

اثر تراکم بوته بر شاخص‌های رشد و عملکرد اکوتیپ‌های حنا (*Lawsonia inermis* L.) در منطقه شهرداد Effect of plant density on growth indices and yield of henna (*Lawsonia inermis* L.) ecotypes in Shahdad region of Iran

امین پسندی پور^۱ و حسن فرج بخش^۲

چکیده

پسندی پور، ا. و ح. فرج بخش. ۱۳۹۶. اثر تراکم بوته بر شاخص‌های رشد و عملکرد اکوتوپ‌های حنا (*Lawsonia inermis* L.) در منطقه شهرداد. مجله علوم زراعی ایران. ۱۸(۴): ۳۴۶-۳۴۳.

به منظور ارزیابی اثر تراکم بوته بر شاخص‌های رشد، فتوستتر و عملکرد خشک برگ سه اکوتوپ حنا (*Lawsonia inermis* L.) آزمایشی به صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در بخش شهرداد شهرستان کرمان در سال ۱۳۹۴-۹۵ اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل سه اکوتوپ حنا (بم، شهرداد و روبار) به عنوان فاکتور اول و چهار تراکم بوته (۱۰۰، ۱۰۰، ۵۰ و ۳۳ و ۲۵ بوته در مترمربع به ترتیب معادل ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۹ سانتیمتر فاصله کاشت روی ردیف با فواصل ردیف ثابت ۲۰ سانتیمتر) به عنوان فاکتور دوم بودند. صفات گیاهی اندازه‌گیری شده شامل تعدادی از شاخص‌های رشد، فتوستتر خالص، میزان تعرق و هدایت روزنہای بودند. نتایج نشان داد که اکوتوپ‌های حنا مورد ارزیابی در کلیه شاخص‌های اندازه‌گیری شده، به جز شاخص سطح برگ، نسبت سطح برگ و دواام سطح برگ، تقاضوت معنی‌داری با یکدیگر داشتند و بیشترین مقادیر صفات، مربوط به اکوتوپ شهرداد بود. بین تیمارهای تراکم بوته نیز از لحاظ کلیه صفات اندازه‌گیری شده، به جز سطح مخصوص برگ، اختلاف معنی‌داری وجود داشت. اثر متقابل اکوتوپ و تراکم بوته فقط برای صفات دواام سطح برگ، دواام وزن خشک و میزان تعرق معنی‌دار بود. بالاترین عملکرد برگ خشک (عملکرد اقتصادی گیاه) از اکوتوپ‌های شهرداد (۵۰/۸ گرم در متر مربع)، روبار (۴/۶ گرم در متر مربع) و تراکم ۱۰۰ بوته در مترمربع (۷۳۸/۶ گرم در متر مربع) بدست آمد. با توجه به حصول حداقل عملکرد برگ خشک در حداقل تراکم بوته می‌توان نتیجه گرفت که تراکم ۱۰۰ بوته در متر مربع، مناسب‌ترین تراکم کاشت برای گیاه حنا در سال اول کاشت می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: تجزیه و تحلیل رشد، حنا، شاخص سطح برگ، فتوستتر و فواصل ردیف کاشت.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۹/۰۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۱/۲۷ این مقاله مستخرج از رساله دکتری نگارنده اول می‌باشد.

۱- دانشجوی دکتری زراعت و عضو انجمن پژوهشگران جوان دانشگاه شهید باهنر کرمان

۲- دانشیار دانشگاه شهید باهنر کرمان. عضو انجمن علوم زراعت و اصلاح بیانات ایران (مکاتبه کننده) (پست الکترونیک: hfarahbakhsh@yahoo.com)

مقدمه

نوک تیز، لبه‌دار و قهوه‌ای متمایل به سبز تا قهوه‌ای تیره و به صورت متقابل روی شاخه قرار دارند. میوه قهوه‌ای رنگ این گیاه، از نوع کپسول است که در زمان رسیدن به صورت نامنظم باز شده و دارای چهار قسمت است. هر بوته تعداد زیادی بذر تولید می‌کند. بذرها گیاه حنا هرمی، صاف، سخت و به رنگ قهوه‌ای متمایل به خرمایی هستند که اندازه آنها دو میلی‌متر است (Chaudhary *et al.*, 2010). محصول حنا در دو تا سه چین با فاصله دو ماه، قابل برداشت است. اولین چین حنا، مرغوب‌ترین و بهترین چین بوده و در مقایسه با چین‌های دیگر، ارزش اقتصادی بالاتری دارد (Farahbakhsh and Pasandi Pour, 2017). برداشت حنا بسته به نوع اقلیم و تعداد چین، از تیر تا آبان صورت می‌گیرد. برگ‌های حنا حاوی ماده‌ای رنگی به نام لاوسون یا ۲-هیدروکسی ناپتو کوینون، گلیکوزیدهای فناei متعدد، کومارین، گزانتون، کینوئید، گلیکوزید، بتاسیتوسترون و فلاونوئیدهایی نظیر لوتوئین و شش درصد چربی، دو تا سه درصد رزین، هفت تا هشت درصد تانان و ۱/۲ درصد اسانس می‌باشد (Trease and Evans, 1996).

پراکنش کاشت گیاه حنا در استان کرمان محدود به شهرستان‌های بم، شهرداد، کهنوج و روبار جنوب است. سطح زیر کشت حنا در این مناطق بین حداقل ۳ هکتار با متوسط عملکرد ۱/۴ تن در هکتار مربوط به شهرستان شهرداد و حداقل ۷۵۰۰ هکتار با متوسط عملکرد ۶/۵ تن در هکتار مربوط به شهرستان روبار جنوب، متغیر است (Farahbakhsh *et al.*, 2017). بیشترین پراکنش کاشت این گیاه (۹۸/۱۲ درصد) در محدوده ارتفاعی ۴۵۰ تا ۵۱۱ متر و کمترین میزان پراکنش (۱/۸۷ درصد) در ارتفاع ۱۰۸۰ متر از سطح دریا، گزارش شده است (Farahbakhsh *et al.*, 2017). حد پایین گسترش مناطق زیر کشت گیاه حنا از نظر ارتفاع از سطح دریا ۴۵۰ متر (در شهرستان شهرداد) و حد بالای آن ۱۰۸۰ متر (در شهرستان بم) می‌باشد.

