



مطالعه برخی مؤلفه‌های فیزیولوژیکی رشد در ارقام مختلف چغندرقد (*Beta vulgaris* L.)[†]

Study of some physiological growth parameters in different sugar beet (*Beta vulgaris* L.) cultivars

احمدرضا بریموندی^۱، مرتضی سام‌دلیری^۲، سعید صادق‌زاده حمایتی^{۳*}، امیرعباس موسوی^۴ و مرتضی مبلغی^۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۱۹ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۲۴

نوع مقاله: پژوهشی

DOI: 10.22092/JSB.2022.358253.1302

ا.ر. بریموندی، م. سام‌دلیری، س. صادق‌زاده حمایتی، ا.ع. موسوی و م. مبلغی. ۱۴۰۱. مطالعه برخی مؤلفه‌های فیزیولوژیکی رشد در ارقام مختلف چغندرقد (*Beta vulgaris* L.). چغندرقد، ۳۸(۱): ۱۵-۳۶

چکیده

مؤلفه‌های فیزیولوژیکی رشد رقم‌های ایرانی و خارجی چغندرقد طی دو سال زراعی ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی مطهری (کمال‌شهر کرج) مورد مطالعه قرار گرفت. تعداد ۱۰ رقم ایرانی و خارجی چغندرقد در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار کشت شدند. نتایج نشان داد که میزان تولید ماده خشک کل در بین رقم‌های ایرانی و خارجی تفاوتی نشان نداد اما، میانگین نسبت وزن خشک ریشه به اندام‌هوایی (R/S) در رقم‌های خارجی (۱/۴۹۶) به‌نحو معنی‌داری معادل ۱۸ درصد بیش از رقم‌های ایرانی (۱/۲۶۸) شد. با توجه به این موضوع که رقم‌های ایرانی بر اساس اندازه‌گیری نسبت وزن برگ (LWR)، معادل ۵/۶ درصد پُربُرج‌تر از رقم‌های خارجی بودند، حداکثر شاخص سطح‌برگ رقم‌های ایرانی (۲/۶۶) نسبت به رقم‌های خارجی (۲/۳۳) بیشتر بود اما، کارایی سطح‌برگ در فتوسنتز (NAR) در رقم‌های خارجی (۱۷/۸۳) گرم در مترمربع در روز) معادل ۱۸/۸ درصد بیش از رقم‌های ایرانی (۱۵/۰۱) گرم در مترمربع در روز) بود. از همین رو، به‌طور میانگین تولید هر گرم ماده‌خشک در رقم‌های خارجی و ایرانی نیازمند ۱۸/۷ و ۲۲/۱ سانتی‌مترمربع سطح‌برگ بود و نشان داد که تولید هر گرم ماده‌خشک در رقم‌های خارجی به ۱۵/۷ درصد سطح‌برگ کمتری نسبت به رقم‌های ایرانی نیاز دارد. در نهایت، در این مطالعه از مؤلفه نسبت سطح‌برگ برای وزن خشک ریشه (RtLAR) جهت نشان دادن کارایی سطح‌برگ برای تولید ماده‌خشک ریشه استفاده شد. بر همین اساس، میانگین سطح‌برگ موردنیاز برای تولید هر گرم ماده‌خشک ریشه در رقم‌های خارجی و ایرانی به‌ترتیب معادل ۴۳/۴۶ و ۵۷/۵۱ سانتی‌مترمربع برآورد شد. در مجموع، رقم‌های ایرانی با وجود تولید ماده‌خشک مشابه با رقم‌های خارجی، به‌دلیل ضعف در هدایت مواد ساخته‌شده به منبع اقتصادی (ریشه) امکان دستیابی به عملکرد مشابه وجود ندارد که اصلاح آن مستلزم بهبود نسبت R/S در رقم‌های ایرانی از طریق کاهش تولید اندام‌های هوایی و بهبود میزان آسیمیلاسیون در واحد سطح‌برگ است.

واژه‌های کلیدی: آهنگ رشد، چغندرقد، سطح برگ، فتوسنتز، ماده خشک

[†] - این مقاله مستخرج از پایان نامه دانشجویی دکتر، تحت عنوان «رسی کارایی مصرف نور بر روی شاخص‌های رشد و خصوصیات کمی و کیفی ارقام چغندرقد» می باشد.



۱- دانشجوی دکتری دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس، چالوس، ایران.

۲- دانشیار دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس، چالوس، ایران.

۳- دانشیار مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقد سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. * - نویسنده مسئول
s_s_hemayati@yahoo.com

۴- استادیار دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس، چالوس، ایران.

مقدمه

چغندر قند یکی از محصولات استراتژیک کشور است که از نظر غذایی دارای بازده بالایی است. این محصول به طور مستقیم (از طریق تولید قند و شکر) و غیرمستقیم (از طریق تأمین خوراک دام) بخشی از نیازهای مردم را تأمین می‌کند. علاوه بر این، از ملاس که از محصولات فرعی چغندر قند محسوب می‌شود، در صنعت، الکل به دست می‌آید و در داروسازی نیز از این محصول استفاده می‌شود (Mohammadi 1999). این گیاه از جمله گیاهان زراعی پربازده در مناطق معتدل جهان است که پتانسیل عملکرد آن در وهله اول به مقدار تشعشعی وابسته است که دریافت می‌کند (Clover *et al.* 1999). از سوی دیگر، با توجه به ماهیت هتروزیگوتی و ویژگی‌های قابل توارث چغندر قند، این گیاه به سادگی نسبت به شرایط متنوع محیطی سازگار می‌شود. در عین حال، شرایط اقلیمی می‌تواند روی عملکرد ریشه و کیفیت محصول تأثیر قابل توجهی بر جای بگذارد (Söğüt and Aroglu 2004).

انباشت ماده خشک گیاهی به مجموع کربن تثبیت شده در نتیجه فتوسنتز و بخشی از کربن که به ماده خشک تبدیل می‌شود، بستگی دارد (Lindquist *et al.* 2005). تسهیم مواد ساخته شده فتوسنتزی به اندام‌های مختلف گیاه، در پویایی رشد و انباشت عملکرد، بحرانی و حیاتی است (Webb *et al.* 1997). در گیاه چغندر قند، تسهیم ماده خشک بین اجزای مختلف گیاهی و تجمع شکر بر پایه تعادل موجود بین رشد ریشه و قسمت‌های هوایی بوته (نسبت R/S) انجام می‌شود. لذا بر اساس تسهیم مواد گیاهی می‌توان به نحوه واکنش گیاه نسبت به متغیرهای محیطی پی برد (Vandendriessche 2000). اهمیت انباشت ماده خشک به نحوی است که وجود اختلاف در تولید ماده خشک طی ۶۰ روز پس از کاشت بین سال‌های مختلف می‌تواند به عنوان مبنای اختلافات عملکرد بین سال‌های مختلف در نظر گرفته شود. این اختلافات در شرایط انگلستان بین ۰/۷ تا ۱/۰۲ تن در هکتار متغیر بوده است (Day 1986).

رشد اولیه چغندر قند به شکل نمایی است (Stibbe and Marlander 2002). تقریباً کلیه ماده خشک گیاه در برگ‌ها قرار گرفته و تنها طی دوره بعد، ریشه‌ها مخزن مهم جهت ذخیره مواد می‌شوند (Rinaldi and Vonella 2006). در مراحل اولیه رشد، توسعه و نمو قسمت‌های هوایی بوته غالب بوده اما به تدریج بر اهمیت ریشه ذخیره‌ای افزوده شده و میزان رشد آن از رشد قسمت‌های هوایی بوته پیشی می‌گیرد (Terry 1983). بنا به گزارش استورر و همکاران (Storer *et al.* 1973) میزان رشد ریشه حدود سه هفته پس از به حداکثر رسیدن مقدار تولید ماده خشک به بیشترین مقدار خود رسیده و تا قبل از این زمان، رشد قسمت‌های هوایی بوته برای گیاه از ارجحیت بالاتری برخوردار است. بررسی تغییرات وزن خشک اندام‌های مختلف در منطقه مغان نیز نشان داد که تا حدود ۷۰ روز پس از سبز شدن، بخش عمده‌ای از مواد فتوسنتزی به اندام‌های هوایی گیاه اختصاص یافته و پس از آن تا پایان فصل رویش اکثر فرآورده‌های فتوسنتزی به ریشه اختصاص می‌یابد (Najafinezhad 1995). این در حالی است که تحقیقات وایز (Wyse 1979) نشان داد که در چغندر قند برخلاف سیب زمینی، ذرت، گندم، و سایر گیاهان زراعی، تخصیص مواد ساخته شده فتوسنتزی به اجزای مختلف بوته (مخازن) به شکل متوازن صورت گرفته و از الگوی مرحله‌ای پیروی نمی‌کند. در این گیاه، مواد ساخته شده فتوسنتزی به طور مداوم در طول دوره رشد درون ریشه‌های ذخیره‌ای هدایت می‌شوند و نسبت اختصاص مواد فتوسنتزی به مخازن در حال رقابت به طور مداوم در طول دوره رشد تغییر می‌کند و بستگی به کشش نسبی مخزن دارد. تجزیه و تحلیل رشد چغندر قند در منطقه اصفهان نیز حاکی از آن بود که روند تجمع ماده خشک در ریشه از زمان کاشت تا ۱۶۰ روز پس از آن صعودی بوده و سپس از سرعت آن کاسته شد (Ebrahmain and Jahad-Akbar 1998). وزن خشک برگ به شکل خطی و وزن خشک ریشه به شکل نمایی طی نیمه اول دوره رشد (تا ۱۲۰۰ درجه روز رشد) افزایش یافت. ۹۰ روز پس از کاشت، این ارتباط بسیار نزدیک و سپس طی مرحله دوم رشد، ضعیف‌تر شد (Kenter *et al.*

(2006).

مواد فتوسنتزی انتقال یافته به ریشه به صورت مستقل از مقدار مواد انتقال یافته بین رشد ریشه و ذخیره قند در آن تسهیم می شود. بنابراین، ظرفیت فتوسنتزی برگ ها همراه با پتانسیل رشد ریشه جهت دستیابی به بیشترین میزان رشد ریشه از اهمیت شایان توجهی برخوردار هستند، اما نحوه تسهیم مواد فتوسنتزی بین رشد ریشه و ذخیره قند عمدتاً توسط ریشه کنترل می شود. مواد ساخته شده فتوسنتزی انتقال یافته به ریشه چغندر قند بین رشد ریشه و ذخیره قند تسهیم می شوند. ضریب این تسهیم، متوازن و شناور بوده و به نظر می رسد مستقل از مقدار مواد فتوسنتزی انتقال یافته به ریشه باشد. گرچه، این مقدار می تواند از عوامل محیطی و ژنتیکی متأثر شود (Wyse 1979; Webb et al. 1997).

در ایستگاه برومبارن انگلستان مقدار تولید ماده خشک و شاخص برداشت به ترتیب از حدود ۱۳/۲ تن در هکتار و ۰/۶۵ در دوره ۸۵-۱۹۶۵ به ۱۶/۰ تن در هکتار و ۰/۷۴ افزایش یافت (Richter et al. 2001). روند تغییرات ماده خشک اندام هوایی طی سه سال در اصفهان (Ebrahimian and Jahad-Akbar 1998) نشان داد که حداکثر ماده خشک حدود ۱۲۰ روز پس از کاشت و در کرمانشاه (Kolivand 1995) در اوایل شهریور تولید شد. نتایج به دست آمده از تجزیه رشد چغندر قند پاییزه در منطقه دزفول نیز نشان داد که بیشترین میزان ماده خشک کل معادل ۲۲۲۱ گرم در مترمربع با گذشت ۲۵۲ روز پس از سبزشدن و با کسب ۲۸۸۵ درجه روز رشد تولید شد (Hashemi Dezfuli et al. 1999).

