مجله علوم و صنایع غذایی ایران

سایت مجله: www.fsct.modares.ac.ir

مقاله علمی_پژوهشی

ارزیابی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و شاخص‌های خلوص شربت چغندرقند در شرایط مختلف آبیاری

امیر نورجو*[۱]، ایرج کریمی ثانی[۲]، پرویز احمدی قشلاق[۳]

۱- استادیار بخش تحقیقات فنی و مهندسی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران

۲- محقق بخش تحقیقات فنی و مهندسی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران

۳- دانشجوی دکتری علوم و صنایع غذایی، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

اطلاعات مقاله

تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۷/۲۶

تاریخ داوری: ۱۴۰۴/۰۸/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۲۶

کلمات کلیدی:

چغندرقند،

خلوص شربت،

کیفیت شکر،

آبیاری

DOI: 10.48311/fsct.2026.117121.82900

* مسئول مکاتبات:

nourjou@gmail.com

چکیده

پژوهش حاضر با هدف ارزیابی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و شاخص‌های خلوص شربت چغندرقند تحت شرایط مختلف آبیاری انجام شد. این مطالعه با اجرای شش تیمار آبیاری متفاوت شامل ترکیب‌های مختلف فاصله خطوط کاشت و دور آبیاری (کامل و یک در میان) انجام گرفت. نمونه‌های چغندرقند برداشت شده برای تعیین پارامترهای فیزیکوشیمیایی شامل میزان پتاسیم، سدیم، ازت مضر، قلیاییت، درصد شکر، خلوص شربت و قند موجود در ملاس مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. نتایج نشان داد که تیمارهای دارای فاصله خطوط ۵۰ تا ۶۰ سانتی‌متر و آبیاری یک در میان (I4) بیشترین میزان خلوص شربت (۸۳–۸۵٪) و درصد شکر (۱۳–۱۴٪) را ارائه نمودند ($p<0/05$)، در حالی که مقادیر پتاسیم، سدیم و ازت مضر نیز در این تیمارها در محدوده قابل قبول قرار داشتند. تفاوت‌های معنی‌دار بین تیمارها برای شاخص‌های خلوص شربت و درصد شکر مشاهده شد ($p<0/05$)، اما پارامترهایی مانند پتاسیم و قلیاییت در برخی تیمارها تفاوت معناداری نداشتند ($p>0/05$). یافته‌های این تحقیق نشان می‌دهد که مدیریت بهینه آبیاری و انتخاب فاصله مناسب خطوط کاشت می‌تواند علاوه بر افزایش کارایی مصرف آب، کیفیت شربت چغندرقند را نیز بهبود بخشد. این نتایج می‌تواند به عنوان راهنمایی عملی برای تعیین تیمارهای آبیاری مؤثر در شرایط اقلیمی مشابه مورد استفاده قرار گیرد.

۱-مقدمه

تولید محصولات کشاورزی تحت تأثیر عوامل متعددی نظیر آب، خاک، تغذیه گیاه، نور، تراکم بوته و دانش فنی قرار دارد [۱]. در کشورهای خشک و نیمه‌خشک مانند ایران، محدودیت اصلی تولید کشاورزی، دسترسی به منابع آب است و سایر عوامل از جمله نیروی انسانی، ماشین‌آلات و خاک محدودکننده محسوب نمی‌شوند [۲]. بنابراین، بهینه‌سازی مصرف آب و افزایش بهره‌وری آن در واحد سطح، به‌ویژه در محصولاتی مانند چغندرقند که حساسیت بالایی به تنش آبی دارند، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است [۳, ٤].

چغندرقند به عنوان منبع اصلی شکر و مواد اولیه صنایع غذایی، علاوه بر عملکرد کمی، از نظر کیفیت شربت و درصد قند قابل استحصال اهمیت بالایی دارد [۵].ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی شربت چغندرقند از جمله درصد قند، شاخص‌های ناخالصی‌ها، درصد شکر قابل استحصال و قند در ملاس، به می تواند تحت تأثیر شرایط کشت، میزان و روش آبیاری و تراکم بوته قرار می‌گیرند [٦, ۷]. این شاخص‌ها مستقیماً با کیفیت نهایی محصول و فرآیندهای صنایع غذایی مرتبط هستند و تغییر در آن‌ها می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر بهره‌وری و کیفیت محصولات قندی و فرآورده‌های مشتق از آن داشته باشد [٤, ۸].

مطالعات پیشین نشان داده‌اند که آبیاری یک در میان با استفاده از روش‌های جویچه‌ای، علاوه بر کاهش مصرف آب، می‌تواند عملکرد شکر و کیفیت محصول را حفظ کند [۹, ۱۰]. ناصری و همکاران (۲۰۲۰) به نقل از سپاسخواه و خردنام (۱۳۵٦) گزارش کردند که آبیاری یک در میان توانسته است مصرف آب را تا حدود ٤۰ درصد کاهش دهد، در حالی که کاهش معناداری در شکر قابل استحصال مشاهده نشده است [۷, ۸]. طالقانی و همکاران (۲۰۲٤) گزارش کردند که علاوه بر میزان آبیاری، آرایش خطوط کاشت و تراکم بوته نقش مهمی در بهره‌وری نور و رشد گیاه دارند. افزایش تراکم بوته‌ها تا حد اپتیمم می‌تواند درصد قند و کیفیت شربت را افزایش دهد، اما تراکم بیش از حد موجب کاهش دریافت نور توسط هر بوته و کاهش تولید ماده خشک می‌شود [۹].

تراکم و آرایش بوته‌های چغندرقند نه‌تنها بر رشد گیاه و بهره‌وری نور خورشید تأثیر می‌گذارد، بلکه به طور مستقیم بر کیفیت و میزان شکر قابل استخراج و سایر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی شربت تأثیرگذار است [٤]. تحقیقات نشان داده است که آرایش مربع‌مانند بوته‌ها با فاصله ۳۰×۳۰ سانتی‌متر می‌تواند شرایط رشد متوازن و بهینه گیاه را فراهم کند، اما در عمل محدودیت‌هایی مانند عملیات داشت، آبیاری و برداشت مکانیزه مانع استفاده کامل از این فاصله می‌شود. در همین راستا، روش‌های نوین کاشت، شامل کشت دو ردیف چغندرقند روی یک پشته با فواصل نامتوازن بین خطوط، علاوه بر امکان استفاده از تراکم بهینه، سازگاری بیشتری با تجهیزات مکانیزه مزرعه ایجاد می‌کند. این روش، ضمن حفظ عملکرد کمی و کیفی محصول، می‌تواند باعث بهبود شاخص‌های مهم صنایع غذایی مانند درصد شکر قابل استخراج، خلوص شربت و کاهش ناخالصی‌ها شود [۱, ٤, ۱۰].

تحقیقات بین‌المللی نیز نشان می‌دهند که تراکم و فاصله خطوط کاشت تأثیر قابل توجهی بر عملکرد محصول دارند [۱۱-۹]. تحقیقات مشابه گزارش کردند که بیشترین وزن اندام هوایی و عملکرد شکر را در تراکم ۵۰ هزار بوته در هکتار با فواصل خطوط ٤۰–۵۰ سانتی‌متر گزارش کرده‌اند [۱۱]. همچنین نشان داده شده است که تراکم‌های بالای ۸۵ هزار بوته در هکتار موجب رقابت بیشتر بوته‌ها و افزایش عملکرد شکر می‌شود [۱۲]. همچنین، تراکم ایده‌آل برای چغندر قند را حدود ۱۰۰ تا ۱۰۵ هزار بوته در هکتار معرفی کرده و تأکید نموده اند که افزایش تراکم همراه با مدیریت تغذیه مناسب، می‌تواند عملکرد و کیفیت محصول را افزایش دهد [۱۳].

