Archive of SID

Iranian Journal of Irrigation and drainage
No. 2, Vol. 3, fall 2009, p. 123-136

مجله آبیاری و زهکشی ایران
شماره ۲، جلد۳، پاییز ۱۳۸۸، ص. ۱۳۶-۱۲۳

بررسی بهره‌وری آب-انرژی در زراعت چغندرقند
(مطالعه موردی: استان خراسان رضوی)

امین علیزاده[۱]، نجمه خلیلی[۲*]

چکیده

منابع آب و انرژی در دنیا دارای محدودیت بوده و به علت افزایش جمعیت و تقاضای غذا، مصرف آب و انرژی برای تولید محصولات کشاورزی نیز افزایش خواهد داشت. از طرفی با توجه به تجارت آب مجازی که به عنوان راهکاری نوین به منظور مقابله با کم‌آبی مطرح است، تولید محصولاتی که با نیاز آبی و نیز مصرف انرژی زیاد تولید می‌شوند، در مناطقی که با بحران آب مواجه هستند معقول به نظر نمی‌رسد. چغندرقند یکی از این محصولاتی است که در استان خراسان رضوی بیشترین مقدار سطح زیر کشت و تولید را بخود اختصاص می‌دهد. در این تحقیق، با استفاده از نیاز آبی و همچنین توان مورد نیاز برای پمپاژ آب از منابع آب زیرزمینی، میزان آب و انرژی مصرفی برای تولید یک کیلوگرم شکر تولیدی از این محصول در این استان محاسبه گردیده است. طبق محاسبات انجام شده در این تحقیق، میانگین آب، انرژی الکتریکی و انرژی دیزلی مصرفی برای آبیاری چغندرقند به منظور تولید یک کیلوگرم شکر در این استان به ترتیب ۵/۰ مترمکعب، ۴/۸ کیلووات ساعت و ۲/۳ لیتر در آبیاری سطحی و ۴/۵ مترمکعب ، ۵/۵ کیلووات ساعت و ۲/۶ لیتر در آبیاری تحت فشار تعیین شد. همچنین در این تحقیق، با توجه به میزان آب مصرفی برای تولید یک کیلوگرم شکر نشان داده شده است که در صورت واردات شکر از کشوری دیگر که بعنوان مثال موردی برزیل در نظر گرفته شده است، به جای کشت آن در استان خراسان رضوی، حدود ۶۶۵ الی ۷۵۰ میلیون متر مکعب در مصرف آب ایران و حدود ۳۷۲ الی ۴۵۶ میلیون متر مکعب از آب دنیا – بسته به روش آبیاری- صرفه‌جویی می‌شود. همچنین با توجه به هزینه آب و انرژی مورد نیاز و مقایسه آن با هزینه وارد کردن شکر، واردات شکر از نظر اقتصادی در مقایسه با تولید داخلی آن به‌صرفه‌تر می‌باشد. در این مقاله صرفاً آب و انرژی مصرفی لحاظ شده است و سایر جنبه‌های دیگر مثل اشتغال‌زایی، کارخانجات موجود و صنایع وابسته مد نظر نبوده است. لذا، درنظرگرفتن تجارت آب مجازی در سیاست‌گزاری‌های کلان کشاورزی در صورت مطالعات همه جانبه می‌تواند راهگشای افق روشنتری از توسعه پایدار، مقابله با کم‌آبی و نیز تأمین امنیت غذایی کشور در آینده باشد.

واژه های کلیدی: آب مجازی، انرژی، بهره‌وری آب، چغندرقند، خراسان رضوی، شکر

مقدمه

با توجه به رشد روزافزون جمعیت، امنیت غذایی از مسائل مهم هر کشور می باشد که این امر توجه بیشتر به بخش کشاورزی را طلب می‌کند. با اینکه کمبود آب مسأله جدیدی نیست، اما در حال گسترش می‌باشد و اثرات آن مخرب‌تر شده است. از طرف دیگر سلامت، امنیت جوامع و تولیدات کشاورزی به انرژی نیز نیاز دارد. بخصوص در ایران که بدون وجود انرژی خارجی برای پمپاژ آبهای زیرزمینی و آبیاری امکان استخراج آب و توسعه سیستم‌های آبیاری تحت فشار وجود ندارد. در واقع انرژی یک مؤلفه ضروری برای هر سیستم کشاورزی است (۱۲). از طرفی شواهد موجود حاکی از بحرانی بودن وضعیت این منابع در کشور ما می‌باشد. افزایش بهره‌وری آب – انرژی به‌عنوان یکی از راه‌حل‌های این چالش شناخته شده است. لذا درک میزان بهره‌وری آب و انرژی در تولیدات زراعی، اولین گام در جهت برنامه‌ریزی و مدیریت برای افزایش استفاده از این منابع محسوب می‌شود. منتظر و کوثری (۱۸)، در تحقیقی بهره‌وری آب چند محصول را در ایران بررسی و تعیین کردند. آنها ۱۰ محصول شامل گندم، جو، برنج، چغندرقند، ذرت، پنبه، یونجه، سیب‌زمینی، گوجه‌فرنگی و کنجد را انتخاب کردند و تحلیل را بر پایه نتایج بدست آمده ازمطالعات ۶۷ مزرعه در ۱۳ استان ایران از سال ۱۹۹۳ تا ۲۰۰۶ انجام دادند. نتایج نشان داد که بهره‌وری آب برای هر کدام از محصولات مذکور به ترتیب ۱/۶۲، ۲/۳۷، ۰/۴۲، ۰/۵۳، ۱/۱۷، ۰/۶۱، ۰/۸۹، ۲/۷۴، ۶/۷۷ و ۰/۱۱ کیلوگرم بر مترمکعب می‌باشد.

جکسون و همکاران (۱۴)، به طور خاص درباره بهره‌وری انرژی

۱و۲- به ترتیب استاد و دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول Email: najmehkhalili@gmail.com)

www.SID.ir

Archive of SID

مخصوص آبیاری تحقیق کردند. آنها از مدل‌سازی Vensim^{TM} برای شبیه‌سازی بهره‌وری انرژی آبیاری در مزرعه استفاده کردند. همچنین برای سه روش مختلف آبیاری (کرتی، عقربه‌ای دوار و قطره‌ای) آنالیز حساسیتی بر روی متغیرهایی چون تغییر در نیاز آبی محصول و تغییر ارتفاع صعود سطح آبهای زیرزمینی انجام دادند. آنالیز حساسیت برای تغییر نیاز آبی محصول نشان داد که رفتار بهره‌وری انرژی هنگامی که این ورودی تغییر می‌کند بطور محسوسی با شرایط رایج متفاوت است. روش آبیاری کرتی بیشترین حساسیت را داشته و بعد از آن آبیاری قطره‌ای و سپس عقربه‌ای دوار. در حالی‌که اثر تغییرات بار صعود آبهای زیرزمینی بر روی بهره‌وری انرژی بسیار کم بوده است.

علاوه بر محاسبات بهره‌وری آب – انرژی در مناطق مختلف و برای محصولات متفاوت، تحقیقات مربوط به بهره‌وری آب بیشتر برای یافتن راه‌های افزایش آن مورد توجه محققین می‌باشد. یکی از راه‌های افزایش بهره‌وری آب در مقیاس کلان تجارت آب مجازی است. در سال‌های اخیر در بسیاری از کشورها با افزایش شدید جمعیت و بحران منابع آبی، تجارت آب مجازی به عنوان یکی از راهکارهای مؤثر در تأمین امنیت غذایی جوامع مطرح گردیده است. مفهوم آب مجازی برای اولین بار توسط آلن (۹) مطرح شد و به معنی آب محاط شده در کالاها تعریف گردید. پس از گذشت چندین سال از مطرح‌شدن این مفهوم توسط وی، امروزه دانش آب مجازی و تجارت آن مورد توجه مجامع علمی قرار گرفته و در سیاست‌گذاری‌های ملی و بین‌المللی جوامع و توسعه منابع آبی وارد شده است. در تعریفی روشن‌تر آب مجازی مقدار آبی است که برای تولید یک محصول و حتی ارائه خدمات خاص مورد استفاده قرار می‌گیرد (۱۲). با توجه به این مفهوم، اگر کشوری به جای مصرف آب برای تولید محصولی، محصول مورد نظر را ازکشوری وارد کند، به همان میزان آب مجازی واردکرده است. حال اگر تولید آن محصول در کشور صادرکننده نسبت به کشور واردکننده به آب کمتری نیاز داشته باشد، صرفه‌جویی در آب جهانی صورت می‌گیرد. بنابراین تجارت آب مجازی با بهره‌برداری مناسب و بجا از ظرفیت‌ها و منابع باعث کاهش مصرف آب جهانی نیز می‌شود. با توجه به مطالب فوق، بسیاری از کشورهای خشک و نیمه‌خشک با واردات کالاهای آب‌بر، آبی را که برای تولید آن نیاز است برای استفاده در سایر بخش‌ها حفظ می‌کنند. بطور مثال می‌توان به کشور مصر اشاره کرد که در سال ۱۹۹۵، حدود ۷/۵ میلیون تن انواع غلات را وارد نموده در حالی که تولید این مقدار غلات در مصر به ۹/۹ میلیارد متر مکعب آب نیاز دارد (۱۱). همچنین رینالت (۱۹) نشان داد چون حجم آب مجازی ذرت در مصر ۱/۱۲ متر مکعب بر کیلوگرم و حجم آب مجازی ذرت در فرانسه ۰/۶ متر مکعب بر کیلوگرم است، لذا وارادت یک کیلوگرم ذرت فرانسه به مصر، باعث صرفه‌جویی در مصرف ۰/۵۲ مترمکعب آب می‌شود.

