

## شبیه‌سازی عملکرد و تعیین حد آستانه مقاومت به شوری دو گیاه گندم و جو با استفاده از مدل SWAP: مطالعه موردی - دشت گرمسار

فروغ کامیاب طالش<sup>۱</sup>، بهروز مصطفی زاده فرد<sup>۲\*</sup>، مجید وظیفه دوست<sup>۳</sup>، محمد شایان نژاد<sup>۴</sup> و مریم نوایان<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی دوره دکتری آبیاری و زهکشی دانشگاه صنعتی اصفهان، ایران

۲- استاد گروه مهندسی آب دانشگاه صنعتی اصفهان، ایران

۳- استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه گیلان، ایران

۴- دانشیار گروه مهندسی آب دانشگاه صنعتی اصفهان، ایران

تاریخچه مقاله	چکیده
دریافت: ۱۳۹۴/۰۲/۱۱ پذیرش نهایی: ۱۳۹۴/۱۲/۰۶	مدل‌های زیادی در پیش‌بینی عملکرد گیاهان زراعی وجود دارد یکی از مدل‌ها، مدل SWAP است که قادر است عملکرد گیاهان زراعی را با دقت بالایی شبیه‌سازی کند؛ هر چند که تاکنون در زمینه پیش‌بینی عملکرد محصولات کشاورزی در مقیاس منطقه‌ای با استفاده از مدل SWAP مطالعات کافی انجام نشده است. تحقیق حاضر به منظور ارزیابی مدل SWAP در پیش‌بینی عملکرد گندم و جو و حد آستانه مقاومت به شوری این دو گیاه در منطقه گرمسار انجام شد. ابتدا مدل نسبت به ویژگی‌های گیاهی گندم و جو و با استفاده از عملکرد پتانسیل برای منطقه مورد مطالعه واسنجی شد. جهت ارزیابی نتایج حاصل از مدل SWAP در پیش‌بینی عملکرد گیاهان گندم و جو شاخص‌های آماری نظیر ضریب تعیین ( $R^2$ ) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) تعیین و مورد استفاده قرار گرفت. ضریب تعیین عملکرد شبیه‌سازی شده نسبت به عملکرد واقعی برای گندم و جو به ترتیب ۰/۹ و ۰/۸۶ به دست آمد که از لحاظ آماری در سطح یک درصد ( $p < ۰/۰۵$ ) معنی‌دار بود. میزان خطا برای گندم و جو به ترتیب ۱/۵۹ و ۰/۹۷ تن بر هکتار به دست آمد. آستانه شوری ۵/۸ و ۳/۹۷ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب برای گندم و جو به دست آمد. به طور کلی نتایج نشان داد که مدل SWAP قادر به شبیه‌سازی عملکرد گندم و جو با دقت بالایی برای منطقه گرمسار می‌باشد.
کلمات کلیدی: عملکرد محصول، مدل SWAP، آستانه شوری، گندم، جو، گرمسار	
* عهده دار مکاتبات Email: behrouz@cc.iut.ac.ir	

### مقدمه

غلات مهم‌ترین گروه مواد غذایی است که در دنیا کشت و کار می‌شوند. زراعت گندم از سایر غلات اهمیت بیشتری داشته و نزدیک به ۳۰ درصد از سطح زیر کشت و کل تولید را در جهان به خود اختصاص داده

است (۱۸ و ۱). آزمایش‌های صحرایی برای تعیین و تحلیل مدیریت‌های مختلف آبیاری مفید هستند؛ اما محدودیت‌های قابل توجهی نیز دارند. مهم‌ترین محدودیت این است که اعتبار آزمایش‌ها با شرایط فیزیکی و منطقه‌ای که آزمایش در آن انجام می‌شود، محدود می‌گردد (۲).

