

Research Paper

Field Evaluation of Water Uptake Models Under Conjunctive Salinity and Water Stress Conditions in Semi-dry Region by Wheat (Case study: Birjand)

Mohammad Javad Nahvinia^{1*},Saeed Sharafi²,Mahdi Mohammadi Ghaleni³

¹ Assistant professor, Department of Water and Sciences Engineering, Faculty of Agriculture and Environmental, Arak University, Arak, Iran

² Assistant professor, Department of Environment and Sciences Engineering, Faculty of Agriculture and Environmental, Arak University, Arak, Iran

³ Assistant professor, Department of Water and Sciences Engineering, Faculty of Agriculture and Environmental, Arak University, Arak, Iran



10.22125/IWE.2023.173243

Received:
May 6, 2022
Accepted:
July 11, 2022
Available online:
June 25, 2023

Keywords:
Birjand, Drought,
Salinity, Wheat

Abstract

In order to evaluate the efficiency of six different macroscopic water uptake functions, consisted of additive (M_1), multiplicative (M_2 , M_3 and M_4) and conceptual (M_5 and M_6) models using field data of Ghods cultivar of wheat under salinity and drought stress, a study was conducted in the research field of university of Birjand during 2005-06 in split plots design based on randomized complete blocks (RCBD) with three replications. In this study, the main plots consisted of different levels of salinity (1.4, 4.5 and 9.6 ds m⁻¹) and sub plots consisted of four levels of irrigation (50, 75, 100 and 120 percent of crop water requirement). The results showed that the additive model (M_1) estimated yield less than actual amount. In other word, the effect of combined stresses on wheat yield was less than the one as compared to summation effects of salinity and water stress. The effect of drought stress on reduction of yield was more than salinity stress. The results also revealed that reduction functions of M_6 and M_5 models were better fitness to measured data than the other functions. The results revealed that M_6 model estimated the reduction of relative yield of wheat under simultaneous stresses conditions of salinity and drought better than other models (RMSD=0.17), although the M_5 model also had acceptable accuracy (RMSD = 0.22).

1. Introduction

Introduction, in arid and semi-arid regions, in most cases, plants are affected by the simultaneous stress of salinity and drought. plant water uptake models under the conditions of simultaneous salinity and drought stress are divided into three general categories of additive, multipliable and conceptual models. This study was performed to evaluate the performance of different water uptake models by Ghods cultivar of wheat in a field study under simultaneous salinity and drought stress conditions.

* **Corresponding Author:** Mohammad Javad Nahvinia

Address: Department of Environment and Sciences Engineering, Arak University, Arak, Iran

Email: m-nahvinia@araku.ac.ir
Tel: 086-32623702

2. Materials and Methods

This study was conducted in the research field of University of Birjand during 2005-06 in split plots design based on randomized complete blocks (RCBD) with three replications. In this study, the main plots consisted of different levels of salinity (1.4, 4.5 and 9.6 ds m⁻¹) and sub plots consisted of four levels of irrigation (50, 75, 100 and 120 percent of crop water requirement). Then, the efficiency of six different macroscopic water uptake functions, consisted of additive (M₁), multiplicative (M₂, M₃ and M₄) and conceptual (M₅ and M₆) models using field data of Ghods cultivar of wheat under salinity and drought stress, were evaluate by using of Tylor diagram indices.

3. Results

The results of this study showed that the contribution of drought stress in reduction of wheat yield is higher than the share of salinity stress and the combined effect of salinity and drought is less than the summation stresses. The comparison of proposed mathematical models revealed that M₆ model estimated the reduction of relative yield of wheat under simultaneous stresses conditions of salinity and drought better than other models (RMSD=0.17), although the M₅ model also had acceptable accuracy (RMSD = 0.22).

4. Discussion and Conclusion

In general, the structure of the M₄ and M₅ models is the same, but their analytical approach to h₄ is different. The M₄ model considers the value of h₄ to be constant under saline and non-saline conditions. While the M₅ model does not consider the value of h₄ as constant and is calculated in such a way that with increasing salinity, its value occurs at a lower pressure. With increasing salinity in soil profile, plant uptake is less than non-saline conditions, so more moisture remains in the soil profile. Therefore, the basis of the M₅ model analysis is more close to reality. In general, the use of the M₆ model is recommended in comparison to the M₅ model due to its greater accuracy, ease of use, and the need for fewer input variables.

- 1) Hosseini, Y., H. Babazadeh, , and B. Khakpour Arablo. 2015. Evaluating Water Uptake Reduction Functions under Salinity and Water Stress Conditions in Pepper (*Capsicum Annuum*). *Journal of water research agriculture*, 29(4), 509-523.
- 2) Jalali, V., S. A. Kapourchal and M. Homae. 2017. Evaluating performance of macroscopic water uptake models at productive growth stages of durum wheat under saline conditions. *Agricultural Water Management*, 180: 13-21.
- 3) Jamil, A., S. Riaz, , M. Ashraf and MR. Foolad. 2011. Gene expression profiling of plants under saltstress. *Critical Reviews in Plant Sciences*. 30(5): 435-458
- 4) Kubala, S., L. Wojtyla, M. Quinet, K. Lechowska, S. Lutts and M. Garnczarska. 2015. Enhanced expression of the proline synthesis gene P5CSA in relation to seedosmopriming improvement of *Brassica napus* germination under salinity stress. *Journal of Plant Physioligal*. 183: 1–12.
- 5) Saadat, S. and M. Homae. 2015. Modeling sorghum response to irrigation water salinity at early growth stage. *Agricultural Water Management*, 152: 119–124.
- 6) Taylor, K. E. 2001. Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram. *Journal of Geophytes Research*, 106(7): 7183–7192.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

We are grateful to Arak University



ارزیابی میدانی مدل‌های جذب آب در شرایط تنش هم‌زمان شوری و خشکی توسط گندم در منطقه نیمه‌خشک (مطالعه موردی: بیرجند)

محمدجواد نحوی‌نیا^{۱*}، سعید شرفی^۲ و مهدی محمدی قلعه‌نی^۳

تاریخ ارسال: ۱۴۰۰/۱۲/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۲۰

مقاله پژوهشی

چکیده

به منظور بررسی کارایی شش مدل ماکروسکوپی جذب آب شامل؛ مدل‌های جمع‌پذیر (M_1)، ضرب‌پذیر (M_2)، M_3 و (M_4) و مفهومی (M_5 و M_6) با استفاده از داده‌های مزرعه‌ای کشت گندم رقم قدس در شرایط تنش شوری و کم‌آبی، مطالعه‌ای در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند در سال زراعی ۸۵-۸۴ در قالب کرت‌های خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی و در سه تکرار انجام شد. در این مطالعه، سطوح مختلف شوری ($1/4$ ، $4/5$ و $9/6$ دسی‌زیمنس بر متر) به عنوان کرت‌های اصلی و چهار سطح آبیاری (I_1 ، I_2 ، I_3 و I_4 به ترتیب معادل ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ درصد نیاز آبی گیاه)، به عنوان کرت‌های فرعی در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که مدل جمع‌پذیر (M_1) مقدار عملکرد نسبی را در اکثر موارد کمتر از مقدار واقعی برآورد می‌کند. به عبارت دیگر اثر تنش هم‌زمان شوری و خشکی روی کاهش عملکرد گندم کمتر از مجموع اثرات آنها است. سهم تنش خشکی در کاهش عملکرد گندم از سهم تنش شوری بیشتر بود. نتایج نشان داد که در بیشتر موارد مدل M_6 کاهش عملکرد نسبی گندم در شرایط تنش هم‌زمان شوری و خشکی را بهتر از سایر مدل‌ها پیش‌بینی می‌کند ($RMSD=0/17$)، هر چند که مدل M_5 نیز از دقت قابل قبولی ($RMSD=0/22$) برخوردار بود.

واژه‌های کلیدی: بیرجند، خشکی، شوری، گندم.

