نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی
جلد بیست و هفتم، شماره چهارم، ۱۳۹۹
۲۲۷-۲٤۰
http://jopp.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jopp.2020.17448.2607

تغییرات کیفیت بذر و جوانه‌زنی برخی اکوتیپ‌های سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) در دوره نمو و رسیدگی

محدثه کیانی[۱]، ایرج اله‌دادی[۲]، *الیاس سلطانی[۳] و فاطمه بناکاشانی[۴]

[۱]دانشجوی دکتری زراعت گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، پاکدشت، ایران،
[۲]استاد گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، پاکدشت، ایران،
[۳]دانشیار گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، پاکدشت، ایران،
[٤]استادیار گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، پاکدشت، ایران
تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۹/۲٦؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۱/۲۹

چکیده

سابقه و هدف: مطالعات اندکی در زمینه نمو بذر در گیاهان دارویی صورت گرفته است، ولی روی سیاهدانه تاکنون هیچ گزارشی در زمینه نمو بذر وجود ندارد. بنابراین، هدف از پژوهش حاضر بررسی صفات کیفی بذر شامل زمان تا رسیدگی وزنی و رسیدگی فیزیولوژیک، تغییرات جوانه‌زنی و خفتگی بذر در ١٤ اکوتیپ مختلف سیاهدانه بود.

مواد و روش‌ها: آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی طی دو سال زراعی ۱۳۹٦-۱۳۹۷ و ۱۳۹۷-۱۳۹۸ در ۳ تکرار و ۷ زمان برداشت در دانشکده کشاورزی ابوریحان اجرا گردید. تیمارهای مورد آزمایش شامل ١٤ اکوتیپ بومی سیاهدانه (از سرتاسر کشور)، دمای جوانه‌زنی و زمان پس از گلدهی در طول نمو بذر روی بوته مادری بود. صفات مورد بررسی شامل وزن بذر و درصد رطوبت آن و نیز درصد جوانه‌زنی بذر در طول نمو بود. جهت تست جوانه‌زنی، آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد که تیمارها شامل دماهای مختلف و ١٤ اکوتیپ سیاهدانه با ۳ تکرار انجام شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که میزان رطوبت در طول نمو روی بوته مادری روند کاهشی داشت که در اولین نمونه‌گیری بالاترین درصد رطوبت در اکوتیپ اراک مشاهده شد و تا زمان برداشت روند کاهشی داشت. در زمان رسیدگی کامل، میزان رطوبت بذر در تمام اکوتیپ‌ها کم‌تر از ۱۸ درصد بود. اکوتیپ‌های زابل ۱، بجستان، سرایان و اشکذر، برای رسیدن به وزن حداکثری بذر خود، به کم‌ترین زمان پس از گلدهی نیاز دارند، در نتیجه برای مناطق با فصل رشد کوتاه این اکوتیپ‌ها پیشنهاد می‌شوند. اکوتیپ خاف با ۲/۳ میلی‌گرم وزن تک بذر بیش‌ترین وزن و اکوتیپ همدان با ۰/۰۷۲ میلی‌گرم افزایش وزن در روز، بالاترین سرعت پر شدن بذر را دارا بودند. در اکوتیپ‌های تفرش، زابل ۲، اقلید، سمیرم، اراک، همدان، رزن، گردمیران جوانه‌زنی در طول نمو از ۲۰ روز پس از گلدهی آغاز و تا پایان رسیدگی کامل روند افزایشی را دارا بود. در اکوتیپ‌هایی مانند اصفهان، اشکذر، زابل ۱، سرایان، خواف، از ۲۰ روز پس از گلدهی جوانه‌زنی آغاز و تا ۳۰ روز پس از گلدهی روند افزایشی در درصد جوانه‌زنی وجود داشت، ولی بعد از این زمان درصد جوانه‌زنی کاهش یافت و تا زمان رسیدگی کامل به صفر رسید که در واقع خفتگی اولیه به بذرها القاء شد.

* مسئول مکاتبه: elias.soltani@ut.ac.ir

نتیجه‌گیری: بنابراین، چنان‌چه هدف کشت بذر در مزرعه بلافاصله پس از رسیدگی باشد، اکوتیپ‌های تفرش، زابل ۲، اقلید، سمیرم، اراک، همدان، رزن، گردمیران مناسب هستند. در بررسی دما نیز مشاهده شد که بالاترین درصد جوانه‌زنی برای همه اکوتیپ‌ها در دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد و با افزایش دما جوانه‌زنی آن‌ها کاهش یافت و در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد به صفر رسید. اکوتیپ‌های همدان، سمیرم، زابل۱، تفرش، گردمیران دارای بیش‌ترین درصد جوانه‌زنی در دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد در بین اکوتیپ‌های مورد آزمایش بوده‌اند. بنابراین، خفتگی در سیاهدانه به احتمال زیاد از نوع فیزیولوژیک سطحی نوع ۱ است.

واژه‌های کلیدی: جوانه‌زنی، خفتگی، سرعت پر شدن بذر، سیاهدانه، نمو بذر

مقدمه

گیاه سیاهدانه[1] از خانواده آلالگان (Ranunculaceae) دارای گل‌های منظم و دو جنسی، مادگی مرکب و چند برچه‌ای می‌باشد. گیاهی است با گل‌های سفید یا آبی کمرنگ تا آبی پررنگ دارای دانه‌های سفید شیری رنگ که در تماس با هوا سیاه رنگ می‌شوند (٤٣) این گیاه بومی جنوب اروپا، آفریقای شمالی و جنوب غرب آسیا است. این گیاه به‌عنوان درمان طبیعی برای بیماری‌هایی مانند آسم، التهاب، دیابت، تومور، اختلالات دستگاه گوارش، فشارخون بالا و اختلالات هورمونی در زنان مصرف شده است. وجود کوئینون در ترکیبات دانه سیاهدانه به آن خواص دارویی از جمله برونشیت، دیابت، فشار خون، روماتیسم و آنفولانزا را بخشیده است (۲۳). علاوه بر این روغن این گیاه نیز دارای خواص درمانی می‌باشد (٤٤).

یکی از عوامل بقای بذر طی سالیان طولانی، وجود خفتگی در بذور است که موجب می‌شود بذر به حالت زنده تا مساعد شدن شرایط داخلی و خارجی زنده بماند، این عوامل شامل هورمون‌ها، دما، رطوبت، نور و شرایط مکانیکی هستند که می‌تواند موجب القا و یا رفع کمون شوند (٦). از جمله عوامل مؤثر در جوانه‌زنی و عدم جوانه‌زنی، خفتگی شرطی می‌باشد. خفتگی شرطی[2](CD)، نوعی از حالت بین خفتگی و عدم خفتگی است که بذر در دامنه محدودی از شرایط محیطی قادر به جوانه‌زنی است (۵، ۷، ۸، ۱۰، ۱۷ و ٢٤). خفتگی فیزیولوژیک سطحی، شامل ٦ نوع مختلف است. در خفتگی نوع ۱، جوانه‌زنی در ابتدا تنها در دمای پایین امکان‌پذیر بوده و با گذشت زمان، در دماهای دیگر نیز جوانه‌زنی اتفاق می‌افتد. در نوع ۲، در ابتدا در دماهای بالا جوانه‌زنی وجود داشته و به مرور زمان جوانه‌زنی در دامنه وسیع‌تری انجام می‌شود. در نوع ۳، جوانه‌زنی در دمای متوسط رخ داده و پس از مدتی در بازه وسیع‌تری از دماها صورت می‌گیرد (٤٩). این سه نوع دارای خفتگی شرطی هستند و انواع ٤، ٥ و ٦ فقط وقتی به‌طور کامل از خفتگی خارج شدند، به‌ترتیب قادر به جوانه‌زنی در دماهای پایین، بالا و متوسط هستند (٤٩).

