

بررسی کمی و کیفی موسیلاژ بالنگوی شهری (*Lallemantia iberica*(MB) Fischer & Meyer) با کاربرد کودهای شیمیایی مرسوم و نانو

عبدالله جوانمرد^{۱*}، علی استادی^۲، یوسف نصیری^۱

تاریخ دریافت: ۹۹/۱۲/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۳/۲

۱- دانشجوی گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه

۲- دانشجوی دکتری اگروتکنولوژی- اکولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه

نویسنده مسئول: Email: a.javanmard@maragheh.ac.ir

چکیده

مقدمه و هدف: در کشاورزی مرسوم کاربرد بیش از حد کودهای شیمیایی در مقیاس وسیع باعث کاهش کارایی مصرف عناصر غذایی و مشکلات زیست محیطی جدی از قبیل آلودگی آب و خاک، فرسایش ژنتیکی، فرسایش خاک، تخلیه عناصر غذایی، اسیدی شدن خاکها و سایر موارد شده است. امروزه به منظور رسیدن به کشاورزی پایدار به همراه عملکرد بیشینه و کمترین خسارت زیست محیطی، می توان از روش های دیگر کوددهی (استفاده از نانو کودها) استفاده کرد تا عناصر غذایی مورد نیاز برای رشد و تولید محصول فراهم شود و هم ساختار خاک در شکل مطلوب حفظ شود.

مواد و روش ها: به منظور بررسی اثرات کاربرد نانوکودهای ماکرو و میکرو بصورت جداگانه و تلفیقی با کودهای شیمیایی بر میزان و ترکیبات موسیلاژ گیاه دارویی بالنگوی شهری (*Lallemantia iberica*)، آزمایشی به صورت طرح بلوک های کامل تصادفی با هفت تیمار و سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه مراغه در سال ۱۳۹۸ اجرا شد. تیمارهای شامل کاربرد ۱۰۰ درصد کود شیمیایی مرسوم (اوره و سوپرفسفات تریپل به ترتیب با مقادیر ۱۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار)، ۱۰۰ درصد نانوکود ماکرو (نانو کلات نیتروژن، فسفر و پتاسیم)، ۱۰۰ درصد نانوکود میکرو (نانو کلات آهن، روی و منگنز)، ۵۰ درصد نانوکود ماکرو + ۵۰ درصد نانوکود میکرو، ۵۰ درصد کود شیمیایی + ۵۰ درصد نانوکود ماکرو، ۵۰ درصد کود شیمیایی + ۵۰ درصد نانوکود میکرو و ۵۰ درصد کود شیمیایی + ۲۵ درصد نانوکود ماکرو + ۲۵ درصد نانو کود میکرو بودند. نانوکودهای مورد استفاده قبل از مرحله گلدهی محلول پاشی شدند.

یافته ها: نتایج نشان داد که بیشترین (۵۸۱/۳ کیلوگرم در هکتار) و کمترین (۳۲۱/۳ کیلوگرم در هکتار) عملکرد دانه بالنگو به ترتیب با کاربرد ۵۰ درصد کود شیمیایی + ۲۵ درصد نانوکود ماکرو + ۲۵ درصد نانوکود میکرو و کاربرد جداگانه ۱۰۰ درصد نانوکود میکرو مشاهده شد. همچنین بالاترین میزان درصد و عملکرد موسیلاژ با کاربرد تلفیقی تیمار کود شیمیایی با نانوکودهای ماکرو میکرو بدست آمد. نتایج همبستگی و تجزیه به مؤلفه های اصلی نشان داد که همبستگی مثبت و معنی داری بین عملکرد دانه، درصد و عملکرد موسیلاژ وجود داشت. آنالیز ترکیبات موسیلاژ نشان داد که بیشترین میزان گلوکرونیک اسید، آرابینوز، رافینوز، رامنوز، گالاکتوز، گزایلوز و گلوکوز با کاربرد تلفیقی ۵۰ درصد کود شیمیایی به همراه ۲۵ درصد نانوکود ماکرو و ۲۵ درصد نانوکود میکرو حاصل شد.

نتیجه گیری: بطور کلی نتایج نشان داد که کاربرد تلفیقی ۵۰ درصد کود شیمیایی به همراه ۲۵ درصد نانوکود ماکرو و ۲۵ درصد نانوکود میکرو به عنوان یک روش جدید در تولید و کشت گیاهان دارویی، می تواند به بهبود عملکرد کمی و کیفی بالنگوی شهری تحت شرایط دیم منجر شود.

واژه های کلیدی: بالنگو، عملکرد دانه، عملکرد موسیلاژ، گیاه دارویی، نانوکود

Assesment of Dragon's head (*Lallemantia iberica* (MB) Fischer & Meyer) Mucilage Quantity and Quality by Application of Conventional Chemical and Nanofertilizers

Abdollah Javanmard^{1*}, Ali Ostadi², Yousef Nasiri¹

Received: March 10, 2021 Accepted: May 23, 2021

1- Assoc. Prof., Dept. of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Maragheh.

2- Ph.D Student of Agrotechnology- Crop Ecology, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Maragheh.

*Corresponding Author Email: a.javanmard@maragheh.ac.ir

Abstract

Background and Objective: Excessive use of chemical fertilizers in conventional agriculture on the large-scale decreased the nutrient use efficiency and caused serious environmental problems such as soil and water pollution, genetic erosion, soil erosion, mineral depletion, soil acidification and other issues. Today, to achieve sustainable agriculture with maximum yield and minimum environmental risks, other methods of fertilization (use of nanofertilizers) can be used to provide necessary nutrients for plant growth and yield production, while preserved the soil structure in good shape and the environment clean.

Material and Methods: In order to investigation of the effects of sole and integrative application of chemical and nano chelated fertilizers on the quantity and quality of dragon's head, a field experiment study was laid out based on the randomized complete block design (RCBD) with seven treatments and three replications at the faculty of Agriculture, University of Maragheh, Iran, in 2019. The treatments were 100% chemical fertilizer (N and P), 100% macro nanofertilizer (nano chelated N, P and K), 100% micro nanofertilizer (nano chelated Fe, Zn and Mn), 50% macro nanofertilizer+ 50% micro nanofertilizer, 50% chemical fertilizer+ 50% macro nanofertilizer, 50% chemical fertilizer+ 50% micro nanofertilizer and 50% chemical fertilizer+ 25% macro nanofertilizer+ 25% micro nanofertilizer. The foliar application of nano chelated fertilizers was carried out in before flowering stage.

Results: The results demonstrated that the highest (581.3 kg.ha⁻¹) and the lowest (321.3 kg.ha⁻¹) grain yield was achieved in integrated application of 50% chemical fertilizer+ 25% macro nanofertilizer+ 25% micro nanofertilizer and individual application of 100% micro nanofertilizer, respectively. Also, the highest values of mucilage content and yield was observed in integrated application of 50% chemical fertilizer+ 25% macro nanofertilizer+ 25% micro nanofertilizer. The results of correlation and principal components analysis demonstrated that there was a positive and significant correlation between seed yield, mucilage content and yield. In addition, the analysis of mucilage chemical compounds showed that the highest amount of constituents (gluconic acid, arabinose, raffinose, rhamnose, galactose, glazose and glucose) were achieved in the integrative application of 50% chemical fertilizer+ 25% macro nanofertilizer+ 25% micro nanofertilizer.

Conclusion: Overall, the results of this study indicated that integrative application of 50% chemical fertilizer with macro and micro nanofertilizers as a new method in the production and cultivation of medicinal plants can improve the Quantitative and qualitative yield of dragon's head under rainfed condition.

Keywords: Dragon's Head, Grain Yield, Medicinal Plant, Mucilage Yield, Nanofertilizer

مقدمه

گیاهان دارویی بطور مستقیم در سلامت انسان نقش ایفا می‌کنند، در بسیاری از جوامع از این گیاهان برای پیشگیری و یا درمان بیماری‌ها استفاده می‌شود این گیاهان از جنبه‌های اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی و زیست‌محیطی نقش مهم و ارزشمندی را در جوامع محلی سراسر جهان ایفا می‌کنند. با این حال بدلیل برداشت بی‌رویه از رویشگاه‌های طبیعی و افزایش تقاضا برای گیاهان دارویی باعث آسیب به زیستگاه‌های گیاهان دارویی وحشی شده و آن‌ها را در معرض خطر انقراض قرار داده است (کابلیرو سرانو و همکاران ۲۰۱۹). بالنگوی شهری (*Lallemantia iberica*)، یکی از گیاهان دارویی خانواده نعنائیان (*Labiatae*)، به دلیل خواص درمانی آن از اهمیت زیادی در ایران و جهان برخوردار است. در منطقه آذربایجان و اغلب مناطق ایران در بین کشاورزان بیشتر با نام قره‌زرک یا بذرک سیاه شناخته می‌شود. بالنگو به دلیل تحمل به خشکی از گیاهان مهم تناوبی در مناطق کشت دیم و آبی برخی مناطق آذربایجان می‌باشد. در حال حاضر این گیاه برای تولید دانه، استخراج روغن و موسیلاژ کشت می‌شود. دانه بالنگو منابع خوبی از فیبر، روغن، پلی‌ساکارید و پروتئین بوده و دارای خواص دارویی و تغذیه‌ای می‌باشد (نقیبی و همکاران ۲۰۰۵).

