



SBSI



انجمن علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران

Effects of Harvest Date on Growth Traits, Root Yield, and Inulin Accumulation in Three Root Chicory (*Cichorium intybus* L.) Cultivars

Mohammad Kafi^{1*}, Nazanin Miri¹, Ali Masoumi², Javad Rezaie²

(Received: 14 March, 2026 ; Accepted: 19 July, 2026)

How to cite this article:

Kafi M, Miri N, Masoumi A, Rezaie J. Effects of Harvest Date on Growth Traits, Root Yield, and Inulin Accumulation in Three Root Chicory (*Cichorium intybus* L.) Cultivars. Journal of sugar beet. 2026; (41)2. 269-284. (In Persian with English abstract). DOI: [10.22092/jsb.2026.372442.1404](https://doi.org/10.22092/jsb.2026.372442.1404).

Extended Abstract

Introduction

Root chicory (*Cichorium intybus* L.), a perennial herbaceous species belonging to the family Asteraceae, is recognized as one of the major natural sources of inulin. Its roots contain storage carbohydrates, including sucrose, glucose, fructose, fructooligosaccharides, and inulin, with an average inulin content of approximately 21% of fresh root weight. Since inulin is the principal economic product of root chicory, extraction conditions, particularly extraction method, temperature, and pH, are critical for maximizing its yield and quality. Root yield and inulin accumulation are influenced by the interaction of genetic, environmental, and management factors, particularly genotype and harvest date. Therefore, this study aimed to compare the growth and yield performance of three root chicory cultivars (Chromite, Orchies, and Selenit) and to evaluate the effects of harvest date and sample preparation methods on growth, physiological traits, root yield, and inulin yield under the climatic conditions of Mashhad, Iran.

Materials and Methods

The experiment was conducted during the 2025 growing season at the Agricultural and Natural Resources Research Center of Khorasan Razavi Province, Mashhad, Iran. A split-plot experiment based on a randomized complete block design with three replications was employed. Three root chicory cultivars (Chromite, Orchies, and Selenit) were assigned to the main plots, while five harvest dates (23 September, 7 October, 23 October, 6 November, 22 November) were allocated to the subplots.

Seeds were sown on May 14 in plots measuring 8 m × 1.5 m with 50 cm row spacing and 15 cm plant spacing within rows. Irrigation was supplied weekly through a drip irrigation system. At each harvest date, plants were sampled from a 0.75 m² area in each experimental plot. Root yield, root length, root diameter, fresh biomass, harvest index, root dry matter percentage, and leaf electrolyte leakage were determined using standard agronomic and physiological procedures. Leaf electrolyte leakage was measured as an indicator of membrane stability during late-season growth.

To evaluate inulin yield, three sample preparation methods were compared, including fresh roots, air-dried roots, and oven-dried roots. Inulin was extracted from all samples using a hot-water extraction procedure (80–85°C), followed by centrifugation and filtration. Inulin concentration was determined using the anthrone–sulfuric acid colorimetric method, and inulin yield was subsequently calculated from root yield.

The experimental data were subjected to analysis of variance (ANOVA) using Minitab software. Treatment means were compared using the least significant difference (LSD) test at the 5% probability level. Pearson correlation analysis and Hierarchical clustering analysis with heatmap visualization were performed in R Studio to investigate the relationships among measured traits and classify variables according to their similarity patterns.

Results and discussion

Harvest date was the major factor influencing root growth, physiological characteristics, and inulin production in root chicory. Root yield increased progressively throughout the growing season, reaching its maximum value (approximately 62–63 t ha⁻¹) at the

1. Agrotechnology Department, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University, Mashhad, Iran.

*Corresponding author: m.kafi@um.ac.ir

2. Sugar Beet Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Mashhad, Iran.



fourth and fifth harvests (6 November, 22 November). Likewise, root dry matter percentage, harvest index, root diameter, and inulin yield increased toward the end of the growing season, indicating continuous assimilate partitioning and carbohydrate accumulation in the storage roots. In contrast, shoot biomass gradually declined during the late harvests, suggesting the translocation of assimilates from shoots to the storage roots accompanied by leaf senescence. These findings are consistent with previous studies reporting that delayed harvesting promotes dry matter accumulation, root development, and inulin production in root chicory. The sample preparation method considerably affected the measured inulin yield. Fresh root samples produced the highest inulin yield, followed by air-dried samples, whereas oven-dried samples consistently resulted in lower values. These findings suggest that drying conditions influence fructan stability during sample preparation and consequently affect the measured inulin yield. Similar observations were reported that oven drying reduced inulin recovery because of partial fructan degradation.

Cultivar effects were not significant for most of the measured traits. However, the interaction between cultivar and harvest date was significant for leaf electrolyte leakage and root length. Electrolyte leakage increased during the late harvests, particularly in the Chromite cultivar, indicating reduced membrane stability under end-of-season environmental conditions. Although delayed harvesting enhanced root yield and inulin accumulation, further delaying harvest may increase physiological stress, particularly in the Chromite cultivar. Similar genotype-dependent responses to harvest date have previously been reported in root chicory.

Pearson correlation analysis revealed strong positive relationships among root yield, harvest index, and inulin yield, confirming that greater assimilate allocation to the storage roots was directly associated with increased inulin production.

Conclusion

The present study demonstrated that harvest date is the principal management factor affecting root yield, root dry matter, harvest index, and inulin production in root chicory under the climatic conditions of Mashhad, Iran.

Harvesting from early to late November maximized root yield and inulin accumulation, with no significant differences between the final two harvest dates. Cultivar effects were not significant for most agronomic traits. However, the interaction between cultivar and harvest date was significant for leaf electrolyte leakage, indicating that cultivars responded differently across harvest dates. Furthermore, the sample preparation method significantly influenced the measured inulin yield, with fresh and air-dried samples producing higher values than oven-dried samples. Therefore, optimizing both harvest date and sample preparation method is essential for maximizing inulin production and obtaining reliable estimates of root and inulin yield. Moreover, because cultivars differed in their physiological responses to harvest date, genotype-specific characteristics should be considered in crop management strategies and future research. Further multi-year and multi-location studies are recommended to validate these findings under different environmental conditions.

Keywords: Chromite Cultivar, Fructan, Orchies Cultivar, Root chicory, Selenit Cultivar

References

- Aly EFA, Khalil SRA. Effect of harvest age on growth, yield and quality of two root chicory varieties (*Cichorium intybus* L.) under Egyptian conditions. *Journal of Plant Production Mansoura University*. 2017; 8(8): 887-893. DOI: <https://doi.org/10.21608/jpp.2017.40887>
- Perović J, Tumbas Šaponjac V, Kojić J, Krulj J, Moreno DA, García-Viguera C, Bodroža-Solarov M, Ilić N. Chicory (*Cichorium intybus* L.) as a food ingredient – nutritional composition, bioactivity, safety, and health claims: A review. *Food Chemistry*. 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127676>
- Pourmoradi SA, Aalami A, Esfahani M. Evaluation of percentage and degree of inulin polymerization and yield in 15 cultivars and accessions of chicory (*Cichorium intybus* L.) in northern plains of Iran. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*. 2020; 36(3): 243-254. Doi: <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2020.342178.2738>

اثر تاریخ برداشت بر صفات رشدی، عملکرد و تجمع اینولین در سه رقم کاسنی ریشه‌ای (*Cichorium intybus* L.)

