

اثرات تنش خشکی بر شاخص‌های فیزیولوژیک رشد و خصوصیات فنولوژیک گیاه آویشن کوهی (*Thymus kotschyanus* Boiss.)

بابک بحرینی نژاد^{۱*} و جمشید رزمجو^۲

^۱ عضو هیات علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان و ^۲ گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی،

دانشگاه صنعتی اصفهان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۳/۱۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۰/۱۶)

چکیده:

این مطالعه به منظور تعیین اثرات تنش رطوبتی بر شاخص‌های رشد و خصوصیات فنولوژیکی گیاه دارویی آویشن کوهی *Thymus kotschyanus* طی دو سال زراعی ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰ انجام شد. آزمایش با سه تیمار آبیاری شامل ۲۰، ۵۰ و ۸۰ درصد تخلیه آب قابل استفاده در خاک به ترتیب T₂₀، T₅₀ و T₈₀ و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در مزرعه تحقیقاتی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان به اجرا درآمد. تنش باعث کاهش معنی‌دار وزن خشک (DM)، سطح برگ (LAI)، سرعت رشد محصول (CGR) و میزان درجه روز-رشد (GDD) مورد نیاز تا تمامی مراحل فنولوژیک شد و تنها تاثیر ناچیز و غیر معنی داری بر سرعت اسیمیلسیون خالص (NAR) و سرعت رشد نسبی (RGR) داشت. با افزایش شدت تنش از T₂₀ به T₈₀ متوسط DM به میزان ۶۰ درصد کاهش یافت. بیشترین مقادیر CGR در مرحله آغاز غنچه دهی، بیشترین LAI در ۵۰٪ گلدهی و بیشترین DM در مرحله ۱۰۰٪ گلدهی مشاهده شد. تنش باعث گردید تا وقوع هریک از مراحل فنولوژیکی در تیمار تنش شدید بین ۱۰۰ تا ۱۵۰ درجه روز-رشد زودتر از تیمار عدم تنش اتفاق افتد. مقادیر DM در سال دوم (۱۵۲ گرم در متر مربع) بیش از دو برابر سال اول (۶۷ گرم در متر مربع) بود. با توجه به نتایج بدست آمده برای دستیابی به بالاترین میزان تولید این گیاه در مزرعه شرایط بدون تنش رطوبتی و در مرحله ۱۰۰ درصد گلدهی توصیه می‌شود. همچنین پیشگیری از وقوع تنش در مرحله آغاز غنچه‌دهی بیشترین تأثیر را در افزایش سرعت رشد محصول و عملکرد این گیاه دارد.

واژه‌های کلیدی: آویشن کوهی، *Thymus kotschyanus*، کمبود آب، شاخص‌های رشد، مراحل نمو.

انجام شده است (مهرپور و همکاران، ۱۳۸۳؛ خوش سخن و همکاران، ۱۳۸۹). از سوی دیگر با توجه به خشک و نیمه خشک بودن آب و هوای اغلب نقاط ایران و کمبود آب به‌ویژه در بخش کشاورزی، تحقیق در زمینه استفاده صحیح از آب در این بخش امری ضروری است.

مقدمه:
آویشن کوهی *T. kotschyanus* Boiss. گیاهی دارویی از خانواده نعناعیان می‌باشد که به‌صورت خودرو در نواحی شمال و شمال غربی ایران رویش دارد (جم‌زاد، ۱۳۸۸). تحقیقات محدودی در زمینه به‌زراعی بر روی این گیاه

مواد و روش‌ها:

این مطالعه در مزرعه تحقیقاتی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان واقع در عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۳۶ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۲۶ دقیقه شرقی طی دو سال زراعی ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰ انجام شد. ارتفاع ایستگاه از سطح دریا ۱۶۱۲ متر و بر اساس تقسیم‌بندی گوسن دارای اقلیم نیمه‌بیابانی خفیف می‌باشد (کریمی، ۱۳۷۱). میزان بارندگی ماهیانه در هر دو سال مورد آزمایش در طول ماه‌های اعمال تیمارهای تنش (خرداد، تیر و مرداد) کمتر از ۲ میلیمتر بود. میانگین دمای ماهیانه ماه‌های مذکور به ترتیب ۲۳/۲، ۲۸/۷ و ۲۸/۶ برای سال ۱۳۸۹ و ۲۳/۹، ۲۹/۴ و ۲۸/۴ برای سال ۱۳۹۰ بود. خاک محل اجرای طرح لوم-رسی و دارای ۰/۲۷ درصد کربن آلی، ۰/۰۳٪ نیتروژن کل، و مقادیر فسفر و پتاسیم قابل جذب به ترتیب ۱۴/۹ و ۲۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، با $pH=7/6$ و هدایت الکتریکی ۲/۸ دسی‌زیمنس بر متر بود. بذور این گیاه از منطقه پلور دماوند واقع در عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۵۷ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۷ دقیقه شرقی، ارتفاع ۳۲۵۰ متر از سطح دریا جمع آوری شد. کاشت بذور جهت تولید نشاء در شرایط گلخانه و در ۱۵ دی ماه ۱۳۸۸ صورت گرفت. این آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار اجرا شد. سطوح تیمار رطوبتی شامل: آبیاری پس از ۲۰، ۵۰ و ۸۰ درصد تخلیه رطوبت قابل استفاده در خاک و در محدوده بین ظرفیت زراعی (۳/۰- بار برابر با ۳۱ درصد رطوبت حجمی در خاک) تا نقطه پژمردگی دائم (۱۵- بار برابر با ۱۳/۵ درصد رطوبت حجمی در خاک) (Kramer and Boyer, 1995) به ترتیب نمایانگر عدم تنش، تنش متوسط و تنش شدید بود. تنظیم زمان آبیاری با در دست داشتن منحنی رطوبتی خاک و با کمک دستگاه TDR (Time Domain Reflectometry) Santa Barbara، X۶۰۵۰، ساخت آمریکا صورت گرفت به طوری که با اندازه‌گیری‌های منظم و روزانه رطوبت

یکی از دقیق‌ترین راه‌های مطالعه واکنش گیاهان به شرایط محیطی ارزیابی شاخص‌های فیزیولوژیک رشد می‌باشد (کریمی و عزیزی، ۱۳۷۳؛ Karimi and Siddique, 1991). در تحقیق انجام شده بر روی آویشن دناهی توسط Bahreininejad و همکاران (۲۰۱۳) تنش رطوبتی شدید باعث کاهش وزن خشک اندام هوایی و میزان سطح برگ گیاه (Leaf Area Index) به ترتیب به میزان ۴۹ و ۵۹ درصد شد. در مطالعه انجام شده توسط ماهرخ و خواجه پور (۱۳۸۹) بر روی گیاه چغندر قند، سرعت رشد محصول (Crop Growth Rate) به طور قابل ملاحظه‌ای تحت تاثیر رژیم رطوبتی قرار گرفت. از سوی دیگر Xu و همکاران (۲۰۰۹) سرعت رشد نسبی گیاه (Relative Growth Rate) را به عنوان شاخصی مناسب در معرفی گیاهانی با توانایی بهبود اثرات مخرب تنش بعد از وقوع آن معرفی نمودند. مطالعات امیری و همکاران (۱۳۸۹) نشان داد که تنش رطوبتی بر روی گیاه نخود باعث کاهش سریع سرعت اسیملاسیون خالص (Net Assimilation Rate) در طول فصل رشد شد. اثرات تنش بر روی مراحل فنولوژی گیاه در برخی گیاهان افزایشدهنده و در برخی دیگر کاهشدهنده بوده است به طوری که کریمی و همکاران (۱۳۸۸) در بررسی اثرات تنش بر روی ذرت شاهد افزایش طول دوره رشد بودند درحالی که در مطالعه امیری و همکاران (۱۳۸۹) تنش باعث کاهش طول دوره رشد در گیاه نخود شد.