یکی از محصولات کشاورزی آب‌بر چغندرقند و بطور غیر مستقیم تولید شکر است که البته آب مجازی شکر به علت آب مصرفی در کارخانه و مراحل استحصال شکر از چغندرقند، از آب مجازی چغندرقند نیز بیشتر می‌باشد. در ایران بیشترین سطح زیر کشت و تولید چغندرقند به استان خراسان رضوی اختصاص دارد (۷)، بطوری که در سال ۱۳۸۷ حدود ۳۹٪ از سطح زیر کشت و ۳۷٪ از تولید چغندرقند کشور در استان خراسان رضوی بوده است(۲۲). کشت چغندر قند در ایران در چند سال گذشته به علت نیاز آبی بالای این محصول رو به افول بوده بطوری که صحبت از حذف آن از الگوی کشت می‌باشد. با توجه به اینکه ایران در یکی از خشک‌ترین مناطق جهان قرارگرفته و با بحران کم‌آبی مواجه است، باید این موضوع مورد بررسی قرار گیرد که با توجه به مقدار آب مصرفی و هزینه انرژی مصرفی و از سوی دیگر هزینه واردات شکر، تولید شکر در داخل به‌صرفه‌تر است یا واردات آن از کشورهای دیگر. اگر ثابت شود که با واردات شکر و بالتبع آن واردات آب مجازی و صرفه‌جویی در آب در هزینه‌های عرضه شکر به مصرف‌کنندگان نیز صرفه‌جویی می‌شود، آنگاه می‌توان بسیاری از الگوهای مصرف آب و تخصیص یارانه‌ها را در این زمینه تغییر داد.

لذا اهداف این تحقیق عبارت بوده‌اند از:

۱- محاسبه بهره‌وری آب- انرژی در زراعت چغندر قند و تولید شکر سفید

۲- مقایسه آب مصرفی برای تولید شکر در خراسان رضوی و کشورهای صادرکننده شکر به ایران و تعیین میزان صرفه‌جویی آب در جهان و ایران در صورت واردات شکر در مقابل تولید داخلی

۳- محاسبه هزینه آب و انرژی مصرفی در ازای تولید یک کیلوگرم شکر و مقایسه آن با هزینه وارادات شکر

مواد و روش ها

داده‌های مورد استفاده

استان خراسان رضوی با ۸ کارخانه در سطح استان بیشترین سطح زیر کشت و تولید چغندرقند را در کشور دارا می‌باشد. در این تحقیق داده‌های سطح زیرکشت تحت قرارداد و محصول برداشت‌شده ۸ کارخانه مذکور از سازمان جهاد کشاورزی خراسان رضوی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی مشهد (ایستگاه طرق) و سایت صنعت قند و شکر (۲۲) جمع‌آوری شد. طول دوره آماری ۵ سال (۱۳۸۳ الی ۱۳۸۷) درنظر گرفته شد. اطلاعات مذکور در جدول ۱ ارائه شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

(جدول ۱)- داده‌های مربوط به محصول چغندر قند کارخانه‌های استان خراسان رضوی در سال‌های ۱۳۸۳ الی ۱۳۸۷

مزارع تحت قرارداد کارخانه	سال ۱۳۸۳		سال ۱۳۸۴		سال ۱۳۸۵		سال ۱۳۸۶		سال ۱۳۸۷		میانگین سالانه	
	سطح زیر کشت(ha)	چغندر تحویلی(ton)	سطح زیر کشت(ha)	چغندر تحویلی(ton)	سطح زیر کشت(ha)	چغندر تحویلی(ton)	سطح زیر کشت(ha)	چغندر تحویلی(ton)	سطح زیر کشت(ha)	چغندر تحویلی(ton)	سطح زیر کشت(ha)	چغندر تحویلی(ton)
ایکوه	۵۴۲۵	۱۷۵۴۷۱	۵۴۰۰	۱۷۵۳۵۶	۵۳۳۳	۱۹۹۸۲۲	۳۷۲۴	۱۳۵۸۳۲	۲۵۶۲	۸۱۹۶۵	۴۴۸۹	۱۵۳۶۸۹
تربت جام	۴۸۵۰	۱۵۱۴۲۵	۳۶۵۰	۱۲۶۹۷۷	۵۴۵۶	۱۸۵۸۸۷	۲۹۵۹	۱۰۲۸۵۰	۱۱۵۶	۴۲۳۴۶	۳۶۱۴	۱۲۱۸۹۷
تربت حیدریه	۷۸۴۰	۲۱۴۱۷۴	۷۴۱۰	۱۰۷۱۲۳	۸۱۴۰	۲۳۳۹۲	۶۷۵۴	۱۹۰۴۵۹	۳۷۳۶	۱۲۰۳۴۸	۶۷۷۶	۱۷۳۰۹۹
جوین	۹۶۳۰	۳۰۱۱۴۱	۸۸۲۰	۲۸۵۲۰۱	۹۸۲۰	۳۵۹۰۸۵	۹۱۹۷	۳۰۲۲۴۰	۵۸۸۵	۱۷۹۵۵۸	۸۶۷۰	۲۸۵۴۴۵
چناران	۳۶۷۵	۱۲۵۷۵۶	۳۶۸۰	۱۲۱۵۱۸	۳۷۰۶	۱۲۴۵۶۵	۳۰۸۱	۱۱۱۲۷۶	۱۳۰۳	۵۰۹۱۸	۳۰۸۹	۱۰۶۸۰۷
شیرین	۵۶۷۰	۱۸۳۴۴۳	۴۶۸۰	۱۷۲۷۷۲	۵۰۹۸	۲۰۶۹۲۰	۴۲۲۹	۱۲۵۹۴۰	۱۹۲۵	۵۳۶۵۰	۴۲۲۰	۱۵۱۴۲۵
فریمان	۶۵۶۰	۲۱۰۰۰۷	۶۵۴۰	۱۹۹۸۳۱	۶۱۲۰	۲۳۰۸۲۱	۵۸۷۳	۱۸۳۳۸۱	۲۷۸۶	۸۶۰۶۸	۵۵۷۶	۱۸۲۰۲۲
نیشابور	۵۱۵۰	۱۴۵۸۸۵	۴۱۴۰	۱۲۷۵۳۷	۳۷۰۰	۱۱۵۴۷۲	۳۶۵۰	۸۸۴۱۶	۷۴۶	۱۹۶۹۱	۳۴۷۷	۹۹۴۰۰
جمع استان	۴۸۸۰۰	۱۵۰۷۳۰۲	۴۴۲۷۵	۱۳۲۰۸۱۵	۴۷۳۷۳	۱۶۵۵۹۶۴	۳۹۴۶۷	۱۲۵۰۳۹۴	۲۰۰۹۹	۶۳۴۵۴۴	۴۰۰۰۳	۱۲۷۳۸۰۴

www.SID.ir

Archive of SID

روش محاسبه بهره‌وری آب

در تعریف کلی، بهره‌وری عبارت است از اندازه عملکرد که به‌صورت نسبت خروجی بر ورودی تعریف می‌شود و طبق تعریف کوک و همکاران (۱۰)، محاسبه بهره‌وری آب از رابطه (۱) انجام می‌شود.

(۱) آب ورودی/ خروجی‌های بدست آمده از مصرف آب = بهره‌وری آب کشاورزی (WP)

در رابطه فوق، صورت کسر(خروجی حاصل از کاربرد آب) می‌تواند شامل خروجی فیزیکی یعنی کل توده گیاهی یا تولید قابل برداشت (kg) یا خروجی اقتصادی (ارزش نقدی خروجی) به صورت ناخالص یا خالص (ریال) یا (دلار) باشد. ورودی آب را نیز می‌توان به صورت حجم (بر حسب متر مکعب) یا بهای آب تعیین نمود.

