Archive of SID

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 6, Vol. 13, Feb.-Mar. 2020, p. 1762-1773

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۶، جلد ۱۳، بهمن - اسفند ۱۳۹۸، ص. ۱۷۷۳-۱۷۶۲

بهینه‌سازی آب مصرفی چغندرقند در شرایط شوری آب آبیاری و وابستگی قیمت به کیفیت محصول

غزاله شمشیری[۱*]، علی شعبانی[۲]، علیرضا سپاسیان[۳]، ابوالفضل عزیزیان[۴]، علیرضا سپاسخواه[۵]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۲/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۴/۱۹

چکیده

از مهمترین محدودیت‌ها در کاهش رشد و میزان محصولات کشاورزی در مناطق خشک و نیمه خشک، کمبود آب آبیاری و هم‌چنین کاهش کیفیت آن است. بهینه‌سازی مصرف آب و مدیریت صحیح استفاده از آب‌های شور، روشی برای افزایش کارایی مصرف آب می‌باشد. در این پژوهش، تابع تولید محصول چغندرقند براساس مقدار و شوری آب آبیاری به دست آمد. سپس معادلات لازم جهت تعیین عمق بهینه آب آبیاری، زمانی که قیمت چغندرقند متغیر و تابع کیفیت آن (عیار قند) می‌باشد، تعیین گردید. به ازای شوری صفر دسی‌زیمنس بر متر و بر اساس قیمت‌های فعلی آب و محصول، نتایج نشان داد که برای به دست آوردن بیشینه محصول چغندرقند و سود در شرایط محدودیت زمین و آب مقادیر بهینه آب به ترتیب برابر ۱/۸۷، ۱/۷۷ و ۱/۵۲ متر می‌باشد. میزان صرفه‌جویی در مصرف آب در شرایط محدودیت آب، ۱۸/۷درصد و افزایش سطح زیر کشت نیز ۲۰ درصد محاسبه گردید.

واژه‌های کلیدی: آب شور، تحلیل کم آبیاری، محدودیت آب، محدودیت زمین

مقدمه

تغییر در کیفیت آب‌های زیرزمینی و شور شدن منابع آب، در حال حاضر خطری بزرگ برای توسعه کشاورزی به خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک می‌باشد. با وجود چنین شرایطی به علت برداشت بیش از حد از منابع آب زیرزمینی، این آب ها به سمت شور شدن رفته‌اند. عامل اصلی افزایش شوری سفره‌های آب زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه خشک نفوذ آب دریا، انحلال سازندهای نمکی در لایه‌های زیرین و بهره‌برداری بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی است (چوبین و ملکیان، ۱۳۹۲). با توجه به محدودیت منابع آبی، استفاده از منابع آب شور اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. بنابراین کاربرد شیوه‌های زراعی مناسب در بهره‌برداری صحیح از منابع آب شور، وکاهش خسارت‌های ناشی از آن، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. محققان بر این عقیده‌اند که به علت تلفات قابل توجه آب از طریق تبخیر، هر مدیریتی که بتواند تبخیر از سطح خاک را کاهش دهد، محصول و بهره‌وری آب را افزایش خواهد داد (حیدری‌نیا و همکاران، ۱۳۹۶).

چغندرقند به عنوان یک گیاه استراتژیک از نظر تولید شکر می‌باشد که دارای نیاز آبی بالا در کشاورزی می‌باشد. کم آبیاری یکی از روش‌های کاهش مصرف آب و افزایش کارایی مصرف آب چغندرقند می‌باشد (Haghverdi et al., 2017; Tarkalson and King, 2017; Ertek and Kiymaz, 2015). کم آبیاری روشی است که حد مجاز کاهش محصول در اثر کاهش آب مصرفی را نشان می‌دهد و بالاترین میزان درآمد خالص را به ازای واحد آب مصرفی تعیین می‌کند. همچنین در کاهش هزینه‌های تولید مؤثر است. لذا از هدر رفتن آب جلوگیری می‌کند (توکلی و فرداد، ۱۳۷۸). هدف از بهینه‌سازی آب آبیاری، بیشینه کردن محصول یا سود خالص در دو حالت محدودیت زمین و محدودیت آب آبیاری می‌باشد. برای تعیین عمق بهینه آب آبیاری و رابطه آب آبیاری- محصول عموماً بایستی مستندات تحقیقاتی در منطقه موجود باشد. در این صورت به راحتی با استفاده از مدل بهینه‌سازی عمق آب آبیاری، شاخص‌های آستانه‌ای عمق آب آبیاری به دست می‌آید (سپاسخواه و همکاران، ۱۳۸۵).

در کم آبیاری برای تعیین حد بهینه آبیاری استفاده از مدل‌ها و روابط تجربی- ریاضی امری اجتناب‌ناپذیر می‌باشد (قهرمان و سپاسخواه، ۱۳۷۵). اولین بار انگلیش با ترکیب کار محققین مختلف

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشگاه فسا
۲- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه فسا
۳- استادیار گروه ریاضی، دانشگاه فسا
۴- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه اردکان
۵- استاد بخش آبیاری دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز
(* - نویسنده مسئول: Email:ghazalehshamshiri@gmail.com)

www.SID.ir

Archive of SID

یک قالب عملی و تحلیلی برای بحث در خصوص کم آبیاری ارائه داد. در تحلیل ایشان توابعی برای میزان محصول و هزینه تولید، تعیین و به کار برده شد. تحلیل انگلیش مبنای پژوهش‌های زیادی بود که موجب توسعه روش‌های ارائه شده توسط دیگر محققین گردید. در تحلیل ارائه شده توسط انگلیش تابع محصول صرفاً وابسته به آب آبیاری بود و قیمت محصول ثابت در نظر گرفته شد (English, 1990). اما همانطور که توکلی و فرداد (۱۳۷۸) نشان دادند برای چغندرقند، قیمت محصول تابع عیار قند محصول می باشد. آن‌ها نشان دادند که عیار قند محصول تابع کیفیت و مقدار آب آبیاری بود و ثابت نمی‌باشد. زندپارسا و سپاسخواه تابع تولید را دو متغیره در نظر گرفتند و با منظور نمودن نیتروژن اولیه خاک، به عنوان یک متغیر مقادیر بهینه آب آبیاری و کود نیتروژن را برای ذرت ارائه کردند (Zand-Parsa and Sepaskhah., 2001). توکلی (۱۳۸۵) طی پژوهشی گزارش داد که کاهش ۲۷/۳ درصد آب آبیاری گندم به همراه مصرف نیتروژن خالص به مقدار ۹۰ کیلوگرم در هکتار، بالاترین میزان بهره‌وری آب را دارد و تنها ۱۹/۸ درصد افت محصول به وجود می‌آید. اکبری (۱۳۷۷) طی تحقیقی در اصفهان بر روی محصول چغندرقند، نشان داد که با کاهش ۳۰ درصد آب آبیاری نسبت به آبیاری کامل، میزان محصول فقط ۱۰ درصد کاهش پیدا می‌کند ولی عیار قند محصول افزایش می‌یابد.

