

ارزیابی وضعیت بهره‌وری و شاخص نسبت عرضه به تقاضای آب در چغندر قند (*Beta vulgaris* L.) با استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی رشد در استان خراسان رضوی  
Assessment of water productivity and supply: demand ratio index in sugar beet (*Beta vulgaris* L.) in Khorasan Razavi province, Iran using growth simulation models

اسماعیل محمدی احمد - محمودی<sup>۱</sup>، رضا دیهیم فرد<sup>۲</sup> و امید نوری<sup>۳</sup>

چکیده

محمدی احمد - محمودی، ا.، ر. دیهیم فرد و ا. نوری. ۱۳۹۸. ارزیابی وضعیت بهره‌وری و شاخص نسبت عرضه به تقاضای آب در چغندر قند (*Beta vulgaris* L.) با استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی رشد در استان خراسان رضوی. نشریه علوم زراعی ایران. ۲۱(۳): ۲۸۶-۲۶۸.

با توجه به افزایش سریع جمعیت و نیاز به تولید بیشتر محصولات کشاورزی، توجه به موضوع کم‌آبی و افزایش بهره‌وری آب اهمیت بیشتری پیدا کرده است. به این منظور آزمایشی با استفاده از مدل شبیه‌سازی SUCROS، داده‌های بلندمدت اقلیمی (۱۳۶۴ تا ۱۳۹۴) و جمع‌آوری پرسشنامه از کشاورزان، جهت ارزیابی بهره‌وری آب در نظام‌های کشت چغندر قند در ۱۰ شهرستان استان خراسان رضوی و ارزیابی نقش مدیریت در بهره‌وری آب و وقوع تنش خشکی اجرا شد. نتایج شبیه‌سازی‌های بلندمدت نشان داد عملکرد واقعی کشاورزان (۳۳/۵ تن در هکتار) تنها یک‌سوم عملکرد قابل دستیابی (۹۷/۳ تن در هکتار) چغندر قند در مناطق مورد بررسی بود که ۴۸ درصد از این خلاء عملکرد به دلیل محدودیت آب بود. نتایج نشان داد که بهره‌وری پایین آب آبیاری (۱/۸ تا ۳/۱۵ کیلوگرم بر مترمکعب) در مناطق مورد بررسی بود. بر اساس نتایج به‌دست آمده، عدم مدیریت صحیح آبیاری، به‌رغم مصرف بالای آب در برخی از شهرستان‌ها باعث کاهش بهره‌وری مصرف آب و وقوع تنش خشکی در طول فصل رشد گردید. نتایج نشان داد که بین بهره‌وری آب و شاخص عرضه به تقاضای آب در شهرستان‌های استان ارتباط مثبت و معنی‌داری وجود داشت. با توجه به نتایج این تحقیق، وضعیت این شاخص در طول فصل رشد تحت تاثیر مدیریت آبیاری، دمای هوا (به‌ویژه در ماه‌های گرم سال) و ظرفیت نگهداری آب خاک در هر شهرستان متغیر بود. این نتایج نشان دهنده ضرورت رعایت زمان‌بندی صحیح آبیاری بر اساس نیاز گیاه و ظرفیت نگهداری آب خاک در طول فصول گرم جهت تامین نیاز رطوبتی گیاه چغندر قند است.

واژه‌های کلیدی: خلاء عملکرد، چغندر قند، زمان‌بندی آبیاری و مدل شبیه‌سازی SUCROS

این مقاله مستخرج از رساله دکتری نگارنده اول می‌باشد.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۰۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۴/۲۶

۱- دانشجوی دکتری پژوهشکده علوم محیطی دانشگاه شهید بهشتی، تهران

۲- استادیار پژوهشکده علوم محیطی دانشگاه شهید بهشتی، تهران (مکاتبه کننده) (پست الکترونیک: deihim@sbu.ac.ir, deihimfard@gmail.com)

۳- استادیار پژوهشکده علوم محیطی دانشگاه شهید بهشتی، تهران

## مقدمه

بخش کشاورزی بزرگترین مصرف کننده منابع آبی قابل دسترس است، به طوری که حدود ۷۰ درصد از منابع آبی شیرین در کره زمین جهت آبیاری محصولات کشاورزی مصرف می شود (Sahin et al., 2014). به همین دلیل سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد آب را منبع اصلی امنیت غذایی معرفی کرده است. در حال حاضر ۲۶ کشور در کره زمین دچار کمبود شدید آب هستند که بخش عمده آنها در آفریقا و خاورمیانه قرار دارند (Keshavarz and Dehghani Sanij, 2011). کشور ایران نیز در خاورمیانه یکی از کشورهایی است که کم آبی در آن به یک معضل تبدیل شده است (Alizadeh and Keshavarz, 2005). تعداد زیادی از استان های کشور با کم آبی مواجه هستند که استان خراسان رضوی با متوسط بارندگی سالیانه ۲۱۰ میلی متر نیز از این قاعده مستثنی نیست. از بین ۳۷ دشت استان خراسان رضوی ۱۲ دشت ممنوعه بحرانی، ۲۲ دشت ممنوعه عادی و تنها سه دشت آزاد جهت برداشت آب گزارش شده اند (Rahnama and Shaddel, 2015). با توجه به افزایش سریع جمعیت و نیاز به تولیدات بیشتر محصولات کشاورزی و به دنبال آن افزایش فشار بر منابع آبی جهت تامین امنیت غذایی، بحران کم آبی در آینده اهمیت بیشتری پیدا خواهد کرد (FAO, 2012).

چغندر قند یکی از دو گیاه زراعی اصلی برای تولید شکر است. با توجه به مصرف بالای شکر در ایران (هفت کیلوگرم بالاتر از سرانه مصرف جهانی شکر) و همچنین عدم امکان کشت نیشکر در اغلب مناطق کشور، توجه به کشت چغندر قند جهت تامین نیاز شکر کشور ضروری است. چغندر قند یکی از گیاهان زراعی مهم در ایران است که در محدوده وسیعی از شرایط اقلیمی کشت می شود. متوسط سطح زیر کشت چغندر قند از دهه ۶۰ تا کنون در کشور حدود ۱۵۰ هزار هکتار برآورد شده است. در برخی از سالها

سطح زیر کشت چغندر قند کاهش داشته و در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ به کمتر از ۱۰۰ هزار هکتار رسید. هرچند بر اساس آخرین آمار ارائه شده توسط وزارت جهاد کشاورزی، برخلاف روند کاهشی چند سال اخیر، سطح زیر کشت چغندر قند در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ اندکی افزایش داشته و به ۱۴۰ هزار هکتار رسیده است (Anonymous, 2018). یکی از مهم ترین دلایل کاهش سطح زیر کشت چغندر قند در سال های اخیر، طولانی بودن دوره رشد و نیاز آبی نسبتاً زیاد چغندر قند است. با توجه به اینکه چغندر قند تحمل نسبتاً کمی به خشکی بلندمدت دارد، توجه به مدیریت آب و افزایش تولید به ازای آب آبیاری، یکی از مهم ترین چالش های پیش روی تولید این محصول است (Jabro et al., 2014). بنابراین توجه به افزایش بهره وری مصرف آب، به ویژه در مناطق مواجه محدودیت منابع آبی، بسیار ضروری است (Molden et al., 2010).

تحقیقات زیادی روی ارزیابی بهره وری آب در گیاهان زراعی مختلف صورت گرفته است (Mandare et al., 2008; Qiu et al., 2008; Ghasemi Dehghan et al., 2011; Nezhad Raeini et al., 2014). ساینی و برار (Saini and Brar, 2018) با ارزیابی بهره وری آب در گیاه چغندر قند در شیوه های مختلف آبیاری و روش های مختلف کشت گزارش کردند که جهت دستیابی به بهره وری آبی مناسب، کشت دو ردیفه روی پشته و انجام آبیاری در زمانی که نسبت آب مصرفی به میزان تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر معادل ۰/۸ باشد، مناسب تر است. ال مارسافاوی و همکاران (El-Marsafawy et al., 2018) وضعیت بهره وری آب در دلتای نیل را با استفاده از مدل CROPWAT8.0 در طول سه دهه (۱۹۸۵-۲۰۱۵) مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که بهره وری آب از دهه اول تا دهه دوم ۴۱ درصد و از دهه دوم تا دهه سوم ۲۲ درصد افزایش داشت که این موضوع عمدتاً به دلیل افزایش قابل ملاحظه در عملکرد محصولات زراعی

(به دلیل استفاده از روش‌های بهتر و ارقام بهتر) بود. وظیفه دوست و همکاران (Vazifedoust et al., 2008) در آزمایشی روش‌های افزایش بهره‌وری آب در منطقه برخوار اصفهان را با استفاده از مدل SWAP مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها گزارش کردند که بهبود عملیات آبیاری (زمان‌بندی و حجم آب آبیاری) باعث افزایش بهره‌وری آبیاری در گیاهان گندم، ذرت علوفه‌ای، آفتابگردان و چغندر قند (به ترتیب به میزان ۱/۵، ۱/۵، ۱/۳ و ۱/۱ کیلوگرم بر مترمکعب) خواهد شد. با توجه به نتایج پژوهش‌های صورت گرفته، به نظر می‌رسد که بازنگری در وضعیت بهره‌وری تولید محصولات کشاورزی در مناطق مختلف می‌تواند تاثیر زیادی در بهبود عملکرد آنها، با توجه به مهم‌ترین عامل محدود کننده تولید (آب)، داشته باشد.

این پژوهش با هدف تعیین سهم محدودیت آب در نقصان عملکرد چغندر قند و همچنین وضعیت بهره‌وری آب در نظام‌های کشت چغندر قند و ارتباط آن با وضعیت خشکی در طول فصل رشد در ۱۰ شهرستان استان خراسان رضوی و نقش مدیریت صحیح در بهره‌وری آب و وقوع خشکی در طول فصل رشد چغندر قند اجرا شده است.

