

EXTENDED ABSTRACT

Effect of Conjunctive Irrigation on Soil Salinity and Herbal Elements of Sorghum and Simulation of Output Salt Using SWAP Model

M. Yazdekhasti^{1*}, M. Shayannejad², H. R. Eshghizadeh³ and M. Feizi⁴

1* - Corresponding Author, MSc, Department of Water Engineering, Agricultural Faculty, Isfahan University of Technology (marziehyazdekhasti1990@yahoo.com).

2- Associate Professor Department of Water Engineering, Agricultural Faculty, Isfahan University of Technology.

3- Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology.

4- Assistant Professor, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research Center.

Received: 17 March 2017

Revised: 4 April 2018

Accepted: 9 April 2018

Keywords: Fresh water, Salt water, Conjunctive irrigation, SWAP model, Sorghum.
DOI: 10.22055/jise.2018.21374.1545.

Introduction

Reduction of water resources in arid and semi-arid areas requires the application of management methods to achieve optimal performance. With the logical application of saline water as a source of irrigation water, we can supply a part of the crop water requirement (Hamdy, A., Abdel-Dayem, S. and Abu-Zeid, M., 1993), using various applicable management techniques. The optimal management is, in turn, considered as the use of conjunctive irrigation. Two commonly used solutions include mixing salty and fresh water to obtain water with the optimal salinity; and also the periodic application of fresh and salty water (Amer, 2010; Aslam, & Prathapar, 2006). In effect, salt mainly enters the surface layers of the soil through irrigation and the solute moves vertically from the unsaturated to the saturated zone and towards the groundwater. In turn, the SWAP model is often used to simulate the solute transfer in soil. However, field measurement of the solute concentration changes is very difficult in soil profiles. A simulation model can, thus, be used to estimate the accumulation of solutes in the soil profiles. (Van Dam, Huygen, & Wesseling, 1997)

Methodology

This study was conducted to investigate the effect of conjunctive irrigation on the amount of cation and anion in the soil saturation extract in a research farm at Isfahan University of Technology. The soil texture was sandy loam and the dimension of the farm was 13.5*15 m including fifteen 2.4*3 m plots. To conduct the study, grain sorghum was cultivated as a row crop with 60*10 cm spacing with a density of 20 plants per square meter on June 14, 2014. The experimental design was a completely randomized design with three replications. Five irrigation treatments were used including irrigation with saline water (salinity of 5 dS / m), irrigation with fresh water (municipal water with salinity of 0.4 dS/m), alternate irrigation, conjunctive irrigation, and irrigation with fresh water to the raceme stage followed by irrigation with saline water. To measure the chemical properties of soil, the samples were taken at the depths of 0-20 and 20-40 cm. Sodium and potassium concentration of the saturated extract was, then, measured by Flame Photometer. Calcium and magnesium concentration was, in turn, measured using titration with EDTA, chloride concentration

was measured by sedimentation titration with silver nitrate, and bicarbonate concentration was measured by titration with sulfuric acid. In turn, to measure the sodium and potassium concentration of the plant, plant ash samples were prepared and after mixing with nitric acid, their concentration was determined by Flame Photometer. The analysis of variance and the mean comparison test with LSD method was performed using SAS software.

Results and discussion

Table 1 shows the variation of average salinity of soil E_c 50 days after planting and at the end of the season, and its comparison with the beginning of the season at two depths of 0-20 and 20-40 cm. E_c in each irrigation management had a significant difference in 50 days after planting and at the end of the season at two depths of 0-20 and 20-40 cm.

Table 1- Average soil EC and its variation ratio 50 days after planting and at the end of the growth season compared to the beginning of the season at two depths of 0-20 and 20-40 cm

Irrigation management treatment	Depth 0-20 cm				Depth 20-40 cm			
	50 days after planting	*Variation ratio	End of season	**Variation ratio	50 days after planting	Variation ratio	End of season	Variation ratio
fresh water	0.84 ^c	-40.1 %	0.8 ^c	-43.6 %	0.88 ^b	-81.4 %	1.1 ^c	-76.8 %
saline water	3.89 ^a	169 %	4.18 ^a	194 %	3.65 ^a	-23.1 %	8.90 ^a	78.3 %
alternate irrigation	1.59 ^{bc}	12.0 %	2.94 ^b	107 %	2.79 ^a	-41.2 %	5.53 ^b	2.50 %
conjunctive irrigation	4.43 ^b	71.1 %	2.94 ^b	107 %	3.27 ^{ab}	-50.1 %	4.63 ^b	-16.4 %
Salinity the end of the season	0.85 ^c	-40.0 %	3.59 ^a	178 %	0.90 ^b	-81.0 %	4.38 ^b	-7.70 %

*Variation ratio = (E_c 50 days after planting – initial E_c)/ initial E_c

**Variation ratio = (E_c end of season – initial E_c)/ initial E_c

initial E_c 0-20 = 1.47 dS/m and initial E_c 20-40 = 4.75 dS/m

The effect of irrigation management treatments on the concentration of potassium in the shoot at a 5% probability level and the potassium concentration of grain at the probability level of 1% were statistically significant. The effect of irrigation treatments on the sodium concentration of shoot and grain at a 1% probability level was statistically significant. The results of mean comparison test showing the concentration of sodium and potassium of the crop under the influence of different irrigation management can be seen in Table 2.

Table 2- Comparison of the mean crop sodium and potassium concentration under the influence of different irrigation managements

Irrigation management	Sodium concentration (mg/g DW)		Potassium concentration (mg/g DW)	
	shoot	Grain	shoot	Grain
fresh water	18.1 ^c	12.5 ^b	0.744 ^a	0.468 ^{bc}
saline water	23.8 ^a	21.2 ^a	0.515 ^c	0.381 ^d
alternate irrigation	20.8 ^a	13.5 ^b	0.582 ^{bc}	0.569 ^a
conjunctive irrigation	19.9 ^{bc}	11.3 ^b	0.636 ^{abc}	0.394 ^{cd}
Salinity the end of the season	19.6 ^{bc}	12.1 ^b	0.684 ^{ab}	0.508 ^{ab}

The measured and calculated E_c at the end of the root zone can be seen in Figures 1 and 2 in the middle and at the end of the season. The model estimates E_c more than its actual value. Thus, the

coefficients were 0.75 and 0.81 50 days after planting, and at the end of the season. Besides, the NRMSE were 0.092 and 0.058 50 days after planting, and at the end of the season, respectively. MAE were 0.35 and 0.23 50 days after planting, and at the end of the season, respectively.

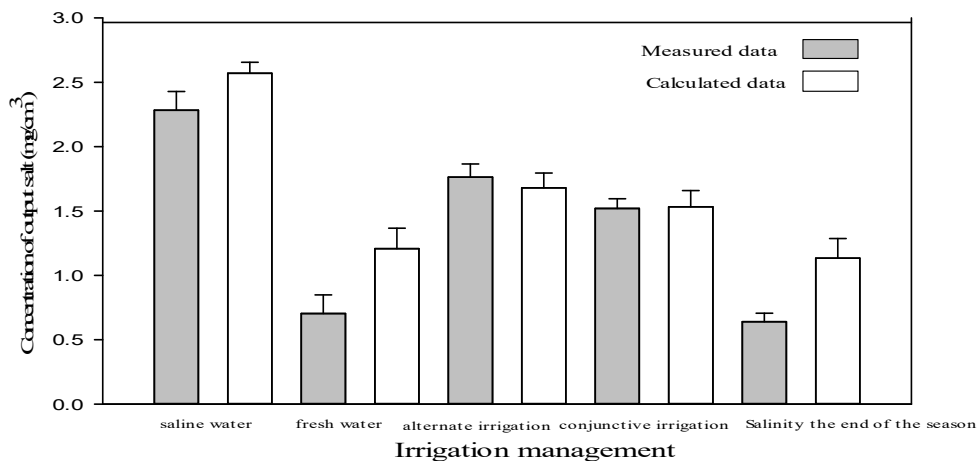


Fig. 1- Comparison between the mean and standard error of the measurement and calculated salt concentration at the end of the root zone 50 days after planting

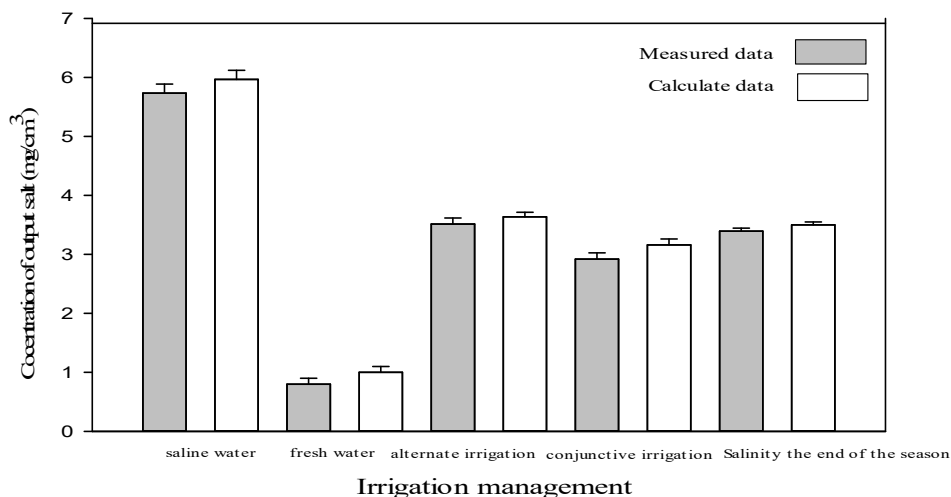


Fig. 2- Comparison between the mean and standard error of the measurement and calculated salt concentration from the end of the root zone at the end of growth season

Conclusion:

The results showed that among irrigation management treatments, the lowest and the highest variation in soil E_c were observed in alternate irrigation and saline irrigation treatments, respectively. Moreover, it was found that the simulation of the model at the end of the growth season was more accurate than in the middle of the growth season. Further, the statistical indices showed that the model could simulate the output salt originated from the root zone.

