نشریه فیزیولوژی محیطی گیاهی، سال دوازدهم، شماره ۴۸، زمستان ۱۳۹۶ / صفحات: ۱۱-۱

مدل‌سازی الگوی سبز شدن گیاهچه سه گونه علف‌هرز در واکنش به دما و رطوبت خاک در مزرعه

سمیه تکاسی[۱*]، ابراهیم کازرونی منفرد[۲]، پرویز رضوانی مقدم[۳]، مهدی نصیری محلاتی[۳]

[۱]بخش تحقیقات گیاه‌پزشکی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گیلان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران

[۲]دانشگاه جامع علمی کاربردی گیلان، رشت، ایران

[۳]گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

تاریخ دریافت: ۹۶/۹/۲۶ تاریخ پذیرش:۹۶/۱۲/۱۶

چکیده

مدل‌های پیش‌بینی زمان سبزشدن گیاهچه برای بهینه‌سازی برنامه‌های کنترل علف‌های‌هرز به‌کارمی‌روند. این آزمایش با هدف پیش‌بینی زمان ظهور سه گونه علف‌هرز تابستانه تاتوره (*Datura stramonium*)، تاج‌ریزی‌سیاه (*Solanum nigrum*) و تاج‌خروس‌ریشه‌قرمز (*Amaranthus retroflexus*) در شرایط مزرعه با استفاده از دما و رطوبت خاک اجراء شد. سه تاریخ کاشت اول خرداد، اول تیر و اول مرداد و ۳ رژیم آبیاری دو، سه و چهار روز یک‌بار به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار برای سه گونه علف‌هرز مورد مطالعه قرار گرفت. برای بیان روند تغییرات سبزشدن از مدل زمان آبی-گرمایی استفاده شد. مگاپاسکال-درجه سانتی‌گراد-روز مورد نیاز برای سبز شدن گونه‌ها با دما و پتانسیل پایه به‌دست آمده توسط مدل زمان آبی-گرمایی و رطوبت و دمای روزانه خاک محاسبه شد. درصد سبز شدن تجمعی در مقابل زمان آبی-گرمایی رسم و مدل سیگموئیدی سه پارامتری برآن برازش داده شد. سپس حداکثر درصد سبز شدن و مقدار مگاپاسکال- درجه سانتی‌گراد روز مورد نیاز برای ۵۰ درصد سبز شدن بذور برآورد گردید. نتایج نشان داد بیشترین و کمترین درصد سبز شدن سه گونه علف‌هرز به ترتیب در رژیم آبیاری دو روز یک‌بار در ماه مرداد و رژیم آبیاری چهار روز یک‌بار در ماه خرداد رخ داد. سبز شدن گیاهچه سه گونه علف‌هرز در ماه مرداد نسبت به ماه‌های خرداد و تیر سریع‌تر و بیشتر بود. زمان آبی-گرمایی مورد نیاز برای سبز شدن سه گونه متفاوت بود. تاتوره کمترین و تاج‌ریزی‌سیاه بیشترین زمان آبی-گرمایی را برای ۵۰ درصد سبز شدن گیاهچه نیاز داشتند. دمای بهینه سبزشدن تاج‌خروس‌ریشه قرمز، تاج‌ریزی‌سیاه و تاتوره به‌ترتیب ۳۵-۳۰، ۳۰-۲۷، ۳۴-۲۹ درجه سانتی‌گراد به‌دست آمد. سبز شدن گیاهچه سه گونه علف‌هرز در ماه مرداد و بیشترین و کمترین درصد سبز شدن سه گونه علف‌هرز به‌ترتیب در رژیم آبیاری دو روز یک‌بار در ماه مرداد و رژیم آبیاری چهار روز یک‌بار در ماه خرداد بود.

واژه‌های کلیدی: پتانسیل آب، دمای خاک، رطوبت خاک، علف‌هرز، مدل سیگموئیدی سه پارامتری

مقدمه

امروزه برای رسیدن به کشاورزی پاک و ارگانیک تلاش‌های فراوانی انجام می‌گیرد. به‌ویژه افزایش مشکلات زیست‌محیطی ناشی از مصرف بی‌رویه سموم کشاورزی و گسترش پدیده مقاومت علف‌های‌هرز به علف‌کش‌ها، مدیریت این گیاهان هرز را با چالش‌های جدی مواجه کرده است. بهترین راهکار به‌کارگیری روش‌های مدیریت تلفیقی علف‌های‌هرز می‌باشد. کسب اطلاعات همه جانبه درباره شرایط محیطی مناسب برای جوانه‌زنی بذر و سبزشدن گیاهچه علف‌های‌هرز در مزرعه، برای

*نویسنده مسئول: stokasi@yahoo.com

برنامه‌ریزی‌های مدیریت تلفیقی علف‌های هرز بسیار ضروری می‌باشند (Pahlevani et al., 2008; Wang et al., 2005). سبزشدن گیاهچه از مراحل بسیار مهم فنولوژی خصوصاً در گیاهان یکساله‌ها می‌باشد (Wang et al., 2009; Benech-Arnold et al., 2000) که عوامل محیطی مختلفی از جمله دما و رطوبت خاک (Schutt et al., 2008; Ward et al., 2006; Blackshaw et al., 2002) بر آن تأثیرگذارند. تعیین زمان نسبی سبزشدن علف‌های‌هرز به عنوان یک مؤلفه اصلی در رقابت اهمیت زیادی دارد (Ebrahimi et al., 2011)، چرا که اولین مرحله برای شروع رقابت علف‌هرز در آن آشیان اکولوژیک می‌باشد، لذا درک کامل از آن در مدیریت علف‌های‌هرز بسیار کاربردی و ضروری می‌باشد (Forcella et al., 2000). به تأخیر افتادن زمان سبزشدن گیاهان هرز در پوشش‌های گیاهی شرایط رشد را برای گیاهان زراعی که زودتر سبز شوند فراهم می‌کند (Rashed Mohassel et al., 2006). نتاج یک بررسی نشان داد که سبزشدن هم‌زمان تاج‌خروس با تراکم ۵ بوته در مترمربع عملکرد ذرت را ۵۰ درصد کاهش داد. درحالی‌که همین تراکم تاج‌خروس، اگر با ۸ هفته تأخیر سبز شوند بر روی عملکرد دانه ذرت اثر منفی معنی‌داری در مقایسه با شاهد نخواهد گذاشت (Hartley and Popay, 1992). در مطالعه دیگری ثابت شد که تأثیر زمان سبز شدن علف‌هرز تاج‌خروس‌ریشه‌قرمز از تراکم آن مهم‌تر بوده و شدت رقابت غالباً به زمان سبز شدن بستگی دارد (Knezevic et al., 1997). Keshtkar و همکاران (۲۰۰۹) نیز در مقایسه ویژگی‌های سبزشدن و رشد گیاهچه جودره و گندم بیان کردند که گندم در دمای ۲۵-۲۰ درجه سانتی‌گراد نسبت به جودره برتری دارد و از آن به‌عنوان یک ابزار در برنامه‌ریزی برای مدیریت این علف‌هرز در این محصول یاد کردند.

