

بهبود جنبه‌های فیزیولوژیک بذر سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) در خاک آهکی: نقش شاخص‌های مربوط به عملکرد کیفی و ترکیب اسیدهای چرب

سید محمد سیدی^{۱*}، پرویز رضوانی مقدم^۲، محمد خواجه حسینی^۳ و حمید شاهنده^۴
۱، ۲، ۳- به ترتیب دانش آموخته دکترای اکولوژی گیاهان زراعی، استاد و دانشیار دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد
۴- استاد گروه علوم خاک و گیاه دانشگاه تگزاس امریکا

چکیده

این آزمایش در سال ۹۲-۱۳۹۱ به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد اجرا شد. منابع اصلاح کننده خاک آهکی (شامل ۱۰ تن ورمی کمپوست در هکتار (V) + باکتری تیوباسیلوس (T)، ۲۰ تن گوگرد در هکتار (S) + T + S+V و شاهد) به عنوان عامل اول و سطوح کاربرد فسفر (صفر، ۳۰ و ۶۰ کیلوگرم در هکتار از منبع فسفات دی آمونیوم) عامل دوم این آزمایش بودند. بر اساس تجزیه شیمیایی بذرهای سیاهدانه، کاربرد V+S+T در مقایسه با شاهد بیشترین تاثیر را در افزایش معنی دار درصد پروتئین خام، اسانس و روغن سیاهدانه داشت. طبق نتایج آزمایش، کاربرد S+T، V+T و V+S+T در مقایسه با شاهد، نقش معنی داری در کاهش معنی دار اسید لینولنیک (به ترتیب تا ۵۳، ۴۲ و ۶۳ درصد) داشت. در بین منابع اصلاح کننده خاک، بیشترین درصد اسید لینولنیک سیس، به طور معنی دار در نتیجه کاربرد تیمار V+S+T مشاهده شد. در بین اسیدهای چرب تشکیل دهنده روغن سیاهدانه، اسید لینولنیک دارای بالاترین ارتباط منفی با بینه بذر بود ($R^2 = 0/69^{**}$). طبق نتایج آزمایش می توان کاربرد ورمی کمپوست به ویژه همراه با مصرف گوگرد را جهت بهبود کیفیت روغن بذر سیاهدانه توصیه نمود.

کلمات کلیدی: آزمون RE، اسید چرب، اسید لینولنیک، بینه بذر.

مقدمه

blunden, 2003; Ramadan, 2007)، اخیراً روغن این گیاه نیز به عنوان یکی از منابع جدید و با ارزش خوراکی معرفی شده است (Piras et al., 2013). از این رو، با توجه به اهمیت ویژه سیاهدانه در صنایع غذایی و پزشکی، راهکارهای موثر در افزایش عملکرد کمی و به ویژه بهبود کیفیت بذر سیاهدانه، می تواند منجر به گسترش تولید این گیاه در مناطق خشک و نیمه خشک کشور شود. میزان عناصر غذایی که بوته مادری در طی فصل رشد دریافت می کند، از مهم ترین عوامل محیطی است که می تواند

بذرهای گیاه دارویی سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) که در مناطق خشک و نیمه خشک کشور رویش دارد، دارای طیف وسیعی از ترکیبات شیمیایی شامل اسانس (روغن فرار)، روغن، پروتئین، موسیلاژ، آلکالوئیدها، اسیدهای آلی، فیبر خام، ساپونین، انواع عناصر معدنی و ویتامین‌ها است (Ramadan, 2007; Al-Kayssi et al., 2011). در کنار نقش شناخته شده سیاهدانه در پزشکی به ویژه اثرات ضد سرطانی و ضد دیابتی و نیز کاهش دهنده فشار خون (Ali and

*نویسنده مسئول: سید محمد سیدی، نشانی، مشهد- دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

E-mail: se.seyyedi@stu-mail.um.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۹/۲۸

تاریخ تصویب: ۱۳۹۴/۱۲/۱۹

دانه، بنیه بذر، مقدار فسفر در جنین و نیز کاهش معنی دار متوسط زمان جوانه زنی در سیاه دانه شد. از این رو به نظر می‌رسد نقش فسفر در بهبود بنیه بذر سیاه دانه از طریق تاثیر بر اجزای کیفی بذر به ویژه ذخیره لیپید و پروتئین باشد (Seyyedi *et al.*, 2015). این مطالعه با هدف بررسی نقش شاخص‌های مربوط به عملکرد کیفی شامل درصد روغن، اسانس و پروتئین و نیز ترکیب اسیدهای چرب سیاه دانه در بهبود جنبه‌های فیزیولوژیک بذرهای تولید شده در یک خاک آهکی انجام شد.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در سال ۹۲-۱۳۹۱ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی طراحی شد. منابع اصلاح کننده خاک آهکی (شامل ورمی کمپوست (V) + باکتری تیوباسیلوس (T)، گوگرد (S) + T، V+S+T و شاهد) به عنوان عامل اول و سطوح کاربرد فسفر (صفر، ۳۰ و ۶۰ کیلوگرم در هکتار از منبع فسفات دی آمونیوم) عامل دوم این آزمایش بودند. در تیمارهای ذکر شده، ورمی کمپوست به میزان ۰/۵ درصد وزن خاک (معادل ۱۰ تن ورمی کمپوست در هکتار)، کود گوگرد (به صورت گوگرد عنصری میکرونیزه) به میزان یک درصد وزن خاک (۲۰ تن گوگرد در هکتار) همراه با باکتری تیوباسیلوس پیش از کاشت مصرف شد. کود دی آمونیوم فسفات نیز در یک مرحله پیش از کاشت استفاده شد. با تولید بذر در آزمایش قبل (بهبود جنبه‌های فیزیولوژیک بذر سیاه دانه در خاک آهکی: ۱- نقش مقدار فسفر بذر تحت تاثیر تغذیه بوته مادری) درصد اسانس، روغن و پروتئین خام در چهار تکرار اندازه گیری

