Iranian Journal of Field Crop Science
Vol 49, No 3, Autumn 2018 (59-81)
DOI: 10.22059/ijfcs.2017.245494.654404

علوم گیاهان زراعی ایران
دورهٔ ۴۹، شمارهٔ ۳، پائیز۱۳۹۷ (ص۸۱-۷۱)

ارزیابی برخی رفتارهای جوانه‌زنی بذرهای دو گونه خردل تحت تأثیر دما، عمق کاشت و دورهٔ غرقاب

کمال سادات اسیلان
دانشیار گروه زراعت، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۸/۲۰ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۹/۰۷)

چکیده

همهٔ مرحله‌های این تحقیق در آزمایشگاه تحقیقاتی دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس در سال ۱۳۹۶ اجرا شد. پیش از آغاز آزمایش‌ها بذرهای دو گونه خردل وحشی (*Sinapis arvensis*) و سفید (*S. alba*) در هنگام رسیدگی (اواخر بهار و اوایل تابستان) سال زراعی ۱۳۹۵-۱۳۹۴ از مناطقی در استان آذربایجان شرقی و خوزستان گردآوری و تا زمان آزمایش به مدت هفت ماه نگهداری شدند. این تحقیق شامل سه آزمایش بود. همهٔ آزمایش‌ها دو عاملی بوده و به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی با چهار تکرار انجام شدند. در همهٔ آزمایش‌ها یکی از عامل‌ها گونهٔ خردل بود. در آزمایش نخست عامل دوم شامل هشت دما از ۵ تا ۴۰ درجهٔ سلسیوس بود. در آزمایش دوم عامل دوم ۱۳ عمق کاشت از ۰/۵ سانتی‌متر تا ۶ سانتی‌متر بود. در آزمایش سوم عامل دوم شامل شش دورهٔ غرقاب از ۰ تا ۳۵ روز بود. نتایج آزمایش نشان داد، در بیشتر دماها، عمق‌ها و دوره‌های غرقاب جوانه‌زنی خردل وحشی بیشتر از خردل سفید بود که دلیل آن احتمال دارد اندازهٔ بزرگ‌تر بذر این‌گونه باشد. آغاز جوانه‌زنی خردل از ۴ تا ۵ درجهٔ سلسیوس (دمای پایه) بوده و در دماهای ۲۵ تا ۳۰ درجهٔ سلسیوس به بیشینهٔ خود رسید (دمای بهینه یا مطلوب) و پس از آن جوانه‌زنی در دمای ۴۰ تا ۴۵ درجهٔ سلسیوس (دمای بیشینه یا سقف) متوقف شد. با افزایش عمق درصد و سرعت سبز شدن هر دو گونه خردل کاهش یافت. با افزایش دورهٔ غرقاب درصد جوانه‌زنی، طول گیاهچه و وزن گیاهچه هر دو گونه خردل کاهش یافت.

واژه‌های کلیدی: **خردل، رطوبت، زمان، علف هرز، مدل دمایی.**

Some aspects of seed germination in two mustard species influenced by temperature, planting depth and flooding period

Kamal Sadat Asilan
Associate Professor, Department of Agronomy, Payame Noor University, Tehran, Iran
(Received: November 11, 2017 - Accepted: November 28, 2017)

ABSTRACT

All phases of this research were conducted in Research Laboratory, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University in 2017. Before starting the experiments, seeds of wild mustard (*Sinapis arvensis*) and white mustard (*S. alba*) were collected from East Azarbaijan and Khuzestan provinces at maturity (late spring and early summer) during the 2015-2016 growing season and were stored for seven months. This study included three experiments. Each experiment was arranged in a completely randomized design with four replications, and the treatments were factorial. In all experiments, one of the factors was the mustard species. In the first experiment, the second factor consisted of eight temperatures ranging from 5 to 40 °C. In the second experiment, the second factor was 13 sowing depths of 0.5 to 6 cm. In the third experiment, the second factor included six flooding periods from 0 to 35 days. The results of the experiments showed that in most temperatures, the depths and flooding periods, germination of wild mustard were greater than white mustard, which is probably due to the larger size of the seed of this species. The onset of mustard germination was from 4 to 5 °C (base temperature) and peaked at temperatures from 25 to 30 °C (optimal temperature) and then germination stopped at 40 to 45 °C (maximum or ceiling temperature). Considering that with increasing depth, the percentage and rate of emergence in both species decreased. With increasing flooding period, germination percentage, seedling length and seedling weight of both mustard species decreased.

Keywords: Mustard, Weed, Thermal model, Time, Moisture.

* Corresponding author E-mail: kamal.asilan@gmail.com

مقدمه

علف‌های هرز، بدون در نظر گرفتن مبدأ آن‌ها از اجزاء ضروری بوم‌نظام (اکوسیستم)های زراعی‌اند و از این‌رو بر ساختار و کارکرد این نظام‌ها تأثیر بسزایی دارند (Altieri & Liebman, 1988). تأثیر علف‌های هرز بر گیاهان زراعی، به‌طور عمده از نظر کاهش عملکرد محصول به دلیل تخلیهٔ منبع‌ها، ایجاد دگر آسیبی گیاهی (آللوپاتی) و یا ایجاد آلودگی (میزبان عامل‌های بیماری‌زا و حشرات) ارزیابی شده است (Altieri & Liebman, 1988).

خردل وحشی (*Sinapis arvensis*) یکی از متداول‌ترین و شایع‌ترین علف‌های هرز است که سبب کاهش عملکرد و افزایش هزینه‌های تولید می‌شود (Oleszek *et al.*, 1996). خردل وحشی یک‌ساله و متعلق به خانوادهٔ Brassicaceae است. خردل وحشی باعث کاهش عملکرد در گندم، یولاف و جو به ترتیب به‌میزان ۵۳، ۶۳ و ۵۹ درصد می‌شود (Huang *et al.*, 2001). حضور علف‌های هرز هم‌خانوادهٔ کلزا به‌ویژه خردل وحشی باعث کاهش عملکرد و کیفیت روغن کلزا می‌شود (Najafi *et al.*, 2009). خردل سفید (*Sinapis alba*) نیز یکی از گونه‌های خردل است که یک علف هرز با توان رقابتی زیاد در نظام‌های زراعی به‌ویژه زراعت گندم است که امروزه به علف‌کش‌های بازدارندهٔ استولاکتات سینتاز از جمله تری‌بنورون متیل، یدوسولفورون، مزوسولفورون، ایمازاموکس، فلوراسولام، بیسپیریباک سدیم و فلوکاربازون مقاومت پیدا کرده است (Rosario *et al.*, 2011).

جوانه‌زنی متأثر از شرایط بوم‌شناختی (اکولوژیکی) متداول در زیستگاه بوده و با چندین عامل محیطی از جمله نور، دما و بستر جوانه‌زنی مرطوب در ارتباط است (Gairola *et al.*, 2011). حال با توجه به اینکه هرگونه گیاهی برای جوانه‌زنی نیاز مبرم به دامنه‌ای خاص از شرایط محیطی دارد، پی بردن به الگوی جوانه‌زنی و سبز شدن گونه‌های علف هرز می‌تواند اطلاعات جامعی برای توسعهٔ راهبرد (استراتژی)های مدیریت علف‌های هرز در آینده فراهم کند (Chauhan *et al.*, 2006). آگاهی از عامل‌های محیطی کنترل‌کنندهٔ جوانه‌زنی امکان پیشگویی تراکم آیندهٔ گیاهچه‌های علف هرز را فراهم می‌سازد که آگاهی از این نیازها برای طراحی و اجرای راهبردهای مدیریت علف‌های هرز اهمیت بالایی دارد (Zhou *et al.*, 2006). در واقع یکی از راه‌های مدیریت و مهار (کنترل) علف‌های هرز، شناسایی نیازهای بوم‌شناختی مانند نیازهای دمایی و رطوبتی، عمق دفن شدن، پاسخ جوانه‌زنی به شوری، pH، غرقابی و دیگر عامل‌های محیطی مورد نیاز این گیاهان برای جوانه‌زنی هستند (Mahmood *et al.*, 2016؛ Kulkarni *et al.*, 2015؛ Huarte *et al.*, 2016).