مدل‌سازی سبز شدن گیاهچه در علف‌های‌هرز در ابتدا بسیار جنبه تجربی داشت و در آن رابطه بین افزایش حرارت و تعداد یا درصد گیاهچه‌های سبز شده با یک رابطه رگرسیونی توصیف می‌شد (Forcella and Harvey,1993)، اما در سال‌های اخیر با کاربرد مدل‌های "هیدروترمال" که از دو متغیر دما و رطوبت خاک برای پیش‌بینی جوانه زنی و سبز شدن استفاده می‌شود بسیار پرکاربرد می‌باشد (Bradford, 2002; Schutte et al., 2008).

این آزمایش با هدف مدل‌سازی پیش‌بینی زمان ظهور و سبزشدن سه گونه علف‌هرز بسیار مهم و شایع تاج‌خروس ریشه قرمز، تاج‌ریزی‌سیاه و تاتوره که در زراعت‌های تابستانه رقبای سرسختی در برابر گیاهان زراعی می‌باشند، در شرایط مزرعه با استفاده از دما و رطوبت خاک طراحی و اجراء شد.

مواد و روش‌ها

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار در سه تاریخ کاشت (جهت ایجاد دماهای مختلف خاک) و ۳ رژیم آبیاری (جهت ایجاد پتانسیل‌های مختلف آب) در بهار و تابستان با سه گونه علف‌هرز تابستانه تاتوره (*Datura stramonium*)، تاج‌ریزی‌سیاه (*Solanum nigrum*) و تاج‌خروس‌ریشه قرمز (*Amaranthus retroflexus*) در مزرعه تحقیقاتی علف‌های هرز در محوطه پردیس دانشگاه فردوسی مشهد به اجراء در آمد. در اواخر فصل بهار پس از آن‌که خاک مزرعه با گاوآهن برگردان‌دار شخم زده شد با شن‌کش هموار گردید. اولین تاریخ کاشت در اول خردادماه در کرت‌هایی به مساحت ۱ مترمربع (که ۰/۵ متر از اطراف با کرت‌های مجاور فاصله داشت) در ۳ ردیف و به تعداد ۱۰۰ بذر در عمق ۰/۵ تا ۱ سانتی‌متری خاک انجام گرفت. تاریخ‌های کاشت دوم و سوم نیز

به همین صورت به فاصله زمانی ۳۰ روز بعد از تاریخ کشت قبلی خود انجام شد. رژیم‌های آبیاری شامل انجام آبیاری دو روز یک‌بار (رژیم آبیاری ۱)، سه روز یک‌بار (رژیم آبیاری ۲) و چهار روز یک‌بار (رژیم آبیاری ۳) بودند. آبیاری توسط سیستم آبیاری تحت فشار، با کنتور و حجم معین آب برای هر رژیم انجام شد. دیده‌بانی از مزرعه به صورت روزانه انجام می‌گرفت و گیاهچه‌های قابل مشاهده در سطح خاک شمارش و حذف می‌شدند و شمارش به‌مدت ۳۰ روز انجام شد.

در طول آزمایش، دما و پتانسیل رطوبت خاک در هر ۳ کرت از هر رژیم آبیاری در طول آزمایش به صورت تصادفی توسط دستگاه Water Potential Meter و TDR (Time Domain Reflectometer) روزانه اندازه‌گیری شد.

برای محاسبه زمان آبی-گرمایی از معادله ۱ (مدل "هیدروترمال" برای پیش‌بینی سبز شدن گیاهچه) استفاده شد:

$$\begin{gathered}\theta_H = \Psi - \Psi_b \\ \theta_T = T - T_b \\ if\ \Psi > \Psi_b\ then\ \theta_H = 1 \\ else\ \theta_H = 0 \\ \theta_{HT} = \sum \theta_T \times \theta_H\end{gathered} \qquad (۱)$$

در رابطه بالا θ_T = زمان گرمایی، θ_H= زمان آبی، T= میانگین دمای روزانه خاک (یا هوا)، T_b = دمای پایه سبز شدن، Ψ = میانگین روزانه پتانسیل آب در خاک، Ψ_b = پتانسیل پایه سبز شدن، θ_{HT} =زمان آبی-گرمایی می‌باشند. در این مدل تجمع درجه حرارت تنها هنگامی انجام می‌پذیرد که پتانسیل خاک بیشتر از پتانسیل پایه سبز شدن گیاه باشد. این مدل‌ها فرآیند جوانه‌زنی را از سبز شدن جدا نمی‌کنند و رابطه زمان گرمایی و رطوبتی با درصد سبز شدن را با یک مدل رگرسیونی که معمولاً تابع سیگموئیدی (معادله ۲) است توصیف می‌کنند:

$$Y = \frac{a}{1+\exp(\frac{-(T-X0)}{b})} \qquad (۲)$$

در مدل بالا، Y= درصد سبز شدن تجمعی، a=درصد سبز شدن بیشینه (که به ۱۰۰٪ نرمال می‌شود، چون این مدل‌ها درصد سبز شدن را بر پایه سبز شدن کل بیان می‌کنند)، T=زمان آبی-گرمایی، X0= زمان آبی-گرمایی تا سبز شدن ۵۰ درصد بذور و b= ظریب ثابت معادله می‌باشند.

برای محاسبه متوسط زمان سبز شدن از معادله ۳ استفاده شد. آنالیز آماری با نرم‌افزار SAS 9.2 و مقایسه میانگین تیمارها با آزمون LSD در سطح ۵ درصد صورت گرفت و برازش‌های معادله ۲ بر داده‌ها با نرم‌افزار Sigmaplot 11.0 انجام شد.

$$MET = \frac{\sum T_i N_i}{\sum N_i} \qquad (۳)$$

Ti: شماره روزی که شمارش انجام شده است،

Ni: تعداد بذر سبزشده در روز i

مقدار مگاپاسکال- درجه سانتی‌گراد- روز مورد نیاز برای سبز شدن سه گونه در طول فصل کاشت بر اساس دماهای پایه و همچنین پتانسیل پایه که توسط این مدل در آزمایشگاه به‌دست آمده بود و همچنین با استفاده از رطوبت و دمای روزانه خاک محاسبه و سپس درصد سبزشدن تجمعی در مقابل زمان آبی-گرمایی رسم شد و مدل سیگموئیدی سه پارامتری برآن برازش داده شد (Ghanbari, 2005) تا بتوان حداکثر درصد سبز شدن و همچنین مقدار مگاپاسکال- درجه سانتی‌گراد روز مورد نیاز برای ۵۰ درصد سبز شدن بذور برآورد گردد.