گزارش‌های متفاوتی در مورد زمان رسیدگی فیزیولوژیک بیان شده است. برای مثال برخی از پژوهشگران (۳۱، ۳٦ و ٤٠) حداکثر کیفیت بذر را هم‌زمان با رسیدگی فیزیولوژیک یا قبل از آن بیان کرده‌اند که بسیاری از بذور پس از این مرحله تجمع ذخایر خاصی را در خود دارند و موجب تغییر در کیفیت بذر می‌شود. در پژوهشی دیگر، حداکثر کیفیت بذر در جو بهاره را تا ٤ هفته بعد از رسیدگی فیزیولوژیکی اعلام کرده‌اند (۱۲). به گزارش خان (۱۹۷۱) برخی تغییرات فیزیولوژیکی از جمله تغییرات هورمونی پس از رسیدگی فیزیولوژیکی می‌تواند کیفیت بذر را تحت‌تأثیر قرار دهد. برخی نیز

1- *Nigella sativa* L.
2- Conditional dormancy

بر این باورند که حداکثر کیفیت بذر گیاهانی مانند گندم زمستانه پیش از رسیدگی فیزیولوژیکی رخ می‌دهد (٤١). زمانی که کیفیت فیزیولوژیک بذر در حداکثر خود باشد، زمان مناسب برداشت است (٣). رسیدگی فیزیولوژیک یک ویژگی ژنتیکی است که از عوامل محیطی نیز تأثیر می‌گیرد (١ و ٣٧) اصطلاح رسیدگی فیزیولوژیک در ابتدا به‌عنوان وقوع حداکثر ماده خشک در بذر در حال نمو تعریف شد. پس از آن حداکثر جوانه‌زنی را معادل رسیدگی فیزیولوژیک و نیز هم‌زمان با حداکثر وزن بذر بیان کردند (١٦، ١٨ و ٢١). اما، در انتها آن را معادل حداکثر جوانه‌زنی بذر مطرح کردند و برای تفکیک از حداکثر وزن بذر، برای حداکثر وزن اصطلاح رسیدگی وزنی را پیشنهاد کردند (٢٠ و ٣٣). در پژوهشی که روی ذرت در منطقه کرج انجام شد، رسیدگی فیزیولوژیک (حداکثر کیفیت بذر) پیش از رسیدگی وزنی رخ داد (٣٥ و ٤٢). اما، در مطالعه‌ای که روی ٤ رقم کنجد انجام شد، رسیدگی فیزیولوژیک (حداکثر کیفیت بذر) چند روز پس از رسیدگی وزنی رخ داد (٤). در بررسی روابط بین اندازه بذر، رسیدگی و عوامل محیطی با پتانسیل فیزیولوژیکی بذر، همبستگی مثبتی وجود داشت که پارامترهای مربوط به بلوغ بذر و روابط آن با جوانه‌زنی را تحت‌تأثیر قرار داد (٣٨). در پژوهشی که توسط قادری‌فر و همکاران (٢٠١٠) روی کدو پوست کاغذی (*Cucurbita pepo* L.) طی دو سال انجام شد، رسیدگی فیزیولوژیک و دوره پر شدن مؤثر دانه به‌ترتیب ٥٩ و ٥٢ روز پس از گلدهی بود و هم‌چنین حداکثر کیفیت دانه بعد از رسیدگی فیزیولوژیک (٢ تا ٦ روز) و در رطوبت ٣٧ تا ٣٨ درصد بود. هم‌چنین در مورد گیاه بامیه (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench) رسیدگی فیزیولوژیکی (حداکثر وزن خشک دانه) ٣٠ روز پس از گلدهی و در رطوبت حدود ٥٧ درصد و حداکثر جوانه‌زنی و قدرت بذر ٥٠ روز پس از گرده‌افشانی به حداکثر مقدار خود رسید (٤٥).

شرایط محیطی بذر به‌ویژه دما، بارندگی و رطوبت نسبی بر طول رشد و نمو بذر روی بوته مادری و به‌دنبال آن قدرت بذر تأثیر دارند (١٩). دما در طول دوره نمو و رسیدگی تغییرات دمایی می‌تواند روی جوانه‌زنی و قدرت بذر تأثیرگذار باشد (٢٩، ٣١ و ٥١). میزان رطوبت بذر می‌تواند به‌عنوان شاخصی برای زمان برداشت مناسب در گیاهان مختلف مورد استفاده قرار گیرد (٩، ١١، ١٣، ١٥، ٢٧ و ٣٢). زمان مناسب برداشت بذور با حداکثر کیفیت در بذور گراس در رطوبت ٦٥ تا ٤٦ درصد گزارش شده است (٣٢). در گیاه کلزا (*Brassica napus*) نیز حداکثر کیفیت بذر در ١٠ درصد رطوبت وزنی (٢٢) و در کدو تخم کاغذی (*Cucurbita pepo*) ٣٧ تا ٣٨ درصد رطوبت بذر و در مورد گیاه سیاهدانه ٥/٨ تا ١٧ درصد (٢٧) گزارش شده است. در ارقام مختلف کنجد (*Sesamum indicum*)، در ٧٥-٦٨ روز پس از گلدهی، میزان رطوبت بذر ١٦-٤٠ درصد بود که در این مرحله بذور دارای حداکثر وزن بذر بود و حداکثر کیفیت بذر را بسته به رقم، ٢-٢٤ روز بعد و یا ١٠-٦ روز قبل از رسیدگی وزنی و بهترین زمان برداشت را در رطوبت بذری ٢٥-٣٥ درصد بیان کردند (٤). با توجه به محدودیت اطلاعات روی نمو بذر سیاهدانه، هدف از پژوهش حاضر بررسی صفات کیفی بذر شامل زمان تا رسیدگی وزنی و رسیدگی فیزیولوژیک، تغییرات جوانه‌زنی و خفتگی بذر در ١٤ اکوتیپ مختلف سیاهدانه بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در آزمایشگاه و مزرعه تحقیقاتی پردیس ابوریحان دانشگاه تهران واقع در شهرستان پاکدشت طی دو سال زراعی ١٣٩٦/١٣٩٧ و

۱۳۹۸/۱۳۹۷ انجام گرفت. محل اجرای آزمایش در ۲۵ کیلومتری جنوب‌شرقی تهران، در عرض جغرافیایی ۳۳ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ درجه شرقی، با ارتفاع ۱۱۸۰ متری از سطح دریا بود. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در دو سال انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل ١٤ اکوتیپ سیاهدانه در ۳ تکرار به‌صورت جوی و پشته و آبیاری نشتی در مزرعه کشت شد. پس از شخم با گاوآهن برگرداندار و دیسک عمود برهم کرت‌هایی به ابعاد ۱/۵ در ۲ متر تهیه گردید. فاصله بین ردیف‌های کاشت ۲۵ سانتی‌متر و روی ردیف‌ها ۲ تا ۱/۵ سانتی‌متر بود. بر حسب مطالعات انجام شده، تاریخ کشت در اواخر بهمن‌ماه متناسب با شرایط آب و هوایی و نزولات جوی منطقه است. با توجه به شرایط آب و هوایی و میزان نیاز گیاه، هر ۵ تا ۷ روز یکبار آبیاری انجام شد. بذور ١٤ اکوتیپ بومی سیاهدانه از موسسه‌ی اصلاح و تهیه نهال و بذر تهیه شد. این اکوتیپ‌ها مربوط به تفرش، همدان، اراک، اصفهان، زابل (دو اکوتیپ)، سمیرم، اشکذر، سرایان، بجستان، رزن، اقلید، گردمیران و خاف بودند.

