*Plant Production Technology*/ Volume 24/ Issu 1/ Pages 35-49/ Spring and Summer 2024
https://doi.org/10.22084/PPT.2024.28851.2121

ORIGINAL RESEARCH PAPER

# Effect of Potassium and Calcium nano Fertilizers Application on Inulin Content of Chicory (*Cichorium Intybus* L.) Cultivars

Tousi[1*], P. and Esfahani[2], M

1. Research Assistant Professor, 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, Iran
*: Corresponding author Email: p.tousi@areeo.ac.ir

Received: 2024/01/23 Accepted:2024/07/02

**Introduction**
Medicinal plant chicory (*Cichorium intybus* L.) is widely found in temperate regions around the world and in Iran, which is one of the first main and important sources due to its high content of inulin (more than 70% of the dry weight of the root). Inulin production is known at industrial-commercial level (Franck, 2002). Due to having advantages such as the possibility of enrichment with dietary fiber, low calorie content and other nutritional characteristics, inulin is successfully used to replace fat and sugar (Roberfroid, 2005). Considering the need to localize the industry of extracting and processing inulin from chicory root, which is possible by using industrial lines for extracting sugar from sugar beet in sugar factories, the cultivation of this plant on a large scale and using the seeds of superior chicory masses and with high efficiency It is also necessary (Darjani *et al.*, 2016). It is necessary to use new technologies in the agricultural industry more than ever. Potassium nano-chelate increases the efficiency of water consumption, increases plant tolerance to frost, drought, salinity, pests and diseases, increases leaf chlorophyll content and photosynthesis efficiency, and increases the absorption of micronutrients, especially iron, zinc and manganese. Calcium nanochelate contains 7% of chelated calcium, which is effective in root development and preventing damage caused by freezing and flooding stresses. Considering the lack of resources and research in the field of the effect of fertilizers prepared with nanotechnology on the amount of inulin and effective substances of the medicinal plant chicory in the country and due to the high cost of importing inulin, one of the goals of this research is to introduce a potentially rich source of inulin for extraction. And the use of inulin seems necessary.

**Materials and Methods**
a factorial experiment was conducted in complete randomized block design with 32 treatments and 3 repetitions for one crop year of 2015-2016 at the Rice Research Institute of Iran (Rasht). Each test plot consisted of four planting lines with a length of four meters at a distance of 50 cm from the next row and the distance between plants was 20 cm (with a density of 15 plants per square) and the distance between treatments and repetitions was considered to be one meter. In this experiment, the first factor, eight cultivars of chicory (indigenous landrace of northern Iran, Kashan, Urmia, Sistan and Baluchestan, Tilda, hickory, Orkis, Modified Hungarian cultivar) and the second factor was nanofertilizers use (nano-K chelate, nano- Full micro chelate, nano-Ca chelate ($2_{0.00}$), plus a zero control treatment. Traits such as Inulin content, inulin yield, plant height, number of inflorescences, number of seeds per inflorescence, 1000 seed weight, grain yield, biological yield and root yield were measured at the end of the growing season and after harvest in different nano fertilizer spraying treatments. The data analysis was performed using SAS and MSTAT-C software, and the comparison of means was conducted using the Tukey's test (HSD).

**Results and Discussion**
The comparison of the mean interaction effect of chicory genotypes and spraying treatments showed that the Tilda variety with the use of Nano-Ca chelate had the highest grain yield (1462kg.ha$^{-1}$), Inulin content (13.60%), Inulin yield (559.7 kg.ha$^{-1}$) and Root yield (4114 kg.ha$^{-1}$). Hickory genotype Nano-Ca chelate (481.3 kg.ha$^{-1}$) was ranked second after Tilda variety. The indigenous ecotypes of Sistan and Baluchistan without the use of nanofertilizers had the lowest grain yield (461 kg.ha$^{-1}$) and the indigenous ecotype of northern Iran without the use of nanofertilizers had the lowest amount of inulin (7.06%) (Table 3). It seems that, due to the design of the nanotechnology structure, the Nano-Ca chelate can use the calcium it contains intelligently and at the right time by quickly making nutrients available during the stages of plant growth, helping to increase growth and development of the root system, photosynthetic capacity, development of plant cover, increase in absorption process, production of cultured material and decrease in physiological removal rate of flowers, grain yield, inulin content, root yield and inulin yield (Prasad *et al.*, 2012). In general, the results of the research showed that the inulin yield of the indigenous stands of Iran was minimized due to their low inulin percentage and weak root yield.

**Conclusion**

According to the soil analysis of the place where the experiment was carried out, the amount of absorbable Ca was less than the amount of K, it seems that the spraying of Nano-Ca chelate increases the components of grain yield, Inulin content, inulin yield, root yield and biological yield. The amount of inulin extracted from foreign chicory was relatively superior to the inulin extracted from native Iranian chicory. It seems necessary to introduce new plant sources and cultivars for extracting and exploiting inulin with the aim of reducing inulin import costs, domestication of foreign varieties and commercialization.

**Keywords**: Orkis Cultivar, Inulin Yield, Grain yield.

**Citations:** 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*, *24*(1), 35-49. https://doi.org/10.22084/ppt.2024.28851.2121

© 2022 The Author(s). Bu- Ali Sina University Publication. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

**Online ISSN:** 2476-5651 **Print ISSN:** 2476-6321

فنآوری تولیدات گیاهی/ جلد بیست و چهارم/ شمارهٔ اول/ صفحات ۳۵-۴۹ / بهار و تابستان ۱۴۰۳
https://doi.org/10.22084/PPT.2024.28851.2121

# اثر مصرف نانوکودهای پتاسیم و کلسیم بر محتوای اینولین در ارقام گیاه چیکوری (*Cichorium intybus* L.)

# Effect of Potassium and Calcium nano Fertilizers Application on Inulin Content of Chicory (*Cichorium Intybus* L.) Cultivars

پری طوسی[1*] و مسعود اصفهانی[2]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۰۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۱۲

**(مقاله پژوهشی)**

**چکیده**

به‌منظور تعیین اثر نانوکودهای پتاسیم و کلسیم بر خصوصیات کمی و کیفی گیاه کاسنی، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳۲ تیمار و ۳ تکرار در سال ۱۳۹۶-۱۳۹۵ در مؤسسه تحقیقات برنج کشور (رشت) به اجرا درآمد. در این آزمایش 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 نانوکودها (نانوکلات‌پتاسیم، نانوکلات‌میکروکامل، نانوکلات‌کلسیم با غلظت دو در هزار و یک تیمار شاهد صفر) بودند. مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که رقم تیلدا با مصرف نانوکلات‌کلسیم بیش‌ترین عملکرد دانه (۱۴۶۲ کیلوگرم در هکتار)، عملکرد ریشه (۴۱۱۴ کیلوگرم در هکتار)، عملکرد بیولوژیک (۷۱۵۱ کیلوگرم در هکتار)، عملکرد اینولین (۵۵۹/۷ کیلوگرم در هکتار) و میزان اینولین (۱۳/۶۰ درصد) را داشت. اکوتیپ‌های بومی سیستان و بلوچستان و بومی شمال ایران بدون مصرف نانوکود کم‌ترین عملکرد دانه (۴۶۱ کیلوگرم در هکتار) و کم‌ترین میزان اینولین (۷/۰۶ درصد) را داشت. اکوتیپ‌های بومی شمال ایران، ارومیه، سیستان و بلوچستان و کاشان بدون مصرف نانوکودها کم‌ترین عملکرد اینولین را داشتند. عملکرد دانه و اینولین در تیمار نانوکلات‌پتاسیم در تمامی ارقام چیکوری نسبت به تیمار نانوکلات‌میکروکامل بیش‌تر بود. براساس نتایج این آزمایش به‌نظر می‌رسد که باتوجه به عملکرد اینولین و ریشه و بالا بودن ارزش تغذیه‌ای، دارویی و صنعتی اینولین، با استفاده از ژنوتیپ تیلدا و محلول‌پاشی نانوکودها می‌توان در راستای دست‌یابی به منابع با ارزش جهت تولید تجاری اینولین در داخل کشور و کاهش مصرف کودهای شیمیایی گام برداشت.

