نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۳، جلد۸، مرداد - شهریور ۱۳۹۳، ص. ۶۵۳-۶۳۸

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 3, Vol. 8, Jul-Agu. 2014, p. 638-653

# مقایسه مدل‌های (٦) Drainmod و (PMWIN)Modflow در برآورد نوسانات سطح ایستابی در اراضی زه‌کشی شده

مسعود نوشادی[1*]، راضیه قهرمانی[2] و علیرضا سپاسخواه[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۸/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۶/۲۶

## چکیده

استفاده از مدل های رایانه‌ای آب زیرزمینی در دهه‌های اخیر به‌عنوان روشی ارزان و سریع در بررسی چگونگی حرکت، بیلان و مدیریت آب‌های زیرزمینی پیشرفت قابل توجهی داشته است. در این تحقیق ارزیابی مدل‌های PMWIN و (۶) Drainmod برای شبیه‌سازی و برآورد نوسانات سطح ایستابی در سیستم‌های زهکشی در دو منطقه سلامی و کوشکک انجام شده و نتایج دو مدل با یکدیگر مقایسه شده‌اند. اجرای مدل (۶) Drainmod نشان داد که این مدل قادر است سطح ایستابی را در حالت همگام در ناحیه بین دو زهکش در منطقه سلامی (در دوره‌های بارش و آبیاری) و ایستگاه تحقیقاتی کوشکک (در دوره بارش) با NRMSE به ترتیب ۰/۱۷ و ۰/۱۴ و شاخص تطابق (d) به‌ترتیب ۰/۹۴ و ۰/۹۲ شبیه‌سازی کند که پیش‌بینی خیلی خوبی است. اما پیش‌بینی مدل(۶) Drainmod در منطقه کوشکک در فصل آبیاری برآورد خوبی از سطح ایستابی نداشته است زیرا شرایط منطقه از حالت همگام انحراف زیادتری داشته است. نتایج اجرای مدل PMWIN نشان داد که اختلاف بین مقادیر عمق سطح ایستابی مشاهده شده و شبیه‌سازی شده در هر دو منطقه زیاد است و NRMSE در پیزومترها بین ۰/۱۶ تا ۰/۴۳ در منطقه سلامی و ۰/۱۸ تا ۰/۳۵ در منطقه کوشکک متغیر می‌باشد. شاخص تطابق (d) نیز بین ۰/۳۷ تا ۰/۵۶ در منطقه کوشکک و ۰/۵۱ تا ۰/۹۳ در منطقه سلامی متغیر است. بنابراین مدل PMWIN در این دو منطقه دقت قابل قبولی ندارد و در بررسی طرح‌های زهکشی نمی‌تواند مورد استفاده قرار گیرد ولی مدل (۶) Drainmod پیش-بینی مناسب‌تری از سطح ایستابی در دو منطقه داشته است.

**واژه‌های کلیدی :** ارزیابی، سیستم‌های زهکشی، سطح ایستابی مدل (۶) Drainmod ، مدل PMWIN

## مقدمه

مدل‌های کامپیوتری به‌دلیل کاهش هزینه‌ها و کوتاه کردن مدت زمان دستیابی به نتایج اجرای یک سناریو بر روی یک سیستم، به‌صورت گسترده‌ای در علوم مختلف به‌کار می‌روند. سیستم‌های زهکشی معمولاً در اراضی نیمه‌خشک تحت آبیاری برای کنترل شوری و ماندابی شدن خاک نصب می‌شوند. به‌دلیل وجود پیچیدگی حرکت آب و انتقال املاح در خاک، مدل‌های شبیه‌سازی برای تشریح عملکرد سیستم‌های مدیریت آب که ممکن است شامل زهکش زیرزمینی، سطحی و آبیاری باشند، به‌کار می‌روند. از جمله مدل‌هایی که دارای قابلیت خوب در مطالعه آب‌های زیرزمینی می‌باشد مدل سه بعدی تفاضل محدود مکدونالد و هارباگ به نام Modflow است که در سال ۱۹۹۸ ارائه شده است و قابلیت کاربرد در شرایط غیرهمگام را دارد (میرعباسی و رهنما، ۱۳۸۹). یکی دیگر از مدل‌های مناسب برای شبیه‌سازی جریان در آبخوان مدل PMWIN است که بر پایه کد Modflow تهیه شده است. هم‌چنین مدل دیگر برای ارزیابی و طراحی سیستم‌های مدیریت آب ، مدل جامع Drainmod می‌باشد که توسط Skaggs(1978) ارائه شده است. در این تحقیق مدل‌های مذکور در سیستم‌های زهکشی ارزیابی و مقایسه شده است. حسن پور و همکاران (۱۳۸۹) در مطالعه‌ای در اراضی شالیزار با زهکش‌های سطحی مدل Drainmod را برای شبیه‌سازی نوسانات سطح ایستابی مورد استفاده قرار دادند. نتایج نشان داد که مدل روند نوسانات سطح ایستابی را به‌خوبی برآورد کرده و ارزیابی‌های انجام شده در برآورد روزانه سطح ایستابی حکایت از آن داشت که ریشه متوسط مربع خطا (RMSE) در حدود ۸ سانتی‌متر است. سمیع پور و همکاران (۱۳۸۹) نیز مدل‌های SWAP و Drainmod را به‌منظور تعیین عمق و فاصله بهینه زهکش‌ها بر اساس بیش‌ترین عملکرد محصول و کم‌ترین مقدار خروجی زه‌آب ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که مدل SWAP نوسانات سطح ایستابی را بهتر شبیه‌سازی کرده است که این امر احتمالاً به‌دلیل انعطاف‌پذیری بیش‌تر این مدل در انتخاب شرایط

۱- دانشیار بخش مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد رشته آبیاری و زهکشی
۳- استاد بخش مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز
(*- نویسنده مسئول: (Email:noshadi@shirazu.ac.ir

مرزی مختلف بوده است.

یانگ مدل Drainmod را برای برآورد نوسانات سطح ایستابی در مزارع نیشکر کشور استرالیا استفاده کرد و مطابقت خوبی بین مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده طی بررسی ۲ ساله با خطای حدود ۰/۰۷ متر مشاهده نمود. طبق این ارزیابی داده‌های ورودی خاک و تبخیر تعرق بر عملکرد مدل بیش‌ترین تأثیر را داشت(Yang,2008 ).

فوس و همکاران با استفاده از مدل Drainmod زهکشی زیرزمینی منطقه می‌سی‌سی‌پی را شبیه‌سازی کردند. مقایسه ارقام واقعی و محاسبه شده از مدل نشان داد که مقادیر شبیه‌سازی شده برای متغیرهایی نظیر عمق آب زیرزمینی، حجم رواناب‌ها و کمیت زه‌آب، همبستگی مناسب‌تری با داده‌های اندازه‌گیری شده در سال‌های مرطوب نسبت به سال‌های خشک دارند. در سال‌های خشک، به دلیل کم‌تر برآورد کردن میزان تبخیر تعرق، مقادیر رواناب سطحی و حجم آب زهکشی، بیش‌تر از واقعیت برآورد گردیده است (Fouss et al,1987).

میرعباسی و رهنما (۱۳۸۹) سطح آبخوان دشت سیرجان را با مدل Modflow شبیه‌سازی کردند و اثرات آن را بر سد تنگوئیه مورد ارزیابی قرار دادند. پارامترهای هدایت هیدرولیکی، ضریب ذخیره و میزان تغذیه با نرم افزار pest تخمین زده شد و سپس سطح ایستابی اندازه‌گیری‌شده و شبیه‌سازی‌شده مقایسه گردید. نتایج نشان داد که مقادیر سطح آب پیش‌بینی شده توسط مدل با مقادیر مشاهداتی از تطابق خوبی برخوردارند و جذر میانگین خطا حدود ۰/۹ سانتی‌متر است.

عثمان و بروئن نشت از یک آکوفر آبرفتی را توسط مدل Modflow مورد بررسی قرار دادند( Osman and Bruen, 2002).

رودریگز و همکاران دو مدل Modflow و HEC-RAS را به‌یکدیگر متصل نموده و تأثیر آکوفر و رودخانه را بر روی یکدیگر در یک دشت دارای زهکش بررسی کردند(Rodriguez et al,2008).

