نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۶، جلد ۱۲، بهمن - اسفند ۱۳۹۷، ص. ۱۴۳۴-۱۴۱۸

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 6, Vol. 12, Feb.-Mar. 2019, p. 1418-1434

ارزیابی مدل Drainmod-S برای شبیه‌سازی نوسانات سطح ایستابی و غلظت نمک در نیمرخ خاک، در اراضی شالیزاری دارای سطح ایستابی کم‌عمق و شور

مسعود پورغلام آمیجی[۱]، عبدالمجید لیاقت[۲]، آرزو نازی قمشلو*[۳]، مجتبی خوش‌روش[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۲/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۶/۱۰

چکیده

در این پژوهش از مدل Drainmod-S که خاص مناطق با سطح ایستابی کم‌عمق و شور است، برای تغییرات سطح ایستابی و تعیین غلظت نمک در شرایط اراضی شالیزاری استفاده شد. این پژوهش در سال ۱۳۹۶ در مرکز تحقیقات آب و هواشناسی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی کرج-دانشگاه تهران طی یک‌فصل کشت برنج در یک مدل فیزیکی (لایسیمتر فلزی) انجام شد. این پژوهش با دو تیمار اصلی، یکی با حضور سطح ایستابی کم‌عمق و غیرشور (FSG) و دیگری در حضور سطح ایستابی کم‌عمق و شور (SSG) که هر دو با آب معمولی آبیاری می‌شدند به انجام رسید. بعد از ارزیابی نتیجه مدل برای سطح ایستابی، مقادیر MBE، RMSE، NRMSE، d و R^2 به‌ترتیب ۰/۱۸ سانتی‌متر، ۷/۴۸ سانتی‌متر، ۲۳/۴۱ درصد، ۰/۸۶ و ۰/۶۳ برای تیمار FSG و ۰/۶۹ سانتی‌متر، ۷/۲۵ سانتی‌متر، ۲۱/۰۶ درصد، ۰/۸۳ و ۰/۵۳ برای تیمار SSG به دست آمد. نتایج نشان از شبیه‌سازی خوب مدل و تطابق نسبی بین داده‌های مشاهده شده و شبیه‌سازی شده بود. همچنین، پارامترهای MBE، RMSE، NRMSE، d و R^2 به‌منظور بررسی کارایی مدل برای تخمین تغییرات غلظت نمک در سه ناحیه از خاک به‌طور متوسط محاسبه شد. میانگین مقدار این پارامترها در عمق‌های مختلف خاک برای تیمار FSG به‌ترتیب ۰/۰۲ دسی‌زیمنس بر متر، ۰/۱ دسی‌زیمنس بر متر، ۴/۶۱ درصد، ۰/۹ و ۰/۸۷ به دست آمد. پارامترهای مذکور در تیمار SSG نیز به‌ترتیب ۰/۰۷ دسی‌زیمنس بر متر، ۰/۲۴ دسی‌زیمنس بر متر، ۲/۷۸ درصد، ۰/۹۴ و ۰/۸۹ محاسبه شد. در پایان، مدل برای اراضی شالیزاری واقعی حاشیه دریای خزر (اراضی میانکاله در منطقه بهشهر) شبیه‌سازی‌شد. به‌طور کلی، مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده و برآورد شده سطح ایستابی و شوری خاک نشان داد که می‌توان از مدل Drainmod-S به‌عنوان یک راهنمای کلی در پیش‌بینی و شبیه‌سازی روند تغییرات سطح ایستابی و شوری خاک استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: سطح ایستابی، نرم‌افزار Drainmod-S، کم‌عمق و شور، اراضی شالیزاری، نیمرخ شوری

مقدمه

ازآنجایی‌که حدود ۷۰ درصد جمعیت دنیا در محدوده اراضی دیم و ۳۰ درصد در اراضی فاریاب زندگی می‌کنند، بدون آبیاری و کشاورزی تامین غذای کافی برای جمعیت کنونی دنیا امکان‌پذیر نیست (کمیسیون بین‌المللی آبیاری و زهکشی، ۲۰۱۷). یکی از راهکارهای سازگاری با کم‌آبی با کمبود منابع آب آبیاری و افزایش بهره‌وری مصرف آب کشاورزی، استفاده از سطوح ایستابی کم‌عمق آب زیرزمینی برای آبیاری گیاه به‌خصوص در مناطق با آب زیرزمینی نزدیک به سطح زمین است. اما بالا آمدن نمک به منطقه ریشه در اثر جریان مویینگی، یک عامل محدودکننده برای استفاده از آب زیرزمینی کم‌عمق به‌منظور آبیاری گیاه محسوب می‌شود (ذاکری‌نیا و همکاران، ۱۳۹۵).

بسیاری از اراضی کشاورزی به‌منظور استفاده از آب شرین رودخانه‌های اصلی و مهم منتهی به دریا، در نزدیکی ساحل قرار دارند. در مناطق ساحلی، آب زیرزمینی به‌عنوان مهم‌ترین منبع تامین آب موردنیاز مصارفی همچون کشاورزی، شرب و صنعت تلقی می‌شود. در این نواحی، منابع آب شیرین در معرض نفوذ آب‌های شور و لب‌شور قرار دارند و که موجب ایجاد نگرانی‌هایی در این مناطق شده است. به‌طور معمول، تداخل و نفوذ آب شور در آبخوان‌های ساحلی به‌دلیل برداشت بیش از حد منابع آب زیرزمینی شیرین و ایجاد امکان انتقال

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران
۲- استاد گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران
۳- استادیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران
۴- استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
(*- نویسنده مسئول: Email:a.ghameshlou@ut.ac.ir)

جانبی یا عمودی آب شور و لب‌شور رخ داده و این امر موجب تخریب کیفیت آب زیرزمینی می‌گردد (Chen and Jiao., 2014).

شالیزارها یک منبع حیاتی برای تولید غذا، عاملی برای بهبود کیفیت محیط و دارای نقش اساسی در بهبود وضعیت اقتصادی مردم همان منطقه هستند. در همین راستا، جیائو و همکاران اثرات اقتصادی و زیست‌محیطی تغییر کاربری اراضی شالیزاری به اراضی خشک حوضه دریاچه تای[1] کشور چین را به سبب مشکلات آلودگی مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که تبدیل اراضی شالیزاری به اراضی خشک تاثیر منفی بر کنترل آلودگی دارد. اما کشت و تولید محصولات در شرایط آب و خاک شور اقدامات متنوعی نظیر پیش‌بینی تغییرات شوری در خاک را می‌طلبد (Jiao et al., 2017).

از مدل‌هایی که در رابطه با حرکت آب و املاح در خاک و پیش‌بینی تغییرات آن کاربرد زیادی پیدا کرد، می‌توان مدل‌های Saltmed، Hydrus و Swap را نام برد. ضمن اینکه مدل Drainmod هم برای شبیه‌سازی و بررسی نوسانات سطح ایستابی کم‌عمق و همچنین حرکت و انتقال آب و املاح مورد استفاده قرار می‌گیرد. مدل Drainmod برای طیف وسیعی از خاک‌ها، گیاهان و شرایط آب و هوایی مورد آزمون و ارزیابی قرار گرفته است. همچنین در مقایسه با مدل‌هایی که مبتنی بر معادله یک‌بعدی ریچاردز است، نتایج حاصله عموما نشان داده است که مدل Drainmod را می‌توان با پیش‌بینی قابل‌اعتمادی برای نوسانات سطح ایستابی مورداستفاده قرار داد (پذیرا، ۱۳۸۱).

این مدل توسط اسکاگز (Skaggs., 1978) ارایه شده است. که توسط کندیل و همکاران (Kandil et al., 1992) برای شبیه‌سازی حرکت نمک در خاک و به‌وسیله بریو و همکاران (Breve et al., 1997) جهت شبیه‌سازی تغییرات نیتروژن در خاک تکمیل شد که به ترتیب مدل‌های Drainmod-S و Drainmod-N به مدل اصلی اضافه شد. همچنین به گفته بریو و همکاران، این یک مدل ریاضی شبیه‌سازی است که برای انواع خاک‌ها و محصولات در شرایط آب و هوایی متفاوت به‌صورت رضایت‌بخشی آزمایش شده است (Breve et al., 1997).

درزی و همکاران (۱۳۹۴) به ارزیابی مدل Drainmod برای پیش‌بینی عمق سطح ایستابی و دبی زهکش در اراضی شالیزاری مجهز به زهکشی زیرزمینی پرداختند. بر اساس نتایج آن‌ها، مدل Drainmod عملکرد یک سیستم زهکشی را برای یک دوره طولانی‌مدت شبیه‌سازی نمود و میزان عمق سطح ایستابی، زهکشی، رواناب سطحی، تبخیر–تعرق، تلفات آب، نفوذ، تعداد روزهای مرطوب و خشک و غیره را پیش‌بینی می‌کند. همچنین مدل Drainmod، نوسانات سطح ایستابی را با توجه به وجود بار آبی روی سطح زمین در حالت ماندگار شبیه‌سازی می‌کند. در این نرم‌افزار، مقدار نفوذ آب به داخل خاک بر پایه معادله گرین آمپت[2] است (زارع ابیانه و همکاران، ۱۳۹۰).

یوسف و همکاران برای بررسی عملکرد سیستم زهکشی کنترل‌شده (CD)، مطالعه شبیه‌سازی ۲۵ ساله با مدل هیدرولوژیکی Drainmod شامل ۴۸ نقطه در غرب ایالت متحده را در منطقه وسیعی مورد استفاده قرار دادند. به طورکلی، نتایج این مطالعه شبیه‌سازی نشان داد که نرم‌افزار Drainmod متوسط کاهش در تخلیه زهکش‌های زیرسطحی را ۲۹/۴ درصد و میانگین کاهش نیتروژن در تلفات زهکشی را ۳۲/۲ پیش‌بینی کرده است (Youssef et al., 2018).

یوسف و همکاران عنوان کردند مدل Drainmod-S می‌تواند برای مطالعه اثر درازمدت سیستم زهکشی بر روی عمق سطح آب زیرزمینی، تخلیه زهکشی و شوری خاک برای انواع خاک و اقلیم‌های متفاوت مورد استفاده قرار گیرد (Youssef et al., 2006). همچنین وهبا مدل مدیریت آب Drainmod-S را برای شبیه‌سازی استراتژی‌های مختلف برای استفاده از آب زهکشی به‌منظور آبیاری در یک دوره ۲۰ ساله را بررسی و نتیجه گرفت می‌توان از مدل موردنظر برای شبیه‌سازی درازمدت استراتژی‌های مختلف مدیریت آب (آب شور، شیرین و ترکیبی از این دو) استفاده کرد (Wahba., 2017).

یانگ مدل Drainmod را برای برآورد نوسانات سطح ایستابی در مزارع نیشکر کشور استرالیا استفاده نمود و مطابقت خوبی بین مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی‌شده طی بررسی دوساله با خطای استاندارد حدود ۰/۰۷ متر، مشاهده نمود (Yang., 2008). همچنین، فنگ و همکاران مدل Drainmod-S را برای منطقه لاجو بای[3] چین طی دو فصل کشت مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاکی از شبیه‌سازی خوب مدل مذکور برای نوسانات سطح ایستابی و شوری خاک با ضریب تعیین (R^2) بالاتر از ۰/۷۵ و میانگین خطای نسبی (MSE) کم‌تر از ۱۰ درصد داشت (Feng et al., 2018).

