نشریهٔ پژوهش‌های حبوبات ایران
جلد۷ شمارهٔ۱، صفحهٔ ۱۲۰-۱۰۵، نیمهٔ اول ۱۳۹۵

Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 7, No. 1, 2016, p. 105-120

تأثیر آبیاری تکمیلی در مراحل فنولوژی بر برخی شاخص‌های رشدی ارقام عدس (*Lens culinaris* Medik.) در منطقه مشهد

فریده سادات حسینی[1]، احمد نظامی[2*]، مهدی پارسا[2] و کمال حاج محمدنیا قالی‌باف[3]

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، fa.hoseini64@gmail.com
۲- اعضای هیئت علمی (به‌ترتیب، استاد و دانشیار) گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی و پژوهشکدهٔ علوم گیاهی دانشگاه فردوسی مشهد
۳- عضو هیئت علمی (استادیار) گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۰/۰۸
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۵/۱۹

چکیده

آبیاری تکمیلی در مرحله بحرانی نیاز آبی گیاه، یکی از روش‌های مؤثر برای دست‌یابی به تولید پایدار عدس در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد. به‌منظور بررسی اثر آبیاری تکمیلی بر خصوصیات رشدی سه رقم عدس، آزمایشی در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد به‌صورت بلوک نواری در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۸۸-۱۳۸۷ انجام شد. در این آزمایش، آبیاری تکمیلی (آبیاری در تمام مراحل فنولوژی گیاه، انجام یک‌بار آبیاری در هر کدام از مراحل شاخه‌دهی، گلدهی، غلاف‌دهی، پُرشدن دانه‌ها و بدون‌آبیاری طی فصل رشد) به‌عنوان فاکتور اصلی و سه‌رقم عدس (رباط، کالپوش و گچساران) به‌عنوان فاکتور فرعی درنظر گرفته‌شدند. نمونه‌برداری تخریبی برای محاسبه شاخص‌های رشدی و عملکرد محصول به‌ترتیب در طول فصل و پایان فصل‌رشد انجام شد. نتایج نشان داد وزن‌خشک تجمعی، شاخص سطح‌برگ، سرعت‌رشد محصول، سرعت فتوسنتز خالص و عملکرد دانه در تیمار آبیاری تکمیلی در مرحله گلدهی، نسبت به سایر تیمارهای آبیاری تکمیلی در طول فصل‌رشد بیشتر بود، به‌طوری‌که یک‌نوبت آبیاری در مرحله گلدهی با حداکثر تولید مادهٔ خشک (۵۰۷/۴ گرم در متر مربع)، شاخص سطح‌برگ (۳/۶)، سرعت‌رشد محصول (۱/۳۵ گرم بر مترمربع زمین بر درجه‌روز رشد)، سرعت‌رشد محصول (۰/۰۴ گرم برگرم بر درجه‌روز رشد)، سرعت فتوسنتز خالص (۱/۷۵ گرم بر مترمربع برگ بر درجه‌روز رشد) و عملکرد دانه (۱۲۱۳ کیلوگرم در هکتار) در رتبه بعد از آبیاری‌کامل قرار گرفت. در بین ارقام عدس مورد آزمایش، رقم رباط در اکثر شاخص‌های رشدی برتر از ارقام دیگر بود. بنابراین در شرایط کمبود آب، انجام آبیاری‌تکمیلی در مرحله گلدهی عدس با تأمین رطوبت مورد نیاز گیاه و با توجه به برتری شاخص‌های رشدی آن نسبت به سایر مراحل رشدی، عملکرد بیشتر محصول را سبب می‌شود. در مجموع نتایج این آزمایش توجه به شاخص‌های رشدی در پیش‌بینی عملکرد محصول عدس را مورد تأیید قرار داد.

واژه‌های کلیدی: سرعت‌رشد محصول، سرعت فتوسنتز خالص، شاخص سطح‌برگ، وزن‌خشک تجمعی

مقدمه

عدس یکی از مهم‌ترین حبوبات سرمادوست است که ۹۲درصد سطح زیرکشت آن در ایران به‌صورت دیم است (Parsa & Bagheri, 2008). این گیاه پس از سویا از نظر پروتئین مقام دوم را در بین حبوبات دارا بوده و با حدود ۲۸درصد پروتئین، از حبوبات عمده در کشورهای در حال‌توسعه بوده و به‌عنوان مکملی برای غلات و منبعی بسیار عالی جهت تأمین پروتئین و اسیدهای‌آمینه در رژیم غذایی مردم این کشورها محسوب می‌شود (Erskine & Saxena, 1993). نتایج بررسی‌ها نشان‌داده است که در اغلب گیاهان زراعی از جمله عدس، وقوع تنش‌خشکی در برخی از مراحل فنولوژی گیاه خسارات جبران‌ناپذیری را بر عملکرد وارد می‌نماید. بنابراین شناخت مراحل حساس و بحرانی گیاه به تنش‌خشکی و تأمین رطوبت موردنیاز در مراحل زمانی فوق نقش مؤثری در افزایش عملکرد و استفادهٔ بهینه از منابع آب و خاک ایفا می‌نماید (Oweis *et al*., 2004; Silim *et al*., 1993).

آبیاری تکمیلی در مرحله بحرانی نیاز گیاه، یکی از روش های مؤثر در جلوگیری از نوسان عملکرد و دستیابی به تولید پایدار عدس در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد

* **نویسنده مسئول**: مشهد، میدان آزادی، پردیس دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکدهٔ کشاورزی، گروه زراعت و اصلاح نباتات، همراه: ۰۹۱۵۳۱۶۳۳۴۸،
nezami@um.ac.ir

(Parsa & Bagheri, 2008). در این‌روش، اثرات تنش‌خشکی بر گیاه کاهش یافته و رطوبت مناسبی برای گیاه، به‌ویژه در مراحل حساس رشد فراهم می گردد و به‌دنبال آن عملکرد بهبود می‌یابد (Oweis & Hachum, 2006; 2008 ,Rezaeyan zade). در یک بررسی عملکرد دانه و زیست‌توده عدس با انجام آبیاری تکمیلی افزایش یافت، به‌طوری‌که کاربرد آبیاری تکمیلی به‌میزان دوسوم آبیاری‌کامل، بالاترین عملکرد دانه و زیست‌توده را تحت تیمارهای آبیاری تکمیلی داشت (Oweis *et al*., 2004). نتایج بررسی دیگری نشان‌داد که انجام دو مرحله آبیاری تکمیلی یکی قبل از گلدهی و دیگری در مرحله پُرشدن دانه، به‌طور متوسط عملکرد عدس را تا ۲۰درصد نسبت به کشت دیم افزایش داد (Hamdi *et al*., 1992)، اما درصورت محدودیت آب، یک‌بار آبیاری‌تکمیلی در مرحله گلدهی عدس در افزایش عملکرد دانه تأثیر به‌سزایی داشته است (Zang *et al*., 2000).

تجزیه و تحلیل کمّی رشد، روشی برای توجیه واکنش‌های گیاه به شرایط محیطی در طول دورهٔ رشدی گیاه می‌باشد (Ghasemi golazani *et al*., 1997). بر اساس تحقیقات، با افزایش مقدار رطوبت قابل‌دسترس برای گیاه، وزن‌خشک تجمعی (TDW)[1] و در نتیجه عملکرد محصول افزایش می‌یابد (Prasad *et al*., 1978; Siddique *et al*., 2000). Shobiri *et al*, (2007) با بررسی محدودیت آب بر رشد سه‌رقم نخود گزارش دادند که آبیاری در مرحله گلدهی در مقایسه با آبیاری قبل از گلدهی و تیمار بدون‌آبیاری، سرعت‌رشد محصول (CGR)[2] بیشتری داشت. در تیمار تنش رطوبتی، به‌دلیل کاهش شاخص سطح‌برگ (LAI)[3] و بسته‌شدن روزنه‌ها و متعاقباً کاهش سرعت فتوسنتز، راندمان انتقال‌مواد به دانه و تجمع مادهٔ خشک در پنبه کاهش یافت (Jami alahmadi, 1998). Rezaeyan zade (2008) گزارش کرد که اگر با آبیاری تکمیلی از تنش در مرحلهٔ گلدهی جلوگیری شود، سرعت جذب‌خالص (NAR)[4] افزایش‌یافته و شیب اُفت آن کندتر می‌شود. آزمایش Ghasemi golazani *et al*, (1997) نیز نشان‌دهندهٔ کاهش سرعت‌رشد نسبی (RGR)[5] ارقام نخود تحت شرایط تنش خشکی بود.

با توجه به مطالب ارائه شده، هدف از اجرای این پژوهش بررسی تأثیر آبیاری تکمیلی در هر کدام از مراحل فنولوژیک بر تجزیه و تحلیل رشدی و عملکرد سه رقم عدس بود.

