

بازتاب کمی و کیفی چغندر قند (*Beta vulgaris* L.) به کاربرد تلفیقی کودهای شیمیایی و نانو

عبدالله جوانمرد^۱، ریحانه واحد میان‌دوآب^۲، مصطفی امانی ماچانی^۳، امین عباسی^۴، کیوان فتوحی^۵

تاریخ دریافت: ۹۶/۹/۵ تاریخ پذیرش: ۹۷/۳/۲

۱-دانشیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه

۲-دانشجوی کارشناسی ارشد اگرواکولوژی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه

۳-دانشجوی دکتری زراعت، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه

۴-استادیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه

۵-استادیار بخش تحقیقات چغندر قند، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران.

*مسئول مکاتبه: a.javanmard@maragheh.ac.ir

چکیده

به منظور بررسی اثرات نانو کلات‌های ماکرو، میکرو و کودهای شیمیایی بر عملکرد و کیفیت محصول چغندر قند (*Beta vulgaris*) آزمایشی بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و ده تیمار در ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی میان‌دوآب در سال زراعی ۱۳۹۴ اجرا گردید. تیمارها شامل ۱۰۰ درصد کود شیمیایی NPK به عنوان شاهد، نانو کلات میکرو کامل، نانو کلات NPK، نانو کلات میکرو کامل، نانو کلات NPK + ۵۰ درصد کود شیمیایی، نانو کلات میکرو کامل + ۵۰ درصد کود شیمیایی، نانو کلات NPK + نانو کلات میکرو کامل + ۵۰ درصد کود شیمیایی، نانو کلات آهن + نانو کلات روی، نانو کلات آهن + نانو کلات روی + نانو کلات NPK و نانو کلات آهن + نانو کلات روی + ۵۰ درصد کود شیمیایی بودند. نتایج نشان داد بیشترین داد بیشترین و کمترین میزان عملکرد ریشه و شاخص کلروفیل به ترتیب در تیمارهای نانو کلات NPK + نانو کلات میکرو کامل + ۵۰ درصد کود شیمیایی و نانو کلات آهن + نانو کلات روی حاصل شد. همچنین بیشترین عملکرد قند ناخالص و خالص با کاربرد نانو کلات NPK + نانو کلات میکرو کامل + ۵۰ درصد کود شیمیایی بدست آمد. کاربرد ۱۰۰ درصد کود شیمیایی به افزایش میزان نیتروژن مضره، پتاسیم و قند ملاس منجر شد. در حالی که کمترین میزان شاخص‌های ذکر شده با کاربرد نانو کلات NPK و نانو کلات میکرو کامل مشاهده شد. به طور کلی، بر اساس شاخص‌های عملکرد ریشه، عملکرد قند ناخالص و خالص و ضریب استحصال، کاربرد نانو کلات NPK + نانو کلات میکرو کامل + ۵۰ درصد کود شیمیایی به عنوان تیمار برتر و جایگزین مصرف کودهای شیمیایی معرفی شد.

واژه‌های کلیدی: عملکرد ریشه، قند خالص، قند ملاس، کودهای نانو، نیتروژن مضره

Quantitative and Qualitative Response of Sugar Beet (*Beta vulgaris* L.) to Integrated Application of Chemical and Nano Fertilizers

Abdollah Javanmard², Reyhaneh Vahed Miandoab², Mostafa Amani Machiani³, Amin Abbasi⁴, Keyvan Fotouhi⁵

Received: November 26, 2017 Accepted: May 23, 2018

1-Assoc. Prof., Dept. of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Maragheh, Iran.

2-MSc Student of Agroecology, Dept. of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Maragheh, Iran.

3-PhD Student of Agronomy, Dept. of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Maragheh, Iran.

4-Assist. Prof., Dept. of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Maragheh, Iran.

5-Assist. Prof., Sugar Beet Research Department, West Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Urmia, Iran.

Corresponding Author Email: a.javanmard@maragheh.ac.ir

Abstract

In order to evaluation macro, micro, and chemical fertilizers on the quality and yield of sugar beet (*Beta vulgaris* L.), an experiment was conducted in randomized complete block design with 10 treatments and 3 replications at Agricultural and Natural Resources Research Station of Miandoab, Iran in 2016. The treatments were 100% chemical fertilizer as control, full micro-chelate nanofertilizer, NPK nanofertilizer, NPK nanofertilizer + full micro-chelate nanofertilizer, NPK nanofertilizer + 50% chemical fertilizers, full micro-chelate nanofertilizer + 50% chemical fertilizers, NPK nanofertilizer + full micro-chelate nanofertilizer + 50% chemical fertilizers, Fe nano+ Zn nano, Fe nano+ Zn nano+ NPK nanofertilizer and Fe nano+ Zn nano+ 50% chemical fertilizers. The results demonstrated that the highest and the lowest root yield and chlorophyll index were obtained in NPK nanofertilizer + full micro-chelate nanofertilizer + 50% chemical fertilizers and Fe nano+ Zn nano, respectively. Also, the highest sugar yield and white sugar yield were achieved in NPK nanofertilizer + full micro-chelate nanofertilizer + 50% chemical fertilizers. The highest content of α -amino-N, Na, K and molasses sugar was recorded in application of 100% chemical fertilizer. In addition to, minimum values of the mentioned indices were obtained in NPK nanofertilizer and full micro-chelate. Generally, application of NPK nanofertilizer+ full micro-chelate nanofertilizer+ 50% chemical fertilizers suggested as superior treatment and replacement of chemical fertilizers based on root yield, white sugar yield and extraction coefficient of sugar.

Keywords: α -Amino-N, Molasses Sugar, Nano-Fertilizer, Root Yield, White Sugar

مقدمه

رایج توصیه شده است (لیو و لال ۲۰۱۵). کودهای نانو نسل جدیدی از کودهای سنتزی هستند که دارای عناصر غذایی در مقیاس نانو می‌باشند و به دلیل کارایی بالاتر در جذب عناصر غذایی و از طرفی کاهش آلودگی محیط، جایگزین مناسبی برای مصرف بیش از حد کودهای شیمیایی هستند (سوبرامانیان و همکاران ۲۰۱۵). دارا بودن ویژگی‌هایی همچون غلظت موثر، قابلیت حل پذیری مناسب، ثبات و تاثیر گذاری بالا و رهاسازی تدریجی عناصر غذایی در طول دوره رشدی گیاه باعث افزایش کارایی کودهای نانو و جذب بهتر آن‌ها توسط گیاهان شده است (سوبرامانیان و سیروناوکاراسو ۲۰۱۷). نتایج مطالعات موجود بیانگر تأثیرات مثبت استفاده از این کودها در بهبود رشد و عملکرد گیاهان مختلف می‌باشد. جاکینه و همکاران (۲۰۱۵) طی آزمایشی نتیجه گرفتند که استفاده از کودهای نانو باعث افزایش ۱۳/۴، ۴۲/۶ و ۲۹/۱ درصدی سطح برگ، وزن خشک ریشه، کل ماده خشک تولید شده در چغندر قند گردید. قدسی و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند که کاربرد نانو اکسید آهن سبب افزایش ارتفاع گیاه، قطر و وزن هزار دانه آفتابگردان (*Helianthus annuus L.*) شد. شیخ باغلو و همکاران (۲۰۱۰) نیز نتیجه گرفتند که کاربرد نانو کود آهن در سویا (*Glycine max L.*) منجر به افزایش ۴۸ درصدی عملکرد دانه نسبت به تیمار شاهد گردید. عیسوند و همکاران (۲۰۱۴) مشاهده کردند که کاربرد نانو کود آهن در گندم منجر به افزایش معنی‌دار دوام سطح برگ، سرعت فتوسنتز خالص، سرعت رشد نسبی، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و درصد پروتئین دانه شد. لیو و لال (۲۰۱۵) گزارش کردند که استفاده از نانوکودها منجر به افزایش کارایی مصرفی عناصر غذایی، کاهش سمیت خاک، کاهش اثرات منفی ناشی از مصرف بیش از حد کودهای شیمیایی و همچنین کاهش تعداد دفعات کاربرد کود می‌شود. رضایی چیاپه (۲۰۱۶) گزارش کرد که کاربرد نانو کلات‌های آهن و روی سبب افزایش معنی‌دار