اعمال کم آبیاری روی چغندرقند توسط توکلی (۱۳۷۵) در کرج، منجر به ۳۴ درصد کاهش آب آبیاری نسبت به آبیاری کامل، و ۱۶ درصد کاهش محصول در واحد سطح شد، اما حداکثر سود خالص به ازای واحد آب آبیاری را نیز به همراه داشت. همچنین ایشان نتیجه گرفت که قیمت یا ارزش نهایی محصول که بستگی به کیفیت آن دارد، عامل مؤثری در بهینه‌سازی سود خالص است. جهاداکبر و همکاران (۱۳۹۰) واکنش چغندرقند به شوری آب آبیاری را بررسی کردند. آن‌ها گزارش کردند که کمترین کاهش محصول ریشه در مرحله چهارم رشد و بیشترین واکنش به شوری در مرحله اول رشد می‌باشد. همچنین آبیاری با شوری ۸ dS/m در مرحله سوم و چهارم رشد، تأثیری بر کاهش محصول ریشه نداشت ولی در مرحله اول رشد به صورت معنی‌داری محصول ریشه را کاهش داد.

شعبانی و همکاران کم آبیاری روی چغندرقند را زمانی که قیمت محصول متغیر و تابعی از مجموع آب آبیاری و بارش فصل رشد باشد، بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد که بهینه کردن عمق آب آبیاری در شرایط محدودیت زمین منجر به افزایش ۱/۲ درصد درآمد خالص در واحد سطح نسبت به آبیاری کامل می‌شود در حالی که در شرایط محدودیت آب درآمد خالص در واحد آب آبیاری، نسبت به آبیاری کامل به میزان ۱۲ درصد افزایش می‌یابد. و هم‌چنین نتایج آنها نشان داد که در شرایط محدودیت آب افزایش بارش فصلی از ۰ به ۶ و ۱۲ سانتی‌متر، به ترتیب منجر به افزایش عمق بهینه آب از ۴۷/۴ به ۵۴/۸ و ۶۵/۳ درصد می‌شود (Shabani et al.,2018).

تحلیل کم آبیاری در شرایط کاربرد آب شور برای بهینه‌سازی آب آبیاری گندم و ذرت شیرین توسط عزیزیان و سپاسخواه (۱۳۹۲) انجام شد. نتایج این پژوهش نشان داد که برای رسیدن به محصول بیشینه مقدار بهینه آب، برای ذرت شیرین وابسته به شوری آب آبیاری بود و با افزایش شوری مقدار آن کاهش یافت. در شرایط محدودیت زمین نیز مقدار بهینه آب برای ذرت شیرین وابسته به شوری آب آبیاری، قیمت آب و محصول بود در حالیکه برای گندم در شرایط محدودیت زمین، مقدار بهینه آب به قیمت آب و محصول بستگی داشت.

خرمیان و حسین‌پور (۱۳۹۵) به منظور بهینه‌سازی آب آبیاری چغندرقند آزمایشی در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در اراضی مرکز تحقیقات کشاورزی صفی‌آباد انجام دادند. نتایج آنها نشان داد که استفاده از عمق آب آبیاری بهینه در شرایط محدودیت آب منجر به افزایش ۴۳ درصد صرفه‌جویی مقدار آب آبیاری در واحد سطح گردید و موجب کاهش ۲۱ درصدی عملکرد شد در نتیجه منجر به افزایش عیار قند چغندرقند و کاهش هزینه‌های آبیاری شد.

در این پژوهش، معادلات لازم برای تعیین عمق بهینه آب آبیاری چغندرقند در شرایط محدودیت زمین و محدودیت آب، در شرایط شوری آب آبیاری تعیین گردید. آنچه که این مطالعه را نسبت به مطالعات قبلی متمایز می سازد: ۱- توابع تولید محصول و عیار قند چغندرقند وابسته به مقدار آب آبیاری و شوری آب آبیاری بوده است. ۲- قیمت آب آبیاری متغیر و تابع شوری آن فرض گردید. ۳- قیمت خرید محصول متغیر و تابع مقدار آب آبیاری و شوری آب می‌باشد.

مواد و روش‌ها

جمع‌آوری داده‌های تولید و هزینه

در این مطالعه، از داده‌های محصول چغندرقند و عیار قند آن به ازای میزان آب آبیاری گزارش شده توسط فیضی و همکاران که به بررسی واکنش چغندرقند به سطوح مختلف شوری آب آبیاری و مقدار آب آبیاری پرداخته‌اند، استفاده می‌شود (Feizi et al. 2017). این مطالعه در منطقه‌ای واقع در ۶۵ کیلومتری جنوب شرقی استان اصفهان با اقلیم خشک اجرا شد. این طرح به صورت بلوک‌های کاملاً تصادفی در چهار تکرار و با سه منبع آب (رودخانه، چاه و آب خروجی از زهکش) با شوری‌های متفاوت (۱/۶، ۸/۱ و ۱۲/۳ دسی‌زیمنس بر متر) و بر اساس سه مقدار اسمی آبشویی (۲/۲، ۱۲/۱ و ۱۹/۶درصد) طی دو سال انجام گردید.

در تحقیق گزارش شده توسط جلیلیان و همکاران (۱۳۸۰)، هزینه ثابت تولید چغندرقند ۸۸۵۲۴۳۹ ریال بر هکتار، قیمت چغندرقند با عیار ۱۶ درصد ۴۹۵۰۰۰ ریال بر تن و هزینه هر متر مکعب آب شیرین ۲۸۰ ریال بر اساس نرخ تورم اعلام شده توسط بانک مرکزی

www.SID.ir

Archive of SID

برای سال ۲۰۱۷ محاسبه گردید. با استفاده از داده‌های گزارش شده فیضی و همکاران تابع تولید چغندرقند و تابع عیار قند برحسب مقدار و شوری آب آبیاری و نیز تابع هزینه تولید این محصول استخراج شد و بر اساس تئوری زیر مورد تحلیل قرار گرفت (Feizi et al. 2017).

تئوری تحقیق

میزان محصول (Y) می‌تواند به صورت تابعی از مقدار آب آبیاری (W) و شوری آب آبیاری (EC_{iw}) بیان گردد. در نتایج فیضی و همکاران مقدار آب آبیاری برابر با مجموع نیاز آبشوئی و نیاز آبی گیاه گزارش گردید (Feizi et al. 2017). به عبارت دیگر W مقدار عمق ناخالص آبیاری می باشد که توسط این محققین گزارش شد. درآمد کل برابر حاصل ضرب درآمد خالص در واحد سطح در مساحت کل می‌باشد:

$$I(W, EC_{iw}) = A \times i(W, EC_{iw}) \quad (۱)$$

که در آن $I(W, EC_{iw})$ درآمد حاصل از کل سطح زیر کشت بر حسب ریال و A کل سطح زیر کشت بر حسب هکتار می‌باشد و $i(W, EC_{iw})$ درآمد خالص در واحد سطح بر حسب ریال بر هکتار می‌باشد که به صورت زیر بدست می‌آید:

$$i(W, EC_{iw}) = P_C(W, EC_{iw}) \times Y(W, EC_{iw}) - C(W, EC_{iw}) \quad (۲)$$

که در آن $P_C(W, EC_{iw})$ ارزش واحد وزن محصول بر حسب ریال بر تن، W مقدار آب آبیاری ناخالص (مجموع آب آبیاری خالص و مقدار آب مورد نیاز برای آبشویی) بر حسب متر مکعب بر هکتار، $Y(W, EC_{iw})$ تابع محصول بر حسب تن بر هکتار و $C(W, EC_{iw})$ هزینه بر واحد سطح بر حسب ریال بر هکتار می‌باشد که تابعی از آب آبیاری و شوری آن است.