بر ترکیب شیمیایی و نیز جنبه‌های فیزیولوژیک بذر تاثیر گذار باشد (Modi, 2002; Akram Ghaderi *et al.*, 2011). نحوه اثر گذاری عوامل محیطی به ویژه تغذیه گیاهی بر کیفیت بذر اساساً از طریق تاثیر بر ساختار و ترکیبات ذخیره‌ای بذر شامل محتوی پروتئین و روغن صورت می‌گیرد. در این ارتباط گزارش شده است که شرایط محیطی و تغذیه در طی دوره رشد گیاه مادری می‌تواند مقدار روغن و نیز ترکیب اسیدهای چرب روغن در گیاهانی مانند کرچک (*Ricinus communis* L.) (Alirezalu *et al.*, 2012)، آفتاب گردان (*Helianthus annuus* L.) (Shoghi-Kalkhoran *et al.*, 2013) و کلزا (Gao *et al.*, 2014) را به طور مستقیم تحت تاثیر قرار دهد. فسفر از مهم‌ترین عناصر در افزایش عملکرد کمی سیاه دانه بوده که می‌تواند در بهبود شاخص‌های مربوط به عملکرد کیفی این گیاه نیز موثر باشد (Mohamed *et al.*, 2000; Tuncturk *et al.*, 2011). از سوی دیگر، با توجه به نقش حیاتی ذخیره لیپید و پروتئین در جوانه زنی و استقرار گیاه چه‌ها و نیز بالا بودن درصد پروتئین (تا ۲۱ درصد) و روغن سیاه دانه (۳۴ تا ۳۸ درصد) (AI-Jassir, 1992; Atta, 2003)، بهبود تغذیه بوته مادری سیاه دانه از نظر جذب فسفر به ویژه در شرایط حلالیت و فراهمی پایین این عنصر در خاک‌های آهکی مناطق خشک و نیمه خشک کشور (Adhami *et al.*, 2006; Doroudian *et al.*, 2010) ممکن است از طریق تاثیر بر ساختار اندوخته غذایی بذر، جنبه‌های فیزیولوژیک بذر را بهبود دهد. بر اساس نتایج آزمایش مرحله اول، در شرایط کشت سیاه دانه در خاک آلی، افزایش فراهمی فسفر ناشی از کاربرد ورمی کمپوست به ویژه همراه با مصرف گوگرد، منجر به افزایش معنی دار وزن هزار

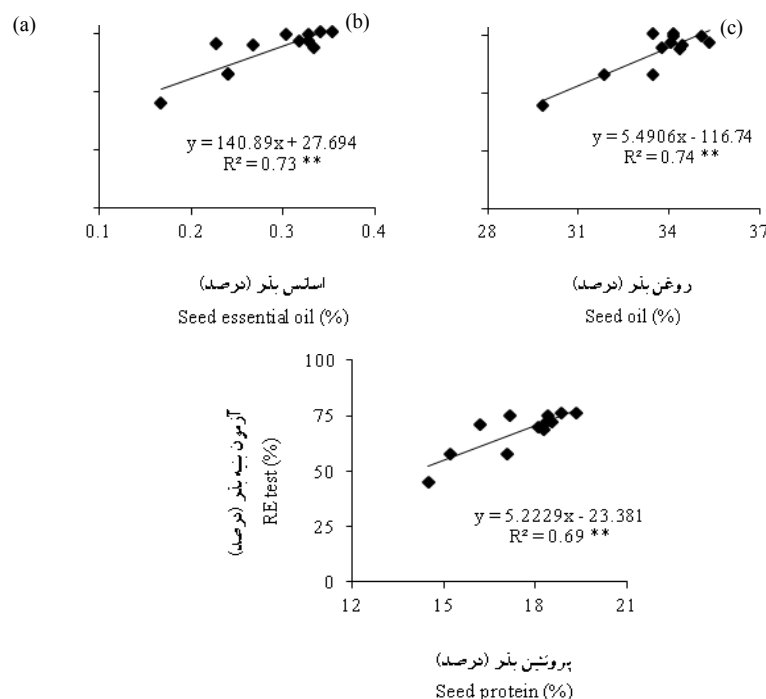
RT^۲ پیک‌ها، نوع اسیدهای چرب شناسایی و مقادیر هر یک از آن‌ها (بر حسب گرم در صد گرم کل اسید چرب) از محاسبه سطح زیر منحنی پیک‌های حاصله تعیین شد (Kokdil and Yilmaz, 2005; Lutterodt et al., 2010; Piras et al., 2013). تجزیه آماری داده‌های هر سه آزمایش با نرم افزار SAS 9.1 و Mstat-C انجام شد. پس از محاسبه خطای استاندارد، میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) و در سطح احتمال پنج درصد (بر اساس چهار تکرار در آزمایش) مورد مقایسه آماری قرار گرفتند.

نتایج و بحث

بنیه بذر تحت تأثیر شاخص‌های مربوط به درصد اسانس؛ روغن و پروتئین خام دانه

پس از اندازه‌گیری و تعیین بنیه بذر در مطالعه قبل (بهبود جنبه‌های فیزیولوژیک بذر سیاهدانه در خاک آهکی: ۱- نقش مقدار فسفر بذر تحت تأثیر تغذیه بوته مادری) ارتباط بین بنیه بذر سیاهدانه با هر یک اجزای مربوط به عملکرد کیفی (درصد اسانس، روغن و پروتئین بذر) تعیین شد (شکل ۱). بر اساس نتایج به دست آمده، بین درصد پروتئین، روغن و اسانس بذر سیاهدانه با بنیه بذر این گیاه همبستگی مثبت و معنی‌داری مشاهده شد (شکل ۱). بنابراین به نظر می‌رسد ماهیت هر یک از اجزای مربوط به شاخص‌های کیفی سیاهدانه بر بنیه بذر اثر می‌گذارد. به عبارتی دیگر، شاید بتوان بیان نمود که گونه‌هایی از جنس *Nigella* با درصد اسانس یا روغن بالاتر احتمالاً دارای بنیه و یا حیات بذر بالاتری باشند.

شد. به منظور تعیین درصد اسانس و روغن بذرهای سیاهدانه به ترتیب از دستگاه کلونجر و سوکسله استفاده گردید. همچنین با تعیین درصد نیتروژن دانه توسط روش استاندارد کج‌لدال، درصد پروتئین خام (درصد نیتروژن $\times 6.25$) تعیین شد (Nergiz and Otlas, 1993). جهت تعیین درصد اسیدهای چرب روغن، ۵۰ گرم بذر پس از آسیاب کردن، به نسبت یک به چهار با هگزان مخلوط و به مدت ۴۸ ساعت روی دستگاه شیکر (۱۶۰ دور در دقیقه) قرار داده شد (Farhoosh et al., 2009). پس از جداسازی حلال از محلول حاصل، ۱۵ قطره از روغن هر یک از نمونه‌ها در یک لوله آزمایش ریخته و به آن هفت میلی لیتر هگزان نرمال و دو میلی لیتر پتاس متانولی دو مولار اضافه شد. در لوله آزمایش بسته و چند ثانیه تکان داده شد و سپس به مدت ۱۵ دقیقه در بن ماری ۵۵- ۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. در این مدت نیز لوله آزمایش چند مرتبه تکان داده شد. در مرحله بعد محتویات آن به یک لوله کوچک‌تر و باریک‌تر منتقل و در همان دمای بن ماری به مدت سه دقیقه قرار گرفت. پس از برداشتن فاز رویی از محلول و عبور از سولفات پتاسیم جهت رطوبت‌گیری و صاف کردن آن، هر یک از نمونه‌ها به دستگاه گاز کروماتوگرافی جرمی^۱ (GCMASS) (مدل YOUNGLIN-Acme 6000 GC CP-Sil Wcot Fused Silica، ستون: ۱۰۰m 0.25 mm 0.2 μ m، درجه حرارت آشکارساز: ۲۸۰ درجه سانتی‌گراد) تزریق شد. میزان تزریق یک میکرولیتر و روش تزریق به دستگاه گاز کروماتوگرافی به صورت Split صورت گرفت. با مقایسه پیک نمونه‌ها با پیک استاندارد و بر اساس



شکل ۱- ارتباط بین بینه بذر با (a) پروتئین بذر، (b) روغن بذر و (c) اسانس بذر سیاه‌دانه

Fig. 1. Relationships between seed vigor with (a) seed protein, (b) seed oil and (c) seed essential oil of black seed.

