نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۴، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۱، ص. ۱۸۲-۱۷۰

Journal of Agroecology
Vol. 4, No. 2, Summer 2012, p. 170-1 82

بررسی اثر سطوح مختلف کود گوگرد بر عملکرد کمّی و کیفی گیاه دارویی اسفرزه (*Plantago ovata* L.) در شرایط تنش خشکی در منطقه بلوچستان

محسن موسوی نیک[۱*]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۰۷/۲۸
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۰۲/۱۶

چکیده

مدیریت مصرف انواع کودهای شیمیایی از لحاظ تأثیرات زیست محیطی و عملکرد کمّی و کیفی گیاهان دارویی به ویژه در مناطق خشک و نیمه-خشک ایران حائز اهمیت می‌باشد. بدین منظور، در تحقیقی اثر سطوح مختلف کود گوگرد بر عملکرد کمّی و کیفی گیاه دارویی اسفرزه (*Plantago ovata* L.) در شرایط تنش خشکی در منطقه بلوچستان به اجرا درآمد. آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در سال زراعی ۸۹-۱۳۸۸ در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی بلوچستان واقع در شهرستان ایرانشهر انجام گردید. در این آزمایش رژیم‌های مختلف آبیاری شامل هشت، پنج و سه بار آبیاری در طول فصل رشد به عنوان تیمار اصلی و چهار سطح گوگرد شامل صفر، ۷۵، ۱۵۰ و ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار به عنوان فاکتور فرعی در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که دور آبیاری بر عملکرد دانه و بیولوژیکی معنی‌دار بود، به طوریکه بیشترین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی از تیمار هشت بار آبیاری در طول فصل رشد به دست آمد، همچنین این صفات تحت تأثیر سطوح مختلف کود گوگرد قرار گرفته و بالاترین میزان عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی اسفرزه از تیمار ۲۲۵ کیلوگرم گوگرد حاصل شد. بالاترین شاخص برداشت و بیشترین میزان وزن هزار دانه، تعداد دانه درهر سنبله و تعداد سنبله در بوته به ترتیب از تیمارهای هشت بار آبیاری و مصرف ۲۲۵ کیلوگرم گوگرد در هکتار حاصل شد. بیشترین ارتفاع بوته از تیمار هشت بار آبیاری و تیمار ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار حاصل شد که اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارها داشت. بیشترین درصد موسیلاژ و غلظت پرولین از تیمار سه بار آبیاری و بیشترین میزان عملکرد موسیلاژ و غلظت کربوهیدرات از تیمار هشت بار آبیاری در طول فصل رشد به دست آمد. در بین تیمارهای کود گوگرد نیز بالاترین مقدار تمامی این صفات از تیمار مصرف ۲۲۵ کیلوگرم کود گوگرد حاصل گردید. عملکرد دانه با تعداد سنبله در بوته، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیکی و عملکرد موسیلاژ همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت.

واژه‌های کلیدی: دور آبیاری، عملکرد، کود گوگرد، گیاه دارویی، موسیلاژ

مقدمه

تمایل به تولید گیاهان دارویی و معطّر و تقاضا برای محصولات طبیعی در جهان رو به افزایش است. طبق برآورد سازمان بهداشت جهانی[۲] (WHO) ۸۰ درصد مردم دنیا برای مراقبت‌های بهداشتی اولیه به طور سنتی به گیاهان دارویی و تولیدات طبیعی وابسته‌اند. اسفرزه یکی از گیاهان دارویی ارزشمند است که دانه‌های آن دارای موسیلاژ بالا می‌باشد. موسیلاژها آب‌دوست هستند و پس از جذب آب، مواد ژله مانند بی‌رنگی را تشکیل می‌دهند. اسفرزه (*Plantago ovata* L.) با جذب آب اضافی در روده بزرگ توسط موسیلاژ خود، عمل دفع نرمال را تحریک می‌کند. همچنین نتایج بعضی از تحقیقات حاکی از نقش آن در کاهش کلسترول خون می‌باشد (Omid Beygi, 1995).

با توجه به اهمیت گیاهان دارویی در تأمین سلامت جامعه و ایجاد تنوع کشت در سیستم‌های کشاورزی، تحقیق در ارتباط با شناسایی و معرفی گونه‌های قابل کشت از وظایف محققین به ویژه در مناطق دارای شرایط اقلیمی بحرانی می‌باشد که می‌تواند زمینه را برای تهیه داروهای گیاهی از مواد طبیعی و اولیه جهت ساخت دارو برای دست اندرکاران و علاقمندان این رشته فراهم آورد (Omid Beygi, 1995). علیرغم اهمیت و مزایای اسفرزه تحقیقات بسیار ناچیزی روی این محصول در ایران و سایر کشورهای دنیا خصوصاً در ارتباط با مصرف کودهای شیمیایی و مقاومت این گیاه در برابر تنش کم آبی صورت گرفته است و منابع علمی موجود در این زمینه نیز بسیار

۱- استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی دانشگاه زابل
(*- نویسنده مسئول: (E-mail: mohsen_372001@yahoo.com.au

2- World Health Organization

محدود است.

لباسچی و شریفی عاشورآبادی (Lebaschi & Asour Abadi, 2004) با بررسی اثر تیمارهای آبیاری ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی روی پسیلیوم (*Plantago psyllium* L.)، بومادران (*Achillea millefolium* L.)، مریم‌گلی (*Salvia officinalis* L.)، همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L.) و بابونه (*Matricaria chamomila* L.) بیان نمودند که با تشدید تنش خشکی، وزن اندام هوایی و ارتفاع بوته در تمام گیاهان مورد مطالعه کاهش پیدا کرد. پیرزاد و همکاران (Pirzad et al., 2004)، رژیم‌های آبیاری ۵۰، ۷۰، ۸۵ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی روی بابونه آلمانی را بررسی کرده و نتیجه گرفتند که بیشترین درصد اسانس، عملکرد گل خشک و عملکرد اسانس از تیمار ۸۵ درصد حاصل شد، ولی تفاوت معنی‌داری بین این تیمار و تیمار ۷۵ درصد وجود نداشت. حسنی و همکاران (Hasani et al., 2003) مشاهده کردند با کاهش مقدار آبیاری، ارتفاع بوته، قطر ساقه، سطح برگ، وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن تر و خشک ریشه و عملکرد گیاه ریحان (*Ocimum basilicum* L.) کاهش پیدا کرد. رژیم‌های مختلف آبیاری روی گیاه ریحان نشان داد که با افزایش فواصل بین نوبت‌های آبیاری، رشد گیاه کاهش می‌یابد. همچنین دور آبیاری، عملکرد اسانس و ترکیب اجزای تشکیل‌دهنده آن را تغییر داد، به طوریکه با طولانی‌تر شدن دور آبیاری، درصد اسانس افزایش و عملکرد اسانس کاهش پیدا کرد (Refaat & saleh, 1997). همچنین تنش خشکی باعث کاهش عملکرد کمّی در گیاه بادرشبو (*Dracocephalum moldavica* L.) (Safikhani et al., 2007)، کاهش رشد و اسانس گیاه نعناع (*Mentha piperita* L.) (Misra & Srivas Tava, 2000)، کاهش ماده خشک و افزایش درصد اسانس ریحان (Omid Beygi, 2003)، کاهش عملکرد و افزایش درصد و عملکرد اسانس بادرنجبویه (*Melissa officinalis* L.) (Ardakani et al., 2007) و زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) (Ahmadian et al., 2011) شده است.

مندال و همکاران (Mandal et al., 2003) نشان دادند کاربرد مقادیر مختلف کودهای شیمیایی تأثیر قابل توجهی روی رشد و عملکرد گیاه اسفرزه دارد. مطالعه‌ای روی اثر چهار سطح کود شیمیایی بر روی بارهنگ سرنیزه‌ای (*Plantago lanceolata* L.) طی سه سال متوالی نشان داد که تیمار عدم مصرف کود شیمیایی عملکرد بسیار کمتری نسبت به سایر تیمارها داشت (Kolodziej, 2006). نتایجی مشابه نیز توسط توسلی و همکاران (Tavassoli et al., 2010) روی گیاه بابونه گزارش شد.

