مجله علوم و فنون باغبانی ایران جلد ۲۷ شماره ۱ صفحه های ۷۵ تا ۸۶ (۱۴۰۵)

مقاله پژوهشی

ارزیابی مصرف نانوکودهای پتاسیم و کلسیم بر میزان جذب عناصر معدنی و عملکرد ریشه گیاه چیکوری (*Cichorium intybus* L.)

Evaluation of the Consumption of Potassium and Calcium Nanofertilizers on the Absorption of Mineral Elements and Root Yield of Chicory Plant (*Cichorium intybus* L.)

پری طوسی[1*]، مسعود اصفهانی[2]

۱. مؤسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت

۲. گروه زراعت دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول: (p.tousi@areeo.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۶/۱۰، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۳/۱۳

چکیده

به‌منظور بررسی اثر مصرف نانوکودهای پتاسیم و کلسیم بر میزان جذب عناصر معدنی و عملکرد ریشه گیاه چیکوری، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳۲ تیمار و سه تکرار به اجرا درآمد. در این آزمایش فاکتور اول، هشت رقم و توده چیکوری (توده‌های بومی شمال ایران، کاشان، ارومیه، سیستان و بلوچستان و ارقام تیلدا، هیکور، اورکیس و اصلاح شده مجارستان) و فاکتور دوم مصرف نانوکودها (نانوکلات پتاسیم، نانوکلات میکروکامل، نانوکلات کلسیم هر کدام با غلظت دو در هزار و یک تیمار شاهد صفر) بودند. مقایسه میانگین برهمکنش نشان داد که رقم‌های اصلاح شده مجارستان و تیلدا با محلول‌پاشی نانو کلات‌کلسیم بیشترین میزان جذب عناصر فسفر (۵/۵۶ و ۵/۶۳ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک)، پتاسیم (۳۲/۶۷ و ۳۵ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک)، نیتروژن (۲۳ و ۲۲/۳۳ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک)، منیزیم (۳/۳۶ و ۳/۵۳ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک) و آهن (۲/۷۵ و ۲/۸۰ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک) را داشت. بیشترین میزان جذب کلسیم (۳/۹۵ و ۳/۹۳ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک) در رقم‌های اصلاح شده مجارستان و تیلدا به‌دست آمد. مصرف نانوکلات‌کلسیم با میانگین ۳/۹۳ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک بیشترین میزان جذب کلسیم 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 (۷/۰۶ درصد) در توده بومی سیستان و بلوچستان و بومی شمال ایران بدون مصرف نانوکود به‌دست آمد. براساس نتایج این آزمایش به‌نظر می‌رسد که با توجه به میزان عناصر جذب شده در ریشه، عملکرد ریشه و میزان اینولین و بالا بودن ارزش تغذیه‌ای، دارویی و صنعتی اینولین، با استفاده از ارقام خارجی به ویژه رقم تیلدا با محلول‌پاشی نانوکودها می‌توان در راستای دستیابی به منابع با ارزش جهت تولید تجاری اینولین در داخل کشور گام برداشت.

واژه‌های کلیدی: چیکوری، اینولین، نانوکودها، عملکرد.

مقدمه

گیاه دارویی کاسنی[1] 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 (Tousi & Esfahani, 2024; Shoorideh *et al.*, 2015). امروزه تولید صنعتی اینولین از طریق استخراج از گیاهان

۱- *Cichorium intybus* L

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-11-21]

تیره کلاپرک‌سانان[1] 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 (Sofi *et al.,* 2012). لازم به ذکر است که به ازای مصرف هر گرم اینولین چهارکیلوکالری انرژی تولید می‌شود که این میزان فقط ۳۸ درصد انرژی یک مولکول قند شش کربنی هضم شده است (Paseephol *et al.,* 2007). از نظر تکنولوژیکی 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. همچنین قدرت انحلال در اسید معده را هم دارد و جذب کلسترول را هنگام عبور از دستگاه گوارش کاهش می‌دهد. اینولین به واسطه کند کردن روند هضم از جمله هضم کربوهیدرات‌ها، باعث می‌شود تا قند به آرامی و بدون افزایش ناگهانی به خون وارد شود (Bortnowska & Makiewicz, 2006). اینولین، فیبر تغذیه ای محلول در آب، از ترکیبات پروبیوتیک مورد توجه در صنایع غلات به ویژه صنعت نانوایی است (Drabinska *et al.,* 2016). اینولین همچنین به عنوان یک ماده اولیه با محتوای بالای فروکتوز به کار می‌رود که مورد استفاده بسیاری در صنایع غذایی به خصوص تولید نوشابه دارد (Kikuchi, 2009). 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. به‌نظر می‌رسد که روند تغییرات عملکرد اینولین در اثر عملکرد ریشه حاصل شده و در نتیجه مشابه آن می‌باشد. باتوجه به این‌که عملکرد اینولین تابعی از دو مؤلفه میزان اینولین و عملکرد ریشه می باشد. لذا تغییرات عملکرد اینولین اساساً مربوط به تغییرات عملکرد ریشه بوده است نه میزان اینولین. اهمیت استفاده از کود نانوکلات‌کلسیم جهت افزایش عملکرد اینولین تأکید شده است و دلیل آن، این‌طور بیان شده که استفاده از نانوکلات‌کلسیم موجب تحریک رشد گیاه و سیستم ریشه‌ای گیاه، افزایش سطح برگ و دوام سطح برگ در جامعه گیاهی و تأخیر در پیری برگ‌ها و نهایتاً افزایش ارتفاع، تعداد گل‌آذین در بوته و عملکرد اینولین می‌شود (Tousi & Esfahani, 2024). گزارش شده است که مصرف نانوکلات‌کلسیم با در دسترس قرار دادن سریع مواد غذایی در طی مراحل رشد گیاه و به‌علت کمک به افزایش رشد و توسعه سیستم ریشه‌ای، ظرفیت فتوسنتزی، توسعه پوشش گیاهی و افزایش فرایند جذب، موجب افزایش تعداد گل‌آذین در بوته، تعداد دانه، وزن دانه، عملکرد دانه، محتوای اینولین و عملکرد اینولین شد (Tousi & Esfahani, 2024). 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 (Darjani *et al.,* 2016). 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 توده مناسب 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 نانوکودها به عنوان جایگزین کودهای مرسوم، به ویژه نانوکلات پتاسیم و عناصر میکرو، منجر به افزایش کارایی مصرف عناصر غذایی، کاهش سمیت خاک و به حداقل رساندن اثرات منفی ناشی از مصرف بیش از اندازه کود و کاهش تعداد دفعات مصرف کود می‌شود (Das *et al.,* 2004). 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. 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