افزایش عملکرد جهت برطرف کردن نیازهای غذایی جمعیت روزافزون با توجه به محدود بودن سطح زیر کشت امری اجتناب ناپذیر می‌باشد. پیش بینی‌ها نشان می‌دهد برای تأمین نیازهای غذایی جمعیت تا سال ۲۰۲۰ تولید سالانه باید ۴۰ درصد افزایش یابد. به طوری که این میزان باید از ۱۷۷۳ میلیارد تن در سال ۱۹۹۳ به ۲۵۰۰ میلیارد تن در سال ۲۰۲۰ برسد (ابیان و همکاران ۲۰۱۷). ورود نسل اول فناوری‌ها به عرصه کشاورزی، در چند دهه گذشته منجر به وقوع انقلاب سبز و گذر از کشاورزی سنتی به کشاورزی صنعتی گردید. در این دوره افزایش چشمگیری در کمیت محصولات تولید شده صورت گرفت ولی مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی، سموم و آفت‌کش‌ها مشکلاتی از قبیل کاهش کیفیت محصولات، افزایش هزینه‌های تولید، آلودگی منابع طبیعی، آب‌های سطحی و زیرزمینی، افزایش آفات و بیماری‌ها، فرسایش شدید خاک و در نهایت تخریب منابع طبیعی را ایجاد نمود (امانی ماچپانی و همکاران ۲۰۱۸). برآوردها نشان می‌دهد برای تولید حداکثر عملکرد در کشاورزی مدرن میزان مصرف کودهای شیمیایی تا سال ۲۰۵۰ به ۲۶۳ میلیون تن در سال برسد. شایان ذکر است که میزان تلفات کودهای شیمیایی بویژه نیتروژن از طریق آبشویی، دنیتریفیکاسیون و تبخیر حدود ۵۰ الی ۷۰ درصد می‌باشد. این در حالی است که کارایی استفاده از نیتروژن^۱ (NUE) بسته به گیاهان مختلف ما بین ۵۰-۳۵ درصد گزارش شده است (سوبرامانیان و سیروناوکاراسو ۲۰۱۷). امروزه با گذشت سال‌ها از وقوع انقلاب سبز و کاهش مجدد نسبت رشد عملکرد، لزوم بکارگیری فناوری‌های جدید در بخش کشاورزی و استفاده از روش‌های نوین تغذیه گیاهی بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته است (پیرموویو ۲۰۱۳). در این بین، استفاده از تکنولوژی نانو به عنوان یک راهکار مناسب جهت بهبود عملکرد گیاهان در سیستم‌های کشاورزی

¹- Nitrogen Use Efficiency (NUE)

مابقی آن از کشورهای دیگر وارد می‌گردد (به‌آیین و همکاران ۲۰۱۱). علاوه بر تولید شکر به عنوان محصول اصلی چغندر قند می‌توان از ملاس آن مقادیر زیادی الکل استخراج نمود. همچنین برگ‌های این گیاه حاوی مقادیر زیادی کاروتن بوده که به صورت سیلو شده جهت افزایش کیفیت علوفه مورد استفاده قرار می‌گیرد. چغندر قند یکی از گیاهانی است که به کمبود عناصر غذایی پرمصرف و همچنین زیرمغذی‌ها بسیار حساس بوده و در شرایط کمبود این عناصر عملکرد آن به شدت کاهش می‌یابد (کییماز و ارتک ۲۰۱۵). به طوری که هرگت (۲۰۱۰) نتیجه گرفت که در خاک‌هایی که به کمبود نیتروژن دچار هستند عملکرد چغندر قند به شدت کاهش پیدا می‌کند و به کمتر از نصف عملکرد تولیدی در شرایط بهینه می‌رسد. علاوه بر این مالنو (۲۰۰۸) گزارش کرد که کاربرد غلظت‌های بالای نیتروژن سبب تسهیم نامناسب آسمیلات‌ها بین برگ و ریشه شده و باعث کاهش غلظت ساکارز و افزایش میزان ناخالصی‌ها در ریشه خواهد شد و در نتیجه کیفیت آن کاهش خواهد یافت. بررسی‌ها نشان داده است که علاوه بر عناصر پر مصرف، در دسترس بودن عناصر ریز مغذی مانند آهن، روی، سیلیسیم، بر، مس، منگنز و غیره باعث افزایش عملکرد کمی و کیفی چغندر قند می‌شود (آرتیسزاک و همکاران ۲۰۱۴؛ گوپتا و سولانکی ۲۰۱۳).

بدین ترتیب، با توجه به اهمیت و کاربرد تلفیقی کودها در بهبود عملکرد گیاهان زراعی در راستای اهداف کشاورزی پایدار، پژوهشی به‌منظور بررسی اثر نانو کودهای ماکرو و میکرو در ترکیب با کودهای شیمیایی مرسوم بر ویژگی‌های کمی و کیفی چغندر قند اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۴ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی میان‌دوآب با ارتفاع ۱۳۶۰ متر از سطح دریای آزاد و مختصات جغرافیایی ۶۶ درجه و ۱۷ دقیقه طول شرقی و ۳۸ درجه و ۵ دقیقه

عملکرد بیولوژیکی و دانه در بزرک (*Linum usitatissimum* L.) و لوبیا چیتی (*Phaseolus vulgaris* L.) در کشت مخلوط دو گیاه گردید که دلیل آن را به افزایش میزان کلروفیل، رشد سبزینه‌ای گیاه، افزایش اندام‌های زایشی و فتوسنتز بیشتر نسبت داد. آقازاده خلخالی و همکاران (۲۰۱۵) نیز با بررسی اثر محلول‌پاشی نانو کود کلات آهن و پتاسیم بر رشد و عملکرد گیاه اسفرزه (*Plantago psyllium*) گزارش کردند که فراهم کردن این دو کود سبب افزایش رشد ریشه و در نهایت عملکرد دانه این گیاه دارویی گردید.

از اوایل قرن بیستم به علت احتیاج روزافزون بشر به محصولاتی قندی، میزان تولید و سطح زیر کشت چغندر قند در نقاط مختلف جهان افزایش یافت (هرگت ۲۰۱۰). چغندر قند با نام علمی *Beta vulgaris* L. گیاهی دو ساله و دیپلوئید متعلق به تیره اسفناجیان^۱ می‌باشد. مناسب‌ترین درجه حرارت برای رشد مناسب این گیاه ۲۰ تا ۲۸ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. همچنین برای ذخیره مناسب قند در ریشه‌های آن به شب‌های خنک و روزهای گرم و آفتابی نیاز دارد (درایکات و کریستسن ۲۰۰۳). علاوه بر این برای رشد مطلوب‌تر ریشه این گیاه به خاک‌هایی با بافت سبک، نرم، قابل نفوذ و غنی از عناصر غذایی احتیاج دارد (هرگت ۲۰۱۰). سطح زیر کشت و عملکرد چغندر قند در جهان به ترتیب ۴/۳۵ میلیون هکتار و ۵۶/۹۱ تن در هکتار گزارش شده است (فائو ۲۰۱۶). اتحادیه اروپا، آمریکا و روسیه سه تولید کننده بزرگ چغندر قند در جهان می‌باشند. به طوری که در سال ۲۰۱۳، حدود ۴۶۷ هزار هکتار از اراضی کشاورزی آمریکا به کشت این گیاه اختصاص یافت (فائو ۲۰۱۶). در ایران نیز سطح زیر کشت و عملکرد چغندر قند به ترتیب ۸۲۵۱۶ هکتار و ۴۲/۰۲ تن در هکتار گزارش شده است (ابیان و همکاران ۲۰۱۷). شایان ذکر است مصرف سالانه محصولات قندی در ایران ۱/۵ میلیون تن بوده که از این مقدار تنها ۶۰ درصد آن در کشور تولید شده و

^۱- Chenopodiaceae

آزمایش سه نمونه خاک بصورت تصادفی از قسمت‌های مختلف محل اجرای آزمایش انتخاب و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن اندازه‌گیری گردید (جدول ۱).