تاد و کنث برای مشخص کردن محدودهٔ تغذیه کننده چاه های آب شرب شهر استروگن بای در ویسکانسین آمریکا، آب‌های زیرزمینی این منطقه را با نرم افزار Modflow شبیه‌سازی کردند. آن‌ها مدل را در دو حالت همگام و غیرهمگام اجرا کردند و نهایتاً با توجه به نتایج به‌دست آمده از مدل و مقایسه آن‌ها با داده‌های مشاهداتی به این نتیجه رسیدند که برای منطقه مذکور اجرای این مدل در حالت غیرهمگام، بازتاب بهتری از رفتار آبخوان ارائه می‌دهد ( Todd and Kenneth,2001). در مدل Drainmod داده‌های ورودی مدل مشتمل بر ویژگی‌های خاک، پارامترهای گیاهی فاکتورهای سیستم زهکشی، ارقام هواشناسی و آبیاری می‌باشد. مدل توانایی انجام محاسبات بیلان آبی به‌صورت روزانه یا ساعتی، نفوذپذیری، تبخیرتعرق (ET)، زهکشی، رواناب سطحی، آبیاری زیرزمینی، نفوذ عمقی، عمق سطح ایستابی و وضعیت آب خاک در هر گام زمانی را دارد. اگرچه این مدل توانایی شبیه‌سازی همه جانبه حرکت آب در نیمرخ خاک را دارد ولی محدودیت‌هایی هم دارد. از جمله محدودیت‌های مدل، کاربرد آن در شرایط اقلیم مرطوب، موازی بودن زهکش‌ها در شرایط زهکشی زیرزمینی، کاربرد مدل در شیب کم‌تر از پنج درصد و عدم کاربرد مدل در شرایط یخبندان است (Skaggs,1980). بر این اساس هدف از این تحقیق شبیه‌سازی نوسانات سطح ایستابی در دو منطقه دهکده سلامی در شیراز و منطقه کوشکک استان فارس (پایین دست سد درودزن) با استفاده از مدل‌های(۶) Drainmod و Modflow (PMWIN) و هم‌چنین مقایسه این دو مدل در شبیه‌سازی و برآورد نوسانات سطح ایستابی در دو منطقه مذکور می‌باشد.

## معرفی مدل‌ها

مدل PMWIN از یک برنامه اصلی و تعدادی زیربرنامه تشکیل شده است. در این مدل طول مدت زمانی که برای شبیه‌سازی انتخاب شده به تعدادی دوره پمپاژ تقسیم و هر یک از این دوره‌ها نیز به نوبه خود به تعدادی گام‌های زمانی تقسیم می‌شوند. برای هر یک از گام-های زمانی معادله دیفرانسیل جزئی جریان در محیط متخلخل اشباع از طریق روش تفاضل‌های محدود نوشته شده و حل می‌گردد ( شمسایی و امیر بیگی، ۱۳۸۳).

اطلاعات مورد نیاز برای مدل عددی PMWIN به طورخلاصه عبارتند از :

–اطلاعات مربوط به تقسیم‌بندی زمانی.

– توپوگرافی سطح زمین وتوپوگرافی کف آبخوان.

– تعریف شرایط مرزی آبخوان .

–تعیین شبکه‌بندی آبخوان در دو راستای X و Y و تبیین مقادیر $\Delta x$ و $\Delta y$ .

– تعیین پارامترهای هیدرولیکی.

– تعیین مقادیر تغذیه و تخلیه شبکه در هر یک از دوره‌های زمانی.

– عمق و هدایت هیدرولیکی زهکش و سطح آب در چاهک‌های مشاهده‌ای.

برای محاسبه دبی وارد شده از هر سلول (در نرم افزارPMWIN طبقه‌های آبدار به شبکه‌ای از بلوک‌های تفاضل محدود (سلول‌ها) و گره‌ها تقسیم می‌شود ) به داخل زهکش، از معادله‌های (۱) تا (۳) که به‌نوعی رابطه دارسی است، استفاده می‌گردد و پارامترهای آن برای تمامی سلول‌هایی که حاوی زهکش می‌باشد، مورد محاسبه قرارمی-گیرد:

$$Q_d = C_d(h - d) \quad (۱)$$

$$C_d = K_s \times L \quad (۲)$$

$$Q_d = 0 \quad h \leq d \qquad (۳)$$

که در آن‌ها $Q_d(L^3T^{-1})$ دبی وارد شده از هر سلول به داخل زهکش،h(L) بار هیدرولیکی در سلول آبخوان، $K_s(LT^{-1})$ هدایت هیدرولیکی اشباع خاک، L(L) طول زهکش در سلول، d (L) ارتفاع زهکش در سلول (فاصله زهکش از کف آبخوان) و $C_d$ ($L^2T^{-1}$) رسانایی هیدرولیکی زهکش[۱] است. $C_d$ به هدایت هیدرولیکی آبخوان نزدیک به زهکش و یا به تعبیری خصوصیات مصالح پوشش[۲] که در اطراف زهکش‌ها استفاده می‌شود بستگی دارد. مقدار جریان ورودی از مرزها نیز مشابه معادله (۱) به‌دست می‌آید با این تفاوت که مقدار $C_d$ به‌صورت $C_b$ بیان می‌شود و برابر رسانایی هیدرولیکی بین مرز ورود جریان و آبخوان می‌باشد و مقدار آن در هر دوره زمانی ثابت باقی می‌ماند. برای محاسبه این ضریب از معادله‌های (۴) و (۵) استفاده می‌شود:

$$Q_b = C_b(h_b - h) \qquad (۴)$$

$$C_b = \frac{K_s \times A}{L} \qquad (۵)$$

که در آن‌ها h(L) بار هیدرولیکی در سلول، $h_b(L)$ بار هیدرولیکی در مرز، $K_S(LT^{-1})$ مقدار هدایت هیدرولیکی معادل (میانگین هندسی)، $A(L^2)$ مساحت ورود جریان به سلول و L(L) فاصله از محل تغذیه (با توجه به نقشه‌های هم‌پتانسیل) تا سلول می‌باشد. در مدل PMWIN کسری از بارش به‌صورت تغذیه به آبخوان وارد گردید. این مقدار با استفاده از معادله‌ی زیر به‌دست آمد:

$$R = P - S - ET \qquad (۶)$$

که در آن R مقدار تغذیه (میلی‌متر) ، S ذخیره آب خاک (میلی‌متر) ، ET تبخیرتعرق (میلی‌متر) و P مقدار بارش یا آبیاری (میلی‌متر) می‌باشد. مقدار ذخیره آب خاک نیز با استفاده از منحنی مشخصه در هر لایه از خاک مشخص گردید. اطلاعات ورودی به مدل بایستی برای تک تک سلول‌ها تعریف شوند. برای این کار از نرم افزار SURFER جهت آماده‌سازی داده‌های ورودی (به‌وسیله میان-یابی) استفاده شد. مدل PMWIN در شرایط همگام واسنجی و در شرایط غیرهمگام اعتبارسنجی شد.

یکی از مدل‌هایی که به‌منظور شبیه‌سازی مدیریت آب در سطح وسیعی به‌کار گرفته شده است، مدل (۶) Drainmod می‌باشد. این مدل می‌تواند موقعیت‌های مختلف سطح ایستابی را برای محاسبه بیلان آبی مقطعی از خاک که بین دو زهکش قرار گرفته است، در شرایط همگام شبیه‌سازی کند. در هر دو منطقه مورد تحقیق شرایط همگام به‌طور کامل برقرار نیست و یکی از اهداف این تحقیق مقایسه نتایج شبیه‌سازی در دو حالت همگام و غیرهمگام و هم‌چنین تعیین میزان خطا در این دو روش می‌باشد.