از منظر تکنولوژی صنعت قند، کیفیت شربت چغندرقند و شاخص‌های فیزیکوشیمیایی آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است [۱٤]، زیرا این پارامترها تعیین‌کننده راندمان فرآیند استخراج شکر، خلوص شربت، میزان قند در ملاس و در نهایت کیفیت محصولات قندی و مشتقات صنعتی می‌باشند. تغییرات در شرایط آبیاری و آرایش کاشت می‌تواند باعث تغییر در نسبت قند به ناخالصی‌ها و سایر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی شربت شود و در نتیجه بر کارایی فرآیندهای تولید شکر و سایر فرآورده‌های غذایی تأثیر مستقیم بگذارد [۱٦,۱۵]. همچنین، شناخت مراحل حساس رشد چغندر قند نسبت به کم‌آبیاری، به برنامه‌ریزی دقیق برای اعمال تنش کنترل‌شده کمک می‌کند. مطالعات نشان داده‌اند که مرحله چهار تا سه هفته پس از جوانه‌زنی تا دوره پر شدن ریشه حساس‌ترین دوره رشد چغندر قند به تنش آبی است و اعمال مدیریت مناسب در این دوره می‌تواند هم مصرف آب را کاهش دهد و هم کیفیت محصول را حفظ کند [۱۷-۱۹].

بر این اساس، مطالعه حاضر با هدف ارزیابی تأثیر شرایط مختلف آبیاری (کامل و یک در میان) و آرایش‌های متفاوت کاشت بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و شاخص‌های خلوص شربت چغندرقند انجام شده است. نتایج این تحقیق می‌تواند به عنوان راهنمای عملی برای بهینه‌سازی مصرف آب، افزایش بهره‌وری تولید و ارتقاء کیفیت محصولات قندی، در صنایع غذایی و کشاورزی مورد استفاده قرار گیرد.

۲- مواد و روش ها

۲-۱. آماده‌سازی نمونه و اندازه‌گیری ویژگی‌های کیفی شربت

پس از برداشت، نمونه‌های ریشه چغندرقند از هر کرت آزمایشی به صورت تصادفی انتخاب و به آزمایشگاه منتقل گردید. ابتدا ریشه‌ها به دقت شسته شدند تا خاک و مواد خارجی جدا گردند. سپس برای استخراج شربت، نمونه‌ها به قطعات کوچکی (حلقه‌های نازک) بریده شدند. شربت اولیه (Raw Juice) از طریق فرآیند نفوذ داغ (Hot Diffusion) استخراج شد؛ به این صورت که قطعات چغندر با آب داغ در تماس قرار گرفتند تا قند و مواد محلول به درون آب منتقل شوند. شربت حاصل برای حذف مواد معلق و آشغال‌ها، با استفاده از مواد شیمیایی استاندارد (مانند استات سرب یا کلرید کلسیم و گلوکز) شفاف‌سازی (Clarification) شد تا نمونه‌ای زلال و مناسب برای آنالیزهای بعدی به دست آید. تمام اندازه‌گیری‌ها روی این شربت شفاف‌شده انجام شد.

۲-۲- روش‌های اندازه‌گیری پارامترها

۲-۲-۱- عیار (POL)

برای اندازه‌گیری عیار، که معرف میزان ساکارز خالص است، از دستگاه پلاریمتر استفاده شد. ابتدا شربت شفاف‌شده در یک لوله استاندارد با طول مشخص (معمولاً ۱۰ یا ۲۰ سانتی‌متر) ریخته شد. سپس لوله در داخل پلاریمتر قرار داده و زاویه چرخش قطبیده نور توسط محلول قند در دمای استاندارد ۲۰ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری گردید. کالیبراسیون دستگاه قبل از اندازه‌گیری‌ها با استفاده از محلول ساکارز استاندارد با غلظت مشخص انجام شد. این روش بر اساس استاندارد GS1-9 انجمن بین‌المللی روش‌های یکسان‌سازی تحلیل شکر (ICUMSA) می‌باشد [۲۰].

۲-۲-۲- پتاسیم (K) و سدیم (Na)

غلظت این یون‌ها با استفاده از دستگاه شعله‌سنج (Flame Photometer) تعیین گردید. برای این منظور، ابتدا منحنی کالیبراسیون برای هر یون با استفاده از محلول‌های استاندارد با غلظت‌های معلوم از پتاسیم و سدیم تهیه شد. سپس نمونه شربت به نسبت مشخصی رقیق‌سازی شده و به دستگاه تزریق گردید. نمونه در شعله گاز اتمایزه شده و یون‌های K و Na نوری با طول موج مشخصی از خود ساطع می‌کنند. شدت این نور توسط یک آشکارساز اندازه‌گیری و با استفاده از منحنی کالیبراسیون، غلظت دقیق هر یون در نمونه اصلی محاسبه شد [۲۱].

۳-۲-۲- ازت مضر (N)

ازت مضر (عمدتاً شامل آمینواسیدها و آمیدها) با روش رنگ‌سنجی نین‌هیدرین اندازه‌گیری شد. در این روش، مقدار مشخصی از شربت با معرف نین‌هیدرین مخلوط شده و مخلوط حاصل برای مدت زمان معینی (مثلاً ۱۵ دقیقه) در حمام آب جوش قرار گرفت تا واکنش تکمیل و رنگ بنفش-آبی مشخصی ایجاد شود. پس از سرد کردن، شدت رنگ با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۷۰ نانومتر خوانده شد. غلظت ازت مضر با مقایسه جذب نمونه‌ها با منحنی کالیبراسیون که با استفاده از اسید آمینه استاندارد (مانند لوسین) تهیه شده بود، به دست آمد [۲۲].

٤-۲-۲- قلیاییت (ALC)

قلیاییت شربت، که نشان‌دهنده مجموع کاتیون‌های قلیایی (عمدتاً K و Na) است، از طریق تیتراسیون اسید-باز اندازه‌گیری شد. مقدار مشخصی از شربت شفاف‌شده (مثلاً ۱۰ میلی‌لیتر) در ارلن مخلوط با چند قطره شاخص فنول‌فتالئین اضافه گردید. سپس محلول به آرامی با اسید سولفوریک استاندارد (H_2SO_4) تیتره شد تا نقطه پایانی (زمانی که رنگ صورتی ملایم به طور کامل از بین برود) رسید. حجم اسید مصرفی بر حسب میلی‌اکی‌والان بر ۱۰۰ گرم شکر محاسبه و به عنوان قلیاییت گزارش شد [۲۲].

۵-۲-۲- درصد شکر (SUGAR) و خلوصیت شربت (Purity)

این دو پارامتر محاسباتی هستند. ابتدا بریکس (مجموع مواد جامد محلول در شربت) با استفاده از رفراکتومتر بر اساس انکسار نور اندازه‌گیری شد. سپس با داشتن مقادیر عیار (POL) و بریکس، خلوصیت شربت از رابطه زیر محاسبه گردید:

$$\text{خلوصیت شربت (٪)} = \frac{\text{عیار}}{\text{بریکس}/100} \times 1$$

درصد شکر قابل استحصال نیز با استفاده از فرمول‌های تجربی استاندارد کارخانه‌ای که عیار، خلوصیت و ناخالصی‌ها را در نظر می‌گیرند، محاسبه شد [۲۰].