تراکم مطلوب بوته تراکمی است که در نتیجه آن کلیه عوامل محیطی به طور کامل مورد استفاده گیاه قرار گرفته و در عین حال رقابت‌های درون بوته‌ای و بین بوته‌ای در حداقل باشند تا حداکثر عملکرد ممکن با کیفیت مطلوب بدست آید (Khajehpour, 2006). تراکم کاشت به عوامل مختلفی مانند خصوصیات گیاه زراعی و طول دوره رشد آن، زمان و روش کاشت، حاصلخیزی خاک، مدیریت مزرعه و روش برداشت بستگی دارد (Nour-Mohamadi *et al.*, 2010). تجزیه و تحلیل کمی رشد شناخت بهتری از نحوه توزیع و انباشت مواد پرورده فتوستتری در اندام‌های مختلف گیاه را فراهم می‌کند. نحوه توزیع و تراکم بوته در مزرعه بر جذب و بهره‌وری گیاه از عوامل محیطی موثر بر رشد اثر داشته و از طریق تغییر در شاخص‌های رشد، عملکرد گیاه در واحد سطح را تعیین می‌کند. سرعت بسته شدن پوشش گیاهی، تجمع ماده خشک، شاخص سطح برگ، دوام سطح برگ، سرعت رشد گیاه، سرعت رشد نسبی و میزان جذب و تحلیل خالص از جمله شاخص‌هایی هستند که غالبا برای ارزیابی توان تولیدی گیاه و بهره‌وری از عوامل محیطی مورد استفاده قرار می‌گیرند (Johnson and Hanson, 2003). اگرچه تحقیقات وسیعی در زمینه تراکم کاشت در بسیاری از گیاهان زراعی انجام شده است، ولی گیاهانی هستند که هیچ گونه تحقیقی در این رابطه روی آنها انجام نشده است.

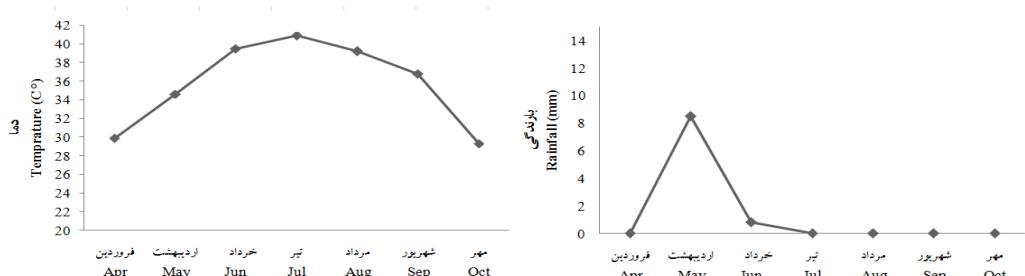
حنا (Lythraceae) از خانواده *Lowsonia inermis* L. از جمله گیاهانی است که علیرغم سطح زیر کشت قابل توجه آن در کشور، متاسفانه چندان مورد توجه محققان و پژوهشگران بخش کشاورزی قرار نگرفته است. این گیاه بومی شمال آفریقا بوده و در کشور هند و کشورهای خاورمیانه از جمله ایران، به صورت تجاری کشت می‌شود. قسمت مورد استفاده این گیاه بوته‌ای چندساله، برگ‌های آن است که کوچک، بیضوی،

خنا و مقایسه اکو-تیپ‌های شهداد، بم و رودبار در شرایط آب و هوایی شهر شهداد بود.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال ۱۳۹۴-۹۵ به صورت مزرعه‌ای در شهر شهداد به صورت فاکتوریل با طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. شهداد یکی از بخش‌های شهرستان کرمان و در ۸۷ کیلومتری شمال شرق شهر کرمان با مختصات ۵۷ درجه و ۴۲ دقیقه طول جغرافیایی و ۳۰ درجه و ۲۵ دقیقه عرض جغرافیایی و در ارتفاع ۴۵۰ متری از سطح دریا واقع شده است. میانگین دراز مدت بارندگی در این شهر ۲۸/۳۵ میلی‌متر، میانگین دراز مدت دمای سالانه هوا ۲۷/۴۷ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۲۱/۸۴ درصد می‌باشد. تغییرات دما و بارندگی این منطقه در طول اجرای این آزمایش در سال ۱۳۹۵ در شکل ۱ نشان داده شده است.

تیمارهای آزمایشی شامل سه اکو-تیپ خنا



شکل ۱- تغییرات دما و بارندگی محل اجرای آزمایش در طول سال ۱۳۹۵ در شهداد

Fig. 1. Temperature and precipitation rates in Shahdad, Iran (2016)

صورت گرفت. زمین محل اجرای آزمایش در سال‌های قبل به صورت آیش بوده و عملیات تهیه زمین دو هفته قبل از کاشت انجام شد. نتایج آزمون خاک در جدول ۱ ارائه شده است.

نشاکاری گیاهچه‌ها در کرت‌هایی با پنج خط کاشت با فاصله ۲۰ سانتی‌متر از یکدیگر در طول یک

میزان بارندگی سالانه مناطق زیر کشت گیاه خنا در استان کرمان در دامنه ۲۸/۳۵ تا ۱۴۳/۵ میلی‌متر متغیر بوده و بیشترین و کمترین میزان بارش به ترتیب در مناطق کهنه‌ج و شهداد ثبت شده است. برای مناطق یاد شده متوسط رطوبت نسبی ۳۳/۶ درصد و متوسط دمای سالانه ۲۶/۵ درجه سانتی‌گراد گزارش شده است (Farahbakhsh et al., 2017).

امروزه کشت و کار گیاه دارویی-صنعتی خنا به شیوه کاملاً سنتی با سطح بالایی از صرف منابع انجام می‌شود، از این رو جهت بهبود این شرایط لزوم انجام تحقیقات گستره در زمینه‌های مختلف بوم شناختی این گیاه احساس می‌شود. تقریباً هیچ گونه اطلاعاتی در زمینه مقایسه عملکرد اکو-تیپ‌های خنا در تراکم‌های مختلف کاشت وجود ندارد و نه تنها تراکم مطلوب کاشت مشخص نیست، بلکه اثر تغییر تراکم بر شاخص‌های رشد و میزان فتوسنتز آن نیز بررسی نشده است. هدف از اجرای این تحقیق، تجزیه و تحلیل کمی اثر تراکم کاشت بر شاخص‌های رشد و فتوسنتز گیاه