زراعی واقع در شبکه آبیاری و زهکشی و شمگیر در استان گلستان ارزیابی شد (۱۴). داده‌های عملکرد محصول، شوری و رطوبت خاک در شرایط توأم محدودیت آب و شوری در مراحل زمانی مختلف سال زراعی ۸۶-۱۳۸۵ اندازه‌گیری و نتایج به‌دست آمده با مقادیر شبیه‌سازی شده توسط مدل مقایسه شدند. مقایسه آماری بر اساس مقادیر مجذور مربعات خطا (۰/۴۹)، ضریب همبستگی (۰/۸۵) و کارایی مدل (۰/۸۴) برای برآورد عملکرد تولید وزن خشک کل محصول گندم و ذرت علوفه‌ای نشان‌دهنده تطابق خوب مقادیر برآورد شده توسط مدل SWAP در مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری شده بود. مقادیر مطلوب شاخص‌های آماری در برآورد رطوبت و شوری خاک توسط مدل SWAP نشان داد که لحاظ کردن شرایط مرزی پایین در مدل که در بیلان آب و نمک در خاک نقش بسیار مهمی دارد، در تخمین مناسب مقادیر رطوبت و شوری خاک مؤثر است (۱۳). یکی از مدیرت‌های آب و خاک شور، شناسایی گونه‌های مقاوم به شوری است (۱۲) که بر اساس ارتباط بین کاهش عملکرد با شوری خاک تعیین می‌شود (۸). اطلاعات تحمل به شوری گیاهان در منابع مختلف موجود می‌باشد. دقت و درستی تعداد زیادی از این اطلاعات در مناطق مختلف باید مورد بررسی قرار گیرد؛ زیرا تغییر در ویژگی‌های محیطی-گیاهی، رابطه بین عملکرد و شوری خاک را تغییر می‌دهد (۴). بررسی سابقه به کارگیری مدل SWAP نشان داد که این مدل در شبیه‌سازی عملکرد گیاهان در مطالعات مزرعه‌ای کارایی بالایی دارد؛ با این وجود تاکنون در زمینه پیش‌بینی عملکرد محصولات کشاورزی در مقیاس منطقه‌ای با استفاده از مدل SWAP برای دشت گرمسار مطالعه‌ای انجام نشده است. از سویی دیگر، با توجه به پایین بودن کیفیت آب آبیاری در منطقه گرمسار و قرار گرفتن حجم زیادی از این آب‌ها در ردیف آبهای شور و لب شور و همچنین سطح زیر کشت بالای گندم و جو در این منطقه، تحقیق حاضر به منظور ارزیابی و واسنجی

محدودیت دیگر این است که تعداد تکرارهایی که توسط آزمایش‌های صحرایی بررسی می‌شوند با ملاحظات عملی مانند ورودی‌های آزمایش و هزینه‌های بالا، محدود می‌گردند. از مدل‌های شبیه‌سازی می‌توان به عنوان طرح توسعه یافته‌ای از آزمایش‌های صحرایی برای غلبه بر این محدودیت‌ها استفاده کرد (۱۹). یکی از این مدل‌ها مدل SWAP می‌باشد که توانایی شبیه‌سازی رشد محصولات و انتقال آب و نمک در مقیاس صحرایی را دارد (۵ و ۶). در تحقیقی در منطقه رودشت اصفهان تأثیر کمیت و کیفیت‌های مختلف آب آبیاری را بر عملکرد محصولات و انتقال آب و املاح در نيمرخ خاک، با استفاده از مدل SWAP شبیه‌سازی کردند (۱۲). خانی و همکاران (۱۰) به منظور ارزیابی مدل SWAP در برآورد عملکرد چغندر قند تحت شرایط کمیت و کیفیت‌های آب آبیاری آزمایشی در استان خراسان رضوی انجام دادند. نتایج نشان داد که روند کلی تغییرات عملکرد شبیه‌سازی شده به وسیله مدل در مقادیر مختلف آب آبیاری بر روند تغییرات عملکرد به‌دست آمده در مزرعه کاملاً مطابقت دارد. مدل عملکرد را به طور متوسط ۱۰ درصد کمتر از مقادیر اندازه‌گیری شده برآورد کرد ( $RMSE = 10 \text{ t ha}^{-1}$ )<sup>۱</sup>. ضریب تعیین بین عملکرد شبیه‌سازی شده به وسیله مدل و عملکرد اندازه‌گیری شده در مزرعه ۰/۸۳ به‌دست آمد. وظیفه دوست و همکاران (۲۰) برای شبیه‌سازی مقادیر بیلان آبی و پیش‌بینی عملکرد چهار محصول چغندر قند، گندم، آفتابگردان و ذرت علوفه‌ای در منطقه برخوار اصفهان، مدل SWAP را ارزیابی و واسنجی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که شبیه‌سازی تولید ماده خشک مدل SWAP به ویژگی‌های سطح ویژه برگ، راندمان مصرف نور و سرعت پیشینه جذب که خاص هر گیاه است، نسبتاً حساس است و می‌توان از این مدل برای پیش‌بینی عملکرد محصول استفاده کرد. در تحقیقی دیگر مدل SWAP برای شبیه‌سازی عملکرد گندم و ذرت علوفه‌ای و انتقال آب و نمک در دو واحد

مقیاس مزرعه‌ای تا منطقه‌ای می‌باشد. اولین نسخه‌ی این مدل توسط فدس (۷) توسعه یافت. بلمنس و همکاران (۳) برای شرایط مرزی، کابات و همکاران (۹) برای رشد گیاه، اوستیندی و برونسویک (۱۵) برای انتقال املاح و ون دام و همکاران (۱۹) این مدل را برای شبیه‌سازی جریان آب، املاح، گرما و ماده‌ی خشک گیاهی توسعه دادند. SWAP مدل آگروهیدرولوژیکی است که بر اساس قوانین فیزیکی و قطعی حاکم بر فرآیندهای هیدرولوژیکی و شیمیایی موجود در زنجیره پیوسته آب، خاک، گیاه و اتمسفر تدوین و توسعه یافته است.