تاکنون گزارش‌های چندی درزمینهٔ مدل‌های رگرسیونی خطی و غیرخطی برآوردکنندهٔ درصد جوانه‌زنی و سبز شدن برای گیاهان مختلف گزارش شده است. مدل‌های زمان-دما به‌طور گسترده و موفقیت‌آمیز به ترتیب برای توصیف رابطهٔ بین دما و جوانه‌زنی استفاده شده‌اند (Midmore *et al.*, 2015). مدل زمان- دما توسط بسیاری از پژوهشگران در پیش‌بینی سبز شدن به‌کاربرده شده است (Izquierdo *et al.*, 2013).

برخی گونه‌های هرز قابلیت سبز شدن در دامنهٔ گسترده‌ای از عمق کاشت را دارند. به‌عنوان نمونه بیان شده، کنگر صحرایی (*Cirsium arvense*) تا عمق ۶ سانتی‌متر قادر به سبز شدن است (Wilson, 1979). در آزمایش‌های مختلف دیگری نیز تأثیر عمق کاشت بر سبز شدن بذرهای علف هرز بررسی شده است (Koger *et al.*, 2004؛ Nandula *et al.*, 2006؛ Lu *et al.*, 2006؛ Clewis *et al.*, 2007؛ Susko & Hussein, 2008؛ Wei *et al.*, 2009).

نتایج تحقیقات نشان می‌دهد، برای مهار مؤثر علف‌های هرز، می‌توان از عملیات زراعی چندی شامل تناوب زراعی، نوع گونه و رقم گیاه زراعی، الگوی کاشت، فاصلهٔ کاشت و تراکم گیاه زراعی، نشاکاری، تأخیر در کاشت، غرقاب، کوددهی، گیاهان پوششی و کود سبز، کشت مخلوط و ... استفاده کرد (Upadhyaya & Blackshaw, 2007). غرقاب کردن می‌تواند از طریق ایجاد شرایط غیرهوازی در خاک که منجر به مرگ بسیاری از بذرها، گیاهچه‌ها و اندام‌های ذخیره‌ای چندسالهٔ علف‌های هرز می‌شود، علف‌های هرز را مهار می‌کند (Upadhyaya & Blackshaw, 2007). در صورت وجود گیاهان زراعی سازگار به غرقاب، منبع آب کافی و خاک مناسب، غرقاب می‌تواند به‌عنوان یکی از اجزای مدیریت تلفیقی علف‌های هرز مطرح باشد

(Upadhyaya & Blackshaw, 2007). در یک آزمایش زمان غرقاب مورد نیاز برای کاهش ۵۰ درصد جوانه‌زنی خربزهٔ وحشی (*Cucumis melo*) بین ۱۳۸ و ۱۴۷ روز بود و غرقاب سبب کاهش جوانه‌زنی بذرهای علف‌های هرز دیگر مانند نیلوفر (*Ipomoea purpurea*) شد (Sohrabi *et al.*, 2016).

اطلاعات کمی در رابطه با تأثیر دما، عمق کاشت و دورهٔ غرقاب بر جوانه‌زنی و سبز شدن بذر علف هرز خردل وحشی و خردل سفید وجود دارد. بنابراین، این پژوهش به‌منظور بررسی تأثیر دماها و عمق‌های مختلف دفن شدن بذر و شرایط غرقابی بر جوانه‌زنی و سبز شدن این دو گونه خردل انجام شد.

مواد و روش‌ها

همهٔ مرحله‌های این تحقیق در آزمایشگاه تحقیقاتی دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس در سال ۱۳۹۶ اجرا شد. پیش از آغاز آزمایش‌ها بذرهای دو گونه خردل وحشی (*Sinapis arvensis*) و سفید (*Sinapis alba*) در هنگام رسیدگی (اواخر بهار و اوایل تابستان) سال زراعی ۱۳۹۵-۱۳۹۴ به ترتیب و به‌طور جداگانه از مناطقی در استان آذربایجان شرقی و خوزستان گردآوری شدند. بذر هر دو گونه در هر دو استان همزمان در دسترس نبودند تا بتوان شرایط آب و هوایی این دو منطقه را روی این بذرها بررسی کرد. بذرها پس از تمیز شدن، وزن شدند و درون پاکت‌هایی کاغذی در دمای آزمایشگاه (۲۰ تا ۲۵ درجهٔ سلسیوس) نگهداری شدند. بی‌درنگ پس از گردآوری بذرها، درصد جوانه‌زنی آن‌ها در قالب یک آزمایش مقدماتی در دمای ۲۵ درجهٔ سلسیوس اندازه‌گیری شد که برای خردل وحشی و سفید به ترتیب ۱۰ و ۰ درصد بود. بنابراین بذرها برای چند ماه نگهداری و در این مدت درصد جوانه‌زنی آن‌ها اندازه‌گیری شد تا اینکه پس از هفت ماه نگهداری و در دورهٔ پس‌رسی، درصد جوانه‌زنی هر دو گونه به‌نسبت ثابت و بالای ۵۰ درصد شد. در این زمان آزمایش‌های مورد نظر آغاز شد. وزن هزاردانهٔ خردل وحشی و سفید به ترتیب برابر ۴/۲ و ۲ گرم بود. این تحقیق شامل سه آزمایش است.

آزمایش نخست به‌صورت فاکتوریل دو عاملی در قالب طرح کامل تصادفی با چهار تکرار انجام شد. عامل‌ها شامل دو بوم‌جور (اکوتیپ) خردل وحشی یادشده و هشت دما است. ۲۵ عدد بذر از هریک از گونه‌های خردل وحشی درون پتری‌دیش‌های سترون (استریل)شده در زیر هود، به قطر ۹ سانتی‌متر که حاوی دو برگ کاغذ صافی واتمن شماره ۴۰ بودند، قرار داده شدند. پس از آن به هر پتری دیش ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه شد به‌طوری‌که بذرها در تماس مستقیم با آب بودند. به‌منظور حفظ رطوبت، پتری‌دیش‌ها درون کیسه‌های نایلونی شفاف نگهداری شدند. کاغذ صافی درون پتری‌دیش‌ها در صورت لزوم در مدت آزمایش مرطوب نگه‌داشته شدند. بذرها پس از قرارگیری در ظرف‌های مربوطه، به مدت یک ماه در دماهای مورد نظر درون ژرمیناتورها قرار گرفتند. نوسان دمایی در ژرمیناتورها در بازهٔ ۱/۵ ± درجهٔ سلسیوس بود. دماهای مورد آزمون به‌گونه‌ای انتخاب شدند که افزون بر دمای کمینه یا پایه و بیشینه یا سقف، گسترهٔ مناسبی از دماهای زیر بهینه یا مطلوب و بالاتر از بهینه را نیز فراهم سازد. جوانه‌زنی بذرها با شمارش بذرهای جوانه‌زده هر ۲۴ ساعت در دماهای ۵ تا ۴۰ درجهٔ سلسیوس به فاصلهٔ ۵ درجه، در تاریکی و روشنایی (ثابت) ارزیابی شد. برای جلوگیری از آلودگی پتری‌دیش‌ها، بذرهای جوانه‌زده خارج شدند. معیار جوانه‌زنی، مشاهدهٔ نخستین نشانه‌های خروج ریشه‌چه بود (Luzuriaga *et al.*, 2006).

