نشریه تولید گیاهان زراعی
جلد دهم، شماره سوم، پاییز ۹۶
۵۱-٦٤
http://ejcp.gau.ac.ir

اثر ماندابی برعملکرد و اجزای عملکرد دانه نخود در شرایط دیم

کبری نوری[۱]، *محمداقبال قبادی[۲] و هوشنگ قمرنیا[۳]

[۱]دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد، زراعت، [۲]استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی،
[۳]استاد، گروه مهندسی آب، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۲/۱۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۸/۳

چکیده

سابقه و هدف: حدود ۱۰ درصد از اراضی قابل کشت در دنیا و تقریبا یک میلیون هکتار از اراضی زیر کشت ایران دارای مشکل ماندابی است. زمانی که میزان آب خاک در حدی افزایش یابد که از جریان اکسیژن در خاک ممانعت کند، ماندابی اتفاق می‌افتد. گیاهان دارای مکانیسم‌های متفاوتی در برابر ماندابی هستند. میزان خسارت به نوع گیاه، رقم، مدت ماندابی، مرحله رویش گیاه، دمای آب و غیره بستگی دارد. بنابراین، پژوهش حاضر به‌منظور بررسی تأثیر مدت‌های مختلف ماندابی بر مراحل مختلف رشدی نخود در شرایط دیم انجام شد.

مواد و روش‌ها: این پژوهش در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی، کرمانشاه انجام گردید. آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار بر روی نخود رقم 'ILC482'، اجرا شد. تیمارها شامل مراحل مختلف رشد استقرار، رویشی، گلدهی و غلاف‌دهی (به‌ترتیب ١٤، ۷۰، ١٢٦ و ۱۸۲ روز بعد از کاشت) در کرت‌های اصلی و مدت‌های مختلف ماندابی (بدون ماندابی، ٤، ۸ و ۱۲ روز) در کرت‌های فرعی بودند. کشت به‌صورت پاییزه و در شرایط دیم انجام شد. صفات عملکرد زیست توده، عملکرد دانه، شاخص برداشت، تعداد دانه در بوته، تعداد غلاف در بوته، وزن صد دانه، پروتئین دانه در انتهای فصل رشد و روند پر شدن دانه، شاخص سطح برگ، وزن خشک برگ و ماده خشک کل در طول دوره رشد اندازه‌گیری شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که در مراحل استقرار، رشد رویشی و گلدهی با افزایش مدت ماندابی عملکرد دانه افزایش یافت، اما در مرحله غلاف‌دهی مقدار این صفت کاهش نشان داد. بیشترین خسارت ماندابی به عملکرد دانه در مرحله غلاف‌دهی مشاهده شد. با افزایش مدت ماندابی تعداد دانه در بوته افزایش معنی‌داری (۲۱/۲ درصد) داشت ولی پاسخ وزن صد دانه معکوس بود. تعداد دانه در بوته در ماندابی در مرحله غلاف‌دهی، ٤٠ درصد نسبت به ماندابی در مرحله گلدهی کاهش داشت. کمترین پروتئین دانه نیز در ماندابی در مرحله غلاف‌دهی و به‌مدت ۱۲ روز به‌میزان ١٦/٠٤ درصد بود. شاخص سطح برگ، وزن خشک برگ و وزن خشک کل با اعمال ماندابی در مراحل استقرار، رویشی و گلدهی افزایش یافت اما در مرحله غلاف‌دهی در تمامی مدت‌های ماندابی این صفات کاهش نشان دادند.

*مسئول مکاتبه: eghbalghobadi@yahoo.com

نتیجه‌گیری: اعمال شرایط ماندابی در مراحل مختلف رشدی نخود در شرایط دیم (به‌جز مرحله غلاف‌دهی) نه تنها باعث کاهش عملکرد و اجزا عملکرد نشد بلکه بعد از رفع شرایط تنش، باعث بهبود و افزایش دوباره شده و بوته‌ها با تولید گل و غلاف‌های جدید، خسارت ناشی از ماندابی را جبران نمودند. علاوه‌بر این، بیشترین میزان خسارت نخود در تیمارهای بدون ماندابی (شرایط دیم) و مدت‌های ماندابی ۱۲ روزه مشاهده شد.

واژه‌های کلیدی: دیم، عملکرد و اجزای عملکرد، مراحل مختلف رشد، مدت‌های ماندابی، نخود

مقدمه

کشت حبوبات و به‌خصوص نخود (*Cicer arietinum* L.) به‌دلیل ویژگی‌های مهمی از جمله، منابع پروتئینی شناخته شده، تثبیت نیتروژن اتمسفری در خاک موجب باروری خاک برای زراعت‌های بعدی (عمدتا غلات) شده و همچنین به‌دلیل شکستن چرخه زندگی آفات و بیماری‌های غلات ناشی از نظام‌های تک کشتی حائز اهمیت می‌باشد (۱ و ۲۶).

در عرصه تولید محصولات کشاورزی مشکلات گوناگون و تهدیدات زیستی و غیرزیستی زیادی وجود دارد. یکی از این مخاطرات زیستی مشکل ماندابی[1] (زمانی که خاک اشباع از آب باشد) و یا غرقابی[2] (علاوه‌بر اشباع بودن خاک از آب، مقداری از اندام هوایی در آب غوطه‌ور باشد) است (۱۷ و ۳۲). از عوامل ایجاد ماندابی، تجمع آب (ناشی از باران‌های شدید و تغییر اقلیم)، آبیاری زیاد، نفوذپذیری کم، عدم وجود زهکشی مناسب در خاک‌های زراعی و فشرده شدن خاک می‌باشد (۳، ۳۰ و ۳۱).

در شرایط ماندابی توسعه ریشه به‌دلیل کمبود و یا عدم وجود اکسیژن متوقف می‌شود (۱۰ و ۳۱) و تشکیل گره و تثبیت نیتروژن کاهش یافته و تولید مواد سمی مانند نیتریت و سولفید در خاک و حرکت آن‌ها به‌طرف ریشه و به برگ افزایش می‌یابد (۷). از دیگر اثرات تنش ماندابی اسیدی شدن سیتوپلاسم، افزایش غلظت کلسیم سیتوزولی، تغییر در پتانسیل الکتروشیمی[3] آب خاک و کاهش عملکرد غشاء سلول‌های ریشه است (۲۲ و ۲۳) که در نهایت میزان پتاسیم به سدیم در اندام های هوایی کاهش می‌یابد (٤).

در کل در شرایط ماندابی به‌علت تولید اتیلن و افزایش آبسزیک اسید، تخمیر انجام می‌گیرد، روزنه‌ها بسته شده و تبادلات گازی تقریبا مختل و در نتیجه فتوسنتز کاهش می‌یابد (به‌علت تجمع نشاسته در کلروپلاست) (٦). همچنین فعالیت آنتی‌اکسیدان مثل سوپراکسیددیسموتاز، کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز و گلوتاتیون ردوکتاز کاهش و گونه اکسیژن واکنشگر[4] افزایش می‌یابد (۲ و ۱۸).