از آنجا که آویشن کوهی بومی ایران و کاملاً سازگار با شرایط آب و هوایی آن است و هنوز در ابتدای مراحل اهلی شدن قرار دارد، لذا بررسی رفتارهای رشد و نمو این گیاه در شرایط مزرعه‌ای و تعیین تاثیر مهمترین عامل محدود کننده رشد در ایران یعنی خشکی بر روی شاخص‌های رشد و خصوصیات فنولوژیک آن از ضروریات اجرای این تحقیق بود.

شاخص‌های رشد شامل سرعت رشد (CGR)، سرعت رشد نسبی (RGR) و سرعت اسیمیلایون خالص (NAR) بر اساس معادلات [۲] تا [۴] و بر پایه درجه-روز رشد محاسبه گردید.

$$CGR = \frac{\Delta DM}{\Delta 10GDD} \quad [2]$$

$$RGR = \frac{CGR}{DM} \quad [3]$$

$$NAR = \frac{CGR}{LAI} \quad [4]$$

ΔDM : تغییرات وزن خشک در فاصله دو نمونه برداری متوالی

$\Delta 10GDD$: تفاضل بین مقادیر ده درجه روز-رشد در فاصله بین دو نمونه برداری متوالی

یادداشت برداری مراحل فنولوژیک شامل آغاز و ۵۰٪ غنچه‌دهی، ۵۰٪ و ۱۰۰٪ گلدهی بود. در نهایت شکل‌های تغییرات هریک از شاخص‌های فوق بر حسب افزایش ۱۰ درجه روز-رشد ترسیم گردید. برای رسم شکل‌ها و محاسبه معادلات پلی‌نومیال و آنالیز واریانس نتایج از برنامه‌های کامپیوتری Excel و SAS استفاده شد.

نتایج و بحث:

تجمع وزن خشک در این گیاه روندی سیگموئیدی داشت. به طوری که پس از یک رشد بطنی وارد مرحله رشد سریع شده و در مرحله ۱۰۰ درصد گلدهی پس از جذب ۲۴۰۰ و ۱۸۰۰ درجه-روز رشد به ترتیب در سال های ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰ به حداکثر مقدار خود رسید (شکل ۱). از آنجا که هدف از تولید آویشن کوهی اندام‌های هوایی گیاه می‌باشد و در مطالعه حاضر بیشترین میزان تجمع ماده خشک در مرحله ۱۰۰ درصد گلدهی مشاهده گردید، می‌توان بهترین زمان برداشت این گیاه را به لحاظ عملکرد محصول برداشت شده در همین مرحله دانست.

اثرات تنش بر روند تجمع وزن خشک مشهود بود و با افزایش سطوح تنش از میزان تجمع وزن خشک در گیاه بطور معنی‌داری کاسته شد. همچنین اختلاف معنی‌دار بین

خاک در عمق توسعه ریشه با نزدیک شدن به حد آستانه هر یک از تیمارها، آبیاری انجام شد. پشته‌های کاشت به فاصله ۵۰ سانتیمتر از یکدیگر و فاصله هر دو بوته روی پشته ۲۰ سانتیمتر بود. طول هر خط کشت ۶ متر و روی هر خط ۳۰ بوته قرار داشت. عمل انتقال نشاء به زمین اصلی در ۱۵ اسفند صورت گرفت. جهت جلوگیری از مرگ و میر نشاء اعمال رژیم‌های آبیاری پس از استقرار گیاه و در حدود ۸ برگی شدن (مطابق با ۱۰۵۰ و ۶۱۶ درجه روز-رشد به ترتیب در سال‌های اول و دوم) شروع و تا زمان رسیدگی محصول ادامه یافت. نمونه‌برداری جهت تعیین میزان وزن خشک اندام هوایی (DM) و سطح برگ (LAI)، هر دو هفته یکبار انجام شد. تاریخ اولین نمونه‌برداری ۱۵ اسفند ۱۳۸۸ (انتقال نشاء به زمین اصلی) بود و تا ۱۷ مرداد ۱۳۸۹ (رسیدگی فیزیولوژیک گیاه) ادامه داشت. همین روند از ۱۵ اسفند ۱۳۸۹ (شروع سبز شدن گیاه) تا ۱۷ مرداد ۱۳۹۰ (رسیدگی فیزیولوژیک) برای سال دوم آزمایش به اجرا در آمد. برای این منظور و با رعایت حاشیه، هر بار ۴ بوته از مساحتی معادل ۰/۴ متر مربع از ابتدای خطوط غیر حاشیه‌ای یک سمت هر کرت آزمایشی و از بالای قسمت چوبی شده برداشت انجام شد. میزان سطح برگ نمونه‌های برداشت شده قبل از خشک کردن نمونه به کمک دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ مدل GA-5، ساخت شرکت Ogawa Seki از کشور ژاپن اندازه‌گیری شد. اندام‌های هوایی برداشت شده برای مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۵ درجه سانتیگراد خشک شد و بلافاصله با دقت ۰/۰۱ توزین شد.

مقدار درجه روز-رشد با استفاده از معادله [۱] محاسبه گردید.

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

حرارت‌های حداقل و حداکثر طبق روش Bradford (۲۰۰۲) محاسبه و به ترتیب ۵ و ۳۰ درجه سانتیگراد منظور گردید. T_{max} ، T_{min} و T_b به ترتیب درجه حرارت حداکثر و حداقل روزانه و پایه می‌باشند.

تیمارها در مرحله رشد سریع گیاه، آغاز و تا اواخر فصل رشد ادامه داشت (شکل ۱). در رابطه با اثر تنش بر کاهش وزن خشک Viera و همکاران (۱۹۹۱) کاهش فتوستتوز را دلیل اصلی کاهش تجمع وزن خشک در تیمارهای تنش بیان نمودند. امیری و همکاران (۱۳۸۹) در مطالعه خود بر روی نخود کاهش تولید شاخساره را از دلایل کاهش وزن خشک در اثر تنش اظهار داشتند.