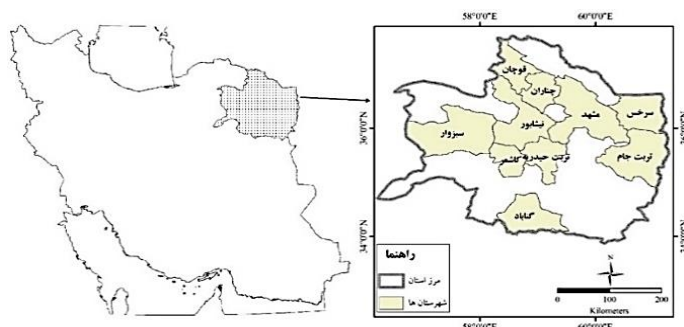
### مواد و روش‌ها

این پژوهش با استفاده از داده‌های بلند مدت اقلیمی؛ طی سال‌های ۱۳۶۴ تا ۱۳۹۴ در ۱۰ شهرستان استان خراسان رضوی اجرا شد. وسعت استان خراسان رضوی بیش از ۱۲۷ هزار کیلومترمربع است که بین مدار جغرافیایی ۳۳ درجه و ۵۲ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۴۲ دقیقه عرض شمالی و ۵۶ درجه و ۱۹ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۱۶ دقیقه طول شرقی قرار گرفته است (شکل ۱). استان خراسان رضوی از تنوع اقلیمی گسترده‌ای برخوردار است، با این حال بخش عمده‌ای از استان دارای آب و هوای خشک و نیمه خشک است. متوسط بارندگی سالیانه و دماهای کمینه و بیشینه مناطق مورد مطالعه در

جدول ۱ ارائه شده است.

در این پژوهش میزان عملکرد و بهره‌وری آبی گیاه چغندر قند در سه سطح تولید پتانسیل، محدودیت آبی و واقعی در ۱۰ شهرستان استان خراسان رضوی مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور از نسخه‌ای از مدل شبیه سازی SUCROS (Van Laar et al., 1997) استفاده شد. این مدل پیش‌تر و بر اساس چندین آزمایش مزرعه‌ای برای برآورد رشد و عملکرد گیاه چغندر قند، پارامترسازی و ارزیابی شده است (Deihimfard et al., 2011). در این مدل سرعت فتوسنتز روزانه پوشش گیاهی بر اساس مقدار تابش دریافتی و رابطه فتوسنتز تک برگ و شدت نور دریافتی و انتگرال‌گیری بر حسب شاخص سطح برگ و طول روز برآورد می‌شود (Spitters et al., 1989). پس از کسر تلفات ناشی از تنفس رشد و نگهداری، سرعت تجمع ماده خشک بر اساس سرعت فتوسنتز پوشش گیاهی محاسبه می‌شود. به منظور استفاده از این مدل در شرایط محدودیت آبی، بیلان آب (فرآیندهای تبخیر، تعرق، زه‌کشی، رواناب و جذب آب توسط ریشه‌ها) به مدل اضافه شده است. در مدل جهت برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل از معادله ترکیبی پنمن-مونتیت استفاده شده است. اطلاعات بیشتر در رابطه با این مدل توسط ون‌لار (Van Laar et al., 1997) ارائه شده است.

اطلاعات ورودی این مدل جهت برآورد رشد و تولید محصول در سطوح مختلف تولید، شامل داده‌های اقلیمی، خاکی و مدیریتی است. به این منظور اطلاعات بلندمدت اقلیمی شهرستان‌های مورد بررسی از سازمان هواشناسی کل کشور دریافت شد. این اطلاعات شامل تابش (ساعات آفتابی)، بیشینه و کمینه دما، بارش، سرعت باد و فشار بخار هوا بود. داده‌های خاکی مورد نیاز شامل محتوای رطوبتی در ظرفیت مزرعه و نقطه پژمردگی خاک بود که جهت شبیه‌سازی شرایط رطوبتی خاک به وسیله مدل استفاده می‌شوند. این



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی ۱۰ شهرستان مورد مطالعه در استان خراسان رضوی

Fig. 1. Geographical situation of the 10 studied counties in Khorasan Razavi province, Iran

جدول ۱- میانگین بلند مدت دمای بیشینه، دمای کمینه و مجموع بارندگی سالیانه ۱۰ شهرستان مورد مطالعه در استان خراسان رضوی

Table 1. The long-term average of maximum temperature, minimum temperature, mean temperature and cumulative annual precipitation of 10 studied counties in khorasan razavi province, iran

County	شهرستان	دمای میانگین Mean temp. (°C)	دمای بیشینه Max temp. (°C)	دمای کمینه Min temp. (°C)	بارندگی Rainfall (mm)
Chenaran	چناران	13.8	20.7	7.0	209.1
Gonabad	گناباد	17.6	24.1	11.2	125.7
Kashmar	کاشمر	17.6	23.2	12.1	188.1
Mashhad	مشهد	15.6	22.2	9.1	237.9
Neyshabur	نیشابور	14.5	22.2	6.8	235.1
Quchan	قوچان	12.8	19.7	5.9	318.0
Sabzevar	سبزوار	18.3	24.9	11.8	183.6
Sarakhs	سرخس	18.1	25.0	11.3	187.2
Torbat-E Heydariyeh	تربت حیدریه	14.2	20.7	7.7	255.7
Torbat-E Jam	تربت جام	15.8	22.6	9.0	164.6

هر شهرستان جمع آوری گردید.

با فراهم شدن اطلاعات مورد نیاز، شبیه‌سازی‌های بلندمدت (۲۰ تا ۳۰ سال بسته به شهرستان) رشد چغندر قند در هر شهرستان انجام شد. شبیه‌سازی‌ها در دو سطح تولید پتانسیل و محدودیت آب [حداکثر عملکردی است که در شرایط محدودیت آبی (آب باران+ آب آبیاری که کشاورز امکان دسترسی به آن را دارد، جدول ۲) به دست می‌آید] جهت برآورد عملکرد و شبیه‌سازی روزانه رشد و شرایط رطوبتی خاک در طول فصل رشد در هر شهرستان انجام شد. بعلاوه شبیه‌سازی در شرایط محدودیت آب با تاریخ کشت واقعی (محدودیت آبی همراه با تاریخ کاشت واقعی

داده‌ها از اطلاعات بافت خاک به دست آمده از آزمایش تاتاری (Tatari, 2008) و همچنین اطلاعات جمع آوری شده از پایش‌های میدانی و نیز با استفاده از توابع خاکی (Pedotransfer functions) در مدل SPAW (Soil-Plant-Air-Water) (Saxton and Willey, 2006) شامل اطلاعات به دست آمده. سایر داده‌های مورد نیاز، شامل اطلاعات مدیریتی بود که با توجه به اهداف تحقیق، پرسشنامه‌ای تنظیم و بین کشاورزان چغندر کار ۱۰ شهرستان مورد نظر توزیع شد. این پرسشنامه‌ها حاوی سوالاتی مربوط به تاریخ کاشت و برداشت، زمان شروع آبیاری، مقدار و زمان آبیاری، نوع رقم چغندر قند، بافت خاک و عملکرد مزارع بود. در مجموع تعداد ۶۰ پرسشنامه از

جدول ۲- جزئیات مربوط به تیمارهای شبیه‌سازی، مدیریت آب آبیاری و ویژگی‌های خاک‌های زیر کشت چغندر قند در ۱۰ شهرستان استان خراسان رضوی

Table 2. Details of simulation treatments, water management and soil properties of sugar beet fields of 10 counties in Khorasan Razavi province, Iran

County	شهرستان	تعداد سال‌های شبیه‌سازی Number of simulation years	تاریخ کشت Sowing date	زمان شروع آبیاری Start of irrigation	دفعات آبیاری Number of irrigations	رطوبت خاک در ظرفیت مزرعه Soil water content at FC (cm <sup>3</sup> .cm <sup>-3</sup> )	رطوبت خاک در نقطه پژمردگی Soil water content at WP (cm <sup>3</sup> .cm <sup>-3</sup> )	ظرفیت نگهداری آب خاک Soil water holding capacity (mm)
Chenaran	چناران	20	۱۵ فروردین. 4 Apr.	۱۵ فروردین. 4 Apr.	18	0.4	0.24	160
Gonabad	گناباد	23	۱۵ فروردین. 4 Apr.	۲۰ فروردین. 9 Apr.	19	0.27	0.10	170
Kashmar	کاشمر	24	۱ اردیبهشت. 21 Apr.	۱ خرداد. 22 May	9	0.32	0.12	200
Mashhad	مشهد	24	۱ فروردین. 21 Mar.	۳۰ فروردین. 19 Apr.	15	0.36	0.11	250
Neyshabur	نیشابور	24	۲۵ فروردین. 14 Apr.	۳۰ فروردین. 19 Apr.	14	0.34	0.20	140
Quchan	قوچان	23	۱ اردیبهشت. 21 Apr.	۱۰ اردیبهشت. 30 Apr.	17	0.34	0.20	140
Sabzevar	سبزوار	24	۱۵ فروردین. 4 Apr.	۱۵ فروردین. 4 Apr.	14	0.27	0.10	170
Sarakhs	سرخس	31	۲۰ فروردین. 9 Apr.	۱۰ اردیبهشت. 30 Apr.	14	0.34	0.20	140
Torbat-E Heydariyeh	تربت حیدریه	31	۱۵ فروردین. 4 Apr.	۱۵ فروردین. 4 Apr.	19	0.36	0.11	250
Torbat-E Jam	تربت جام	23	۲۰ فروردین. 9 Apr.	۱۰ اردیبهشت. 30 Apr.	14	0.36	0.11	250

و خلاء عملکرد ناشی از سایر عوامل (سایر عوامل محدود کننده و کاهنده تولید مانند شوری خاک، تاریخ کشت نامناسب، آفات و بیماری‌ها، کمبود عناصر غذایی و ...) ( $Y_{Go}$ ) در هر شهرستان برآورد شد (Wang *et al.*, 2014; Deihimfard *et al.*, 2015) (رابطه‌های ۱ تا ۳).