در این مدل شبیه‌سازی حرکت آب در خاک به روش عددی و حرکت ناپایدار و غیر یک‌نواخت آب در خاک بر اساس معادله ریچاردز، که مؤلفه جذب آب توسط ریشه گیاه را نیز در نظر می‌گیرد، محاسبه می‌گردد (۷):

$$C_w(h) \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[ K(h) \left( \frac{\partial h}{\partial z} + 1 \right) \right] - S(z) \quad (1)$$

که در آن:

$C_w$  = تغییرات رطوبت خاک ( $cm^{-1}$ )،  $h$  = هد فشار رطوبت خاک ( $cm$ )،  $K$  = هدایت هیدرولویکی ( $cm \ d^{-1}$ )،  $S$  = مؤلفه جذب آب توسط ریشه ( $cm^3 \ cm^{-3} \ s^{-1}$ ) و  $z$  = عمق خاک می‌باشد.

شبیه‌سازی رشد گیاه و محاسبه عملکرد تولید محصول بر اساس مدول (زیر شاخه مدل SWAP) گیاهی تفصیلی یاساده در مدل شبیه‌سازی SWAP انجام می‌شود. مدول گیاهی تفصیلی بر اساس مدل WOFOST<sup>۲</sup> که یک مدول گیاهی بسیار قوی می‌باشد، انجام می‌پذیرد. این مدول فرایند فتوسنتز و توسعه گیاه را شبیه‌سازی می‌کند و اثرات تنش خشکی را در توسعه گیاه لحاظ می‌کند.

### واسنجی و اعتبارسنجی مدل شبیه‌ساز SWAP

برای واسنجی مدل SWAP از عملکرد حداکثر گیاه گندم (رقم غالب گندم در منطقه پیشتاز می‌باشد) و جو

مدل SWAP در برآورد عملکرد گندم و جو انجام گرفت. سپس مقادیر تحمل به شوری و شیب کاهش عملکرد با اعمال شوری‌های آب آبیاری متفاوت تعیین گردید.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

دشت گرمسار در جنوب رشته کوه‌های البرز مرکزی به فاصله حدود ۱۰۰ کیلومتری شرق تهران بین طول‌های جغرافیایی ۵۲°۱۵' تا ۵۲°۳۵' طول شرقی و ۳۵° ۱۷' تا ۳۵° عرض شمالی واقع شده است. ارتفاع متوسط محدوده مورد مطالعه ۸۵۰ متر بالاتر از سطح دریا بوده و مساحت آن (محدوده بیلان) حدود ۵۳۵ کیلومتر مربع اندازه‌گیری شده است.

بعد از رودخانه حبله رود که منبع اصلی آب سطحی این دشت است، سفره آب زیرزمینی گرمسار به عنوان مهم‌ترین و بزرگترین مخزن آب زیرزمینی از اهمیت خاصی برخوردار است. آب این رودخانه در حال حاضر توسط شبکه آبیاری دشت گرمسار به مصرف اراضی کشاورزی، شرب و صنعت دشت می‌رسد. همچنین این دشت از آبخوان نسبتاً مناسبی برخوردار بوده که توسط چاه‌های عمیق، نیمه عمیق و قنوات آب سفره زیرزمینی را تخلیه می‌کند. در این منطقه هر روستا طبق حقایق مشخص از شبکه آب دریافت کرده و به مزارع منتقل می‌کنند. در بعضی از روستاها در صورت کمبود نیاز آبی توسط حقایق از آب زیر زمینی برداشت و به صورت تلفیقی به مزارع هدایت می‌شوند.

### مدل WAP

در این مطالعه مدل پیشنهادی در مدیریت آب شور، مدل<sup>۱</sup> SWAP که مخفف مدل آب، خاک، گیاه و اتمسفر است، مورد استفاده قرار گرفت. این مدل قادر به شبیه‌سازی اجزای بیلان آب و حرکت آب و املاح در منطقه اشباع و غیر اشباع و شبیه‌سازی رشد محصول در

ون‌گنوختن با استفاده از مدل RETC<sup>۱</sup> محاسبه گردیدند که در جدول ۲ آمده است.