گیاهان در شرایط غرقاب از طریق اجتناب و یا تحمل در برابر کمبود اکسیژن مقاومت می‌کنند. در واقع گیاهان مختلف، در زمان ماندابی مکانیسم‌های متفاوتی از خود بروز می‌دهند. تشکیل آئرانشیم با تولید اتیلن، توسعه ریشه‌های سطحی با تولید ریشه‌های نابجا و غیره از راه‌های کاهش خسارت در شرایط ماندابی است (۲۱ و ۳۳). به هر حال توسعه ریشه نابجا در نخود، عدس و خلر مشاهده نشده است. اگر چه شواهدی برای تشکیل ریشه نابجا در عدس در شرایط ماندابی وجود دارد ولی در نخود هیچ گزارشی از تشکیل ریشه نابجا یافت نشد (۲٦ و

1- Waterlogging
2- Flooding
3- Redox (oxidation-reduction) potential
4- Reactive oxygen species (ROS)

۳۳). نوع گیاه، رقم، مدت ماندابی، شدت ماندابی، شدت نور، دمای محیط نیز بر میزان مقاومت گیاهان به کمبود اکسیژن ناشی از ماندابی مؤثر است (۱۰، ۱٤، ۱٦ و ۱۷).

اثرات ماندابی بر کاهش رشد، عملکرد و خصوصیات فیزیولوژیکی گوجه فرنگی (۱۰)، ماش (۲۰)، گندم و جو (۱۱، ۱۳، ۲۹ و ۳۰)، یونجه (۳۲)، لوبیا (۲۱ و ۳٤)، لوبیای سودانی[1] (٦ و ۱۹)، سویا (۲٤، ۲۵ و ۳۵) و تعدادی از لگوم‌ها (۳۳) به اثبات رسیده است. نتایج تیمار ماندابی بر ژنوتیپ‌های مختلف ماش نشان داد که ماندابی باعث کاهش ماده خشک و تسهیم آن‌ها شد که در نهایت موجب کاهش عملکرد دانه گردید. این کاهش در ژنوتیپ‌های حساس بیشتر از ژنوتیپ‌های مقاوم بود. همچنین در همه ژنوتیپ‌ها، ماندابی باعث جلوگیری از گلدهی، غلاف‌دهی و افزایش پژمردگی در گل‌ها و غلاف‌ها شد. تعداد گل و غلاف در ژنوتیپ حساس ماش بیشتر تحت تأثیر قرار گرفت و در ژنوتیپ مقاوم، ماندابی بیشتر باعث پژمردگی جوانه‌های گل و غلاف شد (۲۰). در گیاه لوبیا نیز، ماندابی باعث کاهش رشد، ماده خشک کل، فتوسنتز و تشکیل غلاف شد (۷). مشاهده شده که گیاهان بعد از تنش ماندابی انرژی خود را در جهت تولید و بهبود مجدد رنگدانه در برگ‌های سبز و کلروتیک صرف می‌کنند (۲۸ و ۳۲). در آزمایشی گلدانی اثر ماندابی ۱۰ روزه بر روی ارقام مختلف نخود در زمان ۲۱ روز بعد از کاشت، عملکرد دانه را ۳۵ درصد کاهش داد. همچنین، در این شرایط بیشتر قندهای محلول در قسمت پایین ساقه تجمع یافته است (۸ و ۹).

بیشتر تحقیقاتی که در زمینه تنش‌های محیطی انجام شده، اثرات خشکی را مورد ارزیابی قرار داده‌اند، اما حدود ۱۰ درصد اراضی زراعی ایران به نحوی در اثر عوامل ذکر شده در طول فصل رشد دچار ماندابی درازمدت بیش از سه روز (در اراضی مسطح و بارندگی چند روزه) و یا کوتاه مدت ۳-۱ روزه در اکثر مناطق می‌شوند که احتمالا بر رشد و تولید محصولی که در پاییز کشت می‌شوند تأثیر می‌گذارند. کشت نخود در ایران بیشتر به‌صورت دیم بوده و بیشترین سطح زیر کشت و تولید را در استان کرمانشاه دارد (از حدود ۸۰۰ هزار هکتار کل اراضی زراعی حدود ۱۳۰ هزار هکتار به کشت نخود اختصاص دارد (۲۷)). با توجه به این‌که آماری از میزان خسارت ماندابی بر اکثر محصولات و به‌خصوص گیاه نخود در ایران موجود نیست. بر این اساس، این آزمایش با هدف بررسی اثرات ماندابی بر رشد و عملکرد نخود در شرایط دیم و در کشت پاییزه اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی کرمانشاه و بر روی نخود رقم "ILC482" انجام شد. منطقه دارای آب و هوای معتدل تا سرد بوده و میزان بارندگی در سال اجرای آزمایش ۳۸۹/۵ و بر اساس آمار بلندمدت (۲۰ ساله)، ٤٦۰ میلی‌متر بود. مشخصات دمای هوا و بارندگی در جدول ۱ و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک (عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر) در جدول ۲ آمده است. بر اساس نتایج آزمون خاک، بافت خاک محل اجرای آزمایش از نوع رسی می‌باشد.

آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. فاکتورها شامل رسیدن به ۵۰ درصد مراحل مختلف و مهم رشد از جمله استقرار (سبز شدن کامل)، رویشی،

1- Pigeon pea

گلدهی و غلاف‌دهی (به‌ترتیب ١٤، ٧٠، ١٢٦ و ١٨٢ روز بعد از کاشت) در کرت‌های اصلی و مدت‌های مختلف ماندابی (بدون ماندابی، ٤، ٨ و ١٢ روز) در کرت‌های فرعی بودند. بذرهای این رقم نخود به‌وسیله موسسه بین‌المللی تحقیقات کشاورزی در مناطق خشک (ایکاردا[1]) معرفی و از معاونت موسسه تحقیقات دیم در سرارود کرمانشاه تهیه گردید. این رقم دارای تیپ رشد بوته‌ای و دانه‌ریزتر از سایر ارقام بوده و در کشت پاییزه مقاومت بالایی به بیماری برق‌زدگی و فوزاریم دارد.

جدول ١- مجموع بارندگی و میانگین دماهای حداکثر، حداقل و متوسط در طول فصل رشد نخود در شهر کرمانشاه.

Table 1. Monthly weather parameters including rainfall, maximum, minimum and average air temperatures during the growingseason of chickpea in Kermanshah.

پارامتر Parameter	ماه (Month)								
	اکتبر	نوامبر	دسامبر	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	ژانویه	جولای
	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	Jun	Jul
بارندگی (میلی‌متر) Rainfall (mm)	0.0	107.3	62.2	68.5	43.9	69.2	24.8	8.6	0
حداکثر دما (درجه سانتی‌گراد) T max (°C)	32.2	20.6	18.6	15.1	19.7	21.8	27.5	35.0	39.8
میانگین دما (درجه سانتی‌گراد) T average (°C)	16.0	10.3	3.3	2.8	2.8	9.8	14.3	20.1	25.9
حداقل دما (درجه سانتی‌گراد) T min (°C)	-0.6	-0.2	-7.7	-6.6	-13.7	-4.0	-4.8	5.2	9.6

جدول ٢- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در عمق صفر تا ٣٠ سانتی‌متر.

Table 2. Physico-chemical characteristics of experimental soil (depth of 0-30 cm).

بافت خاک	رس	سیلت	شن	پتاسیم	فسفر	نیتروژن	اسیدیته
Soil texture	Clay (%)	Silt (%)	Sand (%)	Potassium (ppm)	Phosphorus (ppm)	Nitrogen (%)	pH
Clay	45	46	9	190	4.3	0.12	7.9

کشت نخود در ٢٦ آبان سال ١٣٩٢ انجام شد. فواصل خطوط کاشت ٢٥ سانتی‌متر و بین دانه ١٠ سانتی‌متر با تراکم ٤٠ بوته در مترمربع انتخاب گردید. در هر کرت ٦ خط کشت وجود داشت و فاصله بین کرت‌ها به‌منظور جلوگیری از انتقال و نفوذ آب کرت‌های مجاور یک متر در نظر گرفته شد.