^۱ استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و محیط زیست، دانشگاه اراک، اراک، ایران، پست الکترونیکی: nahvinia@araku.ac.ir (نویسنده مسئول)

^۲ استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و محیط زیست، دانشگاه اراک، اراک، ایران، پست الکترونیکی: sharafi.saeed@gmail.com

^۳ استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و محیط زیست، دانشگاه اراک، اراک، ایران، پست الکترونیکی: mohammadighaleni@araku.ac.ir

مقدمه

عدم قطعیت باشند و حساسیت گیاهان نسبت به تنش شوری در طول فصل رشد متغیر می‌باشد (Saadat and Homae, 2015). به‌عنوان نمونه ماس-هافمن (۱۹۷۷) با بررسی اثر تنش شوری بر گیاه ذرت نشان دادند که مقدار حد آستانه قابل تحمل گیاه ذرت ۱/۷ دسی‌زیمنس بر متر و شیب خط کاهش عملکرد ۱۲ درصد بر دسی‌زیمنس می‌باشد.

در نواحی خشک و نیمه‌خشک در بیشتر موارد گیاهان تحت تأثیر تنش همزمان شوری و خشکی قرار می‌گیرند. تأثیر تنش همزمان شوری و خشکی بر جذب آب و به‌تبع آن روی عملکرد محصول در یک مکان خاص وابسته به نوع وارپته گیاه، تناوب آبیاری، مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک، نوع اقلیم و کیفیت آب آبیاری است (Dudley and Shani, 2003). نظریات و مدل‌های ریاضی متعددی در زمینه‌ی چگونگی واکنش گیاهان به تنش همزمان شوری و خشکی و سهم هر یک از آن‌ها در کاهش جذب آب، وجود دارد که بر مبنای این نظریات، مدل‌های جذب آب توسط گیاه به سه دسته‌ی کلی مدل‌های جمع‌پذیر، ضرب‌پذیر و مفهومی تقسیم‌بندی می‌شوند. در مدل‌های جمع‌پذیر فرض می‌شود که اثر فشار آب خاک و فشار اسمزی بر جذب آب به صورت تجمعی انجام می‌شود. در صورتی‌که در مدل‌های ضرب‌پذیر، ضرایب کاهش مربوط به تنش‌های خشکی و شوری در یکدیگر ضرب می‌شوند (Green et al., 2006; Skaggs et al., 1987; Van Genuchten, 2006).

مدل‌های مختلف جذب آب در شرایط تنش شوری و خشکی در گیاهان مختلف توسط محققین زیادی مورد بررسی قرار گرفته است. حسینی و همکاران (۲۰۱۵) در مطالعه‌ای توابع کاهش جذب آب گیاه توسط فلغل در شرایط تنش همزمان خشکی و شوری را مورد بررسی قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان داد

جذب آب توسط ریشه گیاه عامل مهمی در تخمین عملکرد گیاهان تحت تنش خشکی و شوری و همچنین در نحوه توزیع رطوبت و املاح در خاک، به‌ویژه در شرایط غیراشباع محسوب می‌شود (Brown et al., 2006). مناطق شور در دنیا، به دلایل مختلف شامل بارندگی پایین، تبخیر سطحی بالا، هوازدگی سنگ‌های طبیعی، آبیاری بی‌رویه با آب شور و عملیات ضعیف زراعی با نرخ سالیانه ۱۰ درصد در حال گسترش می‌باشند (Jamil et al., 2011). شوری یک تنش غیرزیستی بوده که سبب اختلال در جوانه‌زنی بذر گیاه شده و تولید پایدار محصول را با مشکل مواجه می‌کند (Kubala et al., 2015). اثر زیان‌بار شوری بر رشد گیاه ناشی از پتانسیل اسمزی پایین در خاک، تغذیه نامتعادل، اثرهای یونی خاص و یا ترکیبی از این عوامل می‌باشد (Munns and Gilliham, 2015). معمولاً آبیاری با آب شور جذب گیاه را کاهش داده و در نهایت سبب کاهش عملکرد گیاه می‌گردد (Skaggs et al., 2006). محققان بررسی کرده‌اند که، کاهش عملکرد گیاه تا حد آستانه شوری ناچیز بود و بالاتر از شوری آستانه، کاهش عملکرد به‌صورت خطی اتفاق می‌افتد (Maas & Hoffman, 1977). کاتریج و همکاران (۱۹۹۴) با مطالعه تأثیر تنش شوری بر گیاه ذرت در شرایط گلخانه و چامخ و همکاران (۲۰۱۵) بر عملکرد گندم در شرایط مزرعه نشان دادند که کاهش رشد با افزایش شوری به‌صورت خطی می‌باشد.

ماس-هافمن (۱۹۷۷) در رابطه با تغییر پاسخ گیاه به تنش شوری، مشاهده کردند که آستانه تحمل واقعی گیاهان نسبت به تنش شوری ممکن است با تغییر اقلیم، مدیریت زراعی و شرایط خاک تغییر کند (Maas and Hoffman, 1997). همچنین منابع علمی بسیاری که رابطه بین عملکرد نسبی و میانگین هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک در ناحیه رشد ریشه گیاه را نشان می‌دهد، کاملاً تقریبی بوده و ممکن است دارای



تحقیق حاکی از آن بود که فرضیه جمع‌پذیر یا ضرب‌پذیر بودن پتانسیل‌های ماتریک و اسمزی صحیح نمی‌باشد. جلیلی (۲۰۱۷) تاثیر تنش شوری بر عملکرد گیاه گندم دوروم در مرحله رشد رویشی را در یک لایسی‌متر مورد بررسی قرار داد که بر اساس نتایج این تحقیق، مدل نمایی ون‌گنوختن (۱۹۸۷) بهتر از مدل خطی ماس-هافمن (۱۹۷۷) کاهش عملکرد را شبیه‌سازی نمود (Jalili, 2017). با توجه به اینکه در مناطق مختلف عوامل خاک، محیط‌زیست و غلظت املاح متغیر می‌باشد، بنابراین ممکن است این نتایج در همه شرایط صادق نباشد (Chalee et al. 2013). بر اساس مطالعات انجام شده، کاهش عملکرد و متغیرهای مربوط به رشد گیاه در شرایط شور وابسته به نوع خاک و اقلیم منطقه می‌باشد. رؤف (۱۴۰۰) حرکت آب و جذب توسط ریشه چغندر قند را توسط مدل Hydrus 3D به‌طور همزمان شبیه‌سازی نمود. نتایج نشان داد که بیشتر شبیه‌سازی‌های مدل کم برآورد می‌باشد.

استان خراسان جنوبی که در منطقه خشک و نیمه‌خشک کشور واقع شده و علاوه بر کمبود منابع آبی، حجم عظیمی از این منابع آبی این استان در ردیف آب‌های شور و لب‌شور قرار دارند. با توجه به سطح زیر کشت بالای گندم در این استان، بررسی اثرات کم‌آبیاری با آب‌های شور در درازمدت بر روی کشت گندم در این منطقه ضرورت دارد. بنابراین، تحقیق حاضر به منظور بررسی و ارزیابی عملکرد مدل‌های مختلف جذب آب توسط رقم قدس گندم که از ارقام مورد استفاده در مناطق خشک است در یک مطالعه صحرایی تحت شرایط تنش هم‌زمان شوری و خشکی انجام شد تا مدل بهینه جذب آب در این منطقه مشخص گردد.

مواد و روش‌ها

الف) مشخصات محل مورد مطالعه

این مطالعه در مزرعه‌ی تحقیقاتی دانشکده کشاورزی بیرجند با عرض جغرافیایی ۳۲° و ۵۳° شمالی و طول جغرافیایی ۱۳° و ۵۵° شرقی و ارتفاع ۱۴۸۰ متر از سطح دریا، در سال زراعی ۸۵-۱۳۸۴ اجرا گردید.