محمد کافی^۱، نازنین میری^۲، علی معصومی^۳، جواد رضایی^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۲/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۴/۲۸

نوع مقاله: پژوهشی

DOI: 10.22092/jsb.2026.372442.1404

م. کافی، ن. میری، ع. معصومی، ج. رضایی، ۱۴۰۵. اثر تاریخ برداشت بر صفات رشدی، عملکرد و تجمع اینولین در سه رقم کاسنی ریشه‌ای. (*Cichorium intybus* L.). چغندرقد ۴۱(۲): ۲۶۹-۲۸۴

چکیده

کاسنی ریشه‌ای (چیکوری) منبع غنی از اینولین است. با توجه به ارزش اقتصادی بالای اینولین، تعیین ارقام با عملکرد مطلوب و تاریخ برداشت بهینه ضروری است. این پژوهش در مزرعه مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی (دشت مشهد) در سال زراعی ۱۴۰۴، به صورت کرت‌های خردشده بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی، ارقام کرومیت، اورچیز و سلنیت (به عنوان کرت اصلی) و پنج تاریخ برداشت (به عنوان کرت فرعی شامل اول و ۱۵ مهر، اول و ۱۵ آبان، اول آذر) را مورد ارزیابی قرار داد. صفات مورد ارزیابی شامل درصد ماده خشک ریشه، عملکرد اینولین (با در نظر گرفتن روش‌های آماده‌سازی نمونه)، شاخص برداشت، طول ریشه، قطر ریشه، نشأت الکترولیت برگ بود. ماتریس همبستگی بین صفات رسم گردید و به منظور بررسی الگوی شباهت بین تیمارها، از تجزیه خوشه‌ای سلسله‌مراتبی بر پایه فاصله اقلیدسی و روش اتصال کامل استفاده و نتایج در قالب نقشه حرارتی ارائه شد. نتایج حاکی از آن است که درصد ماده خشک ریشه با پیشرفت فصل رشد افزایش یافت، به طوری که بیشترین مقادیر در برداشت‌های چهارم (۱۵ آبان) و پنجم (اول آذر) مشاهده شد و تفاوت آماری معنی‌داری بین این دو زمان برداشت وجود نداشت. عملکرد اینولین نیز روند مشابهی را دنبال کرد. بیشترین عملکرد اینولین در نمونه‌های هواخشک و آون خشک در برداشت پنجم (اول آذر) و در نمونه‌های تر در برداشت چهارم و پنجم (به ترتیب ۱۵ آبان و اول آذر) به دست آمد. شاخص برداشت در برداشت پنجم (۹۲ درصد) به حداکثر مقدار خود رسید، در حالی که طول ریشه الگوهای متفاوتی را نشان داد و بیشترین آن در رقم کرومیت در برداشت ۱۵ آبان بود. نشأت الکترولیت برگ با تأخیر در برداشت افزایش یافت و بیشترین میزان آن در رقم کرومیت در برداشت‌های چهارم و پنجم مشاهده شد. تجزیه خوشه‌ای سلسله‌مراتبی نشان داد که عملکرد ریشه، شاخص برداشت و عملکرد اینولین در یک خوشه قرار گرفتند که بیانگر شباهت الگوی پاسخ این صفات در بین تیمارهای مورد بررسی است. همچنین، همبستگی قوی بین این صفات مشاهده شد که می‌تواند نشان‌دهنده ارتباط نزدیک آن‌ها باشد. در مجموع، نتایج پژوهش نشان داد که تفاوت در تیمارهای مورد بررسی بر عملکرد ریشه، شاخص برداشت و تجمع اینولین تأثیرگذار بوده و بهینه‌سازی این عوامل می‌تواند به افزایش عملکرد و تجمع اینولین کمک کند.

واژه‌های کلیدی: رقم اورچیز، رقم سلنیت، رقم کرومیت، فروکتان، کاسنی ریشه‌ای

مقدمه

۱. استاد گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران

*- نویسنده مسئول: m.kafi@um.ac.ir

۲. دانشجوی دکتری گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران

۳. استادیار بخش تحقیقات چغندرقد، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران

گیاه کاسنی از جنس *Cichorium* و از خانواده Asteraceae، علفی، گل دار، دولپه و در فرم اجدادی چندساله می باشد (Vakili and Hojjatoleslami 2014). گیاه *Cichorium intybus* L. معمولاً با نام کاسنی ریشه‌ای (چیکوری) شناخته می شود (Street et al. 2013). بر اساس مطالعات مختلف انجام گرفته حداقل دما رشد کاسنی ۸ تا ۱۰ درجه سانتی گراد، دمای بهینه ۱۸ تا ۲۴ درجه سانتی گراد و دمای بیشینه که موجب کاهش عملکرد می گردد بیش از ۳۰ درجه سانتی گراد گزارش شده است (Mathieu et al. 2014). کاسنی در خاک های سبک، معمولاً ۱۲۰ تا ۱۳۵ روز پس از کاشت آماده برداشت می شود، در حالی که در خاک های سنگین تر ممکن است این زمان دو هفته بیشتر طول بکشد (Pal Bais and Ravishankar 2001).

کاسنی به دلیل دارا بودن ترکیبات مؤثره و ارزش تغذیه‌ای در اندام های هوایی و زیرزمینی شامل برگ، ساقه و ریشه، به عنوان یکی از گونه های مهم مورد توجه پژوهشگران و نظام های تولید کشاورزی در بسیاری از کشورهای جهان قرار گرفته است. با وجود این، در ایران سابقه کشت ارقام اصلاح شده و جدید کاسنی ریشه‌ای با توان تولید بالای اینولین محدود بوده و از این رو، به منظور مطالعه سازگاری اکولوژیک و بومی سازی این گیاه، بررسی بیش تر و جامع ویژگی های فنولوژیک، خصوصیات رشدی و شاخص های به زراعی آن ضروری به نظر می رسد. گروه های اصلی مواد ذخیره ای تشکیل دهنده ریشه کاسنی ریشه‌ای شامل کربوهیدرات هایی از جمله ساکارز، گلوکز، فروکتوز، فروکتوالیگوساکارید و اینولین است که میانگین محتوای آن ها به ۲۱ درصد وزن تر آن می رسد (Chandra et al. 2016). ریشه کاسنی یکی از منابع طبیعی اصلی اینولین است (Perović et al. 2020). اینولین پلی ساکاریدی طبیعی با فرمول شیمیایی $C_6nH_{10n} + 2O_{5n+1}$ است (Pourmoradi et al. 2020). این پلی ساکارید ذخیره ای محلول در آب، به گروهی از کربوهیدرات های غیرقابل هضم به نام فروکتان ها تعلق دارد (Vakili and Hojjatoleslami 2014). اینولین به دلیل برخورداری از ویژگی های عملکردی نظیر قابلیت جایگزینی چربی و قند، بهبود ساختار و بافت محصولات غذایی و ارتقای

خواص سلامت محور، به عنوان یک ماده کارکردی با ارزش افزوده بالا، به طور گسترده در صنایع غذایی در سطح جهانی مورد استفاده قرار می گیرد (Milani et al. 2010). مطالعات نشان می دهند که شرایط فرآوری و استخراج می تواند بر راندمان و خلوص اینولین استخراج شده از ریشه کاسنی ریشه‌ای تأثیر گذار باشند. از جمله عوامل مهم در این زمینه می توان به روش خشک کردن ریشه و pH محیط استخراج اشاره کرد؛ به طوری که استفاده از دماهای بالا در فرآیند خشک کردن ممکن است موجب کاهش راندمان استخراج اینولین شود؛ از این رو، تنظیم مناسب pH محیط استخراج برای افزایش بازیابی و خلوص این ترکیب حائز اهمیت است. از آنجا که اینولین مهم ترین ترکیب اقتصادی و هدف اصلی تولید کاسنی ریشه‌ای محسوب می شود، توجه به این عوامل برای دستیابی به حداکثر میزان و کیفیت اینولین ضروری به نظر می رسد (Tavakoli Kordelar et al. 2017).

عملکرد کمی و کیفی گیاه کاسنی ریشه‌ای تابع برهم کنش پیچیده ای از عوامل ژنتیکی، محیطی و مدیریتی است. تاریخ کاشت، تاریخ برداشت و ژنوتیپ بر عملکرد ریشه، محتوای اینولین و طول زنجیره های اینولین تأثیر می گذارند. در پاییز کاهش قابل توجهی در میانگین طول زنجیره اینولین مشاهده می شود، زیرا در دمای پایین آنزیم های تجزیه کننده فروکتان بیشترین فعالیت را دارند؛ بنابراین گیاهانی که زود هنگام (در شهریور) برداشت می شوند، غنی از مولکول های اینولین با زنجیره بلندتر هستند (Roustakhiz and Majnabadi 2017). گزارش هایی میانگین زنجیره های کوتاه فروکتان کمتر از ۱۰ واحد و زنجیره های بلند حدود ۶۰ واحد ذکر شده است (Monti et al. 2005). تحقیقات مختلفی گزارش کرده اند که ارقام و توده های مختلف کاسنی ریشه‌ای پتانسیل منحصربه فردی در تولید عملکرد ریشه و عملکرد اینولین در واحد سطح دارند و این پتانسیل به شدت تحت تأثیر شرایط متفاوت محیطی کشت قرار دارد (Pourmoradi et al. 2020). به عنوان نمونه مایر و ماتیسن (Meijer and Mathijssen 1992) بیان کردند که رشد آهسته اولین برگ ها عامل اصلی محدودیت عملکرد است. رشد اولین برگ ها توسط تأمین مواد فتوسنتزی و دمای پایین

