تاثیر کاربرد بنتونیت بر خصوصیات جوانه‌زنی بذور کاهو تحت شرایط تنش خشکی ناشی از پلی‌اتیلن گلایکول

اکرم ولی‌زاده قلعه‌بیگ*[۱]، سیدحسین نعمتی[۲]، علی تهرانی‌فر[۳]، حجت امامی[۴]

[۱] دانشجوی کارشناسی‌ارشد، گروه علوم باغبانی، دانشگاه فردوسی مشهد،
[۲] استادیار گروه علوم باغبانی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد
[۳] استاد گروه علوم باغبانی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد
[۴] استادیار گروه علوم خاک، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۹/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۸/۰۱

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر خشکی و بنتونیت بر شاخص‌های جوانه‌زنی بذر کاهو آزمایش فاکتوریل بر پایه‌ی طرح کاملا تصادفی، با سه تکرار در دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل ۵ سطح خشکی حاصل از پلی اتیلن گلایکول (صفر، ۰/۵-، ۱-، ۵- و ۱۰- بار) به عنوان فاکتور اول و ٤ سطح بنتونیت (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار) به‌عنوان فاکتور دوم انتخاب شدند. نتایج نشان داد که با افزایش تنش خشکی کلیه شاخص‌های جوانه‌زنی شامل درصد و سرعت جوانه‌زنی، شاخص جوانه‌زنی، شاخص بنیه بذر، وزن تر و خشک گیاهچه، طول ساقه‌چه و ریشه‌چه و انرژی جوانه‌زنی کاهش و میانگین زمان جوانه‌زنی افزایش یافت. درصد و سرعت جوانه‌زنی، شاخص بنیه بذر، وزن تر و خشک گیاهچه، طول ساقه‌چه و ریشه‌چه در سطح ۱۰۰ میلی‌مولار بنتونیت دارای بیشترین مقدار بودند. بیشترین و کمترین میانگین زمان جوانه‌زنی به ترتیب در خشکی ۱۰- ، بنتونیت صفر (٤/٤۵ روز) و خشکی صفر، بنتونیت ۱۰۰ میلی‌مولار (۱/۳۲ روز) مشاهده شد. بیشترین طول ساقه‌چه و ریشه‌چه به ترتیب (٦۲/۲۰ و ٦٦/۸۵ میلی‌متر) در خشکی صفر و بنتونیت ۱۰۰ میلی‌مولار به دست آمد. وزن تر گیاهچه از تیمار خشکی صفر و بنتونیت ۱۰۰ میلی‌مولار به خشکی ۱۰- بار و بنتونیت صفر کاهش ۸۵/۲٦ درصدی را نشان داد. در غلظت ۱۵۰ میلی‌مولار بنتونیت، بین بنتونیت و بذر در جذب آب رقابت ایجاد شده که بنتونیت بر بذر غلبه کرده و نتوانسته در بهبود صفات موثر باشد. براساس نتایج به‌دست آمده، غلظت ۱۰۰ میلی‌مولار بنتونیت جهت بهبود جوانه‌زنی بذور کاهو پیشنهاد می‌گردد.

واژگان کلیدی: بنتونیت، خشکی، رشد گیاهچه، شاخص بنیه بذر، کاهو

مقدمه

کشاورزی در مناطق خشک از ویژگی‌های خاصی برخوردار است. هر چند اصول کلی تولید محصولات، در نواحی خشک جهان با مناطق معتدل و مرطوب تفاوت چندانی ندارد ولی شرایط متفاوت ایجاب می‌کند که عملیات

*نویسنده مسئول: valizadeh8248@gmail.com

کشاورزی و مدیریت مزرعه، در مناطق خشک و نیمه خشک متناسب با ویژگی‌های اقلیمی خود انتخاب شود. در این مناطق محور کشاورزی را آب و آبیاری تشکیل می‌دهد، بنابراین همگرایی کلیه عملیات کشاورزی در جهت استفاده مطلوب از آب و به حداکثر رساندن عملکرد به ازاء هر واحد آب مصرفی است (Koochaki and Alizadeh, 1987). اعمال مدیریت صحیح و بکارگیری تکنیک‌های پیشرفته به منظور حفظ ذخیره رطوبت و افزایش ظرفیت نگهداری آب خاک از جمله اقدامات مؤثر برای افزایش راندمان آبیاری و در نتیجه بهبود بهره برداری از منابع محدود آب می‌باشد. یکی از روش‌های جدید در علم آب و خاک استفاده از مواد سوپرجاذب رطوبت به عنوان مخزن ذخیره، جلوگیری از اتلاف و افزایش راندمان آب آبیاری است (Allah Dadi et al., 2005; Abedi-koupai and Sohrab, 2004). بنتونیت از جمله سوپر جاذب‌های طبیعی است که از گروه کانی‌های ۱:۲ بوده و مخلوطی از کانی‌های رسی است که دارای مقدار زیادی مونت موریلونیت می‌باشد و چسبندگی زیادی دارد (Abedikoupaie and Sohrab, 2004). بنتونیت با فرمول شیمیایی $(Na)_{0.33}(Al)_2Si_4O_{10}(OH)_2.H2O$ اساسا یک آلومینیوم سیلیکات آبدار، یک رس پلاستیکی و بسیار کلوئیدی است، این ماده به‌دلیل ساختارش، قابلیت جذب آب و مواد معدنی را دارد، همچنین از شسته شدن مواد معدنی موجود در خاک جلوگیری می‌کند و باعث حاصلخیزی خاک می‌شود (Lawrence et al., 2009). حساسترین مرحله زندگی یک گیاه، مرحله جوانه‌زنی و گیاهچه است، با موفقیت گذراندن این دوره نقش بسیار مهمی در مراحل دیگر استقرار گیاه خواهد داشت. طبق تعریف، جوانه‌زنی شامل یکسری اتفاقاتی است که در نتیجه آن جنین از حالت سکون به حالت متابولیسمی فعال و سازنده تغییر شکل می‌دهد (Koochaki et al., 1997). قابلیت دسترسی به آب و جذب آن توسط بذر، برای انجام فرآیندهای جوانه‌زنی و متعاقب آن رشد گیاهچه‌ها ضروری است. یکی از پیامدهای رایج ناشی از تنش خشکی، کاهش پتانسیل آب در بستر بذر می‌باشد. پتانسیل منفی بالای آب خصوصاً در مراحل اولیه جوانه‌زنی، منجر به کاهش جذب آب توسط بذر و مانع تداوم فرآیندهای مربوط به جوانه‌زنی می‌شود (Boydak et al., 2009). بنابراین تنش خشکی یکی از مهمترین عوامل محیطی است که بر جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه اثر می‌گذارد (Falleri., 1994). از جمله گزارشات تنش خشکی در مورد کاهو می‌توان به نتایج Makondi et al. (2010) اشاره کرد، که سطوح خشکی صفر، ۵-، ۱۰-، ۱۵- بار ناشی از ماده مانیتول را بر روی بذرهای کاهو اعمال کرده و کاهش در صفات درصد جوانه‌زنی، میانگین زمان جوانه‌زنی، بنیه بذر و درصد جوانه‌زنی را گزارش کردند. همچنین Ajam et al. (2011) سطوح ۰، ۳-، ۶- و ۹- بار تنش خشکی را بر روی بذرهای کاهو مورد ارزیابی قرار دادند و کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه و بنیه بذر را گزارش کردند. نتایج Armandpisheh et al. (2009) در کاربرد زئولیت به‌عنوان نوع دیگری از سوپر جاذب‌های طبیعی نشان داد، که بذرها تولید شده تحت تنش خشکی و بدون کاربرد زئولیت دارای ریشه‌چه کوتاه‌تر، وزن خشک کمتر، درصد جوانه‌زنی نهایی پائین‌تر و گیاهچه‌های غیر نرمال بیشتر می‌باشند، و این پارامترها باعث کاهش قوه نامیه و قدرت رویش بذرهای تولیدی می‌گردد.