با توجه به موقعیت ایران از نظر اقلیمی که در مناطق خشک و نیمه خشک قرار دارد و وجود بحران آب در این مناطق و انتخاب گیاهان سازگار به این شرایط از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. شناخت و توسعهٔ کشت گیاهانی که از ویژگی های مقاومت به خشکی و نیاز کودی پایین بهره‌مند هستند نیز از برنامه های اصولی و لازم در این مناطق می‌باشد. کشت اسفرزه می‌تواند راه گشایی در زمینهٔ تولید و تکثیر این گیاه کمیاب و باارزش باشد و به این وسیله موجب ترویج و گسترش آن در منطقه گردد، از طرفی چون بخش اعظمی از کشور ایران و بویژه استان سیستان و بلوچستان در منطقه اقلیمی با آب و هوای گرم و خشک قرار گرفته است بنابراین، تحقیق حاضر به منظور بررسی اثر کود سولفور بر عملکرد کمّی و کیفی گیاه دارویی اسفرزه در شرایط تنش خشکی در منطقه بلوچستان انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۸۹-۱۳۸۸در مزرعه تحقیقاتی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی بلوچستان، واقع در شهرستان ایرانشهر با طول جغرافیایی ۶۰ درجه و ۲۹ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی۲۷ درجه و ۱۱ دقیقه شمالی و ارتفاع ۵۲۴ متر از سطح دریا، اجرا شد. این شهر مطابق با اقلیم‌بندی کوپن دارای آب و هوای گرم و خشک می‌باشد. حداقل و حداکثر درجه حرارت آن ۳/۴- و ۴۴/۶+ و میانگین آن ۲۳/۷ درجه سانتی‌گراد و میانگین رطوبت آن ۲۴ درصد می‌باشد. خاک محل آزمایش لومی شنی با pH=۸/۳۸ و EC=۱/۷۵ دسی زیمنس بر متر می‌باشد. سایر خصوصیات شیمیایی خاک در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- ویژگی‌های خاک مکان آزمایش

Table 1- Soil characteristics of experimental site

هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC ($dS.m^{-1}$)	اسیدیته pH	نیتروژن (پی‌پی‌ام) N (ppm)	فسفر (پی‌پی‌ام) P (ppm)	پتاسیم (پی‌پی‌ام) K (ppm)	کلسیم (پی‌پی‌ام) Ca (ppm)	کربن (پی‌پی‌ام) C (ppm)	آهن (پی‌پی‌ام) Fe (ppm)	بر (پی‌پی‌ام) B (ppm)	روی (پی‌پی‌ام) Zn (ppm)
1.75	8.38	0.03	5.6	18	10	0.34	5.01	0.9	1.70

آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار اجرا شد، کرت‌های اصلی شامل دور آبیاری در سه سطح، I_1: هشت بار آبیاری در طول دوره رشد، I_2: پنج بار آبیاری در طول دوره رشد و I_3: سه بار آبیاری در طول دوره رشد به عنوان عامل اصلی و کرت‌های فرعی شامل مقادیر مختلف کود گوگرد در چهار سطح، S_1: صفر کیلوگرم در هکتار)، S_2: ۷۵ کیلوگرم در هکتار، S_3: ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار و S_4: ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار بود.تیمارها بصورت تصادفی در طرح قرار گرفتند. هر کرت آزمایشی دارای شش ردیف کاشت با فاصله ۳۰ سانتی‌متری به طول چهار متر بود. فاصله بین کرت‌های فرعی ۰/۵ متر فاصله بین کرت‌های اصلی دو متر بود. پس از کرت بندی زمین و قبل از کاشت مقدار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپر فسفات تریپل در موقع کاشت و ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره در هنگام کاشت به کرت‌های آزمایشی مربوطه اضافه شد و۵۰ کیلوگرم باقی مانده کود اوره به صورت کود سرک یک ماه بعد از کاشت به کرت‌های آزمایشی داده شد.کشت اسفرزه در نیمه مرداد ۱۳۸۹ انجام گردید. فاصله بوته‌ها از یکدیگر روی ردیف ۳۰ سانتی‌متر بود. بلافاصله پس از کاشت محصول، زمین آبیاری گردید. برای رسیدن به تراکم مورد نظر، تنک در دو مرحله چهار و هشت برگی انجام گردید. وجین نیز در سه مرحله ارتفاع شش، ۱۱ و ۲۴ سانتی‌متری انجام گردید. برداشت پس از رسیدگی فیزیولوژیکی در تاریخ ۲۰ آبان ماه انجام شد. نمونه‌برداری جهت تعیین عملکرد دانه با حذف اثر حاشیه، از چهار ردیف میانی هر کرت به مساحت یک متر مربع بوته‌ها کف بر و برداشت شدند. بعد از آن از بوته‌های برداشت شده ویژگی‌های ارتفاع بوته، طول سنبله اصلی، طول سنبله فرعی، تعداد سنبله در بوته، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیکی و عملکرد دانه اندازه‌گیری شد. شاخص برداشت محصول نیز با استفاده از رابطه (۱) محاسبه گردید:

$$\text{شاخص برداشت} = \frac{\text{عملکرد دانه}}{\text{عملکرد بیولوژیکی}} \times ۱۰۰ \qquad \text{رابطه (۱)}$$

در نهایت، دانه اسفرزه برای آسیاب کردن جهت تعیین عملکرد و درصد موسیلاژ، غلظت پرولین و کربوهیدرات به آزمایشگاه منتقل گردید.

به منظور تعیین درصد موسیلاژ از هر تیمار ۲ گرم بذر جدا و مقدار موسیلاژ با روش کالنیاسیوندران[1] (Asghari Pour & Rezvani Moghaddam , 2002) اندازه‌گیری شد. در این روش یک گرم بذر خشک با ۱۰ میلی‌لیتر اسید کلریدریک ۰/۱ نرمال در حال جوش تا تغییر رنگ پوسته بذر حرارت داده شد و محلول موسیلاژی حاصل جدا گردید. سپس بذور با پنج میلی‌لیتر آب جوش شستشو داده شد و محلول‌های حاصل به محلول موسیلاژی اضافه گردید. با افزودن ۶۰ میلی‌لیتر الکل اتیلیک۰/۹۶ درصد به محلول مذکور و قرار دادن آن به مدت پنج ساعت در یخچال رسوب موسیلاژ به دست آمد که پس از صاف کردن و قرار دادن آن در حرارت ۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۲ ساعت توزین شد و مقدار موسیلاژ بر حسب گرم در گرم بذر تعیین شد و به صورت صددرصد ثبت گردید (Patel & Patel , 1993). میزان کربوهیدرات‌های محلول گیاه با استفاده از روش فنل اسید سولفوریک اندازه گیری شد (Schlegel, 1956). در این روش به ۰/۱ گرم از ماده خشک گیاه ۰/۱ میلی‌لیتر اتانول ۷۰ درصد اضافه شد و به مدت یک هفته در یخچال نگهداری گردید تا قندها محلول آن جدا شود. پس از یک هفته از محلول رویی نمونه‌ها یک میلی‌لیتر برداشته و حجم آنها با آب مقطر به دو میلی‌لیتر رسانده شد. پس از اضافه کردن یک میلی‌لیتر فنل پنج درصد و پنج میلی‌لیتر اسید سولفوریک غلیظ میزان جذب به وسیله اسپکتروفتومتر Shimadzu-Uv-160A-Japan در طول موج ۴۸۵ نانومتر خوانده شد و در انتها میزان قند هر نمونه با استفاده از منحنی استاندارد گلوکز محاسبه شد. سنجش پرولین دانه نیز به کمک روش بیتز و همکاران (Bates et al., 1973) صورت گرفت. در این روش ۰/۵ گرم از بذور آسیاب شده با ۱۰ میلی‌لیتر محلول سه درصد اسید سولفوسالیسیلیک ساییده گردید. از مخلوط همگن حاصل پس از صاف کردن دو میلی-لیتر برداشت شد و پس از افزودن دو میلی‌لیتر معرف اسید نین هیدرین و دو میلی‌لیتر اسید استیک خالص در حمام بن ماری با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت یک ساعت قرار داده شد. سپس آنها را در حمام آب یخ گذاشته و پس از اضافه کردن چهار میلی‌لیتر تولوئن مقدار جذب در طول موج ۵۲۰ نانومتر خوانده شد و مقدار پرولین با استفاده از منحنی استاندارد، به دست آمد.