مواد و روش‌ها

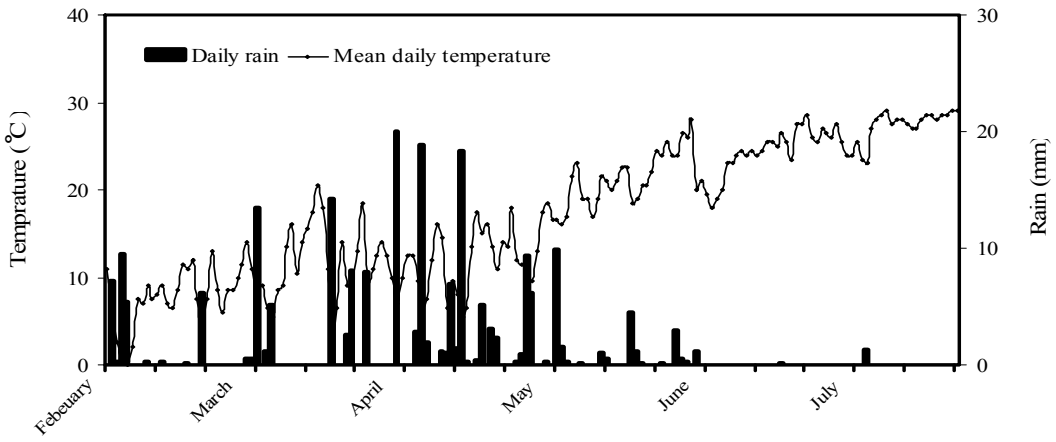
این آزمایش در سال زراعی ۸۸-۱۳۸۷ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی مشهد (عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۶ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۳۶ دقیقه شرقی و ارتفاع ۹۸۵ متری از سطح دریا و متوسط بارندگی سالانه ۲۸۶ میلی‌متر، حداکثر و حداقل دمای مطلق سالانه برابر ۴۳ و ۲۷/۸- درجه سانتی‌گراد و نوع خاک سیلتی لوم) به‌صورت بلوک نواری در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار انجام شد. شِش سطح آبیاری شامل آبیاری کامل (در تمام مراحل فنولوژیک گیاه)، انجام یک‌نوبت آبیاری در هر کدام از مراحل شاخه‌دهی، گلدهی، غلاف‌دهی، پُرشدن دانه‌ها (با حداقل ۵۰درصد وقوع مرحله فنولوژی موردنظر در بوته‌های هر کرت) و نیز تیمار بدون‌آبیاری طی فصل رشد، به‌عنوان عامل اصلی و سه نمونه عدس رباط و کالپوش (به‌ترتیب توده‌های محلی رایج در مناطق خراسان‌شمالی با شمارهٔ ثبت MLC245[6] و شاهرود با شمارهٔ ثبت MLC183) و رقم گچساران، به‌عنوان عامل فرعی درنظر گرفته شدند.

بر اساس آمار هواشناسی شهر مشهد طی سال زراعی ۸۸-۱۳۸۷، میزان نزولات جوی در طول فصل رشد ۲۶۱ میلی‌متر بود، که ۱۵۸ میلی‌متر (حدود ۶۱ درصد) آن در طول فصل رشد گیاه زراعی نازل‌شد (شکل ۱). در طی فصل رشد عدس، درجه‌حرارت به زیر صفر درجه سانتی‌گراد نرسید و در خردادماه با دمای بالای ۳۰ درجه سانتی‌گراد مواجه شد که حداکثر درجه‌حرارت در ماه مذکور در ۶ روز به ۳۴ درجه سانتی‌گراد رسید (شکل ۱).

بذور ضدعفونی‌شده عدس در عمق ۳-۲ سانتی‌متری خاک و با تراکم ۲۰۰ بوته در مترمربع در نیمه ی دوم اسفندماه کشت شدند. ابعاد کرت‌های آزمایشی ۵×۳/۷۵ متر و هر کرت دارای ۱۰ ردیف کشت با فاصله ۳۷/۵ سانتی‌متر بود. در همه تیمارها یک‌نوبت آبیاری پس از کاشت جهت اطمینان از سبزشدن یکنواخت بذور، انجام‌شد و پس از آن آبیاری‌های بعدی باتوجه به تیمارهای آزمایش، زمانی‌که حداقل ۵۰ درصد از بوته‌ها به مرحله رشدی موردنظر رسیدند، اعمال گردید (IBPGR, 1985).

1- Total dry weight
2- Crop growth rate
3- Leaf area index
4- Net assimilation rate
5- Relative growth rate

6- Mashhad Lentil Collection



شکل ۱- دمای متوسط هوا و بارندگی روزانه طی فصل رشد عدس بهاره در مشهد، سال ۸۸-۱۳۸۷

Fig. 1. Daily mean air temperature and rain during growing season of spring lentil in Mashhad, 2008-2009

در طول فصل‌رشد، زمان وقوع هر یک از مراحل فنولوژی در طول یک‌متر از دو ردیف وسط هر کرت با درنظرگرفتن اثر حاشیه‌ای مشخص و ثبت گردید. به‌منظور بررسی خصوصیات رشدی گیاه، دو هفته پس از سبزشدن بوته‌ها به‌فواصل هر۷روز تا رسیدگی نهایی (۱۰ مرحله)، از هر کرت فرعی تعداد۱۰بوته به‌طور تصادفی از بوته‌های رقابت‌کننده برداشت شد.

اندازه‌گیری سطح‌برگ بوته‌ها به‌کمک دستگاه سطح‌برگ‌سنج (Leaf area meter) مدل Δ T انجام شد. وزن‌خشک نیز با قراردادن نمونه‌های برگ و گیاه در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت و توزین با ترازوی دیجیتال به‌دقت ۰/۰۰۱ گرم انجام‌گرفت. اعداد حاصل جهت تعیین شاخص‌های رشدی مانند TDW، LAI، CGR، RGR و NAR مورداستفاده قرار گرفتند. چون سرعت رسیدن به مراحل رشدی گیاه تحت تأثیر مستقیم درجه‌حرارت گیاه قرار می‌گیرد، لذا در محاسبه توابع‌رشدی گیاه به‌جای زمان از درجه‌روز رشد (GDD)[1] استفاده شد (Russel *et al*., 1984). برای محاسبه GDD با استفاده از آمار هواشناسی در سال مذکور و دمای پایه عدس (T_b) معادل ۵ درجه سانتی‌گراد (Aase *et al*., 1996) از معادله ۱ استفاده شد.

$$GDD = \sum \left[\frac{(T_{max} + T_{min})}{2} - T_b \right] \quad (۱)$$

که در این معادله T_{min} و T_{max}، به‌ترتیب حداقل و حداکثر دمای‌روزانه به درجهٔ سانتی‌گراد در سال مذکور می‌باشد. برای محاسبه شاخص‌های رشدی بر اساس میانگین طول مدت‌زمان مورد مطالعه (t_2-t_1)، از معادلات متوسط ذیل (معادلات ۲ تا ۵) استفاده شد (Gordner *et al*., 1985؛ Panahyan & Jamaati, 2009).

$$LAI= (1/G_A)(L_{A2}+L_{A1})/2] \quad (۲)$$

$$CGR= (1/GA)(W2–W1)/(t2–t1)] \quad (۳)$$

$$RGR= (lnW2–lnW1)/(t2–t1) \quad (۴)$$

$$NAR=[(W_2–W_1)/(t_2–t_1)][(lnL_{A2}–lnL_{A1})/(L_{A2}–L_{A1})] \quad (۵)$$

که در معادلات فوق، W: وزن‌خشک اندام‌هوایی (گرم)، t: درجه‌روزهای رشد، G_A: سطح زمین (مترمربع)، و L_A: سطح‌برگ (مترمربع) می‌باشند.

جهت تعیین عملکرد دانه، در پایان فصل رشد، بوته‌های عدس از سطحی معادل ۷/۵ مترمربع برداشت و در هوای آزاد خشک گردید. رسم نمودار شاخص‌های رشدی و رگرسیون‌خطی به‌کمک نرم‌افزار Excel 2007 صورت گرفت.

نتایج و بحث

وزن‌خشک تجمعی (TDW): منحنی تغییرات وزن‌خشک اندام‌های هوایی عدس نسبت به درجه‌روزهای رشد برای تیمارهای مختلف نشان داد که روند وزن‌خشک در اغلب تیمارها به‌صورت سیگموئیدی (S شکل) بود (شکل‌های ۲ و ۳). بیشترین مقدار مادهٔ خشک بوته‌های عدس در رژیم آبیاری‌کامل (۶۳۵/۲ گرم در مترمربع) و کمترین آن در تیمار بدون‌آبیاری (۳۵۹/۱ گرم در مترمربع) با کسب ۹۶۰ درجه‌روز رشد به‌دست آمد. در میان سطوح آبیاری تکمیلی، آبیاری در مرحله گلدهی در۸۵۰درجه‌روز رشد به بالاترین میزان تولید مادهٔ خشک (۵۰۷/۴ گرم در مترمربع) خود رسید، درحالی‌که

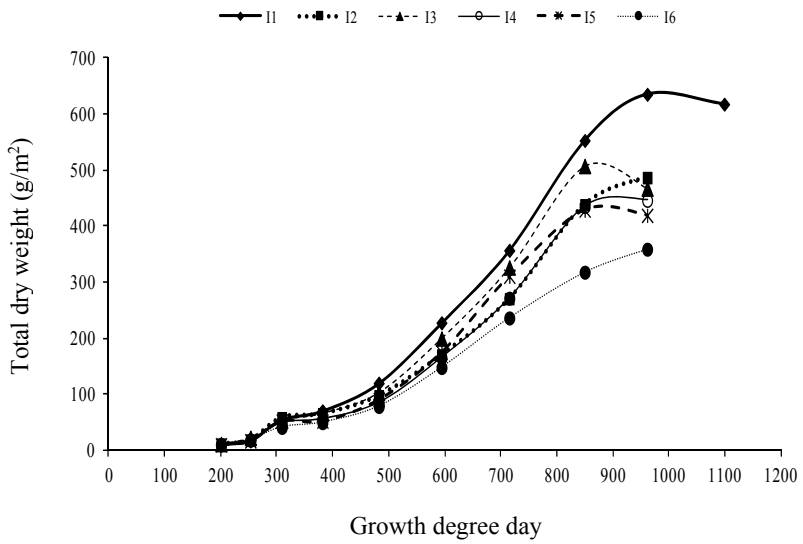
1- Growth degree day

آبیاری در مرحله تشکیل دانه کمترین مادهٔ خشک (۴۲۸/۸ گرم در مترمربع) را تولید کرد. مقدار مادهٔ خشک در تیمارهای آبیاری‌تکمیلی پس از ۸۵۰ درجه‌روز رشد روند نزولی نشان داد، در صورتی‌که تیمار آبیاری‌کامل به‌دلیل فراهمی رطوبت تا ۹۶۰ درجه‌روز رشد افزایش داشت و پس از این مرحله روند کاهشی نشان داد (شکل ۲).

