

ارزیابی مدل *ET-HS* در تعیین نیاز آبی محصول چغندر قند و کارایی مصرف آب در شرایط نیمه خشک اصفهان

Evaluation of ET-HS model for estimating water demand and water use efficiency of sugar beet in semi-arid condition of Isfahan

علی سلیمانی^{۱*}، پیام نجفی^۲، مهرداد دهنوی^۳ و محمد حسام شاهر جیبیان^۳

تاریخ دریافت: ۸۹/۷/۲۰؛ تاریخ پذیرش: ۹۰/۱۱/۱۲

ع. سلیمانی، پ. نجفی، م. دهنوی و م.ح. شاهر جیبیان. ۱۳۹۰. ارزیابی مدل ET-HS در تعیین نیاز آبی محصول چغندر قند و کارایی مصرف آب در شرایط نیمه خشک اصفهان. مجله چغندر قند (۲): ۱۸۳ - ۱۶۹

چکیده

روشن هارگریوز - سامانی از جمله روش های محاسبه تبخیر و تعرق گیاه بوده که به حداقل داده های هواشناسی نیازمند است. به منظور ارزیابی مدل *ET-HS* در تعیین نیاز آبی محصول چغندر قند در منطقه اصفهان، تحقیقی در سال ۱۳۸۴ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان اصفهان اجرا درآمد. آزمایش تحقیق به صورت طرح بلوک های کامل تصادفی با شش تیمار مدیریت آبیاری در سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آبیاری شامل: ۵۰، ۷۵، ۱۰۰، ۱۲۵، ۱۵۰ درصد نیاز آبی گیاه براساس مدل *ET-HS* و شاهد براساس ۹۰ میلی متر تبخیر از پشتک تبخیر کلاس A در طول فصل رشد بود. نتایج نشان داد که اثر تیمارهای آبیاری بر مقدار ماده خشک کل و عملکرد ریشه معنی دار بود. هم چنین در تیمار آبیاری معادل ۱۵۰ درصد نیاز آبی عملکرد ریشه افزایش پیدا کرد ولیکن در صدقند تا ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه افزایش (هر چند غیر معنی دار) و پس از آن کاهش یافت. عملکرد شکر سفید تا ۱۲۵ درصد نیاز آبی گیاه به میزان ۸/۷ تن در هکتار به صورت معنی داری افزایش و پس از آن با افزایش مصرف آب کاهش یافت. بالاترین کارایی مصرف آب برای عملکرد ریشه در تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی حاصل شد. با توجه به دقت مدل *ET-HS* در تیمار شاهد می توان از این مدل برای آبیاری محصول چغندر قند در مناطقی مشابه اصفهان در طی فصل زراعی استفاده کرد و بدون استفاده از داده های تبخیر و تعرق و یا داده های تخلیه رطوبتی خاک و فقط براساس اطلاعات درجه حرارت هوا نسبت به تعیین نیاز آبی چغندر قند اقدام کرد به طوری که محصول کاهش نداشته و با مصرف حداقل ممکن آب عملکرد مناسب شکر قابل استحصال را برداشت نمود.

واژه های کلیدی: چغندر قند، مدل *ET-HS*، مناطق نیمه خشک، نیاز آبی

۱- دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات - دانشگاه آزاد اسلامی، واحد خوراسگان - اصفهان - ایران. * نویسنده مسئول :

a_soleymani@khuisf.ac.ir

۲- دانشیار گروه خاکشناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد خوراسگان - اصفهان - ایران.

۳- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد خوراسگان، اصفهان، ایران.

مقدمه

سطح زیر کشت چغندر قند در جهان در سال ۲۰۰۱ برابر با ۶/۲۱۸ میلیون هکتار بود (FAO 2002). چغندر قند قابلیت رشد در طیف وسیعی از شرایط اقلیمی را دارا می‌باشد (Hassanli et al. 2010; Sakellariou-Makrantonaki et al. 2002; Tognetti et al. 2003). این گیاه تحت شرایط آبیاری به‌عنوان گیاهی با مصرف بالای آب در نظر گرفته شده که به این علت در مناطقی که منابع آبی محدود باشد، کاشت آن گسترش نمی‌یابد (Fabeiro et al. 2003) و خشکی دلیل اصلی افت عملکرد آن می‌باشد (Pidgeon et al. 2001; Tognetti et al. 2002). این امر متقارن با افزایش تقاضای آب، مشکل اساسی در چگونگی حفظ روند افزایشی تولیدات کشاورزی در راستای استفاده پایدار از منابع آبی می‌باشد (Ober et al. 2004). با این وجود در شرایط کمبود آب به دلیل دوره رشد رویشی طولانی چغندر قند و عدم وجود مرحله گلدهی حساس، سیستم ریشه عمیق و ظرفیت تنظیم اسمزی بالا در آن جزو گیاهان مقاوم به خشکی محسوب می‌شود (Amaducci et al. 1976). در آزمایشی که در شرایط نیمه‌خشک و خاک دارای قابلیت نفوذپذیری کم با دوره‌های آبیاری ۱۴، ۲۱ و ۲۸ روزه صورت گرفت، کاهش سه نوبت آبیاری در طول فصل رشد چغندر قند نتوانست کاهش چشمگیر در میزان محصول ریشه ایجاد نماید (Winter 1988). در زراعت چغندر قندی که در معرض تنش باشد، درصد قند با

سرعت بیشتری افزایش می‌یابد و در تحت شرایط تنش شدید، درصد قند می‌تواند پنج درصد بیشتر از گیاهان بدون تنش باشد (Hang and Miller 1986). با این وجود گزارش شده است که تولید کل و شاخص کیفیت صنعتی (IQI) چغندر قند تحت تأثیر حجم کل آب آبیاری قرار می‌گیرد (Fabeiro et al. 2003). اثر کلی آبیاری معمولاً افزایش جذب عناصر غذایی بوده، اما ضرورتاً غلظت عناصر در داخل گیاه افزایش نیافته که علت آن ناشی از رشد اضافی بر اثر آبیاری می‌باشد (Winter 1990). به‌طور کلی شرایط محیطی بر عملکرد قند و عملکرد ریشه بسیار تأثیرگذار است (Hoffmann et al. 2009)، یکی از این شرایط محیطی مهم تنش آبی می‌باشد (Shrestha et al. 2010).