نتایج

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تاریخ کاشت بر درصد و متوسط زمان سبز شدن گیاهچه سه گونه علف‌هرز تاج‌خروس‌ریشه قرمز، تاج‌ریزی‌سیاه و تاتوره معنی‌دار بود. رژیم آبیاری نیز بر دو صفت مذکور در هر سه گونه علف‌هرز اثر معنی‌دار داشت.

اثر متقابل تاریخ کاشت و رژیم آبیاری بر درصد سبز شدن گیاهچه گونه تاجریزی‌سیاه معنی‌دار و در دو گونه دیگر اثر معنی‌دار نداشت. اثر متقابل تاریخ کاشت و رژیم آبیاری بر متوسط زمان سبز شدن هر سه گونه علف‌هرز معنی‌دار بود (جدول ۱).

جدول ۱: تجزیه واریانس داده‌های درصد سبز شدن (E) و متوسط زمان سبز شدن (MET) سه گونه علف‌هرز (اعداد میانگین مربعات می‌باشند).

منابع تغییر		تاج خروس		تاجریزی		تاتوره	
	درجه آزادی	E (%)	MET (روز)	E (%)	MET (روز)	E (%)	MET (روز)
بلوک	۲	۳۲٤	۰/٥٤	٤۱۰	۲/۷	۲۷۳	۰/۸۱
تاریخ کاشت (A)	۲	۹۷۱**	٤/۷**	۷٤۱**	٤/۲**	٤٥٥*	٥/۸**
رژیم آبیاری (B)	۲	۲۷۷۳**	۱٥۸**	۱۳۸۲**	۱۰٦**	٤۷٦۹**	۷٦/٤**
اثر متقابل A*B	٤	٤۹ns	٤/۷**	۳۱**	٥/۳**	۱۰۰ns	۱/۷**
خطا	۱٦	۸۷	۰/۸۸	۸٦	۰/٥۷	۱۱۷	۰/۳٤

**معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد، * معنی‌داری درصد احتمال ۵ درصد و ns عدم معنی‌داری

برای مقایسه اثر متقابل تاریخ کاشت و رژیم آبیاری از روش برش‌دهی استفاده شد (Akram Ghaderi et al., 2008)، به این گونه که مقایسه رژیم‌های آبیاری در هر تاریخ کاشت به صورت جداگانه انجام شد (جدول۲).

جدول ۲: مقایسه میانگین اثر متقابل تاریخ کاشت و رژیم آبیاری (به روش برش‌دهی) بر درصد سبز شدن (E) و متوسط زمان سبز شدن (MET) سه گونه علف‌هرز.

تاریخ کاشت	رژیم آبیاری	تاج خروس		تاجریزی		تاتوره	
		E (%)	MET (روز)	E (%)	MET(روز)	E (%)	MET(روز)
اول خردادماه	۱	٦٥/۳$	۱۰/٦ c*	۳۹/۰ a	۱۱/۹ b	۷۰/۳	۱۲/۱ c
	۲	٤۸	۱۲/۳ b	۳۰/۳ ab	۱٦/۰ a	۳۰/۳	۱٦/۷ b
	۳	۲۹/۷	۱٦/۳ a	۲۰/۷ bc	۱٦/۲ a	۲۱/٦	۱۸/۷ a
اول تیرماه	۱	۷۱/۳	۸/٥ c	٥٤/۳ a	۱۲/٥ c	۷۱/٦	۱۳/۷ c
	۲	٦۰/۷	۱۱/٤ b	٤٤/۳ a	۱٦/۲ b	٤۲/٦	۱٦/۸ b
	۳	٤۳	۱۷/٤ a	۲۸/۷ b	۱۸/۹ a	۳۰/۳	۲۰/۱ a
اول مردادماه	۱	۹۰/۷	۸/۸ c	٦۰/۷ a	۱۰/۷ c	۸۱/۳	۱٥/۱ c
	۲	٦٥/۳	۱۳/۷ b	٥۱/۳ a	۱۷/۰ b	۳۸/۳	۱۷/۷ b
	۳	٤۹/۳	۱۹/۲ a	۳۱/۰ b	۲۰/۰ a	٤٥/۳	۱۹/٥ a

*در هر تاریخ کاشت و هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک با یکدیگر تفاوت معنی‌داری ندارند.

$ اثرمتقابل معنی‌دار نبود.

رژیم آبیاری ۱، ۲ و ۳ به‌ترتیب ۲ روز یک‌بار، ۳ روز یک‌بار و ٤ روز یک‌بار آبیاری است.

مقایسه میانگین اثر متقابل تاریخ کاشت و رژیم آبیاری بر متوسط زمان سبز شدن گیاهچه تاج‌خروس ریشه قرمز نشان داد که در هر سه تاریخ کاشت با افزایش فاصله دور آبیاری، متوسط زمان سبزشدن افزایش یافت، به‌طوری‌که کوتاه‌ترین زمان متوسط برای سبز شدن گیاهچه در رژیم آبیاری دو روز