به‌نظر می‌رسد که آبیاری در مرحله گلدهی باعث تداوم رشد رویشی گیاه، افزایش ارتفاع و همچنین تولید شاخه‌های بیشتر شده که عامل عمده افزایش وزن‌خشک در این تیمار می‌باشد (Panahyan & Jamaati, 2009). نتایج بررسی Rezaeyan zade (2008) بر روی نخود نشان داد که آبیاری‌تکمیلی در مرحله گلدهی سبب افزایش تولید مادهٔ خشک در این تیمار (۴۵۸ گرم در مترمربع) شد، به‌طوری‌که بالاترین میزان تجمع مادهٔ خشک را پس از تیمار آبیاری‌کامل تولید کرد. Amiri deh ahmadi *et al*, (2011) نیز با اعمال تیمار تنش در مرحله گلدهی نخود، کمترین میزان مادهٔ خشک را در این مرحله به‌دست آوردند. آن‌ها نتیجه گرفتند که تنش در این مرحله سبب ریزش گل‌ها و عدم تشکیل دانه شد. به‌طورکلی وزن‌خشک گیاه زراعی در هر مرحله از رشد به وزن‌خشک اولیه، دوام‌رشد و سرعت‌رشد محصول بستگی دارد (Karimi & Siddique, 1991).

در بین ارقام مورد بررسی بالاترین مادهٔ خشک تولیدی را رقم رباط (۵۱۵/۰گرم در مترمربع) پس از کسب ۹۶۰ درجه‌روز داشت، در صورتی‌که در شرایط مذکور ارقام کالپوش و گچساران به‌ترتیب با تولید ۴۶۳/۸ و ۴۵۳/۲ گرم در مترمربع مادهٔ خشک کمتری تولید کردند. در تمامی ارقام پس از رسیدن به حداکثر مادهٔ خشک به‌علت سایه‌اندازی برگ‌های بالاتر و پیری برگ‌های پایین گیاه و ریزش آن‌ها، وزن‌خشک گیاه کاهش یافت (Gordner *et al*., 1985). با وجود این، ارقام رباط و کالپوش به‌دلیل دیررس‌بودن، حدود یک‌هفته بیشتر به رشد خود ادامه دادند و به‌دلیل دوام بافت‌های سبز گیاه، فتوسنتز بیشتری داشته و در نتیجه مادهٔ خشک بیشتری تولید کردند (شکل ۳).

Panahyan & Jamaati (2009) در بررسی سه رقم عدس در چهار تیمار آبیاری (آبیاری به‌ترتیب ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A، و تیمار بدون آبیاری)، اظهار داشتند که با افزایش سن گیاه خصوصاً پس از گلدهی به‌دلیل افزایش سطح‌برگ، فتوسنتز و به‌تبع آن وزن خشک افزایش یافت و در مراحل انتهایی به‌دلیل ریزش و سایه‌اندازی برگ‌ها، وزن‌خشک عدس کاهش یافت.

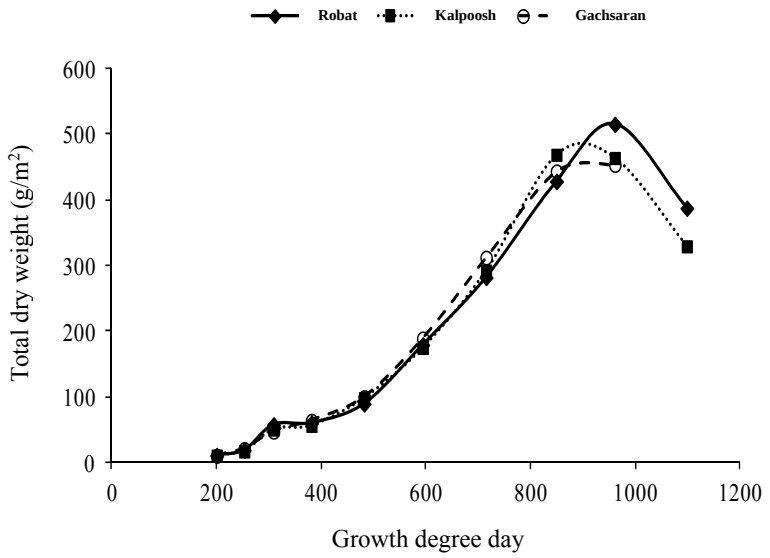


شکل ۲- تغییرات وزن‌خشک تجمعی عدس تحت تأثیر تیمارهای مختلف آبیاری

I_1: آبیاری کامل (۸۰)، I_2: آبیاری در مرحله شاخه‌دهی (۷۰)، I_3: آبیاری در مرحله گلدهی (۷۵)، I_4: آبیاری در مرحله غلاف‌دهی (۶۵)، I_5: آبیاری در مرحله تشکیل دانه (۶۰)، I_6: بدون‌آبیاری (۴۵). مقادیر داخل پرانتزها خطای استاندارد است.

Fig. 2. TDW changes under various irrigation treatments in lentil

I_1: full irrigation (80), I_2: one irrigation at branching stage (70), I_3: one irrigation at flowering stage (75), I_4: one irrigation at podding stage (65), I_5: one irrigation at seed setting stage (60), I_6: without irrigation (45). Values in parenthesis are SE.



شکل ۳- تغییرات وزن‌خشک تجمعی در ارقام عدس رباط (۷۰)، کالپوش (۶۵) و گچساران (۷۵)
مقادیر داخل پرانتزها خطای استاندارد است.

Fig. 3. Changes of accumulative TDW in lentil cultivars of Robat (70), Kalpoosh (65) and Gachsaran (75)
Values in parenthesis are SE.

آزمایش Samad *et al*, (2010) بر روی ۱۵ ژنوتیپ عدس نیز نشان داد که ژنوتیپ‌های مورد بررسی از نظر مادهٔ خشک تولیدی تفاوت معنی‌داری داشتند.

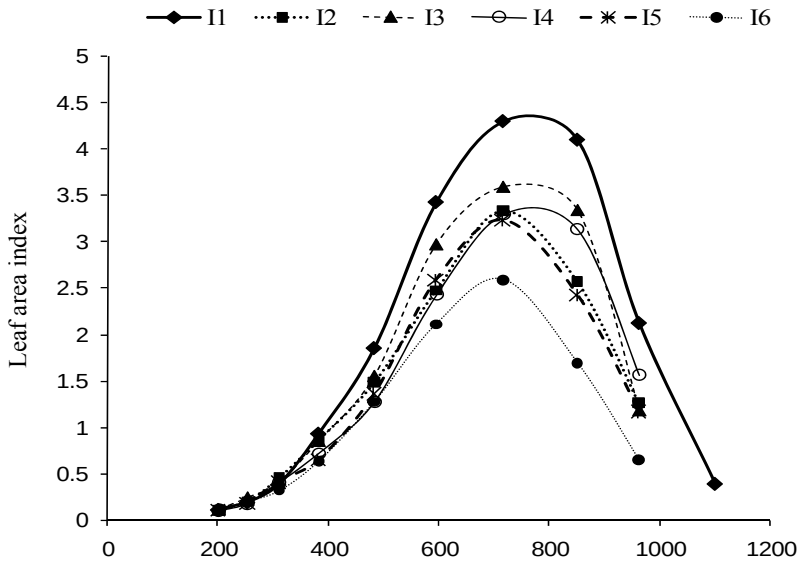
شاخص سطح‌برگ (LAI): در همه تیمارهای آبیاری، با افزایش سن گیاه شاخص سطح‌برگ افزایش یافت و در ۷۱۵ درجه‌روز به حداکثر مقدار خود رسید و پس از آن روند نزولی داشت. بیشترین و کمترین میزان شاخص سطح‌برگ با دریافت ۷۱۵ درجه‌روز رشد به‌ترتیب در تیمار آبیاری‌کامل (۴/۳) و در تیمار بدون‌آبیاری (۲/۶) به‌دست آمد. در بین سطوح آبیاری تکمیلی، آبیاری در مرحله گلدهی با متوسط ۳/۵ و آبیاری در مرحله تشکیل دانه با متوسط ۳/۲ نیز به‌ترتیب بیشترین و کمترین LAI را داشتند (شکل ۴).

