پژوهش در علوم باغبانی
Journal of Research in Horticultural Science
جلد۳، شماره۱، بهار و تابستان ۱۴۰۳ (ص۱۳۸-۱۲۳)
Vol. 3, No.1 spring and summer 2024 (123-138)
تارنمای مجله https://rhsj.areeo.ac.ir
مقاله علمی پژوهشی
rhsj.2025.366571.1103/10.22092

بررسی اثر محلول‌پاشی نانوکودهای پتاسیم و کلسیم بر میزان کامفرول و اسیدشیکوریک در ارقام گیاه چیکوری (*Cichorium intybus* L.)

پری طوسی[1*]، مسعود اصفهانی[2]

۱ – استادیار پژوهشی، مؤسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران.

۲ استاد، دانشگاه گیلان، رشت

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۵/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۳۰

چکیده

به منظور تعیین اثر محلول‌پاشی نانوکودهای پتاسیم و کلسیم بر خصوصیات کیفی گیاه چیکوری، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳۲ تیمار و ۳ تکرار در سال ۹۶-۱۳۹۵ در مؤسسه تحقیقات برنج کشور(رشت) به اجرا درآمد. فاکتور اول، هشت رقم چیکوری (توده‌های بومی شمال ایران، کاشان، ارومیه، سیستان و بلوچستان، تیلدا، هیکور، اورکیس و اصلاح شده مجارستان) و فاکتور دوم مصرف نانوکلات‌پتاسیم، نانوکلات‌میکروکامل، نانوکلات‌کلسیم با غلظت دو در هزار و یک تیمار شاهد صفر بود. مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که ژنوتیپ‌های اصلاحی مجارستان و تیلدا بیشترین میزان کامفرول (۱۹/۳۸ و ۱۸ درصد) و پرولین (۴/۶۶ و ۴/۴۵ میکرومول بر گرم وزن تر) را داشت. توده‌های بومی محتوای پرولین کمتری داشتند. بیشترین میزان کامفرول (۱۵/۰۷ درصد) با مصرف نانوکلات-کلسیم و بیشترین میزان پرولین (۴/۱۵ میکرومول بر گرم وزن تر) در شاهد بدست آمد. مقایسه میانگین اثر متقابل نشان داد که ژنوتیپ‌های اصلاح شده و تیلدا با محلول‌پاشی نانوکلات‌کلسیم به ترتیب با میانگین‌های ۲۰/۳۳ و ۲۰ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک بیشترین میزان اسید شیکوریک و فروکتوز کل (به ترتیب با میانگین‌های ۱۶/۶۰ و ۱۶/۳۳ درصد) را داشت. رقم تیلدا با مصرف نانوکلات‌کلسیم بیشترین عملکرد ریشه (۴۱۱۴ کیلوگرم در هکتار) و میزان اینولین (۱۳/۶۰ درصد) را داشت. کمترین میزان اینولین در اکوتیپ‌های سیستان و بلوچستان و شمال ایران بدون مصرف نانوکود بدست آمد. براساس نتایج آزمایش به نظر می‌رسد که با استفاده از ژنوتیپ اصلاح شده و تیلدا با محلول‌پاشی نانوکودها می‌توان به منابع باارزش جهت تولید تجاری کامفرول و اینولین در داخل کشور گام برداشت

واژگان کلیدی: کاسنی، محتوای فروکتوز کل، میزان اینولین، عملکرد ریشه.

Investigating the effect of Spray application of potassium and calcium nanofertilizers on the amount of kaempferol and cichoric acid in chicory (*Cichorium intybus* L.) cultivars

Pari Tousi [1*], Masoud Esfahani [2]

1 Research Assistant Professor of Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran.

2 Professor, Department of Agriculture, Faculty of Agricultural Sciences, University of Gilan. Rasht

Received :Agugust 2024 Accepted:January 2025

Abstract

In order to determine the effect of Spray application of potassium and calcium nanofertilizers on the quality characteristics of chicory cultivars, the experiment was conducted in complete randomized block design with 32 treatments and 3 repetitions in 2016 at the Rice Research Institute of Iran (Rasht). The first factor, eight cultivars of Cichorium (indigenous landrace of northern Iran, Kashan, Urmia, Sistan and Baluchestan, Tilda, hickory, Orkis, Modified Hungarian cultivar) and the second factor was nano-Kchelate, nano-Full micro chelate, nano-Cachelate (20.00), plus a zero control treatment. The comparison of the mean treatments showed that the Modified Hungarian and Tilda genotypes have the highest amount of kaempferol (19.38 and 18%) and proline (4.66 and 4.45 µmol.g-1fresh weight). Chicory indigenous landrace had lower proline content. The highest amount of kaempferol (15.07%) were obtained with the use of nano-Ca chelate and the highest proline content (4.15 µmol.g-1fresh weight) was obtained in the control treatment. The comparison of the mean interaction effect showed that modified and Tilda genotypes with foliar application of nano-Cachelate had the highest amount of cichoric acid (20.33 and 20 %) and total fructose (16.6 and 16.33 %, respectivly). Tilda genotype had the highest root yield (4114 kg.ha-1) and inulin content (13.6%) with the use of Ca- nanochelate. The lowest amount of inulin (7.06%) was obtained in the native ecotypes of Sistan and Baluchistan and indigenous landrace of northern Iran without the use of nanofertilizers. Based on the results of this experiment, it seems that by using modified genotype and Tilda with spraying of nanofertilizers, It is possible to take steps towards valuable resources for the commercial production of kaempferol and inulin inside the country.

Keywords: Chicory, Total fructose content, Inulin content, Root yield.

*نویسنده مسئول: p.tousi@areeo.ac.ir

۱- مقدمه

گیاه دارویی چیکوری (*Cichorium intybus* L.) یکی از اولین منابع اصلی و مهم تولید اینولین در سطح صنعتی- تجاری در کشورهای اروپایی، چین و ژاپن شناخته شده است و در ریشه، برگ و بذر آن ترکیبات مهمی مثل اینولین، سزکوئیترپن لاکتونها، کومارینها و فلاونوئیدها وجود دارد (شوریده و همکاران، ۱۳۹۳). ترکیب اصلی مواد مؤثره گیاه چیکوری فالونوئید کامفرول می‌باشد. فلاونوئیدها یکی از بزرگ‌ترین گروه‌های فنلی طبیعی هستند. ترکیب‌های فلاونوییدی کامفرول دارای خواص دارویی هستند و برای مقابله با ویروس‌ها و سلول‌های سرطانی استفاده می‌شوند (طاهری اصغری، ۱۳۸۹). همچنین چیکوری یک گیاه اقتصادی مهم به عنوان منبع خام استخراج اینولین از ریشه می‌باشد. امروزه تولید صنعتی اینولین از طریق استخراج از گیاهان تیره گل ستاره‌ای‌ها صورت می‌گیرد. اینولین یک پلی ساکارید ذخیره‌ای از دسته فروکتان‌ها است که شامل یک زنجیره از واحدهای فروکتوز با یک مولکول انتهایی گلوکز است (Blitz *et al.*, 2009). اینولین به علت دارا بودن خاصیت پروبیوتیکی منجر به تحریک رشد باکتری‌های مفید و تولید اسیدهای چرب زنجیره‌کوتاه در روده انسان و دام می‌شوند (صوفی و همکاران، ۱۳۹۲). لازم به ذکر است که به ازای مصرف هر گرم اینولین ۴ کیلوکالری انرژی تولید می‌شود که این میزان فقط ۳۸ درصد انرژی یک مولکول قند شش کربنی هضم شده است (Paseephol *et al.*, 2007). با توجه به امکان استخراج، تخلیص و تولید صنعتی اینولین از ریشه گیاه چیکوری در کارخانجات چغندرقند، در صورت کشت این گیاه در سطح وسیع می‌توان به تولید صنعتی اینولین در داخل کشور با بهره‌گیری از ظرفیت‌های خالی واحدهای صنعتی تولید قند دست یافت. کربوهیدرات‌های ریشه چیکوری قابلیت استحصال کمتری نسبت به ارقام جدید چغندرقند و دیگر گونه‌های گیاهی دارند، بنابراین جدا از بحث نیاز به بومی‌سازی صنعت استخراج و فرآوری اینولین از ریشه چیکوری، کشت این گیاه در سطح وسیع و با استفاده از بذر توده‌های برتر چیکوری و با راندمان بالا نیز ضروری است (درجانی و همکاران، ۱۳۹۴). هم‌اکنون در کشور هیچگونه رقم و یا توده بومی مناسب جهت استخراج اینولین معرفی نشده است. بنابراین در این پژوهش به منظور شناسایی و انتخاب رقم مناسب جهت استخراج اینولین، چندین توده چیکوری بومی از مناطق مختلف کشور جمع‌آوری و همراه با ارقام تجاری خارجی کشت شده در داخل کشور، مورد مطالعه قرار گرفت.

