

# Evaluation of the SALTMED model to simulate potato yield and water productivity under different irrigation water management in the Shahrekord

Naji Boazar<sup>1</sup>, Aslan Egdernezhad<sup>2\*</sup>, Saeid Boroomand Nasab<sup>3</sup>

<sup>1</sup> M.Sc. Student, Department of Water Sciences and Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

<sup>2</sup> Assistant professor, Department of Water Sciences and Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

<sup>3</sup> Professor, Department of Irrigation and Drainage, Faculty of Water and Environment Engineering, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran

## Extended Abstract

### Introduction

Potato is one of the most important food sources in the world and is considered one of the basic sources in different countries. Iran is the 13<sup>th</sup> producer of this product with the production of about five million tons of potatoes. The yield of potatoes is high compared to other crops, and for this reason, it has a higher water efficiency than other crops. However, potato yield is strongly dependent on the amount of irrigation water. This issue has caused special attention to be paid to the amount of irrigation water and many studies have been conducted on determining the optimal irrigation water. However, providing the right amount of irrigation water in each climate and irrigation system requires many experiments. These tests require spending a lot of time and money, which cannot be done in research centers in the current situation. To solve this problem, various plant models have been presented. The SALTMED model is such tool, accommodate different plants, soils, irrigation systems, irrigation management solutions, water qualities, and environmental stresses.

### Materials and Methods

To carry out this research, the data collected from two research projects were conducted (the first project in 2012 and 2013, the second project in 2017 and 2018) in Shahrekord's research station. In the research projects, to manage irrigation in potato cultivation, two irrigation factors were investigated: the first factor includes different irrigation methods (S: drip, Su: subsurface drip, and F: furrow), and quantitative management of irrigation water as the second factor (FI: providing 100% of water needs, RDI80: providing 80% of water needs and RDI65: providing 65% of water needs) considering three repetitions. Data collected from the first year were used to calibrate the SALTMED model. The area of the plots was 40 m<sup>2</sup>. Within each plot, four rows were planted with a row spacing of 75 cm and a seed spacing of 20 cm. The subplots were separated by one meter. In the surface drip irrigation method, 16mm drip pipes with an average flow rate of 1.75 L h<sup>-1</sup> were used for each crop row. In subsurface drip irrigation, 16mm drip pipes with an average flow rate of 1.85 L h<sup>-1</sup> were installed at a depth of 20 cm in the soil for each crop row. To evaluate the SALTMED model at this stage, the statistics of root mean square error (RMSE), normalized root mean square error (NRMSE), mean bias error (MBE), model efficiency (EF), agreement index (d), and determination of coefficient (R<sup>2</sup>) were used. Validation of this model was done using second-year data.

### Results and Discussion

The highest and lowest differences between the observed and simulated values were 4.2 and 1.4 tons per hectare, respectively. The average difference between the observed and simulated values was 2.7 tons per hectare. The differences between the observed and simulated yields for drip, subsurface drip, and furrow irrigation methods were respectively 3, 1.9, and 3.1 tons per hectare. In addition, the accuracy of this model for simulating yield in the furrow irrigation method was lower than the other two methods. The highest and lowest difference between observed and simulated water productivity were 0.3 and 1.3 kg.m<sup>-3</sup>, respectively. The average of this difference was determined to be 0.7 kg.m<sup>-3</sup>. The difference between observed and simulated water productivity for drip

irrigation, subsurface drip, and furrow irrigation methods was 0.8, 0.5, and 0.8, respectively. Based on the values of MBE statistics, the SALTMED model had an underestimation error in simulating yield and water productivity. The results of the NRMSE statistic showed that the accuracy of the SALTMED model for yield simulation was in the excellent category. The efficiency of the SALTMED model for yield simulation was acceptable based on two statistics EF and d. The  $R^2$  statistic for the simulation of potato yield by this plant model ranged from 0.88 to 0.99.

### Conclusion

This research evaluated the SALTMED model for simulating potatoes' yield and water productivity under three irrigation methods: furrow, drip, and subsurface drip. Using the recalibrated SALTMED model, a simulation of yield and water productivity was done to meet the water needs of 90, 55, and 45 % of potatoes for all three irrigation methods. A downward trend was observed between the reduction of water supply and potato yield in all three irrigation methods. The yield differences between the 100 and 90 %, and 90 and 80 % water supply in surface irrigation were 4.8 and 5.7 %, respectively. These values were respectively 18.6 and 8.7 % for drip irrigation and 13.3% and 1.7% for subsurface drip irrigation. Therefore, the slope of yield reduction until providing 80% of the water requirement was low in all three irrigation methods. The results showed that the SALTMED model had an underestimation error for simulating both parameters ( $MBE < 0$ ). However, the obtained error is negligible and the accuracy of this plant model was in the excellent category ( $NRMSE < 0.1$ ). Based on the results of EF ( $< 0.88$ ) and d ( $< 0.99$ ) statistics, the effectiveness of the SALTMED model was favorable for simulating both yield and water productivity. To determine the optimal amount of irrigation water, the recalibrated SALTMED model was used. The results showed that providing 80% of the potato's water requirement led to the achievement of an optimal yield and high water productivity.

**Keywords:** Crop modeling, Irrigation water management, Water productivity, Water stress

**Article Type:** Case Study

### Acknowledgment

We would like to express our sincere gratitude to the Islamic Azad University of Ahvaz Branch for the financial and logistical support that significantly contributed to the research project.

### Conflicts of interest

The authors of this article declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.

### Data availability statement

All data generated during the manuscript analysis are included in the article. Further datasets are available upon a reasonable request to the corresponding author.

### Authors' contribution

**Naji Boazar:** Writing-original draft preparation; **Aslan Egdernezhad:** Software, manuscript editing, supervision, conceptualization, methodology; **Saeid Boroomand Nasab:** Resources, manuscript editing, supervision.

\*Corresponding Author, E-mail: a\_eigder@gmail.com

**Citation:** Boozar, N., Egdernezhad, A., & Boroomand Nasab, S. (2024). Evaluation of the SALTMED model to simulate potato yield and water productivity under different irrigation water management in the Shahrekord, *Water and Soil Management and Modeling*, 4(3), 329-340.  
DOI: 10.22098/mmws.2023.13033.1296

Received: 03 June 2023, Received in revised form: 22 July 2023, Accepted: 22 July 2023, Published online: 22 July 2023  
*Water and Soil Management and Modeling*, Year 2024, Vol. 4, No. 4, pp. 329-340

Publisher: University of Mohaghegh Ardabili

© Author(s)





## بررسی کارایی مدل SALTMED در شبیه سازی عملکرد و بهره‌وری آب سیب زمینی تحت مدیریت‌های مختلف آب آبیاری در شهرکرد

ناجی بوعدار<sup>۱</sup>، اصلان اگدرنژاد<sup>۲\*</sup>، سعید برومندنسب<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران  
<sup>۲</sup> استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران  
<sup>۳</sup> استاد، گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران

### چکیده

مدل SALTMED یکی از مدل‌های توانمند و با ارزش برای شبیه‌سازی عملکرد گیاهان زراعی و محاسبه بهره‌وری آب تحت سناریوهای مختلف مدیریت آب آبیاری است. در این تحقیق، به منظور ارزیابی مدل SALTMED برای شبیه‌سازی اثر مدیریت‌های مختلف آب آبیاری بر عملکرد و بهره‌وری آب گیاه سیب زمینی از داده‌های مزرعه‌ای مستخرج از دو طرح تحقیقاتی دو ساله (۱۳۹۲-۱۳۹۳ و ۱۳۹۸-۱۳۹۷) در ایستگاه تحقیقاتی چهارتخته شهرکرد استفاده شد. عوامل مورد بررسی در این تحقیق شامل سه روش آبیاری (S: قطره‌ای سطحی، Su: قطره‌ای زیرسطحی و F: چوپچه‌ای) و نیز سه مقدار آب آبیاری (FI: تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی، RDI80: تأمین ۸۰ درصد نیاز آبی و RDI65: تأمین ۶۵ درصد نیاز آبی) بود. از داده‌های سال اول برای واسنجی مدل و از داده‌های سال دوم برای صحت‌سنجی آن استفاده شد. برای ارزیابی نتایج مدل از آماره‌های جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده (NRMSE)، میانگین خطای اریب (MBE)، کارایی مدل (EF)، شاخص توافقی (d) و ضریب تبیین ( $R^2$ ) استفاده شد. نتایج نشان داد که صحت مدل SALTMED برای شبیه‌سازی عملکرد و بهره‌وری آب سیب زمینی در دسته عالی قرار دارد ( $NRMSE < 0.1$ ). گرچه این مدل دچار خطای کم‌برآوردی شد ( $MBE < 0$ ) و مقادیر عملکرد و بهره‌وری آب را کمتر از مقدار واقعی شبیه‌سازی کرد. کارایی مدل SALTMED براساس آماره‌های (EF) و (d) بیش‌تر از ۰/۹ به‌دست آمد و مطلوب بود. با استفاده از مدل واسنجی‌شده SALTMED، شرایط تأمین آب آبیاری برای مقادیر ۴۵، ۵۵ و ۹۰ درصد نیاز آبی نیز شبیه‌سازی و با نتایج شرایط تأمین آب آبیاری ۱۰۰، ۸۰ و ۶۵ درصد نیاز آبی مقایسه شد. نتایج نشان داد که با کاهش میزان تأمین آب بیش‌تر از ۸۰ درصد، عملکرد سیب زمینی به‌صورت متوسط ۵۵/۱ درصد کاهش یافت. لیکن بهره‌وری آب در مقدار ۸۰ درصد نیاز آبی برای روش‌های آبیاری چوپچه‌ای، قطره‌ای سطحی و قطره‌ای زیرسطحی به‌ترتیب برابر با ۱۱/۸، ۱۱/۹ و ۱۰/۲ کیلوگرم بر مترمکعب بود. بنابراین تأمین ۸۰ درصد نیاز آبی سیب زمینی سبب عملکرد مطلوب و بهره‌وری آب مناسب ( $> 10/2$ ) می‌شود.

**واژه‌های کلیدی:** بهره‌وری آب، تنش آبی، مدل سازی گیاهی، مدیریت آب آبیاری

نوع مقاله: مطالعه موردی

\*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: a\_eigder@ymail.com

استاد: بوعدار، ناجی، اگدرنژاد، اصلان، و برومندنسب، سعید (۱۴۰۳). بررسی کارایی مدل SALTMED در شبیه‌سازی عملکرد و بهره‌وری آب سیب زمینی تحت مدیریت‌های مختلف آب آبیاری در شهرکرد. *مدل سازی و مدیریت آب و خاک*، ۴(۳)، ۳۲۹-۳۴۰.

DOI: 10.22098/mmws.2023.13033.1296

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۱۳، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۴/۳۱، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۳۱، تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۴/۳۱

مدل سازی و مدیریت آب و خاک، سال ۱۴۰۳، دوره ۴، شماره ۴، صفحه ۳۲۹ تا ۳۴۰

ناشر: دانشگاه محقق اردبیلی

© نویسندگان



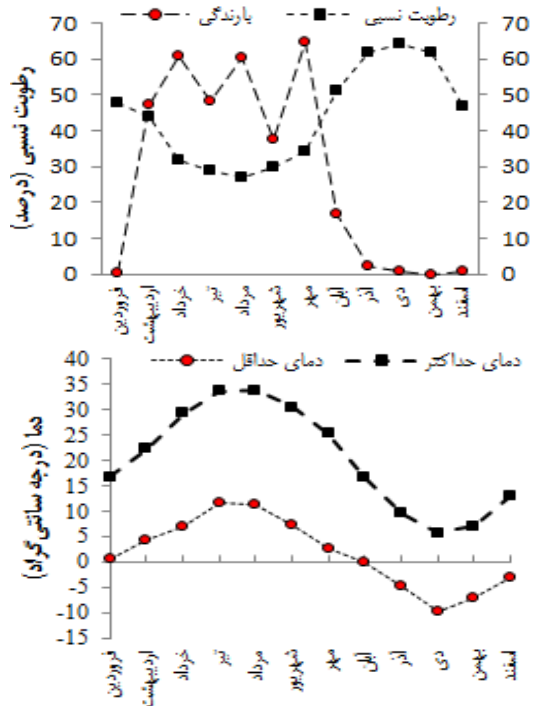
## ۱- مقدمه

سیب‌زمینی یکی از مهم‌ترین منابع غذایی در جهان است و در کشورهای مختلف به‌عنوان یکی از محصولات اساسی به‌شمار می‌رود. اهمیت این گیاه به‌حدی است که سازمان خوار و بار کشاورزی ملل متحد (فائو) آن را به‌عنوان پنجمین محصول غذایی جهان از نظر تولید معرفی نموده است. کل سطح زیرکشت سیب‌زمینی در جهان حدود ۱۷/۳۴ میلیون هکتار است. از این مزارع حدود ۳۷۰ میلیون تن محصول سیب‌زمینی برداشت می‌شود (Djaman et al., 2021). براساس آمار منتشر شده، ایران با تولید حدود پنج میلیون تن سیب‌زمینی به‌عنوان سیزدهمین تولیدکننده این محصول به‌شمار می‌رود (FAOSTAT, 2021). عملکرد سیب‌زمینی نسبت به سایر محصولات زراعی بالا است. به همین دلیل محصول سیب‌زمینی بهره‌وری آب بالاتری نسبت به سایر گیاهان زراعی دارد. با این وجود عملکرد سیب‌زمینی به‌شدت به مقدار آب آبیاری وابسته است (Djaman et al., 2021). این موضوع سبب شده است که توجه ویژه‌ای به مقدار آب آبیاری آن شود و مطالعات بسیاری در خصوص تعیین آب آبیاری بهینه گیاه سیب‌زمینی انجام شود. با این وجود ارائه مقدار آب آبیاری مناسب در هر اقلیم و برای سیستم آبیاری مختلف، نیازمند انجام آزمایش‌های مزرعه‌ای متعدد زمان‌بر و پرهزینه است.

برای رفع این مشکل مدل‌های گیاهی مختلفی ارائه شده است. مدل SALTMED یکی از مدل‌های گیاهی است که برای گیاهان، خاک‌ها، سامانه‌های آبیاری مختلف، سناریوهای مختلف مدیریت آب آبیاری، کیفیت‌های مختلف آب و اثر تنش‌های محیطی ارائه شده است (Ragab et al., 2002). محققان با توجه به قابلیت‌های مدل SALTMED، در تحقیقات بسیاری از آن استفاده نموده‌اند. به‌عنوان مثال، (Montenegro et al., 2010) از مدل گیاهی SALTMED برای شبیه‌سازی رطوبت خاک و عملکرد گیاهان هویج، کلم و کرچک در برزیل استفاده و صحت آن را قابل قبول گزارش نمودند. در تحقیق دیگری، Razzaghi et al. (2011) از مدل SALTMED برای شبیه‌سازی اثرات مقدار و کیفیت آب آبیاری بر عملکرد گیاه گنه‌گنه در آزمایش لابسیمتری در کشور دانمارک استفاده نمودند. در این تحقیق عملکرد دانه، ماده خشک، شوری آب آبیاری و شوری خاک به‌خوبی شبیه‌سازی شد. نتایج شبیه‌سازی عملکرد این گیاه نشان داد که خطای نسبی مدل برابر با ۰/۴- درصد بود. در ادامه، (Hirich et al., 2012) در مراکش برای سه محصول گنه‌گنه، نخود و ذرت شیرین با تیمارهای کم‌آبیاری مدل SALTMED را واسنجی و صحت‌سنجی کردند. در این تحقیق مدل به‌خوبی داده‌های رطوبت خاک، عملکرد محصول و ماده خشک را برای

سه محصول فوق شبیه‌سازی نمود. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که حداکثر اختلاف بین عملکرد گیاه نخود در شرایط مزرعه‌ای و مقادیر شبیه‌سازی شده توسط مدل برابر با ۵/۱۴ درصد بود.