مدل(۶) Drainmod برای اجرا به یک سری داده‌های ورودی نیاز دارد. این اطلاعات شامل اطلاعات هواشناسی، داده‌های خاک، داده‌های گیاهی و داده‌های سیستم زهکشی می‌باشد که داده‌های مورد نیاز جمع‌آوری یا اندازه‌گیری و در مدل وارد شدند. داده‌های اندازه‌گیری‌شده عمق سطح ایستابی از چاهک‌های مشاهده‌ای به‌دست آمد. مدل (۶) Drainmod به داده‌های بارندگی ساعتی و تبخیر تعرق روزانه نیاز دارد. بارندگی به‌صورت روزانه به مدل معرفی می‌شود و مدل با استفاده از یک برنامه[۳] بارندگی روزانه را به بارندگی ساعتی تبدیل می‌کند. داده‌های خاک مورد نیاز در مدل شامل هدایت هیدرولیکی اشباع، عمق لایه غیر قابل نفوذ، رابطه بین مقادیر حجم آب زهکشی‌شده و صعود مویینگی با عمق سطح ایستابی و ضرایب معادله گرین آمپت است. حجم آب زهکشی شده عبارت از حجم هوای درون خلل و فرج خاک بعد از حرکت آب ثقلی به سمت سطح ایستابی. مدل با استفاده از رابطه بین مقدار حجم آب زهکشی شده نسبت به عمق سطح ایستابی، میزان افت یا خیز سطح ایستابی را در اثر ورود و خروج آب به نیمرخ خاک تعیین می‌کند. رابطه حجم زهکشی با عمق سطح ایستابی با استفاده از برنامه‌ای[۴] که در مدل وجود دارد به‌دست می‌آید. رابطه خطی بین سطح ایستابی و حجم آب زهکشی وجود دارد که شیب آن تخلخل قابل زهکشی است. با افزایش عمق سطح ایستابی حجم آب زهکشی افزایش می‌یابد. صعود مویینگی عبارت از جریان رو به بالای آب از سطح ایستابی است؛ این پارامتر در زمان خشکی، که منطقه توسعه ریشه با کمبود آب مواجه است نقش اساسی ایفا می‌کند. رابطه صعود مویینگی با سطح ایستابی با استفاده از برنامه کامپیوتری که در مدل می‌باشد به‌دست می‌آید. این برنامه با استفاده از پارامترهای هیدرولیکی خاک (پارامترهای توابع تحلیلی Van Genuchten و Mualem ) این روابط را محاسبه می‌کند. برای محاسبه دبی خروجی از زهکش‌ها هرگاه خاک اشباع نباشد، شدت تخلیه زهکش‌های زیرزمینی از معادله هوخهات به‌دست می‌آید و هرگاه سطح ایستابی در سطح خاک قرار گرفته باشد، شدت تخلیه از معادله کرکهام محاسبه می‌گردد.

## مواد و روش‌ها

اراضی مورد مطالعه دو قسمت است، یکی در جنوب شرقی شیراز و به فاصله ۱۷ کیلومتر از مرکز شهر شیراز در حد فاصل عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۳۰ دقیقه و۳۹/۱۳ ثانیه تا ۲۹ درجه و ۳۰ دقیقه و۵۵/۲۲ ثانیه و طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۳۹ دقیقه و۵/ ۳۸ ثانیه تا ۵۲ درجه و ۳۹ دقیقه و ۵۸ ثانیه واقع شده است. به‌منظور

۱- Hydraulic Conductance
۲- Envelope
۳ Utility (Create Weather File)
۴ Utility (Create Soil File)

پایین انداختن سطح ایستابی در این ناحیه از زهکش‌های روباز با طول‌های متفاوت و فاصله ۲۰۰ متر استفاده شده است. ناحیه‌ی انتخاب شده شامل دو زهکش روباز به طول های ۳۱۰ و ۳۸۵ متر و به فاصله ۲۰۰ متر می‌باشد. شیب عمومی زمین ۰/۰۰۱۱ متر بر متر بوده و زهکش‌ها در جهت این شیب نصب شده‌اند. هدایت هیدرولیکی اشباع خاک ($K_s$) به روش سیستمی (زه آب خروجی) ۰/۹۵۳ متر در روز می‌باشد. عمق لایه نفوذناپذیر به‌روش پیزومتر تعیین گردید که این عمق ۵/۲۵ متر می‌باشد (Noshadi et al,2012). این اطلاعات طی فاصله زمانی چهار ماه جمع‌آوری شده است. به‌منظور اندازه‌گیری سطح ایستابی چاهک‌های مشاهده‌ای در ابتدا ، وسط و انتهای هر زهکش و در دو طرف زهکش‌ها به طور عرضی و در فواصل ۵۰ متری از هم حفر شده‌اند. در مجموع هر زهکش دارای ۱۸ چاهک می‌باشد. برای اندازه‌گیری زه آب خروجی از سرریزهایی که در انتهای هر زهکش نصب شده، استفاده شده است. اراضی دیگر در پایین دست سد درودزن در ایستگاه تحقیقات کشاورزی دانشگاه شیراز واقع در ۶۰ کیلومتری شمال شهر شیراز در عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۴۰ دقیقه و طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۳۵ دقیقه قرار دارد که در این اراضی سیستم زهکشی زیرزمینی نصب شده است. محل اندازه‌گیری داده‌های مورد نیاز سه قطعه به وسعت تقریبی هر قطعه ۵ هکتار در امتداد یک لوله زهکش می‌باشد. در هر قطعه و در وسط دو زهکش چاهک‌های مشاهده‌ای حفر و عمق آب زیرزمینی درون این چاهک‌ها در مدت ۶ ماه و اندازه‌گیری دبی لوله زهکش‌ها در مدت ۱۶ روز انجام شده است (رضایی، ۱۳۷۲).

برای ارزیابی داده‌های شبیه‌سازی شده از دو شاخص میانگین ریشه مربع خطای نرمال شده (NRMSE [۱]) و شاخص تطابق (d [۲]) استفاده شده است. شاخص NRMSE پراکندگی داده‌ها را نشان داده و شاخص d بیان‌گر دقت مدل می‌باشد. هر چه که NRMSE به صفر نزدیک‌تر و d به یک نزدیک‌تر باشد، نشان دهنده تطابق خوب مدل و داده‌های اندازه‌گیری شده می‌باشد.

$$NRMSE = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{i=n}(O_i - P_i)^2/n}}{\bar{O}} \quad (۷)$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(|o_i'| + |P_i'|)^2} \quad (۸)$$

$$P_i' = P_i - \bar{O}$$

$$O_i' = O_i - \bar{O}$$

که در آن‌ها n تعداد مشاهدات، $O_i$ مقادیر اندازه‌گیری شده، $P_i$ مقادیر شبیه‌سازی شده و $\bar{O}$ میانگین مقادیر اندازه‌گیری می‌باشد.

در این تحقیق مقادیر عمق آب زیرزمینی اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده در وسط دو زهکش در طی دوره بررسی در دو منطقه مقایسه گردیده است. منحنی مشخصه رطوبتی با استفاده از دستگاه صفحات غشایی و صفحات فشاری تا مکش ۱۵۰۰۰ سانتی‌متر تعیین شد. تبخیر و تعرق پتانسیل مورد نیاز در مدل (۶) Drainmod به دو طریق وارد می‌گردد، یا مدل حداکثر و حداقل دمای روزانه را از کاربر دریافت نموده و از طریق روش ترنت وایت[۳] مقدار تبخیر تعرق پتانسیل را برآورد می‌کند یا اینکه مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مورد نظر مستقیماً به‌مدل وارد می‌شود. در این مطالعه تبخیر و تعرق اندازه‌گیری شده به‌روش پنمن – مانتیث مستقیماً به مدل داده شده است. خلاصه‌ای از داده‌های ورودی اندازه‌گیری شده به مدل‌ها در جدول (۱) نشان داده شده است.

برای حل معادلات دیفرانسیل جریان آب زیرزمینی به‌روش تفاضل محدود در مدل Modflow ، لازم است پس از مشخص شدن وسعت محدوده، آن را به سلول‌های مستطیلی یا مربعی تقسیم نمود. تنظیم این سلول‌ها توسط خطوط موازی با محورهای مختصات می‌باشد که اندازه‌ی سلول‌ها براساس دقت و اهمیت ممکن است در مناطق مختلف، متفاوت انتخاب شود. ابعاد سلول‌ها با وسعت محدوده رابطه‌ی مستقیم و با عواملی نظیر گرادیان هیدرولیکی، تغییرات ضرایب هیدرودینامیکی، دقت مورد نظر و تراکم نقاط تغذیه و تخلیه رابطه‌ی معکوس دارد. برای ابعاد سلول‌ها در منطقه سلامی مقادیر مختلف در نظر گرفته شد که در نهایت ابعاد بهینه سلول‌ها درمنطقه سلامی در راستای X و Y به‌ترتیب از ۱/۵×۱/۵ تا ۱۵×۱۵ متر تعیین گردید. در محل قرارگیری زهکش‌ها برای دقت بیش‌تر از ابعاد سلول‌های کوچک‌تر (۱/۵×۱/۵) استفاده شد.

در منطقه کوشکک نیز شبکه‌ای با مربع‌هایی به ابعاد ۱×۱ تا ۱۰×۱۰ متر تشکیل گردید. در شبکه طراحی شده به‌دلیل وسعت کم محدوده و دقت بالاتر، ازسلول‌های با ابعاد کم و از نوع فعال استفاده شده است.

