نشریه فیزیولوژی محیطی گیاهی، سال چهاردهم، شماره ۵۵، پاییز ۱۳۹۸ / صفحات: ۹۴-۷۹

اثرات تیمارهای دودی بر جوانه‌زنی بذرهای استراتیفیکاسیون شده گیاه دارویی- مرتعی کما (*Ferula ovina* Boiss.)

ساناز زرداری[۱]، فرشید قادری‌فر[۱*]، حمیدرضا صادقی‌پور[۲]، ابراهیم زینلی[۱]، الیاس سلطانی[۳]

[۱]گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

[۲]گروه زیست‌شناسی، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران

[۳]گروه زراعت، پردیس ابوریحان دانشگاه تهران، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۵/۰۷ تاریخ پذیرش: ۹۷/۷/۱۶

چکیده

گیاه کما (*Ferula ovina* Boiss. (Apiaceae یک گیاه چندساله دارویی در مراتع و مناطق کوهستانی مرتفع ایران است. جمعیت این گونه دارویی- مرتعی ارزشمند به‌دلیل بهره‌برداری بی‌رویه، تغییر شرایط اقلیمی همین‌طور کمون بذرهای آن در زمان بلوغ رو به کاهش است. در این تحقیق برای نخستین بار اثر تیمارهای دودی (ذرات دود و دو روش تهیه عصاره دودی) حاصل از سوختن کاه گندم بعد از اعمال دوره‌های مختلف استراتیفیکاسیون سرد (۰، ۷، ۱۵ و ۳۰ روز) بر جوانه‌زنی بذرهای کما مطالعه شد. بر اساس نتایج، استراتیفیکاسیون باعث تغییر سطح کمون و افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی بذرهای کما به طور معنی دار نسبت به شاهد شد. اعمال تیمار ذرات دودی بعد از استراتیفیکاسیون، سرعت و درصد جوانه‌زنی بذرها را نسبت به شاهد افزایش داد. بیشترین افزایش درصد جوانه‌زنی نسبت به شاهد (۲۰ درصد) در تیمار ۲ دقیقه مجاورت با ذرات دود بعد از ۷ روز استراتیفیکاسیون سرد مشاهده شد. دو روش عصاره دودی مورد استفاده در این تحقیق در دامنه ۰/۰۰۱ و ۰/۰۱ نسبت حجمی بعد از استراتیفیکاسیون جوانه‌زنی بذر را افزایش دادند به‌طوری‌که بیشترین درصد جوانه‌زنی (۸۰ درصد) از نسبت ۰/۰۰۱ محلول آبی کاه نیم سوز بعد از ۳۰ روز استراتیفیکاسیون به دست آمد، اما محلول پایه دود آب منجر به کاهش درصد جوانه‌زنی در تیمارهای ۰ و ۳۰ روز استراتیفیکاسیون و تولید گیاهچه‌های ضعیف در تمامی دوره‌های استراتیفیکاسیون شد. به‌طورکلی، نتایج این تحقیق نشان داد که اعمال تیمارهای دودی در این مطالعه سرعت و درصد جوانه‌زنی بذرهای استراتیفیکاسیون شده کما را بهبود می‌بخشد.

واژه‌های کلیدی: تیره چتریان، ذرات دودی، عصاره دودی، کاریکین

مقدمه

کما (*Ferula ovina* Boiss.) از تیره چتریان، یک گیاه چند ساله منوکارپیک است که در سال آخر زندگی خود تولید بذر می‌کند و سپس از بین می‌رود. زیستگاه‌های اصلی آن در پاکستان، ترکمنستان، افغانستان و منطقه وسیعی از شرق و مرکز ایران از جمله اصفهان، چهارمحال و بختیاری، خراسان رضوی و شمالی و برخی از استان‌های دیگر با ارتفاع ۴۰۰۰ - ۲۰۰۰ متر از سطح دریا، میانگین دمای سالانه ۸ درجه سانتی گراد و میزان بارندگی ۷۰۰- ۳۵۰ میلی‌متر گزارش شده است (Safaian and Shokri, 1993; Azhir and Shahmoradi, 2007). برگ‌ها و اسانس معطر کما به‌دلیل ارزش دارویی و خاصیت ضد میکروبی ترکیبات آن از نظر تجاری مورد توجه

*نویسنده مسئول: farshidghaderifar@yahoo.com

فـراوان قـرار گرفتـه‌انـد (Mozaffarian, 1996; Iranshahi et al., 2010). از گیاه کما اثـرات دارویـی شل کننده عضلات صاف، خلط‌آور، ضدتشنج، هضـم کننده، دافع انگـل‌هـای روده‌ای گـزارش شـده اسـت (Aqel et al., 1992). همچنین کما یکی از منابع قابل توجه تولید علوفه و تغذیه دام در سـطوح وسـیعی از مراتع ییلاقی است (Moghimi, 2006). تولید مثل این گیاه فقط از طریق بذر صورت می‌گیرد. بـذرهای ایـن گیاه در زمان بلوغ و پراکنش در وضعیت کمون قـرار دارند و نگه‌داری بذرها بیش از یک سال نیز منجر بـه کاهش(۱۰– ۸ درصد) غیر معنی‌دار درصد جوانه‌زنـی آن‌ها می‌شود (Amooaghaei, 2006).

مطالعات متعـددی در زمینـه جنبـه‌هـای مختلـف کمون بذرهای *Ferula ovina* انجـام شـده و در همـه آنها پیش‌تیمار سرمای مرطوب به مدت ۲ الی ۵ هفتـه به عنوان مناسب‌ترین روش برای رفع کمون این گونه معرفـی شـده اسـت (Keshtkar2007, et al., 2008; Amooaghaie, 2009). مطالعه کمون بـذرهای ایـن گیـاه توسـط فصـیح و توکـل افشـاری (Fasih and TavakKkol- Afshari, 2018) مشـخص کـرد کـه بذرهای این گیاه، کمون مورفوفیزیولوژیکی پیچیده بـا سطح عمیق[1] دارند و می‌تـوان آن را از طریـق اعمـال دوره‌هـای طـولانی مـدت استراتیفیکاسـیون سـرد و پراکسـید هیـدروژن برطـرف کـرد. طـول دوره استراتیفیکاسیون سرد برای رفع کمون عمیق، بسته بـه گونـه متفـاوت اسـت (Nikoleava, 1969).مطالعـات صورت گرفته (Amooaghaei, 2009) روی کما نشان داد که افزایش طول مدت پیش تیمار استراتیفیکاسیون سرد به تنهایی به بیش از ۷ هفته و یا ٤ هفته به همراه جیبرلیک اسید ۵۰۰ پـی پـی ام تـاثیر معنـی‌داری بـر درصد جوانه‌زنی بذرهای آن ندارد.

نقش دود در بهبـود جوانـه‌زنـی نخسـتین بـار در جنوب آفریقا با مطالعـه روی بـذرهای یـک گونـه در حال انقراض به نام *Audouini acapitata* توسط (De Lange and Boucher, 1990) بررسی شد. بعد از آن، تعداد زیادی از محققین نشان دادند که دود حاصـل از سوختن مواد گیـاهی دارای ترکیبـات محلـول در آب است که در رفع کمـون و افـزایش درصـد و سـرعت جوانه‌زنی بذر مؤثر هستند (Nelson et al., 2012). به همین دلیل، بررسـی اثـرات دود حاصـل از سـوختن ترکیبات گیاهی بر جوانه‌زنی بذر گونـه‌هـای مختلـف گیاهان به‌طور گسترده مورد توجـه پژوهشـگران قـرار گرفته است. یافته‌های این مطالعـات حـاکی از بهبـود جوانه‌زنی بذر تعداد زیادی از گونه‌های گیاهی تحـت تأثیر تیمارهای دود بوده است که از جمله می‌توان بـه بهبـود جوانـه‌زنـی بـذرهای دارای کمـون توتـون (Schwachtje and Baldwin, 2004)، گوجـه فرنگـی (Van staden et al., 2006)، کـاهو (Van staden et al., 1995)، آرابیدوپسـیس (Nelson et al., 2009)، یـولاف وحشـی (Kepczynski et al., 2010)، *Tanglehead* (*Heteropogon contortus*) (Baldos and De Frank, 2015) و خـردل (Malek et al., 2018) با استفاده از تیمارهای دودی اشاره کرد. با این وجود، نتایج برخی دیگر از مطالعات کاهش سرعت و درصد جوانـه‌زنـی و رشـد گیاهچـه بعـد از کـاربرد تیمارهـا و فـرآورده‌هـای دودی را نشـان داده‌انـد (Norman et al., 2006; Papenfus et al., 2015; Ren et al., 2017). نتایج متفاوت این مطالعات را می‌تـوان به عوامل مختلفی از جمله غلظت و مدت زمان اعمال تیمار دودی نسبت داد. به نظر می‌رسد که غلظت‌هـای بالای دود و دوره‌های طولانی مدت مجاورت بـا دود می‌تواند برای بذر سمی بوده و بر جوانه‌زنـی و رشـد گیاهچه تأثیر منفی بگذارد (Iqbal et al., 2016).

