علوم و تحقیقات بذر ایران
سال یازدهم/ شماره سوم/ ۱۴۰۳ (۱۹ - ۱)
مقاله پژوهشی
DOI: 10.22124/jms.2024.8789

واکنش جوانه‌زنی برخی گونه‌های علف‌هرز تاج‌خروس (*Amaranthus sp.*) در پاسخ به دما و نور

لادن زینتی[۱]، آسیه سیاهمرگویی[۲*]، فرشید قادری‌فر[۳] ، معصومه یونس آبادی[۴]، باقیراس سینگ چائوهان[۵]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۹/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۱

چکیده

این آزمایش دوساله با هدف بررسی دماهای ثابت و نور بر جوانه‌زنی بذر گونه‌های تاج‌خروس سفید (*Amaranthus albus*)، تاج‌خروس دورگ (*Amaranthus chlorostachys*)، تاج‌خروس ریشه‌قرمز (*Amaranthus retroflexus*) و تاج‌خروس سبزرنگ (*Amaranthus viridis*) در سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان انجام شد. در سال اول، تغییرات جوانه‌زنی گونه‌های مختلف تاج‌خروس به صورت ماهانه طی پس‌رسی به مدت ۱۲ ماه، مورد بررسی قرار گرفت. در ماه پنجم پس‌رسی، جوانه‌زنی بذر گونه‌های مختلف تاج‌خروس در دماهای ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵، ۴۰ و ۴۵ سانتی‌گراد در شرایط نور و تاریکی بررسی شد. در سال دوم، جوانه‌زنی بذر گونه‌های مذکور در دماهای ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد در چهار شرایط نور همراه با اسیدجیبرلیک، نور بدون اسیدجیبرلیک، تاریکی همراه با اسیدجیبرلیک و تاریکی بدون اسیدجیبرلیک مورد بررسی قرار گرفت. درصد جوانه‌زنی گونه‌های مختلف تاج‌خروس طی دوره پس‌رسی افزایش یافت؛ اگرچه روند آن در گونه‌های مختلف، متفاوت بود. کاربرد اسیدجیبرلیک نیز سبب بهبود جوانه‌زنی شد. بنابراین کمون بذرهای گونه‌های مذکور، فیزیولوژیک غیرعمیق می‌باشد. با افزایش دما به ۳۰ تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد، درصد جوانه‌زنی گونه‌های مختلف تاج‌خروس افزایش یافت و اسیدجیبرلیک نیز سبب بهبود درصد و سرعت جوانه‌زنی آنها گردید. همچنین مصرف اسیدجیبرلیک سبب کاهش دمای پایه جوانه‌زنی شد. چنین واکنش‌هایی به نور و دما، تضمین کننده جوانه‌زنی این گیاهان در بهار و در سطح خاک می‌باشد. کاهش دمای پایه جوانه‌زنی نیز ممکن است سبب جوانه‌زنی بعضی از گونه‌های تاج‌خروس قبل از فصل بهار شود. درصد جوانه‌زنی اندک به‌ویژه در دماهای پایین، از نظر زیستی بسیار مهم است؛ زیرا ممکن است جمعیت قابل توجهی از علف‌های هرز در مزرعه ظاهر و سبب بروز مشکلات برای کشاورزان شوند.

واژه‌های کلیدی: پس‌رسی، دماهای کاردینال جوانه‌زنی، جیبرلیک اسید، سرعت جوانه‌زنی، کمون فیزیولوژیک، مدل دو تکه‌ای

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد رشته علوم علف‌های هرز، گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. ladanzinati2014@gmail.com
۲- دانشیار، گروه زراعت دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. Siahmarguee@gau.ac.ir
۳- استاد، گروه زراعت دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. farshidghaderifar@yahoo.con
۴- دانشیار، بخش تحقیقات گیاه‌پزشکی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران. myounesabadi@yahoo.com
۵- اتحاد کشاورزی و نوآوری غذایی کوئینزلند، دانشگاه کوئینزلند، تووومبا، کوئینزلند، استرالیا. b.chauhan@uq.edu.au
نویسنده مسئول: Siahmarguee@gau.ac.ir

مقدمه

تیره Amaranthaceae یکی از تیره های مهم گیاهی در جهان است که حدود ۱۶۵ جنس و ۲۰۴۰ گونه داشته و بیشتر در مناطق معتدل و گرمسیری جهان از جمله آمریکا، اروپا، آفریقا و آسیا پخش شده‌اند (Christenhusz and Byng, 2016; Budin *et al.*, 1996; Singh and Kumar, 2019). جنس *Amaranthus* یکی از مهم‌ترین جنس‌های این تیره بوده که تقریبا ۷۴ گونه گیاهی اعم از زینتی، زراعی و علف‌هرز را در بر می‌گیرد (Waselkov *et al.*, 2018). در این میان، ۹ گونه تاج‌خروس به عنوان علف‌های هرز مهاجم یا مضر در بانک اطلاعات گیاهان USDA و ۲۰ گونه دیگر به عنوان علف‌های هرز کشاورزی در فهرست جهانی علف‌های هرز ذکر شده است (Randall, 2007; USDA, NRCS, 2016). در قاره آسیا ۲۵ گونه از جنس آمارانتوس گزارش شده است (Das, 2016). این جنس در ایران دارای ۱۴ گونه و ۵ زیرگونه است که در بیشتر مناطق کشور به عنوان علف‌هرز پراکنش دارند (Azadi, 2013). از مهمترین گونه‌های تاج‌خروس در ایران می‌توان به تاج‌خروس ریشه قرمز (*Amaranthus retroflexus*)، تاج‌خروس خوابیده (*Amaranthus blitoedes*)، تاج‌خروس سبزرنگ (*Amaranthus viridis*)، تاج‌خروس سفید (*Amaranthus albus*) و تاج‌خروس دورگ (*Amaranthus chlorostachys*) اشاره نمود. این گونه‌ها علاوه بر مناطق متروکه، حاشیه جاده‌ها و رودخانه‌ها در اکثر محصولات باغی و زراعی مانند ذرت، سویا، آفتابگردان، چغندرقند، پنبه، سورگوم ، لوبیا و ... به عنوان علف‌هرز حضور دارند (Holm *et al.*, 1997).

گونه‌های مختلف علف‌هرز تاج‌خروس، به عنوان گونه‌های فرصت طلب شناخته می‌شوند. آنها قادرند با محصولات زراعی مختلف برای آب، مواد مغذی و نور رقابت کنند و باعث کاهش شدید عملکرد، کیفیت و بازده برداشت شوند (Assad *et al.*, 2017). تولید بذر زیاد (Massinga *et al.*, 2001; Sellers *et al.*, 2003)، ماندگاری طولانی مدت بذر در بانک بذر خاک (Egley, 1989)، داشتن کمون بذر (Cristaudo *et al.*, 2006; Costea and Tardif, 2003)، سرعت جوانه‌زنی بالا (Steckel *et al.*, 2004)، امکان جوانه‌زنی در دوره زمانی طولانی (Aguyoh and Masiunas, 2003)، مکانیسم فتوسنتزی C4 و راندمان بالای استفاده از آب، عناصر غذایی و دی اکسید کربن (Costea and Tardif, 2003) از ویژگی‌های ممتاز گونه‌های مختلف این جنس به‌شمار می‌آید. این گونه‌ها علاوه بر ایجاد رقابت در دریافت منابع، محل زمستان گذاری بسیاری از آفات و بیماری‌ها نیز هستند (Costea and Tardif, 2003). از این‌رو کنترل این علف‌های هرز در محصولات زراعی و باغی یکی از ضروریات است. یکی از راه‌های موثر در کنترل این گیاهان استفاده از علفکش‌ها است؛ اما متاسفانه گزارشات حاکی از بروز مقاومت در این خانواده با سرعت بالا است به نحوی‌که در حال حاضر از لحاظ فراوانی بروز مقاومت، خانواده آمارانتاسه بعد از خانواده‌های Poaceae، Asteraceae، Brassicaceae و Cyperaceae در رتبه پنجم قرار داشته و ۲۵۷ مورد مقاومت در ۱۱ گونه علف‌هرز این خانواده شامل *A. albus*، *A. belitoides*، *A. blitum*، *A. cruentus*، *A. hybridus*، *A. palmeri*، *A. powelli*، *A. retroflexus*، *A. spinosus*، *A. tuberculatus* و *A.viridis* به ثبت رسیده است (Heap, 2024). از این‌رو توجه به برنامه‌های مدیریتی تلفیقی می‌تواند گام موثری در مدیریت گونه‌های مختلف جنس آمارانتوس باشد. بنابراین، دستیابی به این هدف وابسته به درک بسیاری از مسایل اکولوژیکی، فیزیولوژیک و مدیریتی مربوط به این گیاهان است.

مهم‌ترین روش تکثیر و پراکنش گونه‌های مختلف جنس آمارانتوس از طریق بذر است. منابع نشان می‌دهد که پتانسیل تولید بذر به بوسیله گونه‌های مختلف این جنس بسیار بالاست؛ به نحوی‌که در بعضی از گونه‌ها، هر بوته می‌تواند بیش از ۲۵۰۰۰۰ بذر تولید کند (Sellers *et al.*, 2003). بذرهای تولید شده سطوح مختلفی از کمون را داشته و بعد از ریزش درون خاک، بانک بذر بسیار پایداری را تشکیل می‌دهند، به طوری‌که بر اساس نتایج محققان در گونه‌ای مانند تاج‌خروس ریشه قرمز، بذرها ۶ تا ۱۰ سال درون خاک زنده باقی ماندند (Weaver and McWilliams, 1980) و حتی بعد از ۴۰ سال، ۲ درصد بذرها قابلیت جوانه‌زنی داشتند (Telewski and Zeevaart, 2002). کمون بذر را می‌توان به کمون مرفولوژیک (کوچک بودن اندازه جنین بذر)، کمون فیزیولوژیک (عدم تعادل در مواد تنظیم کننده رشد گیاهی)، کمون فیزیکی (ناشی از پوسته نفوذناپذیر به آب)، کمون مرفوفیزیولوژیک و کمون دوگانه (کمون فیزیولوژیک و کمون فیزیکی) تقسیم‌بندی کرد

(Baskin and Baskin, 2004). رفع هر کدام از این کمون‌ها، نیازمند شرایط محیطی خاص می‌باشد و مکانیسم مهمی جهت بقای گونه‌های گیاهی در شرایط نامساعد محیطی محسوب می‌شود. به عنوان مثال در گونه‌های گرمادوست، وجود کمون فیزیولوژیکی از جوانه‌زنی بذرها بلافاصله بعد از ریزش در طی فصل سرما جلوگیری می‌کند (Shilla et al., 2016).

بانک بذر علف‌های هرز در خاک مهم‌ترین عامل تضمین کننده بقای گونه‌های مختلف علف‌هرز است. بانک بذر خاک به طور پیوسته از طریق شکار، پوسیده شدن و به‌خصوص جوانه‌زنی، در حال تخلیه است؛ بنابراین با شناخت عوامل موثر بر جوانه‌زنی بذرها می‌توان به نکات کلیدی در تخلیه بانک بذر، کاهش خسارت به محصولات زراعی و جلوگیری از تولید بذر گیاهچه‌های علف‌هرز دست یافت. در بین عوامل محیطی مختلف دما و نور نقش بسیار مهمی در جوانه‌زنی و ظهور گیاهچه گونه‌های مختلف علف‌هرز دارند (Assad *et al.*, 2017). دما از طریق تعیین درصد نهایی و سرعت جوانه‌زنی، رفع کمون اولیه و ثانویه و همچنین القای کمون ثانویه، جوانه‌زنی بذر گونه‌های مختلف را در مزرعه تنظیم می‌کند (Bewley and Black, 1994). نتایج تحقیق کریستادو و همکاران (Cristaudo *et al.*, 2006) نشان داد که پاسخ جوانه‌زنی گونه‌های مختلف تاج‌خروس به دما بسیار متفاوت بود؛ هفت گونه *A. albus*، *A. cruentus*، *A. deflexus*، *A. graecizans*، *A. hybridus*، *A. lividus* و *A. retroflexus* زمانی که در دمای ثابت بالا (۳۰ تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد) قرار گرفتند، بیشترین جوانه‌زنی را داشتند. کمترین درصد جوانه‌زنی (اغلب صفر) این گونه‌ها نیز در دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد. در حالیکه دو گونه *A. viridis* و *A. blitoides* جوانه‌زنی بسیار کمی را در دمای ثابت نشان دادند و برای جوانه زدن به دمای متناوب و نور نیاز داشتند.