سطح زیر کشت نیز تابعی از مقدار آب آبیاری می‌باشد و برابر است با:

$$A(W) = \frac{W_T}{W} \quad (۳)$$

که در آن W_T کل آب قابل استحصال و یا اختصاص داده شده توسط سازمان آب بر حسب مترمکعب و W مقدار آب آبیاری ناخالص بر واحد سطح بر حسب مترمکعب بر هکتار می‌باشدکه تابع شوری آب آبیاری است.

عزیزیان و سپاسخواه (۱۳۹۲) با منظور نمودن هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک (EC_e) به ازای کاهش معین محصول سطح زیر کشت را به صورت تابعی از شوری آب آبیاری ارائه نمودند. اما در این مطالعه سطح زیر کشت تابع عمق آب آبیاری در نظر گرفته شد زیرا W عمق ناخالص آب آبیاری می‌باشد و تابع محصول $Y(W, EC_{iw})$ و هزینه $C(W,EC_{iw})$ بر مبنای عمق ناخالص آب آبیاری تعیین گردید. بنابراین هر چند W تابع شوری آب آبیاری می‌باشد ولی در تحلیل حاضر با توجه به اینکه مقدار W (عمق ناخالص) در نتایج گزارش شده توسط فیضی و همکاران بر اساس شوری آب آبیاری محاسبه و ارائه شده بود، فلذا A صرفاً تابعی از W لحاظ گردید Feizi (et al. 2017). لازم به ذکر است که توابع محصول و عیار قند را نمی‌توان صرفاً بر اساس W ارائه نمود چون محصول و عیار قند آن علاوه بر مقدار آب آبیاری تحت تأثیر مستقیم شوری هم می‌باشد.

برای رسیدن به بیشینه محصول با استفاده از تابع محصول، مقادیری از W و EC_{iw} که موجب بیشترین میزان محصول می‌شود، با مشتق گیری از تابع محصول به صورت زیر تعیین می‌گردد:

$$\frac{\partial Y(W, EC_{iw})}{\partial W} = 0 \quad (۴a)$$

$$\frac{\partial Y(W, EC_{iw})}{\partial EC_{iw}} = 0 \quad (۴b)$$

چغندرقند بر اساس کیفیت آن یعنی عیار قند ریشه قیمت‌گذاری می‌شود. عیار قند پایه برای خرید ریشه چغندرقند ۱۶ درصد می‌باشد. بنابراین قیمت واحد وزن چغندر قند از معادله زیر تعیین می‌گردد:

$$P_C(W, EC_{iw}) = P_{C16}\left[\frac{Pol(W, EC_{iw}) - 3}{13}\right] \quad (۵)$$

$$P_C(W, EC_{iw}) = P_{C16}\left[\frac{Pol(W, EC_{iw}) - 3}{13}\right]$$

که در آن $Pol(W, EC_{iw})$ عیار قند ریشه (تابعی از آب آبیاری و شوری)، اعداد ۳ و ۱۳ به ترتیب میانگین درصد ضایعات و میانگین عیار قند در سنوات گذشته و P_{C16} قیمت واحد چغندرقند با عیار پایه ۱۶ درصد (قیمت تضمینی ثابت) می‌باشد (سپاسخواه و همکاران، ۱۳۸۵).

در حالت محدودیت زمین

اگر زمین عامل محدودکننده باشد، مقدار آب آبیاری (W_L) و شوری (EC_{iwL}) آن، که به ازای آنها سود در واحد سطح زیر کشت حداکثر می‌گردد، با مشتق گیری جزئی از تابع سود نسبت به W و EC_{iw} و صفر قرار دادن آن تعیین می‌گردد:

$$\frac{\partial I(W, EC_{iw})}{\partial W} = A\frac{\partial i(W, EC_{iw})}{\partial W} + i(W, EC_{iw})\frac{\partial A}{\partial W} = 0 \quad (۶a)$$

$$\frac{\partial I(W, EC_{iw})}{\partial EC_{iw}} = A\frac{\partial i(W, EC_{iw})}{\partial EC_{iw}} + i(W, EC_{iw})\frac{\partial A}{\partial EC_{iw}} = 0 \quad (۶b)$$

مقدار مشتق تابع سطح زیر کشت نسبت به آب آبیاری برابر است با:

$$\frac{\partial A}{\partial W} = \frac{-W_T}{W^2} \quad (۷)$$

در حالت محدودیت زمین سطح زیر کشت مستقل از مقدار آب آبیاری بوده و بنابر دلایل ذکر شده مستقل از شوری آب آبیاری است.

www.SID.ir

Archive of SID

به این معنی که مشتق A نسبت به W و EC_{iw} برابر با صفر می‌باشد. بنابراین معادله‌های ۶a و ۶b به صورت زیر ساده می‌شود:

$$\frac{\partial i(W, EC_{iw})}{\partial W} = 0 \quad (8a)$$

$$\frac{\partial i(W, EC_{iw})}{\partial EC_{iw}} = 0 \quad (8b)$$

با قرار دادن معادله (۲) در معادله (۸a) و (۸b) معادله‌های زیر حاصل می‌گردد:

$$Y(W,EC_{iw})\frac{\partial P_C(W,EC_{iw})}{\partial W}+P_C(W,EC_{iw})\frac{\partial Y(W,EC_{iw})}{\partial W}-\frac{\partial C(W,EC_{iw})}{\partial W}=0 \quad (9a)$$

(۹b)

$$Y(W,EC_{iw})\frac{\partial P_C(W,EC_{iw})}{\partial EC_{iw}}+P_C(W,EC_{iw})\frac{\partial Y(W,EC_{iw})}{\partial EC_{iw}}-\frac{\partial C(W,EC_{iw})}{\partial EC_{iw}}=0$$

با استفاده از نرم‌افزار Maple، با حل معادله‌های (۹a) و (۹b) مقدار W_L و EC_{iwL} تعیین می‌گردد.

در حالت محدودیت آب

اگر آب عامل محدودکننده باشد، در این حالت سطح زیر کشت تابعی از مقدار آب آبیاری می‌باشد. در معادله (۳) سطح زیر کشت تابعی از W است. بنابراین در این حالت حداکثر سود با قرار دادن معادله‌های (۲) و (۷) در معادله (۶a) و (۶b) و صفر در نظر گرفتن مشتق سطح زیر کشت نسبت به شوری آب آبیاری، به صورت زیر به دست می‌آید:

(۱۰a)

$$\frac{W_T}{W}\left[P_C(W,EC_{iw})\frac{\partial Y(W,EC_{iw})}{\partial W}+Y(W,EC_{iw})\frac{\partial P_C(W,EC_{iw})}{\partial W}-\frac{\partial C(W,EC_{iw})}{\partial W}\right]+$$

$$\left[P_C(W,EC_{iw})\times Y(W,EC_{iw})-C(W,EC_{iw})\right]\frac{-W_T}{W^2}=0$$

(۱۰b)

$$\frac{W_T}{W}\times\left[P_C(W,EC_{iw})\frac{\partial Y(W,EC_{iw})}{\partial EC_{iw}}+Y(W,EC_{iw})\frac{\partial P_C(W,EC_{iw})}{\partial EC_{iw}}-\frac{\partial C(W,EC_{iw})}{\partial EC_{iw}}\right]=0$$

پس از ساده سازی، معادله‌های زیر حاصل گردید:

(۱۱a)

$$W\left[P_C(W,EC_{iw})\frac{\partial Y(W,EC_{iw})}{\partial W}+Y(W,EC_{iw})\frac{\partial P_C(W,EC_{iw})}{\partial W}-\frac{\partial C(W,EC_{iw})}{\partial W}\right]=$$

$$P_C(W,EC_{iw})\times Y(W,EC_{iw})-C(W,EC_{iw})$$

(۱۱b)

$$\left[P_C(W,EC_{iw})\frac{\partial Y(W,EC_{iw})}{\partial EC_{iw}}+Y(W,EC_{iw})\frac{\partial P_C(W,EC_{iw})}{\partial EC_{iw}}-\frac{\partial C(W,EC_{iw})}{\partial EC_{iw}}\right]=0$$

در این مطالعه تابع محصول، تابع هزینه و تابع قیمت محصول تابعی از EC_{iw} می‌باشد. مقدار آب آبیاری به دست آمده نیز تابعی از EC_{iw} می‌باشد. بنابراین در شرایط محدودیت آب نیز با استفاده از نرم‌افزار Maple و حل معادله (۱۱a) و (۱۱b) مقدار آب آبیاری (W_W) و شوری (EC_{iwW}) آن که به ازای آن‌ها سود حداکثر می‌شود، حاصل گردید.