امروزه استفاده از فناوری نانو درکلیه عرصه‌ها از جمله کشاورزی درحال‌گسترش می‌باشد. کاربرد نانوکودها به عنوان جایگزین کودهای مرسوم، عناصر غذایی به تدریج و به صورت کنترل شده در خاک آزاد می‌شود. از جمله مزایای استفاده از نانوکودها می‌توان به افزایش راندمان و کیفیت منابع غذایی به واسطه سرعت جذب بالا، کاهش قابل توجه آلودگی خاکی، ذخایر آبی و محصولات غذایی به واسطه کاهش آبشویی کودها و عدم اتلاف کودها توسط آبشویی و جذب کامل کود توسط گیاه به دلیل رهاسازی عناصر غذایی کود با سرعت مطلوب در تمام طول فصل رشد اشاره کرد (Lal & Liu, 2015). نانوکلات پتاسیم دارای کمپلکس منحصر به فردی بوده و حاوی ۲۷ درصد پتاسیم کلات شده است. شبکه مولکولی این ساختار، انحلال بیشتر پتاسیم را فراهم و بهترین دسترسی را برای گیاه به عنصر پتاسیم ایجاد می‌کند که از این نظر از معضلات کودهای پتاسیم موجود اجتناب می‌شود. نانو کلات پتاسیم با افزایش کارایی مصرف آب، افزایش تحمل گیاه به سرمازدگی، خشکی، شوری، آفات و بیماری‌ها، افزایش محتوای

کلروفیل برگ و راندمان فتوسنتز شده و باعث افزایش جذب عناصر ریزمغذی به ویژه آهن، روی و منگنز می‌شود. نانوکلات کلسیم حاوی هفت درصد کلسیم کلات شده است که در توسعه ریشه و جلوگیری از صدمات ناشی از تنش‌های سرمازدگی و غرقابی موثر است (دست‌نامه نانوکودهای کلاته خضراء ۱۳۹۶).

با توجه به کمبود منابع و تحقیقات اندک در زمینه اثر کودهای تهیه شده با فناوری نانو بر میزان کامفرول و مواد مؤثره گیاه دارویی چیکوری در کشور و به دلیل هزینه زیاد واردات اینولین و با توجه به کمبود پژوهش مستند در این زمینه، یکی از اهداف انجام این تحقیق، بررسی ارقام چیکوری بومی و خارجی از نظر ماده موثره کامفرول و اینولین است.

۲- مواد و روش‌ها

به منظور تعیین اثر محلول‌پاشی نانوکودهای پتاسیم و کلسیم بر خصوصیات کیفی گیاه چیکوری، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳۲ تیمار و ۳ تکرار به مدت یک سال زراعی ۱۳۹۶-۱۳۹۵ در مزرعه تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات برنج کشور (رشت) به اجرا گذاشته شد. قبل از انجام آزمایش نمونه‌های مرکبی از خاک تهیه و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آنها در آزمایشگاه بخش خاک و آب مؤسسه تحقیقات برنج کشور اندازه‌گیری شدند. از آنجاییکه عمق نمونه‌برداری بر حسب شرایط، نوع و مرحله رشد گیاه (عمق توسعه ریشه) متغیر بوده و با توجه به اینکه گیاه چیکوری دارای سیستم ریشه‌ای عمیق (۰/۵ تا ۱ متر) است (توکلی صابری، ۱۳۹۳)، نمونه‌برداری در عمق صفر تا ۶۰ سانتی‌متر انجام شد.

پس از آماده شدن زمین و همراه دیسک، کود نیتروژن خالص از منبع اوره به میزان ۶۰ کیلوگرم در هکتار، کود فسفر خالص از منبع سوپرفسفات تریپل به میزان ۷۰ کیلوگرم در هکتار و کود پتاسیم خالص از منبع سولفات پتاسیم به میزان ۷۰ کیلوگرم در هکتار مورد نیاز برحسب آزمون خاک قبل از کاشت بذر به مزرعه داده شد. سپس دورتا دور زمین زهکش‌هایی به عمق ۴۰-۳۰ سانتی‌متر و به عرض ۳۰-۲۵ سانتی‌متر احداث و با توجه به کیفیت و وضعیت غیریکنواختی زمین به سه بلوک تقسیم شد و سپس هر بلوک به ۳۲ کرت کاملاً هم‌شکل و هم‌اندازه و در کل ۹۶ کرت تقسیم گردید. هر کرت آزمایش شامل چهار خط کاشت به طول چهار متر به فاصله ۵۰ سانتی‌متر از ردیف بعد و فاصله بین بوته‌ها ۲۰ سانتی‌متر (با تراکم ۱۵ بوته در مربع) و فاصله بین تیمارها و تکرارها یک متر در نظر گرفته شد. در این آزمایش فاکتور اول شامل ارقام گیاه دارویی چیکوری (۱- توده بومی شمال ایران، ۲- توده بومی کاشان، ۳- توده بومی ارومیه، ۴- توده بومی سیستان و بلوچستان، ۵- رقم

جدول ۱- نتایج آزمون خاک محل اجرای آزمایش در عمق صفر تا ۶۰ سانتی‌متر

هدایت الکتریکی ($dS.m^{-1}$)	اسیدیته کل اشباع	کربن آلی (٪)	نیتروژن کل (٪)	فسفر قابل جذب ($mg.kg^{-1}$)	پتاسیم قابل جذب ($mg.kg^{-1}$)	کلسیم قابل جذب ($mg.kg^{-1}$)	شن (٪)	سیلت (٪)	رس (٪)	بافت
۰/۳۹	۶/۰۸	۱	۰/۰۸۹	۲۸	۱۹۲	۶/۹	۱۲	۳۸	۵۰	رسی سیلتی

خارجی تیلدا ۶-رقم خارجی هیکور، ۷- رقم خارجی اورکیس، ۸- رقم اصلاح شده مجارستان) و فاکتور دوم مصرف نانوکودها (۱-نانوکلات‌پتاسیم با غلظت دو در هزار، ۲- نانوکلات میکروکامل با غلظت دو در هزار، ۳- نانوکلات کلسیم با غلظت دو در هزار به همراه یک تیمار شاهد صفر) بودند. کاشت بذرها در اواخر اسفند و اوایل فروردین به صورت دستی و در هر کپه دو تا سه بذر در عمق ۴-۲ سانتی‌متری و به میزان ۸-۵ کیلوگرم در هکتار صورت گرفت. محلول‌پاشی نانوکودها در هنگام غروب با استفاده از سمپاش موتوری پشتی با فشار ۰/۲ بار و با نازل نوع معمولی تلسکوپی، به ترتیب در مراحل پیش از ساقه-رفتن، قبل از شروع گلدهی و قبل از برداشت طبق توصیه شرکت سازنده کود انجام شد. کودهای نانو از شرکت دانش‌بنیان صدور احرار شرق و نمایندگی نانوکودهای کلاته خضراء در مازندران تهیه شدند.

از خصوصیات کود نانوکلات پتاسیم داشتن بنیان کمپلکس و ۲۷ درصد پتاسیم کلات شده است. کود نانوکلات میکرو کامل حاوی ۸ درصدآهن، ۱/۵ درصد روی، ۱/۵ درصد منگنز، ۰/۵ درصد بور، ۰/۵ درصد مولیبدن، ۰/۵ درصد مس می‌باشد. این کمپلکس پیچیده به دلیل آرایش فضایی منظم ابداعی، بهترین مولکولی است که می‌تواند در ابعاد نانومتری همه این عناصر ریزمغذی را در اختیار گیاه قرار دهد. کود نانو کلات کلسیم حاوی ۷ درصد کلسیم کلات شده است. این نانو کمپلکس به دلیل طراحی ساختار و افزایش میزان سطح به حجم براساس نانوتکنولوژی، می‌تواند کلسیمی را که در خود جای داده است، در زمان مناسب در اختیار گیاه قرار دهد. با توجه به وجود علف‌های هرز قیاق و سوروف در مزرعه، عملیات وجین دستی جهت مبارزه با علف‌های هرز انجام شد. در طول فصل رشد آفت و بیماری خاصی مشاهده نشد و بنابراین نیاز به مصرف آفت‌کش‌های شیمیایی وجود نداشت. اندازه‌گیری صفات شامل میزان کامفرول، اسید شیکوریک، محتوای پرولین، محتوای فروکتوز کل، میزان اینولین، عملکرد ریشه، میزان جذب کلسیم و پتاسیم در بافت گیاه در انتهای فصل رشد و پس از برداشت محصول انجام شد.

به منظور استخراج فالونوئید کامفرول، نمونه‌های برگی تر با حلال متانول و اسید استیک به نسبت ۹ به ۱ مخلوط شد و به حجم ۳۰ میلی‌لیتر رسانده شد. پس از گذراندن از صافی ۰/۴ میکرون، ۲۰ میکرولیتر از آن توسط کروماتوگرافی گازی با عملکرد بالا (HPLC) مورد سنجش قرار گرفت (جایمند و همکاران، ۱۳۸۹).