$$Y_G = A_Y - Y_a \quad (\text{رابطه ۱})$$

$$Y_{GW} = A_Y - Y_w \quad (\text{رابطه ۲})$$

$$Y_{Go} = Y_G - Y_{GW} \quad (\text{رابطه ۳})$$

مقدار بهره‌وری آب در هر شهرستان برای تمام سطوح عملکرد و تمام سال‌های شبیه‌سازی به عنوان معیاری از ارزش آبی هر واحد عملکرد تولید شده محاسبه گردید (Saini and Brar, 2018):

$$WP = \frac{\text{Rootyield}(\text{Kg} \cdot \text{ha}^{-1})}{\text{Waterapplied}(\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1})} \quad (\text{رابطه ۴})$$

WP: بهره‌وری آب است که از نسبت بین عملکرد ریشه چغندر قند به میزان آب استفاده شده در طول فصل رشد برآورد می‌شود. علاوه بر بهره‌وری آب، شاخص عرضه به تقاضای آب (Supply/Demand) در تمامی سطوح عملکرد اشاره شده در بالا محاسبه شده و روند این شاخص در طول فصل رشد نیز مورد ارزیابی قرار گرفت:

$$SDR = \frac{\text{Soil watersupply}}{\text{Crop Waterdemand}} \quad (\text{رابطه ۵})$$

$$\text{Water Supply} = \sum (\text{sw}(\text{layer}) - \text{ll}(\text{layer})) * \text{kl}(\text{layer}) \quad (\text{رابطه ۶})$$

$$\text{Waterdemand} = \frac{\Delta DM * VPD}{\text{Transp} - \text{eff}} \quad (\text{رابطه ۷})$$

میزان عرضه آب با توجه به مقدار آب موجود در هر لایه از خاک زراعی که ریشه گیاه در آن حضور دارد، محاسبه می‌شود.  $sw$ : محتوای رطوبتی آب در لایه خاک مورد نظر (بر حسب میلی‌متر)،  $ll$ : محتوای آب خاک در نقطه پژمردگی (بر حسب میلی‌متر) و  $kl$ : سرعت خروج آب از گیاه (در روز) است.  $\Delta DM$ : تغییرات روزانه ماده خشک در شرایط پتانسیل (گرم ماده خشک تولیدی در مترمربع در روز)،  $\text{Transp}_{eff}$ : میزان کارایی تعرق ( $\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{mm}^{-1} \cdot \text{kPa}$ ) و  $VPD$ : (کیلو پاسکال) معیاری از وضعیت رطوبتی هوای

کشاورزان هر منطقه، جدول ۲) در هر شهرستان جهت شبیه‌سازی روزانه رشد گیاه زراعی و شرایط رطوبتی خاک در طول فصل رشد صورت گرفت. تاریخ کشت بهینه در کلیه شبیه‌سازی‌های مربوط به عملکرد پتانسیل و عملکرد در شرایط محدودیت آب، اول اسفند در نظر گرفته شده و تاریخ کشت واقعی نیز با توجه به اطلاعات جمع‌آوری شده از کشاورزان هر شهرستان در نظر گرفته شد (جدول ۲). در کلیه شبیه‌سازی‌ها عمق خاک ۱۰۰ سانتی‌متر و تراکم ۱۰ بوته در مترمربع در نظر گرفته شد. محتوای رطوبتی خاک در شرایط ظرفیت مزرعه و نقطه پژمردگی و دفعات آبیاری در شرایط آبی واقعی؛ بر اساس اطلاعات به دست آمده از پرسشنامه‌های مربوط به هر شهرستان تعیین شد. مقادیر عملکرد پتانسیل و عملکرد در شرایط محدودیت آب بر اساس خروجی‌های مدل استخراج شد و مقادیر عملکرد واقعی در هر شهرستان نیز بر اساس اطلاعات دریافت شده از سازمان جهاد کشاورزی و اطلاعات پرسشنامه‌های هر شهرستان تعیین شد. جزئیات مربوط به تیمارهای شبیه‌سازی در هر شهرستان در جدول ۲ ارائه شده است. با توجه به اینکه در سیستم‌های کشت فشرده با وجود بهترین شرایط مدیریتی، محدودیت از نظر ماشین‌آلات و محدودیت در کارایی اقتصادی تولید، مانع از رسیدن تولید به مقادیر پتانسیل است و میزان تولید در بهترین حالت به ۷۵ تا ۸۵ درصد از تولید پتانسیل می‌رسد (Espe *et al.*, 2016; van Ittersum *et al.*, 2013)، بنابراین ۸۵ درصد از عملکردهای پتانسیل شبیه‌سازی شده توسط مدل، به عنوان عملکرد قابل دستیابی (Attainable yield) در نظر گرفته شده و کلیه محاسبات بر اساس عملکرد قابل دستیابی صورت گرفت.

با توجه به عملکردهای قابل دستیابی ( $A_Y$ )، عملکرد در شرایط محدودیت آب ( $Y_w$ ) و عملکرد واقعی ( $Y_a$ ) در هر شهرستان، مقادیر خلاء عملکرد کل ( $Y_G$ )، خلاء عملکرد در شرایط محدودیت آب ( $Y_{GW}$ )

آب و مواد غذایی و عدم وجود آفات و بیماری‌ها و علف‌های هرز بود. نتایج تجزیه و تحلیل شبیه‌سازی‌ها نشان داد که متوسط عملکرد قابل دستیابی چغندر قند در تمام شهرستان‌ها و سال‌های شبیه‌سازی ۹۷/۳ تن در هکتار بود که کمترین مقدار مربوط به شهرستان سرخس (۹۱/۲ تن در هکتار) و بیشترین مقدار مربوط به شهرستان تربت حیدریه (۱۰۳/۴ تن در هکتار) بود (جدول ۳). اختلاف اندک به دلیل تفاوت اقلیمی شهرستان‌های مورد بررسی به‌ویژه دمای هوا بود. برای مثال میانگین دمای هوا شهرستان‌های سرخس و تربت حیدریه به ترتیب ۱۸/۱ و ۱۴/۲ درجه سانتی‌گراد بود که با توجه به اینکه چغندر قند گیاهی سازگار با مناطق معتدل است، در نتیجه شرایط دمایی معتدل‌تر در کشت بهاره باعث عملکرد بیشتر در شرایط تولید قابل دستیابی گردید.

پوشش گیاهی است که با استفاده از فشار بخار اشباع در دماهای بیشینه و کمینه محاسبه می‌شود. شاخص عرضه به تقاضای آب به صورت روزانه در طول فصل رشد محاسبه می‌شود و نشان دهنده میزان انطباق فراهمی آب خاک و میزان نیاز گیاه است. مقدار این شاخص بین صفر و ۱ متغیر است که عدد ۱ نشان دهنده هم‌خوانی عرضه آب توسط خاک و تقاضای آبی گیاه است (عدم محدودیت آب) و صفر نشان دهنده تنش شدید آبی به دلیل فقدان تامین آب مورد نیاز گیاه است (Chauhan *et al.*, 2017).

### نتایج و بحث

نتایج شبیه‌سازی‌های بلندمدت در سطح تولید قابل دستیابی نشان‌دهنده پتانسیل بالای شهرستان‌های استان خراسان رضوی در تولید چغندر قند در شرایط کمبود

جدول ۳- میانگین بلندمدت عملکرد قابل دستیابی، عملکرد در شرایط محدودیت آب و عملکرد واقعی چغندر قند در ۱۰ شهرستان استان خراسان رضوی \*

Table 3. Long-term average of attainable yield, water-limited yield and actual yield of sugar beet in 10 counties in Khorasan Razavi province, Iran\*

County	شهرستان	عملکرد قابل دستیابی Attainable yield (t.ha <sup>-1</sup> )	عملکرد در شرایط محدودیت آب Water-limited yield (t.ha <sup>-1</sup> )	عملکرد واقعی Actual yield (t.ha <sup>-1</sup> )
Chenaran	چناران	101.9±12.3	75.2±17.8	41.6±9.3
Gonabad	گناباد	95.1±3.9	72.7±12.6	31.2±4.4
Kashmar	کاشمر	95.6±4.3	54.4±12.9	22.3±7.9
Mashhad	مشهد	97.9±4.9	68.9±12.3	33.1±7.3
Neyshabur	نیشابور	99.3±14.4	82.1±17.6	33.8±4.7
Quchan	قوچان	98.9±10.7	87.8±12.7	34.8±8.6
Sabzevar	سبزوار	92.9±3.7	38.5±6.5	27.2±6.9
Sarakhs	سرخس	91.2±4.4	63.2±8.0	35.2±8.3
Torbat-E Heydariyeh	تربت حیدریه	103.4±10.1	79.2±17.9	36.7±4.9
Torbat-E Jam	تربت جام	97.3±9.8	45.8±7.9	38.8±6.7

\* مقادیر عملکرد قابل دستیابی و عملکرد در شرایط محدودیت آب توسط مدل شبیه‌سازی شده‌اند و عملکرد واقعی از گزارش‌های سازمان جهاد کشاورزی اخذ شده است  
\* Attainable yield and water-limited yield are simulated by model and actual yield was obtained from Jihad Agriculture organization reports

شرایط محدودیت آب، بیشترین عملکرد را داشت و کمترین عملکرد در شرایط محدودیت آب با ۳۸/۵ تن در هکتار به شهرستان سبزوار تعلق داشت (جدول ۳). تفاوت چشمگیر عملکرد در شهرستان‌های مختلف

خروجی‌های به‌دست آمده از مدل نشان دهنده تفاوت قابل توجه عملکرد چغندر قند در شرایط محدودیت آب در شهرستان‌های مورد بررسی بود. شهرستان قوچان با تولید ۸۷/۸ تن در هکتار در

باعث کاهش اختلاف عملکرد چغندر قند این دو منطقه نشد.