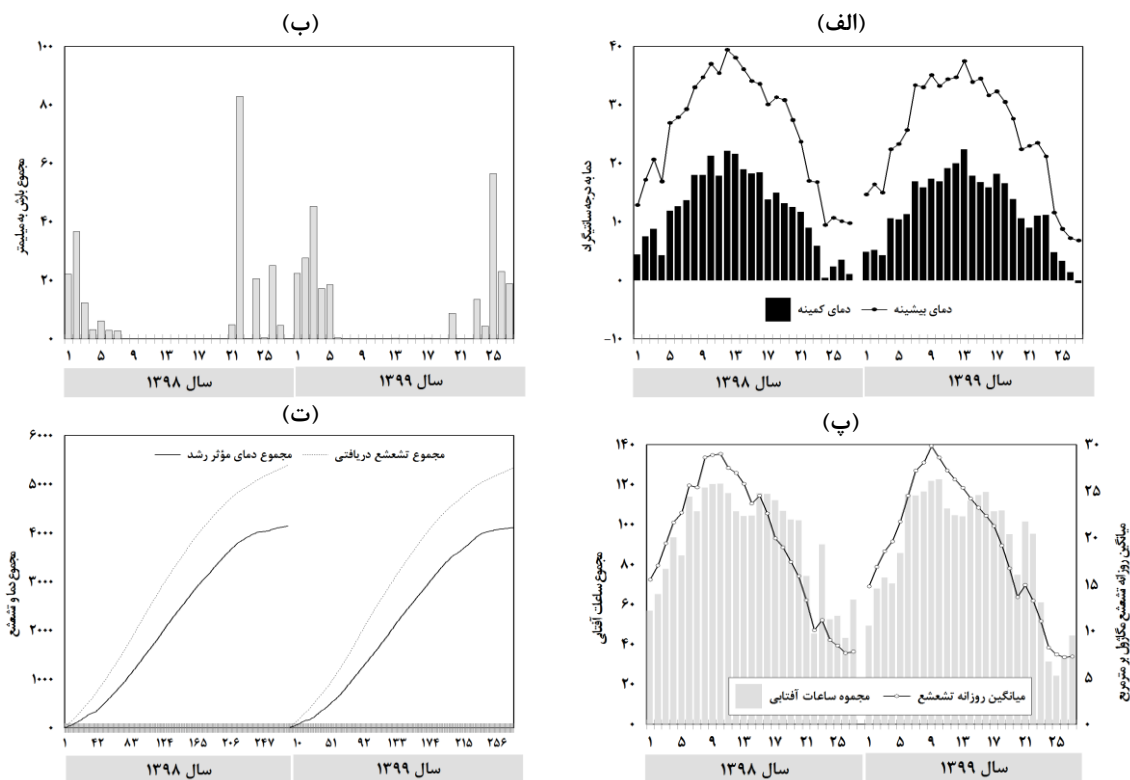
عملکرد ریشه چغندر قند به وسیله تأمین مواد فتوسنتزی و تسهیم متعادل این مواد بین رشد قسمت های هوایی و زیرزمینی بوته تعیین می شود. در همین ارتباط، به نظر می رسد اختلافی بین توانایی ریشه به عنوان مخزن و نیز قدرت آن در ذخیره ساکارز وجود نداشته باشد. گرچه، در قسمت های زیرزمینی بوته نیز نحوه تخصیص مواد ساخته شده فتوسنتزی به رشد ریشه و ذخیره قند تحت کنترل عوامل ژنتیکی قرار دارد و از

اجزای مهم عملکرد تلقی می شود (Wyse 1979). تاکنون گزارش های متعددی در زمینه تأثیر تیپ های مختلف (Lauer 1997; Kerkig 1987)، رقم (Kurosawa et al. 1987)، رقم (Parsa et al 2007; Heidari 2003; 2001) و سطوح پلوییدی (Buzanov and Okanencko 1971) بر خصوصیات کمی و کیفی محصول چغندر قند وجود دارد. این در حالی است که اطلاعات کمی در زمینه تفاوت پارامترهای فیزیولوژیکی رشد بین رقم های اصلاح شده در داخل کشور و رقم های خارجی چغندر قند وجود دارد. این مطالعه با هدف ارزیابی نحوه رشد و تجمع ماده خشک در رقم های ایرانی و خارجی چغندر قند و هم چنین مقایسه پارامترهای فیزیولوژیکی رشد این ارقام، در پی تبیین اختلافات موجود و پیشنهاد شاخص (های) رشدی است که به تواند در روند اصلاح رقم های ایرانی از آنها بهره مند شد.

مواد و روش ها

این مطالعه طی دو سال زراعی ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی مطهری (کمالشهر کرج) مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندر قند با مختصات جغرافیایی ۳۵ درجه و ۵۹ دقیقه عرض شمالی و ۵۱ درجه و ۶ دقیقه طول شرقی با ارتفاع ۱۳۰۰ متر از سطح دریا انجام شد. روند تغییرات هفتگی مؤلفه های مهم هواشناسی طی دو سال اجرای آزمایش (۱۳۹۸ و ۱۳۹۹) در منطقه کرج در شکل ۱ نشان داده شده است.

به منظور انجام آزمایش در هر سال بعد از عملیات خاک ورزی و تسطیح و پیش از کاشت، یک نمونه مرکب خاک از عمق های ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی متر جهت اندازه گیری مشخصات فیزیکی و شیمیایی برداشت شد. نتایج تجزیه شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش در جدول ۱ آمده است. خاک منطقه، خیلی عمیق با بافت لوم رس سیلتی تا لومرسی است و جزو خاک های رسوبی محسوب می شود.



شکل ۱ میانگین هفتگی دمای کمینه و بیشینه (الف)، مجموع بارش هفتگی (ب)، میزان ساعات آفتابی و تشعشع دریافتی هفتگی (پ) و مجموع دما و تشعشع دریافتی (ت) طی دو سال اجرای آزمایش (۱۳۹۹ و ۱۳۹۸)

جدول ۱ مشخصات شیمیایی و فیزیکی خاک محل اجرای آزمایش طی سال‌های ۱۳۹۹ و ۱۳۹۸ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی مطهری (کمالشهر کرج)

مشخصات				
سال ۱۳۹۹		سال ۱۳۹۸		
عمق (سانتی‌متر)		عمق (سانتی‌متر)		
۳۰-۶۰	۰-۳۰	۳۰-۶۰	۰-۳۰	
۰/۷۰	۱/۳۰	۰/۸۰	۱/۳۶	کربن‌الی (درصد)
۸/۰۰	۷/۹۷	۷/۶۰	۷/۵۸	واکنش خاک (pH)
۰/۰۸	۱/۲۹	۰/۰۷	۰/۲۰	نیترژن کل (درصد)
۱۰/۰۰	۹/۷۲	۳۵/۰۰	۳۰/۵۴	نیترژن نیتراتی (میلی‌گرم در کیلوگرم)
۸/۵۰	۷/۳۰	۱۷/۰۰	۱۴/۴۰	نیترژن آمونیمی (میلی‌گرم در کیلوگرم)
۸/۰۰	۸/۰۷	۱۰/۰۰	۱۹/۸۶	فسفر قابل جذب (میلی‌گرم در کیلوگرم)
۳۹۵	۴۵۷	۴۵۰	۵۷۸	پتاسیم قابل جذب (میلی‌گرم در کیلوگرم)
۱/۰۲	۰/۴۱	۱/۶۹	۱/۰۶	هدایت الکتریکی عصاره اشباع (دسی‌زیمنس بر متر)
۵۵	۵۱	۵۸	۵۳	درصد اشباع خاک (S.P)
۴۲	۴۰	۳۲	۳۳	رس (درصد)
۴۶	۴۸	۴۴	۴۱	سیلت (درصد)
۱۲	۱۲	۲۴	۲۷	شن (درصد)
S.C.L	S.C.L	C.L	C.L	یافت خاک

و نیکا) و پنج رقم خارجی (کاکتوس، ایزابلا، پیرولا، مودکس و لوریکت) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار مورد بررسی قرار گرفتند. هر کرت آزمایشی شامل شش

مجموعه عملیات زراعی انجام شده در دو سال اجرای آزمایش در جدول ۲ خلاصه شده است. در این آزمایش ۱۰ رقم چغندر قند (جدول ۳) شامل پنج رقم ایرانی (تارا، دنا، کیمیا، سینا

در سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹، سوم و چهارم اردیبهشت و تاریخ برداشت به ترتیب ۲۸ و ۳۰ آبان بود.

خط کاشت به فاصله ۵۰ سانتی‌متر، طول ۱۰ متر و فاصله بوته ۱۵ تا ۲۰ سانتی‌متر بود. فاصله تکرارها از هم یک متر و فاصله کرت‌ها از یکدیگر یک متر بود. تاریخ کاشت آزمایش به ترتیب

جدول ۲ عملیات زراعی تولید محصول طی سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ در در ایستگاه تحقیقات کشاورزی مطهری (کمالشهر کرج)

شرح عملیات	سال ۱۳۹۸	سال ۱۳۹۹
گیاه‌زراعی قبلی	یونجه - گندم - آیش	یونجه - گندم - آیش
ساب‌سویلر	مرداد ۱۳۹۷	مرداد ۱۳۹۸
افست	مهر ۱۳۹۷	مهر ۱۳۹۸
شخم عمیق	آبان ۱۳۹۷	آبان ۱۳۹۸
لولر	آبان ۱۳۹۷	آبان ۱۳۹۸
دیسک‌سبک	آبان ۱۳۹۷	آبان ۱۳۹۸
ایجاد خطوط کاشت	فروردین ۱۳۹۸	فروردین ۱۳۹۹
کود گوگردگرانوله (کیلوگرم نیتروژن در هکتار)	-	۲۰۰
کودفسفره (کیلوگرم سوپرفسفات تربیل در هکتار)	۱۰۰	۲۵۰-۳۰۰
کودنیتروژن (کیلوگرم اوره در هکتار) (تنک و وجین اول)	-	۲۰۰
تاریخ کاشت	دهه اول اردیبهشت	دهه اول اردیبهشت
تاریخ برداشت	۲۸ آبان	۳۰ آبان

جدول ۳ مشخصات رقم‌های مورد مطالعه در آزمایش

ویژگی	رقم									
	کاکتوس	ایزابلا	تارا	دنا	پیرولا	کیمیا	سینا	مودکس	نیکا	لوریکت
محل تولید ^۱	F	F	D	D	F	D	D	F	D	F
تیپ ^۲	NZ	NZ	E	E	Z	E	E	Z	E	NZ
عملکرد ریشه ^۳	H	H	H	H	L	L	L	L	H	H
درصد قند ^۳	H	H	L	L	H	L	L	H	L	H

۱. F، خارجی و D، ایرانی. ۲. E، محصولی، NZ، شمال قندی و Z، قندی ؛ ۳. H، بالا، L، پایین.

هر خط و در نظر گرفتن دو خط از طرفین جهت حذف اثر حاشیه‌ای، نمونه‌گیری به صورت تخریبی از خطوط دوم و سوم به طول یک متر از هر کرت در سه تکرار (در مجموع، مساحت سه مترمربع) انجام شد.

به منظور جلوگیری از تأثیر سوء افزایش دما بر نمونه‌ها، نمونه‌برداری‌ها قبل از ساعت ۱۰ صبح انجام پذیرفتند. نمونه‌ها بلافاصله در کیسه‌های پلاستیکی قرار گرفتند و پس از ثبت مشخصات به آزمایشگاه به‌زراعی مؤسسه تحقیقات چغندر قند منتقل و تا زمان اندازه‌گیری صفات در یخچال نگهداری شدند.

به منظور برآورد تغییرات مؤلفه‌های رشد در رقم‌های مورد مطالعه در آزمایش، از حدود یک هفته پس از تنک، نمونه‌گیری از سطح کرت‌های آزمایشی آغاز شد. در طول دوره رشد، غیر از برداشت نهایی، پنج بار نمونه‌گیری صورت گرفت. جدول ۴ تاریخ‌های نمونه‌برداری و میزان درجه‌روز رشد دریافتی را در هر تاریخ نشان می‌دهد. مجموع دمای مؤثر رشد دریافت شده که در مدت رشد چغندر قند در منطقه کرج برآورد شد در سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ به ترتیب معادل ۳۸۷۷ و ۳۹۰۰ درجه‌روز رشد بود (جدول ۴).

در هر نمونه‌گیری با صرف نظر کردن یک متر از ابتدای

جدول ۴ تاریخ، تعداد روز پس از سبز و درجه‌روز رشد در هر نمونه‌برداری

نوبت نمونه‌برداری	تاریخ نمونه‌برداری		روز پس از سبز		درجه روز رشد	
	۱۳۹۸	۱۳۹۹	۱۳۹۸	۱۳۹۹	۱۳۹۸	۱۳۹۹
۱	۳/۲۸	۴/۱۷	۳۸	۵۷	۹۸۴	۱۳۹۳
۲	۴/۲۶	۵/۰۹	۶۷	۸۰	۱۶۲۰	۱۹۱۹
۳	۵/۲۳	۵/۳۰	۹۵	۱۰۱	۲۲۴۳	۲۳۵۲
۴	۶/۰۴	۶/۱۸	۱۰۷	۱۲۰	۲۵۰۳	۲۷۴۱
۵	۶/۲۶	۷/۱۸	۱۲۹	۱۵۱	۲۹۱۹	۳۲۹۴
۶	۸/۲۸	۸/۰۸	۱۹۲	۱۷۱	۳۷۳۳	۳۵۵۸

جهت اندازه‌گیری صفات موردنظر اجزای مختلف بوته (شامل پهنک برگ سبز، برگ زرد و برگ خشک، دمبرگ، طوقه و ریشه) جدا شد و اندازه‌گیری‌های موردنظر انجام و در فرم‌های مربوطه یادداشت شد. پهنک برگ از محلی که پهنای آن کاهش یافت از دمبرگ جدا شد. قسمت طوقه به‌عنوان ناحیه باریک و درعین حال قطورترین بخش ریشه در نظر گرفته شد و بخشی از ریشه نیز که از هیپوکوتیل شروع و به ریشه اصلی گیاه ختم می‌شود، به‌عنوان ریشه در نظر گرفته شد. قسمت تحتانی ریشه، از محلی که قطر ریشه به کمتر از دو سانتی‌متر رسید، به‌عنوان دم حذف شد (Kromer et al. 2015).