در ١٤، ٧٠، ١٢٦ و ١٨٢ روز بعد از کاشت که مصادف با شروع اعمال تیمار ماندابی یعنی ابتدای مراحل رشد رویشی، غلاف دهی، گلدهی و پر شدن دانه بود، تیمار ماندابی به‌مدت ٤، ٨ و ١٢ روز صورت گرفت. در طول مدت ماندابی هر روز آبیاری صورت می‌گرفت به گونه‌ای که خاک داخل کرت‌ها (محیط ریشه) اشباع از آب می‌شد و کرت‌های شاهد به‌صورت دیم (بدون آبیاری) بودند. میزان مصرف آب در هر بار آبیاری (روزانه) به اندازه هزار متر مکعب در هکتار (حدود دو برابر موردنیاز برای هر آبیاری) و با پارشال فلوم کنترل شد.

در پایان فصل رشد صفات عملکرد و اجزای عملکرد دانه، روند پر شدن دانه، شاخص سطح برگ، وزن خشک برگ، وزن خشک کل و میزان پروتئین

1- International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA)

دانه اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری عملکرد و اجزای عملکرد دانه در زمان رسیدگی کامل از یک مترمربع ردیف‌های میانی هر کرت (با حذف اثر حاشیه‌ایی) از سطح خاک برداشت و پس از خشک شدن بوته‌ها (در آون به‌مدت ٤٨ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد)، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، وزن صد دانه، تعداد دانه در غلاف و تعداد دانه در بوته اندازگیری شد. شاخص برداشت از تقسیم عملکرد دانه به عملکرد بیولوژیک ضربدر ۱۰۰ محاسبه شد.

سطح برگ، وزن خشک برگ و وزن کل بوته در طول دوره رشد بعد از اعمال تیمار ماندابی، هر دو هفته یک بار از میانگین سه بوته به‌طور تصادفی نمونه‌برداری شده اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری سطح برگ با استفاده از دستگاه سطح برگ‌سنج[1] مدل WinDIAS ساخت کشور انگلیس صورت گرفت.

برای ترسیم منحنی رشد دانه پس از تشکیل غلاف‌ها (۵۰ درصد هر کرت) هر پنج روز یک بار (٦ مرتبه) با حفظ اثر حاشیه‌ایی نمونه‌برداری انجام شد. در هر بار نمونه‌برداری از میانگین غلاف‌های هر کرت به‌طور تصادفی از بوته‌های مختلف، تعداد ۲۰ عدد غلاف برداشته و دانه‌های داخل غلاف‌ها با ترازو (با دقت ۰/۰۰۱) توزین گردید. برای بررسی روند پر شدن دانه، از معادله رگرسیونی غیرخطی سیگموئیدی با بالاترین ضریب تبیین، استفاده شد.

(رابطه ۱)
$$y = \frac{a}{1+exp^{-(\frac{T-t0}{b})}}$$

Y= وزن دانه در زمان T، T= تعداد روزهای از شروع پر شدن دانه، a= حداکثر وزن دانه، b= زمان شروع پر شدن دانه، t_0= زمان ۵۰ درصد دوره پر شدن دانه می‌باشد (۱۲). میزان نیتروژن دانه بروش کجلدال[2] اندازه‌گیری و درصد پروتئین نیز با استفاده از معادله زیر محاسبه گردید (۵).

(رابطه ۲)

درصد نیتروژن × ۵/۷ = پروتئین خام[3] (درصد)

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای آماری SAS نسخه ۹/۱ و MSTAT-C و مقایسه میانگین تیمارها توسط آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

عملکرد و اجزای عملکرد: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل مدت‌های تنش ماندابی در مراحل مختلف رشدی بر صفت عملکرد دانه و پروتئین دانه بسیار معنی‌دار شد. همچنین اثر مدت ماندابی بر صفات عملکرد زیست توده، تعداد دانه در بوته و تعداد غلاف در بوته معنی‌دار شد (جدول ۳).

مقایسه میانگین اثر ماندابی در مراحل رشدی مختلف نشان داد که بیشترین مقدار عملکرد زیست توده، تعداد دانه در بوته و تعداد غلاف در بوته مربوط به ماندابی در مرحله گلدهی بود و تیمار ماندابی در مرحله غلاف‌دهی کمترین مقدار از این صفات را به خود اختصاص دادند (جدول ٤). در این صفات کمترین اثر ماندابی به‌ترتیب در مراحل گلدهی، استقرار، رویشی و غلاف‌دهی مشاهده شد. به‌نظر می‌رسد اثر ماندابی در مرحله گلدهی اگر چه برای مدت کوتاهی باعث توقف رشد شده است ولی به‌دلیل ذخیره زیاد رطوبت در خاک، بعد از رفع شرایط ماندابی، گیاه نخود به‌خوبی توانست، از رطوبت ذخیره شده خاک برای تولید تعداد غلاف و دانه بیشتر استفاده نماید و مواد ساخته شده در برگ را بهتر به دانه انتقال دهد. اما در مرحله غلاف‌دهی، گیاه

1- Leaf area meter
2- Kjeldhal method
3- Crude protein (CP)

تعداد دانه در غلاف و بوته را تا حدودی زیادی تولید کرده است و توقف رشد در این مرحله به‌دلیل تنش ماندابی، جبران نمی‌گردد. بنابراین، گیاه به‌شدت در شرایط کوتاه مدت ماندابی آسیب می‌بیند.

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) عملکرد، اجزای عملکرد و درصد پروتئین دانه نخود تحت تأثیر مدت‌های ماندابی در مراحل مختلف رشد.

Table 3. Analysis of variance (mean squares) of grain yield and yield components and grain protein content under the effect of waterlogging durations at different growth stages on of chickpea.

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی DF	عملکرد زیست‌توده Biological yield	عملکرد دانه Grain yield	شاخص برداشت Harvest index	تعداد دانه در بوته No. grain per plant	تعدادغلاف در بوته No. pod per plant	وزن صد دانه 100-grain weight	پروتئین دانه Grain protein
بلوک Block	2	44650^{ns}	1941^{ns}	58.5^{ns}	156.6^{ns}	361.5^{ns}	14.8^{ns}	58.5^{ns}
زمان ماندابی Time of waterlogging (T)	3	115514^{**}	31315^{**}	66.2^{ns}	627^{*}	2115^{**}	7.5^{ns}	31.2^{ns}
خطا Error	6	21106	6171	27.4	120.5	110.9	3.3	54.0
مدت‌های ماندابی Waterlogging durations (D)	3	62347^{**}	12856^{**}	24.9^{ns}	175^{*}	545.4^{**}	6.7^{ns}	115.7^{*}
اثر متقابل T×D Interaction T×D	9	27908^{ns}	5998^{**}	26.4^{ns}	46.7^{ns}	190.9^{ns}	3.2^{ns}	126.2^{**}
خطا Error	24	12825	1852	26.1	58.9	124.9	3.3	32.3
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	21.5	13.8	8.7	26.1	28.4	7.0	25.8

ns، * و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

ns, * and **: Non significant and significant at 5 and 1 % probability levels.

طبق نتایج این آزمایش، حساسیت به ماندابی در مراحل اولیه رشد کمتر از مراحل پایانی رشد بود. نتایج سایر محققین نشان داده که مراحل اولیه رشد گندم مثل شروع سه برگی بسیار حساستر از مراحل بعدی مثل اواسط پنجه‌زنی و ساقه‌رفتن بوده است (۱۲ و ۱۳) که علت آن را می‌توان به تولید اولیه آغازه‌های زایشی در مراحل اولیه رشد نسبت داد ولی در مورد نخود که گیاهی با تیپ رشد نامحدود است، آغازه‌های زایشی در مراحل گلدهی و اواسط دوره رشد شکل می‌گیرد.