## نتایج و بحث

### الف- مدل Drainmod

در منطقه کوشکک در سه مزرعه گندم، یونجه و آیش به‌طور مجزا و هم‌چنین کل منطقه به‌صورت یک‌جا مدل (۶) Drainmod اجرا گردید که نتایج آن برای پیش‌بینی سطح ایستابی در شکل (۱) نشان داده شده است. نتایج اجرای این مدل در منطقه سلامی نیز در شکل (۲) ارائه شده است. در این شکل‌ها مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده با خط ۱:۱ مقایسه گردیده و از نظر آماری نیز در جدول (۲) با یکدیگر مقایسه شده‌اند. طبق این شکل‌ها و جدول نتایج شبیه‌سازی با مدل (۶) Drainmod در هر دو منطقه طرح مناسب

۱- Normalized root mean square error

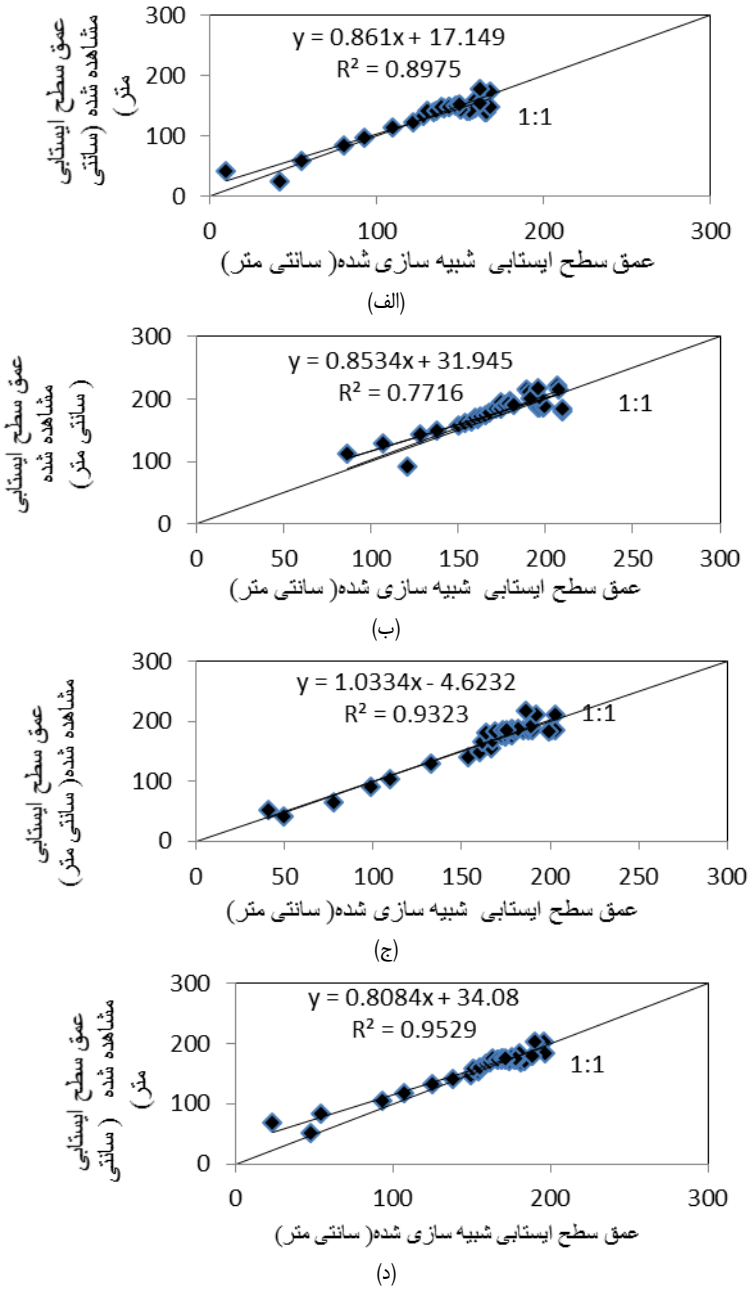
۲- Agreement index

۳- Thorntwaite

بوده است.

**جدول۱- خلاصه ای از داده های اندازه گیری شده ورودی سیستم زهکشی به مدل های (۶) Drainmod و PMWIN**

| پارامتر | منطقه | |
|---|---|---|
| | سلامی | کوشکک |
| عمق زهکش (متر) | ۱/۲ | ۲/۰ |
| فاصله زهکش ها ( متر) | ۲۰۰/۰ | ۸۸/۰ |
| ضریب زهکشی (سانتی متر در روز) | ۰/۱ | ۳/۰ |
| عمق لایه غیر قابل نفوذ (متر) | ۵/۲۵ | ۸/۷ |




**شکل۱- عمق سطح ایستابی اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده با مدل(۶) Drainmod در منطقه کوشکک**
**الف- مزرعه گندم، ب- مزرعه آیش، ج- مزرعه یونجه، د- کل مزرعه**

جدول-۲- مقایسه عمق سطح ایستابی مشاهده شده و پیش‌بینی شده با مدل (۶) Drainmod در کل مزرعه کوشکک

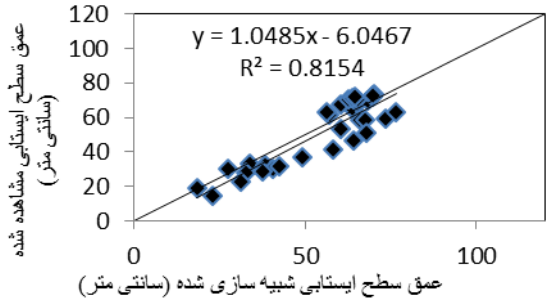
| روز | عمق سطح ایستابی شبیه‌سازی شده(متر) | عمق سطح ایستابی مشاهده شده (متر) | مقدار اختلاف | درصد اختلاف |
|---|---|---|---|---|
| ۱ | ۱/۹۱ | ۱/۹۸ | ۰/۰۷ | ۳/۵ |
| ۵ | ۰/۸۷ | ۱/۵۳ | ۰/۶۵ | ۴۲/۸ |
| ۱۲ | ۱/۱۶ | ۱/۴۴ | ۰/۲۸ | ۱۹/۵ |
| ۲۱ | ۱/۴۵ | ۱/۴۶ | ۰/۰۱ | ۰/۶ |
| ۲۸ | ۱/۷۴ | ۱/۶۵ | -۰/۱ | ۵/۹ |
| ۳۱ | ۱/۸۱ | ۱/۶۸ | -۰/۱۳ | ۷/۸ |
| ۳۲ | ۱/۸۳ | ۱/۷۱ | -۰/۱۳ | ۷/۵ |
| ۳۳ | ۱/۶۹ | ۱/۷۳ | ۰/۰۴ | ۲/۳ |
| ۳۵ | ۱/۷۴ | ۱/۷۲ | -۰/۰۲ | ۱/۲ |
| ۳۶ | ۱/۷۷ | ۱/۷۳ | -۰/۰۴ | ۲/۵ |
| ۳۷ | ۱/۷۹ | ۱/۷۴ | -۰/۰۵ | ۶/۷ |
| ۴۴ | ۱/۸۱ | ۱/۸۵ | ۰/۰۴ | ۲/۴ |
| ۵۵ | ۱/۹۶ | ۲/۰۲ | ۰/۰۷ | ۳/۴ |
| ۵۶ | ۱/۹۶ | ۱/۸۳ | -۰/۱۳ | ۷/۳ |
| ۵۷ | ۱/۷۶ | ۱/۷۷ | ۰/۰۱ | ۰/۸ |
| ۵۸ | ۱/۷۸ | ۱/۷۶ | -۰/۰۲ | ۱ |
| ۶۴ | ۱/۶۹ | ۰/۵۸ | -۱/۱۱ | ۱۹۱/۳ |
| ۶۵ | ۰/۴۸ | ۰/۵۳ | ۰/۰۵ | ۸/۹ |
| ۶۶ | ۰/۲۴ | ۰/۶۹ | ۰/۴۵ | ۶۵/۷ |
| ۶۷ | ۰/۵۴ | ۰/۸۴ | ۰/۳ | ۳۵/۳ |
| ۶۸ | ۰/۹۳ | ۱/۰۶ | ۰/۱۲ | ۱۱/۷ |
| ۶۹ | ۱/۰۷ | ۱/۱۷ | ۰/۱ | ۸/۵ |
| ۷۰ | ۱/۲۵ | ۱/۳۴ | ۰/۰۹ | ۶/۶ |
| ۷۱ | ۱/۳۸ | ۱/۴۱ | ۰/۰۳ | ۲/۳ |
| ۷۲ | ۱/۴۹ | ۱/۴۸ | -۰/۰۱ | ۰/۵ |
| ۷۳ | ۱/۵۴ | ۱/۵۴ | ۰ | ۰ |
| ۷۴ | ۱/۵۱ | ۱/۵۹ | ۰/۰۸ | ۵/۲ |
| ۷۵ | ۱/۵۵ | ۱/۶۱ | ۰/۰۶ | ۳/۴ |
| ۷۶ | ۱/۵۹ | ۱/۶۶ | ۰/۰۷ | ۴ |
| ۷۹ | ۱/۶۲ | ۱/۷ | ۰/۰۸ | ۴/۹ |
| ۸۰ | ۱/۶۶ | ۱/۷۳ | ۰/۰۷ | ۴/۲ |
| ۹۳ | ۱/۶۹ | ۱/۷۵ | ۰/۰۵ | ۳/۱ |
| ۹۴ | ۱/۸۹ | ۱/۷۹ | -۰/۰۹ | ۵/۲ |
| ۹۵ | ۱/۷۱ | ۱/۷۴ | ۰/۰۲ | ۱/۳ |
| ۹۶ | ۱/۶۳ | ۱/۷۵ | ۰/۱۲ | ۶/۶ |
| ۹۷ | ۱/۶۶ | ۱/۷۴ | ۰/۰۸ | ۴/۳ |
| ۱۰۹ | ۱/۷ | ۱/۷۶ | ۰/۰۶ | ۳/۴ |
| ۱۲۵ | ۱/۷۲ | ۱/۷۶ | ۰/۰۴ | ۲/۴ |
| ۱۲۶ | ۱/۹ | ۲/۰۳ | ۰/۱۳ | ۶/۳ |
| ۱۶۵ | ۱/۸۶ | ۲/۰۷ | ۰/۲۱ | ۱۰/۲ |
| ۱۷۶ | ۱/۴۳ | ۱/۰۷ | -۰/۳۶ | ۳۴ |
| ۱۸۲ | ۱/۵۱ | ۱/۲۹ | -۰/۲۳ | ۱۷/۷ |
| ۱۸۶ | ۱/۷۵ | ۱/۴۱ | -۰/۳۴ | ۲۴/۴ |
| ۱۸۷ | ۱/۳۲ | ۱/۱۷ | -۰/۱۵ | ۱۲/۹ |
| ۱۸۸ | ۰/۳۲ | ۱/۱۹ | ۰/۸۷ | ۷۳/۲ |
| ۱۸۹ | ۰ | ۱/۱۷ | ۱/۱۷ | ۱۰۰ |
| ۱۹۰ | ۰/۵۸ | ۱/۲۷ | ۰/۶۹ | ۵۴/۲ |