٦-۲-۲- قند در ملاس (MS)

این شاخص یک پیش‌بینی از میزان ساکارزی است که در فرآیند کارخانه‌ای به ملاس منتقل می‌شود و مستقیماً اندازه‌گیری نمی‌شود. مقدار آن با استفاده از فرمول‌های تجربی استاندارد بر اساس داده‌های کیفی به دست آمده (مانند خلوصیت شربت، قلیاییت و ازت مضر) محاسبه گردید. این فرمول‌ها رابطه بین ناخالصی‌ها و قند باقی‌مانده در ملاس را مدل‌سازی می‌کنند [۲۳].

۳-۲- تجزیه و تحلیل داده‌ها

طرح آزمایش به‌صورت دقیق به عنوان «کرت‌های خردشده در طول زمان» با جزئیات تعداد سال‌ها، تیمارها و تکرارها انجام شد. داده‌های حاصل از آزمایش پس از تجزیه واریانس مرکب، مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ انجام شد.

Table 1. Characteristics of the experimental treatments based on the planting arrangement and irrigation method

Irrigation method	Planting arrangement and spacing	Treatment
Full (irrigation of all furrows at each turn)	Single row, row spacing 60 cm	**I1**
One-in-between	Single row, row spacing 60 cm	**I2**
Full (irrigation of all furrows at each turn)	Single row, row spacing 50 cm	**I3**

One-in-between	Single row, row spacing 50 cm	**I4**
One-sided (irrigation from one side of the ridge)	Double row on a ridge (total spacing 100 cm)	**I5**
One-sided (irrigation from one side of the ridge)	Double row on a ridge (total spacing 90 cm)	**I6**

۳- نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌های کیفی طی دو سال آزمایش (جدول ۲) نشان داد که عامل «سال» تأثیر معناداری بر اکثر صفات مورد مطالعه داشت. به طوری که این عامل در سطح ۱٪ بر عیار (POL)، پتاسیم، سدیم، ازت مضر، خلوصیت شربت و قند در ملاس تأثیر معناداری داشت که حاکی از وجود تغییرات اقلیمی بین دو سال اجرای آزمایش است. با این حال، تأثیر سال بر قلیاییت و درصد شکر معنادار نبود. عامل اصلی تحقیق، یعنی «تیمارهای آبیاری و آرایش کاشت»، تأثیر بسیار معناداری ($p < 0.01$) بر غلظت پتاسیم، سدیم، ازت مضر، قلیاییت، خلوصیت شربت و قند در ملاس داشت و بر درصد شکر نیز در سطح ۵٪ معنادار بود. نکته قابل توجه این بود که تأثیر تیمارها بر عیار (POL) که نشان‌دهنده غلظت اولیه ساکارز در ریشه است، از نظر آماری معنادار نبود. این یافته بیانگر آن است که اگرچه تیمارهای اعمال‌شده نتوانستند غلظت بنیادی ساکارز را تغییر دهند، اما به طور قابل توجهی بر میزان ناخالصی‌ها و شاخص‌های کیفی محاسباتی شربت که برای صنعت قند حیاتی هستند، تأثیر گذاشتند.

Table 2. Analysis of variance of qualitative results of samples

Analysis of variance									
MS	Purity	SUGAR	ALC	N	Na	K	POL	df	Source of Variation
3.37^{ns}	89.44^{ns}	0.15^{ns}	0.056^{ns}	8.11	8.13	2.89	4.95	1	Year
0.05	4.26	0.87	0.15	0.37	0.21	0.86	0.57^{**}	6	Year × Treatment
0.47^{**}	16.56^{**}	1.37^{**}	0.62^{*}	2.90^{**}	0.74^{**}	0.82^{**}	0.19^{ns}	5	Treatment
0.04	2.36	0.34	0.19	0.42	0.15	0.57	0.22	30	Error
7.36	1.84	4.23	17.25	18.41	18.54	4.49	2.85		CV
2.72	83.45	13.81	2.5	3.52	2.09	5.72	16.53		Mean

*Significant at the 5% level Significant at the 1% level n.s Not significant

۳-۱- عیار (POL)

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، تأثیر تیمارهای مختلف آبیاری و آرایش کاشت بر عیار یا غلظت ساکارز شربت چغندرقند از نظر آماری معنادار نبود ($p > 0.05$). این موضوع نشان می‌دهد که مدیریت آبیاری و تغییر فاصله کاشت در این پژوهش، نتوانست میزان قند ذخیره‌شده در ریشه را به طور قابل توجهی تحت تأثیر قرار دهد.

Table 2. Comparison of Means of Samples Under Different Treatments

Treatment	POL (°)	K (g/kg)	Na (g/kg)	N (g/kg)	ALC (%)	SUGAR	Syrup purity	MS
I1	16.56 (ns)	6.11 a	2.59 a	4.41 a	2.32 ab	13.45 ns	81.08b	3.11 a
I2	16.61 (ns)	5.71 b	2.31 ab	3.61 abc	2.45 ab	13.82 ns	83.04ab	2.80 b
I3	16.34 (ns)	5.51 bc	2.08 ab	3.01 c	2.71 ab	13.74 ns	84.03a	2.60 bc
I4	16.35 (ns)	5.27 c	1.88 b	2.88 c	2.81 a	13.92 ns	85.07a	2.44 c
I5	16.74 (ns)	5.65 b	1.79 b	3.17 bc	2.67 ab	14.19 ns	84.59a	2.56 bc
I6	16.74 (ns)	6.05 a	1.90 b	4.01 ab	2.07 b	13.73 ns	82.89ab	2.82 b

Values with the same letter (a, b, c, etc.) in each column are not significantly different (comparison test).ns = not significant.

۳-۲- پتاسیم (K)

تیمارهای آزمایشی تأثیر بسیار معناداری ($p < 0.01$) بر غلظت پتاسیم شربت داشتند. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین میزان پتاسیم (۶/۱۱ (g/kg)) در تیمار I1 (فاصله ۶۰ سانتی‌متر و آبیاری کامل) و کمترین آن (۵/۲۷ (g/kg)) در تیمار I4 (فاصله ۵۰ سانتی‌متر و آبیاری یک در میان) مشاهده شد (شکل ۱). این کاهش غلظت پتاسیم در تیمار I4 می‌تواند به بهبود خلوص شربت کمک کند.

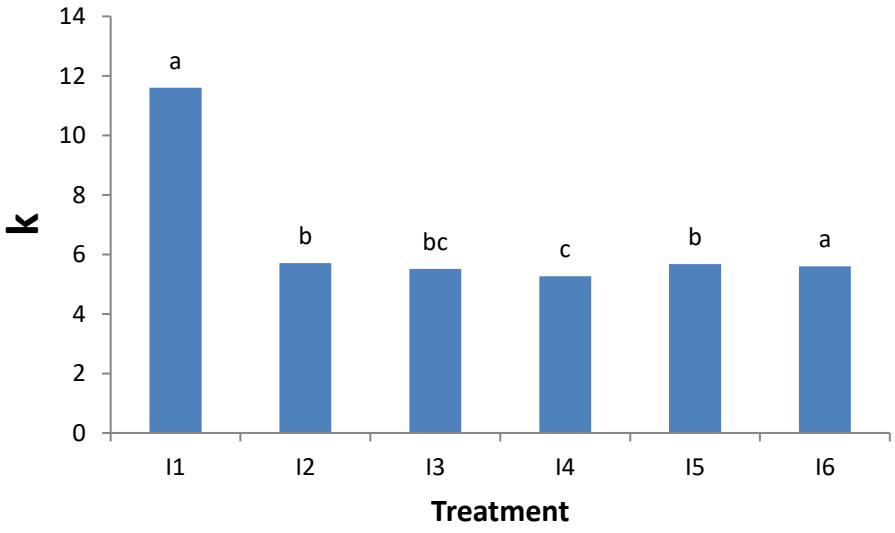

Figure 1. Comparison of the average potassium of the treatments

۳-۳- سدیم (Na)

غلظت سدیم شربت نیز تحت تأثیر معناداری ($p < 0.01$) تیمارها قرار گرفت. بالاترین سطح سدیم (۲/۵۹ (g/kg))

مربوط به تیمار I1 بود، در حالی که کمترین میزان (۱/۸۸ (g/kg)) در تیمار I4 ثبت شد. این الگو مشابه با نتایج پتاسیم بوده و نشان می‌دهد که تیمار I4 در کاهش این ناخالصی مهم مؤثرتر عمل کرده است (شکل ۲).