۱- Asteraceae

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-11-21]

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 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 (Alinejad & Golli, 2016). 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 کمبود منابع و تحقیقات اندک در زمینه اثر کودهای تهیه شده با فناوری نانو بر میزان جذب عناصر معدنی توسط ریشه و میزان اینولین گیاه دارویی چیکوری در کشور و به دلیل هزینه زیاد واردات اینولین و با توجه به کمبود پژوهش مستند در این زمینه، یکی دیگر از اهداف انجام این تحقیق، معرفی منبع برتر و بالقوه غنی از اینولین جهت دستیابی به یک رقم برتر برای تلاقی با ارقام اصلاح شده در آینده است.

مواد و روش‌ها

به‌منظور تعیین اثر محلول‌پاشی نانوکودهای پتاسیم و کلسیم بر عملکرد ریشه گیاه چیکوری، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳۲ تیمار و سه 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 آن‌جایی که 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 (نیم تا یک متر) است (Tavakoli, 2013)، نمونه‌برداری در عمق صفر تا ۶۰ سانتی‌متر انجام شد (Emami, 1996; Tavakoli, 2013).

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

Table 1. The results of the soil test at the place experiment was carried out at a depth of 0 to 60 cm.

بافت Soil texture	رس Clay (%)	سیلت Silt (%)	شن Sand (%)	کلسیم قابل جذب Absorbable calcium ($mg.kg^{-1}$)	پتاسیم قابل جذب Absorbable potassium ($mg.kg^{-1}$)	فسفر قابل جذب Absorbable phosphorus ($mg.kg^{-1}$)	نیتروژن کلTotal nitrogen (%)	کربن آلی Organic carbon (%)	اسیدیته کل اشباع pH	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)
silty clay	50	38	12	6.9	192	28	0.089	1	6.08	0.39

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 میزان۷۰ 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 عرض۳۰-۲۵ 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 و توده های بومی گیاه دارویی چیکوری (۱- توده بومی شمال ایران، ۲- توده بومی کاشان، ۳- توده بومی ارومیه، ۴- توده بومی سیستان و بلوچستان، ۵- رقم 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 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 ساقه‌رفتن، قبل از شروع گلدهی و قبل از برداشت طبق توصیه شرکت سازنده کود انجام شد.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-11-21]

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 عناصر معدنی و آلی موجود در ریشه و اندام‌های هوایی گیاه (تعیین محتوای فسفر، پتاسیم، نیتروژن، کلسیم، منیزیم وآهن)، میزان اینولین و عملکرد ریشه در انتهای فصل رشد و پس از برداشت محصول انجام شد.

برای سنجش میزان عناصر معدنی و آلی 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 دمای۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت به وسیله آسیاب پودر شدند.

برای اندازه‌گیری میزان نیتروژن عصاره نمونه‌ها به روش هضم اسید سولفوریک، اسید سالیسیلیک، آب اکسیژنه و سلنیم و با استفاده از دستگاه کجلدال تهیه گردید (Emami, 1996). همچنین برای اندازه‌گیری میزان کلسیم، منیزیم، فسفر و پتاسیم عصاره نمونه‌ها توسط هضم به روش سوزاندن خشک و ترکیب با اسیدکلریدریک تهیه گردید (Chapman & Pratt, 1962). میزان فسفر با استفاده از روش رنگ‌سنجی (رنگ زرد مولیبدات وانادات) و با کمک دستگاه اسپکتروفتومتر CECIL مدل ۳۰۰۰ ساخت کشور انگلیس در طول موج ۴۷۰ نانومتر اندازه‌گیری شد (Chapman & Pratt, 1962).