جهت اندازه‌گیری میزان پرولین گیاه، ۰/۲ گرم نمونه تر گیاه به همراه ۱۰ سی سی اسید سولفوسالیسیلیک ۳ درصد کوبیده شده و از کاغذ صافی عبور داده شدند، به دو سی‌سی از این محلول، دو سی‌سی اسید استیک گلاسیال و دو سی‌سی اسید ناین هیدرین اضافه و به مدت یک ساعت در حمام بن ماری در دمای ۱۰۰ درجه قرار داده شدند. چهار سی‌سی تولوئن به نمونه اضافه شد. در نهایت میزان نور جذبی در ۵۲۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت گردید .میزان پرولین استخراجی بر اساس میکرومول بر گرم وزن تر از جدول استاندارد به دست آمد (Wang & Han, 2009).

برای اندازه‌گیری محتوای فروکتوز کل و میزان اسید شیکوریک ریشه در عصاره فنلی استخراجی از دستگاه HPLC استفاده شد (Ricca *et al*., 2009). بدین منظور، در ابتدا با توجه به بالابودن غلظت ترکیبات فنلی در عصاره استخراجی، نمونه‌ها چهار بار با متانول ۷۰ درصد رقیق شدند. سپس یک میلی‌لیتر از عصاره استخراج‌شده ریشه، پیش از تزریق به دستگاه با استفاده از فیلترهای سرنگی (میکرومتر۴۵× ۱۳ میلی‌متر) صاف و درون ظرف مخصوصHPLC

ریخته شد. فاز متحرک شامل دو حلال A و B بود. حلال A شامل استونیتریل/آب حاوی ۰/۱ درصد اسید فسفریک با نسبت ۱۰:۹۰ و حلال B شامل استونیتریل/آب حاوی ۰/۱ درصد اسید فسفریک با نسبت ۲۵:۷۵ بود. پروفایل شیب جریان، با افزایش حلالB از صفر تا ۱۰۰ درصد در نیم ساعت و حفظ آن در ۱۰۰ درصد برای ۱۰ دقیقه بود. سپس جریان خطی ۱۰۰ درصد حلال B، به صفر درصد در ۱۰ دقیقه کاهش یافت. سرعت جریان ۱/۵ میلی‌لیتر در دقیقه و طول موج شناساگر فرابفش در ۳۳۰ نانومتر، تنظیم شد. حجم نمونه تزریق‌شده ۲۰ میکرولیتر بود. پیش از تزریق نمونه‌ها، ابتدا از استاندارد اسید شیکوریک، پنج غلظت مختلف تهیه و به دستگاه HPLC تزریق شد تا زمان اندازه‌گیری، نسبت و شیب جریان حلال‌ها در ستونHPLC به منظور جداسازی بهتر این ترکیب کالیبره شود. سپس با استفاده از کروماتوگرام به‌دست آمده، منحنی استاندارد مربوط به اسید شیکوریک رسم شد تا با استفاده از منحنی استاندارد مربوطه، غلظت این ترکیب بر حسب میلی‌گرم بر گرم ماده خشک محاسبه شود (Hu & Kitts, 2000).

برای سنجش میزان عناصر کلسیم و پتاسیم موجود در ریشه و اندام‌های هوایی، نمونه‌های گیاهی در زمان برداشت به صورت تصادفی انتخاب و پس از شستشو و خشک کردن در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت به وسیله آسیاب پودر شدند. برای اندازه‌گیری میزان کلسیم و پتاسیم عصاره نمونه‌ها توسط هضم به روش سوزاندن خشک و ترکیب با اسیدکلریدریک تهیه گردید (Chapman & Pratt, 1961).

جهت استخراج اینولین از بافت گیاه چیکوری ریشه‌های برداشت شده پس از پاک و شسته شدن در بسته‌های نایلونی بسته‌بندی و تا زمان استخراج در شرایط انجماد (۷۰- درجه سانتی‌گراد) نگهداری شدند. در زمان انجام آزمایشات نمونه‌های منجمد پس از رفع انجماد به منظور افزایش سطح تماس با حلال و بهبود فرایند استخراج، با استفاده از خردکن به قطعات ریز تبدیل شدند. نمونه‌ها با ۳ لیترآب به ازای هر کیلوگرم غده در یک مخلوط کن خرد شدند. سوسپانسیون حاصل به مدت یک ساعت در۹۰-۸۰ درجه سانتیگراد قرار گرفت و عصاره حاصل صاف شد. pH عصاره با استفاده از محلول هیدروکسیدکلسیم ۵ درصد به حدود ۱۲-۱۰رسانده شد. عصاره به مدت نیم ساعت در دمای ۶۰-۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت و رسوب حاصل جدا گردید. سپس pH عصاره با محلول اسید فسفریک ۱۰ درصد به ۹-۸ رسانده شد و به مدت ۲ ساعت در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد و رسوب ایجاد شده جدا گردید. عصاره تصفیه شده با افزودن ۲۰ گرم کربن فعال و همزدن شدید در دمای ۶۰ درجه سانتیگراد به مدت ۳۰-۱۵ دقیقه رنگبری شد. میزان ماده جامد محلول عصاره بدست آمده با استفاده از دستگاه تغلیظ تحت خلاء به بریکس ۴۲ رسید. برای رسوب مواد قندی و اینولین، به عصاره تغلیظ شده به نسبت ۸ به ۱ اتانول ۹۶ درصد اضافه شد. سوسپانسیون حاصل برای ته‌نشینی کامل رسوب به مدت ۲ روز در دمای ۴۰ درجه سانتیگراد قرار داده شد و بعد از آن الکل جدا گردید. برای خشک شدن، رسوب به مدت ۴ روز در دمای ۵۰ درجه سانتیگراد نگهداری شد. رسوب خشک شده در پایان آسیاب گردید و وزن نهایی آن نسبت به غده های اولیه بدست آمد (Paseephol *et al*., 2007).

جهت تجزیه و تحلیل آماری پس از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها از نرم‌افزارهایSAS و MSTAT-C استفاده گردید. در صورت معنی‌دار بودن اختلافات در هر صفت، مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون توکی انجام گرفت. برای رسم نمودارها نیز از

نرم افزار اکسل استفاده شد.

۳- نتایج و بحث

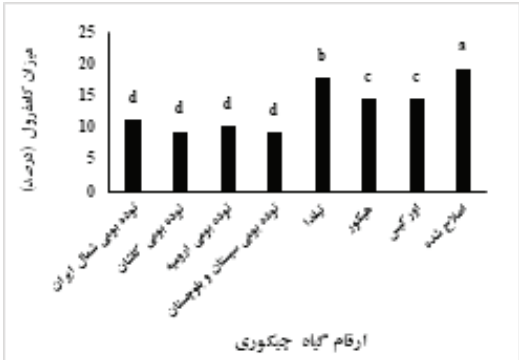
۳-۱- میزان فلاونویید کامفرول و محتوای پرولین