نتایج وبحث

توابع محصول، عیار قند و هزینه

برای به دست آوردن تابع محصول چغندرقند و تابع عیار قند، داده‌های میزان محصول و عیار قند در مقادیر مختلف آب آبیاری و شوری آب آبیاری، رسم گردید و در ادامه تابع مناسب برازش داده شد. جدول ۱ توابع محصول و عیار قند چغندرقند در مقادیر مختلف آب و شوری آب آبیاری و شاخص‌های آماری آن‌ها را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در جدول ۱ مشاهده می‌شود و توسط محققین دیگر هم بیان شده عملکرد ریشه چغندرقند با عمق آب آبیاری رابطه غیرخطی و با شوری رابطه خطی دارد (Tarkalson et al., 2018).

برای به دست آوردن تابع هزینه، دو حالت در نظر گرفته شد. حالت اول زمانی که شوری آب آبیاری کمتر از حد آستانه شوری ($EC_{iw} \le EC_{iwth}$) باشد و حالت دوم زمانی که شوری آب آبیاری بیش از حد آستانه شوری ($EC_{iw} > EC_{iwth}$) باشد.

جدول ۱- توابع محصول (مگاگرم بر هکتار) و عیار قند چغندرقند (درصد) در مقادیر مختلف آب و شوری آب آبیاری

تابع	n	p-value	SE	R^2
$Y(W, EC_{iw}) = -0.367EC_{iw} + 48.399W - 12.964W^2$	۶	<۰/۰۰۱	۰/۷۶۹	۰/۹۹۹
$Pol(W, EC_{iw}) = 20.915W - 5.698W^2 - 0.049W^2 \times EC_{iw}$	۶	<۰/۰۰۱	۰/۲۹۳	۰/۹۹۸

$Y(W, EC_{iw})$ میزان محصول برحسب مگاگرم بر هکتار

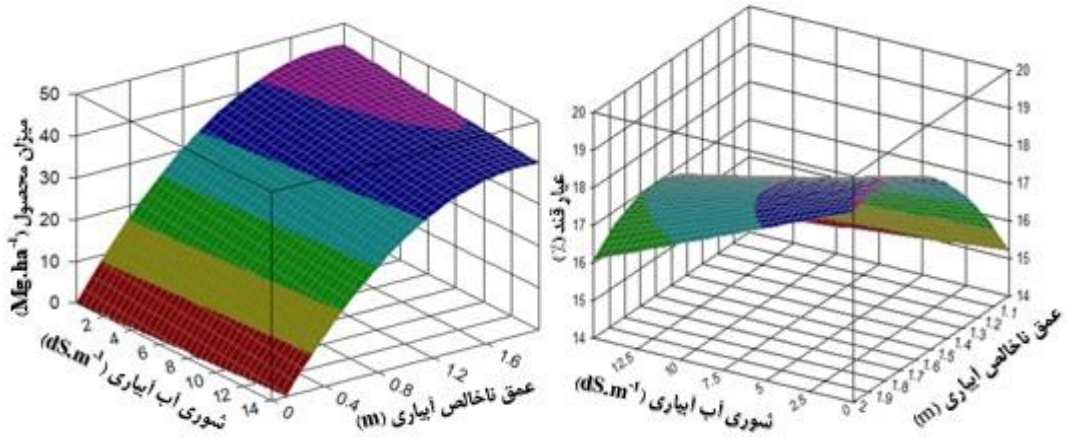
W مقدار آب آبیاری ناخالص برحسب متر

EC_{iw} شوری آب آبیاری برحسب دسی‌زیمنس بر متر

معادله‌های جدول ۱ به صورت سه بعدی در شکل ۱ نشان داده شده است.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱- تابع عیار قند (راست) و تابع محصول چغندرقند (چپ) به عنوان تابعی از مقدار آب ناخالص (W) و شوری آب آبیاری (EC_{iw})

آستانه تحمل شوری چغندرقند ۷ دسی‌زیمنس بر متر می باشد و به ازای یک واحد افزایش شوری ۵/۹ درصد محصول کاهش می‌یابد و حد آستانه شوری آب آبیاری برای چغندرقند برابر ۴/۷ دسی‌زیمنس بر متر می‌باشد و در شوری‌های بیشتر از آن به ازای یک واحد افزایش شوری، ۱۰ درصد محصول کاهش می‌یابد (جهاداکبر و همکاران، ۱۳۹۰). به دلیل عدم وجود داده‌های قیمت آب شور فرض گردید که کاهش قیمت واحد آب آبیاری به ازای افزایش شوری، مشابه رابطه کاهش محصول به ازای افزایش شوری آب آبیاری می‌باشد. به عبارت بهتر فرض گردید نسبت کاهش قیمت آب آبیاری به ازای یک واحد افزایش شوری برابر نسبت کاهش محصول به ازای یک واحد افزایش شوری می‌باشد. بنابراین تابع هزینه به صورت زیر تعیین شد:

$$C(W, EC_{iw}) = C_0 + W\left[P_{W0}(1- b(EC_{iw} - EC_{iwth})\right] \quad (۱۲)$$

که در آن، C_0 هزینه ثابت شامل مجموع هزینه‌های اجاره زمین، آماده‌سازی زمین برای کاشت و غیره برحسب ریال بر هکتار، P_{W0} قیمت هر متر مکعب آب آبیاری غیر شور برحسب ریال بر مترمکعب، b درصد کاهش محصول به ازای یک واحد افزایش شوری که در این مطالعه، درصد کاهش قیمت آب به ازای هر واحد افزایش شوری می‌باشد و EC_{iwth} حد آستانه شوری آب آبیاری برحسب دسی‌زیمنس بر متر می‌باشد که بیشتر از آن میزان محصول کاهش می‌یابد.

