چغندرقند/ جلد ۳۶/ شماره ۲/ ۱۳۹۹

تأثیر اندازه وزنی ریشه چغندرقند در تخمین ساکارز به روش چگالی‌سنجی در مقایسه با روش پلاریمتری

Effect of sugar beet root weight on estimation of sucrose using densitometry method versus polarimetry method

بابک بابایی[۱*]، محمدرضا خانمحمدی خرمی[۲]، امیر باقری گرمارودی[۳] و محمد عبداللهیان نوقابی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۱۹ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۰۸

نوع مقاله: پژوهشی

DOI: 10.22092/jsb.2021.356267.1291

ب. بابایی، م.ر. خانمحمدی خرمی، ا. باقری گرمارودی و م. عبداللهیان نوقابی. ۱۳۹۹. تأثیر اندازه وزنی ریشه چغندرقند در تخمین ساکارز به روش چگالی سنجی در مقایسه با روش پلاریمتری. **چغندرقند، ۳۶(۲): ۱۲۹- ۱۳۸.**

چکیده

تخمین ساکارز چغندرقند به روش چگالی‌سنجی به دلیل عدم تخریب نمونه، ارزانی، سرعت اندازه‌گیری و نداشتن اثر مخرب زیست‌محیطی در مقایسه با روش پلاریمتری اهمیت دارد. پژوهش حاضر در سال ۱۳۹۸ با هدف بررسی اثر اندازه‌ی وزنی ریشه ۱۰ رقم داخلی و خرجی چغندرقند جهت تخمین ساکارز آن به روش چگالی‌سنجی در مقایسه با روش پلاریمتری انجام گرفت. به این منظور، به‌طور تصادفی ۱۵۰ ریشه چغندرقند سالم کشت‌شده در منطقه کرج انتخاب شدند. هر ریشه یک نمونه آزمایشی بود. نمونه‌ها پس از توزین و تعیین چگالی، خمیرگیری شدند. شاخص‌های کیفی مورد ارزیابی شامل ساکارز، ماده خشک، تفاله، مواد جامد محلول بودند. شناسایی داده‌های پرت به روش استانداردسازی باقیمانده‌ها انجام گرفت. نمونه‌ها در گروه‌های ۱۰۰ گرمی به ۱۳ کلاس وزنی تقسیم و سپس رابطه خطی بین چگالی و ساکارز برای هر کلاس تعیین شد. مقایسه آماری بین شیب و عرض از مبدأ روابط خطی به شکل پلکانی از کوچک‌ترین کلاس وزنی با کلاس وزنی بالاتر انجام و در صورت نداشتن اختلاف معنی‌دار ($p>0.05$) داده‌ها در یک گروه آماری قرار گرفتند. نتایج نشان داد میانگین قند، ماده خشک، تفاله و درجه خلوص نمونه‌های مورد بررسی به ترتیب ۱۵/۱۰، ۲۳/۴۶، ۴/۰۶ و ۷۳/۸۴ درصد بودند. ضریب تعیین (R^2) حاصل از رابطه خطی بین چگالی و ساکارز در کلاس‌های وزنی با افزایش وزن ریشه کاهش نشان داد، به‌طوری که R^2= ۰/۹۹۷ برای ریشه‌های کوچک‌تر از ۳۵۰ گرم و R^2= ۰/۶۷ برای ریشه‌های بزرگ‌تر از ۱۴۵۰ گرم به دست آمد. مقایسه آماری ضرایب رگرسیونی شیب و عرض از مبدأ روابط خطی بین چگالی (x) و ساکارز (y) در کلاس‌های وزنی منتج به سه کلاس با دامنه وزنی کمتر از ۳۵۰ تا ۷۵۰ گرم (کوچک) شامل رابطه خطی y=43.38x-32.557 و R^2=۰/۹۲، کلاس وزنی متوسط با دامنه وزنی ۷۵۱ تا ۹۵۰ گرم (متوسط) با رابطه خطی y=51.55x-41.38 و R^2=۰/۸۹ و کلاس وزنی ۹۵۱ تا ریشه‌های بزرگ‌تر از ۱۴۵۰ گرم (بزرگ) با رابطه خطی y=58.05x-48.014 و R^2 =۰/۷۷ گردید. لذا با در نظر داشتن وزن ریشه جهت تسریع در برآورد درصد ساکارز می‌توان از روابط خطی به‌دست‌آمده به روش چگالی‌سنجی به‌جای روش پلاریمتری استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: چگالی، چغندرقند، ساکارز، غربال

۱- استادیار مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقند، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. *- نویسنده مسئول: b.babaee@areeo.ac.ir

۲- استاد گروه شیمی دانشگاه بین‌المللی امام خمینی، قزوین، ایران.

۳- استادیار گروه شیمی دانشگاه بین‌المللی امام خمینی، قزوین، ایران.

۴- دانشیار مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقند، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