(بم، شهداد و رودبار) به عنوان فاکتور اول و چهار تراکم بوته (۱۰۰، ۱۰۰، ۵۰ و ۳۳ بوته در مترمربع به ترتیب معادل ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۹ سانتی‌متر فاصله کاشت روی ردیف) به عنوان فاکتور دوم بودند. به دلیل ریز بودن بذور و مشکلات جوانه زنی اقدام به تهیه گیاهچه‌های خنا در خزانه شد. انتقال گیاهچه‌ها به زمین اصلی در اواسط خرداد و در مرحله ۸ تا ۱۰ برگی

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه محل اجرای آزمایش

Table 1. Physicochemical properties of soil in experimental site

Soil Properties	خواص خاک	عمق خاک Soil depth (0-30 cm)	عمق خاک Soil depth (30-60 cm)
Texture	بافت خاک	Sandy-Loam	Loam
Nitrogen (%)	نیتروژن (درصد)	0.03	0.03
Phosphorus (mg.kg ⁻¹)	فسفور	13	14
Potassium (mg.kg ⁻¹)	پتاسیم	225	238
Organic matter (%)	ماده آلی	0.05	0.05
pH	اسیدیته	7.92	8.05
EC (dS.m ⁻¹)	هدایت الکتریکی	4.12	4.24

ساعت، عملکرد برگ خشک و عملکرد ماده خشک کل محاسبه شدند. شاخص‌های رشد شامل شاخص سطح برگ (LAI)، سرعت رشد گیاه (CGR)، سرعت رشد نسبی (RGR)، نسبت سطح برگ (LAR)، سطح مخصوص برگ (SLA)، وزن مخصوص برگ (SLW)، دوام سطح برگ (LAD) و دوام وزن خشک (BMD) محاسبه شدند. نمونه‌برداری از بوته‌ها در دو مرحله (اوایل و اواسط شهریور) انجام و جهت محاسبه شاخص‌های رشد از روابط زیر استفاده شد

: (Koocheki and Sarmadnia, 2006)

$$CGR = \frac{1}{GA} \times \frac{W_2 - W_1}{T_2 - T_1} \quad (رابطه ۴)$$

$$RGR = \frac{\ln W_2 - \ln W_1}{T_2 - T_1} \quad (رابطه ۵)$$

$$LAE = \frac{1}{G} \times \frac{LA_2 + LA_1}{2} \quad (رابطه ۶)$$

$$LAR = \frac{\frac{LA_2}{W_2} + \frac{LA_1}{W_1}}{2} \quad (رابطه ۷)$$

$$SLA = \frac{LA_2}{LW_2} + \frac{LA_1}{LW_1} \quad (رابطه ۸)$$

$$SLW = \frac{LW_2^2}{LA_2} + \frac{LW_1^2}{LA_1} \quad (رابطه ۹)$$

$$LAD = \frac{LA_2 + LA_1}{2} \times (T_2 - T_1) \quad (رابطه ۱۰)$$

$$BMD = \frac{W_2 + W_1}{2} \times (T_2 - T_1) \quad (رابطه ۱۱)$$

LA: سطح برگ، GA: سطح زمین، W: وزن خشک کل، T: زمان، ln: لگاریتم بر پایه طبیعی و LW: وزن خشک برگ می‌باشد. داده‌ها با استفاده از نرم افزارهای SAS v. 9.1 و MSTATC تجزیه و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام و نمودارها با استفاده از نرم افزار Excel رسم شدند.

متر انجام شد. در طول دوره رشد، علف‌های هرز کرت‌ها چندین بار با دست و چین شدند. آبیاری به صورت غرقابی و هر هفت روز یکبار انجام شد. میزان فتوستز خالص، هدایت روزنایی و تعرق در اوایل دوره گلدهی با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری فتوستز (CI-340, CID Bio- Science, USA) شدند. برای این کار پنج بوته از ردیف وسط هر کرت آزمایشی انتخاب و اندازه‌گیری‌ها بین ساعت ۱۱ تا ۱۴ روی برگ‌های توسعه یافته انتهایی گیاه انجام شد (رابطه‌های ۱ و ۲ و ۳).

$$P_n = -W \times (C_o - C_i) - 2005.39 \frac{V \times P}{T_a \times A} (C_o - C_i) \quad (رابطه ۱)$$

$$E = \frac{e_o - e_i}{p - e_o} \times W \times 10^3 \quad (رابطه ۲)$$

$$C_{leaf} = \frac{W}{\frac{e_{leaf} - e_o}{e_o - e_i} \times \frac{p - e_o}{p} - R_b W} \times 1000 \quad (رابطه ۳)$$

P_n: سرعت فتوستز خالص (میکرومول بر مترمربع بر ثانیه)، W: سرعت جریان ماده در برگ (مول بر مترمربع بر ثانیه)، C_o و C_i: به ترتیب غلظت CO₂ خارجی و داخلی برگ (میکرومول بر مول)، V: حجم محفظه برگ (لیتر)، P: فشار اتمسفر (بار)، T_a: دمای هوا (درجه کلوین)، A: سطح برگ (سانتی مترمربع)، E: سرعت تعرق (میلی مول بر مترمربع بر ثانیه)، e_i: e_o و e_{leaf}: فشار بخار آب خارجی و داخلی برگ (بار)، e_b: فشار بخار آب استاندارد در دمای برگ (بار) و مقاومت لایه مرزی برگ می‌باشد.

در اواسط آبان با برداشت گیاهان از ارتفاع پنج سانتی‌متری سطح خاک و خشکاندن آنها در آون تهویه‌دار در دمای ۷۵ درجه سانتی گراد به مدت ۴۸

"اثر تراکم بوته بر شاخص‌های رشد و عملکرد..."

