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

بابک بحرینی نژاد*[۱و۲] 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 T_{20}، T_{50} و T_{80} 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 اسیمیلاسیون خالص(NAR) و سرعت رشد نسبی(RGR) داشت. با افزایش شدت تنش از T_{20} به T_{80} متوسط DM به میزان ۶۰ درصد کاهش یافت. بیشترین مقادیر CGR در مرحله آغاز غنچه دهی، بیشترین LAI در ۵۰٪ گلدهی و بیشترین DMدر 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.

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 به زراعی بر روی این گیاه 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.

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی:bahreini@ag.iut.c.ir

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 دنایی 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 اسیمیلاسیون خالص (Net Assimilation Rate) در طول فصل رشد شد. اثرات تنش بر روی مراحل فنولوژی گیاه در برخی گیاهان افزاینده و در برخی دیگر کاهنده بوده است به طوری‌که 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.

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 دوسال زراعی ۱۳۸۹ و۱۳۹۰ 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 ترتیب۲۳/۲، 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 ترتیب۱۴/۹و ۲۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، با pH=۷/۶ 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 (۰/۳- بار برابر با ۳۱ درصد رطوبت حجمی در خاک) تا نقطه پژمردگی دائم (۱۵- بار برابر با ۱۳/۵ درصد رطوبت حجمی در خاک) (Kramerand 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) مدل X۶۰۵۰، Santa Barbara، ساخت آمریکا صورت گرفت به طوری که با اندازه‌گیری‌های منظم و روزانه رطوبت

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 نشاها 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 نشا به زمین اصلی) بود و تا ۱۷مرداد 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 اندازه گیری سطح برگ مدل GA-5، ساخت شرکتOgawa 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.

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

حرارت‌های حداقل و حداکثر طبق روش Bradford (۲۰۰۲) محاسبه و به ترتیب ۵ و ۳۰ درجه سانتیگراد منظور گردید.$Tmax$ ، $Tmin$ و Tb به ترتیب درجه حرارت حداکثر و حداقل روزانه و پایه می‌باشند.

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

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

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

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

ΔDM: تغییرات وزن خشک در فاصله دو نمونه برداری متوالی

$\Delta 10 GDD$: 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. به‌طوری که پس از یک رشد بطئی 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

تیمارها در مرحله رشد سریع گیاه، آغاز و تا اواخر فصل رشد ادامه داشت (شکل ۱). در رابطه با اثر تنش بر کاهش وزن خشکVieraو همکاران (۱۹۹۱) کاهش فتوسنتز 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 دنایی 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 می توان 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 آغار 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 افزاینده رشد سطح برگ معرفی شده است کاهش می‌یابد (Shao *et al.*, 2008). از سوی دیگر تنش رطوبتی اثری افزاینده در سرعت روند پیری در گیاه داشته و از دیگر عوامل کاهنده 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 اندام-های 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 اندام های فتوسنتز 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 به‌جای تولید مواد فتوسنتزی جدید، بیشتر به انتقال آنها در گیاه می‌پردازد (امیری و همکاران ۱۳۸۹).

yT_{20}=-۱/۷۱×۱۰$^{-۸}$ $x^۳$+ ۶/۸۴×۱۰$^{-۵}$ $x^۲$ - ۰/۰۲۷x $R^۲$= ۰/۹۱

yT_{50}=-۱/۲۸×۱۰$^{-۸}$ $x^۳$+ ۴/۹۸×۱۰$^{-۵}$ $x^۲$ - ۰/۰۱۷x $R^۲$= ۰/۹۹

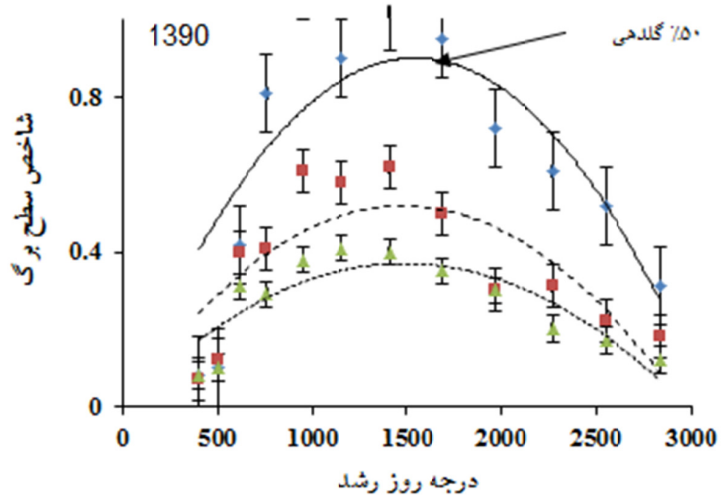
yT_{80}=-۸/۱۳×۱۰$^{-۹}$ $x^۳$+ ۲/۹۹×۱۰$^{-۵}$ $x^۲$ - ۰/۰۶۵x $R^۲$= ۰/۹۰

