

شبیه سازی اثر سطوح مختلف نیتروژن بر رشد و عملکرد چغندر قند

Simulation of sugar beet growth and yield under different nitrogen levels

سمر خیامیم^{۱*}، محمد بنایان اول^۲، حمید نوشاد^۳ و فرانک روزبه^۴

تاریخ دریافت: ۹۳/۷/۱۶؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۲/۱۱

س. خیامیم، م بنایان اول، ح. نوشاد و فرانک روزبه. ۱۳۹۴. شبیه سازی اثر سطوح مختلف نیتروژن بر رشد و عملکرد چغندر قند. چغندر قند، ۳۱(۱): ۱۵-۱

چکیده

با استفاده از مدل‌ها عملکرد محصول و مصرف نهاده‌هایی مانند کود را می‌توان پیش‌بینی کرد و بحران‌های احتمالی در آینده کوتاه مدت را برنامه‌ریزی و مدیریت نمود. بر اساس مدل، تأثیر کود نیتروژن بر توزیع ماده خشک بین اندام هوایی و ریشه چغندر قند برآورد شد. برای ساخت مدل از اطلاعات آزمایشی اجرا شده در کرج در سال ۱۳۸۰ استفاده گردید. ورودی‌های مدل تشعشع خورشیدی، نیتروژن مصرفی و برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی چغندر قند شامل راندمان مصرف نور، سطح ویژه برگ، ضریب توزیع مواد بین ریشه و اندام هوایی بود. در این مدل ۱۱ متغیر، شامل شش پارامتر مستقل و پنج پارامتر با اثر متقابل تعریف شد که کمتر از مدل‌های مشابه بود. راندمان مصرف نور و سطح ویژه برگ برای منطقه کرج واسنجی شد. برای اعتبار سنجی مدل از نتایج آزمایشی طی سال‌های ۸۲-۸۰ و آزمایش دیگری در سال ۱۳۸۸ در کرج استفاده شد. مقادیر شبیه‌سازی شده ماده خشک کل و ماده خشک ریشه و پوشش گیاهی توسط مدل به مقادیر مشاهده‌ای به خوبی برازش یافت و تأثیر نیتروژن بر توزیع مواد بین اندام‌های مختلف مشخص گردید. در این مدل عملکرد شکر نیز بر اساس نیتروژن در حد مناسبی برآورد شد. جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) بین مقادیر شبیه‌سازی شده توسط مدل با مقادیر واقعی برای ماده خشک ریشه، کل ماده خشک گیاه و عملکرد شکر به ترتیب برابر ۱۲/۸۶، ۱۷/۵۷ و ۲۰/۶۲ درصد به دست آمد که نشان‌دهنده برازش خوب مدل به ماده خشک ریشه و کل ماده خشک گیاه و برازش مناسب به عملکرد شکر در سطوح نیتروژن مورد مطالعه بود.

واژه‌های کلیدی: تشعشع خورشیدی، توزیع ماده خشک، شبیه‌سازی رشد، عملکرد شکر

۱- استادیار مؤسسه تحقیقات چغندر قند - کرج * نویسنده مسئول samar.khayam@gmail.com

۲- دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد- مشهد

۳- مربی مؤسسه تحقیقات چغندر قند - کرج

۴- مربی مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر - کرج

مقدمه

تشعشع استفاده می‌شود. در مدل SUBEMOp که یک برنامه اصلی و ۱۱ زیربرنامه دارد ماده خشک و ذخیره قند بر اساس تعادل کربن شبیه‌سازی می‌شود به عبارتی برای این منظور تنفس نگهداری و تنفس رشد از مقدار کل اسیمیلاسیون دی اکسید کربن کم می‌گردد (Vandendriessche 2000 a,b). در مدل SBEET شبیه‌سازی نمو فنولوژیک، توسعه و پیر شدن سطح برگ به صورت تابعی از درجه حرارت و شبیه‌سازی تجمع ماده خشک به صورت تابعی از تشعشع، درجه حرارت، دی اکسید کربن و موازنه آب خاک صورت می‌گیرد (Soltani *et al.* 2005).

علاوه بر افزایش تجمعی تابش خورشیدی، راندمان مصرف نور نیز برای برآورد ماده خشک تولیدی بسیار حائز اهمیت است. راندمان مصرف نور بسته به محیط و یا وارته گیاهی می‌تواند متفاوت باشد به طوری که در اقلیم‌های معتدل (مانند اروپا) زراعت چغندر قند با روزهای آفتابی کمی مواجه بوده و بنابراین سایه‌انداز آن برای مدت طولانی در حد اشباع قرار نمی‌گیرد. از این رو مقدار کل زیست توده زنده تولید شده ارتباط نزدیکی با مقدار تشعشع دریافتی دارد. در نقاطی که به استوا نزدیکتر هستند تشعشع شدیدتر می‌باشد. بنابراین سایه‌انداز می‌تواند از نظر نوری اشباع شود به ویژه در اقلیم‌های گرم که مقدار ابر کم‌تر است (Anonymous 1998). بدین ترتیب در ایران که مقدار تشعشع زیاد است، کسر رابطه زیاد و در نتیجه مقدار راندمان مصرف نور کاهش خواهد یافت (Soltani *et al.* 2005). استفاده از ارقام مختلف نیز بر راندمان مصرف نور مؤثر است به طوری که راندمان مصرف نور برای ارقام ایرانی حدود ۰/۰۰۱۴ و برای ارقام خارجی حدود ۰/۰۰۱۹ کیلوگرم بر مگاژول گزارش شده است (Sadeghzadeh Hemayati 2009).

در علوم کشاورزی استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی در حال گسترش می‌باشد و در رشته‌های مختلف فیزیولوژی گیاهان زراعی، خاکشناسی، هوا و اقلیم‌شناسی کشاورزی، بیماری‌های گیاهی و غیره و کاربرد دارند. در یک مدل شبیه‌سازی، روابط موجود بین فرآیندهای مختلف رشد یک گیاه استخراج می‌گردد. سپس این فرآیندها به صورت کمی ارائه شده و روابط موجود در قالب یک برنامه کامپیوتری گنجانده می‌شود. با استفاده از این قبیل برنامه‌ها می‌توان تغییرات یک سیستم را نسبت به زمان پیشگویی نمود (Nasiri Mahalati 2000).

اهمیت گیاه چغندر قند از نظر تولید شکر، توجه بسیاری از محققین مدل‌ساز را برای ساخت و معرفی مدل‌های رشد این گیاه به خود جلب نموده به طوری که از حدود ۴۰ سال گذشته (Fick *et al.* 1973) این روند آغاز و تاکنون ادامه داشته است. زمینه تحقیقاتی این مدل‌ها متفاوت بوده به طوری که به بررسی اثر تغییرات سال بر رشد اولیه، پیش‌بینی عملکرد بر اساس صفات فیزیولوژیک، مطالعه هزینه‌های رشد چغندر قند، بهبود مدیریت تولید کشاورزان چغندر کار بر اساس کود نیتروژن، تراکم، تاریخ برداشت و تاریخ تحویل به کارخانه پرداخته شده است (Weeden 2000).

