2022, Vol.8, No.4, Pages 43 to 50
Journal of Water and Sustainable Development

سال هشتم، شماره ٤، ١٤٠٠، صفحات ٤٣ تا ٥٠
نشریه آب و توسعه پایدار

Article Type: Applied Article

نوع مقاله: پژوهش کاربردی

Interaction of Applied Water Volume and Irrigation Water Salinity on Wheat Yield in Arid Regions (Case study: Yazd)

M. H. Rahimian[1*], H. Gholami[2], Gh. H. Ranjbar[1], H. Beyrami[1], B. Moravvej ol Ahkami[3], M. Karimi[1], S.A.M. Cheraghi[4]

1- Assistance Professor, Faculty Member of National Salinity Research Center (NSRC), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran. 2- Ph.D. student of Irrigation and Drainage Engineering, Isfahan University of technology, Isfahan, Iran. 3- Assistance Professor, Faculty Member, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran. 4- Assistance Professor, Faculty Member, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran.

*(Corresponding Author Email: mhrahimian@gmail.com)

Received: 07-06-2021 Revised: 14-07-2021
Accepted: 17-07-2021 Available Online: 06-12-2021

برهمکنش حجم آب مصرفی و شوری آب آبیاری بر عملکرد گندم در مناطق خشک (مطالعه موردی: یزد)

محمدحسن رحیمیان[1*]، حسن غلامی[2]، غلامحسن رنجبر[1]، حسین بیرامی[1]، بی‌تا مروج الاحکامی[3]، مهدی کریمی[1]، سیدعلی محمد چراغی[4]

۱- استادیار، عضو هیئت علمی مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران. ۲- دانشجوی دکتری رشته علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران. ۳- استادیار، عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران. ٤- استادیار، عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران.

*(نویسنده مسئول، E-Mail: mhrahimian@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۱٤۰۰/۰۳/۱۷ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰٤/۲۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰٤/۲٦ تاریخ انتشار: ۱۴۰۰/۱۲/۲۸

Abstract

Farmers, who are faced with the problem of irrigation water salinity, sometimes ask questions about the yield forecast under the effect of irrigation water salinity (ECiw) and the volume of applied water (Viw). The answer to this question requires knowledge of the crop production function. The aim of this study was to investigate the interaction between ECiw and Viw on wheat grain yield (Narin cultivar) in the Yazd region. For this purpose, the response of wheat yield under the effects of irrigation water salinity (including 3, 5, and 8 dS.m-1) and volume of applied water (from 4500 to 11600 m3.ha-1) was analyzed during 2017-2018, 2018-2019, and 2019-2020 cropping seasons. The results showed that the effectiveness of applied water on wheat yield has increased in saline conditions than in non-saline conditions. Therefore, wheat growers in saline areas should be confident about the adequacy of available water to meet the field water requirements (both ET and leaching requirements) and also follow the irrigation scheduling more carefully and obsessively compared to none-saline conditions. In this case study, a wheat yield function was presented and evaluated, as well. This function works based on the salinity and the volume of irrigation water (ECiw and Viw). With a coefficient of determination (R2) of 0.67, this function is expected to estimate the wheat yield with an approximate error of ±524 kg.ha-1. This equation can be used to estimate the production decline due to increasing salinity of irrigation water or decreasing the volume of applied water, to predict the yield before the harvest time as well as to meet the field water required to produce a certain amount of grains in the studied region.

Keywords: Yield Function, Irrigated Wheat, Salinity, Yazd.

چکیده

کشاورزانی که با مساله شوری روبه‌رو هستند، گاهی سوالاتی در خصوص پیش‌بینی عملکرد، تحت تأثیر شوری آب آبیاری (EC_{iw}) و حجم آب مصرفی (V_{iw}) مطرح می‌نمایند که پاسخ به آن‌ها، مستلزم اطلاع از تابع تولید گیاه می‌باشد. این پژوهش با هدف بررسی برهمکنش شوری آب آبیاری و حجم آب مصرفی برعملکرد گندم (رقم نارین) طی سه سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶، ۹۸-۱۳۹۷ و ۹۹-۱۳۹۸ در یزد انجام شد تا تأثیر مقادیر مختلف حجم آب (بین ۴۵۰۰ تا ۱۱۶۰۰ مترمکعب بر هکتار) بر عملکرد گندم در سه سطح شوری (۳، ۵ و ۸ دسی زیمنس بر متر) مورد تجزیه و تحلیل رگرسیون قرار بگیرد. در ادامه، معادله‌ای برای تخمین عملکرد براساس شوری و حجم آب مصرفی ارائه و ارزیابی شد. نتایج حاصله بیانگر افزایش تأثیرپذیری افت عملکرد گندم از حجم آب آبیاری در شرایط شور نسبت به شرایط غیرشور بود؛ به‌طوری‌که کشاورزان مناطق شور باید در مورد کفایت حقابه در اختیار خود برای تأمین نیاز آبی مزرعه (اعم از نیاز گیاه و نیاز آبشوئی) اطمینان داشته و برنامه‌ریزی‌های آبیاری را با دقت بیشتری نسبت به شرایط غیرشور انجام دهند. در خصوص معادله تخمین عملکرد براساس EC_{iw} و V_{iw}، ضریب تبیین (R^2) این معادله ۰/۶۷ بوده و انتظار می‌رود عملکرد گندم را با خطای تقریبی ±۵۲۴ کیلوگرم بر هکتار در منطقه مطالعاتی برآورد نماید. این معادله برای برآورد افت تولید گندم در اثر افزایش شوری و یا کمبود آب آبیاری، تخمین عملکرد مزرعه قبل از برداشت محصول و یا تامین نیاز آبی مزرعه برای تولید مقدار مشخصی محصول در منطقه مطالعاتی کاربرد دارد.

واژه‌های کلیدی: تابع تولید، گندم آبی، شوری، یزد.