اندازه‌گیری مقدار پتاسیم موجود در عصاره تهیه شده به روش نشر شعله ای و با کمک دستگاه فلیم فتومتر انجام گرفت. برای اندازه گیری یون پتاسیم، نیم گرم از بافت گیاهی خشک را داخل کوزه چینی ریخته و ۱۰ سی‌سی اسیدنیتریک غلیظ به هر نمونه اضافه کرده و به مدت ۲۴ ساعت قرار داده تا نمونه گیاهی به خوبی در اسید حل شود. سپس کوزه ها را روی هیتر قرار داده، گرم کرده تا بخارات اسیدی از محلول خارج شود. به رسوب حاصله۳۰ سی‌سی آب مقطر اضافه و محلول حاصل را صاف کرده و عصاره را درون شیشه تیره دربدار ریخته و هنگام اندازه‌گیری یون مزبور با دستگاه الکترولیت آنالایزر یک سی‌سی از عصاره را با آب مقطر به حجم ۳۰ رسانده (یک سی سی عصاره و ۲۹ سی‌سی آب مقطر) و سپس میزان یون پتاسیم نمونه‌ها در هر عصاره اندازه گیری شد. عدد نشان داده توسط دستگاه را در رقت نمونه ضرب کرده و بعد عدد حاصل را بر وزن نمونه پنج گرم تقسیم کرده، اعداد به دست آمده برحسب میلی گرم بر گرم وزن خشک گیاهی است که هر عدد را بر ۱۰۰۰ تقسیم کرده تا اعداد حاصل بر اساس میلی گرم بر گرم وزن خشک گیاهی باشد (zahedchekovari & Gasemov, 2015). به منظور اندازه‌گیری غلظت عنصر آهن در ریشه و اندام هوایی گیاه از روش اکسیداسیون خشک استفاده گردید. یک گرم از نمونه‌های پودر شده اندام هوایی و ریشه با دقت ۰/۰۰۰۱ وزن و داخل کروزه ریخته شد. کروزه داخل کوره با دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس به مدت پنج ساعت، قرار داده شد. سپس نمونه‌های گیاهی با استفاده از ۲۰ میلی لیتر اسیدکلریدریک نرمال و حرارت روی اجاق شنی، هضم و عصاره تهیه گردید. در این عصاره‌ها عنصر آهن با استفاده از دستگاه جذب اتمی مدل Shimadzu-AA6400 قرائت گردید. مقادیر کلسیم و منیزیم به روش جذب اتمی شعله‌ای و به کمک دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد (Waling *et al*., 1989).

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 سلسیوس) 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 سه لیترآب به ازای هر کیلوگرم غده در یک مخلوط کن خرد شدند. سوسپانسیون حاصل به مدت یک ساعت در دمای۹۰-۸۰ درجه سلسیوس قرار گرفت و عصاره حاصل صاف شد. pH عصاره با استفاده از محلول هیدروکسیدکلسیم پنج درصد به حدود ۱۲-۱۰رسانده شد. عصاره به مدت نیم ساعت در دمای ۵۰-۶۰ درجه سلسیوس قرار گرفت و رسوب حاصل جدا گردید. سپس pH عصاره با محلول اسید فسفریک ۱۰ درصد به ۹-۸ رسانده شد و به مدت دو ساعت در دمای ۶۰ درجه سلسیوس نگهداری شد و رسوب ایجاد شده جدا گردید. عصاره تصفیه شده با افزودن ۲۰ گرم کربن فعال و همزدن شدید در دمای ۶۰ درجه سلسیوس 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 هشت به یک اتانول ۹۶ درصد اضافه شد. سوسپانسیون حاصل برای ته‌نشینی کامل رسوب به مدت دو روز در دمای ۴۰ درجه سلسیوس قرار داده شد و بعد از آن الکل جدا گردید. برای خشک شدن، رسوب به مدت چهار روز در دمای

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-11-21]

۵۰ درجه سلسیوس نگهداری شد. رسوب خشک شده در پایان آسیاب گردید و وزن نهایی آن نسبت به غده‌های اولیه بدست آمد (Paseephol *et al.,* 2007).

