



## مدیریت آب و آبیاری

دوره ۱۱ ■ شماره ۴ ■ زمستان ۱۴۰۰

صفحه‌های ۸۲۷-۸۱۵

DOI: 10.22059/jwim.2022.330654.922

مقاله پژوهشی:

### ارزیابی مدل SALTMED در تخمین محصول گندم در شرایط کم‌آبیاری و شوری در مناطق

#### خشک (مطالعه موردی: بیرجند)

حمیدرضا کمالی<sup>۱</sup>، محمد عبداللهی‌پور<sup>۲\*</sup>، محمدجواد نحوی‌نیا<sup>۳</sup>

۱. استادیار، گروه مهندسی آب، مرکز آموزش عالی میناب، دانشگاه هرمزگان و عضو هسته پژوهشی آگرواکولوژی در مناطق خشک، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران.

۲. استادیار، گروه مهندسی آب، دانشکده‌گان ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

۳. استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و محیط زیست، دانشگاه اراک، اراک، ایران.

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۱۰/۱۶

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۶/۲۳

#### چکیده

استفاده از مدل‌سازی یکی از گزینه‌های مناسب برای جایگزینی آزمایش‌های مزرعه‌ای به‌منظور صرفه‌جویی در زمان و هزینه است. مدل SALTMED یکی از مدل‌های عمومی برای شبیه‌سازی واکنش گیاهان مختلف تحت تنش شوری و خشکی است. این پژوهش با هدف ارزیابی این مدل برای گیاه گندم در اقلیم خشک در شهرستان بیرجند در خراسان جنوبی انجام شد. تیمارهای در نظر گرفته شده در این پژوهش شامل تنش خشکی ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۰ درصد نیاز آبی و تنش شوری ناشی از آب آبیاری با شوری‌های ۱/۴، ۴/۵ و ۹/۶ دسی‌زیمنس بر متر بود و آزمایش‌ها در سه تکرار انجام شد. نتایج شاخص‌های آماری، نشان‌دهنده ریشه میانگین مربعات خطای نرمال (NRMSE) کم‌تر از ۱۰ درصد و ضریب تعیین ۰/۹۶ و ۰/۹۹ بین مقادیر اندازه‌گیری شده و تخمینی محصول در مراحل واسنجی و ارزیابی بود. هم‌چنین مدل توانست روند تغییرات زمانی تبخیر و تعرق و نیز تغییرات زمانی و عمقی شوری خاک را به صورت مطلوبی در طول فصل کشت برآورد کند. بنابراین با توجه به نتایج پژوهش، مدل SALTMED، از کارایی و دقت مناسبی برای پیش‌بینی محصول و هم‌چنین واکنش‌های گیاهی گندم در شرایط مختلف کم‌آبیاری و درجات مختلف شوری در مناطق خشک برخوردار است.

**کلیدواژه‌ها:** تغییرات تبخیر و تعرق، تنش آبی، مدل‌سازی، واکنش‌های گیاهی.

### Evaluation of SALTMED model in estimation of wheat yield under deficit irrigation and salinity stress in arid areas (Case study: Birjand)

Hamid Reza Kamali<sup>1</sup>, Mohammad Abdollahipour<sup>2\*</sup>, Mohammad Javad Nahvinia<sup>3</sup>

1. Assistant Professor, Water Engineering Department, Minab higher education center, and member of Research Group of Agro-ecology in Dry land Areas, University of Hormozgan, Minab, I.R. of Iran.

2. Assistant Professor, Department of Water Engineering, College of Aburaihan, University of Tehran, Tehran, Iran.

3. Assistant Professor, Department of Water Sciences and Engineering, Faculty of Agriculture and Environment, Arak University, Arak, Iran.

Received: September, 14, 2021

Accepted: January, 06, 2022

#### Abstract

The application of modeling is an appropriate alternative for field experiments that save time and cost. SALTMED is a generic model for modeling plants response to water and salinity stress. This study was done to evaluate the performance of SALTMED model for wheat plant in an arid area in Birjand, South Khorasan Province. The treatments include water stress (50, 75, 100 and 120 percent of water requirement) and salinity stress (1.4, 4.5 and 9.6 dS/m) in three replications. The statistical indices of measured and predicted yield showed the normalized root mean square error (NRMSE) less than 10 percent and the coefficient of determination ( $R^2$ ) equal to 0.99 and 0.96 for model calibration and validation, respectively. The model could also simulate the temporal variation of evapotranspiration and soil salinity profile during the growing season accurately. Therefore, according to the results, SALTMED is an accurate model to predict the yield and plant reactions of wheat under different water and salinity stress levels in the arid areas.

**Keywords:** Modeling, Plant reactions, Variation of evapotranspiration, Water stress.

## مقدمه

کاهش منابع آب و به موازات آن، افزایش شوری آب باعث شده است تا استفاده مفید از آب آبیاری یک ضرورت تلقی شود. استفاده از روش‌های کم‌آبیاری و یا آبیاری با آب شور در درازمدت، ضمن کاهش عملکرد، موجب تخریب خاک کشاورزی می‌شود. این مشکل در شرایط خاک‌های ایران که حدود ۵۰ درصد از اراضی دارای توان کشاورزی آبی آن، دچار شوری هستند (Abtahi, 2001; Nahvinia *et al.*, 2018)، تشدید می‌شود. با این وجود، بهره‌گیری از آب شور برای آبیاری از نظر اقتصادی در کوتاه‌مدت برای کشاورزان جذاب بوده و به‌علاوه خطرات زیست‌محیطی آن نیز با راه‌کارهایی مانند آیشویی مناسب نمک در خاک، قابل مدیریت است. در این رابطه، استفاده از آزمایشات مزرعه‌ای، به‌علت نیاز به هزینه و صرف وقت زیاد، نمی‌تواند رویکرد مناسبی برای تصمیم‌گیری‌های زراعی در بلندمدت باشد و لذا مدل‌سازی به‌عنوان یک جایگزین مناسب برای آزمایش‌های مزرعه‌ای، اهمیت بسیاری یافته است. به‌طورکلی مدل‌های شبیه‌سازی رشد گیاهان، بیان ریاضی مراحل و فرایندهای رشد گیاه، تحت تأثیر عوامل مختلف محیطی و مدیریتی می‌باشد و استفاده از آن‌ها، نیازمند اطلاع از جزئیات فرایندهای کلیدی در طول دوره رشد گیاه و پارامترهای مؤثر بر این فرایندها است (Basiri, 2019). بیش‌تر این مدل‌ها می‌توانند رشد و عملکرد بسیاری از محصولات را پیش‌بینی کنند، درحالی‌که بعضی از آن‌ها تنها برای گیاهان خاص ارائه شده‌اند. به‌عنوان مثال مدل GOSSYM برای پنبه (Reddy *et al.*, 1995)، مدل CHIKPGRO برای نخود (Singh & Virmani, 1996) و مدل WTGROWS برای گندم (Aggarwal & Karla, 1994) به‌کار می‌رود. در گذشته، برای بررسی اثر شوری آب آبیاری از

مدل‌هایی مانند HYDRUS (Šimůnek, 1998)، SWAP (Kroes, 1999) و SALTMED (Ragab, 2002) استفاده شده است. هر یک از این مدل‌ها دارای مزایا و معایبی می‌باشد که در چارچوب اقلیم، مقیاس مورد استفاده، میزان پیچیدگی و تعداد پارامترهای مورد پیش‌بینی قابل ارزیابی است. در بین تمام مدل‌های موجود که برای شرایط مختلف ارائه شده‌اند، معدودی از این مدل‌ها از جمله CROPSYST (Ferrer & Stockle, 1996)، SALTMED (Steduto *et al.*, 2009) و AQUACROP (Ragab, 2002) قادر به مدل‌سازی اثر هم‌زمان تنش شوری و خشکی بر گیاه است.