ترکیب‌های فنلی گروه بزرگی از متابولیت‌های ثانویه مانند ترکیب‌های فنل، فلاونها، فلاونوئیدها، تاننها و لیگنینها و حتی اسیدهای آمینه حلقوی مثل تریپتوفان، تیروزین و پرولین را شامل میشوند که به دنبال آن نقشهای متعدد اکولوژیکی و فیزیولوژیکی نظیر نقش‌های دفاعی و آنتی‌اکسیدانی را در گیاه ایفا میکنند. این ترکیبات در شرایط فقر غذایی، آسیب‌های مکانیکی و یا تنشها افزایش قابل ملاحظه‌ای می‌یابند (Agati *et al.*, 2012). نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که بین ژنوتیپ‌ها و مواد محلول‌پاشی از نظر میزان کامفرول تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود داشت اما اثر متقابل ژنوتیپ‌ها×مواد محلول‌پاشی معنی‌دار نشد (جدول ۱). نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثر ژنوتیپ‌های گیاه نشان داد که ژنوتیپ‌های اصلاح شده و تیلدا بیشترین میزان کامفرول (به ترتیب (۱۹/۳۸ و ۱۸ درصد) و بیشترین محتوای پرولین (۴/۶۶ و ۴/۴۵ میکرومول بر گرم وزن تر) داشت. همچنین توده‌های بومی محتوای پرولین کمتری را داشتند (نمودارهای ۱ و ۲). در بین مواد محلول‌پاشی، مصرف نانوکلات‌کلسیم با میانگین ۱۵/۰۷درصد بیشترین میزان کامفرول را داشت ولی بیشترین میزان پرولین (۴/۱۵ میکرومول بر گرم وزن تر) در تیمار شاهد بدست آمد. (نمودارهای ۱ و ۲). بسیاری از فلاونوئیدها جز فعالی از گیاهان دارویی بوده و دارای خواص دارویی هستند. مواد مؤثره اگر چه اساساً با هدایت فرآیندهای ژنتیکی ساخته می‌شوند، اما سنتز آن‌ها به طور بارزی تحت تأثیر عوامل محیطی قرار می‌گیرد، به طوریکه عوامل محیطی سبب تغییراتی در رشد و نمو گیاهان دارویی و نیز کمیت و کیفیت مواد مؤثره آن‌ها می‌شود (Omidbaigi *et al,*. 2005; Baghbani- Arani *et al*., 2017). کلسیم نقش‌های فیزیولوژیکی اساسی در تثبیت غشاهای زیستی، تقویت دیواره‌های سلولی و بافت‌های گیاهی و تنظیم فرآیندهای مختلف فیزیولوژیکی در مراحل رشد و توسعه دارد. به نظر می‌رسد که محلول‌پاشی نانوکلات‌کلسیم در مراحل رشد گیاه چیکوری موجب توسعه سطوح سبز پوشش گیاهی، افزایش فعالیت فتوسنتزی، و برخورداری بهتر از تابش خورشیدی و در نتیجه افزایش محتوای کلروفیل و تجمع ماده خشک می‌شود که عوامل مؤثری در افزایش عملکرد گیاه و اسانس می‌باشند. با توجه به نقش برگ‌های گیاه چیکوری در تأمین مواد مورد نیاز مخزن، با افزایش محتوای کلروفیل، فعالیت فتوسنتزی نیز افزایش می‌یابد که موجب افزایش عملکرد بیولوژیکی و میزان اسانس گیاه می‌شود (Prasad *et al*., 2012). از آنجاییکه اسانس‌ها، ترکیب‌های ترپنوئیدی بوده و واحدهای سازنده آن‌ها (ایزوپرنوئیدها) نیازمندATP و NADPH هستند و با توجه به این مطلب که حضور عناصر پرمصرف نظیر کلسیم و آهن برای تشکیل ترکیب‌های اخیر ضروری می‌باشد، بنابراین مصرف نانوکلات‌کلسیم موجب افزایش اسانس گیاه چیکوری می‌شود. گزارش شده است که مصرف برگی عناصر ریز مغذی به دفعات متعدد، ضمن رفع کمبود آن‌ها سبب افزایش عملکرد کمی و کیفی گیاه نیز می‌شوند. نتایج تحقیقات متعدد حاکی از تأثیر مثبت کاربرد ریزمغذی‌ها در افزایش عملکرد کمی و کیفی گیاهان دارویی می‌باشد (Mosavi *et al*., 2007). در شرایط عدم مصرف عناصر غذایی و کمبود مواد غذایی، شاخص سطح برگ بهطور معنی‌داری کاهش می‌یابد و بدین صورت سطح سبز مصرف‌کننده نور کاهش پیدا می‌کند (Jian Jin *et al.*, 2010). در کلروپلاست دارای

کمبود مواد غذایی، سرعت جذب CO_2 فتوسنتزی به دلیل کاهش در ظرفیت فتوشیمیایی کاهش می‌یابد. کاهش کلروفیل و صدمه به انتقال الکترون فتوسنتزی موجب کاهش رشد و کاهش محتوای قندها و افزایش محتوای پرولین می‌شود (Whitty & Chambliss, 2005). با توجه به کشت گیاه دارویی چیکوری در اراضی شالیزاری و شرایط آب و هوایی شهرستان رشت با وجود بارندگی‌های فصلی و آبگرفتگی‌های احتمالی، میزان پرولین و تجمع آن در گیاه سنجیده شد. به نظر می رسد که ارقام اصلاح شده مجارستان و تیلدا در این شرایط آب و هوایی بیشترین تجمع پرولین را داشتند که نشان از سازوکار دفاعی نسبت به تنش‌های محیطی بوده است. در بین مواد محلول سازگار شناخته شده احتمالاً پرولین گسترده‌ترین نوع آنها است و به نظر می‌رسد تجمع آن در فرآیند سازگاری به تنش های محیطی در گیاهان دخالت دارد. با توجه به عدم شناخت دقیق از گونه‌های دارویی ایران در رابطه با مقدار مقاومت آنها به شرایط تنشهای محیطی باید بررسی‌های گسترده‌تری در این زمینه انجام شود.

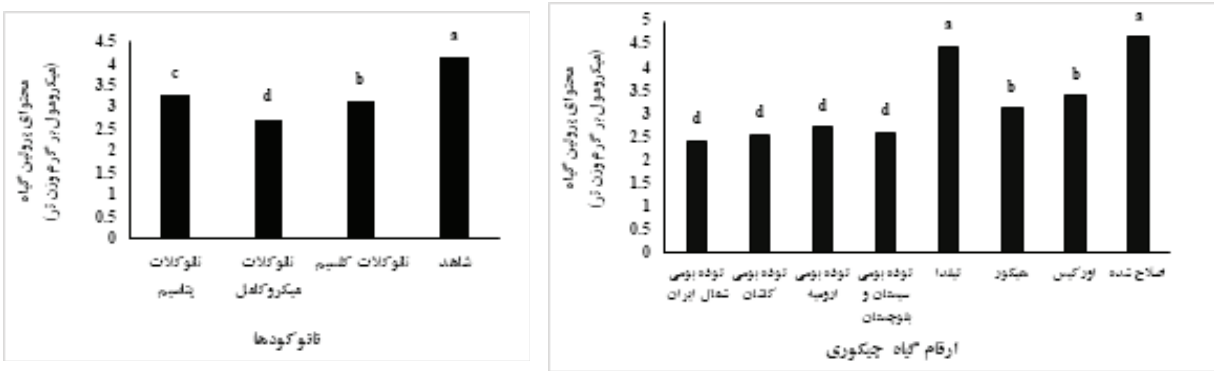
منابع تغییرات	درجه آزادی	میزان کامفرول	محتوای پرولین گیاه	میزان اسید شیکوریک ریشه	محتوای فروکتوز کل	میزان اینولین	عملکرد ریشه	میزان جذب کلسیم	میزان جذب پتاسیم
تکرار (بلوک)	۲	۹۴/۷**	۰/۰۴^{ns}	۲/۶۴**	۱/۸۲**	۰/۱۱^{ns}	۷۷۲۹/۷^{ns}	۰/۱۲^{ns}	۱/۶۸^{ns}
ژنوتیپ‌های چیکوری	۷	۱۶۹/۲**	۲/۲۷**	۱۲۰/۸**	۶۸/۹**	۲۷/۵**	۲۷۲۰۴۸۶/۱**	۴/۰۸**	۱۳۳/۳**
تیمارهای محلولپاشی	۳	۳۵/۵**	۰/۷۸**	۱۰۰/۴**	۳۹/۸**	۲۴**	۹۲۴۸۵۵۰**	۷/۴۵^{ns}	۲۸۱/۱**
ژنوتیپ× تیمار محلولپاشی	۲۱	۴/۰۴^{ns}	۰/۰۶^{ns}	۲/۹۵**	۱/۹۰**	۰/۸۶**	۱۴۶۶۳۱/۲**	۰/۱۵^{ns}	۷/۵۱**
خطای آزمایشی	۶۲	۷/۲۵	۰/۰۵	۰/۸۳	۰/۲۹	۰/۰۴	۸۵۲۴/۲	۰/۱۱	۲/۵
ضریب تغییرات (درصد)	–	۲۰	۵/۹۷	۶/۷۰	۴/۸۶	۲/۳۴	۳/۴۴	۱۰/۰۷	۷/۳۶

ns: غیر معنی‌دار و * و **: معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد



نمودارهای ۱. مقایسه میانگین اثر اصلی ژنوتیپ‌های چیکوری و نانوکودها در میزان کامفرول

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه هستند، براساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.