**واژه‌های کلیدی:** رقم اورکیس، عملکرد ریشه، عملکرد دانه.

**ارجاع به مقاله:** طوسی، پ. و اصفهانی. م. (۱۴۰۳). اثر مصرف نانوکودهای پتاسیم و کلسیم بر محتوای اینولین در ارقام گیاه چیکوری (*Cichorium intybus* L.)، *مجله فنآوری تولیدات گیاهی*، ۲۴(۱)، ۳۵-۴۹. https://doi.org/10.22084/ppt.2024.28851.2121.

حق نشر متعلق به نویسنده (گان) است و نویسنده تحت مجوز Commons Creative License Attribution (http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/) به مجله اجازه می‌دهد مقاله‌ی چاپ شده را در سامانه به اشتراک بگذارد، منوط بر اینکه حقوق مؤلف اثر حفظ و به انتشار اولیه مقاله در این مجله اشاره شود.

**شاپا الکترونیکی:** ۲۴۷۶-۵۶۵۱ **شاپا چاپی:** ۲۴۷۶-۶۳۲۱

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

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

*: نویسنده مسئول Email: p.tousi@areeo.ac.ir

## ۱. مقدمه

گیاه دارویی چیکوری (*Cichorium intybus* L.) به‌طور گسترده در مناطق معتدل در سراسر جهان و ایران یافت می‌شود که به لحاظ محتوای بالای اینولین (بیش از ۷۰ درصد از وزن خشک ریشه)، یکی از اولین منابع اصلی و مهم تولید اینولین در سطح صنعتی و تجاری شناخته شده است (Franck, 2002). امروزه تولید صنعتی اینولین از طریق استخراج از گیاهان تیره گل ستاره‌ای‌ها صورت می‌گیرد. اینولین یک پلی‌ساکارید ذخیره‌ای از دسته فروکتان‌ها است که شامل یک زنجیره از واحدهای فروکتوز با یک مولکول انتهایی گلوکز است (Blitz *et al.*, 2009) که به‌علت دارا بودن خاصیت پروبیوتیکی منجر به تحریک رشد باکتری‌های مفید و تولید اسیدهای چرب زنجیره کوتاه در روده انسان و دام می‌شوند (Sofi *et al.*, 2012). لازم به ذکر است که به ازای مصرف هر گرم اینولین چهار کیلوکالری انرژی تولید می‌شود که این میزان فقط ۳۸ درصد انرژی یک مولکول قند شش کربنی هضم شده است (Paseephol *et al.*, 2007). امروزه اینولین باتوجه به دارا بودن مزایایی مانند امکان غنی‌سازی با الیاف رژیمی، میزان کالری پایین و سایر ویژگی‌های تغذیه‌ای به‌طور موفقیت‌آمیزی برای جایگزینی چربی و قند مورداستفاده قرار می‌گیرد (Roberfroid, 2005). باتوجه 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 به‌منظور 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، موردمطالعه قرار گرفت.

امروزه استفاده از نانوکودها به‌عنوان جایگزین کودهای مرسوم، به‌ویژه نانوکلات‌پتاسیم 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). نانوکلات‌پتاسیم 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. نانوکلات 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 به‌ویژه آهن، روی و منگنز می‌شود. نانوکلات‌کلسیم حاوی هفت درصد کلسیم کلات شده است که در توسعه ریشه و جلوگیری از صدمات ناشی از تنش‌های سرمازدگی و غرقابی مؤثر است.

باتوجه به کمبود منابع و تحقیقات اندک در زمینه اثر کودهای تهیه شده با فناوری نانو بر میزان اینولین و مواد مؤثره گیاه دارویی چیکوری در کشور و به‌دلیل هزینه زیاد واردات اینولین و باتوجه به کمبود پژوهش مستند در این زمینه، یکی دیگر از اهداف انجام این تحقیق، معرفی منبع بومی برتر و بالقوه غنی از اینولین جهت دست‌یابی به یک رقم برتر برای تلاقی با ارقام اصلاح شده در آینده است.

## ۲. مواد و روش‌ها

در راستای انجام پژوهش با عنوان اثر مصرف نانوکودهای پتاسیم و کلسیم بر محتوای اینولین در ارقام گیاه چیکوری (*Cichorium intybus* L.)، آزمایشی به‌صورت 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. برای این کار، در ابتدا زمین از نظر وضعیت ظاهری رنگ، شیب، فرسایش و

یا خصوصیات ذاتی مانند بافت و سابقه کشت قبلی بررسی و اقدام به نمونه‌برداری شد. نمونه‌برداری در زمانی انجام شد که رطوبت زمین در حد گاورو بود. از آنجایی‌که عمق نمونه برداری بر حسب شرایط، نوع و مرحله رشد گیاه (عمق توسعه ریشه) متغیر بوده و باتوجه به این‌که گیاه چیکوری دارای سیستم ریشه‌ای عمیق (۰,۵ تا ۱ متر) است (Tavakoli Saberi, 2013)، نمونه‌برداری در عمق صفر تا ۶۰ سانتی‌متر انجام شد.

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

| Place | Soil texture | Clay (%) | Silt (%) | Sand (%) | Absorbable calcium ($mg.kg^{-1}$) | Absorbable potassium ($mg.kg^{-1}$) | Absorbable phosphorus ($mg.kg^{-1}$) | Total nitroge (%) | Organic carbon (%) | pH | EC ($dS.m^{-1}$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Rice Research Institute of Iran | Silty clay | 50 | 38 | 12 | 6.9 | 192 | 28 | 0.089 | 1 | 6.08 | 0.39 |