برای استفاده بهتر از آب آبیاری، طراحی و برنامه‌ریزی دقیق لازم است (Stegman and Bauer 1977). استفاده از مدل‌های جدید در تعیین نیاز آبی و زمانبندی آبیاری در کنار کاهش حساسیت چغندر قند به کمبود آب و همچنین افزایش تحمل به خشکی از طریق اصلاح نباتات (Pidgeon et al. 2003; Jones et al. 2001)، از مدیریت‌های کارآمد در این زمینه می‌باشد. برخی از مدل‌ها برای تخمین مقادیر عملکرد در زمان استرس آبی (Geerts an Raes 2009) و برخی دیگر از این مدل‌ها مربوط به تغییرات اقلیمی است که این تغییرات سالانه عملکرد را در زمان خشکی ارزیابی می‌کنند (Jones et al. 2003). این مدل‌ها نیازمند دامنه وسیعی از

ET-HS از رابطه اصلاح شده هارگریوزنی - سامانی برای ارزیابی تبخیر و تعرق استفاده کردند.

$$ET_{(ij)} = \alpha j(T_{\max j} - T_{\min j}) \left(\frac{T_{\max j} + T_{\min j}}{2} + 17/8 \right)$$

در این رابطه *ET* تبخیر و تعرق محصول، α ضریب کالیبراسیون (که این عامل بستگی به شرایط آب و هوایی و خاک منطقه دارد) و T_{\min} , T_{\max} به ترتیب بیشینه و کمینه دمای روزانه می‌باشند که در ضمن تحقیق به دست می‌آیند. در واقع مدل *ET-HS* مدلی است که برای تعیین میزان آب آبیاری و تقویم آبیاری گیاهان مختلف طراحی شده است. (Najafi and Tabatabaei 2007). مدل *ET-HS* پس از کالیبراسیون برای منطقه مورد نظر به متغیرهای اقلیمی کم و ساده‌ای یعنی صرفاً درجه حرارت حداقل و حداکثر روزانه نیاز دارد و اطلاعات مربوط به آن به راحتی در دسترس کشاورزان می‌باشد. همچنین نجفی و طباطبایی (Najafi and Tabatabaei 2007) در آزمایش خود در رابطه با گیاهان گوجه‌فرنگی و بادمجان نتیجه گرفتند که مدل *ET-HS* برای تخمین نیاز آبی و برنامه‌ریزی آبیاری بسیار مفید می‌باشد.

از آنجایی که تعیین نیاز آبی محصول چغندر قند به صورت دقیق در برنامه‌ریزی‌های مدیریت آبیاری دارای اهمیت شایانی می‌باشد، نیاز به ارزیابی‌های مدل تبخیر و تعرق در چغندر قند وجود دارد، و در صورتی که مدیریت صحیح در مصرف آب خصوصاً در مراحل حساس رشد صورت گیرد منجر به

داده‌ها و اطلاعات اقلیمی هستند که عمدتاً در مراکز تحقیقاتی جمع‌آوری شده و قبل از به‌کارگیری نیازمند به کالیبراسیون می‌باشند (Brisson et al. 2003; Eitzinger et al. 2004; Shrestha et al. 2010; Stockle et al. 2003). این مدل‌ها هم‌چنین در تعیین کارایی مصرف آب (*WUE*) که ارزیابی آن به‌طور مستقیم بسیار وقت‌گیر و پرهزینه می‌باشد، استفاده می‌شود (Rajabi et al. 2009). روش فائو (پنمن - مانتیک) به‌عنوان یک روش استاندارد معرفی شده و از طریق نرم‌افزار CropWat تبخیر و تعرق پتانسیل را ارزیابی می‌کند (Allen et al. 1998). از سوی دیگر، بررسی‌های انجام شده در مناطق خشک و نیمه‌خشک نشان می‌دهد که معادلات متکی به درجه حرارت و تشعشع از دقت بالایی برخوردار است (Allen et al. 1998). از میان روش‌های متکی به درجه حرارت و تشعشع روش هارگریوز - سامانی از اعتبار جهانی برخوردار است (Hargraves and Samani 1985). بر این اساس معادله اصلاح شده هارگریوز - سامانی برای مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران از رابطه فائو دقت بیشتری دارد (Hargraves and Samani 1985). هم‌چنین با توجه به اعتبار بیشتر مدل هارگریوز - سامانی در میان سایر مدل‌ها در سطح جهان، این مدل می‌تواند ET_0 را با دقت بیشتری در مناطق خشک و نیمه‌خشک مورد ارزیابی قرار دهد. نجفی و طباطبایی (Najafi and Tabatabaei 2004) در مدل