میزان تجمع وزن خشک در گیاه در سال دوم آزمایش به حدود دو برابر نسبت به سال اول رسید و در پی آن اختلاف بین تیمارها در سال دوم نسبت به سال اول نمایان تر بود. علت بیشتر بودن میزان وزن خشک در سال دوم نسبت به سال اول را می‌توان به گسترش بیشتر ریشه و در نتیجه جذب بیشتر آب و مواد غذایی نسبت داد. در همین رابطه نتایج بدست آمده توسط Bahreininejad و همکاران (۲۰۱۳) بر روی آویشن دناایی نشان داد که در شرایط محدودیت آب می‌توان تنش شدیدتری را در سال دوم رویش نسبت به سال اول بر روی گیاه اعمال نمود. بیشتر بودن اختلاف بین تیمارها را در سال دوم نسبت به سال اول می‌توان به قویتر شدن سیستم ریشه ای گیاه در تیمارهای با تنش کمتر نسبت داد که این امر خود باعث افزایش شدت اختلاف وزن خشک اندام‌های هوایی بین تیمارها در سال دوم نسبت به سال اول شد.

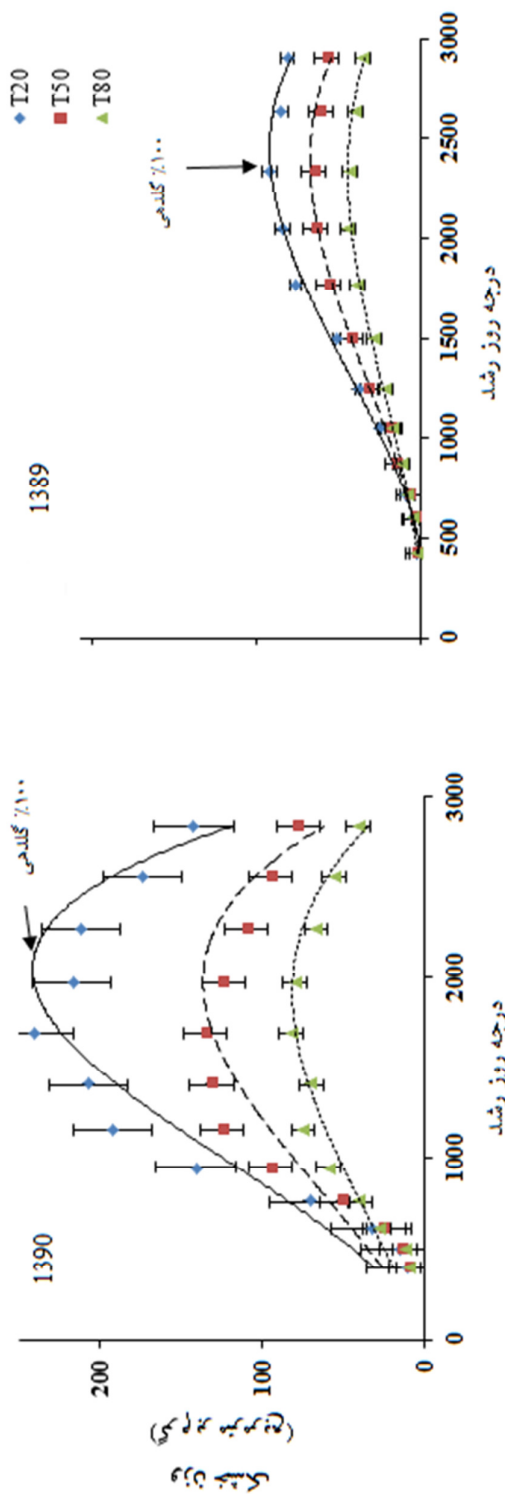
روند تغییرات شاخص سطح برگ در گیاه در ابتدای فصل رویش افزایشی و حداکثر مقدار آن در مرحله ۵۰ درصد گلدهی یعنی پس از تجمع حدود ۲۰۰۰ و ۱۵۰۰ درجه روز-رشد به ترتیب در سال اول و دوم رخ داد (شکل ۲). علت بیشتر بودن شاخص سطح برگ را در زمان ۵۰ درصد گلدهی می‌توان به این خاطر دانست که تا قبل از آن روند توسعه برگ افزایشی بود؛ ولی از این مرحله به بعد روند زرد شدن و ریزش برگ‌ها از قسمتهای قاعده‌ای گیاه آغاز می‌شود.

اثرات تنش بر روند شاخص سطح برگ از شروع اعمال تنش بر گیاه نمایان و با افزایش شدت تنش مقادیر آن به طور معنی‌داری کاهش یافت. علت کاهش سطح

برگ را در اواخر فصل رشد می‌توان به زرد و پیر شدن و ریزش برگ‌ها نسبت داد که از قسمتهای قاعده‌ای گیاه آغاز و رفته رفته به سمت قسمتهای بالایی گیاه گسترش می‌یابد. بنابراین چنانچه هدف از تولید صرفاً تولید برگ باشد ۵۰ درصد گلدهی بهترین زمان برداشت آویشن کوهی خواهد بود. در ارتباط با اثر تنش بر روی کاهش میزان سطح برگ می‌توان گفت که با افزایش شدت تنش میزان پتانسیل فشاری آب داخل برگ‌ها که از عوامل افزایشنده رشد سطح برگ معرفی شده است کاهش می‌یابد (Shao et al., 2008). از سوی دیگر تنش رطوبتی اثری افزایشنده در سرعت روند پیری در گیاه داشته و از دیگر عوامل کاهشنده شاخص سطح برگ در گیاهان معرفی شده است (امیری و همکاران، ۱۳۸۹).

حداکثر میزان شاخص سطح برگ در سال دوم آزمایش نسبت به سال اول تقریباً سه برابر بیشتر بود و در پی آن اختلاف بین تیمارها مشهودتر بود. در اینجا نیز وضعیت تقریباً با آنچه در مورد وزن خشک اندام هوایی گفته شد شباهت دارد. از جمله دلایل بیشتر بودن شاخص سطح برگ در سال دوم نسبت به سال اول را می‌توان به افزایش ذخیره غذایی گیاه در سال دوم نسبت به سال اول دانست به طوری که انتقال مواد غذایی از ریشه به اندام‌های هوایی در اوایل فصل رشد در سال دوم در افزایش سریع مقدار سطح برگ بسیار تاثیر گذار بوده است.

