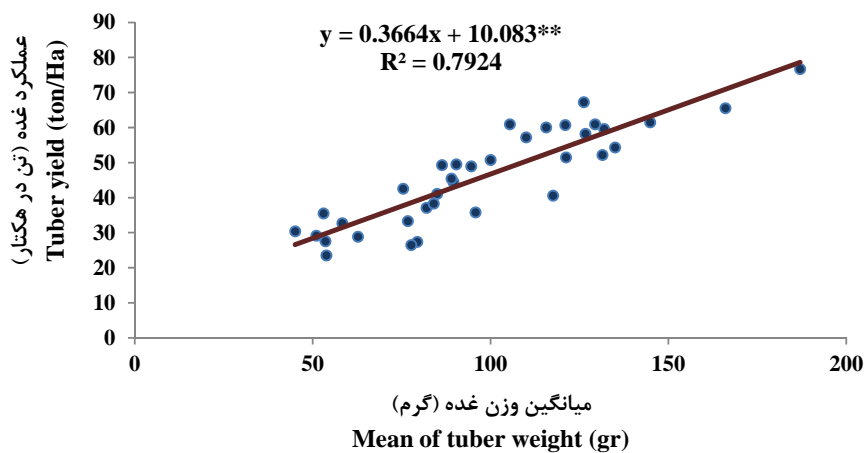
در این مدل‌ها Y ، w و n به ترتیب عملکرد غده در واحد سطح برحسب تن در هکتار، میانگین وزن غده برحسب گرم و تعداد غده در بوته می‌باشند.

نقش اجزای عملکرد در توجیه تغییرات عملکرد غده در واحد سطح به‌منظور پیش‌بینی عملکرد غده از طریق اجزای عملکرد و همچنین بررسی میزان تأثیر هر جزء بر میزان عملکرد غده در واحد سطح از رگرسیون خطی چند متغیره گام‌به‌گام^۱ بین عملکرد غده به‌عنوان متغیر وابسته (Y) و اجزای عملکرد (تعداد غده در بوته و میانگین وزن غده‌ها) به‌عنوان متغیرهای مستقل (X) استفاده شد. در اثر تجزیه رگرسیون مرحله‌ای، صفت میانگین وزن غده به‌تنهایی وارد مدل شد و ۷۹/۲ درصد از تغییرات عملکرد در واحد سطح را توجیه کرد (مدل ۱ و شکل ۴). در ادامه با توجه به وارد نشدن جزء دیگر عملکرد در مدل، تجزیه رگرسیون خطی با دو جزء عملکرد صورت گرفت. در مدل

1- Stepwise Regression

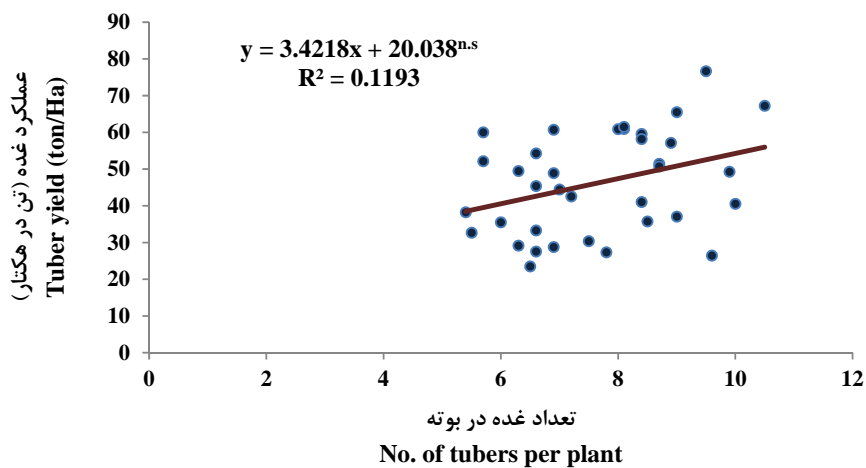
سطح شد و منجر به برآزش بهترین مدل با ضریب تبیین ۹۶ درصد گردید. اسپارو و چاپمن (Sparrow and Chapman, 2003) گزارش کردند که افزایش عملکرد در اثر کاربرد کود سرک نیتروژن بیشتر ناشی از وزن غده‌هاست تا تعداد غده در بوته. ارشادی و همکاران (Arshadi et al., 2010) نیز به نقش مثبت و مؤثر وزن غده‌ها در عملکرد سیب‌زمینی تحت تأثیر تیمارهای نیتروژن پی بردند.