در بررسی انجام‌شده بر روی نخود، شاخص سطح‌برگ در ۹۵ روز پس از کاشت یعنی هم‌زمان با مرحله تشکیل غلاف‌ها، به حداکثر مقدار خود رسید و پس از آن به‌دلیل پیری برگ‌ها کاهش یافت (Karim & Fattah, 2007). در پژوهش Amiri deh ahmadi *et al*, (2011) کمترین مقدار سطح‌برگ نخود به‌ترتیب مربوط به اعمال تنش در مراحل پُرشدن دانه، گلدهی و غلافدهی بود؛ زیرا بخش مهمی از رشد رویشی در نخود در مرحله زایشی صورت می‌گیرد. وجود تنش در این‌مرحله، سبب کاهش سطح‌برگ و تسریع پیری در گیاه می‌شود.

Singh (1995) نیز گزارش کرد، اعمال تنش‌خشکی در کلیه مراحل رشد، شاخص سطح‌برگ لوبیا را کاهش داد، ولی تنش اعمال شده در مرحله قبل از گل‌دهی، این شاخص را به‌شدت تحت تأثیر قرار داد.

Silim *et al*, (1993) نیز معتقدند که تنش‌رطوبتی از طریق تسریع پیری و ریزش برگ‌ها، سطح‌برگ گیاه را کاهش می‌دهد. به‌نظر می‌رسد تشکیل سریع‌تر کانوپی و توزیع بهتر تشعشع به‌علت فراهمی رطوبت، در تیمارهای آبیاری‌تکمیلی و آبیاری در مرحله گلدهی عامل تأخیر در ریزش برگ‌ها است، در نتیجه با انجام یک‌نوبت آبیاری در مرحله گلدهی عدس و تأمین رطوبت موردنیاز گیاه، می‌توان شاخص سطح‌برگ عدس را افزایش داد. تأثیر مثبت آبیاری در افزایش شاخص سطح‌برگ نخود در بررسی‌های Goldani & Rezvani moghadam (2007) و Rezaeyan zade (2008) نیز تأیید شده است.

در ارقام عدس نیز شاخص سطح‌برگ با دریافت ۷۱۵ درجه‌روز رشد، به حداکثر خود رسید. شاخص سطح‌برگ در رقم رباط بالاتر از ارقام کالپوش و گچساران بود. پس از دوره مذکور تا پایان رشد گیاه، شاخص سطح‌برگ رقم رباط با شیب ملایم‌تری کاهش یافت، در صورتی‌که این کاهش در رقم گچساران بیشتر بود (شکل ۵).

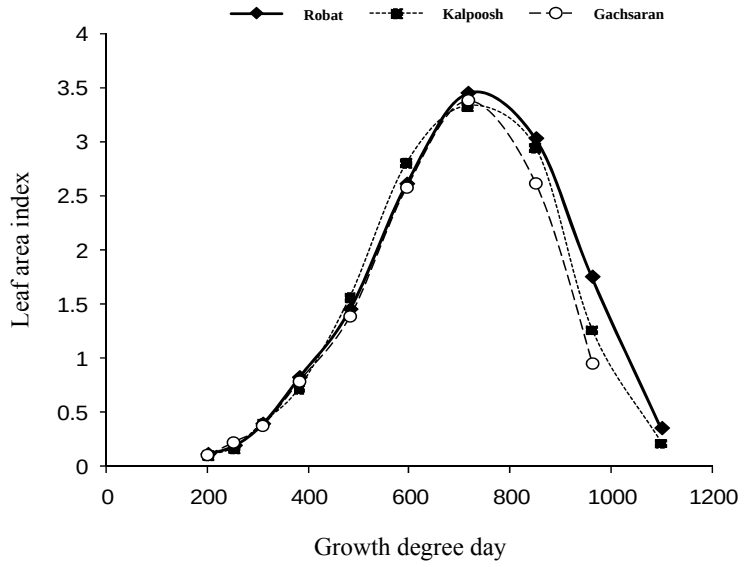


شکل ۴- تغییرات شاخص سطح‌برگ عدس تحت تأثیر سطوح مختلف آبیاری

I_1: آبیاری کامل (۰/۵۰)، I_2: آبیاری در مرحله شاخه‌دهی (۰/۴۰)، I_3: آبیاری در مرحله گلدهی (۰/۴۵)، I_4: آبیاری در مرحله غلاف‌دهی (۰/۳۵)، I_5: آبیاری در مرحله تشکیل دانه (۰/۳۸)، I_6: بدون آبیاری (۰/۳۰). مقادیر داخل پرانتزها خطای استاندارد است.

Fig. 4. LAI changes under various irrigation treatments in lentil

I_1: full irrigation (0.50), I_2: one irrigation at branching stage (0.40), I_3: one irrigation at flowering stage (0.45), I_4: one irrigation at podding stage (0.35), I_5: one irrigation at seed setting stage (0.38), I_6: without irrigation (0.30)
Values in parenthesis are SE



شکل ۵- تغییرات شاخص سطح‌برگ در ارقام عدس رباط (۰/۴۰)، کالپوش (۰/۴۵) و گچساران (۰/۴۲)

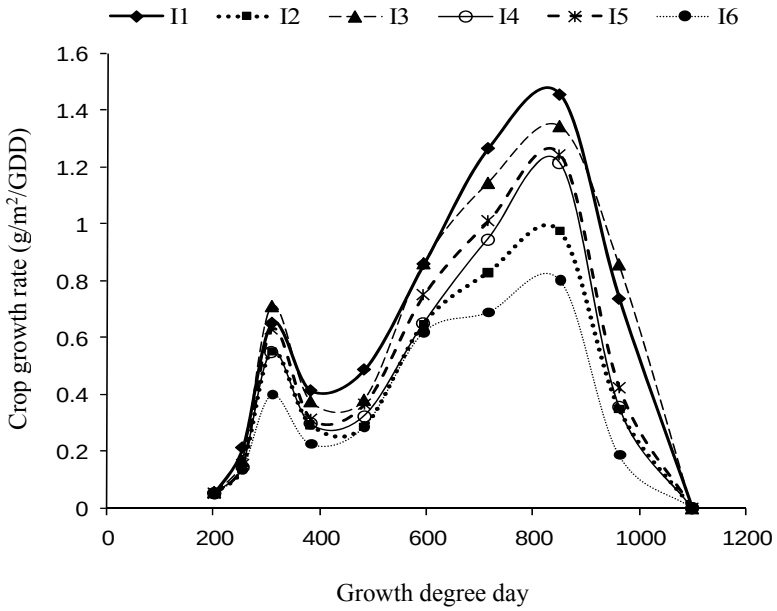
مقادیر داخل پرانتزها خطای استاندارد است.

Fig. 5. LAI changes in lentil cultivars of Robat (0.40), Kalpoosh (0.45) and Gachsaran (0.42)
Values in parenthesis are SE.

در آزمایش Parsa *et al*, (2010) که در آن، اثر آبیاری تکمیلی بر شاخص‌های رشد سه‌رقم نخود مورد بررسی قرار گرفت نیز منحنی تغییرات شاخص سطح برگ در ارقام نخود روند متفاوتی نشان داد، به‌طوری‌که حداکثر شاخص سطح‌برگ در ارقام ILC482، جم و کرج به‌ترتیب معادل ۲/۹۸، ۲/۵۲ و ۲/۲۳ بود.

سرعت‌رشد محصول (CGR): سرعت‌رشد محصول در همه سطوح آبیاری ابتدا افزایش و در مراحل انتهایی رشد کاهش یافت. این امر با افزایش سطح‌برگ در اوایل فصل رشد و افزایش جذب تشعشع خورشیدی و در نتیجه افزایش سرعت تجمع مادهٔ خشک در گیاه قابل‌توجیه است، چرا که همزمان با پیرشدن و سایه‌اندازی برگ‌ها و کاهش سرعت تجمع مادهٔ خشک، سرعت رشد محصول کاهش می‌یابد (Gordner *et al*., 1985; Nasirzade *et al*., 2007). بیشترین میزان سرعت‌رشد محصول در تیمار آبیاری کامل و کمترین آن در تیمار بدون آبیاری مشاهده شد. در بین سطوح آبیاری تکمیلی نیز آبیاری در مرحله گلدهی بیشترین سرعت رشد (۱/۳۵ گرم بر مترمربع زمین در درجه‌روز رشد) را داشت (شکل ۶).

گزارش‌های سایر محققان نیز نشان می‌دهد که در شرایط تنش خشکی و با کاهش پتانسیل آب گیاه، سرعت رشد گیاه به‌دلیل افزایش شدت تنفس و کاهش فتوسنتز، کاهش می‌یابد (Clarke & Simpson, 1978; Pannu & Singh, 1993; Prasad *et al*., 1978). افت شدید سرعت‌رشد محصول در تمام سطوح‌آبیاری از ۳۱۰ تا ۳۸۰ درجه‌روز احتمالاً به‌دلیل افزایش بارندگی در بین دو مرحله نمونه‌گیری (۳۱۰ تا ۳۸۰ درجه‌روز) بود، زیرا در طی این‌هفته میزان بارندگی حدود ۲۷/۲۱ میلی‌متر بود که روزهای ابری و کاهش تشعشع (۶ روز هوای ابری) در این‌مدت سبب کاهش سرعت‌رشد محصول شده است (شکل ۱). بررسی Akmal *et al*, (2011) نیز مؤید اثر میزان تشعشع بر سرعت‌رشد محصول می‌باشد.