1. Deep complex morphophysiological dormancy

آتش دارای فاکتورهای مختلف دود، گرما و نور است که هر کدام از این عوامل به تنهایی یا ترکیب با هم می‌توانند جوانه‌زنی را در تعدادی از گونه‌ها هماهنگ کنند (Minorsky, 2002). مکانیسم‌های دود در تحریک جوانه‌زنی گیاهان مختلف متفاوت است (Nelson et al., 2009; Schwachtje and Baldwin, 2004). علاوه بر این، دود جوانه‌زنی تمام کلاس‌های کمون بذر را هم در شرایط آزمایشگاهی و هم در رویشگاه های طبیعی آن‌ها بهبود می‌بخشد و ظاهراً نقش دود مستقل از فرم زندگی (یک ساله یا چند ساله بودن)، روابط فیلوژنتیک و جغرافیایی گونه و اندازه، شکل، نوع بذر و نوع کمون آن است (Dixon et al., 1995). در برخی از گزارش‌ها اثرات مثبت دود بر جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه‌ها به ترکیب فعال بیولوژیکی بوتنولاید [3-methyl-Butenolide (2Hfuro[2,3-c]pyran-2-one] یا مشتقات آن همچون KAR_1 و آنالوگ‌های آن (KAR_2- KAR_6) نسبت داده شده است که به طور طبیعی در فرآورده‌های حاصل از سوختن ترکیبات گیاهی وجود دارند (Scaffidi et al., 2011). این ترکیبات در غلظت‌های بسیار کم (کمتر از یک پی‌پی‌ام یا یک نانومولار) منجر به افزایش جوانه‌زنی بذر می‌شوند. با این وجود، واکنش بذر گونه‌های مختلف گیاهی به انواع مختلف کاریکین‌ها متفاوت است به‌طوری که در هر گونه ممکن است یکی از انواع کاریکین‌ها فعال‌تر باشد (Nelson et al., 2009; Flematti et al., 2007). برای بررسی اثر ترکیبات دود بر رفع کمون و بهبود جوانه‌زنی روش‌های مختلفی از قبیل کاربرد دود خام[1] یا ذرات دود (De lange and Boucher, 1990) و محلول‌های دودی (Lindon and Menges, 2008; Dixon and Roche, 1995; Van Staden et al., 2004) استفاده شده است. در روش ذرات دود، بذرها مستقیما در معرض دود متصاعد شونده‌ی حاصل از سوختن مواد گیاهی قرار می‌گیرند. دود آب نیز یکی از آسان‌ترین روش‌های کاربرد دود است. ترکیبات زیست- فعال موجود در دود به آسانی در آب حل می‌شوند و زمانی که این عصاره آبی به عنوان محلول رقیق شده استفاده می‌شود، بذرهای تیمار شده با آن در بسیاری از گونه‌های گیاهی پیشرفت قابل توجهی در جوانه‌زنی نشان می‌دهند (Govindaraj et al., 2016).

طی مطالعه Ren و همکاران (۲۰۱۷) فرآورده‌های دود حاصل از سوختن کاه گندم روی بذرهای گیاه کاهو، بر اساس روش کروماتوگرافی مایع (HPLC) متوجه شدند که فرآورده‌های دودی حاصل از سوختن کاه گندم حاوی KAR_1 هستند و همانطور که اشاره شد، کاریکین در محدوده وسیعی از گونه‌های گیاهی قادر به رفع کمون و بهبود جوانه‌زنی بذرها است. با توجه به اثرات مثبت گزارش شده از تیمارهای دودی در زمینه بهبود جوانه‌زنی، رفع کمون گونه‌های مختلف گیاهی، بازسازی و احیای پوشش‌های گیاهی انواع بوم نظام‌های مناطق مختلف کره زمین و همچنین کاربرد آسان و اقتصادی آن‌ها، بررسی اثر این تیمارها در رفع کمون و بهبود جوانه زنی بذرهای کما طی مطالعه حاضر مورد توجه قرار گرفت. در این تحقیق برای نخستین بار کاه گندم که بر اساس مطالعه Renو همکاران (2017) مشخص گردید حاوی KAR_1 است به عنوان ماده گیاهی ارزان قیمت و با قابلیت دسترسی آسان برای تهیه ترکیبات دودی و بررسی اثر آن‌ها بررفع کمون و بهبود جوانه‌زنی بذرهای استراتیفیکاسیون شده کما مورد استفاده قرار گرفت.

1. Crude

مواد و روش‌ها

تهیه بذر: بذرهای کما از طریق شرکت پاکان بذر اصفهان در سال ۱۳۹٤ تهیه شد و تا شروع آزمایش (٤ ماه بعد از جمع آوری)، بذرها در دمای یخچال (۱± ۷ درجه سانتی‌گراد) نگه‌داری شدند. تحقیقات انجام شده در این مطالعه به صورت آزمایشات فاکتوریل بر پایه طرح کاملا تصادفی در آزمایشگاه بذر گروه زراعت دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان اجرا شد.

تیمارهای استراتیفیکاسیون سرد: در این آزمایش بذرهای کما ابتدا با هیپوکلریت سدیم ۵ درصد به مدت ۵ دقیقه ضدعفونی و دوبار با آب مقطر شسته شدند. پس از ضد عفونی، بذرها به مدت ۰ (شاهد)، ۷، ۱۵ و ۳۰ روز در دمای ۵ درجه سانتی‌گراد بین دو لایه حوله کاغذی مرطوب در جعبه های پلاستیکی جهت اعمال تیمار سرمادهی مرطوب قرار گرفتند (Cavieres and Arroyo, 2000). پس از اعمال دوره‌های زمانی مختلف استراتیفیکاسیون سرد، بذرها از محیط خارج شده و در معرض تیمارهای مختلف دودی شامل ذرات دود و عصاره های دودی تهیه شده قرار داده شدند.

جهت بررسی اثر ذرات دود، بذرهای استراتیفیکاسیون شده کما با دوره‌های مختلف (۰، ۷، ۱۵ و ۳۰ روز) به همراه دو گروه بذری خشک و آبنوشی شده به مدت ۲٤ ساعت در دمای ۷/۵ درجه سانتی‌گراد، طی مدت زمان‌های مختلف (۰، ۱، ۲ و ۵ دقیقه) در معرض ذرات دودی[1] قرار گرفتند. بدین منظور، از روش ارائه شده توسط باکستر و همکاران (Baxter et al., 1994) استفاده شد. برای این کار، بذرها روی توری سیمی پایه‌دار داخل یک جعبه چوبی قرار داده شدند. دود حاصل از سوختن بقایای گیاه گندم در دستگاه دمنده دود[2] از طریق لوله‌ای به جعبه سربسته هدایت شد. بذرها با مدت زمان‌های ذکر شده در معرض دود قرار گرفتند و سپس در جعبه به منظور خروج دود باز شد و آزمون جوانه‌زنی با سه تکرار ۲۵ تایی بذر در ظروف پتری در محدوده دمای مطلوب انجام شد. طبق آزمایشات اولیه در این مطالعه دمای مطلوب جوانه‌زنی برای کما (۷/۵ درجه سانتی گراد) در محدوده دمای مطلوب برای استراتیفیکاسیون سرد تعیین شد. شمارش بذرهای جوانه زده یک روز در میان تا ٦۱ روز صورت گرفت. معیار جوانه‌زنی خروج ریشه‌چه به اندازه دو میلی‌متر یا بیشتر بود (Ghaderi- Far and Soltani, 2017).

برای تهیه محلول آبی کاه نیم سوز[3]، ۵ گرم کاه و کلش گندم در جعبه‌های فلزی سربسته در آون برای مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۱ ± ۱۹۳ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند (Catav et al., 2012). جهت جلوگیری از خروج دود حاصل از سوختن مواد گیاهی، درب جعبه‌های فلزی به خوبی بسته شد. پس از گرمادهی ۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر به مواد گیاهی موجود در جعبه‌ها اضافه و برای مدت ۱۰ دقیقه رها شد. محلول حاصل پس از فیلتر شدن به وسیله پارچه توری به عنوان محلول پایه کاه نیم سوز در نظر گرفته شد. برای تهیه محلول‌های دودی رقیق‌تر، یک میلی‌لیتر از محلول پایه در ۱۰، ۱۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر حل شد و عصاره‌های دودی با رقت ۰/۱، ۰/۰۱ و ۰/۰۰۱ به دست آمد. محلول دودی پایه به عنوان محلول دودی خالص (با رقت ۱) در نظر گرفته شد.