ادامه جدول-۲- مقایسه عمق سطح ایستابی مشاهده شده و پیش بینی شده با مدل (۶) Drainmod در کل مزرعه کوشکک

| روز | عمق سطح ایستابی شبیه سازی شده(متر) | عمق سطح ایستابی مشاهده شده (متر) | مقدار اختلاف | درصد اختلاف |
|---|---|---|---|---|
| ۱۹۱ | ۰/۱ | ۱/۴۸ | ۱/۳۸ | ۹۳/۲ |
| ۱۹۲ | ۰ | ۱/۴۹ | ۱/۴۹ | ۱۰۰ |
| ۱۹۳ | ۰ | ۱/۵۴ | ۱/۵۴ | ۱۰۰ |
| ۱۹۴ | ۰/۵۹ | ۱/۵۱ | ۰/۹۲ | ۶۰/۹ |
| ۱۹۹ | ۱/۰۲ | ۱/۵۷ | ۰/۵۵ | ۳۴/۹ |
| ۲۰۰ | ۱/۶۳ | ۱/۴۳ | -۰/۲ | ۱۳/۷ |
| ۲۰۱ | ۱/۶۶ | ۱/۳۴ | -۰/۳۳ | ۲۴/۴ |
| ۲۰۲ | ۱/۷ | ۱/۴۲ | -۰/۲۸ | ۱۹/۷ |
| ۲۰۳ | ۱/۵۱ | ۱/۴۳ | -۰/۰۸ | ۵/۶ |
| ۲۰۴ | ۱/۰۶ | ۱/۴۴ | ۰/۳۸ | ۲۶/۴ |
| ۲۰۵ | ۰/۵۴ | ۱/۴۵ | ۰/۹۱ | ۶۲/۹ |
| ۲۰۶ | ۰/۱۸ | ۱/۴۶ | ۱/۲۸ | ۸۷/۶ |
| ۲۰۷ | ۰ | ۱/۵۳ | ۱/۵۳ | ۱۰۰ |
| ۲۰۸ | ۰ | ۱/۴۹ | ۱/۴۹ | ۱۰۰ |
| ۲۰۹ | ۰/۶۳ | ۱/۵ | ۰/۸۷ | ۵۷/۸ |
| ۲۱۰ | ۰ | ۱/۶۴ | ۱/۶۴ | ۱۰۰ |

جدول-۳- مقایسه عمق سطح ایستابی مشاهده شده و پیش‌بینی شده(متر) با مدل (۶) Drainmod در منطقه سلامی

| روز | عمق سطح ایستابی شبیه سازی شده(متر) | عمق سطح ایستابی مشاهده شده (متر) | مقدار اختلاف | درصد اختلاف |
|---|---|---|---|---|
| ۱ | ۰/۶۴۳ | ۰/۶۴۳ | ۰ | ۰/۱ |
| ۲ | ۰/۶۳۸ | ۰/۶۵۵ | ۰/۰۱۷ | ۲/۵ |
| ۵ | ۰/۶۵۴ | ۰/۶۸ | ۰/۰۲۶ | ۳/۹ |
| ۱۱ | ۰/۶۸۳ | ۰/۷ | ۰/۰۱۷ | ۲/۴ |
| ۱۴ | ۰/۶۹۸ | ۰/۷۲۳ | ۰/۰۲۶ | ۳/۶ |
| ۱۵ | ۰/۷۰۱ | ۰/۷۳۵ | ۰/۰۳۴ | ۴/۶ |
| ۱۹ | ۰/۶۰۴ | ۰/۵۳ | -۰/۰۷۴ | ۱۳/۹ |
| ۲۰ | ۰/۵۷۲ | ۰/۶۱۸ | ۰/۰۴۶ | ۷/۵ |
| ۲۱ | ۰/۵۶۴ | ۰/۶۳۳ | ۰/۰۶۹ | ۱۰/۹ |
| ۲۶ | ۰/۶۰۴ | ۰/۶۷۵ | ۰/۰۷۱ | ۱۰/۵ |
| ۳۰ | ۰/۶۲۸ | ۰/۷۰۳ | ۰/۰۷۵ | ۱۰/۷ |
| ۳۲ | ۰/۶۴ | ۰/۷۱ | ۰/۰۷ | ۹/۹ |
| ۳۵ | ۰/۶۵۳ | ۰/۷۰۷ | ۰/۰۵۴ | ۷/۶ |
| ۳۸ | ۰/۶۴۵ | ۰/۷۲۲ | ۰/۰۷۷ | ۱۰/۷ |
| ۴۰ | ۰/۶۶ | ۰/۵۸۳ | -۰/۰۷۷ | ۱۳/۲ |
| ۴۲ | ۰/۶۷۵ | ۰/۵۸۵ | -۰/۰۹ | ۱۵/۴ |
| ۴۵ | ۰/۷ | ۰/۷۲۷ | ۰/۰۲۷ | ۳/۷ |
| ۴۸ | ۰/۲۷۴ | ۰/۳۰۲ | ۰/۰۲۸ | ۹/۲ |
| ۵۰ | ۰/۳۴۱ | ۰/۳۳ | -۰/۰۱۱ | ۳/۳ |
| ۵۲ | ۰/۳۲۸ | ۰/۲۷۷ | -۰/۰۵۲ | ۱۸/۶ |
| ۵۴ | ۰/۳۸۴ | ۰/۳۲۵ | -۰/۰۵۹ | ۱۸/۲ |
| ۵۵ | ۰/۴۰۷ | ۰/۲۹۸ | -۰/۱۰۹ | ۳۶/۵ |
| ۵۹ | ۰/۱۸۵ | ۰/۱۹ | ۰/۰۰۶ | ۲/۹ |
| ۶۲ | ۰/۲۳ | ۰/۱۴۳ | -۰/۰۸۶ | ۶۰/۳ |
| ۶۴ | ۰/۳۱۲ | ۰/۲۲۵ | -۰/۰۸۷ | ۳۸/۵ |
| ۶۶ | ۰/۳۷۶ | ۰/۲۸۵ | -۰/۰۹۱ | ۳۱/۹ |
| ۶۸ | ۰/۴۲۷ | ۰/۳۱۸ | -۰/۱۰۸ | ۳۴/۱ |
| ۷۳ | ۰/۴۹۲ | ۰/۳۷ | -۰/۱۲۲ | ۳۲/۹ |
| ۸۳ | ۰/۵۸ | ۰/۴۱ | -۰/۱۷ | ۴۱/۵ |
| ۹۲ | ۰/۶۴۴ | ۰/۴۶۳ | -۰/۱۸ | ۳۸/۹ |
| ۹۹ | ۰/۶۷۹ | ۰/۵۱۲ | -۰/۱۶۷ | ۳۲/۶ |
| ۱۱۲ | ۰/۷۳۵ | ۰/۵۷۹ | -۰/۱۳۹ | ۲۳/۳ |
| ۱۲۰ | ۰/۷۶۶ | ۰/۶۳ | -۰/۱۳۶ | ۲۱/۵ |