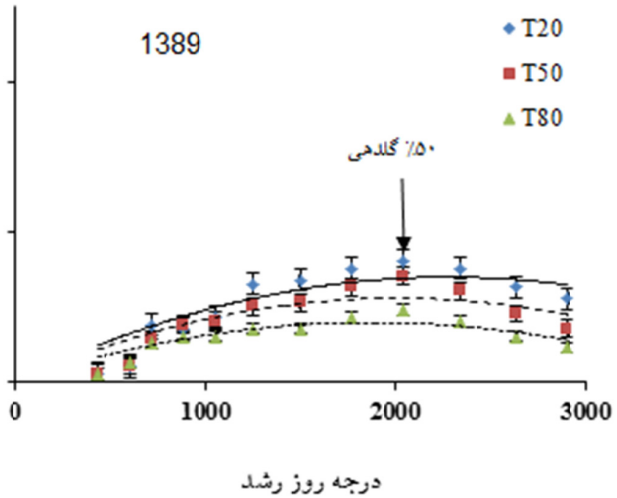
yT_{20}=-۴/۹۵×۱۰$^{-۸}$ $x^۳$+ ۱/۴۵×۱۰$^{-۲}$ $x^۲$ - ۰/۰۲۸x $R^۲$= ۰/۹۹

yT_{50}=-۲/۳۳×۱۰$^{-۸}$ $x^۳$+ ۵/۷۱×۱۰$^{-۵}$ $x^۲$ - ۰/۰۴۷x $R^۲$= ۰/۹۹

yT_{80}=-۱/۱۸×۱۰$^{-۸}$ $x^۳$+ ۲/۳۰×۱۰$^{-۵}$ $x^۲$ - ۰/۰۴۲x $R^۲$= ۰/۹۹

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





$yT_{20}= -۵/۳۷\times۱۰^{-۸}x^{۲} - ۰/۰۰۰۲۴x$ $R^{۲}= ۰/۹۶$

$yT_{50}= -۵/۴۸\times۱۰^{-۸}x^{۲} - ۰/۰۰۰۲۲x$ $R^{۲}= ۰/۹۶$

$yT_{80}= -۴/۴۷\times۱۰^{-۸}x^{۲} - ۰/۰۰۰۱۷x$ $R^{۲}= ۰/۹۷$

$yT_{20}= -۳/۷۶\times۱۰^{-۷}x^{۲} - ۰/۰۰۱۲x$ $R^{۲}= ۰/۹۳$

$yT_{50}= -۲/۳۶\times۱۰^{-۷}x^{۲} - ۰/۰۰۰۷x$ $R^{۲}= ۰/۹۳$

$yT_{80}= -۱/۶۶\times۱۰^{-۷}x^{۲} - ۰/۰۰۰۵x$ $R^{۲}= ۰/۹۶$

شکل ۲- منحنی‌ها و معادلات شاخص سطح برگ در گیاه آویشن کوهی در سه سطح تنش خشکی طی سالهای ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰.

I: بیانگر خطای معیار می باشد.