پورموسوی در سال ۱۳۹۰ از نرم‌افزار Drainmod در طراحی زهکش‌های زیرزمینی اراضی دانشگاه شهید چمران استفاده کرد و گزارش کرد که با مقایسه نوسانات سطح ایستابی مشاهده شده و پیش‌بینی‌شده توسط مدل Drainmod مقادیر RMSE[4]، R^2 و E به ترتیب ۲۲ سانتی‌متر، ۰/۸۹۵ و ۰/۸۴ به‌دست آمد.

ابراهیمیان و لیاقت مدل Drainmod را در اراضی ران شهرستان بهشهر مورد بررسی قراردادند و عملکرد مدل Drainmod را قابل قبول ارزیابی کردند. در این تحقیق، مقدار خطای استاندارد (RMSE)،

1- Tai

2- Green-Ampt

3- Laizhou Bay

4- Root Mean Square Error

ضریب تعیین (R^2) و مقدار CRM برای سطح ایستابی به ترتیب ۱۶/۷، ۰/۸۶ و ۰/۱ به دست آمده است (Ebrahimian and Liaghat., 2008). ابراهیمیان و همکاران (۱۳۸۹) در تحقیق دیگری نیز اعتبارسنجی مدل Drainmod-S برای شبیه‌سازی سطح ایستابی، مقادیر میانگین خطای استاندارد (RMSE) و ضریب تعیین (R^2) را به ترتیب ۱۴/۹ سانتی‌متر و ۰/۸ و برای شوری نیمرخ خاک به ترتیب ۱۴/۶ دسی‌زیمنس بر متر و ۰/۹۱ برآورد کردند. به‌طورکلی نتایج این تحقیق نشان داد که مدل Drainmod-S در شرایط معتدل و مرطوب (نظیر شهرستان بهشهر)، برای شبیه‌سازی طولانی‌مدت و برنامه‌ریزی مدیریت سطح ایستابی و شوری نیمرخ خاک می‌تواند ابزار مناسبی باشد.

آمار رسمی وزارت جهاد کشاورزی اعلام کرده است که در استان مازندران، مناطق نوار ساحلی از مشکل شوری رنج می‌برند و این مناطق با وسعت ۳۰ هزار هکتار، ۱۴ درصد از کل اراضی شالیزاری این استان را تشکیل می‌دهد. آب زیرزمینی در این اراضی (ساحلی) شور و کم‌عمق (۳۰ تا ۱۵۰ سانتی‌متر) است. امکان کشت هر محصولی در اراضی با سطح ایستابی کم‌تر از یک متر به دلیل حرکت رو به بالا و تجمع نمک در منطقه ریشه وجود ندارد، ولی امکان کشت از نوع شالی به دلیل غرقاب دایم و جریان پیوسته رو به پایین و وجود سخت لایه در عمق ۳۰ سانتی‌متری که مانع از حرکت رو به بالای املاح می‌شود، وجود دارد. این فرضیه‌ها با انجام یک تحقیق آزمایشگاهی در لایسیمتر[1]های بزرگ مورد ارزیابی قرار گرفت. ضمن ارزیابی مدل Drainmod-S، فرضیه تحقیق برای طولانی‌مدت مورد شبیه‌سازی قرار گرفت تا اثرات درازمدت آن نیز بررسی شود. سوال تحقیق این است که آیا در چنین شرایطی مدل Drainmod شبیه‌سازی قابل قبولی را ارایه می‌نماید؟ پاسخ این سؤال بعد از شبیه‌سازی مدل و در ادامه بحث ارایه خواهد شد. نکته بعدی در استفاده از مدل، این است که نتایج تحقیق باید برای چند سال متوالی مورد ارزیابی قرار گیرد تا اثر آن در آینده نیز مشخص شود.

فرضیات تحقیق عبارتند از: ۱) با توجه به غرقاب بودن دایم اراضی شالیزاری به ارتفاع معمول سه الی هفت سانتی‌متر، یک جریان رو به پایین اتفاق خواهد افتاد که باعث جلوگیری از صعود آب زیرزمینی شور به سطح خاک شده و به نظر می‌رسد شوری آب زیر زمینی را در تا یک حد مشخصی کنترل کند. ۲) در زراعت برنج لایه‌ای از خاک، در عمق ۲۰ تا ۳۰ سانتی‌متر برای عملیات کشاورزی به‌کار گرفته می‌شود. این لایه به دلیل شخم و گل‌خرابی در کشت برنج ایجاد می‌شود که به آن سخت‌لایه می‌گویند و احتمال صعود آب زیرزمینی شور به اعماق بالاتر را کم می‌کند.

مواد و روش‌ها

تشریح مدل

در شبیه‌سازی و استفاده از مدل Drainmod داده‌های مختلفی استفاده می‌شود که مهم‌ترین آن‌ها داده‌های هواشناسی، خاکشناسی، زهکشی، آبیاری و گیاهی هستند. داده‌های هواشناسی مورد استفاده در مدل شامل مقادیر باران ساعتی یا روزانه، حداکثر و حداقل دمای روزانه (یا تبخیر – تعرق پتانسیل)، عرض جغرافیایی و نمایه حرارتی است. مقادیر بارندگی و دمای هوا برای کل دوره شبیه‌سازی موردنیاز است. ازآنجایی‌که مدل، مقادیر باران ساعتی را مورد استفاده قرار می‌دهد، لذا داده‌های بارندگی روزانه موجود، با استفاده از برنامه ایجاد فایل داده‌های هواشناسی مدل باید به باران ساعتی تبدیل شود. در این مدل برای محاسبه تبخیر – تعرق مرجع از رابطه تورنت ویت[2] استفاده می‌شود. البته تبخیر – تعرق بالقوه را نیز مستقیما می‌توان به مدل داد. پارامترهای مورد نیاز این رابطه، دمای متوسط ماهانه (به‌صورت حداکثر و حداقل دمای روزانه)، عرض جغرافیایی برای محاسبه ضرایب اصلاحی معادله تورنت ویت و نمایه حرارتی می‌باشند. از مهم‌ترین خصوصیات خاک مورداستفاده در مدل، منحنی مشخصه رطوبتی و ضرایب آبگذری لایه‌های مختلف خاک می‌باشد. ورودی‌های مورد نیاز برای پارامترهای سیستم زهکشی شامل عمق نصب زهکش، فاصله زهکش‌ها، حداکثر عمق ذخیره سطحی، ضریب زهکشی، شعاع موثر زهکشی و عمق لایه غیرقابل نفوذ هستند. از پارامترهای موردنیاز برای مدیریت آبیاری می‌توان به عمق آبیاری، روز و ماه شروع آبیاری، دور آبیاری و عمق بارش احتمالی در طول دوره کشت اشاره کرد. ورودی‌های مربوط به گیاه شامل عمق ریشه، تاریخ کاشت و برداشت و اطلاعات مربوط به تنش‌های خشکی و ماندابی است (درزی و همکاران، ۱۳۹۴؛ زارع ابیانه و همکاران، ۱۳۹۰؛ پذیرا، ۱۳۸۱؛ حسن پور و همکاران، ۱۳۸۹ و لیاقت و کاویانی، ۱۳۸۴).

معرفی منطقه

تحقیق حاضر در بازه مرداد تا آبان ماه (همانند کشت تابستانه) سال ۱۳۹۶ در مرکز تحقیقات آب و هواشناسی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران واقع در شهر کرج با عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۵۵ دقیقه و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۴ دقیقه و ارتفاع ۱۲۹۳ متر از سطح دریا انجام شده است. طبق آمار و داده‌های میان‌مدت، منطقه دارای آب و هوای مدیترانه‌ای با تابستان‌های گرم و خشک و زمستان‌های نسبتا سرد است.

برابر آمار موجود، متوسط بارندگی سالیانه کرج ۲۵۰ میلی‌متر، میانگین حداکثر درجه حرارت ماهیانه در تیرماه ۲۶ درجه سانتی‌گراد و

1- Lysimeter

2- Thorntwaite

حداقل درجه حرارت ماهیانه در دی‌ماه یک درجه سانتی‌گراد است. همچنین، میانگین سالیانه دمای هوا ۱۴/۱درجه سانتی‌گراد بوده که بیشینه و کمینه مطلق آن به ترتیب ۴۲ و ۲۰- درجه سانتی‌گراد به ثبت رسیده است. پارامترهای هواشناسی در بازه ماه‌های مرداد تا مهر سال ۱۳۹۶ (جولای تا اکتبر ۲۰۱۷) که دوره کشت برنج است، از اداره کل هواشناسی استان البرز مربوط به ایستگاه سینوپتیک کرج به‌صورت روزانه دریافت شد (جدول ۱).

جدول ۱- خلاصه اطلاعات هواشناسی در دوره کشت برنج در محل تحقیق

ماه‌های سال	میانگین دمای حداقل	میانگین دمای حداکثر	میانگین کل دما	رطوبت نسبی کمینه	رطوبت نسبی بیشینه	میانگین درصد رطوبت	مجموع تبخیر ماهانه	مجموع بارندگی ماهانه
	^{0}C	^{0}C	^{0}C	٪	٪	٪	mm/month	
مرداد	۱۹/۸	۳۵/۸	۲۷/۸	۱۵	۵۹	۳۳	۳۴۸/۴	۰
شهریور	۱۷/۶	۳۳/۲	۲۵/۴	۱۴	۵۲	۳۰	۲۹۴	۰
مهر	۱۰/۴	۲۴/۴	۱۷/۴	۲۳	۶۹	۴۴	۱۸۵/۸	۶

*- که بر اساس ماه میلادی به‌صورت مرداد (Jul-Agu)، شهریور (Agu-Sep) و مهر (Sep-Oct) در نظر گرفته می‌شود.

جدول ۲- ویژگی‌های شیمیایی آب آبیاری

هدایت الکتریکی (dS/m)	pH	نیترات (mg/l)	کلر (meq/l)	کربنات (meq/l)	بی‌کربنات (meq/l)	کلسیم (meq/l)	منیزیم (meq/l)
۰/۹۴۱	۷/۸۳	۱۶/۰۴	۲/۸	۰	۴/۴	۱/۱	۶/۷

برای شبیه‌سازی لایه‌بندی خاک، لایه بالایی به عمق ۲۰ سانتی‌متر از سطح خاک که عمل گل‌خرابی بر روی این لایه صورت خواهد گرفت. لایه بعدی سخت لایه به ضخامت ۲۰ سانتی‌متر است و لایه زیرین به عمق ۴۰ سانتی‌متر که در زیر سخت‌لایه قرار دارد. لازم به ذکر است که خاک موجود در لایسیمتر از اراضی شالیزاری شمال کشور تهیه گردید. قبل از اینکه خاک دست‌خورده و انتقال داده شود، نمونه‌های خاک برای آزمایش گرفته و سپس به لایسیمتر منتقل گردید. برای اندازه‌گیری درصد رس، سیلت و شن و از روش هیدرومتری و برای طبقه‌بندی از روش USDA[1] برای تعیین کلاس بافت خاک‌ها استفاده شد. برای اندازه‌گیری ظرفیت مزرعه از دستگاه صفحات فشاری استفاده و برای تعیین چگالی ظاهری از روش استوانه فولادی یا حلقه استفاده شد. مشخصات فیزیکی خاک در جدول ۳ نشان داده شده است. نوع خاک در لایه‌های مختلف عمدتا سنگین بوده و این حالت برای کشت برنج در اراضی شالیزاری برای نگهداشت آب مناسب است.

