Iranian Journal of Field Crop Science
Vol 51, No 1, Spring 2020 (91-100)
DOI: 10.22059/IJFCS.2019.254474.654459

علوم گیاهان زراعی ایران
دورۀ ۵۱، شمارۀ ۱، بهار ۱۳۹۹ (ص۱۰۰-۹۱)

تأثیر تیمارهای سرمادهی مرطوب و اسید جیبرلیک بر پارامترهای دمایی جوانه‌زنی علف‌هرز چوچاق (*Eryngium caeruleum*)

محمد لطفی اصل گیگلو[۱]، مصطفی اویسی*[۲]، حمید رحیمیان مشهدی[۳]، بهناز پورمراد کلیبر[٤]، محمدحسین نعیمی[۱]
۱و ۲و ۳ و٤- به ترتیب دانش آموخته، دانشیار، استاد و دانشجوی دکتری، گروه زراعت و اصلاح نباتات،
پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران
(تاریخ دریافت:۱۳۹٦/۱۲/۲۱- تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۲۳)

چکیده

شناخت زیست‌شناسی جوانه‌زنی گیاه چوچاق (*Eryngium caeruleum*)، امکان پیش‌بینی سطح خواب و جوانه‌زنی بذر در شرایط مختلف در طول فصل را فراهم می‌نماید. این آزمایش، با هدف مطالعه میزان خواب بذر و پاسخ پارامترهای دمایی جوانه‌زنی گیاه چوچاق، به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با سه تکرار، در آزمایشگاه گروه زراعت و اصلاح نباتات پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران اجرا شد. فاکتورهای آزمایشی شامل سه سطح اسیدجیبرلیک (صفر، ۲۵۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر)، شش زمان سرمادهی (یک، سه، پنج، ۱۰، ۱۵ و ۳۰ روز) و هفت سطح دمایی (پنج، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد) بودند. پارامترهای جوانه‌زنی با استفاده از مدل دوتکه‌ای و تحت تأثیر سطوح مختلف اسیدجیبرلیک و سرمادهی به‌دست آمدند. نتایج این آزمایش نشان داد که در تیمار ۱۵روز سرمادهی ×۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید جیبرلیک که بهترین تیمار برای کاهش سطح خواب بود، دماهای کاردینال جوانه‌زنی شامل دمای پایه، مطلوب و سقف، به‌ترتیب ۱/۸۱، ۲۲/۳۱ و ۳٤/۱۰ درجه سانتی‌گراد به‌دست آمد. افزایش زمان سرمادهی و غلظت اسیدجیبرلیک از صفر به ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر، دمای پایه را کاهش داد، دمای مطلوب را افزایش داد و دمای سقف جوانه‌زنی چوچاق را ابتدا افزایش و سپس کاهش داد.

واژه‌های کلیدی: جیبرلین، دماهای کاردینال، زیست‌شناسی، سرعت جوانه‌زنی، شکست خواب.

Effect of chilling time and gibberellic acid treatments on germination thermal parameters of *Eryngium caeruleum*

Mohammad Lotfi Asle Giglo, Mostafa Oveisi*, Hamid Rahimian Mashhadi, Behnaz Pourmorad Kaleibar, Mohammad Hossein Naeimi

Agronomy and Plant Breeding Department, College of Agriculture and Natural Resources,
University of Tehran, Iran.
(Received: March 12, 2018 - Accepted: February 12, 2019)

ABSTRACT

Recognition of *Eryngium caeruleum* germination biology can provide the possibility of forecasting the seed dormancy and germination level in various conditions. This study was conducted as factorial experiment based on completely randomized design with three replications in the laboratory of Agronomy and Plant Breeding Department, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, to understand *Eryngium caeruleum* seed dormancy and response of germination thermal parameters. The experimental factors were included three levels of gibberellic acid (0, 250, 500 mg/l), six chilling time (1, 3, 5, 10, 15, 30 days) and seven temperatures (5, 10, 15, 20, 25, 30, 35°c). Germination parameters were obtained by the segmented model under the influence of gibberellic acid and chilling treatments. The results of this study showed that, the best treatment for reducing dormancy level, cardinal temperatures for germination including base, optimum and ceiling temperatures was obtained 1.81, 22.31, and 34.10°c respectively. Increasing of the chilling time and the gibberellic acid concentration from 0 to 250 mg/l, decreased the base temperature, and increased optimum temperature. Ceiling temperature, at first was increased and then decreased.

Keywords: Biology, cardinal temperatures, dormancy breaking, germination rate, gibberellin

* Corresponding author E-mail: moveisi@ut.ac.ir

مقدمه

جوانه‌زنی بذر، از مهم‌ترین رویدادها برای موفقیت بسیاری از علف‌های‌هرز محسوب می‌شود زیرا نخستین مرحله رقابت یک علف‌هرز در یک آشیانه اکولوژیکی است (Alebrahim *et al*., 2010). در این بین، مهم‌ترین عاملی که مانع جوانه‌زنی بذرها به ویژه در علف‌های‌هرز می‌شود، خواب بذر است. چوچاق با نام علمی *Eryngium caeruleum* از جمله گیاهان چندساله و از تیره چتریان (Apiaceae) است (Mozumder & Hossain, 2013). این گیاه در مناطقی از اروپا از جمله آلمان، اسپانیا، فرانسه، یونان، برخی مناطق ترکیه و در شمال و مناطق جلگه‌ای ایران به عنوان علف‌هرز گزارش شده است و خسارت زیادی به محصولات زمستانه و مزارع صیفی‌جات وارد می‌نماید. از طرف دیگر، اطلاعات در مورد ویژگی‌های زیست‌شناسی جوانه‌زنی این گیاه و مراحل فنولوژی و تأثیر عوامل محیطی بر رشد این گیاه ناچیز است. این گیاه در حال حاضر، به‌صورت خودرو در زیستگاه‌های طبیعی رشد می‌کند و در کانال‌های آبیاری و نیز در باغات و برخی مزارع، به عنوان علف‌هرز محسوب می‌شود. تاکنون تحقیقاتی بر روی خواب بذر، جوانه‌زنی و مراحل فنولوژی این علف‌هرز صورت نگرفته است. بنابراین تحقیق بر روی بذرهای این گیاه و خصوصیات جوانه‌زنی و رشد فنولوژیک آن، به عنوان گامی اولیه در جهت شناخت بهتر زیست‌شناسی و خصوصیات جوانه‌زنی و رویش این گیاه به عنوان یک علف‌هرز، ضروری می‌باشد.