اثر متقابل تیمارهای مدت‌های ماندابی در مراحل مختلف رشدی بر عملکرد دانه نشان داد که با افزایش مدت ماندابی در مراحل مختلف رشد (به‌جز ۱۲ روز ماندابی در مرحله غلاف‌دهی) باعث افزایش عملکرد دانه شد (شکل ۱). در این آزمایش، در زمان اعمال تیمار ماندابی در تمام مراحل رشد، سرشاخه‌های جوان و بخش‌هایی از ساقه نکروزه و همچنین در زمان گلدهی و غلاف‌دهی تخریب بافت‌ها، توقف رشد و گلدهی مشاهده شد، ولی بعد از اتمام تیمار ماندابی دوباره بهبودی حاصل گردید.

احتمالا بهبود و افزایش عملکرد دانه به‌دلیل تیپ رشد نامحدود گیاه نخود باشد. شرایط متفاوت خاک مزرعه یا گلدان (اکثر آزمایشات انجام شده در مورد ماندابی) ممکن است دلیل دیگر دستیابی به این نتیجه متفاوت در این آزمایش باشد. در مدتی که تیمار ماندابی در شرایط گلدانی اعمال می‌شود، آب تخلیه نمی‌شود و تمام اتفاقات ممکنه مضره صورت می‌گیرد؛ اما در اعمال ماندابی در شرایط مزرعه، آب

در طول روز به‌صورت ثقلی، آرام آرام خارج گشته و در نتیجه شرایط کاملا متفاوت با اعمال تیمار ماندابی در گلدان است. همچنین در این شرایط زمین و در روز بعد با آب دارای اکسیژن جایگزین خواهد شد.

مقدار پروتئین، در مرحله استقرار با افزایش مدت ماندابی افزایش نشان داد و در سایر سطوح اختلاف چندانی مشاهده نشد و در مرحله رشد رویشی با افزایش مدت ماندابی (۸ و ۱۳ روز) مقدار پروتئین افزایش پیدا کرد (شکل ۲). ماندابی در تمام دوره‌ها (به‌جز ۱۲ روز) در مرحله غلاف‌دهی که باعث کاهش مقدار پروتئین نسبت به شاهد شد. این امرنشان دهنده این است که در بین مراحل مختلف مرحله غلاف‌دهی نسبت به سایر مراحل حساس‌تر به ماندابی است و یا احتمالا علت کاهش پروتئین دانه در ۱۲ روز ماندابی کمتر شدن فرصت جبران رشد در این مرحله می‌باشد. چرا که نخود در این زمان حداکثر دوره رشدی را سپری کرده است.

مقایسه میانگین اثر مدت‌های ماندابی بر عملکرد و اجزای عملکرد نشان داد که عملکرد زیست‌توده، تعداد دانه، تعداد غلاف در بوته و وزن صد دانه با افزایش مدت ماندابی، افزایش داشت. به‌نظر می‌رسد ایجاد ماندابی در شرایط مزرعه به اندازه دو مرتبه آبیاری در روز، فقط کاهش اکسیژن در ریشه محیط ریشه را به‌دنبال خواهد داشت و هر روز آب دارای اکسیژن به مزرعه وارد می‌شود. اما در شرایط گلدانی و در فضای بسته گلخانه برای حفظ شرایط ماندابی آب به‌مدت چند روز در گلدان می‌ماند و کاهش اکسیژن در این شرایط خیلی شدیدتر است، علاوه‌بر این مشکل افزایش بیماری‌های ریشه ناشی از این شرایط (افزایش دما) و تخریب ریشه‌ها افزوده می‌گردد و میزان خسارت شدیدتر می‌شود.

بر این اساس نتایج این آزمایش مغایر با نتایج اکثر محققین است. مثلا در آزمایشی گلدانی بر روی نخود ماندابی ۱۲ روزه بعد از ۲٦ روز کاشت (مرحله رویشی) باعث کاهش عملکرد دانه برای رقم کابلی ٥٤ درصد و رقم دسی ٤٤ درصد شد (۲۹). در ماش نیز در تحقیقی گلدانی، ماندابی ۹ روزه در مرحله ۳۰ روز بعد از کاشت باعث کاهش فتوسنتز به‌میزان ٦۳ درصد و عملکرد دانه به‌مقدار ٥۲ درصد شد (۲۰). در آزمایش گلدانی دیگر نشان داده شده است که بعد از رفع تنش ماندابی بر روی لوبیای سودانی، میزان فتوسنتز، کلروفیل، سرعت تنفس، هدایت روزنه‌ای، سرعت انتقال کربن همه افزایش داشته است (٦) که می‌تواند تا حدودی نتایج این آزمایش را توجیه کند.

جدول ٤- مقایسه میانگین عملکرد و اجزای عملکرد تحت تأثیر ماندابی در مراحل مختلف رشد نخود.

Table 4. Mean comparison of grain yield and yield components under the effect of waterlogging atdifferent growth stages on chickpea

زمان شروع ماندابی (مرحله رشدی) Time of waterlogging (growth stage)	عملکرد زیست توده (گرم در مترمربع) Biological yield ($g.m^{-2}$)	شاخص برداشت (درصد) Harvest index (%)	تعداد دانه در بوته No. grain per plant	تعداد غلاف در بوته No. pod per plant	وزن صد دانه (گرم) 100-grain weight (g)
استقرار Establishment	565.9^{b} ±97.5	55.5^{a} ±2.0	28.1^{b} ±3.5	37.5^{b} ±8.0	27.3^{a} ±0.68
رویشی Vegetative	469.8^{c} ±45.2	58.1^{a} ±0.79	25.5^{c} ±2.4	32.6^{c} ±3.9	25.8^{a} ±0.74
گلدهی Flowering	644.7^{a} ±40.4	61.3^{a} ±1.2	39.9^{a} ±1.9	57.0^{a} ±2.9	25.9^{a} ±0.35
غلاف‌دهی Poding	425.8^{c} ±23.6	60.3^{a} ±2.1	23.9^{c} ±1.7	32.5^{c} ±2.0	25.9^{a} ±0.47

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشابه در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار با هم ندارند، ± اشتباه استاندارد می‌باشد.

Means with the similar letters in the each column are not significantly different at $p \leq 0.05$, ± is standard error.

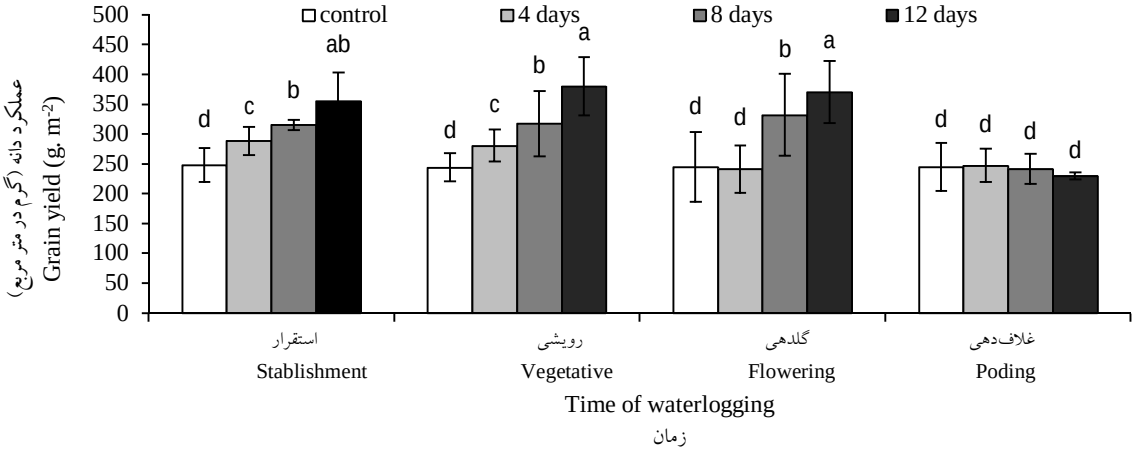
جدول ٥- مقایسه میانگین عملکرد و اجزای عملکرد تحت تأثیر مدت ماندابی برنخود.