عرض شمالی اجرا شد. بر اساس آمار هواشناسی، متوسط دراز مدت بارندگی، درجه حرارت و رطوبت نسبی در این منطقه به ترتیب ۲۷۵ میلی متر، ۱۰/۵ درجه سانتی‌گراد و ۶۱/۴ درصد می‌باشد. قبل از اجرای

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

بافت خاک	سیلت (%)	شن رس (%)	اسیدیته	فسفر قابل جذب (mg.kg ⁻¹)	پتاسیم قابل جذب (mg.kg ⁻¹)	نیترژن کل (درصد)	ماده آلی (%)	منگنز (mg.kg ⁻¹)	آهن (mg.kg ⁻¹)	روی (mg.kg ⁻¹)
سیلت	۶۰	۱۹	۷/۸۳	۱۳/۹۶	۴۳۲	۰/۰۵	۰/۹۸	۷/۵۶	۷/۷۶	۱/۱۲

۱۸ برگه محلول پاشی شدند. آبیاری مطابق با نیاز گیاه هر ۷ الی ۱۰ روز و وجین علف‌های هرز به صورت دستی انجام گرفت. شاخص کلروفیل برگ چغندر قند توسط دستگاه SPAD 502 پس از اعمال تیمارها در یک طرف رگبرگ اصلی پهنک برگ بر روی ۵ بوته اندازه‌گیری و میانگین داده‌ها به عنوان شاخص کلروفیل برگ در نظر گرفته شد. در نهایت برداشت از خطوط وسط با مساحت ۴/۸ مترمربع پس از حذف اثرات حاشیه‌ای در اواسط مهرماه صورت گرفت و با توزین ریشه‌های برداشت شده در واحد سطح، عملکرد ریشه بر حسب تن در هکتار محاسبه شد. سپس نمونه‌ها به آزمایشگاه عیارسنجی کارخانه قند انتقال یافته و با استفاده از دستگاه‌های اتوماتیک مکنده استخراج و به روش پلاریمتری با دستگاه آنالوگ P1000 ساخت شرکت کروز آلمان صفات کیفی همچون عیار قند، درصد قند ناخالص، درصد قند خالص، عناصر سدیم، پتاسیم، نیترژن مضره و ضریب آکالیته تعیین گردید. درصد قند ناخالص^۱ یا عیار قند از صفات کیفی و بسیار مهم در زراعت چغندر قند و موثر بر مقدار عملکرد قند می‌باشد که نشان می‌دهد از هر ۱۰۰۰ گرم ریشه چغندر قند چند درصد قند قابل کریستال استخراج خواهد شد. علاوه بر این درصد قند خالص درصدی از قند موجود در ریشه است که پس از حذف

آزمایش بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی (RCBD) در سه تکرار و ده تیمار اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل ۱۰۰ درصد کود شیمیایی (T₁)، نانو کلات NPK (T₂)، نانو کلات میکرو کامل (T₃)، نانو کلات NPK + نانو کلات میکرو کامل (T₄)، نانو کلات NPK + ۵۰ درصد کود شیمیایی (T₅)، نانو کلات میکرو کامل + ۵۰ درصد کود شیمیایی (T₆)، نانو کلات NPK + نانو کلات میکرو کامل + ۵۰ درصد کود شیمیایی (T₇)، نانو کلات آهن + نانو کلات روی + نانو کلات NPK (T₈)، نانو کلات آهن + نانو کلات روی + ۵۰ درصد کود شیمیایی (T₉)، نانو کلات آهن + نانو کلات روی + ۵۰ درصد کود شیمیایی (T₁₀) بودند. در هر کرت ۵ ردیف کاشت با فواصل ردیفی ۶۰ سانتی‌متر و به طول ۴ متر در نظر گرفته شد. چغندر قند در نیمه اول اردیبهشت‌ماه با تراکم ۱۱ بوته در مترمربع (فاصله بین بوته‌ای ۱۵ سانتی‌متر) و در عمق ۵ سانتی‌متری کشت شد. در تیمار ۱۰۰ درصد کود شیمیایی، کود اوره به میزان ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار در سه مرحله رشدی و سوپرفسفات تریپل و سولفات پتاسیم به ترتیب به میزان‌های ۱۰۰ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار قبل از کاشت و در تیمارهای تلفیقی ۵۰ درصد مقادیر نکر شده مصرف گردید. همچنین نانو کلات‌های روی، آهن، میکرو کامل و NPK به میزان ۲ در هزار در مراحل ۱۰-۸ برگی و ۲۰-

^۱- Sugar Content (SC)

$$ALC = \frac{K + Na}{N} \quad \text{[رابطه ۴]}$$

در نهایت پس از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها و عدم وجود اثر متقابل تکرار و تیمار، تجزیه واریانس با استفاده از نرم‌افزار MSTATC و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث‌ها

شاخص کلروفیل برگ

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای مختلف از لحاظ شاخص کلروفیل برگ می‌باشد (جدول ۲). بیشترین شاخص کلروفیل برگ (۴/۳) با کاربرد تلفیقی نانو کلات NPK+ نانو کلات میکرو کامل + ۵۰ درصد کود شیمیایی (T₇) بدست آمد که تفاوت آن فقط با تیمارهای T₂، T₃، T₈ و T₉ معنی‌دار بود. همچنین کمترین مقدار این شاخص (۳۵/۲) نیز در تیمار نانو کلات آهن + نانو کلات روی (T₈) بدون اختلاف معنی‌دار با تیمارهای T₂ (نانو کلات NPK) و T₃ (نانو کلات میکرو کامل) حاصل شد (جدول ۳). به نظر می‌رسد تأمین هر دو گروه عناصر پرمصرف و ریزمغذی‌ها به شکل نانو سبب دسترسی بهتر چغندر قند به عناصر مورد نیاز شده و باعث افزایش رشد رویشی و شاخص کلروفیل گیاه شده است. با توجه به این که میزان اسیدیته خاک محل آزمایش بیشتر از ۷ است، لذا فراهم شدن عناصر مورد نیاز گیاه از طریق کاربرد تلفیقی کودها بیشترین تاثیرگذاری را روی این صفت داشته است. علاوه بر این بدلیل آزادسازی تدریجی عناصر غذایی در نانوکودها، تخریب کلروفیل به آرامی صورت گرفته و به افزایش دوام سطوح فتوسنتزی منجر خواهد شد (آرتیزساک ۲۰۱۴). در تطابق با نتایج حاصل از این آزمایش، عارفی و همکاران (۲۰۱۲) با بررسی اثر

ناخالصی‌ها و عناصری که مانع استحصال قند می‌شوند، بدست می‌آید (مهدوی و همکاران ۲۰۱۶). ناخالصی‌ها^۱ بیانگر مقدار سدیم، پتاسیم و نیتروژن مضره می‌باشند. نیتروژن مضره مقدار نیتروژنی است که طی دوره رشد جذب ریشه شده و در فرآیند استخراج قند مانع استحصال آن می‌شود که به روش رنگ سنجی معروف به روش آبی اندازه‌گیری شد (راینفلد و همکاران ۱۹۷۴). همچنین مقدار سدیم و پتاسیم به روش فلیم فتومتری اندازه‌گیری شدند. قند ملاس^۲ مقدار شکر غیر قابل استحصال از ریشه چغندر قند می‌باشد که بر اساس مقادیر سدیم، پتاسیم و نیتروژن مضره از طریق رابطه زیر قابل محاسبه می‌باشد:

$$MS = 0.343 (K + Na) + 0.094 N - 0.31 \quad \text{[رابطه ۱]}$$

شکر سفید یا شکر قابل استحصال^۳ درصد قند خالص موجود در ریشه چغندر قند است که در کارخانه قند استخراج شده و از طریق رابطه زیر محاسبه می‌گردد (ابیان و همکاران ۲۰۱۷):

$$WSC = SC - (MS + 0.6^*) \quad \text{[رابطه ۲]}$$

* ضایعات شکر کارخانه قند معادل ۰/۶ در نظر گرفته شد. عملکرد قند ناخالص یا شکر ناخالص^۴ از حاصلضرب مقدار قند ناخالص در عملکرد ریشه بدست می‌آید. همچنین عملکرد قند خالص یا شکر خالص^۵ از حاصلضرب عملکرد ریشه در درصد قند قابل استحصال محاسبه می‌شود. ضریب استحصال شکر^۶ یا راندمان استحصال بیانگر درصد شکر سفید قابل استحصال از ساکارز موجود در ریشه چغندر قند بوده و از طریق رابطه زیر محاسبه می‌شود (ابیان و همکاران ۲۰۱۷):

$$ECS = (WSC \div SC) \times 100 \quad \text{[رابطه ۳]}$$

با توجه به غلظت ناخالصی‌های سدیم، پتاسیم و نیتروژن مضره، ضریب قلیابیت یا آلکالیته برای هر نمونه بر مبنای رابطه ۴ محاسبه شد.

