

## مقاله پژوهشی

تعیین دماهای کاردینال جوانه‌زنی و مدل هیدروتایم بذر علف‌هرز خاکشیر تلخ  
(*Sisymbrium irio*)فاطمه خوشنود لشکریان<sup>۱</sup>، مرجان دیانت<sup>۲\*</sup>، قربان نورمحمدی<sup>۳</sup>

چکیده مبسوط

مقدمه: خاکشیر تلخ (*Sisymbrium irio* L.) از مهم‌ترین علف‌های هرز پاییزه یکساله از تیره شب‌بو است که به وسیلهٔ بذر تکثیر می‌شود. جوانه‌زنی یک جمعیت بذری در پاسخ به کاهش پتانسیل آب با استفاده از مفهوم هیدروتایم مدل‌سازی می‌شود. این مدل دارای خروجی‌هایی است که از نظر فیزیولوژیکی و اکولوژیکی معنی‌دار می‌باشند. یکی از پیش‌فرض‌های مدل هیدروتایم، توزیع نرمال پتانسیل آب پایه در میان بذرها یک جمعیت است.

مواد و روش‌ها: به منظور کمی‌سازی خصوصیات جوانه‌زنی و تعیین دماهای کاردینال جوانه‌زنی بذر علف‌هرز خاکشیر تلخ، آزمایشی در دانشگاه آزاد اسلامی-واحد علوم و تحقیقات در سال ۱۳۹۷ انجام شد. بذرها در ژرمیناتور در معرض دماهای ثابت ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵، ۴۰ و ۴۵ درجه سلسیوس قرار گرفتند. صفات درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه، طول گیاهچه و وزن تر گیاهچه مورد بررسی قرار گرفتند. جهت تخمین دماهای کاردینال مدل‌های خطوط متقاطع، دندان مانند و چندجمله‌ای درجه ۲ مورد استفاده قرار گرفتند. برای بررسی اثر پتانسیل آب بر جوانه‌زنی در دمای بهینه ۲۲/۸۰ درجه سلسیوس بذور در معرض پتانسیل‌های اسمزی (۰، -۰/۲، -۰/۴، -۰/۶ و -۰/۸ - مگاپاسکال) قرار گرفتند. جهت بررسی اثر کاهش پتانسیل آب بر جوانه‌زنی، از مدل هیدروتایم بر مبنای توزیع نرمال استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که بذر خاکشیر تلخ در دماهای ۵، ۳۵، ۴۰ و ۴۵ درجه سلسیوس جوانه‌زنی نشان نداد و بهترین دما برای جوانه‌زنی بذر، دمای ۲۵ درجه سلسیوس (۴۸ درصد جوانه‌زنی) بود. بیشترین طول ریشه‌چه (۴/۴۹ میلی‌متر) در دمای ۲۰ درجه سلسیوس مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با دماهای ۱۵ و ۲۵ درجه سلسیوس نداشت. در دمای ۲۵ درجه سلسیوس بیشترین طول ساقه‌چه (۱۰/۱۹ میلی‌متر) حاصل شده اختلاف معنی‌داری با دماهای ۱۵ و ۲۰ درجه سلسیوس نداشت. با توجه به ضریب تبیین و جذر میانگین مربعات خطا، بهترین مدل جهت تعیین دماهای کاردینال جوانه‌زنی بذر خاکشیر تلخ، مدل خطوط متقاطع بود. دماهای کمینه، بهینه و بیشینه برآورد شده توسط این مدل به ترتیب ۵/۸۳، ۲۲/۸۰ و ۳۷/۹۱ درجه سلسیوس بودند. ثابت هیدروتایم و پتانسیل آب پایه (آستانه پتانسیل آب برای شروع جوانه‌زنی) بذر خاکشیر تلخ در دمای ۲۲/۸۰ درجه سلسیوس به ترتیب ۲۸۴/۲۸ مگاپاسکال ساعت و ۱/۱۸- مگاپاسکال براساس مدل هیدروتایم بر مبنای توزیع نرمال برآورد شد.

نتیجه‌گیری: آگاهی از جوانه‌زنی و سبز شدن علف‌های هرز به پیش‌بینی پتانسیل پراکنش به مکان‌های جدید کمک می‌کند. ضریب تبیین به دست آمده (۰/۹۴) با برازش مدل ساده خطی به داده‌های کسر جوانه‌زنی واقعی در مقابل کسر جوانه‌زنی پیش‌بینی شده نشان داد که مدل هیدروتایم مبتنی بر توزیع نرمال از برازش مناسبی به داده‌های جوانه‌زنی خاکشیر تلخ برخوردار بوده است. با توجه به ضریب هیدروتایم پایین این علف هرز و مشکل خشکی که اکثر استان‌ها با آن روبرو هستند پیش‌بینی می‌شود که این علف هرز در آینده در بیشتر استان ایران مشکل ساز شود.

واژه‌های کلیدی: ثابت هیدروتایم، جذر میانگین مربعات خطا، سرعت جوانه‌زنی، مدل خطوط متقاطع

## جنبه‌های نوآوری:

- ۱- بهترین دما برای جوانه‌زنی بذر خاکشیر تلخ، دمای ۲۵ درجه سلسیوس است.
- ۲- بهترین مدل جهت تعیین دماهای کاردینال جوانه‌زنی بذر خاکشیر تلخ، مدل خطوط متقاطع است.
- ۳- ثابت هیدروتایم و پتانسیل آب پایه بذر خاکشیر تلخ در دمای اپتیمم به ترتیب ۲۸۴/۲۸ مگاپاسکال ساعت و ۱/۱۸- مگاپاسکال براساس مدل هیدروتایم بر مبنای توزیع نرمال می‌باشد.

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم باغی و زراعی، دانشکده کشاورزی و صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران

<http://dx.doi.org/10.29252/yujs.7.1.53>



CrossMark

<sup>۲\*</sup> استادیار و استاد گروه علوم باغی و زراعی، دانشکده کشاورزی و صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران

\*رایانامه نویسنده مسئول: [m.divanat@srbiau.ac.ir](mailto:m.divanat@srbiau.ac.ir)

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۲۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۴/۰۵)

## مقدمه

علف‌های‌هرز از مهم‌ترین عوامل محدودکننده تولید محصولات زراعی هستند. مطالعه در زمینه زیست‌شناسی علف‌های‌هرز طی سال‌های اخیر مورد توجه زیادی قرار گرفته است. چنین مطالعاتی اولین گام در جهت مقابله با علف‌های‌هرز مهاجم تازه وارد محسوب می‌شوند (بنونوتی<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۱). بیشتر علف‌های‌هرز در هر سال در یک دوره زمانی خاص سبز شده و الگوهای رویش خاص برای هرگونه دیده می‌شود (خسروی<sup>۲</sup>، ۱۹۹۷). الگوی رویش علف‌های‌هرز مشخص کننده این موضوع خواهد بود که کدام علف‌کش و یا روش غیر شیمیایی کنترل علف‌های‌هرز، می‌تواند در جلوگیری و یا به حداقل رساندن اثرات سوء این عوامل بر عملکرد و کیفیت محصول موثرتر باشد. به همین دلیل مدل‌هایی که زمان رویش علف‌های‌هرز را پیش‌بینی کنند، ابزار تصمیم‌گیری مدیریتی با ارزشی می‌باشند که می‌توان در بهینه‌سازی برنامه‌های کنترل از آن‌ها سود برد (گرسا<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۰۰).