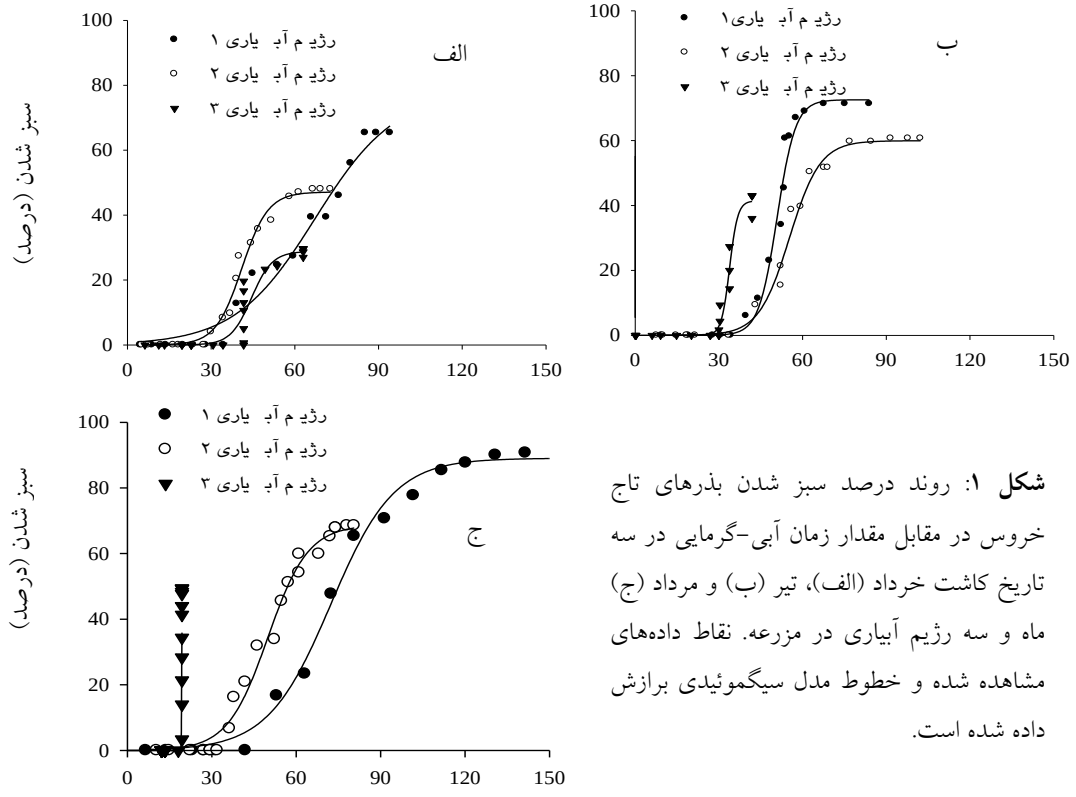
یک‌بار و طولانی‌ترین آن در رژیم آبیاری چهار روز یک‌بار مشاهده شد. سه رژیم آبیاری نیز در هر تاریخ کاشت با هم اختلاف معنی‌دار داشتند. نتایج سبز شدن بذور تاج‌خروس ریشه قرمز نشان داد که در ماه مرداد در رژیم آبیاری ٤ روز یک‌بار، متوسط زمان سبز شدن ۱۹/۲ روز و در تیرماه با رژیم آبیاری دو روز یک‌بار این صفت ۸/۵ روز بود که در واقع طولانی‌ترین و کوتاهترین زمان متوسط برای سبز شدن گیاهچه بودند. در بررسی اثر تاریخ کاشت بر درصد سبز شدن گونه تاج‌خروس‌ریشه‌قرمز مشاهده شد که بیشترین و کمترین درصد سبز شدن گیاهچه به‌ترتیب در ماه‌های مرداد و خرداد رخ داد. همچنین در بررسی اثر رژیم آبیاری بر درصد سبز شدن این گونه مشاهده شد که بیشترین و کمترین درصد سبز شدن گیاهچه به‌ترتیب در رژیم‌های آبیاری اول و سوم رخ داد (داده‌ها نمایش داده نشده‌اند). درصد سبز شدن گیاهچه گونه تاج‌خروس ریشه‌قرمز در مزرعه، در ماه مرداد به‌ترتیب ۱۲/۵ و ۱۸/۵ درصد بیشتر از ماه‌های خرداد و تیر بود. درصد سبز شدن در رژیم سوم آبیاری نسبت به رژیم اول در خرداد ٦۳ درصد کاهش یافت درحالی‌که این کاهش در ماه مرداد ۵۵ درصد بود.

مقایسه میانگین اثر متقابل تاریخ کاشت و رژیم آبیاری بر متوسط زمان سبز شدن گونه تاج‌ریزی‌سیاه نشان داد که در ماه‌های تیر و مرداد با افزایش دور آبیاری متوسط زمان سبز شدن گیاهچه گونه تاج‌ریزی‌سیاه به‌طور معنی‌داری افزایش یافت اما در خرداد ماه بین رژیم آبیاری دوم و سوم اختلاف آماری مشاهده نشد، ولی این دو رژیم آبیاری با رژیم اول آبیاری اختلاف معنی‌داری داشتند. طولانی‌ترین و کوتاه‌ترین متوسط زمان سبز شدن در گونه تاج‌ریزی‌سیاه در مرداد ماه و به‌ترتیب در رژیم‌های آبیاری چهار روز یک‌بار و رژیم آبیاری دو روز یک‌بار مشاهده شد که به‌ترتیب ۲۰/۰ و ۱۰/۷ روز بودند (جدول۲). همچنین این گونه در ماه مرداد با رژیم آبیاری یک روز در میان بیشترین درصد سبز شدن گیاهچه (٦۰/۷ درصد) و در ماه خرداد با دور آبیاری ٤ روز یک‌بار کمترین درصد سبز شدن گیاهچه (۲۰/۷ درصد) را داشت (جدول ۲). دورهای آبیاری اعمال شده در خرداد ماه بر درصد سبز شدن این گونه تأثیر چندانی نداشت، به‌طوری‌که رژیم‌های اول با دوم و دوم با سوم تفاوت معنی‌داری نداشتند. تنها رژیم آبیاری اول و سوم با هم دارای اختلاف آماری بودند. در دو تاریخ کاشت دیگر نیز رژیم آبیاری اول و دوم با هم تفاوت آماری نداشتند اما اختلاف رژیم سوم با بقیه معنی‌دار بود (جدول ۲). گونه تاج‌ریزی‌سیاه در ماه‌های خرداد و تیر به‌ترتیب ۳۲ و ۱۳ درصد کمتر از ماه مرداد سبز شدند. رژیم سوم آبیاری نسبت به رژیم اول در ماه‌های خرداد، تیر و مرداد به ترتیب موجب کاهش ۵۱، ٤٤ و ۵۹ درصدی سبز شدن شد (جدول ۲). متوسط زمان سبز شدن و درصد سبز شدن گونه تاج‌ریزی‌سیاه نیز بیانگر ظهور بهتر این گونه در ماه مرداد می‌باشد.

در گونه تاتوره طولانی‌ترین و کوتاه‌ترین متوسط زمان سبزشدن به‌ترتیب در تیرماه و رژیم آبیاری چهار روز یک‌بار و خرداد ماه در رژیم آبیاری دو روز یک‌بار مشاهده شد که به ترتیب ۲۰/۱ و ۱۲/۱ روز بودند (جدول ۲). اختلاف معنی‌دار درصد سبز شدن گیاهچه در گونه تاتوره در تاریخ‌های کاشت مورد مطالعه مشاهده شد، بیشترین و کمترین درصد سبز شدن به‌ترتیب در ماه‌های مرداد و خرداد رخ داد. همچنین اختلاف معنی‌دار درصد سبز شدن گیاهچه در این گونه در رژیم‌های آبیاری مورد مطالعه مشاهده شد و بیشترین و کمترین درصد سبز شدن به‌ترتیب در رژیم‌های آبیاری اول و سوم بود. درصد سبز شدن این گونه تحت تأثیر اثر متقابل تاریخ کاشت و رژیم آبیاری قرار نگرفت (جدول۱). گونه تاتوره نیز همانند دو گونه تابستانه دیگر در ماه مرداد بیشترین درصد سبز شدن را داشت. این علف‌هرز در ماه‌های خرداد و

تیر به‌ترتیب ۹ و ۱۷ درصد کاهش سبز شدن داشت. کاهش درصد سبز شدن با کاهش رطوبت در ماه‌های خرداد، تیر و مرداد به‌ترتیب ۷۱، ۵۲ و ٤٠ درصد بود. گونه تاتوره برخلاف دو گونه دیگر در ماه مرداد متوسط زمان بیشتری نسبت به دو تاریخ کاشت دیگر داشت که این تأخیر بیشتر در شروع سبز شدن بود (جدول ۲).