از مشکلات تولید گیاهان دارویی در ایران، بازده کم محصول و آلوده بودن آن‌ها به باقی مانده‌های کودها و سموم شیمیایی است. همین امر میزان صادرات این گروه از محصولات کشاورزی را به شدت کاهش داده است. کاربرد بیش از حد کودهای شیمیایی در مقیاس وسیع برای دستیابی به بیشینه عملکرد باعث بروز مشکلاتی از قبیل آلودگی‌های زیست‌محیطی، کاهش کیفیت محصولات، هجوم علف‌های هرز رقابت کننده با گیاهان زراعی و شیوع آفات و بیماری‌ها می‌شود (سوبرامانیان و همکاران ۲۰۱۵). بنابراین افزایش کمی و کیفی گیاهان دارویی به دلیل افزایش جمعیت و تقاضای روزافزون

صنایع داروسازی به مواد اولیه دارویی از اهمیت خاصی برخوردار است (مهرآفرین و همکاران ۲۰۱۵). امروزه در کشاورزی پایدار استفاده از تکنولوژی جدید نانو برای ساخت کودها به عنوان یک روش امیدبخش در افزایش تولید و تأمین نیاز غذایی جمعیت رو به رشد جهان در نظر گرفته می‌شود. نانو کودها حامل‌های عناصر غذایی در ابعاد ۳۰ تا ۴۰ نانومتر (10^{-9} متر) هستند و توانایی حمل مناسب یون‌های عناصر غذایی را به علت سطح ویژه زیاد دارند (سوبرامانیان و همکاران ۲۰۱۵؛ دی‌روزا و همکاران ۲۰۱۰). استفاده از نانو فناوری در تولید کودها ممکن است موجب رهایش بهینه و افزایش کارایی جذب عناصر غذایی موجود در کود شود که منجر به فواید اقتصادی و زیست‌محیطی قابل توجهی می‌گردد. کودهای شیمیایی مرسوم معمولاً بصورت خاک مصرف و یا از طریق محلول‌پاشی مورد استفاده قرار می‌گیرند. با این حال غلظت نهایی کودی که به گیاه می‌رسد عامل مهمی در نحوه کاربرد کود به شمار می‌آید. ولی در عمل به دلیل شستشوی عناصر غذایی، رواناب، تبخیر، هیدرولیز توسط رطوبت خاک، آسیب به چرخه عناصر غذایی، تخریب فلور میکروبی و فیتولیتیک غلظت بسیار کمتری از کود به محل مورد نظر می‌رسد. با توجه به کارایی پایین کودهای مرسوم (۳۰-۵۰ درصد) و مشکلات زیست محیطی ناشی از مصرف بالای کودهای شیمیایی (تخمین زده شده که ۷۰-۴۰ درصد نیتروژن، ۹۰-۸۰ درصد فسفر و ۹۰-۵۰ درصد پتاسیم مصرفی در محیط تلف شده و در دسترس گیاه قرار نمی‌گیرند)، این مشکلات باعث استفاده مکرر از کودها و آفت‌کش‌ها شده است که بر تعادل طبیعی عناصر غذایی خاک تأثیر منفی داشته است. بنابراین بهتر است روش‌های دیگر کوددهی نیز مورد آزمایش و استفاده قرار گیرد (سولانکی و همکاران ۲۰۱۵؛ دی‌روزا و همکاران ۲۰۱۰). در سال‌های اخیر فناوری نانو اهمیت خود را در علوم گیاهی و کشاورزی گسترش داده است. پیشرفت‌هایی که در فناوری نانو برای تولید نانوذرات با فرمولاسیون

دو گونه بالنگو مشاهده شد که مصرف نانوکود آهن منجر به افزایش صفات زراعی از جمله عملکرد و وزن هزار دانه دو گونه بالنگو شد (پروار و همکاران، ۲۰۲۰). لایو و لال (۲۰۱۵) با کاربرد هیدرواکسی‌آپاتیت $(Ca_5(PO_4)_3OH)$ به عنوان نانوکود روی سویا (*Glycine max*) مشاهده کردند که میزان رشد، بیوماس اندام‌های هوایی، ریشه و عملکرد دانه به ترتیب ۳۳، ۱۸، ۴۱ و ۲۰ درصد نسبت به کود شیمیایی افزایش یافتند. قدسی و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند کاربرد نانو اکسید آهن سبب افزایش ارتفاع گیاه، قطر و وزن هزار دانه آفتابگردان (*Helianthus annuus L.*) شد. در پژوهشی دیگر نیز کاربرد نانو ذره روی به عنوان نانوکود بطور معنی‌داری عملکرد دانه، طول ساقه، طول ریشه، مساحت ریشه، محتوای کلروفیل، پروتئین محلول برگ و عملکرد ماده خشک ارزن (*Pennisetum americanum*) را به ترتیب ۳۸، ۱۵، ۴، ۲۴، ۲۴، ۳۹ و ۱۲ درصد نسبت به شاهد افزایش داد (طرف‌دار و همکاران ۲۰۱۴).

موسیلاژها، کربوهیدرات‌هایی با ساختمان شیمیایی بسیار پیچیده و با وزن مولکولی زیاد می‌باشند. این مواد در الکل‌ها غیرمحلول، ولی در آب حل و پس از جذب آن متورم و حجیم می‌گردند. موسیلاژها به علت دارا بودن ویژگی‌های بارزش مانند پایدارکنندگی، سوسپانسیون‌کنندگی و امولسیون‌کنندگی در صنعت و داروسازی کاربردهای گسترده‌ای پیدا کرده‌اند. در داروسازی برای تهیه امولسیون‌ها، سوسپانسیون‌ها و به عنوان یک عامل امولسیون‌کننده برای پودرهای نامحلول، روغن‌ها و رزین‌ها و به‌عنوان چسب در ساخت گرانول‌ها و قرص‌های مکینی و ساخت مسهل‌ها به‌کار می‌روند (امیدی و همکاران ۲۰۱۸). اما بیشترین کاربرد آن‌ها به‌عنوان جزء ضروری در داروها است. موسیلاژها از بهترین هیدروکلوئیدهای پلی‌ساکاریدی دارویی هستند چون با هیدروکلوئیدهای دیگر که منشأ گیاهی دارند همچنین نشاسته، قندها و پروتئین‌ها سازگاری دارند و برخلاف اکثر هیدروکلوئیدهای پلی‌ساکاریدی نسبتاً به

مناسب در مقیاس وسیع انجام شده است باعث افزایش جذب عناصر غذایی و کاهش اتلاف آن‌ها شده است. نانومواد با اندازه ۱۰۰-۱ نانومتر، می‌توانند یک یا چند عنصر غذایی را در اختیار گیاه قرار دهند و کارایی بیشتری نسبت به کودهای شیمیایی دارند. استفاده از نانوکودها که ویژگی‌های همچون غلظت مؤثر، قابلیت حل پذیری مناسب، ثبات و تأثیرگذاری بالا و رهایش کنترل شده را دارند، سبب افزایش کارایی عناصر غذایی می‌شوند (سوبرامانیان و همکاران ۲۰۱۵)، بطوری که علاوه بر رهاسازی تدریجی عناصر غذایی، جذب و انتقال آن‌ها از طریق برگ نیز به سهولت انجام می‌گیرد (لیو و همکاران ۲۰۰۶). این کودها از طریق بیشینه کردن تعادل میان میزان انتشار عناصر غذایی از منبع کودی و جذب توسط گیاه باعث بهبود رشد و در نهایت عملکرد گیاه شده و به دلیل کاهش تعداد دفعات کاربرد کود، از آلودگی منابع خاکی و آبی ممانعت می‌کنند و همچنین برهمکنش‌های نامطلوب کود با میکروارگانیسم‌های خاکی را به حد کمینه می‌رسانند (دی‌روزا و همکاران ۲۰۱۰).

فلاحی و همکاران (۲۰۱۶) با بررسی اثر نانو کلات عنصر روی بر عملکرد و ویژگی‌های فیتوشیمیایی گیاه ریحان (*Ocimum basilicum L.*) گزارش کردند که کاربرد نانو کلات روی تأثیر بیشتری بر افزایش عملکرد و مواد مؤثره‌ی گیاه ریحان نسبت به کلات روی و سولفات روی داشت. همچنین محمودی و همکاران (۲۰۱۷) با کاربرد نانو کودهای آهن و اوره بر گل‌گاوزبان (*Borago officinalis L.*) مشاهده کردند که نانوکود اوره عملکرد اسانس و نانوکود آهن ارتفاع، وزن تر و خشک و تعداد دانه در هر گیاه را افزایش داد. آقازاده خلخالی و همکاران (۲۰۱۵) نیز با بررسی اثر محلول‌پاشی نانوکود کلات آهن و پتاسیم بر رشد و عملکرد گیاه اسفرزه (*Plantago psyllium*) گزارش کردند که فراهم کردن این دو کود سبب افزایش رشد ریشه و در نهایت عملکرد دانه این گیاه دارویی گردید. همچنین در پژوهشی با محلول‌پاشی نانوکود آهن روی

و ترکیبات موسیلاژ دانه بالنگوی شهری با کاربرد کودهای شیمیایی مرسوم و نانو اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۱۳۹۸ به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با هفت تیمار و سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه مراغه با ارتفاع از سطح دریا ۱۴۷۷ متر، طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۱۶ دقیقه شرقی و عرض ۳۷ درجه و ۲۴ دقیقه شمالی اجرا شد. بیشینه دمای این شهرستان در تابستان‌ها حدود ۳۵ درجه سلسیوس بالای صفر و کمینه آن در زمستان حدود ۲۰ درجه سلسیوس زیر صفر می‌باشد. همچنین دارای میانگین بارندگی سالیانه ۳۳۰ میلی‌متر می‌باشد. قبل از اجرای آزمایش یک نمونه خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری برای تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن انتخاب و مورد تجزیه قرار گرفت (جدول ۱). همچنین مجموع بارش و میانگین دمای ماهیانه که از سازمان هواشناسی کشور دریافت شده در جدول ۲ ارائه شده است.

pH پایین مقاوم هستند (بقالیان ۲۰۰۸). صنعت نفت هم از مصرف‌کنندگان بزرگ موسیلاژها به شمار می‌روند. موسیلاژها به‌عنوان روان‌کننده به خاک و آب اطراف تیغه‌های حفاری اضافه می‌شود و همچنین مقداری از آن به آب پمپ‌شده به داخل زمین اضافه شده تا فشاری برای مهار نفت و گاز ایجاد نماید و به آب پایداری دهد و حرکتش را آرام کند (سیمپسون و کانر آگوزالی ۲۰۱۳). نادریان فر و همکاران (۲۰۱۸) با بررسی اثر کم‌آبیاری و نانوکود روی گیاه ریحان (*Ocimum sanctum*) گزارش کردند که بیشترین میزان موسیلاژ دانه در تیمار آبیاری متوسط با کاربرد نانو کود به دست آمد. رمودی و همکاران (۲۰۱۱) نیز گزارش کردند که محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی آهن، روی و منگنز روی اسفرزه باعث افزایش عملکرد و موسیلاژ دانه شد.

