نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۷، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۴، ص. ۳۳۰-۳۱۵

Journal of Agroecology
Vol. 7, No. 3, Fall 2015, p. 315-330

شبیه‌سازی عملکرد پتانسیل چغندرقند (*Beta vulgaris* L.) و خلاء عملکرد ناشی از محدودیت آب و نیتروژن در استان خراسان رضوی با مدل SUCROS

رضا دیهیم‌فرد[۱]، مهدی نصیری محلاتی[۲*] و علیرضا کوچکی[۲]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۹/۲۸
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۵/۱۲

چکیده

برنامه‌ریزی دقیق در تولید محصولات زراعی بر اساس تغییرات مکانی و زمانی عملکرد، مستلزم ارزیابی کمی عوامل محدودکننده رشد و آنالیز خلاء عملکرد در مناطق مختلف می‌باشد. بدین منظور جهت پیش‌بینی پتانسیل و خلاء عملکرد چغندرقند (*Beta vulgaris* L.) به عنوان مهمترین محصول بهاره در استان خراسان، از مدل آزمون شده و تغییر یافته سوکرز (سوکرزبیت) استفاده شد. مبدأ اصلی مدل سوکرزبیت، مدل سوکرز ۲ بود که علاوه بر تغییرات اعمال شده در آن برای شبیه‌سازی چغندرقند، زیرمدل بیلان نیتروژن نیز به آن اضافه شد. افزون بر این، پایش عوامل زنده، غیرزنده و روش‌های مدیریتی مؤثر بر عملکرد با تکمیل نمودن پرسش‌نامه در مزارع شش شهرستان از استان خراسان صورت گرفت. نتایج شبیه‌سازی با مدل سوکرزبیت در شهرستان‌های مختلف استان خراسان رضوی نشان داد که چغندرقند در شهرستان سبزوار با ۱۰۰ تن در هکتار کمترین و شهرستان نیشابور با ۱۳۷ تن در هکتار بیشترین پتانسیل تولید را دارند. رابطه مثبت و معنی‌داری بین عملکرد پتانسیل و خلاء عملکرد کل مشاهده شد. با وجودی که به طور متوسط، برخی کشاورزان تا ۲۰ مرتبه زمین را آبیاری می‌کنند، هنوز خلاء عملکرد ناشی از کمبود آب برای چغندرقند در این مناطق تا ۴۲ تن در هکتار مشاهده می‌گردد. برای رسیدن به عملکرد پتانسیل، بسته به شرایط آب و هوایی بیش از ۲۰۰۰ میلی‌متر آب در شهرستان‌های سبزوار و تربت‌جام و ۱۴۰۰–۱۵۰۰ میلی‌متر آب در شهرستان‌های قوچان و نیشابور مورد نیاز است. برای پر کردن خلاء عملکرد ناشی از کمبود نیتروژن و رساندن آن به عملکرد پتانسیل به طور متوسط ۴۴۰ کیلوگرم درهکتار در برخی شهرستان‌های از جمله سبزوار، نیتروژن برای جذب توسط گیاه چغندرقند نیاز است. این در حالی است میزان نیتروژن به کاربرده شده درمزارع کشاورزان به طور متوسط ۵۰ درصد این مقدار می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: مدل‌سازی، مدل سوکرز، محدودیت آب، محدودیت نیتروژن

مقدمه

با توجه به افزایش جمعیت و نیز تغییر عادات غذایی مردم، تولیدات کشاورزی جهان در طی سه تا چهار دهه آینده باید به سه برابر افزایش یابد تا تقاضای فزاینده مصرف را تأمین کند(WRR, 1995). از سوی دیگر، در طی سه دهه گذشته تنها یک چهارم افزایش تولید غذا در جهان مربوط به گسترش سطح زیر کشت بوده و بقیه آن از طریق بهبود عملکرد در واحد سطح حاصل شده است. به اعتقاد بسیاری از محققین افزایش بهره‌وری مؤثرترین راهکار موجود برای تأمین نیازهای غذایی آینده خواهد بود (Alexandratos, 1995; Nassiri & Koocheki, 2009).

چغندرقند (*Beta vulgaris* L.) یکی از گیاهان زراعی مهم کشور بوده که در محدوده وسیعی از شرایط اقلیمی کشت می‌شود. متوسط سطح زیر کشت چغندرقند در یک دهه اخیر در کشور حدود ۱۱۵ هزار هکتار برآورد شده است. استان خراسان به عنوان یکی از مهمترین استان‌های کشور از نظر تولید این محصول، با ۳۴ درصد بیشترین سطح زیر کشت این محصول را به خود اختصاص داده است (Anonymous, 2009). در این سال، متوسط عملکرد چغندرقند در کل کشور ۳۶ تن در هکتار بوده است که این رقم در استان خراسان ۲۸/۳ تن در هکتار برآورد شده است.

به رغم سطح زیر کشت نسبتاً زیاد چغندرقند، هر ساله مقادیر قابل

۱- دانشجوی سابق دکتری و استادیار دانشگاه شهید بهشتی ۲- استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: Email: mnassiri@um.ac.ir)

توجهی شکر وارد کشور می‌شود که دلیل اصلی آن پایین بودن عملکرد این گیاه در واحد سطح می‌باشد. با توجه به این‌که افزایش عملکرد در واحد سطح یکی از راهکارهای افزایش تولید بوده، و از سوی دیگر پارامترهای اقلیمی (تشعشع، درجه حرارت، بارندگی و غیره)، خاکی و مدیریتی به شدت بر رشد و عملکرد این گیاه تأثیرگذار هستند، بررسی کمی تأثیر این عوامل بر رشد گیاه چغندرقند در مناطق مختلف با استفاده از رهیافت مدل‌سازی می‌تواند کمک شایانی به درک بهتر عوامل محدودکننده عملکرد این گیاه در مناطق مختلف کرده و خلاء عملکرد (اختلاف بین عملکرد پتانسیل و عملکرد در شرایط محدویت منابع) ناشی از محدودیت این عوامل را شناسایی نماید.

تاکنون مطالعات متعددی در خصوص تأثیر عوامل محدودکننده و کاهنده بر عملکرد گیاهان زراعی و خلاء عملکرد به انجام رسیده است. بِکر و جانسن (Becker & Johnson, 1999) با مطالعه سیستم‌های تولید برنج (*Oryza sativa* L.) در ساحل عاج نشان دادند که در شرایط آبیاری کامل یا آبیاری نسبی، عملکرد واقعی به ترتیب ۵۷ و ۴۴ درصد عملکرد پتانسیل می‌باشد. باتیا و همکاران (Bhatia et al., 2008) با استفاده از مدل CROPGRO پتانسیل و خلاء عملکرد سویا (*Glycine max* L.) دیم را برای ۲۱ منطقه واقع در هندوستان ارزیابی کرده و نشان دادند که به طور متوسط پتانسیل عملکرد این مناطق ۳۰۲۰ کیلوگرم در هکتار و میانگین خلاء عملکرد در حدود ۷۰ درصد می‌باشد. به عبارت دیگر، تنها ۳۰ درصد از عملکرد پتانسیل در مزارع برداشت می‌شود. کالرا و همکاران (Kalra et al., 2007) نیز در تحقیقی دیگر با استفاده از مدل InfoCrop خلاء عملکرد گندم (*Triticum aestivum* L.) را در هند مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که نوسانات مکانی در عملکرد گندم در ایالت‌های مختلف در شمال هند از ۱/۵ تا ۵ تن در هکتار متغیر بود. دلیل این نوسانات اقلیم متفاوت و تغییر در نهاده‌های مصرفی به ویژه نیتروژن و آب عنوان شد. آن‌ها همچنین نشان دادند با وجودی که ۷۰ درصد از سطح زیر کشت گندم در این مناطق، آبیاری می‌شود، اما خلاء عملکرد ناشی از آب وجود دارد.

برای کمی کردن رشد و عملکرد چغندرقند و نیز تعیین خلاء عملکرد این گیاه، نیاز به مدل‌هایی است که هم عملکرد پتانسیل و هم عملکرد تحت شرایط محدودیت آب و به خصوص محدودیت نیتروژن را با دقت قابل قبولی شبیه‌سازی کنند. استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی در آنالیز سیستم‌های زراعی در واکنش به روش‌های مدیریتی و تحت شرایط متغیرهای محیطی اهمیت زیادی در چند دهه گذشته پیدا کرده است (Manschadi et al., 2010; Angus et al., 1993; Wallach et al., 2006). مدل‌ها قادر به پیش‌بینی چگونگی تغییرات رشد و نمو و عملکرد گیاه در پاسخ شرایط متغیر محیطی هستند. با آن‌که مدل‌های زیادی برای شبیه‌سازی رشد و عملکرد چغندرقند در شرایط پتانسیل و محدودیت آب وجود دارد (Soltani et al., 2005; Vandendriessche, 2000)، اما تعداد بسیار اندکی از آن‌ها قادر به شبیه‌سازی در شرایط محدودیت نیتروژن می‌باشند (Smit, 1996) و اطلاعات کمی در خصوص مدل‌سازی جذب و بیلان نیتروژن در گیاه چغندرقنددر شرایط آب و هوایی ایران وجود دارد.

این تحقیق در راستای تعیین عملکرد پتانسیل و خلاء عملکرد چغندرقند در برخی شهرستان‌های استان خراسان رضوی و نیز بررسی علل و عوامل مؤثر بر آن به انجام رسیده است.