نمودارهای ۲. مقایسه میانگین اثر اصلی ژنوتیپ‌های چیکوری و نانوکودها در محتوای پرولین گیاه چیکوری

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه هستند، براساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

۳-۲- میزان اسید شیکوریک و محتوای فروکتوز کل (ریشه)

مقایسه میانگین اثر متقابل نشان داد که ژنوتیپ‌های اصلاح شده و تیلدا با محلول‌پاشی نانوکلات‌کلسیم به ترتیب با میانگین‌های ۲۰/۳۳ و ۲۰ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک بیشترین میزان اسید شیکوریک ریشه و بیشترین محتوای فروکتوز کل (به ترتیب با میانگین‌های ۱۶/۶۰ و ۱۶/۳۳ درصد) را داشت (جدول ۲). اسید شیکوریک (مهم‌ترین ترکیب فنلی) ترکیبی است که در حداقل ۶۳ نوع از گیاهان و سبزیجات مانند چیکوری، کاهو و ریحان یافت می‌شود. اسید شیکوریک خاصیت آنتی‌اکسیدانی داشته و می‌تواند با برخی آسیب‌های سلولی که توسط تنش اکسیداتیو ایجاد می‌شوند، مقابله کند. فنل‌های گیاهی در واقع متابولیت‌های ثانویه هستند که در شرایط مطلوبی محیطی، از مسیر شیکمیک اسید و ازمتابولیسم فنیل پروپانوئید سنتز می‌شوند. این ترکیبات نقش فیزیولوژیک و بوم‌شناختی برجسته‌ای بر برهمکنش گیاهان با محیط، جذب حشرات گرده‌افشان، محافظت گیاهان در مقابل عوامل تنش‌زای زیستی و غیرزیستی، رشد و تولیدمثل گیاهان، ویژگی‌های ضد گیاهخواری و ضد میکروبی و کارکرد آنتی‌اکسیدانی دارند (Lee & Scagle. 2013). کاهش مقدار ترکیب اسید شیکوریک ریشه در توده‌های بومی چیکوری و شاهد (صفر) می‌تواند به علت کم بودن حجم و توسعه سیستم ریشه‌ای و جابه‌جا شدن نموی این گروه از ترکیبات فنلی از ریشه‌ها به اندام‌های رویشی و با تغییرات وابسته به زمان و مکان در مسیرهای بیوسنتزی ارقام گیاه چیکوری باشد (Binns *et al*., 2002). از طرفی افزایش مقدار اسید شیکوریک در ارقام اصلاح شده و خارجی می‌تواند به علت رقابت بیشتر این ارقام برای دسترسی به منابع رشد باشد. محلول‌پاشی نانوکلات‌کلسیم با در دسترس قرار دادن سریع مواد غذایی در طی مراحل رشد گیاه و به علت کمک به افزایش رشد و توسعه سیستم ریشه‌ای و افزایش فرایند جذب، موجب افزایش عملکرد ریشه و محتوای اسید شیکوریک ریشه شد.

به نظر می‌رسد که استفاده از ژنوتیپ‌های تجاری چون تیلدا و اصلاح شده جهت استحصال فروکتوز کل با توجه به عوامل ژنتیکی و عوامل محیطی همچون تابش خورشیدی، تغذیه محیطی موجب می‌گردد که حداکثر راندمان فتوسنتزی در ژنوتیپ‌های تجاری بدست آید و بیشترین عملکرد ریشه و محتوای فروکتوز را تولید نماید. به طور کلی نتایج حاصل از پژوهش نشان داد که میزان فروکتوز کل توده‌های بومی ایران با توجه به درصد کم آن‌ها و عملکرد ضعیف ریشه آن‌ها حداقل شد. لذا با توجه به عملکرد بالای ریشه رقم خارجی تیلدا و اصلاح

شده نسبت به سایر ارقام و با توجه به عملکرد ریشه بالاتر این واریته، ارقام تیلدا و اصلاح شده برای انجام آزمایشات بعدی انتخاب شد. در تحقیق انجام شده بر روی پنج واریته مختلف گیاه چیکوری، عملکرد ریشه، عملکرد اینولین و میزان فروکتوز کل تفاوت معنی‌داری داشتند (Amaducci & Pritoni, 1997). نانوکلات کلسیم حاوی ۷ درصد کلسیم کلات شده است و با پایداری دیواره سلول، غشاهای سلولی و توسعه سلول در تعادل کاتیون و آنیون و فعال شدن برخی آنزیم‌ها و تنظیم فشار اسمزی موثر بوده و با توسعه ریشه و جلوگیری از صدمات ناشی از تنش‌های محیطی موجب افزایش عملکرد ریشه و محتوای فروکتوز کل می‌شود. نانوکودها به آسانی جذب گیاه می‌شوند و از کودهای شیمیایی کارآمدتر هستند و با محیط زیست سازگار هستند و آلودگی ندارند (Mazaherinia *et al*., 2010). نتایج تحقیقات در بررسی تأثیر تراکم بوته و زمان برداشت بر خصوصیات کمی و کیفی ریشه چیکوری نشان داد که ژنوتیپ‌های گیاه چیکوری بر محتوای فروکتوز کل مؤثر بوده است (فروغی‌منش و همکاران، ۱۳۹۲)

۳-۳- عملکرد ریشه

محصول اقتصادی مورد نظر در گیاه داروئی چیکوری، عملکرد ریشه در واحد سطح است و مدیریت زراعی بایستی به گونه‌ای باشد که حداکثر میزان اندام هوایی و ریشه حاصل شود. با توجه به اینکه جهت تهیه اسانس چیکوری از اندام هوایی و ریشه، تواماً استفاده می‌شود، و ریشه گیاه چیکوری دارای ماده اینولین می‌باشد، حصول بالاترین وزن تر ریشه از اهمیت خاصی برخوردار است (درجانی و همکاران، ۱۳۹۴). نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که بین ژنوتیپ‌ها، مواد محلول‌پاشی و اثر متقابل ژنوتیپ‌ها×مواد محلول‌پاشی تفاوت معنی‌داری از نظر صفت عملکرد ریشه گیاه چیکوری در سطح احتمال یک درصد وجود داشت (جدول ۱). مقایسه میانگین اثر متقابل ژنوتیپ‌ها ×مواد محلول‌پاشی نشان‌دهنده آن است که بیشترین عملکرد ریشه در ژنوتیپ تیلدا با مصرف نانوکلات کلسیم (۴۱۱۴ کیلوگرم در هکتار) بدست آمد. همچنین ژنوتیپ هیکور با مصرف نانوکلات کلسیم از نظر صفت عملکرد ریشه در جایگاه دوم قرار گرفت (جدول ۲). نانوکلات کلسیم حاوی ۷ درصد کلسیم کلات شده است. افزایش میزان سطح به حجم نانو کمپلکس کلات کلسیم که از خواص منحصر به فرد نانومواد است موجب می‌شود همه کلسیمی که در ساختار تعبیه شده است، بطور کامل در اختیار گیاه قرار بگیرد و باقی مانده‌ای برجا نگذارد. از جمله تاثیرات اصلی این نانوکلات، پایداری دیواره سلول و غشاهای سلولی همچنین توسعه سلول و توسعه ریشه و جلوگیری از صدمات ناشی از تنش‌های سرمازدگی و مکانیکی مانند باد است. به نظر می رسد که یکی از دلایل اصلی ضعف توده‌های بومی ایران از لحاظ عملکرد ریشه ایجاد ساقه گلدهنده در همان سال اول رشد است که آن‌ها را از ادامه رشد رویشی باز می‌دارد. عملکرد ریشه یکی از فاکتورهای مهم عملکرد اینولین در چیکوری می‌باشد. اگرچه دامنه تغییرات عملکرد ریشه نسبت به تغییرات درصد اینولین در طیف وسیع ارقام موجود در این مطالعه کمتر است، ولی اهمیت عملکرد ریشه برای حصول به عملکرد بالاتر اینولین غیرقابل انکار است. بیشترین عملکرد ریشه از گروه‌های خارجی چیکوری بدست آمد (درجانی و همکاران، ۱۳۹۴).

۳-٤- میزان کلسیم و پتاسیم بافت گیاهی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس میزان عناصر معدنی و آلی موجود در ریشه و اندام‌های هوایی گیاه نشان داد که بین ژنوتیپ‌های گیاه و مواد محلول‌پاشی از نظر میزان جذب پتاسیم و کلسیم تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود داشت و اثر متقابل

جدول ۲. مقایسه میانگین اثر متقابل ژنوتیپ‌های چیکوری و مواد محلول‌پاشی صفات گیاهی چیکوری