لذا برای تعیین بهره‌وری آب، از داده‌های سطح زیر کشت (ha)، محصول برداشت‌شده (kg)، راندمان آبیاری (سطحی و تحت فشار)(٪) و نیاز آبی (mm/day) استفاده گردید. سپس با تقسیم محصول برداشت شده بر سطح زیر کشت، عملکرد چغندرقند (kg/ha) محاسبه شد. سپس، با توجه به اینکه راندمان استحصال چغندرقند به شکر خام برابر با ۱۲/۷٪ می‌باشد که ۹۲٪ آن به شکر سفید تبدیل می‌شود (۴)، عملکرد شکر(kg/ha) نیز محاسبه گردید.

از طرفی، مقادیر نیاز آبی خالص با استفاده از برنامه نیاز آبی NETWAT (۸) و با توجه به دشت‌های واقع در محدوده هر کارخانه به‌طور جداگانه محاسبه شد. راندمان آبیاری با توجه به گزارش تحلیلی بر بازده‌های آبیاری در ایران (۲) برای چغندرقند به‌طور متوسط ۵۷/۸ ٪ می‌باشد که در آبیاری کرتی و جویچه‌ای این محصول، متوسط راندمان کاربرد برابر با ۵۴/۹٪ گزارش شده است(۱ و ۳). درباره راندمان کاربرد در آبیاری تحت فشار برای چغندرقند میزان دقیقی در دست نیست، لذا در این تحقیق متوسط راندمان کاربرد آبیاری تحت فشار در کشور یعنی ۶۲/۴ ٪ (۲) را در نظر گرفتیم. با توجه به مقادیر نیاز آبی خالص و راندمان، نیاز آبی ناخالص (m^3/ha) و در نهایت آب مورد نیاز (m^3) برای تولید یک کیلوگرم چغندرقند و نیز یک کیلوگرم شکر محاسبه شده و در نهایت بهره‌وری آب در تولید چغندرقند و شکر به طور میانگین در استان خراسان رضوی تعیین گردید که نتایج محاسبات انجام شده در قسمت نتایج و بحث آورده شده است. این مقاله صرفاً از جهت آب و انرژی مصرفی انجام شده است و سایر جنبه‌های دیگر مثل اشتغال‌زایی، کارخانجات موجود و صنایع وابسته مد نظر نبوده است. بدین منظور ناچار به فرضیاتی برای ساده‌سازی بوده‌ایم و نیل به یک نتیجه قطعی منوط به مطالعات همه جانبه است.

روش محاسبه بهره‌وری انرژی

بهره‌وری انرژی تولید یک محصول کشاورزی نیز از رابطه (۲) حساب می‌شود(۱۲).

(۲) انرژی ورودی / محصول خروجی= بهره‌وری انرژی(EP)

که در آن محصول خروجی بر حسب kg یا $ و انرژی ورودی بر حسب یکی از واحدهای انرژی مانند kw-hr می‌باشد.

انرژی ورودی در کشاورزی به شکل انرژی مستقیم، غیرمستقیم، تجدیدپذیر و غیر قابل تجدید تقسیم‌بندی می‌شود (۱۵، ۱۷، ۲۰ و ۲۱). انرژی "غیر مستقیم" شامل علف‌کش‌ها و کود است و به طور خاص در بخش آبیاری، انرژی غیرمستقیم برای ایجاد کانال و حفر جویچه‌های آبیاری استفاده می‌شود، در حالی که انرژی "مستقیم" شامل نیروی انسانی، انرژی دیزلی و الکتریکی بکار رفته در فرآیند تولید است و به طور خاص در بخش آبیاری شامل برق، گازوئیل و بنزین مورد نیاز برای تأمین و انتقال آب (آبرسانی) و توزیع آب (سیستم‌های آبیاری) می‌باشد(۵). تخمین زده شده است که ۲۳٪ از مصرف انرژی مستقیم که برای تولید محصولات بکار می‌رود، برای پمپاژ در مزرعه است (۱۶) و در این تحقیق، بر روی این قسمت انرژی یعنی انرژی مستقیم آبیاری برای پمپاژ تمرکز شده و محاسبات برای دو روش آبیاری سطحی و آبیاری تحت فشار انجام شده است.

برای تعیین بهره‌وری انرژی در آبیاری چغندرقند و شکر (مربوط به پمپاژ، انتقال و توزیع) به داده‌های دبی چاه‌ها (آبدهی متوسط پمپ‌ها) (l/s)، عمق پمپاژ (بار دینامیکی) (m)، راندمان پمپ و راندمان الکتروموتور(٪)، راندمان انتقال (٪)، راندمان موتورهای دیزلی (%) و بار فشاری دستگاه‌های آبیاری تحت‌فشار نیاز است و بدین ترتیب با استفاده از روابط موجود می‌توان قدرت مورد نیاز پمپاژ (kw)، ساعت کارکرد پمپاژ (hr) و انرژی مصرفی برای آبیاری به منظور تولید یک کیلوگرم چغندر قند و شکر (kw-hr) و در نهایت بهره‌وری انرژی را محاسبه نمود. لازم به ذکر است که در این تحقیق برای آبیاری سطحی تنها انرژی پمپاژ در نظر گرفته شده است، در حالی‌که برای آبیاری تحت فشار علاوه بر انرژی پمپاژ، انرژی مصرفی (الکتریکی و فسیلی) در ایستگاه پمپاژ به منظور تأمین فشار و دبی مورد نیاز سیستم نیز لحاظ شده است. شرح محاسبات در ادامه آمده است.

محاسبه بهره‌وری انرژی الکتریکی مورد نیاز در آبیاری چغندرقند (شکر)

هنگام محاسبه نیاز انرژی برای پمپاژ در شرایط استفاده از الکتروپمپ، توان تئوری مورد نیاز برای پمپاژ بوسیله معادله (۳) محاسبه می‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID

$$P_1 = \frac{Q \times H}{75} \quad (۳)$$

که در آن، P_1 توان تئوری مورد نیاز برای پمپاژ (hp) ، Q نرخ جریان (l/s) و h بار کل (m) می‌باشد.

h بار کل عبارت است از مجموع بار صعود آبهای زیرزمینی و بار فشاری. بار صعود آبهای زیرزمینی عبارت است از عمقی که آب پمپاژ می‌شود و بار فشاری معادل است با فشار کاری سیستم آبیاری بر حسب متر. به‌طور مثال بار فشاری برای سیستم آبیاری عقربه‌ای دوار، تفنگی و قطره‌ای به‌ترتیب برابر با ۵۶ الی ۶۳ متر، ۵۰ الی متر و ۳۵ متر در نظر گرفته می‌شود (۶).

توان مورد نیاز روی محور پمپ نیز از رابطه (۴) حساب می‌شود.

$$P_2 = \frac{P_1}{e_1} \quad (۴)$$

که در آن، P_2 توان مورد نیاز روی محور پمپ (hp) و e_1 راندمان پمپ (%) می‌باشد.

در نهایت توان مورد نیاز پمپ بر حسب "کیلووات ساعت" با توجه به رابطه (۵) محاسبه می‌شود.

$$P_3 = \frac{P_2 \times 0.75}{e_2} \quad (۵)$$

که در آن P_3 انرژی الکتریکی مصرفی در هر ساعت در هر هکتار (kw-hr) و e_2 راندمان متوسط الکتروموتور (%) می‌باشد.

انرژی کل مورد استفاده برای پمپاژ بستگی به تعداد ساعات کارکرد پمپ در هر فصل دارد. بنابراین، کل انرژی برای یک روش آبیاری مدنظر از رابطه (۶) حساب می‌شود.

$$E = PH \times P_3 \quad (۶)$$

که در آن، PH معادل با کل ساعات کارکرد پمپ در فصل می‌باشد و از رابطه

$$\text{PH} = \text{water applied}/(\text{Q}*3.6)$$

(۷) حساب می‌شود.

$$\text{PH} = \text{water applied}/(\text{Q}*3.6) \quad (۷)$$

که در آن، (water applied) آب بکاررفته بر حسب m^3/ha و Q نرخ جریان بر حسب l/s می‌باشد که با استفاده از ضریب ۳/۶ به m^3/hr تبدیل می‌شود. در نهایت با توجه به انرژی الکتریکی محاسبه شده و محصول بدست آمده و جایگذاری آنها در رابطه (۲)، بهره‌وری انرژی الکتریکی آبیاری تعیین می‌گردد.