یکی از ورودی‌های مدل Drainmod، اطلاعات مربوط به خاک مورد استفاده است. به‌همین منظور برای استفاده از جدول ۳، پارامترهای دیگری با استفاده از نسخه ۱/۱ نرم‌افزار RETC[2] محاسبه شد که نتایج آن مطابق جدول ۴ است. در بخش رطوبت اشباع، مدل مربوطه مقادیر کم‌تری را نسبت به مقدار واقعی نشان داده اما با توجه به اینکه در هر سه لایه کم‌برآورد یکسانی داشته لذا خطایی را در نتایج به‌وجود نخواهد آورد.

تیمارهای مورد مطالعه

برای فراهم کردن شرایط موردنیاز، در ابتدا عمل گل‌خرابی و آماده‌سازی لایه بالایی خاک به عمق حدود ۳۰ سانتی‌متر صورت گرفته و بذر برنج در خزانه‌ای که از قبل آماده شده و به مرحله نشاء رسیده بود، درون لایسیمتر کاشته شد (برنج موردنظر از نوع طارم و زودرس بود). مقدار کوددهی برنج برای رشد، متناسب با شیوه مرسوم در اراضی شالیزاری و با مقدار حدودی N:P:K[3] با نسبت ۱۵:۱۰:۱۰ گرم در هر مترمربع اعمال شد.

اعمال شوری آب زیرزمینی، در لایه پایینی از طریق فضای خالی انتهای لایسیمتر انجام گرفت. غلظت شوری، معادل شوری آب

منابع آب و خاک

برای تعیین خصوصیات آب آبیاری، ابتدا نمونه‌ای از آب آبیاری برداشت و به آزمایشگاه کیفیت آب انتقال داده شد. در جدول ۲ خصوصیات شیمیایی آب آبیاری نشان داده شده است.

1- United States Department of Agriculture

2- RETention Curve

3- Nitrogen: Phosphorus: Potassium

زیرزمینی در اراضی کشاورزی نوار ساحلی دریای خزر، برابر ۲۰ dS/m نگهداری شد. ضمن اینکه غلظت آب آبیاری حدود ۰/۹۴ dS/m بوده است. سپس در دوره کشت برنج که حدود ۹۰ روز بـه طـول انجامیـد، زهکشی میان‌فصل و پایان‌فصل متناسب با اراضـی شـالیزاری اعمـال شد. تیمارهای مورداستفاده در جدول ۵ نشان داده شده است.

جدول ۳- مشخصات فیزیکی خاک تحت آزمایش

نام لایه	عمق (cm)	بافت	رس (٪)	سیلت (٪)	شن (٪)	چگالی ظاهری (g/cm^3)	θs (٪)	θFc (٪)
لایه رویین	۲۰	لوم رسی	۳۱/۴	۴۲/۲	۲۶/۴۰	۱/۳۴	۵۱	۴۱
سخت لایه	۲۰	رسی	۵۰/۵۶	۲۵/۳۴	۲۴/۱۰	۱/۲۲	۵۷	۴۳
لایه زیرین	۴۰	لوم	۱۳/۶۸	۴۱/۶۱	۴۴/۷۱	۱/۳۰	۴۷	۳۹

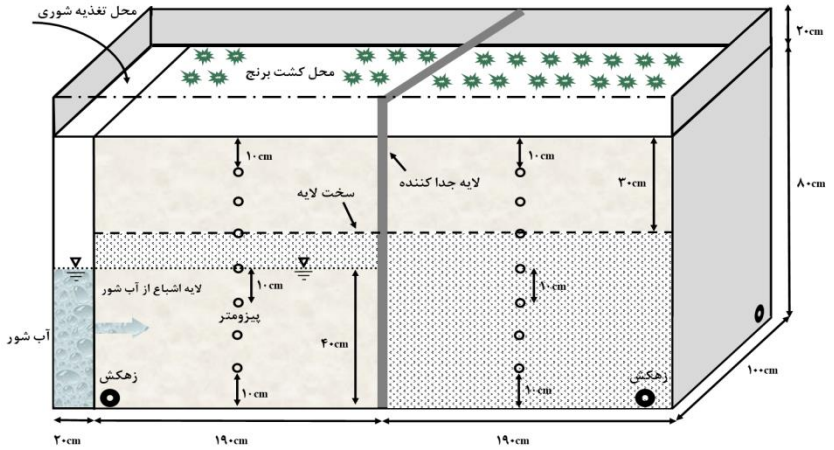
جدول ٤- پارامترهای محاسبه‌شده مربوط به خاک با استفاده از نرم‌افزار RETC

نام لایه خاک	θr (cm^3/cm^3)	θs (cm^3/cm^3)	α (1/cm)	n	Ks (cm/day)
لایه رویین	۰/۰۹۴۴	۰/۴۶۹۶	۰/۰۰۳۵	۱/۶۲۲۹	۴۰/۳۲
سخت‌لایه	۰/۰۹۶۲	۰/۵۲۷۷	۰/۰۱۵۷	۱/۲۳۱	۲۵/۸۵
لایه زیرین	۰/۰۷۲۴	۰/۴۳۷۶	۰/۰۰۱۸	۱/۹۷۶۳	۱۸/۴۲

به ترتیب هدایت هیدرولیکی اشباع، رطوبت در حد پژمردگی دایم، رطوبت اشباع و پارامترهای شکل هستند.n و □s، □r، Ks

جدول ۵- نام‌گذاری تیمارهای موردمطالعه

نام تیمارها	تیمارهای اعمال‌شده
FSG[1]	آبیاری غرقابی با آب غیرشور و در حضور سطح ایستابی کم‌عمق و غیرشور
SSG[2]	آبیاری غرقابی با آب غیرشور و در حضور سطح ایستابی کم‌عمق و شور



شکل ۱- تصویری از لایسیمتر استفاده‌شده در پژوهش و اجزای آن

1- Fresh Shallow Groundwater
2- Saline Shallow Groundwater

ابعاد و مشخصات مدل فیزیکی

برای شبیه‌سازی شرایط کشت متناسب با اراضی شالیزاری، از یک لایسیمتر با یک دیواره از جنس پلاکسی‌گلاس استفاده گردید. مشخصات مدل موردنظر عبارت است از: پیزومترهای[1] نصب‌شده بر بدنه به‌منظور گرفتن نمونه از محلول خاک، سوراخ‌های تعبیه‌شده در کف برای خروج آب از کف لایسیمتر در مواقع ضروری (همانند عملکرد زهکش‌های کنترل شده در اراضی شالیزاری شمال کشور و مشابه با آن)، فضایی برای تغذیه و سوراخی در بدنه برای کنترل سطح ایستابی، صفحه عایق برای جداسازی پلات‌های[2] شور و غیرشور و خاک مناسب با شرایط کشت اراضی شالیزاری.

مزیت مدل‌های آزمایشگاهی در این است که علاوه بر شبیه‌سازی شرایط مزرعه، امکان کنترل و اندازه‌گیری دقیق پارامترهای مورد آزمایش را فراهم می‌کند و تاثیر عوامل خارجی تاثیرگذار در روند آزمایش را حذف می‌کند. تصویر و جزئیات کار لایسیمتر موردنظر در شکل ۱ نشان داده شد. طول، عرض و عمق لایسیمتر فلزی به ترتیب برابر با ۳/۸، ۱و ۱ متر است. طول واقعی لایسیمتر ۴ متر است، ولی به دلیل فضای لازم برای کنترل سطح ایستابی و تغذیه زیرزمینی آب شور از انتهای لایسیمتر، حدود ۲۰ سانتی‌متر از انتهای مدل خالی نگهداشته شد. نحوه قرارگیری لایسیمتر به دقت هم‌تراز شد تا خطای ایجادشده در داده‌ها به سبب وجود شیب در اراضی به کم‌ترین مقدار خود برسد.

معیارهای ارزیابی مدل

در این تحقیق تطابق بین مقادیر واقعی و شبیه‌سازی‌شده با محاسبه پارامترهای آماری میانگین خطای استاندارد یا جذر میانگین مربعات[3]، جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده[4]، ضریب تعیین[5]، ضریب باقیمانده[6]، میانگین خطای متوسط یا اریبی شاخصی[7] و شاخص آماری توافق ویلمت مشخص شده است. بهترین مقدار R^2 و d برابر یک، بهترین مقدار NRMSE کم‌تر از ۳۰ درصد و بهترین مقدار RMSE، CRM و MBE برابر صفر است (Wilmott, 1981). علامت مثبت MBE نشان‌دهنده تخمین بیش‌تر مدل و علامت منفی نشان‌دهنده برآورد کم‌تر مدل نسبت به واقعیت است. علامت منفی CRM نشان از تمایل مدل به تخمین کم و علامت مثبت آن تمایل مدل به بیش تخمینی را نشان می‌دهد. این شاخص بر حسب درصد و یا بدون بعد می‌تواند بیان شود. پارامترهای مذکور به‌صورت روابط (۱) تا (۶) ارایه می‌شود (Singh et al., 2006; Savage, 1993; Soler et al., 2007) و (نوری و همکاران، ۱۳۹۱):

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^{n}(o_i - \overline{o})(p_i - \overline{p})]^2}{\sum_{i=1}^{n}(o_i - \overline{o})^2 \times \sum_{i=1}^{n}(p_i - \overline{p})^2} \quad (۱)$$

$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^{n} o_i - \sum_{i=1}^{n} p_i}{\sum_{i=1}^{n} o_i} \quad (۲)$$

$$NRMSE = \frac{RMSE \times 100}{\overline{o}} \quad (۳)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(p_i - o_i)^2}{n}} \quad (۴)$$

$$MBE = \sum_{i=1}^{n} (p_i - o_i)/n \quad (۵)$$

$$d = 1 - [\frac{\sum_{i=1}^{n}(p_i - o_i)^2}{[\sum_{i=1}^{n}(|p_i - \overline{o}| + |o_i - \overline{o}|)^2]}] \quad (۶)$$

در روابط فوق؛ o_i مقادیر اندازه‌گیری شده، p_i مقادیر شبیه‌سازی شده، n تعداد مشاهدات، $\overline{o}$ میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده و $\overline{p}$ میانگین مقادیر شبیه‌سازی شده است.

ورود داده‌ها به مدل

داده‌های ورودی به مدل که شامل پنج بخش اصلی است، همانند جدول زیر وارد مدل گردیده و سپس خروجی مدنظر این پژوهش، یعنی بررسی نوسانات سطح ایستابی و تغییرات غلظت نمک در نیمرخ خاک از آن استخراج گردید. این داده‌ها مربوط به اقلیم محل آزمایش، منابع آب و خاک، سیستم زهکشی و پارامتر گیاهی است. این داده‌ها به‌صورت جدول ۶ وارد مدل شده است. نکته ای که در این بخش وجود دارد این است که در کشت برنج و عملیات گل‌خرابی، یک لایه نسبتا سخت در نزدیکی سطح زمین شکل می‌گیرد و لایه سخت تشکیل‌شده حتی در فصول سرد و برای کشت‌های بعدی نیز همچنان باقی می‌ماند.