$yT_{20}=-۹/۹۴\times۱۰^{-۱۱}\ x^۳+۷/۵۲\times۱۰^{-۸}\ x^۲+۰/۰۰۰۵x\quad R^۲=۰/۸۶$

$yT_{50}=-۴/۱۰\times۱۰^{-۱۱}\ x^۳-۸/۸۲\times۱۰^{-۸}\ x^۲+۰/۰۰۰۲x\quad R^۲=۰/۸۷$

$yT_{80}=-۱/۵۹\times۱۰^{-۱۱}\ x^۳-۱/۲۱\times۱۰^{-۷}\ x^۲-۰/۰۰۰۴x\quad R^۲=۰/۹۱$

$yT_{20}=۷/۳۴\times۱۰^{-۱۱}\ x^۳-۴/۱۵\times۱۰^{-۶}\ x^۲+۰/۰۰۵۴x\quad R^۲=۰/۸۵$

$yT_{50}=۶/۴۹\times۱۰^{-۱۱}\ x^۳-۳/۲۷\times۱۰^{-۶}\ x^۲+۰/۰۰۴۸x\quad R^۲=۰/۸۸$

$yT_{80}=۳/۸۴\times۱۰^{-۱۱}\ x^۳-۱/۹۷\times۱۰^{-۶}\ x^۲-۰/۰۰۲۳x\quad R^۲=۰/۸۷$

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

اثر تنش بر سرعت رشد محصول معنی‌دار بود و بویژه در زمانی‌که 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 به‌خاطر دسترسی بهتر گیاه به آب و مواد غذایی و در نتیجه تلاش گیاه برای گسترش کنوپی گیاه باشد (Kibe*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 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 اسیمیلاسیون 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 اسیمیلاسیون 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 اسیمیلاسیون 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 اسیمیلاسیون خالص رابطه مستقیمی با میزان فتوسنتز دارد، هرگونه عاملی مثل تنش رطوبتی که

$yT_{20}= ۸/۰۵\times۱۰^{-۴}x^{۲} - ۴/۵۳\times۱۰^{-۵}x + ۰/۰۶۲۳$ $R^{۲}= ۰/۹۶$

$yT_{50}= ۷/۹۲\times۱۰^{-۴}x^{۲} - ۴/۴۵\times۱۰^{-۵}x + ۰/۰۶۰۹$ $R^{۲}= ۰/۹۴$

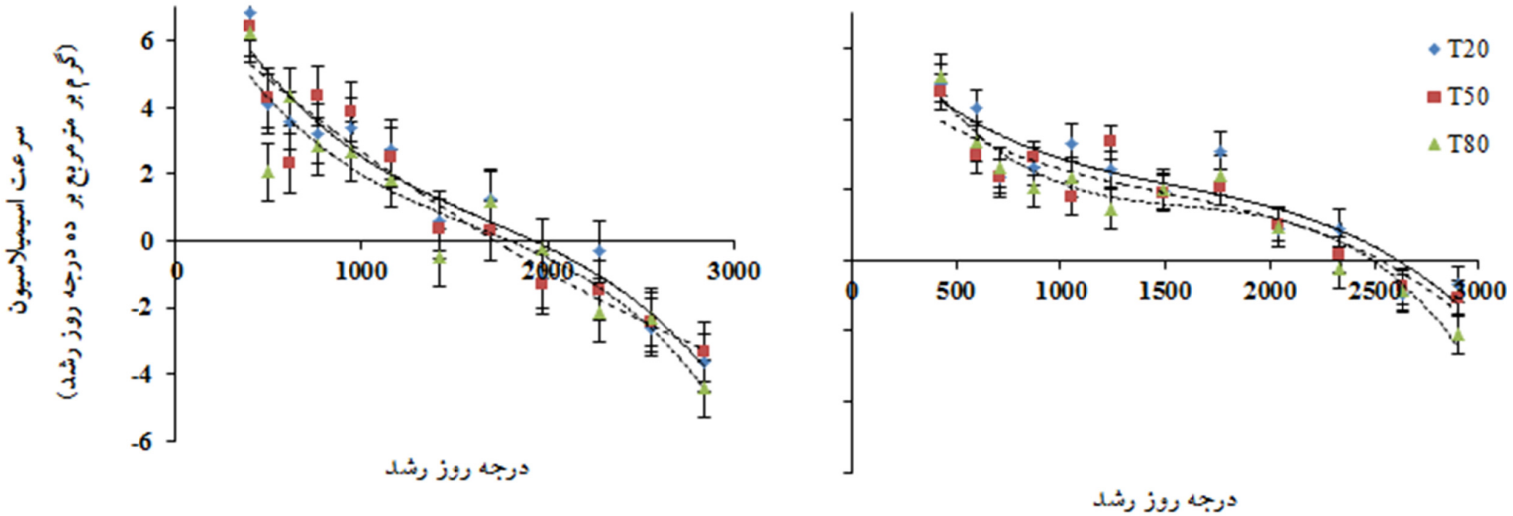
$yT_{90}= ۸/۷۶\times۱۰^{-۴}x^{۲} - ۴/۶۹\times۱۰^{-۵}x + ۰/۰۵۹۹$ $R^{۲}= ۰/۹۴$

