

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

پری طوسی^{۱*}، مسعود اصفهانی^۲

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 محلول پاشی 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 ۱۳۹۵-۹۶ 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، اورکس و اصلاح شده مجارستان) و فاکتور دوم مصرف نانوکلات پتاسیم، نانوکلات میکرو کامل، نانوکلات کلسیم 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 محلول پاشی نانوکلات کلسیم به ترتیب با میانگین‌های ۲۰/۳۳ و ۲۰ میلی گرم 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 نانوکلات کلسیم 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 محلول پاشی 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 Esfahani²

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 :August 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 $\mu\text{mol.g}^{-1}$ fresh 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 $\mu\text{mol.g}^{-1}$ fresh 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 %, respectively). 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.

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، سزکوئترین لاکتونها، کومارینها و فلاونوئیدها وجود دارد (شوریده و همکاران، ۱۳۹۳). ترکیب اصلی مواد مؤثره گیاه چیکوری فالونوئید کامفرول می باشد. فلاونوئیدها یکی از بزرگترین گروه های فنلی طبیعی هستند. ترکیب های فلاونوئیدی کامفرول دارای خواص دارویی هستند و برای مقابله با ویروس ها و سلول های سرطانی استفاده می شوند (طاهری اصغری، ۱۳۸۹). همچنین چیکوری یک گیاه اقتصادی مهم به عنوان منبع خام استخراج اینولین از ریشه می باشد. امروزه تولید صنعتی اینولین از طریق استخراج از گیاهان تیره گل ستاره ای ها صورت می گیرد. اینولین یک پلی ساکارید ذخیره ای از دسته فروکتان ها 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 باکتری های مفید و تولید اسیدهای چرب زنجیره کوتاه در روده انسان و دام می شوند (صوفی و همکاران، ۱۳۹۲). لازم به ذکر است که به ازای مصرف هر گرم اینولین ۴ کیلوکالری انرژی تولید می شود 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 چغندر قند، در صورت کشت این گیاه در سطح وسیع می توان به تولید صنعتی اینولین در داخل کشور با بهره گیری از ظرفیت های خالی واحدهای صنعتی تولید قند دست یافت. کربوهیدرات های ریشه چیکوری قابلیت

استحصال کمتری نسبت به ارقام جدید چغندر قند و دیگر گونه های گیاهی دارند، بنابراین جدا از بحث نیاز به بومی سازی صنعت استخراج و فرآوری اینولین از ریشه چیکوری، کشت این گیاه در سطح وسیع و با استفاده از بذر توده های برتر چیکوری و با راندمان بالا نیز ضروری است (درجانی و همکاران، ۱۳۹۴). هم اکنون 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 جمع آوری و همراه با ارقام تجاری خارجی کشت شده در داخل کشور، مورد مطالعه قرار گرفت.

امروزه استفاده از فناوری نانو در کلیه عرصه ها از جمله کشاورزی در حال گسترش می باشد. کاربرد نانوکودها به عنوان جایگزین کودهای مرسوم، عناصر غذایی به تدریج و به صورت کنترل شده در خاک آزاد می شود. از جمله مزایای استفاده از نانوکودها می توان 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 آبخش کودها و عدم اتلاف کودها توسط آبخش 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). نانو کلات 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 می کند که از این نظر از معضلات کودهای پتاسیم موجود اجتناب می شود. نانو کلات پتاسیم با افزایش کارایی مصرف آب، افزایش تحمل گیاه به سرمازدگی، خشکی، شوری، آفات و بیماری ها، افزایش محتوای

نمونه برداری بر حسب شرایط، نوع و مرحله رشد گیاه (عمق توسعه ریشه) متغیر بوده و با توجه به اینکه گیاه چیکوری دارای سیستم ریشه ای عمیق (۵/۰ تا ۱ متر) است (توکلی صابری، ۱۳۹۳)، نمونه برداری در عمق صفر تا ۶۰ سانتی متر 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 زهکش هایی به عمق ۴۰-۳۰ سانتی متر و به عرض ۳۰-۲۵ سانتی متر احداث و با توجه به کیفیت و وضعیت غیریکنواختی زمین به سه بلوک تقسیم شد و سپس هر بلوک به ۳۲ کرت کاملاً هم شکل و هم اندازه و در کل ۹۶ کرت تقسیم گردید. هر کرت آزمایش شامل چهار خط کاشت به طول چهار متر به فاصله ۵۰ سانتی متر از ردیف بعد و فاصله بین بوته ها ۲۰ سانتی متر (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

کلروفیل برگ و راندمان فتوسنتز شده و باعث افزایش جذب عناصر ریزمغذی به ویژه آهن، روی و منگنز می شود. نانوکلات کلسیم حاوی هفت درصد کلسیم کلات شده است که در توسعه ریشه و جلوگیری از صدمات ناشی از تنش های سرمازدگی و غرقابی موثر است (دست نامه 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 مؤثره کامفرول و اینولین است.