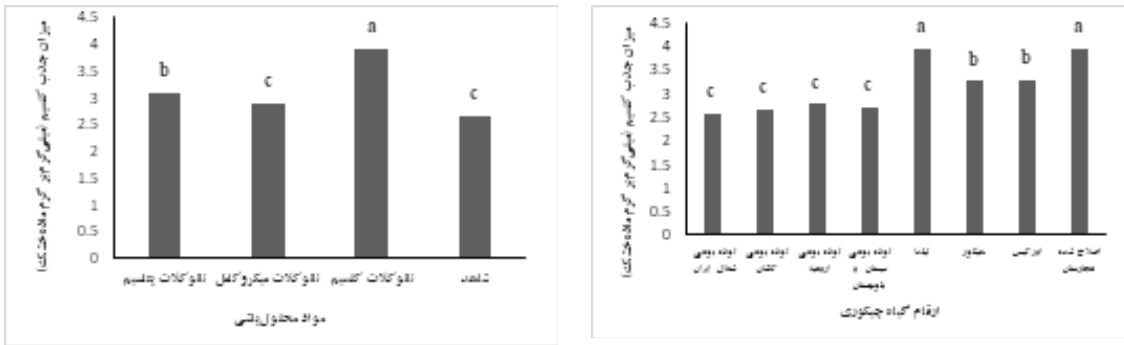
ژنوتیپ‌های گیاه چیکوری	تیمارهای محلول‌پاشی	میزان اسید شیکوریک ریشه (میلی‌گرم بر گرم ماده خشک)	محتوای فروکتوز کل (درصد)	میزان اینولین (درصد)	عملکرد ریشه (کیلوگرم در هکتار)	میزان جذب پتاسیم (میلی-گرم بر گرم ماده خشک)
توده بومی شمال ایران	نانوکلات پتاسیم	۱۰/۷۳^{ij}	۸/۲۰^{no}	۷/۴۳^{ijk}	۲۱۴۱^{lmn}	۱۹/۷۰^{ijkl}
	نانوکلات میکروکامل	۹/۱۶^{klm}	۷/۶۶^{o}	۸/۱۶^{h}	۱۹۹۳^{n}	۱۷/۸۳^{klmn}
	نانوکلات کلسیم	۱۳/۴۳^{h}	۱۰/۴۰^{hi}	۸/۶۶^{g}	۲۷۶۹^{h}	۲۲/۳۳^{efghi}
	شاهد	۸/۶۶^{lm}	۸/۵۶^{klmn}	۷/۰۶^{l}	۱۶۲۳^{o}	۱۵^{o}
توده بومی کاشان	نانوکلات پتاسیم	۱۰/۳۳^{ijk}	۹/۳۰^{kl}	۷/۶۰^{i}	۲۲۹۹^{jk}	۱۸^{klmn}
	نانوکلات میکروکامل	۹/۹۳^{jkl}	۸/۳۳^{mno}	۷/۳۳^{ijkl}	۲۲۵۷^{jkl}	۱۷^{mno}
	نانوکلات کلسیم	۱۳/۳۷^{h}	۱۱/۱۰^{ghi}	۸/۶۳^{g}	۲۵۲۰^{i}	۲۳^{defgh}
	شاهد	۹/۳۳^{jklm}	۹/۴۳^{jk}	۷/۱۳^{kl}	۱۵۷۱^{o}	۱۵^{o}
توده بومی ارومیه	نانوکلات پتاسیم	۱۰/۵۰^{ijk}	۹/۲۰^{klm}	۷/۶۰^{i}	۲۷۷۲^{h}	۲۱/۶۷^{fghi}
	نانوکلات میکروکامل	۹/۸۷^{jkl}	۸^{no}	۷/۳۰^{ijkl}	۲۰۸۷^{mn}	۱۷/۶۷^{lmn}
	نانوکلات کلسیم	۱۳/۱۷^{h}	۱۰/۸۰^{ghi}	۹/۲۳^{f}	۳۱۲۰^{fg}	۲۳/۳۳^{defg}
	شاهد	۸^{mn}	۸/۴۶^{lmno}	۷/۲۰^{kl}	۱۵۲۵^{op}	۱۵^{o}
توده بومی سیستان و بلوچستان	نانوکلات پتاسیم	۱۱/۴۹^{i}	۹/۲۶^{kl}	۷/۵۶^{ij}	۲۷۴۶^{h}	۲۱^{ghij}
	نانوکلات میکروکامل	۱۰/۸۳^{ij}	۷/۶۶^{o}	۷/۳۰^{ijkl}	۲۴۷۹^{i}	۱۸/۶۷^{jklm}
	نانوکلات کلسیم	۱۵/۵۳^{ef}	۹/۱۳^{klm}	۹/۵۳^{ef}	۳۰۴۹^{g}	۲۴^{cdef}
	شاهد	۶/۶۶^{n}	۸/۶۳^{klmn}	۷/۲۳^{jkl}	۱۳۸۸^{p}	۱۵/۶۷^{no}
تیلدا	نانوکلات پتاسیم	۱۸/۰۷^{bc}	۱۵/۲۷^{b}	۱۱/۵۷^{c}	۳۶۹۹^{bc}	۲۶/۶۷^{b}
	نانوکلات میکروکامل	۱۵/۵۰^{ef}	۱۳/۳۳^{def}	۱۰/۸۰^{d}	۳۰۶۷^{g}	۲۳^{defgh}
	نانوکلات کلسیم	۲۰^{a}	۱۶/۳۳^{a}	۱۳/۶۰^{a}	۴۱۱۴^{a}	۳۵^{a}
	شاهد	۱۶/۵۰^{de}	۱۳/۱۰^{ef}	۹/۴۶^{ef}	۲۴۰۹^{ij}	۲۱^{ghij}
هیکور	نانوکلات پتاسیم	۱۶/۳۳^{de}	۱۲/۸۳^{ef}	۱۰/۶۰^{d}	۳۵۶۷^{cde}	۲۱^{ghij}
	نانوکلات میکروکامل	۱۵/۵۳^{ef}	۱۱/۴۰^{g}	۹/۵۳^{ef}	۳۴۱۹^{e}	۲۰/۳۳^{ijk}
	نانوکلات کلسیم	۱۷/۵۰^{bcd}	۱۴/۸۳^{bc}	۱۲/۵۷^{b}	۳۸۳۱^{b}	۲۵^{bcd}
	شاهد	۱۳/۸۳^{gh}	۱۰/۳۰^{ij}	۸/۵۰^{gh}	۲۲۰۰^{klm}	۲۱^{ghij}
اورکیس	نانوکلات پتاسیم	۱۵/۶۷^{ef}	۱۳/۳۳^{def}	۱۰/۵۳^{d}	۳۲۳۶^{f}	۲۳^{defgh}
	نانوکلات میکروکامل	۱۵/۳۳^{efg}	۱۲/۵۰^{f}	۹/۵۳^{ef}	۳۰۸۴^{fg}	۲۱^{ghij}
	نانوکلات کلسیم	۱۶/۶۷^{cde}	۱۳/۶۳^{de}	۱۲/۲۳^{b}	۳۶۶۵^{cd}	۲۵^{bcd}
	شاهد	۱۴/۵۰^{fgh}	۱۰/۷۰^{ghi}	۹/۴۰^{ef}	۱۹۹۲^{n}	۲۰/۶۷^{hij}
اصلاح شده	نانوکلات پتاسیم	۱۸/۲۰^{b}	۱۴/۰۳^{cd}	۱۰/۴۷^{d}	۳۱۳۰^{fg}	۲۶^{bc}
	نانوکلات میکروکامل	۱۶/۱۰^{de}	۱۳/۱۷^{def}	۹/۶۰^{e}	۲۲۷۵^{jkl}	۲۴/۶۷^{bcde}
	نانوکلات کلسیم	۲۰/۳۳^{a}	۱۶/۶۰^{a}	۱۲/۲۳^{b}	۳۵۴۳^{de}	۳۲/۶۷^{a}
	شاهد	۱۳/۸۳^{gh}	۱۱/۲۳^{gh}	۸/۴۰^{gh}	۲۲۴۸^{kl}	۲۳/۶۷^{cdef}

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه هستند، براساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

ژنوتیپ‌ها×مواد محلول‌پاشی در صفت میزان جذب کلسیم معنی‌دار نشد (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر اصلی ارقام و تیمارهای محلول‌پاشی نشان داد که رقم‌های تیلدا و اصلاح شده مجارستان بیشترین میزان جذب کلسیم و تیمار نانوکلات کلسیم هم بیشترین جذب کلسیم در بافت گیاه را به خود اختصاص داد (نمودارهای ۳). میانگین‌های مقایسه میانگین اثر متقابل ژنوتیپ‌ها×مواد محلول‌پاشی نشان داد که ژنوتیپ‌های تیلدا و اصلاح شده با محلول‌پاشی نانوکلات‌کلسیم بیشترین میزان جذب پتاسیم (۳۲/۶۷ و ۳۵ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک) را داشت (جدول ۳). ژنوتیپ‌های تجاری تیلدا و اصلاح شده با جذب بیشتر مواد غذایی و ذخیره آن در اندام‌های زایشی و با افزایش عملکرد بیولوژیک به دلیل افزایش وزن خشک بوته، میزان تجمع عناصر غذایی را در واحد سطح را افزایش می‌دهد. این موضوع نشان‌دهنده توانایی ژنوتیپ‌های تیلدا و اصلاح شده چیکوری در استفاده از شرایط محیطی مناسب جهت تولید بیشتر ماده خشک و جذب بیشتر عناصر است. مدیریت تغذیه گیاه یکی از مسائل مهم در تولید محصولات گیاهی محسوب می‌شود. گیاهی که خوب تغذیه شده و به مقدار کافی عناصر غذایی را دریافت کرده باشد، مقاومت بهتری نسبت به شرایط نامساعد محیطی خواهد داشت. محلول‌پاشی نانوکلات‌کلسیم با توجه به اینکه حاوی مقادیر مناسبی از عناصر مهم غذایی می‌باشد، باعث افزایش رشد و توسعه سیستم ریشه‌ای گیاه و افزایش جذب عناصر غذایی و تجمع در اندام‌های مختلف گیاه می‌شود. گزارش‌ها نشان داد که مصرف نانوکودها موجب افزایش ۲۱/۵۵ درصدی عملکرد بیولوژیک و جذب عناصر غذایی گیاه چیکوری شده است (Saedi *et al.*, 2017). در تیمار شاهد به دلیل عدم فراهمی نیاز غذایی گیاهچه‌ها ضعیف و پوشش گیاهی حالت توقف رشد داشته، در واقع کمبود مواد غذایی موجب کوتاه شدن ارتفاع بوته‌ها، زرد شدن شاخ و برگ‌ها، کاهش تعداد گل آذین‌ها، شاخه فرعی، کاهش انتقال مواد و جذب عناصر غذایی و در نتیجه کاهش عملکرد بیولوژیک و دانه می‌شود (Saedi *et al.*, 2017). با توجه به قطر نانو ذرات کلسیم انتظار می‌رود سرعت جذب، انتقال و تجمع نانو ذرات بسیار بیشتر از ذرات معمول باشد. این نانوکمپلکس حاوی ۲۷ درصد کلسیم کلات شده است. شبکه مولکولی طراحی شده در این ساختار، بهترین دسترسی را برای گیاه به عنصر پتاسیم، فسفر، منیزیم، آهن و نیتروژن را فراهم می‌سازد. بالابودن کارایی جذب و سطح مخصوص نانو کودها در مقایسه با کودهای معمول، اثرگذاری بیشتر این کودها را می‌تواند توجیه کند (Pandey *et al.*, 2010). از نظر فیزیولوژی، نانوکلات کلسیم باعث افزایش سطح دسترسی گیاه و از طرفی افزایش جذب برخی مواد غذایی که در رشد مؤثر است، می‌شود. افزایش کلسیم باعث افزایش سطح دسترسی ریشه به مواد غذایی، انتقال به بخش های هوایی و در نتیجه فتوسنتز گیاه شده و از این طریق رشد را افزایش می‌دهد (Prasad *et al.*, 2012).