مواد و روش‌ها

مبنای اصلی این پژوهش استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی رشد گیاهان زراعی جهت برآورد تولید در شرایط پتانسیل، محدودیت آب و محدودیت نیتروژن است که در تعدادی از شهرستان‌های استان خراسان به انجام رسیده است (جدول ۱). بدین منظور از مدل سوکرزبیت که پیشتر برای چغندرقند واسنجی شده بود (Deihimfard et al., 2012; Deihimfard et al., 2011) استفاده شد. مبنای اصلی مدل سوکرزبیت در این تحقیق، مدل سوکرز ۲ (Van Laar et al., 1997) می‌باشد. در این مدل، سرعت روزانه فتوسنتز کانوپی بر اساس میزان تشعشع خورشیدی و رابطه بین فتوسنتز تک برگ و شدت نور، و سپس انتگرال‌گیری بر حسب شاخص سطح برگ و طول روز محاسبه می‌شود (Spitters, 1989). سرعت رشد ماده خشک بر مبنای سرعت فتوسنتز کانوپی و پس از کسر تلفات ناشی از تنفس نگهداری و تنفس رشد به دست می‌آید. برای استفاده از مدل در شرایط محدودیت آب، بیلان آب به مدل اضافه شده است. بیلان آب خاک شامل فرآیندهای تبخیر- تعرق، زهکشی، رواناب و جذب آب توسط ریشه‌ها می‌باشد. معادله ترکیبی پنمن- مونتیث برای محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل، در مدل استفاده شده است. اثرات محدودیت آب بر فرآیندهای رشد از طریق نسبت بین سرعت تبخیر- تعرق

واقعی به تبخیر- تعرق پتانسل روزانه تخمین زده می‌شود و تخصیص ماده خشک در این شرایط به طرف ریشه‌ها بیشتر می‌شود (Van Laar et al., 1997).

جدول ۱- شهرستان‌های مورد مطالعه جهت برآورد خلاء عملکرد چغندرقند و برخی خصوصیات خاکی و مدیریتی آن‌ها
Table 1- Study locations selected for simulation of yield gap of sugar beet and their soil properties

منطقه Location	عرض جغرافیایی Latitude	طول جغرافیایی Longitude	ارتفاع (متر) Altitude (m)	دوره شبیه‌سازی Simulation period	متوسط تعداد دفعات آبیاری توسط کشاورزان* Average number of irrigation by farmers	متوسط میزان کود نیتروژن مصرفی توسط کشاورزان (کیلوگرم در هکتار) Average fertilization rate by farmers ($kg.ha^{-1}$)	آب خاک در ظرفیت مزرعه** DUL	آب خاک در نقطه پژمردگی** LL
قوچان Ghoochan	37°04′	58°30′	1278	1995-2008	19	250	0.34	0.20
مشهد Mashhad	36°16′	59°38′	999	1992-2008	20	230	0.36	0.11
نیشابور Neishaboor	36°16′	58°48′	1213	1992-2008	16	220	0.34	0.20
سبزوار Sabzevar	36°12′	58°30′	972	1995-2008	16	205	0.27	0.10
تربت‌حیدریه Torbat-Heidariyeh	35°16′	58°30′	1450	1992-2008	15	199	0.36	0.11
تربت‌جام Torbat-Jam	35°15′	60°35′	950	1993-2008	15	200	0.36	0.11

* تعداد دفعات آبیاری و نیز کوددهی از طریق پایش مزارع به دست آمده است.
* Number of irrigation and fertilisation rate wereobtained from farmer's fields.
** آب خاک در ظرفیت مزرعه (DUL) و نقطه پژمردگی دائم (LL) با استفاده از بافت و وزن مخصوص ظاهری خاک برآورد شده است.
** DUL (Drained Upper Limit) and LL (Lower Limit) were estimated using soil texture and bulk density.

در زیرمدل بیلان نیتروژن در مدل سوکرزبیت، اثرات تنش نیتروژن بر گیاه زراعی از طریق یک فاکتور کاهش با نام شاخص تغذیه نیتروژن اعمال شده است که تولید زیست‌توده، گسترش سطح برگ، پیری برگ و نیز تخصیص زیست‌توده به اندام‌ها را تحت‌الشعاع قرار می‌دهد. همچنین، تقاضا و جذب نیتروژن توسط گیاه زراعی (به صورت مکانیزم‌گرا) و نیز عرضه نیتروژن در خاک به مدل جدید سوکرزبیت اضافه شده است. جزئیات مبسوط در خصوص نحوه مدل‌سازی سایر فرآیندهای رشد، نمو فنولوژیک و عملکرد چغندرقند در شرایط پتانسیل، محدودیت آب و نیتروژن که در مدل سوکرزبیت گنجانده شده است توسط دیهیم‌فرد و همکاران (Deihimfard et al., 2011) و دیهیم‌فرد (Deihimfard, 2011) به تفصیل ارائه شده است.

جهت به کارگیری مدل‌های رشد و عملکرد گیاهان اساساً به سه نوع داده (داده‌های آب و هوایی، داده‌های خاکی و ضرایب ژنتیکی) نیاز است. داده‌های بلند مدت اقلیمی (۲۵-۱۰ ساله) از ایستگاه‌های مختلف هواشناسی استان جمع‌آوری شدند. این داده‌ها حداقل شامل آمار درجه حرارت حداقل و حداکثر، بارندگی و تشعشع (یا تعداد ساعات آفتابی)، متوسط سرعت باد روزانه و فشار بخار آب می‌باشند. در صورت عدم وجود داده‌های هواشناسی در برخی مناطق، این داده‌ها با استفاده از برنامه WeatherMan[1] بازسازی شدند (Pickering et al., 1994). در مورد داده‌های خاک صرفاً تغییرات مکانی مورد نظر بوده و خصوصیات مورد نیاز جهت اجرای مدل از میان داده‌های موجود (Tatari, 2008) و نیز با استفاده از بافت خاک در مناطق مورد مطالعه (به دست آمده از مزارع شهرستان‌ها از طریق پایش) و به

1- Weather data manager

کارگیری توابع انتقالی[1] تعیین گردیدند. همچنین در برخی موارد، تعدادی از پارامترهای خاک با استفاده از جداول رفرنس (Dalgliesh, Personal Communication, 2011; Yin & Van Laar, 2005) که بر مبنای اجزای تشکیل‌دهنده بافت خاک (درصد شن، رس و سیلت) و وزن مخصوص ظاهری تعیین شده است، استخراج شدند.

به منظور کسب آگاهی از وضعیت تولید و عملکرد چغندرقند در مناطق مورد مطالعه، اطلاعات مورد نیاز در قالب پرسش‌نامه و با همکاری سازمان جهاد کشاورزی استان خراسان و برخی مهندسین ناظر، در اختیار طیف وسیعی از کشاورزان این مناطق قرار گرفت. هدف اصلی از جمع‌آوری این اطلاعات، دستیابی به عملکرد واقعی و نیز وضعیت مدیریتی در مزارع بود. برخی از سؤالات طرح شده در پرسش‌نامه عبارت بودند از: عملکرد واقعی به دست آمده در مزارع کشاورزان، کشت قبلی، تراکم کاشت و رعایت تناوب، تاریخ کاشت و برداشت، میزان و تعداد دفعات آبیاری، نوع، میزان و تقسیط کود نیتروژن در مزرعه و برخی خصوصیات تقریبی مرتبط با خاک مانند بافت.

با وارد نمودن داده‌های هواشناسی، اطلاعات خاک و نیز عوامل مدیریتی پایش شده در مزارع هر شهرستان توسط پرسش‌نامه‌ها، در مدل سوکرزبیت، عملکرد این گیاه در مناطق مورد مطالعه در شرایط پتانسیل، محدودیت آب و محدودیت نیتروژن، شبیه‌سازی شد. بدین منظور برای شبیه‌سازی عملکرد پتانسیل، مدل سوکرزبیت در حالت آبیاری و کوددهی اتوماتیک قرار داده شد به این معنی که با کاهش آب قابل دسترس به کمتر از ظرفیت مزرعه و نیز کاهش نیتروژن قابل دسترس به کمتر حد بحرانی، آبیاری و کوددهی توسط مدل به صورت اتوماتیک انجام می‌گیرد. در چنین شرایطی عملکرد پتانسیل تابعی از شدت تشعشع خورشیدی در هر شهرستان و نیز درجه حرارت و خصوصیات هر رقم می‌باشد. برای شبیه‌سازی عملکرد در شرایط محدودیت آب، فاکتور کوددهی در مدل در شرایط اتوماتیک اما آبیاری بر اساس تعداد دفعاتی است که کشاورزان در هر شهرستان به آب آبیاری دسترسی دارند (از اطلاعات به دست آمده از طریق پرسشنامه، جدول ۱). در این حالت در هر بار آبیاری، آب به میزان ظرفیت مزرعه توسط مدل انجام شد. برای شبیه‌سازی عملکرد در شرایط محدودیت نیتروژن، فاکتور آبیاری در حالت اتوماتیک اما کوددهی بر اساس میزان و تعداد دفعات کوددهی که از طریق پرسشنامه توسط کشاورزان به دست آمده (جدول ۱) انجام شد. تمامی شبیه‌سازی‌ها توسط مدل در یک تاریخ کاشت و تراکم ثابت (۱۵ اسفند ماه و تراکم ۱۰ بوته در مترمربع) انجام شدند.