از سایر تحقیقات انجام شده، (Mehanna et al., 2012) صحت‌سنجی مدل SALTMED تحت شرایط مختلف اعمال کود و تنش خشکی برای گیاه لوبیاسبز را در مصر بررسی نمودند. در این تحقیق مدل پیش‌بینی مناسبی برای توزیع شوری و رطوبت خاک در شرایط آبیاری قطره‌ای داشت. در جنوب کشور پرتغال نیز، (Silva et al., 2013) عملکرد دانه و ماده خشک نخود و رطوبت خاک را تحت رژیم‌های مختلف آبیاری در دو سال خشک و تر توسط مدل SALTMED شبیه‌سازی نمودند. در این تحقیق مدل با صحت بالایی پارامترهای مذکور را شبیه‌سازی کرد. در ترکیه (Rameshwaran et al., 2014) در تحقیق گلخانه‌ای اثر آبیاری با آب شور بر عملکرد فلفل را با استفاده از مدل SALTMED شبیه‌سازی نمودند. نتایج این تحقیق، توانایی مدل در تخمین رطوبت خاک در سه لایه صفر تا ۲۰، ۲۰ تا ۴۰ و ۴۰ تا ۶۰ سانتی‌متر و نیز شبیه‌سازی عملکرد محصول را به اثبات رساند در دشت بروجن (Riyahi Farsani and Ghobadi Nia, 2016) برای شبیه‌سازی سیب‌زمینی مدل SALTMED ارزیابی کردند. آن‌ها با بررسی عملکرد محصول برداشت شده و مقادیر شبیه‌سازی نشان دادند که کارایی و صحت این مدل قابل قبول است و استفاده از آن را برای تعیین عملکرد سیب‌زمینی پیشنهاد کردند. همچنین، (El-Shafie et al., 2017) برای شبیه‌سازی عملکرد سیب‌زمینی از مدل SALTMED در کشور مصر استفاده و نشان دادند که این مدل توانایی لازم برای شبیه‌سازی عملکرد سیب‌زمینی تحت شرایط آبیاری قطره‌ای را داشت. در نهایت، (Al-Omran et al., 2020) در عربستان از طریق مدل SALTMED به شبیه‌سازی عملکرد سیب‌زمینی در شرایط تأمین بخشی از رطوبت ناحیه ریشه پرداختند و آماره RMSE را برای شبیه‌سازی عملکرد سیب‌زمینی بین ۰/۱ تا چهار تن در هکتار در تیمارهای مختلف گزارش کردند. روند تغییر سیستم‌های آبیاری برای کشت گیاه سیب‌زمینی در بسیاری از مناطق ایران مشاهده می‌شود به‌طوری‌که سیستم آبیاری جویچه‌ای جای خود را به آبیاری قطره‌ای سطحی یا آبیاری قطره ای زیرسطحی داده است. این موضوع با توجه به شرایط اقلیم ایران و احتمال بروز خشکسالی‌ها در دهه‌های آینده به‌نظر امری ضروری است. بنابراین، لازم است عملکرد و بهره‌وری آب برای محصول سیب‌زمینی در این شرایط بررسی شود. با توجه به‌ممرور منابع، تاکنون توجه کم‌تری نسبت به ارزیابی مدل SALTMED برای شبیه‌سازی سیب‌زمینی در روش‌های مختلف آبیاری و در شرایط مختلف تأمین آب آبیاری به‌صورت هم‌زمان بوده است. بنابراین، این خلاء در تحقیقات قبلی وجود دارد. هم‌چنین، کاربرد مدل



شکل ۱- مشخصات هواشناسی منطقه مورد مطالعه  
Figure 1- Meteorological characteristics of the area studied

رقم بذر مورد استفاده برون بود و قبل از کاشت ضدعفونی شد. در هر دو طرح مورد استفاده در این تحقیق، عملیات کاشت در تاریخ ۲۵ خرداد و به صورت مکانیزه توسط دستگاه انجام شد. میزان بذر مصرفی ۴/۸ تن در هکتار بود. ابعاد کرت‌ها چهار در ۱۰ مترمربع در نظر گرفته شد. در داخل هر کرت چهار ردیف کاشت با فاصله بین ردیف ۷۵ سانتی‌متر و فاصله بین بذر ۲۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. کرت‌های فرعی با فاصله یک متر، کرت‌های اصلی با فاصله یک متر و تکرارها با فاصله سه متر از هم‌دیگر جدا شدند. در روش آبیاری قطره‌ای سطحی، از نوار تیپ‌هایی به طول ۱۰ متر با قطر ۱۶ میلی‌متر، فاصله مجاری خروج آب ۲۰ سانتی‌متر و میانگین دبی ۱/۷۵ لیتر بر ساعت، برای هر ردیف کشت استفاده شد. در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، از لوله‌های قطره‌چکان دار به طول ۱۰ متر با قطر ۱۶ میلی‌متر، فاصله مجاری خروج آب ۲۰ سانتی‌متر و میانگین دبی ۱/۸۵ لیتر در ساعت، در عمق ۲۰ سانتی‌متری خاک برای هر ردیف کشت استفاده شد. اندازه‌گیری و کنترل مقدار آب آبیاری در هر تیمار توسط شیرهای قطع و وصل جریان و کنتور حجمی که روی لوله های پلی‌اتیلن انتقال آب تعبیه شده بود، انجام شد. در مهرماه، نمونه‌گیری از بوته گیاه انجام شد. به‌صورتی که از هر کرت آزمایشی چهار بوته انتخاب و ریشه و غده‌ها از خاک بیرون آورده شد. تعیین عملکرد سیب‌زمینی در آزمایشگاه مرکز تحقیقات و با استفاده از ترازو انجام شد (Haghighati Boroujeni et al., 2015; Kheiri Shalamzari et al., 2018; Kheiri

SALTMED برای برنامه‌ریزی مناسب آبیاری تحت روش‌ها و مقادیر مختلف آبیاری تاکنون مورد توجه محققان نبوده است. از این رو، تحقیق حاضر با هدف بررسی صحت و کارایی مدل SALTMED برای شبیه‌سازی عملکرد و بهره‌وری آب محصول سیب‌زمینی و تعیین میزان آب آبیاری مناسب تحت مدیریت‌های مختلف آب آبیاری (روش‌ها و مقادیر مختلف آب آبیاری) انجام شد.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

برای انجام این تحقیق از داده‌های دو طرح تحقیقاتی (طرح اول در سال‌های ۱۳۹۳-۱۳۹۳، طرح دوم در سال‌های ۱۳۹۷-۱۳۹۸) در ایستگاه تحقیقاتی چهار تخته شهرکرد واقع در مختصات جغرافیایی ۳۲° ۱۸' عرض شمالی و ۵۰° ۵۵' طول شرقی با ارتفاع ۲۰۹۰ متر از سطح دریا استفاده شد. این منطقه اقلیم نیمه‌مرطوب با تابستان معتدل و زمستان بسیار سرد دارد. در شکل ۱ میانگین پارامترهای هواشناسی مهم منطقه مورد بررسی در این تحقیق در طول مدت زمان اجرای عملیات مزرعه‌ای ارائه شده است. در طرح‌های تحقیقاتی مورد استفاده، برای مدیریت آبیاری در کشت سیب‌زمینی، دو عامل آبیاری شامل روش‌های مختلف آبیاری (S: قطره‌ای سطحی، Su: قطره‌ای زیرسطحی و F: جویچه‌ای) و مدیریت کمی آب آبیاری به‌عنوان عامل دوم (FI: تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی، RDI80: تأمین ۸۰ درصد نیاز آبی و RDI65: تأمین ۶۵ درصد نیاز آبی) با در نظر گرفتن سه تکرار بررسی شده است (Haghighati Boroujeni, 2015; Kheiri Shalamzari, 2018).