برای تهیه دود آب (smoke water)، دود به‌صورت مستقیم و مداوم به آب منتقل شد (Baxter et al., 1994). برای انجام این کار، دود ناشی از سوختن بقایای گندم در مخزن استوانه‌ای، توسط

1. Smoke aerosol or fumigation

2. Bee-keeper smoker

3. Aqueous charred straw solution

دمنده دود به یک ارلن حاوی ۵۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر دوبار یونیزه شده برای مدت ٤٥ دقیقه انتقال داده شد. محلول حاصل به عنوان محلول پایه (خالص) در نظر گرفته شده و از آن محلول‌های دودی با رقت‌های ۰/۱، ۰/۰۱ و ۰/۰۰۱ تهیه شد.

پس از تهیه عصاره دودی با دو روش کاه نیم سوز و دود آب با غلظت‌های مختلف، سه تکرار ۲۵ تایی از بذرهای استراتیفیکاسیون شده انتخاب و به آنها ۵ میلی‌لیتر از عصاره‌های تهیه شده اضافه شد. آزمون جوانه‌زنی در ظروف پتری و در دمای ۷/۵ درجه سانتی‌گراد انجام شد. معیار جوانه‌زنی خروج ریشه‌چه به اندازه دو میلی‌متر یا بیشتر بود (Ghaderi- Far and Soltani, 2017).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

به داده‌های درصد جوانه‌زنی تجمعی در مقابل زمان در کلیه تیمارها، مدل لجستیک سه پارامتره زیر برازش داده شد (Ghaderi- Far et al., 2012):

رابطه ۱: $$Y = \frac{G_{max}}{(1+(\frac{X}{D_{50}})^{\wedge b})}$$

در این رابطه،

Y: درصد جوانه‌زنی در زمان X، G_{max}: حداکثر درصد جوانه‌زنی، D_{50}: زمان تا رسیدن به ۵۰ درصد حداکثر جوانه‌زنی و b: شیب منحنی در نقطه D_{50} است. نظر به اینکه درصد جوانه‌زنی در تیمارهای مختلف یکسان نبود در نتیجه در این مطالعه برای محاسبه سرعت جوانه زنی در تیمارهای مختلف، از زمان تا ۵۰ درصد حداکثر جوانه‌زنی استفاده نشد و برای مقایسه بهتر از روش جمعیت بذری استفاده شد (Soltani et al., 2015). نظر به اینکه کمترین درصد جوانه‌زنی ۲۵ درصد بود، برای محاسبه سرعت جوانه زنی از معکوس زمان تا ۲۵ درصد جمعیت بذری استفاده شد. برای محاسبه زمان ۲۵ درصد جمعیت بذری، پس از برازش معادله لجستیک به تک تک تیمارها، از طریق درون‌یابی، زمان تا ۲۵ درصد جمعیت بذری محاسبه گردید.

داده‌های حاصل از درصد و سرعت جوانه‌زنی در هر یک از گروه‌های استراتیفیکاسیون به وسیله آزمایشات فاکتوریل بر پایه طرح کاملا تصادفی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و برای بررسی اختلافات معنی‌دار از طرح کاملا تصادفی و آزمون LSD در $P< ۰/۰۵$ استفاده شد. تجزیه و مقایسه میانگین داده‌ها با نرم‌افزار SAS ver. 9 و رسم نمودارها با نرم‌افزار Excel ver. 2010 انجام شد.

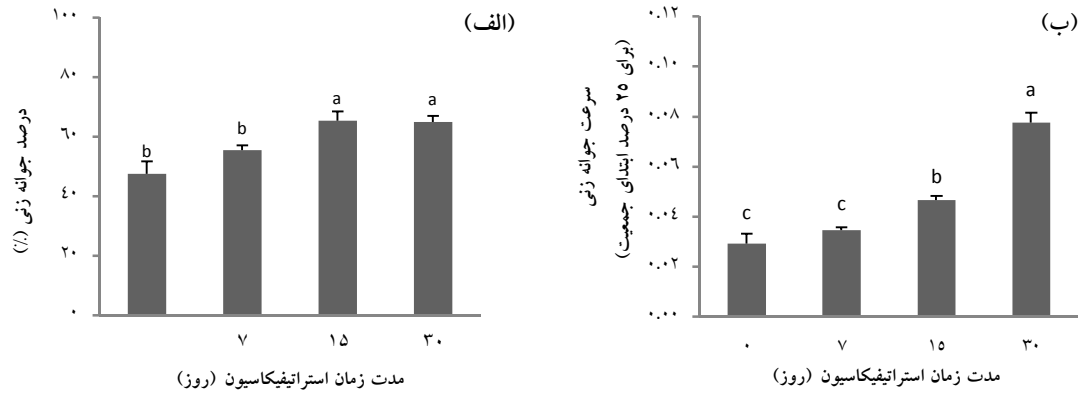
نتایج

اثرات استراتیفیکاسیون سرد بر جوانه‌زنی و رفع کمون بذر کما: اثر مدت زمان‌های مختلف استراتیفیکاسیون سرد بر درصد و سرعت جوانه‌زنی بذرهای کما در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). با افزایش طول دوره استراتیفیکاسیون درصد جوانه‌زنی بذرها از ٤٧/٤٤ درصد در بذرهای شاهد (بدون استراتیفیکاسیون) به ٦٥/٠٧– ٦٥/٣٣ درصد در بذرهایی که به‌ترتیب ۱۵ و ۳۰ روز استراتیفیکاسیون شده بودند افزایش پیدا کرد و بین این دو با دوره‌های ۰ و ۷ روز اختلاف معنی‌دار وجود داشت (شکل ۱-الف). با افزایش مدت زمان استراتیفیکاسیون سرد، سرعت جوانه‌زنی بذرهای کما برای ۲۵ درصد ابتدایی جمعیت بذر نیز افزایش پیدا کرد و بیشترین مقدار آن، ۰/۷۷ (برحسب تعداد تجمعی بذر جوانه زده در روز) بعد از ۳۰ روز استراتیفیکاسیون به‌دست آمد (شکل ۱- ب).

جدول ۱: تجزیه واریانس اثر دوره‌های مختلف استراتیفکاسیون بر درصد و سرعت جوانه‌زنی بذرهای کما (*F. ovina*).

منابع تغییر	df	درصد جوانه زنی(GP)		سرعت جوانه زنی(GR)	
		میانگین مربعات	F	میانگین مربعات	F
استراتیفیکاسیون	۳	۲۲۱/۵۸۳	۸/۷۵**	۰/۰۰۱۳۹	۵۲/۰۹**
خطا	۸	۲۵/۳۱۰	–	۰/۰۰۰۰۲۶	–
کل	۱۱	–	–	–	–

** اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد.



شکل ۱: اثر مدت زمان‌های مختلف (۰، ۷، ۱۵ و ۳۰ روز) استراتیفیکاسیون سرد بر درصد (الف) و سرعت (ب) جوانه‌زنی بذرهای کما (*F.ovina*). میله‌های عمودی نشان دهنده خطای استاندارد (SE) هر تیمار می باشد.

اثرات مدت زمان قرار گرفتن در معرض ذرات دود بر جوانه‌زنی و رفع کمون کما: اثر متقابل مدت زمان‌های مختلف قرار گرفتن در معرض ذرات دود و دوره‌های استراتیفیکاسیون سرد بر درصد جوانه‌زنی بذرهای کما در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). در بذرهای خشک و آبنوشی‌شده که بدون پیش تیمار استراتیفیکاسیون سرد در معرض مدت زمان‌های مختلف ذرات دود قرار گرفتند درصد جوانه‌زنی نسبت به شاهد روند کاهشی اما بدون اختلاف معنی‌دار نشان داد. از بین این دو گروه (بذرهای خشک و آبنوشی شده)، بذرهای خشک درصد جوانه‌زنی بیشتری نسبت به بذرهای آبنوشی شده داشتند. در بذرهایی که بعد از پیش تیمار استراتیفیکاسیون سرد در معرض ذرات دود قرار گرفتند، درصد جوانه‌زنی نسبت به شاهد بیشتر بود و بیشترین افزایش (تقریبا ۲۰ درصد) نسبت به شاهد در تیمار ۲ دقیقه ذرات دود بعد از ۷ روز استراتیفیکاسیون مشاهده شد (شکل ۲- الف). اعمال زمان‌های مختلف ذرات دود بر سرعت جوانه‌زنی ۲۵ درصد ابتدایی جمعیت در همه تیمارها به جز بذرهای آبنوشی شده کما در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار بود (جدول ۲، شکل ۲-ب). با توجه به درصد و سرعت جوانه‌زنی، در بذرهای آبنوشی شده، تیمار شاهد و در بذرهای خشک، مجاورت با ذرات دود به مدت ۵ دقیقه اثر بهتری بر مؤلفه‌های جوانه‌زنی بذرهای کما داشت. در تیمارهای ذرات دود بعد از استراتیفیکاسیون ۷ و ۱۵ روز، تیمار دودی ۲ دقیقه و در ۳۰ روز استراتیفیکاسیون، تیمار دودی ۵ دقیقه تاثیر بیشتری بر جوانه‌زنی بذرهای کما نشان داد (شکل ۲- الف و ب).