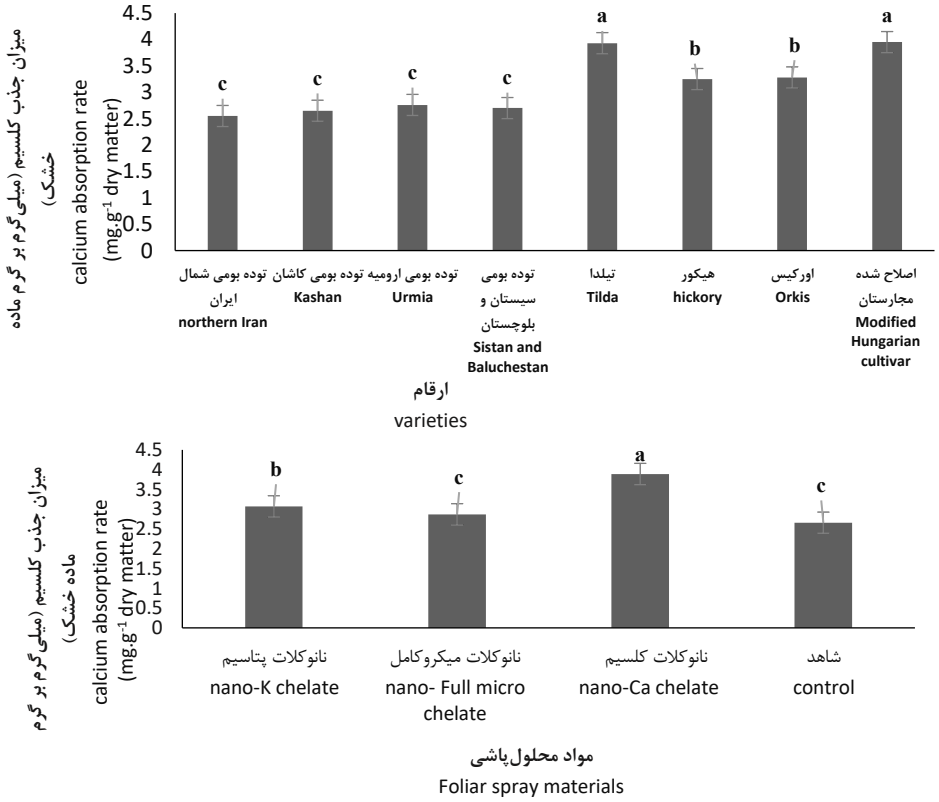
جهت تجزیه و تحلیل آماری پس از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها از نرم‌افزارهای SAS و MSTAT-C استفاده گردید. در صورت معنی‌دار بودن اختلافات در هر صفت، مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت. برای رسم نمودارها نیز از نرم افزار اکسل استفاده شد.

نتایج و بحث

میزان عناصر غذایی در ریشه و اندام‌های هوایی گیاه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس میزان عناصر معدنی و آلی موجود در ریشه و اندام‌های هوایی گیاه نشان داد که بین ارقام و توده‌های بومی گیاه، مواد محلول‌پاشی از نظر میزان جذب عناصر فسفر، پتاسیم، نیتروژن، کلسیم، منیزیم و آهن تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود داشت و برهمکنش تنها در صفت میزان جذب کلسیم معنی‌دار نشد. مقایسه میانگین برهمکنش نشان داد که ارقام تیلدا و اصلاح شده با محلول‌پاشی نانوکلات‌کلسیم بیشترین میزان جذب عناصر فسفر (۵/۵۶ و ۵/۶۳ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک)، پتاسیم (۳۲/۶۷ و ۳۵ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک)، نیتروژن (۲۳ و ۲۲/۳۳ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک)، منیزیم (۳/۳۶ و ۳/۵۳ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک) و آهن (۲/۷۵ و ۲/۸۰ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک) را داشت (جدول ۲).

نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثر توده‌های بومی و ارقام گیاه نشان داد که بیشترین میزان جذب کلسیم در رقم‌های اصلاح شده و تیلدا به ترتیب با میانگین‌های ۳/۹۵ و ۳/۹۳ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک بدست آمد (شکل ۱). همچنین در بین مواد محلول‌پاشی، مصرف نانوکلات‌کلسیم با میانگین ۳/۹۳ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک بیشترین میزان جذب کلسیم را داشت (شکل ۱).



شکل ۱- 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.

Fig. 1. Comparison of the mean effect of experimental treatments on calcium absorption rate of chicory plant roots. Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at the five percent probability level using Tukey's Test.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-11-21]

جدول ۲- مقایسه میانگین برهمکنش توده‌های بومی و ارقام چیکوری و مواد محلول‌پاشی صفات گیاهی چیکوری.

Table 2. Comparison of the mean interaction effect of chicory genotypes and spraying agents of chicory plant traits.

توده بومی و رقم Indigenous landrace and cultivar	تیمارهای محلول‌پاشی Spraying treatments	میزان جذب فسفر P absorption rate ($mg.g^{-1}$ dry matter)	میزان جذب پتاسیم K absorption rate ($mg.g^{-1}$ dry matter)	میزان جذب نیتروژن N absorption rate ($mg.g^{-1}$ dry matter)	میزان جذب منیزیم Mg absorption rate ($mg.g^{-1}$ dry matter)	میزان جذب آهن Fe absorption rate ($mg.g^{-1}$ dry matter)	میزان اینولین Inulin content (%)	عملکرد ریشه Root yield ($kg.ha^{-1}$)
Northern Iran	نانوکلات پتاسیم Nano-K chelate	2.50^{hij}	19.7^{ijkl}	12.90^{hij}	$2.50^{bcdefgh}$	1.53^{i}	7.43^{ijk}	2141^{lmn}
توده بومی شمال ایران	نانوکلات میکروکامل Nano- Full micro chelate	2.63^{hij}	17.83^{klmn}	11.80^{jkl}	$2.3^{efghijklm}$	1.30^{ijkl}	8.16^{h}	1993^{n}
	نانوکلات کلسیم Nano-Ca chelate	2.76^{hij}	22.33^{efghi}	14^{fgh}	2.63^{bcdef}	1.83^{h}	8.66^{g}	2769^{h}
	شاهد Control treatment	2.26^{ij}	15^{o}	10^{m}	$2.16^{hijklmn}$	1.04^{n}	7.06^{l}	1623^{o}
Kashan	نانوکلات پتاسیم Nano-K chelate	3.16^{fgh}	18^{klmn}	12.83^{hij}	$2.3^{defghijkl}$	1.53^{i}	7.6^{i}	2299^{jk}
توده بومی کاشان	نانوکلات میکروکامل Nano- Full micro chelate	2.60^{hij}	17^{mno}	12.40^{ijk}	$2.2^{hijklmn}$	1.30^{ijkl}	7.33^{ijkl}	2257^{jkl}
	نانوکلات کلسیم Nano-Ca chelate	3.06^{fghi}	23^{defgh}	14^{fgh}	2.66^{bcde}	1.60^{i}	8.63^{g}	2520^{i}
	شاهد Control treatment	2.46^{hij}	15^{o}	11^{lm}	2.13^{ijklmn}	1.16^{lmn}	7.13^{kl}	1571^{o}