از برآوردهای مهم در مدل‌های زراعی برآورد ماده خشک و سایه‌انداز گیاهان است که به عنوان تابعی از تشعشع و یا درجه حرارت محاسبه می‌شوند. رشد، حاصل افزایش تجمعی تابش خورشیدی و راندمان مصرف نور است. بنابراین در هر روز که منابع توسط گیاه جذب می‌شود سهم کوچک اما مهمی در عملکرد نهایی خواهند داشت (Jaggard *et al.* 2009). از این رو در بسیاری از مدل‌ها برای شبیه‌سازی ماده خشک تجمعی از

پارامترهای مورد نیاز، آزمایش‌هایی طراحی و اجرا شوند (Mohammadian 2010).

نقش اصلی نیتروژن در چغندر قند تولید سایه‌انداز گیاه است. نیتروژن می‌تواند بر روی کارایی مصرف نور اثر گذارد اما در نیمه دوم رشد چغندر قند، کارایی مصرف نور را بهبود نمی‌دهد (Jaggard *et al.* 2009). اولین مدل کودی نیتروژن برای تغذیه چغندر قند در ایران به صورت یک مدل تجربی و صرفاً با اطلاعات خاکشناسی و بدون در نظر گرفتن اطلاعات گیاه به صورت یک مدل جامع کامپیوتری ارائه شد (Khademi *et al.* 2001). اما در مدل‌های توصیفی اثرات نیتروژن معدنی خاک بر روی توزیع مواد فتوسنتزی بین اندام‌های مختلف گیاه به صورت معادلات رگرسیونی خطی و درجه دوم ارائه شده است (Soltani *et al.* 2006).

در چغندر قند نیز این اثر بر توزیع مواد فتوسنتزی بین اندام‌هوایی و ریشه ذخیره‌ای و غیرذخیره‌ای در طی فصل رشد با کمک یک تابع ساده غیرخطی شبیه‌سازی شد. در این مدل نفوذ نور با استفاده از اندازه‌گیری غیرتخریبی محاسبه و با کمک آن مقدار کل ماده فتوسنتزی در دسترس محصول تخمین زده شد. میزان پوشش برگ نیز با کمک تابع میچرلیخ مشخص شد. به عبارتی میزان تولید مواد فتوسنتزی وابسته به میزان تشعشع، راندمان مصرف نور و پوشش برگ (کسری از نور جذب شده توسط کانوپی گیاه) بود لذا پارامترهای تشعشع با توجه به اطلاعات ۳۰ ساله آب و هوا، پارامترهای پوشش برگ با برآزش اطلاعات تجربی برای هر سری داده‌ها به پوشش برگ، و پارامترهای توزیع مواد فتوسنتزی با توجه به برآزش تابع لجستیکی نزولی به اطلاعات نیتروژن خاک به دست آمد (Web *et al.* 1997). خیامیم (2001) با استفاده از مدل وب و همکاران (1997) به

برآورد سایه‌انداز گیاه یکی از شاخص‌های مهم در مدل‌ها می‌باشد که در بیشتر مدل‌ها بر اساس تابعی از تشعشع قابل اندازه‌گیری است (Kropff and Vanlaar 1993; Soltani *et al.* 2005). اما اخیراً روش‌های جدیدتری برای برآورد سطح سایه‌انداز گیاه همانند نمایه نرمال تفاوت رویشی (Normalized difference vegetative index: NDVI) دسترس می‌باشد که با کمک حس‌گرهایی بر اساس اختلاف بازتابش نور قرمز و قرمز دور سطح سایه‌انداز محاسبه می‌گردد. مقدار این شاخص در مرحله برداشت با عملکرد شکر چغندر قند و مقدار کل نیتروژن اندام هوایی مرتبط می‌باشد (Gehl and Boring 2011).

اولین کارهای تحقیقاتی مدل در مؤسسه تحقیقات چغندر قند با مدل اینترکام (INTERCOM) (Kropff and Vanlaar 1993) آغاز شد. با انتخاب مدل اینترکام و استفاده از اطلاعات خام مناطق کرج و کرمانشاه در شرایط بدون رقابت با علف‌هرز مشاهده شد که بین منحنی شاخص سطح برگ برآورد شده توسط مدل و مقادیر مشاهده‌ای تفاوت زیادی وجود داشت (Gohari 2001; Gohari and Khayamim 2006). هم‌چنین در برآزش مدل اینترکام به داده‌هایی در انگلیس مشاهده شد که مدل دارای کارایی و دقت مناسب برای پیش‌بینی تغییرات شاخص سطح برگ و وزن خشک چغندر قند در رقابت با سلمه و تک کشتی بود. اما پیش‌بینی سطح برگ با تأخیر حدود یک هفته انجام شد (Abdollahian Noghbi and Khayamim 2008) به عبارتی در این آزمایشات سایه‌انداز و پوشش گیاه به خوبی برآورد نگردید. با توجه به تفاوت اقلیم ایران با اروپا و تفاوت ضرایب مدل‌ها در ایران و نیز اختلاف شبیه‌سازی در پوشش گیاهی، لازم بود برای برآزش بهتر مدل اینترکام و برآورد دقیق‌تر

نیتروژن مصرفی برای زراعت چغندر قند است و خروجی آن ماده خشک اندام هوایی، ریشه و عملکرد شکر می باشد. به عبارتی در این مدل، رشد چغندر قند در ارتباط با مقدار نیتروژن مصرفی برآورد می گردد. در این شرایط رشد گیاه تحت تأثیر عوامل اقلیمی و فیزیولوژی گیاه و نیز سطوح مختلف کود نیتروژن می باشد. در واقع اثر نیتروژن خاک بر توزیع مواد فتوسنتزی بین اندام هوایی و ریشه ذخیره ای به کمک یک تابع ساده غیرخطی بررسی می گردد. شبیه سازی در سطح تراکم ۱۰۰ هزار بوته در هکتار که سطح مطلوب تراکم است، انجام شد. برای اجرا و تهیه مدل از نرم افزار مدل ساز نسخه ۳.۰.۳ (Model maker Ver. 3.0.3) تحت ویندوز استفاده شد (شکل ۱). در مرحله (۱) اجرای مدل، داده های آب و هوا از اطلاعات ایستگاه هواشناسی کرج به صورت فایل متنیبه مدل داده شد. داده های هواشناسی مدل شامل روزهای دوره رشد براساس روز اول ژانویه (Julian day) و تشعشع خورشیدی (مگاژول در مترمربع در روز) بود. مقدار کل مواد فتوسنتزی تولید شده (Biomass) از حاصل ضرب تشعشع کل (radiation) (برگرفته از اطلاعات روزانه ایستگاه هواشناسی)، درصدی از نور که جذب سایه انداز گیاه (Foliage) می گردد (جدول ۲) و راندمان مصرف نور (RUE) (جدول ۳) به دست آمد.