زمین محل اجرای آزمایش در سال قبل از اجرای پژوهش به صورت آیش (نکاشت) بود. برای اجرای آزمایش در اواخر بهمن سال ۱۳۹۵ ابتدا زمین موردنظر که حدود ۲۰۰۰ مترمربع بود، در اسفند ۱۳۹۵ با استفاده از گاوآهن و شخم حداقل تا عمق ۱۵-۱۰ سانتی‌متر شخم و سپس برای از بین بردن کلوخه های خاک دو بار دیسک عمود بر هم زده 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 به‌میزان 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. پس از آن دور تا دور زمین زهکش‌هایی به عمق ۴۰-۳۰ سانتی‌متر و به عرض ۳۰-۲۵ سانتی‌متر احداث و باتوجه 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 (توده بومی شمال ایران، توده بومی کاشان، توده بومی ارومیه، توده بومی سیستان و بلوچستان، رقم خارجی تیلدا، رقم خارجی هیکور، رقم خارجی اورکیس، رقم اصلاح شده مجارستان) و فاکتور دوم مصرف نانوکودها (نانوکلات‌پتاسیم با غلظت دو در هزار، نانوکلات‌میکروکامل با غلظت دو در هزار، نانوکلات کلسیم با غلظت دو در هزار به همراه یک تیمار شاهد صفر) بودند. بذرهای ارقام گیاه چیکوری از شرکت پاکان بذر اصفهان، شرکت کشاورزی دشتیار اصفهان، پژوهشکده گیاهان دارویی جهاد دانشگاهی و توده‌های بومی جمع‌آوری شده از سراسر کشور تهیه شدند. جهت اطمینان از مرغوب بودن بذرها، آزمون مربوط به سنجش قوه نامیه بذرهای گیاه چیکوری بر اساس مقررات انجمن بین‌المللی آزمون بذر (ISTA) در اسفند ماه در آزمایشگاه زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه گیلان انجام شد. قوه نامیه بذرهای ارقام چیکوری بیش از ۹۸ درصد به‌دست آمد. کاشت بذرها در اواخر اسفند و اوایل فروردین به‌صورت دستی و در هر کپه دو تا سه بذر در عمق ۴-۲ سانتی‌متری و به میزان ۸-۵ کیلوگرم در هکتار صورت گرفت. بلافاصله پس از کشت بذرها، اولین آبیاری انجام شد و دومین آبیاری سه روز بعد و آبیاری‌های بعدی براساس نیاز گیاه، دما و شرایط جوی انجام گردید. در طی رشد گیاه در طول فصل زراعی سرکشی مداوم روزانه جهت بررسی وضعیت مزرعه به منظور ثبت صفات فنولوژیک و تنظیم زمان محلول‌پاشی صورت گرفته و تصویربرداری می‌شد. محلول‌پاشی نانوکودها در هنگام غروب با استفاده از سم‌پاش موتوری پشتی (مدل f-768 سازنده کشور ژاپن با برند میتسوبیشی) با فشار ۰/۲ بار و با نازل نوع معمولی تلسکوپی، به‌ترتیب 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 نانوکودکلات‌پتاسیم داشتن بنیان کمپلکس و ۲۷ درصد پتاسیم کلات شده است. نانوکودکلات‌میکروکامل 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 به‌دلیل آرایش فضایی منظم ابداعی، بهترین مولکولی است که می‌تواند در ابعاد نانومتری همه این عناصر ریزمغذی را در اختیار گیاه قرار دهد. نانوکودکلات‌کلسیم حاوی ۷ درصد کلسیم کلات شده است. این نانوکمپلکس 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. باتوجه 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 از جمله میزان و عملکرد اینولین، ارتفاع گیاه، تعداد گل‌آذین، تعداد دانه در گل‌آذین، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و عملکرد ریشه در انتهای فصل رشد و پس از برداشت محصول در تیمارهای مختلف محلول‌پاشی کودهای نانو انجام شد. عملکرد اینولین از حاصل ضرب میزان اینولین در عملکرد ریشه به‌دست آمد. جهت سنجش تعداد گل‌آذین، وزن تر اندام‌های هوایی (برگ، ساقه و گل) و وزن تر ریشه، از هر کرت پنج بوته در خارج از فضای عملکرد انتخاب و با استفاده از خط‌کش چوبی برحسب سانتی متر اندازه‌گیری شدند.

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 نمونه های منجمد پس از رفع انجماد به‌منظور 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 مخلوط‌کن 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 ۱۲-۱۰ رسانده شد. عصاره به‌مدت نیم ساعت در دمای ۶۰-۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت و رسوب حاصل جدا گردید. سپس pH عصاره با محلول اسیدفسفریک ۱۰ درصد به ۹-۸ رسانده شد و به‌مدت 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 به‌دست آمده با استفاده از دستگاه تغلیظ تحت‌خلأ 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 به‌مدت ۲ روز در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و بعد از آن الکل جدا گردید. برای خشک شدن، رسوب به‌مدت ٤ روز در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. رسوب خشک شده در پایان آسیاب گردید و وزن نهایی آن نسبت به غده‌های اولیه به دست آمد (Paseephol *et al.*, 2007). جهت تجزیه و تحلیل آماری پس از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها از نرم‌افزارهای SAS نسخه ۹/۱ و MSTAT-C استفاده گردید. در صورت معنی‌دار بودن اختلافات در هر صفت، مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون توکی انجام گرفت.

## ۳. نتایج و بحث

### ۳-۱. ارتفاع بوته

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که بین ژنوتیپ های گیاه دارویی چیکوری، تیمارهای محلول‌پاشی نانوکودها و اثر متقابل ژنوتیپ‌ها × مواد محلول‌پاشی از نظر صفت ارتفاع بوته تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود داشت (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل ژنوتیپ‌ها × مواد محلول‌پاشی نشان داد که ارقام چیکوری با مصرف نانوکودها نسبت به شاهد میانگین ارتفاع بیش‌تری داشتند. رقم تیلدا با مصرف کود نانوکلات‌کلسیم با میانگین ۱۲۷/۷سانتی‌متر نسبت به شاهد (۱۰۵/۷ سانتی‌متر) ارتفاع بیشتری داشت. توده بومی شمال ایران و توده بومی سیستان و بلوچستان بدون مصرف نانوکودها به‌ترتیب با میانگین‌های (۹۲ و ۸۹ سانتی‌متر) کم‌ترین ارتفاع بوته را به خود اختصاص دادند (جدول ۳). به‌نظر می رسد محلول‌پاشی نانوکودها در گیاه باعث افزایش ارتفاع بوته شد که این موضوع را می‌توان به افزایش طول سلول‌های گیاهی و افزایش طول ساقه نسبت داد. باتوجه به قطر نانو

ذرات انتظار می‌رود سرعت جذب، انتقال و تجمع نانو ذرات بسیار بیشتر از ذرات معمول باشد. بالابودن کارایی جذب و سطح مخصوص نانوذرات در مقایسه با ذرات معمول، اثرگذاری بیشتر این ذرات را می‌تواند توجیه کند (Pandey *et al.*, 2010). از نظر فیزیولوژی، افزایش رشد به این دلیل است که نانوکودها باعث افزایش سطح دسترسی گیاه و از طرفی افزایش جذب برخی مواد غذایی که در رشد مؤثر است، می شود. افزایش کلسیم و عناصر دیگر باعث افزایش میزان کلروفیل و فتوسنتز گیاه شده و از این طریق رشد را افزایش می‌دهد (Prasad *et al.*, 2012). در آزمایش حاضر به‌نظر می رسد که مصرف نانوکودها تأثیر سودمند و مفیدی بر روی ارتفاع بوته داشته است و موجب رشد بیشتر گیاه، توسعه پوشش گیاهی و در نتیجه افزایش طول ساقه گردید. یکی از نتایج افزایش طول ساقه نیز، تشکیل برگ‌های جدید در بالای پوشش گیاهی است. این خصوصیت، کارآمدترین برگ‌ها را در بهترین موقعیت از نظر فتوسنتز قرار داده و در نهایت افزایش ارتفاع بوته را موجب خواهد شد (Chohura *et al.*, 2007).