در نهایت، داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS 9.1 و MSTAT-C تجزیه و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت. به منظور تعیین ضرایب همبستگی بین صفات مربوط به عملکرد و اجزای عملکرد گیاه اسفرزه تحت تأثیر تنش خشکی و گوگرد، همبستگی ساده بین این صفات با استفاده از نرم افزار SAS 9.1 محاسبه گردید.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

اثر دفعات آبیاری بر ارتفاع بوته معنی‌دار بود (جدول ۲). کاهش دفعات آبیاری سبب القای تنش بیشتر و کاهش ارتفاع بوته شد، به طوریکه بیشترین ارتفاع از دفعات آبیاری هشت مرتبه (۳۲/۲۴ سانتی-متر) به دست آمد، ولی کاهش دفعات آبیاری به پنج و سه مرتبه سبب کاهش قابل توجهی در ارتفاع گیاه شد و کمترین ارتفاع از تیمار سه مرتبه آبیاری (۲۲/۲۳ سانتی‌متر) به دست آمد (جدول ۳). تنش آب

1- Kalnyasundaran

اثرات فیزیولوژیکی متعددی را روی گیاهان نظیر کاهش میزان فتوسنتز از طریق بستن روزنه‌ها، کوچک شدن سلول‌ها و فضای بین سلولی و کاهش تقسیم سلول و در نتیجه کاهش رشد و کاهش ارتفاع گیاه دارد (Ghoulam et al., 2002) از طرفی افزایش فواصل آبیاری و تنش ناشی از آن موجب کاهش پتانسیل آب بافت‌های مریستمی در طول روز شده که موجب نقصان پتانسیل فشاری به حدی کمتر از میزان لازم برای بزرگ شدن سلول‌ها می‌گردد و سبب کاهش ارتفاع گیاه خواهد شد (Ghoulam et al., 2002). اکبری نیا و همکاران (Akbari Nia et al., 2005) گزارش کردند که بوته‌های سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) که در شش روز یکبار آبیاری می‌شوند، بالاترین ارتفاع بوته و عملکرد دانه را از خود نشان دادند.

اثر کود گوگرد نیز بر ارتفاع بوته معنی‌دار شد (جدول ۲). با افزایش مصرف مقدار گوگرد ارتفاع گیاه اسفرزه نیز افزایش یافت، به طوریکه بیشترین ارتفاع اسفرزه از مصرف ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار (۳۴/۱۸ سانتی‌متر) به دست آمد، اما تفاوت معنی‌داری بین این تیمار با تیمار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار (۳۳/۴۲ سانتی متر) مشاهده نشد. کمترین ارتفاع بوته در تیمار شاهد عدم مصرف گوگرد (۱۹/۰۱ سانتی‌متر) به دست آمد (جدول ۳). گوگرد یکی از عناصر ضروری برای رشد گیاهان محسوب شده و کمبود آن، سبب کاهش تولید کلروفیل در سلول‌های برگ شده که نتیجه آن کاهش رشد گیاه می‌باشد (Ghasemian , 2000).

تعداد سنبله در بوته

تعداد سنبله در بوته تحت تأثیر دفعات آبیاری قرار گرفت (جدول ۲). کاهش دفعات آبیاری سبب کاهش تعداد سنبله اسفرزه شد که می‌تواند به دلیل اثرات سوء ایجاد شده بر رشد اسفرزه در اثر تنش ناشی از کاهش دفعات آبیاری بوده باشد. بیشترین تعداد سنبله در بوته از هشت مرتبه آبیاری (۹/۰۰) و کمترین تعداد آن از سه مرتبه آبیاری (۶/۲۳) به دست آمد (جدول ۳).

اکبری‌نیا و همکاران (Akbari Nia et al., 2005) نتیجه گرفتند که کاهش دور آبیاری باعث افزایش تعداد کپسول در بوته سیاه‌دانه می‌شود و بیشترین عملکرد دانه در تیمار آبیاری به فاصله یک هفته به دست آمده است. امین‌پور و موسوی (Amin Pour & Mousavi, 1995) نیز اثرات تعداد دفعات آبیاری بر مراحل نمو و عملکرد زیره‌سبز (*Cuminum cyminum* L.) را مطالعه کردند و با اعمال چهار تیمار یکبار، دو بار، سه بار و چهار بار آبیاری بعد از کاشت اظهار داشتند که با افزایش فواصل آبیاری اثر معنی‌داری بر عملکرد و تعداد چتر در بوته داشته است.

اثر مصرف گوگرد نیز بر تعداد سنبله در بوته معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین تعداد سنبله در بوته از مصرف ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار به دست آمد، اما تفاوت معنی‌داری بین این تیمار با تیمار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار مشاهده نشد. کمترین تعداد سنبله در بوته نیز از تیمار شاهد (عدم مصرف گوگرد) به دست آمد (جدول ۳).

تعداد دانه در سنبله

تعداد دانه در سنبله تحت تأثیر دفعات آبیاری معنی‌دار بود (جدول ۲). کاهش دفعات آبیاری و تنش ناشی از آن سبب کاهش تعداد دانه در سنبله شد. بیشترین تعداد سنبله در بوته از هشت بار آبیاری و کمترین تعداد آن از سه مرتبه آبیاری به دست آمد کاهش دفعات آبیاری سبب کاهش چشمگیر درصد تعداد دانه در سنبله در هشت مرتبه آبیاری به سه مرتبه آبیاری در طول دوره رشد گیاه شد (جدول ۳). یاداو و باتاگار (Yadav & Bhathagr, 2001) دریافتند که تنش خشکی عملکرد دانه ارزن مرواریدی (*pennisetum glaucum* L.) را کاهش می‌دهد. این کاهش عملکرد از طریق کاهش سه جزء مهم عملکرد یعنی تعداد پنجه در متر مربع، وزن دانه و تعداد دانه در خوشه بود. نتایج تحقیقات نجفی و رضوانی مقدم (Nadjafi & Rezvai Moghaddam, 2002) نشان داد که بیشترین عملکرد اسفرزه با دور آبیاری هفت روز به دست آمد.

اثر مصرف کود گوگرد نیز بر تعداد دانه در سنبله معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین تعداد دانه در سنبله از مصرف ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار (۱۷/۲۵ دانه در سنبله) و کمترین میزان آن از تیمار شاهد (عدم مصرف کود گوگرد با ۹/۸۱ دانه در سنبله) به دست آمد (جدول ۳).

در بسیاری از مطالعات گلخانه‌ای و مزرعه‌ای تأکید شده است که اثر کمبود گوگرد ابتدا بر روی تعداد دانه در سنبله است. تاتاری (Tatari, 2004) نیز نتایج مشابهی با این آزمایش گزارش کرد. بر همکنش دفعات آبیاری و مصرف کود گوگرد بر تعداد دانه در سنبله معنی‌دار نشد (جدول ۲).

وزن هزار دانه

تأثیر دفعات آبیاری بر وزن هزار دانه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها (جدول ۳) نشان داد که کاهش دفعات آبیاری سبب کاهش وزن هزار دانه شد که می‌تواند به دلیل کاهش فتوسنتز، کاهش رشد و سایر عوامل بازدارنده در اثر ایجاد تنش ناشی از کاهش دفعات آبیاری بوده باشد. بیشترین وزن هزار دانه از هشت بار آبیاری در طول فصل رشد (۱/۵۴ گرم) به دست آمد و کمترین آن از سه مرتبه آبیاری در طول فصل رشد (۱/۴۷ گرم) حاصل شد، اما تفاوت معنی‌داری بین این با تیمار پنج بار آبیاری در طول فصل رشد وجود نداشت (جدول ۳). در شرایط تنش رطوبتی

شدید، میزان ماده خشک انتقال یافته به دانه‌ها کاهش می‌یابد که این امر ناشی از کاهش میزان تولید و تجمع ماده خشک می‌باشد که این نتایج با نتایج تحقیق کاظمی (Kazemi, 2001) که نشان دادند تنش کم آبی بر عملکرد بذر، وزن هزار دانه، تعداد چتر در بوته زیره‌سبز معنی‌دار است و برای حصول حداکثر عملکرد دانه بایستی رطوبت کافی در اختیار گیاه باشد، مطابقت دارد.

تأثیر سطوح مختلف کود گوگرد بر وزن هزار دانه معنی‌دار نشد (جدول ۲). با این وجود مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین وزن هزار دانه از مصرف ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار کود گوگرد (۱/۶۰ گرم) به دست آمد و کمترین مقدار آن از تیمار عدم مصرف کود گوگرد حاصل شد (۱/۵۶ گرم) (جدول ۳). در مطالعه‌ای افزایش وزن هزار دانه آفتابگردان (*Helianthus annus* L.) در بالاترین سطح گوگرد به کار رفته نسبت به تیمار شاهد (بدون کود) معنی‌دار بود. کمبود گوگرد با تأثیر بر شکوفایی تعداد گل در گیاه اسفرزه، باعث کاهش تعداد دانه در طبق می شود (Hocking et al., 1987).