جدول ۲- مقایسه میانگین شاخص‌های رشد، فتوسنتز و عملکرد اکو‌تیپ‌های حنا در منطقه شهرداد

Fig. 2. Mean comparison of growth indices, photosynthesis and yield of henna ecotypes in Shahdad region, Iran

اکو‌تیپ‌های حنا Henna ecotypes	سرعت رشد گیاه CGR (g.m ⁻² .day ⁻¹)	سرعت رشد نسبی RGR (g.g ⁻¹ .day ⁻¹)	سرعت رشد نسبی SLA (cm ² .g ⁻¹)	سطح مخصوص برگ SLW (g.cm ⁻²)	وزن مخصوص برگ Net photosynthesis rate (μmol.m ⁻² .s ⁻¹)	هدایت روزنایی Stomatal conductance (mmol.m ⁻² .s ⁻¹)	عملکرد ماده خشک کل Total dry matter yield (g.m ⁻²)	عملکرد برگ خشک Leaf dry matter yield (g.m ⁻²)
شهرداد Shahdad	9.98a	0.016a	85.84b	0.012a	25.63a	233.1a	970.5a	508.2a
رودبار Roudbar	10.04a	0.016a	87.89b	0.011b	26.03a	229.6a	947.3a	506.4a
Bam	9.23b	0.015b	91.65a	0.011b	23.03b	213.1b	889.8b	470.8b

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using LSD test

جدول ۳- مقایسه میانگین شاخص‌های رشد، فتوسنتز و عملکرد اکو‌تیپ‌های حنا در تیمارهای تراکم بوته در منطقه شهرداد

Fig. 3. Mean comparison of growth indices, photosynthesis and yield of henna ecotypes in plant density treatments in Shahdad region, Iran

تراکم بوته Plant density (plant.m ⁻²)	سرعت رشد گیاه CGR (g.m ⁻² .day ⁻¹)	سرعت رشد نسبی RGR (g.g ⁻¹ .day ⁻¹)	شاخص سطح برگ LAI	نسبت سطح برگ LAR (cm ² .g ⁻¹)	وزن مخصوص برگ SLW (g.cm ⁻²)	سرعت فتوسنتز خالص Net photosynthetic rate (μmol.m ⁻² .s ⁻¹)	هدایت روزنایی Stomatal conductance (mmol.m ⁻² .s ⁻¹)	عملکرد ماده خشک کل Total dry mass yield (g.m ⁻²)	عملکرد برگ خشک Leaf dry mass yield (g.m ⁻²)
100	13.97a	0.015b	4.43a	47.43a	0.0114b	22.40b	207b	1447a	738.6a
50	10.83b	0.015b	3.15b	43.67b	0.0120a	25.98a	230.6a	1055b	579.1b
33	8.16c	0.017a	2.17c	45.04b	0.0114b	25.59a	229a	708c	378.2c
25	6.04d	0.016a	1.63d	45.06b	0.0114b	25.62a	234.4a	532d	284.6d

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using LSD test

بم، از سرعت رشد نسبی بیشتری برخوردار بودند (جدول ۲). گزارش شده است که بین ارقام یک گونه گیاهی از نظر سرعت نسبی رشد تفاوت زیادی وجود دارد (Poorter, 1989) که این تفاوت می‌تواند ناشی از عوامل متعددی باشد که در تغییر سرعت رشد نسبی گیاه موثر هستند. تیمارهای تراکم بوته نیز اثر معنی داری بر سرعت رشد نسبی گیاه داشتند. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تراکم‌های ۳۳ و ۲۵ بوته در مترمربع (به ترتیب فواصل روی ردیف ۱۵ و ۲۰ سانتی‌متر) نسبت به تراکم‌های ۱۰۰ و ۵۰ بوته در مترمربع (به ترتیب فواصل روی ردیف ۵ و ۱۰ سانتی‌متر) از سرعت رشد نسبی بیشتری برخوردار بودند (جدول ۳). مطابق با این نتایج گزارش شده است که با افزایش تراکم بوته، میانگین سرعت رشد نسبی در گیاه باقلای کاهش یافته و بیشترین مقدار آن در تراکم پایین تر بدست آمد (Sarmal *et al.*, 1992).

شاخص سطح برگ نشان دهنده نسبت سطح برگ‌ها به سطح زمین اشغال شده توسط گیاه است، در حالی که نسبت سطح برگ نشان دهنده نسبت بین سطح پهنه‌ک یا بافت‌های فتوسنتز کننده به کل بافت‌های تنفس کننده یا وزن گیاه است (Koocheki and Sarmadnia, 2006). نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تنها اثر تراکم بوته برای این دو صفت معنی‌دار بود. بیشترین شاخص سطح برگ (۴/۴۳) و نسبت سطح برگ (۴۷/۴۳) سانتی‌مترمربع بر گرم (از تراکم ۱۰۰ بوته در مترمربع (فاصله روی ردیف ۵ سانتی‌متر) حاصل شد که نسبت به سایر تراکم‌ها، تفاوت معنی‌داری داشتند (جدول ۳). کمترین شاخص سطح برگ (۱/۶۳) از تراکم ۲۵ بوته در مترمربع (۲۰ سانتی‌متر روی ردیف) بدست آمد. دلیل بالاتر بودن شاخص سطح برگ در فاصله کاشت روی ردیف ۵ سانتی‌متر می‌تواند بیشتر بودن تعداد گیاه در واحد سطح (۱۰۰ بوته در مترمربع) باشد. این نتایج با یافته‌های سایر محققان مطابقت داشت.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اکوتیپ و تراکم بوته در سطح احتمال یک درصد برای سرعت رشد گیاه معنی‌دار بودند. بیشترین سرعت رشد گیاه مربوط به اکوتیپ روبار بود که تفاوت معنی‌داری با اکوتیپ شهداد نداشت، درحالی که تفاوت بین اکوتیپ بهم که دارای کمترین سرعت رشد گیاه بود، با اکوتیپ‌های روبار و شهداد معنی‌دار بود (جدول ۲). افزایش تراکم بوته منجر به افزایش معنی‌دار سرعت رشد گیاه گردید و بیشترین و کمترین مقدار آن (به ترتیب ۱۳/۹۷ و ۶/۰۴ گرم بر مترمربع در روز) مربوط به تراکم‌های ۱۰۰ و ۲۵ بوته در مترمربع بود (جدول ۳). مطابق با نتایج این تحقیق گزارش شده است که با افزایش تراکم در گیاه جو (Moradkhajati and Shokuhfar, 2016) و آفتابگردان (Ghalandari *et al.*, 2009)، سرعت رشد گیاه نیز افزایش یافت. افزایش سرعت رشد گیاه در فواصل کاشت کمتر را می‌توان به دلیل افزایش تعداد بوته‌ها در واحد سطح و در نتیجه افزایش شاخص سطح برگ دانست که در این تحقیق نیز با کاهش فواصل کاشت (افزایش تراکم بوته)، شاخص سطح برگ نیز افزایش یافت (جدول ۳).