How to cite this article: Rahimian M.H., Gholami H., Ranjbar Gh.H., Beyrami H., Moravvej ol Ahkami B., Karimi M., Cheraghi S.A.M. 2022. Interaction of Applied Water Volume and Irrigation Water Salinity on Wheat Yield in Arid Regions (Case study: Yazd). Journal of Water and Sustainable Development, 8(4): 43-50. doi: http://dx.doi.org/10.22067/jwsd.v8i4.2106.1053

مقدمه

گندم (Tritcum Aestivum L.) یکی از مهمترین محصولات زراعی جهان است که در سبد غذایی جوامع و تامین انرژی مورد نیاز انسان‌ها جایگاه ویژه‌ای دارد. براساس گزارش سازمان خوار و بار جهانی (FAO، ۲۰۱۸) تولید کل غلات جهان نزدیک به ۲/۵۸۷ میلیارد تن می‌باشد و نزدیک به ۷۲۲ میلیون تن آن به گندم اختصاص دارد. از دید اهمیت سطح زیر کشت، گندم در درجه اول جهانی در بین محصولات زراعی قرار دارد. باتوجه‌به نیاز زیاد جوامع به این محصول، تغییر میزان تولید آن بر تغییر قیمت گندم و اقتصاد بازارهای جهانی نیز اثرات عمده دارد (حبیب‌زاده و همکاران، ۱۳۹۹). به همین دلایل این گیاه همواره به‌عنوان یك گیاه استراتژیك و اساسی در کشورهای مختلف شناخته می‌شود. براساس آمار موجود کشورمان، از ۱۲ میلیون هکتار سطح کشت محصولات سالانه کشور در سال ۱۳۹۸-۱۳۹۷، نزدیک‌به ۸/۴۴ میلیون هکتار، معادل ۷۱/۲ درصد آن به غلات اختصاص داشته و محصول گندم با ۶۹/۵ درصد، عمده‌ترین غله کشور شناخته شده است (احمدی و همکاران، ۱۳۹۹). طی یك دوره ۱۵ ساله از ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۴، سالانه حدود ۶/۳ میلیون هکتار از اراضی کشاورزی کشورمان به کشت این محصول اختصاص داده شد و میانگین عملکرد گندم آبی در این سال‌ها، نزدیک‌به ۳۴۰۰ کیلوگرم بر هکتار بوده است (زاهد و همکاران، ۱۳۹۸). اگرچه کشت گندم در ایران سابقه طولانی داشته است، اما مناطق عمده گندمکاری کشور با مشکلات بی‌شماری از جمله مساله شوری منابع آب و خاك روبه‌رو هستند (چراغی، ۱۳۸۶). به‌طوری‌که علاوه‌بر محدودیت کمّی منابع آب و اعمال کم‌آبیاری اجباری مزارع، آب آبیاری مورد استفاده در این مناطق کیفیت پایینی دارد. به‌عنوان‌مثال، میانگین شوری آب چاه‌های کشاورزی در استان‌های واقع در فلات مرکزی کشور مانند سمنان، اصفهان، قم و یزد به‌ترتیب برابر با ۲/۷، ۳/۴، ۴/۰ و ۵/۲ دسی زیمنس بر متر گزارش شده است (رحیمیان و دهقانی، ۱۳۹۷). زیرا مساله تولید گندم در این مناطق، تحت تأثیر تنش‌های کم‌آبی و شوری به‌صورت باهم خواهد بود. Munns و James (۲۰۰۳) تاکید کرده‌اند مساله شوری در بسیاری از مناطق جهان مانند ایران به‌عنوان عامل محدود کننده عملکرد و کیفیت محصول به شمار می‌رود. براساس آخرین اطلاعات موجود در زمینه وسعت و وضعیت شوری خاك‌های کشاورزی، بالغ بر ۶/۸ میلیون هکتار از اراضی کشاورزی کشورمان خاك‌های مبتلا به درجات مختلف شوری دارند (مومنی، ۱۳۸۹). روشن است تولید گیاهان در چنین شرایطی در معرض کاهش جدی قرار داشته و توجه به پاسخ گیاهان نسبت به تنش‌های شوری و کم‌آبی، اهمیت دارد. ازاین‌رو میزان تولید این محصول استراتژیك در شرایط مختلف محیطی از دیدگاه شوری و خشکی، با نوساناتی همراه خواهد بود. مهمترین ابزار نظریه تولید -که بیانگر چگونگی ترکیب عوامل تولید برای دستیابی به مقادیر مختلف محصول به بهترین رویّه ممکن است- تابع تولید[1] می‌باشد که نشان‌دهنده نرخ تبدیل نهاده‌ها[2] به ستاده[3] می‌باشد (خزایی و هوشمند، ۱۳۹۳). نهاده‌های مهمی در تولید گندم نقش دارند که آب، مهمترین آن‌ها محسوب می‌شود (Shroyer و همکاران، ۱۹۹۷). به همین دلیل است که تابع تولید گندم اغلب براساس میزان تولید به‌ازای حجم آب مصرفی در مزرعه بیان می‌شود. تابع تولید گندم می‌تواند بر حسب رابطه آب-عملکرد بدون در نظر گرفتن شوری، رابطه شوری-عملکرد بدون در نظر گرفتن تنش خشکی و رابطه آب-عملکرد با در نظر گرفتن شوری باشد که مورد اخیر تحت عنوان تابع تولید آب-شوری شناخته می‌شود (ذوالفقاران و همکاران، ۱۳۹۶). درباره رابطه آب-عملکرد بدون تنش شوری، مطالعاتی مانند Doorenbos و Kassam (۱۹۷۹)، Doorenbos و Pruitt (۱۹۷۷)، Vaux و Pruitt (۱۹۸۳) و Feddes و همکاران (۱۹۸۰) انجام شده است. در این زمینه، اطلاعات ارزشمندی توسط کمیته ملی آبیاری و زهکشی در قالب کتاب اصول و کاربرد کم‌آبیاری (سپاسخواه و همکاران، ۱۳۸۵) ارائه شده است. در زمینه رابطه شوری-عملکرد بدون تنش خشکی مطالعاتی مانند Maas (۱۹۹۰ و ۱۹۸۶)، Maas و Hoffman (۱۹۷۷)، Van Genochten (۱۹۸۳) و Letey و Dinar (۱۹۸۶) انجام شده است. همچنین، در بررسی اثر تنش‌های خشکی و شوری بر روی عملکرد نیز می‌توان به مطالعات کیانی و همکاران (۱۳۸۲ و ۱۳۸۴)، ذوالفقاران و همکاران (۱۳۹۶)، Datta و همکاران (۱۹۹۸)، Datta و Dayal (۲۰۰۰) اشاره کرد. هدف این پژوهش، بررسی برهمکنش حجم آب مصرفی، شوری آب آبیاری و عملکرد گندم در منطقه یزد و ارائه معادله‌ای جهت برآورد عملکرد گندم به کمك این دو پارامتر است. این منطقه علاوه‌بر محدودیت شوری آب آبیاری، با مساله محدودیت کمّی منابع آب کشاورزی نیز مواجه می‌باشد و کشت گندم به‌صورت آبی انجام می‌شود. میانگین عملکرد گندم این استان در حدود ۳۳۰۰ کیلوگرم بر هکتار می‌باشد (رحیمیان و همکاران، ۱۳۹۶).

مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌صورت کرت‌های جدا از هم در قالب طرح بلوك‌های کاملاً تصادفی و طی سه سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶، ۹۸-۱۳۹۷ و ۹۹-۱۳۹۸ در مزرعه تحقیقات شوری صدوق واقع در استان یزد انجام شده است. خاك این مزرعه بافت سیلتی لوم دارد. منطقه مطالعاتی براساس روش دومارتن اصلاح شده اقلیم فرا خشک سرد دارد. میانگین بارندگی سالانه ۶۹ میلی‌متر،

میانگین پتانسیل تبخیر سالانه ۳۰۹۰ میلی‌متر، میانگین دمای سالانه ۲۰ درجه سانتی‌گراد و بیشینه و کمینه مطلق دمای سالانه به‌ترتیب ۴۴ و ۶/۵- درجه سانتی‌گراد گزارش شده است. جدول (۱) خصوصیات فیزیکی خاك محل اجرای این آزمایش را نشان می‌دهد.

در این پژوهش تأثیر مقادیر مختلف حجم آب داده شده به گندم (رقم نارین) بر شاخص عملکرد محصول در سه سطح شوری آب آبیاری (شامل مقادیر تقریبی ۳، ۵ و ۸ دسی زیمنس بر متر) تجزیه و تحلیل شد. نحوه انتخاب سطوح شوری، براساس حدود شوری آب آبیاری مورد استفاده در مزارع گندم استان یزد و همچنین، در نظر گرفتن حد آستانه تحمل به شوری گندم (حدود ۶ دسی زیمنس بر متر) بود. جدول (۲) ویژگی‌های شیمیایی آب آبیاری استفاده شده در مزرعه را نشان می‌دهد. سطوح شوری گفته شده از طریق اختلاط دو منبع آبی شور و غیرشور در اتاقك کنترل و تنظیم شوری مورد نظر توسط شوری‌سنج پرتابل و سپس پمپاژ آب به شبکه لوله‌گذاری مزرعه، وارد کرت‌های تحقیقاتی شده است. هر یك از سطوح شوری گفته شده از ابتدای فصل رشد گیاه و پس از کاشت بذر در کرت‌ها اعمال شد.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی خاك محل اجرای آزمایش

عمق خاك (سانتیمتر)	ویژگی‌های بافت خاك				چگالی ظاهری (گرم بر سانتیمتر مکعب)	رطوبت حجمی خاك تحت مکش‌های مختلف (بار) بر حسب اعشار				
	درصد شن	درصد سیلت	درصد رس	بافت		اشباع	۰/۳	۱	۵	۱۰	۱۵
۳۰-۰	۵۶/۴	۲۱/۸	۲۱/۸	SCL	۱/۳۹	۰/۵۶	۰/۴۳	۰/۱۶	۰/۱۳	۰/۱۰	۰/۰۸
۶۰-۳۰	۶۲/۴	۱۶/۸	۲۰/۸	SCL	۱/۳۷	۰/۶۱	۰/۴۵	۰/۱۴	۰/۰۹	۰/۰۷	۰/۰۵
۹۰-۶۰	۶۹/۴	۱۲/۸	۱۷/۸	SL	۱/۴۵	۰/۵۶	۰/۳۷	۰/۱۴	۰/۱۰	۰/۰۷	۰/۰۶
۱۲۰-۹۰	۳۳/۴	۴۵/۸	۲۰/۸	L	۱/۶۱	۰/۵۶	۰/۴۳	۰/۱۵	۰/۱۱	۰/۰۸	۰/۰۷

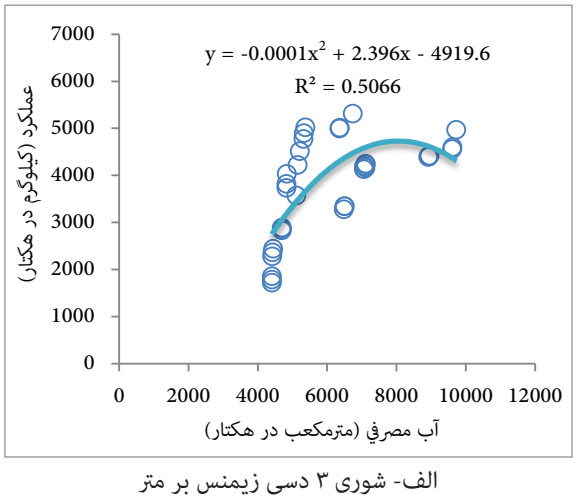
جدول ۲- ویژگی‌های شیمیایی آب آبیاری مورد استفاده در این پژوهش

تیمار	EC	pH	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^{+}	CO_3^{2-}	HCO^{3-}	Cl^{-}	SO_4^{2-}	SAR	RSC	SI
	(ds/m)		(meq/L)									
S 1	۳/۱۱	۸/۳۹	۴/۷۰	۵/۹۹	۱۸/۳۵	۰/۱۷	۱/۵۳	۲۲/۷۸	۴/۵۵	۷/۹۴	-۸/۹۸	۰/۸۹
S 2	۵/۰۰	۸/۳۵	۵/۸۴	۹/۳۵	۳۴/۰۸	۰/۱۷	۱/۵۳	۳۴/۷۳	۱۲/۸۴	۱۲/۳۷	-۱۳/۴۸	۰/۹۵
S 3	۸/۱۴	۸/۲۳	۷/۷۲	۱۵/۲۴	۵۵/۲۹	۰/۰۰	۱/۸۳	۶۷/۲۴	۹/۱۷	۱۶/۳۲	-۲۱/۱۲	۱/۰۷