از آنجایی که رویکرد جهانی در تولید گیاهان دارویی به سمت بهبود کمیت و کیفیت ماده موثره می‌باشد، بنابراین به نظر می‌رسد که تغذیه‌ی این گیاهان با نانوکودها دارای بیشترین تطابق با اهداف تولید گیاهان دارویی باشد و منجر به بهبود کمیت و کیفیت آن‌ها می‌شود. در همین راستا پژوهشی با هدف بررسی میزان

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش (عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر)

بافت خاک	شن (%)	سیلت (%)	رس (%)	ماده آلی (%)	شوری (dS.m ⁻¹)	اسیدیته (pH)	میزان پتاسیم قابل تبادل (mg.kg ⁻¹)	ظرفیت تبادل کاتیونی (Cmolc.kg ⁻¹)	فسفر قابل جذب (mg.kg ⁻¹)	نیتروژن کل (%)
لومی رسی شنی	۵۶	۱۶/۵	۲۷/۵	۰/۹۳	۱/۱۸	۸/۱۶	۵۷۰/۸۵	۲۷	۹/۴۲	۰/۰۸۹

جدول ۲- مشخصات اقلیمی محل اجرای آزمایش در طول دوره رشد گیاه

پارامتر	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد
میانگین دما (درجه سلسیوس)	۱۶/۷	۶/۹۷	۴/۶۲	-۱/۹	۱/۰۶	۸/۸	۱۱/۸	۱۹/۱	۲۴/۲	۲۸/۰۲	۲۵/۰۶
مجموع بارندگی (میلی‌متر)	۶/۳	۸/۴۱	۴/۹۷	۴۶/۲	۳۸/۳	۵۹/۹	۶۳/۳	۱۲/۰۲	۲/۶	۰/۱	۱/۲

طرح آزمایشی و تیمارهای مورد آزمایش

تیمارهای آزمایش شامل ۱۰۰ درصد کود شیمیایی مرسوم (اوره و سوپرفسفات تریپل به ترتیب با مقادیر

۱۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار)، ۱۰۰ درصد نانو کود ماکرو (نانو کلات نیتروژن، فسفر و پتاسیم)، ۱۰۰ درصد نانو کود میکرو (نانوکلات آهن، روی و منگنز)، ۵۰ درصد

اتانول ۹۶ درصد، موسیلاژ رسوب می‌کند (کالنیاسوندرام و همکاران ۱۹۸۹). مجدداً موسیلاژ به مدت ۳۰ دقیقه در پنج درجه سلسیوس با سرعت ۴۵۰۰ دور در دقیقه سانتیفریوژ شد. سپس رسوب نهایی در مقدار کمی آب همگن و pH آن با سدیم هیدروکسید یک نرمال روی هفت تنظیم شد. در ادامه به منظور آگیری، موسیلاژ در داخل دستگاه فریزدرایر (خشک‌کن انجمادی) قرار داده شد. سپس موسیلاژ منجمد خشک شده در کنار سیلیکاژل در داخل ظرف‌های در بسته داخل دیسکاتور قرار گرفته و وزن آن‌ها اندازه‌گیری شد. پس از تعیین عملکرد دانه و درصد موسیلاژ دانه، عملکرد موسیلاژ از حاصلضرب عملکرد دانه در درصد موسیلاژ دانه محاسبه شد (سینگر و همکاران ۲۰۱۱).

برای هیدرولیز اسیدی، ۱۰ میلی گرم موسیلاژ هر یک از نمونه‌ها را بطور جداگانه در دو میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۰/۵ نرمال (در لوله آزمایش در بسته) به مدت ۲۰ ساعت در حمام آب جوش حرارت داده شدند. در پایان هیدرولیز محلول فیلتر شده و رسوبات حذف شدند. محلول هیدرولیز شده تحت شرایط خلا و درجه حرارت ۴۰ درجه سلسیوس تغلیظ شد. در ادامه شربت تغلیظ شده با محلول ۱۰ درصد ایزوپروپانول در آب رقیق شد (تا حجم ۱۰ میلی لیتر). سپس تمامی نمونه‌ها از میکروفیلتر (۰/۴۵ میکرومتر) عبور داده شدند و در دمای ۴ درجه سلسیوس تا زمان آنالیز نگهداری شدند (گرتز ۱۹۹۰؛ گریندلی و رینولد ۱۹۸۶).

برای شناسایی قندهای آزاد در محلول استخراج شده (مونوساکاریدها) از دستگاه کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا (HPLC)^۱، مدل Unicam - crystal 200 مجهز به آشکارساز ضریب انکساری^۲ RID-10A و پمپ فشار بالا LC-10ADVP استفاده شد. جداسازی و شناسایی ترکیبات موسیلاژ روی ستون اختصاصی SC1011 (Shodex SUGAR Series) (اندازه ذره شش میکرومتر، طول ۳۰۰ میلی متر؛ قطر هشت میلی‌متر) انجام شد، آب دیونیزه به عنوان فاز متحرک با سرعت یک میلی‌لیتر در

نانو کود ماکرو+ ۵۰ درصد نانو کود میکرو، ۵۰ درصد کود شیمیایی+ ۵۰ درصد نانو کود ماکرو، ۵۰ درصد کود شیمیایی+ ۵۰ درصد نانو کود میکرو و ۵۰ درصد کود شیمیایی+ ۲۵ درصد نانو کود ماکرو+ ۲۵ درصد نانو کود میکرو بودند. به‌منظور کاشت، در اوایل شهریور ۱۳۹۸ شخم نیمه‌عمیق توسط گاوآهن برگردان‌دار اجرا و سپس برای نرم کردن خاک از دو نوبت دیسک عمود بر هم استفاده شد. کاشت در آبان ماه ۱۳۹۸ به صورت دستی صورت پذیرفت. تعداد کل کرت‌ها ۲۱ عدد و هر کرت شامل هشت خط کشت به طول سه متر و فاصله بین خطوط ۲۰ سانتی‌متر بود. کود سوپرفسفات تریپل قبل از کاشت و کود اوره در دو نوبت (همزمان با کاشت، قبل از مرحله گلدهی) استفاده شدند. نانو کودهای مورد استفاده در این پژوهش از شرکت فن‌آور سپهرپارمیس تهیه شده بود. نانوکودهای نیتروژن (Chelate N 25%) و روی (Chelate Zn 20%) با غلظت دو در هزار مصرف شدند. نانوکودهای فسفر (Chelate P 18%)، پتاسیم (Chelate K 23%) و آهن (Chelate Fe 13%) با غلظت یک کیلوگرم در هزار لیتر آب و نانوکود منگنز (Chelate Mn 18%) با غلظت ۵۰۰ گرم در هزار لیتر مورد استفاده قرار گرفتند. لازم به ذکر است که نانوکودها قبل از گلدهی محلول‌پاشی شدند. برای اندازه‌گیری عملکرد دانه در مرحله رسیدگی کامل بعد از حذف اثرات حاشیه، برداشت از خطوط وسط در مساحتی معادل ۱/۶ مترمربع صورت گرفت.

ارزیابی و شناسایی ترکیبات موسیلاژ دانه

ارزیابی موسیلاژ دانه بالنگوی شهری بر اساس انحلال اولیه در آب گرم انجام شد. بدین منظور بذور به نسبت ۱:۴۰ در آب جوش ۱۰۰ درجه سلسیوس وارد شده و با یک همزن برقی به مدت ۳۰ دقیقه هم زده شد. سپس نمونه‌ها در دمای اتاق سرد گردیدند و سپس به مدت ۳۰ دقیقه در پنج درجه سلسیوس با سرعت ۴۵۰۰ دور در دقیقه سانتیفریوژ شد. محلول جدا شده را از صافی الیاف پشم شیشه عبور داده و با اضافه نمودن

² - Refractive index detector

¹ - High performance liquid chromatography

میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد صورت پذیرفت. همچنین برای تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از صفات کمی و کیفی از روش‌های آماری چند متغیره استفاده گردید. تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، صفات مورد بررسی را در قالب چند مؤلفه‌ی اصلی خلاصه کرده و نقش این صفات را در تعیین تنوع کل بیان می‌نماید. برای انجام تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و همبستگی بین صفات از نرم افزار Minitab استفاده گردید.