برای تعیین عمق خالص آبیاری تیمار تأمین ۱۰۰ نیاز آبیاری (FI)، در هر نوبت آبیاری با هدف جایگزین نمودن رطوبت خاک در عمق توسعه ریشه تا حد ظرفیت زراعی از رابطه (۱) استفاده شد:

$$dn = (\theta_{ft} - \theta_i) \times \rho_b \times Z_r \quad (1)$$

در این رابطه، dn عمق خالص آبیاری (میلی‌متر)،  $\theta_i$  رطوبت وزنی قبل از آبیاری،  $\theta_{ft}$  رطوبت وزنی خاک در ظرفیت زراعی،  $\rho_b$  وزن مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب) و  $Z_r$  عمق توسعه ریشه (میلی‌متر) است. زمان بندی آبیاری بر اساس محاسبات کاهش رطوبت در منطقه ریشه در حد رطوبت سهل‌الوصول انجام شد. مرز پایین رطوبت سهل‌الوصول (تخلیه مجاز) از رابطه (۲) محاسبه شد:

$$\theta_m = [\theta_{fc} - MAD(\theta_{fc} - \theta_{pwp})] \quad (2)$$

در رابطه بالا،  $\theta_m$  مرز پایین رطوبت سهل‌الوصول،  $\theta_{fc}$  و  $\theta_{pwp}$  به ترتیب رطوبت در نقطه ظرفیت زراعی و پژمردگی دائم و MAD ضریب حداکثر تخلیه مجاز است.

$$S(s, t) = \left[ \frac{Smaz(t)}{1 + \left( \frac{a(t)h + \pi}{\pi 50(t)} \right)} \right] \lambda(s, t) \quad (6)$$

$$Smaz(t) = ET_0 \times Kcb(t) \quad (7)$$

در این رابطه‌ها،  $S_{max}(t)$  بیشینه جذب آب توسط ریشه در زمان  $t$ ،  $z$  عمق خاک،  $\lambda(z, t)$  عمق و بخش مستقل از زمان از کل حجم ریشه،  $L$  بیش‌ترین عمق ریشه‌دوانی،  $h$  پتانسیل ماتریک،  $\pi$  فشار اُسمزی،  $\pi_{50}$  مقدار مستقل از زمان فشار اُسمزی که جذب آب به ۵۰ درصد کاهش می‌یابد،  $a(t)$  ضریب وزنی که برای واکنش متفاوت گیاهان در شرایط اُسمزی و ماتریک به‌دست می‌آید و  $K_{cb}$  ضریب تعرق گیاهی است (Ragab et al., 2002).

### ۳-۲- تحلیل حساسیت مدل SALTMED

پیش از واسنجی مدل SALTMED، تحلیل حساسیت براساس رابطه (۸) انجام شد (Geerts and Raes, 2009):

$$Sc = \left| \frac{Pm - Pb}{Pb} \right| \times 100 \quad (8)$$

در رابطه (۸)،  $Sc$  ضریب حساسیت بدون بعد،  $P_m$  مقدار برآورد شده پارامتر مورد نظر براساس داده‌های ورودی تعدیل شده و  $P_b$  مقدار برآورد پارامتر مورد نظر براساس داده ورودی پایه است. برای تحلیل حساسیت مدل به هر پارامتر، در هر مرحله یکی از عوامل ورودی مدل به مقدار ۲۵ درصد تغییر داده می‌شد و بقیه عوامل ثابت نگهداشته می‌شدند (Geerts and Raes, 2009). در هر مرحله مقدار ضریب حساسیت در سه کلاس،  $Sc > 15$  حساسیت بالا،  $2 < Sc < 15$  حساسیت متوسط،  $Sc < 2$  حساسیت پایین طبقه بندی شد (Geerts and Raes, 2009). نتایج تحلیل حساسیت در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- ضریب حساسیت برخی پارامترهای ورودی مدل رشد گیاهی SALTMED

Table 1- Sensitivity coefficient of some input parameters of SALTMED plant growth model

پارامتر	مقدار $Sc$ در حالت +۲۵٪	مقدار $Sc$ در حالت -۲۵٪	درجه حساسیت
عمق ریشه	2.40	3.30	متوسط
ضریب $Kc$ در ابتدای دوره رشد	3.50	2.90	متوسط
ضریب $Kc$ در میانه دوره رشد	4.60	3.70	متوسط
ضریب $Kc$ در انتهای دوره رشد	5.10	2.10	متوسط
ضریب $\pi_{50}$ در ابتدای دوره رشد	2.20	3.90	متوسط
ضریب $\pi_{50}$ در میانه دوره رشد	2.50	5.90	متوسط

اریب (MBE)، کارایی مدل (EF)، شاخص توافق (d) و ضریب تبیین ( $R^2$ ) از رابطه‌های (۹) الی (۱۴) استفاده شد:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Pi - Oi)^2}{n}} \quad (9)$$

(Shalamzari et al., 2020). برای محاسبه بهره‌وری فیزیکی آب نیز از رابطه (۳) استفاده شد:

$$WP = \frac{Y}{W} \quad (3)$$

در رابطه فوق،  $WP$  بهره‌وری فیزیکی آب (کیلوگرم بر مترمکعب)،  $Y$  عملکرد (کیلوگرم) و  $W$  حجم آب آبیاری (مترمکعب) است.

### ۲-۲- معرفی مدل SALTMED

این مدل برای شبیه‌سازی تبخیر-تعرق از رابطه فائوپنمن-مانیت استفاده می‌کند (رابطه ۴):

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(Rn - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (ex - ea)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad (4)$$

در این رابطه،  $ET_0$  تبخیر-تعرق مرجع (میلی‌متر بر روز)،  $R_n$  تابش خالص (مگاژول بر مترمربع بر روز)،  $G$  شدت گرمای خاک (مگاژول بر مترمربع بر روز)،  $T$  میانگین دمای روزانه در ارتفاع دو متری (درجه سانتی‌گراد)،  $\Delta$  شیب منحنی فشار بخار اشباع (کیلوپاسکال بر درجه سانتی‌گراد)،  $\gamma$  ثابت سایکرومتری،  $(e_s - e_a)$  کمبود فشار بخار اشباع (کیلو پاسکال) و  $U_2$  سرعت باد در ارتفاع دو متری است. عملکرد گیاه مورد شبیه‌سازی نیز از رابطه (۵) تعیین می‌شود (Ragab et al., 2002).

$$RY = \frac{\sum S(x, z, t)}{\sum Smax(x, z, t)} \quad (5)$$

صورت و مخرج رابطه (۵) به ترتیب نشان‌دهنده میزان واقعی جذب آب توسط ریشه (رابطه ۶) و میزان آب مورد نیاز برای تعرق (رابطه ۷) است.

### ۲-۴- واسنجی مدل SALTMED

برای واسنجی مدل SALTMED از داده‌های برداشت شده از سال اول استفاده شد. برای ارزیابی مدل SALTMED در این مرحله از آماره‌های جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده (NRMSE)، میانگین خطای

دهنده این است که مدل مورد استفاده به چه میزان بیش‌تر یا کم‌تر از واقعیت، برآورد می‌کند و هر چه به صفر نزدیک‌تر باشد بهتر است. مقدار مثبت آماره MBE نشان‌دهنده این است که مدل مورد استفاده مقدار پارامتر مورد نظر را بیش‌تر از مقدار واقعی برآورد کرده است و مقادیر منفی بیان‌گر این است که مدل در برآورد پارامتر مورد نظر عدد کوچک‌تری به‌دست داده است. EF، مقادیر برآورد شده را با میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده مقایسه می‌کند. مقدار منفی EF، بیان‌گر این است که میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده، برآوردی بهتر از مقادیر برآورد شده به‌دست می‌دهد. مقدار  $R^2$  از صفر تا یک متغیر بوده و هر چه به یک نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده برازش بهتر داده‌ها است. نتایج مقادیر واسنجی شده پارامترهای ورودی مدل SALTMED در جدول ۲ نشان داده شده است.

$$NRMSE = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}}}{\bar{O}_i} \quad (10)$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)}{n} \quad (11)$$