محدود می‌شود. این گونه گزارش‌ها به تأثیر ارقام و شرایط محیطی حاکم بر رشد اشاره می‌کند. تراکم بوته و زمان برداشت از عوامل مدیریتی مهم و مؤثر بر کمیت و کیفیت محصول کاسنی ریشه‌ای به شمار می‌روند. تغییر در تراکم کشت می‌تواند بر رشد گیاه، عملکرد ریشه و میزان تجمع ترکیبات ارزشمندی مانند اینولین تأثیرگذار باشد. همچنین واکنش ژنوتیپ‌های مختلف به تراکم بوته و زمان برداشت یکسان نبوده و این امر ضرورت بررسی تراکم مناسب، زمان برداشت و ژنوتیپ‌های مطلوب در هر شرایط محیطی را نشان می‌دهد (Foroughi, Manesh et al. 2013). با توجه به محدود بودن اطلاعات علمی به دلیل کشت محدود و مطالعات کم در خصوص مقایسه ارقام و پتانسیل عملکردی کاسنی ریشه‌ای و تعیین پنجره زمانی برداشت برای آن در شرایط اقلیمی خراسان و با توجه به اینکه کشت این گیاه برای نخستین بار در این منطقه مورد توجه قرار گرفته است، پژوهش حاضر با هدف مقایسه ویژگی‌های رشدی و عملکردی سه رقم کاسنی ریشه‌ای (کرومیت، اورچیز و سلنیت) و اثر تاریخ برداشت بر صفات رشدی، فیزیولوژیک، عملکرد ریشه و عملکرد اینولین در شرایط مختلف آماده‌سازی (آون خشک، هوا خشک و ریشه تر) انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۱۴۰۴ در مزرعه مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، واقع در حاشیه شهر مشهد، استان خراسان رضوی، اجرا شد. محل اجرای آزمایش در طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۳۶ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۲ دقیقه شمالی قرار داشت.

آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. در این طرح، سه رقم کاسنی ریشه‌ای شامل کرومیت (*Chromite*)، اورچیز (*Orchies*) و سلنیت (*Selenit*) به عنوان عامل اصلی و تاریخ برداشت در پنج زمان شامل اول مهر، ۱۵ مهر، اول آبان، ۱۵ آبان و اول آذر به عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شد.

ارقام مورد استفاده در این آزمایش متعلق به شرکت فرانسوی فلوریمند دپره هستند. رقم اورچیز به عنوان یکی از ارقام قدیمی (معرفی شده از دهه ۹۰) و پر کشت جهانی با عملکرد و ماده خشک در حد مناسب مطرح می‌باشد و به عنوان رقم مرجع در بسیاری از آزمایش‌ها استفاده می‌شود. رقم سلنیت نیز به عنوان یک رقم با قدرت استقرار بالا و عملکرد ریشه و ماده خشک بسیار بالا (بیش از شاهد) با مقاومت به ساقه‌روی مطرح است که در کشورهای اصلی تولید کاسنی ریشه‌ای اروپا ثبت شده است. همچنین رقم کرومیت به عنوان یک رقم نسل جدید و دیپلوئید می‌باشد که عملکرد ریشه بالا و ماده خشک بسیار بالایی دارد و به علف‌کش‌های سولفونیل‌اوره متحمل است. به طور کلی رقم اورچیز به عنوان یک رقم پایه و پر کشت جهانی با عملکرد متوسط تا خوب، رقم سلنیت دارای بالاترین عملکرد ریشه و ماده خشک و رقم کرومیت نیز یک رقم نوین و متحمل به علف‌کش و با کیفیت ماده خشک بالا مطرح می‌باشند.

بذور این سه رقم در تاریخ ۲۴ اردیبهشت در کرت‌هایی به طول هشت و عرض یک و نیم متر، با فاصله ردیف‌های کاشت ۵۰ و فاصله بوته‌ها روی ردیف ۱۵ سانتی‌متر، با استفاده از بذرکار آزمایشی چغندر قند کشت شدند. آبیاری به صورت نواری قطره‌ای و یک‌بار در هفته، هر بار به مدت پنج ساعت انجام شد. نتایج آزمون خاک نشان داد که خاک محل اجرای آزمایش دارای بافت سیلتی لوم، pH برابر ۷/۵۹، هدایت الکتریکی ۱/۶۸ دسی‌زیمنس بر متر، ۰/۷۵ درصد کربن آلی، ۹/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم فسفر قابل جذب و ۲۹۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم پتاسیم قابل جذب بود. بر این اساس، ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار سوپر فسفات تریپل به صورت پایه، ۷۵ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار اوره به صورت سرک در دو نوبت مصرف شد. همچنین، کودهای ریزمغذی شامل بور، آهن و روی مطابق توصیه شرکت تولیدکننده استفاده شدند. سایر عملیات مدیریتی شامل کنترل شیمیایی آفات و بیماری‌ها بر اساس بازدیدهای منظم مزرعه و کنترل علف‌های هرز به صورت وجین دستی انجام شد.

محاسبه شاخص‌های رشدی

شده در نظر گرفته شد و با استفاده از رابطه ۳ محاسبه شد. (Abdollahian Neghab et al. 2005).

رابطه ۳

$$HI(\%) = \frac{\text{Economical yield (t. ha}^{-1})}{\text{Biological yield (t. ha}^{-1})} * 100$$

در رابطه ۳، HI (Harvest index) شاخص برداشت، Economical yield عملکرد اقتصادی و Biological yield عملکرد بیولوژیک را نشان می‌دهد. مجموع وزن تر اندام هوایی و ریشه به‌عنوان زیست‌توده در واحد سطح در نظر گرفته شد.

صفات فیزیولوژیک

به‌منظور تعیین آسیب احتمالی به غشای سلولی ناشی از فرایندهای پیری در انتهای فصل رشد همراه تنش‌های سرمایی، نشت الکترولیت برگ با استفاده از دستگاه هدایت‌سنج (مدل ۴۵۱۰ ساخت شرکت Jenway، انگلستان) اندازه‌گیری شد. برای این منظور مقداری از برگ بالغ کاملاً تکامل‌یافته در لوله فالكون قرار داده شد و به آن ۱۵ میلی‌لیتر آب مقطر دیونیزه اضافه گردید و به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق قرار گرفت و سپس مقدار نشت اولیه قرائت شد. در مرحله بعد نمونه‌ها به اتوکلاو با دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد و فشار یک اتمسفر به‌مدت ۲۰ دقیقه منتقل گردید و سپس میزان نشت ثانویه اندازه‌گیری شد. درصد نشت الکترولیت برگ با استفاده از رابطه ۴ محاسبه شد (Ghoulam et al. 2002).

رابطه ۴

$$EC - L (\%) = \left(\frac{EC - L1}{EC - L2} \right) * 100$$

در رابطه ۴، EC-L1 و EC-L2 نشت الکترولیت برگ ۱ (اولیه) و ۲ (ثانویه) را نشان می‌دهد.

صفات بیوشیمیایی

به‌منظور بررسی عملکرد اینولین ریشه کاسنی ریشه‌ای، روش‌های مختلف آماده‌سازی نمونه مدنظر قرار گرفت. علت در نظر گرفتن شرایط مختلف آماده‌سازی نمونه بررسی تأثیر شرایط

برای اندازه‌گیری شاخص‌های رشد، در هر تاریخ برداشت و در مجموع پنج بار در طول فصل رشد، هر بار از هر کرت مربوط به هر رقم از سطحی معادل ۰/۷۵ مترمربع به‌طور تصادفی نمونه‌برداری شد.

پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه و حذف اندام‌های هوایی، ریشه‌ها شسته و سپس وزن تر آن‌ها اندازه‌گیری شد. این مقدار معادل عملکرد ریشه در واحد سطح در نظر گرفته شد و به سطح هکتار تعمیم داده شد. همچنین طول ریشه‌ها با خط‌کش و قطر آن‌ها توسط کولیس اندازه‌گیری شد.

برای تعیین درصد ماده خشک ریشه، ابتدا درصد رطوبت ریشه تعیین گردید که برای این منظور وزن تر سه نمونه ریشه کاسنی اندازه‌گیری و سپس برای تعیین وزن خشک، ابتدا ریشه به قطعات کوچک (تقریباً چهار سانتی‌متر در چهار سانتی‌متر) برش خورد و به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد آون، خشک شدند (Smart and Bingham 1974) و بر مبنای افت وزن، درصد رطوبت ریشه با استفاده از رابطه ۱ محاسبه گردید.