میزان سرعت رشد محصول تا پیش از آغاز غنچه‌دهی روندی افزایشی داشت، با شروع غنچه‌دهی روند آن ثابت و بلافاصله نزولی شد (شکل ۳). حداکثر میزان سرعت رشد محصول در اوایل غنچه‌دهی در گیاه بود، روند افزایشی آن را تا قبل از این مرحله می‌توان به تولید اندام‌های فتوستتوز کننده و تولید کربوهیدرات بیشتر نسبت داد و روند نزولی آن را از این مرحله به بعد شاید به این علت باشد که رفته رفته گیاه به جای تولید مواد فتوستتوزی جدید، بیشتر به انتقال آنها در گیاه می‌پردازد (امیری و همکاران ۱۳۸۹).



$$yT_{20} = -\frac{4}{95}x^2 + \frac{1}{45}x + \frac{1}{45} \quad R^2 = 0.99$$

$$yT_{50} = -\frac{7}{33}x^2 + \frac{5}{71}x + \frac{5}{71} \quad R^2 = 0.99$$

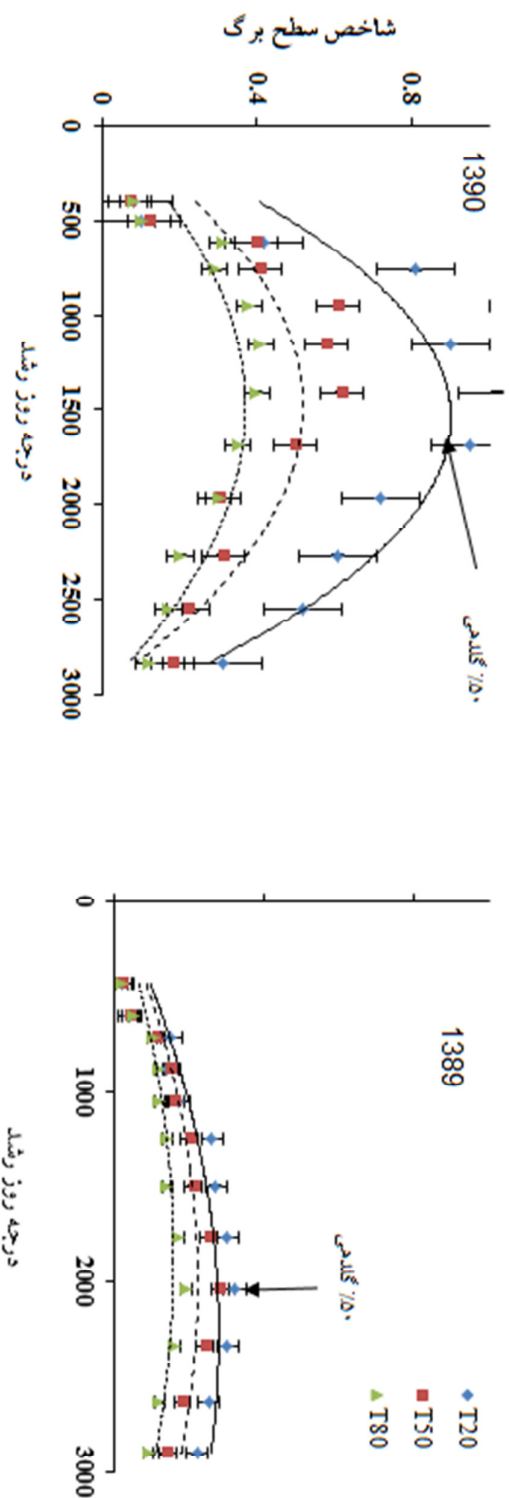
$$yT_{80} = -\frac{1}{18}x^2 + \frac{7}{30}x + \frac{7}{30} \quad R^2 = 0.99$$

$$yT_{20} = -\frac{1}{71}x^2 + \frac{6}{84}x + \frac{6}{84} \quad R^2 = 0.91$$

$$yT_{50} = -\frac{1}{78}x^2 + \frac{4}{98}x + \frac{4}{98} \quad R^2 = 0.99$$

$$yT_{80} = -\frac{8}{13}x^2 + \frac{7}{99}x + \frac{7}{99} \quad R^2 = 0.90$$

شکل ۱- منحنی‌ها و معادلات تجمع وزن خشک در گیاه آویشن کوهی در سه سطح تنش خشکی طی سالهای ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰. بیانگر خطای معیاری باشد.



$$yT_{90} = -2/76 \times 10^{-6} x^2 - 0/0017x \quad R^2 = 0/83$$

$$yT_{50} = -7/36 \times 10^{-6} x^2 - 0/0007x \quad R^2 = 0/83$$

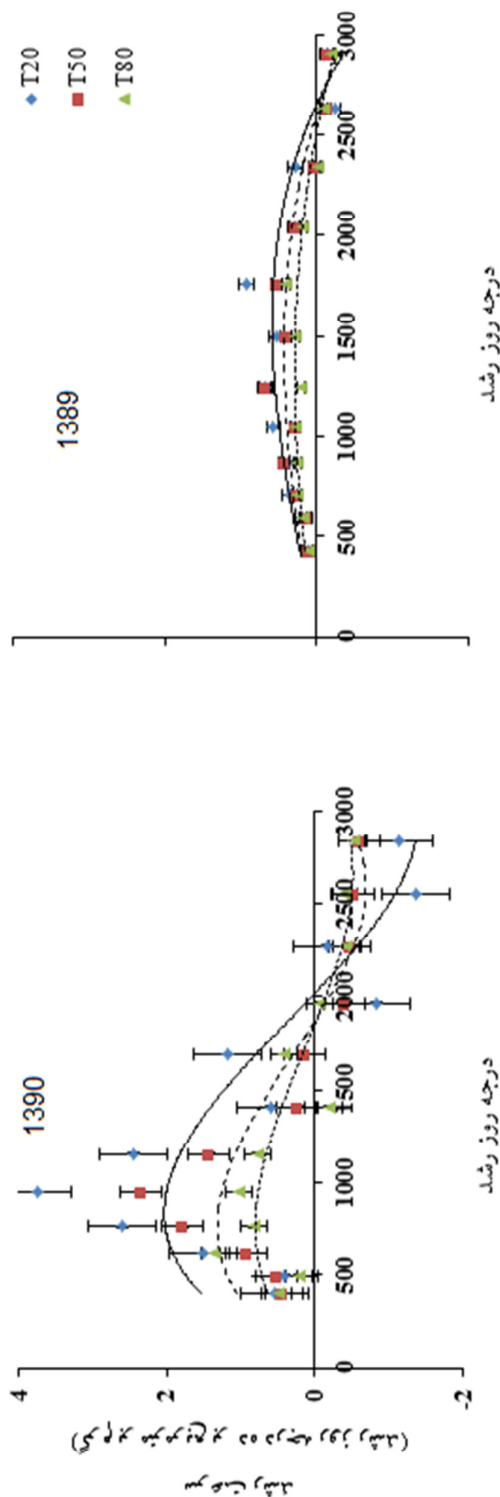
$$yT_{80} = -1/66 \times 10^{-6} x^2 - 0/0005x \quad R^2 = 0/86$$

$$yT_{90} = -0/37 \times 10^{-6} x^2 - 0/0024x \quad R^2 = 0/86$$

$$yT_{50} = -0/48 \times 10^{-6} x^2 - 0/0027x \quad R^2 = 0/86$$

$$yT_{80} = -4/47 \times 10^{-6} x^2 - 0/0017x \quad R^2 = 0/87$$

شکل ۲- منحنی‌ها و معادلات شاخص سطح برگ در گیاه آویشن کوهی در سه سطح تنش خشکی طی سالهای ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰. I: پایداری خطای معیار همی باشد.