Ragab (2002) مدل SALTMED را به‌عنوان یک شیوه یکپارچه برای شبیه‌سازی برهمکنش‌های آبیاری، محصول و مدیریت مزرعه ارائه داد. این مدل می‌تواند به‌طور هم‌زمان تنوعی از سیستم‌های آبیاری، خاک‌ها، گیاهان و استراتژی‌های متفاوت مدیریت آب و هم‌چنین نیاز آیشویی و کیفیت آب آبیاری را در نظر بگیرد و بنابراین کمبودهای موجود در طراحی مدل‌های گیاهی مشابه را تاحدی برطرف کرده است. مدل SALTMED قادر به شبیه‌سازی فرایندهای کلیدی مانند تبخیر و تعرق، جذب آب توسط ریشه، انتقال آب و املاح تحت سیستم‌ها و استراتژی‌های مختلف آبیاری، کود آبیاری، زهکشی و ارتباط بین عملکرد محصول و استفاده از آب می‌باشد.

Nasrollahi *et al.* (2016) مدل SALTMED را در شرایط مختلف مدیریت آبیاری با آب شور برای ذرت مورد ارزیابی قرار دادند. متوسط ریشه میانگین مربعات خطای نرمال در شبیه‌سازی عملکرد و بیوماس به‌ترتیب ۳/۲ و ۲/۴ محاسبه شد که بیانگر دقت و کارایی بالای مدل می‌باشد. (Mohammadi *et al.* (2014) و Kaya *et al.* (2015) به نتایج مشابهی در توانمندی این مدل در زمینه عملکرد محصول در مناطق مورد استفاده دست‌یافتند.

غرب آسیا، می‌باشد با این حال، همچنان به واردات گندم نیاز دارد. طبق آمار فائو، در سال ۲۰۱۷، حدود ۶/۵ میلیون هکتار از اراضی کشور، تحت کشت گندم و دارای میزان تولید ۱۲/۷ میلیون تن بوده است (FAOSTAT, 2021). این موارد، اهمیت نیاز به پژوهش‌های بیش‌تر از ابعاد مختلف گندم برای یافتن نحوه کاشت در شرایط تنش‌های خشکی و شوری که در اکثر اقلیم‌های ایران رخ می‌دهد را نشان می‌دهد. مدل‌سازی تولید گندم در شرایط مختلف اقلیمی، عملیات‌های کشاورزی و زراعی به تسهیل تصمیم‌گیری در مدیریت پایدار آب کمک می‌کند. (Nahvinia et al., 2010) با ارزیابی مدل SWAP در تخمین محصول گندم رقم روشن، عملکرد شبیه‌سازی شده را به‌طور متوسط ۱۰٪ کم‌تر از مقادیر واقعی گزارش کرد.

با توجه به محدودیت منابع آبی در استان خراسان جنوبی که در منطقه خشک و نیمه‌خشک قرار دارد و قرارگرفتن حجم عظیمی از این آب‌ها در ردیف آب‌های شور و لب‌شور، استفاده از این آب‌ها برای آبیاری با مدیریت ناصحیح، می‌تواند در درازمدت، خسارت‌های جبران‌ناپذیری در خاک منطقه ایجاد نماید. هم‌چنین مشکلات زیادی برای امنیت غذایی و تولید محصولات منطقه به‌ویژه در رابطه با گندم ایجاد کند. بنابراین پایش توزیع رطوبت در پروفیل خاک، تغییرات عملکرد گندم و شوری خاک در سطوح مختلف شوری، برای برنامه‌ریزی صحیح در مدیریت آبیاری منطقه ضروری به‌نظر می‌رسد. با توجه به مطالب فوق، پژوهش حاضر به‌منظور ارزیابی و واسنجی مدل SALTMED در برآورد مقدار محصول گندم در منطقه‌ی خشک بیرجند، انجام گرفت.

### مواد و روش‌ها

مدل SALTMED شامل فرایندهای تبخیر و تعرق، جذب آب توسط ریشه گیاه، انتقال آب و املاح در سیستم‌های

پژوهش‌های Aly et al. (2014) Mohammadi et al. (2015)، Kaya et al. (2015)، Hirich et al. (2011)، Ragab et al. (2005) عملکرد قابل قبول مدل را در ارزیابی رطوبت نشان داد.

هم‌چنین Noshadi et al. (2020)، کاربرد مدل‌های Hydrus و SALTMED را برای شبیه‌سازی محتوای آب خاک و شوری خاک در کنترل سطح آب زیرزمینی با کاشت گندم بررسی کردند. نتایج نشان داد، پارامترهای آماری شامل NRMSE و درجه تطابق (d) نشان می‌دهد که مقدار رطوبت خاک پیش‌بینی شده و شوری خاک در مدل Hydrus 1D- نسبت به مدل SALTMED دقیق‌تر است. اما مقدار این دو پارامتر برای عملکرد گندم و ماده خشک آن در مدل SALTMED بهتر به‌دست آمد. Razzaghi & Ghannadi (2016)، نشان دادند که مدل SALTMED مقدار رطوبت خاک را برای سیستم آبیاری بارانی بهتر از آبیاری کرتی تخمین می‌زند. مقدار محصول و ماده خشک در هر دو روش آبیاری به‌طور مناسبی توسط این مدل برآورد شد.

Abdelraouf et al. (2020) نشان دادند که مدل SALTMED می‌تواند با متوسط ضریب تعیین مناسب (بین ۰/۸۸ تا ۰/۹۷)، رطوبت خاک، جذب نیتروژن، مقدار محصول و بهره‌وری آب را در محیط گلخانه برای محصول خیار برآورد کند. استفاده از مدل SALTMED برای گیاه گندم در شرایط کم‌آبیاری و استفاده از سیستم آبیاری بارانی و خاک شنی توانست ضریب تعیین بین ۰/۹۲ تا ۰/۹۸ را برای رطوبت خاک، حجم ریشه، راندمان کاربرد آب، ماده خشک و عملکرد محصول نشان دهد (Abdelraouf et al., 2021).

گندم یکی از غلات استراتژیک و اصلی برای امنیت غذایی در دنیاست. چین با تولید بیش از ۱۰۰ میلیون تن در سال در رتبه نخست تولید گندم است و پس از آن، آمریکا قرار دارد. ایران نیز یکی از تولیدکنندگان اصلی گندم در

و اسمزی محاسبه می نماید و برابر است با  $\pi_{50}(t)/h_{50}(t)$  که  $h_{50}(t)$  پتانسیل ماتریک زمانی که  $S_{max}(t)$ ، ۵۰ درصد کاهش می یابد، است.