۳-۵- میزان اینولین

یکی از مهم‌ترین خصوصیات کیفی گیاه دارویی چیکوری میزان اینولین آن است که یک ویژگی مربوط به واریته بوده و تا حدودی تحت تأثیر عوامل محیطی قرار می‌گیرد. این گیاه به عنوان اولین منبع استخراج اینولین تجاری کاربرد دارد. اینولین یک پلی ساکارید ذخیره ای از دسته فروکتان‌ها است که شامل یک زنجیره از واحدهای فروکتوز با یک مولکول انتهایی گلوکز است(Blitz *et al.*, 2009) . نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که بین ژنوتیپ‌های چیکوری، مواد محلول‌پاشی و اثر متقابل ژنوتیپ و تیمارهای محلول‌پاشی از نظر صفت میزان اینولین تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال



نمودارهای ۳. مقایسه میانگین اثر اصلی تیمارهای آزمایشی در صفت میزان جذب کلسیم ریشه گیاه چیکوری

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه هستند، براساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

یک درصد وجود داشت (جدول ۱). با محلول‌پاشی نانوکلات کلسیم در ژنوتیپ تیلدا در مراحل مختلف رشد گیاه، با میانگین ۱۳/۶۰ درصد، میزان اینولین افزایش پیدا کرد. کمترین میزان اینولین در اکوتیپ بومی شمال ایران بدون مصرف نانوکود (۷/۰۶ درصد) بدست آمد. به نظر می‌رسد که با محلول‌پاشی نانو کلات کلسیم به واسطه توسعه رشد ریشه، افزایش رشد سبزینه‌ای، بهبود کلروفیل‌سازی گیاه، افزایش ظرفیت و فرایند فتوسنتزی، اندام‌های زایشی بیشتری ساخته شده و سهم دریافتی مواد پرورده آن‌ها نیز افزایش می‌یابد. همچنین از جمله تاثیرات اصلی این نانوکلات، پایداری دیواره سلول و غشاهای سلولی همچنین توسعه سلول و توسعه ریشه و جلوگیری از صدمات ناشی از تنش‌های سرمازدگی و مکانیکی مانند باد است. در نتیجه ضمن افزایش عملکرد دانه و پتانسیل هیدرات کربن، میزان اینولین افزوده می‌شود. نتایج آزمایش حاضر نشان داد که ژنوتیپ‌ها از لحاظ آماری در صفت میزان اینولین تفاوت معنی‌داری داشتند. به طور کلی نتایج حاصل از پژوهش نشان داد که عملکرد اینولین توده‌های بومی ایران با توجه به درصد کم اینولین آنها و عملکرد ضعیف ریشه آنها حداقل شد. در گزارشی در بررسی اثر تراکم بوته و زمان برداشت بر خصوصیات کمی و کیفی چیکوری گزارش شد که بیشترین عملکرد ریشه و عملکرد اینولین متعلق به واریته‌های خارجی بود و بیشترین میزان اینولین (۱۴/۹۵ درصد) نیز در ارقام خارجی بدست آمد (فروغی‌منش و همکاران، ۱۳۹۲). واریته زراعی چیکوری اگر با مدیریت زراعی مناسب کشت و در زمان مناسب برداشت شود، می‌تواند ۵۰ تا ۶۰ تن در هکتار عملکرد داشته باشد. هر واریته چیکوری دارای یک سری ویژگی خاص می‌باشد. انتخاب واریته به تغذیه، تاریخ کشت، آفات و شرایط آب و هوایی در منطقه بستگی دارد. گزارش‌ها نشان داده است در پژوهشی در ایتالیا عملکرد ریشه، درصد اینولین، عملکرد اینولین و میزان فروکتوز کل در پنج واریته مختلف گیاه دارویی چیکوری تفاوت معنی‌داری داشتند (Amaducci & Pritoni, 1998). اینولین به عنوان جایگزین قندها و چربیها و در تولید محصولات رژیمی و کم چربی کاربرد دارد و به سبب دارا بودن ظرفیت محبوس کردن آب خواص قوام‌دهندگی و تولید ژل را دارد (Bortnowska & Makiewicz, 2006). اینولین همچنین به عنوان یک ماده اولیه با محتوای بالای فروکتوز به کار می‌رود که مورد استفاده بسیاری در صنایع غذایی به خصوص تولید نوشابه‌ها دارد (Kikuchi, 2009). با توجه به خواص اینولین و شرایط مساعد آب و هوایی ایران جهت کشت چیکوری، در این پژوهش استفاده از ژنوتیپ‌های با محتوای اینولین بالا جهت استفاده درصنعت دارویی و صنعتی مورد اهمیت قرار گرفت. اینولین استخراج شده از چیکوری با منشأ خارجی

نسبت به توده بومی چیکوری از ویژگی-های کیفی برتری برخوردار بود که با نتایج تحقیقات (حسینی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۱) مطابقت داشت. گزارش‌ها نشان داده است که عملکرد اینولین توده‌های بومی چیکوری نسبتاً پایین بوده و ارقام خارجی بیشترین مقدار اینولین و وزن ریشه در واحد سطح را نشان دادند (درجانی و همکاران، ۱۳۹۴). به نظر می‌رسد که یکی از دلایل اصلی ضعف توده‌های بومی ایران از لحاظ عملکرد ریشه ایجاد ساقه گلدهنده در همان سال اول رشد است که آن‌ها را از ادامه رشد رویشی باز می‌دارد و به همین دلیل توده‌های بومی کاسنی ایران توانمندی استفاده صنعتی جهت استخراج اینولین را ندارند.

٤-نتیجه‌گیری

با توجه به آنالیز خاک محل اجرای آزمایش که میزان کلسیم قابل جذب کمتر از میزان پتاسیم بود به نظر می‌رسد که مصرف نانوکلات‌کلسیم به صورت محلول‌پاشی در گیاه باعث افزایش میزان کامفرول، اسید شیکوریک، محتوای پرولین، محتوای فروکتوز کل، میزان اینولین و عملکرد ریشه شد. با توجه به خواص منحصر به فرد نانومواد و نوع ساختار آن و افزایش میزان سطح به حجم در این مولکول موجب می‌شود که همه کلسیمی که در ساختار تعبیه شده است، فعال‌تر شده و با سرعت بیشتری در گیاه جا به جا شود و بطور کامل در اختیار گیاه قرار بگیرد. همچنین به دلیل دارا بودن میزان کامفرول، اسید شیکوریک و اینولین بالاتر در ژنوتیپ‌های تیلدا و اصلاح شده مجارستان و مصرف نانوکلات‌کلسیم، به عنوان بهترین تیمار برای چیکوری شناخته شد. نتایج این تحقیق در مجموع حاکی از برتری نسبی میزان کامفرول و اینولین استخراجی از چیکوری خارجی که بذر آن غیر بومی بوده و در شرایط آب و هوایی ایران رویش یافته است، بر اینولین استخراجی از چیکوری بومی ایران بوده است. با توجه به ارزش تغذیه‌ای، دارویی و صنعتی اینولین، بومی‌سازی واریته‌های خارجی جهت تجاری‌سازی تولید محصول چیکوری ضروری به نظر می‌رسد. با توجه به ویژگی‌های ارزشمند تغذیه‌ای و تکنولوژیکی اینولین و نیز با هدف کاهش هزینه‌های واردات آن، معرفی منابع و ارقام جدید گیاهی جهت استخراج و بهره‌برداری اینولین ضروری به نظر می‌رسد.