تأمین ۵۰، ۷۵، ۱۰۰، ۱۲۵ و ۱۵۰ درصد نیازی آبی گیاه براساس مدل *ET-HS* در طول فصل رشد و I_6 تیمار شاهد که آبیاری براساس ۹۰ میلی‌متر تبخیر از طشتک تبخیر کلاس A در طول فصل رشد و مطابق عرف آبیاری محلی می‌باشند. در مدل *ET-HS* که در این آزمایش به‌کار گرفته شده پارامترهای محل آزمایش شامل ارتفاع از سطح دریا، عرض جغرافیایی، ساعات روشنایی واقعی و سرعت متوسط باد، ضرایب رابطه مدل تعیین شده و کالیبراسیون برای منطقه خاتون‌آباد اصفهان انجام شد. پس از تعیین میزان تبخیر و تعرق پتانسیل براساس سایر پارامترهای مربوط به گیاه از جمله ضریب گیاهی در دوره‌های مختلف رشد، ارتفاع گیاه، عمق توسعه ریشه در طول دوره رشد، حداکثر آب قابل جذب به صورت سهل‌الوصول، حد آستانه تحمل گیاه به شوری، کلراید و سدیم قابل تبادل خاک و هم‌چنین پارامترهای مربوط به خاک شامل ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی محاسبه شد و کالیبراسیون مدل *ET-HS* نیز براساس پارامترهای خاک محل آزمایش و شرایط گیاه صورت گرفت. پس از ورود این اطلاعات و منظور نمودن راندمان آبیاری، درجه حرارت حداقل و حداکثر که به‌صورت روزانه در مزرعه اندازه‌گیری می‌شد در مدل *ET-HS* وارد شده، زمان آبیاری و میزان آب آبیاری توسط مدل تعیین شد و مطابق تیمارهای به‌کار رفته در طرح آزمایشی طبق جدول ۲ مقدار آب مصرفی در طول فصل رشد در تیمارهای I_1 ، I_2 ، I_3 ، I_4 ، I_5 محاسبه و در کرت‌ها اعمال گردید. آبیاری تیمار I_6

افزایش راندمان مصرف آب خواهد شد. در این تحقیق اهدافی هم چون تعیین مدیریت صحیح مصرف آب در مراحل حساس رشد چغندر قند و به حداقل رساندن مصرف آب به ازای تولید ماده خشک ریشه چغندر قند مدنظر قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

جهت ارزیابی مدل *ET-HS* در تعیین نیاز آبی محصول چغندر قند در منطقه اصفهان، آزمایشی در سال ۱۳۸۴ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان- اصفهان به اجرا درآمد. این مزرعه تحقیقاتی در ۱۰ کیلومتری شرق اصفهان در ۳۲ درجه و ۴۰ دقیقه عرض شمالی و ۵۱ درجه و ۴۸ دقیقه طول شرقی در ارتفاع ۱۵۵۵ متر از سطح دریا در منطقه خاتون‌آباد واقع شده است. براساس تقسیم‌بندی کوپن، اقلیم منطقه خشک بسیار گرم با تابستان‌های خشک و بر طبق تقسیم‌بندی پیشنهادی برای ایران، این منطقه دارای اقلیم خشک و گرم با زمستان‌های نسبتاً سرد می‌باشد. میانگین دراز مدت بارندگی سالانه ۱۲۰ میلی‌متر و متوسط درجه حرارت سالانه ۱۶ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. خاک مزرعه آزمایشی با ۳۸/۵ درصد شن، ۱۰/۵ درصد سیلت و ۵۱ درصد رس دارای بافت رسی و از سری خاک‌های اصفهان می‌باشد (جدول ۱). قالب آماری این آزمایش به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با شش تیمار وسه تکرار بود. شش تیمار آبیاری از I_1 ، I_2 ، I_3 ، I_4 ، I_5 به‌ترتیب آبیاری براساس

هزار بوته در هکتار گیاهچه‌ها بر روی خطوط کاشت با فاصله ۲۵ سانتی‌متر تنک شدند و برای هر کرت آزمایشی معادل ۵۰ کیلوگرم در هکتار اوره به‌صورت سرک مصرف شد. جهت مبارزه با علف‌های هرز پس از مرحله دو برگی چغندرقد پنج کیلوگرم در هکتار از سم پیرامین و پنج لیتر در هکتار بتانال به‌صورت مخلوط جهت کنترل علف‌های هرز نازک برگ و پهن برگ در مزرعه آزمایشی استفاده شد. برای مبارزه با سرخرطومی از سم سوبسیدین به نسبت دو در هزار استفاده گردید. همچنین برای مبارزه با برگ‌خواران چغندرقد از سم اکاتین به نسبت دو در هزار استفاده شد. در اوایل تابستان جهت مبارزه با سفیدک سطحی چغندرقد از سم کالیسین به نسبت دو در هزار استفاده گردید. آبیاری تمامی کرت‌ها در طول دوره رشد به‌صورت جداگانه طبق نقشه آزمایش برای تیمارهای I_1, I_2, I_3, I_4, I_5 در زمان‌های موردنظر به‌وسیله لوله صورت گرفت و میزان آب مصرفی به‌وسیله کنتور آب مطابق مدل *ET-HS* اندازه‌گیری شد. برای تیمار شاهد نیز براساس ۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A دور آبیاری مطابق عرف آبیاری محلی تعیین و میزان آب مربوطه به‌وسیله کنتور حجمی به‌طور دقیق اندازه‌گیری شد و با لوله به کرت آزمایشی شاهد در هر تکرار اختصاص داده شد.

به‌عنوان تیمار شاهد براساس ۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A در طول فصل رشد مطابق عرف آبیاری محلی انجام شد و مقدار آب مصرفی تیمار شاهد نیز اندازه‌گیری شد. در مدل *ET-HS* با محاسبه آب سهل‌الوصول و ظرفیت نگه‌داشت آب در خاک، زمان آبیاری نیز تعیین گردید. لذا مدل *ET-HS* از نظر کلیه عوامل موردنظر به‌صورت یک مدل کامپیوتری برای محل اجرای آزمایش طراحی گردیده که زمان آبیاری و هم‌چنین مقدار آب موردنیاز گیاه را تعیین می‌نماید که برای منطقه خاتون‌آباد اصفهان کالیبره گردید.