با انجام شبیه‌سازی‌ها و پیش‌بینی عملکرد پتانسیل، عملکرد در شرایط محدودیت آب و نیتروژن توسط مدل و مقایسه آن‌ها با عملکرد واقعی به دست آمده از طریق پایش مزارع شهرستان‌ها، خلاء عملکرد ناشی از هر عامل محدودکننده تولید، در مناطق مختلف در سه حالت زیر محاسبه شد:

خلاء عملکرد کل: اختلاف بین عملکرد پتانسیل شبیه‌سازی شده توسط مدل با متوسط عملکرد واقعی کشاورزان

خلاء عملکرد ناشی از محدودیت آب: اختلاف بین عملکرد پتانسیل و عملکرد شبیه‌سازی توسط مدل در شرایط محدودیت آب

خلاء عملکرد ناشی از محدودیت نیتروژن: اختلاف بین عملکرد پتانسیل و عملکرد شبیه‌سازی توسط مدل در شرایط محدودیت نیتروژن

پس از تخمین انواع خلاء عملکرد، سهم نسبی هر یک از عوامل محیطی مؤثر بر این خلاء تعیین و در نهایت راهکارهای مناسب برای به حداقل رساندن این خلاء در هر شهرستان ارائه گردید. تمامی صفات شبیه‌سازی شده که از خروجی مدل به دست آمد، با استفاده از برنامه R (R Development Core Team, 2011) مدیریت و آنالیز شد.

نتایج و بحث

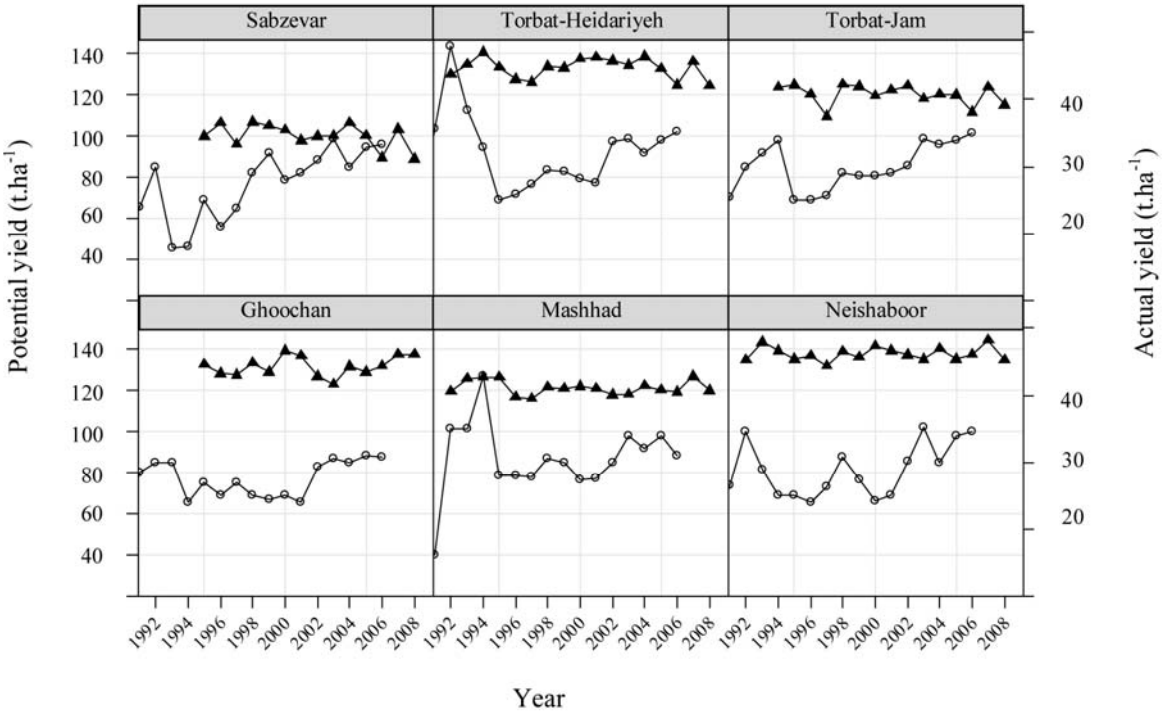
عملکرد پتانسیل شبیه‌سازی شده و عملکرد واقعی کشاورزان

شکل ۱ عملکرد واقعی به دست آمده از مزارع کشاورزان و عملکرد پتانسیل شبیه‌سازی شده چغندرقند را در مناطق و سال‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد. دامنه عملکرد پتانسیل در مناطق و سال‌های مورد مطالعه بین ۸۸ تا ۱۴۴ تن در هکتار (عملکرد تر اندام ذخیره‌ای) شبیه‌سازی شد و عملکردهای واقعی بین ۱۶ تا ۴۸ تن در هکتار به دست آمد.

متوسط عملکرد پتانسیل شبیه‌سازی شده در مناطق مختلف نشان داد که شهرستان سبزوار با ۱۰۰ تن در هکتار کمترین و شهرستان نیشابور با ۱۳۷ تن در هکتار بیشترین پتانسیل تولید را دارند. این در حالی است که کمترین و بیشترین متوسط عملکرد واقعی به ترتیب در

2- Pedotransfer functions

شهرستان‌های سبزوار و تربت‌حیدریه به دست آمد (۲۵ و ۳۰ تن در هکتار). اگرچه روند تغییرات عملکرد پتانسیل چغندرقند طی سال، در ۶۶ درصد از شهرستان‌ها سیر نزولی داشته است، اما در هیچ‌یک از آن‌ها این روند معنی‌دار نیست (نتایج تجزیه رگرسیون ارائه نشده است).



شکل ۱- تغییرات عملکرد پتانسیل شبیه‌سازی شده (▲) و عملکرد واقعی (○) چغندرقند در شهرستان‌های مورد مطالعه طی سال‌های ۲۰۰۸-۱۹۹۲

Fig. 1- Changes in simulated potential yield (▲) and actual yield (○) of sugar beet in study locations during 1992-2008

در مقابل، شیب تغییرات عملکرد واقعی طی این دوره در تمامی شهرستان‌های مورد مطالعه، مثبت بود به گونه‌ای که در فاصله زمانی سال‌های ۱۹۹۱ تا ۲۰۰۸ عملکرد واقعی به دست آمده توسط کشاورزان روند صعودی داشته است. شیب این افزایش در شهرستان‌های سبزوار، تربت‌جام، نیشابور و قوچان معنی‌دار و به ترتیب برابر با ۰/۷۷، ۰/۵۲، ۰/۴۲ و ۰/۲۹ تن در هکتار در سال بود (جدول ۲). این افزایش عملکرد را احتمالاً می‌توان بیشتر به بهبود عملیات مدیریتی و مکانیزاسیون در تولید چغندرقند و نیز معرفی ارقام جدید مونوژرم و کودپذیر نسبت داد. با این حال، با وجود روند صعودی عملکرد واقعی هنوز بین متوسط عملکرد پتانسیل با عملکرد واقعی، اختلاف بیش از ۱۰۰ تن در هکتار به عنوان خلاء عملکرد وجود دارد. پارسا (Parsa, 2007) نیز در تحقیق خود، عملکرد پتانسیل چغندرقند را با استفاده از مدل لینتول در نواحی مختلف استان خراسان بین ۱۰۰-۱۲۶ با میانگین ۱۰۸ تن در هکتار برآورد کرد و شهرستان‌های بیرجند و نیشابور بیشترین عملکرد پتانسیل و سبزوار، بجنورد و مشهد کمترین پتانسیل تولید را داشتند. وی همچنین بیان داشت که عملکرد پتانسیل از شمال به جنوب خراسان به دلیل اختلاف در تشعشع و نیز میانگین درجه حرارت در طول فصل رشد، افزایش یافته است.

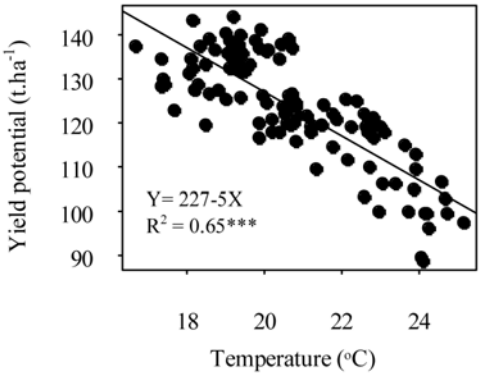
نتایج آنالیز داده‌های آب و هوایی نشان داد که رابطه معکوس و معنی‌داری بین متوسط درجه حرارت روزانه از کاشت تا برداشت چغندرقند و عملکرد پتانسیل وجود دارد؛ به طوری‌که با افزایش متوسط درجه حرارت از ۱۸ به ۲۵ درجه سانتی‌گراد، عملکرد پتانسیل از ۱۴۰ به ۱۰۰ تن در هکتار کاهش یافت. این رابطه خطی ۶۵ درصد از تغییرات مدل رگرسیونی را در شهرستان‌های مورد مطالعه توصیف

کرد (شکل ۲). بر اساس این رابطه رگرسیونی، در شهرستان‌هایی مثل سبزوار، تربت‌جام و مشهد که میانگین درجه حرارت در طول فصل رشد چغندرقند در آن‌ها بالاتر از ۲۰ درجه سانتی‌گراد بوده است (جدول ۴)، عملکرد پتانسیل آن‌ها به مراتب کمتر از سایر شهرستان‌ها است. با توجه به شکل ۲ به ازای هر یک درجه افزایش درجه حرارت در طول فصل رشد چغندرقند، پنج تن در هکتار کاهش عملکرد مشاهده شد.