پاسخ جوانه‌زنی بذرها به نور نیز از گونه‌ای به گونه‌ی دیگر متفاوت است. بذرهای برخی گونه‌ها برای جوانه‌زنی به نور نیاز دارند (Chauhan and Johnson, 2009)؛ درحالی‌که برخی دارای جوانه‌زنی مشابهی در نور و تاریکی هستند (Ebrahimi and Eslami, 2012). در یک تحقیق مشخص شد در بین ۴۴ گونه‌ی علف‌هرز، جوانه‌زنی ۲۴ گونه توسط نور افزایش یافت، درحالی‌که جوانه‌زنی ۲۰ گونه باقی‌مانده توسط شرایط نور یا تاریکی تحت تأثیر قرار نگرفت (Milberg *et al.*, 1996). واکنش بذرهای گونه های مختلف تاج‌خروس به نور توسط محققان مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. جیها و همکاران (Jha *et al.*, 2010) اظهار داشتند که بذرهای تازه *Amaranthus palmeri* به دمای متوسط بیش از ۲۵ درجه سانتی‌گراد و نور طبیعی یا قرمز (R) برای افزایش جوانه‌زنی نیاز داشتند. حداکثر درصد جوانه‌زنی گونه *Amaranthus caudatus* در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و وجود نور به میزان ۸۷ درصد ثبت گردید (Donazzolo *et al.*, 2017). نتایج تحقیق خان و همکاران (Khan *et al.*, 2022) نشان دادند که اگرچه وجود نور باعث بهبود جوانه‌زنی *Amaranthus retroflexus* و *A. viridis* می‌شود؛ اما نیاز اصلی جوانه‌زنی این دو گونه نمی‌باشد.

اسید جیبرلیک یکی از مهم‌ترین مواد تنظیم کننده رشد گیاهی و تحریک کننده جوانه‌زنی بذر به‌شمار می‌آید. نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که سرمادهی مرطوب بذرهای تاج‌خروس در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سبب افزایش غلظت اسید جیبرلیک و کاهش غلظت اسید آبسزیک می‌گردد؛ بنابراین ممکن است کاهش کمون بذر برخی از گونه‌ها در اثر سرمادهی مرطوب یا دفن سطحی بذرها در خاک با تغییر در نسبت اسید جیبرلیک (محرک جوانه‌زنی) به اسید آبسزیک (ممانعت کننده از جوانه‌زنی) و همچنین تعادل اتیلن و یا حساسیت به این مواد تنظیم کننده رشد گیاهی مرتبط باشد (Kępczyński and Sznigir, 2014; Cadman et al., 2006; Rodríguez-Gacio et al., 2009).

در خصوص بررسی رفتار جوانه‌زنی تاج‌خروس مطالعات اندکی در ایران انجام شده است؛ در مطالعات انجام شده نیز فقط به بررسی رفتار جوانه‌زنی یک یا دو گونه از جنس تاج‌خروس پرداخته شده است (Deihimfard *et al.*, 2016; Diayanat, 2016; Enayati *et al.*, 2019). از این‌رو این آزمایش با هدف درک نیازهای نوری و دمایی چهار گونه تاج‌خروس شامل تاج‌خروس سفید (*Amaranthus albus*)، تاج‌خروس دورگ (*A. chlorostachys*)، تاج‌خروس ریشه قرمز (*A. retroflexus*) و تاج‌خروس سبزرنگ (*A. viridis*) طراحی و اجرا گردیده است.

مواد و روش‌ها

جمع آوری بذر

جهت تعیین نوع کمون و بررسی اثر دماهای ثابت و تعیین دماهای کاردینال جوانه‌زنی بذرهای گونه‌های مختلف تاج‌خروس شامل تاج‌خروس سفید (*Amaranthus albus*)، تاج‌خروس دورگ (*Amaranthus chlorostachys*)، تاج‌خروس ریشه قرمز (*Amaranthus retroflexus*) و تاج‌خروس سبزرنگ (*Amaranthus viridis*)، آزمایشی دو ساله در آزمایشگاه تکنولوژی بذر دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان انجام گرفت. بذر گونه‌های مختلف تاج‌خروس در آذر ماه سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ از مزارع و باغات استان گلستان-ایران جمع‌آوری شدند. مشخصات جغرافیایی محل جمع‌آوری بذرها و وزن هزار دانه آنها در جدول ۱ نشان داده شده است. لازم به ذکر است که بذرهای هر گونه در دو سال آزمایش از یک محل جمع‌آوری شده بودند. بذرها در دمای اتاق (۲۵ درجه سانتی‌گراد) نگهداری و بعد از پنج ماه آزمایش مورد نظر روی آنها انجام شد.

جدول ۱: مشخصات جغرافیایی محل جمع آوری بذر گونه‌های مختلف تاج‌خروس

Table 1. Geographical characteristics of the seed collection locations of different species of *Amaranthus*

نام فارسی Persian name	نام علمی Scientific name	طول جغرافیایی Longitude	عرض جغرافیایی Latitude	ارتفاع از سطح دریا (متر) Altitude (meters)	وزن هزار دانه (گرم) 1000 seed weight (g)	
					سال اول First year	سال دوم Second year
تاج‌خروس سفید	*A. albus*	54º45.54'	36º98.04'	-18	0.416	0.401
تاج‌خروس دورگ	*A. chlorostachys*	54º12.60'	36º76.60'	64	0.305	0.301
تاج‌خروس ریشه قرمز	*A. retroflexus*	54º15.04'	36º62.14'	62	0.331	0.317
تاج‌خروس سبز رنگ	*A. viridis*	54º15.58'	36º63.64'	62	0.305	0.303

الف) بررسی اثر پس‌رسی بر جوانه‌زنی بذرهای گونه‌های مختلف تاج‌خروس

این آزمایش روی بذرهای سال اول (۱۳۹۷) بلافاصله بعد از برداشت انجام شد. در ابتدا درصد جوانه‌زنی بذرهای تازه برداشت شده تعیین شد. در ادامه جهت بررسی اثر پس‌رسی بر تغییرات درصد جوانه‌زنی بذر گونه‌های مختلف تاج‌خروس، به صورت ماهانه از بذرهای ذخیره شده در آزمایشگاه (در دمای تقریبا ۲۵ درجه سانتی‌گراد) نمونه‌برداری شد. این کار در ۱۲ مرحله در طول یک‌سال انجام شد. برای این کار ۲۵ بذر از هر گونه در چهار تکرار بر روی یک‌لایه کاغذ صافی درون پتری‌دیش به قطر ۹ سانتی‌متر قرار گرفت و بعد از اضافه کردن ۵ میلی لیتر آب مقطر به آنها، درون انکوباتوری (Memmirt آلمان) با دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد (در شرایط تاریکی) قرار گرفتند. شمارش بذرهای جوانه‌زده به مدت ۱۴ روز انجام شد (Akbari Gelevardi et al., 2021) و معیار جوانه‌زنی نیز خروج ریشه‌چه حداقل به اندازه ۲ میلی‌متر در نظر گرفته شد (Soltani *et al.*, 2002). لازم به ذکر است که در هر مرحله، بذرهای جوانه‌زده بعد از شمارش از پتری خارج گردیدند و با توجه به نیاز به پتری دیش‌ها آب مقطر اضافه شد.

ب) اثر دماهای ثابت بر جوانه‌زنی بذرهای گونه‌های مختلف تاج‌خروس

این آزمایش روی بذرهایی که جداگانه در سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ جمع‌آوری شده و به مدت پنج ماه در شرایط آزمایشگاه پس‌رس شده بودند، انجام شد. در سال اول آزمایش (۱۳۹۷)، جوانه‌زنی بذرهای گونه‌های مختلف تاج‌خروس در دماهای ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵، ۴۰ و ۴۵ سانتی‌گراد در شرایط نور کامل (۲۴ ساعته) و تاریکی کامل (۲۴ ساعته) در چهار تکرار مورد بررسی قرار گرفت. برای این کار ۲۵ بذر از هرگونه بر روی یک لایه کاغذ صافی درون پتری‌دیش به قطر ۹ سانتی‌متر قرار گرفت و بعد از اضافه کردن ۵ میلی‌لیتر آب مقطر به آنها، درون انکوباتورهایی با دماهای مورد نظر (با دقت ۰/۵ درجه سانتی‌گراد) قرار گرفتند. لازم به ذکر است که در تیمارهای تاریکی، جهت جلوگیری از برخورد نور، پتری دیش‌ها در فویل آلومینیومی قرار گرفته و در انکوباتورهای مورد نظر قرار داده شدند. در این تیمارها شمارش بذرهای جوانه‌زده نیز در شرایط نور سبز انجام شد.

در بذرهای جمع‌آوری شده در پاییز سال دوم (۱۳۹۸)، جوانه‌زنی بذرهای گونه‌های مختلف تاج‌خروس در دماهای ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد در چهار شرایط نور همراه با اسید جیبرلیک (۱۵۰۰ پی پی ام)، نور بدون اسید جیبرلیک، تاریکی همراه با اسید جیبرلیک (۱۵۰۰ پی پی ام) و تاریکی بدون اسید جیبرلیک در چهار تکرار مورد بررسی قرار گرفت (Tolo Hafeziyan Awal, 2019). مشابه آزمایش سال اول در هر تکرار ۲۵ بذر از هرگونه بر روی یک‌لایه کاغذ صافی درون پتری‌دیش به قطر ۹ سانتی‌متر و با ۵ میلی لیتر آب مقطر مرطوب شدند. تیمارهای دمایی توسط انکوباتوری با دقت ۰/۵ درجه سانتی‌گراد تأمین شد. در تیمارهای تاریکی نیز پتری دیش‌ها در فویل آلومینیومی قرار گرفته و در انکوباتورهای مورد نظر قرار داده شدند. در این تیمارها شمارش بذرهای جوانه زده نیز در شرایط نور سبز انجام شد.

در هر دو سال شمارش تعداد بذر جوانه‌زده دو بار در روز انجام شد. شمارش بذرها تا زمانی که برای سه روز متوالی جوانه‌زنی ثابت باقی بماند، انجام شد. معیار برای تشخیص بذر جوانه‌زده خروج ریشه‌چه به‌اندازه دو میلی‌متر یا بیشتر در نظر گرفته شد (Soltani *et al.*, 2002). در طول آزمایش در صورت نیاز به تیمارها آب مقطر اضافه شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

به منظور تعیین سرعت جوانه‌زنی گونه‌های مختلف تاج‌خروس، منحنی تغییرات درصد جوانه‌زنی نسبت به زمان (ساعت) برای هر تکرار در کلیه تیمارها با استفاده از تابع لجستیک ۳ پارامتره (تابع ۱) ترسیم گردید.

تابع ۱

$$G_{max} \Big/ \left(1 + exp\left(-\left({}^{x - x_{50}}/_{b}\right)\right)\right)$$

که در این تابع G_{max}؛ حداکثر درصد جوانه‌زنی، D_{50}؛ زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی و b؛ ضریب معادله و t زمان می‌باشد. سرعت جوانه‌زنی (بر ساعت) بر اساس رابطه‌ی ۲، از معکوس کردن زمان تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی جمعیت در هر دما به دست آمد (Soltani *et al.*, 2015).

تابع ۲ $$R_{50} = {}^{1}/_{D_{50}}$$

در این رابطه، R_{50} سرعت جوانه‌زنی (بر ساعت) را نشان می‌دهد.

برای بررسی واکنش جوانه‌زنی بذرها به دما در پتانسیل‌های مختلف، تابع دمایی دوتکه‌ای (رابطه ۲) مورداستفاده قرار گرفت (Soltani *et al.*, 2002):

معادله تابع دوتکه‌ای به‌صورت زیر است (رابطه ۳):

$$f(T) = (T - Tb) / (To - Tb) \text{ if } Tb < T \leq To$$
$$f(T) = (Tc - T) / (Tc - To) \text{ if } To < T < Tc$$
$$f(T) = 0 \text{ if } T \leq Tb \text{ or } T \geq Tc$$

در این تابع: T دمای متوسط روزانه (دمای آزمایش)، Tb دمای پایه، T0 دمای مطلوب، Tc دمای سقف برحسب درجه سانتی‌گراد است.