جهت تهیه بستری مناسب برای سبزشدن بذور چغندرقد، پس از شخم عمیق در پاییز دو دیسک عمود بر هم در اوایل بهار زده شد. هر کرت آزمایشی دارای شش خط کاشت به طول ۱۰ متر با فاصله بین خطوط ۵۰ سانتی‌متر بود. بذر مورد استفاده رقم مولتی‌ژرم IC_2 بود. کاشت به‌صورت متراکم در ۲۴ اردیبهشت ۱۳۸۴ انجام شد. مقدار ۲۰۰ کیلوگرم فسفات‌آمونیم و ۱۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار قبل از کاشت با توجه به آزمون خاک مصرف گردید. در آبیاری خاک آب و پی‌آب در کل ۴۱۷ مترمکعب آب به تیمارهای آزمایشی به‌طور یکسان داده شد. در مرحله چهار تا شش برگی جهت دستیابی به تراکم ۸۰

جدول ۱ برخی مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در دو عمق ۰ تا ۳۰ و ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متر

عمق خاک (cm)	هدایت الکتریکی ds/m	درصد کربن آلی	درصد ازت کل	فسفر قابل جذب p.p.m	پتاسیم قابل جذب p.p.m	اسیدیته	ظرفیت تبادل کاتیونی Meq/100g	شن %	رس %	سیلت %	بافت خاک
۰ - ۳۰	۳/۹	۱/۶	۰/۱۶	۲۸	۴۵۰	۷/۸	۱۶/۳	۳۹	۵۰	۱۱	رسی
۳۰ - ۶۰	۳/۷	۱/۴	۰/۱۴	۲۲	۴۱۰	۷/۸	۱۶/۴	۳۸	۵۲	۱۰	رسی

جدول ۲ مقدار آب مصرف شده در طول فصل رشد و تعداد آبیاری در تیمارهای مختلف (مترمکعب در هکتار)

تیمار	I ₁	I ₂	I ₃	I ₄	I ₅	I ₆
مقدار آب مصرفی* (مترمکعب در هکتار)	۶۸۰۰	۸۸۰۰	۱۰۸۰۰	۱۲۸۰۰	۱۳۵۰۰	۹۵۰۰
تعداد آبیاری	۱۸	۲۳	۲۸	۳۳	۳۵	۲۵

*- مقدار آب مصرفی بدون در نظر گرفتن آبیاری های اولیه تا سبز شدن گیاه منظور شده است.

ماده خشک کل گیاه به میزان ۱۴۹۶/۶۷ گرم بر مترمربع در تیمار ۱۵۰ درصد نیاز آبی حاصل شد. با افزایش درصد نیاز آبی گیاه، ماده خشک کل گیاه افزایش یافت (جدول ۴). این موضوع نشان داد که هر چه گیاه آب بیشتری در دسترس داشته باشد، ماده خشک کل گیاه افزایش می‌یابد. اما در مطالعه حاضر از ۱۵۰ روز پس از کاشت این روند به علت کاهش ماده خشک اندام هوایی گیاه در اثر مواردی هم‌چون سرما، عدم امکان محاسبه ماده خشک اندام هوایی به دلیل زرد شدن و و ریزش برگ‌ها، موجب کاهش در میزان ماده خشک کل نهایی گردید که این عکس‌العمل توسط برخی از محققین نیز تأیید شده است (Rafiee 1995; Jahadakbar and Ebrahimiyan 1998).

عملکردریشه

اثر تیمار آبیاری بر عملکردریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۳). با افزایش درصد نیاز آبی گیاه، عملکردریشه به صورت معنی‌داری افزایش یافت. بالاترین عملکردریشه مربوط به تیمار ۱۵۰ درصد نیاز آبی گیاه به میزان ۵۷/۰۲ تن در هکتار حاصل شده که با تیمارهای ۵۰ و ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه اختلاف معنی‌داری از

جهت اندازه‌گیری عملکرد و برخی خصوصیات مهم کیفی ریشه چغندرقد در پایان فصل رشد خطوط کاشت یک و شش و ۵/۰ متر از ابتدا و انتهای خطوط هر کرت آزمایشی حذف و قسمت باقی‌مانده جامعه آماری آزمایش را تشکیل داد. عملکردریشه‌ها از مساحت معادل سه مترمربع با رعایت حاشیه تعیین شد. هم‌چنین ماده خشک و درصدقد و برخی خصوصیات کیفی به وسیله دستگاه بت‌آنالیزر تعیین گردید. برای تعیین درصدقد قابل استحصال و عملکرد شکرسفید (تن در هکتار) به ترتیب از روابط ۱ و ۲ استفاده شد (Emsaki 1996).

(۱)

درصد قند ملاس - درصد عیار = درصدقد قابل استحصال

(۲)

عملکردریشه × درصدقد قابل استحصال = عملکرد شکرسفید

برای تحلیل آماری از نرم افزار MSTAT-C

استفاده شد و مقایسه میانگین تیمارها براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد صورت پذیرفت.

نتایج و بحث

ماده خشک کل

اثر تیمار آبیاری بر ماده خشک کل در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). بالاترین

قابل استحصال کاهش می‌یابد. عملکرد ریشه با ناخالصی‌های ریشه اعم از سدیم ($r=0/24^{ns}$)، پتاسیم ($r=0/31^{ns}$) و نیتروژن مضره ($r=0/07^{ns}$) همبستگی معنی‌داری نداشت. عملکرد ریشه با درصد قند ملاس نیز همبستگی معنی‌داری نشان نداد ($r=0/09^{ns}$). عملکرد ریشه همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد شکر سفید داشت ($r=0/89^{**}$). این امر نشان‌دهنده تأثیر مثبت و معنی‌دار عملکرد ریشه بر عملکرد شکر سفید می‌باشد. کمپل (Campel 2002) نتیجه گرفت که بهبود وزن ریشه اثرات بیشتری را بر عملکرد قند در مقایسه با افزایش میزان قند به تنهایی دارد. اشنیدر و همکاران (Schneider et al. 2002) نشان دادند که عملکرد قند به شدت با عملکرد ریشه و به مقدار کمتر با غلظت قند همبستگی دارد.