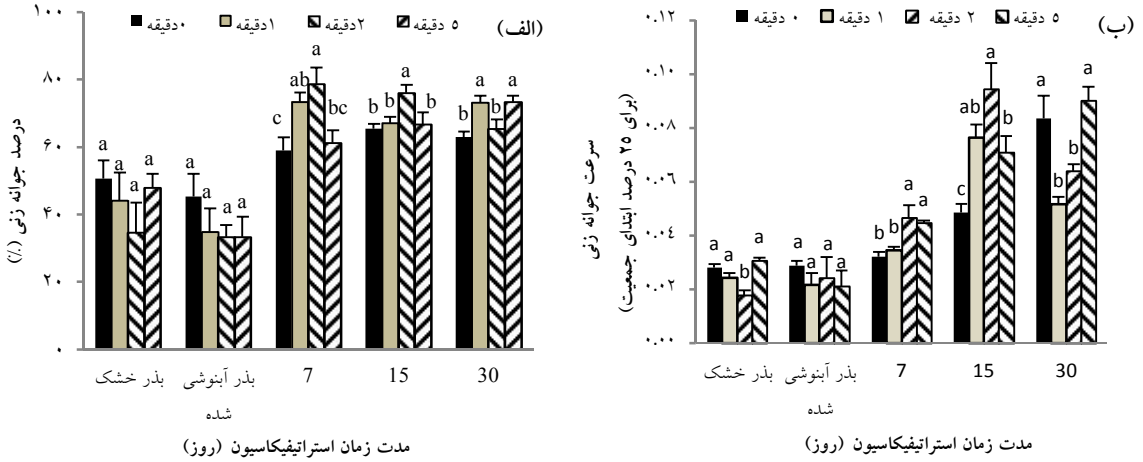
جدول ۲: تجزیه واریانس اثر دوره‌های مختلف استراتیفکاسیون و مدت زمان‌های مختلف مجاورت با ذرات دود بر درصد و سرعت جوانه زنی بذرهای کما (*F. ovina*).

منابع تغییر	df	درصد جوانه زنی(GP)		سرعت جوانه زنی(GR)	
		میانگین مربعات	F	میانگین مربعات	F
تیمار	۱۹	۷۱۸/۵۹۳	۱۱/۲۱ **	۰/۰۰۱۸	۲۹/۱۹ **
استراتیفیکاسیون	٤	۲۹۰۹/۳۹۷	٤٥/٤٠ **	۰/۰۰۰۰٦۳	۱۱۱/۰٤ **
مدت زمان مجاورت با ذرات دود	۳	۱۲/۱٦٦	۰/۱۹ ns	۰/۰۰٦۹	٤/٤٦ **
استراتیفیکاسیون × مدت زمان مجاورت با ذرات دود	۱۲	۱٦٤/۹۳۲	۲/۵۷ *	۰/۰۰۰۲۸	۸/۰۹ **
خطا	٤۰	٦٤/۰۸۹	–	۰/۰۰۰۵۰	
کل	۵۹	–	–	–	

** اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد.

* اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد.

ns اختلاف معنی‌دار نیست.



شکل ۲: اثر دوره‌های مختلف استراتیفیکاسیون سرد (۰، ۷، ۱۵ و ۳۰ روز) و مدت زمان‌های مختلف (۰، ۱، ۲ و ۵ دقیقه) مجاورت با ذرات دود بر درصد (الف) و سرعت جوانه‌زنی (ب) بذرهای کما (*F. ovina*). میله‌های عمودی نشان دهنده خطای استاندارد (SE) هر تیمار می‌باشد.

اثر عصاره‌های دودی بر جوانه‌زنی و رفع کمون کما

محلول آبی کاه نیم سوز: اثر نسبت‌های مختلف محلول آبی کاه نیم سوز بر درصد جوانه‌زنی بذرهای کما، در استراتیفیکاسیون ۱۵ روز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). در بذرهای بدون استراتیفیکاسیون، درصد جوانه‌زنی با افزایش غلظت محلول دودی، روند کاهشی نشان داد و در تمامی دوره‌های استراتیفیکاسیون، نسبت‌های حجمی ۰/۱ و ۱، درصد جوانه‌زنی کمتری نسبت به شاهد همان دوره و غلظت های ۰/۰۰۱ و ۰/۰۱ عصاره دودی داشتند (شکل ۳- الف).

اثر غلظت‌های مختلف محلول آبی کاه نیم سوز بر سرعت جوانه‌زنی ۲۵ درصد ابتدای جمعیت بذرهای کما بعد از دوره‌های استراتیفیکاسیون ۷ و ۱۵ روز در

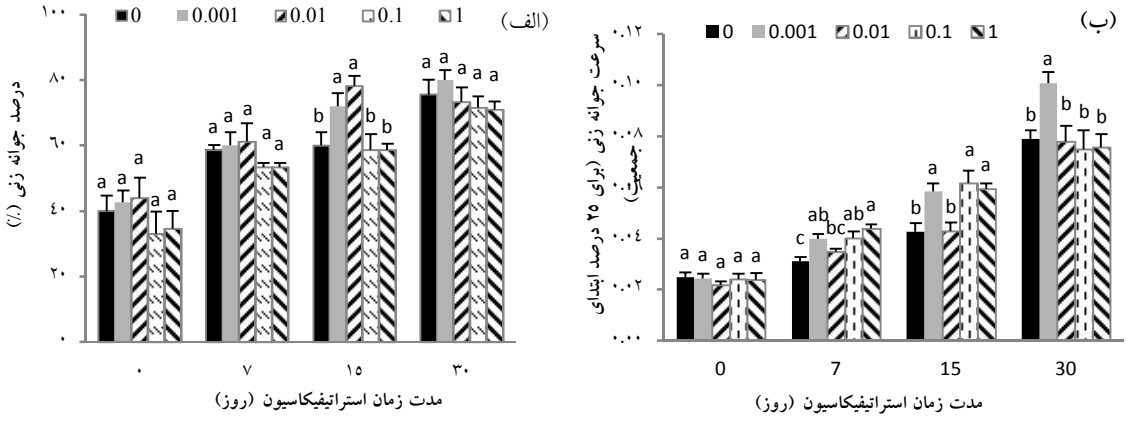
سطح احتمال ۱ درصد و بعد از ۳۰ روز استراتیفیکاسیون در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳، شکل ۳–ب). اثر غلظت‌های مختلف محلول آبی کاه نیم سوز روند منظمی بر سرعت جوانه‌زنی بذرهای کما نداشت. اما در همه دوره‌های استراتیفیکاسیون غلظت ۰/۰۰۱ این محلول نسبت به شاهد همان دوره سرعت بیشتری ایجاد کرد (شکل ۵–ب). با توجه به درصد و سرعت جوانه‌زنی (شکل ۳. الف و ب) غلظت ۰/۰۰۱ محلول دودی بدون استراتیفیکاسیون و غلظت‌های ۰/۰۰۱ و ۰/۰۱ این محلول بعد از دوره‌های استراتیفیکاسیون (۷، ۱۵ و ۳۰ روز) باعث بهبود جوانه‌زنی بذرهای کما شدند.

جدول ۳: تجزیه واریانس اثر دوره‌های مختلف استراتیفکاسیون و غلظت‌های مختلف عصاره دودی کاه نیم سوز بر درصد و سرعت جوانه زنی بذرهای کما (*F. ovina*).

منابع تغییر	df	درصد جوانه زنی(GP)		سرعت جوانه زنی(GR)	
		میانگین مربعات	F	میانگین مربعات	F
تیمار	۱۹	٦۲۲/٤٤۹	۱۲/۸۰ **	۰/۰۰۱٦۱	٤٦/٤۸ **
استراتیفیکاسیون	٤	۳٤/۰۸۱۸	۷۰/۱۱**	۰/۰۰۹۲٦	۲٦٦/۱۲ **
غلظت‌های محلول آبی کاه نیم سوز	۳	۲۸۰/۷۷۸	۵/۷۷ **	۰/۰۰۰۲۹٤۵	۸/٤٦ **
استراتیفیکاسیون×غلظت‌های محلول آبی کاه نیم سوز	۱۲	۳۹/۷۳۰	۰/۸۲ ns	۰/۰۰۰۱٤۷	٤/۲۵ **
خطا	٤۰	٤۸/٦۲۲	–	۰/۰۰۰۰۳٤۸	
کل	۵۹	–	–	–	

** اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد.

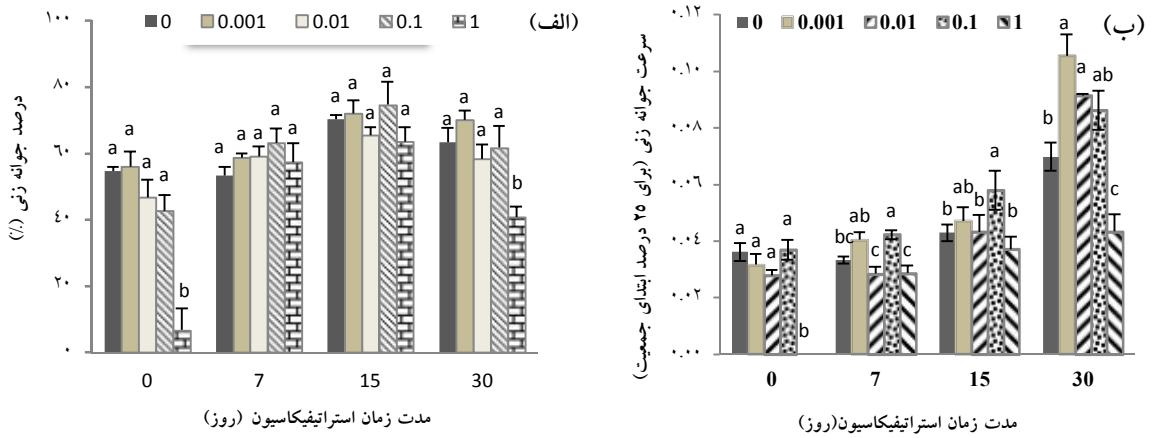
ns اختلاف معنی دار نیست.