Table 5. Mean comparison of yield and yield components under the effect of waterlogging duration onchickpea.

مدت‌های ماندابی (روز) Waterlogging Durations (days)	عملکرد زیست‌توده (گرم در مترمربع) Biological yield ($g.m^{-2}$)	شاخص برداشت (درصد) Harvest Index (%)	تعداد دانه در بوته No. grain per plant	تعداد غلاف در بوته No. pod per plant	وزن صد دانه (گرم) 100-grain weight (g)
بدون ماندابی control	471.0^{c} ±56.3	59.8^{a} ±1.2	26.3^{b} ±4.1	32.7^{c} ±6.2	27.3^{a} ±0.89
4	476.2^{c} ±62.8	60.9^{a} ±2.0	27.5^{b} ±3.7	36.9^{pc} ±8.2	25.5^{a} ±0.54
8	532.8^{b} ±51.9	57.0^{a} ±0.92	28.8^{b} ±3.8	39.0^{b} ±8.0	25.8^{a} ±0.18
12	626.2^{a} ±94.2	57.6^{a} ±2.8	34.9^{a} ±4.2	48.6^{a} ±7.1	26.3^{a} ±0.41

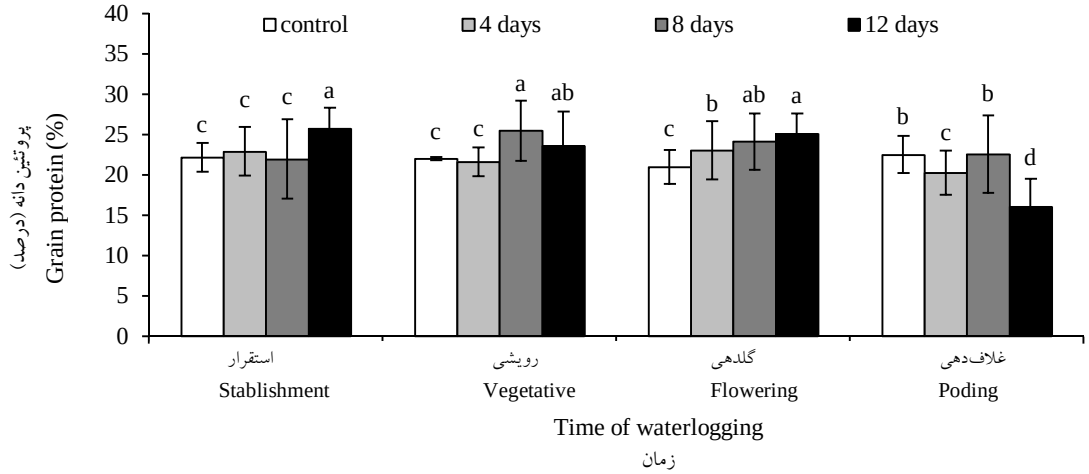
در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشابه در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار با هم ندارند، ± اشتباه استاندارد.

Means with the similar letters in the each column are not significantly different at $p \leq 0.05$, ±is standard error.



شکل ۱- میانگین عملکرد دانه نخود در مدت‌های مختلف ماندابی و در مراحل مختلف رشد، خطوط عمودی نشان‌دهنده اشتباه استاندارد هستند.

Figure 1. Mean of grain yield of chickpea at waterlogging duration and differentgrowth stages, Vertical lines indicate thestanderderror.

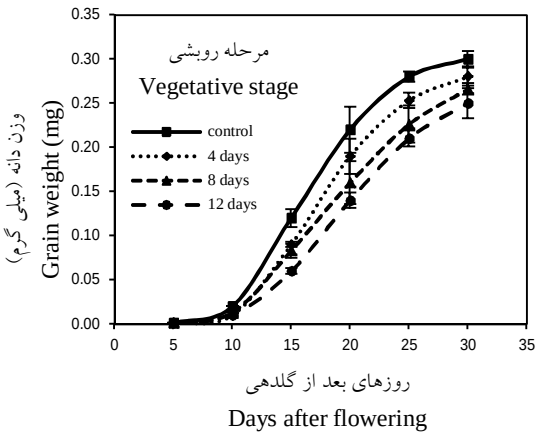


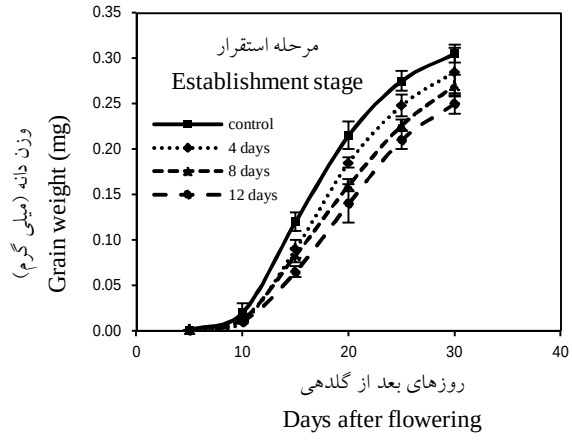
شکل ۲- میانگین درصد پروتئین دانه نخود تحت تأثیر مدت‌های ماندابی در مراحل مختلف رشد، خطوط عمودی نشان‌دهنده اشتباه استاندارد هستند.

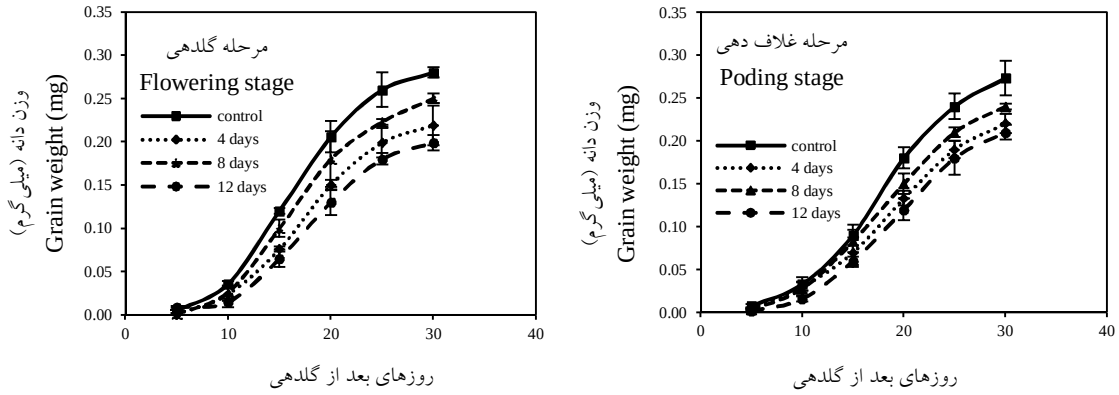
Figure 2. Mean of grain protein percent of chickpea at waterlogging duration and different growth stages, Vertical lines indicate the standard error.