جدول ۲- رابطه خطی بین سال با عملکرد واقعی چغندرقند در شهرستان‌های مورد مطالعه

Table 2- Linear relationship between sugar beet actual yield and year in studied locations

شهرستان Locations	معادله Equation	ضریب تبیین R^2	احتمال Probability
قوچان Ghoochan	y=–377+0.29x	0.29	0.01
مشهد Mashhad	y=–374+0.29x	0.10	0.15
نیشابور Neishaboor	y=–561+0.42x	0.34	0.004
سبزوار Sabzevar	y=–1040+0.77x	0.69	0.000
تربت‌حیدریه Torbat-Heidariyeh	y=–285+0.22x	0.05	0.3
تربت‌جام Torbat-Jam	y=–696+0.52x	0.50	0.0003



شکل ۲- رابطه بین میانگین درجه حرارت از کاشت تا برداشت چغندرقند با پتانسیل عملکرد شبیه‌سازی شده

Fig. 2- Simulated yield potential as a linear function of temperature in sugar beet from planting to harvest time

در شرایط مزرعه‌ای این کاهش عملکرد را که باعث افزایش خلاء عملکرد و تولید می‌شود، تنها می‌توان با انتخاب تاریخ کاشت مناسب به حداقل رساند. نتایج تحقیقات مختلف نیز نشان داده‌اند که در فصولی که میانگین درجه حرارت روزانه پایین است، عملکرد افزایش یافته است (Aggarwal & Kalra, 1994; Muchow & Kropff, 1997). موچو و کراف (Muchow & Kropff, 1997) با استفاده از یک مدل مکانیستیک ساده، عملکرد پتانسیل ذرت را بین ۹/۵ تا ۱۷/۱ تن در هکتار برآورد کردند. آن‌ها در تحقیق خود مهمترین دلایل نوسان پتانسیل عملکرد در نواحی مورد مطالعه را تفاوت در طول دوره رشد (از ۸۴ تا ۱۵۳ روز) و نیز تفاوت‌های دمایی (از ۱۸ تا ۲۸/۷ درجه سانتی‌گراد) دانستند. این تجزیه و تحلیل‌ها بیانگر آن است که تشعشع خورشیدی و درجه حرارت دو عامل اقلیمی مهم در تعیین پتانسیل تولید محصولات زراعی هستند.

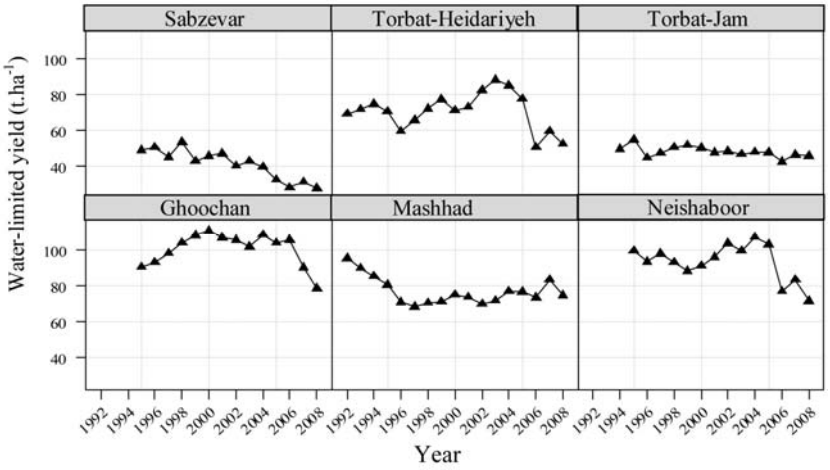
همچنین نتایج که تشعشع عامل محدودکننده رشد چغندرقند نبود، هر چند سایر محققان در برخی دیگر از شرایط محیطی، آن را به عنوان یک عامل محدودکننده برشمردند. برای مثال اسکات و ژاگارد

(Scott & Jaggard, 2000) اظهار داشتند که طی ۶۰ سال گذشته، تشعشع جذب شده توسط کانوپی چغندرقند، عامل محدودکننده عملکرد آن در انگلستان بوده است. با توجه به این‌که در شرایط پتانسیل هیچ‌گونه محدودیتی از نظر آب و نیتروژن و نیز سایر عوامل وجود ندارد و از سوی دیگر اختلافی بین مناطق از نظر تشعشع هم دیده نشد، لذا اهمیت درجه حرارت در عملکرد پتانسیل بسیار قابل توجه است.

عملکرد تحت شرایط محدودیت آب و نیتروژن

نتایج شبیه‌سازی در تحقیق حاضر نشان داد که محدودیت آب باعث کاهش شدید عملکرد چغندرقند در تمامی شهرستان‌ها شد اما میزان افت عملکرد بسته به منطقه نوسان داشت (شکل ۳). در شرایط محدودیت آب، میزان افت عملکرد نسبت به پتانسیل، در مناطق مختلف از ۲۳-۳۲ درصد (در شهرستان‌های قوچان و نیشابور) تا حداکثر ۶۰-۵۹ درصد (در شهرستان‌های سبزوار و تربت‌جام) متغیر بود. دلیل اصلی نوسان عملکرد بین مناطق در شرایط محدودیت آب، میزان محدودیت دسترسی به آب آبیاری است که کشاورزان با آن رو به رو هستند و این محدودیت در مناطق مختلف با هم فرق دارند (جدول ۱). برای مثال، کشاورزان به طور متوسط در شهرستان مختلف از ۱۵ (در تربت‌جام و تربت‌حیدریه) تا ۲۰-۱۹ مرتبه (در مشهد و قوچان) زمین را آبیاری می‌کنند. با در نظر گرفتن میانگین عملکرد، شهرستان‌های قوچان و نیشابور با ۱۰۰ و ۹۲ تن در هکتار بیشترین و شهرستان‌های سبزوار و تربت‌جام با ۴۰ و ۴۷ تن در هکتار کمترین عملکرد تحت شرایط محدودیت آب را در مقایسه با سایر شهرستان‌ها داشتند.

در شهرستان‌های سبزوار و تربت‌جام، علاوه بر محدودیت دسترسی به آب آبیاری، میانگین بیشتر سرعت باد و نیز کمتر بودن متوسط فشار بخار آب (از کاشت تا برداشت محصول) نیز از دلایل دیگر کاهش عملکرد در این مناطق بوده است (جدول ۴). افزایش عرضه انرژی و سرعت باد و نیز کاهش شیب فشار بخار هوا با تأثیر بر تبخیر از سطح خاک و نیز افزایش تعرق گیاه بر بیلان آب خاک تأثیر گذاشته و قابلیت دسترسی گیاه به آب را کاهش می‌دهد و باعث کاهش عملکرد گیاه زراعی می‌شوند (Allen et al., 1998). نتایج تجزیه رگرسیون نیز مؤید رابطه منفی و معنی‌دار میان عملکرد تحت شرایط محدودیت آب و سرعت باد در دوره رشد چغندرقند است (شکل ۴). در شرایط محدودیت آب در مدل سوکرزبیت، علاوه بر تشعشع و درجه حرارت، دو متغیر دیگر آب و هوایی مانند سرعت باد و فشار بخار هوا نیز از طریق تأثیر بر بیلان آب خاک، عملکرد را تحت الشعاع قرار می‌دهند. بر اساس رابطه رگرسیونی به دست آمده، با افزایش هر واحد سرعت باد (بر حسب متر بر ثانیه)، عملکرد چغندرقند در شرایط محدودیت آب به میزان ۱۵/۴ تن در هکتار کاهش یافت. دامنه عملکرد تحت شرایط محدودیت آب در شرایط کمترین و بیشترین میانگین سرعت باد (۱/۱۶ و ۵/۵ متر بر ثانیه) به ترتیب برابر با ۱۱۰/۳ و ۲۷/۸ تن در هکتار به دست آمد (شکل ۴).

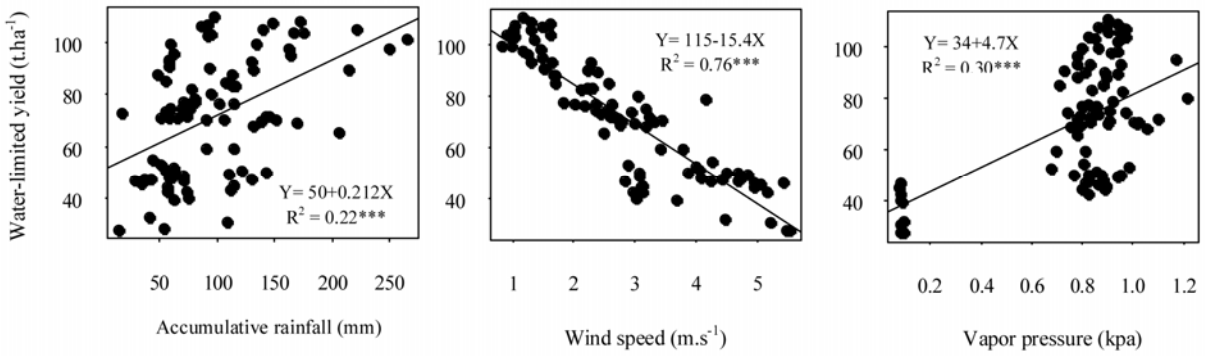


شکل ۳- تغییرات عملکرد چغندرقند در شرایط محدودیت آب در شهرستان‌های مورد مطالعه طی سال‌های ۲۰۰۸-۱۹۹۲

Fig. 3- Long term simulation of water-limited yield in the study locations during 1992-2008

از این‌رو در شرایط محدودیت آب در تولید چغندرقند، بالابودن میانگین سرعت باد در طول فصل رشد، می‌تواند خلاء عملکردی حدود ۸۳ تن در هکتار ایجاد کند. در خصوص فشار بخار هوا نیز رابطه مثبتی با عملکرد مشاهده شد (شکل ۴) به طوری‌که با افزایش فشار بخار هوا، عملکرد تحت شرایط محدودیت آب به صورت خطی و با شیبی برابر با ۴/۷ تن در هکتار به ازای افزایش هر ۰/۱ کیلوپاسکال در فشار بخار، افزایش یافت. نتایج به دست آمده از تجزیه رگرسیون خطی چندگانه بین عوامل اقلیمی اشاره شده با عملکرد چغندرقند نیز نشان داد که در شرایط محدودیت آب، ضرایب مربوط به متوسط دما از کاشت تا برداشت، میانگین سرعت باد، میانگین فشار بخار و تشعشع تجمعی در طول فصل معنی‌دار بودند و مجموعا ۹۴ درصد از تغییرات را توصیف کردند (جدول ۳).