Acknowledgements

The authors would like to thank Isfahan University of Technology for their financial support to this research project.

References

- 1-Amer, K.H., 2010. Corn crop response under managing different irrigation and salinity levels. *Agricultural water management*, 97(10), pp.1553-1563.
- 2-Aslam, M., Prathapar, S.A., Aslam, M. and Prathapar, S.A., 2006. *Strategies to mitigate secondary salinization in the Indus Basin of Pakistan: a selective review* (Vol. 97). IWMI.
- 3-Hamdy, A., Abdel-Dayem, S. and Abu-Zeid, M., 1993. Saline water management for optimum crop production. *Agricultural water management*, 24(3), pp.189-203.
- 4-Van Dam, J. C., J. Huygen, J. G. Wesseling, R. A. Fedds, P. Kabat, P. E. V. Van Walsum, P. Groenendijk and C.A. Van Diepen, 1997. SWAP version 2.0, Theory. *Simulation of water flow, solute transport and plant growth in the Soil-Water-Atmosphere-Plant environment*, Department Water Resources, Wageningen Agricultural University. 167p.



© 2019 by the authors. Licensee SCU, Ahvaz, Iran. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license) (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

تأثیر کاربرد آبیاری تلفیقی با آب شور بر شوری عصاره اشباع خاک و عناصر گیاهی گیاه سورگوم و شبیه‌سازی نمک خروجی توسط مدل SWAP

مرضیه یزدخواستی^{۱*}، محمد شایان نژاد^۲، حمیدرضا عشقی‌زاده^۳ و محمد فیضی^۴

*- نویسنده مسئول، دانش آموخته کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، marziehyazdekhashti1990@yahoo.com

۲- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۳- استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۴- عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی اصفهان.

پذیرش: ۱۳۹۷/۱/۲۰

بازنگری: ۱۳۹۷/۱/۱۵

دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۲۷

چکیده

به منظور ارزیابی تأثیر کاربرد آب شور و شیرین بر شوری عصاره اشباع خاک، تحقیقی در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در دانشگاه صنعتی اصفهان انجام شد. تیمارهای مورد استفاده پنج مدیریت آبیاری شامل: آبیاری با آب شور (شوری برابر ۵ دسی زیمنس بر متر)، آبیاری با آب شیرین (آب شهری با شوری برابر ۰/۴ دسی زیمنس بر متر)، آبیاری یک در میان؛ آبیاری با آب تلفیقی و آبیاری با آب شیرین تا خوشه‌دهی و سپس آب شور بود. نتایج نشان داد تیمار آبیاری یک در میان کمترین و تیمار آب شور بیشترین مقدار تغییر املاح عصاره اشباع خاک را نسبت به ابتدای فصل داشت. کمترین افزایش شوری در عصاره اشباع خاک در پایان فصل کشت مربوط به تیمار آبیاری یک در میان بود. افزایش شوری سبب کاهش معنادار پتاسیم و افزایش معنادار سدیم در اندام هوایی گیاه شد. داده‌های نمک خروجی از ناحیه ریشه توسط مدل SWAP و اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای نشان داد که مدل SWAP مقدار نمک را بیشتر از مقدار واقعی برآورد کرده است. ضریب تعیین به ترتیب برای نمک خروجی در میانه و انتهای فصل کشت ۰/۷۵ و ۰/۸۱ به دست آمد.

کلید واژه‌ها: آب شیرین، آب شور، آبیاری تلفیقی، مدل SWAP، سورگوم.

مقدمه

روند کاهش کمی و کیفی آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک نیاز به کاربرد روش‌های مدیریتی برای حصول عملکرد مطلوب، در ضمن پایداری کشاورزی دارد. با کاربرد منطقی آب شور به عنوان یک منبع آب آبیاری ضمن افزایش تولیدات کشاورزی می‌توان از رقابت موجود برای مصرف آب غیرشور نیز کاست. با توجه به آثار و تبعات منفی آب شور بر گیاه و خاک می‌بایست شیوه‌های مختلف استفاده از آب شور و غیرشور، واکنش گیاهان و تغییرات ایجاد شده در ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک مورد بررسی قرار گیرند (Hamdy, et al., 1993).

مهم‌ترین اثری که افزایش شوری آب آبیاری بر بهره‌وری گیاه می‌گذارد، کاهش توانایی گیاه برای رقابت با یون‌های محلول خاک (اثر اسمزی) به منظور جذب آب موجود در خاک است (Bauder, et al., 2006). با افزایش شوری محلول خاک اگرچه آب در دسترس گیاه است، ولی گیاه عالمانه یا عامدانه از آن استفاده نمی‌کند. افزون بر این شوری آب سبب کاهش مقاومت روزنه‌ای گیاه، آسیب‌رسانی به سلول‌های برگ و اخلاص در امر فتوسنتز برگ‌ها می‌شود (Munns, 2005). از آنجا که میزان آب تعرق یافته از طریق گیاه با عملکرد محصول رابطه مستقیمی دارد، بنابراین آبیاری گیاهان با آب شور سبب کاهش پتانسیل عملکرد محصولات کشاورزی می‌شود (Bauder, et al., 2006). گیاهان مختلف تحمل متفاوتی به شوری

آب آبیاری دارند، به‌طور عمده تحمل گیاهان به شوری متأثر از اقلیم منطقه، نوع و ویژگی‌های خاک، نوع گیاه و وارثه انتخابی، مرحله رشد، روش و مدیریت آبیاری دارد (Evans, 2006). در استفاده از آب‌های شور و شیرین (غیرشور) مدیریت‌های گوناگونی قابل اعمال است. از مدیریت‌های مهم در این زمینه کاربرد تلفیقی آب شور و شیرین می‌باشد استفاده تلفیقی را می‌توان به‌صورت توسعه و مدیریت هماهنگ منابع آب با کیفیت‌های مختلف تعریف کرد به‌گونه‌ای که راندمان محصولات در کل سیستم طی یک دوره‌ی خاص از مجموع راندمان تک‌تک محصولات هنگام کاربرد منابع آب به‌صورت مجزا بیشتر شود. در این باره دو راه‌کار متداول مورد استفاده قرار می‌گیرد: ۱- اختلاط آب‌های شور و شیرین به‌منظور رسیدن به آبی با شوری مطلوب و ۲- کاربرد تناوبی آب‌های شور و شیرین. در کارهای تناوبی خیلی اوقات از آب شیرین در مراحل اولیه رشد و از آب‌های شور در مراحل بعدی استفاده می‌شود. هم‌چنین با توجه به نوع گیاه و مرحله رشد آن، آب‌های شیرین و شور ممکن است به صورت دوره‌ای هم مصرف شوند (Amer, 2010). (Aslam and Prathapar, 2006). نمک‌های زیادی در اثر آبیاری و جریان آب به لایه‌های سطحی خاک وارد می‌شوند، لیکن آبی که به صورت تبخیر از سطح خاک یا تعرق گیاه از این منطقه خارج می‌شود، تقریباً خالص است و نمک‌ها و املاح در لایه سطحی خاک تجمع