بنابراین تابع هزینه با استفاده از معادله (۱۲) برای دو حالت، به صورت زیر تعیین گردید:

$$EC_{iw} \leq ۴/۷ \quad (۱۳)$$

$$C(W, EC_{iw}) = 8852439 + 2.8\times10^{6}W$$

$$EC_{iw} > ۴/۷ \quad (۱۴)$$

$$C(W,EC_{iw}) = 8852439 + (4116000 - 2.8\times10^{5}EC_{iw})W$$

تابع قیمت محصول نیز با استفاده از معادله (۵) و تابع عیار قند به صورت زیر تعیین شد:

$$P_C(W,EC_{iw}) = 796375.4W - 216962.2W^2 - 1865.8W^2EC_{iw} - 114230.7 \quad (۱۵)$$

تحلیل کم آبیاری

در شرایط حداکثر محصول

نتایج حاصل از کاربرد تحلیل کم آبیاری مطابق معادله‌های تشریح شده در مطالب قبل، در جدول ۲ خلاصه شده است. با استفاده از معادله‌های (۴a) و (۴b) عمق آب آبیاری کامل (W_m) که منجر به حداکثر محصول می‌شود برابر ۱/۸۷ متر به دست آمد. بیشترین محصول در حالت آبیاری کامل (W_m) به ازای شوری صفر دسی‌زیمنس بر متر آب آبیاری و کمترین محصول در حالت محدودیت آب به ازای شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر آب آبیاری به دست آمد. نتایج نشان می‌دهد که افزایش شوری آب آبیاری باعث کاهش محصول و عیار قند چغندرقند، نسبت به آب غیر شور گردید.

در شرایط محدودیت زمین

زمانی که زمین قابل کشت محدود است بهترین استراتژی، استفاده از میزان آبی است که منجر به حداکثر درآمد خالص در واحد سطح می‌شود. در شرایط محدودیت زمین با آب ذخیره شده در مقایسه با W_m نمی‌توان سطح زیر کشت را افزایش داد.

با استفاده از معادله (۹a) و (۹b) عمق بهینه آب آبیاری در شرایط محدودیت زمین (W_L) برای $EC_{iw} \leq ۴/۷$ و $EC_{iw} > ۴/۷$ محاسبه گردید. که این مقدار به ازای شوری صفر دسی‌زیمنس بر متر، برابر ۱/۷۷ و به ازای شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر برابر ۱/۷۳ متر به دست آمد. در صورت انتخاب عمق آب آبیاری در شرایط محدودیت زمین، به ازای شوری صفر دسی‌زیمنس بر متر، آب آبیاری ۵/۳ درصد نسبت به آبیاری کامل کاهش و درآمد کل ۱/۳ درصد افزایش یافت. با توجه به اینکه حداکثر سود خالص در واحد سطح به ازای عمق آب

www.SID.ir

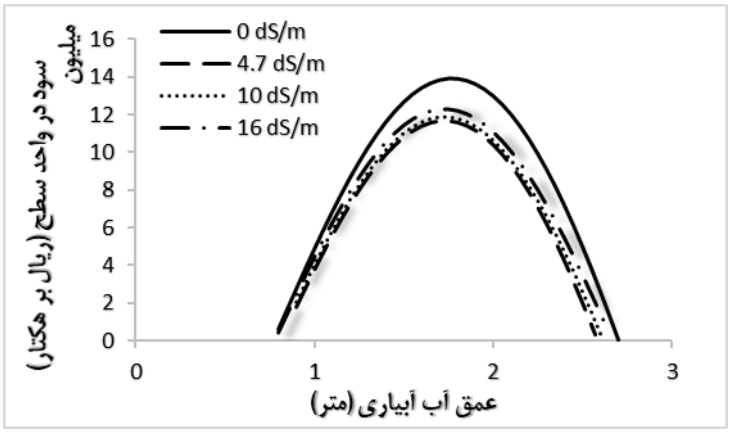
Archive of SID

آبیاری در شرایط محدودیت زمین و به ازای شوری صفر دسی‌زیمنس بر متر حاصل شد، بنابراین در شرایط ثابت بودن سطح زیر کشت انتخاب این عمق آب آبیاری اقتصادی می‌باشد و منجر به بیشترین سود می‌گردد. این در حالی است که بیشترین میزان درآمد خالص به ازای واحد آب آبیاری با انتخاب این عمق حاصل نشد.

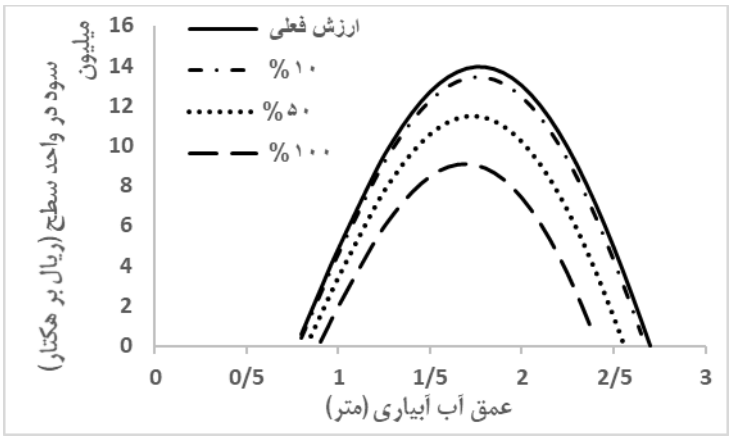
شکل‌های ۲، ۳ و ۴ تغییرات سود را در واحد سطح چغندرقند نسبت به آب آبیاری (W) در مقادیر مختلف شوری آب آبیاری، افزایش قیمت آب و قیمت محصول در شرایط محدودیت زمین نشان می‌دهد. همانطور که در این شکل ها مشاهده می‌شود در تمام شرایط با افزایش کاربرد آب آبیاری، ابتدا سود افزایش و سپس کاهش یافته است. شکل ۲ نشان می‌دهد که با افزایش شوری آب آبیاری تا حد آستانه شوری ($EC_{iw}\leq$۴/۷)، در شرایط محدودیت زمین سود در واحد سطح کشت به دلیل کاهش محصول، کاهش می‌یابد. این در حالی است که در شوری بالاتر از شوری حد آستانه ($EC_{iw}>$۴/۷) به دلیل کاهش قیمت آب، افزایش شوری منجر به افزایش سود در واحد سطح می‌شود. شکل ۳ نشان می‌دهد که با افزایش قیمت آب، سود در واحد سطح کاهش می‌یابد در حالی که شکل ۴ نشان می‌دهد که با افزایش قیمت محصول، سود در واحد سطح افزایش میابد.

در شرایط محدودیت آب

در صورت محدودیت آب بهترین استراتژی، استفاده از میزان آبی است که منجر به حداکثر درآمد خالص در واحد آب آبیاری می‌شود. در این حالت آب ذخیره شده در مقایسه با W_m می‌تواند برای افزایش سطح زیر کشت مورد استفاده قرار گیرد.



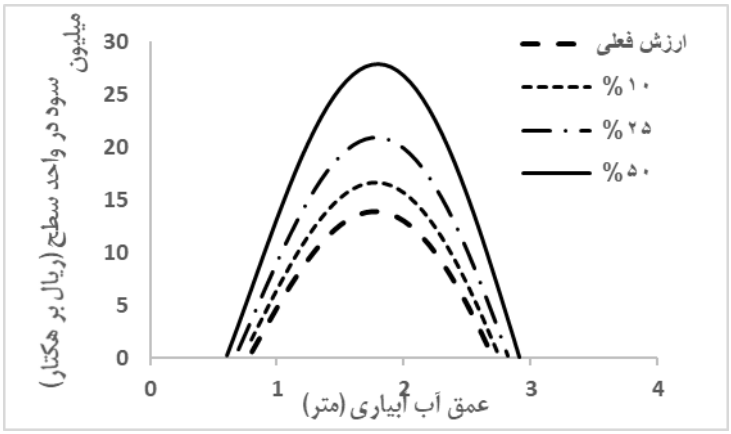
شکل ۲- تغییرات سود در واحد سطح چغندرقند نسبت به آب آبیاری (W) در مقادیر مختلف شوری آب آبیاری در شرایط محدودیت زمین