بیشترین ضریب رگرسیون به ترتیب مربوط به میانگین سرعت باد و فشار بخار در طول فصل رشد بود که نشان از تأثیر بالای این دو متغیر اقلیمی بر عملکرد چغندرقند و خلاء عملکرد ناشی از محدودیت آب است. لازم به ذکر است که در رگرسیون خطی چندگانه، میزان آب آبیاری قابل دسترس به عنوان یکی دیگر از متغیرهای مستقل وارد مدل نشد، زیرا بدیهی است که آب ورودی، رابطه مستقیم و معنی‌داری بر عملکرد چغندرقند در شرایط محدودیت آب دارد. از این‌رو، نقش عوامل اقلیمی بر میزان آب مصرفی مدنظر بود که در مدل خطی لحاظ گردید.



شکل ٤- رابطه بین بارندگی تجمعی، میانگین سرعت باد و میانگین فشار بخار هوا از کاشت تا برداشت چغندرقند با عملکرد شبیه‌سازی شده تحت شرایط محدودیت آب

Fig. 4- Relationship between simulated water-limited yield and rainfall, wind speed and vapour pressure from planting to harvest time of sugar beet

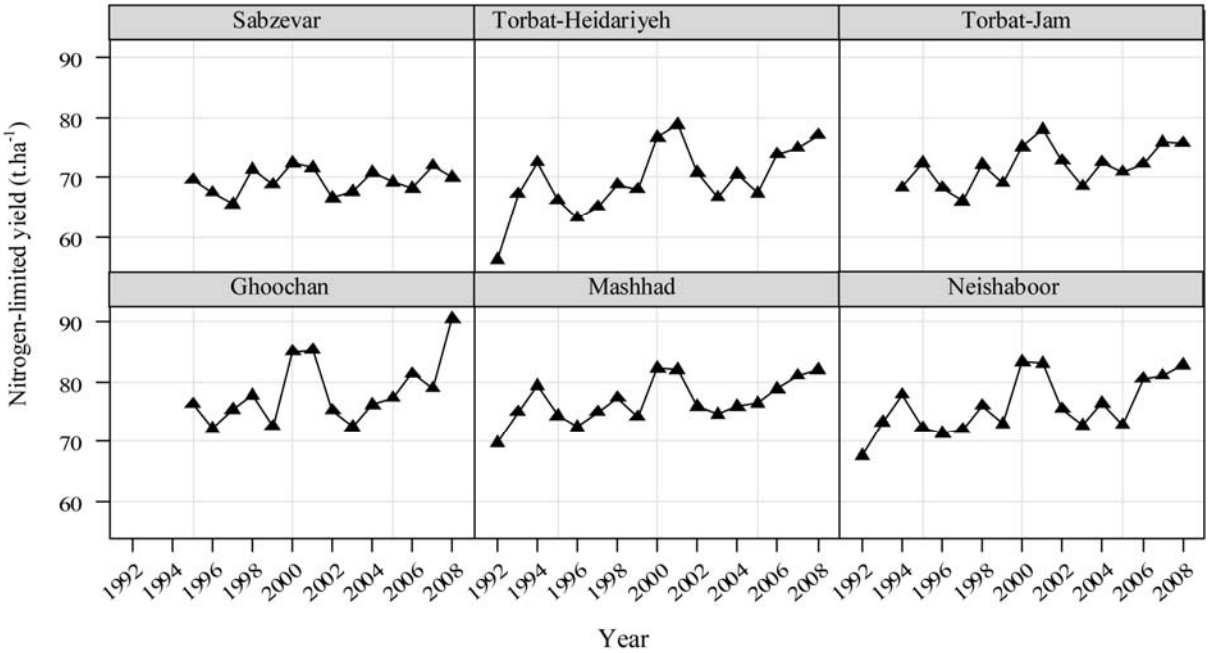
جدول ۳- ضرایب مدل رگرسیون خطی چندگانه بین عوامل اقلیمی (متغیرهای مستقل) و عملکرد چغندرقند (متغیر وابسته) در شرایط محدودیت آب

Table 3- Coefficients of multiple linear regression between climatic variables (dependent) and root yield of sugar beet (Independent) under water-limited conditions

متغیر مستقل Independent variable	ضریب در مدل Coefficient in model	خطای معیار Standard error	مقدار t t-value	احتمال معنی‌داری Probability
عرض از مبدأ Intercept	247428.9	20171.1	12.2	0.00002
متوسط دما از کاشت تا برداشت Mean temperature from sowing to harvest	-4728.8	487.3	-9.7	0.00002
میانگین سرعت باد Mean wind speed	-11536.9	570.8	-20.2	0.00002
میانگین فشار بخار Mean vapour pressure	8351.4	3105.3	2.6	0.0086
تشعشع تجمعی Accumulative radiation	-9.3	2.4	-3.7	0.00027
بارندگی تجمعی Accumulative rainfall	-30.2	15.7	-1.9	0.0585

با توجه به این‌که بارندگی‌های فصلی ابتدای بهار، مقارن با شروع رشد و نمو اولیه گیاهان زراعی بهاره از جمله چغندرقند می‌باشد، ارزیابی سهم نسبی آن‌ها در افزایش عملکرد و کاهش خلاء آن قابل توجه است. میانگین بارندگی تجمعی از کاشت تا برداشت چغندرقند در شهرستان‌های تحت بررسی در محدوده ۶۳ تا ۱۵۴ میلی‌متر متغیر بود که به ترتیب در شهرستان‌های سبزوار و قوچان مشاهده شد (جدول۴). رابطه خطی بین عملکرد در شرایط محدودیت آب و بارندگی تجمعی از کاشت تا برداشت چغندرقند نیز بیانگر تأثیر مثبت و معنی‌دار این بارش‌ها بر عملکرد است (شکل ۴)، اگرچه مدل خطی تنها ۲۲ درصد از تغییرات را توصیف کرد. بر اساس این رابطه به ازای هر میلی‌متر بارندگی در طی دوره رشد، عملکرد به میزان ۲۱۲ کیلوگرم در هکتار افزایش پیدا کرده است؛ به طوری‌که با در نظر گرفتن میانگین بارندگی از کاشت تا برداشت چغندرقند (جدول ۴)، تقریبا ۱۳ تا ۳۲ تن در هکتار از عملکرد در شرایط محدودیت آب، ناشی از بارندگی‌های فصلی بوده است.

در این تحقیق علاوه بر تأثیر کمبود آب، محدودیت نیتروژن نیز به عنوان یکی دیگر از عوامل محدودکننده عملکرد چغندرقند، مورد ارزیابی قرار گرفت. شکل ۵ نتایج شبیه‌سازی عملکرد چغندرقند را در شرایط محدودیت نیتروژن درشهرستان‌های مختلف طی زمان نشان می‌دهد. همان‌طوری که ملاحظه می‌شود، در شرایط محدودیت نیتروژن نیز همانند محدودیت آب، کاهش عملکرد قابل توجهی وجود دارد. به طور متوسط عملکرد در شرایط محدودیت نیتروژن در شهرستان‌های مختلف در محدوده ۷۸-۶۹ تن در هکتار بود که با مصرف حدود ۱۹۹ تا ۲۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (جدول ۱) به دست آمد. کمترین عملکرد در شرایط محدودیت نیتروژن در شهرستان‌های سبزوار و تربت‌حیدریه (هر کدام ۶۹ تن در هکتار) و بیشترین عملکرد در مشهد و قوچان (به ترتیب ۷۶ و ۷۸ تن در هکتار) به دست آمد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در مقایسه با عملکرد در شرایط محدودیت آب، در شرایط محدودیت نیتروژن اختلاف زیادی بین بیشترین و کمترین عملکرد وجود ندارد (حدود ۱۱ تن در هکتار)، زیرا مقدار کاربرد نیتروژن در تمامی شهرستان‌های مورد مطالعه زیاد است به این معنی‌که کشاورزان حتی در شرایط محدودیت نیتروژن نیز حدود ۴۰۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار مصرف می‌کنند (اطلاعات به دست آمده از کشاورزان از طریق پرسشنامه). از این‌رو، به نظر می‌رسد که در شهرستان‌های مورد مطالعه در استان خراسان، محدودیت آب اهمیت بیشتری نسبت به نیتروژن داشته باشد.