منطقه در فاصله‌ی زمانی تیر ماه تا اواسط مهر فاقد بارندگی است. به منظور تعیین ویژگی‌های فیزیکی خاک پیش از مراحل آماده‌سازی زمین از دو عمق ۲۰-۴۰ و ۰-۲۰ سانتی‌متری نمونه‌برداری شد. خاک مزرعه دارای بافت لوم رسی شنی و با سنگ‌ریزه فراوان بود. برخی خصوصیات فیزیکی خاک منطقه مورد مطالعه در جدول (۱) ارائه شده است. آن‌چه از نظر کشاورزی در رابطه با کیفیت آب مطرح است تأثیر آن بر گیاه و خاک است. این تأثیر ناشی از ناخالصی‌های فیزیکی و شیمیایی موجود در آب است که عوامل محیطی نیز گاهی اثر آن‌ها را تشدید و یا تقلیل می‌دهد. ویژگی‌های شیمیایی آب شور و شیرین استفاده‌شده در طرح در جدول (۲) ارائه شده است. آزمایش در زمینی به مساحت ۲۱۰ متر مربع با ابعاد ۱۵/۵ متر در ۱۳/۵ متر اجرا شد. ۱۵ کرت آزمایشی با عرض و طول ۲/۴ و ۳ متر ایجاد شد. فاصله کرت‌های آزمایشی از یکدیگر ۱/۵ متر بود. سورگوم دانه‌ای به صورت کشت ردیفی با فاصله ردیف ۶۰ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف ۱۰ سانتی‌متر با تراکم کاشت ۲۰ بوته در هر متر مربع در ۲۴ خردادماه سال ۱۳۹۳ کشت شد. طرح آماری مورد استفاده در این پژوهش، بلوک کامل تصادفی با سه تکرار بود. تیمارهای مورد استفاده پنج مدیریت آبیاری شامل: آبیاری با آب شور (شوری ۵ دسی زیمنس بر متر براساس عملکرد ۷۵ درصد)؛ آبیاری با آب شیرین (آب شهری با شوری ۰/۴ دسی زیمنس بر متر)؛ آبیاری یک در میان (آبیاری یک بار با آب شور و بار دیگر با آب شیرین) و آبیاری با آب تلفیقی (نیمی از آبیاری با آب شور و نیمه دیگر با آب شیرین) و آبیاری با آب شیرین تا خوشه‌دهی و سپس آبیاری با آب شور بود. برای اندازه‌گیری ویژگی‌های شیمیایی خاک؛ نمونه‌های دو عمق ۲۰-۴۰ و ۰-۲۰ سانتی‌متر در تاریخ ۱۳ خرداد، ۱۵ مرداد و ۱۸ شهریور از وسط هر کرت تهیه و به آزمایشگاه منتقل شد. ابتدا از نمونه خاک گل اشباع تهیه شد و به کمک پمپ خلا عصاره گل اشباع استخراج گردید و سپس به کمک دستگاه هدایت‌سنج، هدایت الکتریکی عصاره اشباع قرائت شد. غلظت سدیم و پتاسیم عصاره اشباع به کمک دستگاه فلیم فتومتر و غلظت کلسیم و منیزیم به کمک تیتراسیون با EDTA، غلظت کلرید به روش تیتراسیون رسوبی با نیترات نقره و غلظت بی‌کربنات با تیتراسیون با اسید سولفوریک رقیق اندازه‌گیری شد. ویژگی‌ها شیمیایی عصاره اشباع خاک مزرعه پیش از کشت در جدول (۳) ارائه شده است. برای اندازه‌گیری غلظت سدیم و پتاسیم، نمونه‌های گیاهی آسیاب شده و پس از عبور از الک در کوره با دمای ۵۰۰ درجه سلیسوس به مدت ۶ ساعت خاکستر شدند. بدین منظور مقدار ۰/۵ گرم از هر نمونه با ۱۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک مخلوط شده و بر روی اجاق برقی با حرارت ملایم قرار داده شده تا بخار به آرامی خارج شود. پس از خارج شدن بخار محلول با آب مقطر به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسیده و با کاغذ صافی، صاف گردیده و مقدار سدیم و پتاسیم بافت گیاهی به وسیله فلیم‌فتومتر تعیین شد (Ryan, et al., 2007).

می‌یابند. زمان ماندن املاح در ناحیه غیراشباع برای رشد محصول و مدیریت املاح بسیار مهم است، بیشتر گیاهان فقط در شرایط غیر-اشباع قادر به جذب آب توسط ریشه گیاهان می‌شود. در اراضی فاریاب میزان شوری آب در خاک در دازمدت، به میزان نفوذ عمقی از ناحیه غیراشباع خاک بستگی دارد (Qureshi, et al., 2004, Kroes and Van Dam, 2003) جهت حرکت املاح به صورت قائم از ناحیه غیراشباع به ناحیه اشباع و به سمت آب زیرزمینی می‌باشد. بنابراین به‌منظور مدیریت آب و املاح در منطقه غیراشباع، بررسی میزان انتقال، میزان جذب، برداشت توسط ریشه و تجزیه املاح در منطقه ریشه ضروری است. مدل SWAP برای شبیه‌سازی فرایند انتقال املاح در سطح مزرعه طراحی شده است. گرچه مدیریت آب و املاح در بیشتر مزارع کشاورزان تقریباً مشابه است، لیکن غیریکنواختی خاک می‌تواند تأثیر زیادی بر جریان املاح داشته باشد (Skaggs, et al., 2006) اندازه‌گیری مزرعه‌ای این تغییرات بسیار دشوار و تقریباً غیرممکن است، با بررسی تجمع املاح در نیمرخ خاک و جریان زهکشی در یک دوره زمانی می‌توان مدل شبیه‌سازی را صحت‌یابی نمود. سپس با استفاده از مدل شبیه‌سازی شده می‌توان برآورد خوبی از تجمع املاح در نیمرخ خاک به دست آورد (Van Dam, et al., 1997).

برای تصمیم‌گیری‌های درست کشاورزی در مراحل مختلف رشد به‌خصوص در شرایط شوری آب آبیاری به اطلاعات گسترده‌ای نیاز است و تولید داده‌های جدید به‌وسیله روش‌های تحقیقاتی کشاورزی متداول (سنٹی) و استفاده از داده‌های منتشر یافته کافی نیست، بهره‌گیری از مدل‌های گیاهی از جمله مدل SWAP به منظور شبیه‌سازی رشد و عملکرد گیاه سورگوم دانه‌ای با مدیریت آبیاری شور و شیرین در اقلیم خشک و نیمه خشک ایران برای رسیدن به بالاترین عملکرد محصول در شرایط شوری آب ضروری است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۳۹۳ به‌منظور بررسی تأثیر کاربرد آبیاری تلفیقی بر مقدار کاتیون‌ها و آنیون‌های عصاره اشباع خاک در مزرعه چاه اناری دانشگاه صنعتی اصفهان انجام شد. این منطقه در موقعیت جغرافیایی ۳۲ درجه و ۴۲ دقیقه شمالی و ۵۱ درجه و ۳۲ دقیقه شرقی با ارتفاع ۱۶۴۵ متری از سطح دریا قرار دارد. این منطقه براساس تقسیم‌بندی کوپن، دارای آب و هوای نیمه‌خشک و خنک با تابستان-های خشک و کمی گرم است. همچنین بر اساس تقسیم‌بندی ترنت وایت دارای آب و هوای خشک است. براساس آمار ۴۰ سال گذشته در این منطقه، میانگین دمای سالیانه هوا ۱۵/۲ سلیسوس، میانگین کمینه دما ۷/۳ و میانگین بیشینه دما ۲۳/۱ درجه سلیسوس است. گرم‌ترین ماه سال تیر و سردترین آن آذرماه، دمای بیشینه و کمینه مطلق به ترتیب ۴۲/۵ و ۱۸/۵- درجه سلیسوس، میزان بارندگی سالیانه درازمدت ۱۵۰/۹ میلی‌متر، بیشترین زمان وقوع بارندگی در ماه‌های آذر، دی، بهمن و اسفند است. بیشینه بارندگی ۲۴ ساعته ۵۲/۵ میلی‌متر بوده و تعداد روزهای یخبندان ۸۸ روز در سال است. این

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های فیزیکی خاک مزرعه قبل از کاشت

Table 1- Some physical soil before planting

Depth(cm)	Sand(%)	Silt(%)	Clay(%)	Soil texture	Gravel (%)	Soil density (g/cm ³)	FC(%)	PWP(%)
0-20	50.4	21.8	27.8	Sandy clay loam	38.0	1.57	31.57	15.0
20-40	52.3	20.3	27.4	Sandy clay loam	49.6	1.68	33.71	15.0

جدول ۲- برخی از ویژگی‌های شیمیایی آب آبیاری

Table 2- Some chemical properties irrigation water

	cation (meq/ lit)				anion (meq/ lit)			pH	EC(dS/m)	SAR
	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻			
Saline water	47.7	0.23	6.00	1.20	50.0	0.80	2.90	8.10	5.50	47.7
fresh water	0.88	0.18	1.40	0.40	0.60	2.10	2.10	7.50	0.40	0.88

جدول ۳- برخی از ویژگی‌های شیمیایی عصاره اشباع خاک قبل از کاشت

Table 3- some chemical properties of soil before planting

Depth (cm)	cations (meq/ lit)				anions (meq/ lit)			pH	EC(dS/m)	SAR
	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻				
0-20	12.9	1.72	3.80	1.80	6.00	3.90	8.38	1.42	7.72	
20-40	38.5	4.13	13.4	9.40	22.0	2.90	8.04	4.75	11.4	

پروفیل خاک نیاز به مشخصات لایه‌های خاک نظیر عمق و بافت است.