بعد از شروع گلدهی و تشکیل بذر روی بوته‌ها طی ۷ مرحله در زمان‌های ۱۳، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵، ٣٦ و ٤٣ روز پس از گلدهی در دو سال مختلف نمونه‌برداری انجام شد. در هر نوبت نمونه‌گیری، ۳ بوته از هر کرت به‌طور تصادفی برداشت و به آزمایشگاه منتقل شد. بلافاصله پس از ورود به آزمایشگاه، بذرها از کپسول خارج شده و وزن تر آن‌ها اندازه‌گیری شد و با قرار دادن آن‌ها در آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ٤٨ ساعت، وزن خشک نیز به‌دست آمد. برای تعیین درصد رطوبت بذر (بر مبنای وزن تر) رابطه زیر استفاده شد (۳۹):

$$SMC=\frac{W1-W2}{W1}*100 \qquad (۱)$$

که در آن، SMC درصد رطوبت بذر، W_1 وزن تر و W_2 وزن خشک هستند.

به‌منظور بررسی قابلیت حیات بذرها، باقی‌مانده بذور برداشت شده در هر مرحله، جهت اندازه‌گیری درصد جوانه‌زنی در طول نمو، مورد آزمایش قرار گرفتند. در این آزمایش، ۵۰ بذر در ۳ تکرار درون پتری‌دیش با قطر ۸ سانتی‌متر و کاغذ صافی زیر بذور قرار داده شد. برای حفظ رطوبت در طول جوانه‌زنی، ٦ سی‌سی از محلول آب مقطر و قارچ‌کش (کاربوکسین تیرام ۷۵ درصد- پودر وتابل) با غلظت ۱۰۰۰ قسمت در میلیون به محیط رشد بذور اضافه گردید، در طول زمان جوانه‌زنی، جهت حفظ رطوبت در صورت نیاز از محلول موردنظر به پتری‌دیش‌ها اضافه شد. پس از آماده‌سازی محیط رشد، پتری‌دیش‌ها به همراه بذور در دماهای ۱۰، ۲۰،۳۰ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. اندازه‌گیری جوانه‌زنی به‌صورت دو بار در هفته تا زمانی که جوانه‌زنی ادامه داشت، انجام گرفت.

از یک مدل رگرسیون دوتکه‌ای برای بررسی رابطه بین وزن خشک بذر و روز پس از گلدهی استفاده شد (٢٦).

$$Y=a+bx \qquad If \quad x<x_0 \qquad (۲)$$

$$Y=a+bx_0 \qquad If \quad x\geq x_0 \qquad (۳)$$

که در آن، y وزن خشک بذر، x زمان پس از گلدهی، a عرض از مبدا، b سرعت افزایش خطی در وزن بذر (سرعت پر شدن بذر)، X_0 زمان خاتمه پر شدن بذر و a+bx حداکثر وزن بذر می‌باشد.

جهت محاسبه دوره پر شدن بذر از رابطه زیر استفاده شد (۲۷):

$$SFD=W_{max}/SFR \qquad (٤)$$

که در آن، SFD دوره مؤثر پر شدن بذر، W_{max} حداکثر وزن خشک بذر و SFR سرعت پر شدن بذر هستند. آزمایش جوانه‌زنی در دماهای ۱۰، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد صورت گرفت و معیار جوانه‌زنی خروج ریشه‌چه به اندازه حداقل ۲ میلی‌متر بود (٤٧).

برای تعیین سرعت جوانه‌زنی از رابطه زیر استفاده شد (۲۷).

(۵) زمان تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی / ۱ = سرعت جوانه‌زنی

مؤلفه‌های جوانه‌زنی با کمک نرم‌افزار $Germin^{V2}$ محاسبه گردید (٤٧).

جهت تعیین دماهای کاردینال اکوتیپ‌ها در زمان برداشت از دو تابع دندان‌مانند (Dent-Like) و دوتکه‌ای (Segmented) استفاده شد (٤٨):

تابع دندان مانند:

(٦)

$$GR = \left(\frac{T-T_b}{T_{o1}-T_b}\right) \times Rmax \quad \text{if } T_b < T < T_{o1}$$

$$GR = \left(\frac{T_c-T}{T_c-T_{o2}}\right) \times Rmax \quad \text{if } T_{o2} < T < T_c$$

$$GR = Rmax \quad \text{if } T_{o1} \leq T \leq T_{o2}$$

$$GR = 0 \quad \text{if } T \leq T_b \text{ or } T \geq T_c$$

تابع دوتکه‌ای:

(۷)

$$GR = \left(\frac{T-T_b}{T_o-T_b}\right) \times Rmax \quad \text{if } T_b < T \leq T_o$$

$$GR = \left(\frac{T_c-T}{T_c-T_o}\right) \times Rmax \quad \text{if } T_o < T < T_c$$

$$GR = 0 \quad \text{if } T \leq T_b \text{ or } T \geq T_c$$

که در آن‌ها، GR درصد جوانه‌زنی، T دما، T_b دمای پایه، T_o دمای مطلوب، T_{o1} دمای مطلوب تحتانی (برای تابع دندان‌مانند)، T_{o2} دمای مطلوب فوقانی (برای تابع دندان‌مانند) و T_c دمای سقف هستند و Rmax حداکثر درصد جوانه‌زنی را در دمای مطلوب نشان می‌دهد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با نرم‌افزار $SAS_{9.4}$ صوت گرفت و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel ۲۰۱٦ انجام شد.