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-11-21]

Urmia	نانوکلات پتاسیم	2.93^{ghi}	21.67^{fghi}	13.63^{fghi}	$2.43^{cdefghij}$	1.26^{klm}	7.6^{i}	2772^{h}
توده بومی ارومیه	Nano-K chelate نانوکلات میکروکامل	2.53^{hij}	17.67^{lmn}	12.23^{jkl}	$2.2^{ghijklmn}$	1.10^{mn}	7.30^{ijkl}	2087^{mn}
	Nano- Full micro chelate نانوکلات کلسیم	3.10^{fgh}	23.33^{defg}	15^{ef}	$2.60^{bcdefgh}$	1.43^{ijk}	9.23^{f}	3120^{fg}
	Nano-Ca chelate شاهد	2.60^{hij}	15^{o}	11^{lm}	2.06^{klmn}	1^{n}	7.20^{kl}	1525^{op}
	Control treatment							
Sistan and Baluchestan	نانوکلات پتاسیم	2.93^{ghi}	21^{ghij}	13^{ghij}	$2.46^{cdefghi}$	1.46^{ij}	7.56^{ij}	2746^{h}
توده بومی سیستان و بلوچستان	Nano-K chelate نانوکلات میکروکامل	2.56^{hij}	18.67^{jklm}	11.67^{jkl}	$2.30^{fghijklmn}$	1.30^{jkl}	7.30^{ijkl}	2479^{i}
	Nano- Full micro chelate نانوکلات کلسیم	4.03^{bcd}	24^{cdef}	14.33^{efg}	2.63^{bcdef}	1.60^{i}	9.53^{ef}	3049^{g}
	Nano-Ca chelate شاهد	2.53^{hij}	15.67^{no}	11.33^{klm}	2.06^{klmn}	1.10^{mn}	7.23^{jkl}	1388^{p}
	Control treatment							
Tilda	نانوکلات پتاسیم	4.73^{b}	26.67^{b}	20.67^{b}	2.76^{bc}	2.4^{bc}	11.57^{c}	3699^{bc}
تیلدا	Nano-K chelate نانوکلات میکروکامل	3.20^{efgh}	23^{defgh}	17^{cd}	$2.33^{efghijklm}$	2.03^{efg}	10.80^{d}	3067^{g}
	Nano- Full micro chelate نانوکلات کلسیم	5.63^{a}	35^{a}	22.33^{a}	3.53^{a}	2.80^{a}	13.60^{a}	4114^{a}
	Nano-Ca							

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-11-21]

	chelate							
	شاهد	2^{j}	21^{ghij}	15.67^{de}	2.10^{jklmn}	1.93^{fgh}	9.46^{ef}	2409^{ij}
	Control treatment							

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

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at the five percent probability level using Tukey's Test

جدول ۲- ادامه.

Table 2. Continued.

توده بومی و رقم Indigenous landrace and cultivar	تیمارهای محلول‌پاشی Spraying treatments	میزان جذب فسفر P absorption rate (mg.g^{-1} dry matter)	میزان جذب پتاسیم K absorption rate (mg.g^{-1} dry matter)	میزان جذب نیتروژن N absorption (mg.g^{-1} dry rate matter)	میزان جذب منیزیم Mg absorption rate (mg.g^{-1} dry matter)	میزان جذب آهن Fe absorption rate (mg.g^{-1} dry matter)	میزان اینولین Inulin content (%)	عملکرد ریشه Root yield (kg.ha^{-1})
Hickory	نانوکلات پتاسیم Nano-K chelate	3.70^{defg}	21^{ghij}	15^{ef}	$2.46^{cdefghi}$	2.13^{de}	10.60^{d}	3567^{cde}
هیکور	نانوکلات میکروکامل Nano- Full micro chelate	3.83^{cdef}	20.33^{ijk}	13.67^{fghi}	$2.2^{hijklmn}$	2.13^{de}	9.53^{ef}	3419^{e}
	نانوکلات کلسیم Nano-Ca chelate	4.50^{bcd}	25^{bcd}	17.33^{c}	2.70^{bcd}	2.26^{cd}	12.57^{b}	3831^{b}
	شاهد Control treatment	2.5^{hij}	21^{ghij}	12.67^{hijk}	1.96^{n}	1.86^{gh}	8.50^{gh}	2200^{klm}
Orkis	نانوکلات پتاسیم Nano-K chelate	3.16^{fgh}	23^{defgh}	15.67^{de}	2.63^{bcdef}	2.26^{cd}	10.53^{d}	3236^{f}
اورکیس	نانوکلات میکروکامل Nano- Full micro chelate	2.73^{hij}	21^{ghij}	14^{fgh}	$2.26^{ghijklmn}$	1.95^{fgh}	9.53^{ef}	3084^{fg}
	نانوکلات کلسیم Nano-Ca chelate	2^{bcde}	25^{bcd}	18^{c}	$2.40^{defghijk}$	2.40^{bc}	12.23^{b}	3665^{cd}
	شاهد Control treatment	2.90^{ghi}	20.67^{hij}	12.33^{ijkl}	2^{mn}	2.03^{efg}	9.40^{ef}	1992^{n}
Modified	نانوکلات پتاسیم	4.23^{bcd}	26^{bc}	20^{b}	2.83^{b}	2.46^{b}	10.47^{d}	3130^{fg}