برای مقایسه داده‌های مزرعه‌ای و خروجی‌های مدل از شاخص‌های مختلف آماری از جمله ضریب تعیین، ریشه میانگین مربعات خطا نرمال شده، و میانگین قدرمطلق خطا استفاده شد. تجزیه واریانس عناصر عصاره اشباع خاک با طرح کاملاً تصادفی و مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD به کمک نرم افزار SAS انجام شد.

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^2}{\sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y}_i)^2} \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y}_i)^2}{N}} \quad (2)$$

$$NRMSE = \frac{RMSE}{\bar{Y}} \quad (3)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^N |Y_i - \bar{Y}_i|}{N} \quad (4)$$

R^2 = ضریب تعیین

RMSE = ریشه میانگین مربعات خطا

NRMSE = ریشه میانگین مربعات خطا نرمال شده

MAE = میانگین قدرمطلق خطا

Y_i = مقادیر اندازه‌گیری شده

مدل SWAP شامل یک مدل اصلی است که به چند زیر برنامه متصل است و از آن‌ها برای انجام کارهای معین استفاده می‌شود. هر زیر مدل شامل یک برنامه اصلی است که این زیر برنامه از بخش‌های استاندارد ساخته شده و زیر برنامه‌های دیگر را فراخوانی می‌کند. فایل کلید شامل اطلاعات کلی نام پروژه، نام ایستگاه، طول و عرض جغرافیایی منطقه، شروع و پایان شبیه‌سازی می‌باشد. فایل اطلاعات هواشناسی شامل داده‌های هواشناسی روزانه تشعشع خورشیدی، دمای حداقل و حداکثر هوا، رطوبت نسبی، سرعت باد و بارش تفصیلی است که از ایستگاه هواشناسی موجود در منطقه دریافت شد. فایل اطلاعات مورد نیاز آبیاری ثابت شامل روز، ماه، عمق آبیاری (mm)، غلظت املاح در آب آبیاری (mg.m³) و نوع آبیاری می‌باشد، که با اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای و آزمایشگاهی در هر آبیاری به دست آمد. داده‌های گیاهی شامل سه نوع فایل گیاه ساده، گیاه تفصیلی و چمن تفصیلی می‌باشد، در این طرح از مدل گیاه ساده استفاده شد. اطلاعات محصول شامل تقویم گیاهی که در آن اطلاعات آبیاری و تاریخ سبز شدن و برداشت گیاه مشخص می‌شود. پارامترهای رشد گیاهی شامل ارتفاع گیاه، عمق ریشه، شاخص سطح برگ در جوانه زنی، بعد از ساقه رفتن، شروع خوشه دهی و پس از تکامل گیاه اندازه‌گیری گردید. داده‌های خاک شامل دو فایل توصیف پروفیل خاک و خصوصیات هیدرولیکی است. برای توصیف

پنج درصد معنی‌دار است. جدول (۶) نتایج تجزیه واریانس غلظت کاتیون‌های عصاره اشباع خاک تحت تأثیر تیمارهای مدیریت آبیاری در انتهای فصل کشت در عمق ۲۰-۰ سانتی‌متری نشان می‌دهد. اثر تیمارهای آزمایشی بر غلظت عناصر سدیم و کلسیم، مقدار شوری و نسبت جذبی سدیم در سطح یک درصد و عنصر منیزیم در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. اما عنصر پتاسیم تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای آزمایشی نداشت. این روند به طور مشابه در ۵۰ روز پس از کشت در بین تیمارهای مختلف مدیریت آبیاری دیده شد. جدول (۷) نتایج تجزیه واریانس غلظت کاتیون‌های عصاره اشباع خاک تحت تأثیر تیمارهای مدیریت آبیاری در انتهای فصل کشت در عمق ۴۰-۲۰ سانتی‌متری را نشان می‌دهد. این جدول مانند جدول (۶) روند معنی‌داری برای همه ی کاتیون‌ها به جز پتاسیم نشان می‌دهد.

$\bar{Y}_i =$ مقادیر شبیه‌سازی شده توسط مدل

$\bar{Y}_i =$ میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده

$N =$ تعداد مشاهدات

نتایج و بحث

جدول (۴) تجزیه واریانس غلظت کاتیون‌های عصاره اشباع خاک تحت تأثیر تیمارهای آبیاری در ۵۰ روز پس از کشت در عمق ۲۰-۰ سانتی‌متری را نشان می‌دهد. غلظت عناصر سدیم، کلسیم، منیزیم، نسبت جذبی سدیم و شوری در سطح یک درصد معنی‌دار شد، اما عنصر پتاسیم اثر معنی‌داری نداشت. جدول (۵) تجزیه واریانس غلظت کاتیون‌های عصاره اشباع خاک تحت تأثیر تیمارهای مدیریت آبیاری در ۵۰ روز پس از کشت در عمق ۴۰-۲۰ سانتی‌متری را نشان می‌دهد. اثر تیمار آزمایشی بر غلظت عنصر سدیم در سطح یک درصد، شوری، نسبت جذبی سدیم و غلظت عناصر کلسیم و منیزیم در سطح

جدول ۴- تجزیه واریانس غلظت کاتیون‌های عصاره اشباع خاک تحت تأثیر تیمارهای مدیریت آبیاری در ۵۰ روز پس از کشت در عمق ۲۰-۰ سانتی‌متری

Table 4- Soil cations concentration analysis of variance under the influence of different irrigation management in depth 0-20cm 50 days planting

Variations sources	Degrees of freedom	Mean squares					
		Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	EC	SAR
Treatment	3	390**	0.129 ^{ns}	12.8**	1.40**	5.02**	94.3**
Replication	2	2.60 ^{ns}	0.175 ^{ns}	0.310 ^{ns}	0.040 ^{ns}	0.116 ^{ns}	2.07 ^{ns}
Error	6	7.53	0.043	0.963	0.137	0.404	7.08

**significant level of 1%, * significant level of 5% and ns not significant

جدول ۵- تجزیه واریانس غلظت کاتیون‌های عصاره اشباع خاک تحت تأثیر تیمارهای مدیریت آبیاری در ۵۰ روز پس از کشت در عمق ۴۰-۲۰ سانتی‌متری

Table 5- Soil cations concentration analysis of variance under the influence of different irrigation management in depth 20-40cm 50 days planting

Variations sources	Degrees of freedom	Mean squares					
		Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	EC	SAR
Treatment	3	440**	0.044 ^{ns}	8.20*	4.58*	4.02*	78.6*
Replication	2	43.8 ^{ns}	0.058 ^{ns}	3.79 ^{ns}	0.670 ^{ns}	3.13 ^{ns}	4.72 ^{ns}
Error	6	25.6	0.043	1.67	0.794	0.720	9.46

**significant level of 1%, * significant level of 5% and ns not significant

جدول ۶- تجزیه واریانس غلظت کاتیون‌های عصاره اشباع خاک تحت تأثیر تیمارهای مدیریت آبیاری در انتهای فصل کشت در عمق ۲۰-۰ سانتی‌متری

Table 6- Soil cations concentration analysis of variance under the different irrigation management in depth of 0-20cm at the end of growth season

Variations sources	Degrees of freedom	Mean squares					
		Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	EC	SAR
Treatment	4	965**	0.140 ^{ns}	11.01**	1.50*	4.90**	243**
Replication	2	0.762 ^{ns}	0.365 ^{ns}	1.08 ^{ns}	0.141 ^{ns}	0.277 ^{ns}	3.01 ^{ns}
Error	8	38.3	0.210	0.777	0.344	0.590	10.3

**significant level of 1%, * significant level of 5% and ns not significant

جدول ۷- تجزیه واریانس غلظت کاتیون‌های عصاره اشباع خاک تحت تاثیر تیمارهای مدیریت آبیاری در انتهای فصل کشت در عمق ۲۰-۴۰ سانتی‌متری

Table 7 - soil cations concentration analysis of variance under the different irrigation management in depth of 20-40cm at the end of growth season

Variations Source	Degrees of freedom	Mean squares					
		Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	EC	SAR
Treatment	4	1938**	0.219 ^{ns}	139**	69.8*	23.8**	130**
Replication	2	36.10 ^{ns}	0.125 ^{ns}	15.3 ^{ns}	3.12 ^{ns}	4.46 ^{ns}	14.0 ^{ns}
Error	8	28.10	0.366	10.1	11.8	1.30	7.70