پس از جداسازی پهنک و دمبرگ و حذف برگ‌هایی که بیش از نیمی از سطح آنها زرد یا خشک شده بود، سطح پهنک برگ‌های سبز توسط دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ تعیین شد. دوربین این دستگاه از نوع RGA مدل ۲۰۰۰ و دستگاه کنترل آن از شرکت ΔT مدل RS232 بود. به‌علت زیادبودن حجم نمونه، یک زیرنمونه ۵۰۰ گرمی از کل نمونه تهیه و سطح برگ آن اندازه‌گیری و به مجموع برگ‌های سبز تعمیم داده شد. پس از اندازه‌گیری وزن تر برگ و دمبرگ سبز در هر نمونه، یک زیرنمونه ۵۰۰ گرمی از آن تهیه و در آن ۷۲ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت گذاشته و سپس وزن خشک برگ و دمبرگ سبز محاسبه و به کل نمونه‌ها تعمیم داده شد. برای برگ‌های زرد و خشک نیز به‌همین ترتیب عمل شد. جهت اندازه‌گیری وزن خشک طوقه، در هر بار نمونه‌گیری، طوقه از

ریشه جدا و پس از توزین وزن تر در هر نمونه، به‌طور کامل خرد شده و ریزنمونه ۵۰۰ گرمی از آن تهیه و در آن تهویه‌دار در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت قرار داده شد. سپس وزن خشک زیرنمونه طوقه توزین شد. ریشه‌ها نیز پس از هر برداشت، به‌طور کامل شسته‌شده و وزن تر آنها توزین و یادداشت شد. پس از تهیه خمیرریشه، یک ریزنمونه تهیه و وزن خشک آن پس از قرار دادن در آن تهویه‌دار با دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت تعیین شد. برای تعیین مقدار ماده خشک کلیه اندام‌های گیاهی از آن مدل (HEL10S-Germany) استفاده شد. وزن خشک هر قسمت از ضرب وزن تر در درصد ماده خشک محاسبه شد.

داده‌های حاصل از آزمایش جهت تجزیه واریانس مرکب ابتدا با بهره‌گیری از آزمون بارلت مورد آزمون یکنواختی واریانس‌ها واقع شد و پس از احراز مشابهت واریانس‌های خطاهای آزمایشی صفات در سال‌های آزمایش، مورد تجزیه واریانس مرکب دوساله قرار گرفتند. میانگین‌های حاصل با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن (DMRT) در سطح احتمال پنج درصد مورد مقایسه قرار گرفتند.

براساس مطالعات انجام شده روش حداقل مربعات روش مناسبی جهت برازش تغییرات وزن و سطح نسبت به شاخص حرارتی محسوب می‌شود (Karimi and Siddique 1991). به‌همین منظور، ابتدا داده‌ها به لگاریتم طبیعی (ln) تبدیل و آنگاه با بهره‌گیری از نرم‌افزار رایانه‌ای

Leaf Area Ratio, LAR)، نسبت سطح برگ (مترمربع بر گرم)؛ Leaf Weight Ratio, LWR)، نسبت وزن برگ (گرم بر گرم)؛ Specific Leaf Area, SLA)، سطح برگ ویژه (سانتی مترمربع بر گرم) و Specific Leaf Weight, SLW)، وزن ویژه برگ (گرم بر سانتی متر مربع) است.

نتایج و بحث

تولید و تسهیم ماده خشک

تأثیر سال بر وزن خشک اندام‌های مختلف گیاهی به استثنای دم برگ بر سایر صفات در سطح احتمال پنج درصد معنی دار شد (جدول ۵). این تأثیر به نحوی بود که میانگین وزن خشک برگ، طوقه، ریشه در سال ۱۳۹۸ به ترتیب معادل ۴۴/۱، ۴۵/۲ و ۴۵/۷ درصد بیش از سال ۱۳۹۹ بود. این موضوع موجب شد تا وزن خشک اندام‌های هوایی و زیرزمینی در سال ۱۳۹۸ به ترتیب معادل ۴۳/۹ و ۴۵/۷ درصد بیش از سال ۱۳۹۹ باشد (جدول ۵). در مجموع، وزن خشک کل در سال ۱۳۹۸ (۱۲۵۵/۴۹۶ گرم در مترمربع) به نحو معنی داری بیش از سال ۱۳۹۹ (۸۶۵/۸۳۴ گرم در مترمربع) بود و نشان داد که شرایط اقلیمی حاکم بر فصل رشد چغندر قند در سال ۱۳۹۸ مناسب‌تر از سال ۱۳۹۹ بود (جدول ۵). بخشی از این تفاوت به اثر سال در تعیین پتانسیل تولید چغندر قند (Öztürk *et al.* 2008) بازمی‌گردد. به عبارت دیگر، شرایط آب و هوایی طی دوره رشد گیاه از لحاظ دمای نسبی هوا (شکل الف) و مجموع دمای مؤثر رشد دریافت شده (شکل پ) در سال ۱۳۹۸ مناسب‌تر از سال ۱۳۹۹ بود. پیش‌تر نشان داده شده است که بخش عمده‌ای از نوسانات تولید محصول، ناشی از تغییرات دمای ماه اوت (میانگین دمای مرداد در سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ به ترتیب معادل ۲۸/۳ و ۲۷/۳ درجه سانتی‌گراد بود) (Freckleton *et al.* 2005; Qi *et al.* 1999) و دریافت تشعشع توسط گیاه در اوایل تابستان (بر اساس شکل پ) مجموع تشعشع دریافتی تا اوایل تابستان در سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ به ترتیب معادل

STATGRAPHIC-WINxp اقدام به برازش مدل‌های مختلف و انتخاب بهترین مدل با ضریب تبیین (R^2) قابل قبول شد. با استفاده از معادلات برازش شده تغییرات وزن خشک کل (Total dry weight, TDW) (رابطه ۱)، شاخص سطح برگ (Leaf area index, LAI) (رابطه ۲) و وزن خشک برگ (Leaf dry weight, LDW) (رابطه ۳) نسبت به تعداد روز پس از سبز، سایر مؤلفه‌های رشد بر اساس روابط موجود محاسبه (Spiegel 1990) و مدل‌های حاصل جهت ترسیم روند تغییرات آنها با استفاده از نرم‌افزار رایانه‌ای QPRO-WINxp مورد استفاده قرار گرفت.

$$TDW = e^{(a+bx+cx^2)} \quad (1)$$

$$LAI = e^{(a'+b'x+c'x^2)} \quad (2)$$

$$LDW = e^{(a''+b''x+c''x^2)} \quad (3)$$

در روابط فوق، TDW، LAI و LDW به‌عنوان متغیرهای وابسته و x و x^2 یا روزهای پس از سبز با نمای متغیر به‌عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شدند. a ، a' ، a'' ، b ، b' ، b'' ، c ، c' و c'' ضرایب ثابت معادله‌های فوق را تشکیل می‌دهند. شاخص‌های رشد بر اساس روابط زیر برای هر واحد تیمار محاسبه و تغییرات آنها در طول فصل رشد ترسیم شد (Hashemi Dezfuli *et al.* 1999).

$$CGR = NAR \times LAI \quad (4)$$

$$RGR = NAR / LAR \quad (5)$$

$$NAR = RGR / LAR \quad (6)$$

$$LAR = LAI / TDW \quad (7)$$

$$LWR = LDW / TDW \quad (10)$$

$$SLA = LAI / LDW \quad (8)$$

$$SLW = LDW / LAI \quad (9)$$

در روابط فوق، (Crop Growth Rate, CGR)، آهنگ رشد گیاه‌زراعی (گرم بر مترمربع بر درجه‌روز رشد)؛ (Relative Growth Rate RGR)، آهنگ رشد نسبی (گرم بر گرم بر درجه‌روز رشد)؛ (Net Assimilation Rate, NAR)، آهنگ تجزیه و تحلیل خالص (گرم بر مترمربع بر درجه‌روز رشد)؛

بنابراین، رقم‌های خارجی حائز توانایی ایجاد تعادل بین رشد اندام‌های هوایی و زیرزمینی خود هستند به نحوی که ماده خشک اندوخته شده در اندام‌های هوایی توانایی تولید موادفتوستتزی کافی برای ذخیره سازی در ریشه را داشته باشد. هم‌چنان که در جدول (۵) دیده می‌شود نسبت R/S در رقم‌های خارجی (۱/۴۹۶) به نحو معنی داری معادل ۱۸/۰ درصد بیش از رقم‌های ایرانی (۱/۲۶۸) شد.

روند تغییرات وزن خشک اندام‌های گیاهی در رقم‌های مورد مطالعه ایرانی و خارجی در شکل ۲ نشان داده شده است. هم‌چنان که در شکل ۲ الف دیده می‌شود بیشترین وزن خشک برگ در رقم‌های ایرانی (۵۰۹ گرم در مترمربع) معادل شش درصد بیش از حداکثر ماده خشک برگ در رقم‌های خارجی (۴۸۱ گرم در مترمربع) شد که در محدوده ۱۴۰ روز پس از سبز مزرعه تولید شد. برازش تغییرات وزن خشک دمبرگ نسبت به روزهای پس از سبز نیز نشان داد که حداکثر ماده خشک دمبرگ در رقم‌های ایرانی (۳۰۸/۵ گرم در مترمربع) و خارجی (۲۵۳/۳ گرم در مترمربع) حدود ۱۳۰ روز پس از سبز تولید شد (شکل ۲ ب). روند تغییرات وزن خشک طوقه، افزایشی بوده و تا انتهای دوره رشد بر مقدار آن افزوده شد (شکل ۲ پ). در مطالعه حاضر، حداکثر ماده خشک طوقه در رقم‌های مورد مطالعه ایرانی و خارجی به ترتیب معادل ۱۱۸/۳ و ۱۲۸/۱ گرم در مترمربع در انتهای فصل رشد به دست آمد (شکل ۲ پ). در نهایت، برازش تغییرات ماده خشک ریشه در طول فصل رشد حاکی از افزایشی بودن تغییرات این صفت بود. هم‌چنان که در شکل ۲ ت دیده می‌شود، حداکثر ماده خشک ریشه در رقم‌های مورد مطالعه خارجی (۱۲۰۰/۰ گرم در مترمربع) معادل ۴/۵ درصد نسبت به رقم‌های ایرانی (۱۱۴۵/۶ گرم در مترمربع) بیشتر بود.

۲۱۵/۲۴ و ۲۱۸/۴۱ مگاژول بر مترمربع بود (Scott *et al.* 1973; Scott and Jaggard 2000; Qi *et al.* 2005). در مطالعه حاضر، عمده اختلاف منجر به افزایش تولید ماده خشک مربوط به بالا بودن دما در سال ۱۳۹۸ نسبت به سال ۱۳۹۹ بود و اختلاف در مجموع تشعشع دریافتی تا اوایل تابستان به نحوی نبود که اختلاف در تولید ماده خشک طی دو سال را توجیه کند.

منشأ رقم‌های مورد بررسی (ایرانی/خارجی) تأثیر معنی داری بر وزن خشک اندام‌های مختلف گیاهی نداشت (جدول ۵). این موضوع نشان داد که میزان تولید ماده خشک در رقم‌های مورد مطالعه ایرانی (۱۰۶۶/۱۱۳ گرم در مترمربع) با خارجی (۱۰۵۵/۲۱۶ گرم در مترمربع) تفاوتی نداشت گرچه احتمالاً نحوه تسهیم ماده خشک بین اندام‌های مختلف، متفاوت بود (جدول ۶). در این مطالعه، رقم‌های مورد مطالعه خارجی، به میزان ۴/۱۷ درصد سهم کمتری از ماده خشک تولید شده را صرف تولید اندام‌های هوایی کرده و این مقدار را به تولید ماده خشک اندام‌های زیرزمینی اختصاص دادند.