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (12)$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P_i| - |O_i|)^2} \quad (13)$$

$$R^2 = \frac{\sum (P_i - \bar{P}) \sum (O_i - \bar{O})^2}{\sum (P_i - \bar{P})^2 \sum (O_i - \bar{O})^2} \quad (14)$$

در رابطه‌های فوق،  $P_i$  مقدار برآورد شده،  $O_i$  مقدار اندازه‌گیری شده،  $\bar{P}$  میانگین مقادیر برآورد شده،  $\bar{O}$  میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده و  $n$  تعداد داده‌ها است. مقدار RMSE نشان

جدول ۲- برخی پارامترهای ورودی مدل گیاهی SALTMED  
Table 2- Some input parameters of the SALTMED plant model

توضیح	واحد	مقدار	توضیح عامل
واسنجی	متر	1.00	عمق ریشه
پیش‌فرض	تن بر هکتار	1.00	حداکثر عملکرد
پیش‌فرض	-	0.60	ضریب Kc در ابتدای دوره رشد
واسنجی	-	1.10	ضریب Kc در میانه دوره رشد
واسنجی	-	0.90	ضریب Kc در انتهای دوره رشد
واسنجی	-	0.15	ضریب Kcb در ابتدای دوره رشد
واسنجی	-	1.20	ضریب Kcb در میانه دوره رشد
واسنجی	-	0.60	ضریب Kcb در انتهای دوره رشد
واسنجی	-	0.70	شاخص کاشت
پیش‌فرض	درجه سانتی‌گراد	45.0	دمای حداکثر
پیش‌فرض	درجه سانتی‌گراد	2.00	دمای حداقل
پیش‌فرض	دسی‌زیمنس بر متر	8.00	پارامتر $\pi 50$ در ابتدای دوره رشد
پیش‌فرض	دسی‌زیمنس بر متر	10.0	پارامتر $\pi 50$ در میانه دوره رشد
پیش‌فرض	دسی‌زیمنس بر متر	17.0	پارامتر $\pi 50$ در انتهای دوره رشد

### ۳- نتایج و بحث

مقایسه آماری نتایج به‌دست آمده از مدل SALTMED نسبت به عملکرد و بهره‌وری آب مشاهداتی گیاه سیب‌زمینی در مرحله واسنجی در جدول ۳ آورده شده است. با توجه به مقادیر آماره MBE، مدل SALTMED برای شبیه‌سازی عملکرد ( $MBE = -1/90$ ) و بهره‌وری آب ( $MBE = -0/60$ ) سیب‌زمینی دچار خطای کم‌برآوردی شد. نتایج آماره RMSE نشان داد که خطای این مدل برای شبیه‌سازی عملکرد ( $RMSE = 1/30$ ) و بهره‌وری آب ( $RMSE = 0/62$ ) قابل قبول بود. بررسی آماره NRMSE نیز نشان داد که صحت این مدل برای شبیه‌سازی هر دو پارامتر عملکرد ( $NRMSE = 0/60$ ) و بهره‌وری آب ( $NRMSE = 0/06$ ) در دسته عالی قرار داشت. با توجه به نتایج دو آماره EF و d، کارایی مدل SALTMED برای شبیه‌سازی عملکرد و بهره‌وری آب قابل‌قبول بود. این نتایج با مشاهدات Al-Omran et al. (2020) مطابقت دارد.

### ۲-۵- صحت‌سنجی مدل SALTMED و برنامه‌ریزی آبیاری

پس از واسنجی مدل SALTMED، با استفاده از داده‌های سال دوم این مدل گیاهی مورد صحت‌سنجی قرار گرفت. برای ارزیابی این مدل در مرحله صحت‌سنجی نیز از آماره‌های اشاره شده در رابطه‌های (۹) الی (۱۴) استفاده شد. در ادامه، برای تعیین بهترین مقدار آب آبیاری، سه سناریوی آبیاری RDI55، RDI90 و RDI45 که به‌ترتیب نشان‌دهنده تأمین آبیاری ۹۰، ۵۵ و ۴۵ درصد، با استفاده از مدل واسنجی‌شده SALTMED شبیه‌سازی شدند. با مقایسه نتایج به‌دست آمده از این سه سناریو و سه مقدار ۱۰۰، ۸۰ و ۶۵ درصد که در شرایط واقعی به‌دست آمد، بهترین مقدار آب آبیاری برای دستیابی به عملکرد و بهره‌وری آب مطلوب تعیین شد.



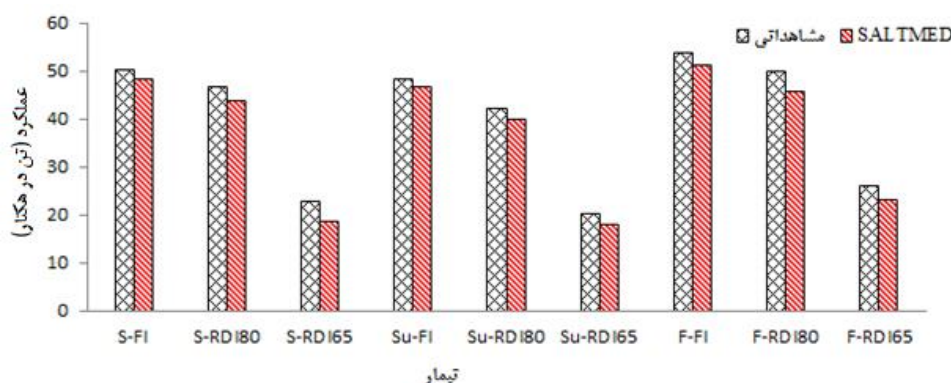
اختلاف بین عملکرد مشاهداتی و شبیه‌سازی شده برای روش‌های آبیاری قطره‌ای سطحی، قطره‌ای زیرسطحی و جویچه‌ای به ترتیب برابر با ۳، ۱/۹ و ۳/۱ تن در هکتار به دست آمد. همچنین، صحت این مدل برای شبیه‌سازی عملکرد در روش آبیاری جویچه‌ای از دو روش دیگر کمتر بود. بیش‌ترین و کم‌ترین اختلاف بین بهره‌وری آب مشاهداتی و شبیه‌سازی شده به ترتیب برابر با ۰/۳ و ۱/۳ کیلوگرم بر مترمکعب به دست آمد (شکل ۳). متوسط این اختلاف نیز برابر با ۰/۷ کیلوگرم بر مترمکعب تعیین شد. اختلاف بین بهره‌وری آب مشاهداتی و شبیه‌سازی شده برای روش‌های آبیاری قطره‌ای سطحی، قطره‌ای زیرسطحی و جویچه‌ای به ترتیب برابر با ۰/۸، ۰/۵ و ۰/۸ کیلوگرم بر مترمکعب به دست آمد.

جدول ۳- مقادیر شاخص‌های آماری برای شبیه‌سازی سبب‌زمینی با استفاده از مدل SALTMED در مرحله واسنجی  
Table 3- Values of statistical indicators for simulating potatoes using the SALTMED model in the calibration phase

پارامتر	MBE	RMSE	NRMSE	EF	D
عملکرد	-1.90	1.30	0.06	0.98	0.99
بهره‌وری آب	-0.60	0.62	0.06	0.90	0.99

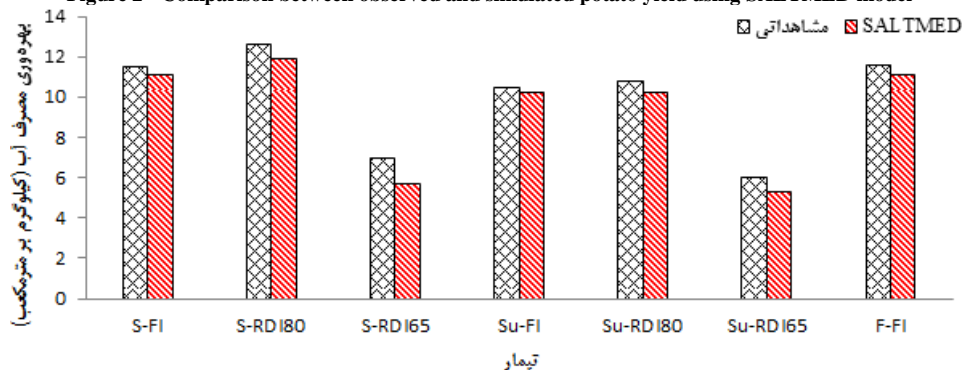
\* عملکرد بر حسب تن در هکتار و بهره‌وری آب بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب

مقادیر عملکرد سبب‌زمینی برای تیمارهای مختلف در شکل ۲ نشان داده شده است. بر اساس این نتایج، بیش‌ترین و کم‌ترین اختلاف بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده به ترتیب برابر با ۴/۲ و ۱/۴ تن در هکتار بود. متوسط اختلاف بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده نیز برابر با ۲/۷ تن در هکتار بود.