خود نشان داد. تیمار شاهد با تیمارهای ۱۰۰ و ۱۲۵ درصد نیاز آبی گیاه اختلاف معنی‌داری نداشت ولیکن با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری نشان داد. تیمارهای ۵۰ و ۷۵ درصد تأمین نیاز آبی که پایین‌ترین عملکرد ریشه را داشتند، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند لذا کم‌آبیاری موجب کاهش معنی‌دار عملکرد ریشه در این دو تیمار شده است (جدول ۴). همبستگی مثبت و معنی‌داری بین عملکرد ریشه با ماده خشک کل ($r=0/95^{**}$) مشاهده شد که نشان‌دهنده آن است که با افزایش عملکرد ریشه، ماده خشک کل گیاه نیز افزایش می‌یابد. همبستگی عملکرد ریشه با درصد قند قابل استحصال منفی و معنی‌دار بود ($r=-0/57^{**}$)، این امر نشان داد که با افزایش عملکرد ریشه، درصد قند

جدول ۳ نتایج تجزیه واریانس ماده خشک کل و عملکرد ریشه در اجرای آزمایش (۱۳۸۴)

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات	عملکرد ریشه
		ماده خشک کل	
تکرار	۲	۷۲۷۴/۰**	۳۳/۹۹**
آبیاری	۵	۴۴۰۰۷/۵**	۲۹۷/۸**
خطا	۱۰	۶۵۶/۲	۲/۹۵

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

جدول ۴ مقایسه میانگین ماده خشک کل و عملکرد ریشه در تیمارهای مختلف در اجرای آزمایش (۱۳۸۴)

تیمار	ماده خشک کل نهایی	عملکرد ریشه
(درصد تأمین نیاز آبی گیاه براساس مدل ET-HS)	(گرم بر متر مربع)	(تن در هکتار)
۵۰	۱۰۹۸/۰ d	۳۷/۸۳ d
۷۵	۱۱۹۳/۰ cd	۳۸/۳۶ d
۱۰۰	۱۱۶۲/۳ cd	۴۵/۸۷ c
۱۲۵	۱۳۹۷/۲۷ ab	۵۵/۲۰ ab
۱۵۰	۱۴۹۶/۰ a	۵۷/۰۲ a
شاهد	۱۲۷۶/۶ bc	۵۰/۸۳ bc
LSD 5%	۱۲۲/۵۸۲	۵/۱۷

اعدادی که در هر ستون با حروف مشابه نمایش داده شده‌اند تفاوت معنی‌دار آماری با یکدیگر ندارند.

درصد قند

استحصال همبستگی منفی دارد (Cooke and Scott 1993).

اثر تیمار آبیاری بر درصد قند معنی دار نبود (جدول ۵). در عین حال بالاترین درصد قند در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی به میزان ۱۷/۴۸ درصد حاصل شد و پایین ترین آن مربوط به تیمار شاهد به میزان ۱۵/۱۲ درصد بود. پایین ترین درصد قند بعد از تیمار شاهد مربوط به تیمار ۱۵۰ درصد نیاز آبی به میزان ۱۵/۴۸ بود (جدول ۶). درصد قند فقط با سدیم ($r = -0.43^{**}$) و درصد قند ملاس ($r = -0.56^{**}$) همبستگی منفی و معنی داری داشت. بدین معنی که هر چه درصد قند افزایش یابد، سدیم و درصد قند ملاس به طور معنی داری کاهش می یابد. این موضوع توسط جهاد اکبر و ابراهیمیان (1998) نیز تأیید شد.

پتاسیم

تیمار آبیاری اثر معنی داری بر مقدار پتاسیم ریشه نداشت (جدول ۵). با وجود این، بالاترین میزان پتاسیم و پایین ترین میزان پتاسیم به ترتیب مربوط به تیمار شاهد و تیمار ۱۵۰ درصد نیاز آبی اختصاص داشت. میزان پتاسیم در تیمار ۷۵ درصد نیاز آبی، ۵/۸۲ میلی اکی والان گرم در ۱۰۰ گرم بوده که پس از تیمار شاهد بالاترین میزان پتاسیم را دارا بود (جدول ۶). پتاسیم با سایر ناخالصی های مورد آزمایش همبستگی مثبت و با درصد قند قابل استحصال همبستگی منفی داشت. کاک و اسکات (1993) نیز بیان داشتند عمدتاً ناخالصی های موجود در عصاره شربت با یکدیگر همبستگی مثبت دارند و با درصد قند قابل استحصال همبستگی منفی نشان می دهند.

سدیم

تیمار آبیاری اثر معنی داری بر میزان سدیم نداشت (جدول ۵). با وجود این کمترین مقدار سدیم به میزان ۳/۴۵ میلی اکی والان گرم در ۱۰۰ گرم ریشه چغندر قند مربوط به تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه بود، بیشترین مقدار سدیم نیز به میزان ۴/۸۶ میلی اکی والان گرم در ۱۰۰ گرم مربوط به تیمار ۱۲۵ درصد نیاز آبی بود (جدول ۶). همبستگی سدیم با درصد قند قابل استحصال منفی و معنی دار بود ($r = -0.77^{**}$)، یعنی با افزایش سدیم درصد قند قابل استحصال به صورت معنی داری کاهش یافت. محققین دیگر نیز سدیم را از ناخالصی های مهم در ریشه چغندر قند معرفی نموده و اظهار داشتند که مقدار آن در ریشه با درصد قند قابل

نیتروژن مضره

اثر تیمار آبیاری بر نیتروژن مضره معنی دار نشد (جدول ۵). بالاترین ازت مضره به میزان ۷/۲۰ میلی اکی والان گرم در ۱۰۰ گرم مربوط به تیمار ۱۵۰ درصد نیاز آبی گیاه براساس مدل ET-HS بود و کمترین نیتروژن مضره نیز به میزان ۳/۳۵ میلی اکی والان گرم در ۱۰۰ گرم در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه حاصل شد (جدول ۶). نیتروژن مضره یکی از ناخالصی های مهم در چغندر قند بوده که با ارزش

تکنولوژیکی چغندر قند رابطه تنگاتنگی دارد. ارزش گیاه به رشد رویشی مجدد و مصرف ساکارز ذخیره شده تکنولوژیکی چغندر قند نیز با مدیریت ازت مرتبط بوده و از دو راه یکی پایین آوردن خلوص شربت خام و ضریب کریستالیزاسیون در کارخانه و دیگری از طریق تحریک

گیاه به رشد رویشی مجدد و مصرف ساکارز ذخیره شده در ریشه موجب خسارت می‌گردد (Cook and Scott 1993).