که که در سطح شوری ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر واکنش گیاه به تنش هم‌زمان شوری و خشکی بیشتر جمع‌پذیر و در سطوح ۴/۵ و ۶/۵ دسی‌زیمنس بر متر به صورت ضرب‌پذیر می‌باشد (Hosseini et al., 2015). سرائی تبریزی و همکاران (۱۳۹۴) واکنش گیاه ریحان به تنش خشکی را در سطوح رطوبتی مختلف با استفاده از مدل‌های تجربی مدل‌سازی کردند. نتایج تحقیق نشان از بهتر بودن مدل غیرخطی همایی (۱۹۹۹) در برآورد جذب نسبی روزانه گیاه ریحان بود. همچنین نتایج نشان داد مدل خطی قدس و همکاران (۱۹۷۸) و مدل‌های غیرخطی ون‌گنوختن (۱۹۸۷) و همایی (۱۹۹۹) در برآورد میزان جذب نسبی تجمعی طی فصل رشد از دقت مناسبی برخوردار بودند. سرائی تبریزی و همکاران (۱۳۹۵) حد آستانه‌ی تحمل شوری گیاه ریحان را بررسی و مدل‌های جذب آب تحت شرایط تنش شوری را ارزیابی کردند. نتایج این پژوهش ایشان نشان داد که مدل‌های ون‌گنوختن (۱۹۸۷)، استپهان (۲۰۰۵) و همایی (۱۹۹۹) واکنش عملکرد ریحان به تنش شوری را به صورت مناسبی شبیه‌سازی کردند. اردلانی و همکاران (۱۳۹۵) توابع ماکروسکوپی کاهش جذب آب توسط گوجه‌فرنگی را در شرایط گلخانه‌ای در قالب یک طرح فاکتوریل مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که مدل اسکگز و همکاران (۲۰۰۶) و همایی (۱۹۹۹) بهترین تطابق را با داده‌های گوجه‌فرنگی در شرایط گلخانه‌ای دارد. بذرافشان و همکاران (۱۳۹۸) در مطالعه‌ی واکنش ذرت به تنش شوری را با استفاده از مدل‌های جذب آب در فصول مختلف مورد بررسی قرار دادند. مقادیر عملکرد و جذب آب تخمینی با استفاده از توابع کاهش جذب حاکی از آن بود که مدل نمایی ون‌گنوختن دقت بیشتری از مدل خطی ماس-هافمن (۱۹۷۷) برای شبیه‌سازی عملکرد ذرت داشت در حالی که صحت مدل خطی بیشتر از مدل نمایی برای تخمین میزان جذب آب به‌ویژه در فصل پاییز بود. همچنین بذرافشان و همکاران (۱۳۹۹) کاهش جذب آب توسط گیاه ذرت تحت شرایط هم‌زمان تنش شوری و خشکی را بررسی کردند. نتایج این

با شوری مختلف در مزرعه‌ی آزمایشی مورد نظر (با ECهای متغیر از ۱/۴ تا ۹/۶ دسی‌زیمنس بر متر) بود که امکان تأمین آب با شوری‌های مختلف در مزرعه برای ارزیابی مدل‌های جذب در سطوح مختلف شوری را به‌وجود آورده بود. نتایج تجزیه و تحلیل سه حلقه چاه فوق‌الذکر در جدول (۲) ارائه شده است.

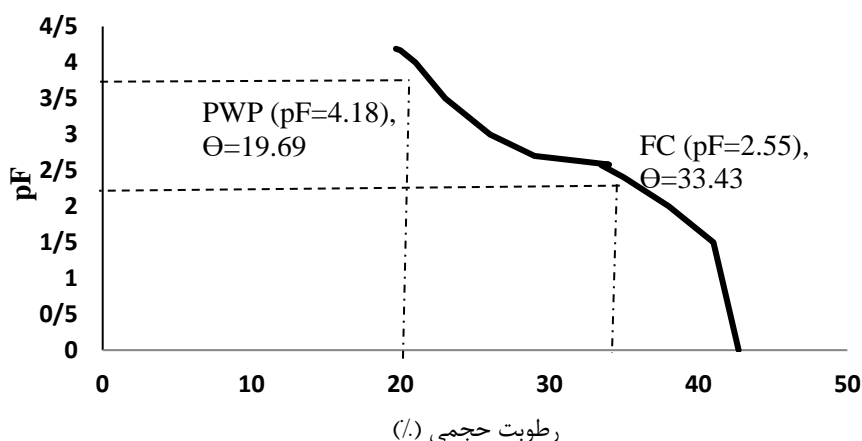
قبل از عملیات کاشت از اعماق مختلف خاک جهت تعیین خصوصیات فیزیکی خاک مزرعه نمونه‌گیری انجام گرفت (جدول ۱). برای تعیین منحنی خصوصیات رطوبتی، یک نمونه‌ی مرکب از چندین نقطه و سه عمق مختلف تهیه و در آزمایشگاه با استفاده از دستگاه صفحات فشاری (F1-۱۶۰۰، ایران) مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۱). منبع آب قابل استفاده سه حلقه چاه

جدول (۱): خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک مزرعه آزمایشی

عمق خاک (cm)	pH	EC (ds/m)	جرم مخصوص ظاهری (gr.cm ⁻³)	بافت خاک	درصد اندازه ذرات خاک (%)		
					شن	سیلت	رس
۰-۳۰	۷/۶۱	۲/۱	۱/۵	C-L	۲۹/۷	۳۴/۶	۳۵/۷
۳۰-۶۰	۷/۷۲	۲/۷	۱/۴۵	Si-C-L	۱۰/۱	۵۲/۶	۳۷/۳
۶۰-۹۰	۷/۷۸	۲/۹	۱/۳۹	Si-C-L	۱۱/۲	۵۳/۶	۳۵/۲

جدول (۲): خصوصیات فیزیکوشیمیایی آب سه حلقه چاه مورد استفاده

شماره چاه	EC (ds/m)	pH	SAR	کاتیون‌ها				آنیون‌ها			
				Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	Hco ₃ ⁻	Co ₃ ²⁻	So ₄ ²⁻
۱	۱/۴	۸/۰	۷/۴	۲/۲	۱/۷	۱۰/۲	۰/۰۵	۷/۲	۳/۱	۰	۴/۱
۲	۴/۵	۷/۸	۸/۶	۱۴/۰	۴/۸	۲۶/۵	۰/۳	۲۱/۲	۸/۳	۰	۱۶/۵
۳	۹/۶	۷/۷	۹/۷	۲۷/۶	۱۲/۸	۴۳/۸	۰/۸	۵۳/۵	۱۰/۶	۰	۲۰/۸



شکل (۱): منحنی خصوصیات رطوبتی خاک قطعه‌ی آزمایشی به همراه نقاط پتانسیلی PWP و FC

ب) طرح آزمایشی

این آزمایش در قالب کرت‌های خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد و در مزرعه‌ی تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند در سال زراعی ۸۵-۱۳۸۴ اجرا گردید. سطوح مختلف شوری (S_1, S_2 و S_3 به ترتیب معادل ۱/۴، ۴/۵ و ۹/۶ دسی زیمنس بر متر) (شوری‌های ۴/۵ و ۹/۶ دسی زیمنس بر متر بالاتر از آستانه‌ی شوری قابل تحمل گیاه ذرت بوده‌اند) به عنوان کرت‌های اصلی و چهار سطح آبیاری (I_1, I_2, I_3 و I_4 به ترتیب معادل ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ درصد نیازآبی گیاه)، به عنوان کرت‌های فرعی بودند.

روش کاشت به صورت دستی و در داخل هر کرت انجام شد و به منظور حصول یکنواختی در اعمال شوری، از روش آبیاری کرتی استفاده گردید که در این مطالعه ابعاد کرت‌ها ۳×۴ متر و فاصله‌ی کرت‌های فرعی ۵۰ سانتی‌متر و فاصله‌ی کرت‌های اصلی ۴/۵ متر در نظر گرفته شد. در هر کرت ده ردیف کاشت با فاصله‌ی ۲۰ سانتی‌متر و طول ۳ متر طوری کاشته شد که تراکم معمول ۴۰۰ بوته گندم در مترمربع حاصل گردد. گیاه گندم در تاریخ ۲۴ آبان ۱۳۸۴ کشت و در تاریخ ۲۸ اردیبهشت ۱۳۸۵ برداشت شد.