در این آزمایش، برای اولین بار ترکیب معدنی بنتونیت که قابلیت نگهداری رطوبت را داشته به روشی غیر پرایمینگ و به‌صورت آبیاری با محلولی از آن، جهت کمک به کاهش اثرات نامطلوب تنش خشکی ناشی از کاربرد پلی اتیلن گلایکول بر خصوصیات جوانه‌زنی بذرها کاهو در شرایط آزمایشگاهی مورد ارزیابی قرار گرفت، هدف از انجام این آزمایش بررسی پاسخ بذر به کاربرد بنتونیت در شرایط تنش خشکی در آزمایشگاه، به نوعی شبیه سازی شرایط تنش خشکی مزرعه در آزمایشگاه می باشد. به عبارتی، جنبه نوعی پیش تست جهت کاربرد این ماده به صورت مخلوط در بسترهای خاکی و غیر خاکی گلدانی یا زمین‌های زراعی یا به‌صورت محلولی از آن می‌باشد و

بیشتر کنش بین بنتونیت و تنش مد نظر بوده است. روش‌های پرایمینگ هم در این رابطه مستلزم آزمایشات مجزایی است که در دست بررسی است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و با سه تکرار در سال ۱۳۹۲ در گروه باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. فاکتور اول شامل ۵ سطح خشکی حاصل از پلی‌اتیلن گلایکول (صفر، ۰/۵-، ۱-، ۵- و ۱۰- بار) و فاکتور دوم شامل ٤ سطح بنتونیت (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار) بود. جهت ایجاد پتانسیل‌های ۰/۵-، ۱-، ۵- و ۱۰- بار به‌ترتیب مقادیر ۵۰/۸۰، ۷۸/٤۹، ۲۰۲/۱۳ و ۲۹۵/۷۱ گرم PEG و جهت تهیه غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار بنتونیت مقادیر ۱۹/۲۷، ۳۸/۵۵ و ۵۷/۸۳ گرم بنتونیت در ۱ لیتر آب حل شد. در هر تکرار ۲۵ بذر قرار داده شد. بذرها داخل پتری‌دیش‌هایی با قطر ۹ سانتی‌متر قرار گرفتند و تیمارهای خشکی با محلول پلی‌اتیلن گلایکول (PEG) و با استفاده از روش Michel and Kaufman (1973) تهیه شد. سپس تیمارهای خشکی و بنتونیت با ۵ میلی‌لیتر از محلول‌های آماده شده اعمال گردید. پتری‌ها به لحاظ اعمال تیمارها شامل سه گروه بودند: ۱- خشکی به تنهایی (۵ میلی‌لیتر ازمحلول پی ای جی) ۲- فقط بنتونیت (۵میلی‌لیتر محلول بتنونیت) ۳- تیمار ترکیبی بنتونیت و خشکی (۲/۵ میلی‌لیتر محلول پی ای جی+۲/۵ میلی‌لیتر محلول بنتونیت، در این مورد ابتدا اعمال تنش شد سپس بنتونیت اضافه گردید. به منظور جوانه زنی بذرها درون ژرمیناتور با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد با رژیم نوری ۱۲ ساعت روشنایی و ۱۲ ساعت تاریکی قرار گرفتند. شمارش بذرهای جوانه‌زده به صورت روزانه انجام شد. معیار جوانه‌زنی خروج ریشه‌چه به اندازه ۲ میلی‌متر بود. پس از ۱۰ روز از آغاز آزمایش، صفاتی همچون طول ریشه‌چه و ساقه‌چه (توسط کولیس دیجیتالی) و وزن تر و خشک گیاهچه (توسط ترازوی ۰/۰۰۰۱) اندازه‌گیری شدند. وزن خشک گیاهچه پس از قرار گرفتن گیاهچه در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد آون به‌مدت ٤۸ ساعت اندازه‌گیری شد. همچنین درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی[1] (Agarwal, 2003)، میانگین زمان جوانه‌زنی[2] (Ellis and Roberts, 1981)، شاخص جوانه‌زنی[3] (Kader and Jutzi, 2004)، شاخص بنیه بذر[4] (Elias and Copel, 2001) و انرژی جوانه‌زنی[5] (Ruan, 2002) از روابط زیر محاسبه شدند:

درصد جوانه‌زنی:

$$GP = 100 (NG/NT)$$

که در این فرمول NG تعداد کل بذرهای جوانه زده و NT تعداد کل بذرهای کشت شده می باشد.