مقدمه

کیفیت ریشه چغندرقند مهم‌ترین عامل در افزایش شکر تولیدی است و مجموعه‌ای از خصوصیات شیمیایی، بیولوژیکی و فیزیکی را شامل می‌شود که روی مقدار ساکارز استحصالی در کارخانه مؤثر است (Hoffmann 2010). مقدار ساکارز ریشه چغندرقند با توجه به شرایط محیطی و رعایت توصیه‌های به‌زراعی، از طریق اصلاح چغندرقند قابل افزایش است (Fasahat *et al*. 2018). تعیین ساکارز چغندرقند طی مراحل اصلاحی در انتخاب مواد ژنتیکی مناسب اهمیت دارد و شامل روش‌های آنزیمی، کروماتوگرافی گازی (GC)، کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا (HPLC)، پلاریمتری و روش طیف‌سنجی مادون‌قرمز (NIR) می‌باشد (Mcgrate and Fugate 2012). در اکثر روش‌های نامبرده، اندازه‌گیری ساکارز با استخراج از بافت ریشه چغندرقند انجام می‌شود و هرکدام دارای مزایا و محدودیت‌هایی می‌باشند؛ به‌طور مثال روش آنزیمی سریع و ارزان است، محدودیت آن تخریبی بودن و کاهش ضریب تعیین ساکارز (R^2) از ۰/۹۷۶ به ۰/۶۰۵ به ترتیب برای ریشه‌های چغندرقند تازه و پلاسیده است (Trebbi and Mcgrath 2004). روش کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا (HPLC) دارای صحت بالا بوده، اما محدودیت آن تخریبی بودن و صرف زمان زیاد برای آماده‌سازی نمونه است (Rodriguez-Saona *et al*. 2001). روش طیف‌سنجی مادون‌قرمز (NIR) دارای تکرارپذیری، سرعت مناسب و فاقد اثر مخرب زیست‌محیطی است، محدودیت این روش کوچک بودن نقطه ثبت طیفی و وجود اختلاف معنی‌دار بین نتایج طیف‌سنجی از پوست و بافت ریشه چغندرقند است (Wang *et al*. 2015; Babaee *et al*. 2019). روش پلاریمتری که روش متداول اندازه‌گیری ساکارز در کارخانه‌های قند است دارای حساسیت بالا و تکرارپذیر است، ولی از جمله محدودیت‌های آن می‌توان به تخریبی بودن و تأثیر ترکیبات مؤثر بر نور پلاریزه (گلوکز، فروکتوز و ...) بر صحت اندازه‌گیری اشاره نمود و چنانچه از استات سرب قلیایی برای استخراج ساکارز از بافت ریشه چغندرقند استفاده شود، اثر مخرب زیست‌محیطی دارد(Abdollahin noghabi *et al*. 2015). هم‌چنین دارای محدودیت‌هایی چون تهیه خمیر یکنواخت از ریشه چغندرقند، شرایط ویژه نگهداری خمیر ریشه در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد و تأثیر مقدار ماده خشک و تفاله موجود در خمیر چغندرقند بر حجم عصاره خمیر و مخلوط شفاف کننده است (Babaee *et al*. 2013).

در مراحل اصلاح چغندرقند، غیرتخریبی بودن روش اندازه‌گیری ساکارز اهمیت دارد. چرا که فعال شدن مریستم ریشه از مرحله رویشی به زایشی برای تولید گل و بذر با قرار گرفتن گیاه به مدت حداقل ۱۰ هفته در دمای ۸-۴ درجه سانتی‌گراد امکان‌پذیر است (Lexander 1987). حال چنانچه تعیین ساکارز ریشه‌های چغندرقند قبل از انتقال به سردخانه انجام شود، تهیه نمونه موجب زخمی شدن ریشه‌ها و افزایش شدت تنفس، رشد قارچ و باکتری در محل زخم می‌شود که در نتیجه احتمال از بین رفتن ریشه طی مدت نگه‌داری را افزایش می‌دهد. از طرفی چنانچه تعیین ساکارز بعد از نگه‌داری ریشه‌های چغندرقند در سردخانه انجام شود، تغییرات شیمیایی در اثر تنفس و تعرق می‌تواند بر حجم عصاره خمیر، حجم مخلوط شفاف کننده و صحت اندازه‌گیری اثر داشته باشد (Babaee *et al*. 2013 ;Van der poel *et al*. 1998).

استفاده از خواص فیزیکی به‌ویژه چگالی برای غربال برخی از محصولات کشاورزی به‌خصوص محصولاتی که دارای قند هستند، امکان‌پذیر است. مزیت این روش سرعت، آسانی و غیر تخریبی بودن آن است. چگالی میوه‌های قند دار در زمان رسیدگی به بیشترین مقدار خود می‌رسد. در این خصوص می‌توان به ضریب همبستگی خطی (r=0.87) بین چگالی و ترکیبات قندی دو رقم طالبی (Ghanbarian *et al*. 2007)،

ضریب همبستگی (r=0.76) بین چگالی و درجه رسیدگی میوه انبه (khalid *et al*. 2017)، ضریب همبستگی خطی (r=0.83) بین چگالی و مواد جامد محلول در میوه انگور (Sugiura *et al*. 2001)، رابطه بین چگالی با پارامترهای کیفی دو رقم شلیل در زمان برداشت و رسیدگی محصول (Aubert *et al*. 2019)، استفاده از چگالی در جداسازی میوه آوکادو در مراحل رسیدگی (Clark *et al*. 2007) استفاده از ضریب همبستگی خطی (r=0.83) بین چگالی و مواد جامد محلول در ارزیابی کیفی گوجه‌فرنگی (Hu *et al*. 2002) و همچنین به وجود رابطه بین خلوص، رسیدگی، جداسازی و درجه‌بندی در ارزیابی کیفی برخی محصولات مانند نخودفرنگی، ذرت شیرین، لوبیا و سیب‌زمینی اشاره کرد (Mohsenin 1986).