متفاوتی شامل هیدروکربن‌های نانترپنوئیدی^۱ (۴ درصد)، هیدروکربن‌های مونوترپنوئیدی^۲ (۲۶/۹ درصد)، کتون‌های مونوترپنوئیدی^۳ (۶ درصد)، الکل‌های مونوترپنوئیدی^۴ (۲/۷ درصد)، هیدروکربن‌های سزکوئی ترپنوئیدی^۵ (۱ درصد) و ترکیبات فنیل پروپانوئیدی^۶ (۴۶/۱ درصد) قرار دارند (Nickavar. et al., 2003). به طور کلی، وجود خواص آنتی‌اکسیدانی در اسانس سیاه‌دانه (Erkan et al., 2008; Sen et al., 2011) احتمالاً ممکن است در بهبود بینه بذر سیاه‌دانه نقش داشته باشد. با این وجود، با توجه

توجه ارتباط مثبت بین درصد پروتئین و روغن بذر با بینه بذر سیاه‌دانه می‌تواند در ارتباط با نقش مستقیم این ترکیبات در ذخیره مواد غذایی باشد که در زمان جوانه زنی و ساخت ترکیبات متابولیکی جهت رشد و استقرار گیاه چه‌ها استفاده می‌شوند (Akram Ghaderi et al., 2011). با این وجود ارتباط مثبت بین درصد اسانس و یا اجزای آن با بینه بذر هنوز به روشنی شناخته شده نیست که ممکن است به دلیل حضور طیف وسیعی از انواع ترکیبات آلی در اسانس باشد. در این ارتباط تا ۸۴ ترکیب در اسانس بذر سیاه‌دانه شناسایی شده است (Jrah Harzallah et al., 2011) که بر اساس ساختار شیمیایی در گروه‌های

- 1- Nonterpenoid hydrocarbones
- 2- Monoterpenoid hydrocarbones
- 3- Monoterpenoid ketones
- 4- Monoterpenoid alcohols
- 5- Sesquiterpenoid hydrocarbones
- 6- Phenyl propanoid compounds

روغن، اسانس و پروتئین خام سیاهدانه به طور معنی-داری افزایش یافت (جدول ۱). در این ارتباط محمد و همکاران (Mohamed et al., 2000) نیز به نقش موثر کاربرد فسفر در افزایش درصد روغن و اسانس سیاهدانه اشاره نمودند.

در کنار نقش ویژه فراهمی فسفر در بهبود عملکرد کیفی، کاربرد گوگرد نیز از عوامل موثر در بهبود جذب نیتروژن و پروتئین بوده (Salvagiotti et al., 2009)، که در بیوسنتز روغن نیز موثر می‌باشد (Altaf et al., 2000). بنابراین در خاک‌های آهکی مناطق خشک و نیمه خشک، کاربرد گوگرد مستقیماً (از طریق تاثیر بر سنتز پروتئین و روغن) و یا به طور غیر مستقیم (از طریق افزایش حلالیت فسفر در خاک) بر عملکرد کیفی و در نتیجه بینه بذر سیاهدانه تأثیر می‌گذارد.

به سهم بیشتر روغن بذر سیاهدانه (۳۳/۶۶ درصد) نسبت به درصد اسانس و پروتئین بذر (به ترتیب ۰/۲۹ و ۱۷/۵۱ درصد) (جدول ۱) و نیز همبستگی بالاتر بینه بذر با روغن بذر سیاهدانه ($R^2=0/74^{**}$) نسبت به اسانس ($R^2=0/73^{**}$) و پروتئین بذر ($R^2=0/69^{**}$)، به نظر می‌رسد بینه بذر سیاهدانه بیشتر وابسته به میزان روغن و یا ساختار و ترکیب اجزای تشکیل دهنده روغن این گیاه باشد. به دلیل نقش و اهمیت روغن سیاهدانه در تغذیه و سلامت انسان، روغن این گیاه نیز به عنوان یکی از منابع جدید روغنی معرفی شده است (Piras et al., 2013). بیشترین تأثیر در افزایش درصد روغن، اسانس و پروتئین خام سیاهدانه در نتیجه کاربرد ورمی کمپوست + گوگرد + باکتری تیوباسیلوس (V+S+T) مشاهده گردید (جدول ۱). همچنین با افزایش سطوح کاربرد فسفر، درصد

جدول ۱- مقادیر نسبی پروتئین خام، روغن، اسانس بذر سیاهدانه تحت تاثیر تیمارهای مورد مطالعه

Table 1. Protein, oil and essential oil of *Nigella* seed affected by experimental treatment

مقدار فسفر (کیلوگرم در هکتار) P rate (Kg.ha ⁻¹)	منابع اصلاح کننده خاک Soil amendment sources	درصد پروتئین خام Crude protein percentage	درصد اسانس Essential oil percentage	درصد روغن Oil percentage
0	-	17.00 (0.69)	0.25 (0.66)	32.85 (0.02)
30	-	17.35 (0.64)	0.30 (0.44)	34.11 (0.02)
60	-	18.19 (0.52)	0.31 (1.39)	34.03 (0.01)
LSD (5%)		0.60	0.02	1.03
-	C *	15.31 (0.91)	0.21 (0.79)	32.04 (0.01)
-	V+T	18.47 (0.54)	0.32 (0.49)	33.79 (0.02)
-	S+T	17.54 (0.56)	0.29 (0.80)	34.21 (0.02)
-	V+S+T	18.73 (0.46)	0.33 (0.95)	34.61 (0.02)
LSD = 0.05		0.69	0.02	1.19
میانگین Average		17.51	0.29	33.66

* C: شاهد، S: گوگرد، T: باکتری تیوباسیلوس، V: ورمی کمپوست. اعداد داخل پرانتز نشان دهنده خطای استاندارد هستند.

* C: control, S: Sulfur, T: *Thiobacillus* bacteria, V: Vermicompost. Number in the parenthesis indicates standard error.

پالمیتوئیک، اولئیک، لینولئیک در دو ساختار سیس (دو هیدروژن در یک طرف پیوند دوگانه) و ترانس (دو هیدروژن در طرفین پیوند دوگانه)، لینولیک و ایکوزنوئیک و نیز پنج اسید چرب اشباع شامل

مطالعه اسیدهای چرب تشکیل دهنده روغن سیاهدانه

با تجزیه گاز کروماتوگرافی و بر اساس میانگین تیمارها، پنج اسید چرب غیراشباع شامل چرب

اشباع به ترتیب ۸۰/۷۳ و ۱۹/۱۴ درصد از کل ترکیب اسیدهای چرب سیاهدانه را به خود اختصاص دادند.