از آنجایی که سهم طوقه در مجموع ماده خشک رقم‌های مورد مطالعه ایرانی و خارجی مشابه بود (۵/۴ درصد) بنابراین، مقدار ماده خشک افزوده به طور مستقیم به اندوخته ریشه اضافه شده است (جدول ۶). ورکر و همکاران (Werker *et al.* 1999) نیز کاهش تدریجی کسری از موادفتوستتزی که به اندام‌های ساختمانی (مانند برگ‌ها و ریشه‌های فیبری) اختصاص می‌یابد و افزایش تسهیم مواد به اندام‌های ذخیره‌ای را در چغندر قند گزارش کرده‌اند. در واقع، پس از دستیابی گیاه به شاخص سطح برگ مطلوب برای دریافت حداکثر تشعشع خورشیدی که در چغندر قند معادل ۳-۴ عنوان شده است، افزایش بیشتر شاخص سطح برگ هیچ سود مازادی برای تشکیل عملکرد در این گیاه ندارد (Hoffmann 2019).

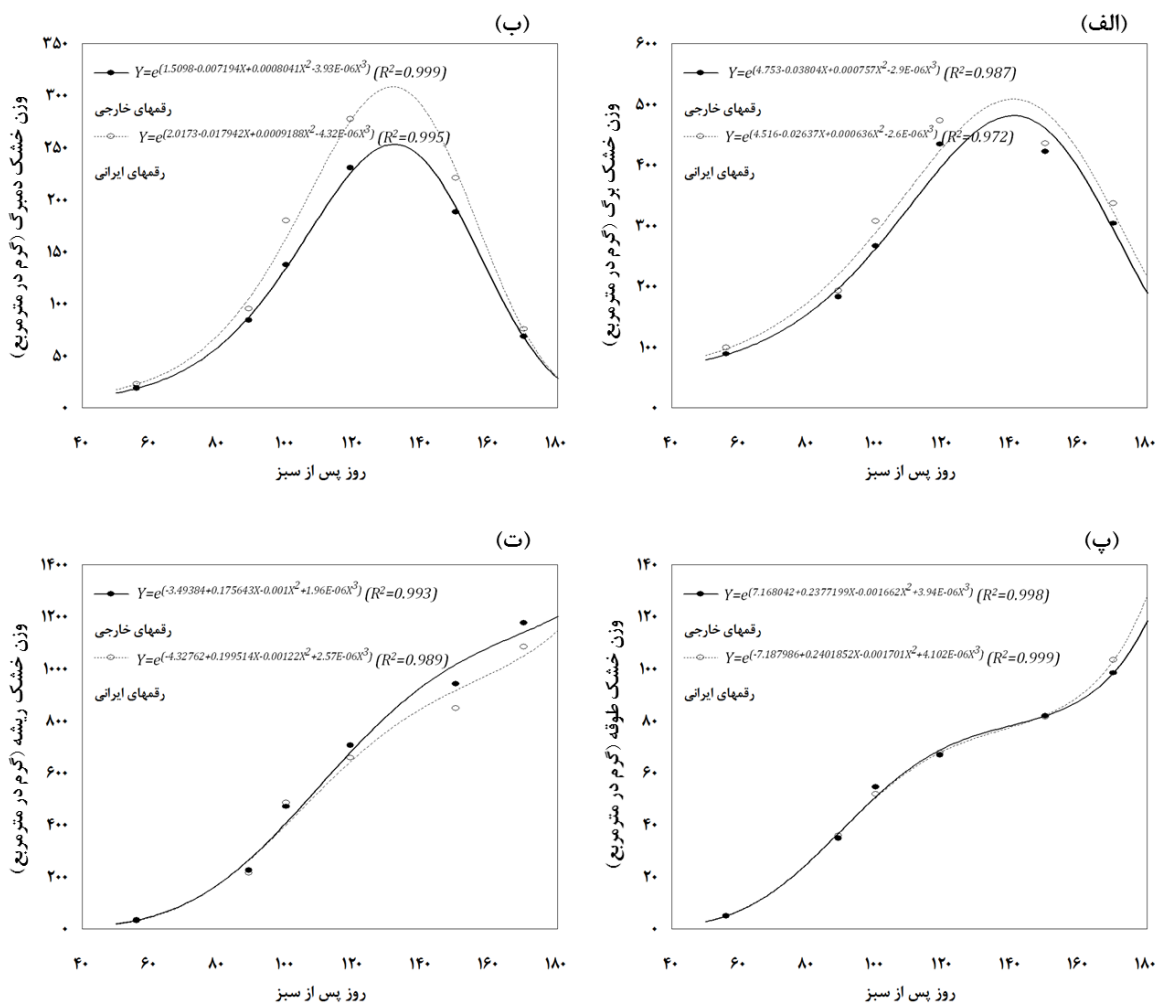
جدول ۵ خلاصه تجزیه واریانس مرکب^(a) و مقایسه میانگین^(b) وزن خشک اجزای گیاهی و نسبت اندام‌های زیرزمینی به هوایی (R/S) طی دوره رشد چغندر قند در رقم‌های مختلف

نسبت R/S	میانگین مربعات (MS) وزن خشک							درجه آزادی	منابع تغییر
	کل	اندام‌های زیرزمینی	اندام‌های هوایی	ریشه	طوقه	دمبرگ	برگ		
./۰.۰۲ ns	۲۷۳۲.۵۷/۶۰۴*	۹۹۳۳.۶/۸۶۳*	۴۳۱۰.۵۵/۷۹۹*	۸۲۲۷۳۴/۴۹۰.*	۸۰۲۸/۴۳۰.*	۴۱۳۰.۶/۶۱۱ ns	۲۰۵۴۸۷/۴۱۴*	۱	سال (Y)
./۰.۳۰	۲۱۵۱۱۲/۴۳۲	۶۰۴۷۷/۶۸۶	۴۸۸۸۶/۷۹۹	۵۱۰۰۱/۳۰۰	۴۱۲/۹۹۷	۶۸۴۵/۰۶۰	۱۹۸۵۰/۲۸۶	۴	سال (بلوک)
./۰.۹۳۰.*	۲۱۳۷/۵۴۳ ns	۲۵۷۳۶/۴۸۶ ns	۴۲۶۹۵/۵۷۹ ns	۲۶۵۷۱/۸۸۲ ns	۶/۸۳۱ ns	۱۰۴۴۹/۵۹۲ ns	۱۰۹۰۰/۴۸۳ ns	۱	رقیم (T)
./۰.۰۱ ns	۳۸/۵۷۲ ns	۹۴۰/۵۵۷ ns	۱۳۶۰/۰۵۴ ns	۹۷۴/۰۳۹ ns	۰/۲۹۲ ns	۳۳۰/۶۷۸ ns	۳۴۹/۴۸۸ ns	۱	اثر متقابل Y×T
./۰.۰۴	۱۰۰۳/۳۳۴	۵۴۶/۸۴۱	۱۰۰۳/۵۸۰	۹۷۲/۷۰۰	۱۲۰/۴۸۸	۲۴۳/۳۴۴	۲۵۹/۷۳۴	۴	اشتباه آزمایشی (Ea)
۱۰/۷۵۷**	۴۵۱۹۳۵۳/۷۵۰.**	۲۳۸۸۶۴۵/۹۴۵**	۵۸۱۷۷۳/۱۳۳**	۲۰۴۰۸۴۰/۶۸۳**	۱۳۹۷۳/۱۸۳**	۹۲۴۸۵/۱۰۸**	۲۲۹۲۳۹/۳۴۰.**	۵	نمونه برداری (S)
./۰.۰۳ ns	۱۸۲۶۲۴/۵۹۴**	۹۷۴۳۳/۵۰۵**	۲۱۷۲۰/۷۲۱**	۸۳۰۵۹/۹۲۷**	۵۸۰/۸۳۴**	۳۱۷۰/۵۸۱**	۹۱۳۷/۷۰۴**	۵	اثر متقابل Y×S
./۰.۰۷**	۸۸۴۱/۶۰۵**	۶۱۳۷/۲۵۱**	۳۷۴۱/۰۶۳**	۶۵۳۷/۸۸۸**	۱۸/۶۷۳**	۱۰۶۲/۴۵۵**	۶۵۰/۳۵۷**	۵	اثر متقابل T×S
./۰.۰۲ ns	۲۸۶/۶۵۲ ns	۲۳۰/۲۵۱ ns	۸۷/۶۹۴ ns	۲۵۴۵/۹۴۴ ns	۰/۶۸۴ ns	۳۴/۲۴۲ ns	۲۲/۴۹۹ ns	۵	اثر متقابل Y×T×S
./۰.۲۶	۵۳۰۷/۹۰۴	۴۲۹۱/۵۸۲	۱۷۰۴/۳۴۱	۴۴۸۳/۰۶۰	۴۳/۳۵۳	۴۷۳/۹۶۱	۹۰۴/۸۸۶	۴۰	اشتباه آزمایشی (Eb)
۱۱/۷۵	۶/۸۷	۱۰/۳۷	۹/۶۲	۱۱/۶۶	۱۱/۴۸	۱۶/۳۰	۱۰/۱۷		ضریب تغییرات (درصد)
-				(گرم در مترمربع)					سطوح مورد مطالعه
۱/۴۱۷ a	۱۲۵۵/۴۹۶ a	۷۴۸/۹۰۴ a	۵۰۶/۵۹۱ a	۶۸۱/۰۱۵ a	۶۷/۸۹۰ a	۱۵۷/۵۰۴ a	۳۴۹/۰۸۷ a	۱۳۹۸	سال
۱/۳۸۲ a	۸۶۵/۸۳۴ b	۵۱۳/۹۹۲ b	۳۵۱/۸۴۱ b	۴۶۷/۲۲۲ b	۴۶/۷۷۰ b	۱۰۹/۶۰۰ a	۲۴۲/۲۴۱ b	۱۳۹۹	
۱/۴۹۶ a	۱۰۵۵/۲۱۶ a	۶۵۰/۳۵۱ a	۴۰۴/۸۶۵ a	۵۹۳/۳۳۹ a	۵۷/۰۲۲ a	۱۲۱/۵۰۵ a	۲۸۳/۳۶ a	خارجی	محل تولید
۱/۲۶۸ b	۱۰۶۶/۱۱۳ a	۶۱۲/۵۴۶ a	۴۵۳/۵۶۸ a	۵۵۴/۹۰۸ a	۵۷/۶۳۸ a	۱۴۵/۵۹۹ a	۳۰۷/۹۶۸ a	ایرانی	
۰/۳۶۷ f	۱۵۵/۰۴۵ c	۳۹/۲۹۸ e	۱۱۵/۷۴۷ d	۳۴/۱۴۰ e	۵/۱۵۸ e	۲۱/۱۳۲ d	۹۴/۶۱۵ d	اول	نمونه برداری
۰/۹۳۹ e	۵۳۵/۳۴۰ bc	۲۵۶/۹۶۰ de	۲۷۸/۳۸۰ c	۲۲۱/۵۸۷ de	۳۵/۳۷۳ d	۸۹/۹۷۶ c	۱۸۸/۴۰۴ cd	دوم	
۱/۲۲۳ c	۹۷۸/۵۵۶ b	۵۳۲/۴۵۴ cd	۴۴۶/۱۰۲ b	۴۷۹/۱۲۴ cd	۵۳/۳۳۰ cd	۱۵۸/۷۴۳ b	۲۸۷/۳۵۸ bc	سوم	
۱/۰۶۷ d	۱۴۵۸/۵۰۷ a	۷۵۰/۲۷۲ bc	۷۰۸/۲۳۵ a	۶۸۲/۹۲۲ bc	۶۷/۳۵۰ bc	۲۵۴/۲۱۸ a	۴۵۴/۰۱۷ a	چهارم	
۱/۵۵۴ b	۱۶۱۱/۸۷۵ a	۹۷۷/۸۸۶ ab	۶۳۳/۹۸۹ a	۸۹۶/۰۴۹ ab	۸۱/۸۳۷ ab	۲۰۴/۷۷۴ ab	۴۲۹/۲۱۵ a	پنجم	
۳/۱۴۳ a	۱۶۲۴/۶۶۶ a	۱۲۳۱/۸۲۱ a	۳۹۲/۸۴۵ bc	۱۱۳۰/۸۸۹ a	۱۰۰/۹۳۲ a	۷۲/۴۷۰ cd	۳۲۰/۳۷۵ b	ششم	

(a) ns, * و ** به ترتیب غیرمعنی دار و معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد
(b) در هر ستون، اعدادی که ضرایب مشابهی دارند در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی داری نشان ندادند.