شکل ۶- تغییرات سرعت‌رشد محصول عدس تحت تأثیر سطوح مختلف آبیاری

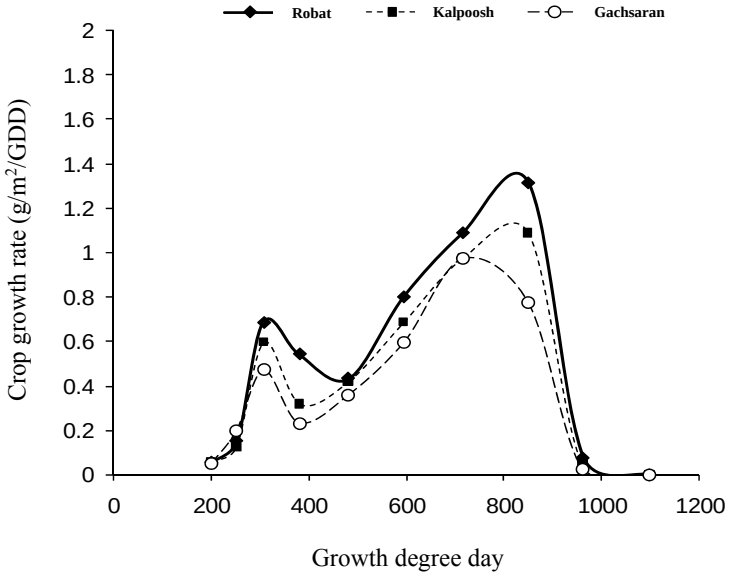
I_1: آبیاری کامل (۰/۱۸)، I_2: آبیاری در مرحله شاخه‌دهی (۰/۱۴)، I_3: آبیاری در مرحله گلدهی (۰/۱۷)، I_4: آبیاری در مرحله غلاف‌دهی (۰/۱۵)، I_5: آبیاری در مرحله تشکیل دانه (۰/۱۶)، I_6: بدون آبیاری (۰/۱۰). مقادیر داخل پرانتزها خطای استاندارد است.

Fig. 6. CGR changes under various irrigation treatments in lentil

I_1: full irrigation (0.18), I_2: one irrigation at branching stage (0.14), I_3: one irrigation at flowering stage (0.17), I_4: one irrigation at podding stage (0.15), I_5: one irrigation at seed setting stage (0.16), I_6: without irrigation (0.10)
Values in parenthesis are SE.

در پژوهشی، بیشینه سرعت‌رشد محصول در گیاه عدس در ۱۰۰ روز پس از گلدهی مشاهده شد، پس از آن به‌سرعت کاهش یافت (Asgharipour & Rafiei, 2010). در بررسی دیگری بر روی عدس نیز میزان سرعت‌رشد گیاه با افزایش درجه‌روز رشد، افزایش یافت. به‌طوری‌که بیشینه سرعت‌رشد در ۵۱۴ درجه‌روز رشد (۷۵ روز پس از کاشت) بود و پس از این‌مرحله روند کاهشی داشت (Panahyan & Jamaati, 2009).

حداکثر سرعت‌رشد محصول در رقم رباط با مقدار ۱/۳۱ گرم بر مترمربع درجه‌روز رشد، بیش از دو رقم دیگر بود. در رقم کالپوش نیز علی‌رغم افزایش سرعت‌رشد محصول از ۲۵۰ تا ۳۱۰ درجه‌روز به‌دلیل افزایش سطح‌برگ (شکل ۵)، افت شدید CGR در ۳۸۰ درجه‌روز رشد به‌دلیل کاهش تشعشع حاصل از بارش زیاد اتفاق افتاد (شکل ۱)، که در نتیجه سرعت‌رشد محصول کم‌تری نسبت به رقم رباط نشان داد. رقم گچساران که یک رقم اصلاح‌شده است با دریافت ۷۱۵ درجه‌روز رشد به بیشینه سرعت‌رشد خود (۰/۹۷ گرم بر مترمربع در درجه‌روز) رسید که این‌امر می‌تواند به‌دلیل زودرسی رقم مذکور بوده باشد (شکل ۷). به‌طور کلی نتایج حاصل از این بررسی نشان داد که کم‌بود رطوبت خصوصاً در مرحله گلدهی عدس، سبب کاهش فتوسنتز خالص و در نتیجه کاهش تولید و سرعت تجمع مادۀ خشک در واحد سطح شد.



شکل ۷- تغییرات سرعت‌رشد محصول در ارقام عدس رباط (۰/۱۷)، کالپوش (۰/۱۳) و گچساران (۰/۱۰)

مقادیر داخل پرانتزها خطای استاندارد است.

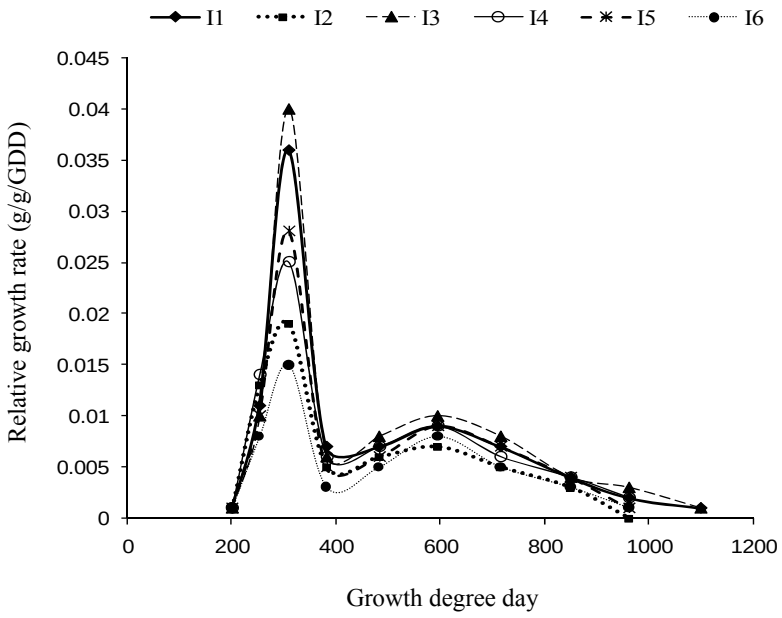
Fig. 7. CGR changes in lentil cultivars of Robat (0.17), Kalpoosh (0.13) and Gachsaran (0.10)

Values in parenthesis are SE.

سرعت‌رشد نسبی (RGR): سرعت‌رشد نسبی در کلیه تیمارهای آبیاری تا ۳۱۰ درجه‌روز رشد به‌دلیل افزایش در فتوسنتز و تولید مادۀ خشک بالا افزایش یافت، اما از ۳۱۰ تا ۳۸۰ درجه‌روز رشد، به‌علت کاهش تشعشع در این‌مدت (شکل۱) افت شدید را نشان دادند. RGR مجددا افزایش یافت و در ۵۹۰ درجه‌روز رشد، بیشترین و کمترین سرعت‌رشد نسبی در تیمارهای آبیاری‌تکمیلی به‌ترتیب در مرحله گلدهی (۰/۰۱) و شاخه‌دهی (۰/۰۰۷گرم برگرم بر درجه‌روز رشد) مشاهده شد (شکل ۸).

در ابتدای فصل رشد، میزان سرعت‌رشد نسبی به‌علت نفوذ بیشتر نور به داخل کانوپی، سایه‌اندازی کمتر برگ‌ها و در نتیجه تنفس کمتر، بالاتر می‌باشد (Karimi & Siddique, 1991)، اما با افزایش سن گیاه بافت های ساختمانی نیز به گیاه افزوده شده و در نتیجه رشد نسبی گیاه کاهش می‌یابد (Oweis *et al*., 2004; Silim *et al*., 1993). در بررسی Panahyan & Jamaati (2009)، سرعت‌رشد نسبی عدس با کسب ۳۱۰ درجه‌روز به حداکثر مقدار خود رسید، پس از آن کاهش یافت تا در ۵۵۰ درجه‌روز به صفر رسید و پس از آن منفی شد. در نخود نیز دو تیمار آبیاری‌کامل و آبیاری‌تکمیلی

در مرحله گلدهی، باعث افزایش سرعت‌رشد نسبی شد و در نتیجه منحنی با شیب کندتری کاهش یافت (Rezaeyan zade, 2008). گزارش‌های سایر محققان نیز بیان‌گر این مطلب است که تنش‌خشکی و کمبود رطوبت سبب کاهش سرعت رشد نسبی گیاه می‌گردد (Amiri deh ahmadi *et al*., 2011; Tavakoli *et al*., 1989).