### داده‌های آبیاری

زیر مدل آبیاری در برگیرنده ویژگی‌های مدیریت آبیاری مانند روش آبیاری، عمق آب آبیاری، دوره تناوب و کیفیت آب آبیاری است. در منطقه مورد مطالعه از روش آبیاری سطحی برای آبیاری گیاهان استفاده می‌شود. در این منطقه بر اساس نیاز آبی، به گیاهان آب داده نمی‌شود، بلکه هر کشاورز کل آبی را که به صورت سطحی (از شبکه) یا سطحی و زیرزمینی (چاه) (به صورت تلفیقی) دریافت می‌کند به مزارع منتقل می‌کند که در بعضی از موارد ممکن است مازاد بر نیاز آبیاری و در بعضی از موارد ممکن کمتر از نیاز آبیاری باشد.

### داده‌های شرایط مرزی

شرایط مرزی بالا دست در سطح خاک در مدل شامل مولفه‌های تبخیر و تعرق مرجع، آبیاری و باران است و زهکشی آزاد از منطقه ریشه به عنوان شرایط مرزی پایین دست به مدل شبیه‌ساز پیشنهاد گردید

### داده‌های فیزیولوژیکی گیاهان زراعی در منطقه

#### گرمسار

همان‌طور که اشاره شد زیرمدل گیاهی مدل SWAP شامل مدل ساده و مدل پیشرفته می‌باشد که در این تحقیق از مدل پیشرفته استفاده شد. عملکرد حداکثر هر یک از گیاهان زراعی در منطقه مورد مطالعه طی سال زراعی ۸۰-۸۱ اندازه‌گیری شدند و مبنای واسنجی ویژگی‌های گیاهی قرار گرفتند. این ویژگی‌ها شامل دمای تجمع، حداکثر افزایش نسبی سطح برگ، سطح برگ ویژه، راندمان مصرف نور و حداکثر نرخ اسیمو لاسیون<sup>۲</sup> CO<sub>2</sub> بودند. جهت انجام فرآیند اعتبار سنجی مدل‌ها، از معیارهای ضریب تعیین (R<sup>2</sup>) و ریشه میانگین مربعات خطا به شکل زیر استفاده شده است.

(رقم غالب جو در منطقه نصرت می‌باشد) در منطقه گرمسار در سال زراعی ۸۱-۸۰ استفاده شد. شبیه‌سازی عملکرد با مدل SWAP در شرایط بدون تنش شوری و خشکی انجام پذیرفت و ویژگی‌های گیاهی هر محصول واسنجی شدند. برای ارزیابی مدل از اطلاعات عملکرد واقعی هر روستا در سال ۱۳۸۱ استفاده شد و پارامترهای آماری جهت اعتبارسنجی مدل محاسبه گردیدند. داده‌های مورد نیاز مدل SWAP به منظور شبیه‌سازی فرآیند رشد و توسعه گیاه گندم و جو شامل اطلاعات اقلیمی، خصوصیات فیزیکی خاک، شرایط مرزی، داده‌های آبیاری و اطلاعات گیاهی در منطقه گرمسار می‌باشد به شرح زیر تعیین شدند.

### داده‌های هواشناسی

داده‌های زیر مدل هواشناسی شامل حداقل و حداکثر دمای هوا، رطوبت نسبی، ساعات آفتابی، سرعت باد، میزان بارندگی و تبخیر مربوط به ایستگاه سینوپتیک هواشناسی کشاورزی گرمسار در سال ۱۳۸۱ می‌باشند. برای تبخیر می‌توان از داده‌های تشتک تبخیر (وسیله‌ای است که با آن می‌توان تبخیر از یک سطح نسبتاً آزاد را اندازه‌گیری نمود که در ایستگاه‌های هواشناسی معمولاً از تشتک استاندارد کلاس A که ظرف استوانه‌ای گالوانیزه با قطر ۱۲۱ سانتی‌متر و ارتفاع ۲۵/۴ سانتی‌متر می‌باشد، استفاده می‌شود)، همچنین می‌توان از شبیه‌سازی خود مدل استفاده کرد. که در این تحقیق، از مدل شبیه‌ساز برای محاسبه تبخیر تعرق بر اساس روابط پنمن مونتیت، استفاده شده است.

### داده‌های خاک

بافت خاک در منطقه مورد مطالعه برای هر روستا از تطبیق دو لایه GIS (لایه روستا و لایه بافت خاک) تعیین شد. در منطقه مورد مطالعه بافت خاک شامل هفت کلاس لوم رسی، لوم شنی، لوم سیلتی، رس سیلتی، لوم رس سیلتی، لوم و رسی است. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک - های منطقه که از چندین نقطه برداشت شده در جدول ۱ ارائه شده است. مقادیر به دست آمده برای پارامترهای

1- Retention Curve

2- Maximum CO<sub>2</sub> assimilation rate

جدول (۱) ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد آزمایش در نقاط مختلف دشت