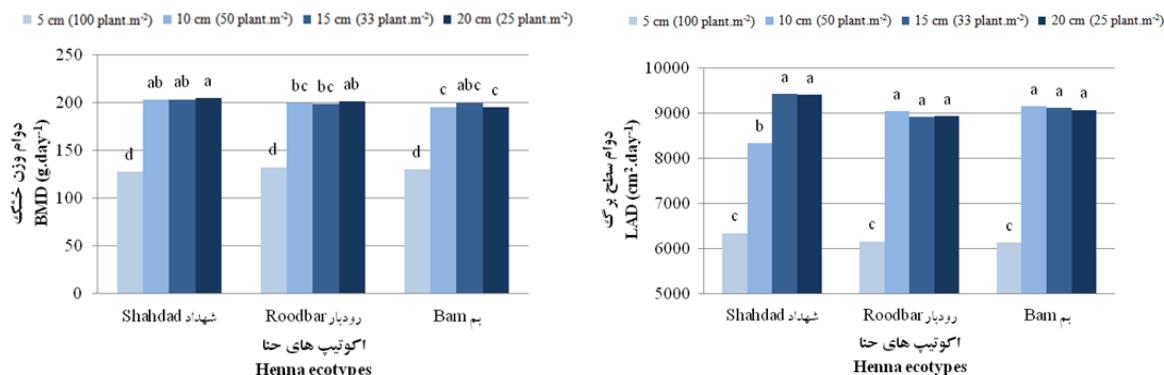
تولید و تجمع ماده خشک را می‌توان با استفاده از دو شاخص سرعت رشد گیاه و سرعت رشد نسبی که دو شاخص مهم در تجزیه و تحلیل رشد محسوب می‌شوند، مورد ارزیابی قرار داد. سرعت رشد نسبی نشان دهنده تجمع ماده خشک در واحد زمان و در واحد وزن خشک اولیه گیاه است و در طول فصل زراعی معمولاً سیر نزولی دارد (Koocheki and Sarmadnia, 2006). نتایج نشان داد که بین اکوتیپ‌های حنا از نظر سرعت رشد نسبی تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود داشت. اکوتیپ‌های شهداد و روبار با میانگین ۰/۰۱۶ گرم در گرم در روز به طور معنی‌داری در مقایسه با اکوتیپ

مطابق با نتایج این تحقیق، در گیاه تاج خروس افزایش فاصله ردیف کاشت از ۴ به ۱۶ سانتی‌متر، مقدار SLW افزایش یافته و با افزایش بیشتر فاصله ردیف، از مقدار آن کاسته شد (Singh and Whitehead, 1993).

تراکم بوته (فاصله روی ردیف) و اثر متقابل اکوتیپ در فاصله روی ردیف، اثر معنی‌داری بر دوام سطح برگ داشتند. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کمترین دوام سطح برگ در اکوتیپ‌های حنا مربوط به تراکم ۱۰۰ بوته در مترمربع (فاصله کاشت پنج سانتی‌متر) بود و کاهش تراکم (افزایش فاصله کاشت) باعث افزایش معنی‌دار این شاخص گردید (شکل ۲). مطابق با نتایج این تحقیق، افزایش فاصله ردیف کاشت در کلزا نیز باعث افزایش مقدار دوام سطح برگ به دلیل فضای بیشتر بین بوته‌ها گردید (Morrison *et al.*, 1990). در مقابل گزارش شده است که با افزایش تراکم، اندازه بوته‌ها کوچک‌تر شده و تعداد برگ و شاخص سطح برگ در هر بوته کاهش می‌یابد، اما افزایش تراکم بوته در واحد سطح باعث افزایش موارد یاد شده در واحد سطح شده و افزایش دوام سطح برگ را به دنبال دارد (Pourhadian and Khajepour, 2008). اثر متقابل اکوتیپ در تراکم بوته (فاصله روی ردیف) بر دوام وزن خشک معنی‌دار بود. صکمترین مقدار دوام وزن خشک در اکوتیپ‌های حنا به طور مشترک از فاصله روی ردیف پنج سانتی‌متر (۱۰۰ بوته در مترمربع) بدست آمد و بین سایر فواصل روی ردیف تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۲).

اندازه گیری فتوستتر به منظور مقایسه میزان بهره‌وری تجمع ماده خشک در سطح برگ، گیاه و پوشش گیاهی و ارزیابی پاسخ گیاه به تنش‌های محیطی و متغیرهایی از قبیل نور، دما و مواد غذایی خاک، انجام می‌گیرد. نتایج نشان داد که میزان فتوستتر خالص تحت تاثیر هر دو نوع تیمارهای آزمایشی قرار گرفت. بیشترین میزان فتوستتر خالص (۲۶/۰۳ میکرومول بر

Armin *et al.*, 2008; Moradkhajati and Shokuhfar, 2016; Bannayan *et al.*, 2010; Kuhlase *et al.*, 2009 ضخامت برگ را می‌توان بر اساس دو شاخص سطح مخصوص برگ (SLA) و وزن مخصوص برگ (SLW) ارزیابی کرد. این دو شاخص عکس یکدیگر هستند، یعنی برگ‌های با SLA بالا و یا SLW پایین و یا نازک‌تر بوده، در حالی که برگ‌های با SLA پایین و یا SLW بالا، ضخیم‌تر هستند (Amanullah, 2015). سطح مخصوص برگ در اکثر گونه‌ها غالب رابطه مثبتی با پتانسیل سرعت رشد نسبی دارد و بنابراین در تجزیه و تحلیل رشد مورد استفاده قرار می‌گیرد (Vile *et al.*, 2005). نتایج نشان داد که اکوتیپ‌های حنا اثر معنی‌داری بر شاخص SLA داشتند. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که اکوتیپ بم SLA بالاتری نسبت به دو اکوتیپ شهداد و روبار داشت (جدول ۲). هر دو تیمار اکوتیپ و تراکم بوته اثر معنی‌داری بر شاخص SLW داشتند. بیشترین مقدار SLW مربوط به اکوتیپ شهداد بود و بین دو اکوتیپ دیگر از این نظر اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کاهش تراکم از ۱۰۰ به ۵۰ بوته در مترمربع (افزایش فاصله کاشت از پنج به ۱۰ سانتی‌متر) باعث افزایش SLW و کاهش بیشتر تراکم (افزایش بیشتر فاصله کاشت)، مقدار آن را کاهش داد (جدول ۳). ضخامت برگ نقش مهمی در عملکرد برگ و گیاه ایفا می‌کند و با کارکرد گونه‌ها در دستیابی به منابع محیطی و استفاده از آنها در ارتباط است (Dong *et al.*, 2011). به نظر می‌رسد که بالا بودن میانگین دمای دوره رشد و میانگین دمای سالیانه در منطقه شهداد نسبت به منطقه بم و روبار جنوب تاثیر به سزایی در انتخاب راهکار کاهش سطح مخصوص برگ و افزایش وزن مخصوص برگ در اکوتیپ شهداد داشته است، در حالی که اکوتیپ بم راهکار عکس اکوتیپ شهداد را دارد، زیرا منطقه بم دارای شرایط دمایی خنک‌تری نسبت به منطقه شهداد است.