جهت تجهیز سیستم آبیاری به گونه‌ای که بتوان سطوح مختلف شوری آب آبیاری را در کرت‌های آزمایشی اعمال کرد، ابتدا سه منبع فلزی هر یک با

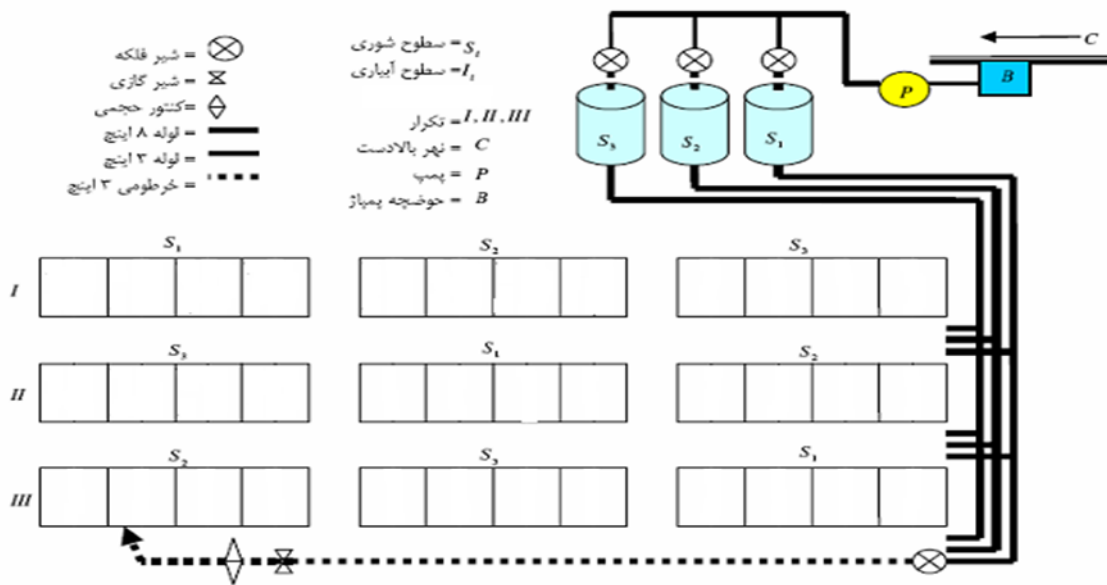
حجم ۲۸۰۰۰ لیتر روی سکویی به ارتفاع ۱/۵ متر احداث گردید؛ به طوری که بتوان آب با شوری مورد نظر را از نهر بالادست مزرعه به داخل هر یک از منابع آب پمپ نموده و سپس از طریق خطوط لوله‌ی آب به ابتدای قطعه‌ی زراعی مورد آزمایش انتقال داده و میزان آب مورد نیاز هر کرت را از طریق کنتور حجمی دقیق به کرت منتقل نمود. همچنین نهاده‌های شیمیایی مانند کود و آفت‌کش بر اساس توصیه‌ی معمول زارعین منطقه به صورت یکسان برای تیمارهای مختلف اعمال شد. برداشت محصول نیز به صورت دستی از ۴ ردیف وسط هر کرت و با طول ۲ متر (به مساحت $1/6 m^2$) انجام شد. آرایش قطعات زراعی، استقرار سیستم آبیاری و کرت‌های آزمایشی در شکل (۲) ترسیم شده است.

برنامه‌ریزی آبیاری و اعمال رژیم‌های مختلف آب، بر اساس کمبود رطوبت خاک و با معیار قرار دادن تیمار بدون تنش آبی و اعمال ضرایب هر تیمار، از رابطه‌ی (۱) انجام شد:

(۱)

$$SMD = (W_{fc} - W_i) \cdot A_s \cdot D \cdot C$$

که در آن: SMD: کمبود رطوبت خاک (mm)، W_i, W_{fc} : به ترتیب درصد وزنی رطوبت در ظرفیت زراعی و موجود خاک، A_s : وزن مخصوص ظاهری خاک ($gr.cm^{-3}$)، D : عمق توسعه‌ی ریشه (mm) و C : ضرایب هر تیمار (/). بود.



شکل (۲): آرایش شماتیک طرح آزمایشی

تاریخ و میزان آب مصرف شده برای هر تیمار در جدول ۳ آورده شده است. بر همین اساس کلیه تیمارها به طور همزمان آبیاری شدند.

جدول (۳): زمان و مقدار آب مصرف شده در هر یک از تیمارهای آبیاری

I_4 (mm)	I_3 (mm)	I_2 (mm)	I_1 (mm)	نوبت آبیاری	تاریخ آبیاری	روز بعد از کاشت
۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	آبیاری اول	۱۳۸۴/۰۸/۲۵	۲
۸۷	۷۰	۵۳	۳۵	آبیاری دوم	۱۳۸۴/۱۲/۰۵	۱۰۳
۹۵	۷۶	۵۷	۳۸	آبیاری سوم	۱۳۸۴/۱۲/۱۹	۱۱۷
۱۱۴	۹۱	۶۸	۴۵	آبیاری چهارم	۱۳۸۴/۰۱/۰۴	۱۳۱
۱۲۱	۹۷	۷۳	۴۹	آبیاری پنجم	۱۳۸۴/۰۱/۲۷	۱۵۴
۱۱۳	۹۰	۶۷	۴۵	آبیاری هفتم	۱۳۸۴/۰۲/۰۷	۱۶۵
۱۰۰	۸۰	۶۰	۴۰	آبیاری هشتم	۱۳۸۴/۰۲/۱۷	۱۷۵
۶۶۰	۵۳۴	۴۰۸	۲۸۲		جمع (mm)	
۶۶۰۰	۵۳۴۰	۴۰۸۰	۲۸۲۰		جمع (m ³ /ha)	

مدل‌های جذب مورد استفاده (Homaei, 1999 و 2006 al.) با استفاده از داده‌های مزرعه‌ای رقم قدس گندم مورد ارزیابی قرار گرفت. مدل‌های به کار رفته در تحقیق حاضر مطابق معادلات (۱) تا (۶) می‌باشند.

ج) مدل‌های جذب مورد استفاده

در این مطالعه شش تابع کاهش جذب در شرایط تنش هم‌زمان شوری و خشکی (Van Genuchten, 1987 (جمع‌پذیر و ضرب‌پذیر); and Dirksen, 1988; Skaggs et al., 1997; Van Dam et al., 1997; Augustijn

رابطه	محققین	مدل
$\alpha(h, \pi) = \frac{1}{1 + \left[\frac{h(z, t) + \pi(z, t)}{h_{50}} \right]^p}$	مدل جمع پذیر ون گنوختن (۱۹۸۷)	M ₁
$\alpha(h, \pi) = \frac{1}{1 + \left(\frac{h}{h_{50}} \right)^{p_1}} \times \frac{1}{1 + \left(\frac{\pi}{\pi_{50}} \right)^{p_2}}$	مدل ضرب پذیر ون گنوختن (۱۹۸۷)	M ₂
$\alpha(h, \pi) = \frac{1}{1 + \left[\frac{(h - h^*)}{(h^* - h_{50})} \right]^{p_1}} \times \frac{1}{1 + \left[\frac{(\pi - \pi^*)}{(\pi^* - \pi_{50})} \right]^{p_2}}$	مدل دیرکسین و آگوستجین (۱۹۸۸)	M ₃
$\alpha(h, \pi) = \frac{h - h_4}{h_3 - h_4} \times \left[1 - \frac{b}{360} (\pi^* - \pi) \right]$	مدل ون دام و همکاران (۱۹۹۷)	M ₄
$\alpha(h, \pi) = \frac{h - (h_4 - \pi)}{h_3 - (h_4 - \pi)} \times \left[1 - \frac{b}{360} (\pi^* - \pi) \right]$	مدل همایی (۱۹۹۹)	M ₅
$\alpha(h, \pi) = \frac{1}{1 + \left(\frac{h}{h_{50}} \right)^{p_1}} \times \left[1 - \frac{b}{360} (\pi^* - \pi) \right]$	مدل اسکگز و همکاران (۲۰۰۶)	M ₆

داده‌های مشاهده‌ای عبارتند از عملکرد دانه‌ی ارقام گندم و توزیع وزنی شوری و رطوبت تا عمق یک متری خاک (پتانسیل‌های اسمزی و ماتریک) در طی سال زراعی و سایر داده‌هایی که در مدل‌های مذکور مورد نیاز هستند، به شرح جدول ۴ می‌باشد.