شکل ۸- تغییرات سرعت‌رشد نسبی عدس تحت تأثیر سطوح مختلف آبیاری

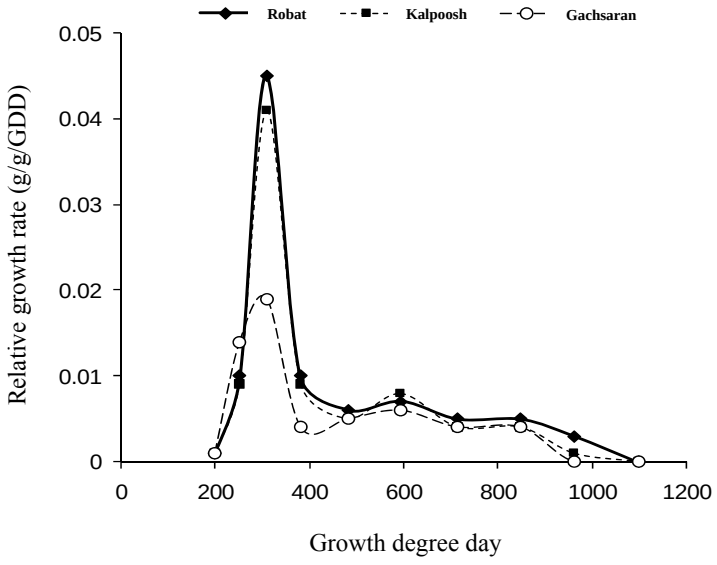
I_1: آبیاری کامل (۰/۰۰۴)، I_2: آبیاری در مرحله شاخه‌دهی (۰/۰۰۳)، I_3: آبیاری در مرحله گلدهی (۰/۰۰۲۵)، I_4: آبیاری در مرحله غلاف‌دهی (۰/۰۰۲۵)، I_5: آبیاری در مرحله تشکیل دانه (۰/۰۰۳۵)، I_6: بدون آبیاری (۰/۰۰۲). مقادیر داخل پرانتزها خطای استاندارد است.

Fig. 8. RGR changes under various irrigation treatments in lentil

I_1: full irrigation (0.004), I_2: one irrigation at branching stage (0.003), I_3: one irrigation at flowering stage (0.0025), I_4: one irrigation at podding stage (0.0025), I_5: one irrigation at seed setting stage (0.0035), I_6: without irrigation (0.002)
Values in parenthesis are SE.

روند تغییرات سرعت‌رشد نسبی برای ارقام نشانگر سرعت رشد نسبی بالاتر رقم رباط (۰/۰۴۵ گرم/گرم/درجه‌روز رشد) نسبت به سایر ارقام بود. رقم گچساران با RGR معادل ۰/۰۱۹ گرم/گرم/درجه‌روز رشد، کمترین میزان سرعت‌رشد نسبی را داشت و شیب افت سرعت‌رشد نسبی نیز در این رقم بالاتر بود، به‌طوری‌که در ۹۶۰ درجه‌روز رشد به صفر رسید. در پایان دوره رشد به‌دلیل رسیدگی فیزیولوژیک، افزایش تنفس گیاه و همچنین کاهش فتوسنتزجاری، مقدار سرعت‌رشد نسبی در تمامی ارقام کاهش یافت (شکل ۹). در این ارتباط، تغییرات RGR نسبت به درجه‌روزهای رشد بین سه‌رقم نخود نشان داد که رقم ILC482 از سرعت‌رشد نسبی بیشتر و روند نزولی ملایم‌تری نسبت به ارقام جم و کرج برخوردار بود (Parsa *et al*., 2010). Prasad *et al*, (1978) نیز اظهار داشتند که ژنوتیپ‌ها با گذشت زمان، روند نزولی و یکنواختی از لحاظ سرعت‌رشد نسبی ندارند.

سرعت فتوسنتزخالص (NAR): بالاترین مقدار فتوسنتز خالص با دریافت ۳۱۰ درجه روز رشد حاصل شد که بیشترین و کمترین میزان فتوسنتز خالص به ترتیب مربوط به تیمار آبیاری کامل (۱/۸۴) و تیمار بدون‌آبیاری (۱/۳۱ گرم/مترمربع/درجه‌روز رشد) بود. هم‌چنین فتوسنتز خالص در تیمار آبیاری در مرحله گلدهی با شیب ملایمی کاهش یافت، که احتمالاً به‌دلیل توزیع مناسب‌تر پوشش گیاهی و به‌دنبال آن دریافت بهتر تشعشع توسط کانوپی گیاهی بوده است (شکل ۱۰).

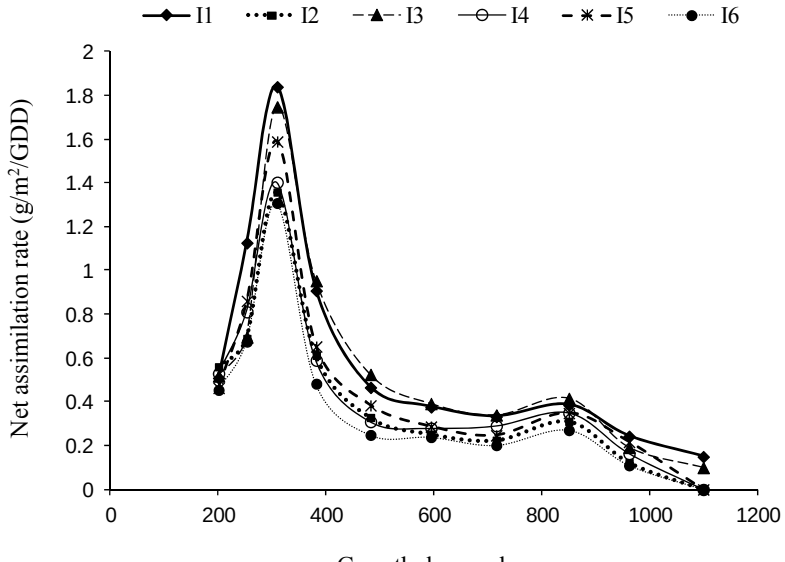


شکل ۹- تغییرات سرعت‌رشد نسبی در ارقام عدس رباط (۰/۰۰۵)، کالپوش (۰/۰۰۴) و گچساران (۰/۰۰۳)

مقادیر داخل پرانتزها خطای استاندارد است.

Fig. 9. RGR changes in lentil cultivars of Robat (0.005), Kalpoosh (0.004) and Gachsaran (0.003)

Values in parenthesis are SE.



شکل ۱۰- تغییرات سرعت فتوسنتز خالص عدس تحت تأثیر سطوح مختلف آبیاری

I_1: آبیاری‌کامل (۰/۲۰)، I_2: آبیاری در مرحله شاخه‌دهی (۰/۱۶)، I_3: آبیاری در مرحله گلدهی (۰/۱۴)، I_4: آبیاری در مرحله غلاف‌دهی (۰/۱۲)، I_5: آبیاری در مرحله تشکیل دانه (۰/۱۳)، I_6: بدون‌آبیاری (۰/۱۲). مقادیر داخل پرانتزها خطای استاندارد است.

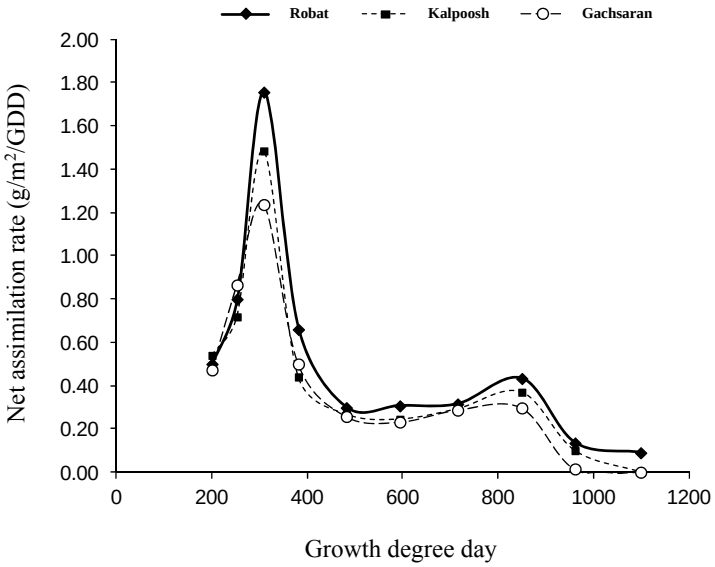
Fig. 10. NAR changes under various irrigation treatments in lentil

I_1: full irrigation (0.20), I_2: one irrigation at branching stage (0.16), I_3: one irrigation at flowering stage (0.14), I_4: one irrigation at podding stage (0.12), I_5: one irrigation at seed setting stage (0.13), I_6: without irrigation (0.12)

Values in parenthesis are SE.

افت شدید سرعت فتوسنتز خالص از ۳۱۰ تا ۳۸۰ درجه‌روز رشد نیز ممکن است به‌دلیل بارندگی و کاهش تشعشع باشد (شکل ۱).