### ۳-۲. تعداد گل‌آذین در بوته

عملکرد دانه در گیاه دارویی چیکوری تحت‌تأثیر تعداد گل آذین در بوته قرار می‌گیرد. گل‌آذین‌ها از یک طرف در برگیرنده تعداد دانه‌ها بوده و از طرف دیگر تأمین‌کننده مواد فتوسنتزی موردنیاز دانه‌ها و تعیین‌کننده وزن آن‌ها هستند. نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که بین ژنوتیپ‌ها، مواد محلول‌پاشی و اثر متقابل ژنوتیپ‌ها × مواد محلول‌پاشی از نظر صفت تعداد گل‌آذین در بوته اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود داشت (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که ژنوتیپ‌های تیلدا، هیکور و اصلاح شده و مصرف نانوکلات‌کلسیم به‌ترتیب با میانگین‌های ۲۳۱/۷، ۲۱ و ۲۱۶ بیش‌ترین تعداد گل‌آذین را نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها داشتند (جدول ۳). محلول‌پاشی نانوکلات‌کلسیم نسبت به سایر تیمارها باعث افزایش تعداد گل‌آذین در واحد سطح گردید، زیرا به‌دلیل وجود رقابت بین‌بوته‌ای، عدم محلول‌پاشی عناصر غذایی سبب افزایش درصد ریزش گل‌ها در حین تلقیح با پس از آن و کوتاه شدن مرحله گل‌دهی خواهد شد. بنابراین افزایش سطح سبز گیاهی و تعداد شاخه‌های فرعی در گیاه منجر به افزایش تولید مواد فتوسنتزی و تولید گل‌آذین در گیاه در واحد سطح می‌شود (Torabian & Zahedi, 2013). نتایج این آزمایش نشان داد که محلول‌پاشی نانوکلات‌کلسیم اثر مثبت بر روی تعداد گل‌آذین در بوته داشت. افزایش عملکرد دانه با محلول‌پاشی نانوکلات‌کلسیم به‌دلیل کاهش میزان حذف فیزیولوژیکی گل‌ها و گل‌آذین، افزایش سطح سبز گیاهی و وزن هزار دانه می‌باشد.

### ۳-۳. تعداد دانه در گل‌آذین

تعداد دانه در گل‌آذین یکی از اجزای مهم عملکرد گیاه دارویی چیکوری محسوب می‌شود. از آن‌جایی‌که دانه‌ها محل ذخیره مواد تولید شده هستند، به‌نظر می‌رسد که هر چه تعداد دانه در گل‌آذین بیشتر باشد، مخزن بزرگتری برای ذخیره مواد به‌وجود می‌آید. افزایش تعداد دانه در گل‌آذین یک عامل کلیدی در افزایش عملکرد ژنوتیپ‌های چیکوری به‌شمار می‌رود که با افزایش وزن خشک گیاه افزایش پیدا می‌کند. نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها حاکی از آن داشت که بین تیمارهای آزمایشی (ژنوتیپ‌ها و نانوکودها) از نظر صفت تعداد دانه در گل‌آذین اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود داشت. اثر متقابل تیمارهای آزمایشی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل داده ها نشان داد که رقم تیلدا ومصرف نانوکلات‌کلسیم با میانگین تعداد ۱۴/۳ نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها، تعداد دانه در گل‌آذین بیشتری داشت (جدول ۳). ژنوتیپ‌های هیکور و اصلاح شده و مصرف نانوکلات‌کلسیم هر کدام با تعداد ۱۲/۳ دانه در گل آذین در رتبه بعدی قرار داشتند (جدول ۳). اکثر محققان گزارش نموده‌اند که تعداد دانه در گل‌آذین بیشتر درکنترل عوامل ژنتیکی بوده و شرایط محیطی کم‌تر آن را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. با این‌حال به‌نظر می‌رسد که در صورت فراهم بودن عوامل محیطی مساعد چون شرایط تغذیه مناسب به‌دلیل توسعه سبز پوشش گیاهی و مواد پرورده بیشتر، جذب و انتقال بیشتر مواد فتوسنتزی به گل‌آذین‌ها، تعداد گل‌آذین و تعداد دانه در گل‌آذین افزایش یافته و عملکرد بیشتری تولید می‌شود (Angadi *et al.*, 2003). به‌نظر می‌رسد استفاده از نانوکودها به شکل محلول‌پاشی راهکاری مناسب جهت افزایش رشد و در

نهایت اجزای عملکرد گیاه باتوجه به کاهش آلودگی‌های زیست محیطی باشد (Tavan *et al.*, 2014).

### ۳-٤. وزن هزار دانه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که بین تیمارهای موردآزمایش و اثر متقابل ژنوتیپ‌های چیکوری × مواد محلول‌پاشی از نظر صفت وزن هزار دانه تفاوت معنی داری در سطح احتمال یک درصد وجود داشت (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل نشان داد که ژنوتیپ‌های تیلدا و اصلاح شده با محلول‌پاشی نانوکلات‌کلسیم به‌ترتیب با میانگین های ٤/۳ و ٤/٤٥ گرم نسبت به سایر تیمارها بیش‌ترین وزن هزار دانه را داشتند (جدول ۳). باتوجه به تأثیر معنی‌دار محلول پاشی بر وزن هزار دانه و ژنتیکی بودن این صفت این‌گونه می توان گفت که محلول‌پاشی نانوکلات‌کلسیم احتمالاً به‌دلیل افزایش تولید ماده خشک و کاهش محدودیت مبدأ در طول مرحله مریستمی آندوسپرم و هم‌چنین طولانی شدن دوره پر شدن دانه موجب افزایش وزن دانه شده است (Chohura *et al.*, 2007). باتوجه به این‌که وزن هزار دانه یک صفت ژنتیکی است، با این‌حال به‌نظر می‌رسد در صورت تغذیه مناسب به دلیل پوشش گیاهی مناسب و توسعه سطح سبز گیاه، قابلیت انجام فتوسنتز و ذخیره مواد فتوسنتزی در دانه افزایش یافته و دانه‌های سنگین‌تری تولید می‌شود (Angadi *et al.*, 2003). عدم وجود تغذیه کافی در مراحل پس از گرده‌افشانی و در طول گل‌دهی و محدودیت منبع که به‌دلیل شکاف و فاصله بین فتوسنتز برگ و گل‌آذین‌ها ایجاد می‌شود، می‌تواند نمو بذرها را کاهش دهد و باعث عدم تکامل آن‌ها شده و در نهایت وزن آن ها را کاهش می‌دهد (Briat *et al.*, 2007). بنابراین به‌نظر می رسد که کمتر بودن وزن هزار دانه در تیمار شاهد به‌علت ضعیف بودن گیاه و نداشتن رشد کافی جهت ساخت و انتقال مواد غذایی به دانه‌هاست. در واقع محلول‌پاشی نانوکلات‌کلسیم باعث افزایش تعداد شاخه‌های فرعی و تعداد گل‌آذین و در نهایت افزایش وزن هزار دانه می‌شود. در چیکوری نیز مانند اکثر گیاهان دارویی بین اجزای عملکرد روابط معکوسی مشاهده شد به‌طوری‌که با تغییرات اجزای عملکرد نمی‌توان میزان محصول را از یک حد نهایی بالاتر برد. به‌نظر می‌رسد که دلیل بالاتر بودن وزن هزار دانه در تیمار محلول‌پاشی نانوکلات کلسیم بالا بودن تعداد گل‌آذین در بوته و تعداد دانه در گل آذین باشد. زیرا قابلیت دسترسی به مواد فتوسنتزی برای دانه‌ها افزایش یافته و در نتیجه میانگین وزن هزار دانه نیز زیاد می گردد (Chohura *et al.*, 2007).

