

## برآورد رطوبت در محدوده توسعه ریشه چغندر قند با استفاده از مدل LEACHM

محمد جلیلی<sup>۱</sup>، فریدون کاوه<sup>۲</sup>، ابراهیم پذیرا<sup>۳</sup>، منصور پاره‌کار<sup>۳</sup> و محمدجواد عابدی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>محقق مرکز تحقیقات کشاورزی خراسان، <sup>۲</sup>عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران،

<sup>۳</sup>پژوهشیار سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

تاریخ دریافت: ۸۱/۷/۲۴؛ تاریخ پذیرش: ۸۳/۹/۹

### چکیده

توسعه راه‌حل‌هایی برای مسائل مختلف کشاورزی از جمله آبیاری، استفاده از شبیه‌سازی حرکت آب در خاک را الزامی نموده است. به منظور بهره‌گیری از این مدل‌ها برای شبیه‌سازی، نتایج آنها باید با مقادیر مشاهده‌ای مقایسه گردد. در این مطالعه نتایج شبیه‌سازی رطوبت توسط مدل LEACHM با مقادیر رطوبت اندازه‌گیری شده در پروفیل خاک در مزرعه چغندر قند مورد مقایسه قرار گرفت. آزمایش در سال ۱۳۸۰ در مرکز تحقیقات کشاورزی خراسان به اجرا درآمد. طرح آماری مورد استفاده، کرت‌های خرد شده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی بود که در سه تکرار انجام گرفت. فاکتورها شامل سه سطح آبی (بدون تنش آبی، تنش مداوم و تنش ابتدایی) و سه سطح ازت (۸۰، ۱۶۰ و ۲۴۰ کیلوگرم ازت خالص در هکتار) بود. سطوح آبی به‌عنوان عامل اصلی و مقادیر ازت به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شدند. آنالیز حساسیت مدل حاکی از آن بود که وزن مخصوص ظاهری تأثیر زیادی روی تغییرات رطوبت خاک دارد. نتایج نشان داد که مقادیر رطوبت شبیه‌سازی شده تطابق خوبی با مقادیر اندازه‌گیری شده دارد. مقدار خطای متوسط در تیمارهای آبی بین ۱/۰۹ تا ۲/۸۱، خطای نسبی بین ۶/۴۶ تا ۱۳/۰۲ و ضریب تغییرات بین ۱۱/۵۸ تا ۱۶/۱۶ درصد تغییر نمود. معمولاً مدل، مقادیر رطوبت را بیشتر از واقعیت برآورد می‌کرد. بر پایه این نتایج می‌توان با تخمین یا اندازه‌گیری برخی از ویژگی‌های خاک، گیاه و اقلیم، از مدل در پیش‌بینی زمان آبیاری و چگونگی اعمال تنش آبی استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: مدل، تنش آبی، شبیه‌سازی رطوبت، چغندر قند و LEACHM

### مقدمه

محققین بسیاری از قبیل مولز و رمسون (۱۹۷۰)، سلیم و اسکندر (۱۹۸۱) و وان گنوختن (۱۹۸۲) روی مدل‌های حرکت آب در خاک و جذب آن توسط گیاه تحقیق کرده‌اند و به نتایج قابل قبولی دست یافته‌اند. مدل LEACHM<sup>۱</sup> توسط وگنت و هاتسون (۱۹۸۹) و نسخه جدید آن به وسیله هاتسون و وگنت (۱۹۹۲) ارائه شده است و به‌عنوان یک مدل قوی توسط افراد دیگر برای

اصلاح مدیریت آبیاری و برنامه‌ریزی دقیق جهت استفاده بهینه از آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک با کاربرد مدل‌های ریاضی قابل انجام می‌باشد. در دهه‌های اخیر استفاده از مدل‌ها به‌عنوان ابزار مدیریتی و تحقیقی، روز به روز در حال توسعه است. واسیلز (۱۹۹۷) بیان داشت که یک مدل ریاضی روند حرکت آب در سیستم خاک- گیاه و اتمسفر را شبیه‌سازی می‌کند.

1- Leaching Estimation and Chemistry Model



مورد مقایسه قرار دادند و نتیجه گرفتند که مدل‌ها دقت قابل قبولی دارند. متوسط خطای مدل‌ها بین ۲/۷ تا ۴/۱ درصد و دقت آنها بین ۳/۷ تا ۴/۱ درصد گزارش شده است. واسیلز (۱۹۹۷) روند حرکت آب و میزان رطوبت در پروفیل خاک را در مزارع پنبه به روش المان‌های محدود<sup>۱</sup> شبیه‌سازی نمود و نتیجه گرفت که در صورت انتخاب درست مقادیر داده‌ها و نیز در درست بودن برخی از ضرایب گیاهی از قبیل شاخص سطح برگ<sup>۲</sup> و درصد پوشش<sup>۳</sup>، می‌توان از مدل به‌عنوان یک ابزار مدیریتی و تحقیقی استفاده نمود. واسیلز و گویدو (۱۹۹۸) با کاربرد یک مدل ریاضی، دینامیک حرکت آب را در یک خاک با ساختمان دست خورده و نخورده بررسی نمودند و در نهایت نتیجه گرفتند که تطابق خوبی بین مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده وجود دارد. با توجه به اهمیت روزافزون استفاده از مدل‌های ریاضی در برنامه‌ریزی آبیاری، در این تحقیق کاربرد مدل ریاضی LEACHM در شرایط رطوبتی مختلف در مزرعه چغندر قند مورد ارزیابی قرار گرفت.