کلیه تجزیه‌وتحلیل‌های آماری داده‌ها در قالب طرح فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با نرم‌افزار SAS 9.1 صورت گرفت. نظر به اینکه داده‌های درصد جوانه‌زنی حاصل از شمارش می‌باشد، از لحاظ آماری دارای توزیع دو جمله‌ای هستند. از این رو برای تجزیه و تحلیل داده‌ها در این آزمایش از مدل خطی تعمیم یافته (Generalised linear models) با رویه Genmode با توزیع دو جمله‌ای در نرم‌افزار SAS استفاده شد (Ghaderi-Far *et al.*, 2024). مقایسه میانگین تیمارها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شد و برای رسم نمودارها از Sigma plot 12.5 استفاده شد.

نتایج و بحث

بررسی اثر پس‌رسی بر جوانه‌زنی بذرهای گونه‌های مختلف تاج‌خروس

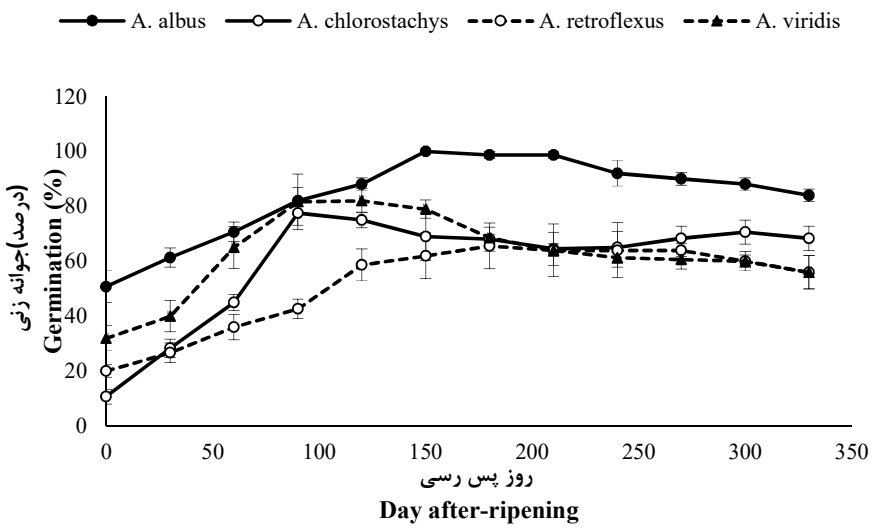
گونه‌های مختلف تاج‌خروس به پس‌رسی واکنش مثبت نشان دادند؛ هر چند روند آن در گونه‌های مختلف، متفاوت بود (شکل ۱). درصد جوانه‌زنی بذرهای تازه برداشت شده تاج‌خروس سفید، ۵۱ درصد بود. در این گونه، حداکثر درصد جوانه‌زنی در نمونه‌برداری ششم مصادف با ۱۵۰ روز پس‌رسی به میزان ۱۰۰ درصد رخ داد. درصد جوانه‌زنی این گونه در نمونه‌برداری‌های ۱۸۰ و ۲۱۰ روز پس‌رسی، ۹۹ درصد بود؛ اما از این مرحله به بعد درصد جوانه‌زنی کاهش یافت به نحوی‌که در ۳۳۰ روز پس‌رسی، درصد جوانه‌زنی به ۸۴ درصد رسید (شکل ۱).

کمترین درصد جوانه‌زنی در بذرهای تازه برداشت شده گونه‌های مختلف مورد مطالعه، مربوط به تاج‌خروس دورگ به میزان ۱۱ درصد بود. بذرهای این گونه در مقایسه با سایر گونه ها، در کمترین زمان پس‌رسی به حداکثر مقدار خود رسیدند؛ به نحوی‌که بعد از ۹۰ روز پس‌رسی، درصد

جوانه‌زنی آنها به ۷۸ درصد رسید. از این مرحله به بعد درصد جوانه‌زنی به میزان اندکی کاهش یافت و در نهایت در مرحله آخر نمونه‌برداری مصادف با ۳۳۰ روز پس‌رسی، به ۶۸ درصد رسید (شکل ۱).

درصد جوانه‌زنی بذرهای تازه برداشت شده تاج‌خروس ریشه قرمز، ۲۰ درصد بود. در این گونه نیز در دوره پس‌رسی، درصد جوانه‌زنی این گونه افزایش یافت. به نحوی‌که درصد جوانه‌زنی این گونه در دوره پس‌رسی از ۱۵۰ تا ۳۰۰ روز، در دامنه ۶۰ تا ۶۶ درصد در نوسان بود (شکل ۱).

جوانه‌زنی بذر تاج‌خروس سبز نیز روندی مشابه با چهار گونه دیگر داشت. در این گونه درصد جوانه‌زنی بذرهای تازه برداشت شده، ۳۲ درصد بود. در این گونه، حداکثر درصد جوانه‌زنی در نمونه‌برداری ۱۵۰ روز پس‌رسی به میزان ۷۹ درصد به ثبت رسید. اما از این مرحله به بعد درصد جوانه‌زنی کاهش یافت به نحوی‌که در ۳۳۰ روز پس‌رسی، ۵۶ درصد بذرها قادر به جوانه‌زنی بودند (شکل ۱).



شکل ۱. الگوی جوانه‌زنی بذر گونه‌های مختلف تاج‌خروس در دوره پس‌رسی

Figure 1. Seed germination pattern of different species of *Amaranthus* during after-ripenning period

بررسی اثر دما بر درصد جوانه‌زنی بذر گونه‌های مختلف تاج‌خروس

دما اثر معنی‌داری بر درصد جوانه‌زنی تاج‌خروس سفید (*A. albus*) داشت (اشکال 2A1 و 2A2). در سال اول بذرهای این‌گونه در دماهای ۱۰، ۱۵ و ۴۵ درجه سانتی‌گراد جوانه نزدند. جوانه‌زنی بذر تاج‌خروس سفید در شرایط تاریکی و روشنایی از دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد آغاز و با افزایش دما افزایش یافت؛ اما روند آن در شرایط نور و تاریکی متفاوت بود. در شرایط تاریکی درصد جوانه‌زنی در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد به حداکثر مقدار خود رسید؛ اما در حضور نور حداکثر درصد جوانه‌زنی این‌گونه در محدوده وسیع‌تری از دماها رخ داد. نکته قابل توجه این بود که درصد جوانه‌زنی تاج‌خروس سفید در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد در شرایط نور و تاریکی یکسان بود.

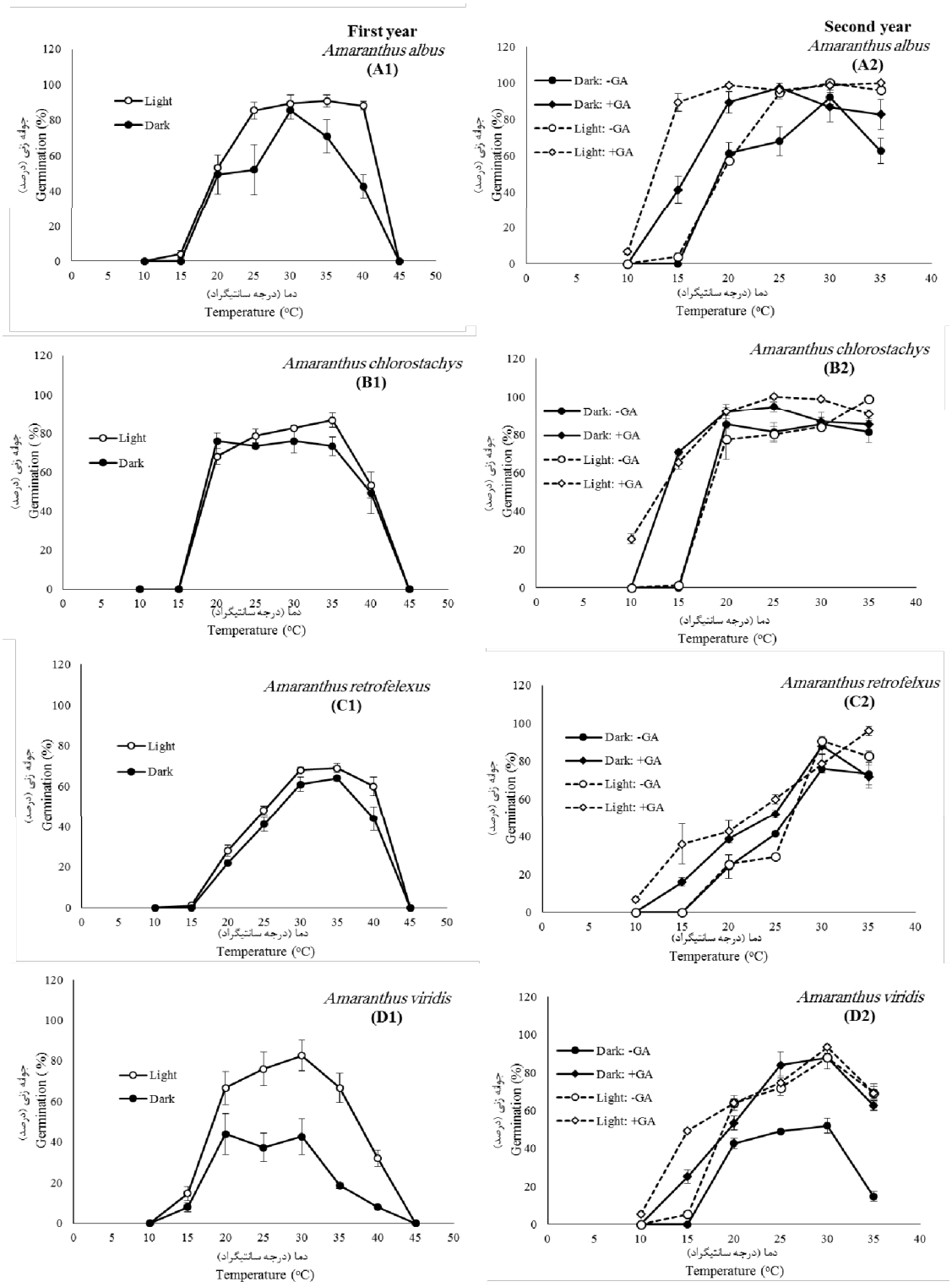
در سال دوم جوانه‌زنی بذرهای این‌گونه در شرایط استفاده از جیبرلیک اسید در دو شرایط نور و تاریکی افزایش یافت. در شرایط تاریکی و در حضور جیبرلیک اسید، جوانه‌زنی در دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد صفر بود؛ اما با افزایش دما به ۱۵ درجه سانتی‌گراد، ۴۱ درصد بذرها جوانه زدند. درصد جوانه‌زنی این‌گونه در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد، به ۸۹ درصد رسید؛ سپس با افزایش دما تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد، جوانه‌زنی به حداکثر مقدار خود رسید (۹۷ درصد) و سپس روند کاهشی به خود گرفت، به‌نحوی‌که در دماهای ۳۰ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد ۸۷ و ۸۳ درصد بذرها جوانه زدند. استفاده از جیبرلیک اسید در شرایط حضور نور نیز سبب بهبود جوانه‌زنی گردید. به نحوی‌که درصد جوانه‌زنی در دماهای ۱۰ و ۱۵ درجه سانتی‌گراد در شرایط حضور نور و عدم مصرف جیبرلیک اسید، به ترتیب ۰ و ۴ درصد بود. اما استفاده از جیبرلیک اسید سبب افزایش

قابل‌توجه در جوانه‌زنی گردید و در این دو دما به ترتیب ۷ و ۸۹ درصد بذرها جوانه زدند. در دماهای بالاتر نیز درصد جوانه‌زنی قابل‌توجه و بین ۹۶ تا ۱۰۰ درصد در نوسان بود. این امر حاکی از آن است که اگرچه نور سبب تحریک جوانه‌زنی بذر این‌گونه می‌شود اما استفاده از جیبرلیک اسید قادر به بهبود جوانه‌زنی در شرایط تاریکی بوده و سبب افزایش جوانه‌زنی در محدوده وسیع‌تری از دماها می‌شود.