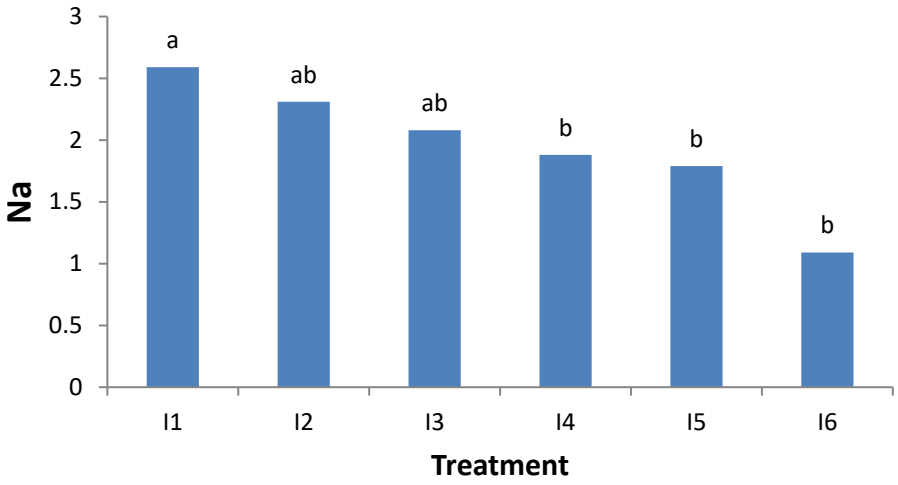

Figure 2. Comparison of the average Sodium of the treatments

نتایج این پژوهش نشان داد که تیمار I4 (فاصله خطوط ۵۰ سانتی‌متر و آبیاری یک در میان) به طور معناداری کمترین غلظت پتاسیم و سدیم را در شربت چغندرقند به خود اختصاص داد. این یافته با تحقیقات پیشین که بر تأثیر مدیریت منابع رشد بر کیفیت شربت تأکید دارند، همسو است. برای مثال، منزور و همکاران (۲۰۲۳) در بررسی خود بر بهینه‌سازی کیفیت نیشکر در شرایط تنش، نشان دادند که مدیریت صحیح آب و تغذیه می‌تواند به طور قابل توجهی بر کاهش ناخالصی‌های معدنی مؤثر باشد. همچنین، تحقیق مقداد و همکاران (۲۰۲۱) که به کاربرد همزمان پتاسیم و روی پرداختند، نشان داد که تعادل عناصر غذایی و شرایط رشد، نقش کلیدی در تعیین غلظت ناخالصی‌ها دارد. کاهش غلظت این دو یون در تیمار I4 نشان می‌دهد که ترکیب فاصله کاشت فشرده‌تر و آبیاری یک در میان، یک استراتژی مؤثر برای کنترل جذب این ناخالصی‌ها است.

از دیدگاه فیزیولوژیکی، این پدیده را می‌توان به دو عامل اصلی نسبت داد: تنش آبی کنترل‌شده و رقابت ریشه. آبیاری یک در میان (Alternate Furrow Irrigation) چرخه‌های خیس و خشک را در خاک ایجاد می‌کند [۲۴, ۲۵]. در طول دوره خشکی، جذب آب توسط ریشه کاهش یافته و در نتیجه، انتقال غیرفعال (passive transport) یون‌های محلول و پرتحرک مانند پتاسیم (K+) و سدیم (Na+) به داخل گیاه به شدت محدود می‌شود [۱۸, ۲۶]. گیاه در این شرایط، جذب عناصر غذایی را به صورت انتخابی‌تر و فعال‌تر مدیریت می‌کند [۲۷]. از سوی دیگر، فاصله خطوط ۵۰ سانتی‌متر باعث افزایش تراکم بوته و رقابت بین ریشه‌ها برای منابع آب و غذایی می‌شود. این رقابت، سیستم ریشه‌ای را وادار به توسعه کارآمدتر و جذب هدفمندتر می‌کند که نتیجه آن کاهش جذب بیش از حد یون‌های غیرضروری یا مضر است.

اهمیت صنعتی این یافته بسیار چشمگیر است. پتاسیم و سدیم به عنوان "ناخالصی‌های اصلی" (Main Impurities) در صنعت قند شناخته می‌شوند [۲۸, ۲۹]. این یون‌ها در فرآیند قندگیری، با ساکارز ترکیب شده و باعث افزایش "خلوص ملاس" (Molasses Purity) می‌شوند [۳۰, ۳۱]. هرچه خلوص ملاس بالاتر باشد، ساکارز بیشتری در ملاس باقی می‌ماند و از فرآیند استحصال خارج می‌گردد. بنابراین، کاهش غلظت K و Na در شربت خام، مستقیماً به افزایش

راندمان کارخانه، کاهش مصرف انرژی در مراحل تصفیه و در نهایت، تولید بیشتر شکر سفید از هر تن چغندر منجر می‌شود[۳۲]. این موضوع با اهداف بهینه‌سازی زنجیره تأمین شکر که توسط نجفی و همکاران (۲۰۲۱) مطرح شده، کاملاً همراستا است و تیمار I4 را به عنوان یک راهکار کشاورزی پایدار برای ارتقاء کیفیت صنعتی محصول معرفی می‌کند.

٤-۳- ازت مضر (N)

تأثیر تیمارها بر غلظت ازت مضر در سطح ۱٪ معنادار بود. نتایج نشان داد که تیمار I6 (کشت دو ردیفه روی پشته با فاصله ۹۰ سانتی‌متر) دارای بیشترین میزان ازت مضر (٤/۰۱ (g/kg)) بود، در حالی که تیمار I4 با کمترین مقدار (۲/۸۸ meq/L)، بهترین عملکرد را در کاهش ترکیبات ازت دار غیرساکارزی از خود نشان داد (شکل ۳).

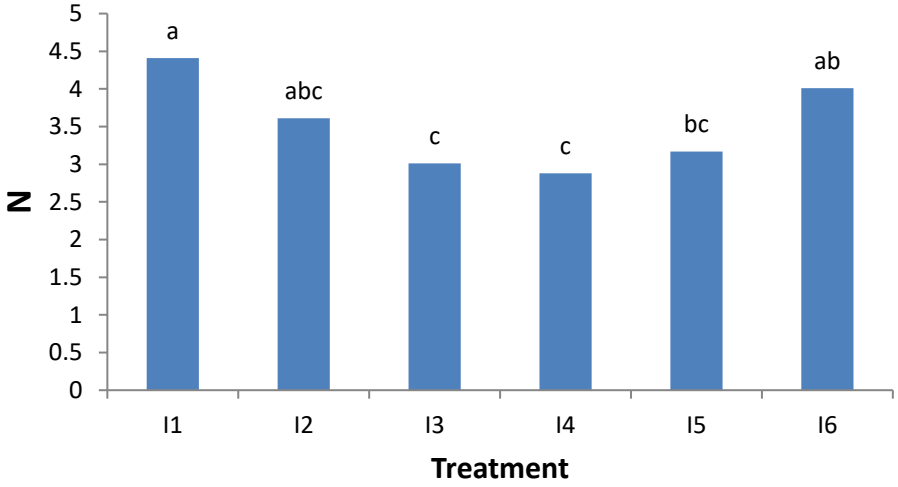

Figure 3. Comparison of the average Nitrogen harmful.of the treatments

٥-۳- قلیاییت (ALC)

قلیاییت شربت که مجموع کاتیون‌های قلیایی را نشان می‌دهد، تحت تأثیر معناداری ($p < 0.05$) تیمارها قرار گرفت. بیشترین قلیاییت (۲/۰۷ ٪) در تیمار I6 و کمترین آن (۲/۸۱ ٪) در تیمار I4 مشاهده شد (شکل ٤) که این امر بار دیگر بر برتری تیمار I4 در کاهش ناخالصی‌های معدنی تأکید دارد.