جوانه‌زنی بذر یکی از بحرانی‌ترین رویدادها برای موفقیت بسیاری از علف‌های‌هرز می‌باشد؛ زیرا نشان داده شده است که اولین مرحله برای این که یک علف‌هرز بتواند برای یک نیچ اکولوژی رقابت کند، جوانه‌زنی آن می‌باشد (فورسلا<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۰۰). دما مهم‌ترین عاملی است که سرعت نمو گیاهان و علف‌های‌هرز (از جمله سرعت جوانه‌زنی) را تحت تأثیر قرار می‌دهد. اثرات دما روی نمو گیاهان اساس مدل‌های مورد استفاده برای پیش‌بینی زمان جوانه‌زنی است (کامکار<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۱۱). دامنه دمایی برای جوانه‌زنی توسط دماهای پایه، بهینه و بیشینه تعریف می‌شود. سرعت نمو بین دماهای پایه و بهینه افزایش می‌یابد، بین دماهای بهینه و بیشینه کاهش یافته و فراتر از دمای بیشینه و کمتر از دمای پایه متوقف می‌شود (شفیعی و پرایس<sup>۶</sup>، ۲۰۰۱). انواعی از توابع ریاضی برای شرح رابطه بین سرعت جوانه‌زنی و

دما استفاده شده است. توابع دمایی مختلفی برای توصیف واکنش جوانه‌زنی به دما وجود دارد که از میان آن‌ها سه تابع خطوط متقاطع<sup>۷</sup>، بتا<sup>۸</sup> و دندان‌مانند<sup>۹</sup> برای بررسی واکنش جوانه‌زنی بذر به دما بیشتر از بقیه مورد استفاده قرار گرفته‌اند (اکرم قادری<sup>۱۰</sup>، ۲۰۰۸). امتیاز این توابع این است که پارامترهای این مدل‌ها دارای مفهوم زیستی مانند دماهای کاردینال، سرعت ذاتی جوانه‌زنی و سبز شدن هستند؛ بنابراین، برخی از محققین از این مدل‌ها برای به دست آوردن دماهای کاردینال یعنی دمای پایه، دمای بهینه و دمای بیشینه استفاده کرده‌اند (جیم و کاتفورث<sup>۱۱</sup>، ۲۰۰۴؛ هاردگری<sup>۱۲</sup>، ۲۰۰۶). استیناموس<sup>۱۳</sup> و همکاران (۲۰۰۰) چندین روش مرسوم و جایگزین را برای تعیین دمای پایه جوانه‌زنی ۹ گونه علف‌هرز مقایسه کردند. کامکار و همکاران (۲۰۱۱) در مطالعه خشخاش (*Papaver somniferum* L.) با استفاده از مدل‌های رگرسیون غیرخطی، مدل خطوط متقاطع را به عنوان مدل برتر در پیش‌بینی سرعت جوانه‌زنی معرفی کردند.

عوامل محیطی متعددی مراحل فنولوژی را تحت تأثیر قرار می‌دهند. پتانسیل آب در محیط موثرترین پارامتر در جذب آب و آماس بذر است و تنش خشکی جذب آب را کاهش می‌دهد. رشد جنین با جذب آب آغاز می‌شود بنابراین الگوی زمانی جوانه‌زنی بذر به شدت توسط پتانسیل آب خاک (۱/۲) محیط جوانه‌زنی تنظیم می‌شود به طوری که پتانسیل آب بستر جوانه‌زنی تعیین کننده موازنه محتوای آب بذر خواهد بود (داوس<sup>۱۴</sup> و همکاران، ۲۰۰۸). دما و پتانسیل آب دو عامل زیست محیطی اولیه تنظیم کننده جوانه‌زنی بذر می‌باشند (بولی<sup>۱۵</sup> و همکاران، ۲۰۱۳). جهت کمی سازی واکنش جوانه‌زنی بذر به عوامل محیطی از مدل‌های مختلفی استفاده شده است که این مدل‌های جوانه‌زنی به چند گروه تقسیم می‌شوند به طوریکه اگر فقط از دما استفاده

<sup>7</sup> Intersected-lines model

<sup>8</sup> Five-parameters beta model

<sup>9</sup> Dent-like model

<sup>10</sup> Akram-Ghaderi

<sup>11</sup> Jame and Cutforth

<sup>12</sup> Hardegree

<sup>13</sup> Steinmaus

<sup>14</sup> Daws

<sup>15</sup> Bewley

<sup>1</sup> Benvenuti

<sup>2</sup> Khosravi

<sup>3</sup> Ghersa

<sup>4</sup> Forcella

<sup>5</sup> Kamkar

<sup>6</sup> Shafii and Price

### مواد و روش‌ها

آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی و با ۴ تکرار در دانشگاه آزاد اسلامی - واحد علوم و تحقیقات، آزمایشگاه اکولوژی در بهمن‌ماه سال ۱۳۹۷ انجام شد. پیش از شروع آزمایش بذرهای با استفاده از محلول ۱ درصد هیپوکلریت سدیم به مدت ۵ دقیقه ضدعفونی و سپس چند بار با آب مقطر شستشو شدند. بذر خاکشیر تلخ از مزرعه دانشگاه آزاد اسلامی - واحد علوم و تحقیقات واقع در دماوند جمع‌آوری شد. بذرهای پتری‌های یک بار مصرف استریل که کف آنها یک لایه کاغذ صافی واتمن شماره یک بود، منتقل شدند. قطر پتری‌ها ۹ سانتی‌متر بود و در هر پتری ۲۵ عدد بذر قرار گرفت. پتری‌ها در دماهای ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵، ۴۰ و ۴۵ درجه سلسیوس با رطوبت نسبی ۶۵ درصد قرار گرفتند. دماها توسط انکوباتور با دقت ۰/۵ درجه سلسیوس تأمین گردید. شمارش بذرهای جوانه‌زده پس از گذشت ۲۴ ساعت از شروع آزمایش هر روز انجام شد تا زمانی که تعداد تجمعی بذرهای جوانه زده به یک حد ثابت رسید. مبنای جوانه‌زنی بذرهای، خروج ریشه‌چه از پوسته بذر و رویت آن با چشم غیر مسلح بود (جفری<sup>۸</sup> و همکاران، ۱۹۸۷). برای محاسبه درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی از رابطه‌های ۱ و ۲ (آلم<sup>۹</sup> و همکاران، ۲۰۱۴) استفاده شد.

$$GP = 100 \times \frac{n_i}{N} \quad \text{رابطه ۱:}$$

$$GR = \sum \frac{n_i}{T_i} \quad \text{رابطه ۲:}$$

که در آنها GP: درصد جوانه‌زنی،  $n_i$ : تعداد بذر جوانه‌زده در روز  $i$  ام و  $N$ : تعداد کل بذور کشت شده، GR: سرعت جوانه‌زنی (تعداد بذر در روز)،  $n_i$ : تعداد بذر جوانه‌زده در هر روز و  $T_i$ : تعداد روز از شروع آزمایش تا شمارش  $i$  ام است.