لازم به ذکر است که در این تحقیق، متوسط دبی و عمق پمپاژ چاه‌ها، راندمان پمپ و راندمان الکتروموتور در سطح استان خراسان رضوی به ترتیب برابر با ۲۰ لیتر بر ثانیه، ۱۲۰ متر، ۷۰ درصد و ۵۰ درصد درنظر گرفته شد(۶). در حالتی که محصول با آبیاری تحت فشار آبیاری می‌شود، علاوه بر انرژی پمپاژ بایستی انرژی مورد نیاز برای جابجایی دستگاه‌های آبیاری بارانی و همچنین انرژی مورد نیاز برای تأمین فشار و دبی چه در دستگاه‌های آبیاری بارانی و چه آبیاری قطره‌ای درنظرگرفته شود. برای آبیاری چغندرقند در خراسان رضوی علاوه بر آبیاری بارانی، لوله‌های تیپ نیز بکار می‌روند، در این تحقیق بار فشاری لازم در آبیاری معادل با ۳۵ متر در محاسبه بار کل و بالتبع آن در سایر محاسبات لحاظ شده است.

محاسبه انرژی فسیلی (دیزلی) مورد نیاز در آبیاری چغندرقند (شکر)

در حالتی که برای پمپاژ آب‌های زیرزمینی از موتور دیزلی استفاده شود، توان تئوری مورد نیاز و توان مورد نیاز روی محور پمپ مانند حالت قبل از روابط (۳) و (۴) محاسبه می‌شود. اما توان مصرفی مورد نیاز موتور دیزلی با استفاده از رابطه (۸) محاسبه می‌گردد.

$$P_3 = \frac{P_2 \times 0.75}{e' \times e''} \quad (۸)$$

که در آن، P_3: توان دیزلی مصرفی در هر ساعت در هر هکتار (kw-hr)، e': راندمان موتورهای دیزل و e'': راندمان انتقال نیروی محرکه پمپ می‌باشد.

مقدار سوخت مصرفی به ازای هر اسب بخار برابر ۲۰۰ گرم و وزن مخصوص گازوئیل برابر با ۰/۸ گرم بر سانتی‌متر مکعب است (۶). بنابراین حجم گازوئیل مصرفی برای تأمین P_3 از رابطه (۹) بدست می‌آید.

$$V = \frac{(P_3 / 0.75) \times 200}{0.8 \times 1000} \quad (۹)$$

که در آن، V: حجم گازوئیل مصرفی (lit) و P_3: توان دیزلی مصرفی (kw) می‌باشد. سایر محاسبات مانند حالت استفاده از الکتروپمپ می‌باشد.

در نهایت با توجه به انرژی دیزلی محاسبه شده و محصول بدست آمده و جایگذاری آنها در رابطه (۲)، بهره‌وری انرژی دیزلی آبیاری تعیین می‌گردد.

در این تحقیق، برای حالت استفاده از سوخت‌های فسیلی شرایط کاملاً مشابه چاه برقی درنظر گرفته شد، لذا متوسط دبی ۲۰ لیتر بر ثانیه و عمق پمپاژ چاه‌ها ۱۲۰ متر می‌باشد و با توجه به اینکه راندمان موتورهای دیزل حدود ۵۰ درصد و راندمان انتقال حدود ۷۰ درصد است (۶)، توان دیزلی مصرفی در هر ساعت در هر هکتار محاسبه گردید.

مقایسه آب مصرفی برای تولید شکر در خراسان رضوی و کشورهای صادرکننده

www.SID.ir

Archive of SID

با توجه به اینکه یکی از کشورهای تولید کننده شکر در دنیا برزیل می‌باشد، کشور مذکور به عنوان یکی از کشورهای بالقوه برای واردات شکر در نظر گرفته شده است و برای محاسبه میزان آب مصرفی برای تولید شکر در این کشور، میانگین بلندمدت ۳۰ ساله داده‌های هواشناسی کشور مذکور از سایت شبکه هواشناسی جهانی (۲۶) استخراج شد. با توجه به اینکه تولید شکر در برزیل از نیشکر صورت می‌گیرد و بیشترین کشت نیشکر آن در سه منطقه رکیف[1]، کمپوس[2] و جواپسوا[3] انجام می‌شود(۲۵)، لذا از اطلاعات هواشناسی این سه منطقه به صورت میانگین برای محاسبه نیاز آبی نیشکر در برزیل استفاده شد و با استفاده از نرم‌افزار CROPWAT میزان نیاز آبی نیشکر در برزیل محاسبه گردید. نتایج محاسبه تبخیر و تعرق مرجع و نیز نیاز آبی نیشکر برای کشور برزیل در قسمت نتایج و بحث آورده شده است.

در نهایت تعیین گردید که با واردات شکر از کشوری چون برزیل چه میزان صرفه‌جویی در آب جهان و نیز ایران می‌گردد. لازم به ذکر است که برای ساده‌سازی و به علت فقدان منابع معتبر جهت اطلاعات در رابطه با آب مجازی شکر تنها آب مصرفی جهت آبیاری چغندرقند درنظر گرفته شد و از آب مورد استفاده در کارخانجات و سایر مراحل استحصال شکر صرفنظر گردید.

مقایسه هزینه واردات شکر در مقابل هزینه آب و انرژی مصرفی در ازای تولید یک کیلوگرم شکر

به منظور تحقق آخرین هدف این تحقیق، داده‌های هزینه برق، گازوئیل و آب در ایران (دلار) و معادل قیمت جهانی هر کیلوگرم شکر (دلار) مورد نیاز هستند که داده‌های مذکور از سایت وزارت نیرو (۲۴) و انجمن صنفی کارخانه‌های قند و شکر ایران (۲۳) جمع‌آوری گردید.

در ابتدا تعیین گردید که به ازای بدست آوردن ۱ دلار سود در ازای تولید داخلی شکر در استان خراسان رضوی، مستلزم چه میزان هزینه کردن بابت مجموع آب و انرژی در آبیاری جویچه‌ای و آبیاری تحت فشار چغندرقند می‌باشیم. همچنین هزینه ناشی از واردات شکر از کشوری مانند برزیل با هزینه مجموع آب و انرژی مصرفی در استان مذکور مقایسه گردید که نتایج بدست آمده در ادامه شرح داده می‌شود.

نتایج و بحث

همان‌طور که گفته شد این تحقیق در سه مرحله انجام شد. ابتدا میزان آب و انرژی مورد نیاز و در واقع بهره‌وری آب و انرژی برای تولید چغندرقند و شکر سفید در استان خراسان رضوی به دست آمد. در مرحله بعد آب مصرفی برای تولید شکر در این استان و کشورهای صادرکننده شکر به ایران با هم مقایسه شد و بالتبع آن میزان صرفه-جویی آب در جهان و ایران تعیین گردید. و در نهایت با توجه هزینه آب و انرژی مصرفی در ازای تولید یک کیلوگرم شکر، سودآوری تولید داخلی شکر در مقابل واردات آن بررسی شد که نتایج آن در ادامه شرح داده می‌شود.

نتایج محاسبات عملکرد چغندرقند و شکر در جدول ۲ آمده است. مطابق این جدول بیشترین سطح زیر کشت چغندرقند در خراسان رضوی، مربوط به اراضی کارخانه جوین (سبزوار) می‌باشد، در حالیکه میانگین پنج ساله عملکرد چغندرقند در چناران بیشتر از سایر مناطق استان است. در سال‌های ۱۳۸۳ الی ۱۳۸۷، بیشترین سطح زیر کشت و نیز عملکرد چغندرقند و شکر در کل استان در سال ۱۳۸۵ بوده است. در حالی که در سال‌های اخیر (۱۳۸۶ و ۱۳۸۷) چغندرقند و همینطور عملکرد آن در کل استان کاهش داشته، بطوری که در سال ۱۳۸۷ سطح زیر کشت به حدود نصف خود در سال قبل از آن رسیده است و البته عملکرد در این دو سال تقریباً ثابت بوده است. داده‌های موجود در برنامه NETWAT و نتایج نیاز آبی ناخالص بدست آمده نیز در جدول ۳ آورده شده است. با توجه به نیاز آبی ناخالص و عملکرد محصول، آب مصرفی برای تولید یک کیلوگرم چغندرقند و نیز یک کیلوگرم شکر سفید محاسبه شد. سپس با استفاده از رابطه (۱) و جایگذاری محصول خروجی و آب ورودی در آن، بهره‌وری آب برای تولید چغندرقند و شکر سفید در کارخانه‌های استان خراسان رضوی و نیز بطور میانگین برای کل استان بدست آمد که بدلیل زیاد بودن جداول محاسبات، در اینجا تنها نتایج محاسبات میانگین سالانه در سطح استان برای آبیاری جویچه‌ای و تحت فشار در جدول ۴ آمده است.

مطابق جدول (۳)، بیشترین و کمترین نیاز آبی ناخالص اراضی به ترتیب مربوط به کارخانه جوین (سبزوار) و نیشابور است و میانگین نیاز آبی ناخالص چغندر قند در استان، برای آبیاری جویچه‌ای و تحت فشار به ترتیب ۱۸۵۲۲ و ۱۶۲۹۶ متر مکعب بر هکتار می‌باشد. با توجه به جدول (۴)، آب مصرفی برای تولید یک کیلوگرم شکر در خراسان رضوی و با روش آبیاری جویچه‌ای و تحت فشار به ترتیب معادل ۵/۰۴ و ۴/۴۷ متر مکعب بدست آمد.