بر طبق تحقیقات انجام شده، اغلب گیاهان خانواده چتریان، خواب فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی و یا ترکیبی از این دو را نشان می‌دهند (Baskin & Baskin, 2004). هورمون‌ها نقشی کلیدی در ایجاد و کنترل خواب فیزیولوژیکی بذر دارند. در بین هورمون‌ها، اسید جیبرلیک[1](GA) از طریق القای جوانه‌زنی، خواب بذر را کنترل می‌نماید. گاهی از تیمار سرمادهی به تنهایی یا همراه با تیمارهای دیگر از جمله اسید جیبرلیک، برای شکست خواب و افزایش جوانه‌زنی بذرها استفاده می‌شود (Najafi *et al*., 2006). سرمادهی، یک عامل مهم تاثیرگذار در تغییر سطح خواب بذرها می‌باشد؛ به این معنی که سرمادهی، هورمون اسیدجیبرلیک را فعال می‌کند که در این صورت، هورمون جیبرلین باعث تجزیه اندوخته غذایی بذر می‌شود و به عبارتی متابولیسم جوانه‌زنی را فعال می‌کند. در نهایت با فعال شدن متابولیسم جوانه‌زنی، بذر از حالت خواب خارج می‌شود و جوانه‌زنی اتفاق می‌افتد و سطح خواب بذر پایین می‌آید. شناخت دماهای کاردینال نیز می‌تواند برای ارزیابی ویژگی‌های جوانه‌زنی یا پتانسیل استقرار گونه‌های گیاهی مفید باشد (Najafi *et al*., 2005).

هدف از این آزمایش، شناخت سطح خواب بذر گیاه چوچاق و واکنش آن به تیمارهای هورمون اسیدجیبرلیک و زمان سرمادهی است که به عنوان عامل تغییر خواب فیزیولوژیکی معرفی شده است. بررسی منابع نشان می‌دهد که قبلا آزمایشی بر روی این گیاه برای تعیین سطح خواب و نوع خواب، بر اساس دامنه دمایی جوانه‌زنی از دماهای پایه تا سقف انجام نشده است. این آزمایش، پنجره جوانه‌زنی (Benech Arnold *et al*., 2000) این گیاه و همچنین سطح خواب بذرها را تحت تأثیر ترکیب‌های تیماری هورمون و سرمادهی بررسی خواهد نمود.

مواد و روش‌ها

بذرهای مورد استفاده در این آزمایش، در آذرماه ۱۳۹۴ از رویشگاه‌های آن در شمال کشور و از شهرهای تنکابن و قائم‌شهر جمع‌آوری شدند. بذرهابا دست از گل آذینشان خارج شدند و برای انجام آزمایش آماده شدند. بذرها تا زمان اجرای آزمایش، در داخل کیسه‌های پلاستیکی در بسته و در دمای اتاق نگهداری شدند. آزمایش در آزمایشگاه گروه زراعت و اصلاح نباتات پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران در سال ۱۳۹۵، به‌صورت فاکتوریل با سه فاکتور سرمادهی مرطوب در شش زمان یک، سه، پنج، ۱۰، ۱۵ و ۳۰ روز و در دمای پنج درجه سانتی-گراد، اسید جیبرلیک در سه سطح با غلظت صفر،

[1] Gibberellic acid

۲۵۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر و دما در هفت سطح پنج ، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد، در قالب طرح کاملا تصادفی در سه تکرار انجام شد. قبل از انجام آزمایش، بذرها در محلول اتانول ۷۰ درصد ضدعفونی شدند. برای ضدعفونی، پتری‌های شیشه‌ای در داخل اتوکلاو در دمای ۱۲۱ درجه سانتی-گراد به مدت ۲۰ دقیقه قرار داده شدند. به منظور درست کردن محلول اسید جیبرلیک، پس از اضافه کردن چند قطره اتانول به آب مقطر، اسید جیبرلیک به محلول آب مقطر و اتانول اضافه شد و محلول بدست آمده توسط شیکر به خوبی هم زده شد. برای هر تیمار اسید جیبرلیک، در داخل هر پتری، ۲۵ عدد بذر ضدعفونی شده قرار داده شد. سپس پتری‌ها با فویل بطور کامل پوشانده شدند و در داخل ژرميناتوری با دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد، به‌صورت تصادفی و در داخل یک طبقه قرار گرفتند. برای هر تکرار، یک تیمار بدون اعمال اسیدجیبرلیک نیز به عنوان شاهد در نظر گرفته شد. پس از اعمال تیمار اسیدجیبرلیک، تیمار سرمادهی مرطوب اعمال شد. به این ترتیب که بذرهای قرار داده شده در محلول اسید جیبرلیک، بعد از ۴۸ ساعت از محلول خارج شدند و پس از شستشو، در پتری‌های شیشه‌ای و داخل آب مقطر در دمای پنج درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند، برای هر تکرار، یک تیمار شاهد و بدون اعمال سرمادهی مرطوب هم در نظر گرفته شد. پس از گذشت زمان‌های لازم برای هر تیمار سرمادهی مرطوب، برای اعمال تیمار دما، بذرها از داخل پتری-های شیشه‌ای بیرون آورده شدند و درون پتری‌های پلاستیکی ۸۰ میلی‌متری ضدعفونی شده دارای دو لایه کاغذ صافی قرار گرفتند. سپس سطح کاغذ صافی-ها با چهار میلی‌لیتر آب مقطر مرطوب شد و پتری‌ها در دماهای مورد نظر قرار داده شدند. به مدت ۱۴ روز، بذرهای جوانه‌زده تیمارهای مختلف، به‌صورت روزانه شمارش شدند و یادداشت برداری انجام شد. لازم به ذکر است که در هر شمارش، بذرهای جوانه‌زده پس از مشاهده و شمارش، حذفشدند. معیار جوانه‌زنی، خروج ریشه‌چه به اندازه‌ی حداقل دو میلی‌متر بود (Soltani *et al*., 2001).