شکل ۵- تغییرات عملکرد چغندرقند تحت شرایط محدودیت نیتروژن در شهرستان‌های مورد مطالعه طی سال‌های ۲۰۰۸-۱۹۹۲

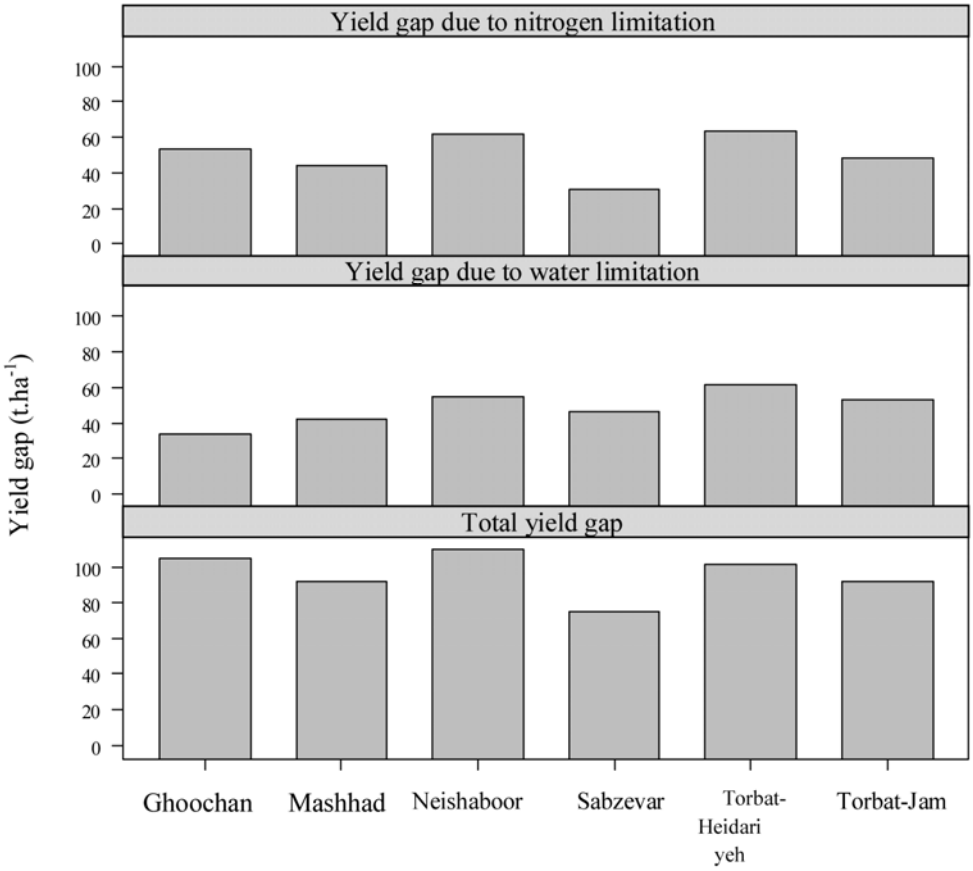
Fig. 5- Long term simulation of nitrogen-limited yield of sugar beet in the studied locations during 1992-2008

خلاء عملکرد چغندرقند

خلاء عملکرد کل، خلاء عملکرد ناشی از محدودیت آب و نیتروژن برای تمامی شهرستان‌های مورد مطالعه در شکل ۶ نشان داده شده است. خلاء عملکرد کل در مناطق مختلف از ۷۴ (در شهرستان سبزوار) تا ۱۰۹ تن در هکتار (در شهرستان نیشابور) متغیر بود. با توجه به دامنه عملکرد واقعی به دست آمده توسط کشاورزان (۳۰-۲۳ تن در هکتار)، خلاء عملکرد بیشتر در برخی شهرستان‌ها مثل قوچان و نیشابور بیشتر به دلیل عملکرد پتانسیل بالاتر آن‌ها بوده است که تحت تأثیر مجموعه‌ای از عوامل اقلیمی، خاکی و مدیریتی به دست آمده است. باید توجه داشت که خلاء عملکرد محاسبه شده، میانگین تمامی سال‌های مورد مطالعه است و نوسانات سالانه در میزان خلاء دیده شده است. پارسا (Parsa, 2007) ضمن برآورد خلاء عملکرد کل چغندرقند از ۱۴ تا ۷۰ تن در هکتار در شهرستان‌های استان خراسان، دلایل وجود خلاء عملکرد را در این مناطق، کوچک بودن اراضی، عدم به کارگیری ماشین آلات و مکانیزاسیون، استفاده از بذور پلی‌ژرم، کشت غیر ردیفی و عدم استفاده از کودهای میکرو اعلام کرد.

در شرایط محدودیت آب خلاء عملکرد به طور متوسط ۴۹ تن در هکتار برآورد شد. همان‌طور که قبلاً نیز اشاره شد شهرستان‌های قوچان و مشهد به دو دلیل خلاء عملکرد ناشی از محدودیت آب کمتری نسبت به بقیه شهرستان‌ها داشتند. اول، تعداد دفعات آبیاری بیشتر در این شهرستان‌ها (به ترتیب ۱۹ و ۲۰ مرتبه) و دوم، شرایط آب و هوایی که باعث نگهداری آب بیشتری در خاک در طول فصل رشد شد. برای مثال فشار بخار زیاد آب در هوا، سرعت باد نسبتاً کم و نیز بارندگی‌های تجمعی بیشتر در آن‌ها را می‌توان نام برد. با وجودی که به طور متوسط، برخی کشاورزان تا ۲۰ مرتبه زمین را آبیاری کرده‌اند، هنوز خلاء عملکرد ناشی از کمبود آب در این مناطق تا ۴۲ تن در هکتار مشاهده می‌گردد. طولانی بودن فصل رشد چغندرقند در اکثر شهرستان‌های استان خراسان از یک سو، و شرایط آب و هوایی گرم در طی مراحل رشدی گیاه (اواخر بهار و در طول فصل تابستان)، از جمله دلایلی است که بر شدت و میزان تبخیر- تعرق گیاه افزوده و در حد ظرفیت مزرعه نگه دارد. این در حالی است که در شرایط محدودیت آب، در شهرستان‌های سبزوار و تربت‌جام حدود ۱۴۰۰-۱۳۰۰ میلی‌متر به صورت دستی در مدل آبیاری شده است (میزان واقعی آب مصرف شده توسط کشاورزان). بر این مبنا، برای رساندن عملکرد در شرایط محدودیت آب به عملکرد پتانسیل در این دو شهرستان (با فرض ثابت بودن سایر عملیات مدیریتی)، به طور تقریبی حدود دو برابر آب بیشتر از آن‌چه مصرف می‌شود، نیاز است. بر این اساس به نظر می‌رسد با وجودی که پتانسیل عملکرد چغندرقند در اکثر شهرستان‌های استان خراسان بالا است (بیش از ۱۳۰ تن در هکتار) اما نسبت عملکرد تولید شده به آب مصرفی که همان بهره‌وری آب است، در این مناطق بسیار پایین بوده و تولید چغندرقند با هزینه و مصرف بسیار بالای آب (به عنوان مهمترین نهاده در کشور) انجام می‌شود. از این‌رو علی‌رغم بالا بودن پتانسیل عملکرد چغندرقند، با توجه به کمبود منابع آبی به نظر می‌رسد کشت چغندرقند در شهرستان‌های استان خراسان، چندان مقرون به صرفه نبوده و کارآیی بالایی ندارد. این در حالی است که در سایر شهرستان‌ها مثل نیشابور و مشهد به دلیل شرایط مساعدتر اقلیمی تنها ۷۵ تا ۱۲۴ میلی‌متر آب برای پر کردن خلاء عملکرد ناشی از آب، نیاز است. تعداد دفعات آبیاری کمتر (۵-۴ مرتبه کمتر از سایر مناطق)، سرعت باد بیشتر و نیز بارندگی‌های تجمعی کم در طول فصل رشد را می‌توان از دلایل بالا بودن خلاء عملکرد ناشی از محدودیت آب در شهرستان‌های تربت‌جام و تربت‌حیدریه بر شمرد (جدول ۴).

نتایج به دست آمده از آزمایش‌های شبیه‌سازی در شرایط محدودیت آب، با استفاده از مدل سوکرزبیت همچنین نشان داد که برای رسیدن به عملکرد به دست آمده در شرایط پتانسیل، بسته به شرایط آب و هوایی بیش از ۲۰۰۰ میلی‌متر آب در شهرستان‌های سبزوار و تربت‌جام و ۱۵۰۰-۱۴۰۰ میلی‌متر آب در شهرستان‌های قوچان و نیشابور مورد نیاز است. در این شرایط، مدل در حالت آبیاری خودکار قرار گرفته و تا اندازه‌ای آبیاری می‌کند که همواره آب خاک را در حد ظرفیت مزرعه‌ای نگه دارد. نتایج تحقیقات منتشر شده در کشور در خصوص نیاز آبی چغندرقند با لایسیمتر نشان می‌دهد که بسته به شرایط آب و هوایی (منطقه و سال) از ۱۴۰۰ میلی‌متر در مشهد (با عملکرد ۵۶ تن درهکتار) تا ۱۸۸۵ میلی‌متر در کرمانشاه، آب برای تأمین نیاز آبی این گیاه نیاز است (Shahabifar & Rahimian, 2007). همچنین در مناطق دیگر نیز در کشور تا ۲۰۰۰ میلی‌متر نیاز آبی چغندرقند گزارش شده است (Farshi et al., 1997).