جدول ۵ تجزیه واریانس برخی از صفات کمی و کیفی اندازه گیری شده در اجرای آزمایش (۱۳۸۴)

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		درصد قند	سدیم	پتاسیم	نیترژن مضره	قند ملاس	درصد قند قابل استحصال
تکرار	۲	۲/۴۲	۰/۰۳	۰/۷۲	۴/۲۷	۰/۲۹	۳/۰۷
آبیاری	۵	۱/۶۱	۰/۷۶	۰/۳۰	۲/۵۸	۰/۲۲	۲/۷
خطا	۱۰	۳/۷۸	۱/۸۹	۰/۲۳	۱/۷۳	۰/۳۸	۶/۳

جدول ۶ مقایسه میانگین برخی از صفات کمی و کیفی اندازه گیری شده در تیمارهای آزمایش (۱۳۸۴)

تیمار (درصد تأمین نیاز آبی گیاه براساس مدل ET-HS)	درصد قند	سدیم	پتاسیم (میلی‌اکی والان در ۱۰۰ گرم)	نیترژن مضره	درصد قند ملاس	درصد قند قابل استحصال	عملکرد شکر سفید (تن در هکتار)
۵۰	۱۶/۲۳ a	۴/۶۵ a	۵/۴۳ a	۵/۲۵ a	۴/۲۴ a	۱۱/۹۹ a	۴/۵۵ a
۷۵	۱۶/۹۱ a	۴/۳۹ a	۵/۸۲ a	۶/۷۴ a	۴/۴۳ a	۱۲/۴۷ a	۴/۷۶ a
۱۰۰	۱۷/۴۸ a	۳/۴۵ a	۵/۵۵ a	۳/۳۵ a	۳/۳۲ a	۱۳/۵۹ a	۶/۱۲ a
۱۲۵	۱۶/۱۹ a	۴/۸۶ a	۵/۵۰ a	۵/۰۴ a	۳/۹۰ a	۱۱/۸۷ a	۶/۵۵ a
۱۵۰	۱۵/۴۸ a	۴/۶۸ a	۵/۲۵ a	۷/۲۰ a	۴/۷۲ a	۱۰/۷۶ a	۶/۱۱ a
شاهد	۱۵/۱۲ a	۲۵/۴ a	۵/۹۳ a	۵/۱۸ a	۴/۲۵ a	۱۱/۵۵ a	۵/۸۷ a
LSD 5%	۳/۵۴	۳/۴۵	۰/۸۷۲	۳/۹۲	۱/۵۲۳	۴/۵۸۶	۲/۴۵۷

اعدادی که در هر ستون با حروف مشابه نمایش داده شده‌اند تفاوت معنی‌دار آماری با یکدیگر ندارند.

درصد قند ملاس

استحصال به دست آمده است و شیرینی ملاس را تعیین می‌کند، هر چه مقدار درصد قند بیشتری در کارخانه از دسترس خارج شود، درصد قند ملاس نیز افزایش می‌یابد (Emsaki 1996).

درصد قند قابل استحصال

تیمار آبیاری اثر معنی‌داری بر درصد قند قابل استحصال نداشت (جدول ۵). با وجود این بالاترین درصد قند قابل استحصال به میزان ۱۳/۵۹ درصد

تیمار آبیاری اثر معنی‌داری بر درصد قند ملاس نداشت (جدول ۵). با وجود این همان‌گونه که در جدول ۶ ملاحظه می‌شود بالاترین درصد قند ملاس مربوط به تیمار ۱۵۰ درصد نیاز آبی براساس مدل ET-HS و کمترین درصد قند نیز در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه براساس مدل ET-HS حاصل شد. این صفت از تفاوت درصد قند ناخالص (درصد قند کل) با درصد قند قابل

افزایش بیشتر مصرف آب، عملکرد قند سفید کاهش یافت (جدول ۶). تیمار ۱۵۰ درصد نیاز آبی گیاه با وجود این که پایین ترین درصد قند قابل استحصال را در بین تیمارهای مورد مطالعه داشت ولی به علت این که بالاترین عملکرد ریشه را دارا بود، عملکرد شکر سفید بالایی تولید نمود. این عکس العمل نشان می دهد که با زیاده تر شدن مصرف آب اندازه تک بوته افزایش یافته است و بزرگ شدن اندازه تک بوته توانسته تا حدی جبران کننده کاهش درصد قند باشد.

کارایی مصرف آب براساس عملکرد ریشه

با بررسی مقادیر آب مصرف شده در این مطالعه در تیمارهای مدیریت مصرف آب براساس مدل *ET-HS* با تیمار شاهد، بالاترین مصرف آب در تیمار ۱۵۰ درصد مصرف آب براساس مدل *ET-HS* به دست آمد. در حالی که آب مصرفی تیمار شاهد بین تیمار ۱۰۰ و ۷۵ درصد مصرف آب براساس مدل *ET-HS* قرار داشت. بالاترین کارایی مصرف آب برای عملکرد ریشه در تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی حاصل شده و به ازای مصرف یک مترمکعب آب ۵/۹۱ کیلوگرم ریشه حاصل شد، که با افزایش مصرف آب، کارایی مصرف آب برای عملکرد ریشه به صورت معنی داری کاهش یافت (جدول ۷). این عکس العمل نشان داد که افزایش عملکرد ریشه نمی تواند جبران مصرف آب را بنماید. همچنین نشان دهنده آن است که در صورتی که آب ارزش واقعی خود را به دست آورد، تولیدکنندگان