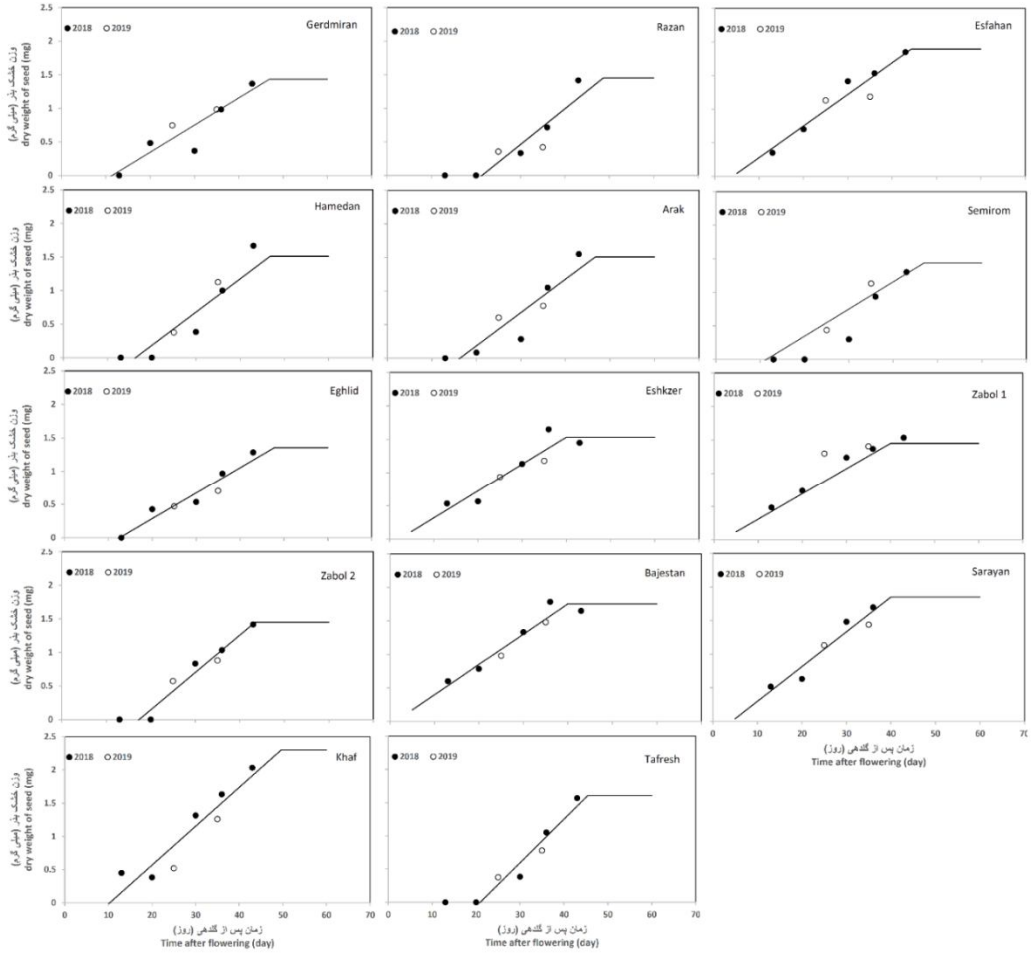
نتایج و بحث

منحنی تغییرات وزن خشک بذر اکوتیپ‌های سیاهدانه در مقابل روز پس از گلدهی در شکل ۱ ارایه شده است. منحنی وزن خشک بذر در مقابل زمان پس از گلدهی از تابع دو تکه‌ای پیروی کرد که با افزایش روز در مقابل زمان، وزن خشک به‌صورت خطی افزایش و پس از مدتی روند ثابتی را دنبال کرد. نتایج به‌دست آمده از منحنی نشان داد که اکوتیپ‌های زابل ۱، بجستان، سرایان و اشکذر با کم‌ترین زمان پس از گلدهی به بیش‌ترین وزن حداکثر خود رسیده‌اند. اکوتیپ خاف با ۲/۳ میلی‌گرم وزن تک بذر دارای بالاترین وزن خشک بذر در بین اکوتیپ‌های مورد آزمایش بوده است. در برازش منحنی تغییرات وزن خشک در مقابل روز پس از گلدهی از توابع درجه دوم و سوم، تابع لجستیک، تابع گامپرتز و تابع دوتکه‌ای استفاده می‌گردد (۱۱ و ١٤).

در جدول ۱، سرعت پرشدن بذر (میلی‌گرم در روز)، دوره پرشدن بذر (روز) و حداکثر وزن خشک تک بذر (میلی‌گرم) برای اکوتیپ‌های بومی سیاهدانه ارایه شده است. نتایج نشان داد که اکوتیپ همدان با ۰/۰۷۲ میلی‌گرم افزایش وزن در روز دارای بیش‌ترین سرعت پرشدن بذر در بین اکوتیپ‌های سیاهدانه بوده است. هم‌چنین، اکوتیپ سمیرم با ۲۱ روز دوره پرشدن، دارای کوتاه‌ترین زمان پرشدن بذر می‌باشد.

در شکل ۲، تغییرات رطوبت بذر طی نمو روی بوته مادری را نشان می‌دهد که در تمام اکوتیپ‌ها

میزان رطوبت تا زمان رسیدگی کامل روند کاهشی داشت. بالاترین میزان رطوبت در زمان اولین نمونه‌برداری با ۹۰ درصد رطوبت بذر در اکوتیپ اراک و کم‌ترین میزان رطوبت در همین زمان در اکوتیپ‌های زابل ۱، سرایان و بجستان مشاهده شد. در تمام اکوتیپ‌های مورد بررسی، رطوبت بذر در زمان رسیدگی کامل کم‌تر از ۱۸ درصد بود (شکل ۲). در شکل ۳، تغییرات درصد جوانه‌زنی بذور طی نمو بذر در اکوتیپ‌های مختلف سیاهدانه روی بوته مادری در دماهای مختلف ارایه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، تا ۲۰ روز پس از گلدهی، جوانه‌زنی در بذور در حال نمو همه اکوتیپ‌ها صفر بود و پس از آن روند افزایشی داشت. در برخی از اکوتیپ‌ها مانند تفرش، زابل ۲، اقلید، سمیرم، اراک، همدان، رزن و گردمیران جوانه‌زنی روی بوته تا زمان رسیدگی کامل روند افزایشی داشت. اما، در برخی اکوتیپ‌ها مانند اصفهان، اشکذر، زابل ۱، سرایان، خاف از حدود ۳۰ روز پس از گلدهی، خفتگی به بذرها القا شد و تا زمان رسیدگی کامل، میزان جوانه‌زنی به صفر رسید. جوانه‌زنی در مراحل اولیه نمو در دمای پایین (۱۰ درجه سانتی‌گراد) صورت گرفت و در مراحل بعدی نمونه‌گیری در دامنه وسیع‌تری از شرایط دمایی رخ داد. بنابراین، خفتگی در سیاهدانه به احتمال زیاد از نوع فیزیولوژیک سطحی نوع ۱ است (٤٩).



شکل ۱- روند تغییرات وزن خشک بذر در مقابل زمان پس از گلدهی در اکوتیپ‌های سیاهدانه.

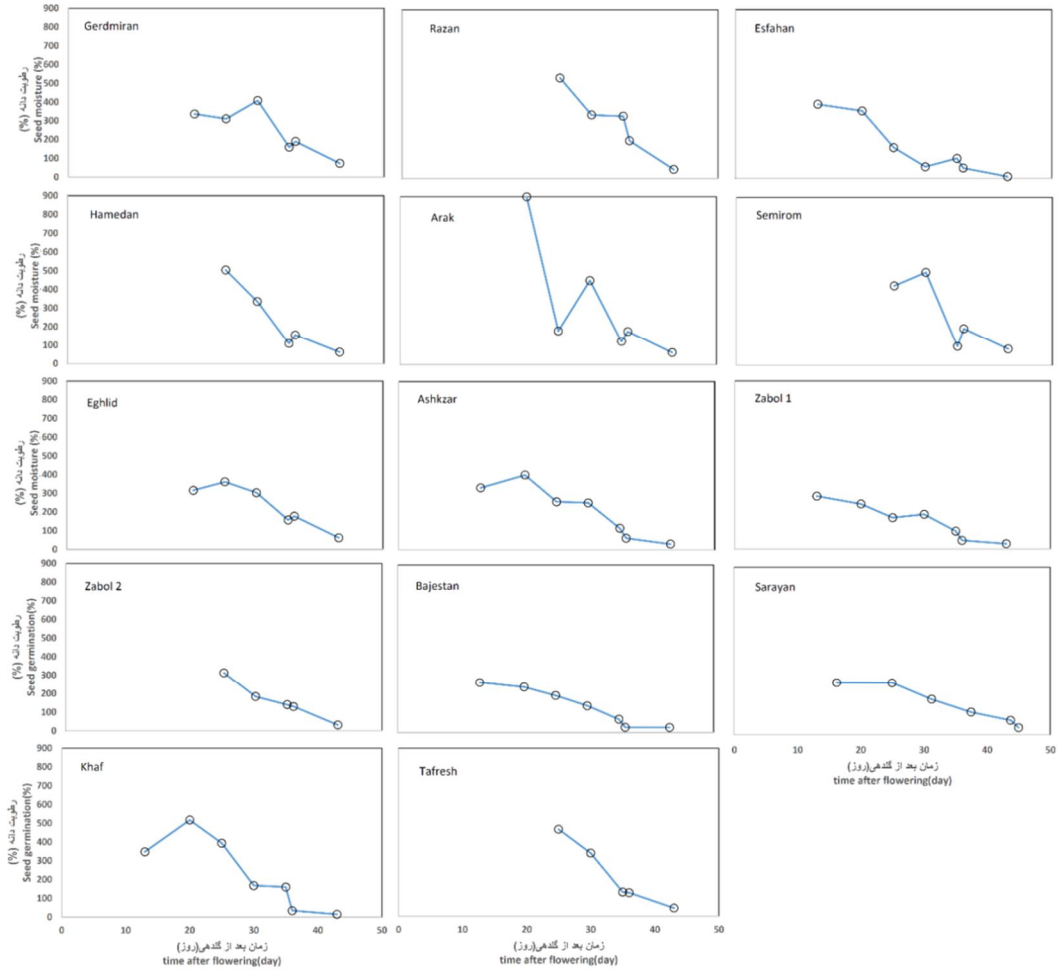
Fig. 1. Trends of the seed dry weight changes versus the post-flowering time in *N. sativa* ecotypes.