در این روابط h_{50} مکشی از خاک که در آن جذب آب توسط گیاه نصف می‌شود، P متغیر تجربی وابسته به گیاه، خاک و اقلیم، π^* آستانه‌ی کاهش شوری، h^* آستانه‌ی کاهش خشکی، h_3 ، h_4 و b به ترتیب نقطه‌ی شروع تنش آبی، نقطه‌ی پژمردگی و درصد کاهش محصول به ازای افزایش واحد شوری هستند. همچنین

جدول (۴): مقادیر متغیرهای مورد استفاده در مدل‌های مختلف جذب آب

P_2	P_1	α	π_{50}	h_{50}	h_4	π^*	$h_3 = h^*$
			(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
۱/۷۳	۱/۱۳	۰/۰۷	-۱۱۰۰۰	-۸۵۰۰	-۱۵۰۰۰	-۴۲۰۰	-۱۰۰۰

افقی ترسیم می‌شود. نقطه مشاهداتی نتایج مشاهداتی یا اندازه‌گیری شده را براساس انحراف معیار داده‌ها و مقدار CRMSD و ضریب همبستگی آنها در مقایسه با خودش (به ترتیب صفر و یک) نشان می‌دهند. معادلات متغیرهای دیاگرام تیلور به صورت روابط (۲) تا (۵) می‌باشد:

$$\sigma_f^2 = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (f_n - \bar{f})^2 \quad (2)$$

$$\sigma_r^2 = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (r_n - \bar{r})^2 \quad (3)$$

$$CRMSD = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N [(f_n - \bar{f}) - (r_n - \bar{r})]^2 \quad (4)$$

$$R = \frac{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (f_n - \bar{f}) - (r_n - \bar{r})}{\sigma_f \sigma_r} \quad (5)$$

در روابط (۲) تا (۵)، f : داده‌های مدل، r : داده‌های مشاهده‌ای، σ_f و σ_r : نیز به ترتیب انحراف معیار داده‌های مدل و مشاهده‌ای، CRMSD: خطای جذر میانگین مربعات مرکزی و R : ضریب همبستگی می‌باشند (Taylor, 2001). روش ارزیابی در این دیاگرام به این صورت است که هر چه موقعیت مکانی نتایج یک مدل با توجه به متغیرهای CRMSD، R و انحراف معیار نسبت به داده‌های مشاهداتی در دیاگرام تیلور به نقطه مشاهداتی نزدیک‌تر باشد، با دقت بیشتری کاهش عملکرد نسبی گندم در شرایط تنش همزمان شوری و خشکی را بهتر از سایر مدل‌ها پیش‌بینی می‌کند و بنابراین مناسب‌تر خواهد بود.

متغیر $h_3 = h^*$: مقدار پتانسیل ماتریک در آستانه‌ی کاهش محصول بوده و سینگ و همکاران (۲۰۰۶) مقدار آن را برای گیاه گندم 1000 cm - یعنی در حد $pF=3$ گزارش نموده‌اند (Singh et al., 2006) که با توجه به منحنی رطوبتی خاک قطعه‌ی زراعی مورد آزمایش (شکل ۱) برابر رطوبت حجمی معادل $27/5$ درصد می‌باشد. عباسی (۱۳۸۶) مقدار این متغیر را برای گندم 900 cm - پیشنهاد کرد.

د) ارزیابی نتایج مدل‌ها

شاخص‌های آماری متفاوتی برای سنجش اعتبار و درستی توابع تولید مدل‌ها وجود دارند. دیاگرام تیلور نخستین بار توسط تیلور (۲۰۰۱) جهت مقایسه نتایج مدل‌های مختلف بر اساس سه متغیر ضریب همبستگی پیرسون، میانگین مجذور مربعات خطا و انحراف از معیار معرفی شد (Taylor, 2001). این دیاگرام ریاضی به صورت گرافیکی قابلیت مقایسه‌ی نتایج مشاهداتی یک متغیر را با نتایج مدل‌های مختلف امکان‌پذیر می‌سازد. نمودار تیلور به دو صورت نیم‌دایره نمایش همبستگی منفی و مثبت (و ربع دایره فقط نمایش همبستگی مثبت) استفاده می‌شود که در هر دو صورت، مقادیر ضریب همبستگی به صورت شعاع دایره روی قوس آن، مقادیر انحراف معیار به صورت دایره متحدالمرکز نسبت به مرکز دایره و مقادیر خطای جذر میانگین مربعات مرکزی^۱ (CRMSD) به صورت دایره متحدالمرکز نسبت به نقطه مشاهداتی روی محور

¹ centered root-mean-square difference (CRMSD)

نتایج و بحث

عملکرد نسبی اندازه‌گیری شده و برآورد شده توسط مدل‌های مختلف در سطوح مختلف پتانسیل اسمزی و پتانسیل ماتریک در جدول ۵ ارائه شده است.

جدول (۵): مقادیر اندازه‌گیری شده عملکرد نسبی گندم در مقابل مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل‌های مختلف

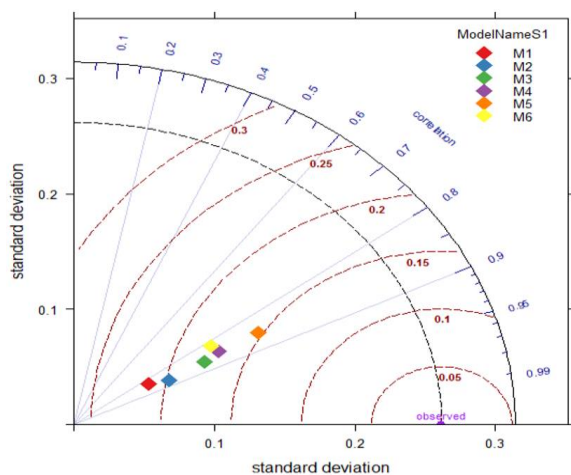
سطوح شوری	سطوح آبی	h (cm)	π (cm)	عملکرد نسبی مشاهده‌ای (اعشار)	عملکرد نسبی پیش‌بینی شده توسط مدل‌ها (اعشار)					
					M ₁	M ₂	M ₃	M ₄	M ₅	M ₆
S ₁ ۱/۴ (dS/m)	I ₁	-۴۳۹۶	-۳۰۳۵	۰/۴۳۴	۰/۴۱	۰/۵۶	۰/۶۸	۰/۹۳	۰/۸۵	۰/۸۳
	I ₂	-۳۲۸۴	-۳۱۲۵	۰/۸۷۹	۰/۴۵	۰/۶۲	۰/۷۶	۱/۰۱	۰/۹۶	۰/۹۰
	I ₃	-۲۳۸۵	-۳۰۵۱	۰/۹۶۴	۰/۵	۰/۶۸	۰/۸۳	۱/۱	۱/۰۷	۰/۹۹
	I ₄	-۱۲۵۴	-۲۹۹۹	۱/۰	۰/۵۷	۰/۷۴	۰/۹۳	۱/۲۱	۱/۲۱	۱/۱۱
S ₂ ۴/۵ (dS/m)	I ₁	-۴۳۸۵	-۴۶۶۷	۰/۳۴۴	۰/۳۶	۰/۵۱	۰/۷۰	۰/۶۹	۰/۵۸	۰/۶۲
	I ₂	-۲۸۴۱	-۴۳۳۲	۰/۷۳۶	۰/۴۲	۰/۶۰	۰/۸۳	۰/۸۴	۰/۷۹	۰/۷۶
	I ₃	-۲۲۱۵	-۴۲۵۴	۰/۸۴	۰/۴۵	۰/۶۴	۰/۸۸	۰/۹۰	۰/۸۶	۰/۸۱
	I ₄	-۱۲۰۶	-۴۶۰۷	۰/۸۹۸	۰/۴۸	۰/۷۰	۰/۹۷	۰/۹۰	۰/۹۰	۰/۸۳
S ₃ ۹/۶ (dS/m)	I ₁	-۴۱۱۲	-۵۹۴۷	۰/۲۸	۰/۳۳	۰/۴۸	۰/۶۷	۰/۵۱	۰/۴۱	۰/۴۶
	I ₂	-۲۹۹۵	-۵۱۴۳	۰/۵۷	۰/۳۸	۰/۵۶	۰/۷۹	۰/۷۰	۰/۶۳	۰/۶۲
	I ₃	-۲۰۱۲	-۵۰۹۸	۰/۶۴۷	۰/۴۲	۰/۶۲	۰/۸۸	۰/۷۷	۰/۷۳	۰/۶۹
	I ₄	-۱۰۵۳	-۵۲۹۶	۰/۷۰۲	۰/۴۵	۰/۶۸	۰/۹۶	۰/۷۸	۰/۷۸	۰/۷۲

داده‌های اندازه‌گیری شده افزایش می‌یابد. همان‌طوری که در جدول (۵) مشاهده می‌شود در تیمار شوری S₁ با کاهش مقدار پتانسیل ماتریک اختلاف مقادیر پیش‌بینی شده با این مدل‌ها از مقادیر اندازه‌گیری شده افزایش می‌یابد. این در حالی است که با افزایش مقدار شوری از S₁ به S₃ این اختلاف کاهش می‌یابد. مدل M₃ در شوری‌های کم، برآورد قابل قبولی