نتایج و بحث

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد بین تیمارهای مختلف کودی از لحاظ عملکرد دانه تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود داشت (جدول ۳). بیشترین (۵۸۱/۳ کیلوگرم در هکتار) و کمترین (۳۲۱/۳ کیلوگرم در هکتار) عملکرد دانه به ترتیب با کاربرد تلفیقی ۵۰ درصد کود شیمیایی + ۲۵ درصد نانوکود ماکرو + ۲۵ درصد نانوکود میکرو و کاربرد جداگانه ۱۰۰ درصد نانوکود میکرو حاصل شد (جدول ۴). کاربرد تلفیقی کودهای شیمیایی و نانوکودهای ماکرو و میکرو شاید دلیل جذب مؤثرتر عناصر غذایی و آزادسازی تدریجی عناصر کم‌مصرف از قبیل آهن، روی و منگنز بخصوص در شرایط دیم که جذب عناصر غذایی توسط گیاه به سختی صورت می‌گیرد، منجر به افزایش عملکرد دانه شده است (آقازاده خلخالی و همکاران ۲۰۱۵). علاوه بر این، افزایش عملکرد دانه با کاربرد تیمار مذکور به انتقال بیشتر مواد به بخش‌های زایشی گیاه در مرحله پر شدن دانه نسبت داده می‌شود، که در نهایت با افزایش انتقال مجدد عناصر، وزن دانه در بوته و به تبع آن عملکرد دانه نیز افزایش می‌یابد (راهبرکیخا و همکاران ۲۰۱۷). با توجه به اینکه یکی از نانوکودهای مصرفی نانوکود آهن و پتاسیم می‌باشند، می‌توان بیان کرد که آهن نقش مهمی به عنوان جزئی از آنزیم‌های دخیل در انتقال الکترون (واکنش‌های اکسیداسیون) نظیر سیتوکروم‌ها دارد و

دقیقه استفاده شد. ۱۰ میکرولیتر از هر نمونه به دستگاه HPLC تزریق شد. کمی‌سازی ترکیبات از طریق اندازه‌گیری مساحت پیک انجام شد در حالیکه شناسایی کیفی ترکیبات از طریق مقایسه زمان‌های بازداری پیک‌ها با پیک استانداردهای معتبر قندها انجام شد. به‌منظور آنالیز اسیدهای اورونیک، پس از هیدرولیز اسیدی از دستگاه HPLC استفاده شد. به طور خلاصه، پنج میلی‌گرم از هر نمونه با استفاده از دو میلی‌لیتر تری‌فلورواستیک اسید (دو مولار) برای مدت چهار ساعت و دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد هیدرولیز شد. سپس نمونه‌های هیدرولیز شده تحت شرایط خلا خشک شده و مجدداً در یک میلی‌لیتر آب حل شدند. در ادامه ۱۰۰ میکرولیتر از محلول تهیه شده با ۲۰۰ میکرولیتر محلول نیم مولار PMP (1-phenyl-3-methyl-5-pyrazolone) متانولی و ۲۰۰ میکرولیتر از محلول ۰/۳ مولار سدیم هیدروکسید مخلوط شده و به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۷۰ درجه نگهداری شدند. در نهایت انجام واکنش با اضافه کردن ۴۵۰ میکرولیتر از محلول HCL (۰/۳ مولار) متوقف شد. محصول نهایی سه بار با کلرفرم (CHCl_3) جداسازی شد. سپس لایه آبی جمع شده از میکروفیلتر (۰/۴۵ میکرومتر) عبور داده شد و برای آنالیز به دستگاه HPLC مدل Agilent 1200 تزریق شد. جداسازی شناسایی ترکیبات روی ستون اختصاصی Phenomenex GEMINI-NX C_{18} (250 nm \times 4.6 nm, 5 μm) انجام شد. محلول نمکی بافر فسفات پتاسیم (۰/۱ مولار و pH ۶/۷) حاوی ۸۳ درصد استونیتریل (حلال A) و ۱۷ درصد استونیتریل (حلال B) به عنوان فاز متحرک استفاده شدند. طول موج جذب دتکتور UV در ۲۵۰ نانومتر تنظیم شد (وین و همکاران ۲۰۱۸؛ شی و همکاران ۲۰۱۶). در نهایت شناسایی ترکیبات با مقایسه زمان بازداری آنها با زمان بازداری استانداردهای تزریق شده انجام شد.

محاسبات آماری

بعد از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها، تجزیه واریانس با استفاده از نرم‌افزار SAS و مقایسه

(*Sesamum indicum* L.) با کاربرد تلفیقی ۷۵ درصد کود شیمیایی مرسوم + نانوکود حاصل شد. همچنین سپهری و وزیري مجد (۲۰۱۵) گزارش کردند که بیشترین میزان تعداد دانه در آکن گیاه کاسنی (*Cichorium intybus* L.) با مصرف نانوکودهای آهن و روی بدست آمد. عزیزی و صفایی (۲۰۱۷) نیز گزارش کردند که کاربرد تلفیقی اسید هیومیک + نانوکود منجر به افزایش معنی دار عملکرد دانه گیاه سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) گردید. بنزون و همکاران (۲۰۱۵) نتیجه گرفتند که کاربرد تلفیقی کودهای شیمیایی و نانوکود در برنج منجر به افزایش ارتفاع بوته، شاخص برداشت، عملکرد دانه و شاخص کلروفیل نسبت به شاهد گردید. زارعی و همکاران (۲۰۱۱) نیز نتیجه گرفتند که محلول پاشی آهن اثر افزایشی معنی داری بر تعداد بذر و عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های مختلف گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) داشت.

نقش کلیدی در تشکیل کلروفیل و فتوسنتز داشته و همچنین تأثیر مثبتی بر تولید ماده خشک گیاه دارد (تایز و زایگر ۲۰۰۲).

یکی از مهم‌ترین نقش‌های پتاسیم، نقش کلیدی آن در فتوسنتز می‌باشد. با افزایش مقدار پتاسیم در گیاه احتمال تولید ATP افزایش یافته که سبب تسریع در انتقال مواد حاصل از فتوسنتز می‌گردد و به همین دلیل عملکرد و کیفیت محصول را می‌تواند بهبود بخشد (لیستر و همکاران ۲۰۰۶). خوش‌پیک و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند که مصرف نیتروژن و نانوکود در گیاه رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill.) با در دسترس قرار دادن بسیاری از عناصر ضروری و غیرضروری برای گیاه با بهبود شرایط رشد ریشه و در نتیجه افزایش رشد، تعداد چتر و عملکرد دانه بیشتر را در پی خواهد داشت. در تطابق با نتایج پژوهش حاضر، راهبرکیخا و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند که بیشترین عملکرد دانه کنگد

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس عملکرد دانه، درصد و عملکرد موسیلاژ دانه بالنگوی شهری

منابع تغییر	درجه آزادی	عملکرد دانه	درصد موسیلاژ	میانگین مربعات
بلوک	۲	۸۴۷/۴۷۶	۰/۷۱۷	عملکرد موسیلاژ
تیمار	۶	۲۴۰۲۰/۰۴**	۱۰/۳۷۰**	۱/۱۸۳
خطای آزمایشی	۱۲	۸۴۴/۱	۰/۲۱۰	۷۵۵/۳۵۸**
ضریب تغییرات (%)		۶/۶۳	۵/۳۰	۶/۶۴۳
				۶/۵۸

**، * و ns به ترتیب معنی دار در سطح ۱ و ۵ درصد و عدم تفاوت معنی دار می باشد.

جدول ۴- مقایسه میانگین عملکرد دانه، درصد و عملکرد موسیلاژ دانه بالنگوی شهری

تیمارها	عملکرد دانه (kg.ha ⁻¹)	موسیلاژ (%)	عملکرد موسیلاژ (g.m ⁻²)
۱۰۰ درصد کود شیمیایی	۴۸۶/۷ ^b	۸/۸۹ ^b	۴۳/۲۷ ^b
۱۰۰ درصد نانو کود ماکرو	۳۶۹/۳ ^c	۶/۵۰ ^c	۲۴/۰۴ ^d
۱۰۰ درصد نانو کود میکرو	۳۲۱/۳ ^c	۶/۳۵ ^c	۲۰/۴۰ ^d
۵۰ درصد نانو کود میکرو + ۵۰ درصد نانو کود ماکرو	۴۵۲ ^b	۹/۴۳ ^b	۴۲/۳۸ ^b
۵۰ درصد کود شیمیایی + ۵۰ درصد نانو کود ماکرو	۴۸۴ ^b	۸/۹۹ ^b	۴۳/۴۸ ^b
۵۰ درصد شیمیایی + ۵۰ درصد نانو کود میکرو	۳۷۱ ^c	۸/۶۹ ^b	۳۱/۹۶ ^c
۵۰ درصد شیمیایی + ۲۵ درصد نانو کود میکرو + ۲۵ درصد نانو ماکرو	۵۸۱/۳ ^a	۱۱/۸۲ ^a	۶۸/۶۹ ^a

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی داری ندارد

درصد و عملکرد موسیلاژ

نتایج تجزیه واریانس نشان داد درصد و عملکرد موسیلاژ بالنگو تحت تأثیر معنی‌دار کاربرد الگوهای مختلف کودی در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت (جدول ۳). بیشترین و کمترین میزان درصد و عملکرد موسیلاژ به ترتیب با کاربرد تلفیقی ۵۰ درصد کود شیمیایی + ۲۵ درصد نانوکود ماکرو + ۲۵ درصد نانوکود میکرو و کاربرد جداگانه ۱۰۰ درصد نانوکود میکرو حاصل شد (جدول ۴). نتایج این تحقیق نشان داد، در صورتی که نانوکودهای میکرو و ماکرو با کودهای شیمیایی بصورت تلفیقی مورد استفاده قرار گیرند، باعث بهبود درصد و عملکرد موسیلاژ بالنگو می‌شوند. افزایش تولید موسیلاژ با کاربرد تلفیقی کودهای شیمیایی و نانوکودها در شرایط دیم از طریق افزایش قابلیت دسترسی عناصر غذایی برای گیاه، اثر کم‌آبی بر کاهش فتوسنتز گیاه را تعدیل و موجب افزایش تولید موسیلاژ می‌گردد، بنابراین قابلیت بالای نگهداری آب توسط موسیلاژ نقش عمده‌ای در سازگاری گیاه با شرایط دیم دارد (حبیب‌زاده و همکاران ۲۰۱۳). تحقیقات مختلف نشان می‌دهد که بیوسنتز متابولیت‌های ثانویه که جزو مواد مؤثره گیاهان دارویی می‌باشند تحت تأثیر فاکتورهای محیطی قرار می‌گیرد و کم‌آبی نیز عامل مؤثر در رشد و همچنین سنتز ترکیبات طبیعی گیاهان دارویی می‌باشد (دهقانی تفتی و همکاران ۲۰۱۸). افزایش درصد موسیلاژ در شرایط نامساعد دیم می‌تواند به‌عنوان پاسخی برای افزایش مقاومت به تنش کم‌آبی باشد (بقالیان ۲۰۰۸). علاوه بر این، افزایش موسیلاژ در پوسته بذر در شرایط دیم، ناشی از سازگاری اکولوژیکی گیاه به‌منظور حفظ جنین بذر در برابر خشکی می‌باشد. از آنجایی که یک شکل ویژه از ذخیره آب، پیوند یافتن با کربوهیدرات‌های آب‌دوست نظیر موسیلاژهای موجود در سلول‌ها، بافت‌های هادی و فضای بین‌سلولی و سطح بذر می‌باشد، این سازگاری موجب توانایی بالا در حفظ پتانسیل آب درون سلولی می‌شود (فکری و همکاران