دما اثر معنی‌داری بر درصد جوانه‌زنی تاج‌خروس دو رگ (*A. chlorostachys*) داشت (اشکال ۲B1 و ۲B2). بذرهای این‌گونه در دماهای ۱۰ و ۱۵ درجه سانتی‌گراد جوانه نزدند. اگرچه حداکثر درصد جوانه زنی این گونه در شرایط روشنایی بیشتر از شرایط تاریکی بود؛ اما در هر دو شرایط حداکثر جوانه‌زنی در محدوده دمای ۲۰ تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد رخ داد. در سال دوم آزمایش جوانه‌زنی در دماهای ۱۰ و ۱۵ درجه سانتی‌گراد در شرایط تاریکی و عدم مصرف جیبرلیک اسید صفر بود. اما در دماهای ۲۰ تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد جوانه‌زنی به میزان قابل‌توجه افزایش یافت؛ به‌طوری‌که در محدوده ۸۱ تا ۸۵ درصد در نوسان بود. مصرف جیبرلیک اسید در شرایط تاریکی منجر به بهبود جوانه‌زنی در دمای ۱۰ درجه نشد؛ اما در دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد؛ درصد جوانه‌زنی را از صفر به ۷۱ درصد ارتقا بخشید. همچنین مصرف جیبرلیک اسید در شرایط تاریکی درصد جوانه‌زنی را در دماهای ۲۰ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد به ترتیب به ۹۲ و ۹۵ درصد رساند و بعدازآن یک‌روند کاهشی در جوانه‌زنی بذرها مشاهده شد؛ به نحوی‌که در دماهای ۳۰ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد به ترتیب ۸۷ و ۸۵ درصد بذرها جوانه زدند. در شرایط حضور نور و عدم مصرف جیبرلیک اسید جوانه‌زنی در دمای ۱۰ و ۱۵ درجه سانتی‌گراد به ترتیب ۰ و ۱/۳۳ درصد بود؛ اما مصرف جیبرلیک اسید در این دو دما، درصد جوانه‌زنی را به میزان قابل‌توجهی افزایش داد و از صفر به ۲۵ درصد و از ۱/۳۳ به ۶۵/۳۳ درصد ارتقاء بخشید. همچنین مصرف جیبرلیک اسید در شرایط حضور نور، درصد جوانه‌زنی این‌گونه را در دماهای ۲۵ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد به ترتیب به ۱۰۰ و ۹۹ درصد رساند. مقایسه داده‌های درصد جوانه‌زنی در تیمارهای مصرف و عدم مصرف جیبرلیک اسید در شرایط حضور نور با تیمار مصرف جیبرلیک اسید در شرایط تاریکی در دماهای ۲۵ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد حاکی از تاثیر قابل‌توجه جیبرلیک اسید در مقایسه با نور بر این پارامتر مهم است.

روند تغییرات درصد جوانه‌زنی تاج‌خروس ریشه قرمز (*A. retrofelexus*) در دماهای مختلف در اشکال ۲C1 و ۲C2 نشان داده‌شده است. در سال اول درصد جوانه‌زنی در دماهای ۱۰ و ۱۵ درجه سانتی‌گراد صفر بود. با افزایش دما تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد، درصد جوانه‌زنی افزایش و سپس با شیب زیادی، کاهش یافت. نکته قابل‌توجه در سال اول این بود که درصد جوانه‌زنی در همه تیمارهای دمایی در شرایط حضور نور بیش از تاریکی بود. در سال دوم آزمایش درصد جوانه‌زنی این‌گونه در دماهای ۱۰ و ۱۵ درجه سانتی‌گراد در تیمار مصرف اسید جیبرلیک در دو شرایط نور و تاریکی صفر بود. در دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد، مصرف جیبرلیک اسید در شرایط تاریکی تاثیری در بهبود جوانه‌زنی این گونه نداشت؛ اما در شرایط روشنایی سبب بهبود جزیی جوانه‌زنی (۷ درصد) شد. مصرف اسید جیبرلیک اسید در دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد در شرایط تاریکی و روشنایی به ترتیب منجر به ۱۶ و ۳۶ درصد جوانه‌زنی در این‌گونه گردید (این در حالی بود که در تیمار مشابه در شرایط عدم مصرف جیبرلیک اسید، درصد جوانه‌زنی صفر گزارش شده بود). در سه تیمار تاریکی در دو شرایط مصرف و عدم مصرف جیبرلیک اسید و همچنین روشنایی در شرایط عدم مصرف اسید جیبرلیک، درصد جوانه‌زنی با افزایش دما تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد به میزان قابل‌توجهی افزایش و سپس با شیب ملایمی کاهش یافت. این در حالی بود که تنها در تیمار روشنایی در شرایط مصرف جیبرلیک اسید، درصد جوانه‌زنی تا دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد به‌طور خطی افزایش یافت و در این دما به حداکثر مقدار خود رسید (۹۶ درصد).

درصد جوانه‌زنی تاج‌خروس سبزرنگ (*A. viridis*) نیز تحت تاثیر دما و روشنایی قرار گرفت (اشکال ۲D1 و ۲D2). در سال اول آزمایش بذرهای این‌گونه در دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد جوانه نزدند. جوانه‌زنی بذرهای این‌گونه در دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد آغاز شد. در شرایط تاریکی، حداکثر جوانه‌زنی این گیاه در محدوده دمای ۲۰ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد (به‌طور متوسط ۴۱ درصد) رخ داد. در شرایط روشنایی حداکثر درصد جوانه‌زنی این‌گونه در محدوده دمایی ۲۰ تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد (به‌طور متوسط ۷۳ درصد) مشاهده شد. این در حالی بود که حداکثر درصد جوانه‌زنی در این شرایط در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد به



شکل ۲. اثر دماهای ثابت بر درصد جوانه‌زنی گونه‌های مختلف تاج‌خروس [تاج‌خروس سفید (*Amaranthus albus*): *A1* و *A2*، تاج‌خروس دورگ (*Amaranthus*): *B1* و *B2*، تاج‌خروس ریشه قرمز (*Amaranthus retroflexus*): *C1* و *C2* و تاج‌خروس سبزرنگ (*Amaranthus viridis*): *D1* و *D2*].

[Figure 2. Effect of constant temperatures on germination percentage of different species of *Amaranthus*
White pigweed (*Amaranthus albus*): A1 and A2*;* Smooth pigweed (*Amaranthus chlorostachys*): B1 and B2; Redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus*): C1 and C2; Green amaranth (*Amaranthus viridis*): D1 and D2]..

میزان ۸۳ درصد ثبت گردید. در هر دو شرایط نور و تاریکی، افزایش دما تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد، سبب کاهش قابل‌توجه درصد جوانه‌زنی این گونه گردید و در دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد نیز جوانه‌زنی رخ نداد. در سال دوم کاربرد جیبرلیک اسید سبب رخداد جوانه‌زنی در دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد در شرایط نور و تاریکی گردید (اگرچه مقدار آن ناچیز بود). همچنین کاربرد این ماده در شرایط تاریکی سبب افزایش قابل‌توجه درصد جوانه‌زنی در مقایسه با تیمار عدم کاربرد جیبرلیک اسید در شرایط تاریکی شد. در این سال حداکثر درصد جوانه‌زنی در دماهای ۲۵ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد به ترتیب به میزان ۸۴ و ۸۸ درصد بود.

سرعت جوانه‌زنی

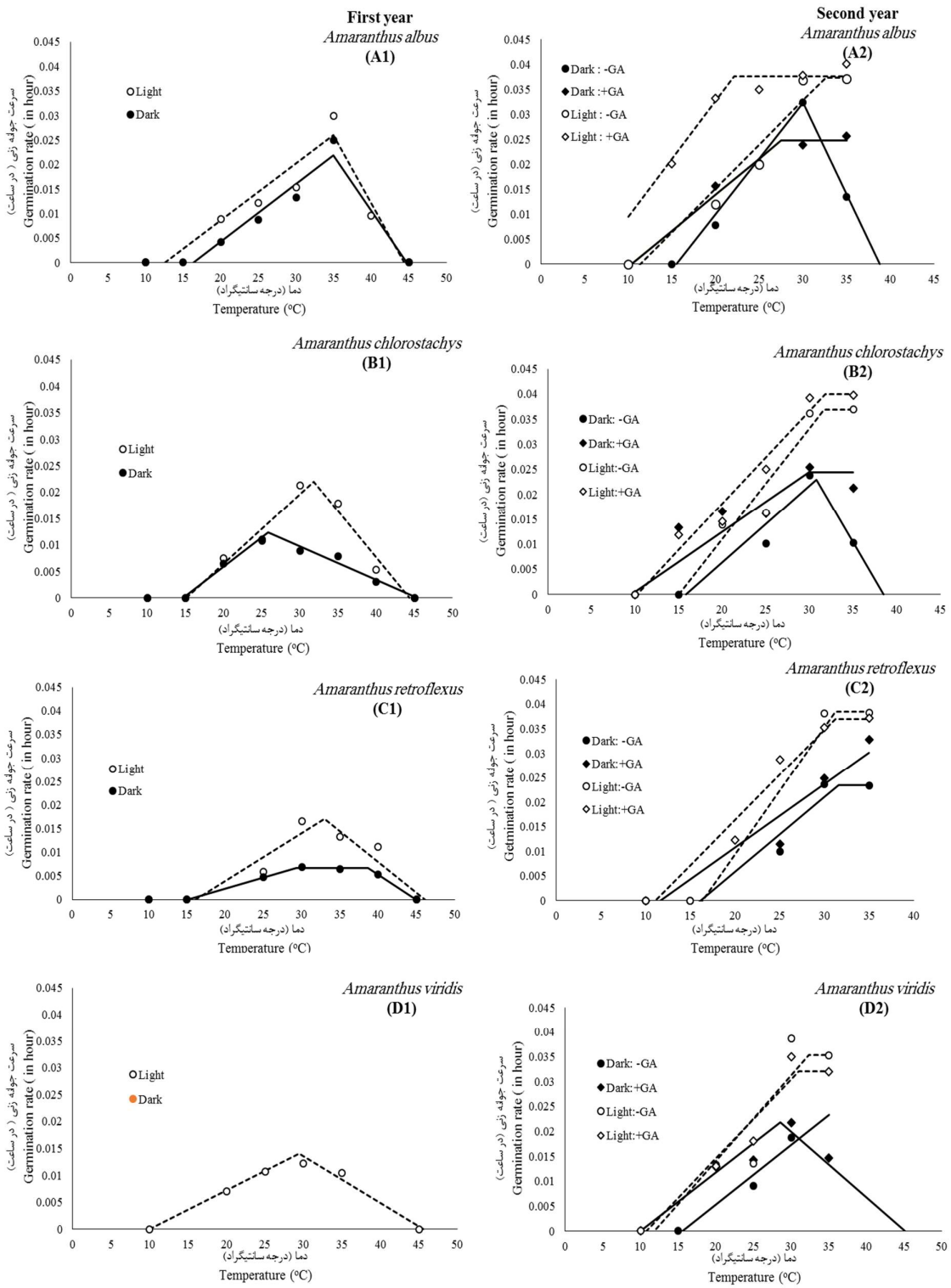
روند تغییرات سرعت جوانه‌زنی تاج‌خروس سفید در سال اول از یک تابع دوتکه‌ای تبعیت کرد (اشکال ۳A1 و ۳A2). در سال اول، در شرایط نور و تاریکی، دمای مطلوب و سقف تفاوتی نداشت؛ اما دمای پایه در شرایط نور کمتر از شرایط تاریکی بود. به‌نحوی‌که مدل برازش یافته دمای پایه در شرایط نور و تاریکی را به ترتیب ۱۲/۵۳ و ۱۶/۳۶ درجه سانتی‌گراد برآورد نمود (جدول ۲). در سال دوم آزمایش، تابع دوتکه‌ای فقط به داده‌های سرعت جوانه‌زنی در شرایط تاریکی و عدم کاربرد اسیدجیبرلیک برازش یافت. در بقیه تیمارها به دلیل ماهیت داده‌ها، امکان برآورد دمای سقف فراهم نشد.