Table(1) Physical and chemical properties of tested soils in plain

Texture	Organic matter (%)	Soil salinity (dS/m)	Sodium absorption ratio (%)	Bulk density (gr/cm <sup>3</sup> )
لوم رس سیلتی (SiCL)	0.95-1.05	3-4	10-40	1.45
لوم سیلتی (SiL)	1-1.05	6-30	10-100	1.33
لوم شنی (SL)	0.9	30	50	1.3
لوم رسی (CL)	1-1.05	6	10-40	1.4-1.55
رسی (C)	-	3-4	10-40	-
لوم (L)	0.9-1.18	3-12	10-100	1.38
رس سیلتی (SiC)	0.9-0.95	6	10	1.48

جدول (۲) پارامترهای مدل ون گنوختن برای یک مزرعه نمونه در منطقه گرمسار

Table (2) Soil hydraulic properties determined by RETC model

Texture	$\theta_{res}$ (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	$\theta_{sat}$ (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	$k_{sat}$ (cm <sup>3</sup> d <sup>-1</sup> )	$\alpha$ (cm <sup>-1</sup> )	n (-)
لوم رس سیلتی (SiCL)	0.089	0.43	1.68	0.01	1.23
لوم سیلتی (SiL)	0.067	0.45	10.8	0.02	1.41
لوم شنی (SL)	0.065	0.41	106.1	0.075	1.89
لوم رسی (CL)	0.095	0.41	6.24	0.019	1.31
رسی (C)	0.068	0.38	4.80	0.008	1.09
لوم (L)	0.078	0.43	24.96	0.036	1.56
رس سیلتی (SiC)	0.07	0.36	0.48	0.005	1.09

## نتایج و بحث

### واسنجی مدل SWAP

واسنجی پارامترهای گیاهی به گونه ای صورت گرفت که اختلاف عملکرد حداکثر شبیه سازی شده با عملکرد پتانسیل در منطقه حداقل گردد. در جدول ۳ نتایج واسنجی پارامترهای گیاهی شامل دمای جمععی، حداکثر افزایش نسبی سطح برگ، سطح برگ ویژه، راندمان مصرف نور و حداکثر نرخ اسیمولاسیون CO<sub>2</sub> دو محصول گندم و جو آورده شده است

برای ارزیابی نتایج حاصل از مدل SWAP در پیش بینی عملکرد گیاهان گندم و جو از شاخص‌های آماری ضریب تعیین و ریشه میانگین مربعات خطا استفاده شد (شکل ۱ و ۲). نتایج نشان می‌دهد که مقدار ضریب تعیین مدل SWAP در پیش بینی عملکرد گیاهان گندم و جو به ترتیب، ۰/۹۳ و ۰/۸۸ می‌باشد که از لحاظ آماری در سطح ۵ درصد معنی‌دار است ( $p < ۰/۰۵$ ).

میزان خطا برای دو محصول فوق به ترتیب ۱/۵۹ و ۰/۹۶ تن بر هکتار به دست آمد. همچنین بین میانگین عملکرد مشاهده شده (واقعی) و میانگین عملکرد شبیه‌سازی شده با استفاده از مدل تفاوت معنی‌داری از لحاظ آماری با آزمون مقایسه میانگین t-test مشاهده نشد.

به طور کلی با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان عنوان نمود که مدل SWAP کارایی بالایی در شبیه‌سازی عملکرد گندم و جو در منطقه گرمسار دارد. در این زمینه خانی و همکاران (۱۰)، و وظیفه دوست و همکاران (۲۰) به نتایج مشابهی در زمینه قابلیت بالای مدل SWAP در شبیه‌سازی عملکرد گیاه در سطح مزرعه دست یافتند. در این راستا، مصطفی زاده و همکاران (۱۳) در تحقیقی در یک منطقه خشک در شرق اصفهان از مدل SWAP برای شبیه‌سازی عملکرد گندم و شوری خاک استفاده کردند.

(۲)

که در آن  $RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z^* - Z)^2}$  بترتیب مقدار پیش بینی و اندازه‌گیری شده عملکرد گیاه.  $Z$  و  $Z^*$  = تعداد نقاط مطالعاتی.

شاخص RMSE نمایانگر درجه دقت تخمین است که باید تا حد امکان حداقل باشد. مقدار RMSE نشان می‌دهد که پیش‌بینی‌ها تا چه حد، اندازه‌گیری را بیشتر یا کمتر تخمین زده‌اند. در شرایطی که مقادیر پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده با هم برابر باشند (بهترین حالت)  $RMSE = 0$  خواهد بود. به طور کلی، شاخص RMSE نمایانگر درجه دقت تخمین است که برای یک تخمین دقیق باید تا حد امکان حداقل باشد.

### مدل رگرسیونی برای تعیین آستانه مقاومت به شوری

بعد از واسنجی و اعتبار سنجی مدل و مشاهده نتایج قابل قبول، مدل برای دو محصول گندم و جو با استفاده از متوسط عمق آب آبیاری در منطقه برای آب آبیاری با شوری ۲، ۴، ۶، ۸ دسی زیمنس بر متر اجرا شد و عملکرد و شوری خاک متناسب با هر کدام تعیین گردید. سپس کاهش عملکرد در مقابل شوری ارزیابی شد و شوری آستانه و شیب کاهش عملکرد تعیین شد.