جدول ۱- سرعت پر شدن، دوره پر شدن و میانگین حداکثر وزن خشک بذر در اکوتیپ‌های سیاهدانه.

Table 1. Seed filling speed of seed, seed filling period and average maximum dry weight of a seed in *N. sativa* ecotypes.

حداکثر وزن خشک یک بذر (میلی‌گرم) Maximum dry weight of a seed (mg)	دوره پر شدن بذر (روز) Seed filling period (days)	زمان تا رسیدن به حداکثر وزن (روز) Time to maximum weight (day)	سرعت پر شدن بذر (میلی‌گرم در روز) Seed filling speed (Mg / day)	اکوتیپ Ecotypes
1.44 ± 0.02	35.5 ± 5.4	46.94 ± 4.39	0.040 ± 0.0011	Gardmiran
1.45 ± 0.02	27.3 ± 3.2	48.65 ± 5.27	0.053 ± 0.0015	Razan
2.05 ± 0.03	28.5 ± 3.7	49.44 ± 4.32	0.072 ± 0.0017	Hamedan
1.51 ± 0.01	30.4 ±4.1	46.75 ±5.43	0.050 ± 0.0014	Arak
1.89 ± 0.01	40.2 ± 3.2	44.28 ± 3.38	0.047 ± 0.0012	Esfahan
1.31 ± 0.01	21.0 ± 3.1	41.16 ± 4.28	0.062 ± 0.0016	Semirom
1.35 ± 0.01	35.2 ± 3.8	47.81 ± 5.82	0.038 ± 0.001	Eghlid
1.53 ± 0.01	37.9 ± 3.8	40 ± 3.52	0.041 ± 0.0012	Ashkezar
1.45 ± 0.01	38.1 ± 4.3	40 ± 4.73	0.038 ± 0.0011	Zabol 1
1.45 ± 0.01	26.0 ± 3.6	43.47 ± 3.97	0.056 ± 0.0013	Zabol 2
1.75 ± 0.01	38.8 ± 4.2	40 ± 4.15	0.045 ± 0.0014	Bajestan
1.85 ± 0.02	35.7 ± 3.2	40 ± 3.4	0.052 ± 0.0013	Sarayan
2.30 ± 0.02	39.3 ± 4.2	49.59 ± 5.38	0.059 ± 0.0015	Khaf
1.61 ± 0.01	24.5 ± 2.8	45.44 ± 3.82	0.066 ± 0.0016	Tafresh

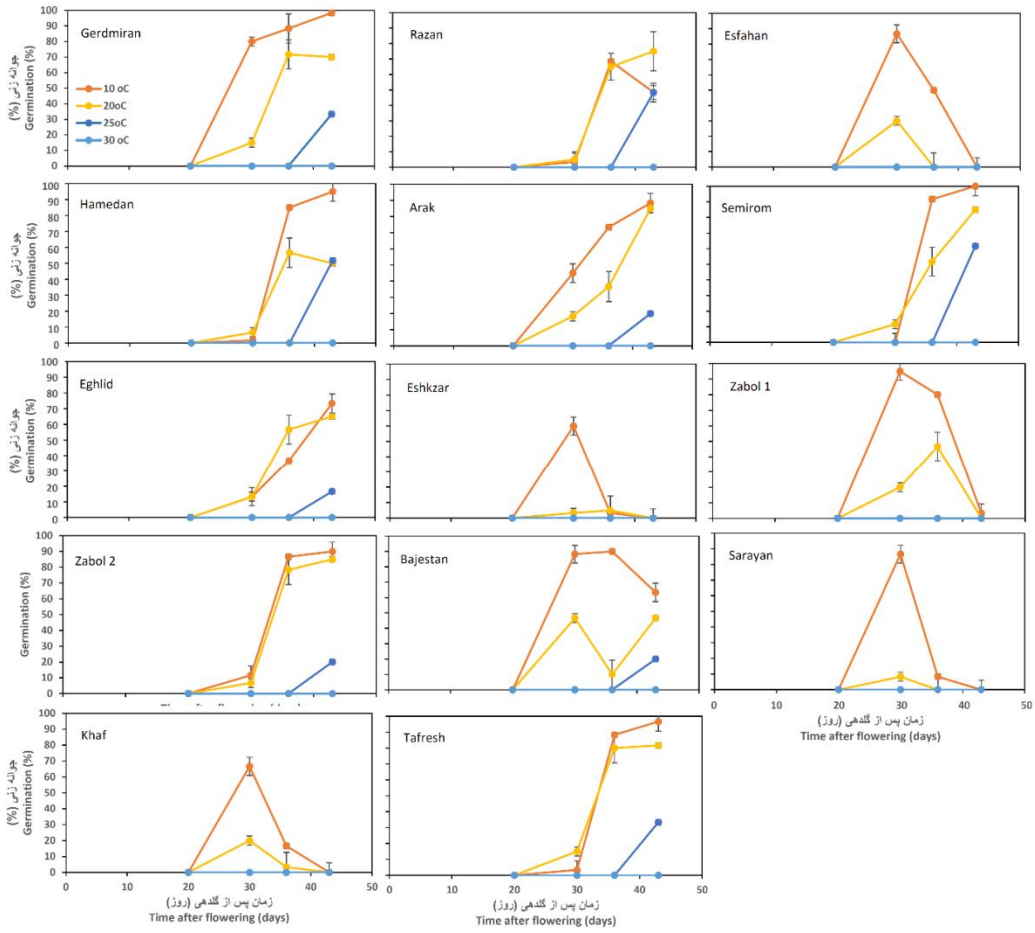
حداکثر رسیدگی فیزیولوژیک (حداکثر جوانه‌زنی) در سیاهدانه کمی قبل از رسیدگی وزنی اتفاق افتاده است، که با پژوهش‌های روی *Zea mays* (۴۲) و *Triticum aestivum* (۴۱) مطابقت داشت. در پژوهشی که در روی ارقام بومی و اصلاح شده کنجد انجام شده است، بین زمان رسیدگی فیزیولوژیک و وزنی، رابطه‌ای وجود نداشت که دلیل آن تغییرات فیزیولوژیکی از جمله هورمونی در طول رشد عنوان شده است (٤) که با یافته‌های این پژوهش مغایرت دارد. در مورد گندم نیز همانند نتایج به‌دست آمده روی سیاهدانه، حداکثر رسیدگی وزنی بعد از رسیدگی فیزیولوژیکی (جوانه‌زنی) بوده است (٤١). سرعت بالای پر شدن بذر (اکوتیپ همدان) و کم‌ترین زمان پر شدن بذر (اکوتیپ سمیرم)، می‌تواند موجب افزایش کیفیت بذر (جوانه‌زنی) در پایان فصل رشد شود. دوره و سرعت پرشدن بذر تحت‌تأثیر عوامل محیطی (۱) از جمله دما در طول رسیدگی قرار می‌گیرد (٤٢).



شکل ۲- روند تغییرات رطوبت بذر در مقابل زمان پس از گلدهی در اکوتیپ‌های سیاهدانه.

Fig. 2. Trends of seed moisture changes versus the post-flowering time in *N. sativa* Ecotypes.