با استفاده از داده‌های به‌دست آمده از شمارش بذرهای جوانه‌زده در طی ۱۴ روز، درصد نهایی جوانه‌زنی و همچنین سرعت جوانه‌زنی محاسبه شد. سرعت جوانه‌زنی از رابطه ۱ به‌دست آمد (Maguire, 1962):

$$Vg = \sum \frac{Ni}{Di} \qquad \text{(رابطه ۱)}$$

که در این رابطه: Vg، سرعت جوانه‌زنی برحسب تعداد بذر در روز؛ Ni، تعداد بذر جوانه‌زده در هر روز و Di، شماره آن روز می‌باشند.

به منظور بررسی اثر تیمارهای مختلف بر روی سرعت جوانه‌زنی، آنالیز واریانس داده‌ها با استفاده از نرم افزار R انجام شد. با توجه به معنی‌دار شدن اثرات متقابل، برای آنالیز این اثرات، از تجزیه رگرسیونی استفاده شد. به منظور بررسی سرعت جوانه‌زنی در مقابل دما، از مدل دوتکه‌ای (رابطه ۲، Soltani *et al*., 2006) در تیمارهای مختلف سرمادهی و اسید جیبرلیک استفاده شد که این کار با استفاده از نرم افزار سیگماپلات انجام شد و نمودارهای مربوط به آن در این نرم افزار رسم شد.

$$f(T) = \frac{(T-T_b)}{(T_o-T_b)} \quad if \ T_b<T\leq T_o \qquad \text{(رابطه ۲)}$$

$$f(T) = \left[\frac{1-(T-T_o)}{(T_c-T_o)}\right] \quad if \ T_o<T<T_c$$

$$f(T) = 0 \quad if \ T\leq T_b \ or \ T\geq T_c$$

پارامترهای دمایی جوانه‌زنی برای تیمارهای مختلف اسیدجیبرلیک در سرمادهی مرطوب محاسبه شد. این پارامترها عبارتند از: Gmax[۱]،حداکثر سرعت جوانه‌زنی؛ Tb[۲]،دمای پایه برای جوانه‌زنی؛ To[۳]، دمای بهینه جوانه‌زنی و Tc[۴]، دمای سقف جوانه‌زنی. همچنین فاصله بین دمای پایه تا دمای سقف (Tc-Tb) برای تیمارهای مختلف محاسبه شد که نشان دهنده بازه دمایی برای جوانه‌زنی می‌باشد. پارامتر Gmax × (Tc-Tb) نیز به‌عنوان سطح زیر منحنی سرعت جوانه‌زنی که نشان دهنده سطح بیداری بذرها می‌باشد محاسبه شد. همچنین برای بررسی دقت برازش مدل، از شاخص‌های RMSE[۵] ، R^2[۶] و خطای

[۱] Maximum germination rate
[۲] Base temperature
[۳] Optimum temperature
[۴] Ceiling temperature
[۵] Root Mean Square Error
[۶] R-squared: coefficient of determination

استاندارد پارامترهااستفاده شد.

نتایج و بحث

پاسخ سرعت جوانه‌زنی و پارامترهای دمایی جوانه‌زنی به برهمکنش اسیدجیبرلیک با سرمادهی مرطوب

با توجه به جدول تجزیه واریانس، تمامی اثرات متقابل بر روی سرعت جوانه‌زنی، در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱).

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر اسید جیبرلیک، سرمادهی مرطوب و دما بر سرعت جوانه‌زنی

Table 1. Variance analysis of gibberellic acid (GA), chilling time (CHT) and temperature effects on germination rate

S. O. V	Germination rate		
	DF	Mean of squares	P- value*
Gibberllic acid	2	12.884	<2e-16
Chilling time	5	9.686	<2e-16
Temperature	6	13.874	<2e-16
Gibberllic acid ×chilling time	10	0.484	<2e-16
Gibberllic acid acid×Temperature	12	0.673	<2e-16
Chilling time×Temperature	30	0.569	<2e-16
Gibberllic acid ×Temperature×Chilling time	60	0.144	<2e-16

*مقادیر کمتر از ۰/۰۱ نشان دهنده تاثیر معنی‌دار می‌باشند.

*The values less than 0. 01 are significant.

سرعت جوانه‌زنی در مقابل دما، با استفاده از مدل دو تکه‌ای (شکل۱) بررسی شد و پارامترهای دمایی جوانه زنی (Gmax، Tb ، To ، Tc) در تیمارهای مختلف اسید جیبرلیک × سرمادهی محاسبه شد. بر اساس نتایج، روند مشخصی در ارتباط با تاثیر سطوح مختلف اسید جیبرلیک و سرمادهی بر دمای پایه به‌دست نیامد. بالاترین دمای پایه (Tb) در تیمار شاهد (با اعمال سرمادهی یک روزه و بدون اسیدجیبرلیک) و در حدود هفت درجه سانتی‌گراد به‌دست آمد (جدول ۲).

جدول ۲- پارامترهای جوانه‌زنی بر اساس تیمارهای مختلف اسیدجیبرلیک (GA) و سرمادهی مرطوب (CHT)

Table 2. Germination parameters according to the gibberellic acid (GA) and chilling time (CHT) treatments