نتایج و بحث

شبیه‌سازی نوسانات سطح ایستابی

مقایسه نوسانات سطح ایستابی اندازه‌گیری شده و برآورد شده توسط مدل Drainmod-S در شکل ۲ و ۳ نشان داده شده است. بر

1- Piezometers
2- Plots
3- RMSE
4- NRMSE
5- R^2
6- CRM
7- Mean Bias Error

اساس شکل ۲ در بیش‌تر زمان‌ها عمق سطح ایستابی پیش‌بینی‌شده توسط مدل اختلاف کمی با مقادیر مشاهداتی دارد. نوسانات سطح ایستابی را می‌توان ناشی از تبخیر و تعرق گیاه و آب آبیاری منطقه تحت آزمایش در طول فصل رشد دانست. ضمن آنکه خطاهای اندازه‌گیری و پیش‌بینی‌شده هم در بروز این نوسانات و تفاوت‌ها بی‌تاثیر نبوده است. این نمودار مربوط به تیمار FSG در سه مقطع از دوره رشد برنج قابل تفسیر و تحلیل است. بخش اول، مربوط به ابتدای دوره کشت تا دوره قبل از زهکشی میان‌فصل (۴۰ روزگی برنج) است. همانطور که از شکل پیداست، مقدار اندازه‌گیری شده و برآورد شده توسط مدل تا حد زیادی منطبق بر هم بوده و اختلاف ناچیزی بین این دو مقدار مشاهده شده است. در ابتدای کار سطح ایستابی برآورد شده توسط مدل تا نزدیکی سطح زمین نیز رسید و سپس بعد از دوره خشک و تر حتی به عمق بیش از ۵۰ سانتی‌متر هم تجاوز کرده است؛ اما در مجموع شبیه‌سازی نشان از نتایج خروجی قابل قبول بوده است.

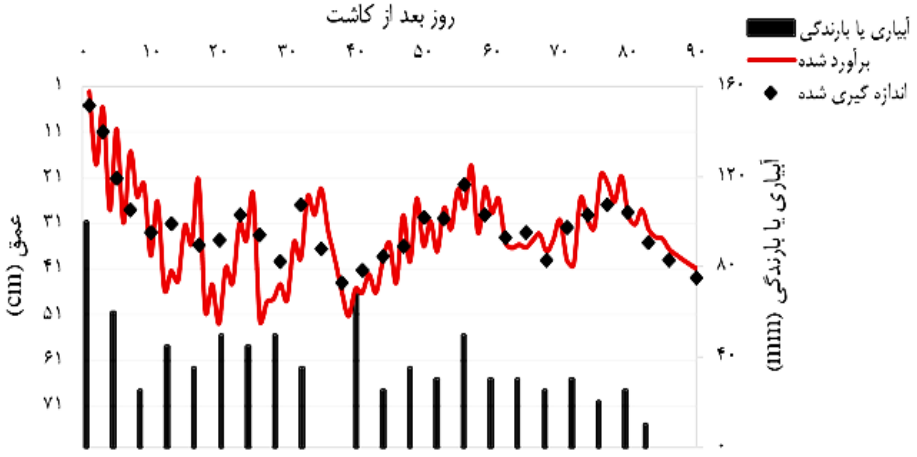
بخش دوم شکل ۲، مربوط به زهکشی میان‌فصل و دوره اوج رشد گیاه یعنی بین ۴۰ تا ۷۵ روزگی برنج است. همانطور که در شکل ۲ نمایان است، افت محسوسی در سطح ایستابی اندازه‌گیری شده به دلیل اعمال زهکشی رخ داده است و به تبع آن، مدل Drainmod-S هم با توجه به عدم آبیاری لایسیمتر در این دوره توانسته به‌خوبی آن را شبیه‌سازی کند. سپس از طرفی با توجه به آبیاری اعمال‌شده، مقدار قابل‌توجه تبخیر – تعرق در این دوره و همینطور مصرف گیاه که با قدرت جذب ریشه آب را از اعماق پایین‌تر دریافت می‌کند، نزول سطح ایستابی به ناحیه ریشه مشاهده شد. در هر دو نمودار اندازه‌گیری و برآورد شده، این مقدار از حدود ۵۰ به مقدار ۳۰ سانتی‌متر رسیده و بعد از آن نوسان اندکی داشته است. بخش آخر شکل ۲ (از روز ۶۰ام به بعد) دوره انتهایی رشد را نشان می‌دهد.

همانطور که انتظار می‌رود، با توجه به برودت هوا، کاهش تبخیر – تعرق و نیاز کم‌تر گیاه؛ مقدار پیش بینی شده تغییر قابل‌توجه‌ای چه در شکل ۲ و چه در شکل ۳، نداشته و اعمال زهکشی پایان‌فصل در دوره ۸۰ روزگی سبب شد که نمودار سطح ایستابی با افت محسوسی مواجه شده و با شیب زیاد چه در مقدار اندازه‌گیری شده و چه در مقدار برآورد شده، سطح ایستابی از منطقه ریشه فاصله گرفته و در اعماق پایین‌تر تثبیت گردیده است.

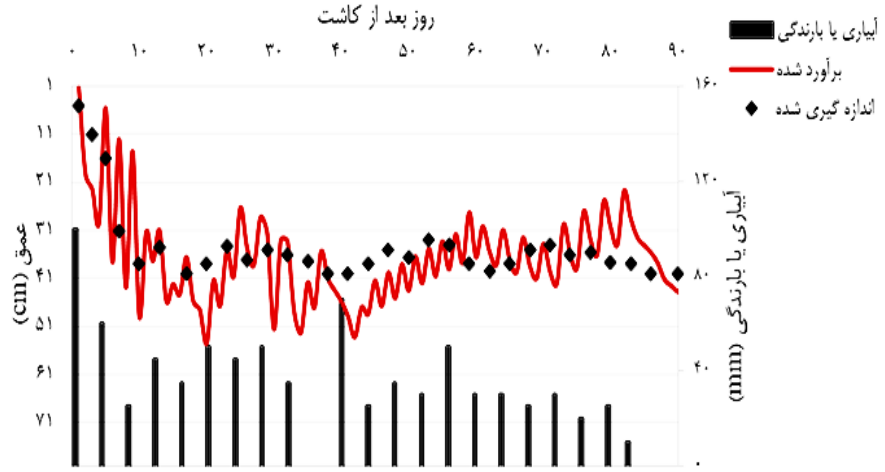
جدول ٦- مقادیر پارامترهای مختلف ورودی به مدل Drainmod-S

پارامترها	گروه اطلاعاتی	واحد	مقدار	منبع*
اقلیم	بیشینه و کمینه دمای روزانه	سانتی‌گراد (^{o}c)	اطلاعات روزانه ایستگاه هواشناسی	ا. ه.
	مقدار بارندگی روزانه	سانتی‌متر (cm)	اطلاعات روزانه ایستگاه هواشناسی	ا. ه.
خاک	هدایت هیدرولیکی اشباع (۲۰-۰)	متر بر روز (m/day)	۰/۴	ا. ل.
	هدایت هیدرولیکی اشباع (۴۰-۲۰)	متر بر روز (m/day)	۰/۲۵	ا. ل.
	هدایت هیدرولیکی اشباع (۸۰-۴۰)	متر بر روز (m/day)	۰/۱۸	ا. ل.
	رطوبت اشباع	درصد حجمی (٪)	۵۱	ا. ا.
	رطوبت ظرفیت زراعی	درصد حجمی (٪)	۴۱	ا. ا.
	چگالی ظاهری	گرم بر سانتی‌متر مکعب (g/cm^3)	۱/۳۴	ا. ا.
	شوری اولیه خاک (ناحیه ریشه)	دسی زیمنس بر متر (dS/m)	۱/۴۵	ا. ا.
آب	مقدار آب آبیاری	سانتی‌متر (cm)	حالت غرقاب دایم	ا. ا.
	میانگین شوری آب آبیاری	دسی زیمنس بر متر (dS/m)	۰/۹۵	ا. ا.
سیستم زهکشی (کنترل‌شده)	عمق زهکش	سانتی‌متر (cm)	۸۰	ا. ل.
	فاصله زهکش‌ها	سانتی‌متر (cm)	۴۰۰	ا. ل.
	عمق لایه غیرقابل نفوذ	سانتی‌متر (cm)	۸۵	ا. ل.
	شعاع موثر زهکش	سانتی‌متر (cm)	۱/۵	م. ش.
	عمق سرریز	سانتی‌متر (cm)	۴۰	ا. ل.
	عمق اولیه سطح ایستابی	سانتی‌متر (cm)	۴۰	ا. ل.
	ماکزیمم ذخیره سطحی	سانتی‌متر (cm)	۱۰-۳	ا. ا.
	ضریب زهکشی	میلی‌متر بر روز (mm/day)	۱	ا. ا.
گیاهی	عملکرد پتانسیل	کیلوگرم بر هکتار (kg/ha)	۶۵۰۰-۷۵۰۰	م. ش.
	میانگین عمق ریشه	سانتی‌متر (cm)	۲۵	ا. ا.
	حداکثر عمق ریشه	سانتی‌متر (cm)	۴۰-۳۰	ا. ا.

*(ا. ه: اطلاعات هواشناسی، ا. ل: اطلاعات لایسیمتر، ا. ا: اطلاعات اندازه‌گیری و م. ش: محاسبه‌شده)



شکل ۲- مقایسه نوسانات سطح ایستابی اندازه‌گیری شده و برآورد شده در تیمار FSG



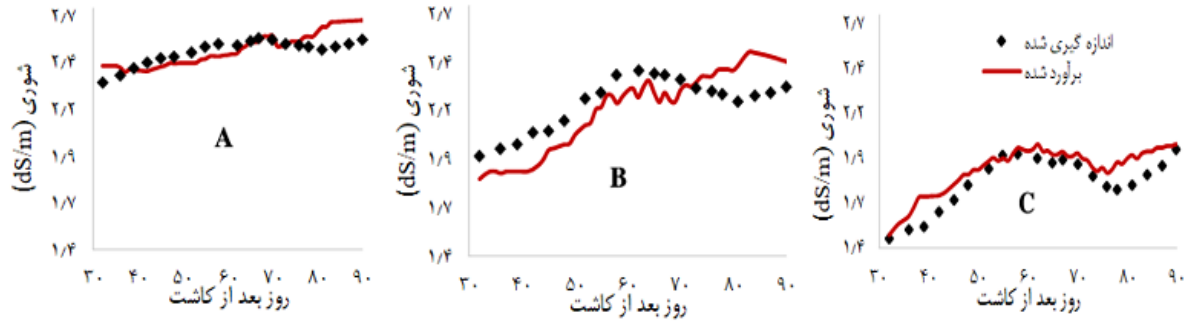
شکل ۳- مقایسه نوسانات سطح ایستابی اندازه‌گیری شده و برآورد شده در تیمار SSG

عدم آبیاری در برخی روزها در دوره کشت، نیز اعمال زهکشی میان‌فصل و پایان‌فصل را نشان می‌دهد. توضیحات فوق برای شکل ۳ و تیمار SSG نیز صادق است. یکی از ضعف‌های مدل، عدم انعطاف‌پذیری لازم در دوره‌های خشک و تر و شبیه‌سازی نسبتا ضعیف در دوره‌های پس از آبیاری یا زهکشی است (Youssef et al., 2018). به همین دلیل در چنین دوره هایی، کم برآورد یا بیش برآورد حاصل شده است. در بررسی کارایی مدل مقدار نهایی بیش یا کم تخمینی به وضوح بیان‌شده است.