### مواد و روش‌ها

آزمایش‌های مزرعه‌ای: این تحقیق در مرکز تحقیقات کشاورزی خراسان، ایستگاه طرق، واقع در ۵ کیلومتری شرق شهرستان مشهد در سال ۱۳۸۰ انجام گرفت. مختصات جغرافیایی ایستگاه ۳۶ درجه و ۱۳ دقیقه عرض شمالی و ۵۹ درجه و ۴۰ دقیقه طول شرقی و ارتفاع آن از سطح دریا ۹۸۵ متر می‌باشد. براساس داده‌های هواشناسی ۳۰ ساله، ماه مرداد با دمای متوسط حداقل ۱۷/۹ و حداکثر ۳۴/۴ درجه سانتی‌گراد گرم‌ترین و بهمن‌ماه با حداقل ۵/۱- و حداکثر ۷/۷ درجه سانتی‌گراد سردترین ماه سال است. میانگین بارندگی سالانه در محل آزمایش ۲۵۴ میلی‌متر می‌باشد که از این بابت نمونه یک منطقه نیمه‌خشک تا خشک به حساب می‌آید.

شبیه‌سازی حرکت آب و نمک در خاک مورد استفاده و تأیید قرار گرفته است. راموس و کاربنل (۱۹۹۱) در تحقیقی برای پیش‌بینی حرکت آب و نیترات از مدل LEACHM در مزارع کشت شده با گندم آبی استفاده نمودند. نتایج نشان داد در صورتی که روابط بین رطوبت و مکش به درستی انتخاب شوند، مدل دقت قابل قبولی دارد. کلمنت و همکاران (۱۹۹۴) با کاربرد سه مدل SWATRE، LEACHM<sup>۱</sup> و SWASIM<sup>۲</sup> جریان آب در خاک را در مزارع کشت شده با سویا و چمن بررسی نمودند. هر سه مدل جریان آب را به صورت یک بعدی و با استفاده از حاددی معادله ریچاردز<sup>۳</sup> شبیه‌سازی می‌کنند و تنها تفاوت آنها در روابطی است که میزان تبخیر و تعرق گیاه برآورد می‌نمایند. نتایج حکایت از دقت هر سه مدل داشت. اسمیت و همکاران (۱۹۹۵) جریان آب در پروفیل خاک را با کاربرد مدل LEACHM شبیه‌سازی نمودند. آزمایش در ستون‌هایی از خاک به قطر ۲۰ و طول ۶۵ سانتی‌متر و در حالت اشباع و نزدیک اشباع بود. ضرایب، منحنی رطوبتی خاک را با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی و مزرعه‌ای به‌دست آوردند. نتایج نشان داد که دقت مدل به روش اندازه‌گیری بستگی چندانی ندارد. پاره‌کار (۱۹۹۸) از مدل LEACHM برای شبیه‌سازی حرکت آب و نمک در محیط متخلخل استفاده کرد و با داده‌های آزمایشگاهی مقایسه نمود و به نتایج قابل قبولی دست یافت. مهدیان و گالیچاند (۱۹۹۵ و ۱۹۹۶) بیان داشتند که توزیع آب در پروفیل خاک نتیجه تأثیر متقابل متغیرهای زیادی در رابطه با گیاه، خاک، مواد مغذی و عملیات کشاورزی می‌باشد و در این رابطه مدل‌های رشد، ابزار مفیدی برای کمی نمودن این اثرات می‌باشد. آنها رطوبت خاک شبیه‌سازی شده با مدل‌های SWACROP<sup>۴</sup> و SUBSTOR<sup>۵</sup> را با مقادیر اندازه‌گیری شده در مزارع سیب‌زمینی در کانادا

- 1-Soil Water and Actual Transpiration Rate, Extended
- 2-Soil Water Simulation Model
- 3-Richards equation
- 4-Soil Water Actual Transpiration and Crop Production
- 5-Simulation of Underground Bulking Storage Organs

- 6-Finite elements
- 7-Leaf area index
- 8-Crop cover



پلات برآورد و توسط کنتورهای حجمی به زمین داده شد. برای هر تیمار آبی یک کشور جداگانه در نظر گرفته شد. جهت توزیع آب در سطح کرت بعد از هر کنتور لوله پلی اتیلنی به اندازه عرض کرت قرار داده شد که بر روی آن سوراخ‌هایی با فواصل ۵۰ سانتی‌متر (برابر عرض پشته‌ها) تعبیه شده بود بطوریکه به هر خط در هر کرت تقریباً به یک مقدار آب وارد می‌شد. حجم آب مصرفی در تیمارها به ترتیب برابر با ۱۲۳۰۰، ۷۱۰۰ و ۹۷۰۰ مترمکعب در هکتار بود.

N<sub>1</sub>: ۸۰ کیلوگرم، N<sub>2</sub>: ۱۶۰ کیلوگرم و N<sub>3</sub>: ۲۴۰ کیلوگرم ازت خالص در هکتار.

در طی دوره رشد رطوبت در فواصل زمانی معین (معمولاً ۳ روزه) از لایه‌های ۰-۲۰، ۲۰-۴۰، ۴۰-۶۰ و ۶۰-۸۰ سانتی‌متری با دستگاه TDR<sup>۱</sup> قرائت شد. رطوبت فقط در تیمارهای آبی با مصرف ۱۶۰ کیلوگرم ازت در هکتار اندازه‌گیری و جهت مقایسه از متوسط سه تکرار استفاده شد. زمان جوانه‌زنی، سبز شدن، شروع رشد رویشی، رسیدن و برداشت گیاه، درصد پوشش گیاهی و عمق ریشه (جهت استفاده در مدل به منظور محاسبه میزان تعرق) در طی آزمایش اندازه‌گیری شد. بافت خاک، وزن مخصوص ظاهری، هدایت هیدرولیکی اشباع خاک (به روش بار ثابت در آزمایشگاه)، میزان تبخیر از تشتک کلاس A در مزرعه، درجه حرارت حداقل و حداکثر و نیز میزان آبیاری و بارندگی از دیگر پارامترهایی بود که اندازه‌گیری و تعیین شد. برای رسم منحنی رطوبتی خاک، به خاک اشباع مکش‌های مختلفی وارد شد و در این مکش‌ها مقدار رطوبت باقیمانده در داخل خاک اندازه‌گیری گردید. سپس با توجه با این مقدار، ضرایب معادلات کمپل از طریق برازش در هر لایه به دست آمد. برای اعمال مکش از دستگاه صفحه فشاری<sup>۲</sup> استفاده شد. ویژگی‌های فیزیکی خاک در جدول ۱ ارائه شده است.

آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده در قالب بلوک‌های تصادفی در ۳ تکرار به اجرا درآمد. ابعاد هر یک از پلات‌ها ۶×۲/۵ متر، فاصله پلات‌ها از یکدیگر ۲ متر و فاصله بلوک‌ها از هم ۳ متر بود. تیمارهای آبی در پلات اصلی و تیمارهای ازت در پلات فرعی هر کدام با سه سطح در نظر گرفته شدند. بذر چغندر قند IC از نوع پلی‌ژرم در ۲۳ اردیبهشت ماه روی پشته‌ها کشت شد. عمق کاشت ۳/۰ سانتی‌متر، فاصله پشته‌ها از هم ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها پس از تک کردن حدود ۲۰ سانتی‌متر بود. روش آبیاری کرتی و زمین محل آزمایش در سال قبل آیش بود. قبل از کاشت، نمونه‌برداری از لایه‌های خاک جهت تعیین وضعیت عناصر غذایی صورت گرفت و مقادیر کمبود فسفر، پتاسیم و سایر عناصر ریز مغذی براساس توصیه کودی به زمین داده شد. پس از استقرار کامل و آغاز مقاومت نسبی گیاه، اعمال تیمارهای تنش شروع شد. زمان اعمال تنش ۲۰ خرداد ماه، مرحله چهار برگی چغندر قند (۲۹ روز بعد از کاشت) بود. در ۲۰ آبان ماه برداشت انجام گرفت. تیمارها عبارت بودند از:

- ۱: آبیاری زمانی انجام می‌شد که ۵۰ درصد رطوبت قابل دسترس از منطقه ریشه تخلیه گردد (تیمار بدون تنش).
- ۲: آبیاری زمانی که ۸۰ درصد رطوبت قابل دسترس تخلیه شد (تنش مداوم).
- ۳: آبیاری زمانی که ۹۰ درصد رطوبت قابل دسترس تخلیه شد (تنش ابتدایی).

طول مدت تنش ابتدایی ۴۱ روز بود. در این مدت هیچ‌گونه آبیاری انجام نشد و بعد از آن آبیاری همانند تیمار یک تا آخر فصل رشد صورت گرفت. علیرزاده (۱۳۷۸) حداکثر تخلیه مجاز رطوبتی را برای آنکه چغندر قند صدمه‌ای به علت تنش آبی متحمل نشود برابر با ۵۵ درصد پیشنهاد نموده است. عمق آب آبیاری براساس میزان تخلیه رطوبت از محدوده توسعه ریشه محاسبه و در هر آبیاری رطوبت خاک تا ظرفیت زارعی از آب پر گردید. حجم آب مورد نیاز براساس مساحت هر



جدول ۱- ویژگی های فیزیکی خاک.

ضرایب معادله کمپل	هدایت هیدرولیکی اشباع (mm/d)	رطوبت حجمی خاک (درصد)		وزن مخصوص ظاهری (g/cm <sup>3</sup> )	درصد ذرات خاک			بافت خاک	عمق لایه (سانتی متر)
		ظرفیت زارعی	نقطه پژمردگی		شن	رس	سیلت		
b	a								
۴/۴۴۸	-۳/۴۲	۳۱۹	۱۲/۲۰	۲۷/۹۹	۱/۴۱	۵۸	۱۴	۲۸	۰-۲۰
۴/۶۱۳	-۷/۲۸	۲۵	۱۲/۷۰	۲۹/۹۰	۱/۵۱	۵۴	۲۲	۲۴	۲۰-۴۰
۵/۸۴۰	-۱/۷۶	۱۸۴	۱۳/۳۰	۲۶/۹۲	۱/۴۵	۵۰	۲۴	۲۶	۴۰-۶۰
۴/۲۹۰	-۲/۰۶	۸۱	۹/۸۰	۲۳/۷۱	۱/۴۲	۴۶	۱۸	۳۶	۶۰-۸۰
۳/۱۶۲	-۰/۱۷	۱۰۰۰	۱/۶۰	۷/۳۴	۱/۶۰	۱۵	۵	۸۰	۸۰-۱۱۰

$$h = a \left( \frac{\theta}{\theta_s} \right)^{-b}, h < h_c \quad [2] \text{ معادله}$$

$$h = \frac{a \left( 1 - \frac{\theta}{\theta_s} \right)^{0.5} \left( \frac{\theta_c}{\theta_s} \right)^{-b}}{\left( 1 - \frac{\theta_c}{\theta_s} \right)}, h_c < h < 0 \quad [3] \text{ معادله}$$

$$\theta_c = \frac{2 b \theta_s}{1 + 2 b} \quad [4] \text{ معادله}$$

$$h_c = a \left( \frac{2 b}{1 + 2 b} \right)^{-b} \quad [5] \text{ معادله}$$

در این معادله‌ها،  $\theta_s$  ظرفیت حجمی رطوبت در حالت اشباع و  $a$  و  $b$  ضرایب معادله که از برازش داده‌ها به دست می‌آیند.

کمپل (۱۹۷۴) معادله زیر را برای هدایت هیدرولیکی ارائه نمود:

$$k(\theta) = k_s \left( \frac{\theta}{\theta_s} \right)^{2b+2+p} \quad [6] \text{ معادله}$$

در این رابطه،  $K_s$  هدایت هیدرولیکی اشباع ( $L/T$ ) و  $P$  اثر متقابل منافذ خاک می‌باشد (برابر با یک).