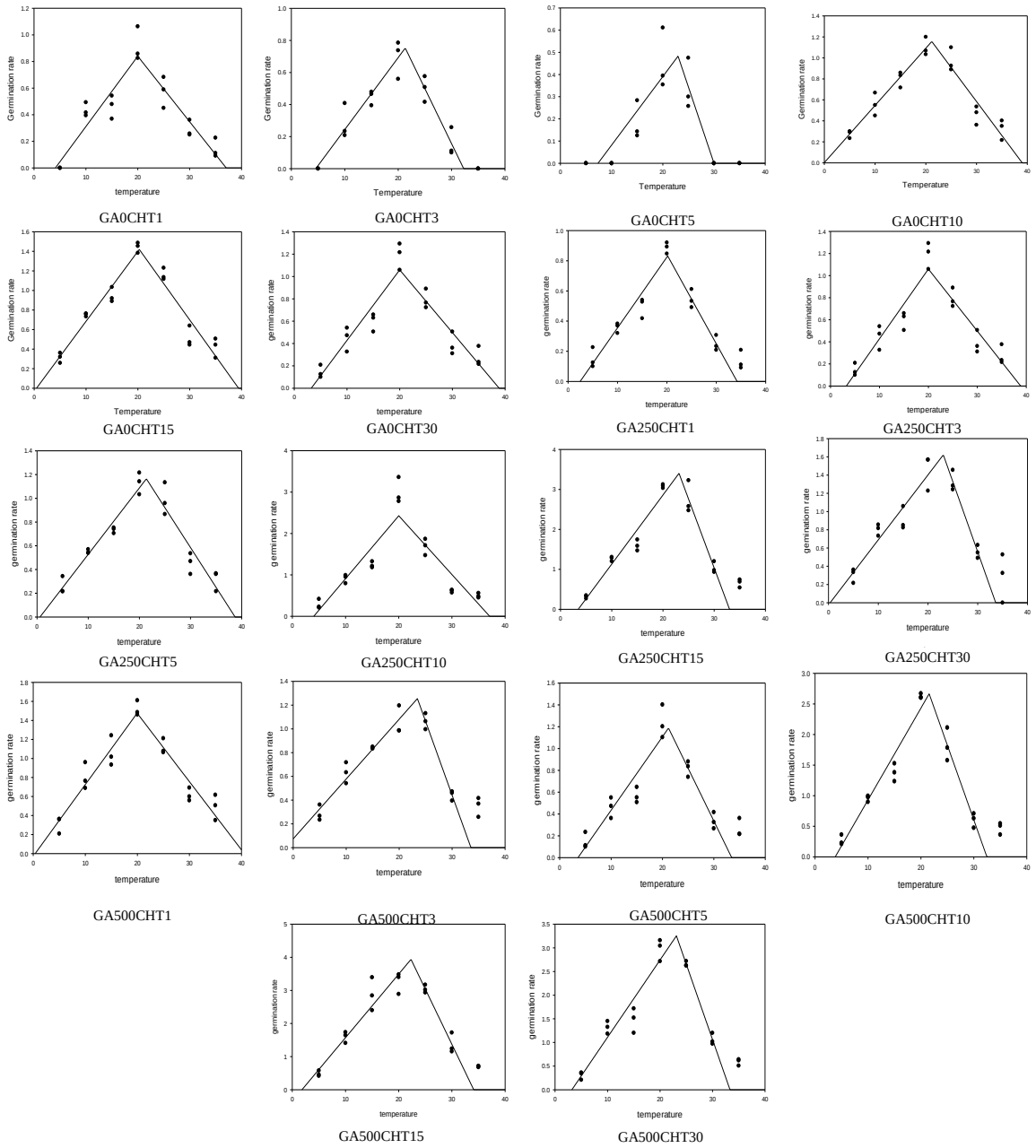
Treatment		Germination parameters					
GA (ppm)	CHT (day)	Tb (°c)	To (°c)	Tc (°c)	Gmax (seed/day)	Gmax×(Tc-Tb)	RMSE
0	1	7.342 (1.136)	22.983 (0.934)	30.000 (0.749)	0.483 (0.044)	10.877	0.089
	3	4.573 (0.820)	21.330 (0.785)	32.271 (0.940)	0.753 (0.040)	20.775	0.074
	5	4.116 (1.130)	20.000 (1.143)	37.049 (1.547)	0.840 (0.058)	27.636	0.115
	10	-0.051 (1.359)	21.181 (0.835)	39.006 (1.298)	1.156 (0.048)	44.85	0.104
	15	0.445 (1.204)	20.274 (0.856)	39.432 (1.432)	1.420 (0.062)	55.323	0.126
	30	3.846 (1.159)	20.000 (1.174)	38.652 (1.965)	1.022 (0.072)	35.496	0.138
250	1	2.438 (1.152)	20.162 (1.164)	34.217 (1.799)	0.832 (0.057)	26.369	0.091
	3	3.222 (1.158)	20.000 (1.150)	38.870 (1.839)	1.059 (0.065)	37.38	0.130
	5	0.5669 (1.306)	21.371 (0.829)	38.718 (1.259)	1.164 (0.050)	40.832	0.107
	10	4.020 (1.352)	20.000 (1.450)	37.091 (1.809)	2.430 (0.186)	80.409	0.386
	15	3.454 (1.198)	23.136 (0.750)	33.002 (1.080)	3.403 (0.187)	100.47	0.377
	30	0.319 (1.904)	23.083 (0.900)	33.617 (1.374)	1.622 (0.097)	52.304	0.196
500	1	3.549 (1.405)	21.176 (1.305)	33.476 (1.903)	1.188 (0.096)	35.235	0.174
	3	-1.481 (2.532)	23.455 (0.942)	33.559 (1.413)	1.255 (0.083)	41.875	0.164
	5	0.371 (1.491)	19.958 (0.898)	40.546 (1.346)	1.477 (0.065)	58.991	0.132
	10	3.198 (1.252)	23.124 (0.780)	33.334 (1.186)	3.254 (0.181)	97.858	0.365
	15	1.817 (1.369)	22.316 (0.888)	34.101 (1.457)	3.938 (0.213)	125.931	0.422
	30	3.800 (0.995)	21.555 (0.842)	32.463 (1.039)	2.666 (0.147)	76.236	0.280

*اعداد داخل پرانتز نشان دهنده خطای استاندارد پارامترها می‌باشند.

*Numbers in the parentheses show the standard error of the parameters.

نتایج نشان داد که سرعت جوانه‌زنی در تیمار شاهد در سرمادهی یک روزه، ۰/۸ بذر در روز بوده است اما با افزایش زمان سرمادهی تا پنج روز، این تعداد به حدود ۰/۵ بذر در روز رسید و سپس زمانی که سرمادهی تا ۱۵ روز افزایش یافت، این روند به ۱/۴ بذر در روز رسید. در نهایت و با اعمال سرمادهی ۳۰ روزه، سرعت

جوانه‌زنی به حدود یک بذر در روز کاهش یافت (شکل ۱- GA0CHT 1,5,15,30).