جدول ۶ سهم اندام‌های مختلف در توزیع ماده خشک گیاهی در رقم‌های ایرانی و خارجی چغندرقد

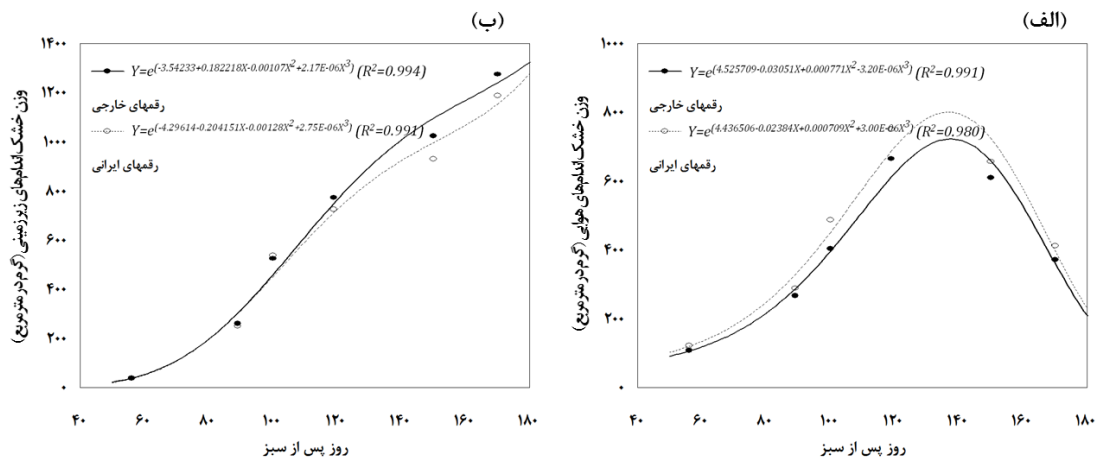
محل تولید			
سهم ماده خشک (درصد)			
برگ	دمبرگ	طوقه	ریشه
۲۶/۸۵	۱۱/۵۱	۵/۴۰	۵۶/۲۳
۳۸/۳۷		۶۱/۶۳	
۲۸/۸۹	۱۳/۶۶	۵/۴۱	۵۲/۰۵
۴۲/۵۴		۵۷/۴۶	



شکل ۲ روند تغییرات وزن خشک (الف) برگ، (ب) دمبرگ، (پ) طوقه و (ت) ریشه در رقم‌های ایرانی و خارجی چغندرقد (میانگین دوساله)

روند تغییرات وزن خشک اندام‌های هوایی نیز در رقم‌های مورد مطالعه ایرانی و خارجی (شکل ۳ الف) نیز نشان داد این مقدار تا حدود ۱۳۷ روز پس از سبز افزایش یافته و سپس از مقدار آن کاسته شد. حداکثر وزن خشک اندام‌هوائی در رقم‌های ایرانی و خارجی به ترتیب معادل ۸۰۰/۷ و ۷۲۳/۱ گرم در مترمربع شد (شکل ۳ الف).

همچنان که در جدول ۵ دیده می‌شود، میانگین ماده خشک اندام‌های هوایی (برگ+دمبرگ) در رقم‌های مورد مطالعه ایرانی (۴۵۳/۶ گرم در مترمربع) معادل ۱۰/۷ درصد بیشتر از رقم‌های خارجی (۴۰۴/۹ گرم در مترمربع) و در مقابل، میانگین وزن خشک اندام‌های زیرزمینی (طوقه+ریشه) رقم‌های ایرانی (۶۱۲/۶ گرم در مترمربع) حدود شش درصد کمتر از رقم‌های خارجی (۶۵۰/۴ گرم در مترمربع) شد. از سوی دیگر،



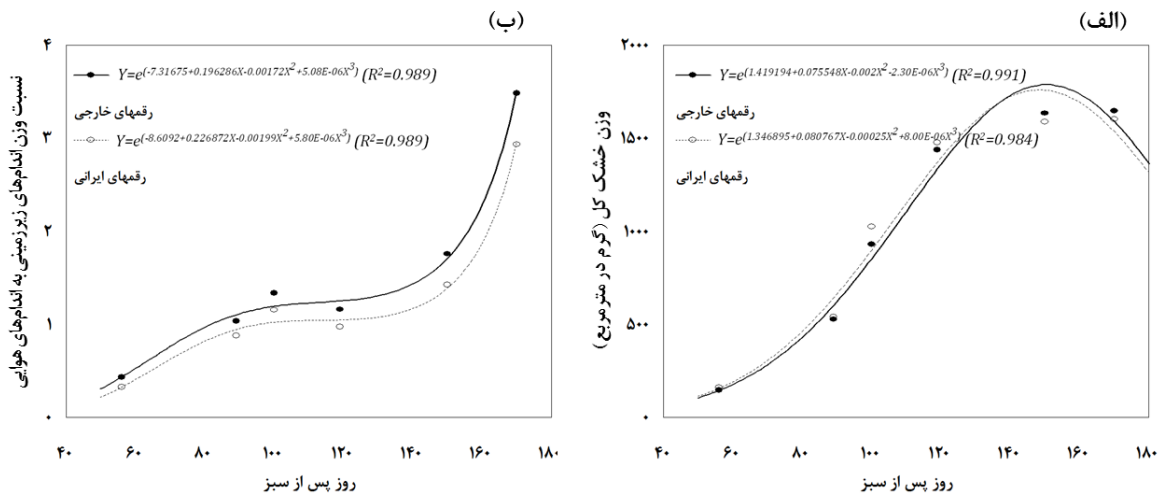
شکل ۳ روند تغییرات وزن خشک اندام‌های هوایی و (ب) اندام‌های زیرزمینی در رقم‌های ایرانی و خارجی چغندر قند (میانگین دوساله)

۱۸۰۰ گرم در مترمربع حدود ۱۵۰ روز پس از سبز تولید شد (شکل ۴ الف). در منطقه کرمانشاه (Kolivand 1995) نیز حداکثر ماده خشک کل در اوایل شهریور و حدود یک ماه زودتر از کرج تولید شد.

اثر رقم بر نسبت R/S در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۵). تأثیر عوامل ژنتیکی بر ضریب تسهیم مواد گیاهی در مطالعات دیگر نیز مورد تأکید قرار گرفته‌است (Webb et al. 1997). نتایج قائمی (Parsa et al 2007) نیز مؤید وجود اختلاف معنی‌دار در نسبت برگ به ریشه رقم‌های مختلف چغندر قند بود. در مطالعه حاضر، میانگین نسبت R/S در رقم‌های مورد مطالعه ایرانی (۱/۲۷) معادل ۰/۲۳ واحد (۱۸ درصد) از رقم‌های خارجی (۱/۵۰) کمتر بود (جدول ۵). این تفاوت در طول فصل رشد بین رقم‌های ایرانی و خارجی مشهود است (شکل ۴ ب). روند تغییرات به‌نحوی بود که نسبت R/S تا حدود ۱۰۰ روز پس از سبز افزایش سپس نسبتاً ثابت مانده و در نهایت از ۱۵۰ روز پس از سبز مجدداً بر مقدار آن افزوده شد.

بررسی روند تغییرات وزن خشک اندام هوایی طی سه سال در اصفهان (Ebrahimain and Jahad-Akbar 1998) نیز نشان داد که حداکثر مقدار در این منطقه حدود ۱۲۰ روز پس از کاشت (در مقایسه با ۱۳۷ روز پس از سبز در کرج) تولید شده‌است. روند تغییرات وزن خشک اندام‌های زیرزمینی افزایشی بوده و از حدود ۱۳۰-۱۲۰ روز پس از سبز بر شیب آن افزوده شد (شکل ۳ ب). این در حالی است که در اصفهان، روند تجمع ماده خشک در ریشه از زمان کاشت تا ۱۶۰ روز پس از آن روند صعودی داشته و سپس از سرعت آن کاسته شد (Ebrahimain and Jahad-Akbar 1998). در مطالعه حاضر، حداکثر وزن خشک اندام‌های زیرزمینی در رقم‌های ایرانی و خارجی به ترتیب معادل ۱۲۷۸/۹ و ۱۳۲۵/۱ گرم در مترمربع شد (شکل ۳ ب).

روند تغییرات وزن خشک کل در برابر زمان نشان داد این تغییرات از معادله درجه سوم تبعیت کردند. بیشترین وزن خشک کل در رقم‌های مورد مطالعه خارجی و ایرانی در حدود



شکل ۴ روند تغییرات (الف) وزن خشک کل و (ب) نسبت وزن خشک اندام‌های زیرزمینی به اندام‌های هوایی در رقم‌های ایرانی و خارجی چغندر قند (میانگین دوساله)

مورد نیاز جهت دستیابی به حداکثر CGR، عموماً کمتر از سه گزارش شده است (Goodman 1968). سایر گزارش‌ها نیز حاکی از آن است که روند رشد برگ در ابتدا بطئی و کند و سپس در مرحله تشکیل توده برگ و هم‌زمان با افزایش رشد ریشه ذخیره‌ای به حداکثر مقدار خود رسید (Cai and Ge 2004). در یک مطالعه دیگر، رشد برگ‌های چغندر قند تا زمانی که قطر ریشه به یک سانتی‌متر برسد، به سرعت روی می‌دهد. این زمان مصادف با تشکیل کل حلقه‌های ریشه است که متعاقب آن رشد ریشه افزایش یافته و با تشکیل بافت مرستمی بر نیاز ریشه به مواد ساخته شده فتوسنتزی افزوده می‌شود (Doney 1979). در منطقه کرمانشاه نیز نشان داده شده است که LAImax در ارقام دیپلوئید (معادل ۵/۷۲) بیش از رقم‌های تریپلوئید است (Kolivand 1995). گرچه بیان شده است که تولید ماده خشک همراه با افزایش شاخص سطح برگ افزایش می‌یابد (Storer et al. 1973)، اما در مطالعه حاضر، بالا بودن شاخص سطح برگ در رقم‌های مورد مطالعه ایرانی تأثیر معنی‌داری بر افزایش مجموع ماده خشک تولیدی در این رقم‌ها (۱۰۶۶/۱۱ گرم در مترمربع) نسبت به ماده خشک تولیدی در رقم‌های خارجی (۱۰۵۵/۲۲)

مؤلفه‌های رشد برگ

شاخص سطح برگ (LAI)

رشد برگ و توسعه شاخص سطح برگ از روند بطئی در ابتدای دوره رشد و سپس نمایی برخوردار بود که پس از به حداکثر رسیدن از مقدار آن کاسته شد (شکل ۵الف). طی دوره رشد، رقم‌های مورد مطالعه ایرانی از شاخص سطح برگ بیشتری نسبت به رقم‌های خارجی برخوردار بودند و حداکثر شاخص سطح برگ به ترتیب معادل ۲/۳۳ و ۲/۶۶ برای رقم‌های خارجی و ایرانی حدود ۱۴۰ روز پس از سبز به دست آمد (شکل ۵الف). حداکثر مقدار شاخص سطح برگ در منطقه مغان معادل ۵/۶ بود که ۸۷ روز پس از سبز شدن به دست آمد (Najafinezhad 1995). در فارس، روند تغییرات LAI تا ۷۰ روز پس از کاشت کند و سپس تسریع شد (Ashraf-Mansouri et al. 2002). در میاندوآب حداکثر شاخص سطح برگ چغندر قند در سال‌های ۸۱ و ۸۲ به ترتیب به ۶/۵ و ۵/۵ در مرداد ماه رسید (Mirzaii and Abdollahian Noghabi 2012). در کرمانشاه، حداکثر شاخص سطح برگ در ارقام دیپلوئید (معادل ۵/۷۲ درصد) در هفته اول مرداد به دست آمد و سپس تا اواسط آبان روند نزولی طی کرد (Kolivand 1995). به هر حال، شاخص سطح برگ

نسبت سطح برگ (LAR)

نسبت سطح برگ (LAR) از آهنگ کاهشی مشابهی بین رقم‌های مورد مطالعه برخوردار بود (شکل ۵پ). به طور میانگین تولید هر گرم ماده خشک در رقم‌های مورد مطالعه خارجی و ایرانی نیازمند $18/67$ و $22/14$ سانتی‌مترمربع سطح برگ بود و نشان داد که تولید هر گرم ماده خشک در رقم‌های خارجی معادل $15/7$ درصد به سطح برگ کمتری نسبت به رقم‌های ایرانی نیاز دارند (شکل ۵پ). نشان داده شده است که در شرایط محدودیت محیطی، میزان رشد گیاه به واسطه کاهش تولید سطح برگ به ازای هر واحد وزن خشک گیاه (LAR) کاهش می‌یابد (Lambers et al. 1995). این مقادیر بسیار بیشتر از حداکثر LAR به دست آمده در مطالعه وارگا و همکاران (Varga et al. 2021) در کرواسی بود که در اواخر ماه مه (اواسط خرداد) معادل $8/61-9/98$ مترمربع بر کیلوگرم گزارش شده است.