مقدار فتوسنتز خالص با گذشت زمان و افزایش سن گیاه روند نزولی نشان می‌دهد که این افت‌نسبی در شرایط محیطی نامناسب و خصوصاً تنش‌خشکی، تشدید می‌شود. چرا که با افزایش سن گیاه به‌تدریج سطح‌برگ افزایش‌یافته و با افزایش سایه اندازی برگ‌ها، کاهش راندمان تولید در هر برگ و در نتیجه فتوسنتز خالص را به‌دنبال دارد (Gordner *et al*., 1985; Koocheki, A., & Banayan avval, M. 1997). Amiri deh ahmadi *et al*, (2011) گزارش‌کردند که تنش در مراحل گلدهی و غلاف‌دهی باعث افت شدید سرعت فتوسنتز خالص نخود شد. این محققان رشد فعال نخود در مرحله زایشی را دلیل کاهش شدید NAR ذکر کردند. در صورتی‌که بتوان با آبیاری تکمیلی در مرحله گلدهی از وقوع تنش در این مرحله جلوگیری کرد، فتوسنتز خالص افزایش می‌یابد و شیب افت سرعت فتوسنتز خالص، کمتر می‌شود (Rezaeyan zade, 2008).



شکل ۱۱- تغییرات سرعت فتوسنتز خالص در ارقام عدس رباط (۰/۱۸)، کالپوش (۰/۱۶) و گچساران (۰/۱۳)
مقادیر داخل پرانتزها خطای استاندارد است.

Fig. 11. NAR changes in lentil cultivars of Robat (0.18), Kalpoosh (0.16) and Gachsaran (0.13)
Values in parenthesis are SE.

بیشترین فتوسنتز خالص به‌ترتیب در ارقام رباط (۱/۷۶ گرم/مترمربع/درجه‌روز رشد)، کالپوش (۱/۴۹ گرم/مترمربع/درجه‌روز رشد) و گچساران (۱/۲۴ گرم/مترمربع/درجه‌روز رشد) در ۳۱۰ درجه‌روز مشاهده شد (شکل ۱۱). در رقم گچساران با وجود میزان فتوسنتز خالص کمتر در مقایسه با رقم کالپوش، میزان فتوسنتز خالص با شیب ملایم‌تری نسبت به رقم کالپوش کاهش پیدا کرد که احتمالاً به خصوصیات مورفولوژیکی و توزیع‌هندسی مناسب‌تر برگ‌های این رقم مربوط می‌شود. در همین راستا، Parsa *et al*, (2010) بیان‌داشتند که سرعت فتوسنتز خالص در رقم نخود ILC482 با شیب ملایم‌تری نسبت به ارقام جم و کرج کاهش‌یافت و به‌نظر می‌رسد که این عامل یکی از دلایل بالاتر بودن عملکرد دانه در این رقم باشد.

عملکرد دانه: آبیاری‌تکمیلی در مرحله گلدهی با تولید ۱۲۱۳ کیلوگرم دانه در هکتار پس از تیمار آبیاری‌کامل (۱۳۰۹ کیلوگرم در هکتار) قرار گرفت ($p\leq$۰/۰۱). آبیاری‌تکمیلی در مراحل شاخه‌دهی، غلافدهی و پُرشدن دانه نیز عملکرد محصول را به‌ترتیب ۲۶/۳، ۴۶/۶ و ۴۴/۵ درصد نسبت به تیمار بدون‌آبیاری افزایش داد (داده‌ها نشان‌داده نشده‌اند).

با برازش داده‌های میانگین عملکرد دانه عدس در تیمارهای آبیاری در مقایسه با حداکثر شاخص‌های رشدی مشخص شد که بین آن‌ها رابطه خطی با ضریب همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود دارد، به‌طوری‌که ضرایب همبستگی

(r) بین عملکرد دانه با وزن‌خشک تجمعی برابر **۰/۹۳، با شاخص سطح‌برگ برابر **۰/۹۲، با سرعت‌رشد محصول برابر **۰/۹۰، با سرعت‌رشد نسبی برابر *۰/۸۹ و با سرعت فتوسنتز خالص برابر **۰/۹۲ به‌دست آمد (جدول ۱).

همان‌طوری‌که ملاحظه می‌شود در تیمارهایی مانند آبیاری‌کامل و آبیاری تکمیلی در مرحله گلدهی که شاخص‌های رشدی از مقدار بیشتری برخوردار بودند، عملکرد محصول بیشتری نیز حاصل‌شده است. در این‌راستا Karim & Fattah, (2007) نیز ارتباط خطی و مثبت بین عملکرد دانه نخود (*Cicer arietenum* cv. Bari Chhola-6) با شاخص‌های رشدی LAI (R^2= ۰/۹۱**)، CGR (R^2= ۰/۸۷**) و NAR (R^2= ۰/۸۳**) را گزارش دادند.

جدول ۱- ضرایب همبستگی بین عملکرد دانه و شاخص‌های رشدی عدس

Table 1. Correlation coefficients among seed yield and growth indices of lentil

شاخص‌های رشدی Growth indices	وزن‌خشک تجمعی Total dry weight	شاخص سطح‌برگ Leaf area index	سرعت‌رشد محصول Crop growth rate	سرعت‌رشد نسبی Relative growth rate	سرعت فتوسنتزخالص Net assimilation rate
عملکرد دانه عدس Seed yield of lentil	0.93**	0.92**	0.90**	0.89*	0.92**

*, **, Significant at the 0.05 and 0.01 probability level, respectively

* و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال پنج درصد و یک درصد

نتیجه‌گیری

نتایج این بررسی نشان‌داد که مرحله گلدهی، حساس‌ترین مرحله فنولوژی به تنش‌خشکی بود؛ به‌طوری‌که کمبود رطوبت در این مرحله، سبب کاهش فتوسنتز خالص و در نتیجه کاهش تولید و سرعت تجمع مادهٔ خشک در واحد سطح گردید. هر چند تیمار آبیاری کامل از نظر اغلب صفات نسبت به سایر تیمارها برتری داشت، ولی در شرایط کمبود آب، انجام یک نوبت آبیاری‌تکمیلی در مرحلهٔ گلدهی عدس سبب بهبود تجمع مادهٔ خشک، شاخص سطح‌برگ، سرعت‌رشد محصول، سرعت‌رشد نسبی، سرعت فتوسنتز خالص و در نتیجه عملکرد محصول نسبت به سایر تیمارهای آبیاری تکمیلی شد. همبستگی مثبت و معنی‌دار عملکرد دانه با وزن‌خشک تجمعی (**۰/۹۳)، شاخص سطح‌برگ (**۰/۹۲)، سرعت‌رشد محصول (**۰/۹۰)، سرعت‌رشد نسبی (*۰/۸۹) و سرعت فتوسنتز خالص (**۰/۹۲) نیز توجه به شاخص‌های رشدی در پیش‌بینی عملکرد اقتصادی عدس را مورد تأیید قرار داد.

منابع

1. Aase, J.K., Pikul, J.L., Prueger, J.H., and Hatfield, J.L. 1996. Lentil Water use and fallow water loss in a semiarid climate. Agronomy Journal 88: 723-728.
2. Akmal, M., Farid, U., Asim, M., and Raziuddin, F. 2011. Crop growth in early spring and radiation use efficiency in alfalfa. Pakistan Journal of Botany 43(1): 635-641.
3. Amiri deh ahmadi, S.R., Parsa, M., Nezami, A., and Ganjeali, A. 2011. The effects of drought stress at different phenological stages on growth indices of chickpea (*Cicer arietinum* L.) in greenhouse conditions. Iranian Journal of Pulses Research 1(2): 69-84. (In Persian with English Summary).
4. Asgharipour, M., and Rafiei, M. 2010. Intercropping of isabgol (*Plantago ovata* L.) and lentil as influenced by drought stress. American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences 9(1): 62-69.
5. Clarke, J.M., and Simpson, G.M. 1978. Changing irradiance in *Phaseolus vulgaris* L. Journal of Experimental Botany 45: 931-936.
6. Erskine W., and Saxena, M.C. 1993. Lentil in south Asia. Proceedings of the Seminar on Lentils in South Asia, 11-15 March 1991, New Delhi, India, ICARDA, Aleppo, Syria, 236 pp.
7. Ghasemi golazani, K., Mohamadi, S., Rahimzadeh khooei, P., and Moghadam, M. 1997. Quantitative connection between density and yield of three chickpea cultivars on different planting dates. Journal of Plant Physiology and Breeding 7: 59-73. (In Persian with English Summary).