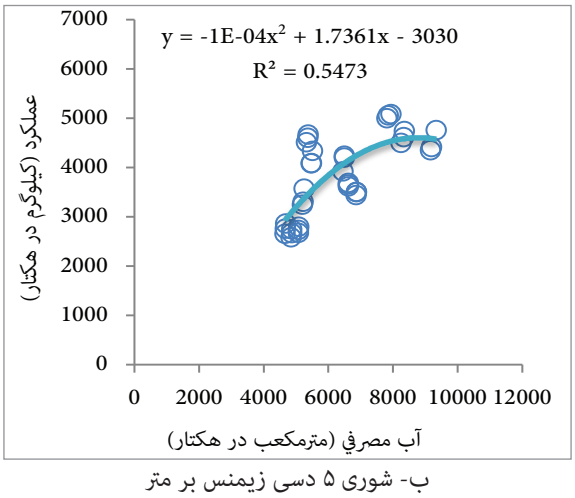
مساحت هر یك از کرت‌های آزمایشی ۸۱ متر مربع و روش‌های آبیاری شامل قطره‌ای (تیپ) و غرقابی (کرتی) بوده که در هر یك از سطوح شوری پیش‌گفته، آبیاری تیمارها با دو روش اشاره شده در بالا انجام شد. علاوه‌بر این، در روش آبیاری تیپ از فواصل مختلف لترال‌های آبیاری (شامل ۲۰، ۴۰ و ۶۰ سانتیمتر از همدیگر) استفاده شد؛ به‌طوری‌که به‌دلیل تنوع تیمارهای آبیاری تیپ از نظر فواصل لترال‌ها و همچنین تنوع در شوری آب آبیاری و ضرورت اعمال کسر آبشوییآبشویی متفاوت برای هر سطح شوری، عملاً حجم‌های مختلف آب آبیاری در هر تیمار اتفاق افتاده که مقادیر دقیق آن از طریق اندازه‌گیری توسط کنتور حجمی در هر نوبت آبیاری، مشخص شده است. حجم آب مصرفی در روش غرقابی نیز از طریق کنتور حجمی منصوب برروی لوله اصلی اندازه‌گیری شده است. تفاوت حجم آب مصرفی در روش‌های مختلف آبیاری (تیپ و غرقابی)، تفاوت حجم آب مصرفی در شوری‌های مختلف آب آبیاری (سه سطح شوری)، تفاوت‌های سالانه حجم آب مصرفی در هر یك از سه سال آزمایش و همچنین، تفاوت‌های جزئی حجم آب اندازه‌گیری شده در هر یك از تکرارهای آزمایش (۳ تکرار) در هر سال باعث بروز تغییرات و تنوع در آمار و ارقام حجم آب مصرفی و عملکرد گندم شده و امکان بررسی رابطه بین آب-شوری-عملکرد و ارائه معادله ریاضی مربوط به آن را فراهم نموده است. سرانجام با اندازه‌گیری عملکرد دانه و مقادیر تجمعی حجم آب مصرفی در طول فصل رشد، ارتباط بین عملکرد با حجم آب مصرفی در سطوح مختلف شوری آب آبیاری تجزیه و تحلیل شد. در اجرای این پژوهش، تیمارهای مختلف شوری آب آبیاری در کرت‌های اصلی و روش‌های مختلف آبیاری در کرت‌های فرعی قرار گرفتند.

نتایج و بحث

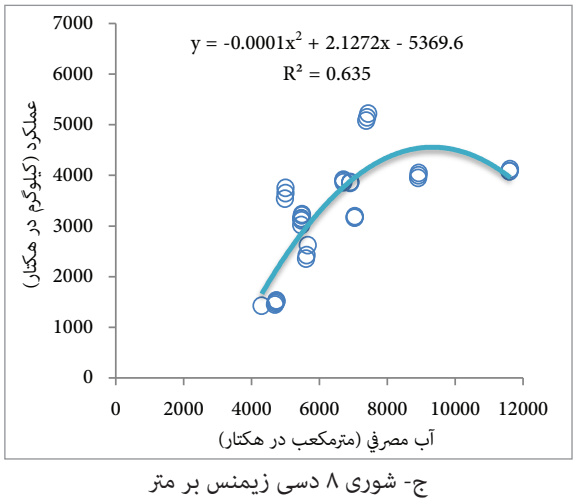
شکل (۱) ارتباط رگرسیونی بین حجم آب مصرفی و عملکرد گندم در سطوح مختلف شوری آب آبیاری شامل ۳، ۵ و ۸ دسی زیمنس بر متر را به تفکیک نمایش می‌دهد. برروی هر شکل، برازش مناسبترین خط بر نقاط مذکور انجام شد که معادلات مربوط به آن و ضریب تبیین آن‌ها نیز نشان داده شده است. به‌دلیل بیشترین انطباق فرم معادله چندجمله‌ای درجه ۲ بر نقاط مذکور، خطوط برازش شده بر این نمودارها نیز به همین فرم تعریف شده‌اند. پیش‌بینی عملکرد گندم توسط معادلات برازش شده بر روی تمام این نمودارها، به‌صورت میانگین عملکرد در اثر مقدار مشخص آب آبیاری خواهد بود. هر یك از معادلات مذکور نقطه تغییر جهت (نقطه عطف) دارد که این نقطه، بیانگر پیش‌بینی حداکثر میانگین عملکرد (کیلوگرم بر هکتار) به‌ازای مصرف مقدار مشخص آب آبیاری (مترمکعب بر هکتار) با میزان شوری مشخص (۳، ۵ یا ۸ دسی زیمنس بر متر) می‌باشد؛ به‌طوری‌که با عبور از این نقطه و هم‌زمان با افزایش مصرف آب، عملکرد محصول به تدریج وارد روند کاهشی خواهد شد. به‌عنوان مثال در مورد شوری آب آبیاری ۳ دسی زیمنس بر متر، با حجم تقریبی مصرف آب ۷۲۰۰ مترمکعب بر هکتار، میانگین حداکثر عملکرد گندم حدوداً برابر با ۴۷۰۰ کیلوگرم بر هکتار بوده است (شکل ۱- الف). ازاین‌رو مصارف بیشتر آب آبیاری نه تنها موجب افزایش عملکرد گندم نخواهد شد، بلکه افت تولید نیز به‌همراه خواهد داشت. شستشوی عناصر غذایی خاك ناحیه ریشه در اثر افزایش نفوذ عمقی آب، از مهمترین دلایل افت تولید گندم در این شرایط عنوان شده است (سپاسخواه و همکاران، ۱۳۸۵). برای سطح شوری ۵ دسی زیمنس بر متر، نقطه عطف نمودار (شکل ۱- ب) در عملکرد ۴۵۰۰ کیلوگرم و آب مصرفی ۷۹۰۰ مترمکعب بر هکتار می‌باشد. همچنین، برای سطح شوری ۸ دسی زیمنس بر متر، نقطه عطف نمودار (شکل ۱- ج) در عملکرد ۴۴۰۰ کیلوگرم بر هکتار و آب مصرفی ۸۳۰۰ مترمکعب بر هکتار به‌دست آمده است. همانطوری‌که اشاره شد، عملکردهای گفته شده به‌صورت میانگین بوده و ممکن است در برخی مزارع، مقادیر بیشتر و یا کمتر از این اعداد نیز به‌دست بیاید.