4- Sugar Yield (SY)

5- White Sugar Yield (WSY)

6- Extraction Coefficient of Sugar (ESC)

1- Impurities

2- Molasses Sugar (MS)

3- White Sugar Content (WSC)

کارتونوئید چغندر قند شده که به تبع آن میزان فتوسنتز و عملکرد گیاه کاهش خواهد یافت. همچنین محمودی سورستانی و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند که کاربرد نانو کلات آهن سبب افزایش کلروفیل و رنگدانه‌های فتوسنتزی در گیاه ریحان مقدس (*Ocimum tenuiflorum*) گردید. دلفانی و همکاران (۲۰۱۴) نیز نتیجه گرفتند با کاربرد نانوکودهای منگنز و آهن میزان کلروفیل و کارایی فتوسنتز در نخود (*Cicer arietinum*) افزایش معنی‌داری پیدا کرد. نتایج مشابهی مبنی بر افزایش شاخص کلروفیل برگ با کاربرد کودهای نانو در گیاهان بادرشبو (*Dracocephalum moldavica*) و جو (*Hordeum vulgare*) گزارش شده است (یوسف‌زاده و صباغ‌نیا ۲۰۱۶؛ جان‌محمدی و همکاران ۲۰۱۶).

سطوح مختلف نیتروژن، فسفر و پتاسیم بر رنگدانه‌های فتوسنتزی، غلظت کلروفیل و فتوسنتز کل در گیاه موسیر (*Allium hirtifolium*) نتیجه گرفتند که تأمین این سه عنصر باعث افزایش غلظت کلروفیل و فتوسنتز در گیاه شده و به تبع آن میزان عملکرد گیاه افزایش یافت. از طرفی دیگر عنصر آهن بخشی از ساختار کلروفیل و آنزیم‌هایی از قبیل کاتالاز، پراکسیداز، سیتوکروم اکسیداز و سیتوکروم را در گیاهان تشکیل می‌دهد. بنابراین در دسترس بودن عناصر ریزمغذی مانند آهن و روی از تجزیه کلروفیل‌ها و کاهش عملکرد گیاه جلوگیری می‌کند (برودی و همکاران ۲۰۱۲). زیرا مورالس و همکاران (۱۹۹۹) نتیجه گرفتند که کمبود آهن منجر به کاهش غلظت رنگدانه‌های فتوسنتزی مانند کلروفیل و

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف کودی بر صفات کمی و کیفی چغندر قند

میانگین مربعات							درجه آزادی	منابع تغییر
عملکرد قند	درصد قند	عملکرد قند	درصد قند	عملکرد ریشه	شاخص کلروفیل	عملکرد کلروفیل		
خالص	خالص	ناخالص	ناخالص	ریشه	کلروفیل	کلروفیل	۲	بلوک
۰/۵۸۹ ^{ns}	۱/۱۴۹ ^{ns}	۰/۷۵۰ ^{ns}	۱/۱۲۳ ^{ns}	۴/۵۷ ^{ns}	۱۱/۴۸ ^{ns}	۱۱/۴۸ ^{ns}	۹	تیمار
۷/۰۲۳ ^{**}	۳/۰۳۳ [*]	۱۱/۰۱ ^{**}	۲/۶۹۱ ^{ns}	۲۶۵/۸ ^{**}	۳۸/۵۹ ^{**}	۳۸/۵۹ ^{**}	۱۸	اشتباه آزمایشی
۰/۵۸۶	۱/۱۴۸	۰/۸۸۴	۱/۱۷۰	۲۷/۷	۷/۴۵	۷/۴۵		ضریب تغییرات (درصد)
۱۱/۴۸	۷/۹۶	۱۱/۱۶	۶/۳۷	۱۰/۶	۶/۵۴	۶/۵۴		

^{ns}، * و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱، ۵ درصد و عدم معنی‌دار می باشد.

جدول ۳- مقایسه میانگین شاخص‌های کمی و کیفی چغندر قند تحت تأثیر مختلف کودی

شاخص کلروفیل	عملکرد ریشه	درصد قند	عملکرد قند ناخالص	درصد قند خالص	عملکرد قند خالص	شاخص کلروفیل
(تن در هکتار)	(تن در هکتار)	ناخالص	(تن در هکتار)	خالص	(تن در هکتار)	(تن در هکتار)
۴۳/۹ ab	۵۷/۵ b	۱۶/۸۲ a	۹/۶۸ bc	۱۲/۷۰ bc	۷/۳۱ bc	T ₁
۳۸/۴ cde	۴۱/۶ d	۱۷/۲۳ a	۷/۱۷ def	۱۴/۱۲ ab	۵/۸۶ cde	T ₂
۳۸/۱ de	۳۹/۶ d	۱۶/۸۱ a	۶/۶۶ ef	۱۳/۶۶ abc	۵/۴۱ de	T ₃
۴۲ abcd	۴۵/۸ cd	۱۷/۸۸ a	۸/۲ cde	۱۴/۲۷ ab	۶/۵۴ bcd	T ₄
۴۵/۵ ab	۶۰ ab	۱۶/۸۳ a	۱۰/۱۳ b	۱۲/۹۳ bc	۷/۷۹ b	T ₅
۴۳/۸ ab	۵۲/۵ bc	۱۶/۲۳ a	۸/۵۳ bcd	۱۲/۶۳ bc	۶/۶۴ bcd	T ₆
۴۶/۳ a	۶۶/۶ a	۱۸/۷۲ a	۱۲/۴۷ a	۱۵/۲۹ a	۱۰/۱۷ a	T ₇
۳۵/۲ e	۳۹/۱ d	۱۵/۲۲ a	۵/۸۷ f	۱۱/۹۲ c	۴/۵۸ e	T ₈
۴۰/۵ bcd	۴۳/۱ d	۱۷/۵۲ a	۷/۵۷ def	۱۴/۱۱ ab	۶/۱۰ cd	T ₉
۴۳/۴ abc	۴۸/۳ cd	۱۶/۶۱ a	۸/۰۲ cde	۱۲/۹۴ bc	۶/۲۵ cd	T ₁₀

۱۰۰ درصد کود شیمیایی (T₁)، نانو کلات NPK (T₂)، نانوکلات میکرو کامل (T₃)، نانو کلات NPK + نانوکلات میکرو کامل (T₄)، نانو کلات NPK + ۵۰ درصد کود شیمیایی (T₅)، نانوکلات میکرو کامل + ۵۰ درصد کود شیمیایی (T₆)، نانو کلات NPK + نانوکلات میکرو کامل + ۵۰ درصد کود شیمیایی (T₇)، نانوکلات آهن + نانوکلات روی (T₈)، نانوکلات آهن + نانوکلات روی + نانوکلات NPK (T₉)، نانوکلات آهن + نانوکلات روی + ۵۰ درصد کود شیمیایی (T₁₀)، حروف متفاوت نشانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد براساس آزمون دانکن می‌باشد.

عملکرد ریشه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد بین تیمارهای مختلف کودی از لحاظ عملکرد ریشه اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود داشت (جدول ۲). بیشترین میزان عملکرد ریشه به‌ترتیب در تیمارهای نانو کلات NPK+ نانوکلات میکرو کامل+ ۵۰ درصد کود شیمیایی (۶۶/۶ تن در هکتار) و نانو کلات NPK+ ۵۰ درصد کود شیمیایی (۶۰ تن در هکتار) بدست آمد و تیمارهای ۱۰۰ درصد کود شیمیایی (T₁) و نانوکلات میکرو کامل+ ۵۰ درصد کود شیمیایی (T₆) در رتبه بعدی قرار گرفتند. همچنین کمترین میزان عملکرد (۳۹/۱ تن در هکتار) نیز با کاربرد نانو کلات آهن+ نانو کلات روی حاصل شد که با تیمارهای T₂، T₃، T₄، T₉ و T₁₀ تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۳). چغندر قند پس از جوانه‌زنی به منظور توسعه سریع کانوپی و ایجاد سطح برگ کافی برای جذب بهتر نور به مقادیر کافی عناصر غذایی احتیاج دارد (نورتون ۲۰۱۱). با توجه به مشکلات مربوط به کودهای شیمیایی رایج، نحوه استفاده و آبشویی زیاد این کودها از خاک (بویژه در زراعت چغندر قند که به آبیاری‌های زیادی نیاز دارد)، کاربرد تلفیقی کودهای نانو و شیمیایی با آزادسازی تدریجی عناصر غذایی و افزایش میزان جذب آن‌ها در طی مراحل مختلف رشدی باعث افزایش رشد رویشی، دوام سطح برگ، بهبود سیستم فتوسنتزی و به تبع آن افزایش عملکرد خواهد شد (مونیکا و کرمونینی ۲۰۰۹). باقرزاده و همکاران (۲۰۱۴) نتیجه گرفتند عملکرد ریشه چغندر قند با در دسترس قرار گرفتن عناصر غذایی بویژه نیتروژن افزایش یافت. همچنین برودلی و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند که در شرایط کمبود عناصر ریزمغذی انتقال الکترون فتوسنتزی کاهش یافته که این امر باعث کاهش تثبیت دی اکسید کربن، کاهش غلظت نشاسته و کربوهیدرات‌های محلول در گیاهان شده و در نهایت منجر به کاهش عملکرد تولیدی خواهد شد. علاوه بر این،