### میزان محصول نسبی و واقعی

با توجه به ارتباط بین جذب آب به وسیله ریشه گیاه و بازدهی محصول، بازده نسبی براساس مجموع آب جذب شده در طول فصل رشد تقسیم بر مجموع بیشترین میزان برداشت آب (بدون تنش) به دست می آید.

$$RY = \frac{\sum S(x, z, t)}{\sum S_{max}(x, z, t)} \quad (6)$$

بازده واقعی محصول از رابطه زیر به دست می آید که در آن،  $Y_{max}$  حداکثر محصول به دست آمده تحت شرایط بهینه و بدون تنش می باشد.

$$AY = RY * Y_{max} \quad (7)$$

### جریان آب و محلول

جریان آب در خاک به وسیله رابطه ریاضی ریچاردز که یک معادله دیفرانسیل غیرخطی نسبت به زمان و مکان است، قابل تشریح می باشد. این معادله براساس دو قانون دارسی و پیوستگی استوار است. معادله دارسی به صورت زیر است:

$$q = K(h) \frac{\delta H}{\delta Z} \quad (8)$$

که  $q$  دبی جریان آب،  $K(h)$  هدایت هیدرولیکی به عنوان تابعی از پتانسیل آب خاک،  $Z$  محور مختصات در جهت پایین که مبدأ آن سطح خاک است و  $H$  پتانسیل هیدرولیکی مجموع پتانسیل ثقلی و فشاری می باشد.

### داده های ورودی و خروجی مدل

نسخه ۲۰۱۰ مدل SALTMED دارای دو پنجره اصلی پارامترهای کلی مدل و پارامترهای مزرعه ای می باشد. در پنجره پارامترهای کلی مدل، مواردی چون روزهای اجرای

مختلف آبیاری، زهکشی و رابطه عملکرد محصول و استفاده از آب است که در ادامه درباره مورد هریک از این فرایندها به طور مختصر توضیح داده خواهد شد.

### تبخیر و تعرق و جذب

تبخیر و تعرق مرجع  $(ET_0)$  با استفاده از روش پنمن ماتیت و براساس معادله تغییر یافته در نشریه فائو ۵۶ محاسبه می شود (Allen et al., 1998). این مدل، هم چنین در صورت نیاز، تابش خالص خورشیدی را محاسبه می کند. تبخیر و تعرق گیاهی با استفاده از رابطه زیر محاسبه می شود.

$$ET_c = ET_0(K_{cb} + K_e) \quad (1)$$

که در آن،  $K_{cb}$  ضریب تعرق گیاهی و  $K_e$  ضریب تبخیر خاک است. میزان این دو ضریب برای هر مرحله رشد و گیاهان مختلف در مدل وجود دارد.

برای محاسبه میزان واقعی جذب آب در این مدل از رابطه Cardon & Letey (1992a,b) به صورت زیر استفاده شده است:

$$S(z, t) = \left[ \frac{S_{max}(t)}{1 + \left( \frac{\alpha(t)h + \pi}{\pi_{50}(t)} \right)^3} \right] \lambda(z, t) \quad (2)$$

که در آن:

$$\lambda(z) = \frac{5}{3}L \quad \text{for } z \leq 0.2L \quad (3)$$

$$\lambda(z) = \frac{25}{12}L * \left(1 - \frac{z}{L}\right) \quad \text{for } 0.2L < z \leq L \quad (4)$$

$$\lambda(z) = 0 \quad \text{for } z > L \quad (5)$$

و  $S_{max}(t)$  پتانسیل جذب ریشه در زمان  $t$ ،  $z$  عمق عمودی به سمت پایین،  $\lambda(z)$  نسبت توده ریشه وابسته به زمان،  $L$  بیشترین عمق ریشه دوانی،  $h$  پتانسیل ماتریک،  $\pi$  پتانسیل اسمزی،  $\pi_{50}(t)$  میزان فشار اسمزی زمانی که  $S_{max}(t)$ ، ۵۰ درصد کاهش می یابد و  $\alpha(t)$  ثابت وزنی که عکس العمل های مختلف گیاه را در مقابل پتانسیل ماتریک

دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۵ درجه و ۱۳ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۴۸۰ متر از سطح دریا، در سال زراعی ۱۳۸۵-۱۳۸۴ می باشد. گیاه مورد بررسی، گندم رقم روشن بوده و خصوصیات فیزیکی خاک مزرعه در جدول (۱)، ارائه شده است.

قالب طرح آزمایشی، کرت های خرد شده به صورت فاکتوریل بود که در آن سطوح مختلف شوری (S1، S2 و S3) به ترتیب معادل ۱/۴، ۱/۵ و ۹/۶ دسی‌زیمنس بر متر، به صورت کرت های اصلی و چهار سطح آبیاری (I1، I2، I3 و I4) به ترتیب معادل ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ درصد نیاز آبی گیاه به عنوان کرت های فرعی در سه تکرار انجام شد (شکل ۱).

روش کاشت به صورت دستی و در داخل کرت انجام شده است و به منظور حصول یکنواختی در اعمال شوری، از روش آبیاری کرتی استفاده شده است. در این پژوهش ابعاد کرت ها ۳×۴ (متر در متر) و فاصله کرت های فرعی ۵۰ سانتی متر و فاصله کرت های اصلی حدود ۵/۴ متر بوده و در تاریخ ۲۳ آبان ۱۳۸۴ کشت شدند. در هر کرت، ۱۰ ردیف کشت با فاصله ۲۰ سانتی متر و طول ۳ متر و تراکم معمول ۴۰۰ بوته گندم در متر مربع کاشت شد.

ویژگی های فیزیکی خاک قبل از کاشت گندم از طریق نمونه گیری تعیین شد. هم چنین منحنی مشخصه آب خاک، با استفاده از اندازه گیری رطوبت خاک در مکش های مختلف به کمک دستگاه صفحات فشاری و محفظه فشاری تعیین شده و پارامترهای معادله ونگنوختن مطابق جدول (۲) ارائه شده است.

آبیاری با استفاده از آب تأمین شده توسط سه حلقه چاه با شوری های مورد نظر یعنی ۱/۴، ۱/۵ و ۹/۶ دسی‌زیمنس بر متر انجام شد (جدول ۳).

برای برنامه ریزی و تعیین زمان آبیاری با معیار قرارداد تیمار بدون تنش آبی و شوری (شاهد) از شاخص رطوبت خاک استفاده شد (جدول ۴).