شبیه‌سازی تغییرات نمک در نیمرخ خاک

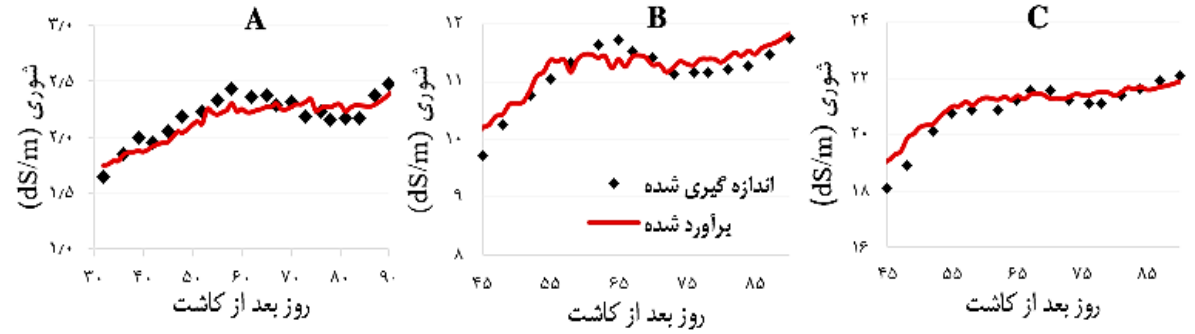
مقدار شوری خاک در اعماق مختلف و در طول دوره رشد، توسط مدل Drainmod-S تخمین زده شده است. در شکل ۴ مقادیر اندازه‌گیری شده با مقادیر پیش‌بینی‌شده مدل برای منطقه ریشه گیاه مورد مقایسه قرار گرفته است. اعماق صفر تا ۷۰ سانتی‌متری خاک، به سه بخش؛ ناحیه ریشه، بینابینی و زیرین تقسیم می‌شود تا تغییرات غلظت نمک در هر بخش به‌صورت جدا مورد بررسی قرار گیرد. در یک نگاه هم می‌توان دریافت که مدل توانسته عمل شبیه‌سازی را بسیار خوب انجام دهد. با توجه به عدم تغذیه شوری در تیمار FSG، مقدار شوری خاک در حد همان شوری اولیه باقیمانده و فقط به دلیل تغییرات تبخیر – تعرق، نوساناتی حاصل شده است. مقدار عددی غلظت نمک در منطقه ریشه بین ۱/۵ تا حدود ۲ دسی زیمنس بر متر متغیر بوده و در دوران اعمال زهکشی‌ها، فراز و نشیب‌هایی رخ داده و در عمق ۴۰-۳۰ سانتی‌متر به حداکثر مقدار ۲/۵ dS/m و در عمق ۷۰-۴۰ سانتی‌متر به حداکثر مقدار ۲/۷ dS/m رسیده است. در شروع آزمایش شوری نیمرخ خاک در دو تیمار اختلاف ناچیزی با هم داشته اما بعد از اعمال تیمار مقایسه‌ها نشان از تفاوت شوری خاک در اعماق مختلف دارد. در دوره ۴۰ روزگی برنج و به دلیل اعمال زهکشی میان‌فصل، مقدار شوری خاک با توجه به عدم آبیاری و جذب آب توسط ریشه، صعود قابل‌توجهی داشته است. جریان پخشیدگی املاح

و جریان توده‌ای املاح همراه با صعود مویینگی نیز در افزایش شوری نقش داشتند. سپس با توجه به پایان دوره اوج رشد گیاه، روند کاهشی محسوسی را دنبال کرده است.



شکل ٤- روند تغییرات شوری اندازه‌گیری شده و برآورد شده در اعماق مختلف در تیمار FSG (A، عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر، B، عمق ۳۰ تا ٤٠ سانتی‌متر و C، عمق ٤٠ تا ۷۰ سانتی‌متر)

برای زهکشی پایان‌فصل نیز دقیقا همانند زهکشی میان‌فصل، نوسانات رخ داده است. شکل ۵ بیانگر تغییرات غلظت شوری در اعماق مختلف است، روند تغییرات همانند شکل ۴ بوده ولی به دلیل تغذیه آب زیرزمینی شور دارای مقدار عددی بیش‌تری است. نکته قابل ذکر این است که شوری ورودی به خاک ۴۵ روز به طول انجامید تا با ماتریکس خاک به حالت تعادل برسد، لذا از روز ۴۵ ام به بعد تغییرات شوری در اعماق مختلف نمایش داده شد؛ دلیل این امر زیاد بودن تغییرات اولیه است و در چنین شرایطی نرم‌افزار قادر به شبیه‌سازی مراحل اولیه تا رسیدن به تعادل نبود. شکل ۵ در سه بخش مختلف قابل تفسیر است و توضیحات بیان‌شده در شکل ۴ نیز برای این قسمت صادق است؛ ولی با توجه به تیمار شوری اعمال‌شده (SSG)، مقدار عددی موجود در شکل ۵ اختلاف زیادی با تیمار شاهد FSG دارد.



شکل ۵- روند تغییرات شوری اندازه‌گیری شده و برآورد شده در اعماق مختلف در تیمار SSG (A، عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر، B، عمق ۳۰ تا ٤٠ سانتی‌متر و C، عمق ٤٠ تا ۷۰ سانتی‌متر)

بررسی کارایی و دقت مدل

اعتبارسنجی یا بررسی کارایی مدل از طریق مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده در لایسیمتر و مقادیر پیش‌بینی‌شده توسط مدل در یک بازه معین سه‌ماهه از مرداد تا مهر ۱۳۹۶ (دوره ۹۰ روزه) که دوره رشد برنج در تحقیق بود، مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل از ارزیابی مدل به‌منظور شبیه‌سازی مقدار نوسان سطح ایستابی در لایسیمتر برای دو تیمار FSG و SSG به شرح جدول ۷ است. نتایج مبین انطباق خوبی بین مقادیر اندازه‌گیری و برآورد شده، وجود دارد. دقت مدل برای تخمین سطح ایستابی مطلوب بوده و خطای ناچیزی حاصل شده که قابل چشم‌پوشی است. مطابق جدول ۷، شبیه‌سازی مدل در یک نگاه قابل قبول بوده و قدرت مدل در برآورد مطلوب در شرایط سطح ایستابی کم‌عمق و شور را نشان داد.

جدول ۷- نتایج ارزیابی آماری مدل برای برآورد نوسانات سطح ایستابی

پارامتر		MBE (cm)	RMSE (cm)	NRMSE (٪)	d	CRM (٪)	R^2
سطح ایستابی	تیمار FSG	۰/۱۸	۷/۴۸	۲۳/۴۱	۰/۸۶	−۰/۵۸	۰/۶۳
	تیمار SSG	۰/۶۹	۷/۲۵	۲۱/۰۶	۰/۸۳	−۲	۰/۵۳

جدول ۸- نتایج ارزیابی آماری مدل برای برآورد (شبیه‌سازی) غلظت نمک در نیمرخ خاک

پارامتر		MBE (dS/m)	RMSE (dS/m)	NRMSE (٪)	d	CRM (٪)	R^2
شوری منطقه ریشه		۰/۰۷	۰/۰۹	۴/۹۰	۰/۹۱	−۴/۰۱	۰/۸۹
شوری منطقه بینابینی	تیمار FSG	−۰/۰۲	۰/۱۳	۶/۰۷	۰/۸۴	۰/۹۹	۰/۷۷
شوری منطقه زیرین		۰/۰۲	۰/۰۷	۲/۸۵	۰/۹۶	−۰/۷۸	۰/۹۴
شوری منطقه ریشه		−۰/۰۴	۰/۱۰	۴/۴۴	۰/۹۴	۲	۰/۸۴
شوری منطقه بینابینی	تیمار SSG	۰/۰۸	۰/۲۲	۱/۹۶	۰/۹۵	−۰/۷۳	۰/۸۷
شوری منطقه زیرین		۰/۱۷	۰/۴۱	۱/۹۵	۰/۹۵	−۰/۸۲	۰/۹۶

جدول ۹- مقادیر پارامترهای مختلف ورودی مدل Drainmod-S (مربوط به اراضی شالیزاری شهرستان آمل و بهشهر)

پارامترها	گروه اطلاعاتی	واحد	مقدار	منبع*
اقلیم	بیشینه و کمینه دمای روزانه	سانتی‌گراد (^oc)	اطلاعات روزانه ایستگاه هواشناسی	ا. ه.
	مقدار بارندگی روزانه	سانتی‌متر (cm)	اطلاعات روزانه ایستگاه هواشناسی	ا. ه.
خاک	هدایت هیدرولیکی اشباع (۲۰-۰)	متر بر روز (m/day)	A۰/۱۸ - B۰/۲۵	ا. م.
	هدایت هیدرولیکی اشباع (۴۰-۲۰)	متر بر روز (m/day)	A۰/۱۵ - B۰/۰۸	ا. م.
	هدایت هیدرولیکی اشباع (۸۰-۴۰)	متر بر روز (m/day)	A۰/۲۰ - B۰/۲۱	ا. م.
	رطوبت اشباع	درصد حجمی (٪)	A۶۶ - B۵۲	ا. ا.
	رطوبت ظرفیت زراعی	درصد حجمی (٪)	A۴۵ - B۳۸	ا. ا.
	چگالی ظاهری	گرم بر سانتی‌متر مکعب (g/cm^3)	A۱/۳۵ - B۱/۲۷	ا. ا.
	شوری اولیه خاک (ناحیه ریشه)	دسی زیمنس بر متر (dS/m)	A۰/۸ - B۱	ا. ا.
آب	مقدار آب آبیاری	سانتی‌متر (cm)	حالت غرقاب دایم	ا. ا.
	میانگین شوری آب آبیاری	دسی زیمنس بر متر (dS/m)	A۰/۶۵ - B۰/۸۵	ا. ا.
سیستم زهکشی (کنترل‌شده)	عمق زهکش	سانتی‌متر (cm)	۸۰	ا. م.
	فاصله زهکش‌ها	سانتی‌متر (cm)	۱۰۰۰	ا. م.
	عمق لایه غیرقابل نفوذ	سانتی‌متر (cm)	۹۰	ا. م.
	شعاع موثر زهکش	سانتی‌متر (cm)	۱/۵	م. ش.
	عمق سرریز	سانتی‌متر (cm)	۲۰	ا. م.
	عمق اولیه سطح ایستابی	سانتی‌متر (cm)	۳۰	ا. م.
	ماکزیمم ذخیره سطحی	سانتی‌متر (cm)	۱۰	ا. ا.
	ضریب زهکشی	میلی‌متر بر روز (mm/day)	۲/۳	ا. ا.
گیاهی	عملکرد پتانسیل	کیلوگرم بر هکتار (kg/ha)	۶۵۰۰-۷۵۰۰	م. ش.
	میانگین عمق ریشه	سانتی‌متر (cm)	۲۵	ا. ا.
	حداکثر عمق ریشه	سانتی‌متر (cm)	۳۰-۴۰	ا. ا.
سایر	هدایت هیدرولیکی عمودی خاک	سانتی‌متر بر ساعت (cm/hr)	بازه تغییرات ۰/۰۱-۰/۱ عدد انتخابی ۰/۰۶	ا. ک.
	ضریب اعوجاج	بدون واحد	۱	ا. ک.