شکل ۳- تغییرات سود در واحد سطح چغندرقند نسبت به آب آبیاری (W) در مقادیر مختلف افزایش قیمت آب در شرایط محدودیت زمین

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ٤- تغییرات سود در واحد سطح چغندرقند نسبت به آب آبیاری (W) در مقادیر مختلف افزایش قیمت محصول در شرایط محدودیت زمین

در حالت محدودیت زمین پس از جایگذاری پارامترها در معادله‌های (9a) و (9b) و حل آن، به یک جواب مشخص منتهی می‌گردد ولی در حالت محدودیت آب پس از جایگذاری پارامترها در معادله‌های (11a) و (11b)، جواب دستگاه به معادله (۱۶) ختم گردید که در این معادله مقدار بهینه آب آبیاری وابسته به شوری آب آبیاری می‌باشد. بنابراین به ازای مقدارهای مختلف شوری آب آبیاری عمق بهینه آب آبیاری متفاوتی حاصل می‌گردد. با استفاده از معادله (۱۶) عمق بهینه آب آبیاری در شرایط محدودیت آب (W_w) برای EC_{iw}≤۴/۷ و EC_{iw}>۴/۷ محاسبه گردید. که این مقدار به ازای شوری صفر دسی‌زیمنس بر متر، ۱/۵۲ و به ازای شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر ۱/۵۰ متر به دست آمد. نتایج نشان می‌دهد که استفاده از عمق آب آبیاری بهینه در شرایط محدودیت آب و به ازای شوری صفر دسی‌زیمنس بر متر منجر به افزایش ۱۸/۷ درصد صرفه جویی مقدار آب آبیاری در واحد سطح گردید. با استفاده از این مقدار آب، سطح زیر کشت ۲۰ درصد افزایش یافت که موجب به افزایش ۱۴/۹ درصد درآمد کل، از کل سطح زیر کشت نسبت به آبیاری کامل شد. در حالت محدودیت آب به ازای شوری صفر دسی‌زیمنس بر متر با احتساب افزایش سطح زیر کشت بیشترین درآمد کل به دست آمد. بیشترین میزان صرفه جویی در آب آبیاری برای حالت محدودیت آب به ازای شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر، ۱۹/۸ درصد بود که به ازای آن محصول ۱۲ درصد کاهش و سطح زیر کشت به میزان۲۰ درصد افزایش یافت. در شرایط محدودیت آب نیز مقدار بهینه آب آبیاری برای چغندرقند وابسته به شوری آب آبیاری بود. بنابراین برای مقدارهای مختلف شوری آب آبیاری مقدار بهینه آب آبیاری می‌تواند تعیین شود.

(۱۶)

$$EC_{iw}=-\frac{1}{W^2}\times(7.302\times10^{-8}\times(7.256\times10^{8}W^{4}-1.806\times10^{9}W^{3}+7.962\times10^{8}W^{2}+(5.266\times10^{17}W^{8}-2.621\times10^{18}W^{7}+2.106\times10^{18}W^{6}+8.532\times10^{18}W^{5}-1.094\times10^{19}W^{4}+1.51\times10^{18}W^{3}-3.092\times10^{18}W^{2}+1.758\times10^{17})^{0.5}-4.192\times10^{8}))$$

شکل‌های ۵، ۶ و ۷ تغییرات سود را در واحد آب چغندرقند نسبت به آب آبیاری (W) در مقادیر مختلف شوری آب آبیاری، افزایش قیمت آب و قیمت محصول در شرایط محدودیت آب نشان می‌دهد. شکل ۵ همانند شکل ۲ نشان می‌دهدکه با افزایش شوری آب آبیاری تا حد آستانه شوری (EC_{iw}≤۴/۷)، سود در واحد آب در شرایط محدودیت آب به دلیل کاهش محصول، کاهش می‌یابد. این در حالی است که در شوری بالاتر از شوری حد آستانه (EC_{iw}>۴/۷) به دلیل کاهش قیمت آب، افزایش شوری منجر به افزایش سود در واحد آب می‌شود. شکل‌های ۶ و ۷ نیز نشان می‌دهد که با افزایش قیمت آب و قیمت محصول، سود در واحد آب به ترتیب کاهش و افزایش می‌یابد. با توجه به نتایج می‌توان بیان داشت که حساسیت سود در واحد سطح و آب به قیمت محصول نسبت به قیمت آب بیشتر بود.

شکل‌های ۸، ۹ و ۱۰ تغییرات درآمد کل را با احتساب افزایش سطح زیر کشت در شرایط محدودیت آب نسبت به عمق آب آبیاری در مقادیر مختلف شوری آب آبیاری، افزایش قیمت آب و قیمت محصول نشان می‌دهد. تغییرات سود کل نیز همانند تغییرات سود در واحد سطح و در واحد آب آبیاری می‌باشد. یعنی با افزایش شوری آب آبیاری تا ۴/۷ دسی‌زیمنس بر متر سود کل کاهش و با افزایش قیمت آب و قیمت محصول نیز به ترتیب کاهش و افزایش می‌یابد.