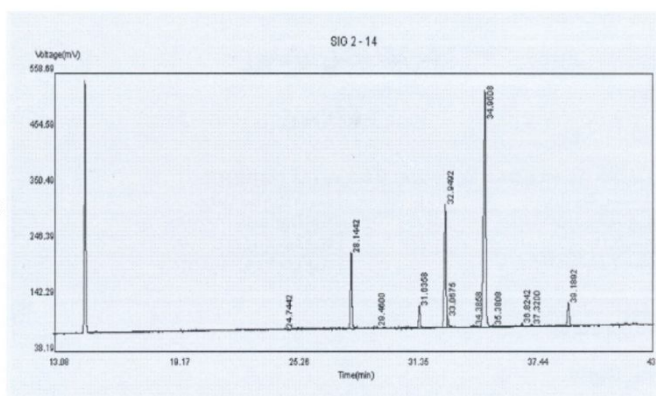
میریتیک، پالمیتیک، استتاریک، آراشیدیک و بهینیک در روغن سیاهدانه شناسایی و تعیین شد (شکل ۲ و جدول ۲). اسیدهای چرب غیراشباع و

جدول ۲- مقادیر نسبی اسیدهای چرب روغن بذر سیاهدانه (بر اساس میانگین تیمارها)

Table 2. Fatty acid composition of *Nigella* seed oil (in average of treatments)

ساختار اسید چرب Fatty acid structure	نام عمومی Common name	شماره چربی Lipid Number	فرمول ساختاری Structural formula	درصد Percentage
غیر اشباع Unsaturated	اسید پالمیتولئیک Palmitoleic acid	C 16:1	CH ₃ (CH ₂) ₅ CH=CH(CH ₂) ₇ COOH	0.36
	اسید اولئیک Oleic acid	C 18:1	CH ₃ (CH ₂) ₇ CH=CH(CH ₂) ₇ COOH	24.56
	اسید لینولئیک (سیس) Linoleic acid (cis)	C 18:2 c	CH ₃ (CH ₂) ₄ CH=CHCH ₂ CH=CH(CH ₂) ₇ COOH	54.27
	اسید لینولئیک (ترانس) Linoleic acid (trans)	C 18:2 t	CH ₃ (CH ₂) ₄ CH=CHCH ₂ CH=CH(CH ₂) ₇ COOH	0.43
	اسید لینولئیک Linolenic acid	C 18:3	CH ₃ CH ₂ CH=CHCH ₂ CH=CHCH ₂ CH=CH(CH ₂) ₇ COOH	0.48
	اسید ایکوزونوئیک Eicosenoic acid	C20:1	CH ₃ (CH ₂) ₉ CH=CH(CH ₂) ₇ COOH	0.63
	مجموع Total	-	-	80.73
اشباع Saturated	اسید میریتیک Myristic acid	C 14:0	CH ₃ (CH ₂) ₁₂ COOH	0.07
	اسید پالمیتیک Palmitic acid	C 16:0	CH ₃ (CH ₂) ₁₄ COOH	10.44
	اسید استتاریک Stearic acid	C 18:0	CH ₃ (CH ₂) ₁₆ COOH	3.56
	اسید آراشیدیک Arachidic acid	C 20:0	CH ₃ (CH ₂) ₁₈ COOH	0.44
	اسید بهینیک Behenic acid	C 22:0	CH ₃ (CH ₂) ₂₀ COOH	4.63
	مجموع Total	-	-	19.14

شماره Num	زمان نگهداری (دقیقه) RT (min)	شماره چربی Lipid Number	مساحت (%) Area (%)
1	24.74	C 14:0	0.2444
2	28.1442	C 16:0	11.5273
3	29.4600	C 16:1	0.1766
4	31.6358	C 18:0	3.6319
5	32.9492	C 18:1 e	22.7422
6	33.0675	C 18:1 e	1.5593
7	34.3858	C 18:2 t	0.3050
8	34.9608	C 18:2 c	54.3263
9	35.3808	C 20:0	0.3741
10	36.8242	C 20:1	0.5562
11	37.3200	C 18:3	0.3587
12	39.1892	C 22:0	4.1980



شکل ۲- یک نمونه از پروفایل اسیدهای چرب روغن سیاهدانه

Fig 2. A sample of fatty acids profile of black seed oil

ترتیب ۸۴ و ۱۶ درصد می‌باشد. در بین اسیدهای چرب سیاهدانه، اسید لینولئیک (سیس)، اولئیک و

طبق نتایج ال- جسیر (AI-Jassir, 1992)، نسبت اسیدهای چرب غیراشباع و اشباع روغن سیاهدانه به

نموده‌اند (Cheikh-Rouhou et al., 2007; Piras et al., 2013).

اثر سطوح کود فسفر و منابع اصلاح کننده خاک بر ساختار اسیدهای چرب

به جز اسید پالمیتیک و اسید لینولئیک ترانس، سایر اسیدهای چرب سیاهدانه تحت تأثیر منابع اصلاح کننده خاک قرار گرفتند. همچنین به جز اسید لینولئیک سیس، لینولئیک و ایکوزنوئیک، اثر سطوح کاربرد فسفر بر سایر اسیدهای چرب معنی‌دار نبود (جدول ۳ و ۴). اسیدهای چرب غیر اشباع در روغن سیاهدانه واکنش پذیری متفاوتی به کاربرد تیمارهای مورد مطالعه داشتند. به طوری که با افزایش فراهمی فسفر (حاصل کاربرد منابع اصلاح کننده خاک) میزان اسید لینولئیک (سیس) به طور معنی‌دار افزایش و میزان اسید پالمیتوئیک، لینولئیک و ایکوزنوئیک به طور معنی‌دار کاهش یافت (جدول ۳). به عنوان مثال در شرایط عدم کاربرد کود شیمیایی فسفر، میزان اسید لینولئیک در تیمار شاهد (۰/۹۲ درصد) در مقایسه با کاربرد V+S+T (۰/۳۶ درصد) تا حدود سه برابر کاهش یافت (جدول ۵). دانسته‌ها در مورد بذره‌ای روغنی، در ارتباط با مقدار و کیفیت ترکیبات ذخیره‌ای شامل روغن یا لیپیدهای موجود در بذر می‌باشد که در طی جوانه زنی بذرها و رشد گیاه چه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند (Soltani et al., 2002; Akram Ghaderi et al., 2011). لیپید (تری گلیسرید) از ترکیب سه اسید چرب با گلیسرول تشکیل می‌شوند. در فرآیند جوانه زنی دانه‌های روغنی، فعالیت آنزیم لیپاز افزایش یافته و در طی هیدرولیز چند مرحله‌ای و شکسته شدن پیوندهای استری، اسید چرب و گلیسرول آزاد می‌شود. با