شکل ۲- مقایسه عملکرد مشاهداتی و شبیه‌سازی شده سبب‌زمینی با استفاده از مدل SALTMED

Figure 2 - Comparison between observed and simulated potato yield using SALTMED model



شکل ۳- مقایسه بهره‌وری آب مشاهداتی و شبیه‌سازی شده سبب‌زمینی با استفاده از مدل SALTMED

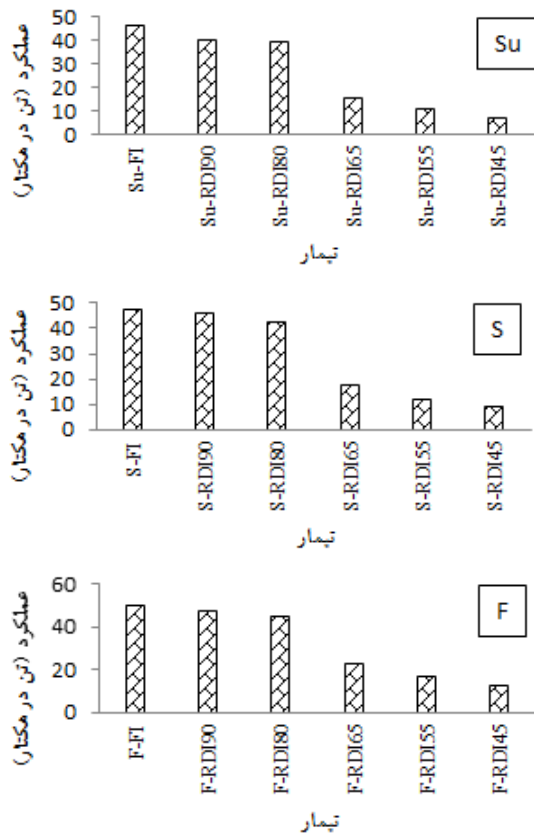
Figure 3- Comparison between observed and simulated potato water productivity using the SALTMED model

مدل گیاهی برای شبیه‌سازی عملکرد قابل قبول بود. نتایج آماره NRMSE نشان داد که صحت مدل SALTMED برای شبیه‌سازی عملکرد در دسته عالی قرار داشت. کارایی مدل SALTMED برای شبیه‌سازی عملکرد بر اساس دو آماره EF و D قابل قبول بود. ضریب رگرسیون برای عملکرد و بهره‌وری مصرف آب در شکل ۴ نشان داده است. با توجه به آماره  $R^2$  مدل SALTMED توانایی مطلوبی برای پیروی از تغییرات عملکرد و بهره‌وری آب

نتایج آماری مقایسه عملکرد و بهره‌وری آب سبب‌زمینی در مرحله واسنجی در جدول ۴ نشان داده شده است. بر اساس مقادیر آماره MBE، مدل SALTMED در شبیه‌سازی عملکرد و بهره‌وری آب دچار خطای کم‌برآوردی شد. این نتایج در شکل ۳ نیز قابل مشاهده است. در این شکل، تمامی مقادیر عملکرد پایین‌تر از خط ۱:۱ قرار دارند در نتیجه مقادیر شبیه‌سازی شده توسط SALTMED کمتر از مقادیر مشاهداتی است. بر اساس آماره RMSE، خطای این



برابر با ۴/۸ و ۵/۷ درصد بود. این مقادیر برای آبیاری قطره‌ای سطحی به ترتیب برابر با ۱۸/۶ و ۸/۷ درصد و برای آبیاری قطره ای زیرسطحی به ترتیب برابر با ۱۳/۳ و ۱/۷ درصد به دست آمد. بنابراین، شیب کاهش عملکرد تا تأمین ۸۰ درصد نیاز آبی در هر سه روش آبیاری کم بود.



شکل ۵- نتایج عملکرد شبیه‌سازی شده برای برنامه‌ریزی آبیاری در محدوده تأمین آب ۴۵ الی ۱۰۰ درصد در روش‌های آبیاری قطره‌ای سطحی (S)، قطره‌ای زیرسطحی (Su) و جویچه‌ای (F)  
 Figure 5- Simulated yield results for irrigation planning in the water supply range of 45-100% in drip (S), subsurface drip (Su), and furrow (F) irrigation methods

با کاهش تأمین نیاز آبی به ۶۵ درصد، در هر سه روش آبیاری تغییر شدیدی در عملکرد سیب‌زمینی مشاهده شد. به طوری که کاهش عملکرد در روش‌های آبیاری جویچه‌ای، قطره‌ای سطحی و قطره‌ای زیرسطحی به ترتیب برابر با ۴۸/۷، ۵۸/۸ و ۵۷/۸ درصد بود. از این رو، با توجه به کاهش شدید عملکرد در مقادیر کم‌تر از ۸۰ درصد تأمین نیاز آبی، به نظر بهره‌وری آب نیز دچار تغییرات شدید شود.

سیب‌زمینی داشت. براساس گزارش منتشر شده توسط Al-Omran et al. (2020)، آماره  $R^2$  برای شبیه‌سازی عملکرد سیب‌زمینی توسط این مدل گیاهی بین ۰/۹۹-۰/۸۸ متغیر بود.

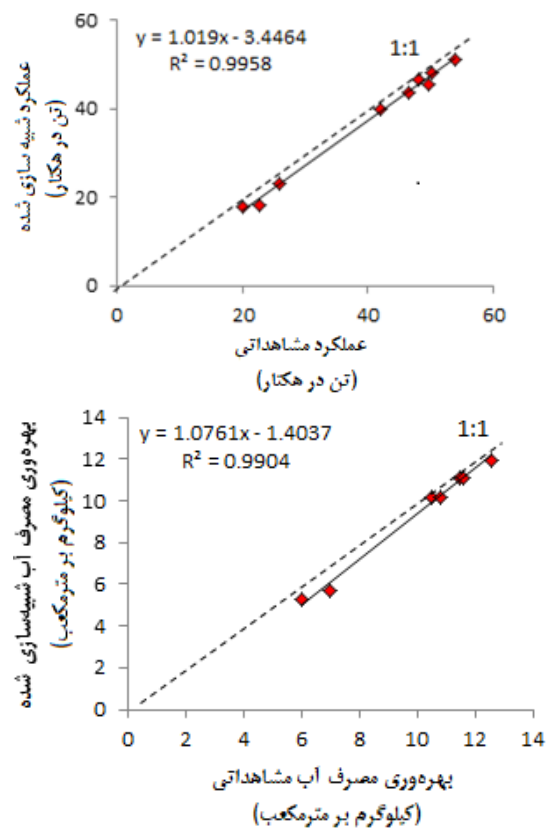
جدول ۴- مقادیر شاخص‌های آماری برای شبیه‌سازی

سیب‌زمینی با استفاده از مدل SALTMED در مرحله صحت‌سنجی

Table 4- Values of statistical indicators for simulating potatoes using the SALTMED model in the verification phase