البته چنانچه صفت تعداد غده در بوته به‌تنهایی در مدل عملکرد در واحد سطح وارد شود، مدل برآزش یافته تنها ۱۲ درصد از تغییرات عملکرد را توجیه می‌کند و از نظر آماری معنی‌دار نیست (شکل ۵). در آزمایش جعفرزاده و همکاران (Jaefarzadeh et al., 2010) صفات تعداد غده در بوته، میانگین وزن غده‌ها و تعداد ساقه اصلی به ترتیب وارد مدل خطی عملکرد در واحد



شکل ۴. رابطه خطی عملکرد غده در واحد سطح و میانگین وزن غده.

Fig. 4. Linear regression between tuber yield and tuber weight.



شکل ۵. رابطه خطی عملکرد غده در واحد سطح و تعداد غده در بوته

Fig. 5. Linear regression between tuber yield and number of tubers per plant

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج این پژوهش تیمارهای S_2N_2 و S_3N_2 حداکثر کارایی مصرف آب (حدود ۹/۱ کیلوگرم غده تازه بر مترمکعب آب مصرفی) را دارند. در مناطقی که محدودیتی در توسعه سطح زیر کشت وجود نداشته باشد، افزایش سطح زیر کشت همراه با اعمال تیمارهای با مصرف آب کمتر و با کارایی بالای مصرف آب می‌تواند جبران کاهش عملکرد در اثر کم‌آبیاری را نماید؛ بنابراین با استناد به نتایج این آزمایش تیمار S_2N_2 نسبت به تیمار S_3N_2 برتری دارد چراکه هر دو با مصرف آب یکسان عملکرد مشابه تولید می‌کنند درعین حال تولید با اعمال تیمار S_3N_2 ، به سطح کاشت بیشتری نیاز دارد و مستلزم صرف هزینه و انرژی بیشتر به لحاظ مدیریت زراعی و مدیریت آفات و بیماری‌ها در سطح وسیع‌تر می‌باشد. همچنین باید در نظر داشت که افزایش عملکرد ناشی از افزایش مصرف آب و کود نیتروژنی، بیشتر منجر به افزایش وزن (حجم و اندازه) غده‌ها می‌گردد و تعداد غده در بوته تغییر چندانی نخواهد داشت.

استفاده بهینه از دو فاکتور آب و کود مستلزم داشتن آگاهی کافی در رابطه با نیاز آبی و کودی هر محصول است به طوری که ضمن حصول عملکرد مطلوب، به سطح بالایی از کارایی مصرف این نهاده‌ها نیز دست یافت. دستیابی به این مهم ضمن جلوگیری از هدررفت منابع، منجر به آلودگی کمتر محیط‌زیست نیز می‌شود. از این رو بر اساس نتایج پژوهش حاضر، با توجه به نبود اختلاف آماری در عملکرد غده بین رژیم‌های آبیاری کامل (S_1) و تأمین ۷۵٪ نیاز آبی (S_2) توصیه می‌شود جهت بهره‌وری مناسب از منابع آبی و نیل به عملکرد اقتصادی، تولید سیب‌زمینی در استان چهارمحال و بختیاری با رژیم آبیاری ۶۴۰۰ مترمکعب در هکتار با دور آبیاری ۷ روز صورت گیرد. همچنین نظر به اینکه در تیمار آبیاری تأمین ۷۵٪ نیاز آبی (S_2)، تیمار N_2 (مصرف ۲۷۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار) منجر به حصول حداکثر عملکرد شده است، پیشنهاد می‌گردد تیمارهای S_2N_2 توأمأ اعمال شوند.