اسید پالمیتیک (اسید اشباع) به ترتیب با ۵۴/۲۷، ۲۴/۵۶ و ۱۰/۴۴ درصد، بیشترین درصد تشکیل در روغن را به خود اختصاص دادند (جدول ۲). در سایر گزارش‌ها نیز اسید چرب لینولئیک، اولئیک و پالمیتیک به ترتیب به عنوان متداول‌ترین اسیدهای چرب غیر اشباع و اشباع در روغن سیاهدانه شناسایی شده‌اند (Nergiz and Otles, 1993; Piras et al., 2013). به طور کلی افزایش درصد اسید اولئیک سبب بهبود پایداری به دما و کیفیت روغن جهت سرخ کردن و بالاتر بودن درصد اسید چرب لینولئیک منجر به بهبود ارزش روغن در تغذیه مستقیم می‌گردد (Khajehpour, 2005). از سویی اسیدهای چرب ترانس اثر سوء بر سلامت انسان به ویژه بروز بیماری‌های قلبی دارند (Oomen et al., 2001; Haratian et al., 2013). با وجود آنکه وزارت کشاورزی آمریکا محدودیت دریافت اسیدهای چرب ترانس به کمتر از یک درصد انرژی روزانه را در هرم غذایی توصیه نموده است، محتوای اسیدهای چرب ترانس در برخی روغن‌های گیاهی سرخ کردنی و انواع هیدروژنه تا ۶۰ درصد از کل اسیدهای چرب را شامل می‌شوند (Haratian et al., 2013). با افزایش درصد اسید لینولئیک در روغن‌های گیاهی، سرعت اکسیده شدن روغن در طی زمان افزایش می‌یابد. این امر سبب کاهش پایداری و افزایش طعم‌های غیر طبیعی در روغن شده و در نهایت منجر به کاهش ارزش روغن مصرفی می‌شود (Khajehpour, 2005). بنابراین طبق نتایج این آزمایش، بالا بودن درصد اسید چرب لینولئیک سیس، مقدار بسیار جزئی اسید چرب لینولئیک ترانس و نیز اسید لینولئیک در راستای نتایج برخی از محققین باشد که روغن سیاهدانه را به عنوان یک منبع روغنی جدید در تغذیه و سلامت انسان معرفی

زا) استفاده می‌شود (Akram Ghaderi *et al.*, 2011). از این رو جوانه زنی و بنیه گیاه چه‌های در حال رشد در ارتباط مستقیم با ذخیره لیپید و اسیدهای چرب به عنوان اجزا تشکیل دهنده روغن بذر می‌باشد.

اکسیداسیون اسید چرب طی یک سری واکنش‌های پیچیده ساکارز (قند) تولید می‌شود. سپس ساکارز تولید شده به مکان‌های رشد (به ویژه محور جنین که برای رشد خود نیازمند انرژی است) منتقل شده و در بیوسنتز ترکیبات حیاتی رشد (شامل ترکیبات انرژی

جدول ۳- اثرات مقدار فسفر و منابع اصلاح کننده خاک بر اسیدهای چرب غیر اشباع در روغن بذر سیاهدانه (بر حسب گرم در ۱۰۰ گرم روغن)

Table 3- The effects of phosphorus rate and soil amendment sources on unsaturated fatty acids of black seed oil (g.100 g⁻¹ oil)

مقدار فسفر (کیلوگرم در هکتار) P rate (Kg. ha ⁻¹)	منابع اصلاح کننده خاک Soil amendment sources	اسید پالمیتوئیک Palmitoleic acid	اسید اولئیک Oleic acid	اسید لینولئیک Linoleic acid		اسید لینولئیک Linolenic acid	اسید ایکوزنوئیک Eicosenoic acid
				سیس Cis	ترانس Trans		
				0	-		
30	-	0.31 (0.14)	24.58 (0.34)	54.60 (0.63)	0.43 (0.18)	0.45 (0.05)	0.64 (0.10)
60	-	0.35 (0.11)	24.46 (0.34)	54.21 (0.44)	0.49 (0.24)	0.42 (0.04)	0.55 (0.06)
LSD = 0.05		0.11	0.24	0.37	0.17	0.04	0.08
-	C *	0.47 (0.18)	24.29 (0.45)	53.59 (0.48)	0.56 (0.30)	0.79 (0.06)	0.78 (0.15)
-	V+T	0.26 (0.13)	24.62 (0.26)	54.72 (0.53)	0.34 (0.19)	0.37 (0.08)	0.55 (0.07)
-	S+T	0.48 (0.18)	24.71 (0.36)	53.39 (0.71)	0.40 (0.27)	0.46 (0.04)	0.66 (0.15)
-	V+S+T	0.22 (0.06)	24.63 (0.26)	55.39 (0.46)	0.43 (0.24)	0.29 (0.02)	0.54 (0.07)
-	LSD = 0.05	0.10	0.28	0.43	0.22	0.04	0.09

* C: شاهد، S: گوگرد، T: باکتری تیوباسیلوس، V: ورمی کمپوست. اعداد داخل پرانتز نشان دهنده خطای استاندارد هستند.

* C: control, S: Sulfur, T: *Thiobacillus* bacteria, V: Vermicompost. Number in the parenthesis indicates standard error.

جدول ۴- اثرات مقدار فسفر و منابع اصلاح کننده خاک بر اسیدهای چرب اشباع در روغن بذر سیاهدانه (بر حسب گرم در ۱۰۰ گرم روغن)

Table 4- The effects of phosphorus rate and soil amendment sources on saturated fatty acids of black seed oil (g.100 g⁻¹ oil)

مقدار فسفر (کیلوگرم در هکتار) P rate (Kg. ha ⁻¹)	منابع اصلاح کننده خاک Soil amendment sources	اسید میریستیک Myristic acid	اسید پالمیتیک Palmitic acid	اسید استئاریک Stearic acid	اسید آراشیدیک Arachidic acid	اسید بهنیک Behenic acid
30	-	0.03 (0.06)	10.27 (0.95)	3.56 (0.14)	0.40 (0.14)	4.71 (0.37)
60	-	0.07 (0.10)	10.86 (1.20)	3.55 (0.15)	0.42 (0.14)	4.59 (0.53)
LSD = 0.05		0.09	0.88	0.10	0.09	0.23
-	C *	0.00 (0.00)	9.94 (1.85)	3.64 (0.26)	0.59 (0.26)	4.87 (0.39)
-	V+T	0.17 (0.18)	10.62 (1.44)	3.44 (0.09)	0.37 (0.17)	4.52 (0.56)
-	S+T	0.09 (0.16)	10.93 (1.26)	3.80 (0.16)	0.50 (0.15)	4.58 (0.43)
-	V+S+T	0.03 (0.03)	10.26 (0.65)	3.37 (0.04)	0.29 (0.05)	4.54 (0.19)
-	LSD = 0.05	0.09	1.01	0.12	0.11	0.27

* C: شاهد، S: گوگرد، T: باکتری تیوباسیلوس، V: ورمی کمپوست. اعداد داخل پرانتز نشان دهنده خطای استاندارد هستند.

* C: control, S: Sulfur, T: *Thiobacillus* bacteria, V: Vermicompost. Number in the parenthesis indicates standard error.