سرعت جوانه‌زنی:

$$GR = (a/1) + (b-a/2) + (c-b/3) + (d-c/4)\ldots + (n-n-1/N)$$

در این رابطه GR سرعت جوانه‌زنی و a، b، c، d،... و n نشان دهنده تعداد بذرهای جوانه زده پس از ۱، ۲، ۳، ٤،... و N روز بعد از کشت بذرها می باشد.

میانگین زمان جوانه‌زنی:

1- Germination rate
2- Mean germination time
3- Germination index
4- Seedling vigor index
5- Energy of germination

$MGT= \Sigma (Ni/Di)$

که در این رابطه Ni تعداد بذرهای جوانه‌زده شده و Di روز انجام شمارش می‌باشند.

شاخص جوانه‌زنی:

$GI= \Sigma (Ni / Ti)$

که در این رابطه Ti تعداد روز پس از کاشت بذر و Ni تعداد بذرهای شمارش شده در آن روز می‌باشند.

شاخص بنیه بذر: از حاصلضرب درصد جوانه‌زنی نهایی در طول گیاهچه بدست می‌آید.

انرژی جوانه‌زنی: عبارتست از نسبت درصد بذرهای جوانه زده شده در روز پنجم به تعداد کل بذرهای کشت شده

آنالیز تجزیه واریانس و مقایسه میانگین داده‌ها (با استفاده از آزمون LSD در سطح خطای ۵ درصد) توسط نرم‌افزار SAS انجام شد و نمودارها توسط نرم‌افزار Excle 2007 رسم گردیدند.

نتایج

اثرات اصلی و متقابل بنتونیت و تیمارهای خشکی بر صفات درصد و سرعت جوانه‌زنی، میانگین زمان جوانه‌زنی، شاخص جوانه‌زنی، شاخص بنیه بذر، وزن تر گیاهچه، وزن خشک گیاهچه، طول ساقه‌چه، طول ریشه‌چه و انرژی جوانه‌زنی معنی‌دار بود (جدول ۱).

درصد و سرعت جوانه‌زنی: بررسی اثر متقابل بنتونیت و خشکی بر درصد و سرعت جوانه‌زنی نشان داد که بیشترین مقادیر این صفات در خشکی صفر (آب مقطر) و سطح ۱۰۰ میلی‌مولار بنتونیت به‌ترتیب ۹۶/۳۵ و ۶۰/۸۸ درصد به دست آمد (شکل۱ و جدول ۳). کمترین میزان این صفات در سطوح بنتونیت صفر و ۱۵۰ میلی‌مولار در سطح خشکی ۱۰- بار دیده شد ($P \leq ۰/۰۵$). در سطوح خشکی ۵- و ۱۰- بار به ترتیب بین سطوح صفر و ۱۵۰ میلی‌مولار و سطوح ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار بنتونیت از نظر درصد جوانه‌زنی تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۱). همچنین سرعت جوانه‌زنی در سطوح خشکی ۰/۵-، ۱-، ۵- و ۱۰- بار به صورت جداگانه بین سطوح صفر و ۱۵۰ میلی‌مولار بنتونیت تفاوت آماری نداشت (جدول ۳).

میانگین زمان جوانه‌زنی: بررسی اثر متقابل بنتونیت و خشکی بر میانگین زمان جوانه‌زنی نشان داد که بیشترین و کمترین زمان به ترتیب در تیمارهای خشکی ۱۰- و سطح صفر بنتونیت (۴/۴۵ روز) و سطح خشکی صفر و ۱۰۰ میلی‌مولار بنتونیت (۱/۳۲ روز) بدست آمد ($P \leq ۰/۰۵$). سطوح خشکی صفر با بنتونیت (۰، ۵۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار)، خشکی ۰/۵- بار با بنتونیت (۰، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار)، خشکی ۱- بار با بنتونیت (۰، ۵۰، ۱۰۰و ۱۵۰ میلی‌مولار) برای صفت میانگین زمان جوانه‌زنی تفاوت معنی‌داری نشان ندادند (جدول ۳).

وزن تر و خشک گیاهچه: اثرات متقابل نشان داد که بیشترین مقدار وزن تر گیاهچه در تیمار صفر خشکی و با غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ میلی مولار بنتونیت و بیشترین وزن خشک گیاهچه در تیمار صفر خشکی و ۱۰۰ میلی‌مولار بنتونیت حاصل شد و با افزایش سطح خشکی به ۱۰- بار و در سطوح صفر و ۱۵۰ میلی‌مولار بنتونیت کمترین مقدار صفات وزن تر و خشک گیاهچه به دست آمد. با افزایش تنش خشکی از تیمار خشکی صفر و ۱۰۰ میلی‌مولار بنتونیت به تیمار ۱۰- بار خشکی و صفر بنتونیت به‌ترتیب کاهش ۸۵/۲۶ و ۶۳/۴۴ درصدی را در مورد وزن تر و خشک گیاهچه شاهد بودیم (جدول ۳).