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-11-21]

Hungarian cultivar	Nano-K chelate							
اصلاح شده مجارستان	نانوکلات میکروکامل	4.60^{bc}	24.67^{bcde}	17.67^{c}	2.13^{ijklmn}	2.33^{bc}	9.60^{e}	2275^{jkl}
	Nano- Full micro chelate							
	نانوکلات کلسیم	5.65^{a}	32.67^{a}	23^{a}	3.36^{a}	2.75^{a}	12.23^{b}	3543de
	Nano-Ca chelate							
	شاهد	4^{bcde}	23.67^{cdef}	14.33^{efg}	2.03^{lmn}	2.10^{def}	8.40^{gh}	2248^{kl}
	Control treatment							

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

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at the five percent probability level using Tukey's Test

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-11-21]

رقم‌های 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 رقم‌های 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).

نانوکلات کلسیم باعث افزایش سطح دسترسی گیاه و از طرفی افزایش جذب برخی مواد غذایی که در رشد مؤثر است، می‌شود. همچنین 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; Tousi & Esfahani, 2024). 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 ریشه و میزان اینولین 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 اینولین گیاه می‌شود (Prasad *et al.,* 2012).

میزان اینولین

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که بین توده‌های بومی و ارقام چیکوری، مواد محلول‌پاشی و برهمکنش از نظر صفت میزان اینولین تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود داشت. مقایسه میانگین برهمکنش توده و رقم× مواد محلول‌پاشی نشان داد که محلول‌پاشی نانوکلات‌کلسیم در رقم تیلدا در مراحل مختلف رشد گیاه، با میانگین ۱۳/۶۰ درصد بیشترین میزان اینولین را داشت. کمترین میزان اینولین در توده بومی شمال ایران بدون مصرف نانوکود (۷/۰۶ درصد) بدست آمد (جدول ۲). به نظر می‌رسد که 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، ظرفیت فتوسنتزی، توسعه پوشش گیاهی و افزایش فرایند جذب، موجب افزایش محتوای اینولین شد. نانو کمپلکس کلات‌کلسیم به دلیل طراحی ساختار براساس نانوتکنولوژی، می‌تواند کلسیمی را که در خود جای داده است بطور هوشمندانه و در زمان مناسب در اختیار گیاه قرار دهد. افزایش میزان سطح به حجم در این مولکول 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 (Alinejad & Golli, 2016). نانوکلات کلسیم 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 اینولین 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). در گزارشی در بررسی اثر تراکم بوته و زمان برداشت بر خصوصیات کمی و کیفی

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-11-21]

چیکوری گزارش شد که بیشترین عملکرد ریشه متعلق به واریته خارجی اورکیس بود و بیشترین میزان اینولین (۱۴/۹۵ درصد) نیز در رقم خارجی اورکیس بدست آمد (Foroghi Manesh *et al.,* 2013). 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). با توجه به خواص تکنولوژیکی و سلامتی‌بخش اینولین و شرایط مساعد آب و هوایی ایران جهت کشت چیکوری، در این پژوهش استفاده از ارقام و توده‌های بومی 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 ویژگی‌های کیفی برتری برخوردار بود که با نتایج تحقیقات (Hosseini Nejad *et al.,* 2013). 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 (Darjani *et al.,* 2016).