روند پر شدن دانه: بررسی روند پر شدن دانه‌ها نشان داد که با افزایش مدت ماندابی در همه مراحل رشد نسبت به شاهد وزن دانه‌ها کاهش نشان داد (شکل ۳). در مرحله گلدهی و غلاف‌دهی وزن تک دانه در ۸ روز بیشتر از ٤ و ۱۲ روز ماندابی و کمتر از شاهد (شرایط دیم) بود. احتمالا خودتنظیمی بین تعداد دانه در بوته و وزن دانه باعث این تغییرات بوده است. در تیمار شاهد (بدون ماندابی و در شرایط دیم)، باعث تعداد دانه کمتر ولی درشت‌تر شده و در تیمار ماندابی در مراحل گلدهی و غلاف‌دهی باعث تغییر در تعداد گل‌ها و همچنین استفاده بهینه از ذخیره رطوبت در اثر ایجاد تیمار ماندابی، وزن دانه در تیمار ۸ روز ماندابی افزایش داشته است. در کل ماندابی باعث تولید دانه‌های کوچک و چروکیده نسبت به دانه‌های شاهد شد. اگر چه شرایط ماندابی باعث تولید دانه‌های کوچک‌تری نسبت به شرایط دیم شد ولی تعداد غلاف، تعداد دانه، ارتفاع و ماده خشک کل را افزایش داد و در نهایت عملکرد دانه کاهش یافت. در تحقیقی اثر ۵ روز ماندابی را در زمان ۳ هفته بعد از کاشت بر روی ۵ رقم عدس مورد بررسی قرار دادند و نتایج نشان داد که در بعضی ارقام ماندابی باعث افزایش تعداد غلاف و بزرگ شدن اندازه دانه‌ها شده ولی در نهایت ۵۰ تا ۹۰ درصد عملکرد دانه کاهش داشت، که علت آن حفظ کامل شرایط ماندابی به‌دلیل آزمایش در شرایط گلدانی بوده است (۱۵).

روند تغییرات پر شدن دانه با استفاده از مدل رگرسیونی غیرخطی سیگموئیدی در جدول ٦ آمده است. این مدل توصیف بهتری برای روند پر شدن دانه دارد و بالا بودن ضریب تبیین تأئیدی بر انتخاب آن دارد. آماره‌های رگرسیونی نشان می‌دهند که میزان R^2 مدل در هر چهار زمان ماندابی و در مدت‌های مختلف بالای ۹۹ درصد بود و نشان دهنده برازش مناسب مدل بود. با توجه به نتایج، ضریب a (حداکثر وزن دانه)، تیمار شاهد در بیشترین مقدار و تیمار ۱۲ روز ماندابی در مرحله گلدهی در کمترین مقدار بود. از نظر زمان شروع پر شدن دانه (ضریب b) تیمار ٤ روز ماندابی در مرحله غلاف‌دهی در بیشترین مقدار و از نظر زمان ۵۰ درصد دوره پر شدن دانه (ضریب t) تیمارهای ۱۲ روز ماندابی در مراحل رشد استقرار، رویشی و غلاف‌دهی در بیشترین مقدار بودند (جدول ٦).







شکل ۳- روند پر شدن دانه نخود در زمان‌ها و مدت‌های مختلف ماندابی.

Figure 3. Trend of grain filling of chickpea at different times and durations of waterlogging.

جدول ٦- ضریب تبیین (R^2)، ضرایب رگرسیونی (a، b و $t_{0.50}$) و خطای استاندارد برای مدل رگرسیونی غیرخطی سیگموئیدی، در توصیف روند پر شدن دانه در مدت‌های ماندابی در مراحل مختلف رشد نخود.

Table 6. R square, regression coefficient (a, b and $t_{0.50}$) and standard error for regression model of non linear sigmoid, for description of grain filling period at waterlogging duration and different growth stage of chickpea.

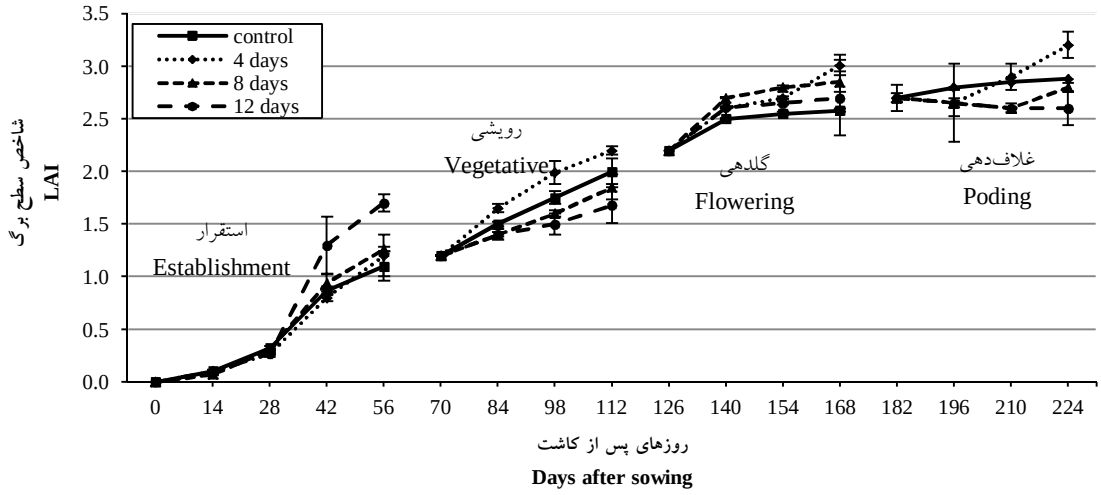
زمان ماندابی Time of waterlogging	مدت ماندابی Waterlogging duration (days)	R^2	a ±SE	b ±SE	$t_{0.50}$±SE
استقرار Establishment	0	0.99	0.304±0.012	3.22±0.439	16.88±0.547
	4	0.99	0.286±0.013	3.27±0.445	18.00±0.569
	8	0.99	0.280±0.016	3.80±0.530	18.90±0.729
	12	0.99	0.262±0.011	3.67±0.367	19.50±0.508
رویشی Vegetative	0	0.99	0.300±0.009	3.02±0.337	16.61±0.414
	4	0.99	0.281±0.009	3.04±0.334	17.64±0.420
	8	0.99	0.274±0.014	3.72±0.493	18.71±0.667
	12	0.99	0.260±0.009	3.55±0.293	19.55±0.339
گلدهی Flowering	0	0.99	0.283±0.006	3.47±0.236	16.34±0.294
	4	1.00	0.224±0.004	3.52±0.191	17.46±0.245
	8	0.99	0.248±0.008	2.38±0.358	16.66±0.448
	12	0.99	0.205±0.005	3.57±0.248	17.98±0.324
غلاف‌دهی Poding	0	1.00	0.283±0.004	3.90±0.145	17.93±0.195
	4	1.00	0.237±0.006	4.38±0.232	18.87±0.342
	8	0.99	0.252±0.008	4.10±0.306	18.28±0.425
	12	0.99	0.223±0.007	3.92±0.226	19.29±0.378

شاخص سطح برگ، وزن خشک برگ و کل:

شاخص سطح برگ، وزن خشک برگ و وزن خشک کل در گیاهان تابعی از هم هستند. در این آزمایش روند تغییرات این صفات در مراحل مختلف رشد و در مدت‌های ماندابی در شکل‌های ٤، ٥ و ٦ آمده است. در تمام مراحل آزمایش شرایط ماندابی، ابتدا شاخص سطح برگ، وزن خشک برگ و وزن خشک کل کاهش یافت. ولی بعد از رفع شرایط ماندابی خیلی سریع گیاه در شرایط مساعد (ذخیره رطوبت بیشتر نسبت به شرایط بدون ماندابی (دیم)) رشد مناسبتری داشته و با افزایش ماندابی، وزن خشک کل بیشتری تولید نمود. در مرحله غلاف‌دهی افزایش مدت ماندابی باعث افزایش بیشتر سطح برگ، وزن خشک برگ و وزن خشک کل شد و با نگاهی به مقایسه میانگین عملکرد زیست توده (جداول ٤ و ٥) و عملکرد دانه (شکل ١) این‌گونه استنباط می‌شود که نخود در شرایط ماندابی در این مرحله به‌جای تولید