کاربرد چگالی در غربال چغندرقند در انتخاب ریشه‌های پایه مادری برای تولید بذر با عیار قند بیشتر گزارش شده و در این روش، ریشه‌های چغندرقند با چگالی بیشتر انتخاب می‌شدند (Mcgrate and fugate 2012; Draycott 2006; Gayon and Zallen 1998; Van der poel *et al*. 1998). اساس این روش وجود ضریب همبستگی بالا (r=۰/۹۹۹۵) بین چگالی و غلظت ساکارز در محلول‌های قندی است (Hynes 2016; Peterson 2008). ریشه تازه چغندرقند شامل ۷۷-۷۳ درصد آب و ۲۰-۱۴ درصد ساکارز، ۵-۴/۵ درصد تفاله و مابقی را مواد جامد محلول غیر قندی چون ترکیبات نیتروژن‌دار، ترکیبات آلی بدون نیتروژن و منوساکاریدهای گلوکز و فروکتوز تشکیل می‌دهند؛ یعنی بخش عمده ریشه چغندرقند را آب و حدود ۸۰ درصد وزن خشک ریشه را ساکارز تشکیل می‌دهد و تغییر این دو جزء می‌تواند موجب تغییر چگالی ریشه شود(Campbell 2002). از طرفی سلول‌های پارانشیمی بزرگ در ریشه چغندرقند مقدار زیادتری آب و مواد غیرقندی در مقایسه با سلول‌های کوچک ذخیره می‌کنند و در ارقام مختلف چغندرقند یک ارتباط منفی بین اندازه ریشه و غلظت قند وجود دارد که نتیجه آن طبقه‌بندی ارقام با برداشت ریشه زیاد (E) و ارقام با غلظت قند بالا (Z) می‌شود (Hoffmann 2010; Hoffmann and Kenter 2018; Fasahat *et al*. 2021). با وجود همبستگی چگالی و غلظت ساکارز در محلول‌های قندی، این سؤال مطرح می‌شود که همبستگی بین چگالی و ساکارز ریشه‌های چغندرقند در اندازه‌های وزنی مختلف چقدر است و در مقایسه با روش پلاریمتری با چه دقتی می‌توان مقدار ساکارز ریشه چغندرقند را با اندازه‌گیری چگالی آن تخمین زد. این تحقیق با هدف بررسی اثر تغییر اندازه وزنی ریشه چغندرقند در تخمین ساکارز به روش چگالی‌سنجی در مقایسه با روش پلاریمتری انجام شد.

مواد و روش‌ها

نمونه‌های آزمایشی چغندرقند

نمونه‌های ۱۰ رقم داخلی و خارجی آزمایشی مورد استفاده در این تحقیق، ریشه‌های چغندرقند کشت‌شده در سال ۱۳۹۸ در ایستگاه تحقیقاتی مرحوم مطهری مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقند کرج بودند. هر تک ریشه یک نمونه آزمایشی بود. انتخاب ریشه‌ها به‌طور تصادفی از بین ریشه‌های سالم و بدون پوسیدگی انجام شد. ۱۵۰ ریشه چغندرقند پس از حذف دمبرگ، شستشو شدند. ابتدا خصوصیات فیزیکی تک ریشه‌ها چون وزن و چگالی اندازه‌گیری شدند. سپس توسط دستگاه اره از ریشه‌ها خمیر یکنواخت تهیه شد. شاخص‌های کیفی اندازه‌گیری شامل ساکارز، ماده خشک، تفاله، مواد جامد محلول و درجه خلوص بودند (Hoffmann 2010). داده‌های پرت به روش استانداردسازی باقی‌مانده‌ها از رابطه (۱) تعیین شد (Massart *et al*. 1997).

$$\left|\frac{\mathbf{y_i}-\hat{\boldsymbol{y}}_\mathbf{i}}{\boldsymbol{Se}}\right| = \left|\frac{\mathbf{e_i}}{\boldsymbol{Se}}\right| \qquad (۱)$$

در این رابطه y_i درصد قند نمونه‌های آزمایشی و $\hat{y}$ با تعیین رابطه خطی بین چگالی نمونه‌ها با درصد قند تعیین شد. مقدار خطای استاندارد از رابطه (۲) محاسبه شد (Massart *et al*. 1997)

$$Se=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(y_i-\hat{y}_i)^2}{n-2}} \quad (۲)$$

داده‌هایی با $\left|\frac{e_i}{Se}\right|$ بزرگ‌تر از ۲/۵ به‌عنوان داده پرت شناسایی شدند. سپس نمونه‌های مورد بررسی بر اساس دامنه وزنی به ۱۳ کلاس وزنی گروه‌بندی شدند. رابطه خطی بین چگالی و ساکارز ریشه‌های چغندرقند برای هر کلاس تعیین شدند. مقایسه آماری بین ضرایب رگرسیونی روابط خطی شامل شیب و عرض از مبدأ به شکل پلکانی از کلاس با کوچک‌ترین گروه وزنی با کلاس گروه وزنی بالاتر انجام و در صورت نداشتن اختلاف معنی‌دار ($p>0.05$) داده‌ها در یک گروه آماری قرار گرفتند. چگالی ریشه‌های چغندرقند از تقسیم وزن ریشه در هوا به وزن هم حجم ریشه در آب در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد تعیین شد (Mohsenin 1986). اندازه‌گیری ساکارز به روش پلاریمتری انجام شد (Kunz 2004). اندازه‌گیری ماده خشک چغندرقند بر حسب درصد با قرار دادن حدود ۲۰ گرم از نمونه خمیر ریشه (M_1) در آون در دمای ۲ ± ۱۰۳ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۶ ساعت تا رسیدن به وزن ثابت (M_2) انجام شد درصد ماده خشک ریشه از رابطه (۳) محاسبه شد (Lescure 1998).

$$DM=(M_1/M_2)\times 100 \quad (۳)$$

تفاله چغندرقند بر حسب درصد با اندازه‌گیری وزن حدود ۱۰ تا ۲۰ گرم خمیر ریشه (M_1) و اختلاط آن با ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲ دقیقه انجام شد. این عمل برای انحلال ترکیبات محلول ریشه بوده و چهار بار تکرار شد. ترکیبات نامحلول باقیمانده ریشه پس از ته‌نشینی جداسازی و با ۱۰۰ میلی‌لیتر اتانول ۵۰ درصد شستشو و در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به وزن ثابت (M_2) خشک شدند. درصد تفاله از رابطه (۴) محاسبه شد (Roggo *et al*. 2004).

$$Marc=(M_1/M_2)\times 100 \quad (۴)$$

مواد جامد محلول عصاره نمونه‌های چغندرقند بر حسب درصد با وزن حدود ۱۰ گرم خمیر ریشه و استخراج عصاره آن با فشار و عبور از کاغذ صافی واتمن شماره ۴۲ توسط دستگاه رفرکتومتر دیجیتال (ABBEMAT) در دمای ۲۱ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد (Pan *et al*. 2015). درجه خلوص عصاره چغندرقند بر حسب درصد از رابطه (۵) محاسبه شد.

$$Purity=(SC/Brix)\times 100 \quad ۵)$$

در رابطه (۵) ساکارز (SC) و مواد جامد محلول عصاره (Brix) بر حسب درصد است (Asadi 2007).