برای به دست آوردن پاسخ سرعت جوانه‌زنی بذرها به دماهای مختلف، تابع سیگموئیدی سه فراسنجه‌ای یا پارامتری (معادلهٔ ۱) به داده‌های مورد نظر توسط نرم‌افزار Sigmaplot (Version, 12.5) برازش داده شد (Piper *et al.*, 1996).

معادلهٔ ۱

$$Y = \frac{a}{(1+\exp(-\frac{X-X_0}{b}))}$$

که در آن Y جوانه‌زنی تجمعی، a مجانب بالای منحنی یا همان بیشترین درصد جوانه‌زنی، X_0 زمان لازم برای رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی و b شیب منحنی یا سرعت جوانه‌زنی (پاسخ جوانه‌زنی در برابر دما) است. سپس سرعت جوانه‌زنی از معادلهٔ ۲ محاسبه شد (Soltani *et al.*, 2006).

معادلهٔ ۲

$$R50=f(T)/x_0$$

که در آن R50 سرعت جوانه‌زنی است که برای توصیف سرعت جوانه‌زنی در برابر دامنهٔ دمایی مورد آزمایش، از تابع‌های دوتکه‌ای (مثلثی) و سه‌تکه‌ای (دندان‌مانند) به

ترتیب از معادله‌های ۳ و ۴ استفاده شد (Soltani *et al.*, 2006). تابع دمایی ((f (T) در شرایط بهینه برابر ۱ است.

معادلهٔ ۳

$$f(T)=(T - T_b) / (T_o - T_b) \qquad \text{if } T_b< T \leq T_o$$

$$f(T)=(T_c - T) / (T_c - T_o) \qquad \text{if } T_o < T < T_c$$

$$f(T)=0 \qquad \text{if } T \leq T_b \text{ or } T \geq T_c$$

معادلهٔ۴

$$f(T)=(T - T_b) / (T_{o1} - T_b) \qquad \text{if } T_b< T \leq T_{o1}$$
$$f(T)=(T_c - T) / (T_c - T_o) \qquad \text{if } T_{o2} < T < T_c$$
$$f(T)=0 \qquad \text{if } T \leq T_b \text{ or } T \geq T_c$$
$$f(T)=(1) \qquad \text{if } T_{o1} < T < T_{o2}$$

که در تابع مثلثی؛ T دمای آزمایش، T_b دمای کمینه، T_o دمای بهینه و T_c دمای بیشینه است. سطح زیرین منحنی دوتکه‌ای (مثلثی) به مفهوم جوانه‌زنی بذر به شمار می‌آید (Piper *et al.*, 1996).

برای دستیابی به سطح جوانه‌زنی از انتگرال رابطهٔ دوتکه‌ای یا مثلثی (سطح زیر منحنی) از شاخص ضریب جوانه‌زنی (Germination Coefficient) به ترتیب زیر استفاده شد:

معادلهٔ ۵

$$\text{Germination Coefficient} = (T_c-T_b)\times G_{max(to)}$$

G.C ضریب یا شاخصی برای جوانه‌زنی در دامنهٔ دمایی بررسی شده است. در این معادله $G_{max (to)}$ بیشترین جوانه‌زنی در دمای بهینه (اپتیمم) را نشان می‌دهد. فراسنجه‌ها در این معادله شامل؛ T_b دمای کمینه و T_c دمای بیشینه و T_o دمای بهینه است.

آزمایش دوم به‌صورت فاکتوریل دو عاملی در قالب طرح کامل تصادفی با چهار تکرار انجام شد. عامل‌ها شامل دو گونه خردل وحشی یادشده و ۱۳ عمق کاشت بودند. ۲۵ عدد از بذرهای دو گونه خردل وحشی در عمق‌های ۰، ۰/۵، ۱، ۱/۵، ۲، ۲/۵، ۳، ۳/۵، ۴، ۴/۵، ۵، ۵/۵ و ۶ سانتی‌متری از سطح خاک در گلدان‌هایی به قطر ۷ و ارتفاع ۱۲ سانتی‌متر که با خاک مزرعه پر شده بودند، توسط یک پنس مدرج کشت شده و در زمان نیاز آبیاری صورت گرفت. این گلدان‌ها در ژرمیناتور با دمای بهینهٔ به‌دست‌آمده از آزمایش اول و روشنایی نگهداری شد. شمار گیاهچه‌های ظاهرشده روزی یک‌بار و تا یک ماه شمارش شدند. برای کمی‌سازی پاسخ سبز شدن به عمق‌های مختلف دفن شدن بذر از معادلهٔ ۱ استفاده شد.

آزمایش سوم با آرایش فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی با چهار تکرار برای عامل‌های دو گونه خردل یادشده و مدت‌زمان غرقاب (۰، ۷، ۱۴، ۲۱، ۲۸ و ۳۵ روز) اجرا شد. برای این آزمایش ۲۵ عدد بذر در پتری‌دیش‌هایی با قطر ۹ سانتی‌متر که حاوی دو کاغذ صافی واتمن شماره ۴۰ بودند، قرار گرفت. روی بذرهای موجود در هر پتری به میزان ۷۰ درصد عمق پتری آب مقطر ریخته شد و به علت اینکه بذرهای گونه‌های خردل روی سطح آب شناور نشوند یکی از کاغذهای صافی روی بذرها قرار گرفت. در هر تیمار با توجه به نیاز آن به آب مقطر در زمان لازم آب مقطر اضافه شد. شماری از محققان نیز تأثیر غرقاب را روی بذرهای بعضی از علف‌های هرز با این روش آزمایش کرده‌اند (Baird & Dickens, 1991؛ Reddy & Singh, 1992؛ Singh & Achhireddy, 1984). بذرهایی جوانه‌زده در نظر گرفته شد که ریشه‌چه به‌طور مشخص از پوستهٔ بذر خارج شده بود. در پایان این آزمایش طول گیاهچه، وزن تر گیاهچه و شمار بذرهای جوانه‌زدهٔ هر پتری ثبت شد. شمار بذرهای جوانه‌زده تا پایان ۳۵ روز، به‌صورت روزانه ثبت شد.