در سال اول دمای پایه در شرایط تاریکی ۱۶/۳۶ درجه سانتی‌گراد و در شرایط روشنایی، ۱۲/۵۳ درجه سانتی‌گراد برآورد شد. در سال دوم آزمایش نیز دمای پایه در تیمار عدم استفاده از اسید جیبرلیک در شرایط تاریکی، ۱۵/۴۹ درجه سانتی‌گراد و در شرایط روشنایی ۱۱/۳۶ درجه سانتی‌گراد محاسبه شد. همانگونه که مشاهده می‌شود دمای پایه جوانه‌زنی تاج‌خروس در تاریکی بیشتر از روشنایی بود. همچنین مقایسه دمای پایه جوانه‌زنی در دو سال آزمایش در شرایط نور یا تاریکی نیز تقریبا مشابه بود. در سال دوم آزمایش در دو شرایط نور و تاریکی، کاربرد اسید جیبرلیک باعث کاهش قابل‌توجه دمای پایه جوانه‌زنی گردید. همچنین در سال دوم، دامنه دمای مطلوب در شرایط کاربرد اسید جیبرلیک در هر دو شرایط نور و تاریکی، وسیع‌تر از تیمار عدم کاربرد اسید جیبرلیک بود.

سرعت جوانه‌زنی تاج‌خروس دورگ در شرایط حضور نور بیشتر از تاریکی بود. در این گونه در شرایط حضور نور، مصرف اسید جیبرلیک، تاثیری بر حداکثر سرعت جوانه‌زنی در مقایسه با تیمار نور و عدم مصرف اسید جیبرلیک نداشت (شکل ۳B2). در سال اول دمای پایه و سقف جوانه‌زنی تاج‌خروس دورگ در شرایط نور و تاریکی تفاوت چندانی نداشت؛ اما دمای مطلوب جوانه‌زنی این‌گونه در شرایط روشنایی بیشتر از تاریکی بود. در سال دوم آزمایش دمای پایه (در شرایط تاریکی و نور بدون کاربرد اسید جیبرلیک) مشابه سال اول بود. کاربرد اسید جیبرلیک در شرایط نور و تاریکی باعث کاهش دمای پایه در مقایسه با تیمارهای مشابه در شرایط عدم کاربرد اسید جیبرلیک گردید. دمای مطلوب جوانه‌زنی در شرایط تاریکی و بدون کاربرد اسید جیبرلیک ۳۰/۷۹ درجه سانتی‌گراد بود. درصورتی‌که مصرف اسیدجیبرلیک در شرایط تاریکی باعث افزایش دامنه دمای مطلوب گردید. در این گونه مصرف اسید جیبرلیک در شرایط نور باعث کاهش دمای پایه گردید ولی روی دمای مطلوب اثری نداشت (جدول ۲).

در سال اول تغییرات سرعت جوانه‌زنی تاج‌خروس ریشه قرمز در شرایط روشنایی و تاریکی به ترتیب از مدل‌های دوتکه‌ای و دندان‌مانند تبعیت کردند (شکل ۳C1 و جدول ۲). هر دو تابع دمای پایه و سقف را تقریبا مشابه هم برآورد کردند. اما بر اساس توابع موردنظر، دمای مطلوب در شرایط نور، ۳۳ درجه سانتی‌گراد و در شرایط تاریکی در دامنه ۳۰ تا ۳۸/۶۸ درجه سانتی‌گراد برآورد گردید. در سال دوم آزمایش، کاربرد اسید جیبرلیک سبب کاهش قابل‌توجه دمای پایه گردید. نکته قابل‌توجه این بود که در سال دوم آزمایش نیز در شرایط نور و تاریکی و عدم کاربرد اسید جیبرلیک، دمای پایه مشابه بود (۱۶ درجه سانتی‌گراد). همچنین در شرایط نور و تاریکی و کاربرد اسید جیبرلیک نیز دمای پایه یکسان بود (۱۱ درجه سانتی‌گراد). این امر نشان می‌دهد که دمای پایه جوانه‌زنی این گیاه تحت تاثیر نور قرار نمی‌گیرد (نتایج سال اول نیز این امر را تایید می‌کند).

در سال اول آزمایش جهت برآورد دماهای کاردینال جوانه‌زنی تاج‌خروس سبز در شرایط حضور نور از مدل دوتکه‌ای استفاده شد. بر این اساس دمای پایه، مطلوب و سقف جوانه‌زنی این گیاه به ترتیب ۱۰/۰۳، ۲۹/۴۱ و ۴۵/۵۶ درجه سانتی‌گراد برآورد شد. به دلیل اینکه در شرایط تاریکی، در هیچ‌کدام از دماها حداقل ۵۰ درصد جوانه‌زنی رخ نداد، امکان برآورد دماهای کاردینال جوانه‌زنی در شرایط



شکل ۳. اثر دماهای ثابت بر سرعت جوانه‌زنی گونه‌های مختلف تاج‌خروس[تاج‌خروس سفید (*Amaranthus albus*): *A1* و *A2*، تاج‌خروس دورگ (*Amaranthus chlorostachys*): *B1* و *B2*، تاج‌خروس ریشه قرمز (*Amaranthus retroflexus*): *C1* و *C2* و تاج‌خروس سبزرنگ (*Amaranthus viridis*): *D1* و *D2*].

Figure 3. Effect of constant temperatures on germination rate of different species of *Amaranthus* [White pigweed (*Amaranthus albus*): A1 and A2; Smooth pigweed (*Amaranthus chlorostachys*): B1 and B2; Redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus*): C1 and C2; Green amaranth (*Amaranthus viridis*): D1 and D2].

جدول ۲. دماهای کاردینال جوانه‌زنی گونه‌های مختلف تاج‌خروس در تیمارهای مختلف نور و اسید جیبرلیک

Table 2. Cardinal germination temperatures of different species of *Amaranthus* in different treatments of light and Gibberellic acid

		سال اول First year		سال دوم Second year			
				تاریکی Dark		نور Light	
		تاریکی Dark	نور Light	بدون جیبرلیک اسید -GA	با جیبرلیک اسید +GA	بدون جیبرلیک اسید -GA	با جیبرلیک اسید +GA
تاج‌خروس سفید A. albus	Tb	16.36	12.53	15.49	10.34	11.36	5.90
	To	35.00	35.00	30.00	27.50-35.00	30.00-35.00	22.12-35.00
	Tc	44.77	44.39	38.75	-	-	-
تاج‌خروس دو رگ *A. chlorostachys*	Tb	14.70	15.15	15.82	9.58	15.04	10.21
	To	25.83	31.79	30.79	29.95-35.00	31.64-35.00	31.79-35.00
	Tc	45.33	44.31	38.50	-	-	-
تاج‌خروس ریشه قرمز *A. retrofelexus*	Tb	15.00	16.07	16.11	11.53	16.37	11.07
	To	29.29-38.68	32.99	31.56	-	31.21-35.00	31.21-35.00
	Tc	45.00	46.12	35.00	-	-	-
تاج‌خروس سبز *A. viridis*	Tb	**	10.03	15.66	10.00	11.80	11.33
	To	**	29.41	-	28.53	32.31-35.00	31.01-35.00
	Tc	**	45.56	-	45.13	-	-

***Tb: دمای پایه جوانه‌زنی؛ To: دمای مطلوب جوانه‌زنی؛ Tc: دمای سقف جوانه‌زنی**

**** در گونه تاج‌خروس سبز، جوانه‌زنی در سال اول آزمایش در شرایط تاریکی در هیچ‌کدام از دماها به ۵۰ درصد نرسید؛ بنابراین امکان برآورد دماهای کاردینال وجود نداشت.**

*Tb: based temperature of germination; To: Optimum temperature of germination; Tc: Ceiling temperature of germination

** In *A. viridis*, the germination percentage did not reach 50% at any of the temperatures under dark conditions in the first year of the experiment; therefore, it was not possible to estimate cardinal temperatures.

تاریکی وجود نداشت (شکل ۳D1). در سال دوم آزمایش در شرایط تاریکی به دلیل ماهیت داده‌ها، فقط دمای پایه معادل ۱۵/۶۶ درجه سانتی‌گراد برآورد گردید. کاربرد اسید جیبرلیک در شرایط تاریکی دمای پایه را تقریبا ۴ درجه سانتی‌گراد کاهش و به ۱۱/۸۰ درجه سانتی‌گراد رساند. در شرایط حضور نور کاربرد یا عدم کاربرد اسید جیبرلیک تاثیری بر دمای پایه جوانه‌زنی این گیاه نداشت. این نتیجه در مورد دمای مطلوب جوانه‌زنی نیز مصداق داشت (شکل ۳D2، جدول ۲).

درصد جوانه‌زنی گونه‌های مختلف تاج‌خروس در دوره پس‌رسی افزایش یافت؛ اگرچه زمان رسیدن به حداکثر درصد جوانه‌زنی در گونه‌های مختلف تا حدودی با هم متفاوت بود. به نحوی‌که حداکثر درصد جوانه‌زنی تاج‌خروس سفید در ۱۵۰ روز پس‌رسی به میزان ۱۰۰ درصد؛ تاج‌خروس دورگ در ۹۰ روز پس‌رسی به میزان ۷۸ درصد؛ تاج‌خروس رشه قرمز در ۱۸۰ روز پس‌رسی به میزان ۶۶ درصد؛ تاج‌خروس سبز در ۱۵۰ روز پس‌رسی به میزان ۷۹ درصد به ثبت رسید (شکل ۱). همچنین کاربرد اسید جیبرلیک سبب بهبود درصد جوانه‌زنی در همه دماها شد (شکل ۲). این دو امر نشان می‌دهد که بذرهای این گیاهان دارای کمون فیزیولوژیک هستند. کمون فیزیولوژیک به سه شکل غیر عمیق، متوسط و عمیق دیده می‌شود. نظر به اینکه بذرهای گونه‌های مختلف تاج‌خروس، به جیرلیک اسید واکنش نشان می‌دهند، می‌توان گفت که بذرهای این گیاه دارای کمون فیزیولوژیک غیرعمیق یا متوسط هستند و کمون آنها از نوع عمیق نمی‌باشد (زیرا در صورت وجود این نوع کمون، بذرها به اسید جیبرلیک واکنش نشان نمی‌دهد). در کمون فیزیولوژیک غیر عمیق بسته به گونه، استراتیفیکاسیون سرد یا گرم می‌تواند، کمون بذر را برطرف کند. علاوه بر این انبارداری در دمای اتاق نیز سبب پس‌رسی بذرها خواهند شد (Baskin and Baskin, 2004). این امر در نتیجه تحقیق حاضر نیز مشاهده شد و به این طریق وجود کمون فیزیولوژیک غیر عمیق در بذرهای تاج‌خروس

سفید، تاج‌خروس دو رگ، تاج‌خروس ریشه قرمز و تاج‌خروس سبز مورد تایید قرار گرفت.

کمون فیزیولوژیک غیرعمیق دارای شش نوع می‌باشد. در نوع اول، بذرها تنها در دمای پایین قادر به جوانه‌زنی هستند و با رفع کمون، دامنه دمایی جوانه‌زنی افزایش می‌یابد و به عبارت دیگر دمای سقف برای جوانه‌زنی افزایش می‌یابد. در نوع دوم، بذرها تنها در دمای بالا جوانه می‌زنند و با رفع کمون جوانه‌زنی بذرها تا دماهای پایین افزایش می‌یابد. در نوع سوم با رفع کمون جوانه‌زنی بذرها در دماهای پایین و بالا افزایش می‌یابد؛ به عبارت دیگر با رفع کمون، دمای پایه و سقف گسترش پیدا می‌کند. در نوع چهارم و پنجم بذرها در هیچ یک از دماها قادر به جوانه‌زنی نیستند؛ اما با رفع کمون نوع چهارم، بذرها تنها در دمای بالا و در نوع پنجم تنها در دمای پایین جوانه می‌زنند. در نوع ششم، بذرها در هیچ یک از دماها قادر به جوانه‌زنی نیستند، اما با رفع کمون، قادر به جوانه‌زنی در طیفی از دماها می‌باشند. نتایج نشان داد که در دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد در شرایط نور و تاریکی درصد جوانه‌زنی گونه‌های مختلف تاج‌خروس صفر یا بسیار کم بود؛ اما کاربرد جیبرلیک اسید باعث رخداد درصد جوانه‌زنی در دامنه وسیع‌تری از دماها شد. بنابراین می‌توان به این نتیجه رسید که کمون پنج گونه تاج‌خروس مورد بررسی از نوع فیزیولوژیک نمونه ۳ می‌باشد.