مدل، مکان فایل خروجی، انتخاب خروجی های مدل، انتخاب شرایط مزرعه ای مختلف، اطلاعات خاک (از جمله لایه بندی، عمق، شوری اولیه، رطوبت اولیه، هدایت هیدرولیکی اشباع، رطوبت ظرفیت زراعی و باقیمانده) و اطلاعات گیاه (از جمله حداکثر و حداقل عمق ریشه، ضرایب  $K_c$  و  $K_{cb}$ ، حداکثر ارتفاع گیاه، تاریخ روزهای کاشت، جوانه زنی و برداشت، مدت مراحل رشد گیاهی، شاخص سطح برگ و شاخص برداشت) داده شد. در صورت نبود اطلاعات دقیق، پایگاه داده های مدل با بیش از ۲۰۰ نوع گیاه و ۴۰ نوع خاک مختلف، موارد پیش فرض را ارائه می دهد. در پنجره پارامترهای مزرعه ای بخش هایی مربوط به اطلاعات اقلیمی، تبخیر و تعرق، آبیاری، رشد محصول، تناوب کشت، نیتروژن، نایمخ و اطلاعات خاک و زهکشی آمده است. در اطلاعات اقلیمی داده های حداکثر و حداقل دمای روزانه، سرعت باد، ساعات آفتابی، بارش و رطوبت نسبی به مدل داده شد. محاسبه تبخیر و تعرق از روش های پنمن مانتیث و پنمن مانتیث اصلاح شده به دست آمد. در اطلاعات ورودی برای آبیاری باید دبی، زمان و شوری آب آبیاری به دقت وارد شود.

خروجی های مدل SALTMED، شامل مقادیر شوری و رطوبت خاک، نایمخ شوری و رطوبت خاک، غلظت نسبی، کسر آبشویی، عملکرد نسبی محصول، آبیاری، تبخیر و تعرق، پتانسیل مکش، نایمخ مکش، پارامترهای رشد گیاه، بیلان آب، ماده خشک تولیدی، مقادیر نیتروژن و آمونیوم و اوره، نایمخ نیتروژن و آمونیوم و اوره، جذب آب توسط گیاه، بیلان نیتروژن و سطح آب زیرزمینی می باشد.

### مطالعه صحرائی

این پژوهش براساس داده های آزمایش های مزرعه ای Nahvinia et al. (2010) در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی بیرجند با عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۵۳

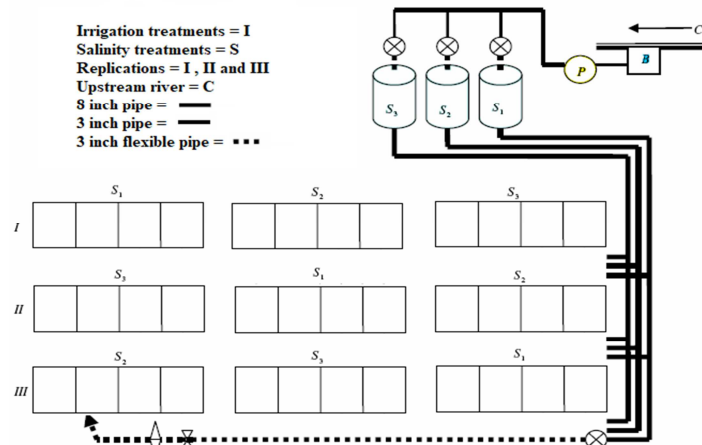


Figure 1. Schematic diagram of experimental design

Table 1. Physical and chemical properties of experimental soil

Soil depth (cm)	pH	Initial moisture (%)	ECe (dS/m)	Bulk density (g/cm <sup>3</sup> )	SAR	Soil texture	FC (%)	PWP (%)	Sand	Silt	Clay
0-30	7.61	9.00	2.1	1.50	7.4	C-L	35.2	19.3	29.7	34.6	35.7
30-60	7.72	10.75	2.7	1.45	8.6	Si-C-L	32.3	18.2	10.1	52.6	37.3
60-90	7.78	11.75	2.9	1.39	9.7	Si-C-L	33.3	21.3	11.2	53.6	35.2

Table 2. Van Genuchten model parameters for experimental soil

Depth (cm)	n	$\alpha$ (1/cm)	$K_{sat}$ (cm/d)	$\theta_{sat}$ (%)	$\theta_{res}$ (%)
0-30	1.3861	0.0127	5.84	0.4184	0.0819
30-60	1.4527	0.0096	6.53	0.4483	0.0896
60-90	1.4835	0.0090	9.52	0.4593	0.0893

Table 3. Physical and chemical properties of applied irrigation water

Well number	EC(dS/m)	pH	SAR	Cations (mg/lit)				Anions (mg/lit)			
				Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sup>3-</sup>	CO <sup>3-2</sup>	SO <sup>4-2</sup>
1	1.4	8.0	7.4	2.2	1.7	10.2	0.05	7.2	3.1	0	4.1
2	4.5	7.8	8.6	14.0	4.8	26.5	0.3	21.2	8.3	0	16.5
3	9.6	7.7	9.7	27.6	12.8	43.8	0.8	53.5	10.6	0	20.8

Table 4. Time and amount of applied irrigation water for different irrigation treatments

Time of irrigation	Irrigation treatments*			
	I1 (mm)	I2 (mm)	I3 (mm)	I4 (mm)
2005-11-16	30	30	30	30
2006-02-24	35	53	70	87
2006-03-10	38	57	76	95

\*I1, I2, I3 and I4 treatments are 50, 75, 100 and 125% of water requirement, respectively.

آب، براساس کمبود رطوبت خاک و ضرایب هر تیمار با استفاده از معادله زیر شد:

$$SMD = (W_{FC} - W_i) \times A_s \times D \times C \quad (9)$$

که در آن، SMD کمبود رطوبت خاک (میلی متر)،  $W_{FC}$  و  $W_i$  به ترتیب درصد وزنی رطوبت در ظرفیت زراعی و موجود خاک،  $A_s$  چگالی ظاهری خاک خشک (گرم بر سانتی متر مکعب)،  $D$  عمق توسعه ریشه (میلی متر) و  $C$  ضرایب هر تیمار (درصد) می باشد. در جدول (5)، مجموع مقدار آب آبیاری و بارش و همچنین نیاز آبی گیاه گندم برای تیمارهای مختلف ارائه شده است.

بر این اساس، رطوبت خاک تا عمق ریشه گیاه به ازای هر ۲۰ سانتی متر، در روزهای قبل از آبیاری اندازه گیری شد و زمانی که میانگین وزنی رطوبت حجمی خاک به حد تخلیه مجاز برای گندم (۵۰ درصد) رسید (با معیار تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی)، اقدام به اعمال رژیم های مختلف

ارزیابی مدل SALTMED در تخمین محصول گندم در شرایط کم آبیاری و شوری در مناطق خشک (مطالعه موردی: بیرجند)

### نتایج و بحث

نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر در دو قسمت واسنجی و ارزیابی مدل ارائه می شود. برای واسنجی مدل از بین تیمارهای مختلف آزمایشی، تیمارهای شوری ۱/۴ و ۹/۶ دسی زیمنس بر متر انتخاب و واسنجی انجام شد. علت انتخاب این تیمارها این بود که حد بالا و پایین مدیریت شوری در پژوهش را در بر می گرفت. واسنجی از طریق تعدیل پارامترهای گیاه و خاک با هدف حداقل نمودن تفاوت بین داده های شبیه سازی شده و داده های مشاهداتی مربوط به عملکرد انجام شد. همچنین تیمار باقیمانده یعنی تیمار شوری ۴/۵ دسی زیمنس بر متر برای ارزیابی مورد استفاده قرار گرفت.