جدول ۱ – تجزیه واریانس خشکی و بنتونیت بر خصوصیات جوانه‌زنی بذر کاهو

منابع تغییر	درجه آزادی	GP	GR روز	MGT روز	GI	SVI	SFW گرم	SDW گرم	SL میلی‌متر	RL میلی‌متر	EG
خشکی	٤	٥٧٤٧/٨٠**	٢٢١٤/٥٣**	٥/٣٧**	٣٣/٤٨**	١٦٧١/١٦**	٠/٠٠٧٢**	٠/٠٠٢٦ **	٤٣٤٩/٧٥ **	٤٥٧٤/٨٢ **	٠/٩٩ **
بنتونیت	٣	١٤٨٦/٣١**	٦٥٧/٣٩**	٠/٩٨**	٦/٦٢**	٣٦٥/٤٣**	٠/٠٠١٤**	٠/٠٠٠٨**	٨٩٣/٠٠**	٨٨/٤٧**	٠/٠٩٦**
خشکی * بنتونیت	١٢	٣٧٧/٠١**	٤٢٢/٠٨**	٠/٢٥ **	٠/٧٦ **	٥٨/٦٠**	٠/٠٠٠٢ **	٠/٠٠٠٠ **	٣٧٧/٤٩ **	٢١٢/٩٤**	٠/٠٠٩**
خطای آزمایش	٤٠	١/١٧٥	٠/٤٦٤	٠/٠٤٨	٠/٠٢٥	٠/٠٥٧	٠/٠٠٠٠٠٦	٠/٠٠٠٠٠٣	٠/٠٠٨	٠/٠٢٦	٠/٠٠٠٦
ضریب تغییرات (٪)	–	٢/٤٥	٣/٩٤	٧/٧٧	٣/١٢	١/١٢	٤/٩٣	٥/٨٨	٠/٤٤	٠/٨٥	٥/٦٤

GP، GR، MGT، GI ، SVI، SFW،SDW ، SL، RL، EG به‌ترتیب نشانگر درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، میانگین زمان جوانه‌زنی، شاخص جوانه‌زنی، شاخص بنیه بذر، وزن تر گیاهچه، وزن خشک گیاهچه، طول ساقه‌چه ، طول ریشه‌چه و انرژی جوانه‌زنی می‌باشند.

**: معنی داری در سطح ۱ درصد را نشان می‌دهد.

جدول ۲– مقایسه میانگین اثرات اصلی خشکی و بنتونیت بر خصوصیات جوانه‌زنی بذر کاهو

	GP †	GR روز	MGT روز	GI	SVI	SFW گرم	SDW گرم	SL میلی‌متر	RL میلی‌متر	EG
خشکی										
۰	٦٩/٧٣ a ††	٣٨/٠٤ a	٢/١٥ e	٦/١٤ a	٣٥/١٦ a	٠/٠٧٦ a	٠/٠٤٨ a	٤٧/٩٠ a	٥٠/٦٦ a	٠/٨٠ a
-٠/٥	٦٣/٢٢ b	٢٣/٣٩ b	٢/٣٤ d	٦/٧٠ a	٣٠/٧١ b	٠/٠٧٢ b	٠/٠٤٣ b	٣١/٦٥ b	٢٤/٦٦ b	٠/٥٨ b
-١	٤١/٤٩ c	١٢/٣٦ c	٢/٦٦ c	٥/١٤ b	٢١/٢٤ c	٠/٠٥٢ c	٠/٠٣٤ c	١٥/١٣ c	١٢/١٣ c	٠/٤٦ c
-٥	٢٤/٢٠ d	٧/٨١ d	٣/٢٢ b	٣/٣٧ c	١٢/٣٩ d	٠/٠٣٤ d	٠/٠٢٠ d	٥/٢٦ d	٥/٥٠ d	٠/٢٩ d
-١٠	١١/٩٤ e	٤/٧٩ e	٣/٧٩ a	٢/٤٠ d	٧/٢٦ e	٠/٠١٩ e	٠/٠١٣ e	٢/٧٩ e	٢/٨٣ e	٠/٠٤ e
بنتونیت										
۰	٣٨/٦٩ c	١٠/٦٣ d	٣/١١a	٤/٠٨ b	١٨/٤٨ c	٠/٠٤٤ c	٠/٠٢٦ b	١٩/٩٥ c	١٥/٥٥ c	٠/٥٠ a
٥٠	٥٣/٢٤ a	٢٤/٣٠ a	٢/٧٢ b	٥/١٩ a	٢٤/٣٨ b	٠/٠٦١ a	٠/٠٣٨ a	٢٩/٥٧ a	٢٧/٣٤ a	٠/٤٥ c
١٠٠	٥١/٦٩ b	٢١/٤٥ b	٢/٥٣ c	٥/٢١ a	٢٦/٥٥ a	٠/٠٥٧ b	٠/٠٣٨ a	٢١/٨٧ b	٢٣/٤١ b	٠/٤٨ b
١٥٠	٣٢/٨٣ d	١٢/٧٤ c	٢/٩٦ a	٤/٠٢ b	١٦/٠٠ d	٠/٠٤٠ d	٠/٠٢٥b	١٠/٨٠d	١٠/٣٢ d	٠/٣٢ d

† GP، GR، MGT، GI ، SVI، SFW،SDW ، SL، RL، EG به‌ترتیب نشانگر درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، میانگین زمان جوانه‌زنی، شاخص جوانه‌زنی، شاخص بنیه بذر، وزن تر گیاهچه، وزن خشک گیاهچه، طول ساقه‌چه ، طول ریشه‌چه و انرژی جوانه‌زنی می باشند

†† میانگین‌هایی که با حروف مشابه نشان داده شده‌اند در سطح ۵ درصد با هم دارای تفاوت معناداری نیستند.