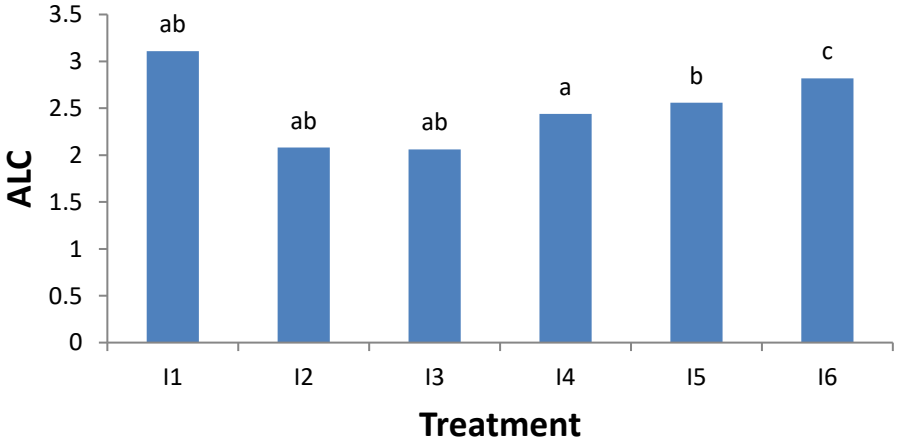

Figure 4. Comparison of the average Alkalinity of the treatments

بر اساس نتایج، کمترین میزان ازت مضر و قلیاییت نیز در تیمار I4 مشاهده شد، در حالی که تیمار I6 (کشت دو ردیفه روی پشته با فاصله ۹۰ سانتی‌متر) بالاترین مقادیر این دو شاخص را به خود اختصاص داد. این نتایج با تحقیقاتی که بر تأثیر مدیریت زراعی بر ناخالصی‌های نیتروژنی تأکید دارند، همسو می‌باشد [۱۷, ۳۳, ۳٤]. طالقانی و همکاران (۲۰۲٤) به طور مشخص نشان دادند که سطوح مختلف نیتروژن و شرایط آبیاری، به طور معناداری بر میزان ناخالصی‌های ازت مضر در چغندرقند تأثیر می‌گذارند. یافته‌ها نشان می‌دهد که حتی با نرخ کوددهی ثابت، روش آبیاری و آرایش کاشت می‌تواند به عنوان یک ابزار قدرتمند برای مدیریت جذب و تجمع این ترکیبات عمل کند. همچنین کازت کروبات[1] و همکاران (۲۰۱۸) در بررسی آلاینده‌های محصولات جانبی قند، اهمیت نظارت بر ترکیبات نیتروژنی را برجسته ساختند که نتایج ما لزوم مدیریت آن‌ها در مزرعه را تأیید می‌کند.

تبیین این پدیده نیز مشابه مورد پتاسیم و سدیم است، اما با تفاوت‌های کلیدی. ازت مضر عمدتاً شامل اسیدهای آمینه و آمیدها است که حاصل متابولیسم نیتروژن در گیاه هستند [۳۵]. در شرایط تنش آبی خفیف ناشی از آبیاری یک در میان، رشد رویشی گیاه کمی کند شده و نیتروژن جذب شده، به جای تبدیل به پروتئین‌های ساختاری، به سمت سنتز ترکیبات محافظ‌کننده و انباشت به صورت اسیدهای آمینه آزاد هدایت می‌شود [۳٦, ۳۷]. با این حال، به نظر می‌رسد در تیمار I4، سطح تنش به قدری کنترل‌شده بوده که گیاه توانسته این ترکیبات را در چرخه متابولیسم خود به کار گیرد و از انباشت بیش از حد آن‌ها جلوگیری کند [۳۸]. در مقابل، تیمار I6 با تراکم بالای ۱۱۰ هزار بوته در هکتار، احتمالاً به دلیل رقابت شدید، شرایط استرسی متفاوتی را تجربه کرده که منجر به تجزیه پروتئین‌ها و افزایش سطح ازت مضر در ریشه شده است. قلیاییت نیز به طور مستقیم با غلظت کاتیون‌های قلیایی (K+ و Na+) مرتبط است و کاهش آن در تیمار I4، نتیجه مستقیم کاهش این یون‌هاست.

اهمیت صنعتی کاهش ازت مضر و قلیاییت، حتی از کاهش پتاسیم و سدیم نیز بیشتر است. ازت مضر در فرآیند قندگیری به شدت واکنش‌های ناخواسته را تحریک می‌کند [۱۹, ۳۹]؛ این ترکیبات با قندهای احیاکننده واکنش داده (واکنش میلارد) باعث تیره شدن شربت و افزایش رنگ محصول نهایی می‌شوند [۳۹]. علاوه بر این، در مرحله کربناتاسیون، ازت مضر با آهک واکنش داده و مصرف آهک را افزایش می‌دهد [٤۰] که این امر هزینه‌های عملیاتی را بالا می‌برد [٤۱, ٤۲]. بنابراین، تیمار I4 با کاهش این دو شاخص، نه تنها کیفیت شربت خام را بهبود می‌بخشد، بلکه هزینه‌های فرآوری را نیز کاهش داده و به تولید شکر با رنگ بهتر و خلوص بالاتر کمک می‌کند. این امر نشان‌دهنده پتانسیل بالای مدیریت مزرعه برای دستیابی به اهداف پایداری و کارایی در صنعت قند است.

٦-۳- درصد شکر (SUGAR)

درصد شکر قابل استحصال تحت تأثیر معناداری ($p < 0.05$) تیمارها قرار گرفت. بر اساس نتایج، بالاترین درصد شکر (۱٤٪/۱۹) در تیمار I5 (کشت دو ردیفه روی پشته با فاصله ۱۰۰ سانتی‌متر) به دست آمد، در حالی که کمترین مقدار (۱۳٪/٤٥) مربوط به تیمار I2 (فاصله ٦۰ سانتی‌متر و آبیاری یک در میان) بود (شکل ۵).