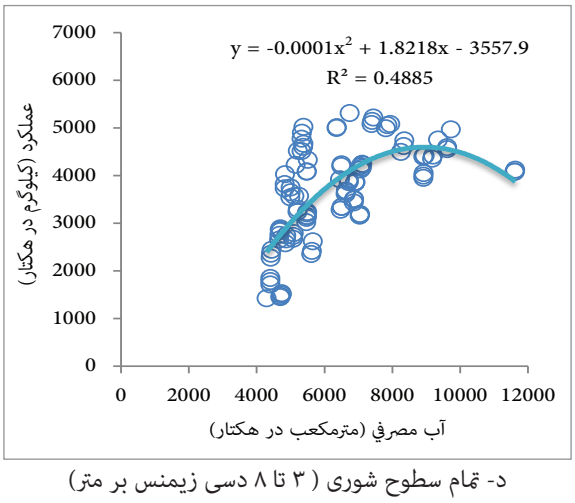
الف- شوری ۳ دسی زیمنس بر متر



ب- شوری ۵ دسی زیمنس بر متر



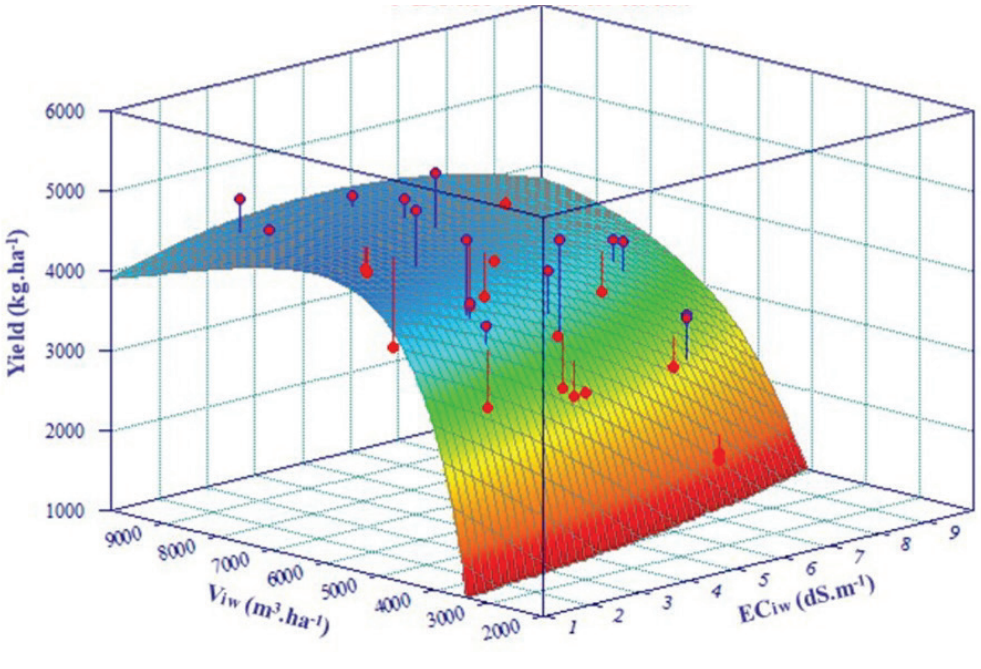
ج- شوری ۸ دسی زیمنس بر متر



د- تمام سطوح شوری (۳ تا ۸ دسی زیمنس بر متر)

شکل ۱- رابطه بین حجم آب مصرفی و عملکرد گندم در سطوح مختلف شوری آب آبیاری

یکی از مهمترین نکته‌هایی که باید در خصوص شکل (۱) اشاره شود، افزایش ضریب تبیین (R^2) بین پارامترهای حجم آب مصرفی و عملکرد گندم در اثر افزایش شوری آب آبیاری است. به‌طوری‌که این ضریب برای سطوح شوری ۳، ۵ و ۸ دسی زیمنس بر متر، به‌ترتیب برابر با ۰/۵۱، ۰/۵۵ و ۰/۶۴ به‌دست آمده است. افزایش همبستگی بین حجم آب مصرفی و عملکرد گندم در اثر افزایش شوری آب آبیاری بیانگر افزایش تأثیرپذیری عملکرد گندم از میزان آب آبیاری در شرایط شور نسبت به شرایط غیرشور است. به‌عبارت‌دیگر، در مزارعی که کیفیت آب آبیاری آن‌ها غیراستاندارد (شور) باشد، نقش آب مصرفی بر عملکرد گندم بسیار مهمتر و تأثیرگذارتر از شرایط استاندارد (غیرشور) خواهد بود. به‌عبارت‌دیگر، امکان غلبه بر مساله شوری و کاهش اثرات منفی آن بر عملکرد گندم از طریق افزایش حجم آب کاربردی در مزرعه وجود دارد. بنابراین، کشاورزان مناطق شور باید در مورد کفایت حقابه در اختیار خود برای تامین نیاز آبی مزرعه (اعم از نیاز گیاه و نیاز آبشویی) اطمینان داشته و برنامه‌ریزی آبیاری را با دقت و وسواس بالاتری نسبت به شرایط غیرشور انجام دهند. عملکرد گندم وابسته به فاکتورهای زیادی مانند مدیریت آبیاری، مدیریت تغذیه گیاهی، حجم آب مصرفی، تراکم و تاریخ کاشت، رقم، مدیریت و مبارزه با آفات و بیماری‌ها و ... است (زاهد و همکاران، ۱۳۹۸) و هر یک از این فاکتورها می‌توانند تحت تأثیر تنش‌های محیطی مختلف مانند خشکی و شوری قرار بگیرند. به‌دلیل اینکه شوری به‌عنوان یکی از مهمترین عوامل محدودکننده عملکرد گندم در مناطق عمده گندمکاری کشور محسوب می‌شود، ازاین‌رو توجه به مساله کنترل و کاهش شوری خاک ناحیه ریشه در مزارع گندم، نقش بارز در افزایش عملکرد خواهد داشت (چراغی، ۱۳۸۶). از طرفی دیگر، کنترل شوری خاک مستلزم کاربرد آب اضافی برای تامین نیاز آبشویی[۴] (LR) و در نتیجه، افزایش میزان آب مصرفی مزرعه خواهد بود. بنابراین همانطورکه نتایج گفته شده نشان می‌دهد، اهمیت آب مصرفی بر عملکرد گندم در شرایط شور بیشتر و تأثیرگذارتر از شرایط غیرشور خواهد بود. در شرایط غیرشور، به‌دلیل تامین محیط مناسب‌تر ناحیه ریشه برای رشد گیاه، علاوه‌بر مساله حقابه یا حجم آب آبیاری موجود، توجه به سایر عوامل تولید گندم هم باید در اولویت کاری بهره‌برداران قرار داشته باشد. شکل (۲) نیز اثرات متقابل شوری آب آبیاری (EC_{iw})، حجم آب مصرفی (V_{iw}) و عملکرد گندم (Yield) به‌صورت یک رویه[۵] سه‌بعدی نمایش داده که توسط نرم‌افزار Table Curve 3D تهیه شده است. این نرم‌افزار رویه‌های متعددی را برازش داده که باتوجه‌به آماره‌های خطا و ضریب تبیین (R^2)، مناسب‌ترین رویه از بین آن‌ها انتخاب و معرفی شده است.