نسبت وزن برگ (LWR)

سهم برگ‌ها از وزن ماده خشک کل گیاه (پربریگی بوته یا LWR) از روند سه مرحله‌ای تبعیت کرد (شکل ۵ت). از ابتدای دوره رشد که مقدار LWR بیشترین مقدار را داشت به تدریج تا حدود ۹۰ روز پس از سبز، به حدود نصف مقدار اولیه از مقدار آن کاسته شد. سپس تا حدود ۱۴۰ روز پس از سبز، LWR مقدار نسبتاً ثابتی به خود اختصاص داد و مجدداً تا انتهای فصل رشد از مقدار آن کاسته شد به نحوی که، در پایان فصل رشد مقدار آن به حدود ۲۰ درصد مقدار آغازین رسید (شکل ۵ت). در این مطالعه، میانگین LWR در رقم‌های مورد مطالعه خارجی و ایرانی به ترتیب معادل $0/324$ و $0/342$ گرم بر گرم برآورد شد (شکل ۵ت). در مجموع، رقم‌های ایرانی معادل $5/6$ درصد پُربرگ‌تر از رقم‌های خارجی بودند.

گرم در مترمربع) نداشت (جدول ۵). با عنایت به آغاز رقابت بوته‌های همجوار جهت دستیابی به نور هم‌زمان با دستیابی شاخص سطح برگ به $0/75$ (Launay and Guerif 2003)، این رویداد در رقم‌های ایرانی و خارجی به ترتیب ۵۳ و ۶۸ روز پس از سبز روی داد (شکل ۵الف).

میزان جذب و تحلیل خالص (NAR)

روند تغییرات میزان جذب و تحلیل خالص طی فصل رشد، ابتدا افزایشی و پس از دستیابی به حداکثر مقدار (حدود ۸۶ روز پس از سبز) روند نزولی داشت (شکل ۵ب). حداکثر کارایی سطح برگ در فتوسنتز (NAR) در رقم‌های مورد مطالعه خارجی ($17/83$ گرم در مترمربع در روز) معادل $2/82$ گرم در مترمربع در روز بیش از رقم‌های ایرانی ($15/01$ گرم در مترمربع در روز) شد (شکل ۵ب). در کشور اسلوواکی با میانگین دمای روزانه معادل $15/3$ درجه سانتی‌گراد و تعداد ساعات آفتابی $5/71$ ساعت، حداکثر مقدار NAR معادل $7/56$ گرم در مترمربع در روز گزارش شده است (Repka et al. 1974). در آزمایش حاضر، میانگین دمای روزانه معادل $20/9$ درجه سانتی‌گراد و تعداد ساعات آفتابی $9/30$ ساعت و مقدار NAR_{max} معادل $15/17-01/83$ گرم در مترمربع در فصل رشد برآورد شد که بیشتر از مقدار به دست آمده در گزارش رپکا و همکارانش (Repka et al. 1974) است. مقدار NAR در منطقه همدان (Mirzaii and Abdollahian Noghahi 2012)، معادل $10/16-47/04$ گرم در مترمربع در روز (کشت زود هنگام) تا $8/14-28/85$ گرم در مترمربع در روز (کشت دیر هنگام) به ترتیب طی ۸۸-۸۰ و ۹۷-۹۲ روز پس از کاشت گزارش شده است. در مجموع، تفاوت در NAR می‌تواند ناشی از تفاوت در معماری سایه‌انداز و دریافت تشعشع، فعالیت فتوسنتزی برگ‌ها، تنفس، انتقال مواد فتوسنتزی و ظرفیت ذخیره‌سازی مقاصد و یا حتی ترکیب شیمیایی مواد ذخیره‌ای باشد.

ضخامت برگ

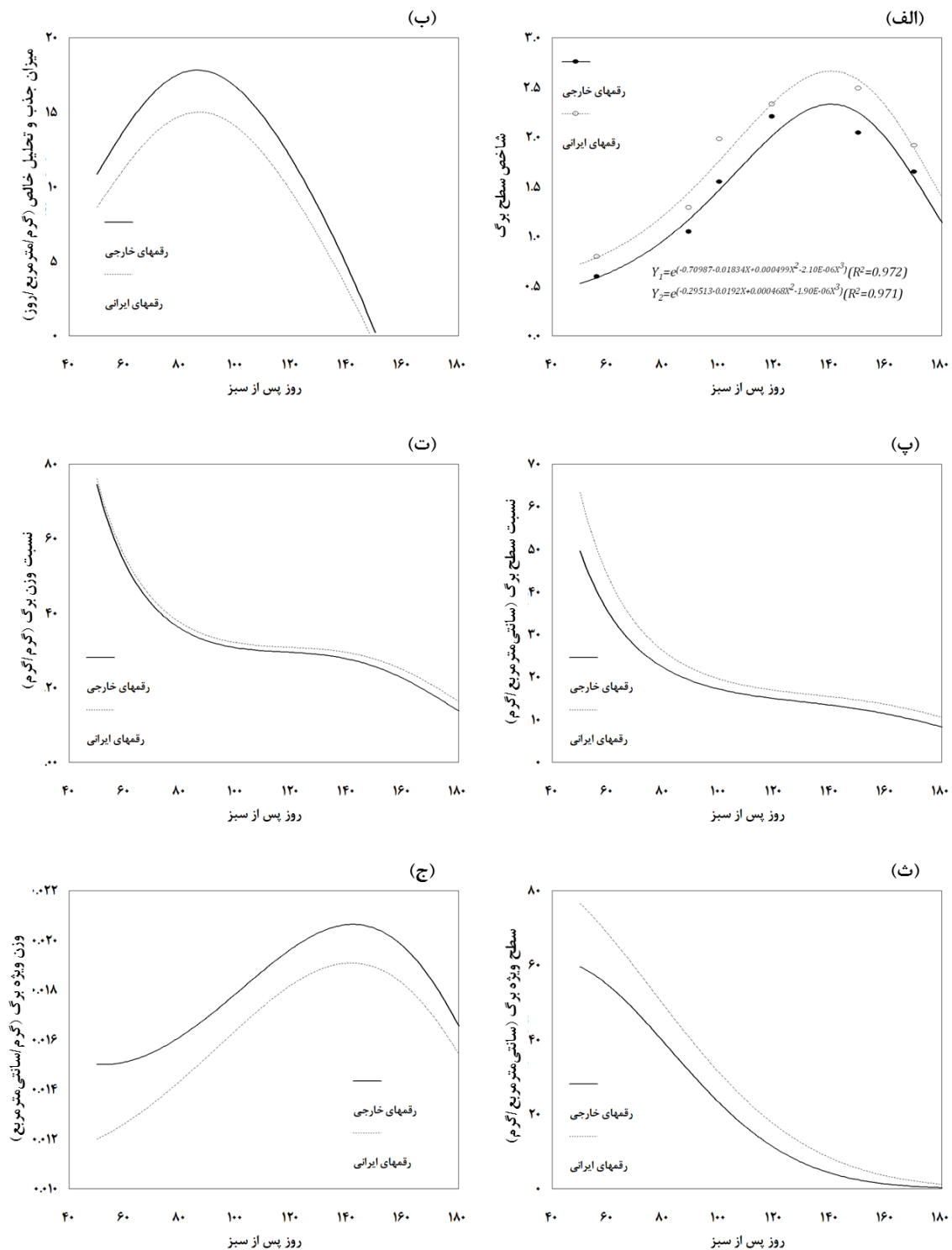
SLA در کشت بهاره (۱۶/۷ مترمربع/کیلوگرم) به واسطه تولید برگ‌های سبز بیشتر با درصد ماده خشک بیشتر، بیش از کشت پاییزه (۱۵/۱ مترمربع/کیلوگرم) بود. روند تغییرات وزن ویژه برگ (SLW) به نحوی بود که تا حدود ۱۴۰ روز پس از سبز بر مقدار آن افزوده شد و سپس، مقدار آن کاهش یافت (شکل ۵ج). حداکثر SLW در رقم‌های مورد مطالعه خارجی و ایرانی به ترتیب معادل ۰/۰۲۱ و ۰/۰۱۹ گرم بر سانتی‌مترمربع به دست آمد. میانگین SLW نیز برای رقم‌های خارجی و ایرانی به ترتیب معادل ۰/۰۱۸ و ۰/۰۱۶ گرم بر سانتی‌مترمربع بود (شکل ۵ج). بالابودن SLW حاکی از افزایش ضخامت برگ‌هاست و با افزایش وزن خشک برگ به ازای هر واحد سطح برگ، بر دوام سطح برگ و تولید ماده خشک کل افزوده می‌شود (Cochec *et al.* 1974). در یک مطالعه دیگر نیز نشان داده شد که همراه با رشد بوته‌ها بر مقدار SLW افزوده و از نسبت قسمت‌های هوایی به ریشه کاسته می‌شود (Hodanova 1973).

مؤلفه‌های رشد بوته

آهنگ رشد گیاه زراعی (CGR)

روند تغییرات آهنگ رشد گیاه زراعی در ابتدای دوره رشد افزایشی و پس از دستیابی به حداکثر مقدار (حدود ۱۱۵-۱۰۵ روز پس از سبز) از مقدار آن کاسته شد و در حدود ۱۵۵-۱۴۵ روز پس از سبز نیز، مقدار CGR منفی شد (شکل ۶الف). در یک مطالعه، بین ۲۰۰-۱۲۱ روز پس از کاشت، CGR به واسطه ریزش برگ‌ها منفی شد (Kenter *et al.* 2006) و در آزمایش حاضر نیز CGR پس از ۱۵۰ روز پس از سبز منفی شد. کاهش آهنگ رشد گیاه در فصل پاییز به کاهش دما یا تشعشع همراه با پیری برگ‌ها نسبت داده شده است (Kenter *et al.* 2006).

ضخامت برگ را می‌توان به صورت سطح ویژه برگ (SLA)، عبارتست از نسبت سطح برگ بر حسب سانتی‌مترمربع بر وزن خشک برگ بر حسب گرم) یا وزن ویژه برگ (SLW)، عبارتست از نسبت وزن خشک برگ بر حسب گرم یا میلی‌گرم بر سطح برگ بر حسب سانتی‌مترمربع) اندازه‌گیری و بیان کرد. بر همین اساس، برگ‌هایی با SLA پایین‌تر و یا SLW بالاتر ضخیم‌تر هستند، در حالی که برگ‌هایی با SLA بالاتر و یا SLW پایین‌تر، نازک‌تر هستند (Amanullah 2015). هم‌چنان که در شکل ۵ث دیده می‌شود، ضخامت برگ در اوایل فصل رشد کم بوده و سپس تا انتهای فصل رشد بر ضخامت برگ افزوده شده‌است. کلارک و لومیس (Clark and Loomis 1978) گزارش کردند که سطح برگ ویژه (SLA) همراه با افزایش سن برگ کاهش می‌یابد. برگ‌های جوان از SLA بیشتری برخوردار بودند و تا مدتی آن را حفظ و سپس از مقدار آن کاسته شد. این کاهش به واسطه افزایش وزن برگ به ازای هر واحد سطح برگ روی می‌دهد. برگ‌های تولید شده در SLA پایین، بخش عمده‌ای از ماده خشک خود را صرف تشکیل دمبرگ می‌کنند. کاهش SLA را به بالابودن نسبت سلول‌های اسکلرانشیمی غیرآوندی و کوچک بودن نسبی سلول‌های بشره‌ای در برگ‌ها نسبت داده‌اند (Lambers *et al.* 1995). در مطالعه حاضر، برگ رقم‌های مورد مطالعه خارجی (با سطح ویژه برگ معادل ۲۰/۷۵ سانتی‌مترمربع بر گرم) حدود ۲۵/۱ درصد ضخیم‌تر از رقم‌های ایرانی (با سطح ویژه برگ معادل ۲۷/۷۰ سانتی‌مترمربع بر گرم) بود (شکل ۵ث). مقدار عددی SLA در چغندر قند معمولاً بین ۱۵ تا ۲۵ مترمربع/کیلوگرم تغییر می‌کند (Rinaldi 2003). در نهایت، رینالدی (Rinaldi 2003) در آزمایش چهارساله به بررسی مقادیر SLA در کشت پاییزه و بهاره چغندر قند تحت شرایط مختلف تنش رطوبتی پرداخت. وی گزارش کرد که حداکثر



شکل ۵ روند تغییرات (الف) شاخص سطح برگ، (ب) میزان جذب و تحلیل خالص، (پ) نسبت سطح برگ، (ت) نسبت وزن برگ، (ث) سطح ویژه برگ و (ج) وزن ویژه برگ در رقم‌های ایرانی و خارجی چغندر قند (میانگین دوساله)

مقدار CGR_{max} (۲۵/۸۳) گرم در مترمربع در روز) در این آزمایش بیشتر از ۱۰/۹۵ گرم در مترمربع در روز (Repka *et al.* 1974) و کمتر از ۳۲/۹۵ گرم در مترمربع در روز (Bazobandi 1995) و ۳۶/۸ گرم در مترمربع در روز در منطقه مغان (Najafinezhad 1995) شد. در مطالعه حاضر، حداکثر CGR با شاخص سطح برگ ۱/۷۶ و ۱/۹۸ به ترتیب