بر اساس اطلاعات به دست آمده از سازمان جهاد کشاورزی و نتایج پرسشنامه‌های تکمیل شده در هر شهرستان، عملکرد واقعی کشاورزان بین ۲۲/۳ (شهرستان کاشمر) تا ۴۱/۶ (شهرستان چناران) تن در هکتار با میانگین ۳۳/۴ تن در هکتار در کلیه شهرستان‌ها بود (جدول ۳). این میزان تولید برآیند تاثیر عوامل مختلف محیطی (زنده و غیرزنده) بر تولید گیاه است. نتایج نشان دهنده تاثیر بالای عوامل محدود کننده و کاهش رشد بر عملکرد چغندر قند بود به طوری که میانگین عملکرد واقعی کشاورزان در حدود یک سوم عملکرد قابل دستیابی در شهرستان‌های مورد بررسی بود. بر اساس اطلاعات بدست آمده از کشاورزان چغندر کار این مناطق و نتایج پرسشنامه‌ها، عواملی مانند عدم دسترسی به منابع آبی کافی در طول فصل رشد، شوری خاک، آفات، علف‌های هرز، عدم تغذیه مناسب گیاه زراعی، آماده‌سازی نامطلوب زمین به دلیل زمان ناکافی و سرمازدگی‌های ابتدا و انتهای فصل رشد، مهم‌ترین عوامل تاثیر گذار در کاهش تولید چغندر قند بودند.

(۴۹/۳ تن در هکتار) به طور عمده به دلیل تفاوت در مدیریت آبی (زمان بندی آبیاری و حجم آب آبیاری) اعمال شده توسط کشاورزان، وضعیت اقلیمی (دما و بارش) و ویژگی‌های خاک (ظرفیت نگهداری آب خاک) در هر شهرستان بود. بطور مثال سه نوبت آبیاری بیشتر در شهرستان قوچان در مقایسه با شهرستان سبزوار (جدول ۲) و در کنار آن ۱۹۸ میلی‌متر بارندگی در قوچان در مقابل ۱۰۹ میلی‌متر بارندگی در سبزوار در ماه‌های ابتدایی رشد چغندر قند، از دلایل مهم در اختلاف عملکرد آب محدود این دو شهرستان بود. علاوه بر فراهمی بیشتر آب در شهرستان قوچان، متوسط دمای سالیانه هوا در شهرستان‌های قوچان و سبزوار به ترتیب ۱۲/۸ و ۱۸/۳ درجه سانتی‌گراد بود (جدول ۱) که این اختلاف دما باعث تبخیر و تعرق کمتر (۱۰۹۹ میلی‌متر در قوچان و ۱۳۶۵/۵ میلی‌متر در سبزوار) و تنفس کمتر چغندر قند در قوچان در مقایسه با سبزوار (به ترتیب ۱۳۶۳/۸ و ۲۴۱۲/۸ گرم  $CH_2O$  در مترمربع) در شرایط محدودیت آب شد که در نهایت باعث عملکرد بیشتر چغندر قند در شرایط محدودیت آب در شهرستان قوچان گردید. البته ظرفیت بالاتر نگهداری آب خاک در سبزوار در مقایسه با قوچان هم

جدول ۴- میانگین بلندمدت خلاء عملکرد کل، شرایط محدودیت آب و سایر عوامل در چغندر قند در ۱۰ شهرستان استان خراسان رضوی

Table 4. Long-term average of total yield gap, water-limited yield gap and other factors yield gap of sugar beet in 10 counties in Khorasan Razavi province, Iran

County	شهرستان	خلاء عملکرد کل Total yield gap (t.ha <sup>-1</sup> )	خلاء عملکرد شرایط محدودیت آب Water-limited yield gap (t.ha <sup>-1</sup> )	خلاء عملکرد سایر عوامل Other factors yield gap (t.ha <sup>-1</sup> )
Chenaran	چناران	60.3	26.7	33.6
Gonabad	گناباد	63.9	22.4	41.5
Kashmar	کاشمر	73.3	41.1	32.2
Mashhad	مشهد	64.8	29.1	35.8
Neyshabur	نیشابور	65.5	17.2	48.2
Quchan	قوچان	64.2	11.1	53.1
Sabzevar	سبزوار	65.7	54.3	11.4
Sarakhs	سرخس	56.0	28.1	27.9
Torbat-E Heydariyeh	تربت حیدریه	66.6	24.2	42.4
Torbat-E Jam	تربت جام	58.6	51.5	7.0



بود، در حالی که در شهرستان کاشمر با تعداد آبیاری کمتر (۹ مرتبه)، خلاء عملکرد ناشی از محدودیت آب ۴۱/۱ تن در هکتار بود. این موضوع نشان دهنده ضعف مدیریت آبیاری در شهرستان‌های سبزوار و تربت جام بود. نتایج به‌دست آمده از خروجی‌های مدل نشان داد که در شهرستان‌های قوچان، نیشابور، چناران و تربت حیدریه، مقدار آب آبیاری ورودی به مزارع در شرایط محدودیت آب بیشتر یا برابر مقدار آب ورودی در شرایط بدون محدودیت آب بود که این موضوع نشان دهنده مدیریت نامناسب آبیاری در مناطق مورد بررسی است. بعلاوه تفاوت در نیاز آبی گیاه در شهرستان‌های مختلف به‌دلیل تفاوت در دمای هوا نیز بر این موضوع تاثیرگذار بود. بعنوان مثال در شهرستان‌های نیشابور، سرخس، تربت جام و سبزوار با وجود تعداد آبیاری برابر (۱۴ مرتبه)، خلاء عملکرد ناشی از محدودیت آب به ترتیب ۱۷/۲، ۲۸/۱، ۵۱/۵ و ۵۴/۳ تن در هکتار بود که این تفاوت به‌دلیل تفاوت دمایی (متوسط دمای سالیانه به‌ترتیب ۱۴/۵، ۱۸/۱، ۱۵/۸ و ۱۸/۳ درجه سانتی‌گراد) و تفاوت در مدیریت آبیاری در این شهرستان‌ها بود. با توجه به این نتایج و محدودیت منابع آبی در استان خراسان رضوی، اصلاح مدیریت آبیاری در مزارع چغندر قند جهت تولید محصول بیشتر به ازای میزان آب مصرفی (افزایش بهره‌وری مصرف آب آبیاری) ضروری است.

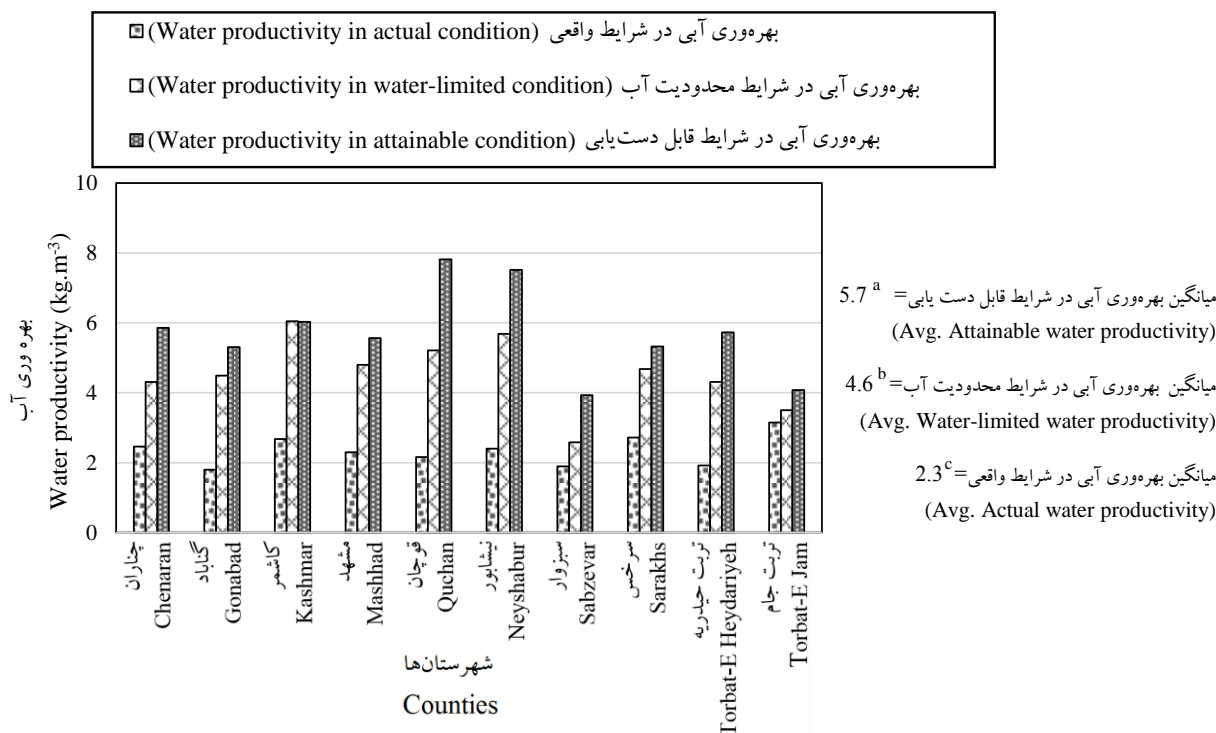
با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۴، خلاء عملکرد ناشی از سایر عوامل در شهرستان‌های مورد ارزیابی تنوع زیادی داشت، به طوری که شهرستان تربت جام با ۷/۰ تن در هکتار و شهرستان قوچان با ۵۳/۱ تن در هکتار، به‌ترتیب کمترین و بیشترین خلاء عملکرد ناشی از سایر عوامل را داشتند. با توجه به اینکه عوامل مختلفی روی این خلاء تاثیر گذار هستند، شناسایی مهم‌ترین عوامل و تلاش در کاهش اثرات نامطلوب آن‌ها ضروری است. با توجه به اطلاعات جمع‌آوری شده از پرسشنامه‌ها، عواملی مانند سرما

تفاوت بین عملکرد قابل‌دستیابی و واقعی مربوط به هریک از شهرستان‌ها نشان داد که متوسط خلاء عملکرد چغندر قند در استان ۶۳/۹ تن در هکتار (حدود دو برابر عملکرد واقعی کشاورزان) است (جدول ۴). کمترین خلاء عملکرد مربوط به شهرستان سرخس (۵۶/۰ تن در هکتار) و بیشترین خلاء (۷۳/۳ تن در هکتار) مربوط به کاشمر بود. این نتایج نشان دهنده اهمیت توجه به وضعیت کشت چغندر قند در استان خراسان رضوی و شناسایی مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار بر این افت عملکرد است.