رابطه ۱

$$\text{Root Humidity (\%)} = \frac{\text{RFW (Kg)} - \text{RDW (Kg)}}{\text{RFW (Kg)}} * 100$$

در رابطه ۱، Root humidity رطوبت ریشه، RFW (Root fresh weight) وزن تر ریشه و RDW (Root dry weight) وزن خشک ریشه را نشان می‌دهند. سپس برای تعیین درصد ماده خشک ریشه عدد به‌دست‌آمده از رابطه ۱ که برابر درصد رطوبت ریشه است را در رابطه ۲ قرار داده و درصد ماده خشک ریشه محاسبه گردید.

رابطه ۲

$$\text{RDM (\%)} = 100 - \text{Root humidity (\%)}$$

در رابطه ۲، RDM (Root dry matter) نشان دهنده ماده خشک ریشه است.

برای تعیین شاخص برداشت، با توجه به اینکه اندام اقتصادی در گیاه کاسنی ریشه‌ای برای رقم‌های مورد نظر ریشه می‌باشد، لذا درصد نسبت وزن ریشه تر (عملکرد اقتصادی) به وزن تر مجموع اندام‌هوایی و ریشه (عملکرد بیولوژیک) در واحد سطح برداشت

شد و با استفاده از منحنی استاندارد فروکتوز، درصد اینولین با استفاده از رابطه ۵ محاسبه شد (Chaplin and Kennedy 1994; Leyva et al. 2008).

رابطه ۵

$$\text{Inulin percentage (\%)} = \frac{\text{Inulin content (mg)}}{\text{Sample weight (g)}} * 100$$

در رابطه ۵، Inulin percentage درصد اینولین، Inulin content محتوی اینولین و Sample weight وزن نمونه را نشان می‌دهد. پس از محاسبه درصد اینولین از رابطه ۵ میزان عملکرد اینولین با رابطه ۶ تعیین گردید.

رابطه ۶

$$\text{Yield of inulin} = \left(\frac{\text{Inulin percentage} * \text{Root Yield}}{100} \right)$$

در رابطه ۶ Yield of inulin عملکرد اینولین بر حسب تن در هکتار، Inulin percentage درصد اینولین و Root Yield عملکرد ریشه بر حسب تن در هکتار را نشان می‌دهد.

در نهایت داده‌های حاصل با استفاده از نرم‌افزار minitab 17 به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک کامل تصادفی تجزیه و با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد مقایسه میانگین‌ها انجام گرفته و نمودارها در نرم‌افزار Statistica و ماتریس همبستگی پیرسون و تجزیه خوشه‌ای سلسله‌مراتبی بر پایه فاصله اقلیدسی و روش اتصال کامل با نرم‌افزار Rstudio ترسیم شد.

نتایج و بحث:

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که رقم اثر معنی‌داری بر صفات نشأت الکترولیت برگ و عملکرد اینولین نمونه‌های تر در سطح احتمال پنج درصد دارد (جدول ۱). همچنین اثر اصلی تاریخ برداشت بر تمامی صفات (نشأت الکترولیت برگ، زیست‌توده، عملکرد ریشه، شاخص برداشت، طول ریشه، قطر ریشه، درصد ماده خشک ریشه، عملکرد اینولین نمونه‌های هوا خشک، عملکرد اینولین نمونه‌های آون خشک و عملکرد اینولین نمونه‌های تر) در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. علاوه بر این برهمکنش تاریخ برداشت × رقم اثر معنی‌داری بر نشأت

مختلف بر مقدار عملکرد اینولین و تعیین روشی با حداکثر عملکرد بود. در روش اول از نمونه‌های تازه ریشه کاسنی استفاده گردید. برای این منظور از ریشه کاسنی خمیری تهیه شد و از این خمیر برای استخراج اینولین استفاده شد. برای تهیه خمیر ریشه کاسنی، ابتدا ریشه‌ها را به قطعات کوچک خرد کرده و با استفاده از مخلوط‌کن، همراه با مقدار بسیار کمی آب سرد (به حدی که فقط به مخلوط شدن کمک کند) به صورت خمیر یکدست و غلیظ درآورده شد و خمیر حاصله بلافاصله برای انجام مراحل بعدی استخراج اینولین استفاده شد. در روش دوم برای تسریع روند خشک شدن، ریشه کاسنی به قطعات کوچک (تقریباً چهار سانتی‌متر در چهار سانتی‌متر) برش داده شد و به آون با دمای ۵۰-۶۰ درجه سانتی‌گراد تا از دست دادن کامل رطوبت آن‌ها منتقل گردید. در روش سوم نیز ریشه کاسنی به قطعات کوچک (تقریباً چهار سانتی‌متر در چهار سانتی‌متر) برش داده شد و در شرایط سایه در هوای آزاد تا خشک شدن کامل قرار گرفت. نمونه‌های هوا خشک و آون خشک، با آسیاب به ذرات ریز تبدیل شد و تا زمان اندازه‌گیری در ظرف دربسته و خشک نگهداری گردید.

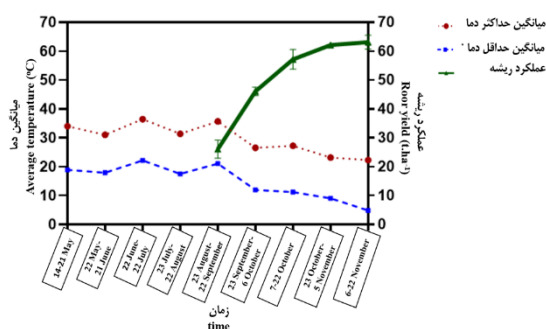
برای استخراج اینولین، در هر سه روش مختلف آماده‌سازی نمونه‌ها به صورت یکسان عمل گردید و از روش استخراج با آب داغ (۸۵-۸۰ درجه سانتی‌گراد) استفاده گردید. ابتدا یک گرم پودر خشک ریشه کاسنی یا نمونه تر ریشه را وزن کرده و به آن ۵۰ میلی‌لیتر آب داغ (۸۵-۸۰ درجه سانتی‌گراد) اضافه کرده و به مدت ۳۰-۶۰ دقیقه در بن‌ماری قرار داده شد و در طول این مدت نمونه‌ها گاهی هم زده شدند. سپس برای جداسازی بقایای نامحلول، نمونه‌ها به مدت ۱۵ دقیقه با $400 \times g$ سانتریفیوژ شده و محلول رویی از صافی (کاغذ صافی واتمن شماره ۱ یا صافی ۰/۴۵ میکرون) عبور داده شد.

برای تعیین مقدار اینولین از بین روش‌های موجود از روش آنترون - سولفوریک اسید (Sulfuric acid-Antrone) (رنگ‌سنجی) استفاده شد، بدین منظور نیم میلی‌لیتر عصاره (حاصل از استخراج با آب داغ) با ۲/۵ میلی‌لیتر معرف آنترون مخلوط شد و در حرارت ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۰ دقیقه در بن‌ماری گذاشته و پس از سرد شدن نمونه‌ها، جذب نور در ۶۲۰ نانومتر اندازه‌گیری

برداشت نهایی، احتمالاً ناشی از کاهش فعالیت آنزیم‌های کلیدی از جمله رایبیسکو، افت ساخت و ذخیره‌سازی کربوهیدرات‌ها و در مقابل، افزایش نرخ تنفس نگهداری بوده است. در مجموع، می‌توان نتیجه گرفت که نقطه اوج عملکرد ریشه تابع اختلاف دمای روز و شب بوده و این اختلاف نقش مهمی در تعادل فرایندهای رشد و کارایی متابولیکی گیاه دارد. روند مشاهده‌شده با گزارش‌های پیشین در مورد دامنه عملکرد ریشه کاسنی ریشه‌ای در مناطق مختلف جهان مطابقت دارد (Shoorideh *et al.* 2015). در مطالعه که به ارزیابی درجه پلیمریزاسیون و عملکرد اینولین در ۱۵ توده و رقم کاسنی ریشه‌ای در اراضی جلگه‌ای شمال کشور پرداخته است، تفاوت معنی‌داری را بین ارقام مختلف در میزان عملکرد تر ریشه و عملکرد اینولین گزارش کرده است و از میان ۱۵ توده و رقم، بیش‌ترین عملکرد ریشه و اینولین مربوط به رقم سلنیت بوده و برخلاف نتایج حاضر، بین ارقام تفاوت معنی‌داری مشاهده گردیده است (Pourmoradi *et al.* 2020).

شکل ۱ پاسخ عملکرد ریشه کاسنی به نوسانات میانگین دما در تاریخ‌های مختلف برداشت

Fig 1 Response of chicory root yield to fluctuations in mean temperature across different harvest date



الکترولیت برگ و طول ریشه در سطح احتمال یک درصد داشت (جدول ۱).