شکل ۲- اثر متقابل اکوئیپ و تراکم بوته (فاصله روی ردیف کاشت) بر دوام سطح برگ و دوام وزن خشک اکوئیپ‌های حنا در منطقه شهداد (ستون‌های حروف مشترک، تفاوت معنی‌داری ندارند)

Fig. 2. Interaction effect of ecotype and plant density (intra row spacing) on LAD and BMD of henna ecotypes in Shahdad region, Iran (Columns with similar letters are not significantly different)

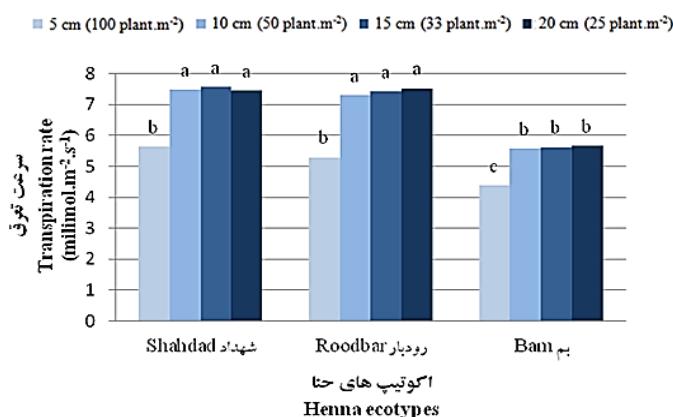
از نظر انتقال آب به جایگاه تعرق می‌باشد. همچنین شدت تابش خورشید، دما، رطوبت نسبی و باد از سایر عوامل محیطی تاثیر گذار بر تعرق می‌باشند (Koocheki and Sarmadnia, 2006). نتایج نشان داد که اثرات ساده و متقابل مورد بررسی، اثر معنی‌داری بر سرعت تعرق گیاه حنا داشتند. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در اثر متقابل اکوئیپ در تراکم بوته کمترین میزان تعرق مربوط به اکوئیپ بم و در بین تیمارهای تراکم بوته، مربوط به تیمار ۱۰۰ بوته در مترمربع (۵ سانتی متر روی ردیف) بود (شکل ۳). بین اکوئیپ‌های حنا در تیمارهای تراکم ۵۰، ۳۳ و ۲۵ بوته در مترمربع (فاصله ۱۰، ۱۵ و ۲۰ سانتی متر) اختلاف معنی‌داری از لحاظ میزان تعرق وجود نداشت. به نظر می‌رسد که در تراکم ۱۰۰ بوته در مترمربع (بیشترین تراکم) به علت افزایش رطوبت نسبی پوشش گیاهی و کاهش رطوبت خاک به علت تراکم بالا، میزان تعرق کاهش یافته است. با توجه به اینکه تعرق روزنه‌ای نقش اصلی را در تنظیم دمای برگ دارد، با کاهش تعرق، دمای برگ افزایش یافته و منجر به کاهش میزان فتوستتر گیاه می‌شود. روزنه‌ها نقش مهمی را در کنترل تبادلات گازی،

متрمربع بر ثانیه) مربوط به اکوئیپ رودبار بود که با اکوئیپ شهداد (۲۵/۶۳ میکرومول بر متارمربع بر ثانیه) تفاوت معنی‌داری نداشت و کمترین مقدار آن (۲۳/۰۳ میکرومول بر متارمربع بر ثانیه) با اختلاف معنی‌دار، برای اکوئیپ بم ثبت شد (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که میزان فتوستتر خالص در تیمار ۱۰۰ بوته در متارمربع (۵ سانتی متر روی ردیف)، ۲۲/۴۰ میکرومول بر متارمربع بر ثانیه بوده و کاهش تراکم به ۵۰ بوته در متارمربع (۱۰ سانتی متر روی ردیف)، به طور معنی‌داری افزایش یافت و با کاهش بیشتر تراکم بوته (افزایش فاصله روی ردیف) روند ثابتی داشت (جدول ۳). در فاصله روی ردیف پنج سانتی متر پایین بودن فتوستتر خالص در تراکم ۱۰۰ بوته در متارمربع می‌تواند به دلیل بالا بودن رقابت بین بوته‌ها برای جذب نور و مواد غذایی، افزایش سایه اندازی و افزایش تنفس و کاهش فتوستتر خالص گیاه باشد. کاهش در میزان فتوستتر خالص همراه با افزایش تراکم در گیاه گلنگ (Sadeghi et al., 2015) و کلزا (Tadayon, 2011) نیز گزارش شده است.

شدت تعرق تابع اختلاف فشار بخار آب، مقاومت در برابر جریان آب و توانایی گیاه و خاک

اثر تراکم بوته این صفت نشان داد که بین تراکم‌های ۲۰، ۳۳ و ۲۵ بوته در مترمربع (فواصل ۱۰، ۱۵ و ۲۰ سانتی‌متر) اختلاف معنی‌داری وجود نداشت، ولی تراکم ۱۰۰ بوته در مترمربع (فاصله کاشت پنج سانتی‌متر) با اختلاف معنی‌داری، کمترین مقدار هدایت روزندهای (۲۰۷ میلی‌مول بر مترمربع بر ثانیه) را به خود اختصاص داد (جدول ۳). رقبابت بر سر جذب آب در تراکم بالا، گیاهان را در معرض کمبود آب قرار داده و گیاهان از طریق کاهش هدایت روزندهای، سعی در حفظ رطوبت خود دارند. کاهش در فتوسنتز و هدایت روزندهای در شرایط کمبود رطوبت خاک در ارقام گندم دوروم گزارش شده است (Koc *et al.*, 2003).