۲۰۰۸). از آن جایی که عملکرد موسیلاژ حاصل ضرب عملکرد دانه و میزان موسیلاژ می‌باشد، لذا می‌توان بیان کرد علت افزایش عملکرد موسیلاژ با کاربرد تلفیقی کودهای شیمیایی و نانوکودهای ماکرو و میکرو، بالا بودن عملکرد دانه و درصد موسیلاژ در این تیمار می‌باشد. در تطابق با نتایج پژوهش حاضر قاسمیان و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند که کاربرد کودهای زیستی منجر به افزایش عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیکی، درصد و عملکرد موسیلاژ بالنگوی شهری شد. همچنین آقازاده خلخالی و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند کاربرد نانو کلات آهن منجر به افزایش موسیلاژ گیاه اسفرزه (*Plantago psyllium* L.) گردید. کرمی و همکاران (۲۰۱۱) نیز با کاربرد کودهای زیستی و شیمیایی تحت شرایط کمبود آب روی گل گاوزبان گزارش کردند که بیشترین میزان اسانس، درصد و عملکرد موسیلاژ با کاربرد تلفیقی کودهای زیستی با شیمیایی بدست آمد. نتایج تحقیقات دیگر نیز نشان می‌دهد که کاربرد کودهای زیستی منجر به افزایش درصد موسیلاژ گیاه دارویی اسفرزه شده است که علت آن را همزمانی کاربرد کودهای زیستی و اعمال تنش محیطی بیان کرده‌اند (پور یوسف و همکاران ۲۰۱۰؛ دهقانی تفتی و همکاران ۲۰۱۸). البته مکانیسم و نحوه اثر نانوکودها بر افزایش محتوای موسیلاژ هنوز ناشناخته است. اما آزمایش نشان داد محلول‌پاشی نانوکودها موجب افزایش درصد و عملکرد موسیلاژ دانه بالنگوی شهری خواهد شد. موسیلاژها هیدروکربن‌های نامحلولی هستند که پس از تجزیه انرژی تولید می‌کنند. اجزای اصلی موسیلاژ، پکتین است. پکتین یک پلی‌ساکارید اسیدی می‌باشد که سبب تشکیل ژل در ماتریکس بین سلولی می‌شود و در دیواره سلولی تمام سلول‌ها نیز وجود دارد (وو و همکاران ۲۰۰۹). در بیشتر گونه‌ها موسیلاژ در ایدیوبلاست‌ها^۳ (سلول‌هایی که از سایر سلول‌ها در یک بافت کاملاً متمایز و مشخص هستند و از ویژگی‌های آن‌ها دیواره سلولی ضخیم‌تر و کلروپلاست کمتر است) و در حفره‌هایی در میان

3 - Idioblast

سلول‌ها^۴ ذخیره می‌شوند. تعداد و اندازه سلول‌های موسیلاژ در بین جنس‌ها و گونه‌ها متفاوت است. سلول‌های موسیلاژی هم در سلول‌های اپیدرمی و هم در سلول‌های آندوسپرم دانه یافت می‌شوند (پاکروان و همکاران ۲۰۰۷). پلی ساکاریدهای موسیلاژی توسط دیکتوزوم‌ها ساخته می‌شوند و توسط کیسه‌های بزرگی به حفره‌ای که از تونوپلاست جدا شده است، منتقل می‌شوند. در مراحل انتهایی تمایز، این سلول‌ها کاملاً با موسیلاژ پر می‌شوند و هسته و سیتوپلاسم در هنگام بلوغ سلول تجزیه می‌شوند. سلول‌های موسیلاژی در بافت مزوفیل برگ یا آندوسپرم دانه توزیع شده‌اند و هر سلول توسط دیواره‌های پکتینی به قسمت‌های زیادی تقسیم می‌شوند. بنابراین محققین این سلول‌ها را سلول‌های کابین‌دار نامیده‌اند. آن‌ها فقط در برگ‌ها و دانه‌های بالغ مشاهده می‌شوند و از ویژگی‌های آن‌ها نداشتن هسته، سیتوپلاسم، واکوئل و سایر اجزای سلولی می‌باشد که به نظر می‌رسد این سلول‌ها متحمل فرآیند مرگ سلول^۵ می‌شوند (ماستروبرتی و دآریو ماریس ۲۰۰۸).

نانوکود ماکرو + ۲۵ درصد نانوکود میکرو بدست آمد (شکل ۱). در حالی که بیشترین میزان گالاکترونیک اسید (۱۶۷/۳ میلی گرم در گرم موسیلاژ) با کاربرد تلفیقی ۵۰ درصد نانوکود ماکرو + ۵۰ درصد نانوکود میکرو حاصل شد که تفاوت معنی‌داری با تیمارهای ۵۰ درصد کود شیمیایی + ۵۰ درصد نانوکود ماکرو، ۵۰ درصد کود شیمیایی + ۵۰ درصد نانوکود میکرو و ۵۰ درصد کود شیمیایی + ۲۵ درصد نانوکود ماکرو + ۲۵ درصد نانوکود میکرو نداشت. همچنین کمترین میزان ترکیبات ذکر شده با کاربرد کودهای شیمیایی مرسوم بدست آمد (جدول ۶). ترکیبات موسیلاژی به‌عنوان یکی از متابولیت‌های ثانویه (مولکول‌های زنجیره‌ای و توسعه یافته قندی) می‌باشند، که می‌تواند بسته به تغییر در فراهمی عناصر غذایی ناشی از مصرف کودهای شیمیایی و نانوکودها تحت تأثیر قرار گرفته و از کمیت و کیفیت متغیری برخوردار باشند (یوسفی و همکاران ۲۰۱۱). در پژوهشی با بررسی جداسازی و شناسایی مونوساکاریدهای موجود در موسیلاژ بالنگوی سیاه به روش کروماتوگرافی لایه نازک، مونوساکاریدهای گالاکتورونیک اسید، گالاکتوز، مانوز، گلوکز، آرابینوز، گزایلوز و رامنوز را شناسایی کردند (مرادی و همکاران ۲۰۱۰). در پژوهشی، ترکیبات قندی موسیلاژ دانه بالنگوی شهری شامل گلوکز، گالاکتوز، ارونیک اسید، گالاکترونیک اسید، زایلوز، فروکتوز گلوکرونیک اسید و ریروز بود (قاسمیان و همکاران ۲۰۱۷). آزمایشی که روی گیاهان دارویی اسفناج، اسفرزه، بنگ دانه، برگ بوی هندی و شنبلیله انجام گرفت مشخص شد که گالاکترونیک اسید، گلوکز، گالاکتوز، رامنوز، آرابینوز، گزایلوز، مانوز و گلوکرونیک اسید قندهای مونوساکاریدی تشکیل دهنده موسیلاژ بودند (پالانوی و همکاران ۲۰۰۹). ابراهیم‌زاده و همکاران (۲۰۰۰) با انجام آزمایشی روی ۱۵ گونه از گونه‌های مناطق مختلف و اندازه‌گیری درصد قندهای موسیلاژ بیان نمودند که گلوکز، گالاکتوز، آرابینوز، گزایلوز، فوکوز، رامنوز، ارونیک اسید، گلوکرونیک اسید

ترکیب‌های موسیلاژ دانه بالنگوی شهری در آنالیز موسیلاژ دانه بالنگو، هشت ترکیب شناسایی شد که شامل گلوکرونیک اسید، گالاکتورونیک اسید، آرابینوز، رافینوز، رامنوز، گالاکتوز، گزایلوز و گلوکوز بودند (شکل ۱). نتایج تجزیه واریانس نشان داد که ترکیبات موسیلاژ دانه تحت تأثیر تیمارهای مختلف کودی در سطح احتمال یک درصد قرار گرفتند (جدول ۵). بیشترین مقدار گلوکرونیک اسید (۹۷/۷ میلی گرم در گرم موسیلاژ)، آرابینوز (۹۴/۲ میلی گرم در گرم موسیلاژ)، رامنوز (۶۴/۶ میلی گرم در گرم موسیلاژ)، رافینوز (۲/۲ میلی گرم در گرم موسیلاژ)، گالاکتوز (۸۶/۵ میلی گرم در گرم موسیلاژ) و گزایلوز (۲۵/۵ میلی گرم در گرم موسیلاژ) و گلوکوز (۱۴/۳ میلی گرم در گرم موسیلاژ) با کاربرد تلفیقی ۵۰ درصد کود شیمیایی + ۲۵ درصد

ترکیب‌های موسیلاژ دانه بالنگوی شهری

در آنالیز موسیلاژ دانه بالنگو، هشت ترکیب شناسایی شد که شامل گلوکرونیک اسید، گالاکتورونیک اسید، آرابینوز، رافینوز، رامنوز، گالاکتوز، گزایلوز و گلوکوز بودند (شکل ۱). نتایج تجزیه واریانس نشان داد که ترکیبات موسیلاژ دانه تحت تأثیر تیمارهای مختلف کودی در سطح احتمال یک درصد قرار گرفتند (جدول ۵). بیشترین مقدار گلوکرونیک اسید (۹۷/۷ میلی گرم در گرم موسیلاژ)، آرابینوز (۹۴/۲ میلی گرم در گرم موسیلاژ)، رامنوز (۶۴/۶ میلی گرم در گرم موسیلاژ)، رافینوز (۲/۲ میلی گرم در گرم موسیلاژ)، گالاکتوز (۸۶/۵ میلی گرم در گرم موسیلاژ) و گزایلوز (۲۵/۵ میلی گرم در گرم موسیلاژ) و گلوکوز (۱۴/۳ میلی گرم در گرم موسیلاژ) با کاربرد تلفیقی ۵۰ درصد کود شیمیایی + ۲۵ درصد

⁵ - Programmed cell death

⁴ - Extracellular mucilage

سایر صفات مورد ارزیابی معنی‌دار نبود. علاوه بر این همبستگی تمام ترکیبات با یکدیگر مثبت و معنی‌دار بود. همچنین، درصد موسیلاژ با ترکیبات رافینوز و آرابینوز (به ترتیب ۰/۷۸۰ و ۰/۷۷۰) همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد داشت.