مدل خطوط متقاطع با استفاده از رابطه ۳،

رابطه ۳:

$f = \text{if } (T < T_0, \text{region 1 (T), region 2 (T)})$

Region 1 (T) = b (T - T<sub>b</sub>)

Region 2 (T) = c (T<sub>m</sub> - T)

مدل دندان مانند با استفاده از رابطه ۴،

شود، مدل ترمال تایم و اگر از رطوبت استفاده شود، مدل را هیدروتایم می‌گویند (فورسلا و همکاران، ۲۰۰۰؛ بردفورد<sup>۱</sup>، ۲۰۰۲). انصاری<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۱۷) پتانسیل آبی پایه پنیروک (*Malva sylvestris* L.) در دماهای ۱۵ و ۲۰ درجه سلسیوس را به ترتیب ۱/۱۳- و ۱/۱۱- مگاپاسکال برآورد کردند. درخشان<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۱۶) تجزیه هیدروتایم جوانه‌زنی بذر شاه‌افسر (*Melilotus officinalis* L.)، خردل وحشی (*Sinapis arvensis* L.) و جو (*Hordeum vulgare* L.) را با استفاده از دوازده تابع آماری نرمال، بتا، گاما، لوگ لجستیک، بیول، گامبل، بیرنبا-ساندرز، نرمال معکوس، لوگ نرمال، لجستیک، ریلی و گاما معکوس انجام دادند. بسیاری از محققین از مدل هیدروتایم جهت کمی‌سازی واکنش جوانه‌زنی بذرهای به شرایط تنش رطوبتی استفاده کرده‌اند که از این قبیل تحقیقات می‌توان به استفاده از مدل هیدروتایم جهت پیش‌بینی جوانه‌زنی بذر Slender wheatgrass تحت شرایط رطوبتی و دماهای مختلف (شلنبرگ<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۱۳) و کاربرد مدل هیدروتایم برای تحلیل جوانه‌زنی چندین گونه متفاوت تحت شرایط رطوبتی و دمایی مختلف (هارت<sup>۵</sup>، ۲۰۰۶) اشاره کرد.

خاکشیر تلخ (*Sisymbrium irio* L.) از مهم‌ترین علف‌های هرز پاییزه یکساله از تیره شب‌بو<sup>۶</sup> است که به وسیله بذر تکثیر می‌شود. این گیاه، علف‌هرز مزارع گندم، جو، کلزا، باغ‌ها و حاشیه جاده‌ها محسوب می‌شود. رستگاه معمول این گیاه در ایران، استان‌های گیلان، مازندران، همدان، خوزستان، بوشهر، یزد، کرمان، تهران، قزوین و نیز مناطق شیراز، لار و ایرانشهر گزارش شده است (کریمی<sup>۷</sup>، ۲۰۰۸). اهداف اصلی از این تحقیق شامل: ۱- تعیین دماهای کاردینال جوانه‌زنی با استفاده از مدل‌های خطوط متقاطع، دندان مانند و چند جمله‌ای درجه ۲ و مقایسه مدل‌ها با یکدیگر و ۲- تعیین پتانسیل آب پایه جوانه‌زنی با استفاده از مدل هیدروتایم بر مبنای توزیع نرمال بود.

<sup>1</sup> Bradford

<sup>2</sup> Ansari

<sup>3</sup> Derakhshan

<sup>4</sup> Schellenberg

<sup>5</sup> Huarte

<sup>6</sup> Brassicaceae

<sup>7</sup> Karimi

<sup>8</sup> Jeffrey

<sup>9</sup> Alam

رابطه ۴:

$$f(t) = \frac{(T - T_b)}{T_{01} - T_b} \quad T_b < T \leq T_{01}$$

$$f(t) = \frac{(T_c - T)}{(T_c - T_{02})} \quad T_{02} < T \leq T_c$$

$$F(t) = 1 \quad T_{01} < T \leq T_{02}$$

$$F(t) = 0 \quad T_c < T \text{ or } T \geq T_c$$

و مدل چند جمله‌ای درجه ۱۲ با استفاده از رابطه ۵

رابطه ۵:

$$f = a + bT + cT^2$$

$$T_0 = b + 2cT$$

تعیین گردیدند. در تمامی معادلات ذکر شده f: سرعت جوانه‌زنی،  $T_b$ ،  $T_0$  و  $T_m$  به ترتیب دماهای پایه، مطلوب و بیشینه و همچنین a، b و c به عنوان ضرایب رگرسیون در نظر گرفته شدند. برای اعتبار سنجی مدل از جذر میانگین مربعات خطا و ضریب تبیین (رابطه ۶) استفاده شد.

رابطه ۶:

$$R^2_{adj} = 1 - \frac{\sum(O_i - P_i)^2}{\sum(O_i - \bar{O})^2}$$

که در این معادله  $O_i$  و  $P_i$  به ترتیب مقادیر اندازه گیری شده و پیش بینی شده و  $\bar{O}$  میانگین مشاهدات می‌باشد.

برای بررسی اثر پتانسیل آب بر جوانه‌زنی در دمای بهینه ۲۲/۸۰ درجه سلسیوس بذر در معرض پتانسیل‌های اسمزی (۰، -۰/۲، -۰/۴، -۰/۶ و -۰/۸ مگاپاسکال) قرار گرفتند. محلول‌های اسمزی با حل کردن پلی اتیلن گلیکول ۸۰۰۰ در آب مقطر با استفاده معادله میشل<sup>۲</sup> (۱۹۸۳) ایجاد شدند. جهت بررسی اثر کاهش پتانسیل آب بر جوانه‌زنی، از مدل هیدروتایم بر مبنای توزیع نرمال (بردفورد، ۲۰۰۲؛ گراندی، ۲۰۰۳) استفاده شد. مدل هیدروتایم جوانه‌زنی را در پاسخ به پتانسیل آب با استفاده از رابطه ۷ توصیف می‌کند.

رابطه ۷:

$$\theta_H = (\Psi - \Psi_{b(g)}) \times tg$$

که در آن  $\theta_H$ : ضریب هیدروتایم بر حسب مگاپاسکال ساعت،  $\Psi$ : پتانسیل آب پایه بر حسب مگاپاسکال،  $\Psi_{b(g)}$ : پتانسیل آب پایه برای صدک g جوانه‌زنی بر حسب مگاپاسکال،  $t_g$ : زمان جوانه‌زنی g درصد از بذور بر حسب ساعت را نشان می‌دهند. در این

مدل فرض بر این است که  $\Psi_b$  در یک جمعیت بذری متفاوت بوده و از یک توزیع نرمال با میانگین  $\Psi_{b(50)}$ ، انحراف معیار  $\Psi_{\sigma b}$  و ضریب  $\theta_H$  پیروی می‌کند (بردفورد، ۱۹۹۰). با توجه به فرضیات ذکر شده منحنی جوانه‌زنی در مقابل زمان به صورت رابطه ۸ استفاده می‌شود:

رابطه ۸:

$$\text{Probit}(g) = \Psi - (\theta_H / tg) - \Psi_{b(50)} / \sigma_{\Psi b}$$

پس از بررسی نرمال بودن توزیع داده‌ها تجزیه واریانس با استفاده از نرم افزار SAS 19 انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. جهت تعیین دماهای کاردینال (پایه، مطلوب و بیشینه) از مدل‌های رگرسیون غیر خطی بین سرعت جوانه‌زنی و دماهای مختلف استفاده شد که در آنها دما به عنوان متغیر مستقل (محور X) و سرعت جوانه‌زنی به عنوان متغیر وابسته (محور Y) در نظر گرفته شده بود (جیم و کاتفورث، ۲۰۰۴).

### نتایج و بحث

با توجه به عدم جوانه‌زنی بذرها در دماهای ۵، ۳۵، ۴۰ و ۴۵ درجه سلسیوس این دماها در تجزیه واریانس وارد نشدند. نتایج بدست آمده از جدول تجزیه واریانس صفات مورد بررسی در علف هرز خاکشیر تلخ نشان داد که در صفات درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه، طول گیاهچه و وزن تر گیاهچه اختلاف معنی‌دار بین تیمارها در سطح ۱ درصد وجود داشت (جدول ۱).