نتایج و بحث

داده‌های جدول ۱ خصوصیات کیفی ریشه‌های چغندرقند را نشان می‌دهد. وزن ریشه‌های چغندرقند مورد بررسی از حداقل ۳۱۵ گرم تا حداکثر ۱۶۵۰ گرم متغیر و میانگین وزنی نمونه‌ها ۸۹۹ گرم بودند. محدوده وزنی مناسب ریشه چغندرقند ۱۰۰۰- ۸۵۰ گرم گزارش شده است (Babaee and Abdollahian noghabi 2004).

میانگین ساکارز (عیار) در ۱۵۰ نمونه آزمایشی چغندرقند، ۱۵/۱۰ درصد است. این درصدقند در محدوده نوسانی عیار چغندرقند کشور (۱۴-۱۸ درصد) قرار دارد (Sheikholaslami 2003)، اما از عیار ۱۶ درصد، یعنی درصد قندی که خرید چغندرقند بهاره بر مبنای آن انجام می‌شود کمتر است (Abdollahin noghabi *et al*. 2014). به‌علاوه تصفیه و استخراج ساکارز در کارخانه‌های قند نیز بر پایه عیار ۱۶ درصد انجام می‌شود (Asadi 2007).

در شرایط رشد طبیعی و بدون‌تنش (تنش خشکی، شوری و یا پلاسیدگی) ریشه چغندرقند دارای ۲۷- ۲۳/۵ درصد ماده خشک و ۵-۴/۵ درصد تفاله است (Van der poel *et*

(*al*. 1998). میانگین ماده خشک و تفاله در ۱۵۰ نمونه مورد بررسی به ترتیب ۲۳/۴۶ و ۴/۰۶ درصد بودند که نشان از مناسب بودن مقدار ماده خشک و کم بودن مقدار تفاله در نمونه‌های آزمایشی است.

میانگین درجه خلوص ریشه در ۱۵۰ نمونه چغندرقند ۷۳/۸۴ درصد تعیین شد؛ که از مقدار مناسب درجه خلوص ریشه چغندرقند گزارش‌شده توسط ال-باربری و همکاران (Al-Babari *et al*. 2014) (۷۵/۲ – ۸۲/۸ درصد طی فصل رشد) کمتر است. میانگین چگالی ۱۵۰ نمونه مورد بررسی ۱/۰۹۵ تعیین شد. چگالی محلول ساکارز خالص ۱۵/۵ درصد در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد ۱/۰۶۳ گرم بر میلی‌لیتر است. بیشتر بودن وزن چگالی نمونه‌های مورد بررسی از محلول ساکارز خالص ۱۵/۵ درصد در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد می‌تواند تحت تأثیر اجزا و ترکیبات غیرقندی ریشه چغندرقند باشد (Van der Pol *et al*. 1998). نزدیک بودن میانگین و میانه نشان‌دهنده توزیع نرمال داده‌ها است (Mahn *et al*. 2002).

جدول ۱ خصوصیات کیفی ریشه‌های چغندرقند مورد بررسی

پارامترهای آماری	شاخص‌های اندازه‌گیری					
	وزن ریشه (گرم)	ساکارز (درصد)	ماده خشک ریشه (درصد)	تفاله (درصد)	درجه خلوص (درصد)	چگالی (گرم بر سانتی‌متر مکعب)
حداقل	۳۱۵	۸/۱۰	۱۶/۳۲	۲/۱۵	۵۳/۸۷	۱/۰۳۴
حداکثر	۱۶۵۰	۱۹/۱۰	۲۸/۵۵	۶/۳۹	۸۵/۲۹	۱/۱۸۶
میانگین	۸۹۹	۱۵/۱۰	۲۳/۴۶	۴/۰۶	۷۳/۸۴	۱/۰۹۵
میانه	۹۰۸	۱۵/۲۰	۲۳/۵۳	۳/۹۴	۷۵/۰۰	۱/۰۹۳
انحراف استاندارد	۳۲۳	۲/۰	۲/۴۶	۰/۸۶	۵/۴۰	۰/۰۳۳