1-czak-Chrobot

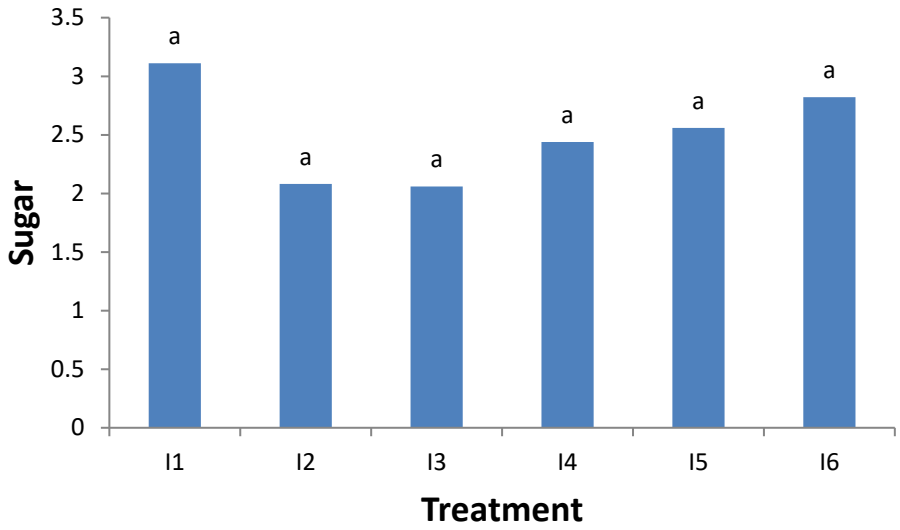

Figure 5. Comparison of the average Sugar of the treatments

۳-۷- خلوصیت شربت (Purity)

خلوصیت شربت به عنوان یکی از مهم‌ترین شاخص‌های کیفی، واکنش بسیار معناداری ($p < 0.01$) به تیمارها نشان داد. بالاترین خلوصیت (۸۵/۰۷٪) در تیمار I4 به دست آمد که از نظر آماری در گروه برتر قرار داشت. تیمارهای I3 و I5 نیز خلوصیت بالایی (به ترتیب ۸۴/۰۳٪ و ۸۴/۵۹٪) داشتند، در حالی که کمترین خلوصیت (۸۱/۰۸٪) به تیمار I1 تعلق داشت (شکل ٦).

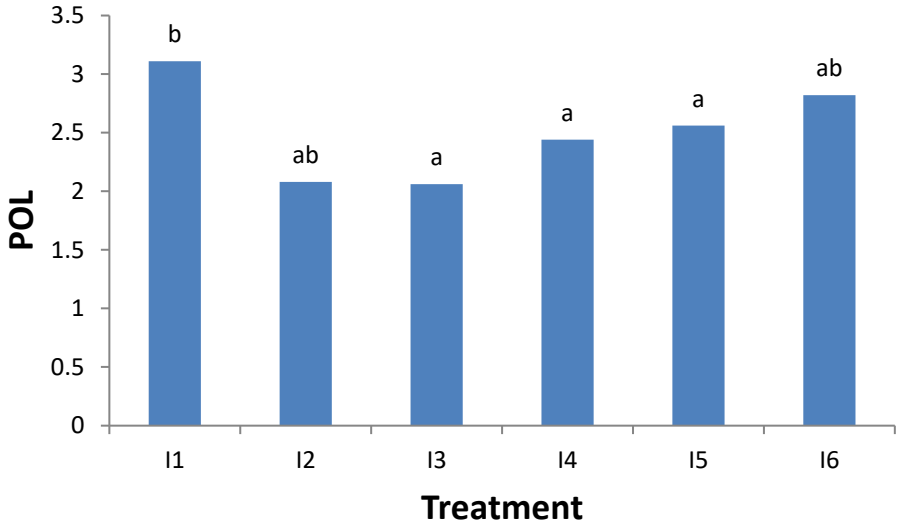

Figure 6. Comparison of the average POL of the treatments

۳-۸- قند در ملاس (MS)

پیش‌بینی میزان قند باقی‌مانده در ملاس (MS) نیز تحت تأثیر بسیار معنادار ($p < 0.01$) تیمارها بود. مطلوب‌ترین نتیجه (کمترین مقدار قند در ملاس) در تیمار I4 با مقدار ۲/۴٤٪ حاصل شد (شکل ۷) که نشان‌دهنده راندمان بالاتر استحصال شکر در این تیمار است. در مقابل، تیمار I1 با ۳/۱۱٪ قند در ملاس، بالاترین میزان هدررفت قند به ملاس را پیش‌بینی می‌کند.

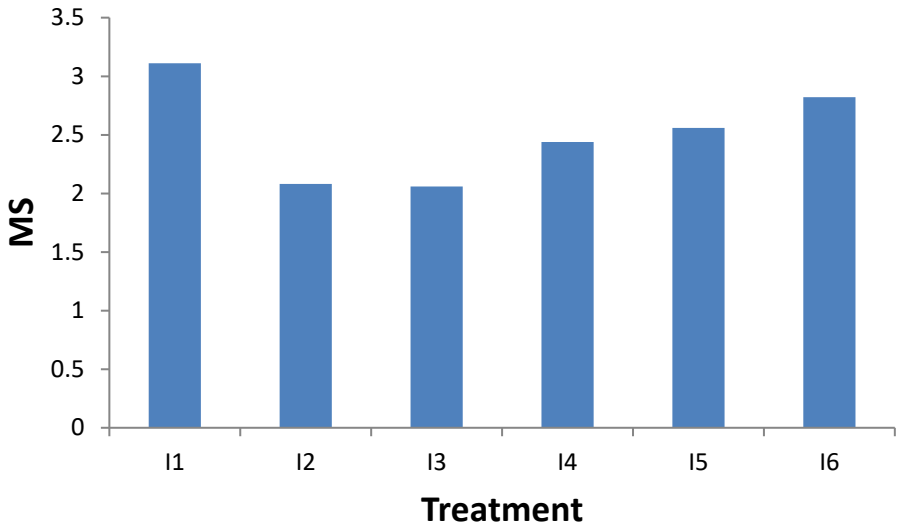

Figure 7. Comparison of the average MS of the treatments

مهم‌ترین یافته این پژوهش، تأثیر بسیار معنادار تیمارها بر خلوصیت شربت بود؛ به طوری که تیمار I4 با خلوصیت ۸۵.۰۷٪ بالاترین کیفیت و تیمار I1 با خلوصیت ۸۱.۰۸٪، پایین‌ترین کیفیت را داشتند. این نتایج کاملاً با هدف غایی تحقیقات کیفی در صنعت قند همسو است. زکی دیزاجی[1] و همکاران (۲۰۲۱) از خلوصیت به عنوان یکی از مهم‌ترین شاخص‌ها برای پیش‌بینی کیفیت شربت نیشکر استفاده کردند [۳] و نشان دادند که این معیار ارتباط مستقیمی با کیفیت شکر تصفیه‌شده دارد. همچنین، داگبه[2] و همکاران (۲۰۲۰) بر اهمیت ارزش‌آفرینی از محصولات جانبی مانند ملاس تأکید کردند [۱] و کاهش قند موجود در ملاس (MS) مستقیماً به این هدف کمک می‌کند. یافته ما مبنی بر پایین‌ترین MS در تیمار I4 (2.44%) در مقایسه با I1 (3.11%)، نشان‌دهنده موفقیت این تیمار در افزایش کارایی استحصال شکر است.

تحلیل این نتایج، حاصل اثر تجمعی تمام تغییرات قبلی است. از آنجایی که تجزیه واریانس نشان داد عیار (POL) یا غلظت اولیه ساکارز تحت تأثیر تیمارها قرار نگرفت، افزایش چشمگیر خلوصیت در تیمار I4 صرفاً ناشی از کاهش مواد غیرقند (Non-sugars) بوده است. با کاهش موفقیت‌آمیز غلظت پتاسیم، سدیم، ازت مضر و قلیاییت، نسبت ساکارز به کل مواد جامد محلول (بریکس) در شربت افزایش یافت و این همان تعریف خلوصیت بالاتر است. علت اصلی برتری I4 را می‌توان به کاهش بیشتر ناخالصی‌های معدنی (K و Na) نسبت داد. به عبارت دیگر، تیمار I4 موفق شد "شربت پاک‌تری" تولید کند. شاخص قند در ملاس (MS) نیز یک شاخص محاسباتی است که به طور مستقیم با خلوصیت رابطه معکوس دارد؛ هرچه خلوصیت بالاتر باشد، ساکارز کمتری توسط ناخالصی‌ها به دام افتاده و وارد جریان ملاس می‌شود [۱۹, ۴۳].