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی تبدیلی در فضای برداری است که بیشتر برای کاهش ابعاد مجموعه داده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد به این ترتیب مؤلفه‌هایی از مجموعه داده را که بیشترین تأثیر در واریانس دارند را حفظ می‌کند (جلیلی و همکاران ۲۰۱۱). همان‌طوری‌که در جدول ۸ مشاهده می‌شود براساس مقادیر ویژه، دو مؤلفه انتخاب شدند که در مجموع ۹۶/۴ درصد از کل تغییرات را توجیه کردند که از این مقدار سهم اولین مؤلفه ۸۲/۱ درصد و دومین مؤلفه ۱۴/۳ درصد بود. در مؤلفه اول صفات گلوکز، گزایلوز، گالاکتوز، رامنوز، رافینوز، آرابینوز و گلوکرونیک اسید بیشترین تأثیر را داشتند. در مؤلفه دوم، عملکرد دانه، درصد و عملکرد موسیلاژ بیشترین تأثیر را داشتند. همچنین، زاویه بین عملکرد دانه با عملکرد موسیلاژ و درصد موسیلاژ کمتر از ۹۰ درجه است و بین آنها همبستگی مثبت و معنی‌دار وجود دارد که تأیید کننده نتایج جدول همبستگی می‌باشد. علاوه بر این، نتایج مشابهی نیز بین ترکیبات موسیلاژ دانه وجود داشت (شکل ۲).

و گالاکترونیک اسید عمده‌ترین قندهای مونوساکاریدی تشکیل دهنده موسیلاژ هستند. کلیفورد و همکاران (۲۰۰۲) نیز در پژوهشی با اعمال تنش خشکی روی گیاه دارویی عناب اظهار نمودند که گلوکز، گالاکتوز، و رامنوز عمده‌ترین قندهای موسیلاژ می‌باشند. در آزمایش آن‌ها با افزایش تنش مقدار گلوکز بطور معنی‌داری کاهش یافت. فکری و همکاران (۲۰۰۸) با استفاده از روش کروماتوگرافی موسیلاژ استخراجی از بالنگوی سیاه گزارش کردند که موسیلاژ بالنگوی سیاه شامل مونوساکاریدهای گالاکترونیک اسید، گالاکتوز، مانوز، آرابینوز، گزایلوز، گلوکز و رامنوز هست.

همبستگی ساده بین صفات ارزیابی شده

نتایج نشان داد که عملکرد دانه با درصد و عملکرد موسیلاژ (به ترتیب ۰/۹۰۷ و ۰/۹۷۲) همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد داشت. بطوریکه با افزایش عملکرد دانه، درصد و عملکرد موسیلاژ نیز افزایش یافته است (جدول ۷). رحیمی و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند که همبستگی مثبت و معنی‌داری بین درصد و عملکرد موسیلاژ اسفرزه وجود داشت. نتایج پژوهش‌های دیگر نیز نشان می‌دهد که همبستگی مثبت و معنی‌داری بین عملکرد موسیلاژ و عملکرد دانه وجود دارد که با نتایج پژوهش حاضر همخوانی دارد (عبدالهی و ملکی فراهانی ۲۰۱۵؛ مهرآفرین و همکاران ۲۰۱۵). همبستگی عملکرد دانه با

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس ترکیبات تشکیل دهنده موسیلاژ دانه بالنگوی شهری

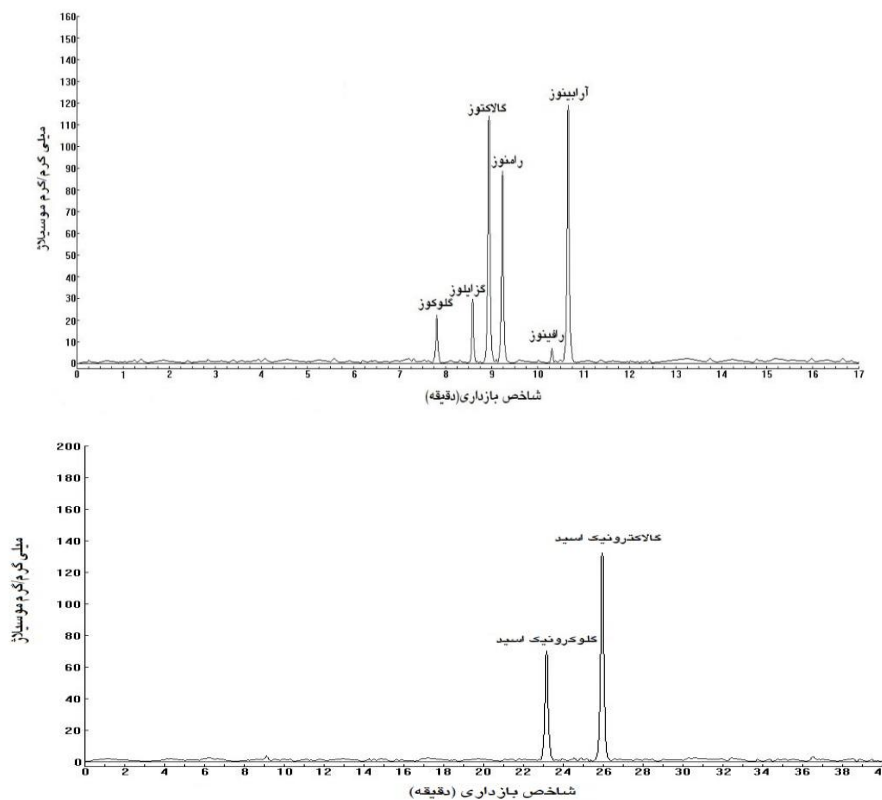
میانگین مربعات								درجه آزادی	منابع تغییر
گلوکرونیک اسید	گالاکترونیک اسید	آرابینوز	رافینوز	رامنوز	گالاکتوز	گزایلوز	گلوکز		
۳۰/۶	۲۵۴/۳۳۶	۶۶/۲۴۰	۱/۰۷۸	۲۸/۲۸	۴۹/۷۴	۸/۵۹۱	۵/۸۹۶	۲	بلوک
۲۹۴/۷**	۹۴۶/۹۶۶**	۴۵۲/۰۷**	۰/۳۹۰**	۲۷۳/۲۰**	۲۷۰/۳**	۷۶/۶۴۰**	۱/۳۸۸**	۶	تیمار
۰/۱۴۱	۱۰۰/۱۳۶	۰/۰۱۹	۰/۰۰۲	۰/۰۸۲	۰/۸۹۸	۰/۰۹۸	۰/۰۱۱	۱۲	خطا
۰/۴۵	۶/۸۵	۰/۱۸	۲/۶۰	۰/۵۶	۱/۲۸	۱/۶۷	۰/۸۹		ضریب تغییرات (%)

**، * و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح ۱ و ۵ درصد و عدم تفاوت معنی‌دار می‌باشد.

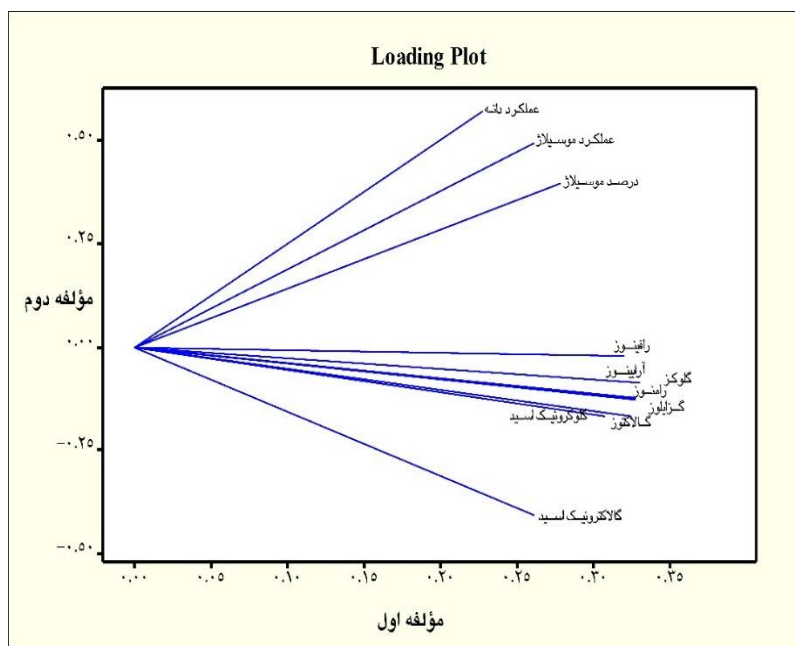
جدول ۶- مقایسه میانگین ترکیبات تشکیل دهنده موسیلاژ دانه بالنگوی شهری