**significant level of 1%, * significant level of 5% and ns not significant

همه‌ی تیمارهای مدیریت آبیاری روند کاهشی و در انتهای فصل به جز تیمار شور در سایر تیمارهای مدیریت آبیاری روند کاهشی داشت. جدول (۱۱) درصد تغییرات میانگین غلظت منیزیم عصاره اشباع خاک (میلی‌اکی‌والانت بر لیتر) ۵۰ روز پس از کاشت و انتهای فصل نسبت به ابتدای فصل در دو عمق ۲۰-۴۰ و ۲۰-۴۰ سانتی‌متری را نشان می‌دهد. میانگین غلظت منیزیم عصاره اشباع خاک در مدیریت‌های آبیاری تفاوت معنی‌داری در ۵۰ روز پس از کاشت و در انتهای فصل در دو عمق ۲۰-۴۰ و ۲۰-۴۰ سانتی‌متری داشت. تغییرات غلظت منیزیم عصاره اشباع خاک ۵۰ روز پس از کاشت در عمق ۲۰-۴۰ سانتی‌متری در تیمار شیرین و شوری انتهای فصل روند کاهشی و در سایر تیمارهای مدیریت آبیاری روند افزایشی و در انتهای فصل کشت در تیمار شیرین روند کاهشی و در سایر تیمارهای مدیریت آبیاری روند افزایشی داشت. تغییرات غلظت منیزیم عصاره اشباع خاک ۵۰ روز پس از کاشت در عمق ۲۰-۴۰ سانتی‌متری در تیمار شیرین و شوری انتهای فصل روند کاهشی و در سایر تیمارهای مدیریت آبیاری روند افزایشی داشت. تغییرات غلظت منیزیم عصاره اشباع خاک ۵۰ روز پس از کاشت در عمق ۲۰-۴۰ سانتی‌متری در تیمار شیرین و شوری انتهای فصل روند کاهشی و در سایر تیمارهای مدیریت آبیاری روند افزایشی داشت. جدول (۱۲) درصد تغییرات میانگین شوری عصاره اشباع خاک (دسی‌زیمنس بر متر) ۵۰ روز پس از کاشت و انتهای فصل نسبت به ابتدای فصل در دو عمق ۲۰-۴۰ و ۲۰-۴۰ سانتی‌متری را نشان می‌دهد. میانگین کل املاح (شوری) عصاره اشباع خاک در مدیریت‌های آبیاری تفاوت معنی‌داری در ۵۰ روز پس از کاشت و در انتهای فصل در دو عمق ۲۰-۴۰ و ۲۰-۴۰ سانتی‌متری داشت. تغییرات شوری عصاره اشباع خاک ۵۰ روز پس از کاشت در عمق ۲۰-۴۰ سانتی‌متری در تیمار شیرین و شوری انتهای فصل روند کاهشی و در سایر تیمارهای مدیریت آبیاری روند افزایشی و در انتهای فصل کشت در تیمار شیرین روند کاهشی و در سایر تیمارهای مدیریت آبیاری روند افزایشی داشت. تغییرات شوری عصاره اشباع خاک ۵۰ روز پس از کاشت در عمق ۲۰-۴۰ سانتی‌متری در همه‌ی تیمارهای مدیریت آبیاری روند کاهشی و در انتهای فصل در تیمار شیرین، تلفیقی و شوری انتهای فصل روند کاهشی و در تیمار شور و یک درمیان روند افزایشی داشت. جدول (۱۳) درصد تغییرات میانگین نسبت جذبی سدیم عصاره اشباع خاک ۵۰ روز پس از کاشت و انتهای فصل نسبت به ابتدای فصل در دو عمق ۲۰-۴۰ و ۲۰-۴۰ سانتی‌متری را نشان می‌دهد. میانگین نسبت جذبی سدیم (SAR)

جدول (۸) درصد تغییرات میانگین غلظت سدیم عصاره اشباع خاک (میلی‌اکی‌والانت بر لیتر) ۵۰ روز پس از کاشت و انتهای فصل نسبت به ابتدای فصل در دو عمق ۲۰-۴۰ و ۲۰-۴۰ سانتی‌متری را نشان می‌دهد. میانگین غلظت سدیم عصاره اشباع خاک در مدیریت‌های آبیاری تفاوت معنی‌داری در ۵۰ روز پس از کاشت و در انتهای فصل در دو عمق ۲۰-۴۰ و ۲۰-۴۰ سانتی‌متری داشت. تغییرات غلظت سدیم عصاره اشباع خاک ۵۰ روز پس از کاشت در عمق ۲۰-۴۰ سانتی‌متری در تیمار شیرین و شوری انتهای فصل روند کاهشی و تیمار شور، یک درمیان و تلفیقی روند افزایشی و در انتهای فصل کشت در تیمار شیرین روند کاهشی و در سایر تیمارها روند افزایشی داشت. تغییرات غلظت سدیم عصاره اشباع خاک ۵۰ روز پس از کاشت در عمق ۲۰-۴۰ سانتی‌متری در همه‌ی تیمارهای مدیریت آبیاری روند کاهشی و در انتهای فصل به جز تیمار شیرین در سایر تیمارها روند کاهشی داشت. جدول (۹) درصد تغییرات میانگین غلظت پتاسیم عصاره اشباع خاک (میلی‌اکی‌والانت بر لیتر) ۵۰ روز پس از کاشت و انتهای فصل نسبت به ابتدای فصل در دو عمق ۲۰-۴۰ و ۲۰-۴۰ سانتی‌متری را نشان می‌دهد. میانگین غلظت پتاسیم عصاره اشباع خاک در مدیریت‌های آبیاری تفاوت معنی‌داری در ۵۰ روز پس از کاشت و در انتهای فصل در دو عمق ۲۰-۴۰ و ۲۰-۴۰ سانتی‌متری نداشت. تغییرات غلظت پتاسیم عصاره اشباع خاک ۵۰ روز پس از کاشت و انتهای فصل در دو عمق ۲۰-۴۰ و ۲۰-۴۰ سانتی‌متری در همه‌ی تیمارهای مدیریت آبیاری روند کاهشی داشت. جدول (۱۰) درصد تغییرات میانگین غلظت کلسیم عصاره اشباع خاک (میلی‌اکی‌والانت بر لیتر) ۵۰ روز پس از کاشت و انتهای فصل نسبت به ابتدای فصل در دو عمق ۲۰-۴۰ و ۲۰-۴۰ سانتی‌متری را نشان می‌دهد. میانگین غلظت کلسیم عصاره اشباع خاک در مدیریت‌های آبیاری تفاوت معنی‌داری در ۵۰ روز پس از کاشت و در انتهای فصل در دو عمق ۲۰-۴۰ و ۲۰-۴۰ سانتی‌متری داشت. تغییرات غلظت کلسیم عصاره اشباع خاک ۵۰ روز پس از کاشت و در عمق ۲۰-۴۰ سانتی‌متری در تیمار یک درمیان روند کاهشی و در سایر تیمارهای مدیریت آبیاری روند افزایشی و در انتهای فصل کشت در تیمار شیرین و تلفیقی روند کاهشی و در سایر تیمارهای مدیریت آبیاری روند افزایشی داشت. تغییرات غلظت کلسیم عصاره اشباع خاک ۵۰ روز پس از کاشت در عمق ۲۰-۴۰ سانتی‌متری در

شیرین روند کاهشی و در سایر تیمارهای مدیریت آبیاری روند افزایشی داشت. تغییرات شوری عصاره اشباع خاک ۵۰ روز پس از کاشت در عمق ۲۰-۴۰ سانتی‌متری در همه تیمارهای مدیریت آبیاری به جز تیمار شور روند کاهشی و در انتهای فصل در تیمار شیرین، یک درمیان و شوری انتهای فصل روند کاهشی و در تیمار شور و تلفیقی روند افزایشی داشت.