برای محاسبه انرژی الکتریکی پمپاژ درآبیاری جویچه‌ای مطابق با آنچه در بخش ۲-۳ گفته شد، توان مورد نیاز پمپ با توجه به روابط (۳) الی (۵)، برابر با ۶۸/۶ کیلووات ساعت بدست آمد. سپس بهره‌وری انرژی الکتریکی وکل انرژی الکتریکی مورد نیاز برای تولید یک کیلوگرم چغندرقند (یا شکر) با آبیاری جویچه‌ای تعیین گردید (جدول ۵).

1 - Recife
2 - Campos
3 - Joao Pessoa

www.SID.ir

Archive of SID

(جدول ۲)- محاسبات مربوط به عملکرد چغندر قند و شکر کارخانه‌های استان خراسان رضوی در سال های ۱۳۸۳ الی ۱۳۸۷

شهرستان	سال ۱۳۸۳			سال ۱۳۸۴			سال ۱۳۸۵			سال ۱۳۸۶			سال ۱۳۸۷			میانگین سالانه		
	شکر تولیدی (ton)	عملکرد چغندر قند (ton/ha)	عملکرد شکر (ton/ha)	چغندر قند تولیدی (ton)	عملکرد چغندر قند (ton/ha)	عملکرد شکر (ton/ha)	چغندر قند تولیدی (ton)	عملکرد چغندر قند (ton/ha)	عملکرد شکر (ton/ha)	چغندر قند تولیدی (ton)	عملکرد چغندر قند (ton/ha)	عملکرد شکر (ton/ha)	چغندر قند تولیدی (ton)	عملکرد چغندر قند (ton/ha)	عملکرد شکر (ton/ha)	چغندر قند تولیدی (ton)	عملکرد چغندر قند (ton/ha)	عملکرد شکر (ton/ha)
ابکوه	۲۰۵۰۲/۰	۳۲/۳	۳/۷۸	۲۰۴۸۸/۶	۳۲/۵	۳/۷۹	۲۳۳۴۷/۲	۳۷/۵	۴/۳۸	۱۵۸۷۰/۶	۳۶/۵	۴/۲۶	۹۵۷۶/۸	۳۲/۰	۳/۷۴	۱۷۹۵۷/۰	۳۴/۲	۳/۹۸
تربت جام	۱۷۶۹۲/۵	۳۱/۲	۳/۶۵	۱۴۸۳۶/۰	۳۵/۲	۴/۱۲	۲۱۷۱۹/۰	۳۴/۱	۳/۹۸	۱۲۰۱۷/۰	۳۴/۸	۴/۰۶	۴۹۴۷/۷	۳۶/۶	۴/۲۸	۱۴۲۴۲/۴	۳۴/۴	۴/۰۲
تربت حیدریه	۲۵۰۲۴/۱	۲۷/۳	۳/۱۹	۱۲۵۱۶/۳	۱۴/۵	۱/۶۹	۲۷۲۶۹/۵	۲۸/۷	۳/۳۵	۲۲۲۵۳/۲	۲۸/۲	۳/۲۹	۱۴۰۶۱/۵	۳۲/۲	۳/۷۶	۲۰۲۲۴/۹	۲۶/۲	۳/۰۶
جوین	۳۵۱۸۵/۳	۳۱/۳	۳/۶۵	۳۳۲۲۲/۹	۳۲/۳	۳/۷۸	۴۱۹۵۵/۵	۳۶/۶	۴/۲۷	۳۵۳۱۲/۷	۳۲/۹	۳/۸۴	۲۰۹۷۹/۶	۳۰/۵	۳/۵۶	۳۳۳۵۱/۴	۳۲/۷	۳/۸۳
چناران	۱۴۶۹۲/۳	۳۴/۲	۴/۰۰	۱۴۱۹۸/۲	۳۳/۰	۳/۸۶	۱۴۵۵۴/۲	۳۳/۶	۴/۹۳	۱۳۰۰۱/۵	۳۶/۱	۴/۲۲	۵۹۴۹/۳	۳۹/۱	۴/۵۷	۱۲۴۷۹/۳	۳۵/۲	۴/۱۲
شیرین	۲۱۴۳۲/۵	۳۲/۴	۳/۷۸	۲۰۷۱۲/۵	۳۷/۹	۴/۴۳	۲۴۱۷۶/۵	۴۰/۶	۴/۷۴	۱۵۸۸۳/۲	۳۳/۱	۳/۷۶	۶۲۶۸/۵	۲۷/۹	۳/۲۶	۱۷۶۹۴/۸	۳۶/۲	۴/۰۰
فریمان	۲۴۵۳۷/۲	۳۲/۰	۳/۷۴	۲۳۳۴۸/۳	۳۰/۶	۳/۵۷	۲۶۹۶۹/۱	۳۷/۷	۴/۴۱	۲۱۴۲۶/۲	۳۱/۲	۳/۶۵	۱۰۰۵۶/۲	۳۰/۹	۳/۶۱	۲۱۲۶۷/۴	۳۳/۵	۳/۷۹
نیشابور	۱۷۰۴۵/۲	۲۸/۳	۳/۳۱	۱۴۹۰۱/۴	۳۰/۸	۳/۶۰	۱۳۴۹۱/۷	۳۱/۲	۳/۶۵	۱۰۳۳۰/۵	۲۴/۲	۲/۸۳	۲۳۰۰/۷	۲۶/۴	۳/۰۸	۱۱۶۱۳/۹	۲۸/۲	۳/۳۰
جمع استان	۱۷۶۱۱۳/۲	۳۰/۹	۳/۶۱	۱۵۴۳۳۴/۰	۲۹/۸	۳/۴۹	۱۹۳۴۸۲/۸	۳۵/۰	۴/۰۸	۱۴۶۰۹۶/۰	۳۱/۷	۳/۷۰	۷۴۱۴۰/۱	۳۱/۶	۳/۶۹	۱۴۸۸۳۱/۲	۳۱/۸	۳/۷۲

www.SID.ir

Archive of SID

(جدول۳)- آب مورد نیاز چغندر قند در آبیاری جویچه‌ای و تحت فشار در خراسان رضوی

کارخانه	تبخیر و تعرق (mm)	بارش مؤثر (mm)	نیاز آبی خالص(m^3/ha)	نیاز آبی ناخالص در آبیاری جویچه‌ای (m^3/ha)	نیاز آبی ناخالص در آبیاری تحت فشار(m^3/ha)
آبکوه	۹۵۶	۴۴	۹۱۲۰	۱۶۶۱۲	۱۴۶۱۵
تربت جام	۱۱۱۸	۲۱	۱۰۹۷۰	۱۹۹۸۲	۱۷۵۸۰
تربت حیدریه	۱۱۲۵	۲۰	۱۱۰۵۰	۲۰۱۲۸	۱۷۷۰۸
جوین	۱۲۰۳	۱۲	۱۱۹۱۰	۲۱۶۹۴	۱۹۰۸۷
چناران	۹۵۶	۴۴	۹۱۲۰	۱۶۶۱۲	۱۴۶۱۵
شیرین	۹۵۶	۴۴	۹۱۲۰	۱۶۶۱۲	۱۴۶۱۵
فریمان	۱۱۱۸	۲۱	۱۰۹۷۰	۱۹۹۸۲	۱۷۵۸۰
نیشابور	۹۲۴	۱۵	۹۰۹۰	۱۶۵۵۷	۱۴۵۶۷
میانگین استان	۱۰۴۴/۵	۲۷/۶	۱۰۱۶۸/۷	۱۸۵۲۲	۱۶۲۹۶

(جدول ٤)- میانگین آب مصرفی و بهره‌وری آب برای تولید یک کیلوگرم چغندرقند و شکر با آبیاری جویچه‌ای و تحت فشار در خراسان رضوی از سال‌های ۱۳۸۳ الی ۱۳۸۷

میانگین استانی در پنج سال	آبیاری جویچه‌ای				آبیاری تحت فشار			
	آب مصرفی در تولید ۱ کیلوگرم چغندرقند (m^3)	بهره‌وری آب مصرفی چغندرقند (kg/m^3)	آب مصرفی در تولید ۱ کیلوگرم شکر(m^3)	بهره‌وری آب مصرفی شکر (kg/m^3)	آب مصرفی در تولید ۱ کیلوگرم چغندرقند (m^3)	بهره‌وری آب مصرفی چغندرقند (kg/m^3)	آب مصرفی در تولید ۱ کیلوگرم شکر(m^3)	بهره‌وری آب مصرفی شکر (kg/m^3)
	۰/۵۹۴	۱/۶۸۳	۵/۰۴	۰/۱۹۸	۰/۵۲۲	۱/۹۱۵	۴/۴۷	۰/۲۲۴