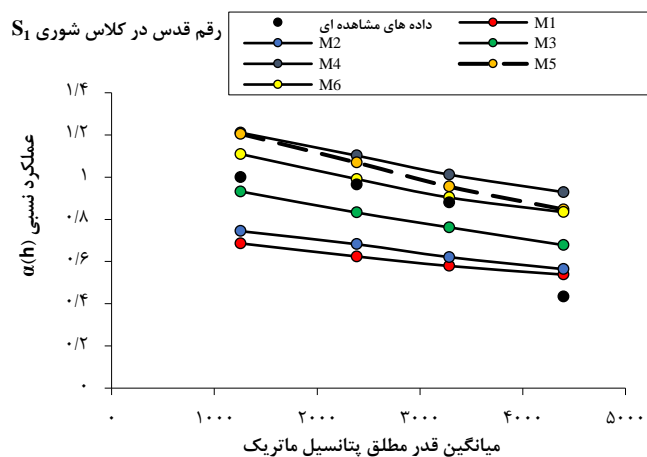
با توجه به نتایج جدول ۵ برای کلیه تیمارهای رقم گندم قدس مدل M₁ مقدار عملکرد نسبی را در اکثر موارد کمتر از مقدار واقعی برآورد می‌کند. همچنین این نتایج نشان می‌دهد که در شرایط تنش شدید آبی همه مدل‌ها (به استثنای مدل جمع‌پذیر) مقدار عملکرد نسبی را بیش از مقدار واقعی تخمین می‌زنند. با افزایش مقدار شوری، دقت مدل‌های M₅ و M₆ در برآورد

M_1 ، M_2 و M_3 در برآورد عملکرد نسبی رقم قدس گندم نسبت به داده‌های مشاهده‌ای می‌باشد. این نتایج نیز در دیاگرام تیلور (شکل ۳ ب) با توجه به فاصله نزدیک‌تر مدل‌های M_4 ، M_5 و M_6 به نقطه مشاهده‌ای مشخص می‌باشد. بهترین نتایج عملکرد برآورد شده در شوری کم مربوط به مدل‌های M_5 و M_6 با مقادیر CRMSD به ترتیب برابر ۰/۱۳ و ۰/۱۵ و R برابر با ۰/۸۶ و ۰/۸۲ می‌باشد.

با داده‌های اندازه‌گیری شده ارائه می‌دهد، اما با افزایش مقدار شوری این مدل اثر هم‌زمان تنش شوری و خشکی را بسیار کمتر از مقدار واقعی برآورد می‌کند. مدل‌های ضرب‌پذیر M_2 و M_4 نیز در شوری‌های بیشتر عملکرد بهتری ارائه می‌دهند. شکل (۳) برازش مقادیر عملکرد برآورد شده به وسیله‌ی مدل‌های مختلف جذب در شرایط شوری کم (S_1) را نسبت به عملکرد نسبی اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد. شکل (۳ الف)، حاکی از دقت بیشتر مدل‌های M_4 ، M_5 و M_6 نسبت به مدل‌های



(ب)

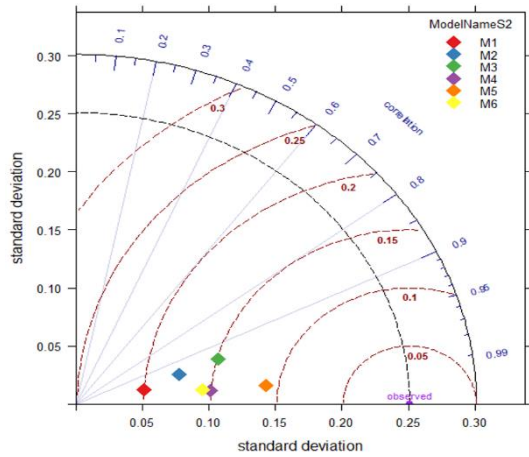


(الف)

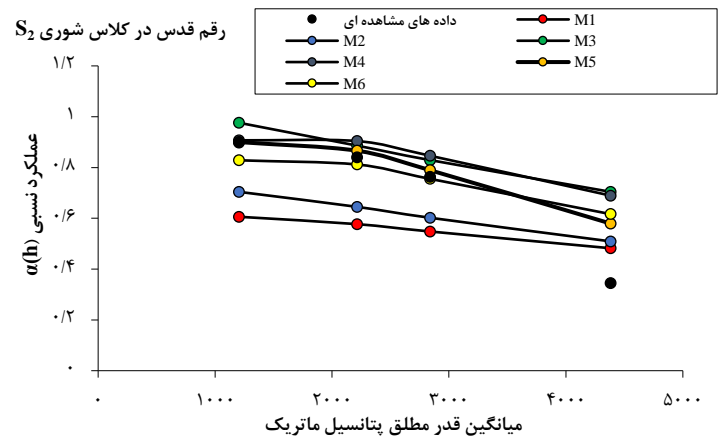
شکل (۳) عملکرد نسبی مشاهده‌ای و برآورد شده توسط مدل‌های جذب در شرایط شوری کم، (الف): مقادیر عملکرد و (ب): دیاگرام تیلور

انرژی آب، اختلال بیشتری در جذب آب توسط گیاه ایجاد کرده که در نهایت عملکرد را بیشتر تحت تاثیر قرار می‌دهد. شکل ۴ (الف و ب) حاکی از دقت بیشتر مدل M_5 در تخمین عملکرد نسبی رقم قدس در شوری متوسط نسبت به سایر مدل‌های مورد بررسی می‌باشد. مقادیر CRMSD و R برای این مدل با توجه به شکل (۴ ب) به ترتیب برابر ۰/۰۹ و ۰/۹۹ می‌باشد.

شکل (۴) برازش مقادیر عملکرد برآورد شده به وسیله‌ی مدل‌های مختلف جذب در شرایط شوری متوسط (S_2) را نسبت به عملکرد نسبی اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد. شکل (۴ الف) نشان می‌دهد که در یک پتانسیل اسمزی ثابت با کاهش پتانسیل ماتریک، مقدار جذب آب به صورت غیرخطی کاهش می‌یابد. وجود هر دو تنش به دلیل اثر فزاینده هر کدام در کاهش



(ب)

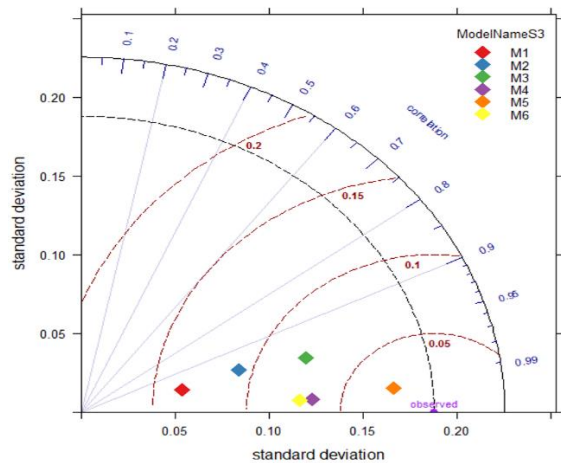


(الف)

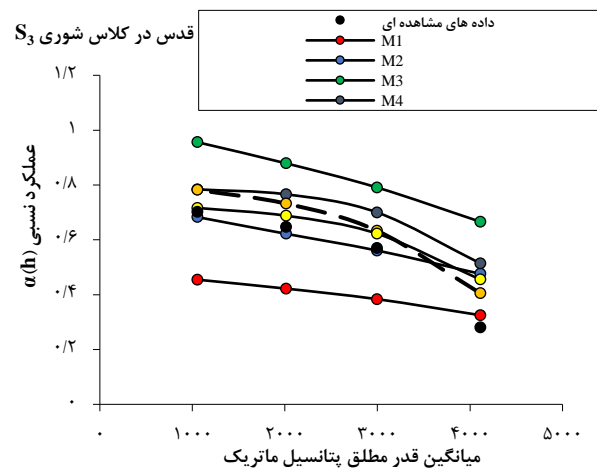
شکل (۴): عملکرد نسبی مشاهده‌ای و برآورد شده‌ی مدل‌های جذب در شرایط شوری متوسط، (الف): مقادیر عملکرد و (ب): دیاگرام تیلور

تیلور (۴۵) مقادیر CRMSD و R برای این مدل به ترتیب برابر ۰/۰۲ و ۰/۹۹ می‌باشد. پس از این مدل، مدل‌های M₅ و M₄ جواب‌های نزدیکتری نسبت به داده‌های مشاهده‌ای داشته‌اند که در شکل (۵) (ب) نزدیکی این دو مدل به یکدیگر بیانگر این مطلب می‌باشد.