**شکل۲- مقادیر عمق سطح ایستابی مشاهده شده و شبیه‌سازی شده با مدل (۶) Drainmod در منطقه سلامی**

**جدول۴- نتایج آماری شبیه‌سازی عمق سطح ایستابی با مدل (۶) Drainmod**

| منطقه | | NRMSE | D |
|---|---|---|---|
| سلامی | | ۰/۱۷ | ۰/۹۴ |
| کوشکک | مزرعه گندم | ۰/۱۹ | ۰/۸۸ |
| | مزرعه یونجه | ۰/۱۴ | ۰/۹۳ |
| | مزرعه آیش | ۰/۱۲ | ۰/۸۷ |
| میانگین | | ۰/۱۵۵ | ۰/۹۱ |

مقایسه ارقام واقعی و پیش‌بینی شده از مدل (۶) Drainmod نشان داد که برای متغیرهایی نظیر عمق آب زیرزمینی، همبستگی مناسب‌تری طی ماه‌های مرطوب نسبت به ماه‌های خشک وجود دارد چون در فصل مرطوب شرایط به حالت همگام نزدیک‌تر است (شکل ۳). در این شکل زمان شروع (صفر) روز اول آذر می‌باشد.

اجرای مدل (۶) Drainmod نشان داد که این مدل قادر است سطح ایستابی را در ناحیه بین دو زهکش در حالت همگام با NRMSE بین ۰/۱۲ تا ۰/۱۹ و شاخص تطابق (d) بین ۰/۸۸ تا ۰/۹۴ شبیه‌سازی کند (جدول ۴) ولی این مدل در فصل آبیاری برآورد خوبی از سطح ایستابی ندارد. علت عدم تطابق این است که مدل برای شرایط مرطوب که تغذیه به حالت همگام نزدیک‌تر است طراحی شده است. در ضمن در زمان تغذیه این مدل مقدار تبخیر و تعرق را صفر فرض می‌کند که این فرض در فصل مرطوب بیش‌تر صادق است. این مطلب در تحقیقات دیگری نظیر Fouss et al. (1987) نیز بیان شده است. از دلایل دیگر کم‌تر برآورد کردن این مدل در نظر گرفتن مقدار صفر برای نشت عمودی در دوره شبیه‌سازی است.

## ب- مدل PMWIN

### منطقه سلامی

در ابتدا مدل PMWIN در حالت همگام اجرا شد. برای اجرا در حالت همگام از داده‌های سطح ایستابی در شروع اندازه گیری (آخر بهمن ماه) استفاده شد. اندازه‌گیری‌ها در زمان آخر بهمن ماه تا خرداد ماه انجام گرفت. ضریب رسانایی بین آبخوان و زهکش ($c_d$) و هم‌چنین جریان ورودی از مرزها، سطح ایستابی اولیه و هدایت هیدرولیکی خاک به‌مدل معرفی شد و مدل اجرا گردید. پس از معرفی داده‌های ورودی و اجرای مدل، نتایج خروجی به‌صورت مقایسه بار آبی مشاهده شده و شبیه‌سازی شده در جدول ۵ نشان داده شده است. مقدار $c_d$ طبق معادله (۱) از حاصل‌ضرب هدایت هیدرولیکی اشباع خاک(۰/۹۵۳ متر در روز) در طول زهکش در یک سلول(۱/۵ متر) به‌دست آمد (۱/۴۳ مترمربع در روز). هم‌چنین ضریب رسانایی بین سلول و مرز ورود جریان از معادله (۵) برابر خواهد بود با:

$$c_b = 0.953 * 4.05 * \frac{1.5}{1.5} = 3.86\ m^2\ d^{-1}$$

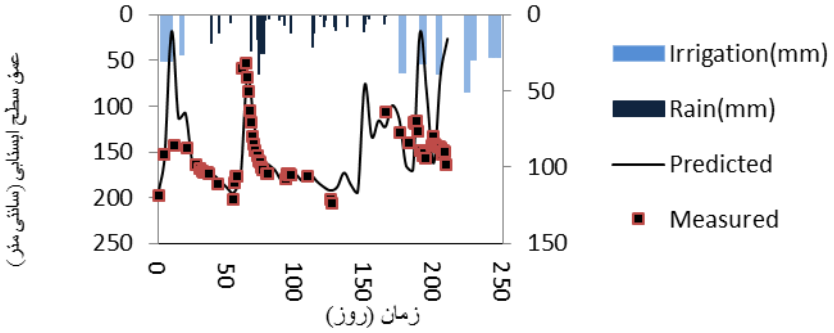
که در آن ۰/۹۵۳متر در روز هدایت هیدرولیکی اشباع خاک، ۱/۵×۴متر مربع سطح مقطع ورودی جریان ( ضخامت لایه اشباع در طول سلول) و ۱/۵متر عرض سلول می‌باشد. در شکل ۴ رابطه بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده‌شده ارتفاع سطح ایستابی (متر) با خط یک به یک در حالت همگام در منطقه سلامی نشان داده شده است.

طبق شکل ۴ بین مقادیر ارتفاع سطح ایستابی اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده هماهنگی خوبی وجود ندارد و نتایج اجرای مدل در حالت همگام در حد خوبی نبوده و مقادیر NRMSE و d در شرایط همگام به ترتیب ۰/۳ و ۰/۳۶ می‌باشد که در حد مطلوب نیست. پس از اجرای مدل PMWIN در حالت همگام، نتایج حاصل شده به عنوان شرایط اولیه در حالت غیرهمگام به‌کار رفت. زمان شبیه‌سازی ۱۲۰ روز در نظر گرفته شد که به ۱۲ دوره تقسیم شد. جهت اجرای مدل، در هر دوره میزان تغذیه با استفاده از بسته Recharge (فایل ورود تغذیه) به‌مدل معرفی شد. نتایج حاصل از اجرای مدل در حالت غیرهمگام به‌صورت مقایسه بارآبی محاسباتی و مشاهداتی در

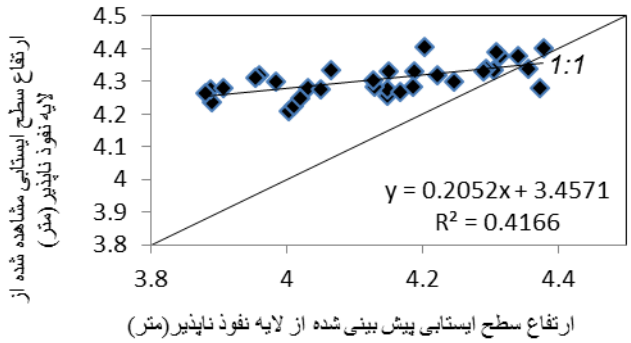
پیزومترها در شکل ۵ نشان داده شده و با خط یک به یک مقایسه گردیده است. در جدول ۶ مقادیر NRMSE و d عمق سطح ایستابی در پیزومترهای مختلف در روزهای ۱۰ تا ۱۲۰ با گام زمانی ۱۰ روز از شروع شبیه‌سازی نشان داده شده است. طبق این جدول خطای ایجاد شده (NRMSE) در پیزومترها بین ۰/۱۵ تا ۰/۴۳ با میانگین ۰/۲۴ و مقدار d بین ۰/۴۹ تا ۰/۹۳ با میانگین ۰/۷۸متغیر می‌باشد. بنابراین بر اساس نتایج به‌دست آمده در منطقه سلامی شبیه‌سازی در شرایط غیرهمگام در حد نسبتاً مناسبی انجام شده است چون شرایط غیرهمگام با واقعیت انطباق بیش‌تری دارد.