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برخی از صفات مرفولوژیکی و اجزای عملکرد اسفرزه

Table 2- Analysis variance (means of squares) of some morphological traits and yield components in psyllium

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی df	ارتفاع بوته Plant height	تعداد سنبله در بوته Spike number per plant	تعداد دانه در سنبله Seed number per spike	وزن هزار دانه (گرم) 1000- seed weight (g)
تکرار Replication	3	0.0016 ns	172.51 ns	3.72 ns	2.002 ns
تیمار آبیاری Irrigation (I)	2	0.0598**	16514.7**	461.72**	09.18*
اشتباه اصلی Main error	6	0.0019	142.09	2.1	2.15
کود گوگرد Sulphur fertilizer (S)	3	0.098**	2110.34**	15.49*	0.06 ns
آبیاری × کود گوگرد I × S	6	0.0005 ns	233.49 ns	3.18 ns	5.04 ns
اشتباه فرعی Sub error	27	0.0003	49.80	2.79	4.39
کل Total	47	–	–	–	–
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		3.23	6.53	7.03	23.6

*، ** و ns، به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و غیرمعنی‌دار می‌باشد.

*, ** and ns are significant at 5 and 1 % probability levels and non- significant, respectively.

جدول ۳- مقایسه میانگین ارتفاع گیاه و اجزای عملکرد اسفرزه

Table 3- Mean comparisons of plant height and yield components in psyllium

تیمارها Treatments	ارتفاع گیاه (سانتی‌متر) Plant height (cm)	تعداد سنبله در بوته Spike number per plant	تعداد دانه در سنبله Seed number per spike	وزن هزار دانه (گرم) 1000- seed weight (g)
آبیاری (نوبت) Irrigation (Time)				
8	32.24 a*	9.00 a	16.00 a	1.54 a
5	25.12 b	8.02 b	12.10 b	1.49 b
3	22.23 c	6.23 c	8.11 c	1.47 b
سطح گوگرد (کیلوگرم در هکتار) Sulphur level (kg.ha^{-1})				
0	19.01 c	6.65 c	9.81 c	1.56 a
75	24.51 b	7.09 b	12.29 b	1.59 a
150	33.42 a	7.90 a	15.97 a	1.59 a
225	34.18 a	8.02 a	17.25 a	1.60 a

* حروف مشابه در ستون نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد براساس آزمون دانکن است.

* Means with the same letter(s) in each column have not significant difference at 5% probability level based on Duncan's test.

عملکرد بیولوژیکی

تأثیر دفعات آبیاری بر عملکرد بیولوژیکی معنی‌دار شد (جدول ۴). کاهش دفعات آبیاری و تنش رطوبتی باعث کاهش معنی‌دار عملکرد بیولوژیکی در مقایسه با شاهد گردید. مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین عملکرد بیولوژیکی مربوط به تیمار هشت مرتبه آبیاری در طول فصل رشد با مقدار ۳۱/۱۱ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۵). افزایش عملکرد بیولوژیکی می‌تواند ناشی از افزایش شاخص سطح برگ و در نتیجه افزایش سرعت رشد محصول باشد. کاهش فواصل آبیاری از طریق بهبود شاخص‌های فیزیولوژیکی مذکور موجب افزایش تجمع ماده خشک در اندام‌های رویشی و عملکرد بیولوژیکی گردید. از طرفی، ممکن است که دلیل کاهش عملکرد بیولوژیکی اختصاص شیره پرورده به مکانیزم‌های دفاعی گیاه در برابر کم آبی باشد (Patel et al., 1996). پاتل و همکاران (Patel et al., 1996) دریافتند که گیاه اسفرزه با هشت نوبت آبیاری بالاترین عملکرد بذر و کاه و کلش را تولید نمود. با کاهش دفعات آبیاری از عملکرد بیولوژیکی کاسته شد، به طوریکه در تیمار سه مرتبه آبیاری در طول فصل رشد به کمترین میزان خود (۲۲/۸۶ کیلوگرم در هکتار) رسید (جدول ۵).

اثر سطوح مختلف کود گوگرد نیز بر عملکرد بیولوژیکی اسفرزه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول۶). بیشترین عملکرد بیولوژیکی از مصرف ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار کود گوگرد (۱۶/۱۱ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد و کمترین مقدار آن از تیمار عدم مصرف کود گوگرد حاصل شد (۱۷/۸۹ کیلوگرم در هکتار) (جدول ۵). تحقیقات نشان داده است که در اثر کمبود گوگرد فتوسنتز شدیداً کاهش می‌یابد و موجب جلوگیری از طویل شدن ریشه‌ها، افزایش قطر ریشه‌های انتهایی و ریشه‌های موئین می‌گردد، که نتیجه نهایی آن کاهش رشد زایشی و رویشی و در نهایت کاهش عملکرد اقتصادی و بیولوژیکی گیاه است (Piri et al., 2011 a,b). در آزمایشی با کاربرد ۶۰ کیلوگرم در هکتار کود گوگرد، بالاترین عملکرد ماده خشک و تر در ذرت (*Zea mays* L.) به دست آمد (Khan et al., 2006). پونیا (Poonia, 2000) با کاربرد ۲۵ کیلوگرم در هکتار گوگرد، افزایش معنی‌داری را در ماده خشک گیاه ارزن مشاهده نمود.

بر همکنش دفعات آبیاری و مصرف کود گوگرد نیز بر عملکرد بیولوژیکی اسفرزه معنی‌دار شد (جدول ۵)، به طوریکه بیشترین عملکرد بیولوژیکی اسفرزه از تیمار هشت بار آبیاری در طول فصل رشد همراه با مصرف ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار کود گوگرد به دست آمد و کمترین میزان آن نیز از تیمار سه بار آبیاری و عدم مصرف کود حاصل شد (جدول ۶).

دلیل افزایش عملکرد بیولوژیکی در تیمار هشت بار آبیاری در طول فصل رشدهمراه با مصرف ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار کود گوگرد بهبود وضعیت رطوبتی خاک است که تا حدودی از ایجاد خشکی فیزیولوژیکی جلوگیری کرده و سبب افزایش ماده‌سازی و بهبود پتانسیل آب در گیاه و همچنین رشد رویشی شده است که در نتیجه آن عملکرد بیولوژیکی افزایش یافته است و همچنین مصرف کود گوگرد باعث افزایش سطوح سبزگیاه، افزایش فتوسنتز و در نهایت باعث افزایش رشد رویشی و افزایش وزن خشک گیاه و عملکرد بیولوژیکی می‌گردد (Piri et al., 2011 a,b).

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر دفعات آبیاری بر عملکرد دانه از لحاظ آماری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد که بیشترین مقدار عملکرد دانه در تیمار هشت بار آبیاری در طول فصل رشد و به میزان ۱۲/۳ کیلوگرم در هکتار حاصل شد. با کاهش دفعات آبیاری از عملکرد دانه کاسته شده، و در تیمار سه مرتبه آبیاری به کمترین میزان (۵۰/۲ کیلوگرم در هکتار) رسید که اختلاف معنی‌داری از نظر آماری با سایر تیمارهای آبیاری داشت (جدول ۵). علت بالاتر بودن عملکرد دانه در تیمار هشت مرتبه آبیاری در طول فصل رشد را می‌توان به اثرات مثبت میزان آب قابل دسترس بر رشد رویشی و زایشی گیاه و قابلیت جذب بالای عناصر غذایی نسبت داد. به نظر می‌رسد که در تیمار سه بار آبیاری در طول فصل رشد، تجمع املاح در محیط ریشه، باعث کاهش پتانسیل اسمزی محیط ریشه و بروز سمیت ویژه یونی و کمبود یون‌های غذایی می‌شود (Ghoulam et al., 2002). گیاه جهت مقابله با اثرات کم آبی بخشی از مواد پرورده را به ریشه جهت توسعه سیستم ریشه منتقل نموده و در نتیجه سهم اختصاص یافته به تولید دانه کاسته می‌شود. نتایج تحقیقات نجفی و رضوانی مقدم (Nadjafi & Rezvai Moghdam, 2002) نشان داد افزایش تعداد دفعات آبیاری منجر به بهبود رشد رویشی گیاه اسفرزه شده که در نتیجه افزایش تولید مواد فتوسنتزی و افزایش عملکرد اقتصادی را باعث می‌گردد. پاتل و همکاران (Patel et al., 1996) گزارش کردند که گیاه اسفرزه با هشت نوبت آبیاری بالاترین عملکرد بذر را تولید می‌نماید.