اطلاعات به‌دست آمده از شکل ۳ نشان می‌دهد که حداکثر جوانه‌زنی در طول نمو در بیش‌تر اکوتیپ‌ها، در دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد رخ داده است و در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد جوانه‌زنی همه اکوتیپ‌های مورد آزمایش صفر بود. دماهای ۲۰ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد به‌ترتیب پس از دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد دارای بیش‌ترین درصد جوانه‌زنی طی نمو بذر بودند. اکوتیپ‌های همدان، سمیرم، زابل۱، تفرش، گردمیران بیش‌تر از ۹۵ درصد جوانه‌زنی داشتند.



شکل ۳- اثر دما بر جوانه‌زنی بذور در طول نمو (بر حسب روز پس از گلدهی) در اکوتیپ‌های سیاهدانه.

Fig. 3. Effect of temperature on germination of seeds during development (day after flowering) in *N. sativa* ecotypes.

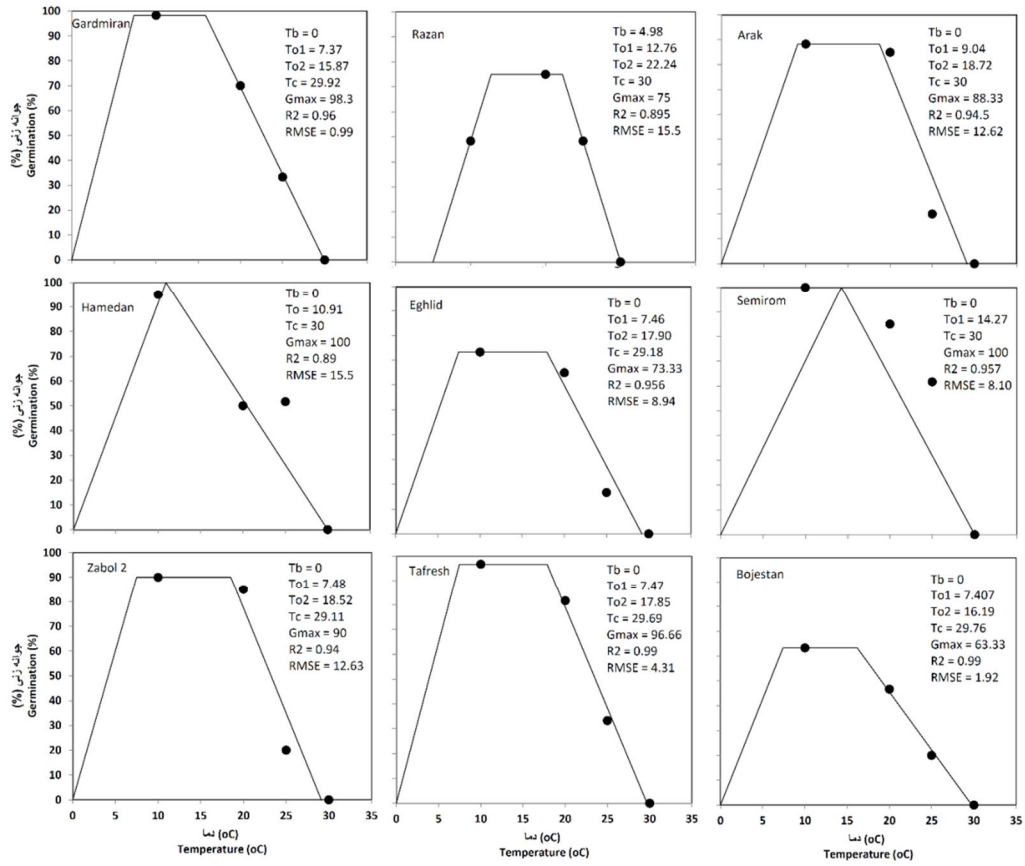
دماهای کاردینال در زمان رسیدگی با مدل‌های سگمنتد و دندان مانند به خوبی برای همه اکوتیپ‌ها برازش داده شد. کم‌ترین میزان ضریب تبیین (R^2) در اکوتیپ‌های رزن و همدان (۰/۸۹) مشاهده شد و بالاترین مقدار آن در اکوتیپ‌های تفرش و بجستان با میزان (۰/۹۹) حاصل شد. مجذور میانگین مربعات خطا در اکوتیپ‌های رزن با میزان ۱۵/۵ و برای اکوتیپ گردمیران ۰/۹۹ بود. کم‌تر بودن مقدار این آماره بیانگر خطای کم‌تر در برازش مدل مربوطه است (شکل ٤). یافته‌های حاصل از شکل ٤ نشان می‌دهد که دمای پایه در تمام اکوتیپ‌ها (به‌جز اکوتیپ رزن با دمای پایه ۵ درجه سانتی‌گراد) صفر بود. در اکوتیپ‌های گردمیران، رزن، اراک، اقلید، زابل ۲، تفرش، بجستان دمای مطلوب دارای دامنه دمایی حدود ۱۰ درجه سانتی‌گراد بود (حدود ۷ تا ۱۷ درجه سانتی‌گراد). تابع دمایی در این اکوتیپ‌ها به‌صورت دندان‌مانند بود ولی در اکوتیپ‌های همدان و سمیرم تابع دمایی به‌صورت سگمنتد بود. در اکوتیپ‌های همدان و سمیرم دمای مطلوب یک دمای خاص بود. سایر اکوتیپ‌ها نیز به‌دلیل القای خفتگی طی پسابیدگی بذر روی بوته مادری در زمان برداشت، جوانه نزدند و تابعی به آنها برازش داده نشد.

بین اکوتیپ‌های مختلف سیاهدانه از نظر درصد جوانه‌زنی تفاوت معنی‌داری وجود داشت. در برخی از اکوتیپ‌های سیاهدانه (اصفهان، اشکذر، زابل ۱، سرایان و خاف)، پس از رسیدگی کامل خفتگی وجود

داشت که این خفتگی با پس‌رسی یا کاربرد هورمون اسید جیبرلیک قابل رفع است (۵۰). همان‌طوری‌که پیش‌تر گفته شد، بذور دارای خفتگی فیزیولوژیک سطحی ممکن است دارای خفتگی شرطی باشند که در این صورت در دامنه باریک‌تری از شرایط محیطی جوانه‌زنی خواهند داشت (۱۰ و ٢٤) از این‌رو اعمال تیمارهای رفع خفتگی موجب خروج این بذور از خفتگی می‌شود و بذور در دامنه دمایی گسترده‌تری جوانه می‌زنند. بدین‌ترتیب، دماهای کاردینال در اکوتیپ‌های سیاهدانه در هنگام برداشت، دمای پایه صفر تا ۵ درجه سانتی‌گراد، مطلوب تحتانی ۷/٤ تا ۱۲/۸ درجه سانتی‌گراد، مطلوب فوقانی ١٦/٢ تا ٢٢/٢ درجه سانتی‌گراد و دمای سقف ۳۰ درجه سانتی‌گراد بود. هم‌چنین، درصد جوانه‌زنی این بذور در دماهای بالا (۳۰ درجه سانتی‌گراد) صفر بود (شکل‌های ۳ و ٤)، ولی رفع خفتگی در این بذور باعث افزایش این دامنه دمایی خواهد شد.