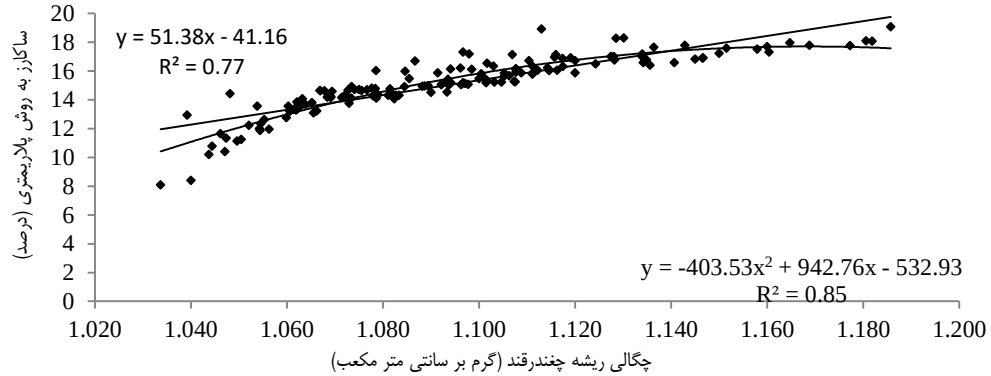
شکل ۱ ارتباط بین درصد ساکارز با چگالی ریشه‌های چغندرقند مورد بررسی را بدون توجه به‌اندازه وزنی ریشه نشان می‌دهد. با افزایش ساکارز مقدار چگالی ریشه چغندرقند افزایش یافت. ضریب تعیین (R^2) در رابطه خطی مقدار ۰/۷۷ و در حالت غیرخطی مقدار ۰/۸۵ به دست آمد. با توجه به این‌که در مدل رگرسیون انتخاب بهترین مدل برازش داده‌ها توسط رابطه خطی توصیه می‌شود (Moosavi and Ghassabian 2018)، لذا مدل خطی (۶) ملاک تخمین ساکارز در این تحقیق قرار گرفت. در رابطه خطی (۶) y درصد ساکارز و x چگالی نمونه‌های ریشه چغندرقند بودند که برای استانداردسازی باقی‌مانده‌ها استفاده شد.

$$y = 51.38x - 41.16 \qquad (۶$$

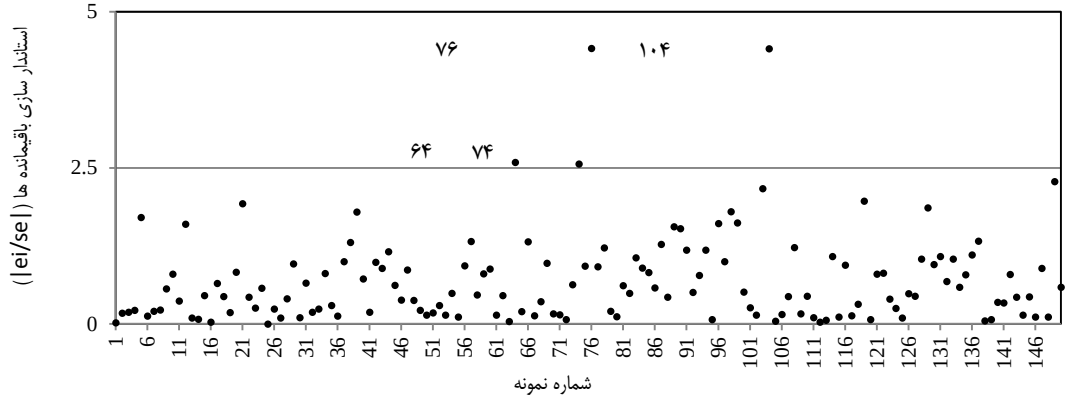
استانداردسازی باقی‌مانده‌ها در شکل ۲ نشان می‌دهد که نمونه‌های شماره ۶۴، ۷۴، ۷۶ و ۱۰۴ به ترتیب با درصد قند ۱۰/۲۰، ۱۰/۴۰، ۸/۴۰ و ۸/۱۰ و مقدار |ei/se| بزرگ‌تر از ۲/۵ به‌عنوان داده‌های پرت شناسایی و حذف شدند (Massart *et al*. 1997).

جدول ۳ گروه‌بندی وزنی، فراوانی، ارتباط چگالی ریشه‌های چغندرقند با درصد قند و ضریب تعیین (R^2) را پس از شناسایی و حذف داده‌های پرت نشان می‌دهد. بین ریشه‌های مورد بررسی بیشترین فراوانی مربوط به ریشه‌های ۹۵۰ الی ۱۰۵۰ گرم می‌باشد؛ که با نتایج گزارش‌شده توسط بابائی و عبدالهیان (Babaee and Abdollahian noghabi 2004) در خصوص دامنه مناسب وزنی ریشه چغندرقند از نظر کیفی مطابقت دارد.

با افزایش وزن، ضریب تعیین (R^2) در روابط خطی بین چگالی ریشه با درصد قند کاهش یافت. علت آن می‌تواند افزایش مقدار آب در اثر بزرگ شدن سلول‌های پارانشیمی ریشه باشد که نتیجه وجود همبستگی ضعیف منفی بین وزن چغندرقند و محتوای ساکارز آن ($P < 0.01$ ،$r = -0.2$) را نشان می‌دهد (Fasahat *et al*. 2021).



شکل ۱ رابطه بین چگالی با ساکارز ریشه‌های چغندرقند.



شکل ۲ شناسایی داده‌های پرت به روش استانداردسازی باقیمانده‌ها

جدول ۳ گروه‌بندی وزنی و رابطه خطی بین چگالی ریشه‌های چغندرقند با درصد قند.

گروه‌بندی وزنی ریشه‌های چغندرقند (گرم)	میانگین (گرم)	فراوانی	رابطه خطی (درصد قند=Y) (چگالی ریشه چغندرقند (گرم بر میلی‌لیتر)=X)	ضریب تعیین (R^2)
<۳۵۰	۳۳۸	۳	Y=51.67X-41.58	۰/۹۹۶
۳۵۱–۴۵۰	۴۰۰	۱۱	Y=41.90X-30.86	۰/۹۴۷
۴۵۱–۵۵۰	۵۰۰	۱۶	Y=49.69X-39.53	۰/۹۳۰
۵۵۱–۶۵۰	۶۰۰	۱۰	Y=37.96X-26.52	۰/۸۹۶
۶۵۱–۷۵۰	۷۰۰	۱۰	Y=46.49X-36.10	۰/۹۱۹
۷۵۱–۸۵۰	۸۰۰	۱۶	Y=52.86X-42.95	۰/۹۱۱
۸۵۱–۹۵۰	۹۰۰	۱۳	Y=47.74X-37.02	۰/۸۶۰
۹۵۱–۱۰۵۰	۱۰۰۰	۱۸	Y=74.81X-66.22	۰/۸۳۰
۱۰۵۱–۱۱۵۰	۱۱۰۰	۱۳	Y=53.80X-43.40	۰/۷۵۶
۱۱۵۱–۱۲۵۰	۱۲۰۰	۱۳	Y=49.66X-39.04	۰/۷۵۳
۱۲۵۱–۱۳۵۰	۱۳۰۰	۹	Y=62.87X-52.93	۰/۷۵۶
۱۳۸۱–۱۴۸۰	۱۴۰۰	۹	Y=45.87X-34.91	۰/۷۰۰
>۱۴۵۰	۱۵۷۴	۵	Y=69.76X-60.27	۰/۶۷۰