اهمیت صنعتی این شاخص‌ها غیرقابل انکار است. خلوصیت شربت، معیار اصلی خرید و قیمت‌گذاری چغندر توسط کارخانه‌هاست و تعیین‌کننده اصلی راندمان کل فرآیند تولید شکر است [۴۴]. یک افزایش ٤ درصدی در خلوصیت (از ۸۱٪ به ۸۵٪)، به معنای تولید چندین تن شکر بیشتر در مقیاس صنعتی است، بدون اینکه نیاز به افزایش سطح زیر کشت یا عملکرد ریشه باشد. این موضوع مستقیماً بر سودآوری کارخانه و بهره‌وری کل زنجیره تأمین تأثیر

1-Zaki Dizaji

2-Dogbe

می‌گذارد، همانطور که نجفی و همکاران (۲۰۲۱) و نامداری و همکاران (۲۰۲٤) بر آن تأکید کرده‌اند [٤]. بنابراین، تیمار I4 نه تنها یک راهکار برای صرفه‌جویی در مصرف آب است، بلکه یک استراتژی کشاورزی هوشمند برای ارتقای کمی و کیفی محصول و بهینه‌سازی کل سیستم تولید شکر محسوب می‌شود.

۹-۳- نتیجه گیری کلی

این پژوهش با هدف ارزیابی تأثیر همزمان شرایط آبیاری و آرایش کاشت بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و شاخص‌های خلوص شربت چغندرقند انجام شد. یافته کلیدی این تحقیق حاکی از آن است که اگرچه غلظت بنیادی ساکارز (عیار) تحت تأثیر تیمارهای مختلف تغییر معناداری نداشت، اما مدیریت استراتژیک آبیاری و تراکم کاشت، تأثیری عمیق بر پروفایل ناخالصی‌های شربت و در نتیجه، کیفیت صنعتی آن بر جای گذاشت. به طور مشخص، ترکیب فاصله خطوط کاشت ۵۰ سانتی‌متر با آبیاری یک در میان (تیمار I4) به عنوان برترین استراتژی شناسایی شد. این رویکرد به طور مؤثری از انباشت ناخالصی‌های کلیدی غیرقندی، یعنی پتاسیم، سدیم و ترکیبات ازت مضر جلوگیری کرد.از منظر فناوری و فرآوری صنایع غذایی، این یافته اهمیت فوق‌العاده‌ای دارد. کاهش قابل توجه این ناخالصی‌ها مستقیماً به افزایش معنادار خلوصیت شربت (تا ۸۵.۰۷٪) و کاهش همزمان قند پیش‌بینی‌شده در ملاس (تا ۲.٤٤٪) منجر شد. این امر نشان می‌دهد که تیمار I4 یک ماده اولیه باکیفیت‌تر برای کارخانه‌های قند فراهم می‌کند که مستلزم فرآوری کمتر فشرده، مصرف کمتر مواد شیمیایی (مانند آهک) و در نهایت، افزایش راندمان کلی و بازده تولید شکر تصفیه‌شده است. این نتایج با اهداف بهینه‌سازی زنجیره تأمین شکر و ارتقاء کیفیت محصولات نهایی کاملاً همسو استاهمیت این یافته‌ها فراتر از شاخص‌های کیفی فوری است و یک مدل عملی برای توسعه پایدار[3] در کشت چغندرقند ارائه می‌دهد. تیمار I4 یک راهکار دوگانه است که همزمان با چالش اساسی کم‌آبی از طریق کاهش تقریبی ٤۰ درصدی حجم آب مصرفی مقابله می‌کند و محصولی با ارزش صنعتی بالاتر تولید می‌نماید. این دستاورد یک توصیه مبتنی بر شواهد و عملی برای تولیدکنندگان در مناطق خشک و نیمه‌خشک، مانند منطقه خوی، است که به دنبال افزایش بهره‌وری اقتصادی در شرایط بحران آب هستند. در نهایت، این مطالعه نشان می‌دهد که مدیریت دقیق آب، زمانی با هندسه بهینه کاشت ترکیب شود، نه تنها ابزاری برای حفظ عملکرد، بلکه یک اهرم حیاتی برای ارتقای کیفیت ذاتی چغندرقند و ایجاد پلی میان عملکرد کشاورزی و برتری صنعتی در بخش صنایع غذایی است.

رضایت‌نامه کتبی

رضایت نامه کتبی و آگاهانه از افراد شرکت کننده در مطالعه اخذ شد.

تعارض منافع

نویسندگان اعلام کردند که هیچ‌گونه تعارض منافعی ندارند.

بیانیه دسترسی‌ها

داده‌های پژوهش به اشتراک گذاشته نمی‌شوند.

۵-منابع

[1] Dogbe, E.S., et al., Revitalizing the sugarcane industry by adding value to A-molasses in biorefineries. 2020. 14(5): p. 1089-1104.

[2] Najafi, P., et al., Measuring the overall efficiency of the sugar supply chain in Iran. 2021. 23(4): p. 783-796.

[3] Zaki Dizaji, H., et al., Application of E-nose technique to predict sugarcane syrup quality

[3] Sustainable Intensification

based on purity and refined sugar percentage. 2021. 58(11): p. 4149-4156.

[4] Namdari, M., et al., Use of LCA indicators to assess Iranian sugar production systems :Case study—Hamadan Province. 2024. 14(5): p. 6759-6772.

[5] Muir, B.M., Sugar beet processing to sugars, in Sugar beet cultivation, management and processing. 2022, Springer. p. 837-862.

[6] Babu, A.S. and S.A.O. Adeyeye, Extraction of sugar from sugar beets and cane sugar, in Extraction Processes in the Food Industry. 2024, Elsevier. p. 177-196.

[7] Soleymani, M., et al., Investigating the potential of bubbling and ultrasonic processes in reducing the fouling of the ultrafiltration membrane during the purification of raw sugar beet syrup. 2024.

[8] Naseri, H., et al., Sustainability of quantitative and qualitative indicators of sugarcane production under different tillage systems (case study: Khuzestan province of Iran). 2020. 8: p. 100046.

[9] Fathollah Taleghani, D., et al., Effect of Nitrogen Rates on Yield, Non-Sugar Impurities and NUE of Four Sugar Beet Varieties under Drip Irrigation Conditions. 2024. 4(2): p. 89-97.

[10] Saeidimajd, G., et al., Optimizing Irrigation and Nitrogen Fertilizer Cessation to Enhance Yield and Quality of Sugarcane. 2025: p. 1-11.

[11] Mekdad, A.A., et al., Integrated application of K and Zn as an avenue to promote sugar beet yield, industrial sugar quality, and K-use efficiency in a salty semi-arid agro-ecosystem. 2021. 11(4 :(p. 780.

[12] Singh, I., R. Verma, and T.J.S.T. Srivastava, Growth, yield, irrigation water use efficiency, juice quality and economics of sugarcane in pusa hydrogel application under different irrigation scheduling. 2018. 20(1): p. 29-35.

[13] Manzoor, M ,.et al., Optimizing sugarcane growth, yield, and quality in different ecological zones and irrigation sources amidst environmental stressors. 2023. 12(20): p. 3526.

[14] Awulachew, M.J.J.A.S.F.R., A Systematic Review of Sugar Processing Sector and Food Safety. 2025. 16: p. 197.