آنالیز حساسیت مدل: آنالیز حساسیت<sup>۴</sup> تکنیکی است جهت ارزیابی و کالیبره نمودن<sup>۵</sup> مدل که با آن می‌توان تأثیرپذیری مدل و شرایط واقعی را از داده‌های ورودی مورد بررسی قرار دارد. آنالیز حساسیت داده‌های ورودی مدل (جدول ۲) انجام شد. برای آنالیز از روش لن و فریرا

توصیف مدل: حرکت غیراشباع متداول‌ترین نوع حرکت آب است که بیشتر تحت اثر پتانسیل ماتریک<sup>۱</sup> صورت می‌گیرد. نیما و هنگس (۱۹۷۳) بیان داشتند که معادله عمومی جریان غیراشباع، از ترکیب معادله داریسی<sup>۲</sup> و معادله پیوستگی<sup>۳</sup> به وجود می‌آید و به صورت زیر بیان می‌گردد:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[ k(\theta) \frac{\partial h}{\partial z} - (\theta) \right] - U(z,t) \quad [1] \text{ معادله}$$

که در آن  $\theta$  رطوبت حجمی خاک ( $L^3/L^3$ )،  $h$  ارتفاع مکش ( $L$ )،  $K(\theta)$  هدایت هیدرولیکی متناسب با رطوبت  $\theta$  ( $L/T$ )، مقدار جذب آب توسط ریشه‌ها ( $1/T$ )،  $z$  عمق پروفیل خاک ( $L$ ) و  $t$  زمان ( $T$ ) می‌باشد. مقدار جذب آب توسط گیاه، با توجه به عمق و تراکم ریشه و یک سری روابط در زمان اجرای مدل پیش‌بینی و محاسبه می‌گردد.

اغلب مدل‌های ریاضی، از معادله (۱) جهت بررسی حرکت آب استفاده می‌کنند. نیما و هنگس (۱۹۷۳) مشکل اساسی این مدل‌ها را تعیین رابطه بین هدایت هیدرولیکی غیراشباع، رطوبت خاک و پتانسیل ماتریک می‌دانند. در مدل LEACHM برای تعیین رابطه بین رطوبت و مکش از معادله کمپل (۱۹۷۴) که توسط هاتسون و کاس (۱۹۸۷) تعدیل شده به صورت معادلات ۲ تا ۵ استفاده می‌شود:

- 1-Matrics potential
- 2-Darcy equation
- 3-Continuity equation



(۱۹۸۰) استفاده گردید. در این روش از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$D_{\max} = \left| \frac{P_m - P_b}{P_b} \right| * 100 \quad \text{معادله [۷]}$$

$D_{\max}$  = اختلاف مطلق ماکزیمم<sup>۱</sup>

$P_m$  = مقدار برآورد رطوبت براساس داده ورودی تعدیل شده<sup>۲</sup>

$P_b$  = مقدار برآورد رطوبت براساس داده ورودی پایه<sup>۳</sup>

مقادیر داده‌های ورودی پایه ۵۰ درصد کم و زیاد گردید و مدل اجرا شد. با توجه به مقادیر خروجی رطوبت در نیمرخ خاک، آنالیز حساسیت صورت گرفت. براساس مقدار  $D_{\max}$ ، شاخص حساسیت به صورت زیر تعریف می‌گردد:

غیرحساس،  $D_{\max}=0$ ,  $SI=0$

کمی حساس،  $0 < D_{\max} \leq 10$ ,  $SI=1$

حساس،  $10 < D_{\max} \leq 50$ ,  $SI=2$

خیلی حساس،  $50 < D_{\max}$ ,  $SI=3$

معیارهای ارزیابی نتایج: جهت ارزیابی نتایج از پارامترهای آماری زیر که توسط لاجه و گرین (۱۹۹۱) ارائه شده است، استفاده شد:

$$MBE = \sum_{i=1}^n (P_i - O_i) / n \quad \text{معادله [۸]}$$

$$RE = (MBE / \bar{O}) * 100 \quad \text{معادله [۹]}$$

$$CV = 100 \cdot \left( \left( \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2 / n \right)^{0.5} \right) / \bar{O} \quad \text{معادله [۱۰]}$$

$$EF = \left\{ \sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 - \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2 \right\} / \sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 \quad \text{معادله [۱۱]}$$

در این روابط،  $P_i$  درصد رطوبت حجمی برآورد شده،  $O_i$  درصد رطوبت حجمی اندازه‌گیری شده،  $\bar{O}$  میانگین رطوبت اندازه‌گیری شده،  $n$  تعداد نقاط،  $MBE$  خطای متوسط،  $CV$  ضریب تغییرات،  $RE$  خطای نسبی<sup>۴</sup> و  $EF$  کارایی مدل<sup>۵</sup> می‌باشد.

مقادیر خطای متوسط، نسبی و ضریب تغییرات در حالتی که مقادیر رطوبت برآورد شده و اندازه‌گیری شده مساوی باشند برابر با صفر و مقدار کارایی یا راندمان مدل در این حالت برابر با یک می‌باشد. خطای متوسط شاخصی از مقایسه با مقادیر پایه است به طوری که مقدار نزدیک به صفر آن بیان‌کننده آنست که متوسط مقادیر برآورد شده و اندازه‌گیری شده متشابه است. در ضمن علامت مثبت آن نشان‌دهنده اینست که مدل مقادیر را بیشتر تخمین می‌زند و علامت منفی نشان‌دهنده آنست که مدل مقادیر را کمتر پیش‌بینی می‌کند.

### نتایج و بحث

نتایج آنالیز حساسیت مدل: مقادیر اختلاف مطلق ( $D_{\max}$ ) و شاخص حساسیت برای هر لایه در جدول ۳ ارائه شده است. ملاحظه می‌گردد که مقدار رطوبت نسبت به وزن مخصوص ظاهری فوق‌العاده حساس، نسبت به درصد پوشش و ضریب  $b$  در معادله کمپل حساس و نسبت به بقیه داده‌ها غیرحساس می‌باشد.



- 1-Maximum Absolute Difference
- 2-Modified value
- 3-Base value
- 4-Mean Bias Error
- 5-Coefficient of Variation

جدول ۲- داده‌های ورودی مدل و تعریف آنها.