پیوندی و همکاران (۲۰۱۱) با بررسی اثر نانو کود آهن در ریحان (*Ocimum basilicum*) نتیجه گرفتند که بیشترین میزان پارامترهای رشدی از قبیل وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی تحت تأثیر معنی‌دار کاربرد این کودها قرار گرفت. همچنین جوکار و همکاران (۲۰۱۵) نتیجه گرفتند که کاربرد نانو کلات آهن با آزاد سازی تدریجی این عنصر و افزایش جذب آن توسط گیاه منجر به افزایش معنی‌دار عملکرد لوبیا (*Phaseolus vulgaris*) شد. نتایج حاصل از این تحقیق با نتایج رضایی چپانه و همکاران (۲۰۱۶)، خرمدل و همکاران (۲۰۱۵)، کمرکی و گلوی (۲۰۱۲) و قاسمی و همکاران (۲۰۱۳) مطابقت داشت.

درصد قند ناخالص و عملکرد قند ناخالص

اثر تیمارهای مختلف کودی بر درصد قند ناخالص معنی‌دار نبود با وجود این، بیشترین (۱۸/۷۲ درصد) و کمترین درصد قند ناخالص (۱۵/۲۲ درصد) به‌ترتیب در تیمارهای نانو کلات NPK+ نانوکلات میکرو کامل+ ۵۰ درصد کود شیمیایی و نانوکلات آهن+ نانوکلات روی به دست آمد. از این رو تأمین نیازهای غذایی چغندر قند از منابع مختلف کودی تأثیر معنی‌داری بر درصد قند به عنوان یکی از مهمترین صفات کیفی نداشته است و از این حیث کاربرد تلفیقی کودهای شیمیایی مرسوم و نانو توانسته است بیشترین تأثیر را بر این صفت داشته باشد. برخلاف درصد قند ناخالص، عملکرد قند ناخالص تحت تأثیر تیمارهای مختلف کودی در سطح احتمال یک درصد واقع شد (جدول ۲). بیشترین میزان عملکرد قند ناخالص (۱۲/۴۷ تن در هکتار) در تیمار T₇ مشاهده شد و تیمارهای T₅ و T₁ در رتبه بعدی قرار گرفتند. همچنین کمترین (۵/۸۷ تن در هکتار) میزان این شاخص نیز در تیمار T₈ حاصل شد که تفاوت معنی‌داری با تیمارهای T₃، T₂ و T₉ نداشت (جدول ۳). عملکرد قند ناخالص برآیندی از درصد قند ناخالص و عملکرد ریشه چغندر قند

کمترین میزان این شاخص نیز در تیمار T₈ (نانو کلات آهن+ نانو کلات روی) حاصل شد که تفاوت معنی‌داری با تیمارهای T₂ و T₃ نداشت (جدول ۳). جوزی و ابیانه (۲۰۱۶) نتیجه گرفتند که با افزایش مصرف کودهای شیمیایی و بویژه نیتروژن درصد قند خالص کاهش می‌یابد. علت کاهش درصد قند خالص با مصرف کودهای شیمیایی به تحریک رشد رویشی، سایه‌اندازی برگ‌ها، افزایش نسبت تنفس به فتوسنتز، ذخیره آب بیشتر در ریشه و بزرگ‌تر شدن ریشه نسبت داده می‌شود (دیهیم‌فرد و نظری ۲۰۱۵). کافکا و گرننتز (۲۰۱۴) نیز نتیجه گرفتند که مصرف زیاد کودهای نیتروژنه سبب افزایش رشد رویشی و انتقال مواد قندی ذخیره شده از ریشه به برگ‌ها شده و در نتیجه از میزان قند خالص و عملکرد قند خالص کاسته خواهد شد. علاوه بر این، هافمن (۲۰۱۱) نتیجه گرفت با مصرف کودهای شیمیایی، اگرچه عملکرد ریشه چغندر قند افزایش یافت ولی غلظت و عملکرد قند خالص کاهش پیدا کرد. دیهیم‌فرد و نظری (۲۰۱۵) نیز مشاهده کردند که همبستگی منفی و معنی‌داری بین درصد قند خالص و درصد تجمع نیتروژن در ریشه چغندر قند وجود داشت و با توجه به افزایش تجمع ناخالصی‌ها با کاربرد کودهای شیمیایی مرسوم، درصد و عملکرد قند خالص کاهش یافت. همچنین نتایج مشابهی توسط ابیانه و همکاران (۲۰۱۷)، تسیالتاس و مسلاریس (۲۰۱۳) و نوشاد و خیامیم (۲۰۱۷) گزارش شد.

ناخالصی‌ها (سدیم، پتاسیم و نیتروژن مضره)

از جمله عوامل مؤثر در تولید و استحصال شکر در کارخانجات قند کیفیت تکنولوژیکی چغندر قند می‌باشد. مهمترین ناخالصی‌های موجود در چغندر قند که کیفیت تکنولوژیکی آن را تحت تأثیر قرار می‌دهد سدیم، پتاسیم و نیتروژن مضره می‌باشند که مانع از استحصال قند ذخیره شده در ریشه خواهند شد. عناصر ذکر شده کریستالیزه شدن ساکارز و قابلیت استحصال آن را

می‌باشد. لذا هر عاملی که باعث افزایش این دو شاخص گردند باعث افزایش میزان عملکرد قند خواهد شد. مشاهده می‌شود با کاربرد تلفیقی نانو کلات NPK+ نانوکلات میکرو کامل+ ۵۰ درصد کود شیمیایی بدلیل افزایش عملکرد ریشه و درصد قند ناخالص، میزان عملکرد قند ناخالص در این تیمار افزایش معنی‌داری پیدا کرد. به طوری که، میزان افزایش عملکرد قند ناخالص در این تیمار نسبت به ۱۰۰ درصد کود شیمیایی ۲۸/۸۲ درصد بوده است. در مناطق خشک و نیمه خشک آهکی بودن خاک‌ها و عدم دسترسی عناصر غذایی (بویژه ریزمغذی‌ها) از عوامل کاهش عملکرد گیاهان زراعی محسوب می‌شوند. لذا تأمین عناصر غذایی با کاربرد تلفیقی کودهای شیمیایی و نانو نقش مؤثری در افزایش عملکرد گیاهان خواهند داشت. پیرزاد و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند که کاربرد نانو کلات آهن باعث افزایش عیار قند، عملکرد ریشه و عملکرد قند در چغندر قند گردید. همچنین جانمحمدی و همکاران (۲۰۱۶) نیز اثرگذاری نانو کلات میکرو در افزایش عملکرد ذرت (*Zea mays L.*) را بیشتر از سایر فرم‌های کودی مورد استفاده بیان کرده و دلیل آن را به رهایش تدریجی عناصر غذایی از این کودها و افزایش جذب آن‌ها توسط گیاهان نسبت دادند.

درصد و عملکرد قند خالص

اثر تیمارهای مختلف کودی بر درصد قند خالص در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. بیشترین (۱۵/۲۹ درصد) و کمترین (۱۱/۹۲ درصد) قند خالص به ترتیب در تیمارهای T₇ (نانو کلات NPK+ نانوکلات میکرو کامل+ ۵۰ درصد کود شیمیایی) و T₈ (نانوکلات آهن+ نانوکلات روی) بدست آمد. علاوه بر این، عملکرد قند خالص تحت تأثیر تیمارهای مختلف کودی در سطح احتمال یک درصد واقع شد (جدول ۲). بیشترین میزان عملکرد قند خالص در تیمار T₇ با میزان عملکرد ۱۰/۱۷ تن در هکتار حاصل شد که نسبت به کاربرد ۱۰۰ درصدی کود شیمیایی میزان عملکرد ۳۹/۱۲ درصد افزایش نشان داد. همچنین

کاهش داده و از طرفی باعث افزایش میزان ملاس می‌شوند (هافمن ۲۰۱۱).