شکل ۱- برازش مدل دوتکه‌ای سرعت جوانه‌زنی (بذر درروز) در مقابل دما (درجه سانتی‌گراد) در ترکیبات مختلف اسیدجیبرلیک (GA) و زمان سرمادهی (CH)

Figure 1. Germination rate segmented model (seed/day) against temperature in different combinations of gibberellic acid (GA) and chilling time (CH)

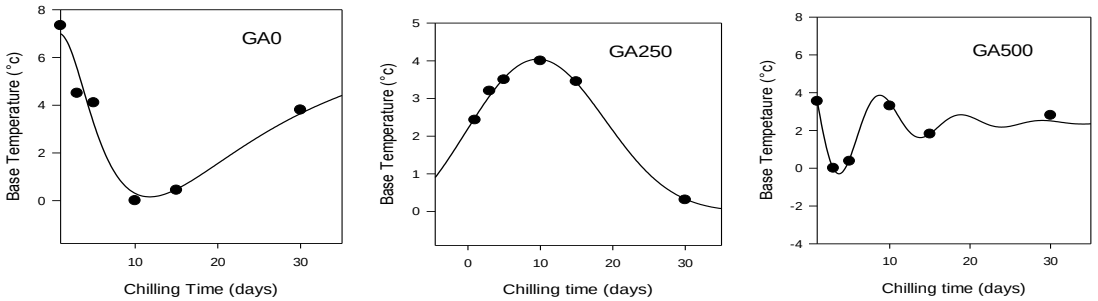
درحالی‌که با افزایش غلظت اسیدجیبرلیک تا ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر، با افزایش مدت زمان سرمادهی از یک روز به ۱۵ روز، سرعت جوانه‌زنی از ۰/۸ بذر در روز به حدود ۳/۵ بذر در روز رسید که برخلاف روند در تیمار شاهد بود. در این غلظت نیز با افزایش اعمال سرمادهی تا ۳۰ روز، سرعت جوانه‌زنی به حدود ۱/۶ بذر در روزکاهش یافت (شکل۱- GA250CHT 1, 15, 30).

در غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسیدجیبرلیک و در سرمادهی یک روزه، سرعت جوانه‌زنی در ابتدا در

حدود ۱/۴ بذر در روز بود که این تعداد بذر با اعمال سرمادهی تا پنج روز، به حدود ۱/۲ بذر در روز کاهش یافت. این در حالی است که با اعمال سرمادهی تا ۱۵ روز، سرعت جوانه‌زنی به حدود ۳/۷ بذر در روز رسید و روند افزایشی نشان داد (شکل ۱- GA500CHT1، GA500CHT5، GA500CHT15) ولی در نهایت سرعت جوانه زنی با اعمال سرمادهی ۳۰ روزه، به حدود ۳/۲ بذر در روز کاهش یافت که این روند تقریبا روندی مشابه با روند سرعت جوانه‌زنی در تیمار شاهد داشت؛ با این تفاوت که سرعت جوانه‌زنی در غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر، به مراتب بیشتر از شاهد بود (شکل ۱-GA500CHT1,5,30).

دماهای کاردینال جوانه‌زنی

با توجه به نتایج تجزیه واریانس، رابطه بین زمان سرمادهی (روز) با دمای پایه (Tb) در غلظت های صفر، ۲۵۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید جیبرلیک به دست آمد (شکل ۲).



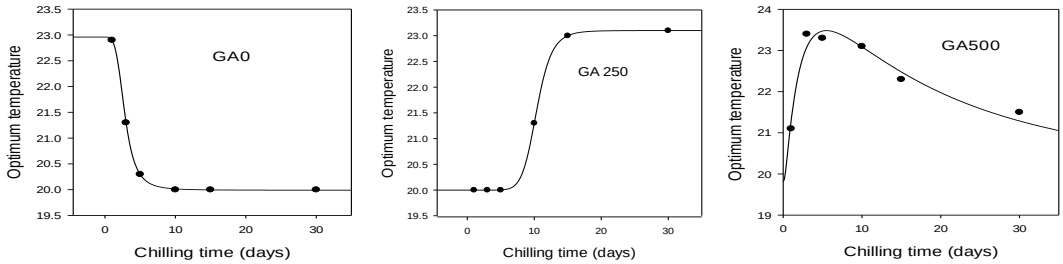
شکل ۲- روند تغییرات دمای پایه (Tb) جوانه‌زنی با افزایش تعداد روزهای سرمادهی در غلظت‌های صفر، ۲۵۰ و ۵۰۰ پی پی‌ام جیبرلیک اسید (GA)

Figure 2. Base temperature changes by increasing the chilling time in 0, 250, and 500 ppm of gibberellic acid

در تیمار شاهد، با افزایش زمان سرمادهی از یک روز به ۱۰ روز، دمای پایه جوانه‌زنی از حدود هفت درجه سانتی‌گراد به صفر درجه سانتی‌گراد کاهش یافت، درحالی‌که با افزایش زمان سرمادهی از ۱۰روز به ۱۵روز، دمای پایه به یک درجه سانتی‌گراد افزایش یافت و در نهایت با رسیدن به سرمادهی ۳۰ روزه، این روند افزایشی تا دمای پایه حدود چهار درجه سانتی‌گراد ادامه یافت (شکل ۲). در رابطه با غلظت ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر اسید جیبرلیک، بالاترین مقدار دمای پایه، چهار درجه‌ی سانتی‌گراد و کمترین مقدار در حدود صفر درجه سانتی‌گراد به دست آمد. دمای پایه در غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید جیبرلیک، ابتدا با افزایش زمان سرمادهی از یک روز به سه روز، از حدود چهار درجه سانتی‌گراد به صفر درجه سانتی‌گراد کاهش پیدا کرد (شکل ۲)، درحالی‌که با افزایش تعداد روزهای سرمادهی تا ۱۰ روز، این دما باز به حدود چهار درجه سانتی‌گراد افزایش یافت و در ادامه روند این تغییرات، در سرمادهی ۳۰ روزه، دمای پایه در حدود سه درجه سانتی‌گراد باقی ماند. در نهایت می‌توان گفت که روند تغییرات دمای پایه در غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر، برخلاف تیمار بدون اسید جیبرلیک و غلظت ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر، متفاوت بود و به صورت سینوسی به دست آمد.