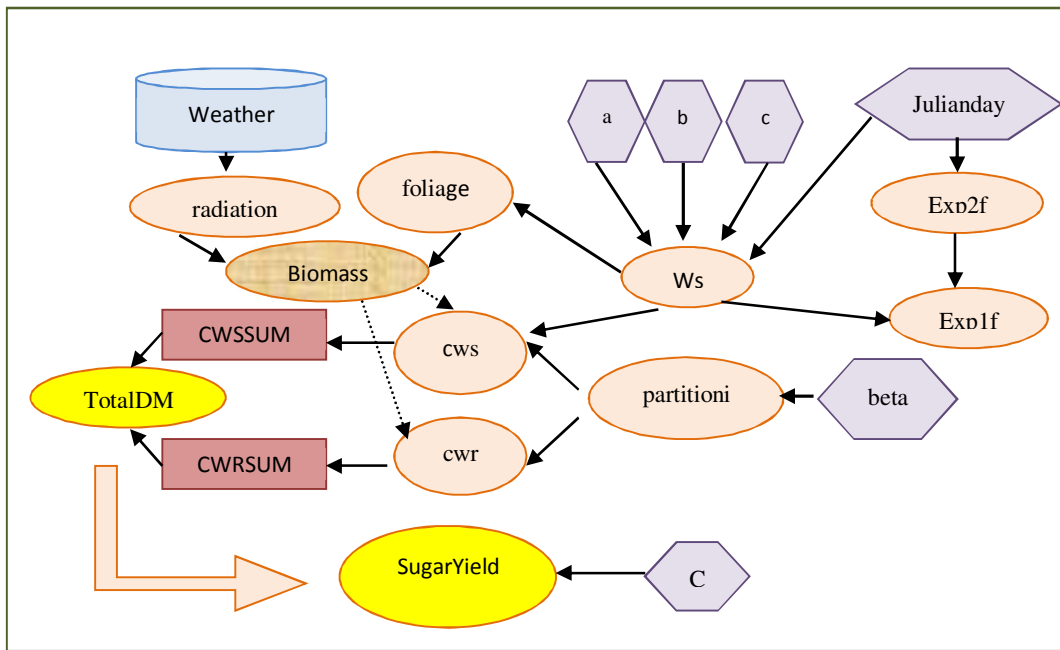
شبیه سازی اثر نیتروژن بر ماده خشک اندام هوایی و ریشه به صورت یک ساله پرداخت و اثر نیتروژن بر روی یکی از ضرایب توزیع (b) را بررسی و سایر ضرایب مربوط به توزیع مواد بین اندام های مختلف گیاه را به طور ثابت در نظر گرفت. با توجه به این که واسنجی این مدل بر اساس اطلاعات یک ساله انجام شد، تأثیر نیتروژن بر عملکرد به خوبی برآورد نشد و عملکرد شکر نیز توسط این مدل برآورد نشد. لذا لزوم شبیه سازی مجدد توسط این مدل و اعتبارسنجی دقیق تر ضروری به نظر می رسید. بنابراین مدل با هدف پیش بینی عملکرد ریشه و شکر چغندر قند در سطوح مختلف نیتروژن واسنجی و توسعه گردید.

مواد و روش ها

با استفاده از اطلاعات سال اول آزمایش سه ساله (جدول ۱) (Gohari and Khayamim 2006)، شبیه سازی رشد چغندر قند و تولید شکر توسط مدل وب و همکاران (1997) در شرایط مطلوب از نظر آب و مواد غذایی (به جز نیتروژن) و در محیطی عاری از آفت، بیماری و علف هرز با اندکی تغییرات که در ذیل به آن ها اشاره می شود، انجام شد. ورودی اصلی مدل تغییر یافته وب و همکاران (1997) مقدار تشعشع روزانه و مقدار

جدول ۱ مشخصات کلی آزمایشات مورد استفاده در مدل

آزمایش	سال	تاریخ کاشت	تعداد روز از اول ژانویه	تاریخ برداشت	تعداد روز از اول ژانویه	تعداد نمونه برداری	رقم	منبع
۱	۱۳۸۰ (۲۰۰۱)	۸ اردیبهشت	۱۱۸	۷ آذر	۳۳۲	۱۰ بار	BR1	Gohari and Khayamim 2006
	۱۳۸۱ (۲۰۰۲)	۲۸ اردیبهشت	۱۳۸	۸ آبان	۳۰۳	۵ بار		
۲	۱۳۸۲ (۲۰۰۳)	۲۱ اردیبهشت	۱۳۱	۱۵ آبان	۳۱۰	۳ بار	زرقان	Noshad 2012
	۱۳۸۸ (۲۰۰۹)	۳ اردیبهشت	۱۱۳	۵ آبان	۳۰۰	۱ بار		



شکل ۱. فلوچارت مراحل اجرای مدل توسط نرم‌افزار Model maker Ver. 3.0.3

(جدول ۲). TotalDM مجموع کل ماده خشک اندام‌هوایی (CWSSUM) و مجموع ماده خشک ریشه (CWRSUM) است که مقادیر این پارامترها براساس رابطه‌ها و معادلات ارائه شده در مدل، به وسیله انتگرال‌گیری نسبت به زمان، محاسبه شده و مقدار تجمعی آن‌ها برآورد می‌گردد.

کلید پارامترهای مورد استفاده در مدل و معادلات در جدول ۳ ارائه شده است. در مرحله بعدی اجرای مدل مقدار ماده خشک اندام‌هوایی (CWS)، و مقدار ماده خشک ریشه ذخیره‌ای (CWR) برحسب کیلوگرم در مترمربع و مقدار ماده خشک اختصاص داده شده برای شکر (Sugar Yield) محاسبه شد

جدول ۲. متغیرهای مورد استفاده در مدل

معادله مورد استفاده	واحد	توضیح	متغیر
-	تعداد روز از اول ژانویه	زمان (۱۱۸=۲۰۰۱، ۱۳۸=۲۰۰۲، ۱۳۱=۲۰۰۳)	Julian day (JD)
-	مگاژول در متر مربع در روز	تشدید خورشید	radiation
$RUE * foliage * radiation$	کیلوگرم در متر مربع در روز	ماده خالص فتوسنتزی تولیدی	Biomass
-	کیلوگرم در متر مربع	ماده خشک برگ	Weight of shoot (Ws)
$f_{max} (1 - \exp1f)$ $\exp1f = \exp(-Ws * SLA * \exp2f)$ $\exp2f = \exp(-kf * (t - JD))$	-	سایه اندازه گیاه (پوشش برگی)	Foliage
-	-	توزیع مواد فتوسنتزی به اندام‌های مختلف	Partitioning
-	کیلوگرم در هکتار	مقدار نیتروژن خاک (۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰)	N
$Partitioning^2 * Biomass - (Vs * Ws)$	کیلوگرم در متر مربع	ماده خشک اندام‌هوایی	CWS
$(1 - Partitioning) * Biomass$	کیلوگرم در متر مربع	ماده خشک ریشه	CWR
$CWSSUM + CWRSUM$	کیلوگرم در متر مربع	کل ماده خشک	TotalDM
$TotalDm * Co$	تن در هکتار	عملکرد شکر	Sugar Yield

بهترین منحنی به داده‌های ماده خشک اندام‌هوایی، ریشه و عملکردشکر برآزش داده شد. به عبارتی بین نیتروژن و صفات فوق‌الذکر رابطه برقرار شد و بهترین مدل‌های عامل تسهیم در طول زمان برای ماده خشک اندام‌هوایی، ریشه و عملکرد شکر، به دست آمد (جدول ۴).