### واسنجی

برای واسنجی مدل، داده های مختلف مقادیر آبیاری، شوری و همچنین داده های هواشناسی به مدل فراخوانی شد. علاوه بر این اطلاعات، نیاز به ورود داده های دو عامل مهم شاخص برداشت و شاخص سطح برگ به مدل است. برای این منظور شاخص سطح برگ (LAI) و شاخص برداشت (HI) بر اساس مقادیر اندازه گیری شده، تعیین شد که این مقادیر در جدول (۶) ارائه شده است. در این جدول، شاخص برداشت بر اساس نسبت ماده خشک محصول به ماده خشک کل محاسبه شد و سطح برگ نیز در سه مرحله ابتدایی، توسعه و انتهای اندازه گیری شده است.

Table 5. Applied irrigation water, rainfall and plant water use for different treatments

Irrigation water salinity*	Irrigation water volumes**	Irrigation+ Rainfall (mm)	Plant water use (mm)
S1	I1	432	466
	I2	557	587
	I3	683	703
	I4	809	785
S2	I1	431	458
	I2	557	582
	I3	683	688
	I4	809	781
S3	I1	431	453
	I2	557	575
	I3	683	686
	I4	809	774

\* and \*\* S1, S2 and S3 are salinity treatments of 1.4, 4.5, and 9.6 dS/m, respectively and I1, I2, I3 and I4 are irrigation treatments of 50, 75, 100 and 125% of water requirement, respectively.

### شاخص های ارزیابی مدل

برای ارزیابی نتایج مدل از شاخص های ریشه میانگین مربعات خطای نرمال (NRMSE) و ضریب تعیین  $R^2$  استفاده شد.

$$NRMSE \quad (10)$$

$$= \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}{n} \right]^{1/2} \times \frac{100}{\bar{O}}$$

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{O})^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (11)$$

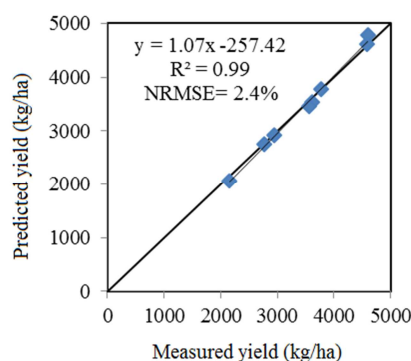
که در این روابط،  $S_i$  مقادیر شبیه سازی شده توسط مدل،  $O_i$  مقادیر اندازه گیری شده (مشاهداتی)،  $n$  تعداد مقادیر شبیه سازی شده یا اندازه گیری شده و  $\bar{O}$  مقدار متوسط پارامتر اندازه گیری شده است.

Table 6. Total dry matter, yield dry matter, leaf area index and harvest index in calibration process

Salinity treatment	Irrigation treatment	Total dry matter (kg/ha)	Yield dry matter (kg/ha)	Harvest index (HI)	Leaf area index		
					Initial	Development	End
S1	I1	11990	2765	0.23	1.0	2.7	1.8
	I2	13030	3777	0.29	1.0	3.2	2.1
	I3	14010	4586	0.33	1.0	4.0	3.0
	I4	14490	4592	0.32	1.0	4.0	3.0
S3	I1	9800	2151	0.21	1.0	2.3	1.4
	I2	10820	2942	0.27	1.0	2.9	1.9
	I3	11040	3607	0.31	1.0	3.4	2.4
	I4	11540	3559	0.30	1.0	3.5	2.5

**Table 7. Comparison of measured and predicted yield (kg/h) after model calibration**

Salinity treatment	Irrigation treatment	Predicted yield (kg/h)	Measured yield (kg/h)
S1	I1	2758.0	2765.0
	I2	3778.0	3777.0
	I3	4623.0	4586.0
	I4	4782.0	4592.0
S3	I1	2064.0	2151.0
	I2	2921.0	2942.0
	I3	3546.0	3607.5
	I4	3463.0	3559.0

**Figure 2. Correlation of measured and predicted yield (kg/h) (calibration)**

این مدل قادر است علاوه بر مقدار ماده خشک، دیگر پارامترهای مربوط به رشد محصول را نیز برآورد کند. شکل‌های (۳) و (۴)، سایر خروجی‌های مدل را ارائه می‌دهد. در شکل (۳)، نتایج مدل برای مقادیر تبخیر و تعرق (ETc)، تعرق پتانسیل (T) و تبخیر پتانسیل خاک بدون پوشش (Es) در طول فصل رشد مربوط به تیمار ۱۰۰ درصد آبیاری با شوری ۱/۴ دسی‌زیمنس بر متر (به‌عنوان نمونه)، نشان داده شده است. چنانچه مشاهده می‌شود در روزهای ابتدایی که گندم در دوره خواب زمستانه است، مقدار تعرق کم است و تقریباً از روز ۱۰۰ به بعد مقدار تعرق افزایش می‌یابد. چنانکه در شکل (۳) مشخص است با رشد گیاه و افزایش مقدار تعرق، مقدار تبخیر از سطح خاک کاهش می‌یابد، چرا که افزایش پوشش گیاهی باعث کاهش مقدار تشعشع رسیده به سطح زمین و در نتیجه کاهش مقدار تبخیر می‌شود.

در جدول (۷)، نتایج تخمینی ماده خشک محصول ارائه شده است. چنانچه مشاهده می‌شود مقادیر محصول تخمینی نسبت به تغییرات تیمار آبیاری و شوری، عکس‌العمل مناسبی دارد، به‌طوری‌که با افزایش مقدار شوری از ۱/۴ به ۹/۶ دسی‌زیمنس بر متر مقدار محصول کاهش و با افزایش میزان آبیاری مقدار محصول افزایش پیدا کرده است. در شوری آبیاری برابر ۱/۴ دسی‌زیمنس بر متر، با افزایش مقدار آب آبیاری از ۵۰ به ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی، مقدار افزایش محصول برای مقادیر اندازه‌گیری شده برابر ۳۷ و ۶۶ درصد بود و تفاوت مقدار محصول بین تیمارهای ۱۰۰ و ۱۲۵ درصد، ناچیز (کم‌تر از ۳ درصد) مشاهده شد. نتایج داده‌های شبیه‌سازی برای این تیمار شوری، نیز به‌صورت تقریباً یکسانی به‌دست آمد، به‌طوری‌که برای تیمارهای ۷۵ و ۱۲۵ درصد، مقدار افزایش محصول برابر ۳۷ و ۶۸ درصد بوده و تفاوت مقدار محصول بین تیمارهای آبیاری کامل و بیش‌آبیاری (۱۰۰ و ۱۲۵ درصد نیاز آبی)، نیز ناچیز (کم‌تر از ۳ درصد) برآورد شد.

هم‌چنین روند مشابهی از نتایج برای تیمار شوری برابر ۹/۶ دسی‌زیمنس بر متر دیده شد و نتایج شبیه‌سازی انطباق مناسبی با داده‌های اندازه‌گیری شده محصول داشت. مقدار متوسط کاهش محصول ناشی از افزایش شوری (از ۱/۴ به ۹/۶ دسی‌زیمنس بر متر)، برابر ۲۲ و ۲۵ درصد به‌ترتیب برای نتایج اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده، به‌دست آمد. جهت مقایسه بهتر مقادیر اندازه‌گیری و تخمینی ماده خشک محصول، نمودار یک به یک رسم شد که در شکل (۲) نشان داده شده است. چنانچه مشاهده می‌شود مقادیر اندازه‌گیری شده و تخمینی تطابق خوبی با هم داشته و مقدار ریشه میانگین مربعات خطای نرمال (NRMSE) نیز کم‌تر از ۱۰ درصد می‌باشد که نشان از واسنجی مناسب مدل می‌باشد.