در نتایج بدست آمده از جدول مقایسه میانگین صفات مورد بررسی در خاکشیر تلخ (جدول ۲) مشخص گردید که بیشترین درصد جوانه‌زنی (۴۸٪) در دمای ۲۵ درجه سلسیوس مشاهده شد. در دمای ۵ درجه سلسیوس هیچ بذری جوانه نزد که احتمالاً به علت کاهش متابولیسم در دمای کم می‌باشد (تولیات<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۱۴). در دماهای بالا (۳۵، ۴۰ و ۴۵ درجه سلسیوس) نیز جوانه‌زنی متوقف شد. در دماهای بالا به علت افزایش تنفس و کاهش ذخیره بذر و یا برخی تغییرات مخرب در پروتئین‌های ضروری جوانه‌زنی

<sup>۱</sup> Quadratic Polynomial Model<sup>۲</sup> Michel<sup>۳</sup> Grundy<sup>۴</sup> Tolyat

تیگرسون<sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۰۲) نیز کاهش کارایی متابولیکی بذرها را از دیگر عوامل کاهش سرعت جوانه‌زنی در دماهای بالاتر از دمای مطلوب گزارش کردند. رابطه سرعت جوانه‌زنی و دما توسط مدل دندان مانند در شکل ۱b نشان داده نشان داده شده است. طبق این مدل دماهای پایه، بهینه و بیشینه جوانه‌زنی خاکشیر تلخ به ترتیب ۶/۰۴، ۲۳/۹۶-۲۴/۸۰ و ۳۸/۱۲ درجه سلسیوس تخمین زده شد. شکل ۱c رابطه سرعت جوانه‌زنی و دما را توسط مدل چندجمله‌ای درجه ۲ نشان می‌دهد. طبق این مدل دماهای ۵/۷۰، ۲۲/۴۲ و ۳۸/۲۹ درجه سلسیوس به ترتیب به عنوان دماهای پایه، بهینه و بیشینه جوانه‌زنی خاکشیر تلخ تخمین زده شدند.

کاهش یافته و یا متوقف می‌شود (عظیمی<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۴). بیشترین طول ریشه‌چه (۴/۴۹ میلی‌متر) در دمای ۲۰ درجه سلسیوس مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با دماهای ۱۵ و ۲۵ درجه سلسیوس نداشت. در دمای ۲۵ درجه سلسیوس بیشترین طول ساقه‌چه (۱۰/۱۹ میلی‌متر) حاصل شده که اختلاف معنی‌داری با دماهای ۱۵ و ۲۰ درجه سلسیوس نداشت. در صفت طول گیاهچه روند مشابهی با طول ریشه‌چه مشاهده شد. بیشترین وزن‌تر گیاهچه (۰/۰۱۳۵ گرم) نیز در دمای ۳۰ درجه سلسیوس حاصل شد که با دماهای ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درجه سلسیوس تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۲).

شکل ۱a رابطه سرعت جوانه‌زنی و دما را توسط مدل خطوط متقاطع نشان می‌دهد. در مدل خطوط متقاطع تغییرات سرعت نسبی نمو به طور جداگانه برای دماهای کمتر و بیشتر از دمای بهینه ترسیم می‌شود. دمای بهینه از محل تقاطع دو خط رگرسیونی محاسبه شده و دمای پایه و بیشینه به ترتیب عرض از مبدا خط رگرسیونی در دماهای کمتر و بیشتر از دمای بهینه می‌باشند (فارتیال<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۰۳). بر اساس این مدل سرعت نسبی نمو در یک دما و کمتر از آن صفر می‌باشد. با افزایش دما از این مقدار سرعت نسبی نمو افزایش می‌یابد و در دمای بهینه زیرین به بیشینه می‌رسد. با افزایش بیشتر دما تا رسیدن به دمای بهینه زیرین سرعت نسبی نمو ثابت است. افزایش دما در فراتر از این حد دوباره باعث کاهش سرعت نسبی نمو می‌گردد و سرانجام در دمای بیشینه سرعت نسبی نمو دوباره به صفر می‌رسد و در دماهای بالاتر نیز صفر خواهد بود (سلطانی<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۰۶).

دماهای پایه، بهینه و بیشینه جوانه‌زنی خاکشیر تلخ به ترتیب ۵/۸۳، ۲۲/۸ و ۳۷/۹۱ درجه سلسیوس با استفاده از مدل خطوط متقاطع تخمین زده شد. انعقاد پروتئین و اختلال در کار غشاها از جمله عواملی هستند که باعث کاهش سرعت جوانه‌زنی بذرها در دماهای بالاتر از دمای مطلوب می‌شوند (بلیکی<sup>۴</sup> و همکاران، ۱۹۹۹).

<sup>1</sup> Azimi

<sup>2</sup> Phartyal

<sup>3</sup> Soltani

<sup>4</sup> Balbaki

<sup>5</sup> Thygeron

جدول ۱. میانگین مربعات اثر دما بر خصوصیات جوانه‌زنی بذر خاکشیر تلخ

Table 1. Mean squares of temperature effect on germination traits of London rocket seed

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Mean of squares					
		درصد جوانه‌زنی Germination percentage	سرعت جوانه زنی Germination rate	طول ریشه‌چه Radicle length	طول ساقه‌چه Hypocotyle length	طول گیاهچه Seedling length	وزن تر گیاهچه Seedling fresh weight
دما Temperature	5	39.01 **	0.1471 **	1.312 **	4.175 **	8.376 **	0.283 n.s
خطا Error	15	11.09	0.0023	0.0104	0.1006	0.198	0.1501
درصد ضریب تغییرات C.V (%)	-	9.17	4.06	14.72	10.75	14.31	0.031

\*\* معنی دار در سطح احتمال ۱٪ ۱٪ Significant at 1%

جدول ۲. مقایسه میانگین اثر دما بر خصوصیات جوانه‌زنی بذر خاکشیر تلخ

Table 2. Mean comparison of germination traits of London rocket seed

دما (درجه سلسیوس) Temperature (°C)	درصد جوانه‌زنی Germination percentage	سرعت جوانه زنی (تعداد در روز) Germination rate (number/day)	طول ریشه‌چه (میلی‌متر) Radicle length (mm)	طول ساقه‌چه (میلی‌متر) Hypocotyle length (mm)	طول گیاهچه (میلی‌متر) Seedling length (mm)	وزن تر گیاهچه (گرم) Seedling fresh weight (g)
10	6 d	1.062 b	2.25 bc	6.75 b	9.0 bc	0.0011 a
15	18.75 c	1.115 ab	3.42 abc	9.0 ab	12.42 ab	0.0012 a
20	39 b	1.167 ab	4.49 a	10.19 a	14.68 a	0.0015 a
25	48 a	1.257 a	4.29 ab	10.09 a	14.38 a	0.0015 a
30	33 b	1.109 ab	1.94c	3.23 c	5.17 cd	0.001 a

اعداد دارای حروف مشترک در هر ستون اختلاف معنی داری با یکدیگر بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵ درصد ندارند.

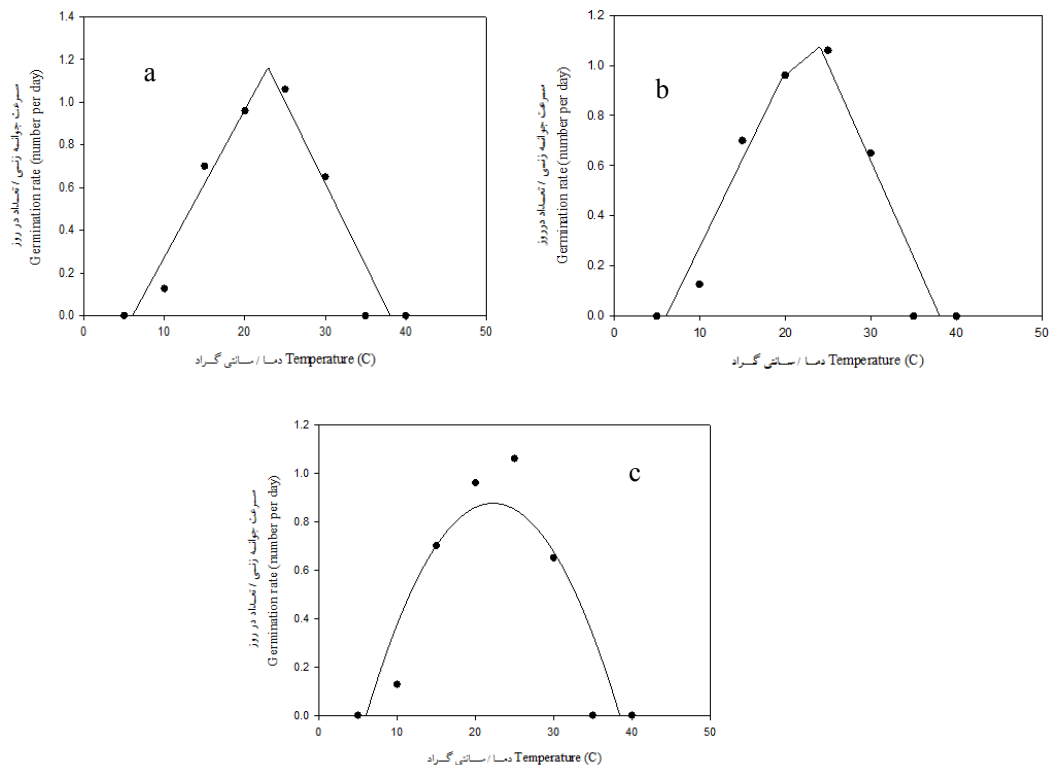
Means with same letters do not have significant differences with each other based on Duncan's Multiple Range Test ( $p < 0.05$ ).

دمای جوانه‌زنی علف‌هرز تاج‌خروس ریشه قرمز (A. retroflexus L.) دمای ۱۰ درجه سلسیوس و دمای بهینه جوانه‌زنی ۲۵ تا ۴۰ درجه سلسیوس گزارش شده است (قربانی<sup>۲</sup> و همکاران، ۱۹۹۹). جهت تعیین بهترین مدل از دو شاخص جذر میانگین مربعات خطا و ضریب تبیین استفاده شد.

دمای پایه جوانه‌زنی علف‌های هرز چهار کربنه مانند سوروف (Echinochloa crus-galli (L.) P. Beauv.) و علف پنج‌انگشتی (Digitaria sanguinalis Scop.) به ترتیب ۶/۲ و ۸/۴ درجه سلسیوس و برای علف‌های هرز سه کربنه مانند بی‌تیراخ (Galium aparine L.) و سلمه‌تره (Chenopodium album L.) به ترتیب ۲/۵ و ۵/۸ درجه سلسیوس گزارش شده است (گولمین<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۸).

دمای پایه جوانه‌زنی تاج‌خروس سفید (Amaranthus albus) ۱۵/۷ درجه سلسیوس گزارش شده است (استیناموس و همکاران، ۲۰۰۰). حداقل

<sup>2</sup> Ghorbani<sup>1</sup> Guillemin



شکل ۱. پیش‌بینی سرعت جوانه‌زنی خاکشیر تلخ با استفاده از دماهای مختلف بر اساس برازش سه مدل خطوط متقاطع (a)، دندان مانند (b) و چندجمله‌ای درجه دوم (c).

**Fig. 1.** Predicted (lines) germination rate of London rocket at different constant temperatures using Intersected-line (a), Dent-like (b) and Quadratic polynomial (c) models.

جدول ۳. دماهای کاردینال جوانه‌زنی بذر خاکشیر تلخ بر اساس سه مدل رگرسیون غیر خطی

**Table 3.** Cardinal temperature of London rocket seed based on three non-linear regression models

دما (سلسیوس) Temperature (C)	مدل Model		
	خطوط متقاطع Intersected-lines	دندان مانند Dent-like	چند جمله‌ای درجه ۲ Quadratic polynomial
پایه Base	5.83	6.04	5.70
بهینه Optimum	22.80	23.96-24.80	22.42
بیشینه Maximum	37.91	38.12	38.29
$R^2$ adjusted ضریب تبیین	0.92	0.92	0.81
جذر میانگین مربعات خطا RMSE	0.14	0.22	0.22

درجه ۲ به ترتیب ۰/۹۲، ۰/۹۲ و ۰/۸۱ بود. بدین ترتیب بهترین مدل جهت برآورد دماهای کاردینال جوانه‌زنی خاکشیر تلخ، مدل خطوط متقاطع می‌باشد. سلطانی و همکاران (۲۰۰۶) از مدل‌های بتا، خطوط متقاطع دندان مانند برای مدل‌سازی سبز شدن گیاه نخود (*Cicer*

همان‌طور که در جدول ۳ نشان داده شده است جذر میانگین مربعات خطا در مدل‌های خطوط متقاطع، دندان مانند و چندجمله‌ای درجه ۲ به ترتیب ۰/۱۴، ۰/۲۲ و ۰/۲۲ به دست آمد. ضریب تبیین نیز در مدل‌های خطوط متقاطع، دندان مانند و چندجمله‌ای

*arietinum*) در دماها و عمق‌های متفاوت استفاده و مدل دندان مانند را به عنوان مدل برتر در پیش‌بینی سبز شدن این گیاه معرفی کردند. برخی محققان مدل‌های دندان مانند را برای پیش‌بینی جوانه‌زنی از مک (*Cardaria draba* L.)، جودره (*Hordeum spontaneum* Koch.) و جوموشی (*H. murinum* L.) مناسب دانسته‌اند (حسینی<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۲).

در ادامه مدل هیدروتایم بر مبنای توزیع نرمال به داده‌های درصد جوانه‌زنی خاکشیر تلخ در پتانسیل‌های صفر، ۰/۲، ۰/۴، ۰/۶ و ۰/۸ - مگاپاسکال در دمای بهینه ۲۲/۸۰ درجه سلسیوس برازش داده شد (شکل ۲). بر اساس مدل هیدروتایم نرمال، ثابت هیدروتایم، پتانسیل آب پایه (آستانه پتانسیل آب برای شروع جوانه‌زنی) بذر خاکشیر تلخ در دمای ۲۲/۲۸ درجه سلسیوس به ترتیب ۲۸۴/۲۸ مگاپاسکال ساعت و ۱/۱۸ - مگاپاسکال بود. جذر میانگین مربعات خطا و ضریب تبیین این مدل به ترتیب ۰/۴۷ و ۰/۹۵ برآورد شد. با استفاده از مدل هیدروتایم پاسخ جوانه‌زنی ۳ گونه گیاهی شاه‌افسر (*Melilotus officinalis*) چاودار (*Secale cereal*) و گندم (*Triticum aestivum*) به رطوبت کمی شده است که نتایج نشان داد ضرایب هیدروتایم برای این سه گونه به ترتیب ۱۲/۲۵، ۶۸/۹۶ و ۶۱/۷ مگاپاسکال ساعت بود. برای ارزیابی دقیق مدل از نمودار کسر جوانه‌زنی واقعی در مقابل کسر جوانه‌زنی پیش‌بینی شده استفاده شد (عالی‌مقام و قادری‌فر<sup>۲</sup>، ۲۰۱۴). ضریب تبیین به دست آمده (۰/۹۴) با برازش مدل ساده خطی به داده‌های کسر جوانه‌زنی واقعی در مقابل کسر جوانه‌زنی پیش‌بینی شده نشان داد که مدل هیدروتایم مبتنی بر توزیع نرمال از برازش مناسبی به داده‌های جوانه‌زنی خاکشیر تلخ برخوردار بوده است (شکل ۳).