شکل ٦- میانگین خلاء عملکرد چغندرقند در شهرستان‌های مورد مطالعه

Fig. 6- Average yield gap of sugar beet in study locations

با در نظر گرفتن متوسط تمامی شهرستان‌ها، در شرایط محدودیت نیتروژن خلاء عملکردی معادل ۴۸ تن در هکتار برآورد شد. در مناطقی که متوسط کاربرد نیتروژن کمتر از سایر مناطق بود (مثل سبزوار)، انتظار می‌رفت که خلاء عملکرد ناشی از محدودیت نیتروژن بیشتر باشد، ولی در تمامی شرایط این‌طور نیست. دلیل اصلی این مسأله عملکرد پتانسیل کمتر در این شهرستان‌ها است، زیرا خلاء عملکرد ناشی از محدودیت نیتروژن از اختلاف بین عملکرد پتانسیل و عملکرد در شرایط محدودیت نیتروژن در هر شهرستان به دست آمده است. نتایج این تحقیق همچنین نشان داد که برای پر کردن خلاء عملکرد ناشی از کمبود نیتروژن و رساندن آن به عملکرد پتانسیل به طور متوسط ۴۴۰ کیلوگرم در هکتار در برخی شهرستان‌ها (برای مثال، سبزوار)، نیتروژن برای جذب توسط گیاه چغندرقند نیاز است. این در حالی است که میزان نیتروژن به کار برده شده در مزارع کشاورزان به طور متوسط ۵۰ درصد این مقدار بوده است.

ذکر این نکته ضروری است که این میزان نیتروژن برای رسیدن به حداکثر عملکرد (پتانسیل) است. بنا به نظر اسمیت (Smit, 1996) سطوح بهینه نیتروژن برای به دست آوردن حداکثر عملکرد اندام ذخیره‌ای، حداکثر عملکرد قند، حداکثر سودآوری اقتصادی و حتی در نظر گرفتن مسائل زیست‌محیطی متفاوت است. آن‌ها در تحقیق خود مقدار بهینه کود نیتروژن را برای چغندرقند در انگلستان به ترتیب ۱۸۰، ۲۰۰ و ۲۴۰ کیلوگرم در هکتار برای نیل به حداکثر سود اقتصادی، حداکثر عملکرد قند و عملکرد اندام ذخیره‌ای گزارش کردند. با این مقادیر کود نیتروژن در آن منطقه، به طور میانگین عملکردی معادل ۶۱ تن در هکتار به دست آمد.

نکته دیگری که در این تحقیق به آن پرداخته نشد، شبیه‌سازی خصوصیات کیفی چغندرقند (از جمله عیار قند و درصد سدیم) در شرایط محیطی گوناگون بود.

جدول ٤-میانگین متغیرهای اقلیمی از کاشت تا برداشت چغندرقند در شهرستان‌های مورد مطالعه (در استان خراسان)

Table 4- Long term solar radiation, temperature, rainfall, wind speed and vapour pressure over growing season of sugar beet in study locations

منطقه Location	تشعشع تجمعی (مگاژول بر مترمربع) Accumulative radiation(MJ. m^{-2})			درجه حرارت (سانتی‌گراد) Temperature (°C)			بارندگی تجمعی (میلی‌متر) Accumulative rainfall (mm)			سرعت باد (متر بر ثانیه) Wind speed (m. s^{-1})			فشار بخار آب (کیلوپاسکال) Vapour pressure (kpa)		
	میانگین Mean	حداکثر Max	حداقل Min	میانگین Mean	حداکثر Max	حداقل Min	میانگین Mean	حداکثر Max	حداقل Min	میانگین Mean	حداکثر Max	حداقل Min	میانگین Mean	حداکثر Max	حداقل Min
قوچان Ghoochan	5124	5345	4849	18.2	19.4	16.7	154	265	80	1.9	4.2	0.9	0.9	1	0.8
مشهد Mashhad	4857	5269	4600	20.6	22.3	18.5	107	213	55	2.7	3.5	1.5	0.9	1.2	0.7
نیشابور Neishaboor	5533	5719	5409	19.4	20.7	17.3	91	172	48	1.4	2.7	0.8	0.8	1	0.7
سبزوار Sabzevar	5466	5615	5342	24	25.2	22.6	63	114	14	3.7	5.5	2.8	0.3	1	0.1
تربت‌حیدریه Torbat-Heidariyeh	5514	5689	5336	19.4	20.8	17.4	94	206	17	2.7	4	1.7	0.8	1	0.7
تربت‌جام Torbat-Jam	5594	5777	5262	20.9	22.2	19.9	71	142	33	4.7	5.4	4	0.9	1	0.8

این مسأله به خصوص در سطوح مختلف کود نیتروژن قابل توجه است، زیرا مصرف بیش از تقاضای بهینه گیاه باعث تجمع نیتروژن مضره در اندام‌های ذخیره‌ای چغندرقند شده و عملکرد قند را به شدت کاهش می‌دهد. برای مثال اسمیت (Smit, 1996) گزارش کرد که به ازای هر ۱۵ کیلوگرم کاربرد کود نیتروژن اضافی، محتوی قند ریشه تا ۰/۱ درصد کاهش یافت و این مسأله عملکرد قند را تحت تأثیر قرار داد.

نتیجه‌گیری

به طور کلی، نتایج به دست آمده از مدل سوکرزبیت نشان داد که خلاء عملکرد کل در مناطق مختلف در استان خراسان رضوی از ۷۴ (در شهرستان سبزوار) تا ۱۰۹ (در شهرستان نیشابور) تن در هکتار متغیر بود. در شرایط محدودیت آب به طور متوسط ۴۹ تن در هکتار خلاء عملکرد برآورد شد. در نظر گرفتن متوسط تمامی شهرستان‌ها، در شرایط محدودیت نیتروژن خلاء عملکردی معادل ۴۸ تن در هکتار برآورد شد. با وجودی که به طور متوسط، برخی کشاورزان تا ۲۰ مرتبه زمین را آبیاری کرده‌اند، هنوز خلاء عملکرد ناشی از کمبود آب در این مناطق تا ۴۲ تن در هکتار مشاهده می‌گردد. از این‌رو، به نظر می‌رسد شرایط واقعی تولید در استان با شرایط پتانسیل آن اختلاف قابل توجهی دارد که می‌بایست در آینده با برنامه‌ریزی دقیق‌تر مدیریتی بتوان در سدد کاهش این خلاءها گام‌های مؤثرتری برداشته شود. از سوی دیگر، برای رساندن عملکرد در شرایط آب محدود به عملکرد پتانسیل در برخی از شهرستان‌های مورد مطالعه، با فرض ثابت بودن سایر عملیات مدیریتی، به طور تقریبی حدود دو برابر آب بیشتر از آن-چه مصرف می‌شود، نیاز است. بر این اساس به نظر می‌رسد با وجودی که پتانسیل عملکرد چغندرقند در اکثر شهرستان‌های استان خراسان بالا است (بیش از ۱۳۰ تن در هکتار)، اما نسبت عملکرد تولید شده به آب مصرفی که همان بهره‌وری آب است، در این مناطق بسیار پایین بوده و تولید چغندرقند با هزینه و مصرف بسیار بالای آب انجام می شود. نتایج به دست آمده از این تحقیق با توجه به اهمیت چغندرقند و بحث واردات شکر گامی قابل توجه در جهت رساندن عملکرد واقعی کشاورزان به عملکرد قابل حصول خواهد بود تا در حد امکان برنامه‌ریزان بتوانند در جهت مدیریت خلاءهای تولید در این مناطق گام بردارند.

منابع

1- Aggarwal, P.K., and Kalra, N. 1994. Simulating the effect of climatic factors, genotype, water and nitrogen availability on productivity of wheat: II. Climatically potential yields and optimal management strategies. Field Crops Research 38: 93-103.
2- Anonymous. 2009. Agriculture Statistics. Vol. 1. Filed Crops. Jihad-e-Agriculture Ministry. (In Persian)
3- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., and Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration (guidelines for computing crop water requirements). FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56. 290 pp.
4- Alexandratos, N. 1995. World Agriculture: Towards 2010. FAO, Wiley, New York.
5- Angus, J.F., Stapper, M., and Donnelly, J.R. 1993. Simulation models for strategic and tactical management of crops and pastures. Journal of Agricultural Meteorology 48: 775-778.
6- Becker, M., and Johnson, D.E. 1999. Rice yield and productivity gaps in irrigated systems of the forest zone of Côte d'Ivoire. Field Crops Research 60(3): 201-208.
7- Bhatia, V.S., Singh, P., Wani, S.S., Chauhan, G.S., Rao, A.V.R, Mishra, A.K., and Srinivas, K. 2008. Analysis of potential yields and yield gaps of rainfed soybean in India using CROPGRO-Soybean model. Agricultural and Forest Meteorology 148: 1252-1265.
8- Deihimfard, R. 2011. Analysis of yield gaps of wheat and sugar beet in Khorasan province using simulation modeling. PhD dissertation. Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. (In Persian with English Summary)
9- Deihimfard, R., Nassiri Mahallati, M., and Koocheki, A. 2011. SUCROSBEET: A simple model for simulating growth and development of sugar beet under potential and nitrogen-limited conditions. Journal of Agroecology 1(2): 1-20. (In Persian with English Summary)
10- Deihimfard, R., Nassiri Mahallati, M., and Koocheki, A. 2012. Yield gap analysis in the main sugarbeet-growing environments of Iran using SOCROSBEET model. In: Proceedings 6th International Crop Science Congress.

Brazilp. 3179.