Table 2: Variance analysis of chicory plant traits in experimental treatments

| S.O.V | df | Plant height | Inflorescences. plant$^{-1}$ | Grain. Inflorescence$^{-1}$ | 1000- grain weight | Grain yield | Inulin content | Inulin yield | Root yield | Biological yield |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| R (block) | 2 | 205.6$^{**}$ | 125.8$^{ns}$ | 3.8$^{**}$ | 0.009$^{ns}$ | 24287$^{**}$ | 0.11$^{ns}$ | 0.9$^{ns}$ | 7729.7$^{ns}$ | 155960.1$^{ns}$ |
| Genotypes | 7 | 185.1$^{**}$ | 15554$^{**}$ | 53.9$^{**}$ | 5.58$^{**}$ | 947784$^{**}$ | 27.5$^{**}$ | 91157$^{**}$ | 2720486$^{**}$ | 3495424$^{**}$ |
| Spraying treatments | 3 | 3244.7$^{**}$ | 13859.5$^{**}$ | 72.7$^{**}$ | 0.79$^{**}$ | 153563.5$^{**}$ | 24$^{**}$ | 197419$^{**}$ | 9248550$^{**}$ | 15997537$^{**}$ |
| Genotypes × spraying treatments | 21 | 271.3$^{**}$ | 1643.6$^{**}$ | 1.6$^{*}$ | 0.08$^{**}$ | 9857.7$^{**}$ | 0.86$^{**}$ | 4269.3$^{**}$ | 146631.2$^{**}$ | 519775$^{*}$ |
| Error | 62 | 32 | 124.9 | 0.77 | 0.01 | 2635.4 | 0.04 | 148.6 | 8524.2 | 254110.5 |
| CV (%) | - | 4.9 | 7.4 | 10.6 | 3.7 | 6.03 | 2.34 | 4.7 | 3.44 | 10.10 |

ns: Not significant *and :** Significant at 5% and 1% probability levels, respectively

### ۳-۵. عملکرد دانه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که بین ژنوتیپ های گیاه چیکوری، مواد محلول‌پاشی و اثر متقابل ژنوتیپ‌های چیکوری × تیمارهای محلول‌پاشی از نظر عملکرد دانه تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود داشت (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل نشان داد که رقم تیلدا با مصرف نانوکلات‌کلسیم با میانگین ١٤٦٢ کیلوگرم در هکتار بیش‌ترین و اکوتیپ بومی سیستان و بلوچستان و تیمار شاهد با میانگین ٤٦١ کیلوگرم در هکتار کمترین عملکرد دانه را داشتند (جدول ۳). محلول‌پاشی نانوکلات‌کلسیم باعث افزایش رشد رویشی و

زایشی و در نتیجه باعث بقای تعداد بیشتری از گل‌های بارور شده که این موضوع باعث افزایش عملکرد دانه در این تیمار گردید (Pedersen & Lauer, 2004). این موضوع مؤید واکنش پذیری مطلوب چیکوری نسبت به مصرف نانوکلات‌کلسیم می‌باشد. معنی‌دار شدن اثر متقابل ژنوتیپ‌های چیکوری × مواد محلول‌پاشی نشان داد که مواد محلول‌پاشی مستقل از ژنوتیپ‌ها گیاه دارویی عمل نکرده و تفاوت بین ژنوتیپ‌ها و مواد مورداستفاده در این آزمایش یکسان نبود (جدول ۳).

محلول‌پاشی نانوکلات‌کلسیم در رقم تیلدا باعث می‌شود علاوه بر در اختیار قرار دادن سریع مواد غذایی به گیاه، منجر به تحریک گیاه در جهت افزایش ارتفاع و از طریق افزایش سطح فتوسنتزی، تولید مواد پرورده و کاهش میزان حذف فیزیولوژیکی گل‌ها باعث می‌شود که تعداد بیش‌تری از گل‌ها به دانه تبدیل شوند (Prasad *et al.*, 2012). نتایج آزمایش حاضر نشـان می‌دهد که برای به‌دست آوردن حداکـثر عملکرد دانه مـی‌توان با محلول‌پاشی نانوکلات‌کلسیم در زمان‌های انتهایی رشد گیاه (زمان پایان گل‌دهی) بدون ایجاد خوابیدگی، نیازهای غذایی گل‌آذین را بهتر تأمین کرد و در نتیجه تعداد دانه و درصد باروری دانه‌ها را افزایش داد. باتوجه به کم بودن کلسیم قابل جذب (جدول ۱) در خاک‌های با بافت سنگین، فشرده بودن خاک و عدم تبادلات گازی باعث می‌شود گاز دی اکسیدکربن محبوس شده و با کربنات‌های خاک تشکیل بی‌کربنات داده و رسوب کلسیم باعث عدم جذب این عنصر ضروری می‌شود. از آن‌جایی‌که کلسیم یک یون با دوبار مثبت است، در خاک به سطح ذرات رس و ذرات آلی که بار منفی دارند، جذب می‌شود. سمیت این عنصر به ندرت در گیاه رخ می‌دهد. شرایطی که ممکن است باعث کمبود کلسیم در گیاه شود رطوبت بالای محیط، دمای پایین که باعث کاهش تبخیر و تعرق از سطح گیاه می‌شود، تجمع شوری و عوامل مؤثر بر قابلیت جذب کلسیم در خاک، مقدار کل قابل تبادل در خاک، درجه اشباع رس و کلوئیدهای دیگر از این کاتیون، نوع کلوئید یا رس خاک، نوع کاتیون‌های همراه است. محلول‌پاشی نانوکلات‌کلسیم در طی رشد گیاه، تحریک توسعه سطح برگ و ظرفیت فتوسنتزی را به دنبال خواهد داشت، که افزایش سطوح فتوسنتزی در اثر محلول‌پاشی نانوکلات‌کلسیم در مراحل رشد زایشی از عوامل مؤثر افزایش عملکرد به شمار می‌رود. بنابراین تقسیط عناصر غذایی و محلول‌پاشی آن‌ها در زمان انتهایی رشد گیاه باعث فراهمی مواد غذایی در خاک و گیاه به مقدار کافی خواهد گردید و گیاه در مراحل حساس رشد خود با کمبود عناصر غذایی مواجه نخواهد شد (Pandey *et al.*, 2010). گزارش شده است که هر چه تعداد دانه در گل‌آذین بیشتر باشد، مخزن بزرگتری برای مواد متابولیکی تولید می‌شود و هر عاملی که باعث افزایش این پارامتر شود منجر به افزایش عملکرد دانه خواهد شد (Chohura *et al.*, 2007).