$yT_{20}= ۱/۰۵\times۱۰^{-۸}x^{۲} - ۵/۵۸\times۱۰^{-۵}x + ۰/۰۶۷۱$ $R^{۲}= ۰/۹۰$

$yT_{50}= ۱/۳۰\times۱۰^{-۸}x^{۲} - ۶/۳۸\times۱۰^{-۵}x + ۰/۰۷۰۹$ $R^{۲}= ۰/۹۷$

$yT_{90}= ۹/۵۳\times۱۰^{-۹}x^{۲} - ۵/۱۰\times۱۰^{-۵}x + ۰/۰۵۸۹$ $R^{۲}= ۰/۸۰$

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



$yT_{20}= -۷/۳۷\times۱۰^{-۱۰}\,x^{۳} + ۳/۴۶\times۱۰^{-۶}\,x^{۲} - ۶/۵۹\times۱۰^{-۳}\,x + ۶/۷۵ \quad R^{۲} = ۰/۸۵$

$yT_{50}= -۶/۰۲\times۱۰^{-۱۰}\,x^{۳} + ۲/۷۰\times۱۰^{-۶}\,x^{۲} - ۵/۲۶\times۱۰^{-۳}\,x + ۵/۷۵ \quad R^{۲} = ۰/۸۸$

$yT_{80}= -۱/۴۹\times۱۰^{-۹}\,x^{۳} + ۷/۱۷\times۱۰^{-۶}\,x^{۲} - ۱/۲۱\times۱۰^{-۲}\,x + ۸/۵۸ \quad R^{۲} = ۰/۹۳$

$yT_{20}= -۱/۰۱\times۱۰^{-۹}\,x^{۳} + ۵/۰۳\times۱۰^{-۶}\,x^{۲} - ۰/۰۱\times۱۰^{-۲}\,x + ۹/۳۲ \quad R^{۲} = ۰/۹۴$

$yT_{50}= -۲/۸۳\times۱۰^{-۱۲}\,x^{۳} + ۴/۸۲\times۱۰^{-۷}\,x^{۲} - ۵/۰۴\times۱۰^{-۳}\,x + ۷/۲۴ \quad R^{۲} = ۰/۹۲$

$yT_{80}= -۱/۰۹\times۱۰^{-۹}\,x^{۳} + ۵/۲۰\times۱۰^{-۶}\,x^{۲} - ۱/۰۵\times۱۰^{-۲}\,x + ۸/۳۸ \quad R^{۲} = ۰/۸۹$

شکل ۵- منحنی‌ها و معادلات سرعت اسیمیلاسیون خالص در آویشن کوهی در سه سطح تنش خشکی طی سالهای ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰.

I: بیانگر خطای معیار می باشد.

جدول۱- نتایج تجزیه واریانس اثر تنش رطوبتی و سال بر تعداد روز تا آغاز و ۵۰٪ غنچه‌دهی، ۵۰٪ و ۱۰۰٪ گل‌دهی در آویشن کوهی.

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

*** و **به ترتیب نمایانگر اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد، ns: نمایانگر عدم تفاوت معنی دار**

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.

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

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

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 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 داده های مربوط به مراحل فنولوژیکی نشان داد که اثرات تنش خشکی و سال (سن گیاه) بر صفات تعداد روز تا آغاز غنچه دهی، ۵۰ درصد

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 می تواند 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 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 LAI، DM و CGR شاخص های 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.

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) تاثیر تنش خشکی در مراحل مختلف رشدی بر شاخص های رشد نخود (*Cicer arietinum* L.) در شرایط گلخانه. نشریه پژوهش‌های حبوبات ایران ۱: ۶۹–۸۴.

جم‌زاد، ز. (۱۳۸۸) آویشن ها و مرزه های 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) تاثیر تیمارهای کم آبیاری بر صفات مورفولوژیک و شاخص‌های رشد ذرت علوفه‌ای در شرایط آب و هوایی رشت. مجله تولید گیاهان زراعی ۲: ۹۱–۱۱۰.

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 شاخص های 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 تکنیک های زراعی (آرایش کاشت و آبیاری تکمیلی) بر شاخص‌های رشد نخود (*Cicer arietinum*). اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی ۳: ۱۵۹-۱۶۹.

Bahreininejad, B., Razmjoo, J. and Mirza, M. (2013) Influence of water stress on morpho-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.