تیماها	گلوکوز	گزالیوز	گالاکتوز	رامنوز	رافینوز	آرابینوز	گالاکترونیک اسید	گلوکرونیک اسید
	(mg.g-1)							
۱۰۰ درصد کود شیمیایی	۹/۲۱۳ ^g	۱۲/۲۶ ^g	۶۱/۱۹ ^g	۳۸/۳۰ ^g	۱/۴۴۳ ^f	۶۱/۷۱ ^g	۱۲۰/۵ ^c	۶۸/۰۸ ^g
۱۰۰ درصد نانو کود ماکرو	۹/۸۴۰ ^f	۱۴/۰۹ ^f	۶۴/۵۳ ^f	۴۱/۸۸ ^f	۱/۲۵۰ ^g	۶۴/۶۲ ^f	۱۲۸ ^c	۷۶/۲۲ ^f
۱۰۰ درصد نانو کود میکرو	۱۰/۵۰ ^e	۱۵/۶۶ ^e	۶۹/۹۲ ^e	۴۶/۲۲ ^e	۱/۵۵۳ ^e	۶۹/۵۹ ^e	۱۳۷ ^{bc}	۸۱/۲۸ ^d
۵۰ درصد نانو کود میکرو + ۵۰ درصد نانو کود ماکرو	۱۳/۷۲ ^b	۲۴/۲۶ ^b	۸۳/۰۳ ^b	۵۹/۶۶ ^b	۲/۰۹۳ ^b	۸۸/۱۳ ^b	۱۶۷/۳ ^a	۹۲/۰۵ ^b
۵۰ درصد کود شیمیایی + ۵۰ درصد نانو کود ماکرو	۱۲/۵۶ ^c	۲۰/۶۸ ^c	۷۹/۶۳ ^c	۵۵/۵۲ ^c	۲/۰۱۳ ^c	۸۳/۳۵ ^c	۱۶۰/۱ ^a	۸۵/۴۵ ^c
۵۰ درصد شیمیایی + ۵۰ درصد نانو کود میکرو	۱۱/۸۲ ^d	۱۸/۷۰ ^d	۷۴/۸۰ ^d	۵۰/۷۳ ^d	۱/۶۷۷ ^d	۷۵/۷۲ ^d	۱۵۸/۹ ^a	۷۹/۱۲ ^e
۵۰ درصد شیمیایی + ۲۵ درصد نانو کود میکرو + ۲۵ درصد نانو کود ماکرو	۱۴/۳۲ ^a	۲۵/۵۲ ^a	۸۶/۵۱ ^a	۶۴/۵۵ ^a	۲/۲۰۳ ^a	۹۴/۲۳ ^a	۱۵۰/۵ ^{ab}	۹۷/۶۶ ^a

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارد.



شکل ۱- کروماتوگرام مربوط ترکیبات تشکیل دهنده موسیلاژ دانه بالنگوی شهری



شکل ۲- نمودار Loading Plot مربوط به مؤلفه‌های اصلی

جدول ۷- همبستگی ساده بین صفات ارزیابی شده

درصد موسیلاژ	عملکرد دانه	گلوکرونیک اسید	گلاکترونیک اسید	آرابینوز	رافینوز	رامنوز	گلاکتوز	گزیلوز	گلوکز	گزیلوز
									۰/۹۹۹**	گزیلوز
								۰/۹۹۱**	۰/۹۹۴**	گلاکتوز
							۰/۹۹۷**	۰/۹۹۵**	۰/۹۹۶**	رامنوز
						۰/۹۳۷**	۰/۹۴۵**	۰/۹۲۹**	۰/۹۳۵**	رافینوز
				۰/۹۵۳**	۰/۹۹۸**	۰/۹۹۳**	۰/۹۹۴**	۰/۹۹۶**	۰/۹۹۶**	آرابینوز
			۰/۸۱۵*	۰/۸۰۴*	۰/۸۲۳*	۰/۸۶۲*	۰/۸۳۸*	۰/۸۴۸*	۰/۸۴۸*	گلاکترونیک اسید
		۰/۷۲۱*	۰/۹۵۷**	۰/۸۶۰*	۰/۹۶۷**	۰/۹۵۴**	۰/۹۵۷**	۰/۹۵۰**	۰/۹۵۰**	گلوکرونیک اسید
		۰/۴۷۷	۰/۱۸۶	۰/۶۰۳	۰/۶۶۴	۰/۵۵۷	۰/۵۱۶	۰/۵۵۴	۰/۵۵۶	عملکرد دانه
۰/۹۰۷**	۰/۶۲۶	۰/۴۵۱	۰/۷۷۰*	۰/۷۸۰*	۰/۷۴۰	۰/۷۱۱	۰/۷۴۴	۰/۷۵۲	۰/۷۵۲	درصد موسیلاژ
۰/۹۷۰**	۰/۹۷۳**	۰/۶۰۱	۰/۲۹۵	۰/۷۱۳	۰/۷۳۲	۰/۶۷۹	۰/۶۳۸	۰/۶۷۳	۰/۶۷۶	عملکرد موسیلاژ

** و * به ترتیب معنی داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد می باشد.

جدول ۸- تجزیه به مؤلفه‌های اصلی مقادیر ویژه

مؤلفه دوم	مؤلفه اول	ترکیبات
۰/۱۲۶	۰/۳۲۸	گلوکز
۰/۱۲۷	۰/۳۲۷	گزالوز
۰/۱۶۷	۰/۳۲۵	گالاکتوز
۰/۱۲۳	۰/۳۲۸	رامنوز
۰/۰۲۰	۰/۳۲۱	رافینوز
۰/۰۸۵	۰/۳۳۰	آرابینوز
۰/۴۰۷	۰/۲۶۱	گالاکترونیك اسید
۰/۱۶۶	۰/۳۰۸	گلوکرونیك اسید
۰/۵۶۹	۰/۲۲۸	عملکرد دانه
۰/۳۹۷	۰/۲۷۹	درصد موسیلاژ
۰/۴۹۳	۰/۲۶۱	عملکرد موسیلاژ
۱/۵۷	۹/۰۲	مقادیر ویژه
۰/۱۴۳	۰/۸۲۱	تناسب
۰/۹۶۴	۰/۸۲۱	توزیع تجمعی

نتیجه‌گیری کلی

بالنگوی شهری یک گیاه دارویی مهم می‌باشد که تقاضا به آن در صنعت رو به افزایش است، بنابراین بایستی بطور تجاری کشت شود. بطور کلی نتایج نشان داد که کاربرد نانوکودها اثرات قابل ملاحظه‌ای بر صفات کمی و کیفی بالنگوی شهری داشتند. کاربرد تلفیقی ۵۰ درصد کود شیمیایی + ۲۵ درصد نانوکود ماکرو + ۲۵ درصد نانوکود میکرو نسبت به سایر تیمارها برتری قابل ملاحظه‌ای داشت. علاوه بر این، در آنالیز موسیلاژ بالنگو، بیشترین میزان گلوکوز، گزالوز، گالاکتوز، رامنوز، رافینوز، آرابینوز، گلوکرونیك اسید با کاربرد

تلفیقی ۵۰ درصد کود شیمیایی + ۲۵ درصد نانوکود میکرو + ۲۵ درصد نانوکود ماکرو حاصل شد. بنابراین می‌توان بیان کرد که جایگزین نمودن بخشی از کودهای شیمیایی با نانوکودها، ضمن کاهش مصرف کودهای شیمیایی و حفظ سلامت محیط زیست می‌تواند به بهبود کیفیت و کمیت موسیلاژ دانه بالنگوی شهری منجر شود.

سپاسگزاری

از مدیریت پژوهش و فناوری و آزمایشگاه مرکزی دانشگاه مراغه بابت انجام آزمایش‌ها تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع مورد استفاده

- Abdolahi M and Maleki Farahani S. 2015. Evaluation of seed yield, mucilage and protein of different species and ecotypes of balangu (*Lallemantia* spp.) under drought stress. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 31(4): 676-687. (In persian).
- Aghazadeh-Khalkhali D, Mehrafarin A, Abdossi V and Naghdi Badi H. 2015. Mucilage and seed yield of *Psyllium* (*Plantago psyllium* L.) in response to foliar application of nano-iron and potassium chelate fertilizer. *Journal of Medicinal Plants*, 4(56): 23-34. (In persian).
- Azizi M and Safaei Z. 2017. The effect of humic acid and Pharms fertilizer on morphological traits, yield and essential oil content of (*Nigella Sativa* L.). *Journal of Horticultural Science*, 4: 671-680. (In Persian).