مدل خطوط متقاطع با داشتن بالاترین ضریب تبیین و کمترین جذر میانگین مربعات خطا بهترین مدل جهت تعیین دماهای کاردینال جوانه‌زنی علف‌هرز خاکشیر تلخ می‌باشد. دماهای کمینه، بهینه و بیشینه برآورد شده توسط این مدل به ترتیب ۵/۸۳، ۲۲/۸۰ و ۳۷/۹۱ درجه

سلسیوس بودند. توانایی پیش‌بینی درصد جوانه‌زنی در هر دما و پتانسیل آبی در مدیریت علف‌های هرز کاربردهایی دارد. در مدیریت علف‌های هرز پیش‌بینی زمان سبز شدن گیاهچه در توسعه مدل‌های شبیه‌سازی که مکمل سیستم‌های مدیریت تلفیقی علف‌های هرز<sup>۳</sup> هستند، بسیار حیاتی است. همچنین آگاهی از جوانه‌زنی و سبز شدن علف‌های هرز به پیش‌بینی پتانسیل پراکنش به مکان‌های جدید کمک می‌کند (گرسا و همکاران، ۲۰۰۰). مدل هیدروتایم بر مبنای توزیع نرمال، ثابت هیدروتایم و پتانسیل آب پایه بذر خاکشیر تلخ را در دمای ۲۲/۲۸ درجه سلسیوس به ترتیب ۲۸۴/۲۸ مگاپاسکال ساعت و ۱/۱۸ - مگاپاسکال برآورد کرد. ضریب هیدروتایم شاخصی از سرعت جوانه‌زنی در سطوح مختلف تنش خشکی می‌باشد و هر چه این ضریب کمتر باشد نشان دهنده بیشتر بودن سرعت جوانه‌زنی می‌باشد (کاردوسو و بیانکنی<sup>۴</sup>، ۲۰۱۳؛ عالی‌مقام و قادری‌فر، ۲۰۱۴). با توجه به ضریب هیدروتایم پایین این علف هرز و مشکل خشکی که اکثر استان‌ها با آن روبرو هستند پیش‌بینی می‌شود که این علف هرز در آینده در بیشتر استان‌های کشور مشکل‌سازتر شود.

### نتیجه‌گیری

ثابت هیدروتایم، پتانسیل آب پایه (آستانه پتانسیل آب برای شروع جوانه‌زنی) بذر خاکشیر تلخ در دمای ۲۲/۲۸ درجه سلسیوس به ترتیب ۲۸۴/۲۸ مگاپاسکال ساعت و ۱/۱۸ - مگاپاسکال بود. برازش مدل ساده خطی به داده‌های کسر جوانه‌زنی واقعی در مقابل کسر جوانه‌زنی پیش‌بینی شده نشان داد که مدل هیدروتایم مبتنی بر توزیع نرمال از برازش مناسبی به داده‌های جوانه‌زنی خاکشیر تلخ برخوردار بوده است. با توجه به ضریب هیدروتایم پایین این علف هرز و مشکل خشکی که اکثر استان‌ها با آن روبرو هستند پیش‌بینی می‌شود که این علف هرز در آینده در بیشتر استان‌های کشور مشکل‌سازتر شود.