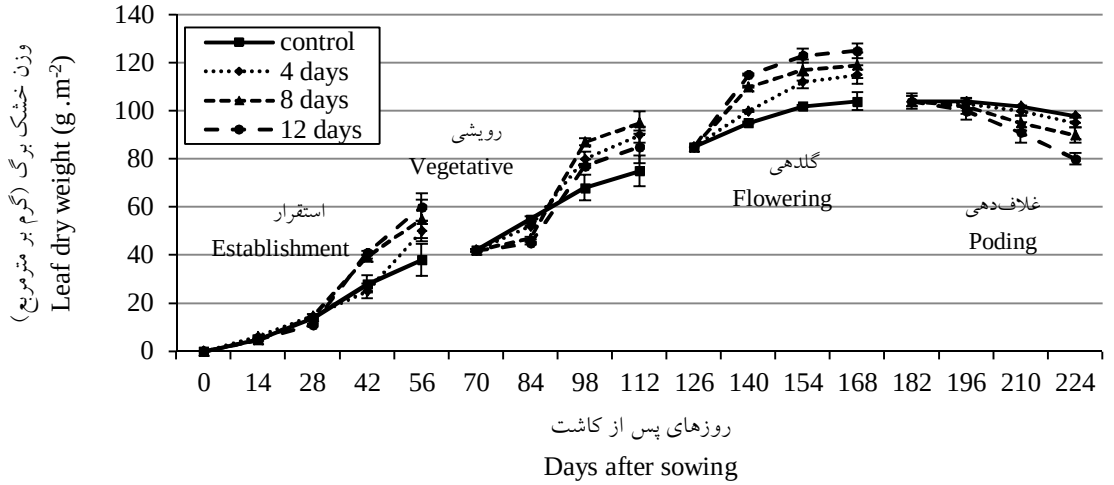
بیشتر عملکرد دانه، باعث افزایش عملکرد زیست توده شده است (جداول ٤ و ٥).

نتایج آزمایش حاضر به‌دلیل شرایط اجرای مزرعه‌ای، خلاف انتظار و مغایر با نتایج کار اکثر محققین است (آزمایشات ماندابی به‌صورت گلدانی اجرا گردیده است). ماندابی به‌مدت دو هفته در ۲٦ روز بعد از کاشت (در طول رشد رویشی)، سطح برگ نخود ارقام تیپ‌های کابلی و دسی را به میزان ۷۰ درصد کاهش داده است (۲٦). در ماش ۹ روز ماندابی در مرحله ۳۰ روز بعد از کاشت باعث کاهش رشد گیاه در تمام ژنوتیپ‌ها، کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی برگ و افزایش کلروز شده است (۲۰). علاوه‌بر دلایل ذکر شده، احتمالا در کشت پاییزه نخود در این آزمایش، در زمان اعمال تیمار، به‌علت کاهش دمای هوا و آب، میزان خسارت قابل توجه نبوده و بعد از رفع ماندابی، رشد و عملکرد بهبود داشته است.



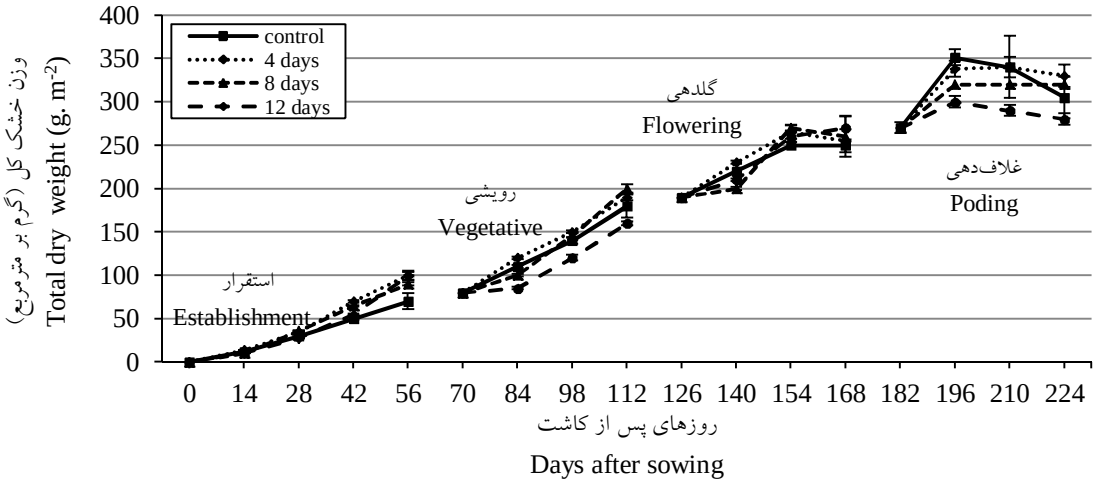
شکل ٤- شاخص سطح برگ نخود در مدت‌های مختلف ماندابی و در مراحل مختلف رشد، خطوط عمودی نشان‌دهنده اشتباه استاندارد هستند.

Figure 4. Leaf area index of chickpea at waterlogging durations and different growth stages, Vertical linesindicates thestandarderror.



شکل ٥- وزن خشک برگ نخود در مدت‌های مختلف ماندابی و در مراحل مختلف رشد. خطوط عمودی نشان‌دهنده اشتباه استاندارد هستند.

Figure 5. Leaf dry weight of chickpea at waterlogging durations and different growth stages, Vertical linesindicates thestandarderror.



شکل ٦- وزن خشک کل نخود در مدت‌های مختلف ماندابی و در مراحل مختلف رشد، خطوط عمودی نشان‌دهنده اشتباه استاندارد هستند.

Figure 6. Total dry weight of chickpea at waterlogging durations and different growth stages, Vertical lines indicate the standard error.

نتیجه‌گیری کلی

به‌طور کلی نتایج نشان داد که اگرچه شرایط ماندابی و دیم (شاهد) تنش‌زا می‌باشند اما اثر خشکی (طولانی مدت در شرایط دیم) بیشتر از ماندابی اثرگذار بود. به هرحال، چون در شرایط ماندابی آب اضافی در اختیار گیاه قرار می‌گیرد؛ اگرچه در کوتاه مدت باعث خساراتی به گیاه می‌گردد ولی با توجه به حجم بالای آب ذخیره در خاک بعد از رفع شرایط ماندابی، گیاه خیلی خوب از شرایط موجود استفاده می‌کند. بر این اساس با افزایش ماندابی عملکرد دانه افزایش پیدا یافت. همچنین، افزایش مدت ماندابی در مراحل مختلف رشدی باعث افزایش شاخص سطح برگ، وزن خشک برگ و وزن خشک کل شد، به‌طوری‌که با افزایش مدت ماندابی (حداکثر ۱۲ روز) عملکرد دانه افزایش داشت و بالاخره، در زمان غلاف‌دهی ماندابی هیچ تأثیری نسبت به شرایط دیم نداشت و به‌عبارتی ذخیره رطوبت در این مرحله باعث افزایش عملکرد دانه نشد.