میانگین دما از زمان کاشت (۲۴ اردیبهشت) تا آخرین تاریخ برداشت (اول آذر) که از داده‌های ایستگاه هواشناسی طرق مشهد (Anonymous 2025) استخراج شده است، نشان می‌دهد که با گذشت فصل رشد، گرچه میانگین دمای بیشینه و کمینه دارای نوسانات جزئی بوده‌اند، اما روند کلی آن‌ها از ثبات نسبی در ابتدای فصل تا کاهش تدریجی در اواخر فصل برداشت تغییر کرده است (شکل ۱). در این بازه زمانی، عملکرد ریشه کاسنی ریشه‌ای به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تاریخ برداشت قرار گرفت؛ به‌گونه‌ای که در آغاز فصل میزان عملکرد پایین بود، اما با پیشرفت فصل رشد و افزایش تجمع ماده خشک در ریشه، عملکرد به‌طور قابل توجهی افزایش یافت و در برداشت‌های ۱۵ آبان و اول آذر به

بیشینه مقدار خود، یعنی به حدود ۶۲ تا ۶۳ تن در هکتار بدون تفاوت آماری معنی‌دار میان این دو زمان برداشت رسید. این موضوع بیانگر وجود یک محدوده زمانی مطلوب برای برداشت است که در آن سیستم فتوسنتزی گیاه هنوز فعال و کارآمد بوده و شرایط دمایی برای رشد و ذخیره مواد در ریشه مناسب است (شکل ۱). بر مبنای این نتایج، حداکثر عملکرد ریشه در شرایط میانگین دمای حداکثری حدود ۲۲ تا ۲۳ درجه سانتی‌گراد و میانگین دمای حداقلی حدود ۴ تا ۹ درجه سانتی‌گراد، در برداشت‌های چهارم تا پنجم حاصل شد (شکل ۱). به‌نظر می‌رسد حصول این بیشینه عملکرد مرتبط با تعادل مطلوب دمای محیط برای فتوسنتز مؤثر، نبود تنش سرمایی و پایین بودن شدت تنفس گیاه است که سبب کاهش مصرف کربوهیدرات‌ها و افزایش ذخیره آن‌ها در ریشه می‌شود. توقف روند صعودی عملکرد در دماهای پایین‌تر از دمای پایه (حدود هشت درجه سانتی‌گراد) در

جدول ۱ تجزیه واریانس اثرات تاریخ برداشت، رقم و برهم کنش آن‌ها بر صفات مورفولوژیک و عملکردی در سه رقم کاسنی ریشه‌ای

Table 1 Analysis of variance (ANOVA) of the effects of harvest date, cultivar, and their interaction on morphological and yield traits of three root chicory cultivars

منبع تغییرات Source of Variation	درجه آزادی DF	میانگین مربعات Mean square									
		نشت الکترولیت برگ Leaf electrolyte leakage	زیست توده Biomass	عملکرد ریشه Root yield	شاخص برداشت Harvest index	طول ریشه Root length	قطر ریشه Root diameter	ماده خشک ریشه Root dry matter	عملکرد اینولین (آون خشک) Oven-dried inulin yield	عملکرد اینولین (هوا خشک) Air-dried inulin yield	عملکرد اینولین (تر) Fresh inulin yield
تکرار Replication	2	6.26 ^{ns}	102.51 ^{ns}	139.99 ^{ns}	159.54 ^{ns}	10.908 ^{ns}	211.87 ^{ns}	1.209 ^{ns}	195.02 [*]	31.82 ^{ns}	249.29 [*]
رقم Cultivar	2	1260.51 [*]	297.33 ^{ns}	49.99 ^{ns}	75.78 ^{ns}	2.534 ^{ns}	157.21 ^{ns}	85.864 ^{ns}	21.8 ^{ns}	19.28 ^{ns}	265.26 [*]
خطا Error a	4	25.33	132.16	33.77	96.43	8.887	111.78	22.498	11.06	38.87	16.32
تاریخ برداشت Harvest date	4	277.56 ^{**}	1260.83 ^{**}	2147.1 ^{**}	5607.85 ^{**}	35.85 ^{**}	1001.46 ^{**}	513.428 ^{**}	902.75 ^{**}	826.09 ^{**}	1903.85 ^{**}
رقم * تاریخ برداشت Cultivar * Harvest date	8	59.14 ^{**}	168.72 ^{ns}	9.8 ^{ns}	40.44 ^{ns}	25.778 ^{**}	16.27 ^{ns}	63.647 ^{ns}	96.01 ^{ns}	32.19 ^{ns}	100.86 ^{ns}
خطا Error b	24	7.76	97.14	16.09	39.38	7.05	26.3	59.702	67.14	21.46	49.99
تفاوت											ns

غير معنی دار ** تفاوت معنی دار در سطح ۰/۰۱ * معنی داری در سطح ۰/۰۵.

^{ns}, ^{**} and ^{*}: non-significant, significant at the 0.01 and 0.05 probability level, respectively

نتایج نشان داد که تاریخ برداشت اثر معنی‌داری بر میزان زیست‌توده، قطر ریشه، درصد ماده خشک ریشه، عملکرد اینولین نمونه‌های هواخشک، عملکرد اینولین نمونه‌های آون‌خشک، عملکرد اینولین نمونه‌های تر و شاخص برداشت داشت (جدول ۲). در رابطه با زیست‌توده، بیشترین مقادیر در تاریخ‌های برداشت ابتدایی (اول مهر تا اول آبان) مشاهده شد و با پیشرفت فصل و رسیدن به تاریخ‌های برداشت دیرتر (۱۵ آبان و اول آذر)، زیست‌توده گیاه کاهش یافت (جدول ۲) که این امر می‌تواند به دلیل انتقال منابع از بخش‌های رویشی به سمت اندام‌های ذخیره‌ای و یا شروع فرآیندهای پیری باشد. در مقابل، قطر ریشه و ماده خشک ریشه روند افزایشی را با تأخیر در زمان برداشت نشان دادند. به‌طوری که بیشترین قطر ریشه در برداشت نهایی و درصد ماده خشک ریشه در دو برداشت نهایی بدون تفاوت معنی‌دار با هم به‌دست آمد، در حالی که کمترین مقادیر در تاریخ‌های برداشت اولیه مشاهده گردید (جدول ۲). این یافته‌ها حاکی از آن است که با گذشت زمان، گیاه منابع خود را به سمت توسعه و انباشت مواد در اندام‌های ذخیره‌ای (ریشه) هدایت می‌کند و با توجه به اینکه رشد، حاصل افزایش تعداد و حجم سلول‌هاست؛ افزایش قطر و طول ریشه هم‌زمان با شاخص برداشت و زیست‌توده این موضوع را تأیید می‌کند. علی و خلیل (Aly and Khalil 2017) نیز در پژوهشی که به اثر تاریخ برداشت بر رشد، عملکرد و کیفیت دو رقم کاسنی ریشه‌ای پرداختند گزارش کردند که با افزایش طول دوره رشد از ۱۲۵ به ۱۶۵ روز بعد از کاشت به‌تدریج قطر ریشه افزایش یافت. مقایسه میانگین اثر تاریخ برداشت نشان داد درصد ماده خشک ریشه با پیشرفت فصل رشد روند افزایشی داشت و الگوی تغییرات آن مشابه عملکرد ریشه بود. حداکثر درصد ماده خشک ریشه در برداشت‌های نهایی (۱۵ آبان و اول آذر) به میزان ۳۶/۶ و ۴۴/۵ درصد حاصل شد و با یکدیگر تفاوت معنی‌داری نداشتند. (جدول ۲). با نزدیک شدن به انتهای فصل رشد، بخشی از آب سلول‌های ریشه به‌تدریج کاهش یافته و هم‌زمان مواد فتوسنتزی و کربوهیدرات‌های ذخیره‌ای، به‌ویژه فروکتان‌ها، در بافت ریشه تجمع می‌یابند که این فرایند در نهایت موجب افزایش ماده