طول ریشه‌چه و ساقه‌چه: مطابق اثرات متقابل بنتونیت و خشکی، غلظت ۱۰۰ میلی‌مولار بنتونیت در سطح صفر خشکی به‌طور معنی‌داری بیشترین میانگین طول ریشه‌چه و ساقه‌چه را به ترتیب با مقادیر ٦٦/٨٥ و ٦٢/٢٠ میلی‌متر به خود اختصاص داد. کمترین طول ساقه‌چه و ریشه‌چه در تیمار ۱۰- بار خشکی و سطوح ۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار بنتونیت بدست آمد ($P \leq ۰/۰۵$). با افزایش تنش خشکی از صفر به ۱۰- بار و همزمان کاهش مقدار بنتونیت مورد استفاده از ۱۰۰ به صفر میلی‌مولار شاهد کاهش ۹۹/۱٤ و ۹۷/۷۱ درصدی در طول ریشه‌چه و ساقه‌چه هستیم. همچنین، صفات مذکور در خشکی۱۰- بار و ۱۵۰ میلی‌مولار بنتونیت نسبت به سطح ۱۰۰ میلی‌مولار بنتونیت در شرایط عدم تنش خشکی، کاهش ۹۹/۳۱ و ۹۷/٦٦ درصدی را نشان دادند (جدول ۳).

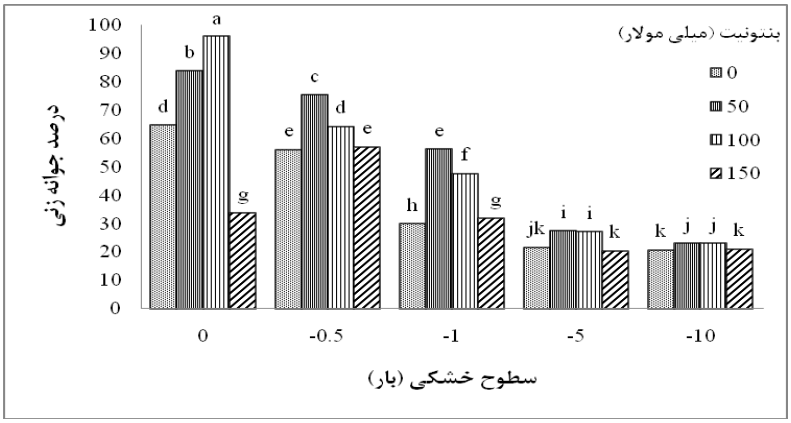
شاخص بنیه بذر و انرژی جوانه‌زنی: اثرات متقابل، تنش خشکی و سطوح مختلف بنتونیت بر روی انرژی جوانه‌زنی نشان داد که بیشترین مقدار انرژی جوانه‌زنی در سطح خشکی ۰ و سطح بنتونیت ۱۰۰ میلی‌مولار بود و سه سطح (۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار) بنتونیت در خشکی ۱۰- کمترین میزان این صفت را نشان دادند (جدول ۳). اثر متقابل بنتونیت و خشکی بر میانگین شاخص بنیه بذر حاکی از آن بود که بیشترین میزان این شاخص در سطح خشکی ۰ و بنتونیت ۱۰۰ میلی‌مولار با مقدار (٤٨/١٥) و کمترین آن در سطح خشکی ۱۰- و بنتونیت صفر میلی‌مولار با مقدار (۲/٦٦) بدست آمد ($P \leq ۰/۰۵$) (شکل ۲).

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات متقابل خشکی و بنتونیت بر خصوصیات جوانه زنی بذر کاهو