فرض بر این بود که مقادیر نیتروژن خاک و مقادیر نیتروژن جذب شده توسط گیاه بر میزان ماده خشک برگ و ریشه، شکر و نیز بر عامل توزیع مواد (partitioning) مؤثر خواهند بود. برای تعیین عامل تسهیم در طی دوره رویش، نسبت وزن خشک اندام‌هوایی به کل وزن خشک در تیمارهای کود نیتروژن، به دست آمد. سپس با کمک نرم‌افزار اسلاید رایت (Slide write)،

جدول ۳ پارامترها و مقادیر تخمینی به کار رفته در مدل

پارامتر	توضیح	واحد	مقدار مورد استفاده در مدل	مقادیر ذکر شده در منابع
RUE	راندمان مصرف نور	کیلوگرم بر مگاژول	0.0012	0.0008(Khayamim 2001) 0.0012(Gohari and Khayamim 2006) 0.0013(Soltani et al. 2005) 0.0014-0.0019(SadeghzadehHemayati 2008) 0.0015-0.0023(yousefabadi 2010) 0.0018(Web et al. 1997) 0.0017-0.0019(Anonymous 1998)
fmax	حداکثر پوشش	مترمربع برگ در مترمربع زمین	0.95	
SLA	سطح ویژه برگ	متر مربع در کیلوگرم	10.69	10.69(Gohari and Khayamim 2006) (Shokuhfar 2001)13.21 21.75(Web et al. 1997) 20(Kropff and Vanlaar 1993)
Kf	سرعت زوال SLA	در روز	0.014	0.07(Web et al. 1997) (Gohari and Khayamim 2006)0.014
Ts	روز کاشت	روز از اول ژانویه		
vs	سرعت پیری برگ	در روز	0.001	(Kropff and Vanlaar 1993)·0.0006 0.24(Mohammadian 2009)

جدول ۴ ضرایب و معادلات بکار رفته در مدل (برآزش توسط نرم‌افزار Slide write)

ضریب	توضیح	معادله
beta	ضریب مرتبط با عامل توزیع	$0.22(1.005^{N^*})(N^*-0.16)$
a	ضریب مرتبط با سهم ماده خشک اندام هوایی	$0.0000045 \cdot 0.999^{N^*} \cdot N^{2.83}$
b	ضریب مرتبط با سهم ماده خشک اندام هوایی	$\text{Exp}(-53.17 + (1458.075/N) + 9.32 \cdot \ln(N))$
c	ضریب مرتبط با سهم ماده خشک اندام هوایی	$1/(-11.59 + 0.5N - 0.001N^2)$
Co	ضریب مرتبط با عملکرد شکر	$4.29 - 0.01N + 0.000028N^2$

N* مقدار نیتروژن بر حسب کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار

۰/۰۰۱۲ کیلوگرم به مگاژول بوده که این مقادیر کمتر از مقادیر به کاررفته در مدل اصلی (Web et al. 1997; Anonymous 1998) است زیرا ایران جزء مناطق خشک با روزهای آفتابی زیادی است لذا سایه انداز گیاه زودتر به اشباع رسیده و راندمان مصرف نور کمتر خواهد بود (Werker and Jaggard 1998; Soltani et al. 2005).

سطح ویژه برگ در ایران حدود ۱۰ (جدول ۳) بود که نصف مقدار اصلی مدل (Web et al. 1997) می باشد. سطح ویژه برگ معیاری از وزن مخصوص یا نازکی برگ است که می تواند نشان دهنده توانایی فتوسنتز گیاه نیز باشد. به طوری که هر چه مقدار سطح ویژه برگ بیشتر باشد، برگ نازک تر بوده و کارایی فتوسنتزی کمتری خواهد داشت (Karimi and Azizi 1994). این شاخص تحت تأثیر پارامترهای محیطی قرار می گیرد به طوری که برگ های رشد کرده در سایه دارای سطح بیشتر، نازک تر و فتوسنتز در واحد سطح این گیاهان نیز در نور زیاد کمتر است. می توان چنین استنباط کرد که در اروپا به علت پایین بودن تشعشع، برگ ها دارای سطح بیشتر نسبت به وزن (سطح ویژه بیشتر) و نازک تر هستند اما در ایران به علت تشعشع زیاد، برگ ها کلفت تر بوده و مقدار سطح ویژه آن ها کمتر می باشد. برگ های کلفت کارایی بیشتری در فتوسنتز دارند اما به نظر می رسد به علت سرعت زیاد اضمحلال آن ها، گیاه چغندر قند در ایران از فرصت کافی برای به حداکثر رساندن توانایی فتوسنتزی خود برخوردار نیست.

برآورد مدل از ماده خشک اندام هوایی و ریشه در سطوح مختلف نیتروژن با مقادیر مشاهده ای آزمایش سال اول (جدول ۱) مطابقت داشت (شکل ۲). با به کار بردن ضرایب بومی ایران (جدول ۳) مدل برآورد خوبی از درصد پوشش برگی ارائه کرد (شکل ۳) در حالی که در مطالعات قبلی (Gohari and

برای آزمون و اعتبارسنجی مدل از اطلاعات سه ساله آزمایش (Gohari and Khayamim 2006) و آزمایش (Noshad 2012) (جدول ۱) استفاده شد. برای این منظور لازم بود مقادیر تخمینی توسط مدل با مقادیر مشاهده شده مورد مقایسه آماری قرار گیرد. برای این منظور از شاخص جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) (معادله ۱) استفاده شد (Bannayan and Cruot 1999).

$$RMSE (\%) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}{n}} \cdot \frac{100}{O} \quad (1)$$

S_i مقدار تخمینی توسط مدل، O_i مقدار مشاهده ای و n تعداد مشاهدات و \bar{O} میانگین مقدار مشاهدات می باشد. انحراف معیار پیش بینی های مدل نیز محاسبه شد. اگر مقدار RMSE کمتر از ۱۰ درصد باشد برآورد مدل در حد عالی، اگر بین ۱۰-۲۰ درصد باشد برآورد مدل خوب، اگر بین ۲۰-۳۰ درصد باشد برآورد مدل تا حدی مناسب و بیشتر از ۳۰ برآورد مدل بد می باشد (Bannayan and Cruot 1999). هم چنین منحنی رگرسیونی خطی بین مقادیر تخمینی توسط مدل و مقادیر مشاهده ای توسط نرم افزارهای سیگما پلات و اکسل ترسیم شد. علاوه بر ضریب جذر میانگین مربعات خطا، ضریب تبیین (R^2) نیز بین داده های مشاهده ای و تخمینی برای صفات مورد نظر توسط نرم افزار SPSS 16 محاسبه گردید.