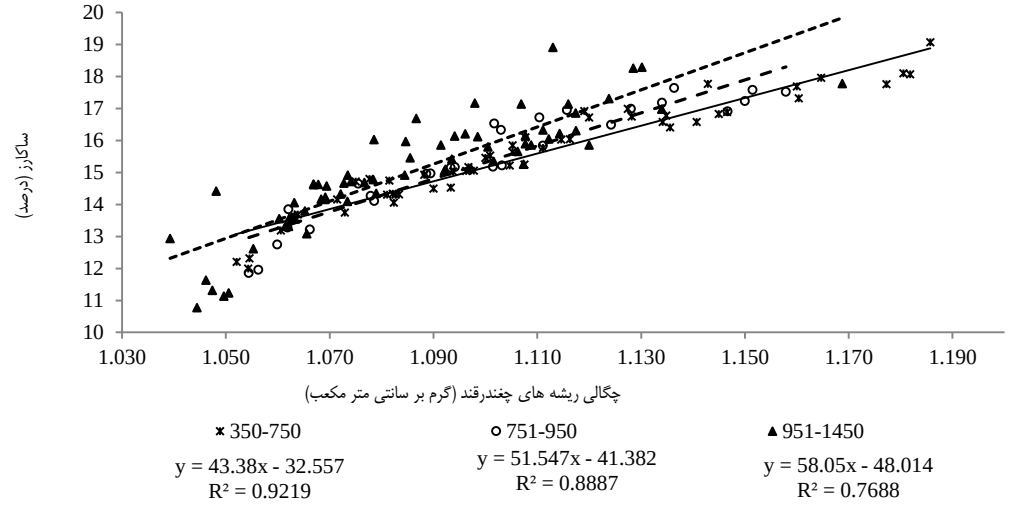
در جدول ۴ مقایسه آماری ضرایب رگرسیونی (شیب و عرض از مبدأ) بین معادلات خطی حاصل از چگالی و ساکارز ریشه چغندرقند نشان می‌دهد که کلاس‌های وزنی کوچک‌تر از ۳۵۰ گرم تا کلاس وزنی ۷۵۰ گرم، از ۷۵۱ تا ۹۵۰ گرم و از ۹۵۱ تا بزرگ‌تر از ۱۴۵۰ گرم در سطح اطمینان ۹۵ درصد اختلافی مشاهده نمی‌شود. مقایسه ضرایب رگرسیونی در جدول

۴ منتج به سه گروه آماری کوچک (۷۵۰–۳۵۰ گرم)، متوسط (۹۵۰–۷۵۱ گرم) و بزرگ (۱۴۵۰–۹۵۱ گرم) گردید. بر اساس نتایج این جدول شیب‌خط بین ریشه‌های کوچک و متوسط در سطح احتمال پنج درصد، عرض از مبدأ بین ریشه‌های متوسط و بزرگ در سطح احتمال یک درصد و شیب‌خط و عرض از مبدأ بین ریشه‌های کوچک و بزرگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار می‌باشند.

جدول ۴ جدول تجزیه واریانس ضرایب رگرسیون معادلات خطی بین ضرایب رگرسیون

منابع	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	نسبت–F	P
۹۵۰–۷۵۱ در مقابل ۷۵۰–۳۵۰<					
چگالی	۱۸۹/۹۹۲	۱	۱۸۹/۹۹۲	۷۴۴/۱۸	۰/۰۰۰۰
عرض از مبدأ	۰/۶۰۱۷۷۸	۱	۰/۶۰۱۷۷۸	۲/۳۶	۰/۱۲۸۹
شیب	۱/۲۸۲۶۴	۱	۱/۲۸۲۶۴	۵/۰۲	۰/۰۲۸۰
مدل	۱۹۱/۸۷۶	۳			
۱۴۵۰–۹۵۱ در مقابل ۹۵۰–۷۵۱					
چگالی	۲۲۳/۱۴۹	۱	۲۲۳/۱۴۹	۳۷۲/۲۷	۰/۰۰۰۰
عرض از مبدأ	۴/۵۳۱۲۷	۱	۴/۵۳۱۲۷	۷/۵۶	۰/۰۰۷۲
شیب	۰/۷۳۰۱۷۱	۱	۰/۷۳۰۱۷۱	۱/۲۲	۰/۲۷۲۶
مدل	۲۲۸/۴۱	۳			
۱۴۵۰–۹۵۱ در مقابل ۷۵۰–۳۵۰<					
چگالی	۲۶۲/۸۲۶	۱	۲۶۲/۸۲۶	۵۳۳/۱	۰/۰۰۰۰
عرض از مبدأ	۹/۵۶۹۹۶	۱	۹/۵۶۹۹۶	۱۹/۴۱	۰/۰۰۰۰
شیب	۵/۶۲۲۴۳	۱	۵/۶۲۲۴۳	۱۱/۴	۰/۰۰۱۰
مدل	۲۷۸/۰۱۹	۳			