$$yT_{20} = -9/94 \times 10^{-11} x^6 + 7/52 \times 10^{-8} x^5 + 0/0005 x^4 + 0/0005 x^3 + 0/0005 x^2 + 0/0005 x \quad R^2 = 0/86$$

$$yT_{50} = -4/10 \times 10^{-11} x^6 - 8/82 \times 10^{-8} x^5 + 0/0007 x^4 + 0/0007 x^3 + 0/0007 x^2 + 0/0007 x \quad R^2 = 0/87$$

$$yT_{80} = -1/59 \times 10^{-11} x^6 - 1/21 \times 10^{-8} x^5 - 0/0004 x^4 - 0/0004 x^3 - 0/0004 x^2 - 0/0004 x \quad R^2 = 0/91$$

$$yT_{20} = 7/34 \times 10^{-11} x^6 - 4/15 \times 10^{-8} x^5 + 0/0054 x^4 + 0/0054 x^3 + 0/0054 x^2 + 0/0054 x \quad R^2 = 0/85$$

$$yT_{50} = 6/49 \times 10^{-11} x^6 - 3/27 \times 10^{-8} x^5 + 0/0048 x^4 + 0/0048 x^3 + 0/0048 x^2 + 0/0048 x \quad R^2 = 0/88$$

$$yT_{80} = 3/84 \times 10^{-11} x^6 - 1/97 \times 10^{-8} x^5 - 0/0023 x^4 - 0/0023 x^3 - 0/0023 x^2 - 0/0023 x \quad R^2 = 0/87$$

شکل ۳- منحنی‌ها و معادلات شاخص سرعت رشد در گیاه آویشن کوهی در سه سطح تنش خشکی طی سالهای ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰. I: پانگرا خطای معیار می باشد.

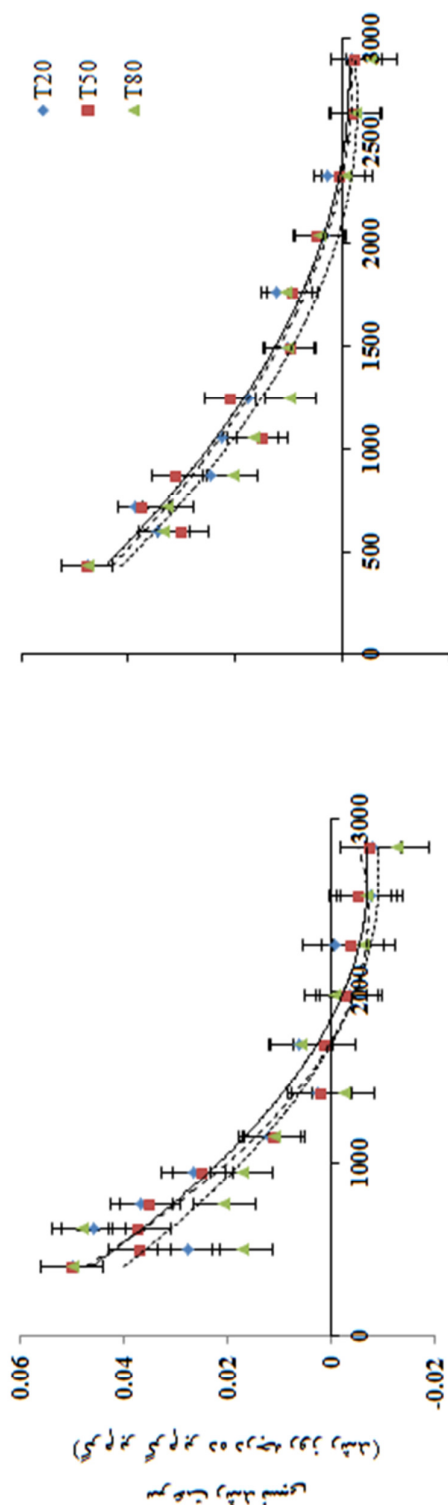
گلدهی (۲۴۰۰ و ۱۶۰۰ درجه روز- رشد به ترتیب در سال اول و دوم) این عدد منفی شد (شکل ۴). علت روند نزولی سرعت رشد نسبی را می‌توان به پیرتر شدن گیاه و در حقیقت افزایش نسبت بافت‌های ساختمانی و نگهدارنده به بافت‌های فتوسنتز کننده و افزایش نسبت تنفس به فتوسنتز نسبت داد، به طوری که با افزایش وزن کلی گیاه در طول رشد درصد اضافه وزن‌های جدید نسبت به اضافه وزن‌های قبلی کاهش می‌یابد (لباسچی و شریفی عاشور آبادی، ۱۳۸۳؛ Karimi and Siddique, 1991).

اگرچه میزان سرعت رشد نسبی در تیمار عدم تنش نسبت به دو تیمار دیگر بیشتر بود ولی این تفاوت معنی دار نبود. تفاوت قابل توجهی بین مقادیر موجود در سال اول و دوم آزمایش مشاهده نشد. کم بودن میزان حساسیت سرعت رشد نسبی به تنش رطوبتی در گیاه آویشن کوهی امری بود که در گیاه چغندر قند نیز گزارش شده بود به طوری که ماهرخ و خواجه پور (۱۳۸۹) استفاده از CGR را نسبت به RGR به عنوان شاخص مناسبتری در بررسی‌های فیزیولوژیک معرفی کردند.

روند تغییرات سرعت اسیمیلسیون خالص تقریباً شبیه تغییرات سرعت رشد نسبی گیاه بود که در ابتدای فصل رشد در حداکثر مقدار خود بود و با نزدیک شدن به انتهای فصل رشد از میزان آن کاسته شد. شیب کاهشی سرعت اسیمیلسیون در سال دوم بیشتر از سال اول آزمایش بود. مقادیر NAR در اواخر دوره رشد و پس از تکمیل گلدهی و کمی قبل از رسیدگی فیزیولوژیک گیاه (حدود ۲۶۰۰ و ۱۸۰۰ درجه روز-رشد به ترتیب در سال ۸۹ و ۹۰) منفی شد. از سوی دیگر منفی شدن مقادیر NAR در تیمار عدم تنش دیرتر از بقیه آغاز شد. اگرچه سرعت اسیمیلسیون خالص در تیمار عدم تنش نسبت به سایر تیمارها بیشتر بود، ولی تفاوت بین تیمارها در هیچ یک از مراحل رشد معنی‌دار نشد (شکل ۵). از آنجا که سرعت اسیمیلسیون خالص رابطه مستقیمی با میزان فتوسنتز دارد، هرگونه عاملی مثل تنش رطوبتی که