تعرق و فتوسنتز گیاه ایفا می‌کنند. اندازه روزندها معمولاً در پاسخ به عوامل محیطی و درونی تغییر کرده و این باعث می‌شود مقدار تعرق و هدایت روزندهای تغییر یابد (Condon *et al.*, 2004). میزان هدایت روزندهای در آزمایش حاضر تحت تاثیر اکوتیپ و تراکم بوته قرار گرفت و اثر متقابل تیمارها روی آن اثر معنی‌داری نداشت. بیشترین میزان هدایت روزندهای مربوط به اکوتیپ شهداد (۲۳۳/۱ میلی‌مول بر مترمربع بر ثانیه) بود که تفاوت معنی‌داری با اکوتیپ بم (۲۱۳/۱ میلی‌مول بر مترمربع بر ثانیه) داشت (جدول ۲). تعداد روزنده در واحد سطح برگ در بین گونه‌های گیاهی و ارقام متفاوت است (Misirli *et al.*, 1998).



شکل ۳- اثر متقابل اکوتیپ و تراکم بوته (فاصله روى ردیف کاشت) بر سرعت تعرق گیاه حنا در منطقه شهداد (ستون‌های حروف مشترک، تفاوت معنی‌داری ندارند)

Fig. 3. Interaction effect of ecotype and plant density (intra row spacing) on evaporation rate of henna ecotypes in Shahdad region, Iran (Columns with similar letters are not significantly different)

و ۹۷۰/۵ گرم در مترمربع) بود که اختلاف معنی‌داری با اکوتیپ بم (به ترتیب ۴۷۰/۸ و ۸۸۹/۸ گرم در مترمربع) داشت (جدول ۲). در این تحقیق کاهش تراکم بوته (افزایش فاصله روى ردیف کاشت) باعث کاهش معنی‌دار عملکرد برگ خشک و عملکرد ماده خشک کل گردید. بیشترین و کمترین مقدار این دو صفت به ترتیب مربوط به تراکم ۱۰۰ و ۲۵ بوته در مترمربع (فواصل کاشت پنج و ۲۰ سانتی‌متر) بدست

گزارش شده است که افزایش بهرهوری از عوامل محیطی همراه با افزایش تعداد بوته در واحد سطح، باعث افزایش وزن خشک بوته در واحد سطح می‌شود (Lopez-Bellido *et al.*, 2000). نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اکوتیپ و تراکم بوته برای عملکرد برگ خشک و عملکرد ماده خشک کل معنی‌دار بودند. بیشترین عملکرد برگ خشک و عملکرد ماده خشک کل مربوط به اکوتیپ شهداد (به ترتیب ۵۰۸/۲

عملکرد برگ خشک برگ (عملکرد اقتصادی گیاه) از اکوتیپ‌های شهداد و روDBار بدست آمد که از نظر شرایط آب و هوایی خاستگاه آن، شباهت بیشتری نسبت به اکوتوپ بم با یکدیگر دارند. همچنین تراکم ۱۰۰ بوته در مترمربع (فاصله روى ردیف کاشت پنج سانتی‌متر)، بالاترین میزان عملکرد را به خود اختصاص داد که این فاصله کاشت برای گیاه‌ها در سال اول کاشت از نظر اقتصادی توجیه‌پذیر است، ولی برای سال‌های بعد و با توجه به رشد پیکره گیاه، اجرای عملیات تنک ضروری به نظر می‌رسد. با این وجود، نیاز به انجام مطالعات بیشتر به خصوص در مزارع حنا با سابقه کشت بیش از دو سال، برای دستیابی به اطلاعات تکمیلی در این زمینه وجود دارد.

آمد (جدول ۳). با افزایش تراکم بوته، رقابت بین بوته‌ها به دلیل کاهش فضای قابل دسترس گیاه تشدید شده و باعث کاهش وزن خشک هر بوته می‌شود، اما افزایش تعداد بوته در مترمربع باعث جبران این کاهش شده و افزایش ماده خشک در واحد سطح را به دنبال دارد. کاهش تجمع ماده خشک در اثر افزایش فاصله ردیف کاشت در کلرا (Morrison *et al.*, 1990) و سویا (Board *et al.*, 1990) گزارش شده است. در تحقیق دیگری افزایش عملکرد خشک شبد رزیزمنی با افزایش تراکم بوته در هکتار گزارش شد (Dorry and Heidari Sharifabad, 2004).

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که به طور کلی بالاترین

منابع مورد استفاده

- Amanullah.** 2015. Specific leaf area and specific leaf weight in small grain crops wheat, rye, barley and oats differ at various growth stages and NPK source. *J. Plant Nutr.* 38(11): 1694-1708.
- Armin, M., G. Noormohammadi, E. Zand, M. Baghestani and F. Darvish.** 2008. Study on some ecophysiological difference in more and less competitive winter wheat cultivars on competition with wild oat at different wheat densities. *J. Pajouhesh Sazanegi.* 80: 119-127. (In Persian with English abstract).
- Bannayan, M., M. Rahmati, A. Ghani and H. Ghavidel.** 2010. Quantitative analysis of growth and production of two local and commercial cultivars of radish (*Raphanus sativus L.*) in response to different levels of planting density. *Iran. J. Field Crop Res.* 8(6): 1002-1011. (In Persian with English abstract).
- Board, J. E., B. G. Harville and A. M. Saxton.** 1990. Branch dry weight in relation to yield increases in narrow- row soybean. *Agron. J.* 82: 540-544.
- Chaudhary, G., S. Goyal and P. Poonia.** 2010. *Lawsonia inermis* Linnaeus: A Phytopharmacological Review. *Int. J. Pharm. Sci. Drug Res.* 2: 91-98.
- Condon, A. G., R. A. Richards, G. J. Rebetzke and G. D. Farquhar.** 2004. Breeding for high water use efficiency. *Exp. Bot.* 55: 2447-2460.
- Dong, X., P. Nyren, B. Patton, B. Kreft and A. Nyren.** 2011. How does cattle grazing affect the growth of grass leaves? *Appl. Ecol. Environ. Res.* 9: 311-331.
- Dorry, M. A. and H. Heidari Sharifabad.** 2004. Density effect on growth parameters and dry matter yield in subterranean clover (*Trifolium subterraneum*). *Iran. J. Range Desert Res.* 11(1): 45-115. (In Persian with English abstract).

English abstract).