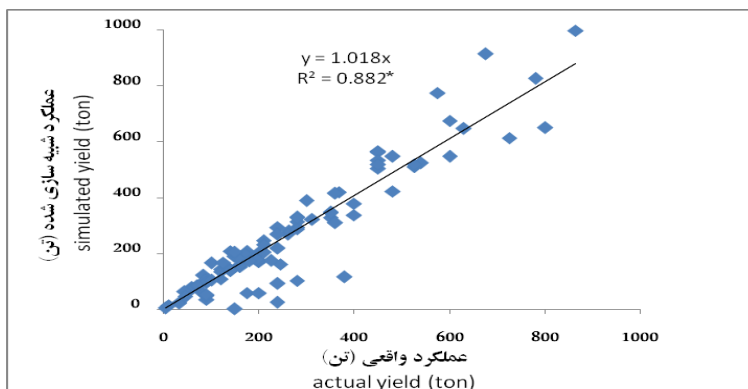
کاهش عملکرد خطی به علت شوری خاک با استفاده از معادله ماوس و هافمن (۱۱) تعیین گردید.

$$Y_r = 100 - B (EC_e - A) \quad (۳)$$

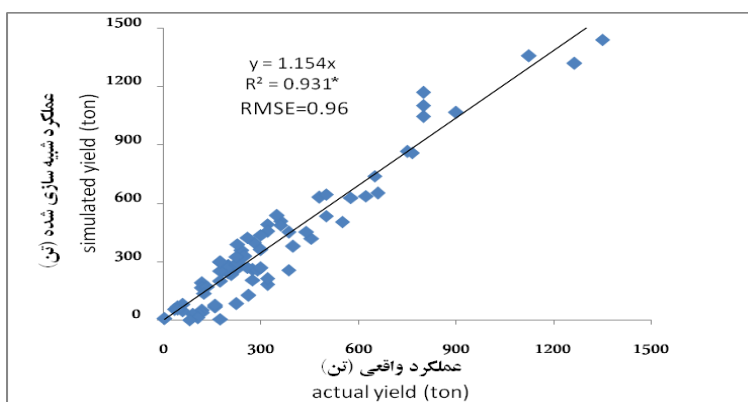
که  $Y_r$  = عملکرد نسبی (%)،  $A$  = مقدار شوری ای که بالاتر از آن کاهش عملکرد اتفاق می‌افتد،  $B$  = شیب خط کاهش عملکرد (درصد کاهش عملکرد به ازای هر واحد افزایش شوری) و  $EC_e$  = هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک (دسی زیمنس بر متر) است.

جدول (۳) نتایج واسنجی ویژگی‌های گیاهی گندم و جو  
**Table (3) Calibrated crop parameters for SWAP model**

parameter	crop	
	wheat	barley
مجموع دما از شروع تا جوانه زنی ( $T_{SUMEA} (^{\circ}C)$ )	1000.02	1000.02
مجموع دما از جوانه زنی تا گلدهی ( $T_{SUMAM} (^{\circ}C)$ )	850	850
حداکثر افزایش نسبی سطح برگ ( $R_{GRLAI} (m^2m^{-2}d^{-1})$ )	0/008	0/008
سطح برگ ویژه ( $S_{la} (ha\ kg^{-1})$ )	0.00165	0.0017
راندمان مصرف نور ( $Light\ use\ (kg^{-1}ha^{-1}hr^{-1}/(jm^2S))$ ) efficiency	0.392	0.38
حداکثر نرخ اسیمولاسیون $CO_2$ ( $A_{max} (kg^{-1}ha^{-1}hr^{-1})$ )	43.07	40.07



شکل (۱) عملکرد شبیه سازی شده گندم نسبت به عملکرد واقعی  
**Figure (1) Wheat simulated yield versus actual yield**



شکل (۲) عملکرد شبیه سازی شد جو نسبت به عملکرد واقعی  
**Figure (2) Barley simulated yield versus actual yield**

کامیاب طالش و همکاران: شبیه‌سازی عملکرد و تعیین حد آستانه ...