خشک ریشه می‌شود که می‌تواند شاخص برداشت و عملکرد را تا رسیدن به نقطه بهینه برداشت توجیه کند. تأثیر زمان برداشت بر عملکردهای اینولین نیز بسیار قابل توجه بود. عملکرد اینولین در هر سه روش استخراج (نمونه‌های هواخشک، آون‌خشک و تر)، با نزدیک شدن به زمان برداشت نهایی افزایش یافت. بیشترین عملکرد اینولین نمونه‌های تر در ۱۵ آبان و اول آذر (به ترتیب ۳۳/۴ و ۳۳/۹ تن در هکتار) و بیشترین عملکرد اینولین نمونه‌های آون‌خشک و هواخشک در اول آذر (۲۹/۵ و ۲۵/۹ تن در هکتار به ترتیب) به دست آمد. این نتایج بیانگر آن است که تأخیر در برداشت، فرصت بیشتری برای تجمع اینولین در ریشه‌ها فراهم می‌کند (جدول ۲) و به نظر می‌رسد که شرایط مختلف آماده‌سازی نمونه می‌تواند بر عملکرد نهایی اینولین اثرگذار باشد. توکلی کردلر و همکاران (Tavakoli Kordelar et al. 2017) گزارش کردند که راندمان جداسازی اینولین از ریشه‌های تازه و هواخشک تفاوت معنی‌داری نداشت، در حالی که اینولین استخراج‌شده از ریشه‌های آون‌خشک به‌طور معنی‌داری کمتر بود و این کاهش را به هیدرولیز فروکتان‌ها در دمای بالا نسبت دادند و به نظر می‌رسد که رطوبت بافت ریشه نقش محافظتی در برابر این تخریب را ایفا می‌کند. در مطالعات آمادوچی و جوزپه (Amaducci and Giuseppe 1998) نتایج نشان داد با گذر از برداشت زود هنگام به برداشت نهایی عملکرد ریشه ۱۶ درصد افزایش یافت و همچنین تولید اینولین، علیرغم کاهش درصد محتوای ریشه به دلیل افزایش وزن ریشه، با به تأخیر انداختن برداشت بیش از ۰/۳ تن در هکتار (از ۸/۱ به ۸/۴) افزایش یافت. نکته قابل توجه تفاوت ۱۰ درصدی عملکرد بین پرمحصول‌ترین رقم و ارقام کم محصول بود و با نتایج حاضر از نظر افزایش عملکرد با تأخیر در برداشت هم‌سو می‌باشد. از طرفی در پژوهشی که اثر تاریخ برداشت بر رشد، عملکرد و کیفیت دو رقم کاسنی ریشه‌ای در مصر را مورد بررسی قرار داد، مشخص گردید که تاریخ برداشت و رقم بر عملکرد تر و خشک ریشه و عملکرد اینولین اثر معنی‌داری داشت و تاریخ برداشت دیر هنگام (۱۶۵ روز بعد از کاشت) سبب افزایش این صفات عملکردی گردید و این افزایش

در بین ارقام متفاوت بود (Aly and Khalil 2017) و از نظر افزایش صفات عملکردی با تأخیر در تاریخ برداشت، هم‌راستا با نتایج پژوهش حاضر می‌باشد. فروغی‌منش و همکاران (Foroughi Manesh *et al.* 2013) نیز در پژوهشی تحت عنوان اثر تراکم و تاریخ برداشت بر ویژگی‌های کمی و کیفی کاسنی ریشه‌ای بیان کردند که تاریخ برداشت بر عملکرد اینولین اثر معنی‌داری دارد و تأخیر در تاریخ برداشت موجب افزایش درصد و عملکرد اینولین شد اما بر عملکرد ریشه تأثیر معنی‌داری نداشت که با نتایج حاضر از نظر تأثیر تاریخ برداشت بر عملکرد اینولین و تعیین تاریخ برداشت بهینه مطابقت دارد.

شاخص برداشت نیز روند مشابهی را دنبال کرد و با تأخیر در زمان برداشت، افزایش یافت (جدول ۲). بالاترین شاخص برداشت در

اول آذر (۹۱/۹ درصد) مشاهده شد که به نظر می‌رسد، افزایش شاخص برداشت نشان‌دهنده افزایش نسبی سهم ریشه از زیست‌توده کل گیاه است زیرا با پیشرفت فصل رشد، رشد رویشی (ساقه و برگ) کاهش یافته و بخش زیادی از برگ‌ها هم خشک شده و ریزش نموده‌اند و اندام زیرزمینی به‌عنوان مخزن اصلی باقی می‌ماند و در نتیجه شاخص برداشت افزایش می‌یابد. در مجموع، این نتایج نشان می‌دهند که برای بهینه‌سازی تولید اینولین و افزایش عملکرد ریشه و شاخص برداشت، زمان برداشت در اواخر فصل رشد (محدوده نیمه آبان تا اوایل آذر) توصیه می‌شود، زیرا در این دوره، گیاه تمرکز خود را بر توسعه ریشه‌ها و انباشت حداکثری اینولین قرار می‌دهد، حتی اگر زیست‌توده کلی گیاه کاهش یابد.

جدول ۲ مقایسه میانگین صفات مورفولوژیک و عملکردی تحت تأثیر زمان برداشت

Table 2 Mean comparison of morphological and yield traits as affected by harvest date

تاریخ برداشت Harvest date	زیست‌توده Biomass (t. ha ⁻¹)	قطر ریشه Root diameter (mm)	ماده خشک ریشه Root dry matter (%)	عملکرد اینولین (هوا خشک) Air-dried inulin yield (t. ha ⁻¹)	عملکرد اینولین (آون خشک) Oven-dried inulin yield (t. ha ⁻¹)	عملکرد اینولین (تر) Fresh inulin yield (t. ha ⁻¹)	شاخص برداشت Harvest index (%)
23 September	88.04 ^a	46.38 ^d	27.8548 ^b	2.47 ^c	3.44 ^b	2.29 ^c	29.93 ^e
7 October	96.06 ^a	53.53 ^c	27.4801 ^b	8.04 ^c	9.28 ^b	9.29 ^{bc}	49.91 ^d
23 October	95.54 ^a	61.69 ^b	28.0281 ^b	6.74 ^c	9.15 ^b	11.99 ^b	60.50 ^c
6 November	75.94 ^b	64.79 ^b	36.6096 ^{ab}	18.29 ^b	9.56 ^b	33.37 ^a	82.67 ^b
22 November	69.65 ^b	73.85 ^a	44.5561 ^a	25.93 ^a	29.51 ^a	33.86 ^a	91.89 ^a

حروف مشابه در هر ستون در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار باهم تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means followed by the same letter within a column are not significantly different at the 5% probability level according to the Least Significant Difference (LSD) test.

برهم‌کنش تاریخ برداشت و رقم بر نشت الکترولیت برگ و طول ریشه اثر معنی‌داری داشت، به‌گونه‌ای که پاسخ ارقام در تاریخ‌های مختلف برداشت یکسان نبوده و هر رقم الگوی خاصی از تغییرات را نشان داده است (جدول ۳). در صفت نشت الکترولیت برگ، رقم کرومیت در تاریخ‌های ۱۵ آبان و اول آذر بالاترین میزان نشت الکترولیت را داشت که بیانگر کاهش پایداری غشای سلولی و افزایش حساسیت این رقم به شرایط انتهایی فصل است، در حالی که ارقام اورچیز و سلنیت در اغلب

تاریخ‌ها، نشت الکترولیت برگ پایین‌تری نشان دادند و تنها در تاریخ اول آذر افزایش نسبی در این صفت مشاهده شد (جدول ۳). همچنین طول ریشه ارقام مختلف واکنش‌های متفاوتی به زمان برداشت نشان دادند؛ رقم کرومیت در تاریخ ۱۵ آبان به بیشترین طول ریشه (۴۵/۲ میلی‌متر) دست یافت و طول ریشه با برداشت نهایی (۳۵/۴ میلی‌متر) در این رقم تفاوتی نداشت. حداکثر طول ریشه در رقم سلنیت مربوط به تاریخ برداشت ۱۵ مهر (۳۹/۸ میلی‌متر) و در رقم اورچیز نیز در تاریخ برداشت اول آبان (۳۸ میلی‌متر) بود (جدول ۳). در همین راستا نتایج پژوهشی

که اثر تاریخ برداشت و رقم را بر عملکرد و اجزاء عملکرد کاسنی در ایتالیا بررسی کرد، نشان داد که روند افزایش طول ریشه با تأخیر در برداشت کاهش یافت (Amaducci and Giuseppe 1998) با توجه به داده‌های طول و قطر ریشه به

نظر می‌رسد که استراتژی در این گیاه به این صورت می‌باشد که در ابتدای رشد ریشه، طول ریشه هم‌زمان با رشد قطری ریشه تا حدی افزایش می‌یابد اما در ادامه با ثبات طول ریشه مواد تخصیص یافته فقط صرف افزایش حجم ریشه خواهد شد.