مصرف سطوح مختلف کود گوگرد نیز بر عملکرد دانه اسفرزه معنی‌دار بود (جدول ۴). بیشترین عملکرد دانه از مصرف ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار (۴۲/۳ سانتی‌متر) به دست آمد، اما تفاوت معنی‌داری بین این تیمار با تیمار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار (۱۶/۳ سانتی‌متر) مشاهده نشد. کمترین عملکرد دانه نیز در تیمار شاهد یا عدم مصرف گوگرد (۱۹/۲ سانتی‌متر) مشاهده شد (جدول ۵). وجود گوگرد در گیاه باعث

افزایش فتوسنتز و از این طریق باعث افزایش کربوهیدرات‌ها و مواد پروتئینی می‌شود و از آنجایی که در نهایت ذخیره این مواد در دانه صورت می‌گیرد می‌توان اظهار داشت که مصرف کود گوگرد باعث افزایش عملکرد دانه شود (Sangale et al., 1998).

بر همکنش دفعات آبیاری و مصرف کود گوگرد بر عملکرد دانه اسفرزه معنی‌دار شد (جدول ۴)، به طوریکه بیشترین عملکرد دانه اسفرزه از تیمار هشت بار آبیاری در طول فصل رشد همراه با مصرف ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار کود گوگرد به دست آمد و کمترین مقدار آن نیز از تیمار سه بار آبیاری و عدم مصرف کود به دست آمد (جدول ۶).

شاخص برداشت اسفرزه

اثر دفعات آبیاری و سطوح مختلف کود گوگرد بر شاخص برداشت معنی‌دار بود اما بر همکنش دور آبیاری و محلول پاشی بر شاخص برداشت اسفرزه معنی‌دار نشد (جدول ۴). کاهش دفعات آبیاری سبب کاهش شاخص برداشت شد، به طوریکه بالاترین مقدار شاخص برداشت از هشت بار آبیاری در طول فصل رشد به دست آمد (جدول ۵). کاهش شاخص برداشت اسفرزه در اثر کاهش دفعات آبیاری ممکن است به دلیل اثر تنش ناشی از تاخیر در آبیاری بر عملکرد دانه باشد. دلیل این مساله را می‌توان با توجه به آنچه از تجزیه و آنالیز داده‌های مربوط به عملکرد بیولوژیکی و دانه به دست آمد، مشخص کرد. با توجه به آنکه مقدار شاخص برداشت در واقع تناسبی میان عملکرد دانه به عملکرد بیولوژیکی است، به نظر می‌رسد از آنجایی که مقدار این دو پارامتر تحت تأثیر دفعات آبیاری قرار گرفته‌اند، شاخص برداشت گیاه را نیز تحت تأثیر قرار داده‌اند. پاندی و همکاران (Pandey et al., 2010) دلیل کاهش شاخص برداشت در شرایط تنش شدید خشکی را حساسیت بیشتر رشد زایشی نسبت به شرایط نامطلوب در مقایسه با رشد رویشی تشخیص دادند. این کاهش شاخص برداشت بر اثر کاهش تخصیص مواد پرورده به دانه در داخل خوشه ایجاد شده است.

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بالاترین مقدار شاخص برداشت از تیمار مصرف ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار کود گوگرد حاصل شد و کمترین میزان آن از تیمار شاهد (عدم مصرف کود گوگرد) به دست آمد (جدول ۵). به طور کلی، شاخص برداشت متأثر از عوامل مختلفی از قبیل مقدار آب، کود، تراکم و تاریخ کاشت می‌باشد، که عوامل فوق می‌توانند باعث تغییر یا نوسان در مقدار یا هر دو اجزای تشکیل شاخص برداشت یعنی عملکرد دانه و ماده خشک کل شود.

جدول ٤- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) عملکرد و شاخص برداشت اسفرزه تحت تأثیر تنش خشکی و سطوح گوگرد

Table 4- Analysis variance (means of squares) of yield and harvest index in psyllium affected by drought stress and sulphur levels

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی df	عملکرد بیولوژیکی Biological yield	عملکرد دانه Seed yield	شاخص برداشت (درصد) Harvest index (%)
تکرار Replication	3	33.33 ns	798.26 ns	132.01 ns
تیمار آبیاری Irrigation (I)	2	11336**	102670.7**	5943.03**
اشتباه اصلی Main error	6	42.36	20143.71	178.83
کود گوگرد Sulphur fertilizer (S)	3	578.48**	54060.1**	2932.22**
آبیاری × کود گوگرد I × S	6	163.52 **	3914.42**	71.16 ns
اشتباه فرعی Sub error	27	117.86	879.9	89.84
کل Total	47	-	-	-
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	47	7.8	3.9	5.93

*، ** و ns، به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و غیرمعنی‌دار می‌باشد.

*, ** and ns are significant at 5 and 1 % probability levels and non- significant, respectively.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثرات ساده تنش خشکی و سطوح گوگرد برعملکرد و شاخص برداشت اسفرزه

Table 5- Means comparisons of simple effects of drought stress and sulphur level yield and biological yield in psyllium

شاخص برداشت (درصد) Harvest index (%)	عملکرد دانه (کیلوگرم درهکتار) ($kg.ha^{-1}$) Seed yield	عملکرد بیولوژیکی (کیلوگرم درهکتار) ($kg.ha^{-1}$) Biological yield	تیمارها Treatments
	آبیاری (نوبت) Irrigation (time)		
26.81 a	300.12 a	1119.31 a*	8
23.33 b	233.06 b	998.64 b	5
23.31 b	191.50 c	861.22 c	3
	سطح گوگرد (کیلوگرم در هکتار) Sulphur level ($kg.ha^{-1}$)		
22.35 b	199.19 c	891.17 c	0
22.49 b	221.65 b	985.32 b	75
24.61 a	276.16 a	1121.91 a	150
24.77 a	282.42 a	1140.16 a	225

* حروف مشابه در ستون نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون دانکن است.

* Means with the same letter(s) in each column have not significant difference at 5% probability level based on Duncan's test.

جدول ٦- مقایسه میانگین اثرات متقابل تنش خشکی و سطوح گوگرد برعملکرد بیولوژیکی و عملکرد دانه اسفرزه

Table 6- Means comparisons of interaction between drought stress and sulphur level on biological and seed yields in psyllium

عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Seed yield ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد بیولوژیکی (کیلوگرم در هکتار) Biological yield ($kg.ha^{-1}$)	تیمار Treatment
4.217 bc	6.1003 ab*	I_1S_1
3.263 ab	0.993 ab	I_1S_2
7.289 a	3.1032 a	I_1S_3
8.291 a	1.1127 a	I_1S_4
6.217 bc	9.993 ab	I_2S_1
5.229 b	7.987 ab	I_2S_2
9.254 ab	0.1054 a	I_2S_3
4.247 b	2.1030 a	I_2S_4
2.194 c	6.877 b	I_3S_1
3.216 bc	4.912 b	I_3S_2
6.239 b	4.963 ab	I_3S_3
7.203 c	8.1070 a	I_3S_4

I_1، I_2 و I_3: به ترتیب نشاندهنده هشت، پنج و سه نوبت آبیاری در طول دوره رشد و S_1، S_2، S_3 و S_4: به ترتیب نشاندهنده صفر، ۷۵، ۱۵۰ و ۲۲۵ کیلوگرم گوگرد در هکتار هستند.

I_1 ،I_2 and I_3 are: 8, 5 and 3 times irrigation during growing season and S_1 ،S_2 ،S_3 and S_4: are 0, 75, 150 and 225 kg sulphur per ha, respectively.

* حروف مشابه در ستون نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد براساس آزمون دانکن است.

* Means with the same letter(s) in each column have not significant difference at 5% probability level based on Duncan's test.

غلظت گوگرد در دانه

تأثیر دفعات آبیاری بر غلظت گوگرد دانه اسفرزه معنی‌دار نشد (جدول ۷). با این وجود مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین غلظت گوگرد در تیمار هشت بار آبیاری در طول فصل رشد (۱/۲۲ppm) و کمترین میزان آن از تیمار سه بار آبیاری در طول دوره رشد (۷/۲۱۹ppm) به دست آمد، اما در مجموع اختلاف معنی‌داری از لحاظ آماری بین تیمارهای مختلف مشاهده نشد (جدول ۸).