*(ا. ه: اطلاعات هواشناسی، ا. م: اطلاعات مزرعه‌ای، ا. ا: اطلاعات اندازه‌گیری، م. ش: محاسبه‌شده و ا. ک: اطلاعات کالیبره) در ستون‌هایی که مقابل اعداد حروف A و B نوشته‌شده است، به ترتیب بیانگر شهرستان آمل و بهشهر می‌باشد.

بررسی کارایی و اعتبار مدل Drainmod-S از طریق مقایسه مقادیر واقعی و شبیه‌سازی‌شده شوری پروفیل خاک نیز به‌صورت جدول ۸ مورد ارزیابی قرار گرفت. دقت مدل برای شبیه‌سازی شوری نیمرخ خاک نسبت به سطح ایستابی بیش‌تر بوده و خطای کم‌تری حاصل شد. در استفاده از مدل برای پیش‌بینی شوری خاک به دلیل تنوع لایه‌بندی، غلظت متفاوت شوری در هر بخش و اعماق مختلف، باید کمی محتاطانه‌تر عمل کرد. بر اساس پیشنهاد ویلمت (Wilmott, 1981)، اگر شاخص آماری NRMSE[1] کمتر از ۳۰ درصد باشد، شبیه‌سازی‌ها قابل قبول هستند. به‌عنوان نتیجه کلی تحقیق در این بخش، مقادیر محاسبه‌شده تمامی پارامترها مربوط به سطح ایستابی و غلظت نمک در نیمرخ خاک در محدوده نتایج سایر محققین (پورموسوی، ۱۳۹۰؛ درزی و همکاران، ۱۳۹۴؛ ابراهیمیان و همکاران، ۱۳۸۹؛ Yang., 2008; Feng et al., 2017; Wilmott., 1981; Ebrahimian and Liaghat., 2008) بوده است و این مسئله قابلیت بالای مدل Drainmod-S در شبیه‌سازی شرایط آب زیرزمینی کم‌عمق و شور برای کشت برنج و در حضور سخت‌لایه را نشان می‌دهد. طبق نتایج این تحقیق کوتاه شاید بتوان گفت که مدل Drainmod-S برای شبیه‌سازی طولانی‌مدت و برنامه‌ریزی مدیریت سطح ایستابی در اراضی شالیزاری با شرایط مشابه این پژوهش و تحت شرایط تحقیق می‌تواند مناسب باشد که باید ابتدا در مزراع آموزشی صحت این مدعا بررسی شده و سپس به مزرعه تعمیم داده شود.

شبیه‌سازی مدل Drainmod-S برای اراضی شالیزاری واقعی

برای ارتباط هرچه بیش‌تر نتایج حاصل از این تحقیق با اراضی شالیزاری واقعی، از اطلاعات اراضی دو شهرستان از استان مازندران (آمل و بهشهر) به‌عنوان نمونه استفاده شد. به این منظور، ابتدا با استفاده از داده‌های موجود مزرعه‌ای، مدل Drainmod-S را برای سطح ایستابی اراضی شهرستان آمل که دارای سیستم زهکشی است، شبیه‌سازی کرده و سپس کارایی مدل مورد بررسی قرار گرفت. با کاربرد مدل Drainmod-S واسنجی شده برای شهرستان آمل و داده‌های منطقه هدف، مدل مربوطه برای اراضی کشاورزی نوار ساحلی شهرستان بهشهر که معرف یک منطقه با سطح ایستابی کم‌عمق و شور و بدون سیستم زهکشی است توسعه داده شد. در صورت بروز مشکل در نوسانات سطح ایستابی و یا شوری اعماق مختلف خاک، از سناریوهایی نظیر احداث و توسعه سیستم زهکشی استفاده خواهد شد. دلیل انتخاب این دو شهر این است که اراضی مورد مطالعه شهرستان آمل در حال بهره‌برداری است ولی اراضی شهرستان بهشهر در مرحله مطالعات و طراحی و به عبارتی در مرحله امکان‌سنجی است، لذا از اراضی شهرستان آمل و داده‌های اندازه‌گیری شده و موجود آن برای شبیه‌سازی، واسنجی و اعتبارسنجی مدل Drainmod-S استفاده شد. محدوده مورد مطالعه در شهرستان‌های آمل و بهشهر در شکل ۶ آمده است. شهرستان آمل دارای میانگین بارندگی سالانه ۸۸۲/۶ میلی‌متر و میانگین درجه حرارت سالانه ۱۶ درجه سانتی‌گراد است. داده‌های اندازه‌گیری‌شده سطح ایستابی از تحقیق انجام‌شده (زارع ابیانه و همکاران، ۱۳۹۰) در یکی از کرت‌های شالیزاری دارای زهکش کنترل‌شده به مساحت ۱/۱ هکتار از بلوک ۱۰ مرکز ترویج و توسعه تکنولوژی هراز (کاپیک) در کیلومتر ۱۰ جاده شهرستان آمل – محمودآباد (استان مازندران) مورد استفاده قرار گرفت. منطقه بهشهر نیز از نظر اقلیمی دارای اقلیم حرارتی نیمه‌مدیترانه‌ای با تابستان‌های گرم و مرطوب و بارندگی کم و زمستان‌های معتدل با بارندگی زیاد است. متوسط بارندگی سالانه ۵۷۷ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه منطقه ۱۶ درجه سانتی‌گراد است. جدول ۹ پارامترهای ورودی به مدل برای شبیه‌سازی را نشان می‌دهد.

نکته مهم موجود در جدول ۹، مقدار کالیبره شده ضریب هدایت هیدرولیکی عمودی خاک است. ازآنجایی‌که این ضریب و ضخامت لایه عمودی در تحقیق انجام‌شده محاسبه نشده بود، لذا این مقدار با توجه به نوع خاک و شرایط لایسیمتر کالیبره شد و با صحت سنجی نتیجه تغییرات با داده واقعی، عدد مدنظر برای پارامتر مذکور به‌دست آمد. معمولا این ضریب را برابر ۰/۱ هدایت هیدرولیکی خاک لایه بالایی انتخاب می‌کنند. لذا ادامه تحقیق با این فرضیه انجام و نتیجه شبیه‌سازی قابل قبول شد.

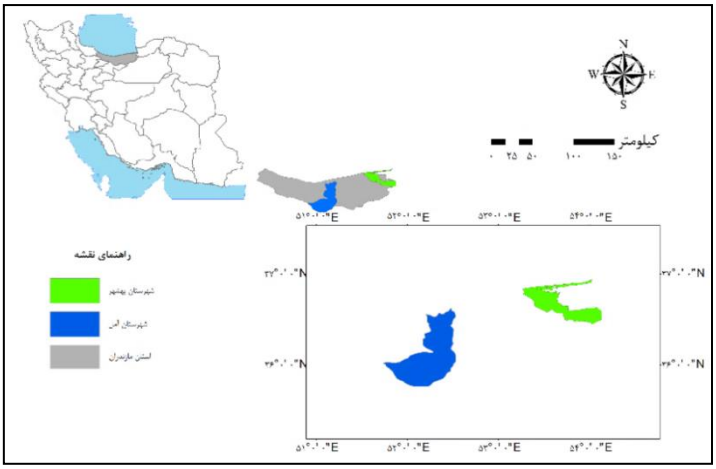
شبیه‌سازی سطح ایستابی و بررسی دقت مدل Drainmod-S برای اراضی شالیزاری شهرستان آمل

بعد از وارد نمودن داده‌های پنج‌گانه اقلیم، خاک، آب، سیستم زهکشی و پارامتر گیاهی اراضی شهرستان آمل به نرم‌افزار، سطح ایستابی شبیه‌سازی‌شده توسط مدل Drainmod-S برای طول دوره کشت در یک نمودار رسم گردیده است. سپس داده‌های متناظر با آن یعنی مقدار اندازه‌گیری‌شده سطح ایستابی در همان اراضی و زمان و مقدار آب آبیاری برنج، همگی در یک نمودار رسم گردیده است. شکل ۷، نوسانات سطح ایستابی برآورد شده، اندازه‌گیری شده و مقدار آب آبیاری برای اراضی شالیزاری شهرستان آمل را نشان می‌دهد.

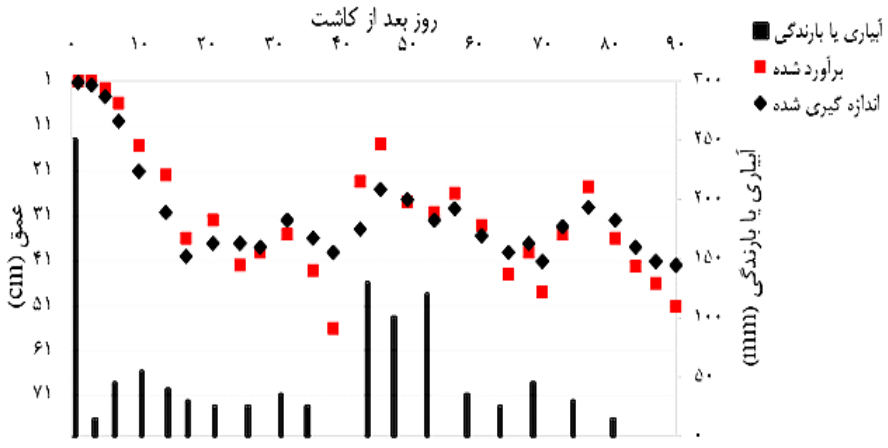
از شکل ۷ مشخص است که تطابق مناسبی بین مقادیر اندازه‌گیری شده قبلی و برآورد شده وجود دارد و هدف این شبیه‌سازی هم چیزی جز این نبود. روند تغییرات سطح ایستابی در دوره کشت همانند آزمایش انجام‌شده در لایسیمتر است. برای جلوگیری از تکرار،

1- Normal Root Mean Square Error

از بیان توضیحات مشابه صرف نظر شده است. فقط به‌صورت خلاصه می‌توان گفت که این نمودار در دو بخش کاشت تا زهکشی میان‌فصل (حدود ۴۵ روز بعد از کاشت) و زهکشی میان‌فصل تا برداشت قابل تحلیل و تفسیر است.