شکل ۳: اثر دوره‌های مختلف استراتیفیکاسیون سرد (۰، ۷، ۱۵ و ۳۰ روز) و غلظت‌های مختلف محلول آبی کاه نیم سوز (v/v ۱ و ۰/۱، ۰/۰۱، ۰/۰۰۱، ۰) بر درصد (الف) و سرعت جوانه‌زنی (ب) بذرهای کما (*F. ovina*). میله‌های عمودی نشان‌دهنده خطای استاندارد (SE) هر تیمار می‌باشد.

دود آب: غلظت‌های مختلف دود آب بعد از استراتیفیکاسیون ۰ و ۳۰ روز بر درصد جوانه‌زنی بذرهای کما در سطح احتمال ۱ درصد تأثیر معنی‌دار داشتند (جدول ٤). ولی این اثر بعد از ۷ و ۱۵ روز

استراتیفیکاسیون، معنی‌دار نبود. به طورکلی، در بذرهایی که استراتیفیکاسیون نشدند، غلظت‌های مختلف دود آب اثر کاهشی بر درصد جوانه‌زنی بذرهای کما داشت و در محلول پایه دود آب، مقدار این مولفه به (۱۰درصد) رسید (شکل ٤-الف). اثر دود آب بعد از تمامی دوره‌های استراتیفیکاسیون بر سرعت جوانه‌زنی ۲۵ درصد ابتدای جمعیت بذرهای کما در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ٤). اضافه شدن پیش تیمار استراتیفیکاسیون روندهای متفاوتی بر درصد و سرعت (۲۵ درصد اولیه جمعیت) جوانه‌زنی بذرهای کما ایجاد کرد. با این وجود، در تمامی تیمارها، نسبت حجمی ۰/۱ دود آب، سرعت بیشتری در ۲۵ درصد اولیه جوانه‌زنی بذرها نسبت به شاهد هر گروه داشت (شکل ٤- ب) و بر اساس روند کلی جوانه‌زنی بذرهای کما، در بذرهای بدون استراتیفیکاسیون، شاهد (آب مقطر)، در بذرهای ۷ و ۱۵ روز استراتیفیکاسیون شده، نسبت ۰/۱ عصاره دودی و در بذرهایی که ۳۰ روز استراتیفیکاسیون شدند نسبت ۰/۰۰۱ این عصاره باعث بهبود جوانه‌زنی بذرهای کما شد. در دود آب خالص بعد از دوره‌های مختلف پیش تیمار سرما، بذرهای کما جوانه‌زنی داشتند اما همه بذرهای جوانه زده گیاهچه‌های غیرطبیعی تولید کردند که نسبت به شاهد ضعیف تر بوده، رشد کمتر داشتند یا لکه های قهوه‌ای رنگی در نوک ریشه چه آنها ظاهر شده بود (شکل ۵).



شکل ٤: اثر دوره‌های مختلف استراتیفیکاسیون (۰، ۷، ۱۵ و ۳۰ روز) و غلظت های مختلف دود آب (v/v ۱ و ۰/۱، ۰/۰۱، ۰/۰۰۱، ۰) بر درصد (الف) و سرعت جوانه‌زنی (ب) بذرهای کما (*F. ovina*). میله‌های عمودی نشان‌دهنده خطای استاندارد (SE) هر تیمار می‌باشد.

شکل ۵: گیاهچه‌های غیرطبیعی حاصل از بذرهای آبنوشی شده کما (*F. ovina*) با محلول پایه دود آب.

جدول ٤: تجزیه واریانس اثر دوره‌های مختلف استراتیفکاسیون و غلظت‌های مختلف دود آب بر درصد و سرعت جوانه‌زنی بذرهای کما (*F. ovina*).

منابع تغییر	df	درصد جوانه زنی(GP)		سرعت جوانه زنی(GR)	
		میانگین مربعات	F	میانگین مربعات	F
تیمار	١٩	٦٧٠/٠٢٤	١١/٥٠ **	٠/٠٠١٨٣	٤١/٩٨ **
استراتیفیکاسیون	٤	٢٠٠١/٧٣٩	٣٤/٣٦ **	٠/٠٠٨٠٨	١٨٥/٤٣ **
غلظت های مختلف دود آب	٣	٨٩٦/٩١١	١٥/٤٠ **	٠/٠٠١٥١١	٣٤/٦٥ **
استراتیفیکاسیون × غلظت‌های مختلف دود آب	١٢	٢٦١/٤٦٦	٤/٤٩ **	٠/٠٠٠٣٧٣	٨/٥٧ **
خطا	٤٠	٥٨/٢٥١	–	٠/٠٠٠٠٤٣٦	
کل	٥٩	–	–	–	

** اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ١ درصد.

ns اختلاف معنی‌دار نیست.

بحث

بذرهای گیاهان تیره چتریان در زمان بلوغ و هنگام پراکنش دارای کمون‌های مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و یا مورفوفیزیولوژیکی هستند (Baskin and Baskin, 2014). برای رفع کمون مورفوفیزیولوژیک پیچیده عمیق کما با توجه به زیستگاه‌های طبیعی آن که شرایط دمایی بسیار سردی حاکم است (میانگین دمای سالانه ٨ درجه سانتی‌گراد)، استراتیفیکاسیون سرد نیازی اجتناب ناپذیر است (Fasih and Tavakkol-Afshari, 2018؛ Azhir and Shahmoradi, 2007). همان طوری که داده‌های این تحقیق نیز نشان می‌دهد، استراتیفیکاسیون سرد باعث افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی بذرهای دارای کمون کما می‌شود. در رابطه با اثرات سرما و نقش فیزیولوژیک آن بر رفع کمون گیاهان مختلف مطالعاتی صورت گرفته است. طی بررسی‌های انجام شده بر بذرهای گیاه گلپر (Apiaceae) *Heracleum sphondylium*، مشاهده شد که استراتیفیکاسیون سرد میزان دسترسی جنین به عناصر و اندوخته‌ی غذایی بذر را افزایش داده و همچنین این تیمار امکان تبدیل پروتئین‌ها به ترکیبات نیتروژنه محلول و تشکیل اسید آمینه‌های گلیسین و آرژنین را که برای رشد جنین مفید هستند، فراهم کرده که به موازات قندهای محلول، باعث افزایش رشد جنین بذرهای گیاه گلپر طی استراتیفیکاسیون می‌گردد (Stokes, 1952; 1953 a, b). این نتیجه‌گیری در مطالعه Fasih and Tavakkol Afshari (٢٠١٨) نیز در رابطه با اثر استراتیفیکاسیون سرد و کاربرد پراکسید هیدروژن خارجی روی بذرهای کما حاصل شد و در هر دو تیمار افزایش نسبت رشد جنین به اندوخته بذر کما به دلیل افزایش دسترسی به اندوخته بذری گزارش شد. مطالعات دیگر بیانگر این مطلب هستند که استراتیفیکاسون سرد باعث کاهش میزان ABA جنین از طریق کاهش میزان سنتز و یا افزایش میزان تخریب آن می‌شود (Schmitz et al., 2002). ABA از رشد جنین و سست شدن آندوسپرم طی جوانه‌زنی بذر جلوگیری می‌کند (Silva et al., 2004). بنابراین، این احتمال وجود دارد که سرما از طریق کاهش میزان ABA و یا کاهش حساسیت جنین نسبت به این هورمون، پتانسیل رشد آن را افزایش داده و یا با تضعیف و تجزیه کردن

آندوسپرم خروج ریشه‌چه از بذرهای کما را تسهیل کند.