واحد	تعریف پارامتر	پارامتر
		خاک:
کیلو پاسگال	مکش اولیه خاک	$h_1$
کیلو پاسگال	ضریب $a$ در معادله کمپل	AEVA
کیلو پاسگال	ضریب $b$ در معادله کمپل	BCAM
میلی متر بر روز	هدایت هیدرولیکی اشباع	$K_s$
گرم بر سانتی متر مکعب	وزن ظاهری	$B_d$
درصد	رس	CLAY
درصد	سیلت	SILT
درصد	شن	SAND
درصد	کربن آلی	OC
		اقلیم:
میلی متر	تبخیر از تشتک کلاس A	$ET_a$
بی بعد	ضریب تشتک تبخیر	$K_a$
سانتی گراد	درجه حرارت حداقل روزانه	$T_{min}$
سانتی گراد	درجه حرارت حداکثر روزانه	$T_{max}$
سانتی گراد	درجه حرارت متوسط روزانه	$T_{mean}$
		گیاه:
درصد	درصد پوشش گیاه	Crop Cover
نسبت	نسبت تبخیر و تعرق واقعی به پتانسیل	$ET_{crop}/ET_p$
روز از آغاز فصل	زمان جوانه زنی	$G_d$
روز از آغاز فصل	زمان شروع رشد رویشی	$E_d$
روز از آغاز فصل	زمان رسیدن گیاه	$M_d$
روز از آغاز فصل	زمان برداشت گیاه	$H_d$

جدول ۳- خلاصه‌ای از آنالیز حساسیت مدل نسبت به داده‌های ورودی.

عمق لایه خاک (سانتی متر)								پارامتر ورودی
۶۰-۸۰		۴۰-۶۰		۲۰-۴۰		۰-۲۰		
SI	$D_{max}$	SI	$D_{max}$	SI	$D_{max}$	SI	$D_{max}$	
۳	۸۳	۳	۷۸	۳	۹۱	۳	۷۷	وزن مخصوص ظاهری
۱	۵	۱	۴	۱	۳	۱	۳	هدایت هیدرولیکی اشباع
۱	۶	۱	۳	۱	۲	۱	۲	ضریب $a$ در معادله کمپل
۲	۳۹	۲	۲۹	۲	۱۵	۲	۲۷	ضریب $b$ در معادله کمپل
۲	۱۴	۱	۹	۲	۱۰	۲	۱۱	درصد پوشش گیاه
۱	۴	۱	۲	۱	۲	۱	۲	نسبت تعرق واقعی به پتانسیل
۱	۲	۱	۲	۱	۲	۱	۲	روز جوانه زنی
۱	۲	۱	۱	۱	۱	۱	۱	شروع رشد رویشی
۱	۷	۱	۴	۱	۵	۱	۵	شروع رسیدن گیاه
۲	۱۲	۱	۷	۱	۸	۱	۶	روز برداشت گیاه



مقایسه مقادیر رطوبت برآورد شده و اندازه‌گیری شده مقایسه کیفی: مقایسه نتایج به صوت گرافیکی یا کیفی در شکل ۱ ارائه شده است. در این نمودارها نقاط حداقل، نشان‌دهنده زمان آبیاری و نقاط حداکثر، بیان‌کننده مقدار رطوبت خاک بعد از آبیاری می‌باشد. به علت متغیر در نظر گرفتن عمق ریشه تا حدود ۸۰ روز از ابتدای فصل رشد، مقدار افزایش رطوبت در دو لایه اول (۴۰-۰ سانتی‌متر) متغیر بود ولی بعد از ثابت شدن عمق ریشه، خیس شدن لایه‌ها تقریباً به یک میزان صورت گرفت. مقدار رطوبت در لایه سوم (۶۰-۴۰ سانتی‌متر)، در تمام تیمارها، و در آبیاری‌های اولیه افزایش ولی بعد از آن کاهش یافت و یک مقدار تقریباً ثابتی، قبل از هر آبیاری، رسید. این بیان می‌کند که در اوایل فصل رشد مقدار آب رسیده به این لایه از مقدار آب جذب شده و یا تخلیه شده از آن بیشتر است ولی بعد از آن تقریباً مساوی می‌گردد. مقدار رطوبت در لایه چهارم (۸۰-۶۰ سانتی‌متر) در مراحل اولیه رشد از نوسانات بیشتری برخوردار بود و رطوبت آن حتی به مرز ۲۳ درصد نیز رسید، این امر نشان می‌دهد که در آبیاری‌های اولیه آب به این لایه نیز رسیده است، اما در مراحل بعدی به علت افزایش تقاضا برای تبخیر و تعرق مقدار رطوبت کاهش یافته و سپس در یک دوره نسبتاً طولانی روند ثابتی را طی نموده است.

در انتها دوره رشد دوباره به علت کاهش نیاز تبخیر و تعرق، در تیمارهای بدون تنش و تنش ابتدایی، مقدار رطوبت این لایه کمی افزایش یافت. در تیمار بدون تنش آبی با تخلیه مجاز رطوبتی ۵۰ درصد، زمانی که رطوبت خاک به حدود ۱۹/۰ درصد حجمی می‌رسید، آبیاری باید صورت می‌گرفت. با این وجود در برخی مواقع، بخصوص در لایه اول، رطوبت از این مقدار کمتر شد که علت آن خروج بیشتر آب از این لایه تحت تأثیر تبخیر و تعرق می‌باشد.

با توجه به اینکه در ابتدای فصل رشد درصد پوشش گیاهی بسیار اندک می‌باشد، احتمال اینکه درصد زیادی از رطوبت قابل دسترس در لایه اول فقط صرف تبخیر از