۲- مواد و روش ها

به منظور تعیین اثر محلول پاشی نانوکودهای پتاسیم و کلسیم بر خصوصیات کیفی گیاه چیکوری، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک های 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 نمونه های مرکبی از خاک تهیه و ویژگی های فیزیکی و شیمیایی آنها در آزمایشگاه بخش خاک و آب مؤسسه تحقیقات برنج کشور اندازه گیری شدند. از آنجاییکه عمق

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

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

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 برگ‌تری 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 سی‌سی اسید سولفوسالسیلیک 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 بن‌ماری در دمای ۱۰۰ درجه قرار داده شدند. چهار سی‌سی تولوئن به نمونه اضافه شد. در نهایت میزان نور جذبی در ۵۲۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر 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 (میکرومتر ۴۵×۱۳ میلی‌متر) صاف و درون ظرف مخصوص HPLC

خارجی تیلدا ۶-رقم خارجی هیکور، ۷-رقم خارجی اورکیس، ۸-رقم اصلاح شده مجارستان) و فاکتور دوم مصرف نانوکودها (۱-نانوکلات پتاسیم 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 ۲-۴ سانتی‌متری و به میزان ۵-۸ کیلوگرم در هکتار صورت گرفت. محلول‌پاشی نانوکودها در هنگام غروب با استفاده از سمپاش موتوری پستی با فشار ۰/۲ بار و با نازل نوع معمولی تلسکوپ، 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 احراز شرق و نمایندگی نانو کودهای کلاته خضراء در مازندران تهیه شدند.

از خصوصیات کود نانو کلات پتاسیم داشتن بنیان کمپلکس و ۲۷ درصد پتاسیم کلات شده است. کود نانو کلات میکرو کامل حاوی ۸ درصد آهن، 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 ابدائی، بهترین مولکولی است که می‌تواند در ابعاد نانومتری همه این عناصر ریز مغذی 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 نانو تکنولوژی، می‌تواند کلسمی 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

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 حلال B 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 میلی لیتر در دقیقه و طول موج شناساگر فرابنفش در ۳۳۰ نانومتر، تنظیم شد. حجم نمونه تزریق شده ۲۰ میکرولیتر بود. پیش از تزریق نمونه‌ها، ابتدا از استاندارد اسید شیکوریک، پنج غلظت مختلف تهیه و به دستگاه HPLC تزریق شد تا زمان اندازه گیری، نسبت و شیب جریان حلال‌ها در ستون HPLC به منظور جداسازی بهتر این ترکیب کالیبره شود. سپس با استفاده از کروماتوگرام به دست آمده، منحنی استاندارد مربوط به اسید شیکوریک رسم شد تا با استفاده از منحنی استاندارد مربوطه، غلظت این ترکیب بر حسب میلی گرم 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 سانتی گراد به مدت ۴۸ ساعت به وسیله آسیاب پودر شدند. برای اندازه گیری میزان کلسیم و پتاسیم عصاره نمونه‌ها توسط هضم به روش سوزاندن خشک و ترکیب با اسید کلریدریک 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 سانتی گراد) 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 لیتر آب به ازای هر کیلوگرم غده در یک مخلوط کن خرد شدند. سوسپانسیون حاصل به مدت یک ساعت در ۸۰-۹۰ درجه سانتیگراد قرار گرفت و عصاره حاصل صاف شد. pH عصاره با استفاده از محلول هیدروکسید کلسیم ۵ درصد به حدود ۱۲-۱۰ رسانده شد. عصاره به مدت نیم ساعت در دمای ۶۰-۵۰ درجه سانتی گراد قرار گرفت و رسوب حاصل جدا گردید. سپس pH عصاره با محلول اسید فسفریک ۱۰ درصد به ۸-۹ رسانده شد و به مدت ۲ ساعت در دمای ۶۰ درجه سانتی گراد 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 ته نشینی 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 نرم افزارهای SAS و MSTAT-C استفاده گردید. در صورت معنی دار 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 فلاونوئید 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 نانوکلات کلسیم با میانگین ۱۵/۰۷ درصد 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