اثر مدت زمان قرارگرفتن در معرض ذرات دود در برخی از بذرهای پیش تیمار شده کما منجر به بهبود جوانه زنی و در برخی دیگر منجر به بازدارندگی جوانه‌زنی شد. هنگامی که بذرهای بدون استراتیفیکاسیون کما در معرض ذرات دودی قرار گرفتند درصد و سرعت جوانه‌زنی نسبت به شاهد کاهش یافت که این کاهش در بذرهای آبنوشی شده بیشتر از بذرهای خشک بود. علت کاهش بیشتر درصد جوانه‌زنی در بذرهای آبنوشی شده را می‌توان به افزایش جذب ذرات دودی توسط بذرها طی آبنوشی ارتباط داد. آبنوشی در این شرایط، ممکن است سبب افزایش حساسیت بذر نسبت به ترکیبات محرک یا مهارکننده‌ی رویش شود. این افزایش حساسیت می‌تواند به دلیل افزایش گیرنده‌های سلولی مربوطه یا تشدید و تقویت مسیرهای سیگنالی مرتبط با رویش بذر دارای ماهیت فعال کنندگی و مهاری باشد و با بالا رفتن غلظت این ترکیبات در بذرهای آبنوشی شده اثر مثبت آنها بر جوانه‌زنی بذر کاهش می‌یابد. طبق بررسی‌های صورت گرفته توسط Sparg و همکاران (۲۰۰۶) گزارش شد که جوانه‌زنی بذرهای ذرت در مدت زمان‌های طولانی مجاورت با ذرات دود، کاهش می‌یابد. Iqbal و همکاران (۲۰۱۶) نیز گزارش کردند که کاربرد ذرات دود بر بذرهای آبنوشی شده گندم (*Triticum eastivum* L.) درصد جوانه‌زنی آن را نسبت به بذرهای خشک (آبنوشی نشده) کاهش داد.

مجاورت بذرهای کما با ذرات دود بعد از دوره‌های مختلف استراتیفیکاسیون، درصد و سرعت جوانه‌زنی بذرها را نسبت به شاهد افزایش‌داد. در بذرهایی که ۳۰ روز استراتیفیکاسیون شده بودند تیمار دودی ۵ دقیقه و در بذرهایی که ۷ و ۱۵ روز استراتیفیکاسیون شده بودند تیمار دودی ۲ دقیقه بیشترین تاثیر را بر رفع کمون و بهبود جوانه‌زنی بذرهای کما داشت. در مطالعه روی ۲۰ گونه گیاهی، Lindon and Menges (۲۰۰۸) گزارش کردند که جوانه‌زنی سه گونه *Liatris chapmanii*، *Polygala lewtonii* و *Abrus precatorius* طی ۵ دقیقه مجاورت با ذرات دود افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد داشت. در بررسی Shayanfar (۲۰۱۷) تیمار ۱ دقیقه ذرات دود سبب رفع کمون ثانویه بذور کلزا شد. نتایج مدت زمان‌های استفاده شده در آزمایش ذرات دود روی گونه کما نشان داد که تا محدوده ۵ دقیقه استفاده از این روش می‌تواند تا ۲۰ درصد در بهبود جوانه‌زنی بذرهایی که پیش تیمار استراتیفیکاسیون سرد را دریافت کرده اند مؤثر باشد. با این حال گزارشاتی نیز از اثرات منفی مدت زمان‌های طولانی مجاورت با ذرات دود در برخی گونه‌ها ارائه شده است. به عنوان مثال، کاربرد مستقیم ۶۰ دقیقه دود روی بذر تعدادی از گونه‌های گیاهی غرب استرالیا (Roche et al., 1997) و در مطالعه نرمن و همکاران (Norman et al., 2006) کاربرد ذرات دود از جوانه‌زنی بذرهای *Clematis pubescens* Endl. و *angustifolium* Endl. *Hypocalymma* جلوگیری کرد.

در آزمایش محلول آبی کاه نیم سوز، بدون پیش تیمار استراتیفیکاسیون سرد اثر معنی‌داری بر سرعت و درصد جوانه‌زنی بذرهای کما مشاهده نشد. با این حال در تمام گروه‌های بذری نسبت ۰/۰۰۱ محلول دودی، درصد و سرعت جوانه‌زنی بیشتری نسبت به شاهد همان گروه نشان داد. غلظت‌های بالا (۰/۱ و ۱) نسبت به غلظت‌های کمتر (۰/۰۰۱ و ۰/۰۱) محلول دودی بعد از دوره‌های مختلف استراتیفیکاسیون، اثرات متفاوتی بر درصد جوانه‌زنی بذرهای کما ایجاد کردند. بنابراین، اثرات متقابل مدت زمان پیش تیمار

استراتیفیکاسیون سرد و غلظت ترکیبات موجود در عصاره دودی حاصل از کاه گندم می‌تواند درصد و سرعت جوانه‌زنی بذرهای گیاه کما را تحت تأثیر قرار دهد. در بررسی تیمارهای دودی روی دو رقم کلزا توسط Shayanfar (۲۰۱۷)، کاربرد محلول دودی کاه نیم سوز پس از القای کمون ثانویه، بیشترین درصد کمون در نسبت ۰/۰۰۱ حاصل شد و با افزایش غلظت محلول، از درصد کمون ثانویه در هر دو رقم کاسته شد.

نتایج حاصل از کاربرد دود آب نشان می‌دهد که غلظت تیمار دودی تهیه شده با این روش برای گونه کما می‌تواند اثرات متفاوتی بر ویژگی‌های جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌های گونه کما داشته باشد. در بذرهایی که استراتیفیکاسیون نشدند، افزایش غلظت دود آب اثر کاهشی بر درصد و سرعت جوانه‌زنی بذرهای کما داشت و محلول پایه دود آب در همه دوره‌های استراتیفیکاسیون (۰، ۷، ۱۵ و ۳۰ روز) گیاهچه‌های غیرطبیعی ایجاد کرد (شکل ۵). در بررسی غلظت‌های مختلف دود آب حاصل از سوختن تنباکو بر روی ریشه پیاز توسط Bhalla و همکاران (۱۹۷۳) گزارش شد که غلظت‌های بالای این محلول دودی منجر به اختلالات میتوزی و واکوئولیزه شدن سیتوپلاسم سلول‌های ریشه می‌شود و با افزایش غلظت محلول‌ها این اختلالات افزایش می‌یابد. از بین ٤ گونه مورد آزمایش در مطالعه Ren و همکاران (۲۰۱۷) طول ریشه‌چه بذرهای کنگر صحرایی (*Cirsium arvense*) بعد از ٢٤ ساعت پرایمینگ در غلظت (۱به ۱) KAR_1، کاهش یافت. اما محلول‌های دودی تهیه شده چنین اثری را ایجاد نکردند. همچنین غلظت‌های پایین KAR_1 و محلول‌های دود آب تهیه شده از یونجه صحرایی (*Festuca hallii*) و گندم زراعی (*Triticum aestivum*) درصد جوانه‌زنی بذرهای علف اسب یا پیربهار (*Conyza canadensis*) را افزایش دادند ولی در غلظت‌های بالا این نتیجه مشاهده نشد (Ren et al., 2017). استخراج بوتنولاید (غلظت 10^{-7} M) از دود آب حاصل از سوختن گیاه *Themeda triandra* Forssk. توانست جایگزین نیاز سرما و تاریکی در گیاه *Eucomis autumnalis* شود و درصد جوانه‌زنی را نسبت به شاهد به‌طور معنی‌دار افزایش دهد (Kulkarni et al., 2006). در مطالعه Shayanfar (۲۰۱۷) پس از القای کمون ثانویه، محلول پایه دودآب در دو رقم کلزا با کمون زیاد و کم، کمون را در آن‌ها القا نمود و در بقیه تیمارها (با غلظت‌های پایین‌تر دود) سبب رفع کمون ثانویه زیاد بذرها گردید. طبق گزارشات Baxter و همکاران (۱۹۹٤) استفاده از محلول‌های دودی (طبق هر دو روش تحقیق حاضر)، منجر به بهبود جوانه‌زنی بذرهای دارای کمون *Themeda triandra* شد.

در آزمایش دود آب، اعمال پیش تیمار سرما، روند کاهشی که در بذرهای بدون استراتیفیکاسیون وجود داشت را برهم زد، به طوریکه، در بذرهای ۷ و ۱۵ روز استراتیفکاسیون شده نسبت ۰/۱ و در بذرهایی که ۳۰ روز استراتیفیکاسیون شدند، نسبت ۰/۰۰۱ عصاره دودی اثر بهتری بر درصد و سرعت جوانه‌زنی بذرها نسبت به شاهد همان گروه ایجاد کرد. بدون پیش تیمار سرما، جوانه‌زنی بذرهای کما تحت تاثیر محلول پایه دود آب، کم بود و در استراتیفیکاسیون ۳۰ روز نیز نسبت به سایر غلظت‌های دود آب به کار رفته، کاهش چشمگیری نشان داد اما به‌طور کلی نسبت ۰/۰۰۱ عصاره دودی تهیه شده در این روش، درصد جوانه‌زنی را در همه گروه‌های بذری (۰، ۷، ۱۵ و ۳۰ روز استراتیفیکاسیون شده) و سرعت جوانه‌زنی را در بذرهایی که استراتیفیکاسیون شدند، افزایش داد.