منحنی تغییرات درصد سبز شدن گیاهچه گونه تاج‌خروس‌ریشه‌قرمز در تاریخ‌های کاشت و همچنین رژیم‌های آبیاری در شکل۱ نشان داده شده است. ضرایب مدل برازش داده شده بر آنها در جدول ۳ آورده شده است. این مدل حداکثر درصد سبز شدن برای این گونه را در خرداد ۷۷/۹ درصد، تیر ۷۲/۵ درصد و مرداد ۸۹ درصد در رژیم آبیاری یک روز درمیان برآورد کرد. برآورد مدل نشان داد که در هر سه تاریخ کاشت با طولانی‌تر شدن دور آبیاری درصد سبز شدن کاهش یافت (شکل ۱).



شکل ۱: روند درصد سبز شدن بذرهای تاج خروس در مقابل مقدار زمان آبی-گرمایی در سه تاریخ کاشت خرداد (الف)، تیر (ب) و مرداد (ج) ماه و سه رژیم آبیاری در مزرعه. نقاط داده‌های مشاهده شده و خطوط مدل سیگموئیدی برازش داده شده است.

منحنی تغییرات درصد سبز شدن گیاهچه گونه تاج‌ریزی‌سیاه در تاریخ‌های کاشت و همچنین رژیم‌های آبیاری در شکل ۲ نشان داده شده است. مدل برازش داده شده بر داده‌ها نشان داد که در این گونه افزایش دور آبیاری درصد سبز شدن گیاهچه را در همه تاریخ کاشت‌ها کاهش می‌دهد. رژیم اول و دوم آبیاری در تاریخ کاشت مرداد ماه به‌ترتیب با ٦٠/٥ و ٥٢/٤ درصد بیشترین سبز شدن گیاهچه را نسبت به ماه‌های تیر (٥٢/٤ و ٤٤/٥ درصد) و خرداد (٤٠/٧ و ٢٩/٦ درصد) داشتند. در رژیم سوم آبیاری، تاریخ کاشت تیر ماه دارای بیشترین درصد سبز شدن (۲۸/۹ درصد) بود.

این مدل درصد سبز شدن بذور تاتوره با ۸۱/۸ درصد سبز شدن را در رژیم اول آبیاری مرداد ماه،

بیشترین مقدار سبز شدن را نسبت به تاریخ کاشت‌های و رژیم‌های آبیاری دیگر برآورد کرد. در ماه‌های خرداد و تیر با افزایش دور آبیاری درصد سبز شدن برآورد شده کاهش یافت اما در مرداد ماه درصد سبز شدن در رژیم دوم آبیاری کمتر از رژیم سوم بود (جدول ۳).

جدول ۳: ضرایب مدل سیگموئیدی برازش داده شده بر درصد سبز شدن بذرهای سه گونه علف هرز در مقابل زمان آبی-گرمایی در سه رژیم آبیاری و سه تاریخ کاشت در مزرعه

تاریخ کاشت	ضرایب مدل	تاج خروس			تاجریزی			تاتوره		
		رژیم آبیاری (Irrigation)								
		۱	۲	۳	۱	۲	۳	۱	۲	۳
اول خردادماه	A	۷۷/۹	٤۷/۱	۲۸/۸	٤۰/۷	۲۹/٦	۱۹/۹	۷٤/۲	۳۰/۲	۲۱/۰
	B	۱٤/٤	٤/۷	۳/۷	۱٦/٥	۱۰/٦	۰/۷۳	٥/۱	۳/۳	۲/۱
	X_0	٦۷/۳	٤۱/۰	٤٤/٤	۹۱/٥	۸۰/٤	٦٤/٤	۳٤/۷	۲٦/۳	۳۰/٤
	R^2	۰/۹۷	۰/۹۹	۰/۸۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۷	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۷
اول تیرماه	A	۷۲/٥	٥۹/۹	٤۱/٤	٥۲/٤	٤٤/٥	۲۸/۹	٦۷/۹	٤۲/۷	۳۲/۷
	B	۳/۳	٥/٥	۱/٥	۹/٤	۱۱/۳	٤/٦	٤/۰	٥/۱	۳/۱
	X_0	٥۰/۸	٥٥/۳	۳۳/۸	۸٦/۲	۱۱۰/۱	٦٥/٦	۳۸/٦	٤٦/٦	۳۰/۰
	R^2	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹٦
اول مردادماه	A	۸۹/۰	٦۸/۷	۳۹/۹	٦۰/٥	٥۲/٤	۲٤/۷	۸۱/۸	٤۱/٤	٤۸/٥
	B	۱۱/۲	۷/٦	۰/۰٦	۱۱/۹	۹/٥	۰/۱۷	۱۰/۳	٤/٦	۰/۳
	X_0	۷۲/۳	٤۹/۹	۱۹/۳	۱۱٦/۲	۱۰۰/۱	۳۳/۹	۸۲/۳	٤۳/۰	۱۳/٤
	R^2	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۷٦	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/٦۷	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۷۸

A: حداکثر جوانه زنی، B: ضریب ثابت مدل و$X0$: زمان آبی-گرمایی مورد نیاز برای ۵۰٪ سبز شدن، R^2 ضریب تبیین
رژیم آبیاری ۱، ۲ و ۳ به‌ترتیب ۲ روز یک‌بار، ۳ روز یک‌بار و ٤ روز یک‌بار

زمان آبی-گرمایی مورد نیاز برای سبز شدن گونه‌های مورد مطالعه متفاوت بود. تاتوره کمترین و تاج‌ریزی‌سیاه بیشترین زمان آبی گرمایی را برای ۵۰ درصد سبز شدن بذور داشتند. مقدار مگاپاسکال-درجه سانتی‌گراد- روز مورد نیاز برای سبز شدن ۵۰ درصد بذور در رژیم‌های مختلف و تاریخ‌های کاشت مختلف متفاوت بود و از یک روند مشخصی پیروی نمی‌کرد (شکل ۱). مقدار مگاپاسکال- درجه سانتی‌گراد- روز مورد نیاز برای سبز کردن ۵۰ درصد بذور تاج‌خروس‌ریشه‌قرمز در ماه‌های خرداد، تیر و مرداد در رژیم آبیاری اول به‌ترتیب ٦۷/۳، ۵۰/۸ و ۷۲/۳، در رژیم آبیاری دوم به‌ترتیب به ٤۱، ۵۵/۳، ٤۹/۹ و در رژیم آبیاری سوم به‌ترتیب ٤٤/٤، ۳۳/۸، ۱۹/۳ مگاپاسکال- درجه سانتی‌گراد - روز بدست آمد (جدول ۳).