اثر تنش بر سرعت رشد محصول معنی‌دار بود و بویژه در زمانی که سرعت رشد حداکثر بود (آغاز غنچه‌دهی) باعث کاهش مقدار آن شد. با افزایش شدت تنش روند کاهشی منحنی سرعت رشد زودتر شروع شد. در اواخر دوره رشد (حدود ۲۵۰۰ و ۲۰۰۰ درجه روز-رشد به ترتیب در سال اول و دوم) مقادیر سرعت رشد منفی شد. میزان منفی شدن سرعت رشد محصول در گیاهان موجود در تیمار عدم تنش بیشتر از تیمارهای تنش بود. بیشترین میزان سرعت رشد در سال اول و دوم به ترتیب ۰/۹۳ و ۳/۷۴ گرم بر متر مربع بر ده درجه روز-رشد بود. هرچه که سرعت رشد بیشتر بود اختلاف بین تیمارهای تنش نیز مشهودتر بود و این امر بیانگر لزوم توجه به پیشگیری از وقوع تنش خشکی در مواقعی از رشد گیاه است که سرعت رشد در آن مراحل بیشتر می‌باشد. علت وقوع دیرتر سیر نزولی منحنی سرعت رشد محصول در تیمار عدم تنش نسبت به دو تیمار دیگر می‌تواند به خاطر دسترسی بهتر گیاه به آب و مواد غذایی و در نتیجه تلاش گیاه برای گسترش کنوپی گیاه باشد (Kibeet *et al.*, 2006). علت منفی شدن این شاخص در انتهای فصل رشد را می‌توان به پیر شدن بافت‌ها و افزایش نسبت تنفس به فتوسنتز و همچنین ریزش برگ‌ها و اندام‌های هوایی گیاه نسبت داد. ریزش بذور گیاه در اواخر دوره رشد از دیگر عوامل کاهنده وزن خشک و در نتیجه منفی شدن سرعت رشد بود. از آنجا که حجم زیست‌توده تولیدی در تیمار عدم تنش بیشتر از دو تیمار تنش متوسط و شدید بود بنابراین شدت تغییرات بیوماس نیز بیشتر و در نتیجه شکل آن در اواخر دوره رشد منفی‌تر از دو تیمار دیگر شد. نتایج نشان داد که سرعت رشد شاخص مناسبی در تبیین شدت اثرات تنش رطوبتی در گیاه آویشن کوهی می‌باشد، این امر در دیگر گیاهان از جمله چغندر قند نیز اشاره شده است (ماهرخ و خواجه پور، ۱۳۸۹).

سرعت رشد نسبی در ابتدای فصل رشد در تمام تیمارها در حداکثر مقدار خود بود و با نزدیک شدن به انتهای فصل رشد از میزان آن کاسته شد و در اواخر دوره



درجه روز رشد

درجه روز رشد

$$yT_{20} = 1/0.05 \times 10^{-4} x^2 - 0.058 \times 10^{-3} x + 0.0671 \quad R^2 = 0.90$$

$$yT_{50} = 1/30 \times 10^{-4} x^2 - 6/38 \times 10^{-3} x + 0.0709 \quad R^2 = 0.97$$

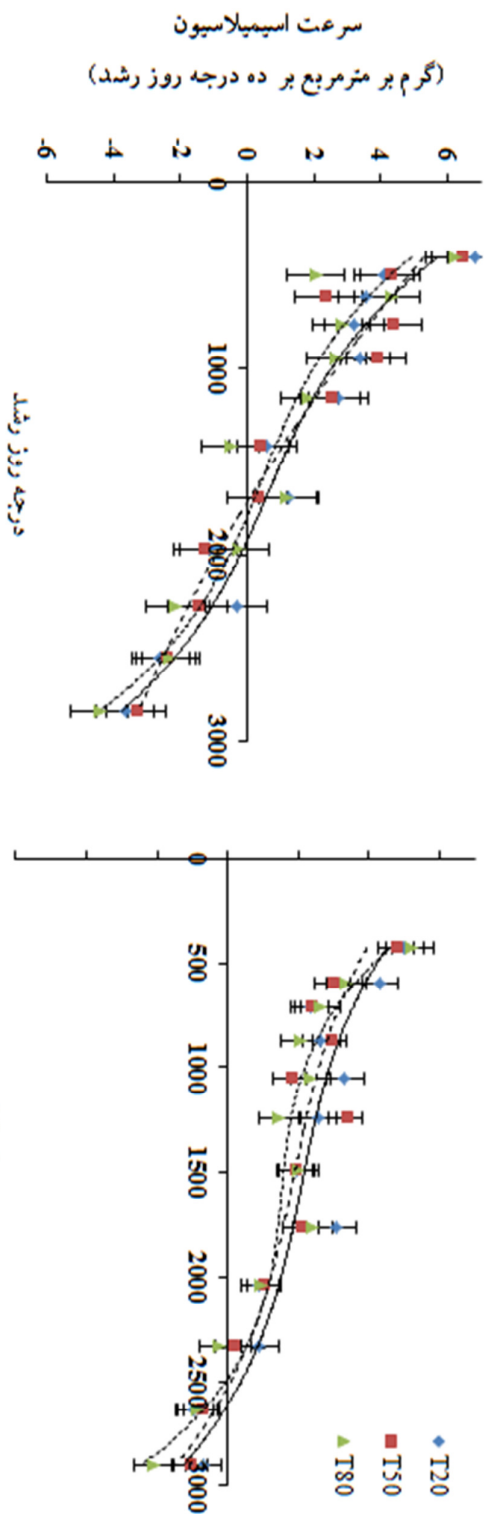
$$yT_{80} = 9/0.23 \times 10^{-4} x^2 - 0.10 \times 10^{-3} x + 0.0589 \quad R^2 = 0.80$$

$$yT_{20} = 8/0.05 \times 10^{-4} x^2 - 4/0.23 \times 10^{-3} x + 0.0673 \quad R^2 = 0.96$$

$$yT_{50} = 7/92 \times 10^{-4} x^2 - 4/40 \times 10^{-3} x + 0.0609 \quad R^2 = 0.94$$

$$yT_{80} = 8/76 \times 10^{-4} x^2 - 4/69 \times 10^{-3} x + 0.0599 \quad R^2 = 0.94$$

شکل ۴- منحنی‌ها و معادلات سرعت رشد نسبی در گیاه آویشن کوهی در سه سطح تنش خشکی طی سالهای ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰. I: پیکر خطای معیار می باشد.