اسید جیبرلیک سبب بهبود درصد و سرعت جوانه‌زنی گونه‌های مختلف تاج‌خروس شد. این هورمون یکی از مهم‌ترین مواد تنظیم کننده رشد و جوانه‌زنی به شمار می‌آید. نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که سرمادهی مرطوب بذرهای تاج‌خروس در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سبب افزایش غلظت اسید جیبرلیک و کاهش غلظت اسید آبسزیک می‌گردد؛ بنابراین ممکن است کاهش کمون بذر برخی از گونه ها در اثر سرمادهی مرطوب یا دفن سطحی بذرها در خاک با تغییر در ABA/GA و تعادل اتیلن و یا حساسیت به این مواد تنظیم کننده رشد باشد (Kępczyński and Sznigir, 2014; Cadman *et al.*, 2006; Rodríguez-Gacio *et al*., 2009).

دما بر جوانه‌زنی گونه‌های مختلف تاج‌خروس اثرهای متفاوتی داشت. با افزایش دما به ۳۰ تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد، درصد جوانه‌زنی گونه های مختلف تاج‌خروس افزایش یافت. این امر به ماهیت گرمادوست بودن این گیاهان مرتبط است. در واقع بذرهای بالغ گیاهان گرمادوست در طول پاییز و زمستان در حالت کمون باقی می‌مانند، زیرا دمای هوا کمتر از حد لازم برای شروع جوانه‌زنی آنها است (Norsworthy and Oliveira, 2007). این گیاهان مانند اکثر گیاهان یک‌ساله تابستان، برای جوانه‌زنی به درجه حرارت بالا احتیاج دارند؛ به همین دلیل تا اواخر بهار تا تابستان در مزرعه جوانه نمی‌زنند. این امر توسط بسیاری از محققین مورد تایید قرار گرفته است (Norsworthy and Oliveira, 2007; Jha *et al.*, 2014; Faccini and Vitta, 2005).

گونه‌های مختلف آمارانتوس به نور پاسخ مثبت نشان دادند؛ اما میزان پاسخ هر یک از گونه‌ها، متفاوت بود. این مکانیسم تضمین کننده وقوع جوانه‌زنی در شکاف‌ها و یا نزدیک سطح خاک است، بنابراین از وقوع جوانه‌زنی کشنده گیاهچه در اعماق خاک جلوگیری می‌کند (Yang *et al.*, 2020). گونه‌های مختلف این جنس، بذرهای ریزی دارند و به دلیل محدود بودن دخایر کربوهیدراتی بذرهای آنها، جوانه‌زنی آنها از اعماق پایین‌تر خاک پرخطر است (Yang *et al.*, 2020; Webb *et al.*, 1987). در بسیاری از منابع که در آن به بررسی عمق دفن بر جوانه‌زنی گونه‌های مختلف تاج‌خروس پرداخته‌اند، گزارش شده است که با افزایش عمق دفن، درصد سبز شدن بذرهای گونه‌های مختلف تاج‌خروس کاهش می‌یابد و عمق مناسب جوانه‌زنی تاج‌خروس را ۰/۵ تا ۲ سانتی متر معرفی نموده‌اند (Thomas *et al.*, 2006; Chauhan and Johnson, 2009). در واقع نیاز به نور، نوعی مکانسیم عمق سنجی را در بذرهای ریز فراهم می‌کند و از جوانه‌زنی آنها از اعماق خاک جلوگیری می‌کند (Bicalho *et al.*, 2018). این بدان معناست که بذرهای دفن شده فقط پس از خاک‌ورزی و قرار گیری در سطح خاک قادر به جوانه‌زنی هستند (Benvenuti and Macchia, 1995; Cristaudo *et al.*, 2006). بنابراین به نظر می‌رسد استفاده از روش‌های بدون خاک‌ورزی باعث افزایش فراوانی این گونه‌ها می‌شود. در تایید این امر لئون و اون (Leon and Owen, 2006) دریافتند که فراوانی علف‌هرز تاج‌خروس ریشه قرمز (*A. retrofelexus*) در شرایط بدون خاک‌ورزی حداقل چهار برابر استفاده از گاوآهن برگردان دار و چیزل بود.

نتایج این تحقیق نشان داد که کارایی نور در جوانه‌زنی تحت تاثیر دما قرار می‌گیرد. به نحوی‌که در گونه تاج‌خروس

سفید، درصد جوانه زنی در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد در دو شرایط نور و تاریکی مشابه بود؛ حال آنکه در دمای ۲۵ و ۳۵ درجه این اتفاق رخ نداد و درصد جوانه زنی در شرایط حضور نور بیش از تاریکی بود. اگر چه جوانه‌زنی در دو گونه تاج‌خروس دورگ و تاج‌خروس ریشه قرمز در دماهای مختلف در شرایط نور بهتر از تاریکی بود؛ اما تفاوت بین این دو چشمگیر نبود. حال آنکه در گونه تاج‌خروس سبز تفاوت درصد جوانه‌زنی در دماهای مختلف در شرایط نور و تاریکی بسیار زیاد بود (شکل ۲). در تایید این امر بیکالهو و همکاران (Bicalho et al., 2018) نیز اظهار داشتند که تاثیر نور در جوانه‌زنی در دماهای مختلف، متفاوت بوده و حتی گونه‌های مختلف یک جنس نیز ممکن است واکنش‌های متفاوتی به نور در دماهای مختلف از خود نشان دهند. بروز واکنش‌های مثبت یا منفی به نور در دماهای مختلف در تحقیقات دیگر نیز گزارش شده است (Taylorson ؛ Felippe, 1980 ؛ Serrano-Bernardo *et al.*, and Hendricks, 1972 2007 ؛) همچنین به منظور حفظ بقا در شرایط نامطلوب محیطی، از جمله قرارگیری در معرض دماهای پایین، نیاز به نور از جوانه‌زنی بذرهایی که در اعماق کمتر خاک دفن شده‌اند، نیز جلوگیری می‌کند؛ البته این که چرا نور در شرایط دمای مطلوب باعث تحریک جوانه‌زنی این بذرها می‌شود به طور قطعی مشخص نیست (Aufhammer *et al.*, 1994; Cristaudo *et al.*, 2006). با این حال گفته می‌شود که جوانه‌زنی به نور توسط فیتوکروم‌ها و مواد تنظیم کننده رشد گیاهی به خصوص اسید جیبرلیک و اسید آبسزیک کنترل می‌شود (Finch-Savage and Leubner-Metzger 2006). در تایید این امر جاگاناتان و همکاران (Jaganathan *et al.*, 2015) اظهار داشت که نیاز به نوسانات نور و دما برای شکستن کمون برخی از گونه‌های آلپ نه تنها از جوانه‌زنی بذر از اعماق خاک در اواخر پاییز جلوگیری می‌کند، بلکه تضمین کننده وقوع جوانه‌زنی در بذرهای مستقر در سطح خاک در فصل بهار است. یافته‌های درکس و کارسن (Derkx and Karssen, 1993) نشان می‌دهد که نور باعث تحریک سنتز اسید جیبرلیک و همچنین پاسخ‌گویی به اسید جیبرلیک می‌شود؛ حساسیت به این ماده تنظیم کننده رشد نیز مستقیماً توسط دما کنترل می‌شود. آدهیکاریاند و تارایی (Adhikaryand and Tarai, 2013) اظهار داشتند که استفاده از اسید جیبرلیک می‌تواند جایگزین نیاز به نور برای جوانه‌زنی گونه‌های مختلف علف‌هرز زمستانه شود. ایشان دریافتند که حداکثر جوانه‌زنی در گونه‌های *Vicia sativa* ، *Chenopodium album* و *Physalis minima* در شرایط استفاده از اسید جیبرلیک به ترتیب در دماهای ۲۰، ۱۵ و ۲۰ درجه سانتی‌گراد رخ داد. بر خلاف ایشان، نتایج تحقیق تانگ و همکاران (Tang et al., 2012) نشان می‌دهد که مصرف جیبرلیک اسید به تنهایی نمی‌تواند منجر به بروز حداکثر درصد جوانه‌زنی در گونه‌های *Poa annua*, *Alopecurus aequalis* و *Stellaria aquatica* شود و وجود نور الزامی می‌باشد.

دماهای کاردینال جوانه زنی گونه‌های مختلف تاج‌خروس با هم متفاوت بودند (جدول ۲). به نظر می‌رسد تفاوت مشاهده شده، نوعی سازگاری با شرایط محیطی محلی است که گونه‌های مختلف در آن زندگی می‌کنند. این امر توسط محققان دیگری از جمله لودو و همکاران (Loddo *et al.*, 2017) نیز به اثبات رسیده است. کیو و همکاران (Qiu *et al.*, 2010) اظهار داشتند که بالا بودن دمای پایه و پایین بودن مقدار ترمال تایم در گونه‌های مستقر در عرض‌های جغرافیایی بالاتر یک مکانیسم سازگاری جهت بقا برای این گیاهان در این مناطق محسوب می‌شود. زیرا در این شرایط به دلیل بالا بودن دمای پایه، امکان جوانه‌زنی خیلی زود در ابتدای فصل و در نتیجه خطر از بین رفتن گیاهچه در اثر سرما منتفی می‌شود. از سوی دیگر به دلیل پایین بودن مقدار ترمال تایم، سرعت جوانه‌زنی افزایش یافته و به این ترتیب امکان استقرار این گیاهان در شرایط مساعد افزایش خواهد یافت. مونتی و تارکوایس (Monte and Tarquis, 1997) گزارش نمودند که در بین سه اکوتیپ تاجریزی سیاه (*Solanum nigrum*) جمع آوری شده از سه منطقه تنریف، ال‌مانگا و مادرید در کشور اسپانیا، دمای پایه اکوتیپ جمع آوری شده از منطقه مادرید بیشتر از دو اکوتیپ دیگر بود. نامبردگان دلیل این امر را به پایین‌تر بودن دما در فصول بهار و تابستان این منطقه نسبت دادند. از این‌رو بالاتر بودن دمای پایه این اکوتیپ مکانیسمی در جهت تضمین موفقیت فرآیند سبز شدن آن است.

نتایج حاکی از آن بود که اثر نور بر دمای کاردینال جوانه‌زنی در گونه‌های مختلف تاج‌خروس متفاوت بود. به نحوی‌که در گونه تاج‌خروس سفید، دمای پایه جوانه‌زنی در شرایط نور به طور قابل توجهی کمتر از شرایط تاریکی بود.