[15] Sahu, O.J.A.o.A.S., Assessment of sugarcane industry: Suitability for production, consumption, and utilization. 2018. 16(4): p. 389-395.

[16] Antczak-Chrobot, A., P. Bąk, and M.J.F.c. Wojtczak, The use of ionic chromatography in determining the contamination of sugar by-products by nitrite and nitrate. 2018. 240: p. 648-654.

[17] Ahmed, N., et al., Acidified carbon with variable irrigation sources impact on rice growth and yield under Cd toxic alkaline Soil conditions. 2022. 14(16 :(p. 10086.

[18] El-Sharkawy, M., et al., Novel glauconite compounds improve soil properties and sugar beet (Beta vulgaris L.) yields in saline soils. 2025. 13: p. e19452.

[19] Hassanli, A.M., S. Ahmadirad, and S.J.A.W.M. Beecham, Evaluation of the influence of irrigation methods and water quality on sugar beet yield and water use efficiency. 2010. 97(2): p. 357-362.

[20] Wojtczak, M., ICUMSA-International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis. 2003.

[21] Mukherjee, E. and S.J.S.T. Gantait, Genetic transformation in sugar beet (Beta vulgaris L.): technologies and applications. 2023. 25(2): p. 269-281.

[22] Zhang, Y., J. Nan, and B.J.F.i.P.S. Yu, OMICS technologies and applications in sugar beet. 2016. 7: p. 900.

[23] Valli, V., et al., Sugar cane and sugar beet molasses, antioxidant-rich alternatives to refined sugar. 2012. 60(51): p. 12508-12515.

[24] Gayathry, G. and M. Shanmuganathan, Processed sugar: is a necessary evil.

[25] Hryhorenko, N., N. Husiatynska, and O.J.U.F.J. Kalenyk, Substantiation of a rational method of purification of sugar sorghum juice in the technology of food syrup production. 2021. 10(2): p. 263-276.

[26] Al-Dhumri, S.A., et al., Application of molasses as an Eco-Innovative approach substitutes mineral nitrogen fertilization and enhances sugar beet productivity. 2023. 14(1): p. 287-296.

[27] Xie, X., et al., Potassium determines sugar beets' yield and sugar content under drip irrigation condition. 2022. 14(19): p. 12520.

[28] Vicentini-Polette, C.M., et al., Minerals levels in sugarcane syrup. 2024. 44.

[29] Arjeh, E., et al., Phenolic compounds of sugar beet (Beta vulgaris L.): Separation method, chemical characterization, and biological properties. 2022. 10(12): p. 4238-4246.

[30] Salles, P., et al. Brown, Crystal, Refined and Organic Sugar Samples from Several Countries: Evaluation of Chemical Impurities. in Proceedings of the INAC 2021: international

nuclear atlantic conference. Nuclear technology: reducing our carbon footprint and increasing quality of life. 2021.

[31] Karimi Sani, Iraj; Behrouz Kazemzadeh; Bahram Hassani; Habib Navidifar; Parviz Ahmadi Gheshlagh; Zahra Salamat Mamkani. (1403). "Investigation of Physicochemical Properties and Mineral Analysis of White Sugar During Use". Iranian Journal of Food Science and Technology, Volume 21, Issue 149, Pages 195-209.

[32] Karimi Sani, I., et al., Physicochemical characteristics and mineral analysis of white sugar during Operation. 2024. 21(149): p. 195-209.

[33] Marasinghege, C., et al., One pot two-alkali clarification process to minimize sucrose degradation of clarified sugarcane juice during evaporation. 2024. 374: p. 112022.

[34] Feizi, M., J. Fallahzade, and P.J.J.o.P.N. Noorshargh, Sugar beet yield response to different levels of saline irrigation water and leaching in an arid region. 2018. 41(5): p. 654-663.

[35] Johannes, L.P. and T.D.J.E. Xuan, Comparative analysis of acidic and alkaline pretreatment techniques for bioethanol production from perennial grasses. 2024. 17(5): p. 1048.

[36] Rerhou, B., et al., Compost applications improve soil fertility, sugar beet performances, and decrease sclerotium rolfsii sacc. Survival under saline irrigation in a semi-arid climate. 2024. 24(1): p. 586-605.

[37] Hosseini, L., et al., Evaluation of water and nitrogen use efficiency, digestibility and some quantitative and qualitative characteristics of forage beet cultivars under different irrigation methods and nitrogen levels. 2022. 74(1): p. 177-191.

[38] Yetik, A.K., B.N.J.P. Candoğan, Soil, and Environment, Optimisation of irrigation strategy in sugar beet farming based on yield, quality and water productivity. 2022. 68(8.(

[39] Topak, R., et al., Performance of partial root-zone drip irrigation for sugar beet production in a semi-arid area. 2016. 176: p. 180-190.

[40] Fabeiro, C., et al., Production and quality of the sugar beet (Beta vulgaris L.) cultivated under controlled deficit irrigation conditions in a semi-arid climate. 2003. 62(3): p. 215-227.

[41] Rinaldi, M. and A.V.J.F.C.R. Vonella, The response of autumn and spring sown sugar beet (Beta vulgaris L.) to irrigation in Southern Italy: water and radiation use efficiency. 2006. 95(2-3): p. 103-114.

[42] Topak, R., S. Süheri, and B.J.I.S. Acar, Effect of different drip irrigation regimes on sugar beet (Beta vulgaris L.) yield, quality and water use efficiency in Middle Anatolian, Turkey. 2011. 29(1): p. 79-89.

[43] Bakhshkandi, H., B. Mirshekari, and A. Pedram, Yield quality as affected by syrup concentration in sugar beet (Beta vulgaris): stepwise regression analysis. 2014.۴۴. Campbell, L.G.J.J.o.c.p., *Sugar beet quality improvement.* 2002. **5**(1-2): p. 395-413.

Journal of Food Science and Technology (Iran)

Homepage:www.fsct.modares.ir

Scientific Research

Evaluation of physicochemical properties and purity indices of sugar beet syrup according to different irrigation conditions

Amir Nourjou*[1], Iraj Karimi Sani[1], Parviz Ahmadi Gheshlagh[2]

1- Agricultural Engineering Research Department, West Azerbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Urmia, Iran

2- Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

ARTICLE INFO

Article History:

Received: 2025/10/13

Review: 2025/12/02

Accepted: 2025/12/05

Keywords:

Sugar beet,
syrup purity,
sugar quality,
Irrigation

DOI: 10.48311/fsct.2026.117121.82900

*Corresponding Author E-

nourjou@gmail.com

ABSTRACT

The present study was conducted to evaluate the physicochemical properties and purity indices of sugar beet syrup under different irrigation conditions. This study was conducted by implementing six different irrigation treatments including different combinations of row spacing and irrigation interval (full and every other). Harvested sugar beet samples were analyzed to determine physicochemical parameters including potassium, sodium, harmful nitrogen, alkalinity, sugar percentage, syrup purity and sugar in molasses. The results showed that treatments with row spacing of 50 to 60 cm and every other irrigation (I4) provided the highest syrup purity (83–85%) and sugar percentage (13–14%) ($p<0.05$), while the amounts of potassium, sodium and harmful nitrogen were also within acceptable ranges in these treatments. Significant differences were observed between treatments for syrup purity and sugar percentage indices ($p<0.05$), but parameters such as potassium and alkalinity did not differ significantly in some treatments ($p<0.05$). The findings of this study indicate that optimal irrigation management and selection of appropriate planting line spacing can improve the quality of sugar beet syrup in addition to increasing water use efficiency. These results can be used as a practical guide to determine effective irrigation treatments in similar climatic conditions.