$$yI_{sg} = -1/0.1 \times 10^{-4} x^2 + 0/0.2 \times 10^{-2} x - 0/0.1 \times 10^{-1} x + 9/32 \quad R^2 = 0.84$$

$$yI_{sg} = -7/83 \times 10^{-11} x^{11} + 4/87 \times 10^{-6} x^6 - 0/0.4 \times 10^{-2} x + 7/24 \quad R^2 = 0.87$$

$$yI_{sg} = -1/0.4 \times 10^{-4} x^2 + 0/20 \times 10^{-6} x - 1/0.0 \times 10^{-1} x + 8/38 \quad R^2 = 0.89$$

$$yI_{sg} = -7/37 \times 10^{-11} x^{11} + 3/46 \times 10^{-6} x^6 - 9/59 \times 10^{-2} x + 9/70 \quad R^2 = 0.85$$

$$yI_{sg} = -9/0.2 \times 10^{-11} x^{11} + 7/70 \times 10^{-6} x^6 - 0/26 \times 10^{-2} x + 0/70 \quad R^2 = 0.88$$

$$yI_{sg} = -1/49 \times 10^{-4} x^2 + 7/17 \times 10^{-6} x - 1/21 \times 10^{-1} x + 8/58 \quad R^2 = 0.83$$

شکل ۵- منحنی‌ها و معادلات سرعت اسیمیلاسیون خالص در آرایش کوئی در سه سطح تنش خشکی طی سالهای ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰. I: پتانسیل خطای معیار می باشد.

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس اثر تنش رطوبتی و سال بر تعداد روز تا آغاز و ۵۰٪ غنچه‌دهی، ۵۰٪ و ۱۰۰٪ گل‌دهی در آویشن کوهی.

میانگین مربعات				درجه آزادی	منابع تغییرات
۱۰۰٪ گل‌دهی	۵۰٪ گل‌دهی	۵۰٪ غنچه‌دهی	آغاز غنچه‌دهی		
۱۳/۳۹ *	۴۱/۱۱ **	۱۶/۱۷ **	۱۴/۱۱ **	۳	بلوک
۶۷/۱۷ **	۸۷/۸۸ **	۱۵۵/۷۹ **	۸۶/۰۹ **	۲	تنش
۲/۷۲	۳/۳۲	۱/۹۶	۱/۹۷	۶	خطای الف
۶۲۷۲/۶۷ **	۵۸۲۸/۱۷ **	۷۱۴۱/۵۰ **	۴۵۲۲/۹۱ **	۱	سال
۰/۶۷ ^{ns}	۱/۵۴ ^{ns}	۱/۱۳ ^{ns}	۰/۵۶ ^{ns}	۲	سال × تنش
۲/۳۳	۲/۴۲	۱/۸۱	۱/۷۶	۵۱	خطای نهایی

* و ** به ترتیب نمایانگر اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد،^{ns}: نمایانگر عدم تفاوت معنی‌دار

جدول ۲- مقایسه میانگین وقوع مراحل فنولوژیک با توجه به تعداد روز (روز از کاشت نشاء برای سال ۱۳۸۹ و روز از سبز شدن برای سال ۱۳۹۰) و درجه روز-رشد در آویشن کوهی.

۱۳۹۰		۱۳۸۹		تیمار	مرحله نمو
روز	درجه روز-رشد	روز	درجه روز-رشد		
۶۳ ^a	۱۰۳۲ ^a	۹۹ ^a	۱۷۶۲ ^a	عدم تنش	آغاز غنچه‌دهی
۶۰ ^b	۹۸۶ ^b	۹۶ ^b	۱۷۰۳ ^b	تنش متوسط	
۵۴ ^c	۹۰۵ ^c	۹۱ ^c	۱۶۰۵ ^c	تنش شدید	
۷۶ ^a	۱۲۴۴ ^a	۱۱۰ ^a	۱۹۸۳ ^a	عدم تنش	۵۰ درصد غنچه‌دهی
۷۳ ^b	۱۱۹۰ ^b	۱۰۷ ^b	۱۹۲۳ ^b	تنش متوسط	
۶۷ ^c	۱۰۹۱ ^c	۱۰۲ ^c	۱۸۲۳ ^c	تنش شدید	
۸۶ ^a	۱۴۳۰ ^a	۱۱۸ ^a	۲۱۴۵ ^a	عدم تنش	۵۰ درصد گل‌دهی
۸۴ ^{ab}	۱۳۹۱ ^{ab}	۱۱۵ ^b	۲۰۸۲ ^b	تنش متوسط	
۸۱ ^b	۱۳۳۶ ^b	۱۱۱ ^c	۲۰۰۳ ^c	تنش شدید	
۹۴ ^a	۱۵۹۱ ^a	۱۲۶ ^a	۲۳۱۶ ^a	عدم تنش	۱۰۰ درصد گل‌دهی
۹۲ ^a	۱۵۴۷ ^a	۱۲۴ ^b	۲۲۷۴ ^b	تنش متوسط	
۸۸ ^b	۱۴۷۱ ^b	۱۲۱ ^c	۲۲۱۱ ^c	تنش شدید	

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند فاقد اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد هستند.

NAR در سال دوم را نسبت به سال اول می‌توان به بیشتر بودن سطح برگ و در نتیجه سایه‌اندازی بیشتر برگ‌ها بر روی هم در سال دوم نسبت داد (ماهرخ و خواجه پور، ۱۳۸۹).

آنالیز مرکب داده‌های مربوط به مراحل فنولوژیکی نشان داد که اثرات تنش خشکی و سال (سن گیاه) بر صفات تعداد روز تا آغاز غنچه‌دهی، ۵۰ درصد

باعث کاهش راندمان فتوسنتز شود از سرعت اسیمیلاسیون خالص می‌کاهد. نتایج مشابهی از کاهش میزان NAR در اثر تنش خشکی بر روی سایر گیاهان نیز گزارش شده است (Stone et al., 2001؛ میرزاوند و همکاران، ۱۳۹۰). شدت تاثیر تنش رطوبتی بر NAR کمتر از اثر آن بر DM و CGR گزارش شده است (Kibe et al., 2006). علت بیشتر بودن شیب کاهش

حصول می‌باشد با این حال تنش رطوبتی در گیاه آویشن کوهی می‌تواند به طور موثری باعث کاهش میزان وزن خشک تولیدی و در نتیجه عملکرد محصول شود و این امر بیانگر لزوم کشت این گیاه در شرایط مناسب رطوبتی در مزرعه می‌باشد. کوتاه‌تر بودن طول دوره رشد طی سال دوم و گسترش بیشتر ریشه در آن نسبت به سال اول می‌تواند در کاهش میزان آب مصرفی و یا امکان افزایش شدت تنش در سال دوم نسبت به سال اول تأثیر گذار باشد. همچنین وقوع بیشترین سرعت رشد محصول در مرحله آغاز غنچه‌دهی بیانگر این امر می‌باشد که در مدیریت آبیاری این محصول می‌بایستی حتی‌الامکان از وقوع تنش‌های رطوبتی در این محدوده از رشد و نمو خودداری نمود زیرا که می‌تواند باعث افت شدید عملکرد محصول شود. نهایتاً نتایج نشان داد که DM LAI و CGR شاخص‌های مناسبی از تبیین شدت اثرات تنش رطوبتی در گیاه آویشن کوهی می‌باشند.