اما در دو گونه تاج‌خروس دورگ و تاج‌خروس ریشه قرمز دمای پایه تحت تاثیر نور قرار نگرفت. در این سه گونه مصرف جیبرلیک اسید در شرایط نور و تاریکی توانست دمای پایه را به میزان قابل توجهی کم کند، اگرچه این کاهش در گونه تاج‌خروس سفید چشمگیرتر بود. در تاج‌خروس سبز رنگ، روند متفاوتی دیده شد؛ به نحوی‌که مصرف جیبرلیک اسید در شرایط تاریکی باعث کاهش دمای پایه شد؛ ولی در شرایط روشنایی، تفاوتی بین تیمار مصرف و عدم مصرف جیبرلیک اسید دیده نشد. به طور کلی هر چهار گونه مورد بررسی، سرعت جوانه‌زنی در بذرهای سال دوم بیشتر از سال اول بود. همچنین سرعت جوانه‌زنی در شرایط حضور نور بیشتر از تاریکی بود. نتایج نشان داد که در سه گونه تاج‌خروس سفید، تاج‌خروس دو رگ و تاج‌خروس ریشه قرمز مصرف اسید جیبرلیک در شرایط حضور نور سبب بهبود سرعت جوانه‌زنی به خصوص در دماهای کمتر از ۲۵ درجه سانتی‌گراد شد. اما این نتیجه در تاج‌خروس سبز مشاهده نشد (جدول ۲). یانگ و همکاران (Yang *et al.*, 2020) در مطالعه خود به بررسی اثر عوامل مختلف از جمله دما، نور، جیبرلیک اسید بر جوانه‌زنی *Primula beesiana* پرداختند و دریافتند که در دماهای ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درجه سانتی گراد بیشترین درصد و سرعت جوانه‌زنی این گیاه رخ می‌دهد؛ همچنین نور و اسید جیبرلیک نیز در بهبود این شاخص ها بسیار موثرند. نامبردگان اظهار داشتند که چنین واکنش‌هایی به نور و دما مکانیسم‌های جالبی هستند که سبب می‌شود، جوانه‌زنی این گیاه فقط در بهار و در نزدیکی سطح خاک رخ دهد و از مرگ گیاهچه آن در اثر سرمای زمستان و یا جوانه زنی در اعماق خاک جلوگیری کند. افزایش سرعت جوانه‌زنی و همچنین کاهش دمای پایه جوانه‌زنی ممکن است سبب جوانه‌زنی بذر بعضی از گونه‌های تاج‌خروس قبل از فصل بهار شود. جوانه‌زنی کم اما ناچیز، به ویژه در دماهای پایین، از نظر زیستی بسیار مهم است؛ زیرا ممکن است جمعیت کم اما قابل توجهی از علف‌های هرز در مزرعه ظاهر شوند و در ادامه سبب بروز مشکلات برای کشاورزان شوند و کشاورزان را به فکر چاره‌ای برای کنترل آنها اندازد؛ زیرا حتی یک گیاه اگر کنترل نشود، می‌تواند بذر کافی را به بانک بذر خاک اضافه کند که روزی مشکل علف‌های هرز را ایجاد می‌کند (Steckel *et al.*, 2004).

نتیجه گیری کلی

به‌دلیل بروز مشکلات زیست محیطی ناشی از مصرف بی رویه آفت‌کش‌ها، مطمئنا در آینده فشارهایی برای کاهش مصرف نهاده‌ها اعمال خواهد شد. از این‌رو توجه محققان به توسعه راهبردهای کنترل پایدارتر علف‌های هرز ضروری است. دستیابی به این هدف وابسته به دانش بهتر علم زیست شناسی علف‌های هرز و چگونگی تاثیر عوامل محیطی بر رفتارهای علف‌هرز است. با توجه به افزایش درصد جوانه‌زنی گونه‌های مختلف تاج‌خروس در دوره پس‌رسی و همچنین بهبود جوانه‌زنی در شرایط استفاده از اسید جیبرلیک می‌توان گفت که کمون چهار گونه تاج‌خروس مورد بررسی در این آزمایش از نوع فیزیولوژیک نوع سوم می‌باشد. این خصوصیت در مورد گیاهی مانند تاج‌خروس که ماهیت گرمادوستی دارد؛ مانع از جوانه‌زنی بذرهای بالغ تاج‌خروس در طول پاییز و زمستان خواهد شد و به بقای این گیاه کمک شایانی خواهد کرد. گونه‌های مختلف آمارانتوس به نور پاسخ مثبت نشان دادند؛ اگرچه کارایی نور در جوانه‌زنی تحت تاثیر دما در گونه‌های مختلف تاج‌خروس متفاوت بود. بذرهای این گیاه بسیار ریز بوده و این مکانیسم تضمین کننده وقوع جوانه‌زنی در لایه‌های سطحی خاک و جلوگیری از جوانه‌زنی کشنده گیاهچه در اعماق خاک می‌گردد. بنابراین به‌نظر می‌رسد ترویج روش‌های بدون شخم منجر به افزایش آلودگی مزارع به گونه‌های مختلف تاج‌خروس خواهد شد. بنابراین می‌توان گفت مشاهده چنین واکنش‌هایی به نور و دما در گونه‌های مختلف تاج‌خروس، تضمین کننده جوانه‌زنی این گیاه فقط در بهار و در نزدیکی سطح خاک بوده و از مرگ گیاهچه آن در اثر سرمای زمستان و یا جوانه‌زنی در اعماق خاک جلوگیری کند. همچنین افزایش سرعت جوانه‌زنی و همچنین کاهش دمای پایه جوانه‌زنی ممکن است سبب جوانه‌زنی بذر بعضی از گونه‌های تاج‌خروس قبل از فصل بهار شود. جوانه‌زنی کم، به ویژه در دماهای پایین، از نظر زیستی بسیار مهم است؛ زیرا ممکن است جمعیت کم اما قابل توجهی از علف‌های هرز در مزرعه ظاهر شوند و در ادامه سبب بروز مشکلات برای کشاورزان شوند.

تشکر و قدردانی

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند مراتب تشکر و قدردانی خود را از مسئولین محترم دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان ابراز نمایند.

منابع

Adhikaryand, P. and Tarai, P. 2013. Effects of temperature and gibberellic acid (GA3) on seed germination of *Vicia sativa*, *Chenopodium album* and *Physalis minima*. International Journal of Agriculture, Environment & Biotechnology Citation, 6(4): 571-574. **(Journal)** doi:10.5958/j.2230-732X.6.4.042.

Aguyoh, J.N. and Masiunas, J.B. 2003. Interference of redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus*) with snap beans. Weed Science, 51: 202–207. **(Journal)** doi: 10.1614/0043-1745(2003)051[0202: IORPAR]2.0.CO;2

Akbari Gelevardi, A., Siahmarguee, A., Ghaderi-Far, F., Gherekhloo, J. 2021. The effect of environmental and management factors on seed germination and seedling emergence of Asian spiderflower (*Cleome viscosa* L.). Weed Research, 61(5), 350-359. **(Journal)** doi:10.1111/wre.12493

Assad, R., Reshi, Z.A., Jan, S., Rashid, I. 2017. Biology of *Amaranths*. The Botanical Review, 83(4):382-436. **(Journal)** doi: 10.1007/s12229-017-9194-1

Aufhammer, W., Kaul, H.P., Kruse, M., Lee, J.H. and Schwesig, D. 1994. Effects of sowing depth and soil conditions on emergence of amaranth and quinoa. European Journal of Agronomy, 3: 205–210. **(Journal)** doi:10.1626/jcs.84.17ISBN: 0011-1848

Azadi, R. 2013. *Amaranthus* species in Iran and their utility values. 3th National Conference on Medicinal Plants, Amol, Iran. (In Persian)(**Conference**)

Baskin, J.M. and Baskin, C.C. 2004. A classification system for seed dormancy. Seed Science Research, 14(1):1-16. **(Journal)** doi: 10.1079/SSR2003150

Benvenuti, S. and Macchia, M. 1995. Hypoxia effect on buried weed seed germination. Weed Research, 35: 343-351. **(Journal)** doi:10.1111/j.1365-3180.1995.tb01629.x

Bewley, J.D. and Black, M. 1994. Seeds: Physiology of Development and Germination. 2nd Ed. New York: Plennum. Pp. 273-290. (**Book**)

Bicalho, E.M., Soares-da-Mota, L.A. and Garcia, Q.S. 2018. Temperature and light requirements for germination of species of Velloziaceae from diff erent Brazilian rocky outcrops. Acta Botanica Brasilica, 32(2): 240-246. **(Journal)** doi: 10.1590/0102-33062017abb0310

Budin, J.T., Breen, W.M. and Patnum, D.H. 1996. Some compositional properties of seeds and oils of eight Amaranthus species. Journal of the American Oil Chemists' Society, 73: 475–481. **(Journal)** doi: 10.1007/BF02523922

Cadman, C.S.C., Toorop, P.E., Hilhorst, H.W.M. and Finch-Savage, W.E. 2006. Gene expression profiles of Arabidopsis cvi seeds during dormancy cycling indicate a common underlying dormancy control mechanism. The Plant Journal, 46: 805–822. **(Journal)** doi: 10.1111/j.1365-313X.2006.02738.x.

Chauhan, B.S. and Johnson, D.E. 2009. Germination ecology of spiny (*Amaranthus spinosus*) and slender amaranth (A. viridis): troublesome weeds of direct-seeded rice. Weed Science, 57:379–85. **(Journal)** doi:10.1614/WS-08-179.1

Christenhusz, M.J.M. and Byng, J.W. 2016. The number of known plants species in the world and its annual increase. Phytotaxa Magnolia Press. 261(3): 201–217. **(Journal)** doi:10.11646/phytotaxa.261.3.1

Costea, F.J. and Tardif, M. 2003. The biology of Canadian weeds. 126. *Amaranthus albus* L., *A. blitoides* S. Watson and *A. blitum* L. Canadian Journal of Plant Science, 83(4): 1039-1066. **(Journal)** doi:10.4141/P02-056

Cristaudo, A., Gresta, F., Luciani, F. and Restuccia, A. 2006. Effects of after-harvest period and environmental factors on seed dormancy of Amaranthus species. Weed Research, 47: 327–334. **(Journal)** doi:10.1111/j.1365-3180.2007.00574.x

Das, S. 2016. *Amaranths*: The Crop of Great Prospect. In *Amaranthus*: A Promising Crop of Future (pp. 13– 48). Springer Singapore. (**Book**)

Deihimfard, R., Nazari, Sh. and Aboutalbian, M.A. 2016. Modelling germination pattern of two Pigweed ecotypes in response to temperature. Iranian Plant Protection Research, 30(2): 328-336. (In Persian)(**Journal**) doi:10.22067/JPP.V30I2.46562

Derkx, M.P.M. and Karssen, C.M. 1993. Effects of light and temperature on seed dormancy and gibberellin-stimulated germination in *Arabidopsis thaliana*: studies with gibbereilin-deficient and -

insensitive mutants. Physiologia Plantarum, 89: 360-368. **(Journal)** doi:10.1111/j.1399-3054.1993.tb00167.x

Diayanat, M. 2018. Effect of temperature and drought stress on germination of slender Amaranth (*Amaranthus viridis* L.) and Prostrate Pigweed (*Amaranthus blitoides* S. Watson) seeds. Iranian Plant Protection Research, 31(4): 690-699. (In Persian) (**Journal**) doi:10.22067/JPP.V31I4.61569

Donazzolo, J., Possenti, J.C., Guollo, K., Moeses Andrigo Danner, M.D. and Belle, I.C. 2017. Germination of *Amaranth* seeds under influence of light, substrate and temperature. Revista de Ciências Agroveterinárias, Lages, 16(2):190-194. **(Journal)** doi:10.1111/j.1365-2621.1989.tb04702.x

Ebrahimi, E. and Eslami, S.V. 2012. Effect of environmental factors on seed germination and seedling emergence of invasive Ceratocarpus arenarius. Weed Research, (52)1: 50–59. **(Journal)** doi:10.1111/j.1365-3180.2011.00896.x

Egley, G.H. 1989. Some effects of nitrate-treated soil upon the sensitivity of buried redroot pigweed (*A. retroflexus* L.) seeds to ethylene, temperature, light and carbon dioxide. Plant Cell and Environment, 12: 581–588. **(Journal)** doi:10.1111/J.1365-3040.1989.TB02131.X

Enayati, V., Esfandiari, E., Pourmohammad, A., Haj Mohammadnia Ghalibaf, K. 2019. Evaluation of different methods in seed dormancy breaking and germination of redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus*). Iranian Journal of Seed Research, 5(2): 129-137. (In Persian) **(Journal)** doi:10.29252/yujs.5.2.129

Faccini, D. and Vitta, J.I. 2005. Germination characteristics of A. quitensis as affected by seed production date and duration of burial. Weed Research, 45: 371–378. **(Journal)** doi: 10.1111/j.1365-3180.2005.00469.x

Felippe, G.M. 1980. Germination of light-sensitive seeds of *Cucumis anguria* and *Rumex obtusifolius*: Effects of temperature. New Phytologist, 84: 439-448. **(Journal)** doi:10.1111/j.1469-8137.1980.tb04551.x

Finch-Savage W.E. and Leubner-Metzger G. 2006. Seed dormancy and the control of germination. New Phytologist, 171: 501-523. **(Journal)** doi:10.1111/j.1469-8137.2006.01787.x

Ghaderi-Far, F., Azimmohsen, M., Bagheri, S.H.R. 2024. Evaluation of the generalized linear model to the germination percentage data and its c omparison with the square root transformation. Iranian Journal of Seed Research, 2024, 10(2): 37-48. doi: 10.61186/yujs.10.2.37

Heap, I. 2024. The International Survey of Herbicide Resistant Weeds. Online. Internet. Wednesday, December 25, Available at www.weedscience.org.