جدول ۵- اثرات متقابل مقدار فسفر و منابع اصلاح کننده خاک بر برخی اسیدهای چرب در روغن بذر سیاهدانه (بر حسب گرم در ۱۰۰ گرم روغن)

Table 5- The interaction effects of phosphorus rate and soil amendment sources on some fatty acids of black seed oil (g.100 g⁻¹ oil)

مقدار فسفر در (کیلوگرم در هکتار) P rate (Kg.ha ⁻¹)	منابع اصلاح کننده خاک Soil amendment sources	اسیدهای چرب غیراشباع Unsaturated fatty acids				اسیدهای چرب اشباع Saturated fatty acids		
		اسید اولئیک	اسید لینولئیک (سیس)	اسید لینولئیک	اسید ایکوزونوئیک	اسید میریستیک	اسید استئاریک	اسید بهنیک
		Oleic acid	Linoleic acid (cis)	Linolenic acid	Eicosenoic acid	Myristic acid	Stearic acid	Behenic acid
0	C *	23.97 (0.23)	53.35 (0.57)	0.92 (0.10)	0.94 (0.29)	0.00 (0.00)	3.54 (0.27)	4.96 (0.31)
	V+T	24.95 (0.14)	53.96 (0.84)	0.35 (0.06)	0.55 (0.08)	0.39 (0.32)	3.51 (0.08)	4.20 (0.20)
	S+T	24.70 (0.77)	53.71 (0.13)	0.57 (0.04)	0.67 (0.15)	0.09 (0.16)	3.77 (0.12)	4.34 (0.52)
	V+S+T	24.97 (0.17)	54.99 (0.73)	0.36 (0.04)	0.65 (0.12)	0.00 (0.00)	3.49 (0.06)	4.87 (0.10)
30	C *	24.48 (0.41)	53.87 (0.46)	0.74 (0.04)	0.74 (0.06)	0.00 (0.00)	3.65 (0.18)	4.81 (0.42)
	V+T	24.85 (0.48)	55.07 (0.65)	0.37 (0.11)	0.59 (0.12)	0.08 (0.14)	3.55 (0.08)	4.62 (0.59)
	S+T	24.86 (0.12)	53.45 (1.01)	0.45 (0.04)	0.78 (0.15)	0.06 (0.10)	3.83 (0.25)	4.99 (0.13)
	V+S+T	24.13 (0.34)	56.03 (0.40)	0.26 (0.01)	0.45 (0.06)	0.00 (0.00)	3.21 (0.02)	4.40 (0.35)
60	C *	24.42 (0.71)	53.54 (0.41)	0.70 (0.03)	0.65 (0.09)	0.00 (0.00)	3.75 (0.33)	4.85 (0.45)
	V+T	24.05 (0.17)	55.12 (0.11)	0.38 (0.08)	0.50 (0.01)	0.05 (0.09)	3.26 (0.11)	4.74 (0.90)
	S+T	24.59 (0.20)	53.01 (0.98)	0.35 (0.05)	0.52 (0.14)	0.13 (0.23)	3.79 (0.12)	4.41 (0.64)
	V+S+T	24.78 (0.27)	55.17 (0.25)	0.26 (0.02)	0.52 (0.01)	0.10 (0.10)	3.41 (0.04)	4.34 (0.11)
LSD = 0.05		0.48	0.74	0.07	0.15	0.15	0.21	0.46

* C: شاهد، S: گوگرد، T: باکتری تیوباسیلوس، V: ورمی کمپوست. اعداد داخل پرانتز نشان دهنده خطای استاندارد هستند.

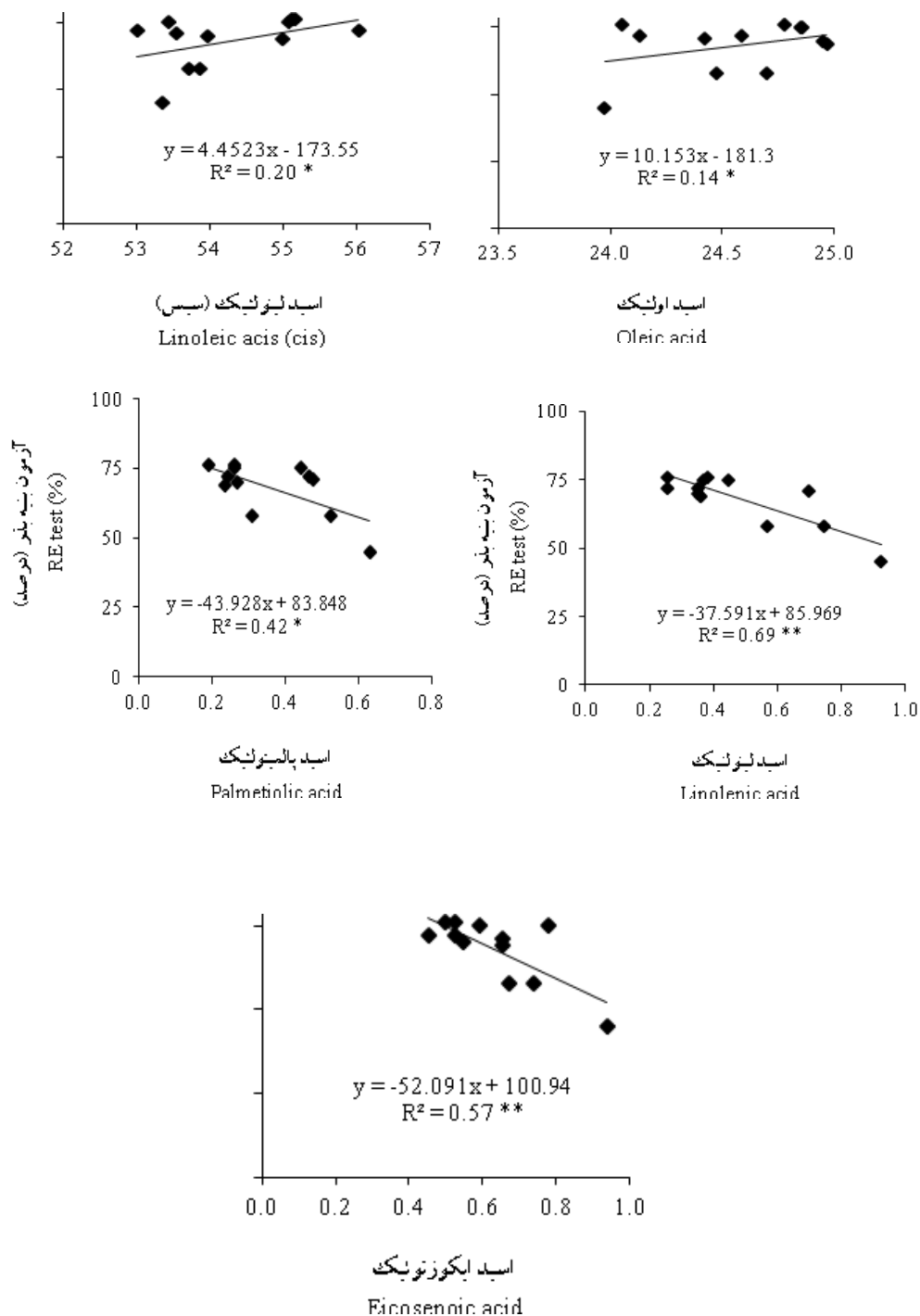
* C: control, S: Sulfur, T: *Thiobacillus* bacteria, V: Vermicompost. Number in the parenthesis indicates standard error.