با استخراج سهم محدودیت آب در خلاء عملکرد چغندر قند، نتایج نشان دهنده سهم قابل توجه محدودیت آب در کاهش عملکرد و افت تولید در شهرستان‌های مورد بررسی بود. با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۴، بیشترین مقدار خلاء عملکرد در شرایط محدودیت آب چغندر قند در شهرستان سبزوار (۵۴/۳ تن در هکتار) بود و کمترین مقدار آن در شهرستان قوچان (۱۱/۱ تن در هکتار) بود. متوسط خلاء عملکرد ناشی از محدودیت آب در شهرستان‌های مورد بررسی ۳۰/۶ تن در هکتار بود که این میزان نشان دهنده سهم ۴۸ درصدی محدودیت آب در ایجاد خلاء عملکرد چغندر قند در استان خراسان رضوی است. این موضوع اهمیت توجه به مدیریت آبیاری (زمان‌بندی آبیاری و حجم آب آبیاری) مزارع چغندر قند در هر شهرستان بر اساس شرایط اقلیمی و خاکی جهت کاهش خلاء عملکرد چغندر قند در استان را نشان می‌دهد. نتایج به‌دست آمده نشان داد که مدیریت نامطلوب آبیاری (زمان‌بندی ناصحیح آبیاری‌ها طبق نیاز گیاه زراعی) باعث کاهش قابل توجه عملکرد گیاه چغندر قند در شهرستان‌های مورد بررسی داشت. بعنوان مثال تعداد دفعات آبیاری‌های صورت گرفته در طول فصل رشد در شهرستان‌های سبزوار و تربت جام ۱۴ مرتبه ثبت شده و مقدار خلاء عملکرد ناشی از محدودیت آب در این شهرستان‌ها به ترتیب ۵۴/۳ و ۵۱/۵ تن در هکتار

با استفاده از اطلاعات حجم آب ورودی به مزارع و میزان عملکرد به دست آمده در سطوح مختلف، میزان بهره‌وری آب در شهرستان‌های مورد ارزیابی شبیه‌سازی شد. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تفاوت بین میانگین بهره‌وری آب چغندر قند در کلیه شهرستان‌ها در سطوح مختلف تولید، معنی‌دار بود (شکل ۲). این موضوع نشان دهنده تفاوت میزان تولید در ازای آب آبیاری وارد شده به مزارع در سطوح مختلف تولید است. با توجه به اینکه در سطح تولید قابل دستیابی (برآورد شده با استفاده از شبیه‌سازی) با وجود مصرف بالای آب جهت تامین نیاز آبی گیاه، محیط رشد عاری از هرگونه عامل محدود کننده و کاهنده رشد در نظر گرفته می‌شود، در نتیجه بهره‌وری آبی بالاتر به دلیل عملکرد بالاتر، در

زدگی در ابتدای فصل رشد، عدم صرفه اقتصادی استفاده از کودهای شیمیایی و استفاده از کودهای حیوانی به جای آن، شوری آب آبیاری، شیوع آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز، تاثیرگذارترین عوامل در خلاء ناشی از سایر عوامل بودند. بر اساس اطلاعات به دست آمده از پرسشنامه‌های شهرستان‌های قوچان و نیشابور (شهرستان‌های با بیشترین خلاء عملکرد ناشی از سایر عوامل)، به نظر می‌رسد که سرمازدگی بهاره (دمای کمینه به ترتیب ۵/۹ و ۶/۸ درجه سانتی‌گراد) و همچنین عدم استفاده مطلوب از فصل رشد به دلیل کاشت دیرهنگام (به ترتیب اول اردیبهشت و ۲۵ فروردین)، مهم‌ترین عوامل محدود کننده عملکرد چغندر قند در این شهرستان‌ها بود.



شکل ۲- بهره‌وری آب در سطوح مختلف تولید چغندر قند در ۱۰ شهرستان استان خراسان رضوی در شرایط عملکرد قابل دستیابی، محدودیت آب و واقعی. میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

Fig. 2. Water productivity in sugar beet production systems in 10 counties in Khorasan Razavi province, Iran in attainable, water-limited and actual yield conditions. Means with similar letters are not significantly different at 5% probability level, using LSD test

مقایسه با سایر سطوح تولید، منطقی به نظر می‌رسد. در سطح تولید واقعی، میزان بهره‌وری آب کمترین مقدار را داشت که هرچند بخشی از آن به دلیل عملکرد پایین (ناشی از تاثیر عوامل کاهنده و محدود کننده رشد و رقابت با علف‌های هرز برای آب) است، اما بخشی از آن نیز به دلیل مدیریت ناصحیح آبیاری (زمان‌بندی و تعداد دفعات آبیاری) است که می‌توان اثر آن را در بهره‌وری آب در شرایط محدودیت آب مشاهده کرد.

بر اساس نتایج ارائه شده در شکل ۲، بهره‌وری آبی چغندر قند در شرایط تولید قابل دستیابی بین ۳/۹۴ (در شهرستان سبزواری) و ۷/۸۱ (در شهرستان قوچان) کیلوگرم بر مترمکعب بود که این اختلاف تقریباً دو برابری نشان دهنده قابلیت‌های هر شهرستان در تولید چغندر قند به ازای آب مصرفی است. اختلاف زیاد بین شهرستان‌ها در تولید چغندر قند به ازای آب مصرفی می‌تواند به دلیل تفاوت در میانگین دمای هوا در این شهرستان‌ها و به تبع آن تفاوت در تبخیر و تعرق در طول فصل رشد باشد. بعنوان مثال در سطح تولید قابل دستیابی، میانگین دمای فصل رشد و میزان تبخیر و تعرق در طول فصل رشد در شهرستان سبزواری به ترتیب ۲۳/۴ درجه سانتی‌گراد و ۲۴۰۲ میلی‌متر بود و در مقابل در شهرستان قوچان میانگین دمای فصل رشد و میزان تبخیر و تعرق در طول فصل رشد به ترتیب ۱۷/۳ درجه سانتی‌گراد و ۱۲۹۰ میلی‌متر بود. با توجه به اینکه بهره‌وری آبی بالا در این سطح به شکل قابل توجهی تحت تاثیر عملکرد بالای به‌دست آمده در شرایط عدم محدودیت در این شهرستان‌ها است و مقدار آب ورودی در این سطح در اغلب مناطق بیشتر از پتانسیل‌های آبی این مناطق است، در نتیجه در صورت رساندن عملکرد به این سطح، با توجه به فشار بیش از حد به منابع آبی و تخلیه آن‌ها، به احتمال زیاد پایداری تولید در معرض خطر قرار خواهد گرفت.

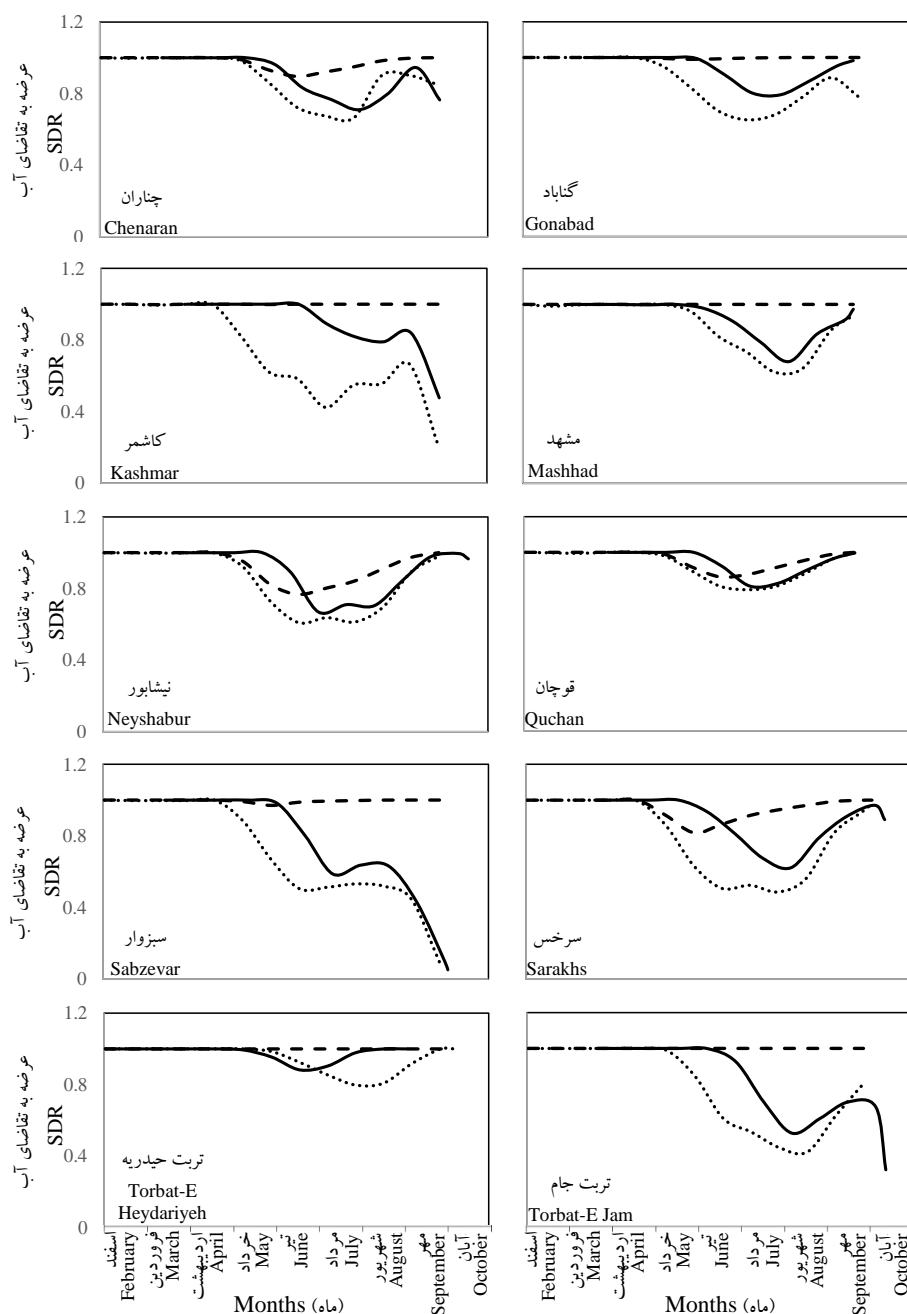
میزان بهره‌وری آبی مزارع چغندر قند در سطح محدودیت آب در استان خراسان رضوی نیز بسیار متغیر