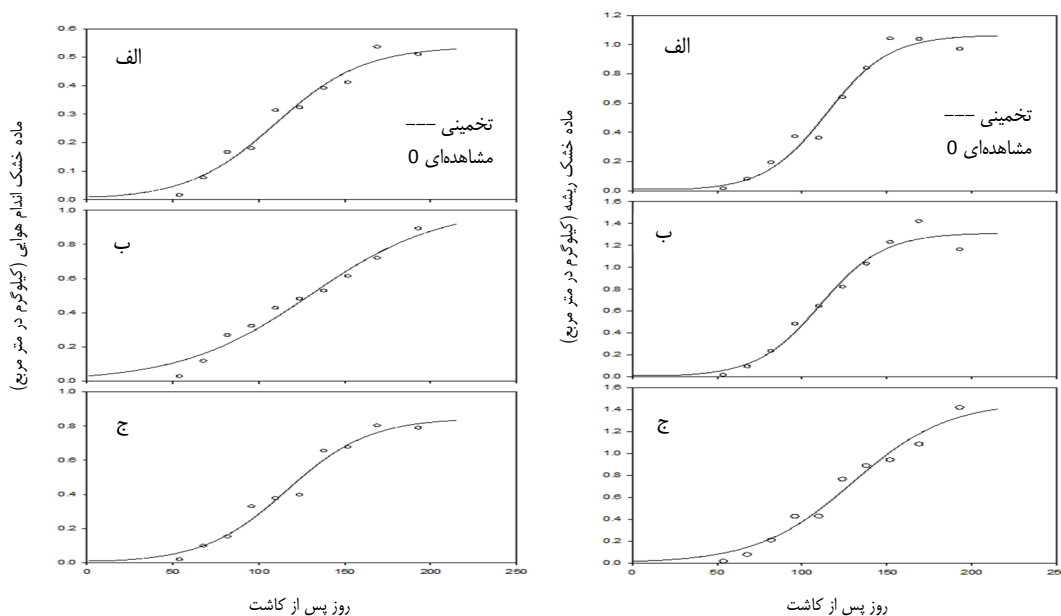
نتایج و بحث

بسیاری از پارامترهای مورد استفاده در مدل مانند مقادیر راندمان مصرف نور، سطح ویژه برگ و سرعت زوال برگ های چغندر قند در ایران با منابع ذکر شده در اروپا متفاوت بود (جدول ۳). راندمان مصرف نور در ایران به طور میانگین حدود ۰/۰۰۱۴-

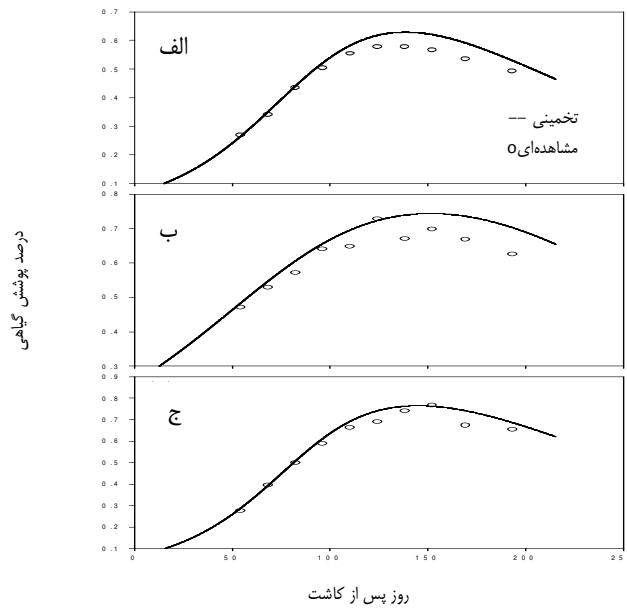
خشک و شکر به ترتیب برابر ۱۹/۵۷، ۱۹/۰۸، ۱۶/۵۴ و ۱۷/۳۳ درصد بود (جدول ۵) که نشان می‌دهد این ضرایب برای کلیه صفات ارزیابی شده در محدوده خوب (یعنی ۲۰-۱۰ درصد) قرار دارد به عبارتی بر آورد مدل خوب بوده است. در مورد مقادیر برآورد شده توسط مدل با مقادیر مشاهده‌ای شکر در سطح ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار (شکل ۵) انحرافاتی وجود دارد که شاید به این دلیل باشد که مدل در سطوح کم نیتروژن خاک (بدون مصرف کود و بر اساس نیتروژن موجود در خاک) دارای انحرافاتی است این نتایج در اعتبار سنجی مدل بر اساس آزمایش دو (شکل ۶ و جدول ۵) نیز مشاهده شد لذا نیاز است در مدل‌های آتی به برآوردها در شرایط بدون مصرف کود، توجه بیشتری شود یا برآورد شکر در مدل باید با قراردادن رابطه در مدل و نه فقط یک ضریب خاص محاسبه گردد

(Khayamim 2006) به علت این که بعضی ضرایب به‌طور دقیق برای ایران مشخص نبود، بین مقادیر شاخص سطح برگ برآورد شده توسط مدل و مقادیر مشاهده‌ای تفاوت زیادی وجود داشت حتی با وجود تغییر مقادیر پارامترهایی مثل رشد نسبی برگ‌ها، اسمیلاسیون دی اکسید کربن و مرگ نسبی برگ‌ها در آن آزمایش، مدل نتوانست برآورد مناسبی از شاخص سطح برگ داشته باشد (Gohari and Khayamim 2006).

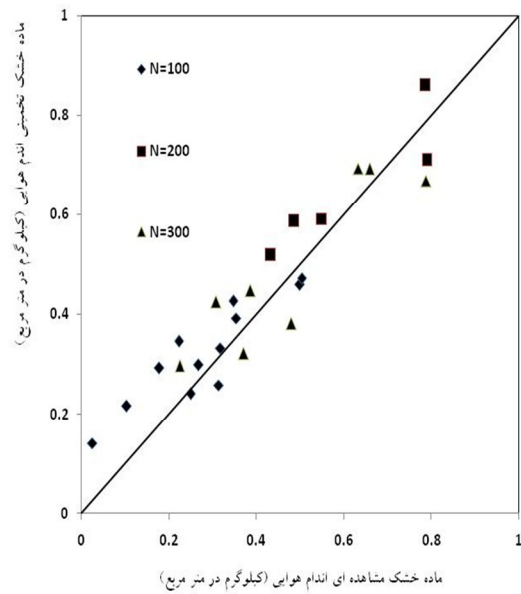
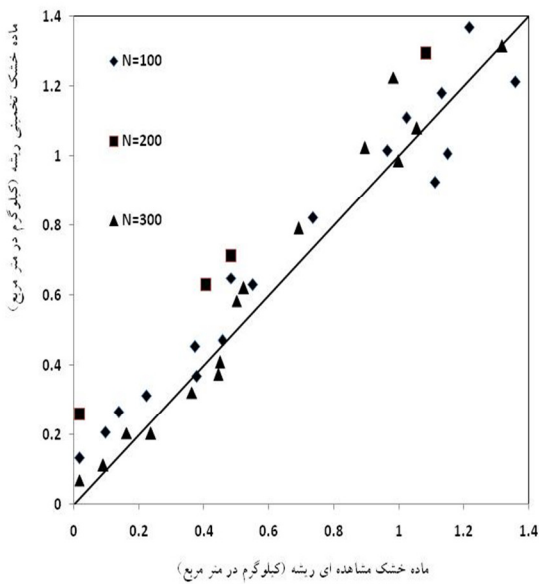
منحنی رگرسیون خطی مقادیر تخمینی توسط مدل با مقادیر مشاهده‌ای طی سه سال آزمایش ۱ (جدول ۱) نشان داد که مدل برآورد مناسبی از ماده خشک اندام هوایی، ریشه، کل ماده خشک و عملکرد شکر پیش بینی کرده است (شکل‌های ۴ و ۵). به طوری که جذر میانگین مربعات خطا بین مقادیر مشاهده‌ای و تخمینی مدل برای ماده خشک ریشه، اندام هوایی، کل ماده