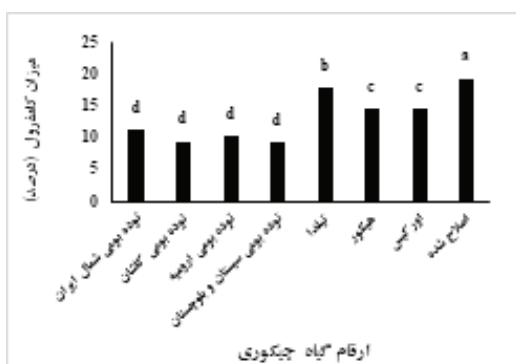
و نیز کمیت و کیفیت مواد مؤثره آن‌ها می‌شود (Omidbaigi *et al.*, 2005; Baghbani- Arani *et al.*, 2017). کلسیم نقش‌های فیزیولوژیکی اساسی در تثبیت غشاهای زیستی، تقویت دیواره‌های سلولی و بافت‌های گیاهی و تنظیم فرآیندهای مختلف فیزیولوژیکی در مراحل رشد و توسعه دارد. به نظر می‌رسد که محلول‌پاشی نانوکلات کلسیم 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) نیازمند ATP 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 نانوکلات کلسیم موجب افزایش اسانس گیاه چیکوری می‌شود. گزارش شده است که مصرف برگ‌های 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 ریز مغذی‌ها 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

و تیلدا در این شرایط آب و هوایی بیشترین تجمع پرولین را داشتند که نشان از سازوکار دفاعی نسبت به تنش های محیطی بوده است. در بین مواد محلول سازگار شناخته شده احتمالاً پرولین گسترده ترین نوع آنها است و به نظر می رسد تجمع آن در فرآیند سازگاری به تنش های محیطی در گیاهان دخالت دارد. با توجه به عدم شناخت دقیق از گونه های دارویی ایران در رابطه با مقدار مقاومت آنها به شرایط تنش های محیطی باید بررسی های گسترده تری در این زمینه انجام شود.

کامبود مواد غذایی، سرعت جذب CO_2 فتوسنتزی به دلیل کاهش در ظرفیت فتوشیمیایی کاهش می یابد. کاهش کلروفیل و صدمه به انتقال الکترون فتوسنتزی موجب کاهش رشد و کاهش محتوای قندها و افزایش محتوای پرولین می شود (Whitty & Chambliss, 2005). با توجه به کشت گیاه دارویی چیکوری در اراضی شالیزاری و شرایط آب و هوایی شهرستان رشت با وجود بارندگی های فصلی و آبگرفتگی های احتمالی، میزان پرولین و تجمع آن در گیاه سنجیده شد. به نظر می رسد که ارقام اصلاح شده مجارستان

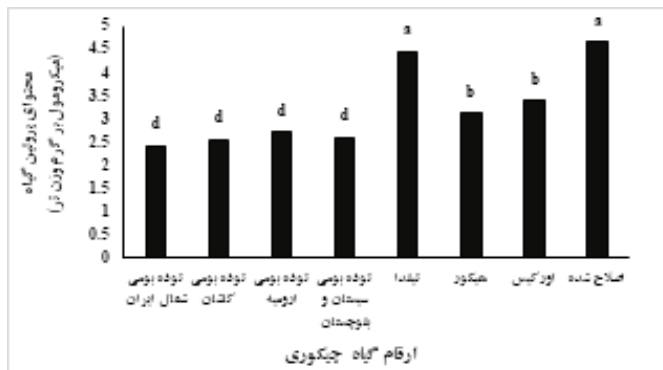
میزان	میزان	میزان	میزان	میزان	میزان	میزان	میزان	درجه	منابع تغییرات
جذب	عملکرد	میزان	محتوای	اسید	محتوای	میزان	میزان	آزادی	
جذب	کلسیم	اینولین	فروکتوز	شیکوریک	پرولین	کامفرول	کامفرول		
پتاسیم	ریشه	کل	ریشه	ریشه	گیاه				
۱/۶۸ ^{ns}	۰/۱۲ ^{ns}	۷۷۲۹/۷ ^{ns}	۰/۱۱ ^{ns}	۱/۸۲ ^{**}	۲/۶۴ ^{**}	۰/۰۴ ^{ns}	۹۴/۷ ^{**}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

ns: غیر معنی دار و * و **: معنی دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد



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

در هر ستون میانگین هایی که دارای حروف مشابه هستند، براساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی داری ندارند.