در رابطه با روند تغییرات دمای بهینه (To) و با توجه به شکل ۳، با افزایش تیمارهای تعداد روزهای سرمادهی و غلظت‌های مختلف اسید جیبرلیک می‌توان گفت که در تیمار بدون اسید جیبرلیک، با اعمال سرمادهی یک روزه، دمای مطلوب در حدود ۲۳ درجه سانتی‌گراد به‌دست آمد، درحالی‌که با افزایش تعداد روزهای سرمادهی تا ۱۰ روز، این دما به ۲۰ درجه سانتی‌گراد کاهش یافت. در غلظت ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر اسید جیبرلیک و با افزایش تعداد روزهای سرمادهی از یک تا پنج روز، دمای مطلوب تقریبا ثابت و در حدود ۲۰ درجه سانتی‌گراد به دست آمد و سطح خواب بذرها نیز تا این مدت زمان سرمادهی تغییری نکرد. در غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر نیز با افزایش تعداد روزهای سرمادهی تا سه روز، دمای مطلوب جوانه‌زنی از ۲۰ درجه سانتی‌گراد به

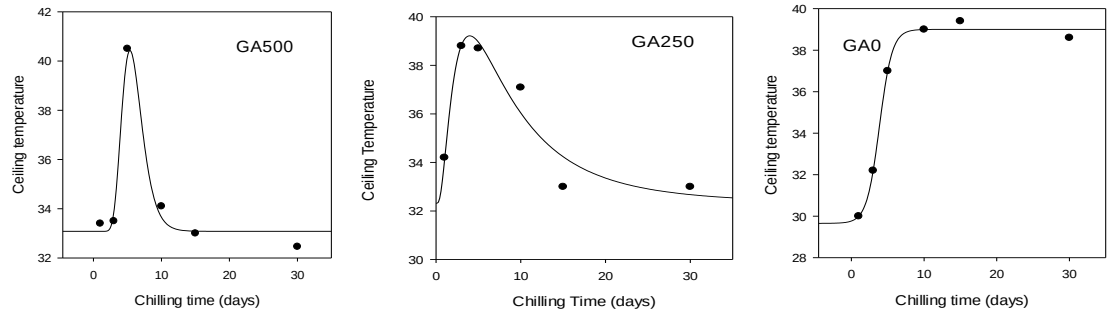
حدود ۲۳/۵ درجه سانتی‌گراد افزایش یافت. پس از آن و با اعمال سرمادهی تا ۳۰ روز، این دما روند کاهشی نشان داد و به حدود ۲۱/۵ درجه سانتی‌گراد رسید (شکل ۳).



شکل ۳- روند تغییرات دمای بهینه (To) جوانه‌زنی با افزایش تعداد روزهای سرمادهی، در غلظت‌های صفر، ۲۵۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید جیبرلیک (GA)

Figure 3. Optimum temperature changes with increasing the chilling time in 0, 250, and 500 ppm of gibberellic acid

در تیمار بدون اسید جیبرلیک، بالاترین دمای سقف جوانه‌زنی (Tc) حدود ۳۹ درجه سانتی‌گراد و کمترین دما در حدود ۳۰ درجه سانتی‌گراد به دست آمد (شکل ۴). از هفت روز سرمادهی به بعد، دمای سقف جوانه‌زنی به حداکثر مقدار خود رسید که در این دما، سطح خواب نیز بیشتر شد و بذر قادر به جوانه‌زنی نبود. در غلظت ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر اسید جیبرلیک و در سرمادهی یک روزه، دمای سقف حدود ۳۴ درجه سانتی‌گراد بود که با اعمال سرمادهی تا سه روز، این دما به حدود ۳۹ درجه‌ی سانتی‌گراد افزایش یافت. دمای سقف جوانه‌زنی در غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید جیبرلیک، با توجه به شکل ۴، ابتدا با اعمال سرمادهی یک روزه و سه روزه، در حدود ۳۳ درجه‌ی سانتی‌گراد به‌دست آمد و با افزایش طول مدت سرمادهی تا پنج روز، این دما به‌طور قابل توجهی تا حدود ۴۱ درجه سانتی‌گراد افزایش یافت. (شکل ۴).

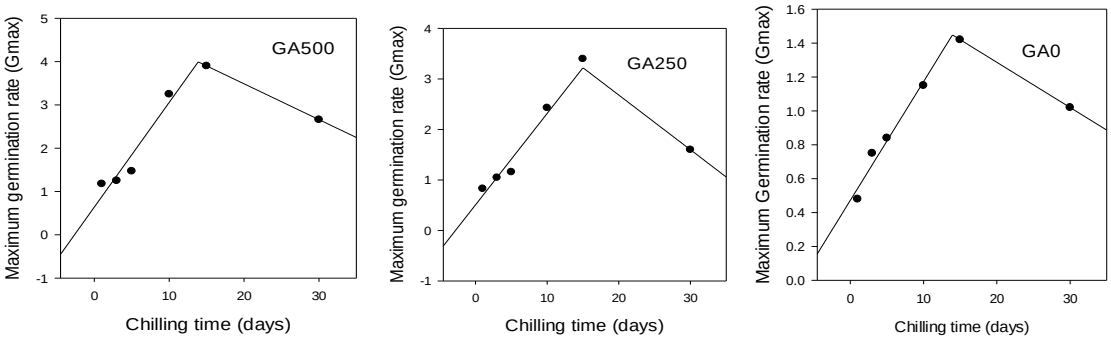


شکل ۴- روند تغییرات دمای سقف (Tc) جوانه‌زنی با افزایش تعداد روزهای سرمادهی در غلظت‌های صفر ، ۲۵۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید جیبرلیک(GA)

Figure 4. Ceiling temperature changes with increasing the chilling time in 0, 250, and 500 ppm of gibberellic acid