مربوط به تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه براساس مدل *ET-HS* بود پایین ترین درصد قند قابل استحصال نیز به میزان ۱۰/۷۶ درصد در تیمار ۱۵۰ درصد نیاز آبی گیاه حاصل شد (جدول ۶). علت این امر می تواند بزرگ بودن اندازه تک بوته در این تیمار نسبت به تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه باشد که اندازه تک بوته در آن کوچکتر است. فابریو و همکاران (2003) نیز نشان دادند که با افزایش اندازه ریشه درصد قند قابل استحصال کاهش می یابد و با مصرف بیشتر آب، درصد قند کاهش می یابد که با نتایج مطالعه حاضر تطابق دارد. در مطالعه حاضر درصد قند قابل استحصال تنها با سدیم ($r = -0.34^{**}$) و درصد قند ملاس ($r = -0.73^{**}$) همبستگی منفی و معنی داری داشت، بدین معنی که هرچه درصد قند قابل استحصال افزایش یابد، سدیم و درصد قند ملاس به طور معنی داری کاهش می یابد. این موضوع توسط جهاد اکبر و ابراهیمیان (1998) نیز تأیید شده است. پاک نیت (1999) (Pakniyat) گزارش داد که ایده آل است که عملکرد قند و عملکرد قند قابل استخراج بایکدیگر برابر باشند.

عملکرد شکر سفید

تیمار آبیاری اثر معنی داری بر عملکرد شکر سفید نداشت (جدول ۵). در عین حال با افزایش درصد نیاز آبی گیاه تا ۱۲۵ درصد، نیاز آبی گیاه با بالاترین مقدار خود یعنی ۶/۵۵ تن در هکتار رسید، در حالی که با

نمی‌توانند برای تولید ریشه بیشتر آب بیشتری مصرف کنند و باید کارایی مصرف آب برای عملکرد ریشه را به‌طور جدی در نظر داشته باشند (Najafi and Tabatabaei 2007; Najafi and Tabatabaei 2009).

جدول ۷ مقایسه کارایی مصرف آب برای عملکرد ریشه، عملکرد قند کل و عملکرد شکر قابل استحصال در اجرای آزمایش (۱۳۸۴)

کارایی مصرف آب* (کیلوگرم بر مترمکعب)		عملکرد ریشه	تیمار (درصد تأمین نیاز آبی گیاه براساس مدل ET-HS)
عملکرد شکر قابل استحصال	عملکرد قند کل		
۰/۷۱ a	۰/۹۶ a	۵/۹۱ a	۵۰
۰/۵۴ ab	۰/۷۳ b	۴/۳۶ c	۷۵
۰/۵۷ ab	۰/۷۴ b	۴/۲۱ c	۱۰۰
۰/۵۱ ab	۰/۷۰ b	۴/۳۱ c	۱۲۵
۰/۴۵ c	۰/۶۵ b	۴/۲۲ c	۱۵۰
۰/۶۲ ab	۰/۸۵ ab	۵/۳۵ b	شاهد
۰/۲۳۱۰	۰/۲۰۱۴	۰/۵۳۴۴	LSD 5%

اعدادی که در هر ستون با حروف مشابه نمایش داده شده‌اند تفاوت معنی‌دار آماری با یکدیگر ندارند.
* - کارایی مصرف آب برای دوره پس از سبز شدن منظور شده و آبیاری‌های اولیه برای سبز شدن در محاسبه نیامده است.

کارایی مصرف آب براساس عملکرد قند کل

عملکرد قند کل به‌دلیل این که معیار خرید چغندر قند بوده و در عملکرد قند نقش اصلی را دارا می‌باشد برای تولیدکنندگان بسیار مهم می‌باشد (Pakniyat 1999). بالاترین کارایی مصرف آب برای عملکرد قند به مقدار ۰/۹۶ کیلوگرم در مترمکعب در تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه به‌دست آمد، یعنی به ازای مصرف یک مترمکعب آب ۰/۹۶ کیلوگرم قند ناخالص حاصل گردید که به جز تیمار شاهد با بقیه تیمارها تفاوت معنی‌دار آماری نشان داد، پایین‌ترین کارایی مصرف آب در تیمار ۱۵۰ درصد نیاز آبی حاصل شد. این عکس‌العمل نشان می‌دهد که در تیمار ۱۵۰ درصد نیاز آبی، آب بیشتری از نیاز گیاه مصرف شده و آب از دسترس گیاه خارج شده است، پس از تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه، اختلاف بین سایر تیمارها از نظر

کارایی مصرف آب براساس عملکرد قند کل معنی‌دار نبود (جدول ۷).

کارایی مصرف آب براساس عملکرد شکر سفید

براساس روند تغییرات کارایی مصرف آب بر عملکرد شکر سفید مشخص می‌شود که به ازای چه مقدار آب، چه میزان قند قابل استحصال به‌دست می‌آید. بالاترین کارایی مصرف آب برای عملکرد شکر سفید در تیمارهای ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه به‌دست آمد که با تیمارهای شاهد، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ درصد نیاز آبی گیاه تفاوت معنی‌داری نداشت و تنها با تیمار ۱۵۰ درصد نیاز آبی گیاه تفاوت معنی‌داری حاصل گردید. این موضوع بیان‌گر این امر است که تنها تیمار ۱۵۰ درصد نیاز آبی، آب بیشتر از نیاز خود را مصرف کرده است.