جدول ۳ مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش تاریخ برداشت و رقم بر نشت الکترولیت برگ و طول ریشه

Table 3 Mean comparison of the intraction effects of harvest date and cultivar on leaf electrolyte leakage and root length

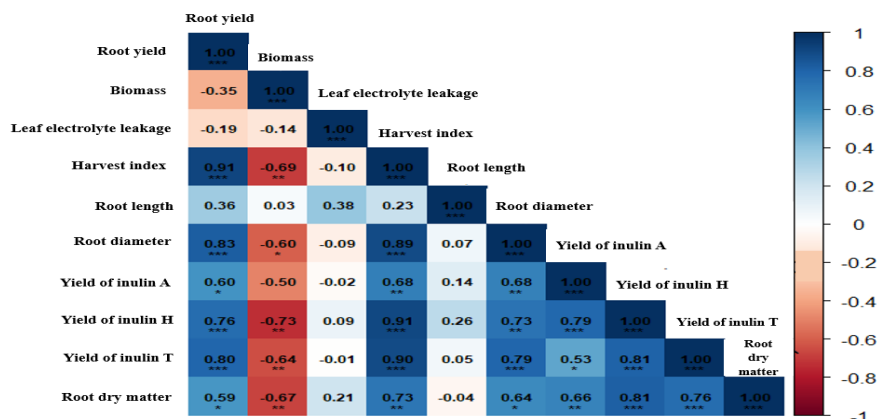
رقم Cultivar	تاریخ برداشت Harvest date	نشت الکترولیت برگ leaf electrolyte leakage (%)	طول ریشه Root length (mm)
کرومیت Kormite	23 September	37.67 ^{cd}	34 ^c
	7 October	47.33 ^b	35.17 ^c
	23 October	49.57 ^b	35.33 ^{bc}
	6 November	59.17 ^a	45.18 ^a
	22 November	62.23 ^a	35.43 ^{ab}
اورچیز Orchies	23 September	32.33 ^d	34.33 ^{bc}
	7 October	32.67 ^d	36.5 ^{bc}
	23 October	33.22 ^d	38 ^b
	6 November	34.80 ^d	37 ^{bc}
	22 November	44.53 ^{bc}	35.17 ^c
سلنیت Selenit	23 September	33.33 ^d	34.83 ^c
	7 October	33.48 ^d	39.90 ^b
	23 October	34.65 ^d	38.35 ^{bc}
	6 November	33.72 ^d	35.83 ^{bc}
	22 November	40.47 ^{bcd}	34.17 ^{bc}

حروف مشابه در هر ستون در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار باهم تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means followed by the same letter within a column are not significantly different at the 5% probability level according to the Least Significant Difference (LSD) test.

ماتریس همبستگی پیرسون بین صفات، وجود روابط معنادار و پیچیده‌ای را بین متغیرهای مورد بررسی نشان داد (شکل ۲). نتایج حاکی از همبستگی قوی و مثبت بین عملکرد ریشه، شاخص برداشت، عملکرد اینولین نمونه‌های هواخشک و عملکرد اینولین نمونه‌های تر است (ضریب همبستگی بین ۰/۹۱ تا ۰/۷۶، $P < 0.001$). این یافته‌ها نشان می‌دهد که افزایش تخصیص ماده خشک به ریشه، مستقیماً با افزایش تجمع اینولین در ریشه همراه است. در نقطه مقابل، زیست‌توده همبستگی منفی با عملکرد ریشه و عملکرد اینولین نمونه‌های آون خشک (ضریب همبستگی بین ۰/۳۵- و ۰/۵۰-) و همبستگی نسبتاً قوی منفی

با عملکرد اینولین نمونه‌های هواخشک و تر نشان داد (ضریب همبستگی بین ۰/۶۴- و ۰/۷۳-) که ممکن است بیانگر این باشد که رشد رویشی گسترده لزوماً به افزایش عملکرد اقتصادی (مانند اینولین) منجر نمی‌شود. همچنین، نشت الکترولیت برگ با سایر صفات، همبستگی متوسط تا ضعیفی از خود نشان داد (ضریب همبستگی بین ۰/۱۹- تا ۰/۳۸) که نشان‌دهنده وابستگی فیزیولوژیکی نسبی اما غیرمستقیم آن با معیارهای عملکرد است. در مجموع، یافته‌های این ماتریس همبستگی تأکید می‌کند که صفات مرتبط با تجمع ماده خشک در ریشه و شاخص برداشت، پتانسیل بالایی برای بهبود عملکرد اینولین دارند (شکل ۲).



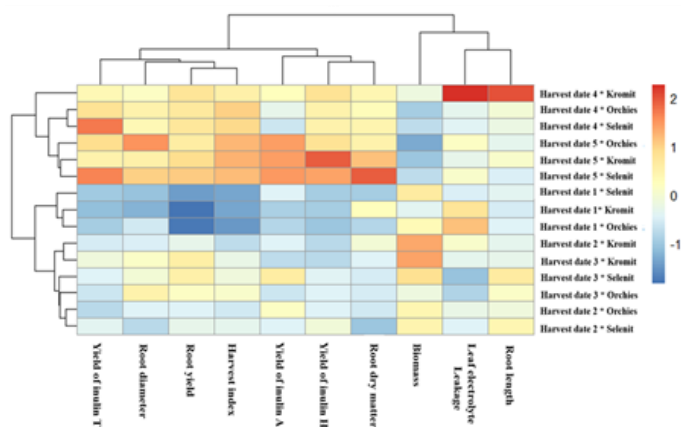
شکل ۲ ماتریس همبستگی پیرسون برای ۱۰ متغیر کمی در تاریخ برداشت‌های مختلف و سه رقم (اورچیز، کرومیت و سلنیت) ns, ***, **, * به ترتیب تفاوت غیر معنی‌دار، تفاوت معنی‌دار در سطح ۰/۰۰۱، تفاوت معنی‌دار در سطح ۰/۰۱، معنی‌داری در سطح ۰/۰۵

Fig 2 Pearson correlation matrix of 10 quantitative variables across different harvest dates and three root chicory cultivars (Orchies, Kromite and Selenit)

ns, ***, **, * and *: non-significant, significant at the 0.001, 0.01 and 0.05 probability level, respectively

آن خشک بود که این صفات نیز در یک گروه مجزا طبقه‌بندی شدند. همچنین، طول ریشه و نشت الکترولیت برگ در یک خوشه قرار گرفتند که نشان‌دهنده شباهت الگوی رفتاری آن‌ها نسبت به سایر صفات بود. زیست‌توده نیز در خوشه‌ای مستقل طبقه‌بندی شد که بیانگر تمایز نسبی آن نسبت به سایر صفات بود. نقشه حرارتی نیز توزیع نسبی مقادیر صفات را به صورت بصری نمایش داد (شکل ۳).

تجزیه خوشه‌ای سلسله‌مراتبی، صفات مورد بررسی را بر اساس میزان شباهت آن‌ها در چهار خوشه مجزا طبقه‌بندی کرد (شکل ۳). در خوشه نخست، شاخص برداشت، عملکرد ریشه، قطر ریشه و عملکرد اینولین نمونه‌های تر در یک گروه قرار گرفتند که بیانگر شباهت الگوی این صفات در مجموعه تیمارهای مورد بررسی است. خوشه دوم شامل درصد ماده خشک ریشه، عملکرد اینولین نمونه‌های هواخشک و عملکرد اینولین نمونه‌های



شکل ۳ خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی با نقشه حرارتی در تاریخ‌های مختلف برداشت و سه رقم (اورچیز، کرومیت و سلنیت)

Harvest date 1: تاریخ برداشت اول (اول مهر)، Harvest date 2: تاریخ برداشت دوم (۱۵ مهر)، Harvest date 3: تاریخ برداشت سوم (اول آبان)، Harvest date 4: تاریخ برداشت چهارم (۱۵ آبان)، Harvest date 5: تاریخ برداشت پنجم (اول آذر).

Fig 3 Hierarchical clustering and heat illustrating the relationships among treatments and measured variables across different harvest dates and three root chicory cultivars (Orchies, Kromite and Selenit)

Harvest date 1: 23 September, Harvest date 2: 7 October, Harvest date 3: 23 October, Harvest date 4: 6 November, Harvest date 5: 22 November.