خاک لخت شده باشد، زیاد است. در لایه دوم درصد رطوبت حجمی در اغلب موارد در نزدیکی ۱۹ درصد قرار داشت. رطوبت در لایه سوم و چهارم بالاتر از ۱۹ درصد حجمی بود. مدل در سه لایه اول (۶۰-۰ سانتی‌متر) تقریباً با یک روند مشابه مقدار رطوبت را برآورد کرد. ولی در لایه چهارم تا ۶۰ روز از ابتدای فصل رشد مقادیر رطوبت را کمتر و بعد از آن مقادیر را بیشتر برآورد کرد. ولی در لایه چهارم تا ۶۰ روز از ابتدای فصل رشد مقادیر رطوبت را کمتر و بعد از آن مقادیر بیشتر برآورد نمود. در مقادیر مشاهده شده رطوبت در این لایه، ملاحظه می‌گردد که مقدار تقریباً ثابتی دارد و بیان‌کننده عدم تلفات آب از طریق نفوذ عمقی می‌باشد. در تیمار تنش آبی مداوم با تخلیه رطوبتی برابر با ۸۰ درصد، زمانی که رطوبت به حدود ۱۵ درصد حجمی می‌رسید، آبیاری انجام می‌شد. با این حال مقدار رطوبت در لایه اول در برخی مواقع از این حد کمتر شد. متوسط رطوبت در لایه دوم، قبل از انجام آبیاری، حدود ۱۴/۹ درصد بود، به عبارتی از کل آب قابل دسترس در این لایه حدود ۵۴ درصد توسط گیاه جذب گردیده است (جدول ۱). در لایه سوم رطوبت خاک در مراحل اولیه رشد شروع به افزایش کرد و تا حدود ۳۰ درصد رسید که نشان‌دهنده آنست در آبیاری‌های اولیه به دلیل نیاز تبخیری کم، آب بیشتری به این لایه رسیده و جذب کمتری نیز به لحاظ کوچک بودن عمق ریشه از آن صورت گرفته است، ولی بعد از آن میزان رطوبت شروع به کاهش نمود و در حدود ۱۷ تا ۱۸ درصد ثابت شد. به نظر می‌رسد از حدود ۷۰ روز به بعد، عمق ریشه به این لایه رسیده باشد (اندازه‌گیری عمق نفوذ ریشه در طول فصل رشد این مدعا را ثابت نمود). در لایه بعد از کاشت به مقدار ثابت حدود ۱۵ درصد حجمی رسید که بیان می‌کند در زمان اعمال تنش، رطوبت چندان به این لایه نرسیده است و به علت شنی بودن لایه زیرین انتقال رطوبت از این لایه به طرف پایین نیز صورت نمی‌گیرد. در این تیمار، مدل مقادیر رطوبت را در لایه اول (۲۰-۰ سانتی‌متر)، به جز در اوایل فصل رشد،



نسبتاً خوب پیش‌بینی نمود. در لایه دوم نیز در اواسط فصل رشد مقدار رطوبت را کمتر ولی در خارج از آن با دقت قابل قبولی برآورد کرد. در لایه سوم (۶۰-۴۰ سانتی‌متر) مقادیر رطوبت را تا ۹۰ روز از ابتدای فصل رشد با دقت قابل قبولی پیش‌بینی، ولی بعد از آن بیشتر از واقعیت برآورد نمود. در لایه چهارم برخلاف تیمار بدون تنش آبی، مدل از دقت بالاتری برخوردار بود، هر چند که در فاصله زمانی ۶۰ تا ۱۰۰ روز مقادیر رطوبت را کمی بیشتر برآورد کرد.

در تیمار تنش آبی ابتدایی طول دوره تنش برابر با ۴۱ روز (از روز ۲۹ تا روز ۷۰) بود. زمانی که مقدار رطوبت به ۱۳/۵ درصد حجمی (متناسب با ۹۰ درصد تخلیه رطوبتی) می‌رسید، تنش باید شکسته می‌شد و آبیاری مانند شرایط نیاز کامل ادامه می‌یافت. با این وجود رطوبت در لایه اول (۲۰-۰ سانتی‌متر) قبل از رفع تنش به مقدار زیادی کاهش یافت. در این لایه مقدار رطوبت در انتهای دوره تنش به مرز ۱۱/۵ درصد (حتی کمتر از نقطه پژمردگی) رسید، به عبارتی از کل مقدار قابل دسترس در این لایه ۳۹/۰ درصد آن تخلیه شده است. در لایه سوم (۶۰-۴۰ سانتی‌متر) مقدار رطوبت در انتهای دوره تنش آبی برابر با ۱۶/۵ درصد بود. ملاحظه می‌گردد که درصد رطوبت حجمی به میزان قابل توجهی بیشتر از لایه اول و دوم است. همچنین شیب کاهش رطوبتی آن نسبت به لایه دوم و بخصوص لایه اول کمتر است که علت آن جذب کمتر آب از این لایه توسط گیاه به دلیل عمق کم ریشه می‌باشد. با این حال از کل مقدار آب قابل دسترس در این لایه حدود ۷۶ درصد آن صرف تبخیر و تعرق شده است. بنابراین، این لایه نیز اهمیت قابل توجهی از نظر تأمین رطوبت در این لایه بسیار کمتر از لایه‌های بالایی است که علت آن خروج کمتر آب از این لایه تحت تأثیر نیروی ثقل و جذب کمتر آب به وسیله لایه زیرین به دلیل شنی بودن لایه پنجم (۱۱۰-۸۰ سانتی‌متری) است. در این تیمار، مدل در لایه اول و دوم مقادیر رطوبت را با دقت بالایی برآورد کرد. در لایه سوم تا تقریباً ۷۰ روز از اول