www.SID.ir

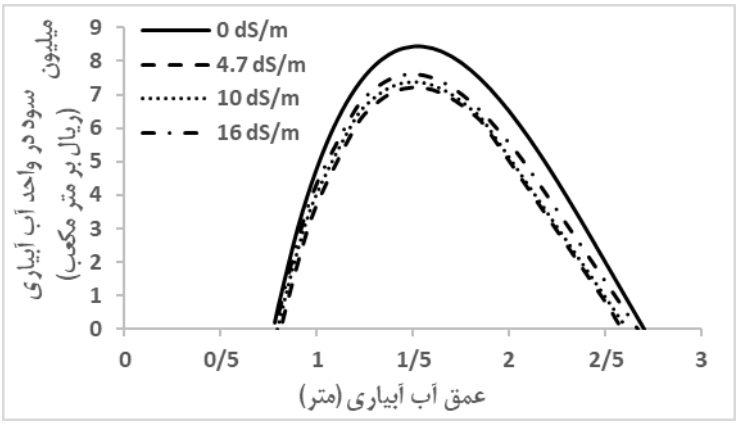
Archive of SID

جدول ۲- شاخص‌های اقتصادی مرتبط با عمق‌های مختلف آب آبیاری چغندرقند

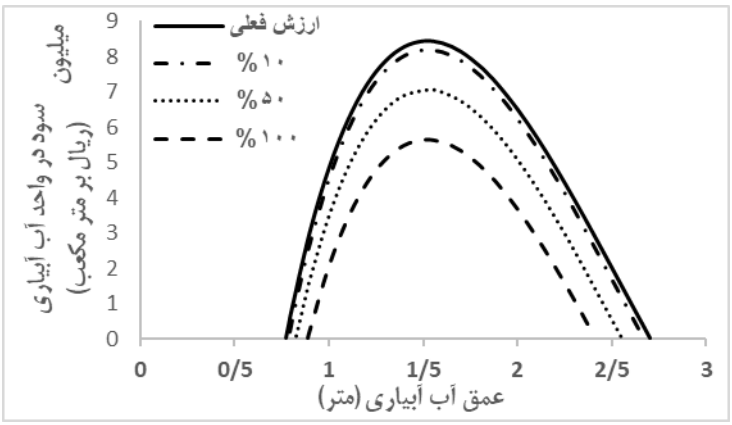
شوری آب آبیاری (دسی‌زیمنس بر متر)	پارامتر	عمق آب (متر)	محصول (میلیگرم بر هکتار)	عیار قند (درصد)	نسبت درآمد ناخالص به هزینه تولید	میزان کاهش آب آبیاری (درصد)	سود خالص در واحد سطح (ریال بر هکتار)	سود خالص در واحد آب آبیاری (ریال بر متر مکعب)	افزایش سطح زیر کشت (هکتار)	درآمد کل با احتساب افزایش سطح زیر کشت (ریال)	افزایش درآمد کل (درصد)
EC_{iw}=0	W_m	۱/۸۷	۴۵/۲	۱۹/۲	۱/۹۸	-	۱۳۷۵۱۳۴۲	۷۳۵۳۶۵۹	-	۱۳۷۵۱۳۴۲	-
	W_L	۱/۷۷	۴۵/۱	۱۹/۲	۲/۰۱	۵/۳	۱۳۹۲۶۸۷۱	۷۸۶۸۲۸۹	-	۱۳۹۲۶۸۷۱	۱/۳
	W_w	۱/۵۲	۴۳/۶	۱۸/۶	۱/۹۸	۱۸/۷	۱۲۸۴۱۹۴۳	۸۴۴۸۶۴۷	۰/۲	۱۵۷۹۸۹۷۰	۱۴/۹
EC_{iw}=10	W_L	۱/۷۳	۴۱/۳	۱۷/۷	۲/۰۷	۷/۵	۱۱۹۰۷۱۸۴	۶۸۸۲۷۶۶	-	۱۱۹۰۷۱۸۴	-
	W_w	۱/۵۰	۳۹/۸	۱۷/۴	۲/۰۲	۱۹/۸	۱۱۰۴۸۸۹۸	۷۳۶۵۹۳۲	۰/۲	۱۳۷۷۴۲۹۳	۰/۱۷

www.SID.ir

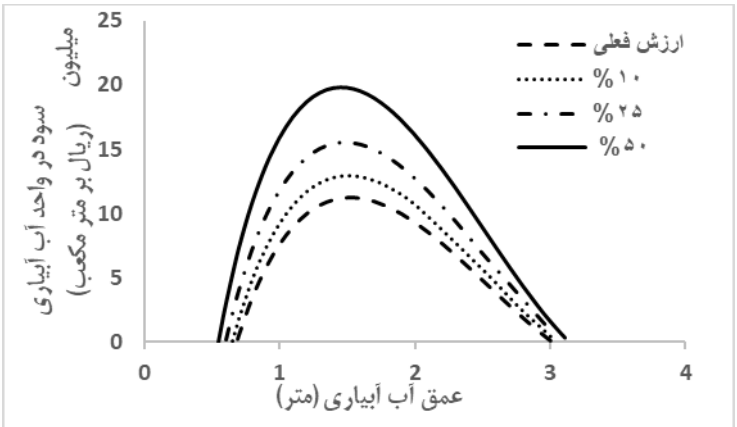
Archive of SID



شکل ۵- تغییرات سود در واحد آب چغندرقند نسبت به آب آبیاری (W) در مقادیر مختلف شوری آب آبیاری در شرایط محدودیت آب



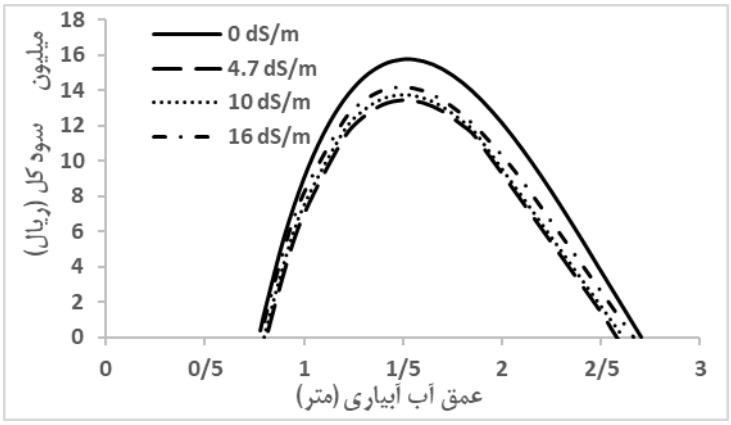
شکل ٦- تغییرات سود در واحد آب چغندرقند نسبت به آب آبیاری (W) در مقادیر مختلف افزایش قیمت آب در شرایط محدودیت آب



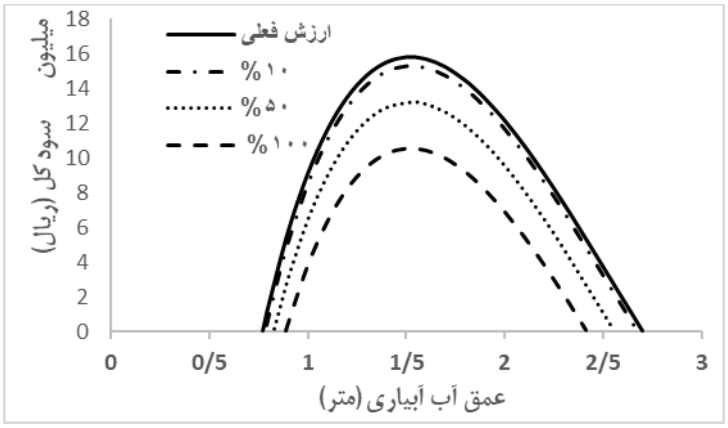
شکل۷- تغییرات سود در واحد آب چغندرقند نسبت به آب آبیاری (W) در مقادیر مختلف افزایش قیمت محصول در شرایط محدودیت آب

www.SID.ir

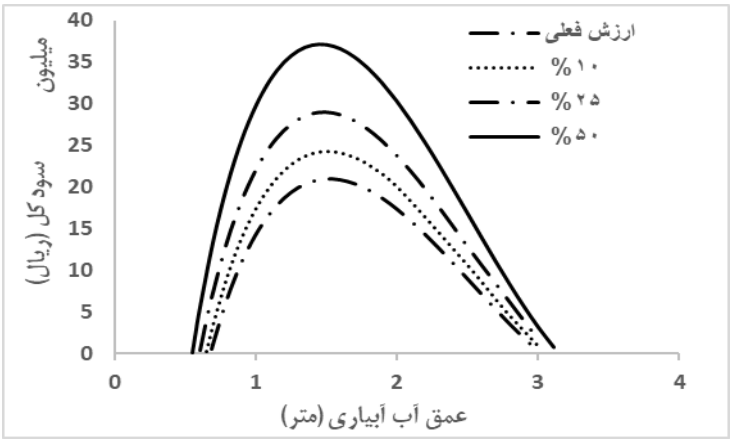
Archive of SID



شکل ۸- تغییرات کل درآمد چغندرقند نسب به آب آبیاری (W) در مقادیر مختلف شوری آب آبیاری در شرایط محدودیت آب



شکل ۹- تغییرات کل درآمد چغندرقند نسبت به آب آبیاری (W) در مقادیر مختلف افزایش قیمت آب در شرایط محدودیت آب



شکل ۱۰- تغییرات کل درآمد چغندرقند نسبت به آب آبیاری (W) در مقادیر مختلف افزایش قیمت محصول در شرایط محدودیت آب

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، معادله‌های مورد نیاز برای تعیین عمق بهینه آب آبیاری چغندرقند زمانی که قیمت محصول متغیر و تابع کیفیت آن می‌باشد، به دست آمد. نتایج نشان داد که استفاده از عمق بهینه آب آبیاری به ازای شوری صفر دسی‌زیمنس بر متر در شرایط محدودیت زمین و محدودیت آب به ترتیب منجر به افزایش ۱/۳ و ۱۴/۹ درصد درآمد کل نسبت به آبیاری کامل شد. بیشترین درآمد کل نیز در شرایط محدودیت آب با احتساب ۲۰ درصد افزایش سطح زیر کشت حاصل شد. به طور کلی نتایج نشان داد که با افزایش شوری آب

www.SID.ir

Archive of SID

آبیاری تا ۴/۷ دسی‌زیمنس بر متر، سود در واحد سطح و در واحد آب آبیاری کاهش می‌یابد و با افزایش قیمت آب و قیمت محصول نیز سود در واحد سطح و واحد آب آبیاری به ترتیب کاهش و افزایش می‌یابد. لازم بذکر است که با توجه به تجربی بودن توابع محصول و عیار قند چغندرقند، با تغییر نوع گیاه (نیشکر)، اقلیم و موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه، این معادلات هم می‌بایست اصلاح گردند.