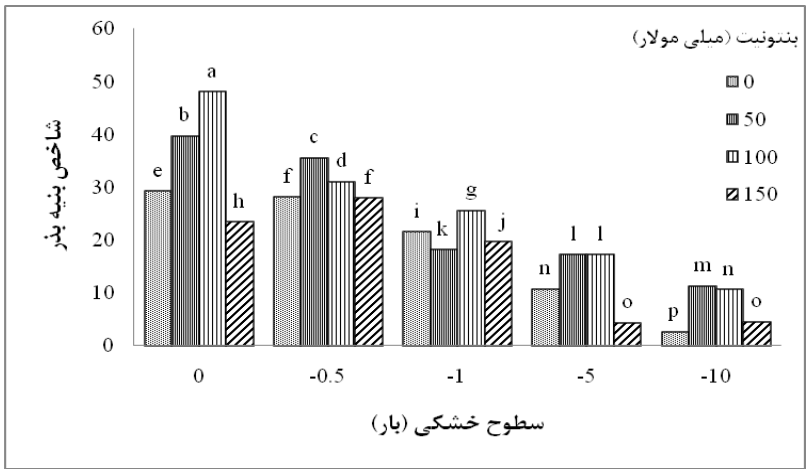
خشکی * بنتونیت		GR روز	MGT روز	GI	SFW گرم	SDW گرم	SL میلی‌متر	RL میلی‌متر	EG
۰	۰	۲۱/۳۳ d	۲/۳۹ gh	٦/١٤ bcd	۰/۰٦٦ c	۰/۰٤۰de	٥٧/٨٨ c	٤٧/٤٩ c	۰/٨٤ ab
	۵۰	٥٧/٢٧b	۲/٤۳ gh	٦/٣٤ b	۰/۰۹۱ a	۰/۰٥٧ b	٥٩/١٧b	٦٦/۰١b	۰/٨١ b
	۱۰۰	٦۰/٨٨ a	١/٣٢ i	٦/٨٥ a	۰/۰۹٥a	۰/۰٦۳ a	٦٢/٢۰ a	٦٦/٨٥ a	۰/٨٦a
	۱۵۰	١٢/٧۰ g	۲/٤٧ gh	٥/٢٢ f	۰/۰٥۳d	۰/۰۳٤gh	١٢/٣٧ i	٢٢/٢٩ f	۰/٦٩ c
-۰/۵	۰	١٨/١٢ e	۲/٤١ gh	٥/٨٩ d	۰/۰٦٤ c	۰/۰۳٦ g	٢٧/٧٤ f	١٨/۰٨ g	۰/٦٥ c
	۵۰	٣٥/٧٦ d	۲/٣٨ gh	٦/٢٦bc	۰/۰۹۲a	۰/۰٥۲c	٤٩/٢٥ d	٣٩/٣١ d	۰/٦٦ c
	۱۰۰	٢١/٤٣ d	۲/٣٨ gh	٦/١٤ bcd	۰/۰۷١b	۰/۰٤۳ d	٢١/٤٤ g	٢٣/١۰ e	۰/٦١ d
	۱۵۰	١٨/٢٧e	۲/٣۰ h	٦/۰١cd	۰/۰٦۳c	۰/۰٤۰ ef	٢٨/١٨e	١٨/١٦g	۰/٤١ f
-۱	۰	۹/١٦ h	۲/٧۹ efg	٤/٨١ g	۰/۰٥١d	۰/۰۳۲h	۹/١٥ j	٨/٧۹ i	۰/٥٦ e
	۵۰	١٧/٧٤ e	۲/٥٤ fgh	٥/٦٢e	۰/۰٥٤d	۰/۰۳٧fg	٢٨/١٢ e	١٨/۰٨ g	۰/٤٢ f
	۱۰۰	١٤/٣٤ f	۲/٥۰ fgh	٥/٥۰ e	۰/۰٥۲d	۰/۰۳٦g	١٤/٧٥ h	١٣/٧٤ h	۰/٥٧ e
	۱۵۰	۸/٢١h	۲/٧۹ efg	٤/٦٥ gh	۰/۰٥۲d	۰/۰۳۲h	۸/٥۲k	٧/٨٨k	۰/٣١ h
-۵	۰	٣/٣٥ jk	٣/٥١ bc	٢/٤٦l	۰/۰٢٤f	۰/۰١٧k	٣/٥٨ o	٢/٨١ m	۰/٣۰ h
	۵۰	٦/٣٤ i	٣/۰٤ de	٤/٢٦i	۰/۰٤۳e	۰/۰٢٤j	٧/١٢ l	٨/١٦ j	۰/٣٥ g
	۱۰۰	٦/٣٤ i	۲/٨۹ ef	٤/٤٣hi	۰/۰٤٦e	۰/۰٢٨i	٦/٨٦ m	٨/٢٤ j	۰/٣٣ gh
	۱۵۰	٣/١٦k	٣/٤٣ bc	٢/٣٤l	۰/۰٢٣f	۰/۰١٣l	٣/٤٨ o	٢/٨۰ m	۰/١٨ i
-۱۰	۰	١/٢۰l	٤/٤٥ a	١/۰٨ n	۰/۰١٤g	۰/۰۰٤ m	١/٤٢p	۰/٥٧n	۰/١٤ j
	۵۰	٤/٤۰j	٣/٣١ cd	٣/٤٨j	۰/۰٢٤٨f	۰/۰٢١j	٤/٢۰n	٥/١٦l	۰/۰٢ k
	۱۰۰	٤/٢٦j	٣/٥٨ bc	٣/١٥k	۰/۰٢٤f	۰/۰٢١ j	٤/۰٩n	٥/١٤l	۰/۰٢ k
	۱۵۰	٢/٣٩ l	٣/٨٢b	١/٩١ m	۰/۰١٢g	۰/۰۰٥ m	١/٤٥p	۰/٤٦ n	۰/۰١ k

† GR،MGT، GI، SVI، SFW، SDW، SL، RL، EG به‌ترتیب نشانگر سرعت جوانه‌زنی، میانگین زمان جوانه‌زنی، شاخص جوانه‌زنی، شاخص بنیه بذر، وزن تر گیاهچه، وزن خشک گیاهچه، طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه و انرژی جوانه‌زنی می‌باشند.

†† میانگین‌هایی که با حروف مشابه نشان داده شده‌اند بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح خطای ۵ درصد با هم دارای تفاوت معناداری نیستند.



شکل ۱- اثر متقابل تنش خشکی و بنتونیت بر میانگین درصد جوانه‌زنی
(مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح خطای ۵ درصد)



شکل ۲- اثر متقابل تنش خشکی و بنتونیت بر میانگین شاخص بنیه بذر
(مقایسه میانگین داده ها با استفاده از آزمون LSD در سطح خطای ۵ درصد)

بحث

در مجموع نتایج بدست آمده از این آزمایش نشان داد با افزایش سطح تنش کلیه شاخص‌ها کاهش و میانگین زمان جوانه‌زنی افزایش یافت. اگر جذب آب توسط بذر دچار اختلال شود و یا جذب آب به کندی صورت گیرد فعالیت‌های متابولیکی جوانه‌زنی در داخل بذر به آرامی صورت خواهد گرفت، در نتیجه مدت زمان خروج ریشه‌چه از بذر افزایش و از این رو سرعت جوانه‌زنی نیز کاهش می‌یابد (Hosseini and Rezvani Moghadam, 2006). درصد و سرعت جوانه‌زنی از پتانسیل صفر به پتانسیل ۱۰- به‌ترتیب کاهش ٦٨/٥٣ و ٧٩/٤٦ درصدی را نشان داد. تنش خشکی سرعت و درصد جوانه‌زنی را کاهش می‌دهد و باعث تاخیر در استقرار گیاهچه می‌شود بنابراین تنش خشکی از عوامل مهم ناتوانی بذر برای جوانه‌زنی می‌باشد (Prisco et al., 1992). علت کم شدن درصد جوانه‌زنی در شرایط کم آبی و پتانسیل اسمزی منفی محیط، در نتیجه تاثیر اسمزی محیط و عدم تعادل یونی است. همچنین پلی اتیلن گلایکول با ایجاد تنش خشکی باعث کاهش هیدرولیز مواد اندوخته‌ای بذر و در نتیجه کاهش درصد جوانه‌زنی می‌شود (Iraki et al., 1998). بنتونیت به سه صورت پتاسیک، سدیک و کلسیک وجود دارد. بنتونیت مورد استفاده در این آزمایش بنتونیت سدیم دار بوده که دارای مقادیر زیادی سدیم با یون‌های قابل تعویض می‌باشد که دارای ظرفیت بالای متورم