در بین ترکیبات ملاس‌زا، پتاسیم بیشترین خاصیت ملاس‌زایی را دارد. نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که غلظت پتاسیم تحت تأثیر معنی‌دار تیمارهای مختلف کودی در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت (جدول ۴). بیشترین میزان پتاسیم (۸/۳۸ میلی اکی والان در ۱۰۰ گرم خمیر ریشه) با کاربرد ۱۰۰ درصد کود شیمیایی بدون تفاوت معنی‌دار با تیمار نانو کلات NPK+ ۵۰ درصد کود شیمیایی (۷/۸۷ میلی اکی والان در ۱۰۰ گرم خمیر ریشه) بدست آمد. همچنین کمترین میزان پتاسیم نیز به ترتیب در تیمارهای T₂ (۶/۴ میلی اکی والان در ۱۰۰ گرم خمیر ریشه) و T₃ (۶/۴۶ میلی اکی والان در ۱۰۰ گرم خمیر ریشه) حاصل شد (جدول ۵). همچنین اثر تیمارهای مختلف کودی بر میزان سدیم ذخیره شده در ریشه چغندر قند معنی‌دار نبود (جدول ۴). با این حال بیشترین غلظت سدیم در تیمارهای T₁ (۱۰۰ درصد کود شیمیایی) و T₅ (نانو کلات NPK+ ۵۰ درصد کود شیمیایی) و کمترین غلظت آن در تیمارهای T₂، T₃ و T₉ مشاهده گردید (جدول ۵). کلیک و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند با مصرف کود پتاسیمی به دلیل افزایش غلظت پتاسیم ریشه، کیفیت قند استحصالی کاهش پیدا کرد. همچنین پیرزاد و همکاران (۲۰۱۵) نتیجه گرفتند که کاربرد نانو کلات آهن تأثیری بر غلظت سدیم ریشه چغندر قند نداشت.

مواد نیتروژن‌دار بخصوص اسیدهای آمینه نقش عمده‌ای در ایجاد ملاس داشته و به همین علت به آن‌ها نیتروژن مضره گفته می‌شود. مهمترین ترکیبات نیتروژن مضره اسیدهای آمینه، بتائین، بازهای پورین و پریمیدین می‌باشد که در مراحل تصفیه جدا نشده و وارد ملاس می‌شوند (ابیانه و همکاران ۲۰۱۷). نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد اثر تیمارهای مختلف کودی بر میزان نیتروژن مضره در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۴). بیشترین (۲/۹۵ میلی اکی والان در ۱۰۰ گرم خمیر ریشه) و کمترین (۱/۴۳ میلی اکی والان در ۱۰۰ گرم خمیر ریشه) میزان نیتروژن مضره به ترتیب در تیمارهای T₁ (۱۰۰ درصد کود شیمیایی) و T₂ (نانوکلات میکرو NPK) بدست آمد (جدول ۵). تسالیاتاس و مسلاریس (۲۰۰۹) مشاهده کردند که با کاربرد ۲۴۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن میزان عناصر نیتروژن، سدیم و پتاسیم ریشه چغندر قند به ترتیب ۳۶/۹، ۳۷/۴ و ۳/۷ نسبت به عدم مصرف افزایش یافت. همچنین عبدالملقی و عطیا (۲۰۰۹) گزارش کردند که با کاربرد کودهای شیمیایی غلظت نیتروژن، پتاسیم و سدیم در ریشه چغندر قند به ترتیب ۵۴، ۵/۹ و ۲۹/۶ درصد نسبت به عدم مصرف افزایش یافت. بطور کلی نتایج این پژوهش با نتایج تحقیقات ابیانه و همکاران (۲۰۱۷) و کیماز و ارتک (۲۰۱۵) مطابقت داشت.

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف کودی بر سایر صفات کیفی چغندر قند

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		سدیم	پتاسیم	نیتروژن مضره	قند ملاس	ضریب ضریب
تکرار	۲	۰/۰۰۱ ^{NS}	۰/۰۵ ^{NS}	۰/۱۴۹ ^{NS}	۰/۰۰۳ ^{NS}	۲/۸۲۴ ^{NS}
تیمار	۹	۰/۱۳ ^{NS}	۱/۲۵ ^{**}	۰/۷۱۲ ^{**}	۰/۳۰۷ ^{**}	۱۵/۰۰۳ ^{**}
اشتباه آزمایشی	۱۸	۰/۳۶۶	۰/۲۱۴	۰/۱۱۹	۰/۰۳۵	۳/۲۵۶
ضریب تغییرات (درصد)		۰/۶۸	۶/۴۹	۱۵/۴۵	۶/۳۷	۲/۲۸

^{**}، ^{*} و ^{NS} به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱، ۵ درصد و عدم معنی‌دار می‌باشد.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف کودی بر صفات کیفی چغندر قند

تیمارهای کودی	سدیم (میلی اکی والان در ۱۰۰ گرم ریشه)	پتاسیم (میلی اکی والان در ۱۰۰ گرم ریشه)	نیترژن مضره (میلی اکی والان در ۱۰۰ گرم ریشه)	قند ملاس (درصد)	ضریب استحصال (درصد)	ضریب آلکالیته
T1	۱/۹۷	۸/۳۸ a	۲/۹۵ a	۳/۵۲ a	۷۵/۵۱ d	۳/۵۰ bc
T2	۱/۴۳	۶/۴ d	۱/۴۳ d	۲/۵۱ e	۸۱/۹۲ a	۵/۶۱ a
T3	۱/۴۲	۶/۴۶ d	۱/۶۲ cd	۲/۵۴ e	۸۱/۲۹ a	۴/۹۴ ab
T4	۱/۷۶	۷/۲۸ bcd	۲/۳۶ abc	۳/۰۱ bcd	۷۹/۸۱ abc	۳/۹۰ bc
T5	۱/۹۳	۷/۸۷ ab	۲/۶۵ ab	۳/۳۰ ab	۷۶/۷۶ cd	۳/۷۶ bc
T6	۱/۸۲	۷/۱۵ bcd	۲/۵۲ ab	۲/۹۹ bcd	۷۷/۷۹ bcd	۳/۶۰ bc
T7	۱/۸۴	۶/۶۳ cd	۲/۴۸ ab	۲/۸۳ cde	۸۱/۶۴ a	۳/۴۲ c
T8	۱/۶۷	۶/۶۲ cd	۱/۷۴ cd	۲/۷۰ de	۷۷/۸۱ bcd	۴/۸۱ abc
T9	۱/۴۳	۷/۰۲ cd	۲/۳۴ abc	۲/۸۰ cde	۸۰/۵۸ ab	۳/۸۵ bc
T10	۱/۷۶	۷/۴۵ bc	۲/۲۶ bc	۳/۰۶ bc	۷۷/۹۲ bcd	۴/۱۱ bc

۱۰۰ درصد کود شیمیایی (T1)، نانو کلات NPK (T2)، نانوکلات میکرو کامل (T3)، نانو کلات NPK + نانوکلات میکرو کامل (T4)، نانو کلات NPK + ۵۰ درصد کود شیمیایی (T5)، نانوکلات میکرو کامل + ۵۰ درصد کود شیمیایی (T6)، نانو کلات NPK + نانوکلات میکرو کامل + ۵۰ درصد کود شیمیایی (T7)، نانوکلات آهن + نانوکلات روی (T8)، نانوکلات آهن + نانوکلات روی + نانوکلات آهن + نانوکلات روی (T9)، نانوکلات آهن + نانوکلات روی (T10). حروف متفاوت نشانگر اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد براساس آزمون دانکن می باشد.