مطالعات قبلی نشان داده‌اند که اثرات دود با منشأ گیاهی با واکنش‌های جوانه‌زنی بذر مطابقت دارد (Catav et al., 2012). مطالعاتی که تا به امروز روی

استخراج ترکیبات دود صورت گرفته نشان می‌دهند که بیش از ۵۰۰۰ ترکیب مختلف ممکن است در دود وجود داشته باشد که اثرات متقابل آن‌ها با یکدیگر منجر به واکنش‌های متفاوت در رابطه با بهبود و یا مهار جوانه‌زنی در میان گونه‌های مختلف گیاهی بسته به مدت زمان در معرض قرار داشتن و غلظت تیمارهای دودی می‌شود (Flematti et al., 2003). با وجود شناسایی کاریکین‌ها (Flemetti et al., 2009)، گلیسرونیتریل (Flematti et al. 2011) و سیانوهیدرین ها (Nelson et al., 2012) به عنوان ترکیبات بهبود دهنده جوانه‌زنی، ترکیبات قابل حل در آب دیگری نیز با نقش مهارکنندگی جوانه‌زنی در ترکیبات دود شناسایی شده‌اند (Light et al., 2010; Burger et al., 2018)، که در غلظت‌های بالا برای بذر سمی بوده و پذیرنده‌های عمل کاریکین‌ها را بلوکه کرده و تا زمانی که آب به اندازه کافی در دسترس نباشد مانع جوانه‌زنی بذر می‌شوند (Light et al., 2010). بنابراین وجود چنین ترکیباتی می‌تواند نشان دهنده نقش دو گانه فراورده‌های حاصل از سوختن ترکیبات گیاهی در بهبود جوانه‌زنی، رفع کمون و مراحل بعد از جوانه‌زنی باشد (Burger et al., 2018).

در رابطه با مکانیسم و نحوه عمل ترکیبات دود در رفع کمون و بهبود جوانه‌زنی بذرها دلایل مختلفی ارائه شده است. اثرات شبه هورمونی ترکیبات دود در بذر هنگام مساعد شدن شرایط محیطی، تغییر در متابولیسم هورمون‌های داخلی و یا تغییر حساسیت بذرها به هورمون‌ها دلایل احتمالی برای توجیه اثر بهبود جوانه‌زنی توسط ترکیبات دودی حاصل از سوختن مواد گیاهی حاوی کاریکین هستند (Nelson et al., 2009). همچنان که استفاده از محلول‌های دودی، باعث افزایش میزان GA و کاهش ABA درونی در دو گونه نورپسند کاهو (*Lactuca sativa*) و توتون (*Nicotiana attenuate*) شد (Schawachtje and Baldwin, 2004). علاوه بر این، دود می‌تواند باعث افزایش پتانسیل رشدی جنین و یا سست شدگی پوسته بذر (به‌طور مستقیم و یا توسط جنین) شود و از این طریق کمون بذر را برطرف کند (Briggs et al., 2016). در بذرهای تیمارشده با دود، سست شدگی آندوسپرم و شکافتگی پوسته بذر به دلیل توسعه و رشد جنین رخ می‌دهد (Krock et al., 2002). بنابراین نحوه اثر تیمارهای دودی بر بذرهای دارای کمون به نوع کمون بذرها بستگی دارد (Zuloaga - Aguilar et al., 2011).

نتیجه‌گیری نهایی

همانطور که نتایج تحقیق حاضر نشان می‌دهد، غلظت های مختلف عصاره‌های دودی و مدت زمان قرار گرفتن بذرها در معرض ذرات دود حاصل از سوختن بقایای گیاهی ممکن است نتایج متفاوتی بر میزان درصد، سرعت جوانه‌زنی، زنده مانی بذر و حتی مراحل بعد از جوانه زنی و ظهور گیاهچه ایجاد نماید. بنابراین مهمترین نکته در استفاده از دود به منظور رفع کمون و بهبود جوانه‌زنی شناخت ماده مؤثر برای گونه مورد مطالعه، دامنه غلظت آن ماده و بررسی نحوه اثر یا مکانیسم عمل آن ماده می‌باشد. در مورد بذرهای کما محدوده زمانی به کار رفته تا ۵ دقیقه برای مجاورت با ذرات دود و عصاره‌های دودی رقیق شده امکان بهبود درصد و سرعت جوانه زنی بذرها را نسبت به شاهد فراهم می‌کنند. از آنجایی که مطالعات قبلی نشان داده‌اند KAR_1 در دود آب حاصل از کاه گندم وجود دارد پس مکانیسم تاثیر محلول‌های دودی به کار رفته در آزمایشات این تحقیق نیز ممکن است با سنتز و متابولیسم هورمون‌ها و تعادل هورمونی بذرهای کما مرتبط باشد. با اینحال در نظر گرفتن اینکه کمون گونه کما ترکیبی از دو جزء مورفولوژیک و فیزیولوژیک می‌باشد ممکن است ترکیبات فعال

موجود در دود حاصل از سوختن کاه گندم روی یک یا هر دو جزء کمون مؤثر باشد. بنابراین با توجه به نتایج این مطالعه بررسی مکانسیم‌های اثر ترکیبات دود و اثر متقابل کاریکین با هورمون‌های ABA و GA_3 بر رفع کمون و بهبود جوانه‌زنی بذرهای این گیاه ضروری به نظر می‌رسد.

References

Amooaghaei, R. (2006). Effect of light, cold and seed age on seed germination of *Ferula ovina*. Science and Technology of Agriculture and Natural Resources. 10: 289-297.

Amooaghaei, R. (2007). The effect of GA3 and moist-chilling on seed dormancy breaking of *Ferula ovina* Boiss. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources. 40: 471-481.

Amooaghaie, R. (2009). The effect mechanism of moist-chilling and GA_3 on seed germination and subsequent seedling growth of *Ferula ovina* Boiss. The Open Plant Science Journal. 3: 22- 28.

Aqel, M., Al-Khalili, S. and Afifi, F. (1992). Relaxing effect of *Ferula ovina* extract on uterine smooth muscle of rat and guinea pig. International Journal of Pharmacogn. 30(1): 76-80.

Azhir, F. and Shahmoradi, A.A. (2007). Autecology of *Ferula ovina* Boiss. in Tehran province. Iranian Journal of Range and Desert Research. 14 (3): 359- 367.

Baldos, O.C. and De Frank, J. (2015). Germination response of dormant Tanglehead (*Heteropogon contortus*) seeds to smoke-infused water and the smoke-associated stimulatory compounds, karrikinolide and cyanide. Hortscience. 3:421–429.

Baskin, C.C., and Baskin, J.M. (2014). Seeds: Ecology, Biogeography and Evolution of Dormancy and Germination, 2nd edition. San Diego: Elsevier/Academic Press.

Baxter, B.J.M. and Van Staden, J. (1994). Plant-derived smoke: an effective seed pre-treatment. Plant Growth Regulation. 14: 279-282.

Bhalla, .P.R., Kochhar, T.S. and. Sabharwal, P.S. (1973). Induction of mitotic abnormalities in Onion root-tips by Tobacco smoke condensate. Cytologia. 38: 707-712.

Briggs, C.L., Morris, E.C. and Stone, G. (2016). Micropylar seed coat restraint and embryonic response to heat shock and smoke control seed dormancy in *Grevillea juniperina*. Seed Science Research. 26: 111–123.

Burger, B.V., Posta, M., Light, M.E., Kulkarni, M.G., Viviers, M.Z. and Van Staden, J. (2018). More butenolides from plant-derived smoke with germination inhibitory activity against karrikinolide. South African Journal of Botany. 115: 256-263

Catav, S.S., Bekar, I., Ates, B.S., Ergan, G., Oymak, F., Ulker, E.D., and Tavsanoglu, C. (2012). Germination response of five eastern Mediterranean woody species to smoke solution derived from various plant. Turkish Journal of Botany. 36: 480–487.

Cavieres, L.A. and Arroyo, M.T.K. (2000). Seed germination response to cold stratification period and thermal regime in *Phacelia secunda* (Hydrophyllaceae)**.** Plant Ecology. 149: 1–8.

De Lange, J.H. and Boucher, C. (1990). Autecological studies on *Audouinia capitata* Bruniaceae. I. Plant-derived smoke as a seed germination cue. South African Journal of Botany. 56: 700-703.

Dixon, K.W., Roche, S. and Pate, J.S. (1995). The promotive effect of smoke derived from burnt native vegetation on seed germination of Western Australian plants. Oecologia. 101: 185-192.

Fasih, M. and Tavakkol Afshari, R. (2018). The morphophysiological dormancy of *Ferula ovina* seeds is alleviated by low temperature and hydrogen peroxide. Seed Science Research. 28 (1):52-62.

Flematti, G.R., Ghisalberti, E.L., Dixon, K.W. and Trengove, R.D. (2004). A compound from smoke that promotes seed germination. Science. 305: 977-977.

Flematti, G.R., Ghisalberti, E.L., Dixon, K.W. and Trengove, R.D. (2009). Identification of alkyl substituted 2 H-furo [2, 3-c] pyran-2-ones as germination stimulants present in smoke. Journal of Agriculture and Food Chemestry. 57: 9475-9480.