شکل ٦- محدوده موردمطالعه در اراضی شالیزاری شمال کشور به‌منظور استفاده از مدل Drainmod-S



شکل ۷- مقایسه نوسانات سطح ایستابی اندازه‌گیری شده و برآورد شده مربوط به اراضی شالیزاری شهرستان آمل

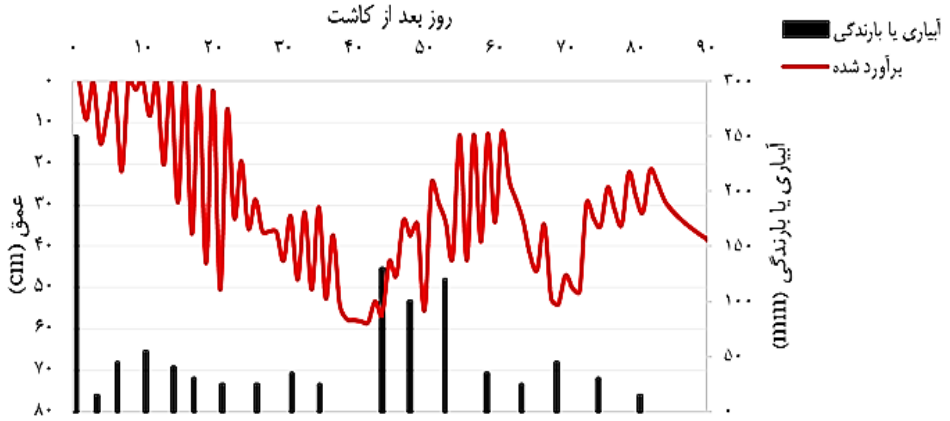
نوسانات سطح ایستابی در هر روز متناسب با مقدار آبیاری انجام‌شده است و با تغییر در مقدار آب آبیاری، مقدار برآورد شده و نیز مقدار اندازه‌گیری‌شده سطح ایستابی در تناسب با آبیاری انجام شده تغییر کرده و دارای نوسان شده است. بعد از شبیه‌سازی سطح ایستابی و رسم آن در شکل ۷، اقدام به ثبت کارایی و دقت مدل با پارامترهای بیان‌شده گردیده است و نتیجه آن در جدول ۱۰ قابل‌مشاهده است. از نمودارهای رسم شده در شکل ۷ می‌توان مشاهده کرد که دقت شبیه‌سازی بسیار مطلوب بوده و از کیفیت قابل قبولی برخوردار است. میانگین مربعات و درصد خطای مدل کم بوده و شاخص توافقی ویلمت و ضریب تعیین بسیار بالا است که این بیانگر کارایی بسیار بالای مدل در شبیه‌سازی سطح ایستابی و دقت کار انجام‌شده نسبت به داده‌های ثبت‌شده حاصل از تحقیق قبلی (اراضی کاپیک آمل) است. نتایج موجود در جدول ۱۰، در تطابق کامل و در راستای تحقیقات انجام‌شده (پورموسوی، ۱۳۹۰؛ درزی و همکاران، ۱۳۹۴؛ ابراهیمیان و همکاران، ۱۳۸۹؛ Yang., 2008 Feng et al., 2017; Wilmott., 1981; Ebrahimian and Liaghat., 2008) با مدل Drainmod-S بوده و در برخی پارامترها حتی با خطای بسیار ناچیزی مواجه شده است.

جدول ۱۰- نتایج محاسبه کارایی مدل برای شبیه‌سازی سطح ایستابی

پارامتر	MBE (cm)	RMSE (cm)	NRMSE (٪)	d	CRM (٪)	R^2
سطح ایستابی	۰/۲۱	۵/۹۹	۱۹/۸۹	۰/۹۵	-۰/۹۴	۰/۸۶

شبیه‌سازی نوسانات سطح ایستابی و تغییرات غلظت نمک خاک با مدل Drainmod-S برای اراضی شالیزاری شهرستان بهشهر

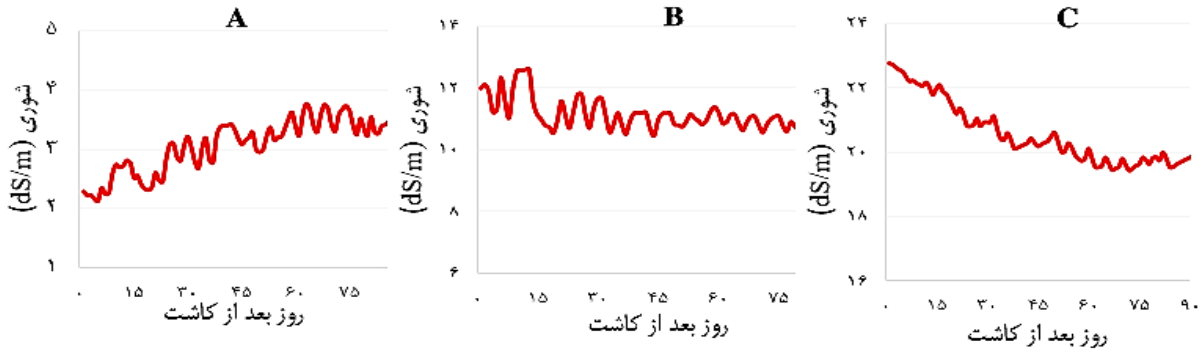
بعد از کاربرد مدل برای اراضی شهرستان آمل و واسنجی برخی پارامترهای مهم، از صحت کاربرد مدل در اراضی شالیزاری اطمینان حاصل گردید و سپس با ورود داده‌های پنج‌گانه به مدل که قبلا ذکر شد، سطح ایستابی و در نتیجه غلظت نمک در نیمرخ خاک برای اراضی نوار ساحلی (به‌عنوان یک منطقه دارای مشکلات سطح آب زیرزمینی کم‌عمق و شور) شبیه‌سازی شد. با توجه به اقلیم تقریبا مشابه و خصوصیات نزدیک خاک شالیزاری دو منطقه آمل و بهشهر، این وابستگی و ارتباط بین دو منطقه ایجاد شد تا از مدل کالیبره‌شده با داده های اندازه گیری‌شده سطح ایستابی اراضی شالیزاری شهرستان آمل برای شبیه‌سازی نوسان سطح ایستابی و تغییرات شوری خاک شهرستان بهشهر نیز استفاده گردد. شکل ۸ شبیه‌سازی نوسانات سطح ایستابی به همراه پارامتر آب آبیاری در طول دوره کشت برای اراضی شهرستان بهشهر یا نوار ساحلی را نشان می‌دهد. با توجه به مقدار قابل توجه آبیاری در ابتدای دوره، این عمل تا حدود ۱۵ روز اثر خود را بر خاک گذاشته و سطح ایستابی در نزدیکی سطح زمین نگه‌داشته شد. سپس با توجه به آبیاری تناوبی در دوره کشت و فرارسیدن زهکشی میان‌فصل در ۳۰ تا ۴۰ روزگی برنج، سطح ایستابی کاملا افت داشت و به کم‌ترین مقدار خود رسیده است. همچنین با توجه به آبیاری بعد از زهکشی میان‌فصل، نرم‌افزار این اثر را پذیرفته و سطح ایستابی به عمق کم‌تری نسبت به سطح زمین رسیده و یک روند افزایشی داشته است. این بیش‌ترین میزان صعود سطح ایستابی به سمت سطح خاک بوده و با توجه به اینکه این عمل دایمی نیست و افت داشته است، لذا نمک صعود کرده، محدوده ریشه برنج را تهدید نمی‌کند. در بخش آخر هم با توجه به خنک‌تر شدن هوا و کم شدن مقدار آب آبیاری، سطح ایستابی با یک روند کاهشی تا عمق بیش از ۵۰ سانتی‌متری سطح خاک رسیده و با اعمال زهکشی پایان‌فصل و امکان برداشت محصول، دوباره به عمق کم‌تر از سطح خاک برگشته است. این توضیحات به‌خوبی بیانگر این موضوع است که مدل Drainmod-S اثر تمامی عوامل مرتبط بر روند کار را در نظر گرفته و شبیه‌سازی را با جزئیات تمام انجام داده است. بنابراین توضیحات بیان‌شده و نمودارهای موجود در شکل ۸ می‌توانند مبنای کار قرار گیرد. با توجه به اینکه اراضی موجود در شهرستان بهشهر در مرحله امکان‌سنجی است، لذا نوسان سطح ایستابی حاصل‌شده و عدم صعود قابل‌توجه آب از لایه‌های زیرین به سطح خاک، می‌تواند عامل محرک خوبی برای کشت و کار برنج در اراضی دارای مشکلات آب زیرزمینی شور و کم‌عمق باشد و تولید محصولات کشاورزی مخصوصا برنج از این منابع آب و خاک در دستور کار قرار گیرد.



شکل ۸- شبیه‌سازی نوسانات سطح ایستابی مربوط به اراضی شالیزاری شهرستان بهشهر (منطقه نوار ساحلی)

روند تغییرات غلظت شوری در اعماق مختلف خاک برای اراضی شالیزاری شهرستان بهشهر، در شکل ۹ نشان داده شده است. این نمودارها با توجه به وارد کردن داده‌ها در مدل Drainmod-S حاصل شده است. این شکل به سه زیربخش تقسیم شده که هرکدام مربوط

به اعماق مختلفی از خاک است. نحوه تغییرات شوری در اعماق خاک، همانند توضیحات بیان‌شده در شکل‌های ۴ و ۵ است. لذا، تنها نکات مهم مدنظر که تاکنون بیان نشده است در اینجا ذکر می‌شود. نکته اول اینکه چون این نمودار بر اساس داده برآورد شده مدل است، لذا کل دوره کشت را پوشش داده است و در شکل ۴، ۵ و ۷ بنا به دلایل گفته‌شده از اواسط دوره را شامل می‌شد. شکل ۹-A که مربوط به عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری از سطح خاک و لایه رویین خاک است، از مهم‌ترین بخش‌های موجود در خاک بوده و منطقه ریشه گیاه در آن متمرکز است.



شکل ۹- روند تغییرات شوری برآورد شده در اعماق مختلف خاک در اراضی شالیزاری شهرستان بهشهر (A، عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر، B، عمق ۳۰ تا ۴۰ سانتی‌متر و C، عمق ۴۰ تا ۷۰ سانتی‌متر)

نمودار موجود در کل دوره دارای یک‌روند صعودی است (شکل ۹-A). دلیل آن، جذب آب توسط برنج، گرمای هوا و جریان رو به بالای شوری از سخت‌لایه به سطح است. با توجه به این نکات، مهم‌ترین پارامتر برای ما مقدار شوری در دوره ۶۰ تا ۷۵ روزگی برنج است که خوشبختانه کم‌تر حد مجاز خود یعنی حدود ۳/۵ دسی زیمنس بر متر بوده و از آن تجاوز نکرده است. بنابراین با توجه به شکل ۹ و بخش A، در مرحله اول از اعماق خاک مشکل خاصی مدنظر نیست. در شکل ۹-B یا منطقه بینابینی، روند تغییرات همانند شکل ۵ مربوط به تیمار SSG در عمق ۳۰ تا ۴۰ سانتی‌متر است. با این تفاوت که بعد از میانگین‌گیری شوری در دو عمق مذکور، روند تغییرات نمودار دارای یک شیب ملایم نزولی بوده است. احتمال می‌رود این امر به‌دلیل آبشویی طبیعی رخ داده شده باشد که مدل آن را در نظر گرفته است. دوم اینکه با توجه به انتهای دوره کشت و جذب کم‌تر آب، جریان رو به بالای کم‌تری رخ داده و روند نمودار نزولی شده است. در شکل ۹-B مشخص است که خطر شوری برای گیاه در این منطقه مورد توجه نیست، زیرا زیر منطقه ریشه و سخت لایه قرار دارد. شوری در شکل ۹-C که جزو اعماق زیرین خاک می‌باشد، نیز بر عملکرد برنج تاثیر ندارد. در شکل ۹-C، جدا از مقدار شوری خاک، روند کاهش نمودار همانند بخش B بوده و دارای روند مشابهی می‌باشد. شوری در این بخش حدود ۲۰ dS/m است.