عصاره اشباع خاک در مدیریت‌های آبیاری تفاوت معنی‌داری در ۵۰ روز پس از کاشت و در انتهای فصل در دو عمق ۲۰-۴۰ و ۲۰-۴۰ سانتی‌متری داشت. تغییرات نسبت جذبی سدیم عصاره اشباع خاک ۵۰ روز پس از کاشت در عمق ۲۰-۴۰ سانتی‌متری در تیمار شیرین و شوری انتهای فصل روند کاهشی و در سایر تیمارهای مدیریت آبیاری روند افزایشی و در انتهای فصل کشت در تیمار

جدول ۸- میانگین غلظت سدیم خاک و درصد تغییرات آن ۵۰ روز پس از کاشت و انتهای فصل نسبت به ابتدای فصل در دو عمق ۲۰-۴۰ و ۴۰-۶۰ سانتی‌متری

Table 8- Average of soil Sodium concentration and its variation ratio 50 days after planting and at the end of growth season compared to the beginning of the season at two depths of 0-20 and 20-40 cm

Irrigation management treatment	Depth 0-20 cm				Depth 20-40 cm			
	50 days after planting (meq/lit)	*Variation ratio	End of season (meq/lit)	**Variation ratio	50 days after planting (meq/lit)	Variation ratio	End of season (meq/lit)	Variation ratio
Fresh water	3.30 ^c	-72.5%	3.40 ^c	-71.6%	3.03 ^c	-92.1%	4.50 ^c	-88.3%
Saline water	30.5 ^a	154%	53.8 ^a	317%	31.9 ^a	-17.1%	74.1 ^a	92.4%
Alternate irrigation	17.3 ^b	44.1%	29.9 ^b	149%	32.2 ^{ab}	-16.1%	32.2 ^b	-17.9%
Conjunctive irrigation	22.4 ^b	86.6%	29.7 ^b	131%	20.5 ^b	-46.7%	31.3 ^b	-18.9%
Salinity the end of the season	3.40 ^c	-71.6%	28.1 ^c	117%	3.10 ^c	-92.1%	24.4 ^c	-36.6%

*Variation ratio = (Na 50 days after planting – initial Na) / initial Na

**Variation ratio = (Na end of season – initial Na) / initial Na

initial Na₀₋₂₀ = 12.9 meq/lit and initial Na₂₀₋₄₀ = 4.45 meq/ lit

جدول ۹- میانگین غلظت پتاسیم خاک و درصد تغییرات آن ۵۰ روز پس از کاشت و انتهای فصل نسبت به ابتدای فصل در دو عمق ۲۰-۴۰ و ۴۰-۶۰ سانتی‌متری

Table 9- Average of soil Potassium concentration and its variation ratio 50 days after planting and at the end of growth season compared to the beginning of the season at two depths of 0-20 and 20-40 cm

Irrigation management treatment	Depth 0-20 cm				Depth 20-40 cm			
	50 days after planting (meq/lit)	*Variation ratio	End of season (meq/lit)	**Variation ratio	50 days after planting (meq/lit)	Variation ratio	End of season (meq/lit)	Variation ratio
Fresh water	1.23 ^{ab}	-28.4%	1.43 ^a	-16.8%	1.06 ^a	-74.1%	1.26 ^a	-69.2%
Saline water	1.50 ^{ab}	-12.8%	1.63 ^a	-5.23%	1.33 ^a	-67.5%	1.28 ^a	-68.7%
Alternate irrigation	1.14 ^b	-33.7%	1.70 ^a	-1.16%	1.55 ^a	-62.2%	1.61 ^a	-61%
Conjunctive irrigation	1.56 ^a	-9.30%	1.61 ^a	-6.40%	1.02 ^a	-68.5%	1.41 ^a	-65.6%
Salinity the end of the season	1.25 ^{ab}	-27.3%	1.63 ^a	-1.56%	1.29 ^a	-67.5%	1.91 ^a	-53.4%

*Variation ratio = (K 50 days after planting – initial K) / initial K

**Variation ratio = (K end of season – initial K) / initial K

initial K₀₋₂₀ = 1.72 meq/ lit and initial K₂₀₋₄₀ = 4.1 meq/ lit

جدول ۱۰- میانگین غلظت کلسیم خاک و درصد تغییرات آن ۵۰ روز پس از کاشت و انتهای فصل نسبت به ابتدای فصل در دو عمق ۲۰- و ۴۰- سانتی متری

Table 10- Average of soil Calcium concentration and its variation ratio 50 days after planting and at the end of growth season compared to the beginning of the season at two depths of 0-20 and 20-40 cm

Irrigation management treatment	Depth 0-20 cm				Depth 20-40 cm			
	50 days after planting (meq/lit)	*Variation ratio	End of season (meq/lit)	**Variation ratio	50 days after planting (meq/lit)	Variation ratio	End of season (meq/lit)	Variation ratio
Fresh water	3.86 ^{bc}	1.57%	2.40 ^b	-36.8%	3.73 ^b	-71.1%	2.53 ^c	-81.8%
Saline water	7.60 ^a	100%	7.46 ^a	96.3%	7.66 ^a	-42.8%	21.3 ^a	59.1%
Alternate irrigation	2.86 ^b	-25.9%	3.83 ^b	0.789%	6.23 ^{ab}	-53.5%	10.8 ^b	-19.4%
Conjunctive irrigation	5.46 ^b	43.6%	3.66 ^b	-3.68%	5.26 ^{ab}	-60.7%	8.33 ^{bc}	-37.8%
Salinity the end of the season	4.90 ^{bc}	2.63%	3.60 ^b	5.26%	3.80 ^b	-72.6%	10.9 ^b	-18.4%

*Variation ratio = (Ca 50 days after planting - initial Ca) / initial Ca

**Variation ratio = (Ca end of season - initial Na) / initial Ca

initial Ca₀₋₂₀ = 3.80 meq/ lit and initial Ca₂₀₋₄₀ = 13.4 meq/ lit

جدول ۱۱- میانگین غلظت منیزیم خاک و درصد تغییرات آن ۵۰ روز پس از کاشت و انتهای فصل نسبت به ابتدای فصل در دو عمق ۲۰- و ۴۰- سانتی متری

Table 11- Average of soil Magnesium concentration and its variation ratio 50 days after planting and at the end of growth season compared to the beginning of the season at two depths of 0-20 and 20-40 cm

Irrigation management treatment	Depth 0-20 cm				Depth 20-40 cm			
	50 days after planting (meq/lit)	*Variation ratio	End of season (meq/lit)	**Variation ratio	50 days after planting (meq/lit)	Variation ratio	End of season (meq/lit)	Variation ratio
Fresh water	1.33 ^{3c}	-26.1%	1.33 ^c	-26.1%	1.46 ^b	-84.0%	1.46 ^c	-
Saline water	2.86 ^a	58.8%	3.16 ^a	75.5%	4.33 ^a	-53.9%	14.8 ^a	84.4%
Alternate irrigation	1.86 ^c	3.30%	2.33 ^{abc}	29.4%	3.75 ^a	-60.3%	8.00 ^b	57.4%
Conjunctive irrigation	2.53 ^{ab}	40.5%	2.67 ^{ab}	48.3%	3.06 ^{ab}	-67.4%	5.73 ^{bc}	-
Salinity the end of the season	1.40 ^c	-22.2%	1.86 ^{bc}	3.30%	1.50 ^b	-84.4%	7.80 ^{bc}	39.0%

*Variation ratio = (Mg 50 days after planting - initial Mg) / initial Mg

**Variation ratio = (Mg end of season - initial Na) / initial Mg

initial Mg₀₋₂₀ = 1.80 meq/ lit and initial Mg₂₀₋₄₀ = 9.4 meq/ lit

جدول ۱۲- میانگین شوری خاک و درصد تغییرات آن ۵۰ روز پس از کاشت و انتهای فصل نسبت به ابتدای فصل در دو عمق ۲۰- و ۴۰- سانتی متری

Table 12- Average of soil EC and its variation ratio 50 days after planting and at the end of growth season compared to the beginning of the season at two depths of 0-20 and 20-40 cm

Irrigation management treatment	Depth 0-20 cm				Depth 20-40 cm			
	50 days after planting (dS/m)	*Variation ratio	End of season (dS/m)	**Variation ratio	50 days after planting (dS/m)	Variation ratio	End of season (dS/m)	Variation ratio
Fresh water	0.84 ^c	-40.1 %	0.8 ^c	-43.6 %	0.88 ^b	-81.4 %	1.1 ^c	-76.8 %
Saline water	3.89 ^a	169 %	4.18 ^a	194 %	3.65 ^a	-23.1 %	8.90 ^a	78.3 %
Alternate irrigation	1.59 ^{bc}	12.0 %	2.94 ^b	107 %	2.79 ^a	-41.2 %	5.53 ^b	2.50 %
Conjunctive irrigation	2.43 ^b	71.1 %	2.94 ^b	107 %	3.27 ^{ab}	-50.1 %	4.63 ^b	-16.4 %
Salinity the end of the season	0.85 ^c	-40.0 %	3.59 ^a	178 %	0.90 ^b	-81.0 %	4.38 ^b	-7.70 %

*Variation ratio = (ECe 50 days after planting - initial ECe) / initial ECe

**Variation ratio = (ECe end of season - initial ECe) / initial ECe

initial ECe₀₋₂₀ = 1.47 dS/m and initial ECe₂₀₋₄₀ = 4.75 dS/m

جدول ۱۳- میانگین نسبت جذبی سدیم خاک و درصد تغییرات آن ۵۰ روز پس از کاشت و انتهای فصل نسبت به ابتدای فصل در دو عمق ۲۰-۴۰ و ۰-۲۰ سانتی متری