ارزیابی مدل SALTMED در تخمین محصول گندم در شرایط کم آبیاری و شوری در مناطق خشک (مطالعه موردی: بیرجند)

افزایش میانگین شوری ناحیه ریشه است و از آنجایی که مقدار آب آبیاری (تیمار ۱۰۰ درصد) در حد نیاز بوده و در نتیجه آیشویی اتفاق نیفتاده است، بنابراین کسر شوری آب آبیاری به شوری پایین منطقه ریشه ثابت مانده است. با توجه به این توضیحات، نتایج مربوط به شکل (۴) نیز، یک روند منطقی در خروجی شوری مدل نشان می‌دهد.

شکل (۴) مربوط به نسبت شوری در زمان‌های مختلف در طول دوره رشد است. در مدل SALTMED نسبت شوری به دو صورت نمایش داده می‌شود؛ اول به صورت کسر شوری آب آبیاری به میانگین شوری ناحیه ریشه و دوم به صورت کسر شوری آب آبیاری به شوری پایین منطقه ریشه. کاهش کسر شوری آب آبیاری به میانگین شوری ناحیه ریشه، نشان‌دهنده

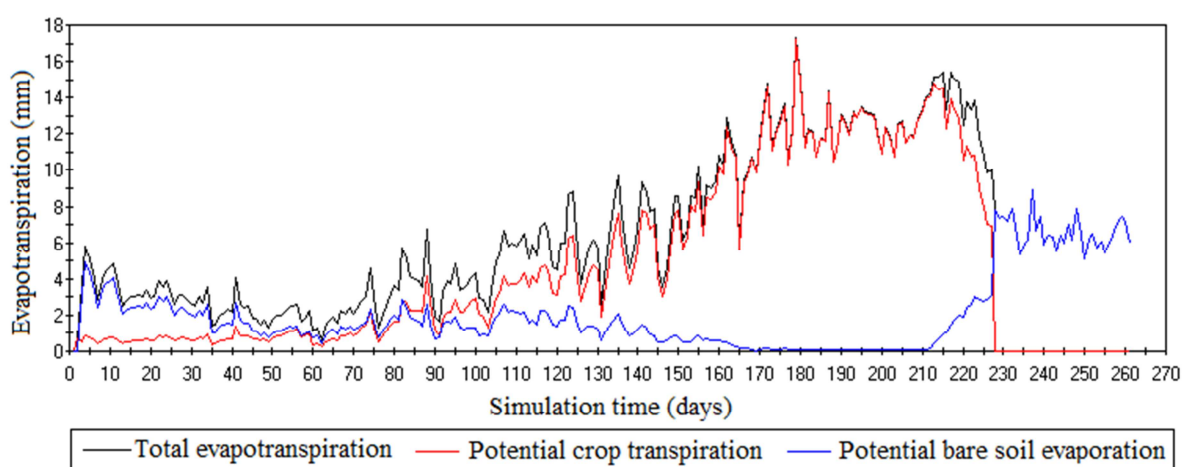


Figure 3. Change in total evapotranspiration (ET<sub>c</sub>), potential transpiration (t) and potential bare soil evaporation (E<sub>s</sub>) during plant growing season for irrigation treatment of 100% ET and salinity treatment of 1.4 (dS/m)

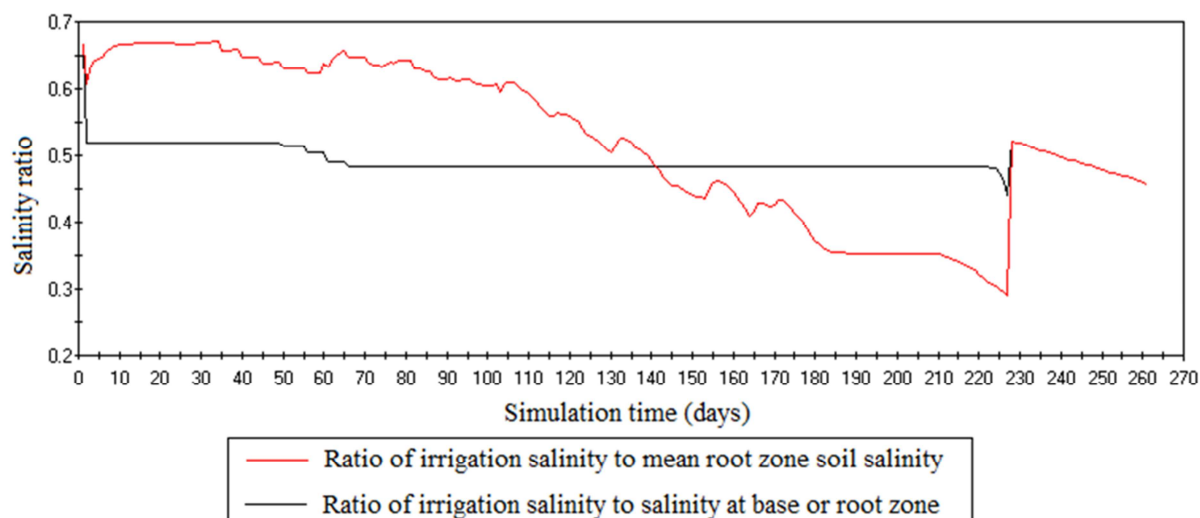


Figure 4. Change in salinity ratio during plant growing season for irrigation treatment of 100% ET and salinity treatment of 1.4 (dS/m)

## ارزیابی

فرایند ارزیابی براساس مقادیر اندازه‌گیری شده برای تیمار شوری ۴/۵ دسی‌زیمنس بر متر انجام شد. همان‌طور که قبلاً نیز گفته شد، شاخص سطح برگ و شاخص برداشت به‌عنوان ورودی مدل موردنیاز است. این مقادیر با استفاده از معادلات رگرسیونی خطی محاسبه شد که معادلات رگرسیونی براساس مقادیر اندازه‌گیری در تیمارهای شوری ۱/۴ و ۹/۶ دسی‌زیمنس بر متر بدست آمده است (جدول‌های ۸ و ۹).