(شکل ۴). از سویی با وجود آنکه اسیدهای چرب لینولئیک و ایکوسنوئیک و آراشیدیک درصد ناچیزی از روغن سیاهدانه را به خود اختصاص داد (به ترتیب ۰/۴۸ و ۰/۶۳ و ۰/۴۴ درصد) (جدول ۲)، اما به ترتیب دارای بالاترین درصد همبستگی (به ترتیب ۰/۶۹، ۰/۵۷ و ۰/۴۶) با بنیه بذر بودند (شکل ۳ و ۴). به عبارت دیگر، به نظر می‌رسد که میزان اسید چرب لینولئیک، بیش از سایر اسیدهای چرب سیاهدانه می‌تواند بیانگر کیفیت بذر سیاهدانه باشد.

ارتباط بین بنیه بذر با اسیدهای چرب سیاهدانه

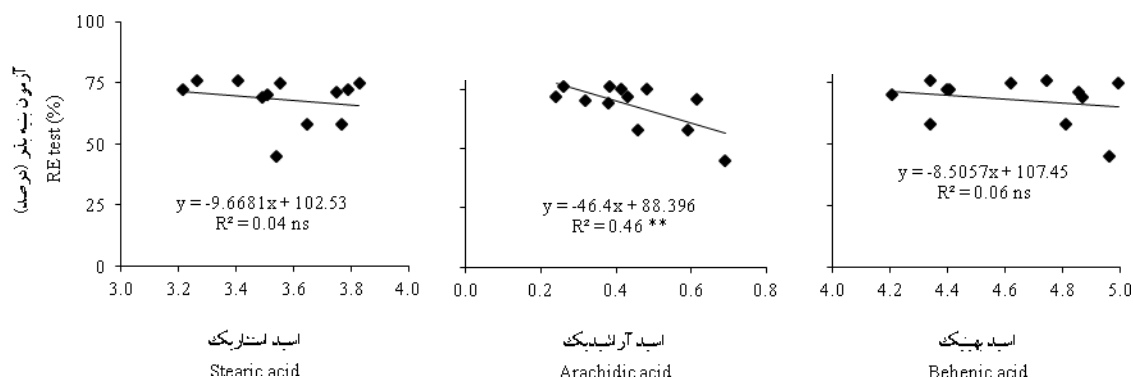
ارتباط بین بنیه بذر با اسیدهای چرب غیر اشباع در شکل ۳ نشان داده شده است. بر اساس نتایج به دست آمده، بین اسید چرب اولئیک و اسید لینولئیک سیس با بنیه بذر همبستگی مثبت و بین سه اسید پالمیتولئیک، لینولئیک و ایکوزونوئیک با بنیه بذر همبستگی منفی و معنی‌داری به دست آمد. در بین اسیدهای چرب اشباع تنها اسید آراشیدیک دارای همبستگی معنی‌دار و منفی با بنیه بذر سیاهدانه بود

بدین معنی که با کاهش کیفیت بذر، مقدار آن در بذر افزایش می یابد.



شکل ۳- ارتباط بین بنیه بذر با برخی اسیدهای چرب غیر اشباع سیاهدانه (بر حسب گرم در ۱۰۰ گرم روغن)

Fig. 3. Relationships between seed vigor and some unsaturated fatty acids of black seed (g.100 g⁻¹ oil)



شکل ۴- ارتباط بین بنیه بذر با برخی اسیدهای چرب اشباع سیاهدانه (بر حسب گرم در ۱۰۰ گرم روغن)

Fig. 4. Relationships between seed vigor and some saturated fatty acids of black seed (g.100 g⁻¹ oil)

کیفیت بذرهای تشکیل شده تأثیر گذار باشد. بر طبق نتایج این آزمایش می‌توان اظهار داشت که افزایش حلالیت و فراهمی فسفر در محیط رشد بوته مادری به طور مستقیم، با افزایش درصد فسفر بذر و نیز به طور غیر مستقیم، از طریق بهبود شاخص‌های مرتبط با عملکرد کیفی به ویژه درصد و کیفیت روغن ممکن است منجر به بهبود جنبه‌های فیزیولوژیک بذر سیاهدانه شود. همچنین از آنجا که در بین اسیدهای چرب تشکیل دهنده روغن، اسید لینولنیک دارای بالاترین ارتباط منفی با بنیه بذر بود، درصد اسید لینولنیک در روغن بذر سیاهدانه می‌تواند به عنوان یک شاخص بنیه بذر در این گیاه دارویی پیشنهاد شده و مورد بررسی بیشتر قرار گیرد.

چگونگی واکنش پذیری بنیه بذر نسبت به درصد و ساختار اسیدهای چرب هنوز به روشنی شناخته شده نمی‌باشد. به طور کلی می‌توان اظهار داشت که ارتباط منفی بین اسیدهای چربی مانند لینولنیک با بنیه بذر احتمالاً در ارتباط با نقش این اسید چرب در ناپایداری روغن باشد. همان‌طور که ذکر گردید، روغن‌های دارای میزان بالاتر اسید لینولنیک با سرعت بیشتری اکسیده شده و دارای پایداری کمتری می‌باشند (Khajehpour, 2005). به طور کلی می‌توان نتیجه‌گیری نمود که بهبود شرایط تغذیه‌ای با تأثیر بر عملکرد کیفی به ویژه درصد روغن و نیز کاهش درصد تشکیل اسیدهای چربی مانند اسید لینولنیک به عنوان یکی از عوامل ضد کیفی روغن می‌تواند بر

References

- Adhami, E., M. Maftoun, A. Ronaghi, N. Karimian, J. Yasrebi and M. T. Assad. 2006. Inorganic phosphorus fractionation of highly calcareous soils of Iran. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 37: 1877-1888.
- Al-Jassir, M. S. 1992. Chemical composition and microflora of black cumin (*Nigella sativa* L.) seeds growing in Saudi Arabia. *Food Chem.* 45: 239-242.
- Akram Ghaderi, F., B. Kamkar and A. Soltani. 2011. Principles of Seed Science and Technology. (Translated) (In Persian). Jahade-e-Daneshgahi Mashhad Press, Mashhad, Iran, 512 pp.
- Ali, B.H. and G. Blunden. 2003. Pharmacological and toxicological properties of *Nigella sativa*. *Phytother. Res.* 17, 299-305.
- Alirezalu, K., B. Fathi-Achachlouei and F. Habibi-Nodeh. 2012. Effect of climatic factors on the oil content, physicochemical properties and fatty acids of castor oil. (In Persian, with English Abstract). *J. Food Res.* 22: 103-112.
- Al-Kayssi, A. W., R. M. Shihab and S. H. Mustafa. 2011. Impact of soil water stress on Nigellone oil content of black cumin seeds grown in calcareous-gypsiferous soils. *Agric. Water Manage.* 100: 46- 57.