تضاد و تعارض منافع- نویسندگان هر گونه تعارض و تضاد منافع اعم از تجاری و غیر تجاری و شخصی را که در ارتباط مستقیم یا غیرمستقیم با اثر منتشرشده است رد می‌نمایند.

٥-منابع

توکلی، ص. (۱۳۹۳). گیاهان دارویی. انتشارات روزبهان، تهران.

درجانی، پ.، حسینی‌نژاد،م.، شوریده، ه.، عبدالهیان نوقابی، م.، کدخدایی،ر.، بالندری، ا.، و میلانی، ا. (۱۳۹۴). مقایسه عملکرد فروکتان‌های ارقام خارجی و توده‌های بومی کاسنی و بهینه‌سازی روش استخراج به روش سطح پاسخ(RSM) . نشریه پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی، ۴۴(۴)، ۳۵۴-۳۴۳.

جایمند، ک.، رضایی م. ب.، عصاره، م. ح.، طبایی عقدایی، س. ر. و مشکیزاده، س. (۱۳۸۹). ارزیابی میزان ترکیب‌های فالونوئیدی گونه‌های گلمحمدی .Mill damascene Rosa. فصلنامه گیاهان دارویی، ۹ (۳۶)، ۱۶۸-۱۶۱

حسینی‌نژاد، م.، نهاردانی، م.، و الهامی‌راد، ا. ح. (۱۳۹۱). ارزیابی و مقایسه کیفی اینولین استخراجی از کاسنی بومی ایران با اینولین. نشریه پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی، ۱(۱)، ۴۶-۳۹.

شوریده، ه.، پیغمبری، س. ع.، امیدی، م.، نقوی، م. ر.، معروفی، ا.، و بالندری، ا. (۱۳۹۴). خصوصیات ریخت‌شناسی و عملکرد

ریشه در ژنوتیپهای بومی کاسنی، تحقیقات ژنتیک و اصلاح گیاهان مرتعی و جنگلی ایران، ۲۳(۲)، ۲۲۶-۲۳۶.

طاهری اصغری، م .(۱۳۸۹). تأثیر تنش کم‌آبی بر تعدادی از صفات در گیاه دارویی کاسنی (*Cichorium intybus* L.) تحت تراکم‌های مختلف گیاهی. فصلنامه علمی- پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، ۲(۳)، ۱۵۵-۱۴۷.

صوفی، م.، علیزاده، آ.، و موسوی گلجاهی، س. ا. (۱۳۹۲). بررسی خواص درمانی کاربرد تکنولوژیکی و نحوه استخراج اینولین از گیاه دارویی کاسنی (*Cichorium intybus* L.). اولین همایش ملی گیاهان دارویی و کشاورزی پایدار، ۱۷ تا ۱۸ مهرماه، دانشکده شهید مفتح همدان، ۱۴-۱.

فروغی منش، ف.، حبیبی، ح.، و عبدالهیان نوقابی، م. (۱۳۹۲). تأثیر تراکم بوته و زمان برداشت بر خصوصیات کمی و کیفی ریشه چیکوری. مجله علوم گیاهان زراعی، ۴۴(۳): ۵۳۷-۵۲۹.

Adams, R. P. (2001). Identification of essential oil components by gas chromography/mass spectroscopy carol stream. *Allured publishing crop*, Carol Stream.

Agati, G., Azzarello, E., Pollastri, S., & Tattimi, M. (2012). Flavonoids as antioxidants in plants: Location and functional significance. Plant Science, 196, 67-76. DOI: 10.1016/j.plantsci.2012.07.014.

Amaducci, S., & Pritoni, G. (1998). Effect of harvest date and cultivar on (*Cichorium intybus* L.) yield components in north Italy. *Industrial Crops and Products*,7, 345-349. https://doi.org/10.1016/S0926-6690(97)00067-8

Baghbani- Arani, A., Modarres-Sanavy, S. A. M., Mashhadi Akbar Boojar, M., & Mokhtassi Bidgoli, A. (2017). Towards improving the agronomic performance, chlorophyll fluorescence parameters and pigments in fenugreek using zeolite and vermicompost under deficit water stress. Industrial Crop & Products, 109, 346-357. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.08.049

Blitz, H. D., Schieberelr, P., & Grosch, W. (2009). Food chemistry. 4th edition. *Springer*, 950-951.

Binns, S. E., Livesey, J. F., Arnasonand, J. T., & Baum, B. R. (2002). Phytochemical variation in echinacea from roots and flowerheads of wild and cultivated populations. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, 3673-3687.

Bortnowska, G,. & Makiewicz, A. (2006). Technological utility of guar gum and xanthan for production of low-fat inulin-enriched mayonnaise. *Acta Science. Pol.Q3 Technol. Aliment*, 5(2), 135-146.

Chapman, H. D., & Pratt, P. F. (1961). Methods of analysis for soils, plants and waters, University of California, *Division of Agricultural Science.*

Hu, C., & Kitts, D. D. (2000). Studies on the antioxidant of *Echinacea root extract. Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48, 1466-1472.

Jian Jin, A., Xiaobing Liu, A., Guanghua Wang, A., Liang Mi, A., Zhongbao Shen, B., Xueli Chen, B., Stephen, J., & Herbert, C. (2010). Agronomic and physiological contributions to the yield improvement of soybean cultivars released from 1950 to 2006 in Northeast China. *Field Crops Research*, 115, 116 –123. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.10.016

Kikuchi, H., Inoue, M., Saito, H., Sakurai, H., Aritsuka, T., & Tonita, F. (2009). Industrial produc-

tion of fructose anhydride from crude inulin extracted from chicory roots using arthrobacter sp. H65–7fructosyl transfrase. *Journal of bioscience and bioengineering*, 107(3), 262-265. https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2008.11.013

http://khazra.ir/

Mazaherinia, S., Astaraei, A. R., Fotovat, A., & Monshi, A. (2010). Nano iron oxide particles efficiency on Fe, Mn, Zn and Cu concentrations in wheat plant. *World Applied Sciences Journal*, 7(1), 36-40.

Mosavi S. R., Galavi, M., & Ahmadvand, G. (2007). Effect of zinc and manganese foliar application on yield, quality and enrichment on potato (*Solanum tuberosum* L.). *Asian Journal of Plant Science*, 6, 1256 - 1260.

Liu, R., & Lal, R. (2015). Potentials of engineered nanoparticles as fertilizers for increasing agronomic productions. *Science of the Total Environment*. 514: 131-139.

Lee, J., & Scagel, C. F. (2013). Chicoric acid: chemistry, distribution, and production. *Frontiers in Chemistry*, 1(40): 1-17.

Omidbaigi, R. (2005). Production and processing of medicinal plants. 1st ed. *Astan Quds Razavi Press*. Iran. 2005, 347 pages.

Pandey, A. C., Sanjay, S. S. & Yadav, R. S. (2010). Application of ZnO nanoparticles in influencing the growth rate of Cicer arietinum L. *Journal of Experimental Nanoscience*, 5, 488-497.

https://doi.org/10.1080/17458081003649648

Paseephol, T., Small, D., & Sherkat, F. (2007). Process optimisation for fractionating Jerusalem artichoke fructans with ethanol using response surface methodology. *Journal of Food Chemistry*, 104, 73–80. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.10.078

Prasad, T., Sudhakar, P., Sreenivasulu, Y., Latha, P., Munaswamy, V., Raja Reddy, K., Sreeprasad, T. S., Sajanlal, P. R., & Pradeep, T. (2012). Effect of nanoscales Zinc Oxide on the germination, growth and yield of peanut. *Journal of Plant Nutrition*, 35, 905-927. https://doi.org/10.1080/01904167.2012.663443

Saedi, F., Mosavi Nik, S. M. & Rahimian Boger, A. R. (2017). Effects of different fertilizers on the morphophysiological characteristics of chicory under drought stress. *Journal of Crops Improvement, 19*(1), 119-132. (In Persian). https://doi.org/10.22059/jci.2017.60402

Wang, X. S., & Han, J. G. (2009). Changes of Proline Content, Activity, and Active Isoforms of Antioxidative Enzymes in Two Alfalfa Cultivars under Salt Stress. *Agricultural Sciences in China,* 8(4): 431-440. https://doi.org/10.1016/S1671-2927(08)60229-1

Whitty, E. N., & Chambliss, C. (2005). Fertilization of Field and Forage Crops. *Nevada State University Publication*, Pp, 21.