بهترین زمان برداشت هر اکوتیپ، پس از پایان دوره پر شدن دانه برای تولید دانه است (جدول ۱). ولی چنان‌چه هدف تولید بذر برای کشت مجدد باشد، در برخی اکوتیپ‌ها در طول رسیدگی بذر، جوانه‌زنی به حداکثر مقدار خود می‌رسد، ولی به‌دلیل رطوبت بالای بذر در این دوران و آسیب بذور در انبار، بهتر است تا رسیدن رطوبت به‌میزان ۱۸ درصد صبر کرد. پس از این دوره بلافاصله می‌توان بذور بدون کمون پس از برداشت را کشت نمود و برای سایر بذور نیاز به رفع خفتگی بذور است. افزایش دامنه دمایی در بذور دارای خفتگی شرطی پس از اعمال تیمارهای شکست خفتگی توسط برخی دیگر از پژوهشگران گزارش شده است (۲). در این پژوهش نیز طی رسیدگی بذرها دامنه جوانه‌زنی در همه اکوتیپ‌ها افزایش یافت، ولی در برخی از اکوتیپ‌ها (مانند اصفهان، اشکذر، زابل ۱، سرایان و خاف) بعد از افزایش دامنه جوانه‌زنی، مجدداً در زمان برداشت جوانه‌زنی به صفر کاهش یافت. القای خفتگی مجدد به افزایش سطح هورمون اسید آبسزیک طی پسابیدگی بذر روی بوته مادری ارتباط دارد (۵۰).

شدت خفتگی در بذور بالغ تازه برداشت شده به ژنوتیپ و شرایط محیطی در طول نمو بذر بستگی دارد (۲۵). هونگ (۲۰۱٦) گزارش کردند در ۲۸ روز پس از گلدهی ۷۳ تا ۸۹ درصد از بذور ۱۰ ارقام از کلزا دارای خفتگی بودند. آن‌ها نشان دادند که پیک خفتگی در بذور کلزا در ٤٢ روز پس از گلدهی وجود داشت اما با گذشت ۱۵ روز قرارگیری روی گیاه مادری این مقدار بین ۰ تا ۱۵ درصد کاهش پیدا کرد. در مطالعه‌ای توسط هونگ (۲۰۱٦) جنین‌های نابالغ کلزا جوانه‌زنی اندکی در مراحل اولیه نمو پیش از افزایش سطح اسید آبسزیک داشتند و با کاهش سطح خفتگی به سرعت قابلیت حیات افزایش پیدا کرد و رنگ جنین در رسیدگی فیزیولوژیک از سبز به زرد تغییر پیدا کرد. به‌نظر می‌رسد در سیاهدانه برخی اکوتیپ‌ها محتوای اسید آبسزیک با کاهش محتوای رطوبتی بذر کاهش پیدا کند و خفتگی بذرها در زمان برداشت به حداقل ممکن برسد و در برخی دیگر از اکوتیپ‌ها به احتمال زیاد با کاهش محتوای رطوبت مجدداً محتوای اسید آبسزیک افزایش پیدا می‌کند. تاکنون چنین پژوهشی روی بذرهای سیاهدانه صورت نگرفته بود و اطلاعاتی روی آن در دسترس نیست. هر چند سوائدی و همکاران (۲۰۱۹) نشان دادند که اثر جیبرلیک بر بهبود جوانه‌زنی سیاهدانه مؤثر بود که می‌تواند به‌دلیل افزایش نسبت اسید جیبرلیک به آبسزیک باشد. در مورد گیاهان دیگر (مانند کلزا، آرابیدوپسیس) این موضوع به اثبات رسیده است (۲۸) و جنین نابالغ و آبسزیک اسید مسئول خفتگی بذور کلزا در طول نمو بذر هستند (۳۰).



شکل ٤- اثر دما بر جوانه‌زنی در بذور رسیده در اکوتیپ‌های سیاهدانه.

Fig. 4. Effect of temperature on germination of matured seeds in *N. sativa* ecotypes.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان داد که در شرایطی با فصل رشد کوتاه یا کشت دوم، اکوتیپ‌هایی با طول دوره نمو دانه کم‌تر مانند اکوتیپ‌های سمیرم (۲۱ روز) و تفرش (۲٤ روز) جهت کشت توصیه می‌شوند. در شرایطی که خاک مزرعه به‌دلیل نامناسب بودن بافت و یا ساختمان خاک مناسب نباشد، اکوتیپ‌هایی با بذرهای درشت‌تر مانند اکوتیپ خاف با وزن تک بذر ۲/۳ میلی‌گرم توصیه می‌گردد. دمای پایه جهت جوانه‌زنی سیاهدانه در زمان برداشت برای همه اکوتیپ‌ها (به‌جز رزن) صفر درجه سانتی‌گراد بود و دمای سقف آن‌ها حدود ۳۰ درجه سانتی‌گراد به‌دست آمد. برخی از اکوتیپ‌ها نیز در زمان رسیدگی برداشت وارد خفتگی اولیه شدند و جوانه‌زنی آن‌ها به صفر رسید. اکوتیپ‌هایی که خفتگی اولیه دارند، سبز شدن مناسبی در مزرعه نخواهند داشت و نیاز است پیش از برداشت خفتگی آن‌ها رفع شود. اکوتیپ‌های زابل۲، اقلید، سمیرم، اراک و همدان دارای کم‌ترین خفتگی در زمان بلافاصله پس از برداشت هستند.

منابع

1. Ajayi, S.A., Rühl, G. and Greef, J.M. 2005. Physiological basis of quality development in relation to compositional changes in maize seed. Seed Sci. Technol. 33: 3. 605-621.
2. Arana, M.V., Gonzalez-Polo, M., Martinez-Meier, A., Gallo, L.A., Benech-Arnold, R.L., Sánchez, R.A. and Batlla, D. 2016. Seed dormancy responses to temperature relate to *Nothofagus* species distribution and determine temporal patterns of germination across altitudes in Patagonia. New Phytol. 209: 2.507-520.
3. Association of Seed Analysts (AOSA). 2009. Seed vigor testing handbook, Contribution No. 32: The Handbook on Seed Testing, 334p.
4. Bakhshandeh, E., Ghadiryan, R. and Ghaderi-Far, F. 2011. Changes in seed quality during seed development and maturation in four cultivars sesame (*Sesamum indicum* L.). Plant Prod Sci. 18: 2. 1-24. (In Persian)
5. Baskin, C.C. and Baskin, J.M. 2014. Seeds: ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination, 2nd Edn. San Diego, CA: Academic Press, 1586p.
6. Baskin, C.C. and Baskin, J.M., 1998. Seeds: ecology, biogeography, and, evolution of dormancy and germination, San Diego, CA: Academic Press, 1420p.
7. Baskin, J.M. and Baskin, C.C. 1985. The annual dormancy cycle in buried weed seeds: a continuum. J. BioSci. 35: 8. 492-498.
8. Baskin, J.M. and Baskin, C.C. 2004. A classification system for seed dormancy. Seed Sci. Res. 14. 1. 1-16.
9. Bedane, G.M., Gupta, M.L. and George, D.L. 2006. Optimum harvest maturity for guayule seed. J. Crop Prod. 24: 1. 26-33.
10. Bernareggi, G., Carbognani, M., Mondoni, A. and Petraglia, A. 2016. Seed dormancy and germination changes of snow bed species under climate warming: the role of pre-and post-dispersal temperatures. Ann. Bot. 118: 3. 529-539.
11. Berti, M.T., Burton, L. and Manthey, L.K. 2007. Seed physiological maturity in Cuphea. Indust. Crop. Prod. 25: 1. 190-201.
12. Coolbear, P. 1995. Mechanisms of seed deterioration, in seed quality: BMAAI J. (ed. A.S. Basra). Howorth Press Inc. Pp: 223-227.
13. Coste, F., Ney, B. and Crozat, Y. 2001. Seed development and seed physiological quality of field grown beans (*Phaseolus vulgaris* L.) Seed Sci. Technol. 29: 2. 121-136.
14. Darrock, B.A. and Baker, R.J. 1995. Two measures of grain filling in spring in spring wheat. Crop Sci. 35: 2. 164-168.
15. Day, J.S. 2000. Development and maturation of sesame seeds and capsules. Field Crop. Res. 67: 1. 1-9.
16. Daynard, T.B., Tanner, J.W. and Duncan, W.G. 1971. Duration of the grain filling period and its relationship to grain yield in corn, (*Zea mays* L.). Crop Sci. 11: 1. 45-48.
17. Duddu, H.S. and Shirtliffe, S.J. 2014. Variation of seed dormancy and germination ecology of cowcockle (*Vaccaria hispanica*). Weed Sci. 62: 3. 483-492.
18. Egli, D.B. 1998. Seed biology and yield of grain crops. CAB international, Wallingford, UK.
19. Egli, D.B., TeKrony, D.M., Heitholt, J.J. and Rupe, J. 2005. Air temperature during seed filling and soybean seed germination and vigor. Crop Sci. 45: 4. 1329-1335.
20. Ellis, R.H. and Pieta-Filho, C. 1992. The development of seed quality in spring and winter cultivars of barley and wheat. Seed Sci. Res. 2: 1. 9-15.
21. Ellis, R.H., Hong, T.D. and Roberts, E.H. 1987. The development of desiccation-tolerance and maximum seed quality during maturation in six grain legumes. Ann. Bot. 59: 1. 23-29.
22. Ellis, S.G. and Copeland, L.O. 2001. Physiological and harvest maturity of canola in relation to seed quality. J. Agron. 93: 5. 1054-1058.