(جدول ۵)- میانگین انرژی الکتریکی مصرفی و بهره‌وری انرژی الکتریکی برای تولید یک کیلوگرم چغندرقند و شکر با آبیاری جویچه‌ای و تحت فشار در خراسان رضوی از سال‌های ۱۳۸۳ الی ۱۳۸۷

میانگین استانی در پنج سال	آبیاری جویچه‌ای					آبیاری تحت فشار				
	انرژی پمپاژ در کل فصل رشد برای ۱ هکتار (kw-hr)	ساعات کارکرد پمپ در کل فصل (hr) برای ۱ هکتار	انرژی مصرفی برای تولید ۱ کیلوگرم چغندرقند (kw-hr)	بهره‌وری انرژی مصرفی (kg/kw-hr)	انرژی مصرفی برای تولید ۱ کیلوگرم شکر (kw-hr)	بهره‌وری انرژی مصرفی شکر(kg/kw-hr)	انرژی پمپاژ در کل فصل رشد برای ۱ هکتار (kw-hr)	ساعات کارکرد پمپ در کل فصل (hr) برای ۱ هکتار	انرژی مصرفی برای تولید ۱ کیلوگرم چغندرقند (kw-hr)	بهره‌وری انرژی مصرفی (kg/kw-hr)	انرژی مصرفی برای تولید ۱ کیلوگرم شکر (kw-hr)	بهره‌وری انرژی مصرفی شکر(kg/kw-hr)
	۱۷۶۴۷/۷	۲۵۸	۰/۵۷	۱/۷۵۴	۴/۸۴	۰/۲۰۶	۲۰۰۵۳/۲	۲۲۶	۰/۶۴	۱/۵۶۲	۵/۵	۰/۱۸۱

www.SID.ir

Archive of SID

در حالتی که محصول با آبیاری تحت فشار آبیاری می‌شود، توان مورد نیاز پمپ با توجه به رابطه (۳) الی (۵)، معادل ۸۸/۶ کیلووات ساعت تعیین گردید. در اینجا نیز مانند حالت قبل، انرژی کل مورد استفاده برای پمپاژ محاسبه شد و بهره‌وری انرژی با آبیاری تحت فشار تعیین گردید. نتایج محاسبات میانگین استانی انرژی الکتریکی مورد نیاز و بهره‌وری انرژی الکتریکی برای هر دو روش آبیاری در جدول ۵ آمده است.

طبق جدول (۵)، انرژی الکتریکی مصرفی برای تولید یک کیلوگرم شکر در خراسان رضوی و با روش آبیاری جویچه‌ای و تحت فشار به ترتیب معادل ۴/۸۴ و ۵/۵ کیلووات‌ساعت بدست آمد.

برای حالت استفاده از سوخت‌های فسیلی، طبق رابطه (۸)، توان مورد نیاز پمپ ۹۸ کیلووات ساعت بدست آمد و با توجه به رابطه (۹)، حجم گازوئیل مصرفی برای تأمین ۹۸ کیلووات ساعت برابر با ۳۳ لیتر می‌باشد. سپس برای تولید مربوط به هر کارخانه، کل انرژی دیزلی مورد نیاز برای تولید یک کیلوگرم چغندرقند (یا شکر) با آبیاری جویچه‌ای و نیز بهره‌وری انرژی در این حالت تعیین گردید. و اما در صورت پمپاژ با سوخت فسیلی برای آبیاری تحت فشار نیز مشابه حالت استفاده از الکتروپمپ‌ها، با درنظرگرفتن بار فشاری ۳۵ متر و با استفاده از رابطه (۸)، توان مورد نیاز پمپ در آبیاری تحت فشار ۱۲۶/۵ کیلووات ساعت می‌باشد. و با توجه به رابطه (۹)، حجم گازوئیل مصرفی برابر با ۴۲/۲ لیتر تعیین شد. سپس، انرژی کل مورد استفاده برای پمپاژ محاسبه شد و بهره‌وری انرژی دیزلی نیز در این حالت تعیین گردید. نتایج میانگین استانی محاسبات انرژی دیزلی و بهره‌وری انرژی دیزلی مورد نیاز برای هر دو روش آبیاری در جدول ۶ آمده است.

با توجه به جدول (۶)، انرژی دیزلی مصرفی برای تولید یک کیلوگرم شکر در خراسان رضوی و با روش آبیاری جویچه‌ای و تحت فشار به ترتیب معادل ۲/۳۱ و ۲/۶۲ متر مکعب بدست آمد. مطابق آنچه گفته شد آب و انرژی مصرفی و بهره‌وری آب و انرژی در بخش آبیاری برای تولید چغندرقند و شکر در استان خراسان رضوی بدست آمد.

همان‌طور که در بخش ۲-۴ گفته شد، برای مقایسه آب مصرفی برای تولید شکر در خراسان رضوی و کشور برزیل، از میانگین بلندمدت ۳۰ ساله داده‌های هواشناسی کشور مذکور در نرم‌افزار CROPWAT برای محاسبه نیاز آبی نیشکر در سه منطقه رکیف[1]، کمپوس[2] و جواپسوا[3] استفاده شد. نتایج محاسبه تبخیر و تعرق مرجع و نیز نیاز آبی ناخالص نیشکر در برزیل در جدول ۷ آمده است.

با توجه به جدول ۷، میانگین نیاز آبی ناخالص نیشکر در برزیل ۱۳۹۸۳/۱ m^3/ha می‌باشد. برای تعیین آب مصرفی برای تولید یک کیلوگرم نیشکر بایستی عملکرد نیشکر در برزیل را تعیین کنیم. داده‌های موردنظر در سایت سازمان خواربار جهانی FAO (۲۲) موجود است که میانگین ۵ ساله عملکرد نیشکر در کشور مزبور، ۷۴/۸۳ ton/ha می‌باشد. اگر راندمان استحصال نیشکر به شکر خام را مشابه ایران برابر با ۱۰٪ در نظر بگیریم که ۹۵٪ آن به شکر سفید تبدیل می‌شود (۴)، آنگاه عملکرد شکر در برزیل تقریباً برابر با ton/ha ۷/۱ خواهد بود. در نتیجه میزان آب مصرفی برای تولید یک کیلوگرم شکر ۱/۹۷ m^3 می‌باشد. در حالی‌که مطابق جدول ۴، این میزان در استان خراسان رضوی برای آبیاری جویچه‌ای و تحت فشار به ترتیب برابر با ۵/۰۴ m^3 و ۴/۴۷ m^3 بدست آمد. جمع سالانه شکر تولیدی خراسان رضوی برای کشور ۱۴۸۸۳/۲ ton است که اگر فرض کنیم از آبیاری جویچه‌ای برای تولید آن استفاده شده باشد، در صورت واردات این میزان از کشوری چون برزیل، سالانه حدود ۴۵۶۹۱۱۷۸۴ = ۲۹۳۱۹۷۴۶۴ – ۷۵۰۱۰۹۲۴۸ مترمکعب آب در جهان و ۴۶۷۰۸۲۰۰ مترمکعب آب در ایران صرفه‌جویی می‌شود. حال اگر این میزان تولید با آبیاری تحت فشار بدست آمده باشد، با واردکردن همین میزان شکر از برزیل، ۳۷۲۰۷۵۰۰۰ = ۲۹۳۱۹۷۴۶۴ – ۶۶۵۲۷۵۴۶۴ مترمکعب آب در جهان و ۶۶۵۲۷۵۴۶۴ مترمکعب در ایران صرفه‌جویی می‌شود.