**Table 8. Harvest index (HI) equations as a function of EC (dS/m) for different irrigation treatments**

Irrigation treatments	Equation
I1	HI = -0.0024 EC + 0.2334
I2	HI = -0.0024 EC + 0.2934
I3	HI = -0.0024 EC + 0.3334
I4	HI = -0.0024 EC + 0.3234

**Table 9. Leaf area index (LAI) equations as a function of EC (dS/m) in mid-stage (LAI<sub>MID</sub>) and end-stage (LAI<sub>END</sub>) of growing season for different irrigation treatments**

LAI in growth stage	Irrigation treatments	Equation
LAI <sub>MID</sub>	I1	LAI = -0.4880 EC + 2.7683
	I2	LAI = -0.0366 EC + 3.2512
	I3	LAI = -0.0732 EC + 4.1024
	I4	LAI = -0.0610 EC + 4.0854
LAI <sub>END</sub>	I1	LAI = -0.0488 EC + 1.8683
	I2	LAI = -0.0244 EC + 2.1341
	I3	LAI = -0.0610 EC + 3.0854
	I4	LAI = -0.0732 EC + 3.1024

در جدول (۱۰) مقادیر شاخص برداشت و شاخص سطح برگ ورودی مدل، که از معادلات جدول‌های (۸) و (۹) به‌دست آمد، نشان داده شده است. جدول (۱۱)، مقادیر اندازه‌گیری شده و تخمینی توسط مدل برای مقدار محصول را نشان می‌دهد. چنانچه مشخص است مقادیر اندازه‌گیری و تخمینی محصول مطابقت مناسبی با هم دارد. همچنین همانند مرحله واسنجی، مقدار محصول با افزایش مقدار آب آبیاری از ۵۰ به ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی، ۴۹ و ۷۰ درصد برای داده‌های واقعی و ۳۸ و ۶۲ درصد برای داده‌های

شبیه‌سازی شده افزایش نشان داد و تفاوت اندکی بین محصول تیمارهای ۱۰۰ و ۱۲۵ درصد مشاهده شد. شکل (۵) مقایسه بهتری از مقادیر اندازه‌گیری و تخمینی را نشان می‌دهد. در این شکل، خط مقایسه به خط یک به یک نزدیک است و مقدار ضریب تعیین ( $R^2$ ) برابر ۰/۹۶ و خطای NRMSE کم‌تر از ۱۰ درصد است که نشان‌دهنده عملکرد مدل در محدوده خیلی خوب برای تخمین مقدار محصول است. Nahvinia *et al.* (2010) با استفاده از داده‌های مزرعه‌ای کاربردی در این پژوهش، مقدار ضریب تعیین را برای شبیه‌سازی عملکرد گندم با استفاده از مدل SWAP، برابر ۰/۸۳ و خطای NRMSE را بیش از ۱۰ درصد گزارش کردند. هم‌چنین Mostafazadeh-Fard *et al.* (2008) نیز مقدار ضریب تعیین را در شبیه‌سازی عملکرد گندم با استفاده از مدل SWAP، برابر ۰/۶۸ محاسبه کردند. لذا می‌توان گفت که مدل SALTMED پیش‌بینی‌های مطلوب‌تری از مقدار عملکرد، در مقایسه با مدل SWAP داشته است که علت آن می‌تواند کاربرد معادلات دقیق شوری و تنش آبی در این مدل باشد.

یکی دیگر از خروجی‌های مدل که می‌تواند جهت ارزیابی عملکرد مدل موردبررسی قرار گیرد، تخمین پروفیل شوری در خاک است. در شکل (۶) به‌عنوان نمونه مقادیر خروجی مدل در تیمار کم‌آبیاری (۵۰ درصد نیاز آبی) برای مقایسه استفاده شده است. در این شکل مقادیر اندازه‌گیری شوری و مقادیر تخمین مدل نشان داده شده است که روند نسبتاً مناسبی دارد. بر این اساس، مقادیر اندازه‌گیری شده شوری در اعماق سطحی خاک بیش‌تر از اعماق خاک (بیش‌تر از ۵۰ سانتی‌متر) است که این روند در داده‌های شبیه‌سازی شده نیز دیده می‌شود. تغییرات مشابهی در شبیه‌سازی توزیع شوری با استفاده از مدل SWAP و داده‌های مشابه، توسط Nahvinia *et al.* (2010) گزارش شده است. در اعماق زیاد خاک (بیش از ۰/۷ متر)، در هر دو

ارزیابی مدل SALTMED در تخمین محصول گندم در شرایط کم آبیاری و شوری در مناطق خشک (مطالعه موردی: بیرجند)

در شرایط اقلیم خشک در شرایط کاربرد آب آبیاری با مقادیر و شوری‌های مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که مدل SALTMED توانایی بسیار خوبی در تخمین مقدار محصول گندم در شرایط مختلف شوری و کم آبیاری دارد، به طوری که در هر دو مرحله واسنجی و ارزیابی ریشه میانگین مربعات خطای نرمال (NRMSE) بین داده‌های مشاهده‌ای و تخمینی محصول کم‌تر از ۱۰ درصد و مقدار ضریب تعیین ( $R^2$ ) در دو مرحله به ترتیب ۰/۹۹ و ۰/۹۶ بود. مطابق نتایج با افزایش شوری و هم‌چنین کاهش مقدار آب مصرفی مقدار عملکرد محصول کاهش پیدا کرد. اما تفاوت ناچیزی بین مقدار محصول در تیمارهای آبیاری ۱۰۰ و ۱۲۵ درصد مشاهده شد که نشانه کفایت آبیاری ۱۰۰ درصد (آبیاری کامل) بود. مدل توانست به صورت منطقی، روند تغییرات تبخیر و تعرق، تعرق پتانسیل و تبخیر از خاک بدون پوشش را در طول فصل کشت برآورد کند. تغییرات شوری در طی زمان و هم‌چنین پروفیل آن در عمق خاک به صورت تقریباً مناسبی تعیین شد که نشان می‌دهد مدل توانسته است انتقال آب و نمک در خاک و جذب آب توسط گیاه در شرایط شوری را به خوبی شبیه سازی کند. بنابراین با توجه به نتایج به دست آمده، این مدل از کارایی و دقت مناسبی برای پیش‌بینی محصول گندم و تغییرات شوری خاک در مناطق خشک مانند استان خراسان جنوبی در راستای پایداری منابع آب و خاک برخوردار است.

### تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

### منابع

1. Abdelraouf, R. E., El-Shawadfy, M. A., Dewedar, O. M., & Hozayn, M. (2021). Field and modelling study for deficit irrigation strategy on roots volume and water productivity of wheat. *Journal of Water and Land Development*, 49(4-6), 129-138.

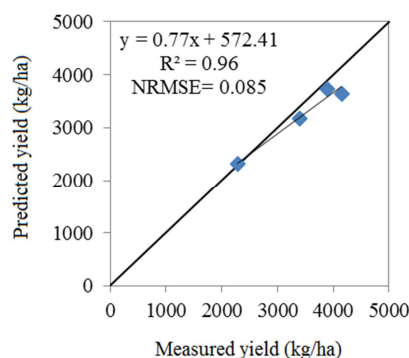
حالت اندازه‌گیری و شبیه‌سازی، مقدار شوری به مقادیر تقریباً ثابتی رسیده است (شکل ۶).