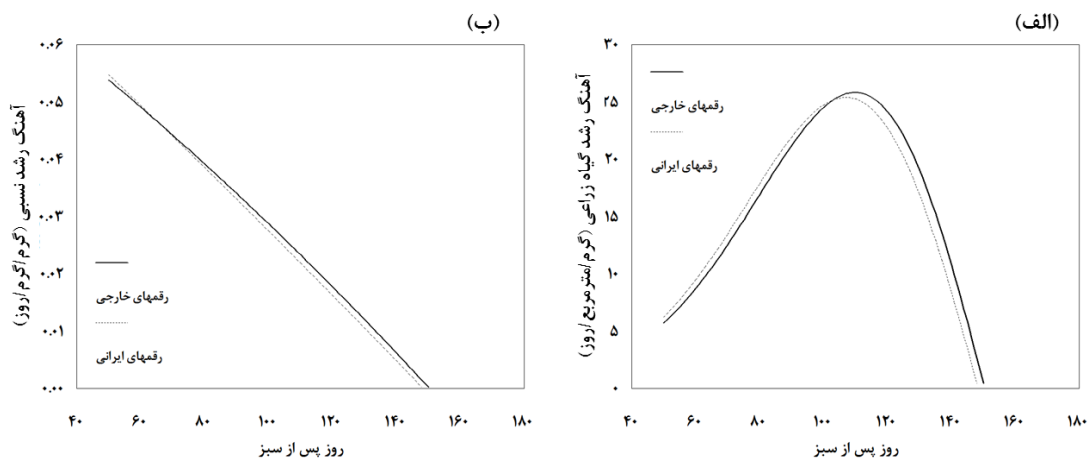
در رقم‌های ایرانی و خارجی چغندر قند (میانگین دوساله)

کاهش و حداکثر RGR در رقم‌های مورد مطالعه خارجی و ایرانی مشابه و به ترتیب معادل $0/055$ و $0/054$ گرم بر گرم در روز بود (شکل ۶ب). سرعت کاهش RGR در رقم‌های خارجی و ایرانی نیز به ترتیب معادل $0/419$ و $0/412$ میلی‌گرم بر گرم طی فصل رشد محاسبه شد. عموماً نشان داده شده است که تکامل و اهلی‌سازی گیاهان تأثیری بر میزان رشد نسبی گیاهان زراعی نداشته و با پیشرفت اصلاح ارقام، این مؤلفه فیزیولوژیکی تغییر نیافته است (Gifford and Ivans 1981). از سوی دیگر، گزارش شده است که تفاوت در زمان ظهور گیاهچه تأثیر معنی‌داری روی آهنگ رشد نسبی تک‌بوته‌های چغندرقد و از آنجا، کارایی رشد گیاه به دنبال نداشته است (Stibbe and Marlander 2002). در مطالعه قائمی (Ghaemi 2004) نیز تفاوت معنی‌داری بین RGR در ۱۰ ژنوتیپ چغندرقد طی دو سال مشاهده نشد.

برای رقم‌های مورد مطالعه خارجی و ایرانی مصادف شد. نتایج بررسی روند رشد چغندرقد همدان در تاریخ کاشت زود نشان داد که حداکثر سرعت رشد محصول در سال‌های ۸۱ و ۸۲ به ترتیب $24/29$ و $21/77$ گرم در مترمربع در روز با دریافت حدود 1704 و 1548 واحد حرارتی به دست آمد. این در حالی بود که بیشترین CGR در آزمایش دیرکاشت در سال‌های ۸۱ و ۸۲ به ترتیب معادل $14/79$ و $16/51$ گرم در مترمربع در روز با دریافت حدود 1455 و 1576 واحد حرارتی بود (Mirzaii and Abdollahian Noghahi 2012). میانگین CGR در رقم‌های خارجی و ایرانی مشابه هم و به ترتیب معادل $16/67$ و $16/65$ گرم در مترمربع در روز بود (شکل ۶الف). روند تغییرات CGR در هر دو سال آزمایش برای ۱۰ ژنوتیپ مورد مطالعه در خراسان نیز مشابه بود (Parsa et al 2007).

آهنگ رشد نسبی (RGR)

روند تغییرات آهنگ رشد نسبی در رقم‌های مختلف



شکل ۶ روند تغییرات (الف) آهنگ رشد گیاه زراعی و (ب) آهنگ رشد نسبی در رقم‌های ایرانی و خارجی چغندرقد (میانگین دوساله)

۱۱۰-۱۲۰ روز پس از سبز از مقدار آن کاسته شده و در حدود ۱۴۵-۱۶۰ روز پس از سبز منفی شد (شکل ۷الف). روند افزایش RtGR تا حدود ۱۰۰ روز پس از سبز در رقم‌های مورد مطالعه ایرانی و خارجی مشابه هم بوده و سپس رقم‌های خارجی از

مؤلفه‌های رشد ریشه ذخیره‌ای

آهنگ رشد ریشه (RtGR)

آهنگ رشد ریشه (RtGR) در ابتدای فصل رشد به صورت نمایی افزایشی و پس از دستیابی به حداکثر مقدار خود در حدود

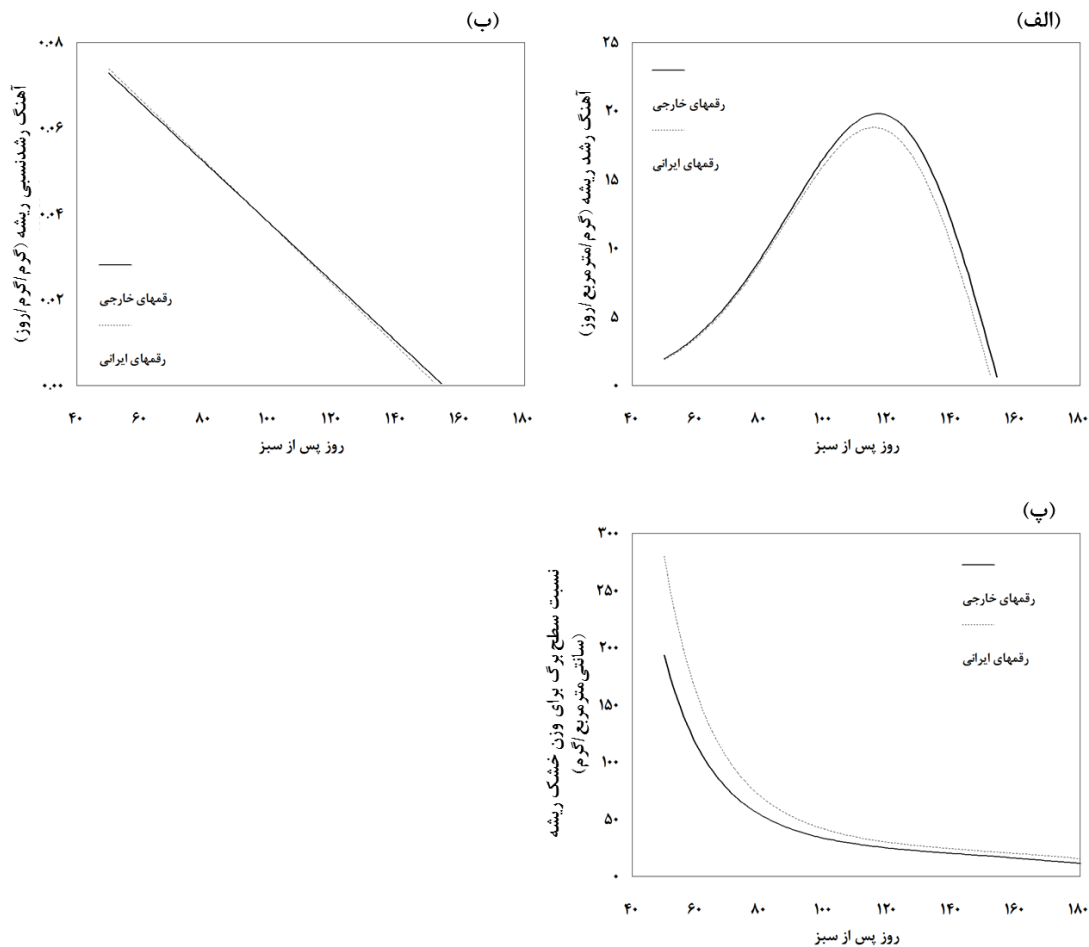
میزان رشد نسبی ریشه (RtRGR)

روند تغییرات میزان رشد نسبی ریشه (RtRGR) کاهشی بود و حدود ۱۶۰ روز پس از سبز به صفر رسید (شکل ۷ب) که با مقدار ۱۷۰ تا ۲۰۰ روز پس از کاشت گزارش شده از اصفهان (Ebrahimain and Jahad-Akbar 1998)، قابل مقایسه است. کاهش RtRGR به کمتر از صفر در این آزمایش نیز با کاهش میانگین دمای هوا به کمتر از ۱۸ درجه سانتی‌گراد مصادف شد (Kenter *et al.* 2006).

نسبت سطح برگ برای وزن خشک ریشه (RtLAR)

در نهایت، در این مطالعه از مؤلفه نسبت سطح برگ برای وزن خشک ریشه (RtLAR) جهت نشان دادن کارایی سطح برگ برای تولید ماده خشک ریشه استفاده شد. این مؤلفه روند کاهشی دو مرحله‌ای از خود نشان داد. به عبارت دیگر، از ابتدای فصل رشد، بوته‌ها به‌ازای سطح برگ بیشتر، توانایی تولید ماده خشک ریشه کمتری داشتند و به‌عنوان مثال، برای تولید هر گرم ماده خشک ریشه در رقم‌های مورد مطالعه خارجی و ایرانی به ترتیب به ۱۹۳ و ۲۸۰ سانتی‌متر مربع برگ نیاز بود. این در حالی بود که از حدود ۱۲۰ روز پس از سبز تا انتهای فصل رشد، مقدار RtLAR نسبتاً ثابت ماند (شکل ۷پ). همچنین میانگین سطح برگ مورد نیاز برای تولید هر گرم ماده خشک ریشه در رقم‌های خارجی و ایرانی به ترتیب معادل ۴۳/۴۶ و ۵۷/۵۱ سانتی‌متر مربع برگ برآورد شد.

آهنگ رشد ریشه بیشتری نسبت به رقم‌های ایرانی برخوردار شدند (شکل ۷الف). RtGRmax در رقم‌های خارجی و ایرانی به ترتیب معادل ۱۹/۸۳ و ۱۸/۸۲ گرم در مترمربع در روز بود که حدود ۱۱۵ روز پس از سبز حاصل شد. میانگین RtGR نیز در رقم‌های مورد مطالعه خارجی و ایرانی به ترتیب معادل ۱۱/۵۶ و ۱۱/۰۰ گرم در مترمربع در روز برآورد شد. مقدار RtGRmax گزارش شده از اصفهان، بین ۱۸ تا ۲۲ گرم در مترمربع در روز متغیر بود (Ebrahimain and Jahad-Akbar 1998) که با مقدار به دست آمده در این مطالعه همخوانی دارد. البته در اصفهان این مقدار RtGR با LAImax معادل ۲/۴-۴/۷ به دست آمد، این در حالی است که در کرج LAImax بین ۲/۲-۲۰/۶۶ متغیر بود (شکل ۵الف). در منطقه مغان نیز حداکثر سرعت رشد ریشه معادل ۱۴/۷ گرم در مترمربع در روز گزارش شده است (Najafinezhad 1995). در کرمانشاه، RtGRmax حدود ۷۵ روز پس از سبز شدن روی داد و تا دهه دوم مهر با آهنگ ملایم‌تر تداوم پیدا کرد (Kolivand 1995). در حالی که در این مطالعه این مقدار ۱۱۰-۱۲۰ روز پس از سبز حاصل شد (شکل ۷الف). مطالعه انجام شده در اصفهان (Ebrahimain and Jahad-Akbar 1998) نشان داد که عملکرد ریشه بالا همراه با به تعویق افتادن دستیابی به RtGRmax بود.



شکل ۷ روند تغییرات (الف) آهنگ رشد ریشه، (ب) آهنگ نسبی رشد ریشه و (پ) نسبت سطح برگ برای وزن خشک ریشه در رقم‌های ایرانی و خارجی چغندرقد (میانگین دوساله)

نتیجه‌گیری

همدیگر نداشتند. این درحالی بود که نحوه توزیع ماده خشک تولیدشده بین اندام‌های هوایی و زیرزمینی در رقم‌های مورد مطالعه خارجی و ایرانی به ترتیب به سود رشد اندام‌های زیرزمینی و اندام‌های هوایی متفاوت بود. در زمینه، پارامترهای رشد برگ نیز، برگ رقم‌های مورد مطالعه خارجی از کارایی بیشتری جهت تولید ماده خشک بوته (LAR) و ریشه ($RtLAR$) بهره‌مند بودند. بنابراین، پیشنهاد می‌شود در برنامه‌های اصلاحی چغندرقد با اندازه‌گیری سطح برگ حدود ۱۲۰ روز پس از کاشت و محاسبه $RtLAR$ ، به توان به رقم‌هایی دست یافت که برگ‌های آنها، کارایی بیشتری جهت تولید ماده خشک ریشه داشته باشند.