بود. بیشترین میزان بهره‌وری در شهرستان کاشمر (۶/۰۵ کیلوگرم بر مترمکعب) و کمترین مقدار در سبزواری (۲/۵۹ کیلوگرم بر مترمکعب) بدست آمد (شکل ۲). با توجه به اینکه بهره‌وری آبی به طور مستقیم تحت تاثیر مقدار عملکرد محصول و مقدار آب وارد شده به مزرعه است، بنابراین با توجه به عملکرد کمتر چغندر قند در سبزواری نسبت به کاشمر در شرایط محدودیت آب (به ترتیب ۳۸/۵۵ و ۵۴/۴۴ تن در هکتار، جدول ۳) و تعداد دفعات آبیاری بیشتر در مقایسه با کاشمر (۱۵ مرتبه در مقابل ۹ مرتبه، جدول ۲)، تفاوت زیاد در بهره‌وری آب این دو شهرستان قابل توجیه است. اختلاف در بهره‌وری آبی این شهرستان‌ها نشان دهنده اثرگذاری بیشتر آبیاری‌ها در شهرستان کاشمر بود که می‌تواند تحت تاثیر عوامل مختلف مانند مدیریت (زمان‌بندی) صحیح آبیاری، دمای هوا (تفاوت در تبخیر و تعرق) و استفاده مطلوب از بارش‌های بهاره باشد. بعنوان مثال در شهرستان کاشمر آبیاری‌ها در اوایل خرداد (حدود یک ماه پس از کشت) صورت می‌گیرد و در شهرستان سبزواری با فاصله پس از کشت (اواسط فروردین ماه) شروع می‌شود، در حالی که با توجه به آمار بلند مدت اقلیمی، بارندگی‌های موثر در این مناطق تا خرداد به طول می‌انجامد. علاوه بر این، دمای نسبتاً بیشتر در شهرستان سبزواری در مقایسه با شهرستان کاشمر (۰/۷ درجه سانتی‌گراد) باعث تبخیر و تعرق بیشتر در سبزواری نسبت به کاشمر (به ترتیب ۱۳۶۵/۵ و ۱۰۵۷/۱ میلی‌متر) گردید. با توجه به اینکه در این سطح تولید، تنها آب عامل محدود کننده است، در نتیجه بهره‌وری آبی می‌تواند معیار مناسبی در ارزیابی وضعیت مدیریت آبی مزارع چغندر قند در شهرستان‌های استان باشد.

نتایج به‌دست آمده از شکل ۲ نشان داد که بهره‌وری آبی چغندر قند در شرایط واقعی با پتانسیل آن بسیار متفاوت است. همانطور که قبلاً اشاره شد بخشی از پایین بودن بهره‌وری آب در شرایط واقعی در مقایسه

شرایط واقعی در مزارع چغندر قند استان بین ۱/۸ و ۳/۱۵ کیلوگرم در مترمکعب بود که کمترین و بیشترین مقدار آن به ترتیب در شهرستان‌های گناباد و تربت جام به دست آمدند. بهره‌وری آبی چغندر قند شهرستان‌های

با شرایط قابل دستیابی، به دلیل عدم اعمال مدیریت مطلوب در آبیاری مزارع بوده و بخش دیگر آن به دلیل اثر سایر عوامل زنده و غیرزنده محیطی بر عملکرد و جذب آب توسط گیاه است. میزان بهره‌وری آب در



شکل ۳- میانگین بلندمدت شاخص عرضه به تقاضای آب (SDR) در سطوح مختلف تولید چغندر قند در ۱۰ شهرستان استان خراسان رضوی در شرایط عملکرد قابل دستیابی (---)، محدودیت آب (.....) و واقعی (—) ( )

Fig. 3. Long-term average of Supply-Demand ratio (SDR) in sugar beet production systems in 10 counties in Khorasan Razavi province, Iran in attainable (---), water-limited (.....) and actual yield (—) conditions

این موضوع می‌تواند به علت ظرفیت پایین تر نگهداری آب خاک در این شهرستان‌ها (۱۴۰ تا ۱۶۰ میلی‌متر، جدول ۲) و در نتیجه عدم تامین نیاز آبی روزانه گیاه در این ماه‌ها به دلیل تبخیر و تعرق زیاد گیاه باشد.

وضعیت شاخص عرضه به تقاضا در شرایط واقعی در شهرستان‌های مختلف با توجه به مدیریت آبیاری متغیر بود (شکل ۳). در تمام شهرستان‌ها مقدار این شاخص در ابتدای فصل رشد برابر با یک بود که این موضوع به دلیل نیاز آبی پایین گیاه چغندر قند در مراحل ابتدایی رشد است. مقدار این شاخص در ادامه فصل رشد و با گرم شدن هوا (از اواخر خرداد تا اواسط تیر بسته به شهرستان) کاهش یافت که شدت و مدت این روند نزولی در شهرستان‌های مختلف و با توجه به وضعیت آبیاری‌ها (تعداد و فواصل آبیاری)، ظرفیت نگهداری آب خاک و دمای هوا در ماه‌های گرم (تیر، مرداد و شهریور) در هر شهرستان شرایط متفاوتی داشت. بعنوان مثال در شهرستان تربت حیدریه میزان شاخص عرضه به تقاضای آب در مقایسه با سایر شهرستان‌ها وضعیت بهتری داشت که به دلیل بیشتر بودن تعداد دفعات آبیاری (۱۹ مرتبه، جدول ۲)، دمای نسبتاً خنک‌تر در ماه‌های گرم سال (۲۴ درجه سانتی‌گراد) و ظرفیت بالای نگهداری آب خاک (۲۵۰ میلی‌متر، جدول ۲) در این شهرستان نسبت به سایر شهرستان‌ها بود. وضعیت این شاخص در شهرستان‌های سبزوار، تربت جام و کاشمر بسیار نامطلوب بود و تا پایان فصل روند کاهشی نیز داشت. این موضوع نشان دهنده تنش شدید رطوبتی در این شهرستان‌ها بود. مهم‌ترین عامل در وقوع تنش خشکی در شهرستان کاشمر کم بودن تعداد دفعات آبیاری (۹ مرتبه، جدول ۲) و در شهرستان‌های سبزوار و سرخس بالا بودن میانگین دمای بالای (کمبود فشار بخار بالای هوا) در ماه‌های گرم سال (به ترتیب ۲۸/۸ و ۲۷/۸ درجه سانتی‌گراد) در مقایسه با سایر شهرستان‌ها بود.

در شرایط محدودیت آب، روند شاخص عرضه به

مورد بررسی در شرایط مختلف نشان داد که وضعیت مدیریتی مزارع چغندر قند در شهرستان‌های استان متفاوت است. بعنوان مثال شهرستان سبزوار در شرایط تولید قابل دستیابی کمترین مقدار بهره‌وری آبی را در مقایسه با سایر شهرستان‌ها داشت، در حالی که بهره‌وری آبی در شرایط واقعی در این شهرستان بهترین وضعیت را نسبت به سایر شهرستان‌ها داشت (کمتر از یک کیلوگرم بر مترمکعب تفاوت بین بهره‌وری آبی در شرایط واقعی و شرایط تولید قابل دستیابی). در مقابل در شهرستان قوچان اختلاف بین بهره‌وری آبی در شرایط واقعی و شرایط قابل دستیابی ۵/۶۵ کیلوگرم بر مترمکعب بود. با توجه به نتایج به دست آمده و اطلاعات جمع‌آوری شده از کشاورزان، علاوه بر عوامل موثر بر کاهش عملکرد (تغذیه گیاه، آفات و بیماری‌ها و...)، عواملی مانند شوری آب، رقابت علف‌های هرز با گیاه زراعی بر سر آب و روش‌های آبیاری با کارایی آبیاری پایین مانند روش کرتی، مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار بر کاهش بهره‌وری آب در شرایط تولید واقعی در مناطق مورد مطالعه بود.