۱۰۰ در محور عمودی نشان داده شده است. مقادیر A و AB بر پایه بهترین برازش خط بر اطلاعات تعیین گردیدند. بر پایه مقادیر B و AB، دو مقدار A (شیب خط کاهش عملکرد بر حسب درصد) و B (مقدار آستانه شوری بر حسب دسی زیمنس بر متر) تعیین شدند. برای گندم مقدار B و A ۵/۸ و ۱۰/۷۴ به ترتیب به دست آمدند. رنجبر در تحقیق خود به این نتیجه رسید که رقم های گندم در مناطق خشک نسبت به مناطق مرطوب مقاومت کمتری به شوری دارند (۱۶). برای گیاه جو مقادیر B و A، ۷/۴۳ و ۳/۹۷ به دست آمدند. ماوس و هافمن (۱۱) برای جو مقدار آستانه تحمل به شوری و شیب کاهش عملکرد به ازای یک واحد افزایش شوری را ۶ دسی زیمنس بر متر و ۷/۱ درصد گزارش کردند. این تفاوت در مطالعات مختلف می تواند به علت شرایط آزمایش، ژنوتیپ، خاک، آب و هوا و عملیات کشاورزی باشد. آب و هوا فاکتور اصلی تأثیرگذار بر مقاومت به شوری است. اکثر گیاهان در مناطق خشک و مرطوب نسبت به گرم و خشک مقاومت بیشتری به شوری دارند (۱۷).

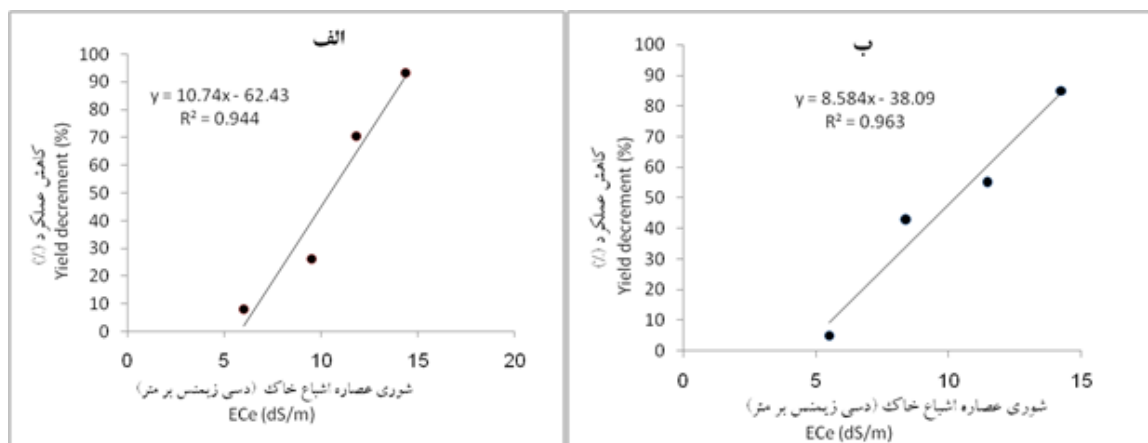
نتایج نشان داد که این مدل توانایی پیش‌بینی محصول و شوری خاک را در مقیاس صحرایی دارد و شوری آب آبیاری بر رطوبت قابل جذب خاک توسط گیاه مؤثر است. دروگرز و همکاران (۵)، در تحقیقی دیگر در زمین‌های شور منطقه رودشت اصفهان اثر تغییرات در کیفیت و کمیت آب آبیاری بر تولید ذرت و پنبه و نیز انتقال آب و نمک را با استفاده از مدل شبیه‌سازی SWAP در چند مزرعه آزمایشی مورد بررسی قرار داده و بیان داشتند که این مدل در تخمین عملکرد پنبه و شوری نیم‌رخ خاک، دقیق، سریع و قابل انتقال به شرایط مشابه دیگر در منطقه می باشد.

### تحمل به شوری گیاهان

برای ارزیابی کاهش عملکرد در اثر شوری عصاره اشباع خاک معادله ۴ به صورت زیر ساده می شود:

$$100 - Y_T = B \times EC_e - AB \quad (4)$$

که B = شیب خط، AB = عرض از مبدأ. پارامترهای معادله برای دو گیاه گندم و جو مطابق شکل ۳ تعیین گردید. در شکل ۳ شوری عصاره اشباع خاک در محور افقی و  $-Y_T$



شکل (۳) کاهش عملکرد در ارتباط با شوری خاک، الف: گندم و ب: جو

Figure (3) Yield decrement versus soil Salinity, A (wheat) and B (barley)

نداشتند. از اینرو، می‌توان عنوان نمود که مدل SWAP کارایی بالایی در شبیه‌سازی عملکرد گندم و جو در منطقه گرمسار دارد. با این وجود پیشنهاد شود که آنالیز حساسیت مدل نسبت به پارامترهای ورودی و موثر بر

### نتیجه‌گیری

به طور کلی میانگین عملکرد مشاهده شده (واقعی) و میانگین عملکرد شبیه‌سازی شده با استفاده از مدل SWAP تفاوت معنی‌داری از لحاظ آماری با یکدیگر



عملکرد گیاه انجام گردد که این امر مستلزم انجام پژوهش‌های آتی در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. همچنین لازم است که اطلاعات موجود در زمینه تحمل به شوری گیاهان برای هر منطقه‌ای با شرایط آب و هوایی متفاوت بررسی شود.