شدن می‌باشد و وقتی آب به آنها اضافه شود به صورت ژله‌ای در می‌آید (Aghdak et al., 2010)، در نتیجه مقدار آب در دسترس بذر را افزایش می‌دهد. کاربرد پلی اتیلن گلایکول باعث ایجاد نوعی خشکی فیزیولوژیک می‌شود که از جذب رطوبت مورد نیاز بذر کاسته و باعث کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی می‌شود، بنتونیت یک لایه رطوبتی در اطراف بذر فراهم کرده رطوبت در دسترس بذر را افزایش می‌دهد که این منجر به کاهش اثرات منفی تنش بر روی جوانه‌زنی شده است. نتایج .Ajam et al (2011)، در مطالعه سطوح تنش خشکی ناشی از پلی‌اتیلن گلایکول مطابق نتایج بدست آمده از این آزمایش می‌باشد، به این صورت که کاربرد سطوح ۰، ۳-، ۶- و ۹- بار از پلی‌اتیلن گلایکول نشان داد که با کاهش پتانسیل اسمزی درصد و سرعت جوانه‌زنی طول ریشه‌چه و ساقه‌چه و بنیه بذر کاهش یافت. همچنین .Makondi et al (2010) گزارش کردند، با کاهش پتانسیل اسمزی از صفر به ۱۵- بار در مورد کاهو درصد جوانه‌زنی، بنیه بذر و درصد جوانه‌زنی نرمال کاهش و متوسط زمان جوانه‌زنی و درصد جوانه‌زنی غیر نرمال افزایش یافت. از نظر سطوح خشکی، سطح صفر بیشترین طول ساقه‌چه و ریشه‌چه را نشان داده و با کاهش پتانسیل اسمزی به سمت ۱۰- بار روند کاهشی مشاهده شد. یکی از علل کاهش طول ساقه‌چه در شرایط تنش، کاهش یا عدم انتقال مواد غذایی از لپه‌ها به جنین ذکر گردیده است (Takel, 2000)، علاوه بر آن کاهش جذب آب توسط بذر در شرایط تنش باعث کاهش ترشح هورمون‌ها و فعالیت آنزیم‌ها و در نتیجه اختلال در رشد گیاهچه (شامل ریشه‌چه و ساقه‌چه) می‌شود (Asghari, 2000). از طرفی، کاهش طول ریشه‌چه و ساقه‌چه می‌تواند به علت محدودیت فشار تورگر باشد. ایجاد استحکام و سختی در دیواره سلول‌های برگ‌های در حال رشد می‌توانند برای زنده ماندن و بقاء رشد گیاهان در شرایط کمبود آب سودمند باشد. نهایتا سخت شدن دیواره سلول در طولانی مدت سبب ایجاد گیاهان کوچکتر می‌شود (Mahmoodi et al., 2008). مطابق بررسی اثرات متقابل بنتونیت و تنش خشکی در مورد صفات وزن تر و خشک گیاهچه به‌ترتیب بیشترین مقدار این صفات در تیمار خشکی صفر و ۱۰۰ میلی‌مولار بنتونیت و کمترین آن در سطح تنش (۱۰- بار) و بنتونیت صفر مشاهده شد. در این آزمایش سطوح ۵۰ و ۱۰۰ میلی مولار بنتونیت، در سطح خشکی صفر بالاترین وزن تر گیاهچه را نتیجه داد. .Gupta et al (1991) نشان دادند که کاهش وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه در سطوح بالای خشکی، به علت کاهش انتقال مواد غذایی و انتقال آنها از لپه‌ها به محور جنینی است. به نظر می‌رسد که یکی از دلایل کاهش وزن خشک ساقه‌چه در پتانسیل‌های آب پایین، تحرک کم مواد غذایی و انتقال کمتر آنها از لپه‌ها به محور جنینی باشد. قابل ذکر است عواملی که سرعت رشد محور جنینی را تحت تاثیر قرار می‌دهند، می‌توانند بر تحرک مواد غذایی و انتقال آنها از لپه‌ها به محور جنینی تاثیر بگذارند (Singh and Saxena, 1993). نتایج .Armandpisheh et al (2009) در کاربرد زئولیت به عنوان نوع دیگری از سوپر جاذب‌های طبیعی نشان داد، که بذرهای تولید شده تحت تنش خشکی و بدون کاربرد زئولیت دارای ریشه‌چه کوتاه‌تر، وزن خشک کمتر، درصد جوانه‌زنی نهایی پائین‌تر و گیاهچه‌های غیر نرمال بیشتر می‌باشند و این پارامترها باعث کاهش قوه نامیه و قدرت رویش بذرهای تولیدی می‌گردد. به نظر می‌رسد در بالاترین غلظت بنتونیت (۱۵۰ میلی‌مولار) کاهش پتانسیل رخ داده که منجر به ایجاد رقابت بین بنتونیت و بذر در فرآیند جذب آب شده که در این رقابت بنتونیت بر بذر غلبه می‌کند و درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، شاخص جوانه‌زنی، وزن تر و خشک گیاهچه، طول ساقه‌چه و ریشه‌چه و انرژی جوانه‌زنی در این غلظت نسبت به سایر سطوح بنتونیت و شاهد کمتر شده است، این محدودیت در تامین رطوبت همچنین باعث افزایش میانگین زمان جوانه‌زنی شد.

نتیجه‌گیری نهایی

به‌طورکلی، احتمالا مکانیسم عمل بنتونیت در جذب آب به گونه‌ای است که سبب افزایش انتقال آب به بذرهای و تسریع شرکت آن در فعالیت‌های هورمونی و واکنش‌های آنزیمی شده و سبب افزایش انتقال هورمون‌های گیاهی موثر در افزایش وزن خشک گیاهچه و بهبود صفات جوانه‌زنی می‌شود، از میان غلظت‌های به‌کار برده شده بنتونیت، سطح ۱۰۰ میلی مولار در شرایط عدم تنش خشکی (پتانسیل صفر بار) بهترین نتیجه را داده و به‌عنوان سطح مطلوب پیشنهاد می‌گردد. با توجه به فراوانی کانسارهای بنتونیت در ایران و قابلیت ماده معدنی بنتونیت به‌عنوان یک نوع سوپر جاذب طبیعی در نگهداری رطوبت و کاهش اثرات منفی تنش خشکی، تحقیقات آزمایشگاهی و میدانی در مورد تاثیر آن بر بذرهای گونه‌های مختلف گیاهی و در شرایط مختلف، مستلزم صرف زمان بیشتری است.