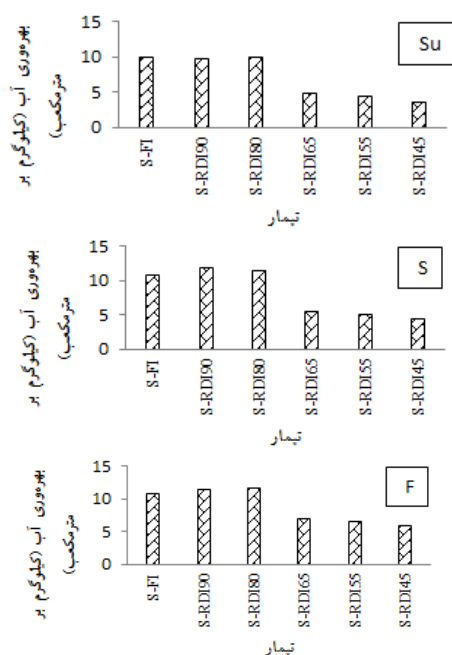
پارامتر	EF	NRMSE	RMSE	MBE	D
عملکرد	0.94	0.07	2.80	-2.60	0.99
بهره‌وری آب	0.88	0.07	0.78	-0.70	0.99

\* عملکرد بر حسب تن در هکتار و بهره‌وری آب بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب



شکل ۴- همبستگی بین عملکرد و بهره‌وری آب مشاهداتی و شبیه‌سازی شده سیب‌زمینی با استفاده از مدل SALTMED  
 Figure 4- Comparison of simulated potato yield and water productivity using SALTMED model

با استفاده از مدل واسنجی شده SALTMED، شبیه‌سازی عملکرد و بهره‌وری آب محصول سیب‌زمینی جهت تأمین نیاز آبی ۹۰، ۵۵ و ۴۵ درصد برای هر سه روش آبیاری انجام شد. نتایج به دست آمده در شکل ۵ آورده شده است. روند نزولی بین کاهش مقدار تأمین آب و عملکرد سیب‌زمینی در هر سه روش آبیاری مشاهده شد (شکل ۶). اختلاف عملکرد بین مقادیر تأمین آب ۱۰۰ و ۹۰ درصد و ۹۰ و ۸۰ درصد در آبیاری جویچه‌ای به ترتیب

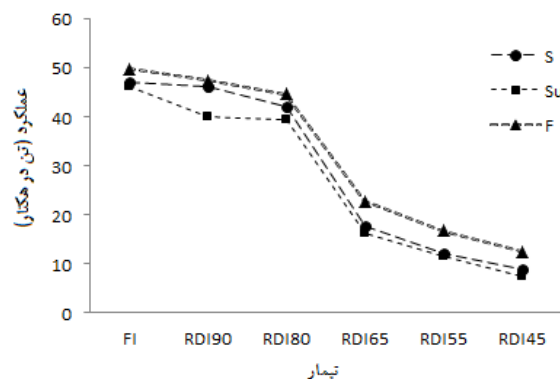


شکل ۷- نتایج بهره‌وری آب شبیه‌سازی شده برای برنامه‌ریزی آبیاری در محدوده تأمین آب ۴۵ الی ۱۰۰ درصد در روش‌های آبیاری قطره‌ای سطحی (S)، قطره‌ای زیرسطحی (Su) و جویچه‌ای (F)

Figure 7- Simulated water productivity results for irrigation planning in the water supply range of 45-100% in drip (S), subsurface drip (Su), and furrow (F) irrigation methods

#### ۴- نتیجه‌گیری

این تحقیق به ارزیابی مدل SALTMED برای شبیه‌سازی عملکرد و بهره‌وری آب سیب‌زمینی تحت سه روش آبیاری جویچه‌ای، قطره‌ای سطحی و قطره‌ای زیرسطحی انجام شد. نتایج نشان داد که مدل SALTMED برای شبیه‌سازی هر دو پارامتر دچار خطای کم‌برآوردی شد ( $MBE < 0$ ). با این وجود خطای به‌دست آمده قابل چشم‌پوشی است و صحت این مدل گیاهی در دسته عالی قرار داشت ( $NRMSE < 0.1$ ). براساس نتایج آماره‌های EF ( $< 0.88$ ) و  $d < 0.99$ ) کارایی مدل SALTMED برای شبیه‌سازی هر دو پارامتر عملکرد و بهره‌وری آب مطلوب بود. برای تعیین مقدار بهینه آب آبیاری، از مدل واسنجی‌شده SALTMED استفاده شد. نتایج نشان داد که تأمین ۸۰ درصد نیاز آبی سیب‌زمینی سبب دستیابی به عملکرد مطلوب و بهره‌وری آب بالا شد. بر اساس نتایج این تحقیق، با توجه به این‌که تاکنون اثر مدیریت‌های مختلف آب آبیاری بر محصول گیاه سیب‌زمینی با این مدل گیاهی شبیه‌سازی نشده بود، می‌توان به صحت نتایج این مدل در شرایط اجرای این تحقیق اعتماد نمود و استفاده از آن برای شرایط مشابه پیشنهاد می‌شود. این موضوع به بهره‌برداران و محققان کمک می‌نماید تا بهترین سناریو را برای شرایط مورد نظر انتخاب و اجرا نمایند.



شکل ۶- نتایج تغییرات شیب عملکرد برای برنامه‌ریزی آبیاری در محدوده تأمین آب ۴۵ الی ۱۰۰ درصد در روش‌های آبیاری قطره‌ای سطحی (S)، قطره‌ای زیرسطحی (Su) و جویچه‌ای (F)

Figure 6- Yield slope changes results for irrigation planning in the water supply range of 45-100% in drip (S), subsurface drip (Su), and furrow (F) irrigation methods

با مراجعه به مقادیر بهره‌وری آب نسبت به مقادیر تأمین آب (شکل ۷)، بین دو مقدار ۹۰ و ۸۰ درصد تأمین نیاز آبی اختلاف چندانی در میزان بهره‌وری آب وجود نداشت. بهره‌وری آب در مقدار ۸۰ درصد نیاز آبی برای روش‌های آبیاری جویچه‌ای، قطره‌ای سطحی و قطره‌ای زیرسطحی به ترتیب برابر با ۱۱/۸، ۱۱/۹ و ۱۰/۲ کیلوگرم بر مترمکعب بود. در تحقیق حاضر، در مقدار تأمین آب ۶۵ درصد، بهره‌وری آب برای این سه روش آبیاری به ترتیب برابر با ۷/۰، ۵/۷ و ۵/۳ کیلوگرم بر مترمکعب به‌دست آمد. بنابراین، با وجود کاهش مقدار آب آبیاری در مقادیر ۶۵ درصد تأمین نیاز آبی، بهره‌وری آب نیز بسیار پایین بود. این نتایج با مشاهدات Samaee et al. (2016) مطابقت داشت. این محققان نیز اختلاف شدید بهره‌وری آب و عملکرد را در تیمارهای با تنش شدید گزارش کردند. البته این محققان از رقم‌های متفاوتی در منطقه کرج استفاده نمودند که اثر تنش بر شرایط آزمایش نیز متفاوت است. این موضوع اهمیت شبیه‌سازی و تعیین بهینه مدیریت آب برای هر رقم و منطقه را نشان می‌دهد. بنابراین، تأمین ۸۰ درصد نیاز آبی به‌عنوان مقدار مناسب برای آبیاری سیب‌زمینی در هر سه روش آبیاری پیشنهاد می‌شود.

## سپاسگزاری

بدین‌وسیله از حمایت‌های معنوی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز در انجام پژوهش قدردانی می‌شود.

## تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این تحقیق وجود ندارند.

## دسترسی به داده‌ها

داده‌ها و نتایج استفاده شده در این تحقیق از طریق مکاتبه با نویسنده مسؤل در اختیار قرار خواهد گرفت.

## مشارکت نویسندگان

ناجی بوعدار: نگارش نسخه اولیه مقاله؛ اصلان اگدرنژاد: انجام تحلیل‌های نرم‌افزاری و آماری، کنترل نتایج، ویرایش مقاله، نظارت، مفهوم‌سازی، روش‌شناسی؛ سعید برومندنسب: منابع، ویرایش و بازبینی مقاله، نظارت.