برای تجزیهٔ داده‌ها از برنامهٔ آماری SAS نسخهٔ ۹/۱ استفاده شد. پیش از تجزیه‌وتحلیل داده‌ها، آزمون نرمال بودن آن‌ها انجام شد و پس از اطمینان از حالت توزیع نرمال، نسبت به تجزیهٔ آن‌ها اقدام شد. از دو رویهٔ GLM و NLIN به ترتیب برای تجزیهٔ واریانس و تجزیهٔ رگرسیون غیرخطی استفاده شد. برای مقایسهٔ میانگین تیمارها در آزمایش سوم از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

تأثیر دما بر جوانه‌زنی بذرهای خردل

درصد جوانه‌زنی گونه‌های خردل در طیف دماهای ۵ تا ۴۰ درجهٔ سلسیوس از ۱۷ تا ۷۵ درصد بسته به گونهٔ خردل متفاوت بود، که این میزان در خردل وحشی بین ۲۵ تا ۷۵ و در خردل سفید بین ۱۷ تا ۶۴ درصد بود (جدول ۱). در بیشتر دماها جوانه‌زنی خردل وحشی بیشتر از خردل سفید بود. از عامل‌های تأثیرگذار بر درصد جوانه‌زنی بذر، وزن بذر

است. تأثیر اندازهٔ بذر بر پاسخ جوانه‌زنی بستگی به گونه و جمعیت بذر دارد (Escudero *et al.*, 2000). همبستگی مثبت و معنی‌داری بین وزن بذر و درصد جوانه‌زنی آن وجود دارد (Jorge & Ray, 2004; Khan, 2004). خردل وحشی در مقایسه با خردل سفید وزن بذر بیشتری داشت که در قسمت مواد و روش‌ها به آن اشاره شده است. احتمال دارد این افزایش در درصد جوانه‌زنی خردل وحشی ناشی از وزن دانه باشد (Baskin & Baskin, 2001; Bradford & Nonogaki, 2007). در آزمایشی که روی بذرهای مختلف خردل سفید در دامنهٔ دمایی ۵ تا ۳۵ درجهٔ سلسیوس انجام شد، جوانه‌زنی بین ۶ تا ۱۰۰ درصد متغیر بود (Yaniv *et al.*, 1995). در آزمایشی روی بوم‌جورهای مختلف خردل وحشی جوانه‌زنی بین ۲ تا ۶۲ درصد متغیر بود (Salimi, 2010). در همهٔ دماها، خردل وحشی نسبت به خردل سفید زمان کمتری را برای رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی سپری کرد (جدول ۱). بیشترین زمان مربوط به خردل سفید در دمای ۵ درجهٔ سلسیوس برابر ۲۵۵ ساعت و کمترین مربوط به خردل وحشی در دمای ۲۵ درجهٔ سلسیوس برابر ۱۰۸ ساعت بود (جدول ۱). شاید بتوان سرعت کمتر جوانه‌زنی خردل سفید در همه دماها به‌ویژه دماهای پایین‌تر را افزون بر کوچک‌تر بودن بذر، سازگاری این علف هرز به مناطق گرم دانست. بیان شده است که تغییرپذیری وزن بذرهای گیاهی با طول فصل رشد مرتبط است و وزن بذر تا حد زیادی با شرایط محیطی گیاه مادری تعیین می‌شود (Downing *et al.*, Winn, 1991; Fenner, 1992; Wolfe, 1995; 1997). هر چه دمای محیط بیشتر باشد به علت کاهش طول دورهٔ رویش، وزن دانه‌ها کاهش می‌یابد. در نتایج آزمایشی بیان شد، زمان مورد نیاز برای سبز شدن خردل سفید بین ۱۰ تا ۲۰ روز متغیر بود (Dorsainvil *et al.*, 2005). در آزمایشی روی خردل وحشی زمان تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی بین ۵۰ تا ۳۵۰ ساعت در دماهای مختلف متغیر بود (Soltani *et al.*, 2016).

جدول ۱. فراسنجه‌های ارزیابی‌شدهٔ به‌دست‌آمده از برازش مدل سیگموئیدی سه فراسنجه‌ای بر جوانه‌زنی تجمعی بذرهای گونه‌های خردل در مقابل زمان. خطای استاندارد (SE) در کنار فراسنجه‌ها قرار گرفته‌اند.

Table 1. Parameters predicted by fitting a three-parameter sigmoid model on cumulative germination of seeds of mustard species versus time. Standard error (SE) is set next to the parameters.

Temprature (°C)	Species	X_0±SE	b±SE	a±SE	R^2
5	*S. arvensis*	4.3±250.30	3.52±16.30	1.65±24.88	0.93
	S. alba	255.20±8.0	19.71±6.48	19.41±1.95	0.88
10	*S. arvensis*	6.00±230.90	3.23±12.72	0.85±25.43	0.80
	S. alba	16.10±246.99	6.52±22.17	1.09±17.14	0.90
15	*S. arvensis*	3.61±167.61	4.99±19.06	2.64±41.59	0.95
	S. alba	7.70±192.3	9.98±37.09	6.99±47.9	0.89
20	*S. arvensis*	8.00±121.40	6.12±40.67	2.18±50.36	0.87
	S. alba	6.90±174.99	5.32±39.12	2.49±56.14	0.93
25	*S. arvensis*	6.00±117.99	4.86±25.74	74.65±4.44	0.85
	S. alba	153.00±8.6	24.4±7.34	2.62±59.27	0.86
30	*S. arvensis*	7.45±108.00	6.36±23.23	3.95±72.5	0.76
	S. alba	10.80±131.99	8.28±54.42	2.93±64.07	0.97
35	*S. arvensis*	6.20±136.50	5.27±23.54	1.38±33.98	0.93
	S. alba	4.10±160.00	3.07±18.45	0.89±32.31	0.94
40	*S. arvensis*	207.00±15.00	6.56±40.24	5.42±20.15	0.56
	S. alba	9.15±188.10	43.33±9.71	29.07±2.4	0.65

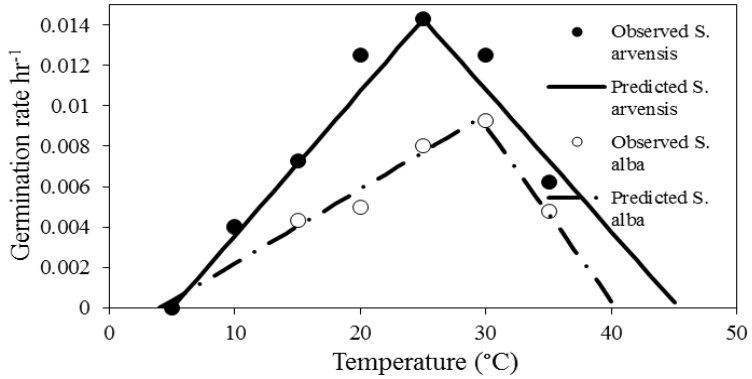
a مجانب بالای منحنی یا همان بیشترین درصد جوانه‌زنی، X_0 زمان (ساعت) لازم برای رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی و b شیب منحنی یا سرعت جوانه‌زنی (پاسخ جوانه‌زنی در برابر دما) است.

a: upper asymptote, X_0: time (hr) to reach the %50 cumulative emergence and b: slope of curve.

آغاز جوانه‌زنی خردل از ۴ تا ۵ درجهٔ سلسیوس (دمای کمینه) بوده و در دماهای ۲۵ تا ۳۰ درجهٔ سلسیوس به بیشینهٔ خود رسید (دمای بهینه) و پس از آن جوانه‌زنی در دمای ۴۰ تا ۴۵ درجهٔ سلسیوس (دمای بیشینه یا سقف)