نمودارهای ۲. مقایسه میانگین اثر اصلی ژنوتیپ‌های چیکوری و نانو کودها 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.

و شاهد (صفر) می‌تواند به علت کم بودن حجم و توسعه سیستم ریشه‌ای و جابه‌جا شدن نمود 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 نانو کلات کلسیم 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

۲-۳- میزان اسید شیکوریک و محتوای فروکتوز

کل (ریشه)

مقایسه میانگین اثر متقابل نشان داد که ژنوتیپ‌های اصلاح شده و تیلدا با محلول‌پاشی نانو کلات کلسیم به ترتیب با میانگین‌های ۲۰/۳۳ و ۲۰ میلی گرم 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 از متابولیسم فنیل پروپانویید 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 تولید مثل گیاهان، ویژگی‌های ضد گیاهخواری و ضد میکروبی و کارکرد آنتی‌اکسیدانی دارند (Lee & Scagle, 2013). کاهش مقدار ترکیب اسید شیکوریک ریشه در توده‌های بومی چیکوری

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 معنی داری 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 می شود. نانوکودها به آسانی جذب گیاه می شوند 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 (فروغی منش و همکاران، ۱۳۹۲)

۳-۳- عملکرد ریشه

محصول اقتصادی مورد نظر در گیاه دارویی چیکوری، عملکرد ریشه در واحد سطح است و مدیریت زراعی بایستی به گونه ای باشد که حداکثر میزان اندام هوایی و ریشه حاصل شود. با توجه به اینکه جهت تهیه اسانس چیکوری از اندام هوایی و ریشه، توأماً استفاده می شود، و ریشه گیاه چیکوری دارای ماده اینولین می باشد، حصول بالاترین وزن تر ریشه از اهمیت خاصی برخوردار است (درجانی و همکاران، ۱۳۹۴). نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده ها نشان داد که بین ژنوتیپها، مواد محلول پاشی و اثر متقابل ژنوتیپها × مواد محلول پاشی تفاوت معنی داری از نظر صفت عملکرد ریشه گیاه چیکوری در سطح احتمال

یک درصد وجود داشت (جدول ۱). مقایسه میانگین اثر متقابل ژنوتیپها × مواد محلول پاشی نشان دهنده 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 نانوکامپلکس کلات کلسیم که از خواص منحصر به فرد نانومواد است موجب می شود همه کلسیمی که در ساختار تعبیه شده است، بطور کامل در اختیار گیاه قرار بگیرد و باقی مانده ای برجا نگذارد. از جمله تأثیرات 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 توده های بومی ایران از لحاظ عملکرد ریشه ایجاد ساقه گلدهنده در همان سال اول رشد است که آن ها را از ادامه رشد رویشی باز می دارد. عملکرد ریشه یکی از فاکتورهای مهم عملکرد اینولین در چیکوری می باشد. 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 گروه های خارجی چیکوری بدست آمد (درجانی و همکاران، ۱۳۹۴).

۴-۳- میزان کلسیم و پتاسیم بافت گیاهی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس میزان عناصر معدنی و آلی موجود در ریشه و اندام های هوایی گیاه نشان داد که بین ژنوتیپهای گیاه و مواد محلول پاشی از نظر میزان جذب پتاسیم و کلسیم تفاوت معنی داری در سطح احتمال یک درصد وجود داشت و اثر متقابل