منابع

- Alva, A.K., Ren, H., Moore, A.D., 2012. Water and nitrogen management effects on biomass accumulation and partitioning in two potato cultivars. *American Journal of Plant Sciences*. 3, 164-170.
- Arshadi, M.J., Khazaei, H.R., Nasiri Mahallati, M., Agheli, S.A., 2010. Effects of some important agronomic traits on potato (*Solanum tuberosum* L.) yield and determination of potato crop nitrogen requirement, using chlorophyll meter. *Journal of Agroecology*. 2(1), 119-128. [In Persian with English Summary].
- Ayas, S., 2013. The effects of different regimes on potato (*Solanum tuberosum* L. Hermes) yield and quality characteristics under unheated greenhouse conditions. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 19(1), 87-95
- Ayas, S., Korukcu, A., 2010. Water-yield relationships in deficit irrigated potato. *Journal of Agricultural Faculty of Uludag University*. 24(2), 23-26.
- Baghani, J., 2009. Effect of planting pattern and water quantity on potato cultivation with drip irrigation in Mashhad. *Journal of Water and Soil*. 23(1), 153-159. [In Persian with English Summary].
- Bagheri, H.R., Safari, S., 2009. Effects of winter and spring planting dates on yield and yield components of potato varieties in Chahar Mahal and Bakhtiari province. Final Report of Chahar Mahal-va-Bakhtiari Research Center of Agriculture and Natural Resources. 31p. [In Persian].
- Darwish, T.M., Atallah, T.W., Hajhasan, S., Haidar, A., 2006. Nitrogen and water use efficiency of fertigated processing potato. *Agricultural Water Management*. 85, 95-104.
- Demelash, N., 2013. Deficit irrigation scheduling for potato production in North Gondar, Ethiopia. *African Journal of Agricultural Research*. 8(11), 1144-1154.
- Doring, T.F., Brandt M., Heb J., Finckh M.R., Saucke, H. 2005. Effects of straw mulch on soil nitrate dynamics, weeds, yield and soil nitrogen in organically grown potatoes. *Field Crops Research*. 94, 238-249.

- Errebhi, M., Rosen, C.J., Lauer, F.L., Martin, M.W., Bamberg, J.B., 1999. Evaluation of tuber bearing *Solanum* species for nitrogen use efficiency and biomass partitioning. *American Journal of Potato Research*. 76, 143-151.
- Eskandari, A., Khazaie, H.R., Nezami, A., Kafi, M., 2011. Study the effects of irrigation regimes on yield and some qualitative characteristics of three cultivars of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Journal of Water and Soil*. 25(2), 240-247. [In Persian with English Summary].
- Fabeiro, C., Santa Olalla, F., De Juan, J.A., 2001. Yield and size of deficit irrigated potatoes. *Agricultural Water Management*. 48, 255-266.
- Gonzalez-Dugo, V., Durand, J.L., Gastal, F., 2010. Water deficit and nitrogen nutrition of crops. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. 30, 529-544.
- Haase, T., Schuler, C., Heb, J., 2007. The effects of different N and K sources on tuber nutrient uptake, total graded yield of potatoes (*Solanum tuberosum* L.) for processing. *Agronomy Journal*. 26, 187-193.
- Hopmans, J.W., Bristow, K.L., 2002. Current capabilities and future needs of root water and nutrient uptake modeling. *Advances in Agronomy*. 77, 103-183.
- ICT Center of Iran Jihad-e-Agriculture Ministry, 2013. *Agricultural States, Agricultural Crops in 2010-11*. Jihad-e-Agriculture Ministry press. 139 p. [In Persian].
- Ierna, A., Mauromicale, G., 2006. Physiological and growth response to moderate water deficit of off-season potatoes in a Mediterranean environment. *Agricultural Water Management*. 82, 193-209.
- Jafarzadeh, Z., Ajali, J., Dehdar, B., Hasanpanah, D., Mehrpouyan, M., 2010. Correlation and path analysis of tuber yield and its related traits in four potato cultivars. 5th National Congress of New Ideas in Agriculture. 1-3. [In Persian with English Summary].
- Karimi, M.M., 2003. *Iran Agricultural Climates Zoning*. Group of climate and agriculture, infrastructure and manufacturing Commission. Iran's Expediency Council. 86p. [In Persian].
- Khajehpour, M.R., 2007. *Industrial Plants*. Jahad Daneshgahi Press. Isfahan Unit of Technology. 564 p. [In Persian].
- Khalaghani, J., Rahimzadeh, F., Moghaddam, M., Rahimian, H., 1997. Growth analyzing of potato crop under different nitrogen levels and plant densities. *Agriculture Science*. 2(7), 33-57. [In Persian].
- King, B.A., Stark, G.C., Love, S., 2004. *Potato Production with Limited Water Supplies*. Agricultural Experiment Station Publications. University of Idaho. pp. 1-8.
- Liu, F., Shahnazari, A., Andersen, M.N., Jacobsen, S.E., Jensen, C.R., 2006. Effects of deficit irrigation (DI) and partial root drying (PRD) on gas exchange, biomass partitioning, and water use efficiency in potato. *Scientia Horticulturae*. 109, 113-117.
- Malakouti, M.J., Gheibi, M.N., 1997. *Critical Levels of Strategic Products Nutrients and Recommendation of Proper Fertilizer Suggestion*. Agricultural Education Press. pp. 16-17. [In Persian].
- Mehnatkesh, A.M., 1994. *Determination of Potato crop water requirement and irrigation period in Shahrekord*. Final report of Chahar Mahal va Bakhtiari Research Center of Agriculture and Natural Resources. 19p. [In Persian].
- Mousavi Fazl, S.H., Faezania, F., 2008. Effect of different moisture regimes and nitrogen on yield and nitrate concentrations in potato crop tubers. *Soil Researches Journal (Soil and Water Sciences)*. 22(2), 243-250. [In Persian with English Summary].
- Mousavi Fazl, S.H., Faezania, F., Ommati, F., 2003. Effect of different moisture regimes and nitrogen on yield, quality and fungal diseases of potato. *Final Report of Agricultural Research and Education Organization*. 27 p. [In Persian].
- Pierret, A., Moran, C.J., Doussan, C., 2005. Conventional detection methodology is limiting our ability to understand the roles and functions of fine roots. *New Phytologist*. 166, 967-980.
- Porporato, A., D'Odorico, P., Laio, F., Rodriguez-Iturbe, I., 2003. Hydrologic controls on soil carbon and nitrogen cycles I. Modeling scheme. *Advances in Water Resources*. 26, 45-58.