متوقف شد (شکل ۱ و جدول ۲). بیشترین سرعت جوانه‌زنی برای گونه‌های خردل وحشی و سفید به ترتیب ۰/۰۱۳ و ۰/۰۰۹۴ بر ساعت بود (شکل ۱). دما یکی از عامل‌های مهم محیطی در تعیین موفقیت جوانه‌زنی بذر و رشد اولیهٔ گیاهچه‌ها است که بر ظرفیت و سرعت جوانه‌زنی بذر تأثیرگذار است (Shafii & Price, 2001). در آزمایشی که روی بذرهای مختلف خردل سفید گردآوری‌شده از مناطق مختلف انجام شد، مشخص شد که دمای بهینه برای جوانه‌زنی این‌گونه حدود ۲۰ تا ۲۵ درجهٔ سلسیوس بوده و در دماهای کمتر از ۵ تا ۱۰ درجهٔ سلسیوس جوانه‌زنی رخ نداد (Yaniv *et al.*, 1995). افزون بر این در آزمایشی دیگر دمای بهینه برای سبز شدن خردل سفید برابر ۲۷ درجهٔ سلسیوس بود (Dorsainvil *et al.*, 2005). در یک بررسی جوانه‌زنی بوم‌جورهای مختلف خردل وحشی در دامنهٔ دمایی ۵ تا ۳۵ درجهٔ سلسیوس رخ داد و بذرهای بوم‌جور خوزستان جوانه‌زنی بیشتری داشتند و دامنهٔ بهینه دمایی برای این بوم‌جور بین ۱۰ تا ۱۵ درجهٔ سلسیوس در حضور نور متغیر بود (Salimi, 2010). در آزمایشی دیگر دمای کمینه، بهینهٔ پایین، بهینهٔ بالا و سقف برای جوانه‌زنی خردل وحشی در تیمار شاهد به ترتیب برابر ۱/۹۴، ۲۱/۳۵، ۲۲/۵۵ و ۳۶/۴۶ درجهٔ سلسیوس بودند و بیشترین سرعت جوانه‌زنی خردل وحشی ۰/۰۱۶ بر ساعت مشاهده و علت کاهش جوانه‌زنی در دماهای بالا افزایش خواب ثانویه بیان شد (Soltani *et al.*, 2016).

همان‌طور که جدول ۲ نشان می‌دهد، ضریب جوانه‌زنی خردل وحشی بیش از خردل سفید است. این نشان می‌دهد که خردل وحشی طیف جوانه‌زنی گسترده‌تری را از ۵ تا ۴۵ درجهٔ سلسیوس به خود اختصاص می‌دهد. در نتایج بررسی‌های دیگر گزارش شده، خردل وحشی گونه‌ای روزبلند است که به دامنهٔ گستردهٔ دمایی از ۱/۵ تا ۴۸ درجهٔ سلسیوس سازگار شده است (Huang *et al.*, 2001).



شکل ۱. سرعت جوانه‌زنی مشاهده‌شده و پیش‌بینی‌شدهٔ گونه‌های خردل در مقابل دما برای به دست آوردن این منحنی مدل دوتکه‌ای بر داده‌ها برازش داده شده است.

Figure 1. Observed and predicted germination rate of mustard species against temperature. Two segmented model was fitted to the data.

جدول ۲. ضریب جوانه‌زنی و دماهای کمینه (T_b)، بهینه (T_o) و بیشینه (T_c) حاصل از برازش مدل دوتکه‌ای برای گونه‌های خردل. خطای استاندارد در پرانتز قرار گرفته‌اند.

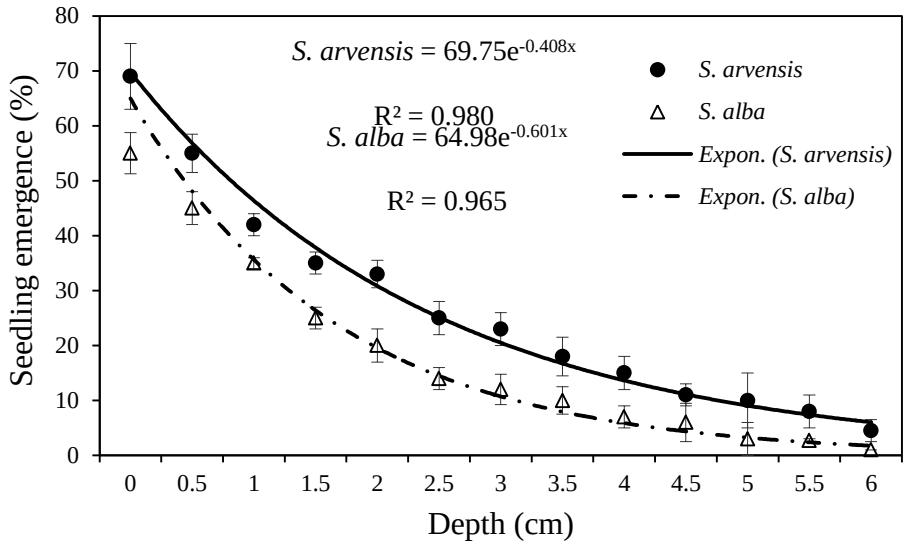
Table 2. Germination coefficient and base (T_b), optimum (T_o) and ceiling (T_c) temperatures resulting from the fitting of a two-segmented model for mustard species. Standard errors are in parentheses.

Species	Germination coefficient	T_c±(SE)	T_o±(SE)	T_b±(SE)	R^2
S. arvensis	0.70	45±(0.46)	25±(0.48)	5±(0.09)	0.95
S. alba	0.40	40±(0.6)	30±(0.92)	4±(0.05)	0.90

تأثیر عمق بر سبز شدن بذرهای خردل

همان‌طور که شکل ۲ نشان می‌دهد، بیشترین سبز شدن گیاهچه که به ترتیب برای خردل وحشی و سفید برابر ۷۰ و ۵۵ درصد بود از سطح خاک رخ داد و با افزایش عمق

درصد سبز شدن کاهش یافت. در همهٔ عمق‌ها درصد سبز شدن خردل وحشی بیشتر از خردل سفید بود. همان‌طور که روند نمودار نشان می‌دهد، برای هر دو گونه در عمق‌های بالاتر از ۶ سانتی‌متر هیچ سبز شدنی صورت نخواهد گرفت. در هر دو گونه خردل روند کاهشی سبز شدن به‌خوبی توسط یک تابع نمایی با ضریب تبیین (R^2) بالا قابل توصیف است. نتایج این آزمایش با نتایج آزمایشی که روی خردل وحشی صورت گرفت هماهنگی دارد (Soltani *et al.*, 2016). سبز شدن کمتر خردل سفید در مقایسه با خردل وحشی را می‌توان به‌اندازهٔ کوچک‌تر بذر آن نسبت داد. سرعت سبز شدن گونه‌های خردل از عمق‌های مختلف توسط یک تابع دوتکه‌ای قابل توصیف است (R^2 = 0.98). برای خردل وحشی از عمق ۰ تا ۳ سانتی‌متر و برای خردل سفید از عمق ۰ تا حدود ۱/۶ سانتی‌متر هیچ تغییری در سرعت سبز شدن گیاهچه‌ها که به ترتیب برای خردل وحشی و سفید حدود ۰/۰۰۹ و ۰/۰۰۶ بر ساعت بود رخ نداد (شکل ۳). به‌هرحال با افزایش عمق از ۳ و ۱/۶ سانتی‌متر، سرعت سبز شدن با شیب حدود ۰/۰۰۲ و ۰/۰۰۱ به ترتیب برای خردل وحشی و سفید آغاز به کاهش کرد. در آزمایشی روی خردل وحشی بالاترین درصد سبز شدن از عمق ۱ سانتی‌متر برابر با ۶۸ درصد رخ داد و تا عمق ۳/۸۴ سانتی‌متر سرعت سبز شدن ثابت بود (Soltani *et al.*, 2016). به‌طورکلی از دلایل کاهش سبز شدن در نتیجهٔ افزایش عمق را می‌توان به نور و مواد ذخیره‌ای و همچنین القای خواب ثانویهٔ بذر و یا مرگ گیاهچه در عمق‌های بالا اشاره کرد (Benvenuti *et al.*, 2005؛ Soltani *et al.*, 2016). در نتایج بررسی‌های دیگر بیان شده است، القاء دوبارهٔ خواب در بذرهای دفن‌شده در عمق ممکن است با اثر متقابل بین سوخت وساز بذر و محیط گازی خاک مرتبط باشد تا اینکه مربوط به کاهش ذخیره‌های انرژی بذر باشد (Benvenuti *et al.*, 2001).