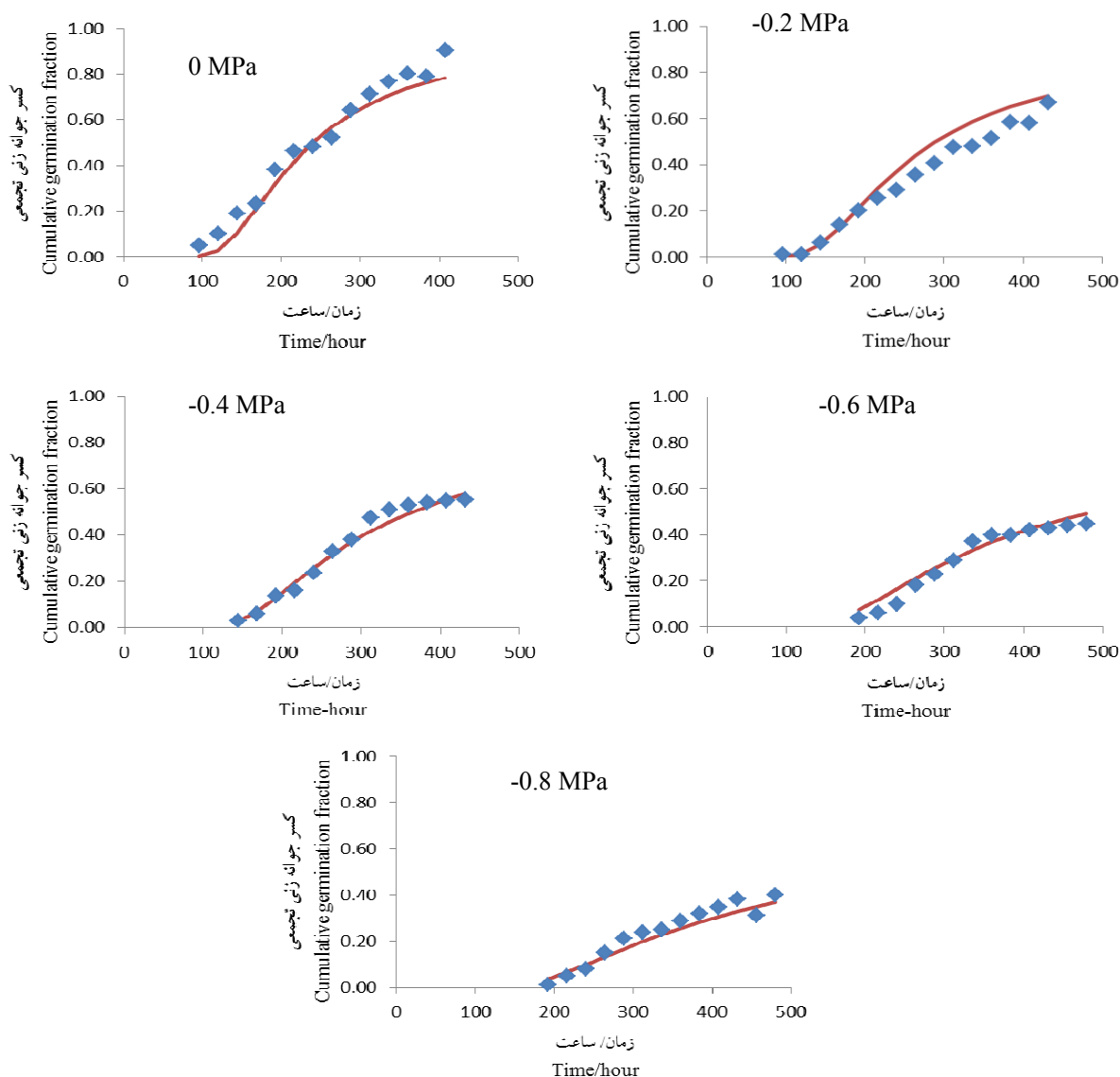
<sup>3</sup> Integrated Weed Managment

<sup>4</sup> Cardoso and Bianconi

<sup>1</sup> Hoseini

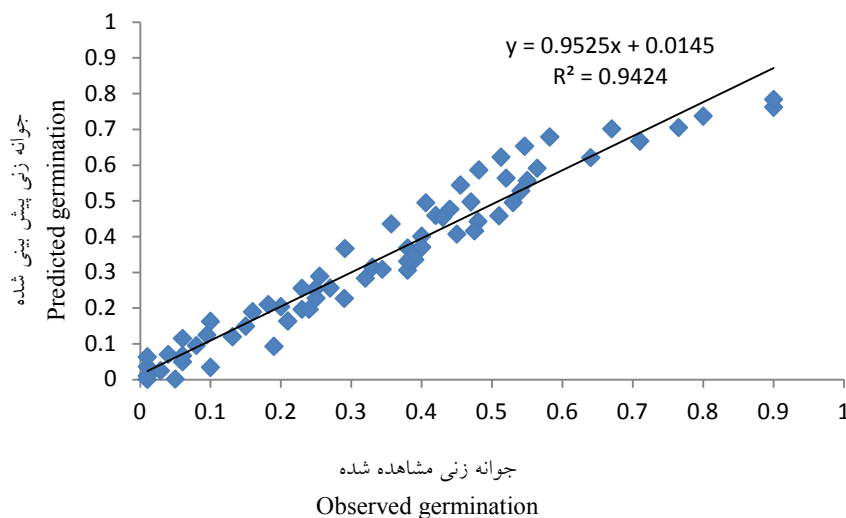
<sup>2</sup> Alimagham and Ghaderifar





**شکل ۲-** برازش منحنی هیدروتایم به داده‌های کسر جوانه‌زنی بذر خاکشیر تلخ بر مبنای توزیع نرمال. نقاط مقادیر مشاهده شده و خطوط، برازش مدل هیدروتایم به نقاط را نشان می‌دهد.

**Fig. 2.** The fitted hydro time model to germination fraction of London rocket seed based on normal distribution. Dots represent observed germination and lines represent fitted models.



شکل ۳. رابطه بین کسر جوانه‌زنی پیش‌بینی شده در مقابل واقعی در مدل هیدروتایم بر مبنای توزیع نرمال

**Fig. 3.** Relationship between observed and predicted germination in hydro time model based on normal distribution

#### منابع

- Akram-Ghaderi, F. 2008. The study of seed quality development, germination, longevity and deterioration in some medicinal plants: medicinal pumpkin (*Cucurbita pepo*. Convar.var. styriaca), cumin blank (*Nigella sativa* L.) and borago (*Borago officinalis* L.). Ph.D. Thesis, University of Gorgan. Agriculture Science Natural Resource, Iran. [In Persian with English Summary].
- Alam, A., Juraimi A.S., Rafii, M.Y., Abdul Hamid, A. and Aslani, F. 2014. Screening of purslane (*Portulaca oleracea* L.) accessions for high salt tolerance. The Scientific World Journal, 1-12. <https://doi.org/10.1155/2014/627916>
- Alimagham, S.M., and Ghaderi-Far, F. 2014. Hydrotime model: Introduction and application of this model in seed researches. Environmental Stresses in Crop Sciences, 7: 41-52. [In Persian with English Summary].
- Ansari, A., Gherekhloo, J., Ghaderifar, F. and Kamkar, B. 2017. Quantification of germination response of *Malva sylvestris* L. to water potential. Environmental Stresses in Crop Science, 10(1): 67-77. [In Persian with English Summary].
- Azimi, R., Khajeh-Hosseini, M. and Falahepor, F. 2014. Evaluation of seed germination features of *Bromus kopetdaghensis* Drobov under different temperature. Journal of Range and Watershed Management, 67: 253-261. [In Persian with English Summary].
- Balbaki, R.Z., Zurayk, R.A., Bleik, M.M. and Tahouk, S.N. 1999. Germination and seedling development of drought tolerant and susceptible wheat under moisture stress. Seed Science and Technology, 27(1): 291-302.
- Benvenuti, S., Macchia, M. and Miele, S. 2001. Quantitative analysis of emergence of seedlings from buried weed seeds with increasing soil depth. Weed Science, 4: 528-535. [https://doi.org/10.1614/0043-1745\(2001\)049\[0528:QAOEOS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1614/0043-1745(2001)049[0528:QAOEOS]2.0.CO;2)
- Bewley, J.D., Bradford, K.J. Hilhorst, H.W.M. and Monogaki, H. 2013. Seeds: Physiology of Development, Germination and Dormancy. Third Edition, Springer, NY, 392p.

- Bradford, K.J. 2002. Application of hydrothermal time to quantifying and modeling seed germination and dormancy. *Weed Science*, 50(2): 248-260. [https://doi.org/10.1614/0043-1745\(2002\)050\[0248:AOHTTQ\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1614/0043-1745(2002)050[0248:AOHTTQ]2.0.CO;2)
- Cardoso, V.J.M. and Bianconi, A. 2013. Hydrotime model can describe the response of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seeds to temperature and reduced water potential. *Biological Sciences*, 35(2): 255-261. <https://doi.org/10.4025/actascibiolsci.v35i2.15393>
- Daws, M.I., Crabtree, L.M., Dalling, J.W., Mullins, C.E. and Burslem, D.F. 2008. Germination responses to water potential in neotropical pioneers suggest large-seeded species take more risks. *Annals of Botany*, 102(6): 945-951. <https://doi.org/10.1093/aob/mcn186>
- Derakhshan, A., Moradi Talavat, M.R. and Siadat, A. 2016. Hydrotime analysis of Yellow Sweetclover (*Melilotus officinalis* (L.) Lam.), Wild Mustard (*Sinapis arvensis* L.) and Barley (*Hordeum vulgare* L.) seed germination. *Journal of Plant Protection*, 30: 518-523. [In Persian with English Summary].
- Forcella, F., Benech-Arnold, Sanchez, R.A. and Ghera, C.M. 2000. Modelling seedling emergence. *Field Crops Research*, 67(2): 123-139. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(00\)00088-5](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(00)00088-5)
- Ghera, C., Benech-Arnold, R., Satorre, E. and Martinez-Ghera, M. 2000. Advances in weed management strategies. *Field Crops Research*, 67(2): 95-104. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(00\)00086-1](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(00)00086-1)
- Ghorbani, R., Seel, W. and Leifert, C. 1999. Effects of environmental factors on germination and emergence of *Amaranthus retroflexus*. *Weed Science*, 47: 505-510. <https://doi.org/10.1017/S0043174500092183>
- Grundy, A.C. 2003. Predicting weed emergence: a review of approaches and future challenges. *Weed Research*, 43(1): 1-11. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3180.2003.00317.x> ; <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.2004.00447.x>
- Guillemin, J.P., Reibel, C. and Granger, S. 2008. Evaluation of base temperature of several weed species. P. 274. In: Valverde B.E. (ed.) Proceedings of the 5th International weed science congress, 23-27 June. 2008. International weed science society, Vancouver, Canada.
- Hardegree, S. 2006. Predicting germination response to temperature. I. Cardinal temperature models and subpopulation specific regression. *Annals of Botany*, 97(6): 1115- 1125. <https://doi.org/10.1093/aob/mcl071>
- Hoseini, M., Mojab, M. and Zamani, Gh. 2012. Evaluation wild barley (*Hordeum spontaneum* Koch.) barley grass (*H. murinum* L.) and hoary cress (*Cardaria draba* L.) germination in different temperatures. p. 108. In proceeding 4th Iranian Weed Science Congress, 6-7 February. 2004. Ahvaz, Iran.
- Huarte, R. 2006. Hydrotime analysis of the effect of fluctuating temperatures on seed germination in several non-cultivated species. *Seed Science and Technology*, 34(3): 533-547. <https://doi.org/10.15258/sst.2006.34.3.01>
- Jame, Y.W. and Cutforth, H.W. 2004. Simulating the effects of temperature and seeding depth on germination and emergence of spring wheat. *Agricultural and Forest Meteorology*, 124(3-4): 207-218. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2004.01.012>
- Jeffrey, D.W., Timothym, C.M. and John, T.R. 1987. Solution volume and seed number: Often overlooked factors in allelopathic bioassays. *Journal of Chemical Ecology*, 13: 1424-1426. <https://doi.org/10.1007/BF01012292>
- Kamkar, B., Jami Al-Ahmadi, M. and Mahdavi-Damghani, A. 2011. Quantification of the cardinal temperatures and thermal time requirement of opium poppy (*Papaver somniferum* L.) seeds