11- Farshi, A., Shariati, A., Jarollahi, M.H., Ghaemi, R., Shahabifar, M.R., and Tavallaei, M. 1997. Estimation of Crop Water Requirements in Iran. Vol. I. Nashr Publication 900 pp. (In Persian)

12- Kalra, N., Chakraborty, D., Kumar, P.R., Jolly, M., and Sharma, P.K. 2007. An approach to bridging yield gaps, combining response to water and other resource inputs for wheat in northern India, using research trials and farmers' fields data. Agricultural Water Management 93: 54-64.

13- Manschadi, A.M., Soufizadeh, S., and Deihimfard, R. 2010. The role and importance of simulation modelling in improving crop production in Iran. The 11th Iranian Crop Science Congress 234-247. (In Persian)

14- Muchow, R.C., and Kropff, M.J. 1997. Assessing the potential yield of tropical crops: role of field experimentation and simulation. In: Kropff, M.J., Teng, P.S., Aggarwal, P. K., Bouma, J., Bouman, B.A.M., Jones, J.W., and Van Laar, H.H. (Eds.), Applications of Systems Approaches at the Field Level. Vol. II. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. The Netherlands p. 101-112.

15- Nassiri, M., and Koocheki, A. 2009. Agroecological zoning of wheat in Khorasan provinces: Estimating yield potential and yield gap. Iranian Journal of Field Crops Research 7(2): 695-709. (In Persian with English Summary)

16- Parsa, S. 2007. Modelling spatial and temporal variation of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) in Khorasan province. PhD dissertation. Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. (In Persian with English Summary)

17- Pickering, N.B., Hansen, J.W., Jones, J.W., Wells, C.M., Chan, V.K., and Godwin, D.C. 1994. Weather Man A: Utility for Managing and Generating Daily Weather Data. Agronomy Journal 86: 332-337.

18- R Development Core Team. 2011. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL http://www. R-project. org.

19- Scott, R.K., and Jaggard, K.W. 2000. Impact of weather, agronomy and breeding on yields of sugar beet grown in the UK since 1970. The Journal of Agricultural Sciences 134: 341-352.

20- Shahabifar, M., and Rahimian, M.H. 2007. Measurement of sugar beet water requirements by lysimeter method in Mashhad. Sugarbeet 23(2): 177-184 (In Persian with English Summary)

21- Smit, A.B. 1996. PIEteR: A field specific bio-economic production model for decision support in sugar beet growing. PhD thesis. Wageningen Agricultural University. The Netherland.

22- Soltani, A., Gholipoor, M., and Haji-Zadeh, A. 2005. SBBET: A simple model for simulating sugar beet yield. Agricultural Sciences and Technology 19(2): 11-26 (In Persian with English Summary)

23- Spitters, C.J.T., Van Keulen, H., and Van Kraalingen, D.W.G. 1989. A simple and universal crop growth simulator: SUCROS87. In: Simulation and System Management in Crop Protection. Rabbinge, R., Ward, S.A., and Van Laar, H.H. (Eds.), 32nd ed. p. 147-181. Pudoc, Wageningen, the Netherlands.

24- Tatari, M. 2008. Dryland wheat yield prediction using climatic and edaphic data by applying neural networks. PhD dissertation. Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. (In Persian with English Summary)

25- Vandendriessche, H.J. 2000. A model of growth and sugar accumulation of sugar beet for potential production conditions: SUBEMOpo. II. Model performance. Agricultural Systems 64: 21-35.

26- VanLaar, H.H., Goudriaan, J., and Van Keulen, H. 1997. SUCROS97: Simulation of crop growth for potential and water-limited production situations. C. de Wit Graduate School for Production Ecology and Resource Conservation, Wageningen. The Netherlands p. 52.

27- Wallach, D., Makowski, D., and Jones, J.W. 2006. Working with Dynamic Crop Models valuation, Analysis, Parameterization, and Applications. The Netherlands. The Boulevard, Langford Lane,Kidlington,Oxford OX5 1GB,UK.

28- WRR. 1995. Sustained risks: a lasting phenomenon. Netherlands Scientific Council for Government Policy. Reports to the Government. No. 44.

29- Yin, X., and Van Laar, H.H. 2005. Crop Systems Dynamics: An ecophysiological model of genotype-by-environment interactions (GECROS). Wageningen Academic Publishers, Wageningen 168 pp.

Journal of Agroecology
Vol. 7, No. 3, Fall 2015, p. 315-330

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۷، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۴، ص. ۳۳۰-۳۱۵

Simulating the potential yield and yield gaps of sugar beet due to water and nitrogen limitations in Khorasan province using SUCROS model

R. Deihimfard[1], M. Nassiri Mahallati[2*] and A. Koocheki[2]

Submitted: 18-12-2012
Accepted: 03-08-2013

Introduction

Crop productivity is highly constrained by water and nitrogen limitations in many areas of the world. Therefore, there is a need to investigate more on nitrogen and water management to achieve higher production as well as quality. Irrigated sugar beet in the cropping systems of Khorasan province in northeastern of Iran accounts for about 34% of the land area under sugar beet production (~115,000 ha) with an average yield of around 36 t.ha^{-1}. However, there is a huge yield gap (the difference between potential and water and nitrogen-limited yield) mainly due to biotic and abiotic factors causing major reduction in farmers' yield. Accordingly, yield gap analysis should be carried out to reduce the yield reduction and reach the farmer's yield to the potential yield. The current study aimed to simulate potential yield as well as yield gap related to water and nitrogen shortage in the major sugar beet-growing areas of Khorasan province of Iran.

Materials and methods

This study was carried out in 6 locations across Khorasan province, which is located in the northeast of Iran. Long term weather data for 1986 to 2009 were obtained from Iran Meteorological Organization for 6 selected locations. The weather data included daily sunshine hours (h), daily maximum and minimum temperatures (◦C), and daily rainfall (mm). Daily solar radiation was estimated using the Goudriaan (1993) method. The validated SUCROSBEET model (Deihimfard, 2011; Deihimfard et al., 2011) was then used to estimate potential, water and nitrogen-limited yield and yield gap of sugar beet for 6 selected locations across the Khorasan province in the northeast of Iran. This model simulates the impacts of weather, genotype and management factors on crop growth and development, soil water and nitrogen balance on a daily basis and finally it predicts crop yield. The model requires input data, including local weather and soil conditions, cultivar-specific parameters, and crop management information. Soil water module was used to determine soil water balance under water-limited conditions. Some questionnaires were then sent to extension agents to obtain information from the main sugar beet producing fields in each location.

Results and discussion

The SUCROSBEET model reasonably well predicted root yield across the study locations. The model could be used to simulate sugar beet yield under potential, water and nitrogen-limited situations. Simulation results of SUCROSBEET model showed that the lowest and highest sugar beet potential yield were obtained in Sabzevar (100 t.ha^{-1}) and Neishaboor (137 t.ha^{-1}), respectively. Total yield gap (the difference between potential and farmer's yield) ranged from 74 to 109 t.ha^{-1}, in Sabzevar and Neishaboor, respectively. Despite the fact that most of the farms had been irrigated up to 20 times over seasons, there were still yield gap of an average 42 t.ha^{-1} due to water shortage. To reach the potential yield in the study locations, more than 2000 mm water is required in Sabsevar and Torbat-Jam and 1400 to 1500 mm in Ghoochan and Neishaboor, respectively. On average, to fill nitrogen-limited yield gap, 440 to 530 kg.ha^{-1} of nitrogen for sugar beet uptake are also required. However, the farmers in various locations have been able to apply only 50% of the sugar beet nitrogen demands during the past decade. The results of the current study also suggested that the farmer yields of about 16-48 t.ha^{-1}in the irrigated locations across Khorasan province, were not constrained by low genetic yield potential. It is also needed to irrigate more than two times in some locations for reaching water-limited yield to potential one. Although there is a high potential for production of sugar beet (more than 130 t.ha^{-1}), the ratio of yield production to water consumption (known as water productivity) is not suitable in the study locations and production of sugar beet would not be cost-effective. Another issue which has not been considered in the simulations is qualitative traits of sugar beet (such as sugar content, Alkaloids, molasses sugar, sodium and

1- Former PhD Student and Professors and Assistant Professor, Shahid Beheshty University 2- Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
(*- Corresponding author Email: mnassiri@um.ac.ir)

potassium in storage organ, etc.) particularly under different levels of nitrogen applications. Although increasing nitrogen application would be resulted in higher yield and lower yield gaps, supplied nitrogen more than crop demand could be accumulated in storage organs and reduce white sugar yield. For instance, every 15 kg additional application of nitrogen reduced sugar content by 0.1 percent and reduced extraction coefficient of sugar. It is also worth noting that the current version of SUCROSBEET model is not capable to simulate qualitative traits of sugar beet and a few subroutines are needed to add to the model for future investigations.

Conclusion

The results indicated that although there is high yield potential for sugar beet in Khorasan province, water productivity would not be reasonable. In addition, yield gap in sugar beet cropping systems which reflects the actual yield gap in irrigated environments is essentially due to non-adoption of improved crop management practices and could be reduced if proper interventions are made.

Keywords: Limiting factors, Modeling, Nitrogen balance, Nitrogen shortage

References

Deihimfard, R. 2011. Analysis of yield gaps of wheat and sugar beet in Khorasan province using simulation modeling. PhD Dissertation. Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. (In Persian with English Summary)

Deihimfard, R., Nassiri Mahallati, M., and Koocheki, A. 2011. SUCROSBEET: A simple model for simulating growth and development of sugar beet under potential and nitrogen-limited conditions. Journal of Agroecology 1(2): 1-20. (In Persian with English Summary)

Goudriaan, J. 1993. Modelling Potential Crop Growth Processes. Kulwer Academic Press. The Netherlands.