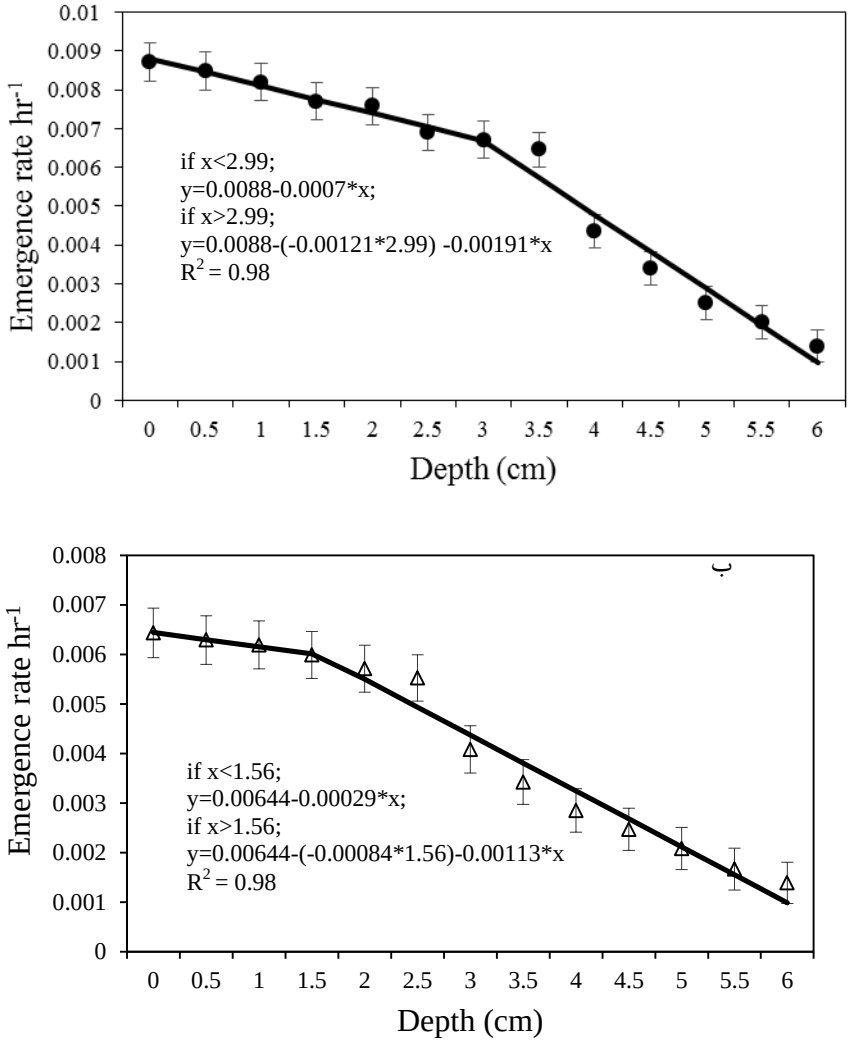


شکل ۲. رابطهٔ بین عمق کاشت و سبز شدن گیاهچه‌های گونه‌های خردل. خطوط عمودی نشان‌دهندهٔ خطای استاندارد هستند.

Figure 2. Relationship between the planting depth and seedling emergence of mustard species. The bars represent the standard error.

کاهش فعالیت سوخت‌وسازی بذرهای دفن‌شده توسط سبز شدن کندتر گیاهچه‌ها قابل تأیید است، به‌طوری‌که از رسیدن متابولیت به آستانهٔ تخمیر سمی جلوگیری کرده که این می‌تواند بازدارندهٔ جوانه‌زنی بذر و القا دوبارهٔ خواب شود (Holm, 1972). به‌هرحال، رطوبت بالای خاک، فشردگی خاک، فعالیت میکروبی بالا و ساختمان ضعیف خاک ممکن است غلظت اکسیژن خاک را کاهش داده یا از حرکت گازها درون خاک جلوگیری کرده و منجر به تجمع محصولات تخمیری فراری شوند که از جوانه‌زنی جلوگیری می‌کند (Chantre *et al.*, 2009). به‌هرحال نتایج تحقیقات روی علف خارش‌آور (*Rottboellia cochinchinensis*) نشان داد، بیشترین درصد سبز شدن در سطح (عمق ۰ سانتی‌متر)

مشاهده شد و با افزایش عمق دفن بذر درصد سبز شدن کاهش یافت و در عمق‌های بالاتر از ۱۰ سانتی‌متر جوانه‌زنی مشاهده نشد (Bolfrey-Arku *et al.*, 2011). کاهش سبز شدن در نتیجهٔ افزایش عمق دفن شدن توسط دیگر محققان نیز گزارش شده است (Wei *et al.*, 2009؛ Chachalis *et al.*, 2008). با توجه به اینکه درصد سبز شدن در عمق ۱ سانتی‌متر تفاوت زیادی با سطح نداشت می‌توان بیان داشت، برای بذر دو گونه خردل وحشی و سفید نور عامل محدودکننده برای سبز شدن در عمق‌های بالا است. با توجه به نتایج و سبز نشدن گیاهچه در عمق‌های بالاتر از ۶ سانتی‌متری می‌توان به‌منظور مهار این علف هرز از مدیریت شخم عمیق (بالاتر از ۷ سانتی‌متر) استفاده کرد.



شکل ۳. رابطهٔ بین عمق و سرعت سبز شدن گیاهچه‌های الف) خردل وحشی و ب) خردل سفید. برای به دست آوردن این روابط مدل دوتکه‌ای بر داده‌ها برازش داده شده است. خطوط عمودی نشان‌دهندهٔ خطای استاندارد هستند.

Figure 3. Relationship between the planting depth and seedling emergence rate of a) wild mustard and b) white mustard. Two segmented model was fitted to the data. The bars represent the standard error.

تأثیر غرقاب بر ویژگی‌های جوانه‌زنی بذرهای خردل

جدول تجزیهٔ واریانس نشان داد، اثرگذاری‌های اصلی گونه و تیمار غرقابی بر ویژگی‌های جوانه‌زنی خردل معنی‌دار بود. به‌طورکلی در همهٔ دوره‌های غرقاب درصد جوانه‌زنی، طول و وزن گیاهچه خردل وحشی بیشتر از خردل سفید بود (جدول ۳). با افزایش دورهٔ غرقاب درصد جوانه‌زنی، طول

گیاهچه و وزن گیاهچه هر دو گونه خردل کاهش یافت (جدول ۳). کاهش درصد جوانه‌زنی در شرایط تنش غرقاب را می‌توان به کاهش میزان اسید جیبرلیک و سیتوکینین و همچنین افزایش اسید آبسزیک و اتیلن نسبت داد که به دنبال آن موجب نبود زمینهٔ تعادل هورمونی می‌شود (Nazari *et al.*, 2017). همسان نتایج این آزمایش با افزایش طول دورهٔ غرقاب جوانه‌زنی دو علف هرز چنار ویرجینیا (*Diodia virginiana*) و مو شیرابه‌دار (*Morrenia odorata*) کاهش یافت (Baird & Dickens, 1991؛ Singh & Achhireddy, 1984). در آزمایشی دیگر با افزایش دورهٔ غرقاب تا ۲۱ روز حدود ۵۰ درصد جوانه‌زنی سوروف کاهش یافت (Abouziena *et al.*, 2015). در آزمایشی شرایط غرقاب حتی به مدت چهار روز از جوانه‌زنی علف هرز نیلوفر (*Ipomoea purpurea*) جلوگیری کرد درحالی‌که جوانه‌زنی این علف هرز در شرایط عادی بالای ۸۵ درصد بود (Singh *et al.*, 2012). با توجه به نتایج به‌دست‌آمده می‌توان پیش‌بینی کرد، غرقاب عامل محدودکنندهٔ استقرار این گیاه به‌ویژه در خاک‌های بدون تهویه و زهکش است. همچنین در جاهایی که دارای آب به‌نسبت زیاد هستند می‌توان از غرقاب به‌عنوان یک عامل مدیریتی برای مهار آن استفاده کرد.