- germinate using non-linear regression models. *Industrial Crops and Products*, 35(1): 192-198. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2011.06.033>
- Karimi, H. 2008. Weeds of Iran. Centre of University Publishing, Tehran. [In Persian].
- Khosravi, M. 1997. Seed Ecology (Translated). Jahade-Daneshgahi Mashhad Press. [In Persian].
- Michel, B.E. 1983. Evaluation of the water potentials of solutions of polyethylene glycol 8000 both in the absence and presence of other solutes. *Plant Physiology*, 72(1): 66-70. <https://doi.org/10.1104/pp.72.1.66>
- Phartyal, S.S., Thapial, R.C., Nayal, J.S., Rawat, M.M.S. and Joshi, G. 2003. The influence of temperatures on seed germination rate in Himalaya elm (*Ulmus wallichiana*). *Seed Science and Technology*, 31(1): 83-93. <https://doi.org/10.15258/sst.2003.31.1.09>
- Schellenberg, M.P., Biliget, B. and Wei, Y. 2013. Predicting seed germination of slender wheatgrass [*Elymus trachycaulus* (Link) Gould subsp. *trachycaulus*] using thermal and hydrotim models. *Canadian Journal of Plant Science*, 93: 793-798. <https://doi.org/10.4141/cjps2013-028>
- Shafii, B. and Price, W.J. 2001. Estimation of cardinal temperatures in germination data analysis. *Journal of Agricultural Biological and Environmental Statistics*, 6(3): 356-366. <https://doi.org/10.1198/108571101317096569>
- Soltani, A., Robertson, M.J., Torabi, B., Yousefi-Daz, M. and Sarparast, R. 2006. Modeling seedling emergence in chickpea as affected by temperature and sowing depth. *Agricultural and Forest Meteorology*, 138(1-4): 156-167. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2006.04.004>
- Steinmaus, S.J., Prather, T.S. and Holt, J.S. 2000. Estimation of base temperature for nine weeds species. *Journal of Experimental Botany*, 51: 275-286. <https://doi.org/10.1093/jexbot/51.343.275>
- Thygerson, T., Harris, J.M., Smith, B.N., Hansen, L.D., Pendleton, R.L. and Booth, D.T. 2002. Metabolic response to temperature for six populations of winter fat (*Eurotia lanata*). *Thermochimica Acta*, 394: 211-217. [https://doi.org/10.1016/S0040-6031\(02\)00253-8](https://doi.org/10.1016/S0040-6031(02)00253-8)
- Tolyat, M.A., Tavakkol Afshari, R., Jahansoz M.R., Nadjafi F. and Naghdibadi H.A. 2014. Determination of cardinal germination temperatures of two ecotypes of *Thymus daenensis* subsp. *Daenensis*. *Seed Science and Technology*, 42(1): 28-35. <https://doi.org/10.15258/sst.2014.42.1.03>

## Research Article

**Determination of Cardinal Temperature and Hydro Time Model of London Rocket Seed (*Sisymbrium irio*) Germination**Ftemeh Khoshnood Lashkarian<sup>1</sup>, Marjan Diyanat<sup>2,\*</sup>, Ghorban Noormohammadi<sup>3</sup>**Extended abstract**

**Introduction:** London rocket is an important winter annual weed of the mustard family (Brassicaceae), which is propagated by seed. Germination of a seed population in response to water potential reduction is modeled using the concept of hydro time. This model has outputs that are physiologically and ecologically meaningful. One of the presumptions of the Hydro time model is the normal distribution of the base water potential among the seed population.

**Materials and methods:** In order to quantify the germination characteristics and determine the cardinal temperature of germination of London rocket (*Sisymbrium irio* L.), an experiment was done in 2018 at Science Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. The seeds were placed at constant temperatures (5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 and 45 °C). Germination percentage, germination rate, root length, shoot length, seedling length and seedling fresh weight were evaluated. Intersected-lines, dent-like and quadratic polynomial models were used to determine cardinal temperatures. London rocket seed germination was tested across a range of water potential (0, -0.2, -0.4, -0.6 and -0.8 MPa) at the optimal temperature of 22.80 °C. The hydro time model, based on the normal distributions was fitted to data.

**Results:** Results showed that seed of London rocket did not germinate at temperatures of 5, 35, 40 and 45° C, and 25° C was the best temperature for seed germination (48%). The longest root length (4.49 mm) was observed at 20°C, which did not have significant differences with temperatures of 15 and 25 °C. The longest shoot length (10.19 mm) was obtained at 25 °C and there were not any significant differences among this temperature and temperatures of 15 and 20 °C. Similar trend with the trait of root length was observed for the trait of seedling length. The best model for estimating the cardinal temperatures in London rocket was intersected-line model with respect to coefficient of determination and mean square error. According to the intersected-lines model in London rocket, the minimum, optimum and maximum temperatures were calculated 5.83, 22.80 and 37.91°C. According to the hydro-time model based on normal distribution, the hydro-time constant and the base-water potential (which is a threshold for germination beginning) of London rocket degree were 284.28 (MPa/h) and -1.18 (MPa) at 22.80 °C, respectively.

**Conclusions:** Knowledge of germination and emergence of weeds also helps to predict the potential distribution to new habitats. The obtained coefficient of determination (0.94) between observed germination and predicted germination showed that the hydro time model based on normal distribution fitted well to germination percentage of London rocket seed. Due to the low hydrotime coefficient of this weed and the drought problem that most provinces face, it is expected that this weed will become more problematic in most provinces of Iran in the future.

**Keywords:** Germination rate, Hydro time constant, Intersected-lines Model, Root mean of squares of error

**Highlights:**

- 1- The best temperature for germination of London rocket seed is 25 °C.
- 2- The best model for estimating the cardinal temperatures in London rocket is intersected-line model
- 3- The hydro-time constant and the base-water potential of London rocket degree based on normal distribution are 284.28 (MPa/h) and -1.18 (MPa) at 22.80 °C, respectively.

<sup>1</sup> M.Sc. Student, Department of Agricultural Sciences and Food Industries, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

<sup>2, 3</sup> Assistant Professor and Professor, Agricultural Sciences and Food Industries, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

\* Corresponding author, E-mail: [diyanat@srbiau.ac.ir](mailto:diyanat@srbiau.ac.ir)

<http://dorl.net/dor/20.1001.1.23831251.1399.7.1.3.0>

<http://dx.doi.org/10.29252/yujs.7.1.53>



CrossMark