- Porter, G.A., Opena, G.B., Bradbury, W.B., Mc Burnie, J.C., Sission, J.A., 1999. Soil management and supplemental irrigation effects on potato. I. Soil properties, tuber yield and quality. *Agronomy Journal*. 91, 416-425.
- Sadras, V.O., 2005. A quantitative top-down view of interactions between stresses: theory and analysis of nitrogen-water co-limitation in Mediterranean agro-ecosystems. *Australian Journal of Agricultural Research*. 56, 1151-1157.
- Samadi, H., Ebrahimi, A., 2010. Consequences of Drought and How to Fight It (in Chahar Mahal and Bakhtiari Province). Soroush Press. 511 p. [In Persian].
- Shahnazari, A., Liu, F., Andersen, M.N., Jacobsen, S.E., Jensen, C.R., 2007. Effects of partial root-zone drying on yield, tuber size and water use efficiency in potato under field conditions. *Field Crop Research*. 100, 117-124.
- Shock, C.C., Feibert, E.G., Saunders, L.D. 1998. Potato yield and quality response to deficit irrigation. *Horticultural Science*. 33, 655-659.
- Shock, C.C., Shock, B.M., Welch, T. 2013. Strategies for Efficient Irrigation Water Use. Oregon State University. Sustainable Agriculture Techniques, 1-7.
- Sobhani, A.R., Hamidi, H., 2013. Effects of water deficit and potassium on yield and water use efficiency of potato crop in linear sprinkler irrigation method (line source). *Environmental Stress in Crop Sciences*. 6(1), 1-15. [In Persian with English Summary].
- Sparrow, L.A., Chapman, S.R., 2003. Effects of nitrogen fertilizer on potato (*Solanum tuberosum* L. cv. Russet burbank) in Tasmania. 1. Yield and quality. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 43, 631-641.
- Wang, F., Kang, Y., Liu, S., Hou, X., 2007. Effects of soil matric potential on potato growth under drip irrigation in the North China Plain. *Agricultural Water Management*. 88, 34-42.
- Yazdandoost, M., 2003. A study of the effect of nitrogen rates on yield, yield components and nitrate accumulation in potato varieties. *Iranian Journal of Agricultural Sciences*. 34(4), 977-985. [In Persian with English Summary].
- Yuan, B.Z., Nishiyama, S., Kang, Y., 2003. Effects of different irrigation regimes on the growth and yield of drip irrigated potato. *Agricultural Water Management*. 63, 153-167.
- Zhang, B., Li, F.M., Huang, G., Cheng, Z.Y., Zhang, Y., 2006. Yield performance of spring wheat improved by regulated deficit irrigation in an arid area. *Agricultural Water Management*. 79, 28-42.