روند تغییرات زمان آبی-گرمایی برای سبز شدن گیاهچه گونه تاج‌ریزی‌سیاه در ماه‌های خرداد و مرداد روند ثابتی داشت و با افزایش دور آبیاری مقدار زمان آبی-گرمایی مورد نیاز کاهش یافت اما در تیر ماه مقدار زمان آبی-گرمایی رژیم دوم آبیاری از رژیم اول و سوم بیشتر بود، به‌طوری‌که در این رژیم نیاز به ۱۱۰/۱ مگاپاسکال- سانتی‌گراد- روز بود تا ۵۰ درصد بذور سبز شوند. درحالی‌که برای رژیم اول و سوم به‌ترتیب به ۸٦/۲ و ٦٥/٦ مگاپاسکال- سانتی‌گراد - روز نیاز بود.

مدل سیگموئیدی مورد استفاده زمان آبی-گرمایی مورد نیاز برای سبز شدن ۵۰ درصد بذور تاتوره را در ماه‌های خرداد، تیر و مرداد برای رژیم‌های اول تا سوم آبیاری به‌ترتیب ۳٤/۷، ۲٦/۳، ۳۰/٤ و ۳۸/٦، ٤٦/٦، ۳۰ و ۸۲/۳، ٤۳، ۱۳/٤ مگاپاسکال- سانتی‌گراد - روز

برآورد کرد. همچنین این مدل دمای بهینه سبز شدن تاج‌خروس‌ریشه‌قرمز، تاج‌ریزی‌سیاه و تاتوره را به‌ترتیب ۳۵-۳۰، ۳۰-۲۷، ۳٤-۲۹ درجه سانتی‌گراد برآورد کرد.

بحث

سبز شدن گیاهچه شامل چندین فرآیند بیولوژیک می‌باشد که شامل جوانه‌زنی، طویل‌شدن ریشه‌چه و ساقه‌چه است که هر یک از این فرآیندها به شرایط محیطی متفاوتی نیاز دارند (Fyfield and Gregory, 1989). Roman و همکاران (۲۰۰۰) گزارش کردند که دمای پایه جوانه‌زنی سلمه‌تره از دمای پایه طویل شدن گیاهچه آن کمتر می‌باشد. بین سرعت توسعه گیاهچه و دما یا پتانسیل آبی رابطه خطی وجود دارد که می‌تواند طول زمان بعد از جوانه‌زنی را تغییر دهد (Finch-Savage et al., 2001). عوامل دیگری از جمله اثر شرایط بستر بذر در طویل شدن گیاهچه، زوال بذر و مرگ و میر گیاهچه نیز در سبزشدن گیاهچه تأثیرگذار می‌باشند (Wang, 2005).

تفاوت‌های اقلیمی و توپوگرافی مانند ارتفاع، رطوبت، نوع خاک و روند تغییرات دما در طول فصل بین مناطق مختلف، عوامل اصلی در تفاوت الگوی رویش بین جمعیت‌های مختلف یک گونه بیان شده‌اند (Bench Arnold et al., 2000). بر پایه این تحلیل‌ها می‌توان اختلاف دماهای کاردینال گونه‌های مورد بررسی را با نتایج Keeley و Thullen (۱۹۹۳) توجیه نمود که دمای پایه سبزشدن بذور تاج‌ریزی‌سیاه را بین ۲۰-۱۷ درجه سانتی‌گراد گزارش کردند. همچنین Ghorbani و همکاران (۱۹۹۹) دماهای کمینه و مطلوب را برای سبزشدن گونه تاج‌خروس‌ریشه قرمز به‌ترتیب بیشتر از ۵ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد بیان داشتند.

با شناخت عوامل تأثیرگذار بر الگوی سبزشدن گیاهچه علف‌های‌هرز، می‌توان بستر بذر گیاه زراعی را در زمانی و به نحوی آماده نمود که کمترین سبز شدن علف‌هرز در مزرعه رخ دهد. با توجه به نتایج درصد و متوسط زمان سبز شدن در این مطالعه نشان داده شد که سبز شدن این سه گونه تابستانه در ماه مرداد نسبت به ماه‌های خرداد و تیر و در رژیم آبیاری دو روز یک‌بار یا در واقع میزان دسترسی آب بیشتر سریع‌تر و بیشتر می‌باشد. Bosh و همکاران (۲۰۱۳) نیز گزارش کردند که رویش گیاهچه‌های تاج‌خروس ریشه‌قرمز در سطوح آبیاری ۸۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبیاری محصول، دارای یک نقطه اوج زودهنگام رویش و به‌دنبال آن سرعت پایین رویش در اواخر فصل بودند، در واقع دلیل تفاوت ظهور گیاهچه تحت‌تأثیر تفاوت دمای اول و آخر فصل بیان کردند. با دانستن این امر می‌توان بیان کرد که با اعمال تنش‌های آبی در مرحله رشد فعال جوانه‌زنی و سبزشدن علف‌های هرز مانع از رسیدن رطوبت کافی از محیط خاک به بذر علف‌هرز شد و باعث ایجاد اثرات منفی بر رشد و فتوسنتز علف‌هرز و در نتیجه کاهش توان رقابتی آنها در برابر گیاه زراعی گشت. همچنین زمان سبز شدن علف‌های‌هرز برای تعیین زمان کاربرد علف‌کش‌ها ضروری می‌باشد که این موضوع کمک بزرگی در جلوگیری و یا به حداقل رساندن اثر رقابتی علف‌های‌هرز بر عملکرد محصول خواهد داشت (Yousefi et al., 2013).