نتیجه گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که تاریخ برداشت مهم ترین عامل مؤثر بر عملکرد ریشه، شاخص برداشت، درصد ماده خشک ریشه و عملکرد اینولین بود، به گونه ای که با پیشرفت فصل رشد، این صفات افزایش یافتند و بیشترین مقادیر آن ها در برداشت های نیمه آبان تا اوایل آذر حاصل شد. این نتایج بیانگر آن است که تأخیر در برداشت تا این بازه زمانی، شرایط مناسبی را برای تجمع ماده خشک و اینولین در ریشه فراهم می کند. همچنین اثر رقم بر نشت الکترولیت برگ و عملکرد اینولین نمونه های تر معنی دار بود و برهم کنش تاریخ برداشت و رقم نیز بر نشت الکترولیت برگ و طول ریشه معنی دار بود که بیانگر تفاوت در پاسخ فیزیولوژیک ارقام به زمان برداشت است. همچنین، روش آماده سازی نمونه بر عملکرد اینولین اثرگذار بود؛ به گونه ای که عملکرد اینولین در نمونه های تر بیشتر از نمونه های آون خشک و هوا خشک بود که اهمیت انتخاب روش مناسب آماده سازی نمونه را در ارزیابی دقیق عملکرد اینولین نشان می دهد. علاوه بر این، همبستگی مثبت و قوی بین عملکرد ریشه، شاخص برداشت و عملکرد اینولین بیانگر ارتباط نزدیک این صفات و

اهمیت بهبود رشد اندام ذخیره ای برای افزایش عملکرد اینولین است. در مجموع، نتایج این پژوهش نشان می دهد که مدیریت مناسب تاریخ برداشت، همراه با انتخاب روش مناسب آماده سازی نمونه، نقش مهمی در دستیابی به حداکثر عملکرد ریشه و اینولین دارد و تفاوت پاسخ ارقام در برخی صفات فیزیولوژیک نیز نشان دهنده اهمیت در نظر گرفتن ویژگی های ژنوتیپی در برنامه های مدیریتی و پژوهش های آینده است. با این حال، انجام پژوهش های تکمیلی در سال های زراعی و شرایط محیطی مختلف برای تعمیم دقیق تر این نتایج ضروری است.

تعارض منافع

هیچ گونه تعارض منافع در بین نویسندگان وجود ندارد.

سپاسگزاری

نویسندگان از همکاری های مؤثر بخش تحقیقات چغندر قند مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، شرکت فرتاک کشت طلوع خاورمیانه نماینده رسمی شرکت فلوریموند دپره و معاونت پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد سپاسگزاری می نمایند.

References

منابع مورد استفاده

- Abdollahian Noughabi M, Sheikholeslami R, Babaee B. Technical terms related to yield and quality of sugar beet. Sugar Beet Journal. 2005; 21(1): 101. (In Persian with English abstract). **Doi:** [https://doi.org/ 10.22092/jsb.2005.8201](https://doi.org/10.22092/jsb.2005.8201)
- Aly EFA, Khalil SRA. Effect of harvest age on growth, yield and quality of two root chicory varieties (*Cichorium intybus* L.) under Egyptian conditions. Journal of Plant Production Mansoura University. 2017; 8(8): 887-893. **DOI:** <https://doi.org/10.21608/jpp.2017.40887>
- Amaducci S, Pritoni G. Effect of harvest date and cultivar on *Cichorium intybus* yield components in north Italy. Industrial Crops and Products. 1998; 7: 345–349. **Doi:** [https://doi.org/10.1016/S0926-6690\(97\)00067-8](https://doi.org/10.1016/S0926-6690(97)00067-8)
- Anonymous. Iranian Meteorological Organization (IRIMO). Daily maximum and minimum temperature data from Toroqh Weather Station, Mashhad, Iran. 2025. Available from: <https://data.irimo.ir>
- Chandra S, Kumar M, Dwivedi P, Arti K. Studies on industrial importance and medicinal value of chicory plant (*Cichorium intybus* L.). International Journal of Advanced Research. 2016; 4(1): 1060-1071.
- Chaplin MF, Kennedy JF. Carbohydrate Analysis: A Practical Approach. Oxford University Press. 1994; pp.324 **Doi** :<https://doi.org/10.1093/oso/9780199634491.001.0001>
- Foroughi Manesh F, Habibi H, Abdolhian Noughabi M. The effect of plant density and harvesting time on the quantitative and qualitative characteristics of chicory roots (*Cichorium intybus* L.). Iranian Journal of Crop Plant Sciences. 2013; 44(3): 529-537. In Persian.
- Ghoulam C, Foursy A, Fares K. Effects of salt stress on growth, inorganic ions and proline accumulation in relation to osmotic adjustment in five sugar beet cultivars. Environmental and Experimental Botany. 2002; 47(1): 39-50. **Doi:** [https://doi.org/10.1016/S0098-8472\(01\)00109-5](https://doi.org/10.1016/S0098-8472(01)00109-5)
- Leyva A, Quintana A, Sánchez M, Rodríguez E, Cremata J, Sánchez JC. Rapid and sensitive anthrone–sulfuric acid assay in microplate format to quantify carbohydrate in biopharmaceutical products: Method development and validation. Biologicals. 2008; 36(2): 134-141. **Doi:** <https://doi.org/10.1016/j.biologicals.2007.09.001>
- Mathieu AS, Lutts S, Vandoorne B, Descamps C, Périlleux C, Dielen V, Van Herck JC, Quinet M. High temperatures limit plant growth but hasten flowering in root chicory (*Cichorium intybus*) independently of vernalization. Journal of Plant Physiology. 2014; 171(2): 109-118. **Doi:** <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2013.09.011>
- Meijer WJM, Mathijssen EWJM. Crop characteristics and inulin production in chicory. European Journal of Agronomy. 1992; 1(2): 99-108. **Doi:** [https://doi.org/ 10.1016/S1161-0301\(14\)80007-5](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(14)80007-5)
- Milani E, Poorazarang H, Khah SV, Vakilian H. Optimization of inulin extraction from *Helianthus tuberosus* using response surface methodology (RSM). Iranian Food Science & Technology Research Journal. 2010; 6(3): 176-183. **Doi:**<https://doi.org/10.22067/ifstrj.v6i3.9100>
- Monti A, Amaducci MT, Pritoni G, Venturi G. Growth, fructan yield, and quality of chicory (*Cichorium intybus* L.) as related to photosynthetic capacity, harvest time, and water regime. Journal of Experimental Botany. 2005; 56(415): 1389-1395. **Doi:** <https://doi.org/10.1093/jxb/eri140>
- Pal Bais H, Ravishankar GA. *Cichorium intybus* L. – cultivation, processing, utility, value addition and biotechnology, with an emphasis on current status and future prospects. Journal of the Science of Food and Agriculture. 2001; 81: 467-484.

- Perović J, Tumbas Šaponjac V, Kojić J, Krulj J, Moreno DA, García-Viguera C, Bodroža-Solarov M, Ilić N. Chicory (*Cichorium intybus* L.) as a food ingredient – nutritional composition, bioactivity, safety, and health claims: A review. Food Chemistry. 2020. **Doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127676>**
- Pourmoradi SA, Aalami A, Esfahani M. Evaluation of percentage and degree of inulin polymerization and yield in 15 cultivars and accessions of chicory (*Cichorium intybus* L.) in northern plains of Iran. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research. 2020; 36(3): 243-254. **Doi: <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2020.342178.2738>**.
- Roustakhiz J, Majnabadi JT. Cultivation of chicory (*Cichorium intybus* L.), an extremely useful herb. International Journal of Farming and Allied Science. 2017; 6(1): 14-23.
- Shoorideh H, Peyghambari SA, Omid M, Naghavi MR, Maroufi A, Balandari A. Investigation on morphological traits and root yield of Iranian chicory genotypes. Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research. 2015; 23(2): 226-236. **Doi: <https://doi.org/10.22092/ijrfpbgr.2015.102283>**
- Smart RE, Bingham GE. Rapid estimates of relative water content. Plant Physiology. 1974; 53(2): 258-260. **Doi: <https://doi.org/10.1104/pp.53.2.258>**
- Street RA, Sidana J, Prinsloo G. *Cichorium intybus*: Traditional uses, phytochemistry, pharmacology, and toxicology. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine; 2013: 579319. **Doi: <https://doi.org/10.1155/2013/579319>**
- Tavakoli Kordelar S, Ramezan Y, Abdollahian Noughabi M. Investigation of inulin extraction conditions from the roots of chicory (*Cichorium intybus* L.). Journal of Innovation in Food Science and Technology. 2017; 9(3): 111-117.(In Persian).
- Vakili H, Hojjatoleslami M. Study of the effect of drying on the extraction of inulin from chicory roots (*Cichorium intybus* L.). Herbal Medicines. 2014; 6(3): 143-148. Available from: <http://www.jhd.iaushk.ac.ir>. In Persian.