شکل ۲- نمایش سه‌بعدی اثرات متقابل شوری آب آبیاری (ECiw) و حجم آب مصرفی (Viw) بر عملکرد گندم (Yield) در منطقه یزد

شکل عمومی بهترین معادله برازش شده بر نقاط این نمودار (رویه شکل ۲) به‌صورت رابطه (۱) است:

$$Yield=a+bEC_{iw}+c/V_{iw}+dEC_{iw}^2+e/V_{iw}^2+fEC_{iw}/V_{iw} \quad (۱)$$

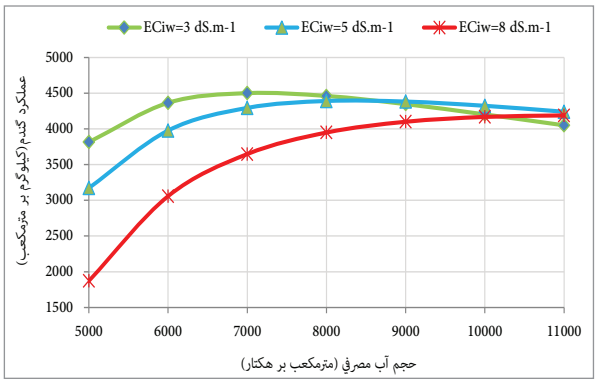
که در آن عملکرد (Yield) بر حسب کیلوگرم بر هکتار، شوری آب آبیاری (EC_{iw}) بر حسب دسی‌زیمنس بر متر و حجم آب کاربردی (V_{iw}) بر حسب مترمکعب بر هکتار است. ضرایب ثابت

این معادله حروف a تا f به‌ترتیب برابر با ۸۶۰/۵۳-، ۶۲۱/۴۷، ۶۴۴۰۵۰۷۵، ۲۲/۴۳-، $۱/۸۹\times۱۰^{۱۱}$-، ۳۸۱۷۳۸۵/۶- می‌باشند. برای ارزیابی این معادله از آماره‌های خطا استفاده شد و نتایج آن در جدول (۳) ارائه شده است. این آماره‌ها شامل میانگین خطای اریب (MBE)، ضریب همبستگی پیرسون (r) ضریب تبیین ($R^۲$)، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، مقدار نسبی جذر میانگین مربعات خطا (RRMSE)، ضریب نش- ساتکلیف (NSE)، میانگین قدرمطلق خطا (MAE) و میانگین قدرمطلق درصد خطا (MAPE) بودند. مقادیر MBE، RMSE و MAE بر حسب پارامتر مورد ارزیابی (عملکرد گندم) و مقادیر r، $R^۲$، RRMSE و MAPE به‌صورت درصد است. آماره MBE، در صورت بیش‌برآورد عملکرد گندم توسط معادله نسبت به عملکرد به‌دست آمده در مزرعه، این آماره مثبت (+) و در صورت کم برآوردی، این آماره منفی (-) خواهد بود. آماره همبستگی r بین ۱- تا ۱+ قرار داشته و هرچه به یکی از این دو عدد نزدیکتر باشد، معادله دقت بالاتری خواهد داشت. ضریب تبیین یا $R^۲$ که از مجذور r حاصل می‌شود، بین ۰ تا ۱ بوده و هرچه بزرگتر باشد، بیانگر همبستگی بالاتر معادله گفته شده است. آماره نش ساتکلیف (NSE) که بین منفی بینهایت تا یك می‌تواند قرار گیرد، هر چه به عدد یك نزدیکتر باشد بهتر بوده و معرف بالا بودن دقت عملکرد برآورد شده توسط معادله می‌باشد. چنانچه این عدد کمتر از ۰/۶۵ به‌دست آید، برای تخمین عملکرد گندم معادله دقت کافی نداشته و غیر قابل قبول محسوب می‌شود. چنانچه ضریب NSE بین ۰/۶۵ تا ۰/۸ باشد، دقت معادله قابل قبول بوده، چنانچه بین ۰/۸ تا ۰/۹ خوب و بالاتر از ۰/۹ عالی محسوب می‌شود. آماره‌های MAE و MAPE هر چه به صفر نزدیکتر باشند، به معنی بالاتر بودن دقت تخمین عملکرد گندم توسط معادله گفته شده خواهد بود. ضریب همبستگی (r) و ضریب تبیین ($R^۲$) این معادله به‌ترتیب برابر با ۰/۸۲ و ۰/۶۷ است و انتظار می‌رود معادله گفته شده بتواند باتوجه‌به شوری آب آبیاری و حجم آب مصرفی، عملکرد محصول را با خطای RMSE تقریبی ۵۲۴± کیلوگرم بر هکتار برآورد نماید (جدول ۳).

جدول ۳- مشخصه های آماری نمودار سه‌بعدی شوری آب آبیاری (EC_{iw})، حجم آب مصرفی (V_{iw}) و عملکرد گندم (Yield) در منطقه یزد

ضریب همبستگی	ضریب تبیین	جذر میانگین مربعات خطا	جذرمیانگین مربعات خطای نسبی	میانگین خطای اریبی	شاخص کارایی نش - ساتکلیف	میانگین قدرمطلق درصد خطا	میانگین قدرمطلق خطا
r	$R^۲$	RMSE	RRMSE	MBE	NSE	MAPE	MAE
۰,۸۲۰	۰,۶۷۰	۵۲۴	۱۴,۲	۰,۱	۰,۶۷	۱۲,۴	۴۲۹,۶