جدول ۳. ویژگی‌های جوانه‌زنی دو گونه خردل در دوره‌های مختلف غرقاب.

Table 3. Germination characteristics of two mustard species in different flooding periods.

Species	Seedling length (mm)	Seedling weight (mg)	Germination percentage
S. arvensis	6.50[a]	70.00[a]	23.08[a]
S. alba	5.42[b]	56.67[b]	10.42[b]
Flooding period (day)			
0	9.50[a]	95.00[a]	5612[a]
7	8.50[a]	86.50[ab]	41.46[ab]
14	6.00[b]	80.00[b]	26.15[b]
21	5.50[b]	56.00[c]	14.26[c]
28	3.75[c]	40.00[d]	6.83[d]
35	2.50[c]	22.50[e]	2.35[e]

میانگین‌های دارای دست‌کم یک حرف مشترک، بدون اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار هستند.

Means followed by the same letter in each column are not significantly different according to LSD test ($P \leq 0.05$).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج آزمایش نشان داد، در بیشتر دماها، عمق‌ها و دوره‌های غرقاب جوانه‌زنی خردل وحشی بیشتر از خردل سفید بود، دلیل آن به‌احتمال اندازهٔ بزرگ‌تر بذر این‌گونه است. این خود شاید دلیلی باشد بر این موضوع که مشکل کشاورزان در رابطه با خردل وحشی بیش از خردل سفید است. آغاز جوانه‌زنی خردل از ۴ تا ۵ درجهٔ سلسیوس (دمای کمینه) بوده و در دماهای ۲۵ تا ۳۰ درجهٔ سلسیوس به بیشینهٔ خود رسیده (دمای بهینه) و پس از آن جوانه‌زنی در دمای ۴۰ تا ۴۵ درجهٔ سلسیوس (دمای بیشینه یا سقف) متوقف شد. با توجه به اینکه با افزایش عمق درصد سبز شدن کاهش یافت می‌توان بیان داشت، برای بذر دو گونه خردل وحشی و سفید ممکن است نور عامل محدودکننده برای سبز شدن در عمق‌های بالا باشد که به آزمایش‌های بیشتری نیاز است. با توجه به نتایج و سبز نشدن گیاهچه در عمق‌های بالاتر از ۶ سانتی‌متری می‌توان به‌منظور مهار این علف هرز از مدیریت شخم عمیق (بالاتر از ۷ سانتی‌متر) استفاده کرد. با افزایش دورهٔ غرقاب درصد جوانه‌زنی، طول گیاهچه و وزن گیاهچه هر دو گونه خردل کاهش یافت که شاید بتوان این تیمار زراعی را در مناطقی که آب به‌اندازهٔ کافی وجود دارد توصیه کرد و تعمیم داد.

REFFERENCES

1. Abouziena, H. F., El-Sayed El-Awadi, M., El-Saeid H. M., El-Metwally, I. M., El-Desouki I. R. & Singh, M. (2015). Influence of environmental factors, flooding period and seeding depth on germination and emergence of barnyardgrass [*Echinochloa crus-galli* (L.)] Beauv.]. *International Journal of ChemTech Research*, 8, 459-467.
2. Altieri, M. & Liebman, M. A. (1988). *Weed management in agroecosystems: Ecological approaches*. CRC Press Inc., Boca Raton, Florida, USA.

3. Baird, J. H. & Dickens, R. (1991). Germination and emergence of Virginia buttonweed (*Diodia virginiana*). *Weed Science*, 39, 37-41.
4. Baskin, C. C. & Baskin, J. M. (2001). *Seeds: ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination*. San Diego, CA: Academic Press.
5. Benvenuti, S., Macchia, M. & Miele, S. (2001). Light, temperature and burial depth effects on Rumex obtusifolius seed germination and emergence. *Weed Research*, 41, 177-186.
6. Benvenuti, S., Dinelli, G., Bonetti, A. & Catizone, P. (2005). Germination ecology, emergence and host detection in *Cuscuta campestris*. *Weed Research*, 45, 270-278.
7. Bolfrey-Arku, G. E. K., Chauhan, B. S. & Johnson, D. E. (2011). Seed germination ecology of itchgrass (*Rottboellia cochinchinensis*). *Weed Science*, 59, 182-187.
8. Bradford K. J. & Nonogaki, H. (2007). *Seed development, dormancy and germination*. Blackwell Publishing Plant Science, Oxford.
9. Chachalis, D., Korres, N. & Khah, E. M. (2008). Factors affecting seed germination and emergence of Venice mallow (*Hibiscus trionum*). *Weed Science*, 56, 509-515.
10. Chantre, G. R., Sabbatini, M. R.. & Orioli, G. A. (2009). Effect of burial depth and soil water regime on the fate of *Lithospermum arvense* seeds in relation to burial time. *Weed Research*, 49, 81-89.
11. Chauhan, B. S., gill, G. & Preston, C. (2006). Factors affecting seed germination of annual sowthistle (*Sonchus oleraceus*) in southern Australia. *Weed Science*, 54, 854-860.
12. Clewis, S. B., Jordan., D. L., Spears, J. F. & Wilcut, J. W. (2007). Influence of environmental factors on cutleaf eveningprimrose (*Oenothera laciniata*) germination, emergence, development, vegetative growth and control. *Weed Science*, 55, 264-272.
13. Dorsainvil, F., Dürr, C., Justes, E. & Carrera, A. (2005). Characterisation and modelling of white mustard (*Sinapis alba* L.) emergence under several sowing conditions. *European Journal of Agronomy*, 23, 146–158.
14. Downing, T. E., Ringlus, L., Hulme, M. & Waughray, D. (1997). *Adapting to climate of cold regions*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. 809-825.
15. Escudero, A., Núñez, Y. & Pérez-García, F. (2000). Is fire a selective force of seed size in pine species? *Acta Oecologica*, 21, 245-256.
16. Fenner, M. (1992). Environmental influences of seed size and composition. *Horticultural Reviews*, 13, 183-213.
17. Gairola, K. C., Nautiyal, A. R.. & Dwivedi, A. K. (2011). Effect of temperatures and germination media on seed germination of *Jatropha curcas* Linn. *Advances in Bioresearch*, 2(2), 66-71.
18. Huarte, H. R., Pereyra Zorraquin, M. R., Bursztyn, E. M. & Zapiola, M. L. (2016). Effects of environmental factors on seed germination and seedling emergence of common teasel (*Dipsacus fullonum*). *Weed Science*, 64, 421-429.
19. Holm, R. H. (1972). Volatile metabolites controlling germination in buried weed seeds. *Plant Physiology*, 50(2), 293–297.
20. Huang, J. Z., Shresth, A., Tollenar, M., Deen, W., Rajcan, I., Rhimian, H. & Swanton, C. (2001). Effect of temperature and photoperiod on the phenological development of wild mustard (*Sinapis arvensis*). *Field Crops Research*, 70, 75-86.
21. Oleszek, W., Ascard, J., & Johanssom, H. (1996). *Brassicaceae as alternative plants for weed control in sustainable agriculture*, pp. 3–22, in: Narwal J. & Tauro P. (eds.). *Allelopathy in Pest Management for Sustainable Agriculture*. S. S. Scientific Publishers, Jodhpur, India
22. Jorge, M. H. A. & Ray, D. T. (2004). Germination characterization of Guayule (*Parthenium argentatum*) seed by morphology mass and X-ray and analysis. *Industrial Crops and Production*, 23, 59-63.
23. Izquierdo, J., Bastida, F., Lezaun, J. M., Sanchez, M. J. & Gonzalez-Andujar, J. L. (2013). Development and evaluation of a model for predicting *Lolium rigidum* emergence in winter cereal crops in the Mediterranean area. *Weed Research*, 53(4), 269-278.
24. Khan, M. L. (2004). Effects of seed mass on seedling success in *Artocarpus heterophyllus* L. a tropical tree species of north – east India. *Acta Oecologia*, 25, 103-110.
25. Koger, C. H., Reddy, K. N. & Poston, D. H. (2004). Factors affecting seed germination, seedling emergence and survival of texasweed (*Caperonia palustris*). *Weed Science*, 52, 989-995.
26. Kulkarni, S. S., Dosdall, L. M., Spence, J. R. & Willenborg, C. J. (2015). Depth of seed burial and gender influence weed seed predation by three species of ground beetle (Coleoptera: Carabidae). *Weed Science*, 63, 910-915.
27. Lu, P., Sang, W. & Ma, K. (2006). Effects of environmental factors on germination and emergence of crofton weed (*Eupatorium adenophorum*). *Weed Science*, 54, 452-457.
28. Luzuriaga, A. L., Escudero, A. & Erez-Garc, P. I. A. F. (2006). Environmental maternal effects on seed morphology and germination in *Sinapis arvensis* (Cruciferae). *Weed Research*, 46, 163–174.
29. Mahmood, A. H., Florentine, S. K., Chauhan, B. S., Mclaren, D. A., Palmer, G. C. & Wright, W. (2016). Influence of various environmental factors on seed germination and seedling emergence of a noxious environmental weed: green galenia (*Galenia pubescens*). *Weed Science*, 64, 486-494.