بررسی زمان آبی-گرمایی مورد نیاز برای سبز شدن گونه‌ها نشان داد که در مرداد ماه و رژیم آبیاری سوم با توجه به این‌که پتانسیل آب خاک که توسط تجهیزات مربوطه ثبت شده در اکثر روزها بیشتر از پتانسیل پایه گونه‌های تاج‌خروس‌ریشه قرمز، تاج‌ریزی‌سیاه و تاتوره بود، بر اساس ماهیت مدل، زمان آبی-گرمایی برای سبز شدن در این روزها صفر بود و در واقع بذور نباید هیچ فعالیت جوانه‌زنی و سبز شدن داشته باشند، اما در واقعیت مشاهده شد که سبز شدن در این روزها انجام شده است که بیانگر

ضعف مدل در پیش‌بینی در این دما و رطوبت می‌باشد. چند دلیل ممکن است در این امر دخیل باشد، ممکن است به‌دلیل خشک شدن سطح خاک و ایجاد ترک در آن (با توجه به بافت خاک)، تماس خاک با سنسورهای ثبت دما و رطوبت کم شده و داده‌ها ثبت شده کمی بیشتر از داده‌های واقعی دما و رطوبت باشد (Wang, 2005). دوم اینکه دما و رطوبت به‌صورت میانگین روزانه در مدل استفاده شد که اگر از داده‌های ساعتی استفاده شود بهتر باشد. زیرا در برخی موارد که میانگین روزانه رطوبت کمتر از پتانسیل پایه است ممکن است چندین ساعت از روز پتانسیل بیشتر شود و در آن ساعات سبز شدن انجام شده اما میانگین روزانه این را نشان نمی‌دهد. دلیل آخر اینکه برخی منابع در استفاده از این مدل بیان کرده‌اند که فقط در یک محدود دمایی و رطوبتی پیش‌بینی مناسبی از سبز شدن را دارد (Wang, 2005; Finch-Savage et al., 1998). میانگین دمای روزانه خاک در ماه‌های خرداد و تیر در بیشتر روزها کمتر از دمای بهینه سه گونه تابستانه این بررسی بود اما در مرداد دمای خاک تقریباً در محدوده دمای بهینه برای این گونه‌ها بود. Rowse و Finch-Savage (۲۰۰۳) بیان کردند که دماهای بالاتر و پایین‌تر از دمای بهینه جوانه‌زنی بذور، سرعت جوانه‌زنی و سرعت رشد گیاهچه را کاهش می‌دهد و موجب تغییرات ظرایب مدل می‌شود که در واقع دما بر سرعت و درصد جوانه‌زنی با اثر بر زوال بذر و خود فراینده جوانه زنی تأثیر گذار می‌باشد (Roberts, 1988).

از میانگین دمای روزانه خاک در مدل زمان آبی-گرمایی برای پیش‌بینی سبزشدن گیاهچه مزرعه استفاده می‌شود (Forcella Hardegree et al., 1999; et al., 2000). نوسانات خیلی زیاد دما اثر منفی بر جوانه‌زنی دارند و ممکن است سبز شدن گیاهچه را کاهش دهند. زمانی که پتانسیل آب کمتر از پتانسیل پایه آبی باشد زمان گرمایی تجمعی صفر در نظر گرفته می‌شود (Finch-Savage and Phelps, 1993) که این ممکن است دلیلی بر بعضی نوسانات ناخواسته و پیش بینی نامناسب سبز شدن مدل آبی-گرمایی شود.

Wang (۲۰۰۵) بیان داشت درصد و زمان سبز شدن گیاهچه علف‌نقره‌ای بسته به شرایط بستر بذر، به‌خصوص دما و رطوبت خاک متغیر است و تاریخ کاشت برای استقرار این گونه بحرانی می‌باشد. وی همچنین بیان کرد مدل زمان آبی-گرمایی، زمانی که دمای خاک کم و رطوبت خاک مناسب باشد تخمین خوبی از سبز شدن علف نقره‌ای دارد و شرایط بستر کاشت مانند دمای بالا و رطوبت محدود دقت پیش بینی مدل را برای سبز شدن کاهش می‌دهد.

Rafael و همکاران (۲۰۰۱) نیز بیان کردند که کاهش عملکرد ناشی از سبز شدن همزمان علف‌هرز تاج‌خروس نسبت به سبز شدن دیرتر (در زمان ٤ برگی ذرت) این علف‌هرز دارای تفاوت معنی‌داری بود. لذا توصیه کردند که برای زمان‌بندی کنترل علف‌های‌هرز و کاربرد علف‌کش‌های پس‌رویشی، زمان سبزشدن علف‌هرز بایستی مدنظر قرار گیرد. در واقع می‌توان گفت که نتایج حاصل از این تحقیق و تحقیقات مشابه با پیش‌بینی زمان و الگوی سبز شدن علف‌های‌هرز در مزرعه، برای تعیین زمان کشت گیاهان‌زراعی خصوصاً گیاهانی که دارای فرصت بیشتری برای کشت می‌باشند برای به حداقل رساندن شرایط رقابت علف‌های‌هرز با گیاه زراعی، پیش‌بینی زمان مصرف علف‌کش یا سایر روش‌های کنترل لازم می‌باشند و برای به حداقل رساندن اثرات علف‌های هرز بر عملکرد و کیفیت محصول و همچنین کاهش مصرف علف‌کش‌های شیمیایی و جلوگیری از آلودگی محیط‌زیست و کاهش هزینه‌های تولید بسیار مفید می‌باشند.

نتیجه‌گیری نهایی

در این تحقیق دمای بهینه سبز شدن علف‌های‌هرز تاج‌خروس ریشه قرمز، تاج‌ریزی‌سیاه و تاتوره به‌ترتیب ۳۵-۳۰، ۳۰-۲۷، ۳٤-۲۹ درجه سانتی‌گراد به‌دست آمد. سبز شدن گیاهچه سه گونه علف‌هرز در ماه مرداد نسبت به ماه‌های خرداد و تیر سریع‌تر و بیشتر رخ داد. بیشترین و کمترین درصد سبز شدن سه گونه علف‌هرز به‌ترتیب در رژیم آبیاری دو روز یک‌بار در ماه مرداد و رژیم آبیاری چهار روز یک‌بار در ماه خرداد بود.

در پایان توصیه می‌شود که حتماً از مدل‌های آماری برای پیش‌بینی جوانه‌زنی و سبز شدن علف‌های‌هرز، اکوتیپ‌های مختلف علف‌های هرز اقلیم‌های مختلف، پراکنش علف‌های‌هرز در مناطق جدید و پیش‌بینی تهاجم گونه‌های جدید بهره گرفته شود. اثر عوامل محیطی مختلف مانند دما، رطوبت، عمق خاک، نوع سیستم‌های آبیاری و... بر جوانه‌زنی و سبز شدن این گونه‌ها مورد ارزیابی قرار گیرند و در پایان از این اطلاعات برای برنامه‌ریزی صحیح و اصولی مدیریت تلفیقی علف‌های‌هرز استفاده شود.

References

Akram Ghaderi, F., Soltani, A. and Sadeghipour, H.R. (2008). Effect of temperature and water potential on germination of medicinal pumpkin (*Cucurbita pepo.convar. pepo var. Styriaca*), black cumin (*Nigella sativa*) and borago (*Borago officinalis*). Journal of Agricultural Science Natural Resource. 15(5): 157-170. (In Persian with English abstract).

Benech-Arnold, R.L., Sanchez, R.A. Forcella, F., Kruk, B.C. and Ghersa, C.M. (2000). Environmental control of dormancy in weed seed banks in soil. Field Crops Research. 67: 105-122.