Table 3: Comparison of the mean interaction effect of chicory genotypes and spraying agents of chicory plant traits

| Genotypes | Spraying treatments | Plant height (cm) | Inflorescences. plant$^{-1}$ | Grain. Inflorescence$^{-1}$ | 1000- grain weight (g) | Grain yield (kg.ha$^{-1}$) | Inulin content (%) | Inulin yield (kg.ha$^{-1}$) | Root yield (kg.ha$^{-1}$) | Biological yield (kg.ha$^{-1}$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Indigenous landrace of northern Iran | nano-K chelate | 118.7$^{abc}$ | 125$^{ef}$ | 7.6$^{ijkl}$ | 2.55$^{mn}$ | 704.3$^{j}$ | 7.43$^{ijk}$ | 159.2$^{no}$ | 2141$^{lmn}$ | 5528$^{bcdefg}$ |
| | nano- Full micro chelate | 117$^{bcd}$ | 122$^{ef}$ | 6$^{mnop}$ | 2.65$^{lm}$ | 643$^{jkl}$ | 8.16$^{h}$ | 162.8$^{mno}$ | 1993$^{n}$ | 4915$^{ghij}$ |
| | nano-Ca chelate | 119.7$^{abc}$ | 130.7$^{e}$ | 7.6$^{ijkl}$ | 2.72$^{kl}$ | 717.7$^{j}$ | 8.66$^{g}$ | 240$^{h}$ | 2769$^{h}$ | 5645$^{bcdefg}$ |
| | control treatment | 92$^{f}$ | 114.7$^{ef}$ | 4.33$^{q}$ | 2.36$^{o}$ | 538.7$^{mno}$ | 7.06$^{l}$ | 114.7$^{p}$ | 1623$^{o}$ | 3188$^{mn}$ |
| Kashan | nano-K chelate | 120.3$^{abc}$ | 123$^{ef}$ | 6.6$^{klmn}$ | 2.88$^{jk}$ | 612$^{klm}$ | 7.6$^{i}$ | 174.8$^{lmn}$ | 2299$^{jk}$ | 5139$^{defghi}$ |
| | nano- Full micro chelate | 117$^{bcd}$ | 115.3$^{ef}$ | 6.33$^{lmno}$ | 2.82$^{jk}$ | 584.3$^{klmn}$ | 7.33$^{ijkl}$ | 165.6$^{mno}$ | 2257$^{jkl}$ | 4994$^{fghi}$ |
| | nano-Ca chelate | 120.7$^{abc}$ | 131$^{e}$ | 8$^{hijk}$ | 2.88$^{jk}$ | 615.3$^{klm}$ | 8.63$^{g}$ | 217.5$^{ij}$ | 2520$^{i}$ | 5169$^{defghi}$ |
| | control treatment | 89.67$^{f}$ | 114.7$^{ef}$ | 4.6$^{pq}$ | 2.42$^{no}$ | 558$^{lmn}$ | 7.13$^{kl}$ | 112.1$^{p}$ | 1571$^{o}$ | 2947$^{n}$ |
| Urmia | nano-K chelate | 118.3$^{abc}$ | 115$^{ef}$ | 7.3$^{jklm}$ | 2.87$^{jk}$ | 605$^{klm}$ | 7.6$^{i}$ | 210.6$^{ij}$ | 2772$^{h}$ | 5210$^{defghi}$ |
| | nano- Full micro chelate | 117$^{bcd}$ | 113.7$^{ef}$ | 5.6$^{nopq}$ | 2.77$^{jkl}$ | 600.7$^{klm}$ | 7.30$^{ijkl}$ | 152.4$^{o}$ | 2087$^{mn}$ | 4991$^{fghi}$ |
| | nano-Ca chelate | 119$^{abc}$ | 119.7$^{ef}$ | 8$^{hijk}$ | 2.94$^{j}$ | 657$^{jk}$ | 9.23$^{f}$ | 288.1$^{g}$ | 3120$^{fg}$ | 5138$^{defghi}$ |
| | control treatment | 90.33$^{f}$ | 111$^{f}$ | 4.3$^{q}$ | 2.65$^{lm}$ | 512.7$^{no}$ | 7.20$^{kl}$ | 109.9$^{p}$ | 1525$^{op}$ | 3767$^{lmn}$ |
| Sistan and Baluchestan | nano-K chelate | 118.3$^{abc}$ | 83$^{g}$ | 6.3$^{lmno}$ | 2.85$^{jk}$ | 587$^{klmn}$ | 7.56$^{ij}$ | 207.8$^{jk}$ | 2746$^{h}$ | 4873$^{ghijk}$ |
| | nano- Full micro chelate | 115.7$^{cd}$ | 113.3$^{ef}$ | 6$^{mnop}$ | 2.83$^{jk}$ | 552.7$^{mn}$ | 7.30$^{ijkl}$ | 181$^{lm}$ | 2479$^{i}$ | 4724$^{hijk}$ |
| | nano-Ca chelate | 120.3$^{abc}$ | 116$^{ef}$ | 7.33$^{jklm}$ | 2.87$^{jk}$ | 599.7$^{klm}$ | 9.53$^{ef}$ | 290.7$^{g}$ | 3049$^{g}$ | 4929$^{ghij}$ |
| | control treatment | 89$^{f}$ | 112.3$^{ef}$ | 5$^{opq}$ | 2.52$^{mno}$ | 461$^{o}$ | 7.23$^{jkl}$ | 100.4$^{p}$ | 1388$^{p}$ | 3078$^{mn}$ |

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

Table 3 Continued: Comparison of the mean interaction effect of chicory genotypes and spraying agents of chicory plant traits