23.Erkan, N., Ayranci, G. and Ayranci, E. 2008. Antioxidant activities of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) extract, blackseed (*Nigella sativa* L.) essential oil, carnosic acid, rosmaric acid and sesamol. Food Chem. 110: 1. 76-82.
24.Finch-Savage, W.E. and Leubner-Metzger, G. 2006. Seed dormancy and the control of germination. New Phytol. 171: 3. 501-523.
25.Finkelstein R.R., Tenbarge, K.M., Shumway, J.E. and Crouch, M.L. 1985. Role of ABA in maturation of rapeseed embryos. Plant Physiol. 78: 3. 630-636.
26.Ghaderi-Far, F., Bakhshandeh, E. and Ghadirian, R. 2010. Evaluating seed quality in sesame (*Sesamum indicum* L.) by the accelerated ageing test. Seed Technol. 32: 1. 69-72.
27.Ghaderi-Far, F., Soltani, A. and Sadeghipour, H.R. 2011. Changes in seed quality during seed development and maturation in medicinal pumpkin. J. Herbs. Spices Med. Plants. 17: 3. 249-257.
28.Grappin, P., Bouinot, D., Sotta, B., Miginiac, E. and Jullien, M. 2000. Control of seed dormancy in *Nicotiana plumbaginifolia*: post-imbibition abscisic acid synthesis imposes dormancy maintenance. Planta. 210: 3. 279-85.
29.Gutterman, Y. 2000. Maternal effects on seed during development. In Seeds: the ecology of regeneration in plant communities (Ed. M. Fenner), 59-84. Wallingford, UK: CAB International.
30.Hail, T.A. and Shirtliffe, S.J. 2014. Effect of harvest timing on dormancy induction in canola seed. Weed Sci. 62: 3. 548-554.
31.Hampton, J.G., Boelt, B., Rolston, M.P. and Chastain, T.G. 2013. Effects of elevated CO_2 and temperature on seed quality. J. Agric. Sci. 151: 2. 154-162.
32.Hapkinson, J.M. and Clifford, P.T.P. 1993. Mechanical harvesting and processing of temperature zone and tropical pasture seed. Proceeding of the 17th International Grassland Congress. 17: 1815-1822.
33.Huang, H. and Song, S. 2013. Change in desiccation tolerance of maize embryos during development and germination at different water potential PEG-6000 in relation to oxidative process. Plant Physiol. Biochem. 68: 1. 61-70.
34.Khan, A.A. 1971. Cytokinins: Permissive role in seed germination. Science 171: 3974. 853-859.
35.Khatun, A., Kabir, G. and Bhuiyan, M.A.H. 2009. Effect of harvesting stages on the seed quality of lentil (*Lens culinaris* L.) J. Agric. Res. 34: 4. 565-576.
36.Kranner, I., Arc, E., Pritchard, H.W., Seal, C., Colville, l., Borner, A., Neal, M., Baily, C., Soppe, W., Koornneef, M., Awan, S., Marion-Poll, A., Rajjou, L., Baily, M., Foyer, C.H., West, C., Waterworth, W., Sanchez, O.L., Krieger-Liszkay, A., Cayrel, P. and Finch-savage, W. 2016. Effects of the maternal environment on seed quality. 31st ISTA Seed Symposium abstracts. Pp: 21-22.
37.Mahesha, C.R., Channaveeraswami, A.S., Kurdikeri, M.B., Shekhargouda, M. and Merwade, M.N. 2001. Seed maturation studies in sunflower genotypes. Seed Sci. Res. 29: 1. 95-97.
38.Marañón, T. and Grubb, P.J. 1993. Physiological basis and ecological significance of the seed size and relative growth rate relationship in Mediterranean annuals. Func. Ecol. 7: 5. 591-599.
39.McDonald, M.B. and Copeland, L.O. 1989. Seed science and technology laboratory manual. Iowa State University Press.
40.Perry, D.A. 1982. The influence of seed vigor on vegetable seedling establishment. Hort. Sci. 33: 1. 67-75.
41.Rasyad, D.A., Van Sanford, D.A. and Tekrony, D.M. 1990. Changes in seed viability and vigour during wheat seed maturation. Seed Sci. Technol. 18: 3. 259-267.
42.Rezvani, E., Ghaderifar, F., Hamidi, A. and Soltani, E. 2015. Evaluation of various indicators related to physiological maturity, harvest time and highest seed quality determination in hybrid maize (*Zea mays* L.). Iran. J. Seed Sci. Res. 4: 2. 83-95. (In Persian)

43. Salehi Surmaghi, M.H. 2008. *Nigella sativa*. Herbal Med Herbal Therapy, Donyay Taghziah press, Iran Tehran. 2: 216-9. (In Persian)
44. Cheikh-Rouhou, S., Besbes, S., Deroanne, C., Hentati, B., Blecker, C. and Attia, H. 2007. *Nigella sativa* L: Chemical composition and physicochemical characteristics of lipid fraction. Food Chem. 101: 2. 673-681.
45. Santos, R.F.D., Gomes-Junior, F.G. and Marcos-Filho, J. 2020. Morphological and physiological changes during maturation of okra seeds evaluated through image analysis. Sci. Agric. 77: 3.e20180297.
46. Savaedi, Z., Parmoon, G., Moosavi, S.A. and Bakhshande, A. 2019. The role of light and gibberellic acid on cardinal temperatures and thermal time required for germination of Charnushka (*Nigella sativa*) seed. Indus. Crop. Prod. 132: 2. 140-149.
47. Soltani, A. and Maddah, V. 2010. Simple applied programs for education and research in agronomy. ISSA press. First Edition, Iran, 80p. (In Persian)
48. Soltani, A., Robertson, M.J., Torabi, B., Yousefi-Daz, M. and Sarparast, R. 2006. Modelling seedling emergence in chickpea as influenced by temperature and sowing depth. Agr. Forest Meteorol. 138: 1-4. 156-167.
49. Soltani, E., Baskin, C.C. and Baskin, J.M. 2017. A graphical method for identifying the six types of non-deep physiological dormancy in seeds. Plant Biol. 19: 5. 673-682.
50. Soltani, E., Baskin, J.M. and Baskin, C.C. 2019. A review of the relationship between primary and secondary dormancy, with reference to the volunteer crop weed oilseed rape (*Brassica napus*). Weed Res. 59: 1. 5-14.
51. Spears, J.F., Tekrony, D.M. and Egli, D.B. 1997. Temperature during seed filling and soybean seed germination and vigor. Seed Sci. Technol. 25: 4. 233-244.