Flematti, G.R., Goddard-Borger, E.D., Merritt, D.J., Ghisalberti, E.L., Dixon, K.W. and Trengove, R.D. (2007). Preparation of 2H-furo 2,3-c pyran-2-one derivatives and evaluation of their germination-promoting activity. Journal of Agriculture and Food Chemestry. 55:2189–2194.

Flematti, G.R., Scaffidi, A., Dixon, K.W., Smith, S.M., and Ghisalberti, E.L. (2011). Production of the seed germination stimulant

karrikinolide from combustion of simple carbohydrates. Journal of Agriculture and Food Chemestry. 59:1195–1198.

Ghaderi- Far, F. and Soltani, A. (2017). Seed testing and control. Mashhad University publication.

Ghaderi- Far, F., Alimagham, S.M., Kameli, A.M., and Jamali, M. (2012). Isabgol (*Plantago ovata* Forsk) seed germination and emergence as affected by environmental factors and planting depth. International Journal of Plant Production. 6: 185-194.

Govindaraj, M., Masilamani, P., Albert, V.A. and Bhaskaran, M. (2016). Plant derived smoke stimulation for seed germination and enhancement of crop growth: A review. Agricultural Reviews. 2: 87-100.

Iqbal, M., Asif, S., Ilyas, N., Raja, N.I., Hussain, M., Shabir, S., Ashraf Faz, M.N. and Rauf, A. (2016). Effect of plant derived smoke on germination and post germination expression of Wheat (*Triticum aestivum* L.). American Journal of Plant Sciences. 7: 806-813.

Iranshahi, M , Famili, A. (Pharm. D.), Bassarello, C., Piacente, S. and Pizza, C. (2010). Purification and structure elucidation of compounds from the roots of *Ferula ovina* Boiss. Journal of Medicinal Plants. 4(36): 72- 80.

Kepczynski, J, Cembrowska, D. and van Staden, J. (2010). Releasing primary dormancy in *Avena fatua* L. caryopses by smoke-derived butenolide. Plant Growth Regulation. 62:85–91.

Keshtkar, H.R., Azarnivand, H., Etemad, V. and Moosavi, S.S. (2008). Seed dormancy-breaking and germination requirements of *Ferula ovina* and *Ferula gummosa.* Desert. 13: 45-51

Krock, B., Schmidt, S., Hertweck, C. and Baldwin, I.T. (2002). Vegetation-derived abscisic acid and four terpenes enforce dormancy in seeds of the post-fire annual *Nicotiana attenuata*. Seed Science Research. 12: 239–252.

Kulkarni, M.G., Sparg, S.G. and Van Staden, J. (2006). Dark conditioning, cold stratification and a smoke-derived compound enhance the germination of *Eucomis autumnalis* subsp. autumnalis seeds. South African Journal of Botany. 72: 157 – 162

Light, M.E., Burger, B.V., Staerk, D., Kohout, L., and Van Staden, J. (2010). Butenolides from plant-derived smoke: natural plant-growth regulators with antagonistic actions on seed germination. Journal of Natural Products. 73: 267–269.

Lindon, H.L. and Menges, E. (2008). Effects of smoke on seed germination of twenty species of fire-prone habitats in Florida. Castanea. 2: 106-110.

Malek, M., Ghaderi-Far, F. and Gorzin, M. (2018). The effects of smoke and gibberellic acid on dormancy elimination of wild mustard (*Sinapis arvensis*) seeds in different temperatures. 4th. National seed science and technology conference of Iran. 13- 15 February, Karaj, Iran.

Minorsky, P.V. (2002). Smoke-induced germination. Plant Physiology. 128: 1167–1168.

Moghimi J. (2006). Introduce of some plant species that suitable for reclamation of Iran rangelands. Arvan Press, 669 p. (In Persian).

Mozaffarian V. (1996). A Dictionary of Iranian Plant Names, volume 3. Tehran: Farhang-e Moaser.

Nelson, D.C., Flematti, G.R., Ghisalberti, E.L., Dixon, K.W. and Smith, S.M. (2012). Regulation of seed germination and seedling growth by chemical signals from burning vegetation. Annual Review of Plant Biology. 63: 107–130.

Nelson, D.C., Riseborough, J., Flematti, G.R., Stevens, J., Ghisalberti, E.L., Dixon, K.W., and Smith, S.M. (2009). Karrikins discovered in smoke trigger *Arabidopsis* seed germination by a mechanism requiring gibberellic acid synthesis and light. Plant Physiology. 149: 863–873.

Nikoleava, M.G. (1969). Physiology of deep dormancy in seeds. Izdatel'stvo "Nauka", Leningrad. (Translation from Russian by Z. Shapiro, National Science Foundation, Washington, D.C.).

Norman, M.A. , Plummer, J.A. , Koch, J.M. and Mullins, G.R. (2006). Optimising smoke treatments for jarrah (*Eucalyptus marginata*) forest rehabilitation. Australian Journal of Botany. 6: 571-581.

Papenfus, H.B., Kulkarni, M.G., Posta, M., Finnie, J.F. and Van Staden, J. (2015). Smoke-isolated Trimethylbutenolide inhibits seed germination of different weed species by reducing amylase activity. Weed Science. 63: 312–320.

Ren, L., Bai, Y. and Reaney, M. (2017). Evidence of different compounds in smoke derived from Legume sand grasses acting on seed germination and seedling emergence. Seed Science Research. 27: 154–164.

Roche, S., Koch, J.M. and Dixon, K.W. (1997). "Smoke enhanced seed germination

for mine rehabilitation in the southwest of Western Australia," Restoration Ecology. 3: 191– 203.

Safaian, N. and Shokri, M. (1993). Botanical and ecological study of species of the genus Ferula (Medicinal Plants) in Mazandaran province. Acta Horticulture. 333: 159-167.

Scaffidi, A., Flematti, G.R., Nelson, D.C., Dixon, K.W., Smith, S.M. and Ghisalberti, E.L. (2011). The synthesis and biological evaluation of labelled karrikinolides for the elucidation of the mode of action of the seed germination stimulant. Tetrahedron. 67:152–157.

Schmitz, N., Abrams, S.R., and Kermode, A.R. (2002). Changes in ABA turnover and sensitivity that accompany dormancy termination of yellow-cedar (*Chamaecyparis nootkatensis*) seeds. Journal of Experimental Botany. 53: 89-101.

Schwachtje, J., and Baldwin, I.T. (2004). Smoke exposure alters endogenous gibberellin and abscisic acid pools and gibberellin sensitivity while eliciting germination in the post-fire annual, *Nicotiana attenuate*. Seed Science Research. 14: 51–60.

Shayanfar, A. (2017). Studying genetic variation of secondary dormancy and oilseed rape bank persistence. Ph.D Dissertation, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran.

Silva E.A.A., Toorop, P.E., van Aelst, A.C., and Hilhorst H.W.M. (2004). ABA regulates embryo growth potential and endosperm cap weakening during coffee (*Coffea arabica* cv. Rubi) seed germination. Planta, 220: 251–261.

Soltani, E.,F. Ghaderi-Far, C.C. Baskin and Baskin, J.M. (2015). Problems with using mean germination time to calculate rate of seed germination. Australian Journal of Botany. 8: 631-635.

Sparg, S.G., Kulkarni, M.G. and Van Staden, J. (2006). Aerosol smoke and smoke-water stimulation of seedling vigor of a commercial maize cultivar. Crop Science. 46:1336-1340.

Stokes, P. (1953a). A physiological study of embryo development in *Heracleum sphondylium* L. III. The effect of temperature on metabolism. Annual Botany. 17:157- 169.

Stokes, P. (1953b). The stimulation of growth by low temperature in embryos of *Heracleum sphondylium* L. Journal of Experimental Botany. 4: 222-234.

Stokes, P. (1952). A physiological study of embryo development in *Heracleum sphondylium* L. II. The effect of temperature on after-ripening. Annual Botany. 16: 571-576.

Van Staden, J., Jager, A.K. and Strydom, A. (1995). Interaction between a plant-derived smoke extract, light and phytohormones on the germination of light-sensitive lettuce seeds. Plant Growth Regulation. 17: 213–218.

Van Staden, J., Jager, A.K., Light, M.E., Burger, B.V., Brown, N.A.C. and Thomas, T.H. (2004). Isolation of the major germination cue from plant-derived smoke. South African Journal of Botany. 70: 654-659.

Van Staden, J., Sparg, S.G., Kulkarni, M.G. and Light, M.E. (2006). Post-germination effects of the smoke-derived compound 3-methyl-2H-furo [2, 3-c] pyran-2-one and its potential as a preconditioning agent. Field Crops Research. 98: 98-105.

Zuloaga-Aguilar, S., Briones, O., and Orozco-Segovia, A. (2011). Seed germination of montane forest species in response to ash, smoke and heat shock in Mexico. Acta Oecologica. 37: 256-262.