| Genotypes | Spraying treatments | Plant height (cm) | Inflorescences. plant$^{-1}$ | Grain. Inflorescence$^{-1}$ | 1000- grain weight (g) | Grain yield (kg.ha$^{-1}$) | Inulin content (%) | Inulin yield (kg.ha$^{-1}$) | Root yield (kg.ha$^{-1}$) | Biological yield (kg.ha$^{-1}$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Tilda | nano-K chelate | 124.7$^{abc}$ | 205$^{bcd}$ | 12.33$^{b}$ | 4.18$^{bc}$ | 1252$^{bc}$ | 11.57$^{c}$ | 427.7$^{jk}$ | 3699$^{bc}$ | 6064$^{bc}$ |
| | nano- Full micro chelate | 122.3$^{abc}$ | 195.3$^{d}$ | 9.6$^{efg}$ | 4.06$^{cde}$ | 1172$^{cd}$ | 10.80$^{d}$ | 331.4$^{f}$ | 3067$^{g}$ | 5853$^{bcde}$ |
| | nano-Ca chelate | 127.7$^{a}$ | 231.7$^{a}$ | 14.3$^{a}$ | 4.6$^{a}$ | 1462$^{a}$ | 13.60$^{a}$ | 559.7$^{a}$ | 4114$^{a}$ | 7151$^{a}$ |
| | control treatment | 105.7$^{e}$ | 118$^{ef}$ | 7.3$^{jklm}$ | 3.8$^{fg}$ | 994.7$^{ghi}$ | 9.46$^{ef}$ | 228.2$^{hi}$ | 2409$^{ij}$ | 5128$^{defghi}$ |
| Hickory | nano-K chelate | 122$^{abc}$ | 199.3$^{cd}$ | 10.6$^{cde}$ | 4.12$^{bcd}$ | 1051$^{efg}$ | 10.60$^{d}$ | 378.1$^{e}$ | 3567$^{cde}$ | 5355$^{bcdefgh}$ |
| | nano- Full micro chelate | 121.3$^{abc}$ | 193.7$^{d}$ | 8.6$^{ghij}$ | 4.07$^{cde}$ | 949.7$^{hi}$ | 9.53$^{ef}$ | 325.9$^{f}$ | 3419$^{e}$ | 5298$^{bcdefgh}$ |
| | nano-Ca chelate | 125.3$^{ab}$ | 221$^{ab}$ | 12.3$^{b}$ | 4.24$^{b}$ | 1054$^{efg}$ | 12.57$^{b}$ | 481.3$^{b}$ | 3831$^{b}$ | 6094$^{b}$ |
| | control treatment | 103$^{e}$ | 116.3$^{ef}$ | 8$^{hijk}$ | 4.01$^{de}$ | 909$^{i}$ | 8.50$^{gh}$ | 187$^{l}$ | 2200$^{klm}$ | 4385$^{ijkl}$ |
| Orkis | nano-K chelate | 121$^{abc}$ | 193$^{d}$ | 10.3$^{def}$ | 3.91$^{ef}$ | 1064$^{efg}$ | 10.53$^{d}$ | 340.9$^{f}$ | 3236$^{f}$ | 3799$^{lm}$ |
| | nano- Full micro chelate | 120$^{abc}$ | 190.7$^{d}$ | 8.6$^{ghij}$ | 3.66$^{gh}$ | 992$^{ghi}$ | 9.53$^{ef}$ | 294.1$^{g}$ | 3084$^{fg}$ | 5063$^{efghi}$ |
| | nano-Ca chelate | 124.3$^{abc}$ | 206$^{bcd}$ | 12$^{bc}$ | 3.93$^{ef}$ | 1119$^{de}$ | 12.23$^{b}$ | 448.3$^{c}$ | 3665$^{cd}$ | 5818$^{bcdef}$ |
| | control treatment | 103.3e | 115.7$^{ef}$ | 7.3$^{jklm}$ | 3.51$^{hi}$ | 1002$^{fg}$ | 9.40$^{ef}$ | 187.3$^{l}$ | 1992$^{n}$ | 4052$^{kl}$ |
| Modified Hungarian cultivar | nano-K chelate | 122$^{abc}$ | 205$^{bcd}$ | 11.3$^{bcd}$ | 3.70$^{g}$ | 1217$^{b}$ | 10.47$^{d}$ | 327.7$^{f}$ | 3130$^{fg}$ | 5925$^{bcd}$ |
| | nano- Full micro chelate | 122$^{abc}$ | 197.7$^{cd}$ | 9$^{fghi}$ | 3.42$^{i}$ | 1083$^{ef}$ | 9.60$^{e}$ | 218.3$^{ij}$ | 2275$^{jkl}$ | 5241$^{cdefgh}$ |
| | nano-Ca chelate | 124$^{abc}$ | 216$^{abc}$ | 12.3$^{b}$ | 4.45$^{a}$ | 1250$^{bc}$ | 12.23$^{b}$ | 433.4$^{cd}$ | 3543$^{de}$ | 6104$^{b}$ |
| | control treatment | 108.7$^{de}$ | 119.3$^{ef}$ | 9.3$^{efgh}$ | 3.91$^{ef}$ | 1054$^{efg}$ | 8.40$^{gh}$ | 188.9$^{kl}$ | 2248$^{kl}$ | 4144$^{jkl}$ |

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

### ۳-٦. میزان و عملکرد اینولین

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که بین ژنوتیپ های چیکوری، مواد محلول‌پاشی و اثر متقابل ژنوتیپ و تیمارهای محلول‌پاشی از نظر صفت میزان و عملکرد اینولین تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود داشت (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل ژنوتیپ × مواد محلول پاشی نشان داد که محلول‌پاشی نانوکلات‌کلسیم در ژنوتیپ تیلدا در مراحل مختلف رشد گیاه، با میانگین ۱۳/٦۰ درصد و میانگین ۵۵۹/۷ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب بیش‌ترین میزان و عملکرد اینولین را داشت. کم‌ترین میزان اینولین در اکوتیپ بومی شمال ایران بدون مصرف نانوکود (۷/۰٦ درصد) به‌دست آمد. اکوتیپ‌های بومی شمال ایران، ارومیه، سیستان و بلوچستان و کاشان بدون مصرف نانوکودها کم‌ترین میزان عملکرد اینولین را به خود اختصاص دادند (جدول ۳). هم چنین ژنوتیپ هیکور با محلول‌پاشی نانوکلات‌کلسیم (با میانگین ٤۸۱/۳ کیلوگرم در هکتار)، در جایگاه دوم بعد از رقم تیلدا قرار گرفت (جدول ۳). به‌نظر می‌رسد که 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. نانو کمپلکس کلات‌کلسیم به‌دلیل طراحی ساختار براساس نانوتکنولوژی، می‌تواند کلسیمی را که در خود جای داده است به‌طور 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، به‌طور کامل در اختیار گیاه قرار بگیرد و باقی مانده‌ای برجا نگذارد (Alinejad & Golli, 2016). باتوجه به این‌که عملکرد اینولین، حاصل‌ضرب میزان اینولین بافت گیاه و عملکرد ریشه می‌باشد، بنابراین به‌علت بالا بودن عملکرد ریشه در تیمار محلول‌پاشی نانوکلات‌کلسیم و ژنوتیپ تیلدا (٤۱۱٤ کیلوگرم در هکتار)، عملکرد اینولین نیز حداکثر مقدار را نسبت به سایر تیمارها نشان داد. به‌نظر می رسد که استفاده از ژنوتیپ‌های تجاری چون تیلدا و هیکور جهت استحصال اینولین باتوجه به عوامل ژنتیکی و عوامل محیطی هم‌چون تابش خورشیدی، تغذیه محیطی موجب می گردد که حداکثر راندمان فتوسنتزی در ژنوتیپ‌های تجاری به دست آید و بیشترین عملکرد ریشه و اینولین را تولید نماید.

به‌طورکلی نتایج حاصل از پژوهش نشان داد که عملکرد اینولین توده‌های بومی ایران باتوجه 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 (۱٤/۹۵ درصد) نیز در ارقام خارجی به‌دست آمد (Froghi Manesh *et al.*, 2013). واریته زراعی چیکوری اگر با مدیریت زراعی مناسب کشت و در زمان مناسب برداشت شود، می‌تواند ۵۰ تا ٦۰ 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. 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. نتایج آزمایش حاضر نشان داد که ژنوتیپ‌ها از لحاظ آماری در صفت میزان اینولین تفاوت معنی‌داری داشتند. 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). باتوجه به خواص تکنولوژیکی و سلامتی بخش 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 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).