شکل (۵) برازش مقادیر عملکرد برآورد شده به وسیله‌ی مدل‌های مختلف جذب در شرایط شوری زیاد (S₃) را نسبت به عملکرد نسبی اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد. شکل (۵ الف و ب) حاکی از دقت بیشتر مدل‌های M₅ در برآورد عملکرد نسبی گندم رقم قدس در شوری زیاد می‌باشد به طوری که براساس دیاگرام



(ب)



(الف)

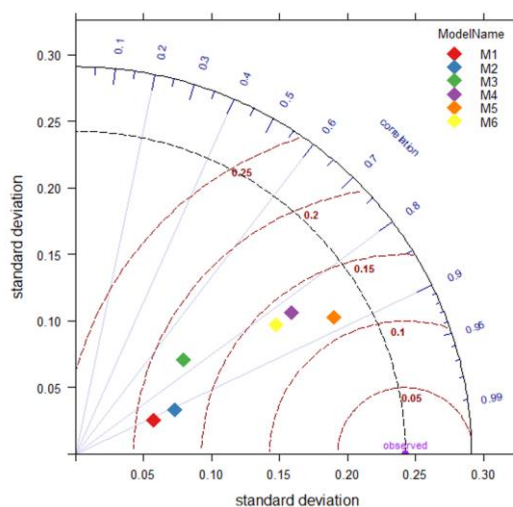
شکل (۵): عملکرد نسبی مشاهده‌ای و برآورد شده‌ی مدل‌های جذب در شرایط شوری زیاد، (الف): مقادیر عملکرد و (ب): دیاگرام تیلور

در حالی که مدل M_5 مقدار h_4 را ثابت ندانسته و به گونه‌ای محاسبه می‌شود که با افزایش شوری مقدار آن در فشار کمتری رخ می‌دهد. با افزایش شوری در نیمرخ خاک، جذب گیاه نسبت به شرایط غیرشور کمتر بوده، در نتیجه رطوبت بیشتری در محیط باقی می‌ماند. به همین دلیل، مبنای تحلیل مدل M_5 با واقعیت سازگارتر است. مقادیر پتانسیل ماتریک و اسمزی، با اندازه‌گیری نیمرخ شوری و رطوبت حجمی خاک، اندازه‌گیری شدند.

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که اثر یک واحد پتانسیل ماتریک بر عملکرد با اثر یک واحد پتانسیل اسمزی برابر نیست. سهم تنش خشکی در کاهش عملکرد گندم از سهم تنش شوری بیشتر است و اثر توأم شوری و خشکی کمتر از مجموع تنش‌ها است. در تبیین این موضوع می‌توان گفت که با کاهش پتانسیل اسمزی و پتانسیل ماتریک، انرژی آزاد آب در خاک و به تبع آن میزان جذب آب توسط گیاه کاهش می‌یابد. هنگامی که گیاه تحت تأثیر تنش شوری قرار می‌گیرد می‌تواند خود را تا حدی با املاح محلول سازگار کند و یا این که در شوری‌های بالاتر، با افزایش نفوذپذیری ریشه‌ها نسبت به آب شور، شرایط جذب آب بیشتر را فراهم کند. در این شرایط، پاسخ گیاه به افزایش یک سانتی‌متر فشار اسمزی با کاهش یک سانتی‌متر مکش ماتریک یکسان نیست. بنابراین در شوری‌های زیاد، پاسخ گیاهان به شوری جمع‌پذیر نیست (Cardon and Letey, 1992). مقایسه مدل‌های ریاضی ارائه شده نشان داد که در بیشتر موارد مدل M_6 کاهش عملکرد نسبی گندم در منطقه‌ی خراسان جنوبی را در شرایط تنش هم‌زمان شوری و خشکی بهتر از سایر مدل‌ها پیش‌بینی می‌کند، هر چند که مدل M_5 نیز از دقت قابل قبولی برخوردار است. در مجموع استفاده از مدل M_6 به‌علت دقت بیشتر، سادگی کاربرد و نیاز به متغیرهای ورودی کمتر نسبت به مدل M_5 توصیه می‌شود. از آنجایی که گیاه پویا و در حال رشد می‌باشد، ثابت در نظر گرفتن عواملی

شکل (۶) نتایج شش مدل بررسی شده را به‌منظور برآورد عملکرد نسبی در دیاگرام تیلور در هر سه سطح شوری نشان می‌دهد. بر همین اساس مدل‌های ضرب‌پذیر M_4 ، M_5 و M_6 در برآورد عملکرد نسبی گندم رقم قدس در هر سه سطح شوری (S_1 ، S_2 و S_3)، دقت بیشتری نسبت به مدل‌های M_1 ، M_2 و M_3 دارند. با افزایش سطح شوری دقت مدل‌ها و مخصوصاً مدل M_5 در پیش‌بینی مقدار کاهش عملکرد گیاه گندم افزایش می‌یابد.



شکل (۶) نتایج مدل‌های جذب در برآورد عملکرد نسبی در دیاگرام تیلور در تمام سطوح شوری

نتایج نشان می‌دهد همسان در نظر گرفتن اثر تنش‌های آبی و شوری بر عملکرد، با واقعیت سازگاری ندارد. به‌عبارت دیگر اثر تنش هم‌زمان شوری و خشکی کمتر از مجموع اثرات آن‌هاست. این نتایج با نتایج کاردون و لی‌تی (۱۹۹۲) مبنی بر این که در شوری‌های زیاد پاسخ گیاهان به شوری بیشتر ضرب‌پذیر است، مطابقت دارد (Cardon and Letey, 1992). اگر چه نتایج کلی ارزیابی حکایت از برتری مدل‌های M_5 و M_6 نسبت به سایر مدل‌ها دارد، لیکن مدل‌های M_4 و M_2 نیز نتایج به نسبت قابل قبولی ارائه داده‌اند. به‌طورکلی ساختار مدل‌های M_4 و M_5 یکسان بوده ولی نگرش تحلیلی آن‌ها به h_4 متفاوت است. مدل M_4 مقدار h_4 را در هر شرایطی (شور و غیر شور) ثابت در نظر می‌گیرد،

برای سایر گیاهان بومی منطقه تناوب کشت نیز مورد ارزیابی قرار گیرند تا بتوان از نتایج آن در برنامه‌ریزی تناوب و الگوی کشت منطقه نیز استفاده نمود.

که به‌نحوی به گیاه مرتبط است نظیر h_0 یا h_{50} با واقعیت سازگاری ندارد. بنابراین ضروری است چنین عواملی به‌صورت متغیرهای وابسته به رشد تعیین گردند. برای ارزیابی اثر پتانسیل ماتریک بر عملکرد و اجزای عملکرد توصیه می‌شود که از مدل جذب M_6 در منطقه استفاده گردد. همچنین پیشنهاد می‌گردد، مدل‌های جذب آب،