فصل، مقادیر را به درستی ولی بعد از آن بیشتر برآورد نمود. در لایه چهارم روند تغییرات رطوبت مشابه تیمار بدون تنش آبی بود و تا ۶۰ روز از اول فصل، مقادیر را کمتر و بعد از آن مقادیر را بیشتر از واقعیت پیش‌بینی کرد. مقایسه کمی: با توجه به جدول ۴ ملاحظه می‌گردد که در تیمار بدون تنش، مقدار خطای متوسط از ۱/۵۲ در لایه سوم (۶۰-۴۰ سانتی‌متر) تا مقدار ۲/۸۱ در لایه دوم (۴۰-۲۰ سانتی‌متر) متغیر می‌باشد. علامت مثبت این مقدار نشان‌دهنده آن است که مدل مقادیر رطوبت را بیشتر برآورد می‌کند. متوسط خطای نسبی و ضریب تغییرات در پروفیل خاک به ترتیب برابر ۹/۹۱ و ۱۴/۵۷ درصد می‌باشد. با توجه به کم بود این ضرایب می‌توان نتیجه گرفت که دقت مدل بالاست. از نظر برازش بین داده‌های مدل و مشاهده نیز با توجه به مقدار کارایی مدل که بین صفر و یک می‌باشد نشان‌دهنده خوبی برازش است. در تیمار تنش مداوم مدل دقت بالاتری داشت. متوسط خطا در پروفیل برابر با ۱/۴۱ و مقدار خطای نسبی برابر با ۸/۷۳ درصد بود. مقدار نسبتاً کم ضریب تغییرات (۱۳/۱۲ درصد) حکایت از انحراف ناچیز بین مقادیر رطوبت برآورد شده و مشاهده شده دارد و با توجه به نزدیک بودن مقدار کارایی مدل به عدد ۱ برازش خوبی بین مقادیر رطوبت اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده وجود دارد. در تیمار تنش ابتدایی نیز دقت مدل بالا بود. مقدار خطای متوسط از ۱/۱۴ تا ۲/۴۲ تغییر نمود. خطای نسبی از ۶/۶۴ در لایه چهارم تا ۱۲/۵۴ درصد در لایه سوم متغیر بود. متوسط ضریب تغییرات برابر با ۱۵/۰۱ درصد و کارایی مدل برابر با ۰/۵۴ به دست آمد. تمام این ضرایب نشان‌دهنده دقت مدل در برآورد مقدار رطوبت است. در تحقیقات کلمنت و همکاران (۱۹۹۴) مقدار خطای متوسط توسط مدل LEACHM بین ۳/۹۴- تا ۳/۲۵+، مقدار خطای نسبی بین ۲۹/۵- تا ۷/۵۴+ و مقدار ضریب تغییرات بین ۵/۲۵ تا ۳۲ درصد گزارش شده است، با این وجود از این مدل به عنوان یک مدل قابل قبول یاد شده است. در تحقیق انجام شده توسط اسمیت و همکاران





(۱۹۹۵) که مدل LEACHM را انتخاب نموده‌اند نیز مقدار خطای نسبی بین ۴/۱- تا ۱۶۰/۵ و مقدار ضریب تغییرات بین ۲/۳ تا ۲۰/۵ درصد گزارش شده است.

### نتیجه‌گیری

بطور کلی نتایج زیر حاصل گردید: آنالیز حساسیت نشان داد که مدل نسبت به وزن مخصوص ظاهری که بیان‌کننده تراکم و میزان گنجایش نگهداری آب در خاک می‌باشد، فوق‌العاده حساس است. با افزایش مقدار وزن مخصوص ظاهری خاک مقدار رطوبت آن به شدت کاهش یافت که این به علت کاهش مقدار تخلخل مؤثر می‌باشد. مدل نسبت به ضریب  $b$  در معادله کمپل و درصد پوشش گیاهی حساس ولی نسبت به بقیه ضرایب و داده‌های ورودی غیر حساس بود. با توجه به نتایج آنالیز حساسیت مدل، می‌بایست در اندازه‌گیری وزن مخصوص ظاهری نهایت را به عمل آورد. مقادیر رطوبت خاک شبیه‌سازی

شده در عمق توسعه ریشه با مقادیر اندازه‌گیری شده در مزرعه تطابق خوبی داشت بطوری که مقدار خطای متوسط بین ۱/۰۹ تا ۲/۸۱ تغییر نمود. مدل رطوبت را معمولاً بیشتر از واقعیت تخمین زد. با توجه به حساسیت مدل نسبت به وزن مخصوص ظاهری، شاید بتوان این طور استنباط کرد که در اندازه‌گیری این پارامتر خطایی صورت گرفته و مقدار آن کمتر از واقعیت گزارش شده است و این سبب افزایش تخمین رطوبت توسط مدل گردیده است. در هر حال دقت مدل با نتایج سایرین مطابقت خوبی داشت. با اندازه‌گیری و یا تخمین برخی از ویژگی‌های مربوط به خاک از قبیل توزیع ذرات، وزن مخصوص ظاهری و هدایت هیدرولیکی و داده‌های گیاهی از قبیل زمان جوانه‌زنی، شروع رشد رویشی و زمان برداشت، و مقادیر و درجه حرارت متوسط هوا، می‌توان از مدل جهت پیش‌بینی زمان آبیاری و نیز چگونگی اعمال تنش آبی استفاده نمود.

جدول ۴- مقادیر پارامترهای آماری در تیمارها و لایه‌های مختلف خاک.

تیمار و عمق (سانتی‌متر)	خطای متوسط (درصد)	خطای نسبی (درصد)	ضریب تغییرات (درصد)	کارایی مدل
تیمار بدون تنش:				
۰-۲۰	۲/۰۹	۱۱/۲۳	۱۶/۱۶	۰/۳۵
۲۰-۴۰	۲/۸۱	۱۳/۰۲	۱۵/۵۳	۰/۲۲
۴۰-۶۰	۱/۵۲	۶/۸۷	۱۱/۷۰	۰/۱۰
۶۰-۸۰	۱/۶۳	۸/۵۱	۱۴/۸۷	۰/۰۷
متوسط	۲/۰۱	۹/۹۱	۱۴/۵۷	۰/۱۹
تیمار تنش مداوم:				
۰-۲۰	۱/۰۹	۷/۸۱	۱۲/۶۷	۰/۶۵
۲۰-۴۰	۱/۱۴	۶/۵۱	۱۱/۵۸	۰/۸۰
۴۰-۶۰	۲/۱۷	۱۲/۷۴	۱۵/۵۸	۰/۳۹
۶۰-۸۰	۱/۲۳	۷/۸۶	۱۲/۶۴	۰/۷۵
متوسط	۱/۴۱	۸/۷۳	۱۳/۱۲	۰/۶۵
تیمار تنش ابتدایی:				
۰-۲۰	۱/۶۰	۹/۵۱	۱۳/۴۱	۰/۷۸
۲۰-۴۰	۱/۸۵	۹/۲۱	۱۵/۳۳	۰/۵۵
۴۰-۶۰	۲/۴۲	۱۲/۵۴	۱۵/۲۸	۰/۲۵
۶۰-۸۰	۱/۱۴	۶/۴۶	۱۶/۰۳	۰/۶۰
متوسط	۱/۷۵	۹/۴۳	۱۵/۰۱	۰/۵۴