### ۳-۷. عملکرد ریشه و بیولوژیک

محصول اقتصادی موردنظر 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. باتوجه 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 ژنوتیپ‌ها، مواد محلول‌پاشی و اثر متقابل ژنوتیپ‌ها × مواد محلول‌پاشی تفاوت معنی‌داری از نظر صفت عملکرد ریشه و عملکرد بیولوژیک گیاه چیکوری در سطح احتمال یک درصد وجود داشت (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل ژنوتیپ‌ها × مواد محلول پاشی نشان‌دهنده آن است که بیش‌ترین عملکرد ریشه در ژنوتیپ تیلدا با مصرف نانوکلات‌کلسیم (٤١١٤ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد. هم‌چنین ژنوتیپ هیکور با مصرف نانوکلات‌کلسیم از نظر صفت عملکرد ریشه در جایگاه دوم قرار گرفت (جدول ۳). محلول‌پاشی نانوکلات‌کلسیم در سه ژنوتیپ تیلدا، اصلاح شده و هیکور به‌ترتیب با میانگین‌های ٧١٥١، ٦١٠٤ و ٦٠٩٤ کیلوگرم در هکتار بیش‌ترین میزان عملکرد بیولوژیک را نسبت به سایر تیمارهای موردآزمایش داشتند (جدول ۳). 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). باتوجه به کم بودن میزان کلسیم قابل جذب در خاک توسط گیاه، به‌نظر می‌رسد محلول‌پاشی نانوکلات‌کلسیم موجب افزایش عملکرد ریشه شد. در خاک‌های با بافت سنگین، فشرده بودن خاک و عدم تبادلات گازی باعث می‌شود گاز دی‌اکسیدکربن محبوس شده و با کربنات‌های خاک تشکیل بی‌کربنات داده و رسوب کلسیم باعث عدم جذب این عنصر ضروری توسط گیاه می‌شود. در واقع نانوکلات‌کلسیم حاوی ۷ درصد کلسیم کلات شده است. افزایش میزان سطح به حجم نانوکمپلکس کلات‌کلسیم که از خواص منحصر به فرد نانومواد است موجب می‌شود همه کلسیمی که در ساختار تعبیه شده است، به‌طور 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. 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).

باتوجه به نتایج آزمایش حاضر به‌نظر می‌رسد که ژنوتیپ های تجاری تیلدا و اصلاح شده با جذب بیشتر مواد غذایی و ذخیره آن در اندام‌های زایشی شده، عملکرد بیولوژیک را به دلیل افزایش وزن خشک بوته، تعداد شاخه‌های جانبی و تعداد گل‌آذین در واحد سطح افزایش می‌دهد. این موضوع نشان دهنده توانایی ژنوتیپ‌های چیکوری در استفاده از شرایط محیطی مناسب جهت تولید بیشتر ماده خشک می‌باشد.گزارش ها نشان داد که مصرف نانوکودها موجب افزایش ۲۱/۵۵ درصدی عملکرد شاخساره و بیولوژیک 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 و در نتیجه کاهش عملکرد بیولوژیک و دانه می‌شود (Saedi *et al.*, 2017). به‌نظر می‌رسد که کاربرد محلول‌پاشی نانوکلات‌کلسیم در مراحل رشد گیاه دارویی چیکوری موجب توسعه سطوح سبز پوشش گیاهی، افزایش فعالیت فتوسنتزی، ارتفاع بیشتر و برخورداری بهتر از تابش خورشیدی در نتیجه رقابت، افزایش تعداد گل‌آذین و افزایش تجمع ماده خشک می

شود که عوامل مؤثری در افزایش عملکرد بیولوژیک می‌باشند (Hong *et al*., 2005Torabian & Zahedi, 2013;).

## ٤. نتیجه‌گیری

باتوجه به آنالیز خاک محل اجرای آزمایش که میزان کلسیم قابل جذب کم‌تر از میزان پتاسیم بود به‌نظر می‌رسد که مصرف نانوکلات‌کلسیم به صورت محلول‌پاشی در گیاه باعث افزایش اجزای عملکرد، عملکرد دانه، میزان و عملکرد اینولین، عملکرد ریشه و عملکرد بیولوژیک شد. باتوجه 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 به‌طور کامل در اختیار گیاه قرار بگیرد. هم‌چنین به‌دلیل دارا بودن مقدار اینولین بالاتر در ژنوتیپ‌های تیلدا و هیکور و مصرف نانوکلات‌کلسیم، به‌عنوان بهترین تیمار از نظر عملکرد اینولین برای چیکوری شناخته شد. نتایج این تحقیق در مجموع حاکی از برتری نسبی میزان 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. باتوجه به ارزش تغذیه‌ای، دارویی و صنعتی اینولین، بومی‌سازی واریته‌های خارجی جهت تجاری‌سازی تولید محصول چیکوری ضروری به‌نظر می‌رسد. باتوجه 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 به‌نظر می‌رسد.

## ٥. منابع


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

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

Angadi, S. V., Cufprth, H. W., Mc Conkey, B. B. & Gan, Y. (2003). Yield adjustment by canola grown at different plant population under semiarid conditions. *Crop Sciences, 43*, 1358-1360. https://doi.org/10.2135/cropsci2003.1358

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

Briat, J. F., Curie, C. & Gaymard, F. (2007). Iron utilization and metabolism in plants. *Current Opinion in Plant Biology,10*, 276-282. https://doi.org/10.1016/j.pbi.2007.04.003

Chohura, P., Kolota, E. & Komosa, A. (2007). The Effect of Different Source of Iron on Nutritional Value of Greenhouse Tomato Fruit Grown in Peat Substrate. *Vegetable Crops Research Bulletin*, *67*(1), 55-61. https://doi.org/10.2478/v10032-007-0030-8

Darjani, P., Hosseini Nezhad, M., Shorideh, H., Abdollahian-Noghabi, M., Kadkhodaee, R., Balandari, A. & 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

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

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), 529-537. (In Persian). https://doi.org/10.22059/ijfcs.2013.35869

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

Franck, A. (2002). Technological functionality of inulin and oligofructose. *British Journal of Nutrition, 87*, 287-291. https://doi.org/10.1079/BJNBJN/2002550

Hong, F., Zhou, J., Liu, C., Yang, F., Wu, C., Zheng, L. & Yang, P. (2005). Effect of nano-$Tio_2$ on photochemical reaction of chloroplasts of spinach. *Biologycal Trace Element Research, 105*, 269-276. https://doi.org/10.1385/BTER:105:1-3:269

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

Pedersen, P. & Lauer, J. G. 2004. Response of soybean yield components to management system and planting date. *Journal of Agronomy*, *96*, 1372–1381. https://doi.org/10.2134/agronj2004.1372

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

Roberfroid, M. B. (2005). Inulin-type fructans: Functional Food Ingredients. New York: CRC Press. https://doi.org/10.1201/9780203504932

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.

Tavan, T., Niakan, M. & Nourinia, A. A. (2014). The effect of nanopotassium fertilizer on growth factors, photosynthetic system and protein content of wheat plant (*Triticum aestivum* L.) variety N8019. *Iranian Journal of Plant Ecophysiology Research*, *9*(3), 61-71. (In Persian). https://doi.org/20.1001.1.76712423.1393.9.35.7.4

Torabian, S. & zahedi, M. (2013). Effects of Foliar Application of Common and Nano-sized of Iron Sulphate on the Growth of Sunflower Cultivars under Salinity. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *44*(1), 109-118. (In Persian). https://doi.org/10.22059/ijfcs.2013.30488

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