- Farahbakhsh, H. and A. Pasandi Pour.** 2017. Physiological response of henna (*Lawsonia inermis* L.), medicinal-industrial plant, to application of salicylic acid under drought stress. *J. Plant Proc. Func.* 19(6): 15-28. (In Persian with English abstract).
- Farahbakhsh, H., A. Pasandi Pour and R. Moradi.** 2017. Assessing effect of climatic-management factors on yield and growth characteristics of henna (*Lawsonia inermis* L.) as a medicinal-industrial plant in Kerman province. *Agroecol.* (In Press). (In Persian with English abstract).
- Ghalandari, R., F. Rhimzadeh Khoei, M. Tourchi and B. Behtari.** 2009. Effect of plant density on growth and yield of three sunflower hybrids (*Helianthus annuus* L.) as a second crop. *J. Sustain. Agric. Prod. Sci.* 2(20): 27-40. (In Persian with English abstract).
- Johnson, B. L. and B. K. Hanson.** 2003. Row-spacing interactions on spring canola performance in the Northern Great Plains. *Agron. J.* 95: 703-708.
- Khajehpour, M. R.** 2006. Principles and Fundamentals of Crop Production. Jahade-e-Daneshgahi Isfahan Press (In Persian).
- Koc, M., C. Barutcular and I. Genc.** 2003. Photosynthesis and productivity of old and modern durum wheats in Mediterranean environment. *Crop Sci.* 43: 2089-2098.
- Koocheki, A. and G. Sarmadnia.** 2006. Physiology of Crop Plants. Jahade-e-Daneshgahi Mashhad Press (In Persian).
- Kuhlase, L. M., E. M. Ossom and R. L. Rhykerd.** 2009. Effects of plant populations on morphological and physiological parameters of intercropped sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) and groundnut (*Arachis hypogaea* L.). *Acad. J. Plant Sci.* 2(1): 16-24.
- Lopez-Bellido, L., M. Fuentes and J. E. Castillo.** 2000. Growth and yield of white lupin under Mediterranean conditions: Effect of plant density. *Agron. J.* 92: 200-205.
- Misirli, A., F. Topuz and N. Zeybekoglu.** 1998. Research on variation of female and male figs in terms of leaf properties and stomatal distribution. *Acta Hort.* 480:129-132.
- Moradhajati, P. and A. Shokuhfar.** 2016. Growth analysis, yield and yield components of three barley cultivars (*Hordeum vulgare* L.) under different seeding rates. *J. Crop Ecophysiol.* 10(2): 461-476. (In Persian with English abstract).
- Morrison, M. J., P. B. E. McVetty and R. Scar.** 1990. Effect of altering plant density on growing characteristics of summer rape. *Can. J. Plant Sci.* 70: 139-149.
- Nour-Mohamadi, G., A. Siadat and A. Kashani.** 2010. Agronomy, Vol. 1. Cereal Crops. Shahid Chamran University Press (In Persian).
- Poorter, H.** 1989. Interspecific Variation in Relative Growth Rate: On Ecological Causes and Physiological Consequences. p. 45-68. In Lambers, et al., (Eds.) Causes and Consequences of Variation in Growth Rate

and Productivity of Higher Plants. SPB Academic Publishing.

Pourhadian, H. and M. R. Khajepour. 2008. Effects of row spacing and planting density on growth indices and yield of safflower, local variety of Isfahan Koseh in summer planting. *J. Sci. Technol. Agric. Natur. Resour.* 11(42): 17-31. (In Persian with English abstract).

Sadeghi, H., H. Heidari Sharifabad, A. Hamidi, Gh. Noormohammadi and H. Madani. 2015. Effect of planting date and plant density on net photosynthesis, stomatal conductance, leaf chlorophyll index and grain yield of soybean in Moghan and Karaj areas. *J. Plant Ecophysiol.* 7(23): 83-94. (In Persian with English abstract).

Sarmal, P. C., S. K. Katyal and O. P. S. Verma. 1992. Growth and yield of sunflower (*Helianthus annuus*) varieties in relation to fertility level and plant population. *Indian J. Agron.* 37: 285-289.

Singh, B. P., and W. F. Whitehead. 1993. Population density and soil pH effects on vegetable amaranth production. p. 562-564. In: J. Janick and J. E. Simon (Eds.), *New Crops*. Wiley, New York.

Tadayon, M. R. 2011. Effect of plant density and K, Zn elements on morpho-physiological and yield of safflower cultivars. *Agron. J.* 91: 88-95. (In Persian with English abstract).

Trease, G. E. and W. C. Evans. 1996. Treas and Evans Pharmacognosy (14th Ed.), Saunders, London, UK.

Vile, D., R. Garnier and B. Shipley. 2005. Specific leaf area and dry matter content estimate thickness in laminar leaves. *Ann. Bot.* 96: 1129–1136.

Effect of plant density on growth indices and yield of henna (*Lawsonia inermis* L.) ecotypes in Shahdad region of Iran

Pasandi Pour, A¹. and H. Farahbakhsh²

ABSTRACT

Pasandi Pour, A. and H. Farahbakhsh. 2017. Effect of plant density on growth indices and yield of henna (*Lawsonia inermis* L.) ecotypes in Shahdad region of Iran. **Iranian Journal of Crop Sciences.** 18(4): 334-346. (In Persian).

To investigate the effect of plant density on growth indices and photosynthesis of three henna (*Lawsonia inermis* L.) ecotypes a factorial experiment using randomized complete block design with three replications was carried out in the Shahdad region in Kerman province of Iran in 2015-2016. Three henna ecotypes (Bam, Shahdad and Roodbar) and four plant densities (100, 50, 33 and 25 plant.m⁻² equivalent to on row spacing of 5, 10, 15 and 20 cm, respectively) were evaluated as the first and second experimental factors, respectively. Growth indices, net photosynthesis, transpiration rate and stomatal conductance were measured and analyzed. The results showed that ecotypes were significantly different for all measured traits except leaf area index (LAI), leaf area ratio (LAR) and leaf area duration (LAD). The highest averages of the measured traits belonged to Shahdad ecotype. A significant difference was observed between the levels of plant densities for all measured traits except for specific leaf area (SLA). The ecotype and plant density interaction had significant effect on leaf area duration (LAD), biomass duration (BMD) and transpiration rate. Consequently, the highest leaf dry yield (economically valuable part of the plant) was obtained from the Shahdad (508.2 g.m⁻²) and Roodbar (506.4 g.m⁻²) ecotypes and plant density of 100 plant.m⁻² (738.6 g.m⁻²). It can be concluded that 100 plant.m⁻² is the most suitable plant density for henna in the first year of planting.

Key words: Growth analysis, Henna, Leaf area index, Photosynthesis, Row spacing.

Received: November, 2016

Accepted: February, 2017

1. Ph.D Student, Member of Young Researcher Society, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran

2. Associate Prof., Shahid Bahonar University of Kerman, Iran (Corresponding author) (Email: hfarahbakhsh@yahoo.com)