- Baghalian K. 2008. Effect of soil and weather condition on quality and quantity of mucilage. MSc Thesis Faculty of Agriculture, University of Tehran, Iran.
- Benzon HRL, Rubenecia MRU, Ultra Jr VU and Lee SC. 2015. Nano-fertilizer affects the growth, development, and chemical properties of rice. *International Journal of Agronomy and Agricultural Research*, 7(1): 105-117.
- Caballero-Serrano V, McLaren B, Carrasco JC, Alday JG, Fiallos L, Amigo J and Onaindia M. 2019. Traditional ecological knowledge and medicinal plant diversity in Ecuadorian Amazon home gardens. *Global Ecology and Conservation*, 17:1-23.
- Clifford SC, Arndt SK, Popp M and Jones HG. 2002. Mucilages and polysaccharides in Ziziphus species (Rhamnaceae): Localization, composition and physiological roles during drought-stress. *Journal of Experimental Botany*, 53: 131-138.
- Dehghani Tafti AR, Mahmodi S, Alikhani HA and Salehi M. 2018. The effect of salinity stress and soil microorganisms on quantity and quality characteristics of isabgol (*Plantago ovata* Forsk). 11 (3):721-736. (In persian).
- DeRosa MC, Monreal C, Schnitzer M, Walsh R and Sultan Y. 2010. Nanotechnology in fertilizers. *Nature Nanotechnology*, 5(2): 91.
- Ebrahimzadeh H, Niknam V and Maassoumi AA. 2000. Mucilage content and its sugar composition in *Astragalus* species from iran. *Pakistan Journal of Botany*, 32(1): 131-140
- Fallahi A, Hassani A and Sefidkon F. 2016. Effect of foliar application of different zinc sources on yield and phytochemical characteristics of basil (*Ocimum basilicum* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 32(5): 743-757. (In Persian).
- Fekri N, Khayami M, Heidari R and Jamee R. 2008. Chemical analysis of flaxseed, sweet basil, dragon head and quince seed mucilages. *Research Journal of Biological Sciences*, 3(2): 166-170.
- Gertz CH. 1990. HPLC Tips and Tricks. Great Britain, Oxford, P 608.
- Ghasemian V, Shafagh Kalvanagh J and Pirzad A. 2017. Effect of Fertilizer Treatments and Irrigation Regimes on *Lallemantia iberica* Seed Mucilage Yield and Compounds. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 27(3): 17-31. (In persian).
- Ghodsi A, Astaraei AR, Emami H and Mirzapour MH. 2012. Effects of Nano Iron Oxide Powder and Urban Solid Waste Compost Coated Sulfur on Sunflower Yield and Yield Components in Saline-Sodic Soil. *Journal of Environmental Sciences*, 9(4): 111-118. (In Persian).
- Grindlay D and Reynolds T. 1986. The aloevera phenomenon: A review of the properties and modern uses of leaf parenchyma gel. *Journal of Ethnopharmacology*, 16(2-3): 117-151.
- Habibzadeh A, Rashidi M and Galanis N. 2013. Analysis of a combined power and ejector-refrigeration cycle using low temperature heat. *Energy Conversion and Management*, 65: 381-391.
- Jalili A, Rabie M, Azamiand and Daghestani M. 2011. Genotype diversity of plums and tomatoes using morphological characteristics in Maraghe region. *Seed and Plant Improvement Journal*, 27(3): 354-374. (In Persian).
- Kalnyasundram NK, Pateb PB and Dalat, KC. 1982. Nitrogen need of *Plantago ovata* Forsk. in relation to the available nitrogen in soil. *Indian Journal of Agricultural Science*, 52: 240-242.
- Karami A, Sepehri A, Hamzei J and Salimi Gh. 2011. Effect of nitrogen and phosphorous on quantitative and qualitative traits of Borage (*Borago officinalis* L.) under water deficit stress. *Journal of Plant Production Technology*, 11(1): 37-50. (In Persian).
- Khoshpeyk S, Sadrabadi Haghighi R, and Ahmadian A. 2017. The Effect of Application of Nitrogen Fertilizer and Nano-Organic Manure on Yield, Yield Components and Essential Oil of Fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 14(4): 775-787. (In Persian).

- Lester GE, Jifon JL and Makus D. 2006. Supplemental foliar potassium applications with or without a surfactant can enhance netted muskmelon quality. *HortScience*, 41(3): 741-744.
- Liu R and Lal R. 2015. Potentials of engineered nanoparticles as fertilizers for increasing agronomic productions. *Science of the Total Environment*, 514: 131-139.
- Liu X, Feng Z, Zhang S, Zhang F, Zhang, J, Xiao Q and Wang Y. 2006. Preparation and testing of cementing and coating nano-subnanocomposites of slow-or controlled-release fertilizer. *Scientia Agricultura Sinica*, 39(8): 1598-1604.
- Mahmoodi P, Yarnia M, Amirnia R, Tarinejad A and Mahmoodi H. 2017. Comparison of the Effect of nano urea and nano iron fertilizers with common chemical fertilizers on some growth traits and essential oil production of *Borago officinalis* L. *Journal of Dairy & Veterinary Science*. 2(2): 1-4.
- Mastroberti AA, and de Araujo Mariath JE. 2008. Development of mucilage cells of *Araucaria angustifolia* (Araucariaceae). *Protoplasma*, 232(3-4): 233-245.
- Mehrafarin A, Naghdi BH, Qaderi A, Labbaf MR, Zand E, Noormohammadi G, Qavami N and Seif Sahandi M. 2015. Changes in Seed Yield and Mucilage of Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) in Response to Foliar Application of Methanol as a Bio-stimulant. *Journal of Medicinal Plants*, 54(2): 86-101. (In Persian).
- Moradi M, Yamini Y, Esrafil A and Seidi S. 2010. Application of surfactant assisted dispersive liquid-liquid microextraction for sample preparation of chlorophenols in water samples. *Talanta*, 82(5): 1864-1869.
- Naderianfar M, Karimi H, Ansari H and Azizi M. 2018. Effect of Deficit Irrigation and Nano Fertilizer on Reproductive Characteristics of Basil (*Ocimum basilicum* L.). *Journal of Water and Soil Conservation*, 25(4): 93-111.
- Naghbi F, Mosaddegh M, Mohammadi Motamed S and Gorbani A. 2005. Labiatae family in folk medicine in Iran: from ethnobotany to pharmacology. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research*, 2: 63-79.
- Omidi H, Shams H, Sahandi MS, Rajabian T, Miransari M. 2018. Balangu (*Lallemantia* sp.) growth and physiology under field drought conditions affecting plant medicinal content. *Plant Physiology and Biochemistry*, 130: 641-646.
- Pakravan M, Abedinzadeh H, and Safaeepur J. 2007. Comparative studies of mucilage cells in different organs in some species of *Malva*, *Althaea* and *Alcea*. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 10(15): 2603-2605.
- Palanuvej C, Hokputsa S, Tunsaringkarn T and Ruangrunsi N. 2009. In vitro glucose entrapment and alpha-glucosidase inhibition of mucilaginous substances from selected Thai medicinal plants. *Scientia Pharmaceutica*, 77(4): 837-850.
- Parvar A, Maleki Farahani S and Rezazadeh A. 2020. Influence of application nano-iron chelate fertilizer on agronomic and physiological traits of *Lallemantia* sp. 16 th National Iranian Crop Science Congress. Ahvaz, Iran.
- Poryousof M, Mazaheri D, Chaeichi M, Rahimi A and Tavakoli A. 2010. Effect of different soil fertilizing treatments on some of agro-morphological traits and mucilage of Isabgol (*Plantago ovata* Forsk). *Electronical Journal of Crop Production*. 2(3): 193-213. (In Persian).
- Rahbar-Kiykha F, khammari E, Dahmardeh M and Forouzandeh M. 2017. Effect of nano bio-fertilizer and chemical fertilizer application on quantitative and qualitative yield of sesame (*Sesamum indicum* L.) cultivars. *Journal of Crop Science Research in Arid Regions*, 1(2): 177-190. (In Persian).
- Rahimi A, Jahansoz MR and Rahimian Mashhadi H. 2014. Effect of Drought Stress and Plant Density on Quantity and Quality Characteristics of Isabgol (*Plantago ovata*) and French Psyllium. *Isfahan University of Technology-Journal of Crop Production and Processing*, 4(12): 143-156. (In Persian).

- Ramroudi M, Keikha, JM Galavi, M, Seghatoleslami MJ and Baradaran R. 2011. The effect of various micronutrient foliar applications and irrigation regimes on quantitative and qualitative yields of isabgol (*Plantago ovata* Forsk.). *Journal of Agroecology*, 3(2):219-226 (In Persian).
- Sepehri A and Vaziriamjad Z. 2015. The Effect of Iron and Zinc Nano Fertilizers on Quantitative Yield of Chicory (*Cichorium intybus* L.) in Different Crop Densities. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 25(1, 2): 61-74. (In Persian).
- Simpson BB and Conner-Ogorzaly M. 2013. *Plants in Our World: Economic Botany*. McGraw-Hill Education.
- Singer FAW, Taha FS, Mohamed SS, Gibriel A and El-Nawawy M. 2011. Preparation of mucilage/protein products from flax seed. *American Journal of Food Technology*, 6(4): 260-278.
- Siu KC, Xu L, Chen X and Wu JY. 2016. Molecular properties and antioxidant activities of polysaccharides isolated from alkaline extract of wild *Armillaria ostoyae* mushrooms. *Carbohydrate Polymers*, 137: 739-46.
- Solanki P, Bhargava A, Chhipa H, Jain N and Panwar J. 2015. Nano-fertilizers and their smart delivery system Nanotechnologies in food and agriculture (pp. 81-101). Springer.
- Subramanian KS, Manikandan A, Thirunavukkarasu M and Rahale CS, 2015. Nano-fertilizers for balanced crop nutrition: 69-80. In: Rai M, Ribeiro C, Mattoso L and Duran N. (Eds.). *Nanotechnologies in food and agriculture*. London, Springer, 376p.
- Tarafdar JC, Raliya R, Mahawar H and Rathore I. 2014. Development of zinc nanofertilizer to enhance crop production in pearl millet (*Pennisetum americanum*). *Agricultural Research*, 3(3): 257-262.
- Tarraf W, Ruta C, Tagarelli A, De Cillis F and De Mastro G. 2017. Influence of arbuscular mycorrhizae on plant growth, essential oil production and phosphorus uptake of *Salvia officinalis* L. *Industrial Crops and Products*, 102, 144-153.
- Taiz LZ and Zeiger EE 2002. *Plant physiology*, Publication of Sinauer Associates.
- Wen L, Xu Y, Wei Q, Chen W and Chen G. 2018. Modeling and optimum extraction of multiple bioactive exopolysaccharide from an endophytic fungus of *Crocus sativus* L. *Pharmacognosy magazine*, 14 (53): 36-43.
- Wu Y, Cui W, Eskin NAM and Goff HD. 2009. Fractionation and partial characterization of non-pectic polysaccharides from yellow mustard mucilage. *Food Hydrocolloids*, 23(6): 1535-1541.
- Yousefi S, Moghaddam MP and Majd VJ. 2011. Optimal real time pricing in an agent-based retail market using a comprehensive demand response model. *Energy*, 36(9): 5716-5727.
- Zareie S, Golkar P and Mohammadi-Nejad G. 2011. Effect of nitrogen and iron fertilizers on seed yield and yield components of safflower genotypes. *African Journal of Agricultural Research*, 6(16), 3924-3929.