عملکرد ریشه

محصول اقتصادی مورد نظر در گیاه دارویی 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 (Darjani *et al.,* 2016). نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که بین ارقام و توده‌های بومی، مواد محلول‌پاشی و برهمکنش ارقام و توده‌ها×مواد محلول‌پاشی تفاوت معنی‌داری از نظر صفت عملکرد ریشه گیاه چیکوری در سطح احتمال یک درصد وجود داشت. مقایسه میانگین برهمکنش توده و رقم ×مواد محلول‌پاشی نشان‌دهنده آن است که بیشترین عملکرد ریشه در رقم تیلدا با مصرف نانوکلات‌کلسیم (۴۱۱۴ کیلوگرم در هکتار) بدست آمد. همچنین رقم هیکور با مصرف نانوکلات‌کلسیم از نظر صفت عملکرد ریشه در جایگاه دوم قرار گرفت (جدول ۲). 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 (Darjani *et al.,* 2016). با توجه به کم بودن میزان کلسیم قابل جذب در خاک توسط گیاه، به نظر می‌رسد محلول‌پاشی نانوکلات‌کلسیم موجب افزایش عملکرد ریشه شد. با توجه به خواص منحصر به فرد نانومواد و نوع ساختار نانوکلات کلسیم با ۲۷ درصد کلسیم کلات و افزایش میزان سطح به حجم در این مولکول موجب می‌شود که همه کلسیمی که در ساختار تعبیه شده است، فعال‌تر شده و باعث افزایش پایداری دیواره سلول و غشاهای سلولی، همچنین توسعه سلول و ریشه شده و با سرعت بیشتری در گیاه جا به جا شود و بطور کامل در اختیار گیاه قرار بگیرد. همچنین موجب جلوگیری از صدمات ناشی از تنش‌های سرمازدگی و مکانیکی مانند باد می‌گردد (Tousi & Esfahani, 2024; Alinejad & Golli, 2016). در خاک‌های با بافت سنگین، فشرده بودن خاک و عدم تبادلات گازی باعث می‌شود گاز دی اکسید کربن محبوس شده و با کربنات‌های خاک تشکیل بی‌کربنات داده و رسوب کلسیم باعث عدم جذب این عنصر ضروری توسط گیاه می‌شود. از جمله ویژگی‌های جالب توجه مواد نانو، سبک و کوچک بودن آن‌ها، بیشتر بودن سطح به حجم، استفاده در مقادیر کم، چند کاربردی بودن و صرفه‌جویی در مواد مصرفی است (Alinejad & Golli, 2016). با توجه به نتایج آزمایش حاضر به نظر می‌رسد که ژنوتیپ‌های تجاری تیلدا و اصلاح شده با جذب بیشتر مواد غذایی و ذخیره آن در اندام‌های زایشی و ریشه‌دوانی گیاه شده است. این موضوع نشان‌دهنده توانایی ژنوتیپ‌های چیکوری در استفاده از شرایط محیطی مناسب جهت تولید بیشتر ماده خشک می‌باشد. گزارش‌ها نشان داد که مصرف نانوکودها موجب افزایش ۲۱/۵۵ درصدی عملکرد ریشه 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 ریشه‌دوانی و در نتیجه کاهش عملکرد ریشه می‌شود (Saedi *et al.,* 2017).

گزارش شده است که بیشترین عملکرد ریشه از ارقام خارجی چیکوری نسبت به توده‌های بومی بدست آمد (Darjani *et al.,* 2016). به نظر می‌رسد که یکی از دلایل اصلی ضعف توده‌های بومی ایران از لحاظ عملکرد ریشه ایجاد ساقه گلدهنده

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-11-21]

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.

نتیجه‌گیری

براساس نتایج آزمایش حاضر به نظر می‌رسد که که رقم‌های تیلدا و اصلاح شده با محلول‌پاشی نانوکلات‌کلسیم بیشترین میزان جذب عناصر فسفر، پتاسیم، نیتروژن، منیزیم و آهن را داشتند. بیشترین میزان اینولین و عملکرد ریشه در تیمار محلول‌پاشی نانوکلات‌کلسیم و رقم تیلدا به ترتیب با میانگین ۱۳/۶۰ درصد و ۴۱۱۴ کیلوگرم در هکتار بدست آمد. رقم‌های هیکور (۱۲/۵۷ درصد)، اورکیس (۱۲/۲۳ درصد) و اصلاح شده مجارستان (۱۲/۲۳ درصد) با مجحلولپاشی نانوکلات کلسیم از نظر میزان اینولین در جایگاه دوم قرار داشتند. کمترین میزان اینولین در توده بومی شمال ایران بدون مصرف نانوکود (۷/۰۶ درصد) مشاهده شد. نتایج این تحقیق در مجموع حاکی از برتری نسبی میزان اینولین استخراجی از ارقام خارجی چیکوری 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. همچنین 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 جذب فسفر، پتاسیم، نیتروژن، کلسیم، منیزیم و آهن، 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، فعال تر شده و با سرعت بیشتری در گیاه جا به جا شود و بطور کامل در اختیار گیاه قرار بگیرد.

References منابع

Alinejad, D., & Golli, H. (2016). *Introduction to nanocomposites*. Publication of image language. (In Persian).

Amaducci, S. and 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

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

Bortnowska, G., & Makiewicz, A. (2006). Technological utility of guar gum and xanthan for production of low-fat inulin-enriched mayonnaise. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, *5*(2), 135-146.

Chapman, H.D., & Pratt, P.F. (1962). Methods of analysis for soils, plants and waters, *Soil Science*, 93(1), 68

Darjani, P., Hosseini Nezhad, M., Shorideh, H., Abdollahian-Noghabi, M., Kadkhodaee, R., Balandari, A., Das, R. P., Kiley, J., & Segal, M. (2004). Integration of photosynthetic protein molecular complexes in solid-state. *Electronic Devices. Nano Letters*, *4*(6), 1079 -1083. https://doi.org/10.1021/nl049579f

Drabinska, N., Zielinski, H., & Krupa-Kozak, U. (2016). Technological benefits of inulin-type fructans application in gluten-free products–A review. *Trends in Food Science & Technology*, *56*,157-149. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.08.015

Emami, A. (1996). Plant Analysis Methods. *Soil and Water Research Institute, 2*(982), 128.