### منابع

1. Aldaya, M.M., Allan, J.A., and Hoekstr, A.Y. 2010. Strategic importance of green water in international crop trade. *Ecological Economics*, 69: 887–894.
2. Bastiaansen, W.G.M., Allen, R.G., Droogers, P., and D'urso, G. 2007. Twenty-five years modeling irrigated and drained soils: State of the Art. *Agricultural Water Management*, 92(3):111-125.
3. Belmans, C., Wesseling, J.G., and Feddes, R.A. 1983. Simulation of the water balance of a cropped soil: SWATRE. *Journal of Hydrology*, 63: 271-286.
4. Chaali, N., Comegna, A., Dragonetti, G., Todorovic, M., Albrizio, R., Hijazeen, D., Lamaddalena, N., and Coppola, A. 2013. Monitoring and modeling root-uptake salinity reduction factors of a omato crop under non-uniform soil salinity distribution. *Procedia Environmental Sciences*, 19: 643 – 653
5. Droogers, P., Akbari, M., Torabi, M., and Pazira, E. 2000. Exploring Field Scale Salinity Using Simulation Modeling, Exaple For Rudasht Area, Esfahan Province, Iran. IAERI-IWMI Research Report 2.
6. Droogers, P., Bastiaanssen, W.G.M., Beyazgul, M., Kayam, Y., Kite G.W., and Murray-Rust, H. 2000. Distributed agro-hydrological modeling of an irrigation system in western Turkey. *Agricultural Water Management*, 43: 183-202.
7. Feddes, R.A., Kowalik, P.J., and Zarandy, H., 1978. Simulation of field water use and crop yield. In: *Simulation Monographs*, Pudoc, Wageningen, The Netherlands.
8. Francois, L.E., Maas, E.V., Donovan, T.J., and Youngs, V.L. 1986. Effect of salinity on grain yield and quality, vegetative growth, and germination of semi-dwarf and durum wheat. *Agronomy Journal*, 78:1053–1058.
9. Kabat, P., Van den, B.J., and Feddes, R.A. 1992. SWACROP: A water management and crop production simulation model. *ICID Bulletin* 92, 41(2): 61-84.
10. Khani-Ghariye-Gapi, M., Davari, K., Alizadeh, A., Hashemi-Niya, M., and Zolfagharan A. 2007. Evaluation of SWAP model in estimation of sugar beet under difference qualities and quantities of irrigation. *Journal of irrigation and drainage*. 1(2): 107-117.
11. Maas, E.V., and Hoffman, G.J. 1977. Crop salt tolerance-current assessment. *Irrigation and Drainage Division*, 103(2): 115–134.
12. Minhas, P.S. 1996. Saline water management for irrigation in India. *Agricultural Water Management*. 38:1–24.

13. Mostafazadeh-Fard, B., Mansouri, H., Mousavi, S.F., and 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.
14. Nouri, N., Liaghat, A.M., Parsinejad, M., and Vazifedoust, M. 2010. Estimation of wheat and maize yield in terms of both water and salt restriction by using SWAP model. *Journal of soil and water*, 24: 1224-1235
15. Oostindie, K., and Bronswijk, J.J.B. 1992. FLOCR- a simulation model for the calculation of water balance ,cracking and surface of clay soils. Report 47 Alterra Green World Research.
16. Ranjbar, G.H. 2005. Determination of salt tolerance threshold in five bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. Research report 84/793. Research, Training and Extension Organization, Ministry of Agriculture, Tehran.
17. Rhoades, J.D., Kandiah, A. and Mashali, A.M. 1992. The use of saline waters for crop production. *FAO Irrigation Drainage Paper* 48, Rome, 133 pp.
18. Tavakoli, A.R., Oweis, T., Ashrafi, Sh., Asadi, H., Siadat, H., and Liaghat, A. 2010. Improving rainwater productivity with supplemental irrigation in upper Karkheh river basin of Iran. Research Report No. 6, CGIAR Challenge Program on Water and Food.
19. Van Dam, J.C., Huygen, J., Wesseling, J.G., Feddes, R.A., Kabat, P., van Walsum, P.E.V., Groenendijk, P., and Van Diepen, C.A. 1997. Theory of SWAP version 2.0. Simulation of water flow, solute transport and plant growth in the Soil-Water-Atmosphere-Plant environment. Wageningen University and Alterra. Technical Document 45.
20. Vazifedoust, M., Van Dam, J.C., Feddes, R.A., and Feizi, M. 2008. Increasing water productivity of irrigated crops under limited water supply at field scale. *Agricultural Water Management*, 95:89-102.