Table 13- Average of soil SAR and its variation ratio 50 days after planting and at the end of growth season compared to the beginning of the season at two depths of 0-20 and 20-40 cm

Irrigation management treatment	Depth 0-20 cm				Depth 20-40 cm			
	50 days after planting	*Variation ratio	End of season	**Variation ratio	50 days after planting	Variation ratio	End of season	Variation ratio
Fresh water	2.10 ^c	-72.7 %	2.35 ^c	-69.6 %	1.84 ^c	-83.8 %	3.30 ^d	-16.9%
Saline water	15.2 ^a	96.8 %	27.0 ^a	249 %	14.7 ^a	28.9 %	20.6 ^a	80.7 %
Alternate irrigation	12.0 ^b	66.7 %	18.4 ^b	138 %	10.5 ^b	-7.89 %	10.4 ^{bc}	-8.77 %
Conjunctive irrigation	11.0 ^b	18.4 %	16.7 ^b	116 %	9.87 ^b	-13.4 %	13.2 ^b	15.7 %
Salinity the end of the season	2.27 ^c	-70.5 %	12.5 ^b	61.9 %	1.90 ^c	-83.3 %	7.24 ^{cd}	-36.5 %

*Variation ratio = (SAR 50 days after planting - initial SAR) / initial SAR

**Variation ratio = (SAR end of season - initial SAR) / initial SAR
initial SAR₀₋₂₀ = 7.72 and initial SAR₂₀₋₄₀ = 11.4

غلظت ۲۳/۸ میلی گرم در گرم وزن ماده خشک در تیمار آب شور ۳۱/۷ درصد، تیمار یک درمیان ۱۴/۹ درصد، تیمار آبیاری تلفیقی ۹/۹۴ درصد و آبیاری با آب شور انتهای فصل ۸/۲۸ درصد افزایش یافت. تأثیر تیمارهای آبیاری بر غلظت سدیم دانه در سطح احتمال یک درصد از لحاظ آماری معنی دار شد. غلظت سدیم دانه در مقایسه با تیمار آبیاری با آب شیرین با غلظت ۱۲/۵ میلی گرم در گرم وزن ماده خشک در تیمار آب شور ۶۹/۶ درصد، تیمار یک درمیان ۸/۰۰ درصد افزایش اما در تیمار آبیاری تلفیقی ۹/۶۰ درصد و شوری انتهای فصل ۳/۲۰ درصد کاهش یافت. نتایج مقایسه میانگین غلظت عناصر سدیم و پتاسیم محصول تحت تأثیر مدیریت های مختلف آبیاری در جدول (۱۵) قابل مشاهده است.

خروجی نمک پیش بینی شده توسط مدل

مقایسه نمک خروجی از ناحیه ریشه توسط مدل SWAP و اندازه گیری های مزرعه ای در شکل های (۱) و (۲) در میانه و انتهای فصل قابل مشاهده است. مدل مقدار نمک خروجی از ناحیه ریشه را بیشتر از مقدار واقعی برآورد کرده است در تیمار آب شیرین این اختلاف بیشتر قابل مشاهده است. در میانه فصل این اختلاف بیشتر از انتهای فصل می باشد چون در انتهای فصل تعداد داده های وارد شده در مدل بیشتر از میانه فصل است مدل شبیه سازی بهتری را در انتهای فصل انجام می دهد. نتایج ارزیابی شاخص های آماری شبیه سازی نمک خروجی توسط مدل SWAP نشان داد ضریب تعیین (R^2) ۵۰ روز پس از کاشت ۰/۷۵ و در انتهای فصل ۰/۸۱، مقدار میانگین ریشه دوم خطا (NRMSE) ۵۰ روز پس از کاشت ۰/۰۹۲ و در انتهای فصل کشت ۰/۰۵۸ و میانگین قدر مطلق خطاها (MAE) ۵۰ روز پس از کاشت ۰/۳۵ و در انتهای فصل کشت ۰/۲۳ به دست آمد.

در تحقیقی که (Qaeda et al., 2015) در دشت سیستان انجام دادند پنج روش تلفیق آب شور و غیر شور بررسی شد نتایج حاصل این بود که تیمار یک سوم شوری از نظر تعدیل شوری در نیمرخ خاک بهترین تیمار بود. این تیمار به دلیل جایگزینی حجم زیاد آب غیر شور با آب شور در لایه های فوقانی خاک اثر تنش آب شور را تعدیل یافته و محیط اطراف ریشه با تنش کمتری روبه رو شد (Qaeda, et al., 2015). در تحقیق حاضر نیز تیمار آبیاری یک درمیان با توجه به این که کمترین مقدار تغییر شوری نیمرخ خاک در عمق ۲۰-۴۰ سانتی متری خاک به میزان ۲/۵ درصد داشت جدول (۱۲) به عنوان تیمار بهینه معرفی می شود. به منظور ارزیابی تأثیر شوری بر مقدار عناصر معدنی بافت گیاهی، مقادیر غلظت سدیم و پتاسیم اندازه گیری شد. نتایج تجزیه واریانس در جدول (۱۴) نشان داد که مقدار پتاسیم اندام هوایی در سطح پنج درصد و پتاسیم دانه، سدیم اندام هوایی و سدیم دانه در سطح احتمال یک درصد معنی دار است. تأثیر تیمارهای مدیریت آبیاری بر غلظت پتاسیم اندام هوایی در سطح احتمال پنج درصد از لحاظ آماری معنی دار شد. غلظت پتاسیم اندام هوایی در مقایسه با تیمار آبیاری با آب شیرین با غلظت ۰/۴۶۸ میلی گرم در گرم وزن ماده خشک در تیمار آب شور ۳۰/۷ درصد، تیمار یک درمیان ۲۱/۷ درصد، تیمار آبیاری تلفیقی ۱۴/۵ درصد و شوری انتهای فصل ۸/۰۶ درصد کاهش یافت. تأثیر تیمارهای آبیاری بر غلظت پتاسیم دانه در سطح احتمال ۱ درصد از لحاظ آماری معنی دار شد. غلظت پتاسیم دانه در مقایسه با تیمار آبیاری با آب شیرین با غلظت ۰/۴۶۸ میلی گرم در گرم وزن ماده خشک در تیمار آب شور ۱۸/۵ درصد، تیمار آبیاری تلفیقی ۱۵/۸ درصد کاهش، اما تیمار یکی درمیان ۲۱/۵ درصد، و شوری انتهای فصل ۸/۵۴ درصد افزایش یافت. تأثیر تیمارهای آبیاری بر غلظت سدیم اندام هوایی در سطح احتمال یک درصد از لحاظ آماری معنی دار شد. غلظت سدیم اندام هوایی در مقایسه با تیمار آبیاری با آب شیرین با

جدول ۱۴- تجزیه واریانس عناصر سدیم و پتاسیم محصول تحت تاثیر تیمارهای آبیاری

Table 14- Crop sodium and potassium analysis of variance under the different irrigation managements

Variations Source	Degrees of freedom	Mean squares			
		Potassium of shoot	Potassium of grain	Sodium of shoot	sodium of grain
Treatment	3	0.23*	0.018**	13.5**	104**
Replication	2	0.005 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.440 ^{ns}	2.52 ^{ns}
Error	8	0.004	0.002	1.46	1.61

**significant level of 1%, * significant level of 5% and ns not significant

جدول ۱۵- مقایسه میانگین غلظت عناصر سدیم و پتاسیم محصول تحت تاثیر مدیریت های مختلف آبیاری

Table 15- Comparison of the mean crop sodium and potassium concentration under the influence of different irrigation managements

Irrigation management	Sodium concentration (mg/g DW)		Potassium concentration (mg/g DW)	
	shoot	Grain	shoot	Grain
Fresh water	18.1 ^c	12.5 ^b	0.744 ^a	0.468 ^{bc}
Saline water	23.8 ^a	21.2 ^a	0.515 ^c	0.381 ^d
Alternate irrigation	20.8 ^a	13.5 ^b	0.582 ^{bc}	0.569 ^a
Conjunctive irrigation	19.9 ^{bc}	11.3 ^b	0.636 ^{abc}	0.394 ^{cd}
Salinity the end of the season	19.6 ^{bc}	12.1 ^b	0.684 ^{ab}	0.508 ^{ab}