Foroghi Manesh, F., Habibi, H., & Nougabi, M.A. (2013). Effects of Plant Density and Harvest Time on Root Yield and Quality of Chicory (*Cichorium intybus* L.). *Iranian Journal of Field Crop Science*, *44*(3), pp. 529-537. (In Persian). https://doi.org/10.22059/ijfcs.2013.35869

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-11-21]

Hosseini Nezhad, M., Nahardani, M., & Elhami Rad, A.H. (2012). Characterization of inulin extract from Iranian native chicory in comparison with some other sources. *Research and Innovation in Food Science and Technology, 1*(1), 39-46. (In Persian). https://doi.org/10.22101/JRIFST.2012.05.21.114

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

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), pp. 36-40.

Milani, E. (2016). Comparison of fructan yield of foreign cultivars and indigenous landrace of chicory and optimizing its extraction by response surface method (RSM). *Research and Innovation in Food Science and Technology, 4*(4), 343-354. (In Persian). https://doi.org/10.22101/JRIFST.2016.01.30.445

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

Sofi, M., Alizadeh, A., & Mousavi Goljahi, S.A. (2012). Investigating the therapeutic properties of the technological application and the method of extracting inulin from the medicinal plant chicory (*Cichorium intybus* L.). *The First National Conference of Medicinal Plants and Sustainable Agriculture,* (In Persian). 9-10 Oct. 2012. Hamedan, Iran.

shoorideh, H., peighambari, S.A., omidi, M., naghavi, M.R., maroofi, A., & Balandary, A. (2015). Investigation on morphological traits and root yield of Iranian chicory genotypes. *Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research*, *23*(2), 226-236. 10.22092/ijrfpbgr.2015.102283

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

Tavakoli, S. (2013). Medicinal plants. Rozbahan Publications. 264 Pp.

Tousi, P., & Esfahani, M. 2024. Effect of Potassium and Calcium nano Fertilizers Application on Inulin Content of Chicory (*Cichorium Intybus* L.) Cultivars. *Plant Production Technology*, *16*(1),35-50. doi: 10.22084/ppt.2024.28851.2121

Tousi, P., & Esfahani, M. (2024). 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. *Research in Horticultural Sciences*, *3*(1), 121-136. doi: 10.22092/rhsj.2025.366602.1104

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-11-21]

Waling, I., Van Vark, W., Houba, V.J.G., & Van der Lee J.J. (1989). Soil and plant analysis, a series of syllabi, Part 7, *Plant Analysis Procedures*, Wageningen Agriculture University.

zahedchekovari, S., & Gasemov, N. (2015). The study nutrition elements, proline, protein, and growth charactersts of *Brago officilalis* L. Under drught stress. *Crop Biotechnology*, *5*(11), 65-75. 20.1001.1.22520783.1394.5.11.6.7

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-11-21]

Iranian Journal of Horticultural Science and Technology 27 (1): 75-88 (2026)
Research article

Evaluation of the Consumption of Potassium and Calcium Nanofertilizers on the Absorption of Mineral Elements and Root Yield of Chicory Plant (*Cichorium intybus* L.)

Pari Tousi[1*], Masoud Esfahani [2]
1. Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran.
2. Department of Agriculture, Faculty of Agricultural Sciences, University of Gilan. Rasht
*Corresponding Author's Email: (p.tousi@areeo.ac.ir)

To investigate the effect of the consumption of potassium and calcium nanofertilizers on the absorption of mineral elements and root yield of the chicory plant, a factorial experiment was conducted in a complete randomized block design with 32 treatments and 3 repetitions. In this experiment, the first factor was eight cultivars and indigenous landrace of Cichorium (indigenous landrace of northern Iran, Kashan, Urmia, Sistan-Baluchestan,Tilda, hickory, Orkis, Modified Hungarian cultivars) and the second factor was nanofertilizers use (nano-K chelate ($2_{0.00}$), nano- Full micro chelate ($2_{0.00}$), nano-Ca chelate ($2_{0.00}$), plus a zero control treatment. The comparison of the mean interaction effect showed that the Modified Hungarian and Tilda cultivars with spray application of Ca-nano chelate had the highest absorption of phosphorus (5.56 and 5.63 $mg.g^{-1}$ dry matter), potassium (32.67 and 35 $mg.g^{-1}$dry matter), nitrogen (23 and 22.33 $mg.g^{-1}$dry matter), magnesium (3.36 and 3.53 $mg.g^{-1}$dry matter) and iron (2.75 and 2.80 $mg.g^{-1}$dry matter).The highest amount of calcium absorption (3.95 and 3.93 $mg.g^{-1}$dry matter) was obtained in the Modified Hungarian and Tilda cultivars. The consumption of Ca-nano chelate with an average of 3.93 $mg.g^{-1}$dry matter had the highest calcium absorption. Tilda cultivar with application of Ca- nano chelate had the highest Inulin content (13.60 %) and Root yield (4114 $kg.ha^{-1}$). The lowest amount of inulin (7.06%) was obtained in the indigenous landrace of Sistan-Baluchistan and northern Iran without the use of nanofertilizers. Based on the results of this experiment, it seems that according to the amount of elements absorbed in the root, root yield and the inulin amount and high nutritional, pharmaceutical and industrial value of inulin, by using the foreign cultivars, especially the Tilda cultivar with foliar spraying of nanofertilizers to obtain valuable resources for the commercial production of inulin inside the country.

Keywords: Chicory, Inulin, Nanofertilizers, Yield.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-11-21]