منابع

- اردلانی، ح.، ح. بابازاده و ح. ابراهیمی. ۱۳۹۵. ارزیابی توابع کاهش جذب آب گوجه فرنگی (Solanum lycopersicum) در شرایط تنش هم‌زمان کم‌آبی و شوری. مجله مدیریت آب و آبیاری، جلد ۶، شماره ۱، صفحه ۱۴۹-۱۶۱.
- بذرافشان، ا.، م. شرفا، م. ح. محمدی و ع. ا. ذوالفقاری. ۱۳۹۹. بررسی تنش شوری و خشکی بر کاهش جذب آب گیاه تحت شرایط تنش هم‌زمان. مجله تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۱، شماره ۷، ۱۷۱۱-۱۷۲۳.
- بذرافشان، ا.، م. شرفا، م. ح. محمدی و ع. ا. ذوالفقاری. ۱۳۹۸. پاسخ ذرت به تنش شوری با استفاده از مدل‌های جذب آب در فصول مختلف. مجله تحقیقات آب و خاک ایران، جلد ۵۰، شماره ۹، صفحه ۲۱۷۱-۲۱۸۲.
- رئوف، م. ۱۴۰۰. تاثیر پارامترهای ورودی نرم‌افزار Hydrus 3D روی شبیه‌سازی هم‌زمان حرکت آب و جذب ریشه چغندرکند. نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران، سال ۱۰، شماره ۴۶، ۳۷۷-۳۹۳.
- عباسی، ف. ۱۳۸۶. فیزیک خاک پیشرفته. دانشگاه تهران، ۲۵۰ ص.
- سرائی تبریزی، م.، ح. بابازاده، م. همائی، ف. کاوه و م. پارسا نژاد. ۱۳۹۵. تعیین حد آستانه کاهش عملکرد ریحان و ارزیابی مدل‌های جذب آب تحت شرایط تنش شوری. نشریه مجله آب و خاک، جلد ۳۰، شماره ۱، صفحه ۳۰-۴۰.
- سرائی تبریزی، م.، م. همایی، ح. بابازاده، ف. کاوه، و م. پارسا نژاد. ۱۳۹۴. مدل سازی پاسخ گیاه ریحان به تنش آبی در سطوح متفاوت رطوبتی. نشریه تحقیقات آب و خاک ایران، جلد ۴۶، شماره ۲، صفحه ۱۶۳-۱۷۱.
- Brown, C. E., S. R. Pezeshki and R. D. DeLaune. 2006. The effects of salinity and soil drying on nutrient uptake and growth of *Spartina alterniflora* in a simulated tidal system. *Environmental and Experimental Botany*, 58(1-3): 140-148.
- Chaali, N., A. Comegna, G. Dragonetti, M. Todorovic, R. Albrizio, D. Hijazeen, N. Lamaddalena, and A. Coppola. 2013. Monitoring and modeling root-uptake salinity reduction factors of a tomato crop under non-uniform soil salinity distribution. *Procedia Environmental Sciences*, 19: 643-653.
- Chamekh, Z., C. Karmous, S. Ayadi, A. Sahli, Z. Hammami, M. Belhaj Fraj, N. Benaissa, Y. Trifa and H. Slim-Amara. 2015. Stability analysis of yield component traits in 25 durum wheat (*Triticum durum* Desf.) genotypes under contrasting irrigation water salinity. *Agricultural Water Management*, 152: 1-6.
- Dirksen, C. and D. C. Augustijn. 1988. Root water uptake function for non-uniform pressure and osmotic potentials. In *Agronomy Abstracts* (p. 182).
- Dudley, L. M. and U. Shani. 2003. Modeling Plant Response to Drought and Salt Stress: Reformulation of the Root-Sink Term. *Vadose Zone Journal*, 2(4): 751-758.
- Feddes, R.A., P.J. Kowalik and H. Zaradny. 1978. Simulation of field water use and crop yield. Prudoc, Wageningen.
- Green, S.R., M.B. Kirkham and E. Clothier. 2006. Root uptake and transpiration: From measurements and models to sustainable irrigation. *Agricultural Water Management*, 86(1-2), 165-176.



- Homaee, M. 1999. Root water uptake under non-uniform transient salinity and water stress. Ph.D. Thesis, Wageningen Agricultural University, 173 p.
- Hosseini, Y., H. Babazadeh, , and B. Khakpour Arablo. 2015. Evaluating Water Uptake Reduction Functions under Salinity and Water Stress Conditions in Pepper (*Capsicum Annuum*). *Journal of water research agriculture*, 29(4), 509-523.
- Jalali, V., S. A. Kapourchal and M. Homaee. 2017. Evaluating performance of macroscopic water uptake models at productive growth stages of durum wheat under saline conditions. *Agricultural Water Management*, 180: 13-21.
- Jamil, A., S. Riaz, , M. Ashraf and MR. Foolad. 2011. Gene expression profiling of plants under saltstress. *Critical Reviews in Plant Sciences*. 30(5): 435-458.
- Katerji, N., J. W. van Hoorn, A. Hamdy, F. Karam, and M. Mastroilli. 1994. Effect of salinity on emergence and on water stress and early seedling growth of sunflower and maize. *Agricultural Water Management*, 26(1-2), 81-91.
- Kubala, S., L. Wojtyla, M. Quinet, K. Lechowska, S. Lutts and M. Garnczarska. 2015. Enhanced expression of the proline synthesis gene P5CSA in relation to seedosmopriming improvement of *Brassica napus* germination under salinity stress. *Journal of Plant Physioligcal*. 183: 1–12.
- League, K. and R. E. Green. 1999. Statistical and graphical methods for evaluating solute transport models: Overview and application. *Journal of Contaminant Hydrology*, 7(1-2), 51-73.
- Maas, E. V. and S. R. Grattan. 1999. Crop yields as affected by salinity. *Agronomy Journal*, 38: 55-110.
- Maas, E. V. and G. J. Hoffman. 1977. Crop salt tolerance Current assessment. *Journal of Irrigation and Drainage*. *Journal of the irrigation and drainage division* 103(2): 115-134.
- Munns, R. and M. Gilliam. 2015. Salinity tolerance of crops–what is the cost? *New phytologist*. 208(3): 668-673.
- Nimah, M. N. and R. J. Hanks. 2006. Model for estimating soil water, plant and atmospheric. interrelations. I. Description and sensitivity. *Soil Science Society of America Journal*, 37(4): 522–527.
- Saadat, S. and M. Homaee. 2015. Modeling sorghum response to irrigation water salinity at early growth stage. *Agricultural Water Management*, 152: 119–124.
- Singh, R., J. C. Van Dam and R. A. Feddes. 2006. Water productivity analysis of irrigated crops in Sirsa district India. *Agricultural Water Management*, 82(3): 253-278.
- Skaggs, T. H., M. T. van Genuchten, P.J. Shouse and JA. Poss. 2006. Root uptake and transpiration: From measurements and models to sustainable irrigations. *Agricultural Water Management*, 86: 140–179.
- Taylor, K. E. 2001. Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram. *Journal of Geophytes Research*, 106(7): 7183–7192.
- Van Dam, J.C., J. Huygen, J.G. Wesseling, R.A. Feddes, P. Kabat, P.E.V. Van Walsum, P. Groenendijk and C.A. Van Diepen. 1997. Theory of SWAP, version 2. Simulation of water flow, solute transport plant growth in the soil-water-atmosphere-plant environment. Report No.71, Dept. of Water Resources, Wageningen Agricultural University.
- Van Genuchten, M. T. 1987. A numerical model for water and solute movement in and below the root zone. Research Report, U. S. Salinity Lab. Riverside CA.



Field Evaluation of Water Uptake Models Under Conjunctive Salinity and Water Stress Conditions in Semi-dry Region by Wheat (Case study: Birjand)

Mohammad Javad Nahvinia^{*1}, Saeed Sharafi², Mahdi Mohammadi Ghaleni³

Abstract

In order to evaluate the efficiency of six different macroscopic water uptake functions, consisted of additive (M_1), multiplicative (M_2 , M_3 and M_4) and conceptual (M_5 and M_6) models using field data of Ghods cultivar of wheat under salinity and drought stress, a study was conducted in the research field of university of Birjand during 2005-06 in split plots design based on randomized complete blocks (RCBD) with three replications. In this study, the main plots consisted of different levels of salinity (1.4, 4.5 and 9.6 ds m⁻¹) and sub plots consisted of four levels of irrigation (50, 75, 100 and 120 percent of crop water requirement). The results showed that the additive model (M_1) estimated yield less than actual amount. In other word, the effect of combined stresses on wheat yield was less than the one as compared to summation effects of salinity and water stress. The effect of drought stress on reduction of yield was more than salinity stress. The results also revealed that reduction functions of M_6 and M_5 models were better fitness to measured data than the other functions. The results revealed that M_6 model estimated the reduction of relative yield of wheat under simultaneous stresses conditions of salinity and drought better than other models (RMSD=0.17), although the M_5 model also had acceptable accuracy (RMSD = 0.22).

Keywords: Birjand, Drought, Salinity, Wheat.

¹ Assistant professor, Department of Water and Sciences Engineering, Faculty of Agriculture and Environmental, Arak University; University, Arak, Iran; Email: m-nahvinia@araku.ac.ir (Corresponding Author)

² Assistant professor, Department of Environment and Sciences Engineering, Faculty of Agriculture and Environmental, Arak University, Arak, Iran; Email: sharafi.saeed@gmail.com

³ Assistant professor, Department of Water and Sciences Engineering, Faculty of Agriculture and Environmental, Arak University, Arak, Iran; Email: m-mohammadighalenei@araku.ac.ir