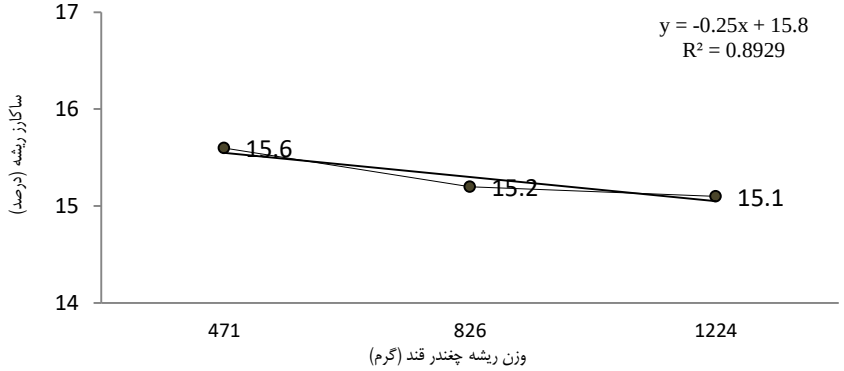
شکل ۳ مقایسه ضریب تعیین (R^2) را بین چگالی و ساکارز ریشه‌های چغندرقند در سه گروه وزنی کوچک (۷۵۰–۳۵۰ گرم)، متوسط (۹۵۰–۷۵۱ گرم) و بزرگ (۱۴۵۰–۹۵۱ گرم) نشان می‌دهد. افزایش وزن موجب کاهش مقدار R^2 از ۰/۹۲ برای ریشه‌ها کوچک به ۰/۸۹ برای ریشه‌ها متوسط و ۰/۷۷ برای ریشه‌های بزرگ بود.



شکل ۳ مقایسه خط روند، ضریب تعیین (R^2) و روابط خطی بین چگالی و ساکارز ریشه‌های چغندرقند در سه گروه وزنی کوچک (۷۵۰–۳۵۰ گرم)، متوسط (۹۵۰–۷۵۱ گرم) و بزرگ (۱۴۵۰–۹۵۱ گرم)

نتیجه‌گیری

همان‌طوری که در جدول ۳ اشاره شد ضریب تعیین (R^2) در روابط خطی بین چگالی و ساکارز در کلاس‌های وزنی با افزایش وزن ریشه‌های چغندرقند کاهش یافت. به‌علاوه نتایج به‌دست آمده دلالت بر وجود همبستگی منفی بین وزن ریشه چغندرقند و غلظت قند آن R^2=0.89 داشت (شکل ۴). این نتیجه با گزارش هوفمن و همکاران (Hoffman *et al*. 2010) در خصوص اینکه افزایش وزن ریشه چغندرقند موجب کاهش غلظت ساکارز، مقدار تفاله (Marc) و افزایش مقدار آب در سلول‌های پارانشیم می‌شود مطابقت دارد.



شکل ۴ همبستگی بین میانگین وزن ریشه با درصد ساکارز چغندرقند

در تخمین ساکارز به روش چگالی‌سنجی با مقایسه آماری ضرایب رگرسیون بین روابط خطی حاصل از چگالی و ساکارز چغندرقند بین ۱۳ کلاس وزنی منجر به تشکیل سه کلاس وزنی شامل ۷۵۰–۳۵۰ گرم (کوچک) با رابطه خطی y=43.38x-32.557 و R^2=۰/۹۲، کلاس وزنی ۷۵۱–۹۵۰ گرم (متوسط) با رابطه خطی y=51.55x-41.38 و R^2=۰/۸۹ و کلاس وزنی ۹۵۱–۱۴۵۰ گرم (بزرگ) با رابطه خطی y=58.05x-48.014 و R^2=۰/۷۷ گردید.

بنابراین با توجه به معادلات به‌دست آمده اصلاح‌گران می‌توانند با استفاده از چگالی‌سنجی جهت برآورد مقدار ساکارز علاوه بر غربال اولیه لاین‌های چغندرقند در نیروی کارگری و مواد شیمیایی مصرفی صرفه‌جویی نمایند.

منابع مورد استفاده:

References:

Abdollahian-Noghabi M, Babaee B, Sadat harireh F, Kazemi M. Study on replacement of lead acetate and aluminum sulfate agents with Autofilt extraction system in the sugar assessment process beet sugar factories. The final report of research project. 2015; Registration No. 46705. (in Persian, abstract in English)

Abdollahian-Noghabi M, Sharifi H, Babaee B, Bahmani GA. Introduction of new formula for determination of autumn sugar beet purchase. Journal of Sugar Beet, 2014; 29 (2): 215-227.

Asadi M, Beet-Sugar Handbook. Published by John Wiley & Sons, 2007; 884 pp.

Al-Barbari FS, Mohamed EGI, Abd -EL– Rahman MA, Elsyiad SL. Quality of beet juice and its liquor during beet sugar processing. Journal of Food and Dairy Sciences. Mansoura univ.2014; 5 (6): 367 – 376.

Aubert C, Chalot G, Lurol S, Ronjon A, Cottet V. Relationship between fruit density and quality parameters, levels of sugars, organic acids, bioactive compounds and volatiles of two nectarine cultivars, at harvest and after ripening. Journal of Food Chemistry. 2019; Doi: 10.1016/j.foodchem.2019.124954.

Babaee B, Abdollahian noghabi M, Investigation of the relationship between root weight and technological characteristics of three sugar beet varieties. Proceedings of the 25th Annual Seminars of Iranian Sugar Factories, 2004; Volume 2, 392-383.

Babaee B, Abdollahian noghabi M, Jahadakabr MR, Uosefabadi V. Introduction of appropriate method for determining of sugar content in sugar beet produced under drought, salinity and normal conditions. Journal of Sugar Beet, 2013; 29 (1): 99-111.