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

ژنوتیپ‌های گیاه چیکوری	تیمارهای محلول پاشی	میزان اسید شیکوریک ریشه (میلی گرم 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	نانو کلات پتاسیم	۱۰/۷۳ ^{ij}	۸/۲۰ ^{no}	۷/۴۳ ^{ijk}	۲۱۴۱ ^{lmn}	۱۹/۷۰ ^{ijkl}
	نانو کلات میکرو کامل	۹/۱۶ ^{klm}	۷/۶۶ ^o	۸/۱۶ ^h	۱۹۹۳ ⁿ	۱۷/۸۳ ^{klmn}
	نانو کلات 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	نانو کلات پتاسیم	۱۰/۳۳ ^{ijk}	۹/۳۰ ^{kl}	۷/۶۰ ⁱ	۲۲۹۹ ^{jk}	۱۸ ^{klmn}
	نانو کلات میکرو کامل	۹/۹۳ ^{ikl}	۸/۳۳ ^{mno}	۷/۳۳ ^{ijkl}	۲۲۵۷ ^{ikl}	۱۷ ^{mno}
	نانو کلات کلسیم	۱۳/۳۷ ^h	۱۱/۱۰ ^{ghi}	۸/۶۳ ^g	۲۵۲۰ ⁱ	۲۳ ^{defgh}
	شاهد	۹/۴۳ ^{iklm}	۹/۴۳ ^{jk}	۷/۱۳ ^{kl}	۱۵۷۱ ^o	۱۵ ^o
توده بومی ارومیه	نانو کلات پتاسیم	۱۰/۵۰ ^{ijk}	۹/۲۰ ^{klm}	۷/۶۰ ⁱ	۲۷۷۲ ^h	۲۱/۶۷ ^{fghi}
	نانو کلات میکرو کامل	۹/۸۷ ^{ijkl}	۸ ^{no}	۷/۳۰ ^{ijkl}	۲۰۸۷ ^{mn}	۱۷/۶۷ ^{lmn}
	نانو کلات 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	نانو کلات پتاسیم	۱۱/۴۹ ⁱ	۹/۲۶ ^{kl}	۷/۵۶ ^{ij}	۲۷۴۶ ^h	۲۱ ^{ghij}
	نانو کلات میکرو کامل	۱۰/۸۳ ^{ij}	۷/۶۶ ^o	۷/۳۰ ^{ijkl}	۲۴۷۹ ⁱ	۱۸/۶۷ ^{iklm}
	نانو کلات کلسیم	۱۵/۵۳ ^{ef}	۹/۱۳ ^{klm}	۹/۵۳ ^{ef}	۳۰۴۹ ^g	۲۴ ^{cdef}
	شاهد	۶/۶۶ ⁿ	۸/۶۳ ^{klmn}	۷/۲۳ ^{ijkl}	۱۳۸۸ ^p	۱۵/۶۷ ^{no}
تیلدا	نانو کلات پتاسیم	۱۸/۰۷ ^{bc}	۱۵/۲۷ ^b	۱۱/۵۷ ^c	۳۶۹۹ ^{bc}	۲۶/۶۷ ^b
	نانو کلات میکرو کامل	۱۵/۵۰ ^{ef}	۱۳/۳۳ ^{def}	۱۰/۸۰ ^d	۳۰۶۷ ^g	۲۳ ^{defgh}
	نانو کلات 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	نانو کلات پتاسیم	۱۶/۳۳ ^{de}	۱۲/۸۳ ^{ef}	۱۰/۶۰ ^d	۳۵۶۷ ^{cde}	۲۱ ^{ghij}
	نانو کلات میکرو کامل	۱۵/۵۳ ^{ef}	۱۱/۴۰ ^g	۹/۵۳ ^{ef}	۳۴۱۹ ^e	۲۰/۳۳ ^{ijk}
	نانو کلات 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	نانو کلات پتاسیم	۱۵/۶۷ ^{ef}	۱۳/۳۳ ^{def}	۱۰/۵۳ ^d	۳۲۳۶ ^f	۲۳ ^{defgh}
	نانو کلات میکرو کامل	۱۵/۳۳ ^{efg}	۱۲/۵۰ ^f	۹/۵۳ ^{ef}	۳۰۸۴ ^{fg}	۲۱ ^{ghij}
	نانو کلات 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	نانو کلات پتاسیم	۱۸/۲۰ ^b	۱۴/۰۳ ^{cd}	۱۰/۴۷ ^d	۳۱۳۰ ^{fg}	۲۶ ^{bc}
	نانو کلات میکرو کامل	۱۶/۱۰ ^{de}	۱۳/۱۷ ^{def}	۹/۶۰ ^e	۲۲۷۵ ^{ijkl}	۲۴/۶۷ ^{bcde}
	نانو کلات 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}

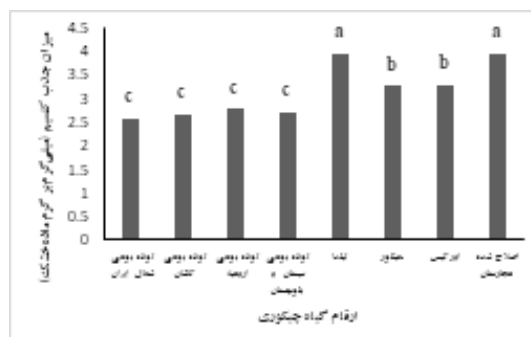
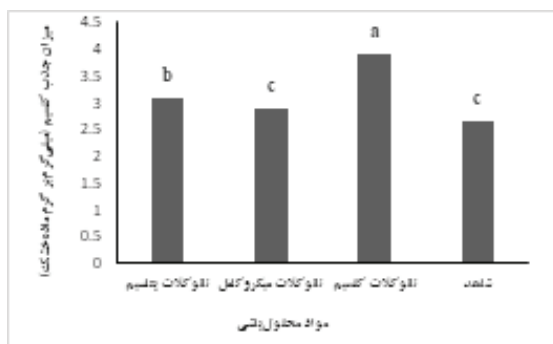
در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه هستند، براساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