نتیجه‌گیری

بسیاری از اراضی شالیزاری نواحی ساحلی دارای منابع آب کافی هستند. اما به دلیل مجاورت با دریای خزر و پیشروی آب شور، این اراضی دارای مشکلات شوری آب زیرزمینی و کم‌عمق بوده و امکان کشت هر محصولی در آن وجود نداشته و نیاز به مدیریت خاص دارد. نتایج حاصل از مدل فیزیکی (مطالعات لایسیمتری) نشان داد که در شرایط آب زیرزمینی کم‌عمق و شور همانند مناطق شالیزاری شمال کشور، امکان کشت برنج وجود داشته و مدل رایانه‌ای (Drainmod-S) نیز همین امر را با بررسی نوسانات سطح ایستابی و نیمرخ شوری در خاک تایید کرده است. نتایج موجود در جداول و نمودارهای بخش اراضی شالیزاری شهرستان آمل و بهشهر نیز نشان داد که در نگاه اول مشکل خاصی از نظر شوری در منطقه ریشه وجود ندارد و اختلالی در کشت و کار برنج در اینگونه مناطق ایجاد نمی‌شود. حتی مدل برای سال‌های آتی (در حد دو تا سه سال) هم اجرا شد و همین روند برای سطح ایستابی و شوری در نیمرخ خاک تکرار گردید. به‌دلیل حجم بالای مطالب، از ذکر آن خودداری شد. بعد از انجام آزمایش و کاربرد نرم‌افزار مربوطه، ثابت گردید که امکان کشت محصولی مانند شالی به دلیل غرقاب دایم و جریان پیوسته رو به پایین و وجود سخت لایه در عمق ۳۰ سانتی‌متری که مانع از حرکت رو به بالای املاح شده، وجود دارد. همچنین با استفاده از نرم‌افزار Drainmod-S به‌منظور شبیه‌سازی نوسانات سطح ایستابی و تغییرات شوری در خاک، مشخص گردید که فرضیات تحقیق در اینجا نیز صادق است و امکان کشت محصول برنج در چنین شرایطی بدون کاهش عملکرد ممکن است. به‌عنوان نتیجه کلی، نتایج واسنجی و اعتبارسنجی مدل Drainmod-S نشان از قابلیت نرم‌افزار در شبیه‌سازی سطح ایستابی

و شوری در پروفیل خاک دارد و درشرایط سطح ایستابی کم عمق و شور، بکارگیری آن نتایج قابل قبولی را ارائه می دهد.

منابع

ابراهیمیان،ح.، نظری،ب و لیاقت،ع. ۱۳۸۹. واسنجی و اعتبارسنجی مدل Drainmod-S در شبیه‌سازی عملکرد زهکش‌های زیرزمینی (مطالعه موردی: بهشهر). اولین همایش ملی آب، مدیریت و نوآوری، دانشگاه پیام نور یزد.

پذیرا،ا. ۱۳۸۱. نظریه و مدل‌های زهکشی. انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی، چاپ اول، تهران، ایران.

پورموسوی،س. ۱۳۹۰. ارزیابی عملکرد مدل‌های Endrain و Drainmodدر طراحی زهکش‌های زیرزمینی با استفاده از اطلاعات صحرایی (مطالعه موردی اراضی دانشگاه شهید چمران). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز. حسن‌پور،ب.، پارسی نژاد،م.، سلحشور دلیوند،ف. و کوثری،ه. ۱۳۸۹. برآورد نوسانات سطح ایستابی در اراضی شالیزاری با استفاده از مدل Drainmod (مطالعه موردی رشت). نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۲. ۴: ۱۶۷-۱۷۴.

درزی نفت چالی،ع.، میرلطیفی،س.م.، شاهنظری،ا.، اجلالی،ف و مهدیان،م.ح. ۱۳۹۴. ارزیابی مدل Drainmod برای پیش‌بینی عمق سطح ایستابی و دبی زهکش در اراضی شالیزاری مجهز به زهکش زیرزمینی. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۹. ۴: ۵۸۳-۵۹۳.

ذاکری‌نیا،م.، فکوری دکاهی،ب و ابراهیمی،س.س. ۱۳۹۵. تاثیر شوری‌های مختلف آب زیرزمینی در صعود نمک در نیمرخ خاک و تبخیر از سطح آن. علوم و مهندسی آبیاری (مجله علمی-پژوهشی). ۳۹. ۱: ۸۳-۹۱.

زارع ابیانه،ح.، نوری،ح.، لیاقت،ع.، کریمی،و و نوری،ح. ۱۳۹۰. واسنجی آبشویی نیترات و نوسانات سطح ایستابی در زمین‌های شالیزاری با استفاده از نرم‌افزار Drainmod. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک. ۱۵. ۵۷: ۴۹-۶۰.

لیاقت،ع و کاویانی،ع. ۱۳۸۴. شبیه‌سازی حرکت آب و املاح به طرف زهکش‌ها با استفاده از نرم‌افزار Drainmod. کارگاه آموزشی مدل‌سازی در آبیاری و زهکشی، ص ۱۰۸-۸۳.

نوری،م.، همایی،م و بای بوردی،م. ۱۳۹۱. ارزیابی پارامتریک توانایی نگهداشت خاک در حضور نفت خام در حالت سه فازی. حفاظت منابع آب و خاک، ۲. ۲: ۱۵-۲۴.

Annual Report. 2016-17. Agricultural Water Management for Sustainable Rural Development, International Commission on Irrigation and Drainage (ICID).

Brev é ,M. A., Skaggs,R.W., Gilliam,J.W., Parsons,J.E., Mohammad,A.T., Chescheir,G. M and Evans,R.O. 1997. Field testing of Drainmod-N. Transactions of the ASAE. 40.4:1077-1085.

Chen,K and Jiao,J.J. 2014. Modeling freshening time and hydro chemical evolution of groundwater in coastal aquifers of Shenzhen, China. Environmental Earth Sciences. 71.5: 2409-2418.

Ebrahimian,H and Laiaghat,A. 2008. Evaluation of Drainmod for estimation of water table and drainage rate (case study: drainage system of Behshahr RAN company). Technical note, Iranian water Research Journal, 67-71.

Feng, G., Zhang, Z., Lu, P., & Bakour, A. (2018). Simulation of Farmland Groundwater Table Depth and Soil Salinity under Drainage Systems in Tidal Areas, Laizhou Bay of China. Irrigation and Drainage, 67, 105-118.

Jiao,W., Min,Q and Fuller,A.M. 2017. Converting rice paddy to dry land farming in the Tai Lake Basin, China: toward an understanding of environmental and economic impacts. Paddy and Water Environment. 15.1: 171-179.

Kandil,M.H. 1992. Drainmod-S: A Water management model for irrigated arid lands. PhD Thesis, North Carolina State University, Raleigh.

Savage,M.J. 1993. Statistical aspects of model validation. Presented at a workshop on the field water balance in the modeling of cropping systems, University of Pretoria, South Africa.

Singh,R., Helmers,M.J and Qi,Z. 2006. Calibration and validation of Drainmod to design subsurface drainage systems for Iowa's tile landscapes. Agricultural Water Management. 85.3: 221-232.

Skaggs,R.W. 1978. A water management model for shallow water table soils. North Carolina. University. Water Resources Research Institute. Report (USA). No. 134.

Soler,C.M.T., Sentelhas,P.C and Hoogenboom,G. 2007. Application of the CSM-CERES-Maize model for planting date evaluation and yield forecasting for maize grown off-season in a subtropical environment. European Journal of Agronomy. 27.2: 165-177.

Wahba,M.A.S. 2017. Assessment of options for the sustainable use of agricultural drainage water for

Drainmod Simulated performance of controlled drainage across the US Midwest. Agricultural Water Management. 197: 54-66.

Youssef,M.A., Skaggs,R.W., Chescheir,G.M and Gilliam,J.W. 2006. Field evaluation of a model for predicting nitrogen losses from drained lands. Journal of environmental quality. 35.6: 2026-2042.

irrigation in Egypt by simulation modelling. Irrigation and Drainage. 66.1: 118-128.

Willmott,C.J. 1981. On the validation of models. Physical geography. 2.2: 184-194.

Yang,X. 2008. Evaluation and application of Drainmod in an Australian sugarcane field. Agricultural Water Management. 95.4: 439 ت 446.

Youssef,M.A., Abdelbaki,A.M., Negm,L.M., Skaggs,R.W., Thorp,K.R and Jaynes,D.B. 2018.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 6, Vol. 12, Feb.-Mar. 2019, p. 1418-1434

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۶، جلد ۱۲، بهمن - اسفند ۱۳۹۷، ص. ۱۴۳۴-۱۴۱۸

The Evaluation of Drainmod-S Model for Simulating the Water Table Fluctuations and Salt Concentration in Soil Profiles in Paddy fields Areas with a Saline and Shallow Water Table

M. Pourgholam Amiji[1], A. Liaghat[2], A. N. Ghameshlou[3]*, M. Khoshravesh[4]

Recived: May.14, 2018 Accepted: Jul.16, 2018

Abstract

In this research, the Drainmod-S model, which is specific for regions with shallow and saline water table, was used for water table changes and salt determination of salt concentration in paddy fields. This research was performed as a physical model (lysimeter) in meteorological research center of college of agriculture and natural resources, university of Tehran in 2017. The complete randomized design consists of two main treatments with fresh and shallow water table (FSG), as the control treatment, and in the presence of saline and shallow water table (SSG), respectively. After evaluating the model for water table, the amount of MBE, RMSE, NRMSE, d and R^2 for FSG treatment were obtained 0.18 cm, 7.48 cm, 23.41%, 0.86 and 0.63, respectively and for FSG treatment were obtained 0.69 cm, 7.25 cm, 21.06%, 0.83 and 0.53, respectively. These results showed a good simulation of the model and a relative correlation between measured and estimated data. Also, the parameters of MBE, RMSE, NRMSE, d and R^2 were calculated to evaluate the efficient of model for estimating the salt concentration changes in three different areas of the soil. The average of these parameters at different soil depths for FSG treatment was 0.02 dS/m, 0.1 dS/m, 4/61%, 0.9 and 0.87, respectively. The above parameters in SSG treatment were calculated as 0.07 dS/m, 0.24 dS/m, 2.78%, 0.94 and 0.89, respectively. At the end, the model was simulated for the real paddy fields (Miankale lands in Behshahr region). In general, the comparison of measured and estimated water table and soil salinity showed that the Drainmod-S model is able to use as a general guide for prediction and simulation of water table and soil salinity changes.

Keywords: Water Table, Drainmod-S Software, Saline and Shallow, Paddy Fields, Salinity Profile

1- Master Student in Department of Irrigation & Reclamation Engineering, Campus of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran
2- Professor in Department of Irrigation & Reclamation Engineering, Campus of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran
3- Assistant Professor in Department of Irrigation & Reclamation Engineering, Campus of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran
4- Assistant Professor Department of Water Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
(*- Corresponding Author, Email: a.ghameshlou@ut.ac.ir)