تشکر و قدردانی:

بدینوسیله از جناب آقای دکتر محمد حسین لباسچی که ما را در اجرای این تحقیق یاری نمودند تشکر می‌گردد.

جم‌زاد، ز. (۱۳۸۸) آویشن‌ها و مرزه‌های ایران. انتشارات مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، تهران.
خوش‌سخن، ف.، بابالار، م. و فتاحی‌مقدم، م. ر. (۱۳۸۹) ارزیابی واکنش برخی جمعیت‌های گونه آویشن کوهی (*Thymus kotschyanus*) به تنش شوری و خشکی در مرحله جوانه‌زنی بذر. همایش ملی گیاهان دارویی. ساری.
کریمی م.، اصفهانی، م.، بیگلویی، م. ح. و ربیعی، ب. (۱۳۸۸) تأثیر تیمارهای کم آبیاری بر صفات مورفولوژیک و شاخص‌های رشد ذرت غلوفه‌ای در شرایط آب و هوایی رشت. مجله تولید گیاهان زراعی ۲: ۹۱-۱۱۰.

غنچه‌دهی، ۵۰ درصد گل‌دهی و ۱۰۰ درصد گل‌دهی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). با افزایش شدت تنش وقوع هریک از مراحل فنولوژیک در تعداد روز و میزان درجه روز-رشد کمتری اتفاق افتاد و در حقیقت طول دوره نمو گیاه کاهش یافت (جدول ۲). از جمله دلایل کاهش طول دوره نمو در اثر تنش را می‌توان به وجود ساز و کار فرار از خشکی در این گیاه نسبت داد. نتایج مشابهی در گیاهان بادرنجبویه (اردکانی و همکاران، ۱۳۸۹) و نخود (امیری و همکاران، ۱۳۸۹) گزارش شده است. از سوی دیگر وقوع هریک از مراحل فنولوژیک در سال دوم آزمایش به میزان درجه روز-رشد کمتری نسبت به سال اول احتیاج داشت. وقوع این پدیده را می‌توان به افزایش ذخیره غذایی و بلوغ فیزیولوژیکی بیشتر گیاه در سال دوم نسبت داد. این امر می‌تواند عاملی در کاهش میزان آب مصرفی در این گیاه طی سال دوم و در نتیجه صرفه جویی بیشتر آب در مدیریت مزرعه باشد.

نتیجه گیری:

با توجه به نتایج بدست آمده در این مطالعه می‌توان چنین اظهار داشت که در مدیریت تولید این گیاه بیشترین عملکرد اندام هوایی در مرحله ۱۰۰ درصد گلدهی قابل

منابع:

اردکانی، م. ر.، عباس زاده، ب.، شریفی عاشورآبادی، ا.، لباسچی، م. ح.، معاونی پ. و محبتی، ف. (۱۳۸۹) اثر تنش خشکی بر شاخص‌های رشد بادرنجبویه (*Melissa officinalis* L.) گیاه و زیست بوم ۲۱: ۴۷-۵۸.
امیری ده احمدی، س. ر.، پارسا، م.، نظامی، ا. و گنجعلی، ع. (۱۳۸۹) تأثیر تنش خشکی در مراحل مختلف رشدی بر شاخص‌های رشد نخود (*Cicer arietinum* L.) در شرایط گلخانه. نشریه پژوهش‌های حبوبات ایران ۱: ۶۹-۸۴.

- physiological and phytochemical traits in *Thymus daenensis*. *International Journal of Plant Production* 7: 151-166.
- Bradford K. J. (2002) Applications of hydrothermal time to quantifying and modeling seed germination and dormancy. *Weed Science* 50: 248-260.
- Karimi, M. M. and Siddique, K. H. M. (1991) Crop growth rates of old and modern wheat cultivars. *Australian Journal of Agricultural Research* 42: 13-20.
- Kibe, A. M., Singh, S. and Kalra, N. (2006) Water-nitrogen relationships for wheat growth and productivity in late sown conditions. *Agricultural Water Management*, 84:221-228.
- Kramer, P. J. and Boyer, J. S. (1995) *Water Relation of Plants and Soils*. Academic Press, New York.
- Shao, H. B., Chu, L. Y., Jaleel, C. A. and Zhao, C. X. (2008) Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. *Comptes Rendus Biologies* 331: 215-225.
- Stone, P.J., Wilson, D. R., Jamieson, P. D. and Gillespie, R. N. (2001) Water deficit effects on sweet corn. Part II. Canopy development. *Australian Journal of Agricultural Research* 52: 115-126.
- Viera, H. J., Bergamaschi, H., Angelocci, L. R. and Libardi, P. L. (1991) Performance of two bean cultivars under two water availability regimes. *Pesquisa Agropecuaria* 9:1035-1045.
- Xu, Z., Zhou, G. and Shimizu, H. (2009) Are plant growth and photosynthesis limited by pre-drought following rewatering in grass? *Journal of Experimental Botany* 60: 3737-3749.
- کریمی، م.م. (۱۳۷۱) آب و هوای استان اصفهان. سازمان برنامه و بودجه استان اصفهان، اصفهان.
- کریمی، م.م. و عزیزی، م. (۱۳۷۳) آنالیزهای رشد گیاهان زراعی. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، مشهد.
- لباسچی، م.ح. و شریفی عاشور آبادی، ا. (۱۳۸۳) استفاده از شاخص‌های فیزیولوژیک رشد در بهره برداری مناسب از گل راعی، مجله پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی ۶۵: ۶۵-۷۴.
- ماهرخ، ع. و خواجه پور، م. ر. (۱۳۸۹) تاثیر رژیم رطوبتی بر شاخص‌های رشد و عملکرد کمی و کیفی چغندر قند. مجله علوم گیاهان زراعی ایران ۴۱: ۲۳۵-۲۴۶.
- مهرپور، ش.، سفیدکن، ف.، میرزایی ندوشن، ح. و مجد، ا. (۱۳۸۳) مقایسه اسانس چهار جمعیت از گیاه *Thymus kotschyanus* در شرایط کشت مزرعه و گلخانه. فصلنامه تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران ۲۰: ۱۵۹-۱۶۹.
- میرزاوند، م.، عزیزی، خ.، ابدالی، م.، اسماعیلی، ا. و حیدری، س. (۱۳۹۰) بررسی تاثیر برخی تکنیک‌های زراعی (آرایش کاشت و آبیاری تکمیلی) بر شاخص‌های رشد نخود (*Cicer arietinum*).
- اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی ۳: ۱۵۹-۱۶۹.
- Bahreinejad, B., Razmjoo, J. and Mirza, M. (2013) Influence of water stress on morpho-