References:**منابع مورد استفاده:**

- Allen RG, Pereira L S, Rase P, Smith A. Crop Evapotranspiration. FAO irrigation and drainage paper. 1998; 56:139-141.
- Amaducci MT, Caliandro A, De Caro L, Venturi G. Effects of irrigation on different sugar beet varieties in different location and years. Proceedings of the 39th, Winter Congress of the International Institute for sugar beet Research, 1976;p 423-448.
- Brisson D, Zimmer D, Sierra J, Bertuzzi P, Burger P, Bussiere F, Cabidoche YM, Cellier P, Debaeke P, Gandillere JP, Henault C, Maraux F, Seguin P, Sinoquet, H. An over-view of the crop model STICS. Eur. J. Agron. 2003; 18: 309-332.
- Campel LG .Sugar beet breeding and improvement. In: M. S. Kang (ed.) Crop Improvement in the Twenty-first Century. Food Products Press, Binghamton, NY. 2002; pp. 221.
- Cooke DA, Scott R.K . Sugar beet crop science into practice, published by Chapman and Hall, 1993; pp: 304.
- Eitzinger J, Trnka M, Hosch J, Zalud Z, Dubrovsky M. Comparison of CERES, WOFOST and SWAP models in simulating soil water content during growing season under different soil conditions. Ecol. Model. 2004; 171: 223-246.
- Emsaki H. Effects of nitrogen fertilizer and irrigation on growth, quantity and quality characteristics of Sugar beet in Esfahan region. (MSc. thesis). Islamic Azad university, Khorasgan Branch; 1996. (in Persian, abstract in English).
- Fabeiro C, martinde Santa Olalla F, Lopez R, Dominguez A. Production and quality of the sugar beet (*Beta Vulgaris* L.) cultivated under controlled deficit irrigation conditions in a semi-arid climate. Agricultural Water Management. 2003; 62:215-227.
- FAO . Statistical database (on line), <http://apps.fao.org/page/collection?subset= agriculture and language= ES> (consultation: 21 January 2002).
- Geerts S, Raes D. Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. Agric. Water Manage. 2009; 96:1275-1284.

- Hang AM, Miller DE. Responses of sugar beet to deficit, high frequency sprinkler irrigation. Sugar beet development and portioning to root growth. *Agron. J.* 1986; 78:15-18.
- Hargraves GH, Samani ZA. Reference crop evapotranspiration for temperature. *Transactions of the ASCE*, 1985;(2): 96-99.
- Hassanli AM, Ahmadi-rad S, Beecham S. Evaluation of the influence of irrigation methods and water quality on sugar beet yield and water use efficiency. *Agricultural Water Management*. 2010; (97): 357-362.
- Hoffmann CM, Huijbregts T, Van Swaaij N, Jansen R. Impact of different environments in Europe on yield and quality of sugar beet genotypes. *Eur. J. Agron.* 2009;(30):17-26.
- Jahadakbar MR, Ebrahimiyan HR. Evaluation of three agro management and six cultivars for irrigation management in sugar beet. *Proceedings of the 5th Agronomy and Plant Breeding*; 1998, Sep 6-10; Seed and Plant Improvement institute, Karaj, Iran;1998. P. 284. (in Persian, abstract in English)
- Jones PD, Lister DH, Jaggard KW, Pidgeon JD. Future climate change impact on the productivity of sugar beet (*Beta Vulgaris* L.) in Europe. *Climatic Change*. 2003;(58): 93-108.
- Najafi P, Tabatabaei A. Effects of using subsurface drip irrigation and ET-HS model to increasing WUE in Irrigation of some crop, land and water management: Decision tools and practices. 2004; (1): 34-41.
- Najafi P, Tabatabaei SH. Effect of using subsurface drip irrigation and ET-HS model to increase WUE in irrigation of some crops. *Irrigation and Drainage*. 2007; (56): 477-486.
- Najafi P, Tabatabaei SH. Comparison of different Hargreaves-Samani methods for estimating potential evapotranspiration in arid and semi-arid regions of Iran. *Research on Crops*. 2009; 10: 441-447.
- Ober ES, Clark CJA, Le Bloa M, Royal A, Jaggard KW, Pidgeon JD. Assessing the genetic resources to improve drought tolerance in sugar beet: agronomy trials of diverse

- genotypes under droughted and irrigated conditions. *Field Crops Research*. 2004;(90): 213-234.
- Pakniyat H. *Genetics and Breeding of Sugarbeet*, Shiraz University Publisher, 1999; pp.437. (in Persian)
- Pidgeon JP, Werker AR, Jaggard KW, Richter GM, Lister DH, Jones PD. Climatic impact on the productivity of sugar beet in Europe. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2001; 109: 27-37.
- Rafiee M. Assessment of salinity tolerance in different cultivars of sugar beet. (MSc thesis). Isfahan University of Technology; 1995. (in Persian, abstract in English).
- Rajabi A, Ober ES, Griffiths H. Genotypes variation for water use efficiency, carbon isotope discrimination , and potential surrogate measures in sugar beet. *Field Crops Research*. 2009; 112: 172-181.
- Sakellariou-Makrantonaki M, Kal fountzos D, Vyrlas P. Water saving and yield increase of sugar beet with subsurface drip irrigation. *Global Nest. Int. J.* 2002; 4: 85-91.
- Schneider K, Schafer-Pregl R, Borchardt DC, Salamini F. Mapping QTLs for sucrose content, yield and quality in a sugar beet population fingerprinted by EST-related markers. *Theor. Appl. Genet.* 2002; 104:1107-1113.
- Shrestha N, Geerts S, Raes D, Horemans S, Soentjens S, Maupas F, Clouet P. Yield response of sugar beets to water stress under Western European conditions. *Agricultural Water Management*. 2010; 97: 346-350.
- Stegman EC, Bauer A. Sugar beet response to water stress in sandy soils. *Transaction of the American Society of Agriculture Engineering*. 20: 469-472.
- Stockle CO, Donatelli M, Nelson R. Cropsyst, a cropping system simulation model. *Eur. J. Agron.* 2003; 18: 289-307.

- Tognetti R, Palladino M, Minnocci A, Delfine S, Alvino A. The response of sugar beet to drip and low-pressure sprinkler irrigation in Southern Italy. *Agricultural Water Management*. 2003; 60: 135-155.
- Winter SR. Suitability of sugarebeet for limited irrigation in a semi-arid climate. *Agron J*. 1988; 72: 118-123.
- Winter SR. Sugar beet response to nitrogen as affected by seasonal irrigation. *Agron J*. 1990;(82): 984-988.