تأثیر سطوح مختلف تیمارهای کود گوگردی بر غلظت گوگرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۷). مصرف کود گوگرد باعث افزایش معنی‌دار غلظت این عنصر نسبت به تیمار شاهد گردید، به طوریکه بیشترین غلظت گوگرد از مصرف ۲۲۵ کیلوگرم کود گوگرد در هکتار به دست آمد و با سایر تیمارهای مصرف کود گوگرد تفاوت معنی‌داری نداشت. کمترین غلظت گوگرد دانه نیز از تیمار شاهد (عدم مصرف گوگرد) بدست آمد (جدول ۸). این موضوع حاکی از کمبود این عنصر در خاک

مزرعه می‌باشد.

درصد موسیلاژ

درصد موسیلاژ تحت تأثیر دفعات آبیاری معنی‌دار شد (جدول ۷). نتایج مقایسه میانگین‌ها (جدول ۸) نشان داد که افزایش فواصل آبیاری سبب افزایش درصد موسیلاژ شد، به گونه‌ای که کمترین درصد موسیلاژ در تیمار هشت بار آبیاری در طول فصل رشد (۶۷.۱۱ درصد) و به تدریج با افزایش فاصله آبیاری درصد آن به طوری معنی-داری افزایش یافت که بیشترین درصد موسیلاژ در تیمار سه بار آبیاری (۷/۱۶ درصد) به دست آمد (جدول ۸). افزایش فواصل آبیاری سبب القای تنش خشکی به گیاه شده که موجب افزایش غلظت و درصد موسیلاژ خواهد شد. امیدبیگی و همکاران (Omidbaigi et al., 2003) گزارش داد عملکرد اسانس ریحان با کاهش رطوبت خاک کاهش می‌یابد، ولی درصد اسانس آن افزایش پیدا می‌کند. اردکانی و همکاران (Ardakani et al., 2007) مشاهده کردند بیشترین عملکرد اندام هوایی، ارتفاع، طول برگ و عرض برگ در گیاه بادرنجبویه از تیمار بدون تنش حاصل شد، ولی بیشترین عملکرد اسانس از تیمار ۶۰ درصد ظرفیت زراعی و بیشترین درصد اسانس از تیمار ۲۰ درصد ظرفیت زراعی به دست آمد. رژیم‌های مختلف آبیاری روی گیاه ریحان نشان داد که با افزایش فواصل بین نوبت‌های آبیاری، رشد گیاه کاهش می‌یابد. همچنین دور آبیاری، عملکرد اسانس و ترکیب اجزای تشکیل دهنده آن را تغییر داد، به طوریکه با طولانی‌تر شدن دور آبیاری، درصد اسانس افزایش یافت، ولی عملکرد اسانس کاهش پیدا کرد (Refaat & Saleh, 1997).

درصد موسیلاژ تحت تأثیر سطوح مختلف کود گوگرد قرار گرفت و در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۷). مصرف ۲۲۵ کیلوگرم کود گوگرد سبب به دست آمدن بیشترین درصد موسیلاژ (۱۵/۰۹ درصد) شد و کمترین میزان آن برای تیمار عدم مصرف کود گوگرد (۹/۴۱ درصد) به دست آمد. مصرف ۲۲۵ کیلوگرم کود گوگرد سبب افزایش ۶۱ درصدی درصد موسیلاژ نسبت به تیمار عدم مصرف کود گوگرد (شاهد) شد و اختلاف معنی‌داری با این تیمار داشت (جدول ۸). مواد مؤثره اگرچه اساساً با هدایت فرآیندهای ژنتیکی ساخته می‌شوند، اما سنتز آنها به طور بارزی تحت تأثیر عوامل محیطی قرار می‌گیرد، به طوریکه عوامل محیطی سبب تغییراتی در رشد و نمو گیاهان دارویی و نیز کمّیت و کیفیت مواد مؤثره آنها می-شود (Omidbaigi, 1995).

عملکرد موسیلاژ

عملکرد موسیلاژ تحت تأثیر دور آبیاری قرار گرفت (جدول ۷). با افزایش فواصل آبیاری و توأم با افزایش شدت تنش کم آبی از میزان عملکرد موسیلاژ کاسته شد. بیشترین میزان عملکرد موسیلاژ در تیمار هشت بار آبیاری (۵/۸۵ کیلوگرم در هکتار) و کمترین میزان آن نیز در تیمار سه بار آبیاری (۱۲/۳کیلوگرم در هکتار) به دست آمد (جدول ۸). این کاهش می‌تواند احتمالاً به دلیل تجمع املاح نمک در اثر آبیاری دیر هنگام باشد که سبب اختلال در جذب و انتقال عناصر غذایی به اندام‌های هوایی و در نهایت کاهش سنتز اسانس در گیاه می‌شود (Ahmadian et al., 2011).

اثر سطوح مختلف کودهای گوگرد نیز بر میزان عملکرد موسیلاژ در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۷). مصرف ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد موسیلاژ (۹۱/۵ کیلوگرم در هکتار) را تولید کرد. کاربرد ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار سبب افزایش عملکرد موسیلاژ به میزان ۱/۰۳ کیلوگرم نسبت به تیمار عدم مصرف کود گوگرد (شاهد) شد، ولی اختلاف معنی‌داری با تیمار ۱۷۵ کیلوگرم در هکتار نداشت. کمترین میزان عملکرد موسیلاژ در تیمار عدم مصرف کود گوگرد (۳/۸۸کیلوگرم در هکتار) بدست آمد (جدول ۸). ایوانس (Evans, 1996) گزارش کرده است که در گیاه نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) با کاربرد کودهای شیمیایی، تعداد غدد ترشح کننده اسانس بیشتر می‌شود و به تبع آن، میزان موسیلاژ در گیاه نیز افزایش می‌یابد.

غلظت پرولین در دانه

غلظت پرولین دانه تحت تأثیر دور آبیاری قرار گرفت (جدول ۷). با افزایش شدت تنش (از هشت دور آبیاری به سه دور آبیاری در طول فصل رشد)، غلظت پرولین گیاه ۶۲ درصد افزایش یافت (جدول ۸). بر اساس نتایج تحقیقات هیوئر (Heuer, 1994) در طی بروز تنش خشکی بر میزان تجمع ترکیبات آلی همانند پرولین درتمام اندام‌های گیاهان افزوده می‌شود. بر اساس نظر گوود و زاپلاچینیسکی (Good & Zaplachiniski, 1994) تجمع ترکیباتی همانند پرولین و اسیدهای آمینه در بافت سبز گیاه کلزا (*Brassica napus* L.) تحت تنش خشکی می‌تواند تا حدی شرایط لازم برای ادامه جذب آب از محیط ریشه را برای گیاه فراهم آورد، اما اتکای گیاهان به این ترکیبات آلی برای تنظیم اسمزی هزینه‌بر بوده و گیاه این هزینه را از طریق کاهش عملکرد جبران می‌کند. افزایش پرولین تحت شرایط تنش خشکی توسط غولام و همکاران (Ghoulam et al., 2002)، اسلاما و همکاران (Slama et al., 2006) و اشرف و فولاد (Ashraf & Foolad, 2007) نیز گزارش شده است.

در بین تیمارهای سطوح مختلف کود گوگرد نیز بالاترین غلظت پرولین گیاه از مصرف ۲۲۵ کیلوگرم کود گوگرد در هکتار بدست آمد اما تفاوت معنی‌داری با تیمار ۱۷۵ کیلوگرم کود گوگرد وجود نداشت. کمترین میزان غلظت پرولین نیز برای تیمار عدم مصرف کود گوگرد

حاصل شد (جدول ۸).

غلظت کربوهیدارت دانه

غلظت کربوهیدرات دانه تحت تأثیر دور آبیاری قرار گرفت (جدول ۷). برخلاف غلظت پرولین گیاه با افزایش سطح تنش خشکی از میزان کربوهیدرات گیاه بطور معنی‌داری کاسته شد، به طوریکه تنش شدید (سه بار آبیاری در طول فصل رشد) کمترین غلظت کربوهیدرات (۱۱/۷ میکروگرم گلوکز در گرم وزن تر) را به خود اختصاص داده بود (جدول ۸). از آنجا که آبیاری مطلوب باعث بهبود رشد رویشی گیاه خصوصاً بافت‌های فتوسنتزی شده است، بنابراین می‌توان یکی از عوامل افزایش غلظت کربوهیدرات را به این موضوع مرتبط دانست.