منابع

- Altaf, A., V. Khan and M. Z. Abdin. 2000.** Effect of sulfur fertilization on oil accumulation, acetyl-CoA concentration, and acetyl-CoA carboxylase activity in the developing seeds of rapeseed (*Brassica campestris* L.) Aust. J. Agric. 51: 1023-1029.
- Atta, M. B. 2003.** Some characteristics of *nigella* (*Nigella sativa* L.) seed cultivated in Egypt and its lipid profile. Food Chem. 83: 63–68.
- Cheikh-Rouhou, S., S. Besbes, B. Hentati, C. Blecker, C. Deroanne and H. Attia. 2007.** *Nigella sativa* L.: Chemical composition and physicochemical characteristics of lipid fraction. Food Chem. 101: 673–681.
- Doroudian, H. R., H. Besharati, A. R. Falah, H. Heidari Sharif Abad, F. Darvish and A. Alahverdi. 2010.** The possible modification of absorbable phosphorus solubles in calcareous soils and its effects on yield production in corn. (In Persian, with English Abstract). J. New Agric. Sci. 18: 27-35.
- Erkan, N., G. Ayranci and E. Ayranci. 2008.** Antioxidant activities of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) extract, blackseed (*Nigella sativa* L.) essential oil, carnosic acid, rosmarinic acid and sesamol. Food Chem. 110: 76-82.
- Farhoosh, R., M. H. Haddad Khodaparast and A. Sharif. 2009.** Bene hull oil as a highly stable and antioxidative vegetable oil. Eur. J. Lipid Sci. Technol. 111:1259-1265.
- Gao, J., K. D. Thelen, D.-H. Min, S. Smith, X. Hao and R. Gehl. 2014.** Effects of manure and fertilizer applications on canola oil content and fatty acid composition. Agron. J. 102: 790-797
- Ghadari-Far, F. and A. Soltani. 2010.** Seed Testing and Control. (In Persian). Jahade-e-Daneshgahi Mashhad Press, Mashhad, Iran, 200 pp.
- Haratian, P., V. Ghodsian, A. Fouladkhah and V. ghasemzadeh-Mohammadi. 2013.** Determination of fat content and fatty acid composition of danish pastries with emphasis on trans fatty acid. J. Food Sci. Technol. 10: 81-88.
- ISTA. 2012.** International Rules for Seed Testing. The International Seed Testing Association, Bassersdorf, Switzerland.
- Jrah Harzallah H., B. Kouidhi, G. Flamini, A. Bakhrouf and T. Mahjoub. 2011.** Chemical composition, antimicrobial potential against cariogenic bacteria and cytotoxic activity of Tunisian *Nigella sativa* essential oil and thymoquinone. Food Chem. 129: 1469–1474.
- Khajehpour, M. R. 2005.** Industrial Crops. Jahade-e-Daneshgahi Isfahan Press, Isfahan, Iran, 564 pp.
- Kokdil, G. and H. Yilmaz. 2005.** Analysis of the fixed oils of the genus *Nigella* L. (Ranunculaceae) in Turkey. Biochem. Syst. Ecol. 33: 1203-1209.
- Lutterodt, H., M. Luther, M. Slavin, J. Yin, J. Parry, J. Gao and L. Yu. 2010.** Fatty acid profile, thymoquinone content, oxidative stability, and antioxidant properties of cold-pressed black cumin seed oils. LWT - Food Sci. Technol. 43: 1409-1413.
- Modi, A.T. 2002.** Wheat seed quality in response to molybdenum and phosphorus. J. Plant Nutr. 25: 2409–2419.
- Mohamed, S. A., R. A. Medani and E. R. Khafaga. 2000.** Effect of nitrogen and phosphorus applications with or without micronutrients on black cumin (*Nigella sativa* L.) plants. Ann. Agric. Sci. 3: 1323-1338.
- Nergiz, C. and S. Otles. 1993.** Chemical composition of *Nigella sativa* L. seeds. Food Chem. 48: 259–261.
- Nickavar, B., F. Mojab, K. Javidnia and M. A. Roodgar Amoli. 2003.** Chemical composition of the fixed and volatile oils of *Nigella sativa* L. from Iran. Z. Naturforsch., 58: 629-631.
- Oomen, C., M. Ocke, E. Feskens, M. Erp-Baart, F. Kok and D. Kromhout. 2001.** Association between trans fatty acid intake and 10-year risk of coronary heart disease in the Zutphen Elderly study: a prospective population-based study. Lancet. 357: 746-51.
- Piras, A., A. Rosa, B. Marongiu, S. Porcedda, D. Falconieri, M.A. Dessi, B. Ozelcik and U. Koca. 2013.** Chemical composition and in vitro bioactivity of the volatile and fixed oils of *Nigella sativa* L. extracted by supercritical carbon dioxide. Ind. Crops Prod. 46: 317– 323.
- Ramadan, M. F. 2007.** Nutritional value, functional properties and nutraceutical applications of black cumin (*Nigella sativa* L.): an overview. Int. J. Food Sci. Technol. 42: 1208–1218.
- Salvagiotti, F., J. M. Castellarin, D. J. Miralles and H. M. Pedrol. 2009.** Sulfur fertilization improves nitrogen use efficiency in wheat by increasing nitrogen uptake. Field Crops Res. 113: 170–177.
- Sen, N., Y. Kar and Y. Tekeli. 2011.** Antioxidant activities of black cumin (*Nigella sativa* L.) seeds cultivating in different regions of Turkey. J. Food Biochem. 34: 105–119.
- Seyyedi, S.M., M. Khajeh Hossieni, P. Rezvani Moghaddam and H. Shahandeh. 2015.** The improving seed physiological aspects of black seed (*Nigella sativa* L.) in calcareous soil: Seed phosphorus content affected by mother plant nutrition. Iran. J. Seed Sci. Technol. Accepted for Publication.
- Shoghi-Kalkhoran, S., A. Ghalavand, S. A. M. Modarres-Sanavy, A. Mokhtassi-Bidgoli and P. Akbari. 2013.** Integrated fertilization systems enhance quality and yield of sunflower (*Helianthus annuus* L.). J. Agric. Sci. Technol. 15: 1343-1352.

Soltani, A., S. Galeshi, E. Zeinali and N. Latifi. 2002. Germination seed reserve utilization and growth of chickpea as affected by salinity and seed size. *Seed Sci. Technol.* 30: 51-60.

Tuncturk, M., R. Tuncturk and B. Yildirim. 2011. The effects of varying phosphorus doses on yield and some yield components of black cumin (*Nigella sativa* L.). *Adv. Environ. Biol.* 5, 371–374.