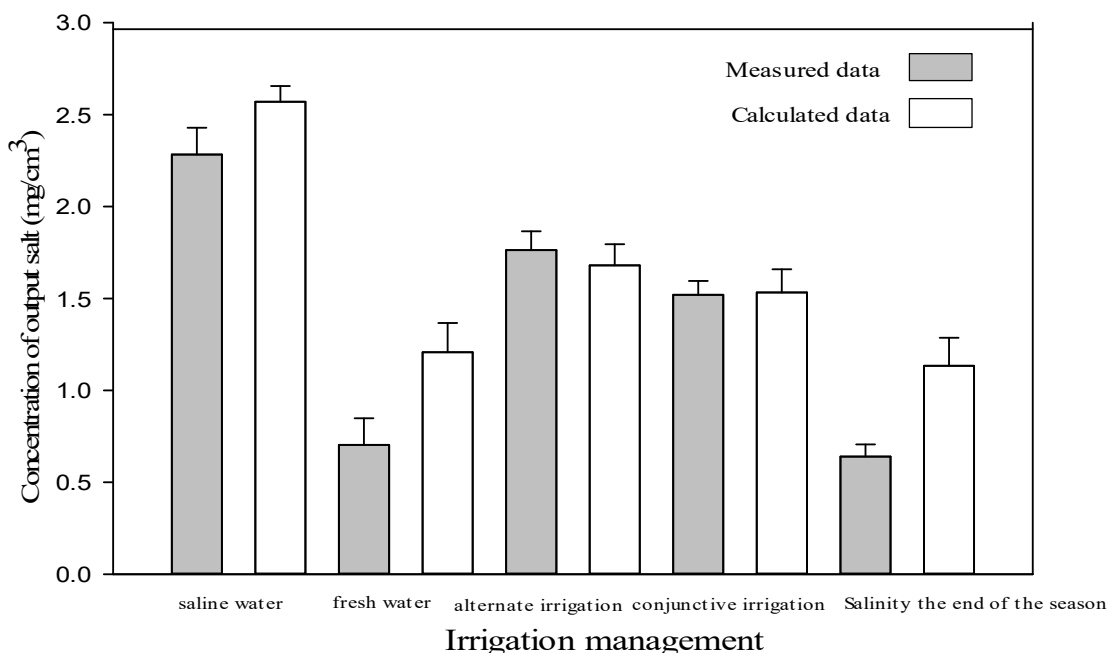


Fig. 1- Comparison between the mean and standard error of measured and calculated salt concentration at the end of root zone 50 days after planting

شکل ۱- مقایسه میانگین و خطای استاندارد غلظت نمک خروجی اندازه گیری شده از ناحیه ریشه با داده های محاسبه شده پس از ۵۰ روز از کاشت

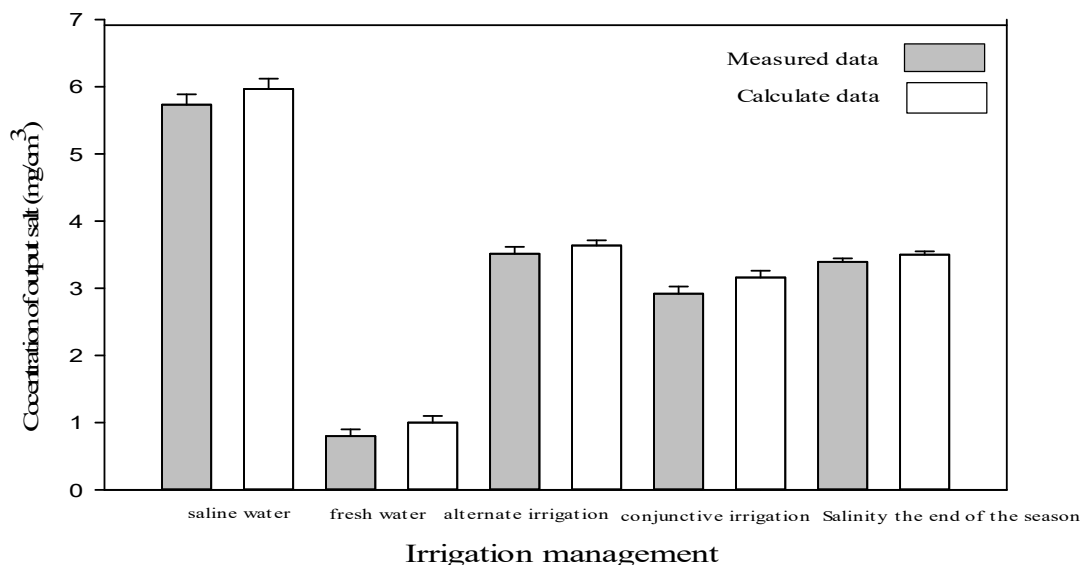


Fig. 2- Comparison between the mean and standard error of measured and calculated salt concentration from the end of root zone at the end of growth season

شکل ۲- مقایسه میانگین و خطای استاندارد غلظت نمک خروجی اندازه گیری شده از ناحیه ریشه با داده‌های محاسبه شده آن در انتهای فصل کاشت

نسبت به آبیاری تلفیقی ارجحیت دارد. افزایش شوری عصاره اشباع خاک تأثیر معنادار افزایش بر غلظت سدیم اندام هوایی و دانه گیاه سورگوم داشت. در صورتی که این تأثیر روند معنادار کاهش را در مورد پتانسیم اندام هوایی و دانه گیاه سورگوم داشت. شبیه‌سازی مدل در انتهای فصل کشت بهتر از میانه فصل کشت بود. شاخص‌های آماری نشان داد که مدل قابلیت شبیه‌سازی نمک خروجی از ناحیه ریشه را به خوبی داراست.

تشکر و قدردانی

مؤلفین از دانشگاه صنعتی اصفهان بخاطر حمایت‌های مالی از این پژوهش قدردانی می‌کنند.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق شوری خارج شده از منطقه ریشه تحت پنج مدیریت آبیاری با استفاده از مدل SWAP شبیه‌سازی شد نتایج نشان داد که در بین تیمارهای مدیریت آبیاری کمترین و بیشترین مقدار تغییر املاح عصاره اشباع خاک در ۵۰ روز پس از کاشت و در انتهای فصل کشت نسبت به ابتدای فصل کشت به ترتیب مربوط به تیمار آبیاری یک درمیان و آبیاری با آب شور بود. در تیمار آبیاری با آب شور روند تغییرات افزایشی و در تیمار آبیاری با آب شیرین روند تغییرات کاهش‌ی بود. با توجه به این که درصد تغییرات شوری عصاره اشباع خاک (EC) در تیمار آبیاری یک درمیان کمتر از تیمار آبیاری تلفیقی بود. چنان‌چه بخواهیم تعادل املاح خاک در طول فصل کشت حفظ شود آبیاری یک درمیان

References

- 1- Amer, K.H., 2010. Corn crop response under managing different irrigation and salinity levels. *Agricultural Water Management*, 97(10), pp.1553-1563.
- 2-Aslam, M., Prathapar, S.A., 2006. *Strategies to mitigate secondary salinization in the Indus Basin of Pakistan: a selective review* (Vol. 97). IWMI.
- 3-Bauder, T. A., R. M. Waskom, and J. G. Davis. 2006. Irrigation water quality criteria. Colorado State University Cooperative Extension Fact Sheet 0.506.
- 4- Evans, L., 2006. Salinity tolerance in irrigated crops. report, *New South Wales Department of Primary Industries, New South Wales, Australia*.

- 5-Hamdy, A., Abdel-Dayem, S. and Abu-Zeid, M., 1993. Saline water management for optimum crop production. *Agricultural Water Management*, 24(3), pp.189-203.
- 6- Kroes, J.G. and Van Dam J. C., 2003. *Reference Manual SWAP version 3.0.3 Alterra-report 773*, Alterra, Green World Research, Wageningen, 211p.
- 7- Munns, R., 2005. Genes and salt tolerance: bringing them together. *New Phytologist*, 167(3), pp.645-663.
- 8- Qaeda, S., P. Afrasyab and Leyahat. A. , 2015. Consolidated use of salt and non-saline water in sorghum and sunflower cultivation in Sistan plain. *Iranian Journal of Soil and Water Research*. 46 (2): 23-27.(in persian)
- 9- Qureshi, A.S., Turrall, H. and Masih, I., 2004. Strategies for the management of conjunctive use of surface water and groundwater resources in semi-arid areas: a case study from Pakistan (Vol. 86). IWMI.
- 10- Ryan, J., Estefan, G. and Rashid, A., 2007. *Soil and plant analysis laboratory manual*. ICARDA.
- 11- Skaggs, T.H., van Genuchten, M.T., Shouse, P.J. and Poss, J.A., 2006. Macroscopic approaches to root water uptake as a function of water and salinity stress. *Agricultural Water Management*, 86(1), pp.140-149.
- 12- van Dam, J. C., J. Huygen, J. G. Wesseling, R. A. Fedds, P. Kabat, P. E. V. Van Walsum, P. Groenendijk and C.A. Van Diepen, 1997. SWAP version 2.0, Theory. *Simulation of water flow, solute transport and plant growth in the Soil-Water-Atmosphere-Plant environment*, Department Water Resources, Wageningen Agricultural University. 167p.