مصرف سطوح مختلف کود گوگرد در این آزمایش باعث افزایش غلظت کربوهیدرات دانه اسفرزه نسبت به تیمار شاهد گردید (جدول ۷). با توجه به اثر مثبت کود گوگرد بر افزایش رشد رویشی خصوصاً بافت‌های فتوسنتزی گیاه می‌توان افزایش غلظت کربوهیدرات را به این عامل نسبت داد. این موضوع با نتیجه سایر محققین مطابقت دارد (Serraj & Sinclair, 2002; Loggoini et al., 1999).

جدول ۷- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر تنش خشکی و سطوح گوگرد بر صفات کیفی اسفرزه

Table 7- Analysis variance (means of squares) of effects of drought stress and sulphur levels of qualitative characteristics in psyllium

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی df	محتوی گوگرد دانه Sulphur content of seed	درصد موسیلاژ Mucilage percent	عملکرد موسیلاژ Mucilage yield	محتوی پرولین Prolin content	محتوی کربوهیدرات Carbohydrate content
تکرار Replication	3	0.0032 ^{ns}	12523.16 ^{ns}	0.049^{ns}	159.51 ^{ns}	3.73 ^{ns}
تیمار آبیاری Irrigation (I)	2	0.0597**	397064.63**	39.72**	16619.7**	378.72**
اشتباه اصلی Main error	6	0.0019	5320.24	0.29	119/09	2.1
کود گوگرد Sulphur fertilizer (S)	3	0.01150**	252800.99**	3**	2211.34**	21.49*
آبیاری × کود گوگرد I × S	6	0.0002^{ns}	1364.39*	0.05 ^{ns}	196.49*	1.19 ^{ns}
اشتباه فرعی Sub error	27	0.0003	4181.62	0.19	58.80	4.96
کل Total	47	-	-	-	-	-
ضریب تغییرات (%) CV (%)		17.4	21.5	52.6	55.6	13.9

*، ** و ns، به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و غیرمعنی‌دار می‌باشد.

*, ** and ns are significant at 5 and 1 % probability levels and non- significant, respectively.

جدول ۸- مقایسه میانگین اثرات ساده تنش خشکی و سطوح گوگرد بر خصوصیات کیفی اسفرزه

Table 8- comparison of means for simple effects of drought stress and sulphur levels on qualitative characteristics in psyllium

تیمار Treatment	محتوی گوگرد دانه (میلی گرم در لیتر) Sulphur content of seed (ppm)	درصد موسیلاژ Mucilage percent	عملکرد موسیلاژ (کیلوگرم‌درهکتار) Mucilage yield ($kg.ha^{-1}$)	محتوی پرولین (درصد) Proline content (%)	محتوی کربوهیدرات (درصد) Carbohydrate content (%)
آبیاری (نوبت) Irrigation (time)					
8	220.1 a*	11.67 c	5.85 a	3.01 c	10.71 a
5	220.0 a	12.42 b	5.01 b	4.10 b	8.45 b
3	219.7 a	16.71 a	3.12 c	4.81 a	7.11 c

					سطح گوگرد (کیلوگرم در هکتار) Sulphur level kg.ha^{-1})
9.13 c	3.92 b	3.88 b	9.41 c	215.3 c	0
10.09 b	4.19 ab	4.01 b	10.52 b	220.2 b	75
11.87 a	4.97 a	5.52 a	14.78 a	225.1 a	150
12.14 a	4.97 a	5.91 a	15.09 a	226.5 a	225

* حروف مشابه در هر ستون، نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد براساس آزمون دانکن است.

* Means with the same letter(s) in each column have not significant difference at 5% probability level based on Duncan's test.

همبستگی ساده بین صفات کمی اسفرزه

نتایج همبستگی ساده بین عملکرد و اجزای عملکرد گونه دارویی اسفرزه تحت تأثیر سطوح مختلف گوگرد و تنش خشکی در جدول نه ارائه شده است. بین عملکرد بیولوژیکی با ارتفاع بوته، تعداد سنبله در بوته، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه و عملکرد دانه همبستگی مثبت و معنی‌داری مشاهده شد. این امر به خوبی ارتباط بین کارآیی فتوسنتز و عملکرد دانه را نشان می‌دهد گیاهانی دارای عملکرد دانه بالایی خواهند بود که مواد فتوسنتزی بیشتری را در اندام‌های خود تجمع کنند. علاوه بر این، رابطه عملکرد دانه با صفات تعداد سنبله در بوته، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه و عملکرد بیولوژیکی مثبت و معنی‌داری بود. همچنین عملکرد دانه با صفت ارتفاع بوته همبستگی مثبت اما غیر معنی‌داری داشت (جدول ۹).

جدول ۹- ضرایب همبستگی بین عملکرد و اجزای عملکرد اسفرزه تحت تأثیر تنش خشکی و سطوح گوگرد

Table 9- Correlation coefficients between yield and yield components of psyllium affected by drought stress and sulphur level

صفات Traits	ارتفاع بوته Plant height	تعداد سنبله در بوته No. of spike per plant	تعداد دانه در سنبله No. of seed per spike	وزن هزار دانه 1000-seed weight	عملکرد بیولوژیکی Biological yield	عملکرد دانه Seed yield
ارتفاع بوته Plant height	1					
تعداد سنبله در بوته No. of spike per plant	0.54*	1				
تعداد دانه در سنبله No. of seed per spike	0.89**	0.63*	1			
وزن هزار دانه 1000-seed weight	0.29	0.78**	-0.16 ns	1		
عملکرد بیولوژیکی Biological yield	0.83 **	0.66**	0.56**	0.66**	1	
عملکرد دانه Seed yield	0.22ns	0.68**	0.54**	0.70**	0.47 *	1

*، ** و ns، به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و غیرمعنی‌دار می‌باشد.

*, ** and ns are significant at 5 and 1 % probability levels and non- significant, respectively.

همبستگی ساده بین عملکرد دانه و خصوصیات کیفی

همانطور که مشاهده می‌شود عملکرد دانه در بیشتر موارد همبستگی مثبت و معنی‌داری با اجزاء کیفی دانه اسفرزه داشت. عملکرد دانه بالاترین همبستگی را با عملکرد موسیلاژ (r=۰/۷۱) نشان داد. بدین ترتیب، هرچه عملکرد دانه بیشتر باشد، به تبع آن عملکرد موسیلاژ نیز افزایش می‌یابد. علاوه بر این، همبستگی عملکرد دانه با سایر صفات کیفی نیز مثبت اما غیرمعنی‌دار بود (جدول ۱۰). در بین سایر صفات کیفی نیز همبستگی مثبت و معنی‌داری بین درصد موسیلاژ و عملکرد موسیلاژ مشاهده شد (r = ۰/۸۸). نوروزپور و همکاران (Norozpoor et al., 2005) در آزمایشی گزارش کردند که درصد موسیلاژ و عملکرد دانه اسفرزه از همبستگی مثبت بالایی برخوردارند و با توجه به اینکه با افزایش فواصل آبیاری عملکرد دانه کاهش یافته این امر متعاقباً کاهش عملکرد موسیلاژ در واحد سطح را به دنبال دارد.

جدول ۱۰- ضرایب همبستگی بین عملکرد دانه و خصوصیات کیفی اسفرزه تحت تأثیر تنش خشکی و سطوح گوگرد

Table 10-Correlation coefficients between seed yield and qualitative characteristics in psyllium affected by drought stress and sulphur levels

محتوی کربوهیدرات Carbohydrate content	محتوی پرولین Prolin content	عملکرد موسیلاژ Mucilage yield	درصد موسیلاژ Mucilage percent	عملکرد دانه Seed yield	صفات Traits
				1	عملکرد دانه Seed yield
			1	0.37^{ns}	درصد موسیلاژ Mucilage percent
		1	0.88^{**}	0.71^{**}	عملکرد موسیلاژ Mucilage yield
	1	0.12^{ns}	0.14^{ns}	0.52^{ns}	محتوی پرولین Prolin content
1	-0.23^{ns}	0.12^{ns}	0.19^{ns}	0.33^{ns}	محتوی کربوهیدرات Carbohydrate content

*، ** و ns، به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و غیرمعنی‌دار می‌باشد.

*, ** and ns are significant at 5 and 1 % probability levels and non- significant, respectively.

منابع

1- Ahmadian, Tavassoli, A., and Amiri, E. 2011. The interaction effect of water stress and manure on yield components, essential oil and chemical compositions of cumin (*Cuminum cyminum* L.). African Journal of Agricultural Research 6(10): 2309-2315.