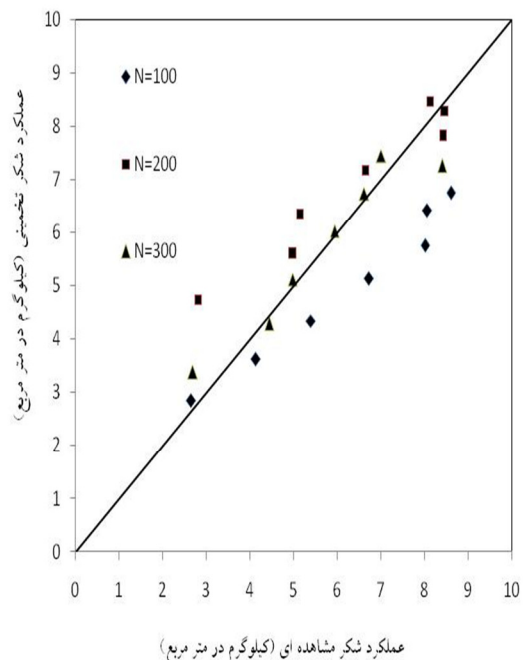
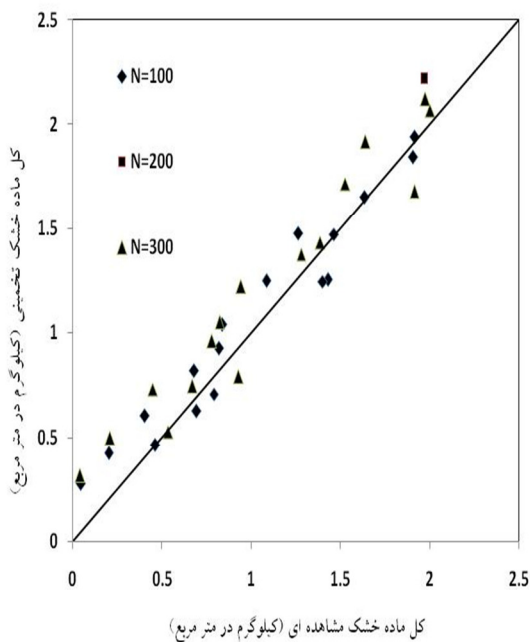
شکل ۲ مقایسه ماده خشک اندام هوایی (چپ) و ریشه (راست) بین مقادیر تخمینی و مشاهده‌ای در سطوح مختلف نیتروژن (الف) = ۱۰۰، ب = ۲۰۰ و ج = ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار) طی سال ۱۳۸۰



شکل ۳ مقایسه درصد پوشش اندام هوایی بین مقادیر تخمینی و مشاهده‌ای در سطوح مختلف نیتروژن (الف=۱۰۰، ب=۲۰۰ و ج=۳۰۰ کیلوگرم در هکتار) طی سال ۱۳۸۰



شکل ۴ منحنی ۱:۱ خطی بین مقادیر تخمینی و مشاهده‌ای ماده خشک اندام هوایی (راست) و ریشه (چپ) طی سه سال آزمایش یکدر سطوح مختلف نیتروژن (۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار)



شکل ۵ خط ۱:۱ ترسیم شده بین مقادیر تخمینی و مشاهده ای کل ماده خشک (چپ) و شکر چغندر قند (راست) طی سه سال آزمایش یک در سطوح مختلف نیتروژن (۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار)

۰/۹۵، ۰/۹۲، ۰/۹۵ و ۰/۸۳ درصد و معنی دار بود (جدول ۵). یعنی مدل حداقل ۸۳ و حداکثر ۹۵ درصد تغییرات را تبیین می کند و تنها پنج تا بیست درصد (ماده خشک اندام هوایی) حامل خطا می باشد.

علاوه بر ضریب جذر میانگین مربعات خطا، ضریب تبیین نیز بین داده های مشاهده ای و تخمینی برای صفات مورد نظر محاسبه گردید و مشاهده شد که ضریب تبیین برای صفات ماده خشک اندام هوایی، ریشه و کل ماده خشک و شکر به ترتیب

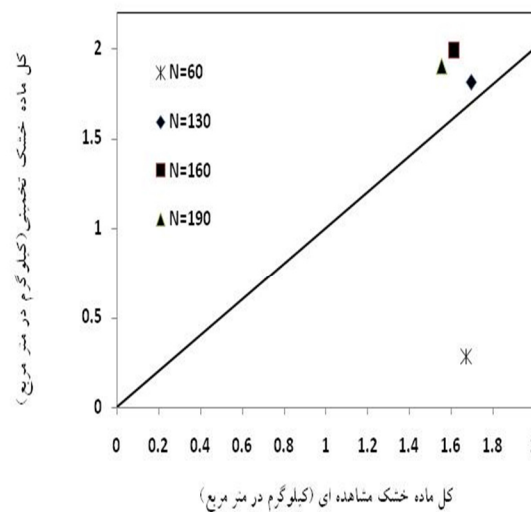
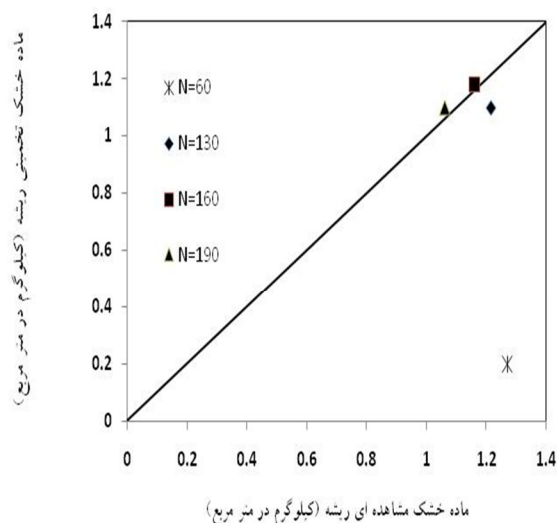
جدول ۵ مشخصات مدل و سطح اطمینان آن برای صفات مورد ارزیابی در مدل

آزمایش	صفت	جذر میانگین مربعات % (RMSE)	ضریب تبیین % (R ²)	تعداد نمونه	حساسیت مدل
۱	ماده خشک اندام هوایی	۱۹/۰۸	۰/۹۲	۲۷	خوب
	ماده خشک ریشه	۱۹/۵۷	۰/۹۵	۳۹	خوب
	کل ماده خشک	۱۶/۵۴	۰/۹۵	۳۶	خوب
	عملکرد شکر	۱۷/۳۳	۰/۸۳	۲۳	خوب
۲	ماده خشک اندام هوایی	۶۳/۴۳	۰/۸۱	۳	بد
	ماده خشک ریشه	۶/۱۵	۰/۹۹	۳	عالی
	کل ماده خشک	۱۸/۵۹	۰/۹۶	۳	خوب
	عملکرد شکر	۲۳/۹۱	۰/۹۲	۳	در حد مناسب

این مدل با مدل‌های قبلی (Khayamim 2001, Web *et al.* 1997) در شبیه‌سازی عملکرد شکر بر اساس مقدار نیتروژن بود که علاوه بر شبیه‌سازی ماده خشک انجام شد. به طوری که پیش بینی عملکرد شکر به صورت رابطه‌ای با کل ماده خشک و نه فقط عملکرد ریشه و بر اساس نیتروژن صورت گرفت. به عبارتی در این مدل تشعشع دریافتی در هر سال با تأثیر بر فتوسنتز و تولید کل زیست توده گیاه، و مقدار نیتروژن با تأثیر بر توزیع مواد به اندام‌های مختلف و کل ماده خشک توانستند عملکرد شکر را پیش‌بینی نمایند که مقایسه مقادیر تخمینی با مشاهده‌ای نشان می‌دهد که این برآورد برای آزمایش اول در حد خوب و برای آزمایش دوم در حد مناسب است (جدول ۵). مقدار مجذور مربعات خطا بین مقادیر مشاهده‌ای و تخمینی شاخص مناسبی است که در مطالعات مختلف مدل‌سازی جهت برآورد مدل به کار می‌رود (Soltani *et al.* 2005; Richter *et al.* 2001) به طور مثال این مقدار در برآورد عملکرد ریشه توسط مدل SBEET نیز حدود ۱۱/۷ بود که نشانه برآورد مناسب مدل بوده است (Soltani *et al.* 2005).