رابطه (۱) اگرچه شوری خاك ناحیه ریشه (ECe) را به‌صورت مستقیم دخالت نمی‌دهد، اما هر دو پارامترهای شوری آب آبیاری (EC_{iw}) و حجم آب مصرفی (V_{iw}) را در نظر می‌گیرد و مساله توجه به شوری خاك را به شکلی دیگر، پوشش می‌دهد؛ زیراکه شوری خاك متاثر از شوری آب آبیاری (EC_{iw}) و حجم آب مصرفی و یا به‌عبارتی دقیق‌تر، کسر آبشویی (LF) است و بدون اطلاعات کافی در این زمینه (به‌ویژه در مورد کسر آبشویی)، امکان برآورد شوری خاك مزرعه وجود نخواهد داشت (Ayers و Westcot، ۱۹۸۹). همچنین، به نظر می‌رسد برآورد یا اندازه‌گیری پارامترهای حجم آب مصرفی و شوری آب آبیاری سهل‌الوصول‌تر و کم هزینه‌تر از پایش شوری خاك ناحیه ریشه در طول فصل رشد گیاه باشد و به همین دلیل، معادله گفته شده کاربردی‌تر خواهد بود. این معادله برای تخمین عملکرد مزرعه قبل از برداشت محصول، برآورد افت تولید در اثر افزایش شوری آب آبیاری، برآورد افت تولید در اثر کاهش حجم آب مصرفی، بررسی عملکرد و صرفه اقتصادی کاشت گندم در شرایط شور و یا برنامه‌ریزی و تأمین نیاز آبی مزرعه برای تولید مقدار مشخصی محصول کاربرد دارد. با کمك رابطه (۱)، امکان پیش‌بینی عملکرد گندم توسط پارامتر حجم آب مصرفی درهر یك سطوح شوری آب آبیاری (به‌عنوان‌مثال ۳، ۵ و ۸ دسی زیمنس بر متر) به‌صورت مجزا وجود دارد که نتایج حاصل از این کار، در شکل (۳) نشان داده شده است. در واقع، این شکل نحوه استفاده از رابطه (۱) را برای شوری‌های ۳، ۵ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر آسان نموده است. ب‌عنوان‌مثال، در صورتی‌که شوری آب آبیاری ۵ دسی زیمنس بر متر و حجم آب مصرفی یك مزرعه گندم ۵۰۰۰ مترمکعب در هکتار باشد، عملکرد پیش‌بینی شده گندم توسط این معادله، نزدیک‌به ۳۲۰۰ کیلوگرم بر هکتار خواهد بود. همچنین، در شرایط شوری آب آبیاری ۸ دسی زیمنس بر متر، برای اینکه میزان عملکرد مشابه با مزرعه قبلی (یعنی ۳۲۰۰ کیلوگرم بر هکتار) تولید شود، نیاز به حجم تقریبی ۶۲۰۰ مترمکعب آب خواهد بود که در مقایسه با شرایط قبل، حدود ۲۴٪ بیشتر بوده و باید توسط بهره‌بردار تامین شود. در غیراین‌صورت (یعنی عدم تامین آب به میزان گفته شده)، مزرعه با افت قابل توجهی در تولید گندم مواجه خواهد شد؛ به‌طوری‌که پیش‌بینی عملکرد گندم در شرایط شوری آب آبیاری ۸ دسی زیمنس بر متر و حجم آب مصرفی ۵۰۰۰ مترمکعب بر هکتار، در حدود ۱۹۰۰ کیلوگرم بر هکتار خواهد بود.



شکل ۳- نمودارهای پیش‌بینی عملکرد گندم توسط پارامتر حجم آب مصرفی در سطوح مختلف شوری آب آبیاری (۳، ۵ و ۸ دسی زیمنس بر متر) برای منطقه یزد

ذکر این نکته نیز ضروری است که پیش‌بینی عملکرد گندم توسط رابطه (۱) و یا شکل (۳) مربوط به گندم رقم نارین، برای منطقه یزد و با عملیات متداول زراعی انجام شده در سال‌های ۹۷-۱۳۹۶، ۹۸-۱۳۹۷ و ۹۹-۱۳۹۸ بوده است. در داده‌های مزرعه‌ای گفته شده، حدود بالا و پایین شوری آب آبیاری به‌ترتیب ۳ و ۸ دسی زیمنس بر متر و حدود بالا و پایین حجم آب مصرفی به‌ترتیب ۴۵۰۰ و ۱۱۶۰۰ مترمکعب بر هکتار بوده که منجر به عملکردهای ۱۵۰۰ تا ۵۲۰۰ کیلوگرم بر هکتار شده است. همچنین، وضعیت این منطقه از نظر بارندگی (بویژه بارندگی‌های موثر در طول فصل رشد) مطلوب نبوده؛ به‌طوری‌که میانگین بارندگی درازمدت سالانه منطقه مطالعاتی در حدود ۶۹ میلیمتر گزارش شده است. بنابراین پیش‌بینی عملکرد گندم برای سایر ارقام و شرایط محیطی و یا برای مقادیر شوری و حجم آب مصرفی خارج از حدود گفته شده، می‌تواند از دقت پیش‌بینی‌ها بکاهد و یا نتایج به‌دست آمده را غیرمعتبر کند.

نتیجه‌گیری

هدف این پژوهش، مطالعه برهمکنش حجم آب مصرفی و شوری آب آبیاری برعملکرد گندم در منطقه یزد بوده است. این منطقه علاوه‌بر محدودیت شوری آب آبیاری، با خشکسالی و محدودیت کمّی منابع آب کشاورزی نیز مواجه است. نتایج به‌دست‌آمده بیانگر افزایش تأثیرپذیری عملکرد گندم از میزان آب آبیاری در شرایط شور نسبت به شرایط غیرشور بود؛ به‌طوری‌که در اثر افزایش شوری آب آبیاری، همبستگی بین حجم آب مصرفی و عملکرد گندم افزایش یافته و عملکرد به میزان بیشتری تحت تأثیر حجم آب مصرفی قرار گرفته است. بنابراین، کشاورزان مناطق شور باید در مورد کفایت حقابه در اختیار خود برای تامین نیاز آبی مزرعه (اعم از نیاز گیاه و نیاز آبشویی) اطمینان داشته و برنامه‌ریزی‌های آبیاری را با دقت بیشتری نسبت به شرایط غیرشور انجام دهند و با بهبود مدیریت آبیاری، از افت عملکرد جدی گندم در شرایط شور جلوگیری کنند. در ادامه، معادله‌ای برای تخمین عملکرد گندم براساس شوری آب آبیاری و حجم آب مصرفی ارائه شد. معادله پارامتر شوری خاك ناحیه ریشه (ECe) را در برآورد عملکرد محصول به‌صورت مستقیم دخالت نمی‌دهد، اما آن را به شکلی دیگر و به‌صورت غیرمستقیم پوشش می‌دهد؛ زیرا که شوری خاك ناحیه ریشه متاثر از پارامترهای شوری آب آبیاری و حجم آب مصرفی (و به‌عبارتی دقیق‌تر، کسر آبشویی یا LF) بوده و این دو پارامتر، به‌صورت توام در معادله گنجانده شده‌اند. مهمترین کاربرد این معادله، پیش‌بینی عملکرد گندم براساس پارامترهای شوری آب آبیاری و حجم آب مصرفی است و می‌تواند در مواقعی مانند برآورد افت تولید گندم در اثر افزایش شوری آب آبیاری یا کاهش حجم آب مصرفی، بررسی صرفه اقتصادی کاشت گندم در شرایط شور، تخمین عملکرد مزرعه قبل از برداشت محصول و یا برنامه‌ریزی و تامین نیاز آبی مزرعه برای تولید مقدار مشخصی محصول استفاده شود و سوالات بهره‌برداران و برنامه‌ریزان بخش کشاورزی در این زمینه‌ها را پاسخ دهد.