## منابع

۱. علیزاده، الف. ۱۳۷۸. رابطه آب و خاک و گیاه. انتشارات دانشگاه امام رضا (ع). ۳۳۵ صفحه.
2. Campbell, G. 1974. A simple method for determining unsaturated conductivity from moisture retention data. *Soil. Sci.* 117:311-314.
3. Clemente, R.S., De Jong, R., Hayhoe, H.N., Renolds, W.D., and Hares, M. 1994. Testing and comparison of three unsaturated soil water flow models. *Agricultural Water Management.* 25: 135-152.
4. Hutson, J.L., and Cass, A. 1987. A receptivity function for use in soil water simulation models. *J. Soil. Sci.* 387: 105-113.
5. Hutson, J.L., and Wagent, R.J. 1992. LEACHM. Leaching Estimation and Chemistry Model: A process-based model of water and solute movement, transformations, plant uptake and chemical series 92-3. Cornell University, Ithaca, New York.
6. Lane, L.W., and Ferreira, V.A. 1980. Sensitivity analysis. In CREAMS, A Field Scale Model for Chemical, Runoff and Erosion from Agricultural Management System, ed. W.G. Knisel, 113-158. Vol. 1. Model Documentation. USDA Conservation Res. Report No. 26. Washington, D.C: GPC.
7. Loague, K., and Green, R.E. 1991. Statistical and graphical methods for evaluating solute transport models: overview and application. In Wierenge, P.J. (Guest Ed.), Validation of Flow and Transport models for the unsaturated Zone. *Contam. Hydrol.* 7: 51-73.
8. Mahdian, M.H., and Gallichand, J. 1995. Validation of SUBSTOR Model for Simulation soil water content. *Trans. ASAE.* 38(2): 513-520.
9. Mahdian, M.H., and Gallichand, J. 1996. Modeling soil water content and pressure head with SWACROP in potato fields. *Canadian Agricultural Engineering.* 38(1): 1-11.
10. Molz, I.J., and Remsen, I. 1970. Extraction term models of soil moisture use by transpiring plant. *Water Resour. Res.* 6: 1346-1356.
11. Nima, M.N., and Hanks, R.J. 1973. Model for estimation of soil water, plant, and atmospheric interrelations: I. Description and sensitivity. *Soil Sci: Amer. Proc.* 37: 522-527.
12. Parehkar, M. 1998. Recharge processes under arid semi Arid Areas. (Laboratory experiment and modeling). Phd Thesis, Cranfield. Uni. Silsoe Collage.
13. Ramos, C., and Carbonell, E.A. 1991. Nitrate leaching and soil moisture prediction with the LEACHM-Model. *Fertilizer Research.* 27: 180-1991.
14. Selim, H.M., and Iskandar, I.K. 1981. Modeling nitrogen transport and transformations in soils. I Theoretical considerations and II. Validation. *Science.* 131: 233-241.
15. Smith, W.N., Reynolds, W.D., Clementeand, R.S., and Topp, E. 1995. Water flow through Intact soil columns: Measurement and Simulation Using LEACHM. *J. Environ. Qual.* 24: 874-881.
16. Van Genuchten, M.T. 1982. A comparison of numerical solutions of the one dimensional unsaturated-saturated flow and mass transport equations. *Adv. In Water Resour.* 5: 47-55.
17. Vassils, Z.A. 1997. Simulation of soil moisture dynamics on irrigated cotton in semi-arid climates. *Agricultural Water Management.* 34: 233-246.
18. Vassilis, Z.A., and Guido, C.L. 1998. Mode line of water and nitrogen dynamics on an undisturbed soil and a restored soil after open-cast mining. *Agricultural water management.* 37: 21-40.
19. Wagenet, R.J., and Huston, J.L. 1989. LEACHM. Leaching Estimation and Chemistry Model: A process-based model of water and solute movement, transformations, plant uptake and chemical reactions in the unsaturated zone. *Continuum Vol. 2, Version 2.* Water Resources Institute. Cornell University, Ithaca, New York.



## **The estimation of moisture in sugar beet root development limit using LEACHM model**

**M. Jolaini<sup>1</sup>, F. Kaveh<sup>2</sup>, A. Pazira<sup>2</sup>, M. Parezkar<sup>3</sup> and M.J. Abedi<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Scientific Member, Khorasan Agriculture Research Center, <sup>2</sup>Associate Prof., Science and Research Unit., Islamic Azad University, Tehran, <sup>3</sup>Professor, Science and Research Unit., Islamic Azad University, Tehran, Iran.

### **Abstract**

The growing interest in simulation of water movements in soils is in response to the need for development of solutions for various agriculture and environment management problems, such as irrigation. In order to be able to adopt models for simulation, it is important that the capabilities of these models and credibility of their results are tested. In this study results from LEACHM simulation model are compared with the measured soil water data. This experiment was conducted at the farm of Khorasan Agricultural Research Center during growing season of 2001. The experiment was laid out in a completely randomized block design, adopting split plot method. Main factor consists of three water levels; I<sub>1</sub>: without water stress, I<sub>2</sub>: continuous water stress and I<sub>3</sub>: early water stress. Subplots consist of 3 different nitrogen levels 80, 160 and 240kg/ha viz. A sensitivity analysis was performed to identify the input parameters of LEACHM, which most influence on the water content variations. Sensitivity analysis results showed that bulk density has an important effect on soil water content. Simulated soil water contents water in close agreement to measured values. Mean Bias Error (MBE), Relative Error (RE) and Coefficient of Variation (CV) water changed irrespectively between 1:09 to 2.81, 6.46 to 13.02 and 11.58 to 16.16 percent. Generally, the model overestimated measured water contents. According to the results, this model can be used for predicting the irrigation time and quality of water stress, by estimating and measurement some characteristics of soil, plant and climate.

**Keywords:** Model; Water stress; Simulation of moisture; Sugar beet; LEACHM