هم‌چنین به منظور تکمیل واسنجی مدل، منحنی رگرسیون خطی مقادیر تخمینی توسط مدل با مقادیر مشاهده‌ای طی سال ۱۳۸۸ آزمایش دو (جدول ۱) انجام شد. نظر به این که در این آزمایش نمونه برداری در طول دوره رشد انجام نشد لذا منحنی برازش داده شده فقط به اعداد زمان برداشت برازش یافت. نتایج نشان داد مقدار تخمینی ماده خشک ریشه برای سطوح نیتروژن ۱۳۰، ۱۶۰ و ۱۹۰ کیلوگرم در هکتار در حد عالی و مقدار کل ماده خشک تخمینی توسط مدل در حد خوب بود اما مدل برآورد مناسبی برای سطح نیتروژن موجودی خاک یعنی ۶۰ کیلوگرم در هکتار نداشت (شکل ۶). جذر میانگین مربعات خطا برای ماده خشک ریشه و کل ماده خشک در سطوح نیتروژن ۱۳۰، ۱۶۰ و ۱۹۰ کیلوگرم در مترمربع به ترتیب ۶/۱۵ و ۱۸/۵۹ درصد بود. برآورد مدل برای عملکرد شکر نیز با جذر میانگین مربعات خطا حدود ۲۴ درصد در حد مناسب بود (جدول ۵). هم‌چنین ضریب تبیین برای ماده خشک ریشه، کل ماده خشک و عملکرد شکر به ترتیب ۰/۹۹، ۰/۹۶ و ۰/۹۲ درصد و معنی‌دار بود (جدول ۵).

در گذشته به ندرت عملکرد شکر در مدل‌های چغندر قند برآورد شده بود (Vandendriessche 2000a,b). یکی از تفاوت‌های



شکل ۶ خط ۱:۱ ترسیم شده بین مقادیر تخمینی و مشاهده‌ای کل ماده خشک (راست) و ماده خشک ریشه (چپ) در آزمایش دو در سطوح مختلف نیتروژن (۶۰، ۱۳۰، ۱۶۰ و ۱۹۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار)

توزیع ماده خشک در چغندرقد، فنولوژی گیاه و از بین رفتن سطح برگ بر اساس تابعی از فنولوژی و موازنه آب خاک در نظر گرفته شده است. به عبارتی در مدل SBEET اثر رطوبت خاک و در مدل حاضر مقدار نیتروژن بر رشد چغندرقد مورد بررسی قرار گرفته است. این مدل در مقایسه با مدل جامع کامپیوتری کودی مخصوص چغندرقد (Khademi *et al.* 2001) که یک مدل مبتنی بر روابط تجربی بدون اثر این روابط بر گیاه است، می‌تواند به عنوان اولین مدل توصیفی اثر نیتروژن بر رشد چغندرقد مطرح باشد. در عمل نیتروژن تحت تأثیر عوامل مختلفی مثل تغییر زمان و مقدار مصرف کود و یا نوع کود مصرفی می‌باشد لذا برای برآورد کلی و اثر این عوامل روی شکر، نیاز به کار بیشتر و دقیق‌تر است به طوری که علاوه بر عملکرد اندام‌هوایی، ریشه و شکر، باید

در این مدل تعداد پارامتر کمتری نسبت به دیگر مدل‌های چغندرقد وارد می‌شود به طوری که در این مدل ۱۱ متغیر، شش پارامتر مستقل و پنج پارامتر با اثر متقابل تعریف شده است. در مدل SUBEMOpo (Vandendriessche 2000) یک برنامه اصلی با ۱۱ زیر برنامه فرعی و تعداد زیاد پارامتر وجود دارد. در مدل SUCROS (Spitters *et al.* 1989) ۱۵ پارامتر، ۱۲ تابع تجربی و نه داده اولیه برای تعریف مدل مورد نیاز است. در مدل SUBGRO (Fick *et al.* 1973) ۱۶ پارامتر با اثر متقابل، ۲۰ متغیر و ۸۸۰ زیر متغیر وجود دارد. هرچه مدل جامع‌تر و کامل‌تر باشد تعداد پارامتر بیشتری در نظر گرفته می‌شود به طور مثال در مدل SBEET (Soltani *et al.* 2005) با توجه به این که بر اساس داده‌های داخل کشور ایجاد شده است، ۱۸ پارامتر با ۲۳ تابع تجربی در نظر گرفته شده که در این مدل علاوه بر تولید و

ماده خشک ریشه و کل ماده خشک در محدوده خوب و برای عملکرد شکر در حد مناسب قرار دارد. ضریب تبیین نیز در هر دو آزمایش مورد اعتبارسنجی برای ماده خشک ریشه و کل ماده خشک بیشتر از ۹۵ درصد و برای ماده خشک اندام هوایی و عملکرد شکر بین ۸۰-۹۰ درصد بود. به عبارتی مدل در سطوح نیتروژن مورد مطالعه بر آورد خوبی برای ماده خشک ریشه و کل ماده خشک و برآورد مناسبی برای عملکرد شکر داشت. یکی از تفاوت‌های این مدل با مدل‌های قبلی پیش‌بینی عملکرد شکر می‌باشد به طوری که پیش‌بینی عملکرد شکر به صورت رابطه‌ای با کل ماده خشک و نه فقط عملکرد ریشه و بر اساس نیتروژن صورت گرفت اما برای نتیجه‌گیری کلی در این ارتباط نیاز به مطالعه بیشتر، با اطلاعات جامع‌تر و ارزیابی طی سال‌های متعدد است.

در مجموع می‌توان گفت این مدل در عین ساده بودن (داشتن پارامتر و متغیر کمتر نسبت به مدل‌های مشابه)، می‌تواند به‌عنوان اولین مدل توصیفی برای بررسی اثر نیتروژن بر رشد و عملکرد چغندر قند مطرح است و با توجه به برآزش بسیار مناسب درصد پوشش گیاهی، کل ماده خشک و ماده خشک ریشه بر اساس شاخص‌های آماری، می‌تواند پایه‌ای برای بررسی‌های بیشتر و جامع‌تر مورد توجه قرار گیرد. برآورد عملکرد شکر توسط این مدل نیز یکی دیگر از مزایای آن نسبت به مدل‌های مشابه می‌باشد.