ژنوتیپ‌ها×مواد محلول پاشی در صفت میزان جذب کلسیم معنی دار نشد (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر اصلی ارقام و تیمارهای محلول پاشی 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 محلول پاشی نشان داد که ژنوتیپ‌های تیلدا و اصلاح شده با محلول پاشی نانوکلات کلسیم بیشترین میزان جذب پتاسیم (۳۲/۶۷ و ۳۵ میلی گرم 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. محلول پاشی نانوکلات کلسیم 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 بخش‌های 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 وارسته 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 محلول پاشی و اثر متقابل ژنوتیپ و تیمارهای محلول پاشی از نظر صفت میزان اینولین تفاوت معنی داری 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.

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 در صنعت دارویی و صنعتی مورد اهمیت قرار گرفت. اینولین استخراج شده از چیکوری با منشأ خارجی

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 نانوکلات 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

نسبت به توده بومی چیکوری از ویژگی-های کیفی برتری برخوردار بود که با نتایج تحقیقات (حسینی نژاد و همکاران، ۱۳۹۱) مطابقت داشت. گزارش ها نشان داده است که عملکرد اینولین توده های 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 می رسد که یکی از دلایل اصلی ضعف توده های بومی ایران از لحاظ عملکرد ریشه ایجاد ساقه گلدهنده در همان سال اول رشد است که آن ها را از ادامه رشد رویشی باز می دارد و به همین دلیل توده های بومی کاسنی ایران توانمندی استفاده صنعتی جهت استخراج اینولین را ندارند.

۴- نتیجه گیری

با توجه به آنالیز خاک محل اجرای آزمایش که میزان کلسیم قابل جذب کمتر از میزان پتاسیم بود به نظر می رسد که مصرف نانوکلات کلسیم به صورت محلول پاشی 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 می شود که همه کلسیمی که در ساختار تعبیه شده است، فعال تر 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 ژنوتیپ های تیلدا و اصلاح شده مجارستان و مصرف نانوکلات کلسیم، 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 تغذیه ای، دارویی و صنعتی اینولین، بومی سازی واریته های خارجی جهت تجاری سازی تولید محصول چیکوری ضروری به نظر می رسد. با توجه به ویژگی های ارزشمند تغذیه ای و تکنولوژیکی اینولین و نیز با هدف کاهش هزینه های واردات آن، معرفی منابع و ارقام جدید گیاهی جهت استخراج و بهره برداری اینولین ضروری به نظر می رسد.

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 منتشر شده است رد می نمایند.

۵- منابع

- توکلی، ص. (۱۳۹۳). گیاهان دارویی. انتشارات روزبهان، تهران.
- درجانی، پ.، حسینی نژاد، م.، شوریده، ه.، عبدالهیان نوقابی، م.، کدخدایی، ر.، بالندری، ا.، و میلانی، ا. (۱۳۹۴). مقایسه عملکرد فروکتان های ارقام خارجی و توده های بومی کاسنی و بهینه سازی 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 ترکیب های فالونوئیدی گونه های گلمحمدی. *Mill damascene Rosa*. فصلنامه گیاهان دارویی، ۹(۳۶)، ۱۶۸-۱۶۱.
- حسینی نژاد، م.، نهاردانی، م.، و الهامی راد، ا. ح. (۱۳۹۱). ارزیابی و مقایسه کیفی اینولین استخراجی از کاسنی بومی ایران با اینولین. نشریه پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی، ۱۱(۱)، ۴۶-۳۹.
- شوریده، ه.، پیغمبری، س. ع.، امیدی، م.، نقوی، م. ر.، معروفی، ا.، و بالندری، ا. (۱۳۹۴). خصوصیات ریخت شناسی 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 کم آبی 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 مفتاح همدان، ۱-۱۴.

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 chromatography/mass spectrometry 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](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-

- بررسی اثر محلول پاشی نانوکودهای پتاسیم و کلسیم بر میزان کامفرول و اسیدشیکوریک در ارقام گیاه چیکوری (*Cichorium intybus* L.)
 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 agroeconomic 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](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.