شاخص‌های حداکثر سرعت جوانه‌زنی و سطح بیداری بذرها

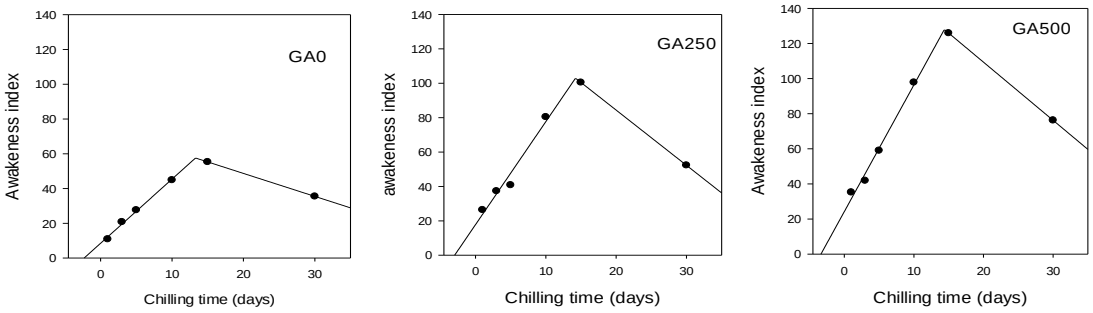
شاخص Gmax در تیمار بدون اسید جیبرلیک، در ابتدا با افزایش سرمادهی از یک تا ۱۵روز، افزایش قابل توجهی نشان داد و از ۰/۲ به ۱/۴ بذر در روز رسید ولی با اعمال سرمادهی بیشتر یعنی تا ۳۰ روز، این شاخص به صورت نزولی کاهش پیدا کرد و به کمترین مقدار خود یعنی یک بذر در روز رسید (شکل ۵). در غلظت ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر و با افزایش اعمال سرمادهی تا ۱۵ روز، حداکثر سرعت جوانه‌زنی به حدود سه بذر در روز رسید درحالی‌که با اعمال سرمادهی ۳۰ روزه، سرعت جوانه زنی کاهش پیدا کرد و به ۱/۵ بذر در روز رسید. در غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر نیز در ابتدا با افزایش تعداد روزهای سرمادهی تا ۱۵ روز، حداکثر سرعت جوانه‌زنی به مقدار ۳/۵ بذر در روز رسید، درحالی‌که با اعمال سرمادهی تا ۳۰ روز، این روند کاهش یافت و به ۲/۵ بذر در روز رسید (شکل ۵).



شکل ۵- پاسخ شاخص حداکثر سرعت جوانه‌زنی (Gmax) به سطوح مختلف تیمارهای سرمادهی مرطوب و اسید جیبرلیک (GA)

Figure 5. Maximum germination rate (Gmax) response to different levels of chilling time and gibberellic acid (GA) treatments

در تیمار بدون اسید جیبرلیک، با افزایش تعداد روزهای سرمادهی تا ۱۵ روز، سطح بیداری در حدود ۶۰ بذر بود (شکل ۶)، درحالی‌که با افزایش مدت زمان اعمال سرمادهی تا ۳۰ روز، این سطح به پایین ترین مقدار خود یعنی به حدود ۳۰ بذر رسید یعنی تقریبا این تعداد بذر به نصف کاهش پیدا کرد. در غلظت ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر نیز با افزایش تعداد روزهای سرمادهی، این روند به حدود ۱۰۰ بذر و با افزایش تعداد روزهای سرمادهی تا ۳۰ روز، این سطح به حدود ۵۰ بذر رسید که نسبت به سرمادهی ۱۵ روزه، این روند نیز به نصف کاهش پیدا کرده است. در غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر و با افزایش زمان سرمادهی تا ۱۵ روز، همچنین سطح بیداری بذر به بیشترین مقدار خود یعنی ۱۲۵ بذر رسید که در مقایسه با دو غلظت دیگر اسید جیبرلیک، افزایش قابل توجهی نشان داد (شکل ۶).



شکل ۶ – پاسخ شاخص سطح بیداری بذرها به سطوح مختلف تیمارهای سرمادهی مرطوب و اسید جیبرلیک (GA)

Figure 6. Response of seed awakeness levels to different levels of chilling time and gibberellic acid (GA) treatments

Gupta (2003) گزارش داد در گیاهان مورد مطالعه، بذرهایی که برای شکست خوابشان به سرمادهی نیاز داشتند، اغلب با اسید جیبرلیک تیمار شدند. همچنین گزارش شده است در بذرهای باریجه (*Ferula gummosa*)، ترکیب سرمادهی با اسید جیبرلیک، موجب افزایش پاسخ به سرمادهی شد (Rahnama & Tavakkol afshari, 2007). از طرفی بر اساس دسته‌بندی Baskin & Baskin (2004)، برخی از بذرهای دارای خواب فیزیولوژیک و مورفوفیزیولوژیک، به جیبرلین پاسخ مثبت می‌دهند و خواب آن‌ها با به‌کارگیری این ترکیب کاهش می‌یابد اما برخی از آن‌ها هیچ پاسخی به جیبرلین نشان نمی‌دهند.

نتایج حاصل از تیمارهای سرمادهی مرطوب و اسید جیبرلیک در این تحقیق با گزارشات متعددی مبنی بر نقش مثبت این تیمارها بر جوانه‌زنی بذر بسیاری از گونه‌های گیاهی مطابقت دارد. نتایج آزمایش‌های انجام شده روی شکست خواب بذر گیاه بیلهر نشان داد که تیمار سرمادهی به مدت چهار هفته، به همراه

شستشو و اسید جیبرلیک ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر، بیشترین سرعت جوانه‌زنی و شاخص بنیه گیاهچه را داشت (Salehi *et al*., 2015). Nasiri *et al*. (2004) برای بذور سنبل الطیب (*Valeriana officinalis*) و باریجه و Rajabian *et al*. (2007) برای بذر آنغوزه (*Ferula assa-foetida*)، تیمار سرمادهی مرطوب را بهترین تیمار برای جوانه‌زنی بذور معرفی کردند. در آزمایشی، تیمار با اسید جیبرلیک به‌عنوان یکی از بهترین تیمارها برای شکست خواب بذر گونه‌ای بومادران (*Achillea millefolium*) معرفی شد (Shariati *et al*., 2001). بالاترین درصد جوانه‌زنی بذر گونه‌ای سرخارگل (*Exhinacea angustifolia*) بعد از ۳۰ روز سرمادهی مرطوب در دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد به‌دست آمد. سرمادهی در دمای پنج درجه سلسیوس و به مدت ۲۰ روز، سرعت جوانه‌زنی این گیاه را بیشتر می‌کند (Zinati *et al*., 2000).