## منابع

حقیقتی بروجنی، بیژن (۱۳۹۴). تأثیر مدیریت‌های مختلف کم‌آبایی بر کارایی مصرف آب سیب‌زمینی در دو روش آبیاری جویچه‌ای و قطره‌ای نواری. پایان‌نامه دکتری، دانشگاه شهید چمران اهواز. حقیقتی بروجنی، بیژن، برومندنسب، سعید، و ناصری، عبدعلی (۱۳۹۴). تأثیر مدیریت‌های مختلف کم‌آبایی در روش آبیاری جویچه‌ای

و قطره‌ای نواری بر عملکرد سیب‌زمینی و بهره‌وری آب. پژوهش آب در کشاورزی، ۲۹(۲)، ۱۸۱-۱۹۳. doi:10.22092/jwra.2015.101669  
 خیری شلمزاری، کبری (۱۳۹۸). ارزیابی شاخص تنش آبی گیاه (CWSI) برای سیب‌زمینی تحت رژیم‌های متفاوت آبیاری در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای نواری سطحی (T-tape) و زیرسطحی. پایان‌نامه دکتری، دانشگاه شهید چمران اهواز.  
 خیری شلمزاری، کبری، سلطانی محمدی، امیر، برومندنسب، سعید، و حقیقتی بروجنی، بیژن (۱۳۹۸). ارزیابی شاخص تنش آبی گیاه برای سیب‌زمینی تحت رژیم‌های متفاوت آبیاری در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی. مدیریت آب و آبیاری، ۱۹(۱)، ۲۹-۴۲. doi:10.22059/jwim.2019.279451.671  
 خیری شلمزاری، کبری، برومندنسب، سعید، سلطانی محمدی، امیر، و حقیقتی بروجنی، بیژن (۱۳۹۹). اثر مدیریت‌های آبیاری در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای سطحی و زیر سطحی بر عملکرد و بهره‌وری آب سیب‌زمینی. آبیاری و زهکشی ایران، ۱۴(۱)، ۳۱۰-۳۲۰. doi:10.1001.1.20087942.1399.14.1.27.0  
 سمائی، مرجان، مدرس ثانوی، سید علی محمد، موسی پور گرجی، احمد، و زند، اسکندر (۱۳۹۵). کارایی مصرف آب و بهره‌وری آب در ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی تحت تنش کم آبی. حفاظت منابع آب و خاک، ۱۶(۱)، ۱۵-۳۲.  
 ریاحی فارسانی، حامد و قبادی‌نیا، مهدی (۱۳۹۵). ارزیابی کارایی مدل SALTMED برای برآورد عملکرد محصول سیب‌زمینی در آبیاری سطحی (مطالعه موردی دشت بروجن). دومین کنگره ملی آبیاری و زهکشی ایران. دانشگاه صنعتی اصفهان.

## References

Al-Omran, A., Louki, I., Alkhasha, A., Abd El-Wahed, M.H., & Obadi, A. (2020). Water saving and yield of potatoes under partial root zone drying drip irrigation technique: field and modelling study using SALTMED model in Saudi Arabia. *Agronomy*, 10(12). doi:10.3390/agronomy10121997  
 Djaman, K., Irmak, S., Koudahe, K., & Allen, S. (2021). Irrigation management in potato (*Solanum tuberosum L.*) production: A review. *Sustainability*, 13(3), 1504. doi:10.3390/su13031504  
 El-Shafie, A.F., Osama, M.A., Hussein, M.M., El-Gindy, A.M., & Ragab, R. (2017). Predicting soil moisture distribution, dry matter, water productivity and potato yield under a modified gated pipe irrigation system: SALTMED model application using field experimental data. 184, 221-233. doi:10.1016/j.agwat.2016.02.002

FAOSTAT. (2021). Potatoes, production quantity (tons) for 267 countries. Food and Agriculture Organization of the United Nations.  
 Geerts, S., & Raes, D. (2009). Defecit irrigation as on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. *Agricultural Water Management*, 96, 1275-1284. doi:10.1016/j.agwat.2009.04.009  
 Haghghati Boroujeni, B. (2015). Effect of different deficit irrigation management on water use efficiency of potato in furrow and tape drip methods. Ph.D. Thesis, Shahid Chamran University of Ahwaz, Ahwaz, Iran. [In Persian]  
 Haghghati Boroujeni, B., Boromandnasab, S., & Naseri, A.A. (2015). Effect of different deficit irrigation managements in furrow and tape drip methods on potato yield and water productivity. *Journal of Water Research in Agriculture*, 29(2), 181-193. doi:10.22092/jwra.2015.101669. [In Persian]  
 Hirich, A., Choukr-Allah, R., Ragab, R., Jacobsen, S.E., Elyoussfi, L., & Elomari, H. (2012). The SALTMED model calibration and validation

- using field data from Morocco. *Journal of Material Environment Science*, 3(2), 342-359.
- Kheiri Shalamzari, K. (2018). Evaluation of crop water stress index (CWSI) for potato under different irrigation regimes in surface (T-tape) and subsurface drip irrigation systems. Ph.D. thesis of irrigation and drainage. Shahid Chamran university of Ahwaz, Ahwaz, Iran. [In Persian]
- Kheiri Shalamzari, K., Boromandnasab, S., Soltani Mohammadi, A., & Haghighati Brojeni, B. (2018). Evaluation of crop water stress index (CWSI) for potato under different irrigation regimes in surface and subsurface drip irrigation systems. *Journal of Water and Irrigation Management*, 9(1), 29-42. doi:10.22059/jwim.2019.279451.671. [In Persian]
- Kheiri Shalamzari, K., Boromandnasab, S., Soltani Mohammadi, A., & Haghighati Brojeni, B. (2020). Effect of different irrigation management in surface and sub-surface drip irrigation systems on yield and water productivity of potato. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 14(1), 310-320. doi:10.1001.1.20087942.1399.14.1.27.0 [In Persian]
- Mehanna, H.M., Sabreen, R.H.P., & El-Hagarey, M.E. (2012). Validation of SALTMED model under different conditions of drought and fertilizer for snap bean in delta, Egypt. Minta International Conference for Agdculture ana Irrigation in the Nile Basin Countries, 26-29 March, El-Minia, Egypt.
- Montenegro, S.G., Montenegro, A., & Ragab, R. (2010). Improving agricultural water management in the semi-arid region of Brazil: experimental and modeling study. *Journal of Irrigation Science*, 28, 301-316. doi:10.1007/s00271-009-0191-y
- Ragab, R. (2002). A holistic generic integrated approach for irrigation, crop and field management: the SALTMED model. *Journal of Environmental Modelling & Software*, 17, 345-361. doi:10.1016/S1364-8152(01)00079-2
- Rameshwaran, P., Tepe, A., Yazar, A., & Ragab, R. (2014). The effect of saline irrigation water on the yield of pepper: experimental and modeling study. *Journal of Irrigation and Drainage*, 64(1), 41-49. doi:10.1002/ird.1867
- Razzaghi, F., Plauborg, F., Ahmadi, S.H., Jacobsen, S.E., Andersen, M.N., & Ragab, R. (2011). Simulation of quinoa (chenopodium quinoa willd) response to soil salinity using the SALTMED model. ICID 21th International Congress on Irrigation and Drainage, Tehran, Iran, 15-23.
- Riyahi Farsani, H. & Ghobadi Nia, M. (2016). Evaluation of the SALTMED model efficiency for potato crop yield estimation under surface irrigation (case study: Borujen plain). The 2nd National Congress on Irrigation and Drainage, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. [In Persian]
- Samaee, M., Modares Sanavi, A.M., Mousapour Gorji, A., & Zand, E. (2016). Water use efficiency and water productivity in potato genotypes under water stress conditions. *Journal of Water and Soil Resources Conservation*, 6(1), 15-32. [In Persian]
- Silva, L.L., Ragab, R., Duarte, I., Lourenc, E., Simo~es, N., & Chaves, N.N. (2013). Calibration and validation of SALTMED model under dry and wet year conditions using chickpea field data from Southern Portugal. *Irrigation Science*, 31, 651-659. doi:10.1007/s00271-012-0341-5