Blackshaw, R.E., Brandt, R.N. and Entz, T. (2002). Soil temperature and soil water effects on henbit emergence. Weed Science. 50: 494-497.

Bosh, Z., Yousefi, A., Tavakolli, A. and Nikbakht, J. (2013). Emergence prediction of *Amaranthus retroflexus* under different irrigation systems in sunflower (*Helianthus annuus*) production. Iranian Journal of Field Crop Science. 44 (1): 119-127.

Bradford, K.J. (2002). Applications of hydrothermal time to quantifying and modeling seed germination and dormancy. Weed Science. 50: 248-260.

Ebrahimi E., Eslami S.V., Jami Al-Ahmadi M. and Mahmodi S. (2011). Studying the effect of different environmental factors on germination of *Ceratocarpus arenarius*. Bluk seed. Iranian Journal of Weed Science. 7(1): 45-87. (In Persian with English abstract).

Finch-Savage, W. and Phelps, K. (1993). Onion (*Allium cepa*) seedling emergence patterns can be explained by the influence of soil temperature and water potential on seed germination. Journal of Experimental Botany. 44: 407-414.

Finch-Savage, W.E., Phelps K., Steckel, J.R.A., Whalley, W.R. and Rowse, H.R. (2001). Seed reserve-dependent growth responses to temperatuer and water potential in carrot (*Daucus carota*). Journal of Experimental Botany. 52: 2187-2197.

Finch-Savage, W.E., Steckel, J.R.A. and Phelps, K. (1998). Germination and post-germination growth to carrot seedling emergence: predictive threshold models and sources of variation between sowing occasions. New Phytologist Journal. 139: 505-516.

Forcella F., Benech-Arnold R.L., Sanchez R. and Ghersa C.M. (2000). Modeling seedling emergence. Field Crops Research. 67: 123-139.

Fyfield, T.P. and Gregory, P.J. (1989). Effects of temperature and water potential on germination, radicle elongation and emergence of mungbean. Journal of Experimental Botany. 40: 667-674.

Ghanbari, A. (2005). Agroecophysiology of Glycyrrhiza glabra L. PhD thesis. Ferdowsi university of Mashad.

Ghorbani, R., Seel, W. and Leiferr, C. (1999). Effects of environmental factors on germination and emergence of *Amaranthus retroflexus*. Weed Science. 47(5): 505-510.

Hardegree, S.P., Vactor, S.S.V. Pierson, F.B. and Palmquist, D.E. (1999). Predicting variable-temperature response of non-dormant seeds from constant-temperature germination data. Journal of Range Management. 52: 83-91.

Hartley, M.J. and Popay و A.J. (1992). Yield losses due to weeds in sugarbeet, corn and dwarf beans. Proceeding of the forty fifth Newzeland Plant Protection Conf., Wellington, Newzeland., PP:52-54.

Harvey, S.J. and Forcella, F. (1993). Vernal seedling emergence model for common lambsquarters (*Chenopodium album*). Weed Science. 41(2): 309-316.

Keeley, P.E. and Thullen, R.J. (1983). Influence of planting date on the growth of black nightshade (*Solanum nigrum*). Weed Science. 31(2): 180-184.

Keshtkar, E., Kordbacheh, F., Mesgaran, M.B., Mashhadi, H.R. and Alizadeh, H.M. (2009). Effects of the sowing depth and temperature on the seedling emergence and early growth of wild barley (*Hordeum spontaneum*) and wheat. Weed Biology and Management. 9(1): 10-19.

Knezevic, S.Z., Horak و M.J. and Vanderlip و R.L. (1997). Relative time of redroot pigweed *(Amaranthus retroflexus)* emergence is critical in pigweed-sorghum *(Sorghum bicolor)* competition. Weed Science. 45: 502-505.

Pahlevani, A., Rashed, M. and Ghorbani, R. (2008). Effects of environmental factors on germination and emergence of Swallowwort. Weed Technology. 22(2): 303-308.

Rafael. A.M., Randall, S.C., Michael, J.H. and John, B.J. (2001). Interference of palmer amaranth in corn. Weed Science. 49: 202-208.

Rashed Mohassel M.H., Rastgoo M., Mousavi S.K., Valiollahpour R.H. and Haghighi A.A. (2006). An introduction to weeds science. Trans. Ferdowsi University of Mashad Press, 536 pp. (in Persian).

Roberts, E.H. (1988). Temperature and seed germination. Pages 109- 132 In: Long SP, Woodward FI (eds.): Plant and Temperature, Symposia of Society of Experimental Biology. Cambridge: Company of Biologist Ltd.

Roman, E.S., Murphy, S.D. and Swanton, C.J. (2000). Simulation of *Chenopodium album* seedling emergence. Weed Science. 48(2): 217-278.

Rowse, H.R. and Finch-Savage, W.E. (2003). Hydrothermal threshold models can describe the germination response of carrot (*Daucus carota*) and onion (*Allium cepa*) seed populations across both sub- and supra-optimal temperatures. New Phytologist Journal. 158(1): 101-108.

Schutte, B.J., Regnier, E.E., Kent Harrison, S., Schmoll, J.T., Spokas, K. and Forcella, F. (2008). A hydrothermal seedling emergence model for giant Ragweed (*Ambrosia trifida*). Weed Science. 56(4): 555-560.

Wang, H., Cutforth, H., McCaig, T., McLeod, G., Brandt, K., Lemke, R., Goddard, T. and Sprout, C. (2009). Predicting the time to 50% seedling emergence in wheat using a Beta model. Wageningen Journal of Life Science. 57(1): 65-71.

Wang, R. 2005. Modeling seed germination and seedling emergence in Winterfat (*Krascheninnikovia lanata* (Pursh) A.D.J. Meeuse & Smit): physiological mechanisms and ecological relevance. Doctor of Philosophy. Saskatoon: University of Saskatchewan. 190 p.

Wang, R., Bai, Y. and Tanino, K. 2005. Germination of winterfat (*Eurotia lanata*) seeds at reduced water potentials: testing assumptions of hydrothermal time model. Environmental and Experimental Botany. 53(1): 49-63.

Ward, J.P., Smith, S.E. and McClaran, M.P. 2006. Water requirements for emergence of buffelgrass (*Pennisetum ciliare*). Weed Science. 54(4): 720-725.

Yousefi A.R., Rastgoo M., Ghanbari Motlagh M. and Ebrahimi M. (2013). Predicting seedling emergence of Flixweed (*Descurainia sophia*) and Hoary cress (*Cardaria draba*) in rapeseed (*Brassica napus*) field in Zanjan conditions. Journal of Plant Protection. 27(1): 48-54. (In Persian with English abstract)