قند ملاس

از نقطه نظر تکنولوژیکی، ملاس آخرین فرآورده می باشد که در کارخانه استخراج قند حاصل می شود. با وجود این که قسمت عمده ملاس را ساکارز تشکیل می دهد ولی نمی توان آن را از طریق تبخیر، تغلیظ و کریستالیزاسیون مجدد استخراج نمود (کیماز و ارتک ۲۰۱۵). بنابراین هر چه میزان ملاس کمتر باشد کیفیت ریشه حاصله بیشتر خواهد بود. اثر تیمارهای مختلف کودی بر میزان ملاس ریشه چغندر قند در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۴). بیشترین میزان قندس ملاس (۳/۵۲ درصد) با کاربرد ۱۰۰ درصد کود شیمیایی بدست آمد که تفاوت معنی داری با تیمار T5 (نانو کلات NPK + ۵۰ درصد کود شیمیایی) نداشت. همچنین کمترین میزان این شاخص نیز به ترتیب در تیمارهای نانو کلات NPK (T2)، نانو کلات میکرو کامل (T3)، نانوکلات آهن + نانوکلات روی (T8)، نانوکلات آهن + نانوکلات روی + نانوکلات NPK (T9) و نانو کلات NPK + نانوکلات میکرو کامل + ۵۰ درصد کود شیمیایی (T7) بدست آمد

(جدول ۵). عبدالمطلق و عطیا (۲۰۰۹) گزارش کردند که میزان قند ملاس همبستگی مثبتی با مصرف کودهای شیمیایی و ناخالصی های ریشه داشت. به طوری که مصرف ۲۸۵ کیلوگرم در هکتار نیترژن باعث افزایش ۲/۸۰ الی ۳/۰۷ درصدی قند ملاس شد. از آنجایی که بیشترین میزان ناخالصی ها با کاربرد ۱۰۰ درصد کود شیمیایی بدست آمده است، لذا میزان قند ملاس در این تیمار بیشتر از سایر تیمارها بود. بیانکاری و همکاران (۲۰۱۰) مهمترین عامل افزایش قند ملاس را کاربرد بیش از حد کودهای شیمیایی بیان می کنند که باعث افزایش رشد رویشی و انتقال مواد قندی ذخیره شده در ریشه چغندر قند به اندام های رویشی می گردد. نتایج حاصل از این تحقیق با نتایج نوشاد و خیامیم (۲۰۱۷) مطابقت داشت.

افزایش نیتروژن مضره و در نهایت ضریب قلیائیت ریشه گردد. جوزی و ابیانه (۲۰۱۶) گزارش کردند که با کاهش مقدار مصرف کود نیتروژنه ضریب آلكالیته کاهش یافت. نتایج حاصل از این تحقیق با نتایج تسیالتس و مسلاریس (۲۰۱۳) و نوشاد و خیامیم (۲۰۱۷) مطابقت داشت.

نتیجه گیری کلی

نتایج بدست آمده از این تحقیق در ارتباط با کاربرد تلفیقی کودهای شیمیایی مرسوم و نانو بر عملکرد و کیفیت چغندر قند حاکی از آن است که بسیاری از صفات مورد مطالعه تحت تاثیر معنی دار تیمارهای مختلف کودی قرار گرفت. بیشترین میزان شاخص کلروفیل، عملکرد ریشه، عملکرد قند ناخالص و عملکرد قند خالص با کاربرد تلفیقی نانو کلات NPK + نانوکلات میکرو کامل + ۵۰ درصد کود شیمیایی بدست آمد. همچنین کمترین میزان شاخص‌های ذکر شده نیز با کاربرد نانو کلات آهن + نانو کلات روی حاصل شد. همچنین بالاترین و کمترین میزان ناخالصی‌های موجود در ریشه (سدیم، پتاسیم و نیتروژن مضره) و قند ملاس به ترتیب در تیمارهای T₁ (۱۰۰ درصد کود شیمیایی) و T₂ (نانو کلات NPK) مشاهده شد. با افزایش میزان نیتروژن مضره، سدیم و پتاسیم، ضریب استحصال قند کاهش یافت. به طوری که کمترین ضریب استحصال قند در تیمار ۱۰۰ درصد کود شیمیایی بدست آمد. علاوه بر این بیشترین ضریب استحصال قند به ترتیب به تیمارهای نانو کلات NPK، نانوکلات NPK + نانوکلات میکرو کامل + ۵۰ درصد کود شیمیایی و نانوکلات میکرو کامل تعلق داشت. به طور کلی بر اساس شاخص‌های مورد بررسی کاربرد نانو کلات NPK + نانوکلات میکرو کامل + ۵۰ درصد کود شیمیایی به عنوان تیمار برتر پیشنهاد شد.

ضریب استحصال قند و ضریب آلكالیته (قلیائیت)

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای مختلف از لحاظ ضریب استحصال قند در سطح احتمال یک درصد وجود داشت (جدول ۴). بیشترین ضریب استحصال قند به ترتیب در تیمارهای T₂ (نانو کلات NPK)، T₇ (نانو کلات NPK + نانوکلات میکرو کامل + ۵۰ درصد کود شیمیایی) و T₃ (نانوکلات میکرو کامل) با میانگین ۸۱/۹۲، ۸۱/۶۴ و ۸۱/۲۹ بدست آمد که تفاوت معنی‌داری با تیمارهای T₄ و T₉ نداشت (جدول ۵). همچنین اثر تیمارهای مختلف کودی بر میزان ضریب آلكالیته نیز در سطح احتمال پنج درصد معنی دار بود. بیشترین ضریب آلكالیته (۵/۶۱) در تیمار T₂ (نانو کلات NPK) بدون تفاوت معنی‌دار با تیمارهای T₃ (نانوکلات میکرو کامل) و T₈ (نانوکلات آهن + نانوکلات روی) مشاهده شد. همچنین کمترین مقدار این شاخص (۳/۴۲) نیز در تیمار T₇ (نانو کلات NPK + نانوکلات میکرو کامل + ۵۰ درصد کود شیمیایی) بدست آمد. به نظر می‌رسد کاهش تجمع ناخالصی‌های ریشه تحت تاثیر تیمارهای T₂ و T₃ سبب افزایش ضریب آلكالیته در این تیمارها شده است. میزان درجه آلكالیته بر خلاف نیتروژن مضره، سدیم و پتاسیم با مصرف کودهای شیمیایی روند کاهشی داشت. به طوری که میزان ضریب آلكالیته در تیمار ۱۰۰ درصد کود شیمیایی نسبت به تیمار T₂ (نانو کلات NPK) ۶۰/۲۸ درصد کاهش یافت. زیرا دیهیم فرد و نظری (۲۰۱۵) نتیجه گرفتند که درجه آلكالویدی همبستگی منفی و بالایی با میزان نیتروژن مضره دارد. در تیمار کاربرد نانو کلات NPK به دلیل این که آزادسازی عناصر به آرامی صورت می‌گیرد، لذا انباشت نیتروژن در ریشه صورت نگرفته است. همچنین در تیمار کاربرد نانوکلات میکرو کامل عملاً نیتروژنی در دسترس وجود ندارد که سبب

منابع مورد استفاده

- Abdel-Motagally FMF and Attia KK. 2009. Response of sugar beet plants to nitrogen and potassium fertilization in sandy calcareous soil. *International Journal of Agriculture and Biology*, 11: 695–700.
- Abyaneh HA, Jovzi M and Albaji M. 2017. Effect of regulated deficit irrigation, partial root drying and N-fertilizer levels on sugar beet crop (*Beta vulgaris* L.). *Agricultural Water Management*, 194: 13–23.
- Aghazadeh-Khalkhali D, Mehrafarin A, Abdossi V and Naghdi Badi H. 2015. Mucilage and Seed Yield of Psyllium (*Plantago psyllium* L.) in Response to Foliar Application of Nano-iron and Potassium Chelate Fertilizer. *Journal of Medicinal Plants*, 4(56): 23-34.
- Amani Machiani M, Javanmard A, Morshedloo MR and Maggi F. 2018. Evaluation of yield, essential oil content and compositions of peppermint (*Mentha piperita* L.) intercropped with faba bean (*Vicia faba* L.). *Journal of Cleaner Production*, 171: 529-537.
- Arefi I, Kafi M, Khazaee HR and Banayan Aval M. 2012. Effect of nitrogen phosphorous and potassium fertilizer levels on yield, photosynthetic rate photosynthetic pigments, chlorophyll content, and nitrogen concentration of plant components of *Allium altissimum* Regel. *Agroecology*, 4(3): 207-214.
- Artyszak A, Gozdowski D and Kucińska K. 2014. The effect of foliar fertilization with marine calcite in sugar beet. *Plant, Soil and Environment*, 60: 413–417.
- Bagherzadeh A, Kalat SMN and Hajian J. 2014. Effects of Residual Wheat Straw and Nitrogen Fertilizer on Yield and Quality of Sugar Beet in a Semi-Arid Region. *Sugar Tech*, 16: 189–194.
- Behaen MA, Ashraf Mansouri GR and Hamidi F. 2011. Effect of different tillage methods in monogerm seedbed preparation on yield and quality of sugar beet. *Journal of Sugar Beet*, 28 (2): 123-135. (In Persian).
- Biancardi E, McGrath MJ, Panella LW, Lewellen RT and Stevanato P. 2010. Root and Tuber Crops. Chapter 6. Sugar Beet. *Root and Tuber Crops*, 245-289.
- Broadley M, Brown P, Cakmak I, Rengel Z and Zhao F. 2012. Function of Nutrients: Micronutrients. *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. Third Edition. Elsevier.
- Celik H, Bulent BA, Serhat G and Katkat VA. 2010. Effect of potassium and iron on macro element uptake of maize. *Zemdirbyste*, 97: 11–22.
- Delfani M, Baradarn Firouzabadi M, Farrokhi N and Makarian H. 2014. Some Physiological Responses of Black-Eyed Pea to Iron and Magnesium Nanofertilizers. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 45: 530–540.
- Dihim Fard R and Nazari Sh. 2015. Effect of nitrogen application on quantitative and qualitative of sugar beet cultivars. *Journal of Plant Production Research*, 22(2): 71-93.
- Draycott AP and Christensone DR. 2003. *Nutrients for Sugar beet production*. CABI publishing. Wallingford, pp: 191.
- Eisvand HR, Esmaeili A and Mohammadi M. 2014. Effects of iron oxide nanoparticles on some quantity, quality and physiological characteristics in wheat (*Triticum aestivum* L.) at Khoramabad climate. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 45(2): 287-298. (In Persian).
- FAO. 2016. *Production Statistics*, Food and Agriculture Organization of the United Nations, <http://www.fao.org>
- Ghasemi A, Khoshgoftarmanesh AH and Jafari M. 2012. Synthesis of iron -amino acid chelates and evaluation of their efficacy iron source and growth stimulator for tomato in nutrient solution culture. *Journal of Plant Growth Regulation*, 31: 498-508.
- Ghodsi A, Astaraei AR, Emami H and Mirzapour MH. 2012. Effects of nano iron oxide powder and urban solid waste compost coated sulfur on sunflower yield and yield components in saline-sodic soil. *Environmental Sciences*, 9 (3): 111-118.