قیمت هر متر مکعب آب، هر کیلووات ساعت برق و هر لیتر گازوئیل در ایران به ترتیب برابر با ۶۶۰ ریال (۰/۶ دلار)، ۱۰۰۰ ریال (۰/۱ دلار) و ۲۰۰۰ ریال (۰/۲ دلار) می‌باشد. بنابراین با توجه به نتایج بدست آمده در قسمت قبل، قیمت آب، انرژی برق و گازوئیل برای تولید یک کیلوگرم شکر با روش آبیاری جویچه‌ای به ترتیب برابر با ۳/۰۲ دلار، ۰/۴۸۴ دلار و ۰/۴۶۱ دلار می‌باشد. پس از میانگین‌گیری بین هزینه برق و گازوئیل، در نهایت هزینه مجموع آب و انرژی مصرفی برای تولید یک کیلوگرم شکر با روش آبیاری جویچه‌ای معادل ۳/۴۹ دلار می‌باشد. به همین ترتیب، قیمت آب، انرژی برق و گازوئیل برای تولید یک کیلوگرم شکر با روش آبیاری تحت فشار به ترتیب برابر با ۲/۷ دلار، ۰/۵۵۰ دلار و ۰/۵۲۴ دلار می‌باشد. پس از میانگین‌گیری بین هزینه برق و گازوئیل، در نهایت هزینه مجموع آب و انرژی مصرفی برای تولید یک کیلوگرم شکر با روش آبیاری تحت فشار در خراسان رضوی معادل ۳/۲۴ دلار می‌باشد. از طرفی قیمت جهانی هر کیلوگرم شکر معادل ۰/۴ دلار می‌باشد. یعنی علاوه بر اینکه بدست آوردن ۱ دلار در ازای شکر، مستلزم ۸/۷ دلار هزینه مجموع آب و انرژی در آبیاری جویچه‌ای و ۸/۱ دلار هزینه مجموع آب و انرژی در آبیاری تحت فشار چغندرقند می‌باشد، همچنین درمی-

1 - Recife
2 - Campos
3 - Joao Pessoa

www.SID.ir

Archive of SID

یابیم که واردات شکر از نظر اقتصادی نسبت به تولید داخلی آن به‌صرفه‌تر می‌باشد. حال اگر قیمت آب معادل قیمت شیرین کردن یک متر مکعب آب دریا که ۱۵۰۰۰ ریال (۱/۵ دلار) است، درنظر گرفته شود، آنگاه هزینه مجموع آب و انرژی مصرفی برای تولید یک کیلوگرم شکر با روش آبیاری جویچه‌ای و تحت فشار در خراسان رضوی به ترتیب معادل ۸/۰۳ و ۷/۲۴ دلار می‌باشد. لازم به یادآوری است که در این حالت تنها قیمت تمام شده آب و انرژی برای آبیاری چغندرقند درنظر گرفته شده و از سایر هزینه‌ها صرفنظر گردیده، در طرف دیگر نیز تنها قیمت خرید شکر منظور شده و از سایر هزینه‌های واردات چشم‌پوشی گردیده است. ضمن اینکه برای تأمین آب تنها آبهای زیرزمینی مدنظر بوده و تأمین آب از منابع سطحی در نظر گرفته نشده است.

با توجه به مجموع نتایج بدست آمده می‌توان گفت در کنار افزایش بهره‌وری آب به عنوان یکی از راه‌های مقابله با کم‌آبی باید توجه نمود که با دخالت دادن تجارت آب مجازی در سیاست‌های آبی علاوه بر اینکه میزان دسترسی خود را به منابع آب جهانی افزایش می‌دهیم، از افزایش فشار بر منابع محدود خود نیز می‌توانیم بکاهیم. بدین ترتیب که تولید یا صادرات محصولات آب‌بر با توجه به قیمت‌های تمام شده آب (و انرژی) به نفع کشور نیست و در طولانی مدت به اقتصاد کشور آسیب وارد خواهد کرد. بطور مثال چغندرقند یکی از محصولاتی است که با توجه به نیاز آبی بالا و نتایج بدست آمده از این تحقیق، وارادات آن هم از لحاظ منابع آبی و هم منابع مالی به‌صرفه‌تر می‌باشد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در این تحقیق بهره‌وری آب- انرژی الکتریکی در زراعت چغندرقند خراسان رضوی برای آبیاری جویچه‌ای به ترتیب ۱/۶۸۳ کیلوگرم بر مترمکعب و ۱/۷۵۴ کیلوگرم بر کیلووات‌ساعت و برای آبیاری تحت فشار به ترتیب ۱/۹۱۵ کیلوگرم بر مترمکعب و ۱/۵۶۲ کیلوگرم بر کیلووات‌ساعت بدست آمد. و بهره‌وری آب - انرژی الکتریکی تولید شکر سفید در خراسان رضوی برای آبیاری جویچه‌ای به ترتیب ۰/۱۹۸ کیلوگرم بر مترمکعب و ۰/۲۰۶ کیلوگرم بر کیلووات‌ساعت و برای آبیاری تحت فشار به ترتیب ۰/۲۲۴ کیلوگرم بر مترمکعب و ۰/۱۸۱ کیلوگرم بر کیلووات‌ساعت محاسبه شد.

نتایج نشان داد که در صورتی که به جای تولید داخلی شکر در استان خراسان رضوی همان میزان را از کشور دیگر مانند برزیل که بزرگ‌ترین تولید کننده شکر در دنیا است وارد کنیم، حدود ۶۶۵ الی ۷۵۰ میلیون متر مکعب - بسته به نوع آبیاری- در مصرف آب سالانه ایران صرفه‌جویی می‌شود. علاوه بر این، حدود ۳۷۲ الی ۴۵۶ میلیون متر مکعب در مصرف آب سالانه دنیا نیز صرفه‌جویی خواهد شد.

از طرفی، با توجه به اینکه بدست آوردن ۱ دلار سود در ازای شکر تولیدی در خراسان رضوی، مستلزم ۸/۷ دلار هزینه مجموع آب و انرژی در آبیاری جویچه‌ای و ۸/۱ دلار هزینه مجموع آب و انرژی در آبیاری تحت فشار چغندرقند است، نتیجه می‌گیریم که وارادات شکر به عنوان جایگزینی برای تولید و صادرات آن هم از لحاظ منابع آبی و هم منابع مالی برای کشور سودمندتر خواهد بود.

(جدول ٦)- میانگین انرژی دیزلی مصرفی و بهره‌وری انرژی دیزلی برای تولید یک کیلوگرم چغندرقند و شکر با آبیاری جویچه‌ای و تحت فشار در خراسان رضوی از سال‌های ۱۳۸۳ الی ۱۳۸۷

میانگین استانی در پنج سال	آبیاری جویچه‌ای					آبیاری تحت فشار				
	انرژی پمپاژ در کل فصل رشد برای ۱ هکتار (kw-hr)	ساعات کارکرد پمپ در کل فصل برای ۱ هکتار (hr)	انرژی مصرفی برای تولید ۱ کیلوگرم چغندرقند (kw-hr)	بهره‌وری انرژی مصرفی چغندرقند(kg/lit)	انرژی مصرفی برای تولید ۱ کیلوگرم شکر (kw-hr)	بهره‌وری انرژی مصرفی شکر(kg/lit)	انرژی پمپاژ در کل فصل رشد برای ۱ هکتار (kw-hr)	ساعات کارکرد پمپ در کل فصل برای ۱ هکتار (hr)	انرژی مصرفی برای تولید ۱ کیلوگرم چغندرقند (kw-hr)	بهره‌وری انرژی مصرفی چغندرقند(kg/lit)	انرژی مصرفی برای تولید ۱ کیلوگرم شکر (kw-hr)	بهره‌وری انرژی مصرفی شکر(kg/lit)
	۲۵۲۱۰/۹	۲۵۷	۰/۲۷	۳/۷۰۳	۲/۳۱	۰/۴۳۳	۳۲۸۶۳۱	۲۲۶	۰/۳۰	۳/۳۳۳	۲/۶۲	۰/۳۸۲

www.SID.ir

Archive of SID

(جدول ۷) – داده‌های هواشناسی و نتایج محاسبه نیاز آبی نیشکر در برزیل با نرم‌افزار CROPWAT

شهر	نیاز آبی	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	جولای	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
بیجی	ETo(mm)	۵/۲۴	۴/۷۳	۳۲.۴	۳/۸۳	۳/۵۱	۳/۴۹	۳/۲۱	۳/۳۸	۴/۲۹	۴/۶۹	۵/۱۴	۴/۸۴
	نیاز آبی ناخالص (mm)	۱۳۰۹/۴											
مجشمی	ETo(mm)	۶/۲۵	۵/۳۴	۳/۹۲	۴/۳۴	۴/۹۹	۵/۶۳	۳/۹۷	۷/۵۷	۸/۷۹	۸/۸۲	۸/۵۵	۷/۴۷
	نیاز آبی ناخالص (mm)	۱۶۳۵/۱۲											
هشتمی	ETo(mm)	۵/۵۶	۵/۳۲	۴/۳۸	۴/۳۷	۴/۲	۳/۵۸	۲/۸۸	۴/۳۵	۵/۶۶	۵/۰۵	۵/۱۹	۵/۱۳
	نیاز آبی ناخالص (mm)	۱۲۵۰/۴											
میانگین نیاز آبی ناخالص نیشکر(mm)		۱۳۹۸/۳۱											

www.SID.ir

Archive of SID

با توجه به اینکه در این تحقیق فرضیاتی جهت ساده‌سازی محاسبات صورت گرفته و از بسیاری از هزینه‌ها صرفنظر گردیده، لذا پیشنهاد می‌شود برای تکمیل تحقیقات در این رابطه علاوه بر تأمین آب از منابع زیرزمینی، تأمین آن از منابع سطحی نیز درنظر گرفته شود، همچنین سایر هزینه‌های تولید مانند هزینه‌های مربوط به کارهای زیربنایی ساخت سد، کانال‌ها، خطوط انتقال، نیروی انسانی، انرژی‌های غیرمستقیم، نهاده‌های کشاورزی و غیره برای سایر محصولات عمده کشور نیز درنظر گرفته شود و با هزینه‌های واردات مقایسه گردد تا نتایج دقیق‌تری در این رابطه حاصل شده و در تحلیل و برنامه‌ریزی‌های کلان کشور دخالت داده شود.