تولید ماده خشک و هدایت آن به بخش‌های اقتصادی گیاه، همواره به عنوان روشی مؤثر جهت افزایش عملکرد محصولات زراعی محسوب می‌شود. بر همین اساس، جهت بهبود عملکرد گیاهان زراعی، شناخت فیزیولوژی تولید و انباشت ماده خشک در اندام‌های مختلف گیاهی، مهم تلقی می‌شود. استفاده از روش آنالیز رشد می‌تواند ضمن کمی کردن مؤلفه‌های رشد گیاهی، عوامل مؤثر بر تولید و انباشت ماده خشک را تبیین کند. نتایج مطالعات ما نشان داد که در رقم‌های منتخب ایرانی و خارجی چغندرقد، توان تولید ماده خشک و پارامترهای رشد بوته (مانند CGR و RGR) و رشد ریشه (مانند $RtRGR$ و $RtGR$) اختلاف فاحشی با

References:**منابع مورد استفاده:**

- Amanullah Jr. Specific leaf area and specific leaf weight in small grain crops wheat, rye, barley, and oats differ at various growth stages and NPK source. *Journal of Plant Nutrition*, 2015; 38:1694–1708. **doi:10.1080/01904167.2015.1017051**
- Ashraf Mansouri GR, Bahrani MJ, Jokar L. Effect of planting date and plant density on growth and yield of two sugar beet cultivars in Darab. In *Seventh Iranian Congress of Plant Breeding and Crop Production, Seed and Plant Improvement Research Institute, Karaj, Iran 2002*. [In Persian]
- Bazobandi M. The effect of planting date and nitrogen fertilizer on quantitative and qualitative characteristics of two sugar beet cultivars. Msc. Thesis, Tehran University, Faculty of Agriculture, 1995; pp. 185. [in Persian]
- Buzanov NI, Pechenov VA, Okanencko AS. Moisture regime, photosynthesis and yield in polyploid beet. *Sakharnaya Svekla*, 1971; 12:31-33.
- Cai B, Ge J. The effect of nitrogen amount on photosynthetic rate of sugar beet. *Nature and Science*. 2004; 2(2):60-63.
- Clark EA, Loomis RS. Dynamics of leaf growth and development in sugar beets. *Journal of the A.S.S.B.T.* 1978; 20(2):97-113. **doi:10.5274/JSBR.20.2.97.**
- Clover GR, Smith HG, Azam-Ali SN, Jaggard KW. The effects of drought on sugar beet growth in isolation and in combination with beet yellows virus infection. *The Journal of Agricultural Science*. 1999; 133(3):251-61. **doi:10.1017/S0021859699007005.**
- Cochec FL, Soreau P. Growth comparison of three beet varieties in terms of sowing date. *Sciences Agronomiques Rennes*. 1974; pp.129-148.
- Day W. A simple model to describe variation between years in the early growth of sugar beet. *Field Crops Research*. 1986; 14(3):213-220. **doi:10.1016/0378-4290(86)90059-6.**
- Doney DL. Seedling physiology and sugarbeet yield. *J.A.S.S.B.T.* 1979; 20(4):399-416.
- Ebrahimain HR, Jahad-Akbar MR. Investigation of sugar beet growth trend in Isfahan. Final Report, Sugar Beet Seed Institute, 1998; 77/616 (1999-02-22), pp. 43. [In Persian]
- Freckleton RP, Watkinson AR, Webb DJ, Thomas TH. Yield of sugar beet in relation to weather and nutrients. *Agricultural and Forest Meteorology*. 1999 Jan 25;93(1):39-51. **doi:10.1016/S0168-1923(98)00106-3.**
- Parsa S, Koocheki A, Nasiri Mahalati M, Ghaemi AR. Seasonal variation of radiation interception and radiation use efficiency in sugar beet (*Beta vulgaris L.*). *Iranian Journal of Field Crops Research*. 2007 Sep 23;5(2):229-38. **doi:10.22067/gsc.v5i2.919.** [In Persian]
- Gifford RM, Evans LT. Photosynthesis, carbon partitioning, and yield. *Annual Review of Plant Physiology*. 1981; 32(1): 485-509. **doi:10.1146/annurev.pp.32.060181.002413.**
- Goodman PJ. Physiological analysis of the effects of different soils on sugar beet crops in different years. *Journal of Applied Ecology*. 1968; 1: 339-57. **doi:10.2307/2401565.**
- Hashemi Dezfuli AH. *Crop Physiology Handbook*, Shahid Chamran University, 1996; pp. 115. [In Persian]

- Hashemi Dezfuli SA, Sharifi H, Gohari J, Alami Saeid Kh. Growth analysis and determination of important quality traits of multigerm sugar beet resistant to bolting in Dezfol region. Proceedings of the 4th Iranian Congress of Crop Production and Plant Breeding; 1999; Isfahan University of Technology, 1999; P. 109. [In Persian]
- Heidari AM. Quantitative and qualitative performance of 16 commercial sugar beet cultivars based on multivariate methods in West Azerbaijan region, Miandoab. Msc. Thesis, Uromia University, Faculty of Agriculture, 2003; pp. 215. [In Persian]
- Hodanova D. Structure and development of sugar beet canopy. 3. Chlorophyll characteristics. Photosynthetica, 1973; 7(4):338-344.
- Hoffmann CM. Importance of canopy closure and dry matter partitioning for yield formation of sugar beet varieties. Field Crops Research, 2019; 236:75–84. doi:10.1016/j.fcr.2019.03.013.
- Karimi MM, Siddique KH. Crop growth and relative growth rates of old and modern wheat cultivars. Australian Journal of Agricultural Research. 1991;42(1):13-20. doi:10.1071/AR9910013.
- Kenter C, Hoffmann CM, Märlander B. Effects of weather variables on sugar beet yield development (*Beta vulgaris* L.). European Journal of Agronomy. 2006 Jan 1;24(1):62-9. doi:10.1016/j.eja.2005.05.001.
- Kerkig P. Effect of plant density on quantitative and qualitative characteristics of autumn sugar beet cultivars in Sistan. Msc. Thesis, Sistan & Blochestan University, Faculty of Agriculture, 2001; pp. 78.
- Kolivand M. Study of sugar beet growth pattern in Kermanshah. Journal of Sugar Beet. 1995; 11(1&2):1-19. doi:10.22092/jsb.1996.116524. [In Persian]
- Kurosawa K, Saitoh H, Kinoshita T. Yearly fluctuation of yielding characters and the influence of meteorological factors in sugar beet cultivars. Memoirs of the Research Faculty of Agriculture, Hokkaido University. 1987; 15(4):363-370.
- Lambers H, Nagel OW, Van Arendonk JJ. The control of biomass partitioning in plants from “favourable” and “stressful” environments: a role for gibberellins and cytokinins. Bulgarian Journal of Plant Physiology. 1995; 21(2-3):24-32.
- Lauer JG. Sugar beet performance and interactions with planting date, genotype, and harvest date. Agronomy Journal. 1997; 89 (3):469-475. doi:0.3389/fpls.2018.01041.
- Launay M, Guerif M. Ability for a model to predict crop production variability at the regional scale: an evaluation for sugar beet. Agronomie, 2003; 23:135-146. doi:10.1051/agro:2002078.
- Lindquist JL, Arkebauer TJ, Walters DT, Cassman KG, Dobermann A. Maize radiation use efficiency under optimal growth conditions. Agronomy Journal. 2005; 97:72-78. doi:10.2134/agronj2005.0072.
- Mirzaei MR, Abdollahian-Noghabi M. Study of sugar beet growth pattern in Hamedan, Iran. Journal of Sugar Beet. 2012; 27(2):117- 134. doi:0.22092/jsb.2012.662. [In Persian]
- Mohammadi S. Study of effective factors on sugar beet production in Iran between 1341-1377. Msc. Thesis, Mazandaran University, Faculty of Humanities and Social Sciences, 1999; pp. 78. [In Persian]

- Najafinezhad H. Investigation of changes in sugar beet growth parameters in Moghan. Proceedings of the 2nd Iranian Congress of Crop Production and Plant Breeding; 1996; Karaj, Iran. 1995; P. 107. [in Persian]
- Öztürk Ö, Topal A, Aknerdem F, Akgün N. Effects of sowing and harvesting dates on yield and some quality characteristics of crops in sugar beet/cereal rotation system. Journal of the Science of Food and Agriculture. 2008 Jan;88(1):141-50. **doi:10.1002/jsfa.3061.**
- Qi A, Kenter C, Hoffmann C, Jaggard KW. The Broom's Barn sugar beet growth model and its adaptation to soils with varied available water content. European Journal of Agronomy, 2005; 23:108–122. **doi:10.1016/j.eja.2004.09.007.**
- Repka J, Rimar J, Lorencik L. Yield analysis of field crops and the process of yield formation under the conditions of the east Slovak lowlands. 3. Seasonal changes of the photosynthetic productivity of sugar beet. Pol'nohospodarstvo. 1975; 20(2): 93-104.
- Richter GM, Jaggard KW, Mitchell RA. Modelling radiation interception and radiation use efficiency for sugar beet under variable climatic stress. Agricultural and Forest Meteorology. 2001 Aug 1;109(1):13-25. **doi:10.1016/S0168-1923(01)00242-8.**
- Rinaldi M, Vonella AV. The response of autumn and spring sown sugar beet (*Beta vulgaris* L.) to irrigation in Southern Italy: water and radiation use efficiency. Field Crops Research. 2006 Feb 15;95(2-3):103-14. **doi:10.1016/j.fcr.2004.12.004.**
- Rinaldi M. Variation of specific leaf area for sugar beet depending on sowing date and irrigation. Italian Journal of Agronomy. 2003;7(1):23-32.
- Scott RK, English SD, Wood DW, Unsworth MH. The yield of sugar beet in relation to weather and length of growing season. The Journal of Agricultural Science. 1973 Oct;81(2):339-47. **doi:10.1017/S0021859600059001.**
- Scott RK, Jaggard KW. Impact of weather, agronomy and breeding on yields of sugarbeet grown in the UK since 1970. The Journal of Agricultural Science. 2000 Jun;134(4):341-52. **doi:10.1017/S0021859699007832.**
- Sögüt T, Aroglu H. Plant density and sowing date effects on sugarbeet yield and quality. Journal of Agronomy. 2004; 3(3):215-218. **doi:10.3923/ja.2004.215.218.**
- Spiegel MR. Mathematical handbook of formulas and tables. McGraw-Hill Pub. 1990. **doi:10.1036/0071548556.**
- Stibbe C, Märlander B. Field emergence dynamics significance to intraspecific competition and growth efficiency in sugar beet (*Beta vulgaris* L.). European journal of agronomy. 2002 Oct 1;17(3):161-71. **doi:10.1016/S1161-0301(02)00005-9.**
- Storer KR, Schmehl WR, Hecker RJ. Growth analysis studies of sugarbeet. Technical Bulletin, Colorado State University Experiment Station. No.118, 1973; 69pp.
- Terry N. Developmental Physiology of Sugar Beet: I. The influence of light and temperature on growth. Journal of Experimental Botany. 1968 Nov 1;19(4):795-811.

- Vandendriessche HJ. A model of growth and sugar accumulation of sugar beet for potential production conditions: SUBEMOpoII. Model performance. *Agricultural Systems*. 2000 Apr 1;64(1):21-35. **doi:10.1016/S0308-521X(00)00005-6.**
- Varga I, Loncaric Z, Kristek S, Kulundžic AM, Rebekic A, Antunovic M. Sugar beet root yield and quality with leaf seasonal dynamics in relation to planting densities and nitrogen fertilization. *Agriculture*; 2021, 11:407. **doi:10.3390/agriculture11050407.**
- Webb CR, Werker AR, Gilligan CA. Modeling the dynamical components of the sugar beet crop. *Annals of Botany*. 1997; 80:427-436. **doi:10.1006/anbo.1997.0461.**
- Werker AR, Jaggard KW, Allison MF. Modelling partitioning between structure and storage in sugar beet: effects of drought and soil nitrogen. *Plant and Soil*, 1999; 207(1):97–106. **doi:10.1023/A:1004444128026.**
- Wyse RO. Parameters controlling sucrose content and yield of sugarbeet roots. *The American Society Of Sugar Beet Technologists*. 1979; 20(44):368-85. **doi:10.5274/JSBR.20.4.368.**