منابع

اکبری، م. ۱۳۷۷. تأثیر کم آبیاری بر عملکرد چغندرقند. مجموعه مقالات نهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. ۱۸۹-۱۷۷.

توکلی، ع. ر. ۱۳۷۵. بررسی اثرات کم آبیاری روی چغندرقند و تعیین تابع تولید. پایان‌نامه کارشناسی ارشد گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران.

توکلی، ع. ر. و فرداد، ح. ۱۳۷۸. ارزیابی اقتصادی کم آبیاری روی محصول چغندرقند جهت بهینه‌سازی مصرف آب. مجله علوم کشاورزی ایران. ۳۰ .۳: ۵۸۴-۵۷۵.

توکلی، ع. ر. ۱۳۸۵. مدیریت کم آبیاری و بهینه‌سازی مصرف نیتروژن در گندم الموت. مجله دانش کشاورزی. ۱۶ .۲: ۱۱۵-۱۲۸.

جهاداکبر، م.، ابراهیمیان، ر. ح.، واحدی، س. ۱۳۹۰. واکنش چغندرقند به شوری آب آبیاری در مراحل مختلف رشد. مجله چغندرقند. ۲۷ .۱: ۶۶-۵۳.

جلیلیان، ع.، شیروانی، ع. ر.، نعمتی، ع.، بساطی، ج. ۱۳۸۰. بررسی اثرات کم آبیاری بر تولید و اقتصاد چغندرقند در منطقه کرمانشاه. مجله چغندرقند. ۱۷ .۱: ۱۴-۱.

چوبین، ب. و ملکیان، آ. ۱۳۹۲. رابطه بین تغییر سطح آب زیرزمینی و روند شور شدن آن. مجله مدیریت بیابان. ۱: ۱۳-۲۶.

حیدری نیا، م.، ناصری، ع . ع.، برومندنسب، س.، الباجی، م. ۱۳۹۶. تأثیر آبیاری با آب شور بر تبخیر و تعرق و کارایی مصرف آب ذرت در مدیریت‌های مختلف زراعی. مجله علوم و مهندسی آبیاری. ۴۰ .۱/۱: ۱۱۰-۹۰.

خرمیان، م. و حسین‌پور، م. ۱۳۹۵. بهینه‌سازی آب آبیاری کشت پاییزه چغندرقند بر اساس توابع تولید و هزینه در شمال استان خوزستان. نشریه علوم مهندسی آبیاری، ۳۹(۳): ۱۰۶-۹۵.

سپاسخواه، ع. ر.، توکلی، ع. ر و موسوی، ف. ۱۳۸۵. اصول و کاربرد کم آبیاری. انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، تهران.

عزیزیان، ا. و سپاسخواه ع. ر. ۱۳۹۲. کاربرد تحلیل کم آبیاری در شرایط آب شور برای بهینه‌سازی آب مصرفی گندم و ذرت شیرین. چهارمین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز.

قهرمان، ب. و سپاسخواه ع. ر. ۱۳۷۵. حداکثر عملکرد نسبی محصولات زراعی، چشم‌اندازی جدید در کم آبیاری. مجله آب و توسعه. ۱۴: ۳۳-۲۵.

English, M. 1990. Deficit irrigation. I: Analitical framework. Journal. Irrigation. Drain. Engineer. ASCE 116: 399- 412.

Feizi, M., J., Fallahzade and P. Noorshargh. 2017. Sugar beet yield response to different levels of saline irrigation water and leaching in arid region. Journal of Plant Nutrition. 101: 1533-4087.

Haghverdi, A., C.D., Yonts., D.L., Reichert., and S. Irmak. 2017. Impact of irrigation, surface residue cover and plant population irrigation water use efficiency and soil water dynamics. Agricultural. Water. Management. 180:1-12.

Kiymaz, S. and A. Ertek. 2015. Water use and yield of sugar beet (Beta vulgris L.) under drip irrigation at different water regimes. Agriculture. Water. Management. 158: 225-234.

Shabani, A., A.R., Sepaskhah., and M. Khorramian. 2018. Mathematical‐economic analysis to determine optimal applied water in case of crop price depends on its quality. International Journal of Plant Production. 12:191-202.

Tarkalson, D. D. and B.A. King. 2017. Effect of deficit irrigation timing on sugarbeet. Agronomy Journal, 5(109): 2119-2127.

Tarkalson, D.D., B.A., King., and D.L. Bjorneberg. 2018. Yield production functions of irrigated sugar beet in an arid climate. Agriculture. Water. Management. 200:1-9.

Zand-Parsa, Sh. and A.R. Sepaskhah. 2001. Optimal applied water and nitrogen for corn. Agriculture. Water. Management. 52:73- 85.

www.SID.ir

Archive of SID

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 6, Vol. 13, Feb.-Mar. 2020, p. 1762-1773

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۶، جلد ۱۳، بهمن - اسفند ۱۳۹۸، ص. ۱۷۷۳-۱۷۶۲

Optimizing Water Consumption of Sugar Beet in Conditions of the Irrigation Water Salinity and Dependency of the yield Price to Quality

GH. Shamshiri[1*], A. Shabani[2], A. R. Sepasian[3], A. Azizian[4] and A. R. Sepaskhah[5]

Recived: May.14, 2019 Accepted: Jul.10, 2019

Abstract

Scarcity of irrigation water and reduction of its quality are the most important reasons in reducing the growth and yield of agricultural products in arid and semi-arid regions. Optimization of the water use and proper management of saline water is a way to increase water use efficiency. In this research, sugar beet production function was obtained based on the amount and salinity of irrigation water. Then, the needed equations for determining the optimum irrigation water depth when the price of sugar beet is variable and dependant on its quality (sugar content rate) is determined. For salinity of 0 ds/m and based on current prices of water and crop, optimum amounts of water were 1.87, 1.77 and 1.52 m to obtain the maximum yield and maximum profit under limited land and limited water conditions, respectively. The amount of water saving under water limiting conditions were 18.7 %, respectively, and the cultivation area increased by 20%, respectively.

Keywords: Deficit irrigation analysis, land limiting, saline water, water limiting

1- Master of Irrigation and Drainage, Fasa University
2- Assistant Professor, Department of Water Science and Engineering, Fasa University
3- Assistant Professor, Department of Math, Fasa University
4- Assistant Professor, Department of Water Science and Engineering, Ardakan University
5- Professor of Irrigation Department, Faculty of Agriculture, Shiraz University
(*-Corresponding Author Email: ghazalehshamshiri@gmail.com)

www.SID.ir