30. Midmore, E. K., McCartan, S. A., Jinks, R. L. & Cahalan, C. M. (2015). Using thermal time models to predict germination of five provenances of silver birch (*Betula pendula* Roth) in southern England. *Silva Fennica*, 49(2), 1-12.
31. Najafi, H., Baghestani, M. A. & Zand, E. (2009). *Weed of Iran: biology and management (Vol 1)*. Iranian Research Instituste of Plant Protection. (In Farsi)
32. Nandula, V. K., Eubank, T. W., Poston, D. H., Koger, C. H. & Reddy, K. N. (2006). Factors affecting germination of horseweed (*Conyza canadensis*). *Weed Science*, 54, 898-902.
33. Nazari, S., Deihimfard, R. & Faraji, J. (2017). An investigation into germination patterns of common lambsquarters (*Chenopodium album*) in reaction to temperature, salinity and waterlogging stress. *Iranian Journal of Seed Research*, 3(2), 15-30. (In Farsi)
34. Piper, E. L, Boote, K. J., Jones, J. W. & Grimm, S. S. (1996). Comparison of two phenology models for predicting flowering and maturity date of soybean. *Crop Science*, 36, 1606-1614.
35. Reddy, N. K. & Singh, M. (1992). Germination and emergence of Hairy beggarticks (*Bidens pilosa*). *Weed Science*, 40, 195-199.
36. Rosario, J. M., Gruz-Hipolito, H., Smeda, J. R. & Depardo, R. (2011). White mustard (*Sinapis alba*) resistance to ALS-inhibiting herbicides and alternative herbicides for control in spain. *European Journal of Agronomy*, 35, 57-62.
37. Salimi, H. (2010). Effects of temperature and light on different wild mustard (*Sinapis arvensis*) ecotypes germination. *Rostaniha*, 10 (2), 221-229. (In Farsi)
38. Shafii, B. & Price, W. J. (2001). Estimation of cardinal temperatures in germination data analysis. *Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics*, 6, 356-366.
39. Singh, M. & Achhireddy, N. R. (1984). Germination ecology of Meelkweedvine (*Morrenia odorata*). *Weed Science*, 32, 781-785.
40. Singh, M., Ramirez, A. H. M., Sharma, S. D. & Jhala, A. J. (2012). Factors affecting the germination of tall morningglory (*Ipomoea purpurea*). *Weed Science*, 60, 64–68.
41. Sohrabi, S., Ghanbari, A., Mohassel, M. H. R., Gherekhloo, J. & Vidal, R. A. (2016). Effects of environmental factors on *Cucumis melo* L. subsp. *agrestis* Var. *agrestis* (Naudin) Pangalo seed germination and seedling emergence. *South Africa Journal of Botany*, 105, 1-8.
42. Soltani, A., Robertson, M. J., Torabi, B., Yousefi-Daz, M. & Sarparast, R. (2006). Modeling seedling emergence in chickpea as influenced by temperature and sowing depth. *Agricultural and Forest Meteorology*, 138, 156-167.
43. Soltani, E., Baskin, C. C., Baskin, J. M., Soltani, A., Galeshi, S., Ghaderi-Far, F. & Zeinali, E. (2016). A quantitative analysis of seed dormancy and germination in the winter annual weed *Sinapis arvensis* (Brassicaceae). *Botany*, 94, 289–300.
44. Susko, D. J. & Hussein, Y. (2008). Factors affecting germination and emergence of dame's rocket (*Hesperis matronalis*). *Weed Science*, 56, 389-393.
45. Upadhyaya, M. K. & Blackshaw, R. E. (2007). *Non chemical weed management: principles, concepts and technology*. Cabi Publishing.
46. Wei, S., Zhang, C., Li, X., Cui, H., Huang, H., Sui, B., Meng, Q. & Zhang, H. (2009). Factors affecting Buffalobur (*Solanum rostratum*) seed germination and seedling emergence. *Weed Science*, 57, 521-525.
47. Wilson, R .G. (1979). Germination and seedling development of Canada thistle (*Cirsium arvense*). *Weed Science*, 27, 146-151.
48. Winn, A. A. (1991). Proximate and ultimate sources of within individual variation in seed mass in *Prunella vulgaris* (Lamiaceae). *American Journal of Botany*, 78, 838-844.
49. Wolfe, L. M. (1995). The genetics and ecology of seed size variation in a biennial plant, *Hydrophyllum appendiculatum* (Hydrophyllaceae). *Oecologia*, 101, 343–352.
50. Yaniv, Z., Lisker, N., Corbineau, F. (1995). Germination potential of *Sinapsis alba* seeds collected in Israel. *Journal of Arid Environment*, 29, 293–303.
51. Zhou, J., Tao, B., Deckard, E. L. & Messersmith, C. G. (2006). Garden huckleberry (*Solanum melanocerasium*) germination, seed survival, and response to herbicides. *Weed Science*, 54, 478-483.