8. Goldani, M., and Rezvani moghadam, P. 2007. The effects of different irrigation regimes and planting dates on phenology and growth indices of three chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars in Mashhad. Journal of Agricultural Science & Natural Resources 14: 229-242. (In Persian with English Summary).
9. Gordner, F., Pearce, R., and Mitchell, R.L. 1985. Physiology of Crop Plants. Iowa State University Press, Ames USA. 327 p.
10. Hamdi, A., Erskine, W., and Gates, P. 1992. Adaptation of lentil seed yield to varying moisture supply. Crop Sciences 32: 987-990.
11. IBPGR, ICRISAT and ICARDA. 1985. Lentil Descriptors (*Lens culinaris* Medik.). ICRISAT, Patancheru, India.
12. Jami alahmadi, M. 1998. Effect of planting date and timing of irrigation cutting on growth, yield and quantities characteristics of cotton (Varamin cultivar). MSc. Thesis. University of Mashhad, Iran. (In Persian with English Summary).
13. Karim, M.F., and Fattah, Q.A. 2007. Growth analysis of chickpea cv. Bari Chhola-6 as affected by foliar spray of growth regulators. Bangladesh Journal of Botany 36(2): 105-110.
14. Karimi, M.M., and Siddique, H.M. 1991. Crop growth and relative growth rates of old modern wheat cultivars. Australian Journal of Agricultural Research 42: 783-788.
15. Koocheki, A., and Banayan avval, M. 1997. Pulse Crops. Jahade Daneshgahi of Mashhad Press. 236 p. (In Persian).
16. Nasirzade, A., Hossaini marvast, S.A, and Mazaherian D. 2007. Study of density effect on the growth physiological indices of three seed corn (*Zea mays* L.) cultivars in Marvast of Yazd region. 9th Iranian Crop Science and Breeding Congress, Tehran. p. 153. (In Persian with English Summary).
17. Oweis, T., and Hachum, A. 2006. Water harvesting and supplemental irrigation for improved water productivity of dry farming systems in West Asia and North Africa. Agricultural Water Management 80: 57-73.
18. Oweis, T., Hachum, A., and Pala, M. 2004. Lentil production under supplemental irrigation in a Mediterranean environment. Agricultural Water Management 68: 251-265.
19. Panahyan, M., and Jamaati, SH. 2009. Study of variation trend of growth indices in lentil under drought stress. Australian Journal of Basic and Applied Sciences 3(4): 4314-4326.
20. Pannu, R.K., and Singh, D.P. 1993. Effect of irrigation on water use efficiency, growth and yield. I: mung bean. Field Crops Research 31: 87-100.
21. Parsa, M., and Bagheri, A. 2008. Pulses. Jahade Daneshgahi of Mashhad Press. 522 p. (In Persian).
22. Parsa, M., Ganjeali, A., Rezaeyan zade, A. and Nezami, A. 2010. The effects of supplementary irrigation on yield and growth indices of three chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars in Mashhad region. Iranian Journal of Field Crops Research 9(3): 310-321. (In Persian with English Summary).
23. Prasad, V.V., Pandey, S.R.K., and Saxena, M.C. 1978. Physiological analysis of yield variation in gram (*Cicer arietinum*) genotypes. Indian Journal of Plant Physiology 21: 228-234.
24. Rezaeyan zade, A. 2008. Effects of supplemental irrigation on yield and yield components and growth index of three chickpea cultivars (*Cicer arietinum* L.). MSc. Thesis, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (In Persian with English Summary).
25. Russel, M.A., Wilhelm, W.W., Olson, R.A., and Power, J.F. 1984. Growth analysis based on degree-days. Crop Science 24: 28-32.
26. Samad, M.A., Yasmin, A., and Mondal, M.M.A. 2010. Role of morpho-physiological attributes on yield in lentil. International Journal of Sustainable Crop Production 5(4): 42-45.
27. Shobiri, S., Ghasemi golazani, K., Golchin, A., and Saba, J. 2007. Effect of limit water on growth and yield three chickpea cultivars in Zanjan. Journal of Agricultural Science & Natural Resources 14: 34-47. (In Persian with English Summary).
28. Siddique, K.H.M., Sedgley, R.H., and Marshal, C. 2000. Effects of plant density on growth and harvest index of branches in chickpea (*Cicer arietinum* L.). Field Crop Research 31: 193-203.
29. Silim, S.N., Saxana, M.C., and Singh, K.B. 1993. Adaptation of spring-sown Chickpea to the Mediterranean basin. II. Factors influencing yield under drought. Field Crops Research 34: 137-146.
30. Singh, S.P. 1995. Selection for water stress tolerance in interracial populations of common bean. Crop Science 35: 118-128.

31. Tavakoli, H., Karimi, M., and Moosavi, S.F. 1989. Effect of irrigation regimes on vegetative and reproductive components of corn. Iranian Journal of Agricultural Science 22: 35-46. (In Persian with English Summary).
32. Zang, H., Pala, M., Oweis, Y., and Harris, H. 2000. Water use and water use efficiency of chickpea and lentil in a Mediterranean environment. Australian Journal of Agricultural Research 51: 295-304.

Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 7, No. 1, 2016, p. 105-120

Effects of supplementary irrigation at phenological stages on some growth indices of lentil (*Lens culinaris* Medik.) cultivars in Mashhad region

Hosseini[1], F.S., Nezami[2*], A., Parsa[2], M. & Hajmohammadnia Ghalibaf[3], K.

1. Former MSc Student, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
2. Contributions from Department of Agronomy, Faculty of Agriculture & Research Center for Plant Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
4. Assistant Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

Received: 29 December 2014
Accepted: 10 August 2015

Introduction

Lentil with about 28 percent protein occupies the second after soybean. It is one of the major crops in developing countries as a complement to cereals and is an excellent source of protein and amino acids in the diet. Results of studies shown that for most crops, including lentil, the occurrence of drought stress in some phenology stages cause irreparable damages to yield. Therefore, understanding the critical stages of plant to drought stress in order to provide the required humidity at the time plays an important role in yield performance and efficient use of water and soil resources. Supplementary irrigation at critical stages of water requirements of lentil is one of the most effective methods to achieve sustainable production in arid and semi-arid regions.

Materials & Methods

In order to study the effects of supplementary irrigation on growth characteristics of three lentil cultivars, an experiment was carried out as a strip block based on a randomized complete block design with three replications at Research Field, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad during 2008-9 growing season. Treatments were supplementary irrigated (full irrigation; one irrigation at each stage of branching, flowering, podding, seed setting (with an incidence of phenological stage at least 50 percent of plants a plot), and no irrigation) as main plots, and three lentil cultivars (Robat, & Kalpoosh (the local population in North Khorasan with the registration number of MLC245, and MLC183, respectively), and Gachsaran) as subplots. Lentil disinfected seeds were sown at depth of 2-3 cm and density of 200 plants/m^2 in the second half of March. The size of experimental plots were 5×3.75 m and each plot had 10 rows with spacing of 37.5 cm. All treatments were irrigated once after planting to ensure the emergence of uniform seeds. Next irrigation was followed according to the treatments (IBPGR, 1985). Destructive sampling were performed to calculate the growth indices (such as TDW, LAI, CGR, RGR and NAR) from 10 plants chosen randomly from competing plants regarding the marginal effects from two weeks after plants emergence to final maturity (every 7 days; 10 steps). At the end of the growing season, seed yield was determined from 7.5 m^2. The growth degree days (GDD) was used instead of calendar time to calculate growth indices using equation (1). The growth indices of LAI, CGR, RGR and NAR were calculated using equations (2-5). Growth Indices and linear regression curves were fitted using Excel 2007 software.

$$GDD = \sum \left[\frac{(T_{max} + T_{min})}{2} - T_b \right] \quad \text{(Equation 1)}$$

where GDD is the growth degree days, T_{max} and T_{min} are maximum and minimum daily temperature during test, respectively. T_b is plant base temperature (= 5 °C for lentil).

* **Corresponding author:** nezami@um.ac.ir, Mobile: +98 9153163348

$LAI= (1/G_A)[(L_{A2}+L_{A1})/2]$ (Equation 2) $CGR= (1/G_A)[(W_2–W_1)/(t_2–t_1)]$ (Equation 3) $RGR= (\ln W_2–\ln W_1)/(t_2–t_1)$ (Equation 4) $NAR= [(W_2–W_1)/(t_2–t_1)] [(\ln L_{A2}–\ln L_{A1})/(L_{A2}–L_{A1})]$ (Equation 5) where G_A is ground area (m^2), L_A is leaf area (m^2), W is shoot dry weigh (g) and t is GDD.

Results & Discussions

Results indicated that supplementary irrigation in flowering stage increased total dry weight (TDW), leaf area index (LAI), crop growth rate (CGR) and net assimilation rate (NAR) compared to other supplementary irrigations. Complete irrigation showed the highest growth characteristics during the growing season. Maximum values of total dry weight (507.4 gm^{-2}), leaf area index (3.6), crop growth rate (1.35 gm^{-2} GDD^{-1}), relative growth rate (0.04 gg^{-1} GDD^{-1}), net assimilation rate (1.75 of gm^{-2} GDD^{-1}) and seed yield (1213 kg ha^{-1}) were obtained from irrigation at flowering stage following full irrigation. Amiri deh ahmadi *et al*. (2011) concluded that drought stress at flowering stage, reduced peas dry matter to minimum values. Singh (1995) also reported that water stress in all stages of growth, decreased leaf area index of beans, but stress before flowering had the greatest impact. Other researchers showed that in terms of drought, crop growth rate decreased due to the decline in photosynthesis and respiration rate. Other researchers concluded that stress and lack of moisture reduced plant relative growth rate. The amount of net photosynthesis and aging leaves reduced over time and this reduction was intensified in difficult environmental conditions, especially drought. Robat was the best of three cultivars in growth indices. Moreover, the positive and significant correlation between grain yield and total dry weight (0.93**), leaf area index (0.92**), crop growth rate (0.90**), relative growth rate (0.89*) and net assimilation rate (0.92**), have highlighted the importance of growth indices to predict the economic performance of lentils.

Conclusion

In general, it seems in water scarcity conditions, supplementary irrigation at flowering stage could supply necessary moisture for plants and improve their crop yield.

Key words: Crop growth rate, Leaf area index, Net assimilation rate, Total dry weight