نیتروژن خاک و گیاه نیز طی فصل رشد پایش و کنترل گردد تا به‌توان در نهایت مدل کامپیوتری جامع‌تریدر این زمینه ارائه کرد. واسنجی بسیاری از ضرایب مدل‌ها در شرایط ایران به برآزش بهتر مدل کمک شایانی می‌نماید. نتایج نشان می‌دهد که ضرایب بومی به کار رفته در این مدل توانست برای سه سال ارزیابی مدل ثابت و بدون تغییر باشد. از طرفی یکی از سخت‌ترین برآزش‌ها در مدل، برآزش پوشش گیاهی می‌باشد که در مدل حاضر با استفاده از ضرایب مذکور، درصد پوشش گیاهی به خوبی برآزش یافتند حالی که در مطالعات قبلی به علت این که بعضی ضرایب به‌طور دقیق برای ایران مشخص نبود، بین برآزش مقادیر تخمینی توسط مدل و مقادیر مشاهده‌ای تفاوت زیادی وجود داشت.

برآزش مدل به داده‌های ماده خشک ریشه و کل ماده خشک در هر دو آزمایش مورد اعتبارسنجی و در سطوح نیتروژن مصرفی مورد مطالعه (۱۰۰ تا ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار)، برآزش خوبی بود. مقدار جذر میانگین مربعات خطا بین مقادیر مشاهده‌ای و تخمینی مدل بین ۶/۱۵ (ماده خشک ریشه) و ۲۴ درصد (عملکرد شکر) متغیر بود. میانگین این ضرایب برای دو آزمایش مورد اعتبارسنجی به ترتیب حدود ۱۲/۸۶، ۴۱/۵۶، ۱۷/۵۷ و ۲۰/۶۲ درصد برای ماده خشک ریشه، اندام هوایی، کل ماده خشک و عملکرد شکر بود که نشان می‌دهد این ضرایب برای

References:

منابع مورد استفاده:

- AbdollahianNoghabi M, Khayamim S. Application of the INTERCOM model to predict the changes of leaf area index and total dry weight of sugar beet. Iran second weeds science congress, Mashhad, Iran. 2008
- Anonymous. Sugar Beet: Science in to Practice. Agriculture Science Publisher. 1998. Pp.656 (Translated in Persian).

- Bannayan M, Cruot NMJ. A stochastic modeling approach for real time forecasting of winter wheat yield. *Field Crops Research*. 1999; 62: 85-95.
- Fick GW, Williams WA, Loomis RS. Computer simulation of dry matter distribution during sugar beet growth. *Crop Science*. 1973; 13: 413-417.
- Gehl RJ, Boring TJ. In-Season prediction of sugar beet yield, quality and nitrogen status using an active sensor. *Agronomy Journal*. 2011; 103: 1012-1018.
- Gohari J. Rules and guidelines of sugar beet growth model adaptation and its calibration (Appendix 1 and 2). Agronomy Department Sugar Beet Seed Institute. 2001. (In Persian, abstract in English)
- Gohari J, Khayamim S. Determination of leaf extinction coefficient and potential sugar beet production under plant densities and nitrogen fertilizer. Sugar Beet Seed Institute. 2006. 38 p. Report No. 8/296. (In Persian, Abstract in English)
- Hemayati SS. Evaluation of light use efficiency (LUE) in different cultivars of sugar beet. Sugar Beet Seed Institute. 2008. 92 p. Report No. 31688. (In Persian, abstract in English)
- Jaggard KW, Qi A, Ober ES. Capture and use of solar radiation, water and nitrogen by sugar beet (*Beta Vulgaris L.*). *Journal of Experimental Botany*. 2009; 1-7 Doi: 10.1093/jxb/rep 110.
- Karimi M, Azizi M. Crop Growth Analysis. Jihad Daneshgahi Mashhad. 1994. Pp. 111 (Translated in Persian).
- Khademi Z, Mohajer Milani P, Balali MR, Dorodi MS, Shahbazi K, Malakouti MJ. A Comprehensive computer model for fertilizer recommendation towards sustainable agriculture Sugar Beet. Soil and Water research Institute. 2001. 67 p. Report No. 2178. (In Persian, Abstract in English)
- Khayamim S. Sugar beet simulation under different plant densities and nitrogen fertilizers (Ms Thesis). University of Tehran. 2001. (In Persian, abstract in English)
- Kropff MJ, Vanlaar HH. Modeling crop-weed interactions. CAB International. 1993; P. 273.
- Mohammadian R. Study of leaf appearance and leaf senescence rate and dry matter partitioning in sugar beet varieties. Sugar Beet Seed Institute. 2009. Report No. 88/1468. (In Persian, abstract in English)
- Mohammadian R. Study of important agronomical, physiological and ecological characteristic of sugar beet crop in Iran. Sugar Beet Seed Institute. 2010. Report No. 89/704. (In Persian, abstract in English)
- Nasiri Mahallati M. Modeling potential crop growth processes. Jihad Daneshgahi Mashhad. 2000. Pp. 280. (Translated in Persian)

- Noshad H. Effect of Amino acids and Humic components on the Nitrogen Use Efficiency (NUE), and Quantity and Quality of Sugar Beet in Karaj. Sugar Beet Seed Institute. 2012. Report No. 91/42589 (In Persian, abstract in English)
- Richter GM, Jaggard KW, Mitchell RAC. Modeling radiation interception and radiation use efficiency for sugar beet under variable climatic stress. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2001; 109:13-25.
- Shokuhfar AR. Study of yield, technologic value, leaf growth dynamic, quantities and qualities correlations and radiation use efficiency in different densities of late winter sugar beet in Dezful (PhD Thesis). Azad University Science and Research Branch. 2001. (In Persian, abstract in English)
- Soltani A, Gholipur M, Hajizade AH. SBEET, A simple model for sugar beet growth and yield simulation. *Agric Science and Technology*. 2005; 19(2): 1-26 (In Persian, abstract in English)
- Soltani A, Robertson MJ, Manschadi AM. Modeling chickpea growth and development: Nitrogen accumulation and use. *Field Crop Research*. 2006; 99:24-34.
- Spitters CJT, Van Keulen H, Van Kraalingen DWG. A simple and universal crop growth simulator: SUCROS87. In: Rabbinge R, Ward SA, Van Laar HH, Eds. *Simulation and system management in crop protection*. Simulation Monographs 32 Pudoc, Wageningen. 1989. pp.147-181.
- Vandendriessche HJ. A model of growth and sugar accumulation of sugar beet for potential production conditions: SUBEMOpo. I. Theory and model structure. *Agricultural Systems*. 2000 a; 64:1-19.
- Vandendriessche HJ. A model of growth and sugar accumulation of sugar beet for potential production conditions: SUBEMOpo. II. Model performance. *Agricultural Systems*. 2000 b; 64:21-35.
- Webb CR, Werker AR, Gilligan CA. Modeling the dynamical components of sugar beet crop. *Annals of Botany*. 1997; 80: 427-436.
- Weeden BR. Potential of sugar beet on Atherton Tableland. A report for Rural Industries Research and Development Corporation RIRDC publication. 2000.
- Werker AR, Jaggard KW. Modeling asymmetric growth curves that rise and then fall: Application to foliage dynamics in sugar beet (*Beta vulgaris L.*). *Annals of Botany*. 1997; 79: 657-665
- Yousefabadi V. Effect of irrigation and planting date on radiation use efficiency. Sugar Beet Seed Institute. 2010. Report No. 89/704 (In Persian, abstract in English)