پی‌نوشت‌ها

1-Yield Function
2-Inputs
3-Output
4-Leaching Requirement
5-Surface

منابع

احمدی، ک.، عبادزاده، ح.ر.، حاتمی، ف.، عبدشاه، ه. و کاظمیان، آ. ۱۳۹۹. آمارنامه کشاورزی (جلد ۱: محصولات زراعی). مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات. معاونت برنامه ریزی و اقتصادی وزارت جهاد کشاورزی.

چراغی، س.ع.م. ۱۳۸۶. ارزیابی مدیریت‌های بهره‌برداری از منابع آب و خاك شور اراضی تحت کشت گندم مناطق مختلف کشور، گزارش نهایی طرح تحقیقاتی مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی.

حبیب‌زاده، ع.، عیوضی، ع.ر. و عبدی، س. ۱۳۹۹. ارزیابی مناطق مستعد کشت گندم آبی از نظر هزینه‌های اقتصادی و کاهش مصرف آب در شهرستان-های استان آذربایجان‌غربی. نشریه علوم گیاهان زراعی ایران، ۵۱(۳):۲۲۰-۲۰۵

خزایی، ج. و هوشمند، م. ۱۳۹۳. کنترل ناپارامتریک غیرخطی شوک های بهره‌وری در برآورد تابع تولید کشاورزی استان‌های برگزیده ایران (مطالعه موردی: برآورد تابع تولید گندم آبی). نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی، ۲۸(۳): ۲۵۹-۲۴۶

ذوالفقاران، ا.، قهرمان، ب.، حقایقی، ا. و جلینی، م. ۱۳۹۶. تأثیر آبیاری بارانی متعامد تحت شرایط کم‌آبی و شوری‌های متفاوت بر تولید گندم (دانه و کاه) جهت و برازش مناسب‌ترین تابع تولید بر آن. تنش‌های محیطی در علوم زراعی ۱۱(۴): ۹۷۹-۹۷۱

رحیمیان، م.ح.، حاجی حسینی ع.، اسپرس، ر.، بیرامی، ح. ۱۳۹۶. تدوین سند بهره‌وری آب کشاورزی در استان یزد، گزارش علمی فنی به شماره ثبت ۵۳۲۹۸، مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران، ص. ۱۲۹.

رحیمیان، م.ح.، دهقانی، ف. ۱۳۹۷. نگاه تحلیلی به کیفیت (شوری) منابع آب مورد استفاده در بخش کشاورزی، گزارش علمی مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، (منتشر نشده).

زاهد م.، سلطانی ا.، زینلی ا.، ترابی ب.، زند ا.، عالیمقام س.م. ۱۳۹۸. مدل‌سازی پتانسیل عملکرد و خلاء عملکرد گندم آبی در ایران، تولید گیاهان زراعی (مجله الکترونیك تولید گیاهان زراعی)، ۱۲(۳): ۳۵-۵۲

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

کیانی، ع.ر.، میرلطفی، س.م.، همایی، م. و آبیار، ن.م. ۱۳۸۲. بررسی اقتصادی تولید گندم در شرایط شوری و کم آبی. اقتصاد کشاورزی و توسعه، ۱۱(۴۴-۴۳): ۱۶۳-۱۷۸.

کیانی، ع.ر.، میرلطفی، س.م.، همایی، م. و چراغی، س.ع.م. ۱۳۸۴. تعیین بهترین تابع تولید آب-شوری گندم در منطقه شمال گرگان. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، ۶(۲۵): ۱-۱۴.

مومنی، ع. ۱۳۸۹. پراکنش جغرافیایی و سطوح شوری منابع خاك ایران، مجله پژوهش‌های خاك، ۲۴(۳): ۲۰۳-۲۱۵.

Ayers R.S. and Westcot D.W. 1989. Water quality for agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) irrigation and drainage paper No. 29 Rev.1, Rome, Italy.

Datta K.K. and Dayal B. 2000. Irrigation with poor quality water: An empirical study of input use economic loss and coping strategies. Indian Journal of Agricultural Economics, 55: 26-37.

Datta K.K., Sharma V.P. and Sharma D.P. 1998. Estimation of a production function for wheat under saline conditions. Agricultural Water Management, 36: 85- 94.

Doorenbos J. and Kassam A.H. 1979. Yield response to water. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) Irrigation and drainage Paper No. 33, Rome, Italy.

Doorenbos J. and Pruitt W.O. 1977. Guidelines for prediction crop water requirements. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) Irrigation and drainage Paper No. 24, Rome, Italy.

FAO. 2018. World Food and Agriculture – Statistical Pocketbook. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, Italy.

Feddes R.A., Kowalik P.J. and Zaradny H. 1980. Simulation of field water use and crop yield. Pudoc (Centre for agricultural publishing and documentation), 143(2): 254-255.

Letey J. and Dinar A. 1986. Simulated crop production function for several crops when irrigated with saline waters. Hilgardia, 54:1-32.

Maas E.V. 1986. Salt tolerance of plants. Journal of Applied Agricultural Research, 1:12-26

Maas E.V. 1990. Crop salt tolerance. Agricultural Salinity Assessment and Management Monograph, 71: 262-304

Maas E.V. and Hoffman G.J. 1977. Crop salt tolerance - current assessment. Journal of the Irrigation and Drainage Division, American Society of Civil Engineers, 103(IR2): 115-134.

Munns R. James R.A. 2003. Screening methods for salinity tolerance: a case study with tetraploid wheat, Plant and Soil, 253:201-218.

Shroyer J.P., Whitney D. and Peterson D. 1997. Wheat Production Handbook. K-State Research & Extension, Manhattan, Kansas.

Van Genochten, M. Th. 1983. Analyzing crop salt tolerance data: Model description and user's manual. Research report No. 120. U. S. Salinity Lab. Reverside, C. A.

Vaux H. J. Jr. and Pruitt W. V. 1983. Crop-water production functions, In: Hillel, D. (Ed.). Advances in irrigation. Vol. 2. Academic Press Inc., NY.