- Gupta UC and Solanki H. 2013. Impact of boron deficiency on plant growth. *International Journal of Bioassays*, 2: 1048-1050.
- Hergert GW. 2010. Sugar Beet Fertilization. *Sugar Tech*, 12: 256-266.
- Hoffmann CM. 2011. Root quality of Sugar beet. *Sugar Tech*, 12(3-4): 276-287.
- Hoffmann CM and Märlander B. 2005. Composition of harmful nitrogen in sugar beet (*Beta vulgaris* L.)— amino acids, betaine, nitrate— as affected by genotype and environment. *European Journal of Agronomy*, 22: 255–265.
- Jakienė E, Spruogis V, Romaneckas K, Dautartė A and Avižienytė D. 2015. The bio-organic nano fertilizer improves sugar beet photosynthesis process and productivity. *Zemdirbyste-Agriculture*, 102: 141–146.
- Janmohammadi M, Amanzadeh T, Sabaghnia N and Dashti S. 2016. Impact of foliar application of nano micronutrient fertilizers and titanium dioxide nanoparticles on the growth and yield components of barley under supplemental irrigation. *Acta Agriculturae Slovenica*, 107: 265-276.
- Jokar L, Ronaghi A, Karimian N and Ghasemi-Fasaei R. 2015. Effects of different Fe levels from Fe-nano-chelate and Fe-EDDHA sources on growth and some nutrients concentrations in cowpea in a calcareous soil. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture Soilless Culture Research Center*, 6 (2): 9-19.
- Jozi M and Zare Abyaneh H. 2016. Effects of nitrogen fertilizer and deficit irrigation on quantitative and qualitative traits of sugar beet. *Journal of Sugar Beet*, 31 (2): 141-156.
- Kaffka SR and Grantz DA. 2014. Sugar Crops. *Encyclopedia of Agriculture and Food Systems*, 5: 240-260.
- Kamaraki H and Galavi M. 2012. Evaluation of foliar Fe, Zn and B micronutrients application on quantitative and qualitative traits of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Ageroecology*, 4(3): 201-206. (In Persian).
- Khorramdel S, Eskandari Nasrabadi S and Mahmoodi G. 2015. Evaluation of mother corm weights and foliar fertilizer levels on saffron (*Crocus sativus* L.) growth and yield components. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 2: 9–14.
- Kiyamaz S and Ertek A. 2015. Yield and quality of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) at different water and nitrogen levels under the climatic conditions of Kırsehir, Turkey. *Agricultural Water Management*, 158: 156–165.
- Liu R and Lal R. 2015. Potentials of engineered nanoparticles as fertilizers for increasing agronomic productions. *Science of the total environment*, 514: 131-139. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 25(2): 17-32. (In Persian).
- Mahdavi H, Maleki Farahani S, Chegini MA and Besharati H. 2016. Effect of seed coating and pelleting with plant growth promoting rhizobacteria on germination and seedling growth of sugar beet (*Beta vulgaris*). *Journal of Sugar Beet*, 32(1): 63-74.
- Mahmoodi Sourestani M, Moghadam E and Farrokhian Firoozi A. 2016. The effect of foliar application of iron on some biochemical and photosynthetic characteristics of Holy basil (*Ocimum sanctum*). *Iranian Journal of Horticulture Science*, 47(3): 543-552. (In Persian).
- Malnou CS, Jaggard KW and Sparkes DL. 2008. Nitrogen fertilizer and the efficiency of the sugar beet crop in late summer. *European Journal of Agronomy*, 28: 47–56.
- Maslaris N, Tsialtas IT and Ouzounidis T. 2010. Soil factors affecting yield, quality, and response to nitrogen of sugar beets grown on light-textured soils in Northern Greece. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 41: 1551–1564.
- Monica RC and Cremonini R. 2009. Nanoparticles and higher plants. *Caryologia*, 62: 161–165.
- Morales F, Belkhdja R, Goulas Y, Abadía J and Moya I. 1999. Remote and near-contact chlorophyll fluorescence during photosynthetic induction in iron-deficient sugar beet leaves. *Remote Sensing of Environment*, 69: 170–178.

- Noshad H and Khayamim S. 2017. Effect of soil nitrogen on some physiological characteristics and quality of sugar beet. The University of Tehran's Scientific Journals Database. 48(1): 11-24. (In Persian).
- Peyvandi M, Parande H and Mirza M. 2011. Comparison of Nano Fe Chelate with Fe Chelate Effect on Growth Parameters and Antioxidant Enzymes Activity of *Ocimum Basilicum*. New Cellular and Molecular Biotechnology Journal, 1(4): 89-98.
- Piromyou P, Noisangiam R, Uchiyama H, Tittabutr P, Boonkerd N and Teaumroong N. 2013. Indigenous Microbial Community Structure in Rhizosphere of Chinese Kale as Affected by Plant Growth-Promoting Rhizobacteria Inoculation. Pedosphere, 23: 577-592.
- Pirzad A, Mazlomi M, Saadat B and Sedghi M. 2015. Impact of Foliar Application of Nano-Iron on yield of Fe Use Efficiency in Sugar beet. Research in Crop Ecosystem, 1(1): 23-33.
- Reinefeld E, Emmerich B, Baumgarten G, Winner C and Beiss U. 1974. Zur voraussage des melassezuckers aus rubenanalysen. Zucker, 27: 2-15.
- Rezaei- Chiyaneh E. 2016. Intercropping of Flax Seed (*Linum usitatissimum* L.) and Pinto Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Under Foliar Application of Iron Nano Chelated and Zinc. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 26(1): 39-56. (In Persian).
- Sheykhabglou R, Sedghi M, Tajbakhsh Shishevan M and Sharifi RS. 2010. Effects of Nano-Iron Oxide Particles on Agronomic Traits of Soybean. Notulae Scientia Biologicae, 2: 112-113.
- Subramanian KS, Manikandan A, Thirunavukkarasu M and Rahale CS. 2015. Nano-fertilizers for balanced crop nutrition, in: Nanotechnologies in Food and Agriculture. pp. 69-80.
- Subramanian KS and Thirunavukkarasu M. 2017. Nano-fertilizers and Nutrient Transformations in Soil. Nanoscience and Plant-Soil Systems, 48: 305-318.
- Tsiltas JT and Maslaris N. 2013. Nitrogen effects on yield, quality and K/Na selectivity of sugar beets grown on clays under semi-arid, irrigated conditions. International Journal of Plant Production, 7 (3): 355-371.
- Yousefzadeh S and Sabaghnia N. 2016. Nano-iron fertilizer effects on some plant traits of dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.) under different sowing densities. Acta Agriculturae Slovenica, 107: 429-437.
- Zahedifar M and Najafian S. 2017. *Ocimum basilicum* L. growth and nutrient status as influenced by biochar and potassium-nano chelate fertilizers. Archives of Agronomy and Soil Science, 63: 638-650.