منابع

1. Ahlawat, I., Ali, M., and Shivkumar, B. 2003. Cropping systems research in chickpea. Chickpea research in India (EdsMasood Ali, Shiv Kumar and NB Singh). Indian Institute of Pulses Research, Kanpur, India, 113-119.
2. Ahmadi, K., Gholizadeh, H., Ebadzadeh, H., Hossainpoor, R., Hatami, F., Fazli, B., Kazemian, A., and Rafiei, M. 2015. Agricultural Statistics of Crops. Jahad Keshavarzi Press. 1: 1-169. (In Persian)
3. Ahmed, S., Nawata, E., Hosokawa, M., Domae, Y., and Sakuratani, T. 2002. Alterations in photosynthesis and some antioxidant enzymatic activities of mungbean subjected to waterlogging. Plant Sci., 163: 117-123.
4. Alam, M., and Rabbani, M.G. 2007. Vulnerabilities and responses to climate change for Dhaka. Environ. Urban., 19: 81-97.
5. Ashraf, M.A. 2012. Waterlogging stress in plants: A review. Afr. J. Agric. Res., 7: 1976–1981.
6. Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 1990. Official methods of analysis, 15th edition by Kenneth Helrich, protein, 70p.

7. Bansal, R., and Srivastava, J. 2015. Effect of waterlogging on photosynthetic and biochemical parameters in pigeon pea. Russ. J. Plant Physiol., 62: 322-327.
8. Celik, G., and Turhan, E. 2013. Genotypic variation in growth and physiological responses of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seedlings to flooding. Afr. J. Biotechnol., 10: 7372-7380.
9. Cowie, A., Jessop, R., and MacLeod, D. 1996. Effects of waterlogging on chickpeas I. Influence of timing of waterlogging. Plant Soil, 183: 97-103.
10. Cowie, A., Jessop, R., and MacLeod, D. 1996. Effects of waterlogging on chickpeas II. Possible causes of decreased tolerance of waterlogging at flowering. Plant Soil, 183: 105-115.
11. Ezin, V., Pena, R.D.L., and Ahanchede, A. 2010. Flooding tolerance of tomato genotypes during vegetative and reproductive stages. Braz. J. Plant Physiol., 22(1): 131-142.
12. Ghadiryan, R., Soltani, A., Zeinali, E., Kalateh Arabi, M., and Bakhshandeh, E. 2011. Evaluating non-linear regression models for use in growth analysis of wheat. Elec. J. Crop Prot., 4(3): 55-77. (In Persian)
13. Ghobadi, M.E., Bakhshandeh, A., Nadian, H., Fathi, G., Gharineh, M.H., Alami-saied K., and Ghobadi, M. 2007. Effect of waterlogging durations at different growth stages of wheat on yield and yield components. The Sci. J. Agric., 30(2): 133-146. (In Persian)
14. Ghobadi, M.E., Nadian, H., Bakhshandeh, A., Fathi, G., Gharineh, M.H., and Ghobadi M. 2007. Study of root growth, biological yield and grain yield of wheat genotypes under waterlogging stress during different growth stages. Seed and Plant, 22(4): 513-527. (In Persian)
15. Gibbs, J., and Greenway, H. 2003. Review: Mechanisms of anoxia tolerance in plants. I. Growth, survival and anaerobic catabolism. Funct. Plant Biol., 30: 353-353.
16. Islam, M., Nessa, B., Haque, M., and Ahmed, J. 2009. Effect of soil flooding stress on morphology and yield of five Lentil (*Lens Culinaris* Medic.) genotypes. IUP J. Soil Water Sci., 2: 48-57.
17. Jackson, M.B., Ishizawa, K., and Ito, O. 2009. Evolution and mechanisms of plant tolerance to flooding stress. Ann. Bot., 103: 137-142.
18. Jackson., M.B., and Colmer, T.D. 2005. Response and adaptation by plants to flooding stress. Ann. Bot., 96: 501-505.
19. Kamal, A.H.M., and Komatsu, S. 2015. Involvement of reactive oxygen species and mitochondrial proteins in biophoton emission in roots of soybean plants under flooding stress. J. Proteome Res., 14: 2219-2236.
20. Krishnamurthy, L., Upadhyaya, H., Saxena, K., and Vadez, V. 2012. Variation for temporary waterlogging response within the mini core pigeon pea germplasm. J. Agric. Sci., 150: 357-364.
21. Kumar, P., Pal, M., Joshit, R., and Sairam, R.K. 2013. Yield, growth and physiological responses of mung bean [*Vignaradiate* (L.) Wilczek] genotypes to waterlogging at vegetative stage. Physiol Mol. Biol. Plants, 19(2): 209-220.
22. Lekshmy, S., Jha, S.K., and Sairam, R.K. 2015. Physiological and molecular mechanisms of flooding tolerance in plants. Elucidation of Abiotic Stress Signaling in Plants, Springer press. Pp: 227-242.
23. Licausi, F., and Perata, P. 2009. Low oxygen signaling and tolerance in plants. Adv. Bot. Res., 50: 139-198.
24. Mauchamp, A., and Méthy, M. 2004. Submergence-induced damage of photosynthetic apparatus in *Phragmitesaustralis*. Environ. Exper. Bot., 51: 227-235.
25. Mutava, R.N., Prince, S.J.K., Syed, N.H., Song, L., Valliyodan, B., Chen, W., and Nguyen, H.T. 2015. Understanding abiotic stress tolerance mechanisms in soybean: A comparative evaluation of soybean response to drought and flooding stress. Plant Physiol. Biochem., 86: 109-120.

26. Oh, M., and Komatsu, S. 2015. Characterization of proteins in soybean roots under flooding and drought stresses. J. Proteomics, 114: 161-181.
27. Palta, J., Ganjeali, A., Turner, N., and Siddique, K. 2010. Effects of transient subsurface waterlogging on root growth, plant biomass and yield of chickpea. Agric. Water Manag., 97: 1469-1476.
28. Rasaei, A., Ghobadi, M.E., Jalali-Honarmand, S., Ghobadi, M., and Saeidi, M. 2012. Waterlogging and its effects on nitrogen of soil and plant. Ann. Biol. Res., 3(1): 119-124.
29. Romina, P., Abeledo, L.G., and Miralles, D.J. 2014. Identifying the critical period for waterlogging on yield and its components in wheat and barley. Plant Soil, 378: 265-277.
30. Saqib, M., Akhtar, J., and Qureshi, R.H. 2004. Pot study on wheat growth in saline and waterlogged compacted soil: II. Root growth and leaf ionic relations. Soil Tillage Res., 77: 179-187.
31. Saqib, M., Akhtar, J., and Qureshi, R.H. 2004. Pot study on wheat growth in saline and waterlogged compacted soil: I. Grain yield and yield components. Soil Tillage Res., 77: 169-177.
32. Smethurst, C.F., Garnett, T., and Shabala, S. 2005. Nutritional and chlorophyll fluorescence responses of lucerne (*Medicago sativa*) to waterlogging and subsequent recovery. Plant Soil, 270: 31-45.
33. Solaiman, Z., Colmer, T., Loss, S., Thomson, B., and Siddique, K. 2007. Growth responses of cool-season grain legumes to transient waterlogging. Crop Pasture Sci., 58: 406-412.
34. Stoyanov, Z. 2005. Effects of water stress on leaf water relations of young bean plants. J. Cent. Eur. Agr., 6(1): 5-14.
35. Sullivan, M., VanToai, T., Fausey, N., Beuerlein, J., Parkinson, R., and Soboyejo, A. 2001. Evaluating on-farm flooding impacts on soybean. Crop Sci., 41: 93-100.
36. Voesenek, L.A., and Bailey-Serres, J. 2015. Flood adaptive traits and processes: an overview. New Phytol., 206: 57-73.