2- Amin Pour, R., and Mousavi, S.F. 1995. Effects of irrigation times on developments stages, yield and yield components in cumin. Agricultural Sciences and Natural Resources 1(1): 1-7. (In Persian with English Summary)

3- Ardakani, M.R., Abbas Zadeh, B., Sharifi Ashour Abadi, A., Lebaschi, M.H., and Pak Nejad, F. 2005. Evaluation of effects of water deficit on quality and quantity of mellisa (*Melissa officinalis* L.). Journal of Iranian Medicinal and Aromatic Plants 23(2): 251-261. (In Persian with English Summary)

4- Asghari Pour, M. 2002. Effects of planting time and different seed rates on quality of psyllium. MSc Thesis of Agronomy, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad. (In Persian with English Summary)

5- Ashraf, M., and Foolad, M.R. 2007. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. Environ. and Exp. Botany 59: 206-216.

6- Bates, L.S.,Waldren, S.P., Teare, I.D. 1973. Rapid determination of free prolin for water-stress studies. Plant and Soil 39: 205-207.

7- Evans, W.C. 1996. Trease and Evans. Pharmacognosy. 14th Edition, Chapter 21, "Volatile oils and resins", Wiley, New York, 450 pp.

8- Ghasemian, V. 2000. Study of micronutrients elements such as iron, zinc and manganese on the quantity and quality of seed soybean under West Azarbaijan. MSc Thesis of Agronomy, College of Agriculture, Tarbiat Modarres. (In Persian with English Summary)

9- Ghoulam, C., Foursy, A., and Fares, K. 2002. Effects of salt stress on growth, inorganic ions and proline accumulation in relation to osmotic adjustment in five sugar beets cultivars. Environmental and Experimental Botany 47: 39-50.

10- Good, A., and Zaplachiniski, S. 1994. The effects of drought on free amino acid accumulation and protein synthesis in *Brassica napus*. Physiologia Plantarum 90: 9-14

11- Hasani, A., Omid Baigi, R., Heydari Sharif Abad, H. 2003. Effects of different Soil moisture content on growth, yield and accumulation of adaptative metabolites in basil. Journal of Water and Soil Sciences 17(2): (In Persian with English Summary)

12- Heuer, B. 1994. Osmoregulatory role of proline in water stress and salt-stressed plants. P. 363-481. In: M. Pessarkli (Ed), Handbook of Plant and Crop Stress. Marcel Dekker pub. New York.

13- Hocking, P.J., Randal, P.J., and Pinkerton, A. 1987. Sulphur nutrition of sunflower as affected by nitrogen supply: effects on vegetative growth, the development of yield component and seed yield and quality. Field Crops Research 16: 157-175

14- Kazemi, F. 2000. Effects of different methods of drying and oil formation on the amount and essential oil ingredients of Roman chamomile flower (Flore Pleno). MSc Thesis of Horticulture, College of Agriculture,

Tarbiat Modarres. (In Persian with English Summary)
15- Khan, M.J., Khan, M.H., and Khattak, R.A. 2006. Response of Maize to Different Levels of Sulphur. Communications in Soil Science and Plant Analysis 37: 41–51.
16- Kolodziej, B. 2006.Effect of mineral fertilization on Ribwort plantation *(Plantago lanceolata* L.*)* yielding. Acta Agrophysica 8(3): 637-647.
17- Lebaschi, M., and Sharifi Ashour Abadi, A. 2004. Growth indices of some medicinal plants under different drough Stress conditions. Journal of Iranian Medicinal and Aromatic Plants 20(3): 249-261. (In Persian with English Summary)
18- Loggini, B., Scartazza, A., Brugnoli, E., and Navari-Izzo, F. 1999. Antioxidative defense system, pigment composition, and photosynthetic efficiency in two Wheat cultivars subjected to drought. Plant Physiology 119: 1091-1099.
19- Mandal, K., Saravanan, R., and Maiti, S. 2008. Effect of different levels of N, P and K on downy mildew (*Peronospora plantaginis* L.) and seed yield of *Plantago ovata*. Crop Protection 27(6): 988-995.
20- Misra, A., and Srivastava, N.K. 2000. Influence of water stress on Japanese mint. Journal of Herbs, Spices and Medicinal Plants 7(1): 51-58.
21- Nadjafi, F., and Rezvan Moghaddam, P. 2002. Effects of different irrigation regimes and density on yield and Agronomic characteristics of psyllium (*Plantago ovate*). Journal of Agricultural Sciences and Technologies. (In Persian with English Summary)
22- Norozpoor, G., and Rezvani Moghaddam, P. 2005. Effect of different irrigation intervals and plant density on yield and yield component of black cumin (*Nigella sativa* L.). Iranian Journal of Field Crops Research 3: 305-315. (In Persian with English Summary)
23- Omidbaigi, R., Hassani, A., and Sefidkon, F. 2003. Essential oil content and composition of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) at different irrigation regimes. Journal of Essential Oil Bearing Plant s6: 104-108.
24- Pandey, R.K., Marienville, J.W., and Adum, A. 2000. Deficit irrigation and nitrogen effect on maize in an aphelia environment. I. Grain yield components. Agriculture Water Management 46: 1-13.
25- Patel, B.S., Patel, J.C., and Sadaria, S.G. 1996. Response of blond psyllium (*Plantago ovate* L.) to irrigation and phosphorus. Indian Journal of Agronomy 41: 311-314.
26- Patel, N.C., and Patel, Z.G. 1993. Performance of safflower under different irrigation scheduling in sought Gujarat. Annual Agric Research 14: 109-110.
27- Piri, I., Moussavi Nik, M., Tavassoli, A., Rastegaripour, F., and Babaeian, M. 2011b. Effect of irrigation frequency and application levels of sulphur fertilizer on water use efficiency and yield of Indian mustard (*Brassica juncea*). African Journal of Biotechnology 10(55): 11459-11467.
28- Piri, I., Moussavi Nik., M., Tavassoli, A., and Rastegaripour, F. 2011a. Effect of irrigation intervals and sulphur fertilizer on growth analyses and yield of *Brassica juncea*. African Journal of Microbiology Research 5(22): 3640-3646.
29- Pirzad, A., Alyari, H., Shakiba, M.R., Zehtab Salmasi, S., and Mohammadi, A. 2006. Essential oil content and composition of German chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) at different irrigation regimes. Journal of Agronomy 5(3): 451-455.
30- Poonia, K.L. 2000. Effect of planting geometry, nitrogen and sulphur on growth and yield of sunflower (*Helianthus annuus* L.). Journal of Eco-Physiology 3: 59–71.
31- Refaat, A.M., and Saleh, M.M. 1997. The combined effect of irrigation intervals and foliar nutrition on sweet Basil plants. Bulletin of Faculty of Agriculture University of Cairo 48: 515-527.
32- Safi Khani, F., Heydari Sharifi Abad, H., Siadat, A., Sharifi Ashour Abadi, A., Seyyed Nejad, M., and Abbas Zadeh, B. 2007. Effects of drough stress on yield and morphological characteristics of (*Dracocephalum moldavica*). Journal of Iranian Medicinal and Aromatic Plants 23(2): 183-194. (In Persian with English Summary)
33- Sangale, P.B., Palil, G.D., and Daftardar, S.Y. 1998. Effect of foliar application of zinc, iron and boron on yield of safflower. Journal of Moharashtra Agricultural Universities 6: 65-66.
34- Schlegel, H.G. 1956. Die verwertung organischer sauren durch chlorella in lincht. Plata 47: 510-515.
35- Serraj, R., and Sinclair, T.R. 2002. Osmolyte accumulation: can it really help increase crop yield under drought conditions? Plant, Cell and Environment 25: 333-341.
36- Slama, I., Messedi, D., Ghnaya, T., Savoure, A., and Abdelly, C. 2006. Effect of water deficit on growth and proline metabolism in *Sesuvium portulacastrum* L.. Envi. and Exper. Botany, 56: 231-238.
37- Tatari, M. 2004. Effects of different salinity levels and irrigation times on growth and yield of Cumin growth and yield under Mashhad conditions. MSc Thesis of Agronomy, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (In Persian with English Summary)
38- Tavassoli, A., Ghanbari, A., Amiri, E., and Paygozar,Y. 2010. Effect of different rates of fertilizer, manure and micronutrients on chamomile. International Journal of Ecology, Environment and Conservation 16(1): 99-104.
39- Yadav, O.P., and Bhathagar, S.K. 2001. Evaluation of indices for identification of pearl millet cultivars adapted to stress and non stress condition. Field Crops Science 70: 201-208.
40- Zhao, F.J., Hawkesford, M.J., and McGrath, S.P. 1999. Sulphur assimilation and effects on yield and quality of wheat. Journal of Cereal Science 30: 1–17.