اسید جیبرلیک از هورمون‌های گیاهی یا مواد تنظیم کننده رشد می‌باشد که می‌توان با تیمار کردن بذرها با این هورمون، خواب بذرها را کاهش داد و جوانه‌زنی آن‌ها را تحریک کرد (Koornneff *et al*., 2002). همچنین جیبرلین، عمده‌ترین نقش تحریک‌کنندگی را در تنظیم خواب بذر دارد و می‌تواند جایگزین نیاز به نور، دما و سرما برای جوانه‌زنی بذر شود. این هورمون باعث سنتز آنزیم‌های هیدرولیز کننده در بذر و در نتیجه تجزیه نشاسته و سایر مواد غذایی می‌شود و در نهایت، موجب انتقال این مواد به جنین در حال رشد می‌شود. همچنین اسید جیبرلیک، خواب ناشی از جنین و پوشش بذر را برطرف می‌کند و اثرات بازدارنده اسید آبسیزیک را مستقیم یا غیر مستقیم مهار می‌کند (Najafi *et al*., 2006).

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایج به‌دست آمده به نظر می‌رسد که بهترین تیمار برای شناخت سطح خواب و جوانه‌زنی بذرهای علف‌هرز چوچاق، تیمار ۱۵روز سرمادهی به همراه۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید جیبرلیک می‌باشد که بالاترین سرعت جوانه‌زنی در این تیمار در حدود ۳/۷ بذر در روز بود. دماهای کاردینال جوانه‌زنی شامل دمای پایه، مطلوب و سقف برای جوانه‌زنی این گیاه به ترتیب ۱/۸۱، ۲۲/۳۱ و ۳۴/۱۰ درجه سانتی‌گراد به‌دست آمد. شاخص Gmax نیز با افزایش تعداد روزهای سرمادهی تا ۱۵ روز و همچنین افزایش غلظت اسیدجیبرلیک، با روند خطی افزایش پیدا کرد.

به‌طورکلی، از آن‌جا که جوانه‌زنی بذر علف‌هرز چوچاق، به‌شدت تحت تاثیر تیمارهای سرمادهی و هورمون اسید جیبرلیک قرار گرفت. می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که خواب بذر این علف‌هرز نیز همانند سایر گیاهان خانواده چتریان، از نوع فیزیولوژیکی است. آگاهی از نوع خواب و عوامل موثر بر آن، در شناخت بهتر زیست‌شناسی جوانه‌زنی و پیش‌بینی الگوی رویش علف‌هرز چوچاق در سطح مزرعه کمک می‌کند و در تعیین زمان مناسب کنترل بانک بذر و اعمال روش‌های مدیریتی موثر است.

REFERENCES

1. Alebrahim, M. T., Rashed mohassel, M. H., Mighani, F. & Baghestani, M. A. (2010). Study of various dormancy breaking ways and optimum germination temperature of *Acroptilon repens*. *Journal of Plant Protection*, 24, 391-397. (In Persian)
2. Baskin, J. M. & Baskin, C. C. (2004). A classification system for seed dormancy. *Seed Science Research*, 14, 1–16.
3. Benech Arnold, R. L., Forcella, F., Sanchez, R. & Ghersa, C. M. (2000). Modeling seedling emergence. *Field Crops Research*, 67, 123-139.
4. Gupta, V. (2003). Seed germination and dormancy breaking techniques for indigenous medicinal and aromatic plants. *Journal of Medicinal and Aromatic Plants Science*, 25, 402-407.
5. Koornneff, M., Bentsink, L. & Hilhorst, H. (2002). Seed dormancy and germination. *Current Opinion in Plant Biology*, 5, 33-36.
6. Maguire, J. D. (1962). Speed of germination-aid selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science*, 2, 176-177.
7. Mozumder, S. N. & Hossain, M. M. (2013). Effect of seed treatment and soaking duration on germination of *Eryngium foetidum* L. seeds. *International Journal of Horticulture*, 3, 1046-1051.

8. Najafi, F., Bannayan, M., Tabrizi, L. & Rastgoo, M. (2006). Seed germination and dormancy breaking techniques for *Ferula gummosa* and *Teucrium polium*. *Journal of Arid Environments*, 64, 542-547.
9. Najafi, F., Koochaki, A., Rezvani Moghaddam, P. & Rastgoo, M. (2005). Study of the germination traits of *Nepeta binaludensis Jamza*. *Journal of agricultural research of Iran*, 4, 1-8. (In Persian)
10. Nasiri, M., Madah-Arefi, H. & Isvand, H. R. (2004). Evaluation of viability changes and dormancy breaking in the seed of same species in Natural Resources Gene Bank. *Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research*, 12, 163-182. (In Persian)
11. Rahnama, A. & Tavakkol afshari, R. (2007). Methods for dormancy breaking of Galbanum seeds (*Ferula gummosa*). *Asian Journal of Plant Sciences*, 6, 611-616.
12. Rajabian, T., Saboora, A., Hassani, B. & Fallah Hosseini, H. (2007). Effects of GA3 and chilling on seed germination of *Ferula assa-foetida*, as a medicinal plant. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 23, 391-404. (In Persian)
13. Salehi, A., Masoumi Asl, A. & Moradi, A. (2015). Evaluation of the effective methods of seed dormancy breaking in medicinal plant of Bilhar (*Dorema aucheri*). *Iranian Journal of Seed Research*, 2, 65-72. (In Persian)
14. Shariati, M., Asmane, T. & Modarres Hashemi, M. (2001). Study of the effect of various treatments on seed dormancy breaking of *Achillea millefolium*. *Research and Development*, 15, 2-8. (In Persian)
15. Soltani, A., Robertson, M. J., Torabi, B., Yousef-Daz, M. & Sarparas, R. (2006). Modeling seedling emergence in chickpea as afected by temperature and sowing depth. *Agricultural and Forest Meteorology*, 138, 156-167.
16. Soltani, A., Zeinali, E., Galeshi, S. & Latif, N. (2001). Genetic variation for and interrelationships among seed vigor traits in wheat from the Caspian Sea Coast of Iran. *Seed Science and Technology*, 29, 653-662.
17. Zinati, G. M., Bryan, H. H. & Li, Y. (2000). Stratification enhances germination of purple coneflower (*Echinacea angustifolia*) and St. John's wort (*Hypericum perforatum*) seeds. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*, 113, 172-174.