Holm, L.G., Plucknett, D.L., Pancho, J.V., Herberger, J.P. 1977. The World's Worst Weeds. Distribution and Biology. Honolulu, Hawaii, USA: University Press of Hawaii. **(Book)**

Jaganathan, G.K., Dalrymple, S.E. and Liu, B. 2015. Towards an understanding of factors controlling seed bank composition and longevity in the alpine environment. The Botanical Review, 81: 70-103. **(Journal)** doi:10.1007/s12229-014-9150-2

Jha, P., Norsworthy, J.K. and Garcia, J. 2014. Depletion of an artificial seed bank of Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) over four years of burial. American Journal of Plant Sciences, 5: 1599–1606. **(Journal)** doi:10.4236/ajps.2014.511173

Jha, P., Norsworthy, J.K., Riley, M.B. and Bridges, W. 2010. Annual changes in temperature and light requirements for germination of Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) seeds retrieved from soil. Weed Science, 58: 426–32. **(Journal)** doi:10.1614/WS-D-09-00038.1

Kepczynski, J. and Sznigir. P. 2014. Participation of GA3, ethylene, NO and HCN in germination of *Amaranthus retroflexus* L. seeds with various dormancy levels. Acta Physiologiae Plantarum, 36:1463–1472. **(Journal)** doi: 10.1007/s11738-014-1524-x

Khan, A.M., Mobli, A., Werth, J.A. and Chauhan, B.S. 2022. Germination and seed persistence of *Amaranthus retroflexus* and *Amaranthus viridis*: Two emerging weeds in Australian cotton and other summer crops. PLoS ONE, 17(2): e0263798. **(Journal)** doi:10.1371/journal.pone.0263798

Leon, R.G. and Owen, M.D.K. 2006. Tillage systems and seed dormancy effects on common waterhemp (*Amaranthus tuberculatus*) seedling emergence. Weed Science, 54(6):1037-1044. **(Journal)** doi:10.1614/WS-06-009.1

Loddo, D., Ghaderi-Far, F., Rastegar, Z., and Masin R. 2017. Base temperatures for germination of selected weed species in Iran. Plant Protectection Science, 53. 1-7. **(Journal)** doi:10.17221/92/2016-PPS

Massinga, R.A. Currie., R.S., Horak, M.J. and Boyer, J. 2001. Interference of palmer amaranth in corn. Weed Science, 49: 202–208. **(Journal)** doi: 10.1614/0043-1745(2001)049[0202:IOPAIC]2.0.CO;2

Milberg, P., Andersson, L., and Noronha, A., 1996. Seed germination after short–duration light exposure: implications for the photo-control of weeds. Journal of Applied Ecology, 33: 1469-1478. **(Journal)** doi:10.1046/j.1365-3180.1997.d01-16.x

Monte, J.P. and Tarquis, A.M. 1997. The role of temperature in the seed germination of two species of the *Solanum nigrum* complex. Journal of Experimental Botany, 48(3): 2087-2093. **(Journal)** doi:10.1093/jxb/48.12.2087

Natural Resources Conservation Service PLANTS Database. USDA. Retrieved 7 January 2016.

Norsworthy, J.K. and Oliveira, M.J. 2007. Light and temperature requirements for Common Cocklebur (*Xanthium strumarium*) germination during after-ripening under field conditions. Weed Science, 55:227–234. **(Journal)** doi: 10.1614/WS-06-184

Qiu J., Bai Y., Fu Y.B., and Wilmshurst J.F. 2010. Spatial variation in temperature thresholds during seed germination of remnant Festuca hallii populations across the Canadian prairie. Environmental and Experimental Botany, 67: 479–486. **(Journal)** doi:10.1016/j.envexpbot.2009.09.002

Randall, R.P. 2007. The global compendium of weeds (http://www.hear.org/gcw/). AgWest and the Hawaiian Ecosystems at Risk (HEAR) project.

Rodríguez-Gacio, M.C., Matilla-Vázquez, M.A. and Matilla, A.J. 2009. Seed dormancy and ABA signaling: the breakthrough goes on. Plant Signaling and Behavior, 4: 1035–1049. **(Journal) doi: 10.4161/psb.4.11.9902**

Sellers, B.A., Smeda, R.J., Johnson, W.G. and Ellersiek, M.R. 2003. Comparative growth of six *Amaranthus* species in Missouri. Weed Science, 51(3): 329-334. **(Journal)** doi: 10.1614/0043-1745(2003)051[0329:CGOSAS]2.0.CO;2

Serrano-Bernardo, F., Rosùa, J. and Díaz-Miguel, M. 2007. Light and temperature effects on seed germination of four native species of Mediterranean high mountains (Spain). Phyton-International Journal of Experimental Botany, 76(1):27-38. **(Journal)** doi:10.32604/phyton.2007.76.027

Singh, G. and Kumar, J. 2019. Studies on underutilized weeds of family *Amaranthaceae* used as edibles by the Munda tribe of Jharkhand, India. Annals of Plant Sciences, 8(2):3495-3498. **(Journal)** doi:10.21746/aps.2018.8.2.1

Soltani, A., Galeshi, S., Zenali, E., and Latifi, N., 2002. Germination seed reserve utilization and growth of chickpea as affected by salinity and seed size. Seed Science and Technology, 30(1):51-60. **(Journal)**

Soltani, E., Ghaderi-Far, F., Baskin, C.C. and Baskin, J.M. 2015. Problems with using mean germination time to calculate rate of seed germination. Australian Journal of Botany, 63, 631-635. **(Journal)** doi: 10.1071/BT15133

Steckel, L.E., Sprague, C.L., Stoller, E.W. and Wax, L.M. 2004. Temperature effects on germination of nine Amaranthus species. Weed Science, 52: 217–221. **(Journal)** doi: 10.1614/WS-03-012R

Tang, D.S., Hamayun, M., Khan, A.L., Jan, A., Nawaz, Y., Irshad, M., Na, Y.E. and Lee, I.J. 2012. Exposure to red light, temperature and exogenous gibberellins influenced germination of some winter weeds. African Journal of Biotechnology, 11(2): 273-279. **(Journal)** doi:10.5897/AJB11.2272

Taylorson, R.B. and Hendricks, S.B. 1972. Interactions of light and a temperature shift on seed germination. Plant Physiology, 49(2):127-130. **(Journal)** doi: 10.1104/pp.49.2.127

Telewski, F.W. and Zeevaart, J.A.D. 2002. The 120-years period for Dr. Beal's seed viability experiment. American journal of Botany, 89: 264–270. **(Journal)** doi:10.3732/ajb.89.8.1285

Thomas, W.E., Burke, I.C., Spears, J.F., Wilcut, J.W. 2006. Influence of environmental factors on slender amaranth (*Amaranthus viridis*) germination. Weed Science, 54:316–20. **(Journal)** doi:10.1614/WS-05-54.2.316

Tolloo Hafezian Awal, M., Ghaderi-Far, F., Sadeghipour, H., Siamarguee, A., Fadaee, F., Torab, B. 2019. Determination of seed dormancy of *Silybum marianum* L. Gaertn. seeds: Effects of afterripening and gibberellic acid treatments at different temperatures. Crop Production, 12(2):171-186. **(Journal)** doi: 10.22069/EJCP.2019.16404.2222

USDA, NRCS. 2010. The plants database (http://plants.usda.gov). National plant data center, Baton Rouge: 70,874–4490.

Waselkov, K., Boleda, A.S. and Olsen, K.M. 2018. A phylogeny of the genus *Amaranthus* (Amaranthaceae), based on several low-copy nuclear loci and chloroplast regions. Systematic Botany, 43(2): 439-458. **(Journal)** do: 10.1600/036364418X697193

Weaver, S.E. and McWilliams, E.L. 1980. The biology of Canadian weeds. 44. *Amaranthus retroflexus* L., *Amaranthus powelli* S.Wats and *Amaranthus hybridus* L. Canadian Journal of Plant Science, 60: 1215–1234. **(Journal)** doi: 10.4141/cjps80-175

Webb, D.M., Smith, D.W. and Schulz-Schaffer, J. 1987. *Amaranth* seedling emergence as affected by seedling depth and temperature on a thermogradient plate. Agronomy Journal, 79: 23–26. **(Journal)** doi: 10.1016/S1161-0301(14)80084-1

Yang, L.E., Peng,s D.L., Li, Z.M., Huang, L., Yang, J., and Sun, H. 2020. Cold stratification, temperature, light, GA3, and KNO3 effects on seed germination of Primula beesiana from Yunnan, China. Plant Diversity, 42(3): 168-173**(Journal)** doi:10.1016/j.pld.2020.01.003

Germination response of some *Amaranthus* species to temperature and light

Ladan Zinati[1], Asieh Siahmarguee[2*], Farshid Ghaderi-Far[3], Masoomeh Yones-Abadi[4], Bhagirath Singh Chauhan[5]

Received: December 8, 2024 Accepted: January 20, 2025

Abstract

This experiment was conducted to investigate the effects of constant temperatures and light on seed germination of white pigweed (*Amaranthus albus*), smooth pigweed (*Amaranthus chlorostachys*), redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus*), and green amaranth (*Amaranthus viridis*) in 2018 and 2019 at Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. In the first year, germination of different species of *Amaranthus* were studied monthly over a 12-month after-ripening period. In the fifth month of after-ripening, seed germination of different *Amaranthus* species was studied at temperatures of 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, and 45 °C under light and darkness conditions. In the second year, seed germination of the mentioned species was investigated at temperatures of 10, 15, 20, 25, 30 and 35 °C in four conditions: light with gibberellic acid, light without gibberellic acid, darkness with gibberellic acid and darkness without gibberellic acid. The germination percentage of different species of *Amaranthus* increased during the after-ripening period; although the process were varied in different species. The application of gibberellic acid also improved germination. Therefore, seed dormancy of the mentioned species is non deep physiologically. Germination percentage of different species of *Amaranthus* increased in temperatures of 30-35 °C, and gibberellic acid also improved their germination percentage and rate. Also, the use of gibberellic acid reduced base temperature of germination. Such responses to light and temperature ensure the germination of these plants in spring and on the soil surface. A decrease in the base temperature of germination may also cause the germination of some species of *Amaranthus* before spring. Low germination percentages, especially at low temperatures, are biologically important because small but significant populations of weeds may appear in the field and cause problems for farmers.

Keywords: After-ripening; Cardinal germination temperatures; Germination rate; Gibberellic acid; Physiological dormancy; Segmented model

How to cite this article
Zinati, L., Siahmarguee, A., Ghaderi-Far, F., Yones-Abadi, M. and Singh Chauhan, B. 2024. Germination response of some *Amaranthus* species to temperature and light. Iranian Journal of Seed Science and Research, 11(3): 1-19. (In Persian)**(Journal)**
DOI: 10.22124/jms.2024.8789

COPYRIGHTS
Copyrights for this article are retained by the author(s) with publishing rights granted to the Iranian Journal of Seed Science and Research
The content of this article is distributed under Iranian Journal of Seed Science and Research open access policy and the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY4.0) License. For more information, please visit http://jms.guilan.ac.ir/

1. MSc student of Weed Science, Department of Agronomy, Faculty of Crop Protection, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. ladanzinati2014@gmail.com
2. Associate Professor, Department of Agronomy, Faculty of Crop Protection, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. Siahmarguee@gau.ac.ir
3. Professor, Department of Agronomy, Faculty of Crop Protection, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. farshidghaderifar@yahoo.con
4. Associate Professor, Department of Plant Protection Research, Golestan Agricultural and Natural Recourses Research and Education Center, Organization of Agricultural Research, Education and Extension, Gorgan, Iran. myounesabadi@yahoo.com
5. Queensland Alliance for Agriculture and Food Innovation (QAAFI), University of Queensland, Toowoomba, Queensland, Australia. b.chauhan@uq.edu.au
*Corresponding author: Siahmarguee@gau.ac.ir