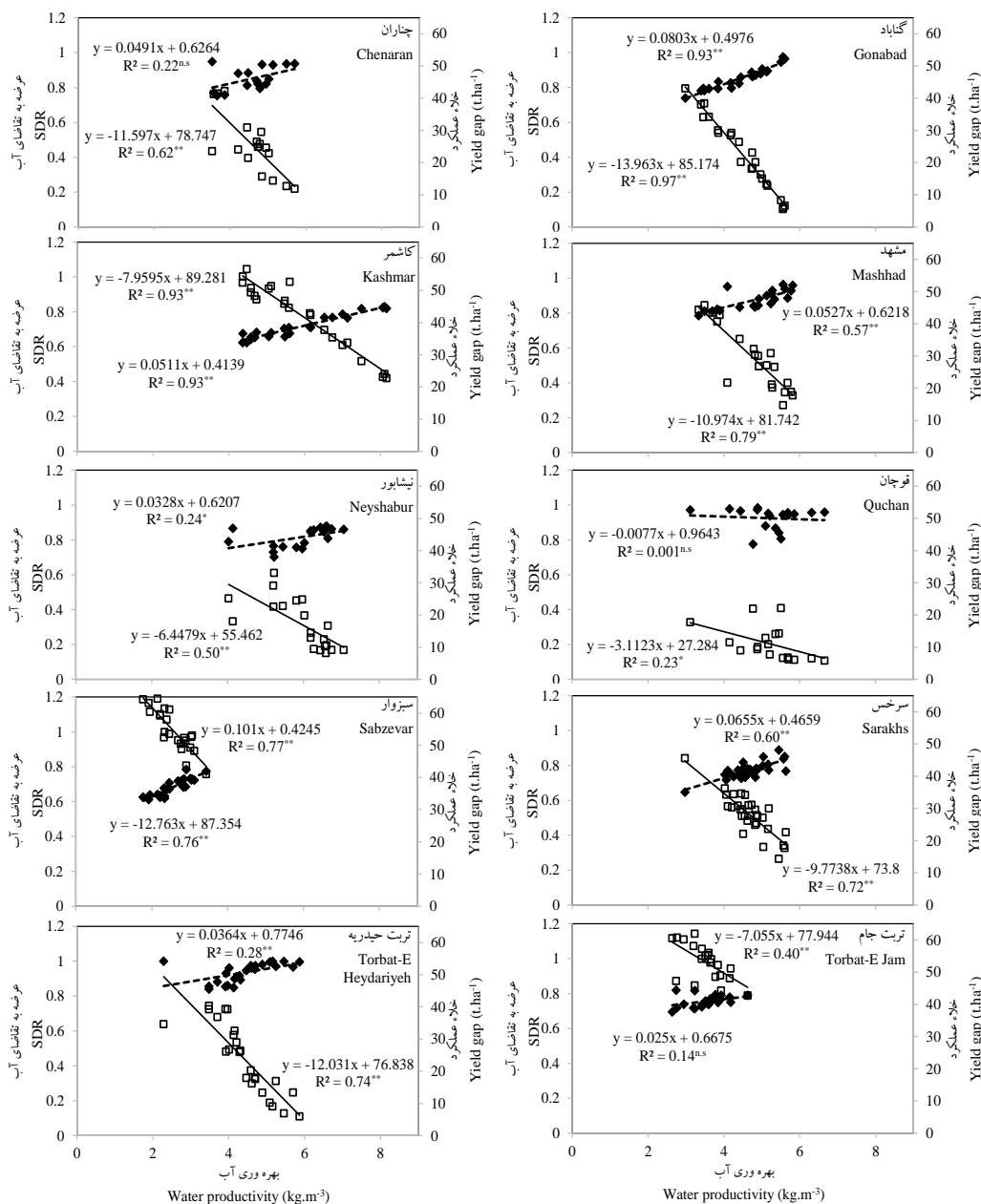
به منظور درک بهتر وضعیت رطوبتی سطوح مختلف تولید چغندر قند در طول فصل رشد در هر شهرستان، میانگین بلندمدت شاخص عرضه به تقاضای آب (SDR) (Supply-Demand Ratio) به عنوان یک شاخص خشکی به صورت روزانه در شرایط تولید واقعی، محدودیت آب و قابل دستیابی شبیه‌سازی شد (شکل ۳). نتایج نشان داد که در کلیه شهرستان‌ها وضعیت شاخص عرضه به تقاضا در شرایط قابل دستیابی بسیار مطلوب‌تر از شرایط محدودیت آب و واقعی بود و در اغلب شهرستان‌ها در طول فصل رشد تقریباً برابر با یک بود. این موضوع نشان دهنده عدم وقوع تنش رطوبتی در طول فصل رشد برای گیاه در شرایط تولید قابل دستیابی بود. البته در شهرستان‌های چناران، قوچان، نیشابور و سرخس این شاخص در طول ماه‌های خرداد تا شهریور کمی روند کاهشی داشت.

تقاضا نیز در شهرستان‌های مختلف با توجه به وضعیت آبیاری در هر شهرستان، متفاوت بود. مقدار این شاخص از ابتدای فصل رشد تا اواسط اردیبهشت برابر با یک بود و با توجه به رشد گیاه و افزایش نیاز آبی آن، از اواسط اردیبهشت تا اوایل خرداد، مقدار این شاخص شروع به کاهش نمود که روند آن در شهرستان‌های مورد بررسی تقریباً مشابه شرایط واقعی بود. بعنوان مثال مقدار این شاخص در شرایط محدودیت آب در شهرستان تربت حیدریه بهتر از سایر شهرستان‌ها بود و در شهرستان‌های سبزوار، تربت جام و کاشمر وضعیت نامطلوب‌تری داشت که نشان دهنده تنش رطوبتی بالا در مزارع چغندر قند این شهرستان‌ها بود (شکل ۳). البته بر اساس شکل ۳ این شاخص در شرایط محدودیت آب در مقایسه با شرایط واقعی، مقدار کمتری داشت که نشان دهنده نیاز آبی بیشتر چغندر قند در شرایط محدودیت آب بود. این نیاز آبی بالاتر به دلیل میزان تولید زیست توده بیشتر در شرایط محدودیت آب نسبت به شرایط واقعی بود. این موضوع به دلیل استفاده بهتر گیاه از منابع محیطی به واسطه تاریخ کشت مناسب‌تر و استفاده بهتر از بارش‌های بهاره و در نتیجه بسته شدن سریع‌تر پوشش گیاهی و همچنین طول بیشتر فصل رشد بود که باعث دوام سطح برگ بیشتر در شرایط محدودیت آب نسبت به شرایط واقعی بود. این نتایج با وضعیت بهره‌وری آبی در شرایط محدودیت آب و همچنین میزان خلاء عملکرد ناشی از محدودیت آب مطابقت داشت. بعنوان مثال در شهرستان‌های سبزوار و تربت جام با بیشترین خلاء عملکرد ناشی از محدودیت آب (به ترتیب ۵۴/۳۵ و ۵۱/۵۲ تن در هکتار) و همچنین کمترین مقدار بهره‌وری آبی در شرایط محدودیت آب (به ترتیب ۲/۵۹ و ۳/۵ کیلوگرم بر مترمکعب)، شاخص عرضه به تقاضای آب در شرایط محدودیت آب در بدترین وضعیت در مقایسه با سایر شهرستان‌ها قرار داشتند. نتایج ارزیابی ارتباط بین بهره‌وری آبی چغندر قند با شاخص عرضه به تقاضای

آب در شرایط محدودیت آب و همچنین خلاء عملکرد ناشی از محدودیت آبی در سال‌های مختلف، نشان دهنده ارتباط معنی‌دار بین این عوامل در اغلب شهرستان‌ها بود. با توجه به نتایج ارائه شده در شکل ۴ ارتباط بین شاخص عرضه به تقاضای آب و بهره‌وری آب در شرایط محدودیت آب تنها در سه شهرستان تربت جام، قوچان و چناران ارتباط معنی‌داری نداشت. ارتباط این دو عامل در شهرستان نیشابور در سطح پنج درصد (ضریب تبیین ۲۴ درصد) و در شش شهرستان دیگر در سطح یک درصد (ضریب تبیین ۲۸ تا ۹۳ درصد) معنی‌دار و مستقیم بود. ارتباط بهره‌وری آبی در شرایط محدودیت آب نیز در کلیه شهرستان‌ها معنی‌دار و معکوس (معنی‌دار در سطح پنج درصد در شهرستان قوچان با ضریب تبیین ۲۳ درصد و معنی‌دار در سطح یک درصد در سایر شهرستان‌ها با ضریب تبیین ۴۰ تا ۹۷ درصد) بود (شکل ۴).

### نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که میزان خلاء عملکرد در مزارع چغندر قند ۱۰ شهرستان مورد بررسی در استان خراسان رضوی بسیار بالا بود، به طوری که عملکرد بدست آمده توسط کشاورزان تنها یک سوم عملکرد قابل دستیابی را در بر داشت. نتایج بررسی‌ها نشان داد که سهم محدودیت آبی در ایجاد خلاء عملکرد بسیار بالا بود، به طوری که در حدود نیمی از خلاء عملکرد چغندر قند در این شهرستان‌ها به دلیل محدودیت در تامین آب مورد نیاز گیاه بود. اثر محدودیت آب در خلاء عملکرد چغندر قند در استان خراسان رضوی به دلیل عدم وجود آب کافی جهت تامین نیاز آبی بالای این گیاه در طول فصل رشد، به‌ویژه در روزهای گرم سال و همچنین مدیریت نامناسب آبیاری جهت رسیدن به بهترین مقدار تولید با همین مقدار آب در دسترس است.



شکل ۴- ارتباط بین بهره‌وری آب با نسبت عرضه به تقاضای آب (SDR) (علائم سیاه) و بین بهره‌وری آب با خلاء عملکرد (علائم سفید) در شرایط محدودیت آب در گیاه چغندرقد در ۱۰ شهرستان استان خراسان رضوی

Fig. 4. Relationship between water productivity and Supply-Demand ratio (SDR) (black signs) and between water productivity and yield gap (white signs) in water-limited condition in sugar beet in 10 counties in Khorasan Razavi province, Iran

Khorasan Razavi province, Iran

مصرفی) بود. این موضوع نشان‌دهنده عدم استفاده موثر از آب آبیاری توسط کشاورزان در تولید این محصول است. بررسی شاخص عرضه به تقاضای آب در شهرستان‌های مختلف استان نیز نشان‌دهنده شرایط

ارزیابی بهره‌وری آبی چغندرقد در شرایط واقعی کشاورزان هر شهرستان نشان‌دهنده بهره‌وری بسیار پایین آب در مزارع چغندرقد در استان خراسان رضوی (۳/۱۵-۱/۸ کیلوگرم ریشه به ازای مترمکعب آب

زمان‌بندی صحیح و دقیق آبیاری گیاه با توجه به نیاز گیاه و ظرفیت نگهداری آب خاک و همچنین توجه همزمان به بهره‌وری آب و شاخص عرضه به تقاضای آب و شناسایی نقاط ضعف مدیریت آبیاری است. علاوه بر مدیریت آبیاری، استفاده از روش‌های مناسب به‌زراعی و به‌نژادی جهت افزایش عملکرد چغندر قند در مزارع استان و همچنین استفاده کارآمدتر از آب نیز ضروری است.