**Table 10. Indices of harvest index and leaf area index for different irrigation treatments as model input data**

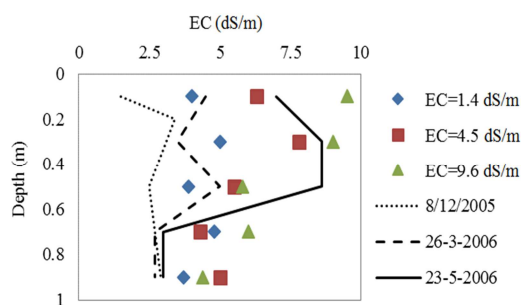
Irrigation treatment	Harvest index	Leaf area index		
		Initial	Development	End
I1	0.22	1.0	2.5	1.6
I2	0.28	1.0	3.4	2.0
I3	0.32	1.0	3.8	2.8
I4	0.31	1.0	3.8	2.8

**Table 11. Measured and predicted yield (kg/h) for salinity treatment of 4.5 (dS/m)**

Irrigation treatment	Predicted yield	Measured yield
I1	2312.9	2284.0
I2	3183.0	3405.0
I3	3740.0	3894.5
I4	3634.0	4154.0



**Figure 5. Correlation of measured and predicted yield (kg/h) for salinity treatment of 4.5 (dS/m) (validation)**



**Figure 6. Comparison of measured (points) and predicted (lines) soil salinity (dS/m) in different soil depths**

### نتیجه‌گیری

در این پژوهش، عملکرد مدل SALTMED برای گیاه گندم

2. Abdelraouf, R. E., Ghanem, H. G., Bukhari, N. A., & El-Zaidy, M. (2020). Field and modeling study on manual and automatic irrigation scheduling under deficit irrigation of greenhouse cucumber. *Sustainability*, 12(23), pp.9819.
3. Abtahi, A. (2001). Response of seedlings of two pistachio cultivars to quantity and composition of soil salinity under greenhouse conditions. *Journal of Water and Soil Science*, 5(1), 93-101. (In Persian).
4. Aly, A. A., Al-Omran, A. M., & Khasha, A. (2015). Greenhouse experiment in Saudi Arabia and modeling study using SALTMED model. *Soil and Water Conservation Journal*, 70, 1-11.
5. Aggarwal, P.K., & Karla, N. (1994). *Simulating the effect of climatic factors, genotype and management on productivity of wheat in India*. New Delhi: IARI Publication.
6. Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). *Crop evapotranspiration: FAO Irrigation and drainage paper 56*. FAO, Rome, Italy.
7. Basiri, M., Ghamarnia, H., Ghobadi, M., & Ragab, R. (2019). Study of SALTMED model performance to predict peppermint (*Mentha piperita* L.) yield production under various deficit irrigation and salinity management conditions. *Journal of water and irrigation management*, 9(1), 69-79. (In Persian).
8. Cardon, G. E., & Letey, J. (1992a). Plant water uptake terms evaluated for soil water and solute movement models. *Soil Science Society of American Journal*, 56, 1876-1880.
9. Cardon, G. E., & Letey, J. (1992b). Soil-based irrigation and salinity management model. I. Plant water uptake calculations. *Soil Science Society of American Journal*, 56, 1881-1887.
10. FAO. (2017). Faostat. (Accessed 19 August 2021). <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>.
11. Ferrer, F., & Stockle, C. (1996). A model for assessing crop response and water management in saline conditions. In: *Irrigation Scheduling: From Theory to Practice, Proceeding ICID/FAO Workshop*, September, Water Reports No. 8, FAO, Rome.
12. Hirich, A., Choukr-Allah, R., Ragab, R., Jacobsen, E., El Youssfi, L., & El-Omari, H. (2011). The SALTMED model calibration and validation using field data from Morocco. *Materials Environmental Science Journal*, 3(2), 342-359.
13. Hasanli, M., Afrasyab, P., & Ebrahimiyan, H. (2016). Evaluation of AquaCrop model and SALTMED model in estimating the yield of maize and soil salinity. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 46(3), 487-498. (In Persian).
14. Kaya, C. I., Yazar, A., & Metin Sezen, S. (2015). SALTMED model performance on simulation of soil moisture and crop yield for Quinoa irrigated using different irrigation systems, irrigation strategies and water qualities in Turkey. *Agriculture and Agricultural Science Journal*, 4, 108-118.
15. Kroes, J. G., van Dam, J. C., Huygen, J., & Vervoort, R. W. (1999). *Users guide of SWAP version 2.0. simulation of water flow, solute transport and plant growth in the soil-water-atmosphere-plant environment*, Technical Document 53. DLOW in and Staring Centre, Wageningen.
16. Mohammadi, E., Hassanli, M., Gharahdaghi, M. M., & Mohammadi, M. (2014). Soil moisture and salinity assessment using SALTMED model in Sistan climatic conditions. In: *2nd Iranian Conference on Agricultural Soil and Water Management*, 20-21 May, Karaj, Iran. (In Persian).
17. Mostafazadeh-Fard, B., Mansouri, H., Mousavi, S. F., & Feizi M. (2008). Application of SWAP model to predict yield and soil salinity for sustainable agriculture in an arid region. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 3(4), 334-342.
18. Nahvinia, M., Moaveni, B., & Shahidi, A. (2018). Assessment of SWAP model in estimating the salinity and soil moisture content (Case study: Birjand). *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 12(5), 1174-1188. (In Persian).
19. Nahvinia, M., Shahidi, A., Parsinejad, M., & Karimi, B. (2010). Assessing the performance of SWAP model in estimating the production of wheat under salinity and water stress (Case study: Birjand, Iran). *Iranian Water Research Journal*, 4(6), 43-58. (In Persian).
20. Nasrollahi, A., Boroomand Nasab, S., Hooshmand, A., & Heydarinia, M. (2016). Evaluation of the SALTMED model under different managements of drip irrigation with saline water. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 47(3), 561-567. (In Persian).
21. Noshadi, M., Fahandeh-Saadi, S., & Sepaskhah, A.R. (2020). Application of SALTMED and HYDRUS-1D models for simulations of soil water content and soil salinity in controlled groundwater depth. *Journal of Arid Land*, 12, 447-461.

22. Ragab, R. (2002). A holistic generic integrated approach for irrigation, crop and field management: the SALTMED model. *Environmental Modelling and Software*, 17, 345-361.
23. Reddy, K. R., Boone, M. L., Reddy, A. R., Hodges, H. F., Turner, S. B., & McKinion, J. M. (1995). Developing and validating a model for a plant growth regulator. *Agronomy Journal*, 87(6), 1100-1105.
24. Ragab, R., Malash, N., Abdel Gawad, G., Arslan, A., & Ghaibeh, A. (2005). A holistic generic integrated approach for irrigation, crop and field management: The SALTMED model validation using field data of five growing seasons from Egypt and Syria. *Agricultural Water Management*, 78, 89-107.
25. Razzaghi, F., & Ghannadi, T. (2016). Assessing SALTMED model for wheat experiments irrigated with basin and sprinkler systems. *International Journal of Plant Production*, 10(2), 233-250.
26. Singh, P., & Virmani, S. M. (1996). Modeling growth and yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Field Crops Research*, 46, 41-59.
27. Šimůnek, J., Sejna, M., & van Genuchten, M. T. (1998). *The Hydrus-1D software package for simulating the one-dimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variably saturated media*. User's Manual, Version 2.0, U.S. Salinity Laboratory, Agricultural Research Service, pp 178.
28. Steduto, P., Hsiao, T.C., Raes, D., & Fereres, E. (2009). AquaCrop-The FAO crop model to simulate yield response to water: I. Concepts and underlying principles. *Agronomy Journal*, 101, 426-437.