در نگاه اول نتایج این گونه تحقیقات شاید متعارض با استراتژی‌های خودکفایی تأمین مواد غذایی به نظر آید، اما با نگاهی عمیق‌تر در می‌یابیم که با ورود مقادیر زیاد آب مجازی به کشور، میزان تقاضای آب کاهش خواهد یافت و در این صورت نیازی به تأمین آب از منابع پرهزینه که اکنون دغدغه کشور است، نخواهد بود. علاوه بر این می‌توان آبی را که برای تولید شکر مورد نیاز بوده است، برای سایر بخش‌ها حفظ کنیم. و بهتر این است که با توجه به نیازهای داخلی و ملاحظات آب مجازی محصولات مختلف و نیز بررسی بهره‌وری آب و نیاز آبی آنها، نقطه بهینه‌ای را برای میزان واردات مواد غذایی به کشور بیابیم.

تشکر و قدردانی

نگارندگان این مقاله بر خود لازم می دانند که از سازمان جهاد کشاورزی خراسان رضوی و مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی مشهد (ایستگاه طرق) که اطلاعات مورد نیاز در این تحقیق را در اختیار آنها نهاده‌اند، قدردانی نمایند. این طرح توسط شورای پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد حمایت مالی شده است که بدینوسیله سپاسگذاری می‌شود.

مراجع

باغانی، ج. و ر. خوشبزم، ۱۳۸۶. بررسی اثرات آبیاری سطحی و قطره‌ای بر زراعت‌های ردیفی، نهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر کرمان،

سهراب، ف. و ف. عباسی، ۱۳۸۸. تحلیلی بر بازده‌های آبیاری در ایران، گزارش پژوهش نهایی مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج، ۸۵ صفحه.

عباسی، ف.، ع. مأمن‌پوش، ج. باغانی، و ع. کیانی، ۱۳۷۸. ارزیابی بازدهی روش‌های آبیاری سطحی و نحوه کار آنها در سطح کشور، گزارش پژوهش نهایی مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج، شماره ۴۹/۷۸، ۴۴ صفحه.

فلاحی، م.، ر. شیخ الاسلامی، و م. ب. باقرزاده، ۱۳۸۷. تکنولوژی چغندرقند، نشر سمبله، ۶۹۲ صفحه.

کوچکی، ع. و م. حسینی، ۱۳۶۸. سیر انرژی در اکوسیستم‌های کشاورزی، انتشارات جاوید، مشهد، ۳۲۸ صفحه.

گرجی، ع. و ق. زارعی، ۱۳۸۵. انرژی مصرفی در سیستم‌های خردآبیاری، دومین کارگاه فنی خردآبیاری، کرج.

وزارت کشاورزی، سازمان جهاد کشاورزی خراسان رضوی، ۱۳۸۵، سالنامه آماری بخش کشاورزی استان خراسان رضوی، ۱۶۷ صفحه.

وزارت کشاورزی، ۱۳۷۸. سند ملی آب کشور: نیاز آبی گیاهان، الگوی کشت، راندمان آبیاری. معاونت‌های فنی و زیربنایی، تات، برنامه‌ریزی و پشتیبانی، سازمان هواشناسی کشور.

Allan, J. A., 1993. Fortunately there are substitutes for water otherwise our hydro-political futures would be impossible, In: ODA , priorities for water resources allocation and management, ODA, London pp: 13-26.

Cook, S., Gichuki, F. and Turral, H., 2006, Agricultural water productivity: Issues, consepts and approaches, Basin Focal Project Working Paper No.1 published by the challenge program on water and food, 19 pp.

Fraiture, C. de, Cai, X., Amarasinghe, U., Rosegrant, M., and Molden, D. (2004). Does International Cereal Trade Save Water? The Impact of Virtual Water Trade on Global Water Use. Comprehensive Assessment Research Report 4, Colombo, Sri Lanka, Comprehensive Assessment Secretariat.

Hatirli, S. A., B. Ozkan and C. Fert, 2006. Energy inputs and crop yield relationship in greenhouse tomato production, Renewable Energy Journal, 31: 427-438.

Hockestra , A.Y., 2003. Virtual water: An introduction" VIRTUAL WATER TRADE, proceedings of the international Export meeting on virtual water , IHE Delft, The Netherland,12-13 December 2002. Edited by A.Y. hockestra (editor), February 2003.

Jackson, T. M., S. Khan and A. Ahmad, 2007. Exploring energy productivity for a groundwater dependent irrigated farm using a system dynamics approach, Research report of System Dynamics Society, USA.

Kennedy S., 2000. Energy use in American agriculture. Sustainable Energy Term Paper.

Lal, R., 2004. Carbon emission from farm operations, Environment International, 30: 981-990.

Mandal, K. G., K. P. Saha, P. K., Ghosh, K. M. Hati and K. K., Bandyopadhyay, 2002. Bioenergy and economic analysis of soybean-based crop production systems in central India. Biomass Bioenergy.

www.SID.ir

Archive of SID

23:337–45.
Montazar, A. and H. Kosari, 2007. Water productivity analysis of some irrigated crops in Iran, Research report of University College of Aboureyhan, University of Tehran, Pakdasht, Iran.
Renault, D., 2003. Value of virtual water in food: Principles and virtues. In: Virtual water trade: Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade, Value of Water Research Report Series No. 12, UNESCO-IHE, Delft, The Netherlands.
Singh, J. M., 2002. On farm energy use pattern in different cropping systems in Haryana, India. International Institute of Management University of Flensburg, Sustainable Energy Systems and Management, Master of Science, Germany.
Singh, H., D. Mishra,. N. M. Nahar and M. Ranjan, 2003. Energy use pattern in production agriculture of a typical village in arid zone India: part II. Energy Conversion Manage 44(7):1053–1067.
http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567
http://www.isfs.ir/amalkard1.htm
http://www.moe.org.ir
http://www.southamericanstocks.com
http://www.theweathernetwork.com/index.php?product=statistics&pagecontent=south_america#Brazil

تاریخ دریافت: ۸۸/۸/۱۵
تاریخ پذیرش: ۸۸/۱۰/۱۵

www.SID.ir

Archive of SID

Iranian Journal of Irrigation and drainage
No. 2, Vol. 3, fall 2009, p. 123-136

مجله آبیاری و زهکشی ایران
شماره ۲، جلد۳، پاییز ۱۳۸۸، ص. ۱۳۶-۱۲۳

Water - energy productivity at sugar beet cultivation

(Case study: Khorasan Razavi province)

Alizadeh[1], A and N. Khalili*[2]

Abstract

Water and energy resources are too limited relative to the highly increasing demand of them. These limitations will be even increased considering the growth of world population. Therefore, more water and energy consumption will be used for higher amount of agricultural productions. Moreover, regarding to the virtual water trade as an approach to compensate water shortage problem, crop production with high amount of water and energy requirements in arid regions may not a rational strategy. Sugar beet, a highly water consumer crop, is one of the most important agricultural crop in Khorasan Razavi province of Iran. According to our estimation in this paper, average consumption of water, fuel, and electrical energy for production of one kilogram of sugar by the surface irrigation method is 5.0 m^3, 2.3 lit, and 4.8 KW-hr and in under pressure method is 4.5m^3, 2.6 lit, 5.5 KW-hr, respectively. In this paper, it has been also proved that considering the amount of water consumption for producing of one kilogram of sugar, importing sugar from other exporting countries of sugar in the world, will be more efficient than producing sugar in Iran and it will lead us to save more resources both in Iran (665-750 millions m^3) and over the world (372 – 456 millions m^3). In addition, it has been shown that if we compare the net cost of required water and energy for producing sugar in Iran with world market prices of sugar, importing sugar will be more economically beneficial. The results shows that considering virtual water concept in national management strategy could end up with a stable development and promising future and also could provide solutions for water shortage in our country in which food, water and energy will be most challenging future problems. It should be considered that, in this paper, only water and energy have been considered and other aspects like job opportunities, industrial problems and other social aspects have not been considered. Therefore, considering virtual water trade with comprehensive researches may play a key role in sustainable developing

Keywords: Energy, Khorasan Razavi, Sugar, Sugar beet, Virtual water, Water productivity

1 ,2 - Professor and Ph.D graduated student at Ferdowsi University of Mashhad
*- Corresponding Author Email: najmehkhalili@gmail.com

www.SID.ir