Reference

Abedikoupaie, J., and Sohrab, F. 2004. Effect of zeolite and bentonite minerals of the soil hydraulic properties. Proceedings of 12th Symposium of Crystallography and Mineralogy of Iran, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran. 562-567. (In Persian).

Agarwal, R.L. 1980. Seed Technology. Pub. CO. PVT.LTD. New Delhi. India. 842 Pages.

Aghdak, P., Mobli, M., Khoshgoftarmanesh, A., and Shakeri, F. 2010. Effects of adding bentonite to different substrates Planting on growth and yield of snap beans (*Phaseulus vulgaris* L.). Science and Technology of Greenhouse Culture. 1(3): 31-41. (In Persian).

Ajam, A., Nabavikalat, S., and Mohebi, N. 2011. Study of drought and salinity stress on germination of two varieties of lettuce. National Conference of Agriculture. Azad University of Jahrom (In Persian).

Allah Dadi, A., Moazen Ghamsari, B., Akbari, G.H., and Zohoorian Mehr, M. 2005. Investigation of the effect of different amount of water super absorbent polymer A 200 and irrigation levels on growth and yield of forage corn. In: Proceedings of *3rd specific symposium on application of super absorbent polymer hydro gels in agriculture*. Petrochemistry and Polymer Research Center Iran. Karaj. (In Persian).

Armandpisheh, A., Irannezhad, H., Allahdadi, A., Amiri, R., and Kaiaie, A. 2009. Effect of zeolite application on canola seed germination and vigor under drought stress. Ecophysilogy Journal. 1(1): 54-62. (In Persia).

Asghari, M. 1992. Ethylene effect on osmotic adjustment and growth of axial and cotyledonary tissues sunflower seeds under drought stress. Agricultural Sciences and Technology Journal. 7: 137-145. (In Persian).

Boydak, M., Dirik, H., Tilki, F. and Calikoglu, M. 2003. Effects of water stress on germination in six provenances of *Pinus brutia* seeds from different bioclimatic zones in Turkey. Turk, J. Agric. 27: 91-97.

Elias, S.G., and Copel, L.O., 2001. Physiological & harvest maturity of canola in relation to seed quality. Agronomy Journal, 93: 1054-1058.

Ellis, R.A., and Roberts, E.H. 1981. The quantification of ageing & survival in orthodox seeds. Seed Science Technology, 9: 373-409.

Falleri, E. 1994. Effect of water stress on germination in six provenances of *Pinus pinaster* Ait. Seed. Sci and Technol. 22:591-599.

Gupta, N., singh, J., and kaur, N.R. 1991. Effect of PEG-induce water deficit on germination of chick pea cultivars differing in drought tolerance. Agronomy Journal. 107:177-182

Hosseini, H., and Rezvani Moghadam, P. 2006. Effect of water and salinity stress in seed germination on Isabgol (*Plantago ovata*). Iranian J. Field Crop Res. 4 (1):15-23.

Iraki, S.N., Bressan, R.A., and Carpita, N.C. 1998. Cell walls of tobacco cells and changes in composition saaocited with reduced growh upon updation to water and slain stress. Plant physiol. 91: 48 -53.

Kader, M.A., and Jutzi, S.C. 2004. Effects of thermal & salt treatments during imbibition on germination & seedling growth of Sorghum at 42/19°C. Journal of Agronomy & Crop Science, 190: 35-38.

Koochaki, A., and Alizadeh, A. 1987. Agriculture in arid areas of printing, publishing Razavi, 270 Pages. (In Persian).

Koochaki, A., Soltani, A., and Azizi, M. 1997. Translation: Plant Ecophysilogy, publishing Mashhad University Jahad, 271 p. (In Persian).

Lawrence, O.B., Agaba, H., Tweheyo, M., Gerald, E., Kabasa, J.D., and Hüttermann, A. 2009. Amending soils with hydrogels increases the biomass of nine tree species under non-water stress conditions. Clean – Soil, Air, Water. 37: 615–620.

Mahmoodi, A., Barani, H., Soltani, A., and Sepehri, A. 2008. Effects of water stress on alfalfa a year (*Mdicago scutellata* Mill) at the germination stage. Journal of Range. 2 (2): 113-121. (In Persian).

Makoondi, M., Shapoori, S., and Ramin, A. 2010. Drought tolerance of tomato and lettuce seed germination stage using mannitol as a stress factor. The first national conference on sustainable agriculture and healthy product. Azad University of Hamedan. (In Persian).

Michel, B.E., and Kaufman, M.R. 1973. The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. Plant Physiology. 51: 914-916.

Pavast, G.H. 2001. Vegetable gardening. Press release Agricultural Sciences. (In Persian).

Prisco, J.T., Babtista, C.R., and Pinheiro, J.L. 1992. Hydration dehydration seed Pre-treatment and its effects on seed germination under water stress condition. Revta. Bot. 15(1): 31-35.

Ruan, S. 2002. The influence of priming on germination of rice seeds & seedling emergence & performance in flooded soil. Seed Science and Technology. 30: 61-67.

Singh, K.B., and Saxena, M.C., 1993. Breeding for Stress Tolerance in Cool-Season Food Legumes. The Hague, The Netherlands: Martinus Nijhoff/Junk.

Takel, A. 2000. Seedling emergence and growth of sorghum genotypes under variable soil moisture deficit. Agronomy Journal. 48(1): 95-102.