رطوبتی مختلفی بود. بررسی روند این شاخص نشان داد که در برخی از مناطق کشاورزان با اجرای آبیاری بیشتر، سعی در ممانعت از وقوع تنش در طول فصل رشد داشتند که در برخی موارد با مصرف آب بیشتر در کنترل تنش خشکی نیز موفق بودند. هرچند که مصرف آب بیشتر در شهرستان‌های گناباد و تربت حیدریه تنها باعث کاهش بهره‌وری آب در تولید چغندر قند در شرایط واقعی شد. این نتایج نشان دهنده نیاز به

## References

## منابع مورد استفاده

- Alizadeh, A. and A. Keshavarz. 2005.** Status of Agricultural Water Use in Iran. p. 94-105. In Anonymous. (Eds.) Water Conservation, Reuse, and Recycling: Proceedings of an Iranian–American Workshop. Washington, DC. The National Academies Press. doi: 10.17226/11241.,
- Anonymous, 2018.** Agriculture Statistics. Volume 1: Crops. Ministry of agriculture, Planning and Economic Affairs, Office of Statistics and Information Technology. (In Persian).
- Chauhan, Y., S. Allard, R. Williams, B. Williams, S. Mundree, K. Chenu and N. C. Rachaputi. 2017.** Characterization of chickpea cropping systems in Australia for major abiotic production constraints. *Field Crops Res.* 204: 120-134.
- Dehghan, H., A. Alizadeh, H. Ansari and S. A. Haghayeghi Moghaddam. 2011.** Evaluation of water productivity indicators in wheat irrigated fields (Case study: Neyshabour plain). *Iran. J. Irrig. Drain.* 2(5): 263-275. (In Persian with English abstract).
- Deihimfard, R., M. Nassiri Mahallati and A. Koocheki. 2011.** SUCROSBEET: A simple model for simulating growth and development of sugar beet under potential and nitrogen-limited conditions. *J. Agroecol.* 2(1): 1-20. (In Persian with English Abstract).
- Deihimfard, R., M. Nassiri Mahallati and A. Koocheki. 2015.** Yield gap analysis in major wheat growing areas of Khorasan province, Iran, through crop modeling. *Field Crops Res.* 184: 28-38.
- El-Marsafawy, M. S., A. Swelam and A. Ghanem. 2018.** Evolution of crop water productivity in the Nile delta over three decades (1985–2015). *Water*, 10(1168): 1-12.
- Espe, M. B., K. G. Cassman, H. S. Yang, N. Guilpart, P. Grassini, J. Van Wart, M. Anders, D. Beighley, D. Harrell, S. Linscombe, K. McKenzie, R. Mutter, , L. T. Wilson and B. A. Linqvist. 2016.** Yield gap analysis of US rice production systems shows opportunities for improvement. *Field Crops Res.* 196: 276–283.
- FAO. 2012.** World agriculture towards 2030/2050. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. Italy.
- Ghasemi Nezhad Raeini, M., S. Marofi, M. Zare Kohan and A. Maleki. 2014.** Investigation of water



efficiency index and its comparison with the actual conditions of wheat farms. *Irrig. Sci. Engin.* 38(1): 71-77. (In Persian with English Abstract).

**Jabro, J. D., W. B. Stevens, W. M. Iverson, R. G. Evans and B. L. Allen. 2014.** Crop water productivity of sugar beet as affected by tillage. *Agron. J.* 106: 2280-2286.

**Keshavarz, A. and H. Dehghani Sanij. 2011.** Water productivity index and solutions for future agricultural activities in Iran. *Economic Strategy.* 1(1): 199-233. (In Persian with English abstract).

**Mandare A. B., S. K. Ambast, N. K. Tyagi and J. Singh. 2008.** On-farm water management in saline groundwater area under scarce canal water supply condition in the Northwest India. *Agric. Water Manage.* 95: 516-526.

**Molden, D., T. Oweis, P. Steduto, P. Bindraban, M. A. Hanjra and J. Kijne. 2010.** Improving agricultural water productivity: between optimism and caution. *Agric. Water Manage.* 97(4): 528-535.

**Qiu, G. Y., L. M. Wang, X. H. He, X. Y. Zhang, S. Y. Chen, J. Chen and Y. H. Yang. 2008.** Water use efficiency and evapotranspiration of winter wheat and its response to irrigation regime in the north China plain. *Agric. Forest Meteorol.* 148: 1848-1859.

**Rahnama, M. R. and L. Shaddel. 2015.** Evaluation of sustainability and the optimal population based on water resources in Mashhad. *Geography Urban Plan. Res.* 3(2): 123-143 (In Persian with English abstract).

**Sahin, U., S. Ors, F. M. Kiziloglu and Y. Kuslu. 2014.** Evaluation of water use and yield responses of drip-irrigated sugar beet with different irrigation techniques. *Chilean J. Agric. Res.* 74 (3): 302-310.

**Saini, K. S. and N. S. Brar. 2018.** Crop and water productivity of sugar beet (*Beta vulgaris*) under different planting methods and irrigation schedules. *Agric. Res.* 7(1): 93-97.

**Saxton, K. E. and P. H. Willey. 2006.** The SPAW Model for Agricultural Field and Pond Hydrologic Simulation. In: Singh, V. P. and D. Frevert. (Eds.) *Watershed Models*. CRC Press, Taylor and Francis Group, LLC, pp. 400-435.

**Spitters, C. J. T. H. Van Keulen and D. W. G. Van Kraalingen. 1989.** A Simple and Universal Crop Growth Simulator: SUCROS87. In: Rabbinge *et al.* (Eds.) *Simulation and Systems Management in Crop Protection*. Simulation Monograph, vol. 32. Pudoc, Wageningen. The Netherlands, pp. 147-181.

**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 abstract).

**Van Ittersum, M. K., K. G. Cassman, P. Grassini, J. Wolf, P. Tittonell and Z. Hochman. 2013.** Yield gap analysis with local to global relevance- A review. *Field Crops Res.* 143: 4-17.

**Van Laar, H. H., J. Goudriaan and H. Van Keulen. 1997.** SUCROS97: Simulation of Crop Growth for Potential and Water-limited Production Situations. *Quantitative Approaches in Systems Analysis*, No. 14. C.T. de Wit Graduate School for Production Ecology and Resource Conservation, Wageningen, The Netherlands.

**Vazifedoust, M., J. C. Van Dam, R. A. Feddes and M. Feizi. 2008.** Increasing water productivity of irrigated crops under limited water supply at field scale. *Agric. Water Manage.* 95: 89-102.

**Wang, J., E. Wang, H. Yin, L. Feng and J. Zhang. 2014.** Declining yield potential and shrinking yield gaps of maize in the North China Plain. *Agric. Forest Meteorol.* 195: 89-101.

## Assessment of water productivity and supply:demand ratio index in sugar beet (*Beta vulgaris* L.) in Khorasan Razavi province, Iran using growth simulation models

Mohammadi-Ahmadm Mahmoudi, E.<sup>1</sup>, R. Deihimfard<sup>2</sup> and O. Noori<sup>3</sup>

### ABSTRACT

Mohammadi-Ahmadm Mahmoudi, E., R. Deihimfard and O. Noori. 2019. Assessment of water productivity and supply:demand ratio index in sugar beet (*Beta vulgaris* L.) in Khorasan Razavi province, Iran using growth simulation models. *Iranian Journal of Crop Sciences*. 21(3):268-286 (In Persian).

The rapid population growth and the need for more agricultural production necessitate more attention to water shortage and enhancing water productivity. To assess water productivity and supply:demand ratio index in sugar beet, this experiment was carried out using SUCROS growth simulation model. Long-term climatic data and collecting questionnaires from farmers were used to assessing water productivity in sugar beet agroecosystems in 10 counties of Khorasan Razavi province, Iran and investigating the role of water management in water productivity and drought stress conditions in sugar beet. Results of long-term simulations showed that the actual yield (33.5 t.ha<sup>-1</sup>) by farmers was only one-third of the attainable yield (97.3 t.ha<sup>-1</sup>) of sugar beet in the targeted areas. Forty eight percent of this yield gap was due to water constraints. The results indicated the low productivity (1.5-1.8 kg root m<sup>-3</sup>) of sugar beet in the targeted areas. The results also showed that inappropriate irrigation management, despite the high water consumption in some counties, led to decrease in water productivity and occurrence of drought stress during the growing season. Results also showed a positive and significant relationship between water productivity and supply:demand ratio index in different locations. The index, over growing season, in different counties was highly depended on water management, air temperature (particularly during warmer months of the year) and soil water holding capacity. These results indicated the need for a more scientific attention to appropriate irrigation schedules according to the plant water requirement and soil water retention capacity during the warm seasons to meet the moisture requirement of sugar beet.

**Key words:** Irrigation schedule, SUCROS Simulation model, Sugar beet and Yield gap.

---

Received: December, 2018 Accepted: July, 2019

1. PhD Student, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, G.C., Tehran, Iran
2. Assistant Prof., Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, G.C., Tehran, Iran (Corresponding author) (Email: deihim@sbu.ac.ir, deihimfard@gmail.com)
3. Assistant Prof., Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, G.C., Tehran, Iran