Babaee B, Khanmohammadi MR, Bagheri Garmarudi A, Abdollahin Noghabi M. Effect of peeling and point of spectral recording on sucrose determination in sugar beet root using near infrared spectroscopy. Infrared physics and technology. 2019; 103. Doi:10.1016/j.infrared.2019.103065.

Clark CJ, White A, Jordan RB, Woolf AB. Challenges associated with segregation of avocados of differing maturity using density sorting at harvest. Postharvest Biology and Technology. 2007; (46): 119–127.

Campbell LG. Sugar beet quality Improvement. Journal of Crop Production. 2002;(5) 1/2: 395-413.

Draycott AP. Sugar beet. Blackwell publishing Ltd. 2006; 514 pp.

Fasahat P, Aghaeezadeh M, Jabbari L, Sadeghzadeh Hemayati S, Townson P. Sucrose accumulation in sugar beet: From fodder beet selection to genomic selection. Sugar Technology. 2018; 20 (6): 635-644.

Fasahat P, Aghaeezadeh M, Hosseinpour M, Sadeghzadeh Hemayati S. Correlation between root weight and sugar content; do we have to continue traditional hypothesis? Plant Physiology Reports. 2021; 26 (1): 188-191.

Gayon J, Zallen DT. The role of the Vilmorin Company in the promotion and diffusion of the experimental science of heredity in France, 1840−1920. Journal of the History of Biology. 1998; (31): 241–262.

Ghanbarian D, Shojaei ZA, Ebrahimi A, Yuneji S. Physical properties and compositional changes of two cultivars of cantaloupe fruit during various maturity stages. Iran. Agricultural Research Shiraz University. 2007; 25 (2), (26): 1-2.

Hoffmann CM. Root quality of sugar beet. Sugar Technology, 2010; 12 (3–4): 276–287.

Hoffmann CM, Kenter C. Yield potential of sugar beet–have we hit the ceiling? Frontiers in Plant Science, 2018; (9): 289.

Hu WZ, Yasutake H, Uchino T, Yasunaga E, Hori Y. Quality evaluation of tomato fruits by specific gravity and color. Journal Faculty of Agriculture Kyushu University. 2002; 6 (2): 381-389.

Hynes WM. Concentrative properties of aqueous solutions: density, refractive index, freezing point depression, and viscosity. CRC handbook of chemistry and physics. 2016; 97 (5): 118-133.

Khalid NS, Abdullah AH, Skukor, SAA, Fathinul Syajir AS, Mansor H. Non-destructive technique based on specific gravity for postharvest *mangifera Indica* L. cultivar maturity. Asia Modeling Symposium. 2017; Doi: 10.1109/AMS.2017.26

Kunz M. Sugar analysis. Beet. The International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis (ICUMSA). General subject 2004; (6): 110-117.

Lescure, JP. Beet Sugar Processing. The International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis (ICUMSA) (ICUMSA). General subject 1998; (8): 153-161.

Lexander K. Characters related to the vernalization requirement in sugar beet. In: JG. Atherton (Ed). Manipulation of flowering.1987; Butterworths. London.147-158.

Massart DL, Vqndeginst BGM, Buydens LMC, De Jong S, Lewi PJ, Smeyers verbeke J. Handbook of chemometrics: Part A. Chapter 12. Robust statistics, 1997; Elsevier Science 887 pp.

McGrath JM, Fugate KK. Chapter 30: Analysis of sucrose from sugar beet. In VR. Preedy (Ed.), Dietary sugars: Chemistry, analysis, functions and effects.2012; Cambridge UK: Royal Society of Chemistry Publishing. pp. 526–545.

Mahn K, Hoffmann C, Marlander B. Distribution of quality components in different morphological sections of sugar beet. European Journal of Agronomy. 2002; (17): 29–39.

Mohsenin, NN. Physical properties of plant and animal materials: Structure, Physical characteristics, and mechanical Properties. Gordon and Breach, 1986; 891pp.

Moosavi SM, Ghassabisn, S. Linearity of calibration curves for analytical methods: A Review of criteria for assessment of method reliability. Intechopen. 2018; http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.72932.

Pan L, Zhu Q, Lu R, McGrath JM. Determination of sucrose content in sugar beet by portable visible and near-infrared spectroscopy. Food Chemistry. 2015; (167): 264–271.

Peterson KI. Measuring the density of a sugar solution. Journal of Chemical Education, 2008; 85 (8): 1089-1090.

Rodriguez-Saona LE, Fry FS, McLaughlin MA, Calvey EA. Rapid analysis of sugars in fruit juices by FT-NIR spectroscopy. Carbohydrate Research, 2001; (336): 63–74.

Roggo Y, Duponchel L, Huvenne JP. Quality evaluation of sugar beet (*Beta Vulgaris* L.) by near-infrared spectroscopy. Journal of Agricultural Food Chemistry. 2004; (52): 1055-1061.

Sheikholaslami R. Sugar technology. Author's publication, 2003; 350 pages.

SugiuraT, Kuroda H, Ito D, Honjo H. Correlations between specific gravity and soluble solids concentration in grape berries. Engei gakkai zasshi.2001; 70 (3): 380-384.

Trebbi D, McGrath JM. Fluorometric sucrose evaluation for sugar beet. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2004; 52 (23): 6862–6867.

Van der poel PW, Schiweck H, Schwartz, T. Sugar technology beet and cane sugar manufacture. Chapter 2. Berlin: Dr. Albert Bartens KG.1998; 1120 pp.

Wang H, Peng J, Xie C, Bao Y, He Y. Fruit quality evaluation using spectroscopy technology: A review. Sensors. 2015; (15): 11889-11927.