**جدول ۵- ارتفاع سطح ایستابی مشاهده و شبیه‌سازی شده مدل (PMWIN) از لایه نفوذناپذیر در پیزومترها در شرایط همگام در منطقه سلامی**

| شماره پیزومتر | فاصله سطح آب مشاهده شده از لایه نفوذ ناپذیر (متر) | فاصله سطح آب شبیه‌سازی شده از لایه نفوذ ناپذیر (متر) | مقدار اختلاف(متر) | درصد اختلاف |
|---|---|---|---|---|
| ۱ | ۴/۲۱ | ۴ | ۰/۲۱ | ۴/۸۹ |
| ۲ | ۴/۲۵۵ | ۴/۱۵ | ۰/۱۱ | ۲/۵۱ |
| ۳ | ۴/۳ | ۴/۲۵ | ۰/۰۵ | ۱/۲۳ |
| ۴ | ۴/۲۳۵ | ۳/۸۹ | ۰/۳۵ | ۸/۱۵ |
| ۵ | ۴/۲۸ | ۴/۰۳ | ۰/۲۵ | ۵/۷۹ |
| ۶ | ۴/۳۳ | ۴/۱۹ | ۰/۱۴ | ۳/۲۸ |
| ۷ | ۴/۲۷۵ | ۴/۱۵ | ۰/۱۳ | ۲/۹۷ |
| ۸ | ۴/۳۳۵ | ۴/۳۱ | ۰/۰۳ | ۰/۶۷ |
| ۹ | ۴/۳۸ | ۴/۳۴ | ۰/۰۴ | ۰/۸۷ |
| ۱۰ | ۴/۲۲۵ | ۴/۰۱ | ۰/۲۱ | ۵/۰۷ |
| ۱۱ | ۴/۲۸۵ | ۴/۱۳ | ۰/۱۶ | ۳/۶۲ |
| ۱۲ | ۴/۳۳ | ۴/۱۵ | ۰/۱۸ | ۴/۱۶ |
| ۱۳ | ۴/۳۰۵ | ۴/۱۳ | ۰/۱۸ | ۴/۰۹ |
| ۱۴ | ۴/۲۵ | ۴/۰۲ | ۰/۲۳ | ۵/۴۱ |
| ۱۵ | ۴/۲۷۵ | ۳/۸۹ | ۰/۳۹ | ۹/۰۸ |
| ۱۶ | ۴/۳۲ | ۳/۹۶ | ۰/۳۶ | ۸/۳۳ |
| ۱۷ | ۴/۳ | ۳/۹۸ | ۰/۳۲ | ۷/۳۵ |
| ۱۸ | ۴/۳۱ | ۳/۹۵ | ۰/۳۶ | ۸/۲۶ |
| ۱۹ | ۴/۲۶۵ | ۳/۸۸ | ۰/۳۹ | ۹/۰۳ |
| ۲۰ | ۴/۲۸ | ۴/۳۷ | -۰/۰۹ | ۲/۲ |
| ۲۱ | ۴/۳۴ | ۴/۳ | ۰/۰۴ | ۱/۰۴ |
| ۲۲ | ۴/۳۸ | ۴/۳۱ | ۰/۰۷ | ۱/۵۱ |
| ۲۳ | ۴/۳۳ | ۴/۲۹ | ۰/۰۴ | ۰/۹ |
| ۲۴ | ۴/۲۷ | ۴/۱۷ | ۰/۱ | ۲/۴۱ |
| ۲۵ | ۴/۲۷۵ | ۴/۰۵ | ۰/۲۳ | ۵/۲۶ |
| ۲۶ | ۴/۳۲ | ۴/۲۲ | ۰/۱ | ۲/۲۹ |
| ۲۷ | ۴/۳۹ | ۴/۳۱ | ۰/۰۸ | ۱/۸۷ |
| ۲۸ | ۴/۲۸ | ۳/۹۱ | ۰/۳۷ | ۸/۷۴ |
| ۲۹ | ۴/۳۳۵ | ۴/۰۷ | ۰/۲۷ | ۶/۲۳ |
| ۳۰ | ۴/۴۰۵ | ۴/۲ | ۰/۲ | ۴/۵۹ |
| ۳۱ | ۴/۲۸۵ | ۴/۱۹ | ۰/۱ | ۲/۲۹ |
| ۳۲ | ۴/۳۴ | ۴/۳۶ | -۰/۰۲ | ۰/۳۷ |
| ۳۳ | ۴/۴ | ۴/۳۸ | ۰/۰۲ | ۰/۴۸ |




**شکل۳- تغییرات زمانی بارش، آبیاری و سطح ایستابی اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده توسط مدل (۶) Drainmod درکل مزرعه کوشکک**




**شکل ۴- ارتفاع سطح ایستابی مشاهده شده و پیش‌بینی شده از لایه نفوذ ناپذیر توسط مدل PMWIN در شرایط همگام در منطقه سلامی**

**جدول ۶- مقادیر NRMSE و d در پیزومترهای مختلف در شرایط غیرهمگام در منطقه سلامی**

| شماره پیزومتر | NRMSE | d | شماره پیزومتر | NRMSE | d |
|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | ۰/۲۲ | ۰/۷۳ | ۱۸ | ۰/۳۹ | ۰/۶۹ |
| ۲ | ۰/۲ | ۰/۸۹ | ۱۹ | ۰/۴۱ | ۰/۵۱ |
| ۳ | ۰/۲۶ | ۰/۸۹ | ۲۰ | ۰/۳۵ | ۰/۵۵ |
| ۴ | ۰/۳۵ | ۰/۵۲ | ۲۱ | ۰/۱۶ | ۰/۸۷ |
| ۵ | ۰/۲۱ | ۰/۸۶ | ۲۲ | /۲۴ | ۰/۸۲ |
| ۶ | ۰/۲ | ۰/۹۳ | ۲۳ | ۰/۱۸ | ۰/۸۵ |
| ۷ | ۰/۲۵ | ۰/۵۶ | ۲۴ | ۰/۲۸ | ۰/۴۹ |
| ۸ | ۰/۱۷ | ۰/۸۵ | ۲۵ | ۰/۲۳ | ۰/۷۵ |
| ۹ | ۰/۱۷ | ۰/۹۱ | ۲۶ | ۰/۱۵ | ۰/۹۲ |
| ۱۰ | ۰/۲ | ۰/۷۸ | ۲۷ | ۰/۱۵ | ۰/۹۴ |
| ۱۱ | ۰/۱۸ | ۰/۸۹ | ۲۸ | ۰/۳۹ | ۰/۵۳ |
| ۱۲ | ۰/۱۸ | ۰/۹۳ | ۲۹ | ۰/۳۱ | ۰/۷۶ |
| ۱۳ | ۰/۱۹ | ۰/۸۸ | ۳۰ | ۰/۳ | ۰/۸۵ |
| ۱۴ | ۰/۲۴ | ۰/۷۱ | ۳۱ | ۰/۲۸ | ۰/۵۴ |
| ۱۵ | ۰/۳۴ | ۰/۵۳ | ۳۲ | ۰/۲۲ | ۰/۷۲ |
| ۱۶ | ۰/۳۲ | ۰/۷۴ | ۳۳ | ۰/۳۱ | ۰/۶۸ |
| ۱۷ | ۰/۴۳ | ۰/۷۴ | | | |
| | ۰/۴۳ | ۰/۹۳ | حداکثر | | |
| | ۰/۱۷ | ۰/۵۲ | حداقل | | |
| | ۰/۲۴ | ۰/۷۸ | میانگین | | |

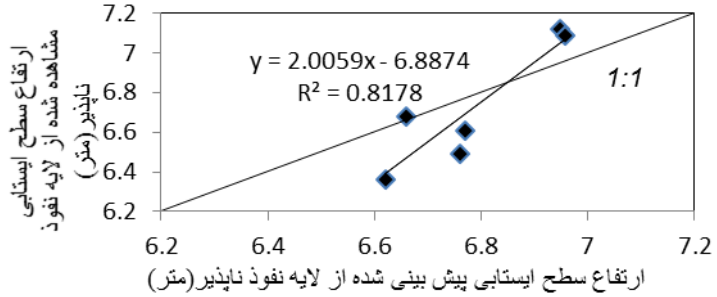
**منطقه کوشکک**

برای اجرای مدل PMWIN، مقادیر پارامترهای ضریب رسانایی هیدرولیکی زهکش‌ها ($C_d$) و ضریب رسانایی بین سلول و مرز ورود جریان ($C_b$) و هدایت هیدرولیکی اشباع خاک به‌ترتیب با مقادیر ۲۷/۲ مترمربع در روز، ۱۸/۵ مترمربع در روز و ۲/۷۲ متر در روز به‌مدل معرفی شدند. برای این منظور سطح ایستابی در ۶ چاه پیزومتریک در آذرماه (مدت زمانی‌که برای شرایط همگام در نظر گرفته شد) انتخاب و مدل بر اساس آن اجرا شد. مقدار $C_d$ طبق معادله (۱) از حاصل‌ضرب هدایت هیدرولیکی خاک (۲/۷۲ متر در روز) در طول زهکش در یک سلول ( ۱۰ متر) به‌دست آمد (۲۷/۲ مترمربع در روز). هم‌چنین ضریب رسانایی بین سلول و مرز ورود جریان($C_b$) از معادله (۵) برابر خواهد بود با:

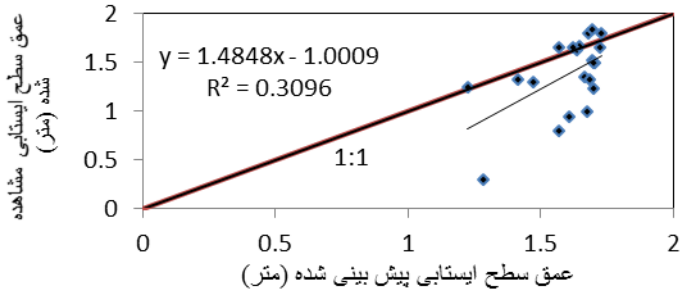
$$c_b = 2.72 * 6.8 * \frac{10}{10} = 18.5\ m^2 d^{-1}$$

که در آن ۲/۷۲ متر در روز هدایت هیدرولیکی خاک، ۶/۸ ×۱۰ مترمربع سطح مقطع ورودی جریان (ضخامت لایه اشباع در طول سلول) و ۱۰متر عرض سلول می‌باشد. شکل ۶ مقایسه ارتفاع سطح ایستابی شبیه‌سازی شده و مشاهده شده با خط یک به یک در شرایط همگام را نمایش می‌دهد. در شرایط همگام مقادیر NRMSE و d به‌ترتیب ۰/۱ و ۰/۸ می‌باشد.

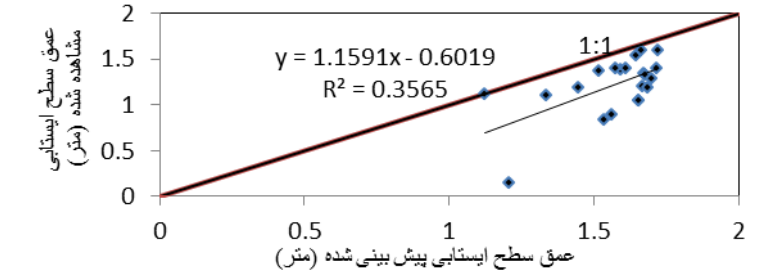
پس از اجرای مدل در شرایط همگام در منطقه کوشکک نتایج آن به‌عنوان شرایط اولیه در حالت غیر همگام استفاده شد. در واقع فرض رژیم همگام در مرحله تطبیق، فقط به‌منظور دستیابی به حدود مقادیر تخلیه و تغذیه و عوامل ناشناخته سفره آب زیرزمینی می‌باشد و تنظیم واقعی مدل در رژیم غیرهمگام صورت می‌گیرد. برای محاسبه تغذیه از مقادیر بارش یا آبیاری روزانه استفاده گردید و بر اساس مقادیر ذخیره آب در خاک و نیاز آبی گیاه و با توجه به‌عدم وجود رواناب، مقادیر تغذیه روزانه محاسبه و سپس به دوره‌های ده روزه تعمیم داده شد. در شرایط غیرهمگام زمان شبیه‌سازی ۲۱۰ روزه ( آذر تا خرداد) به ۲۱ دوره ۱۰ روزه تقسیم گردید. برای بررسی دقت مدل، ارقام مشاهده‌شده و شبیه‌سازی شده عمق سطح ایستابی در دوره‌های زمانی مختلف در چاهک‌هایی که در وسط زهکش‌ها است، در برابر هم ترسیم شدند (شکل‌های ۶ و ۷) و مقادیر خطا و NRMSE و d نیز در جداول (۷ و ۸) نشان داده شده است. طبق این شکل‌ها و جدول پیش‌بینی مدل برای هیچ یک از چاهک‌ها به‌ویژه چاهک شماره ۶ دقیق نیست ولی در چاهک‌های ۱ و ۲ مناسب‌تر است. چاهک‌های ۱و۲ در مزرعه گندم، ۳و ۴ در مزرعه یونجه و ۵ و۶ در مزرعه آیش است. طبق شکل‌های رسم شده، نتیجه اجرای مدل در این منطقه دقت مناسبی ندارد و مدل PMWIN در شبیه‌سازی سطح ایستابی به‌ویژه در زمان‌هایی که آبیاری انجام شده است از کارایی خوبی برخوردار نیست، چون مدل PMWIN در حالت غیرهمگام مقدار تغذیه را دریافت می‌کند ولی اثر آن‌را بر روی زمان‌های دیگر نمی‌تواند به‌خوبی لحاظ کند.



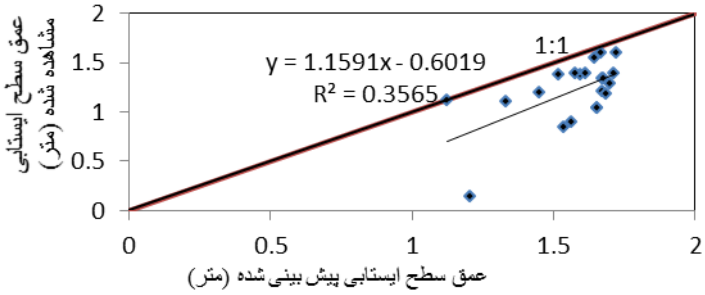

**شکل۵- مقایسه ارتفاع سطح ایستابی از لایه نفوذ ناپذیر شبیه‌سازی شده و مشاهده شده به‌وسیله مدل PMWIN با خط یک به یک در۶ چاهک در شرایط همگام در منطقه سلامی**



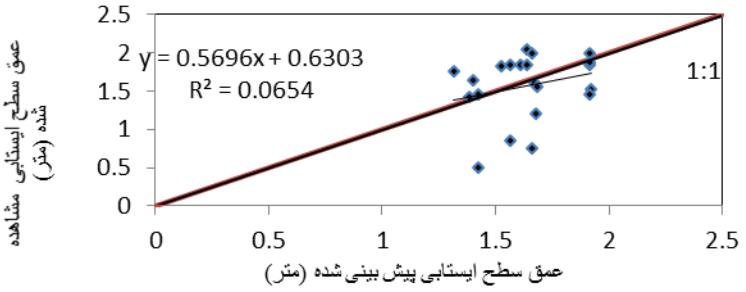

(الف)



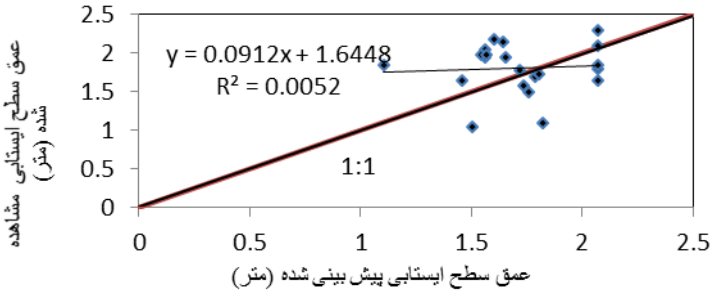

(ب)



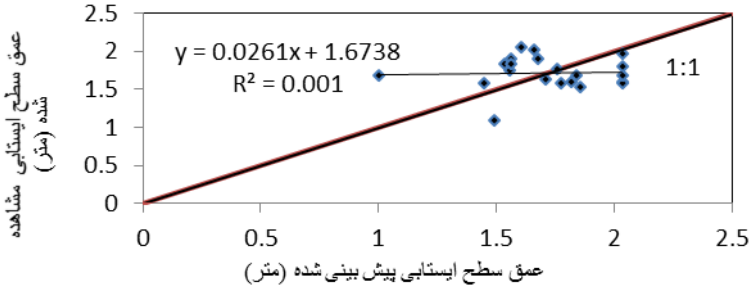

(ج)




(د)

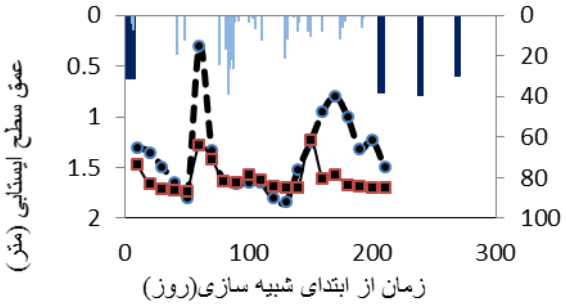



(ه)

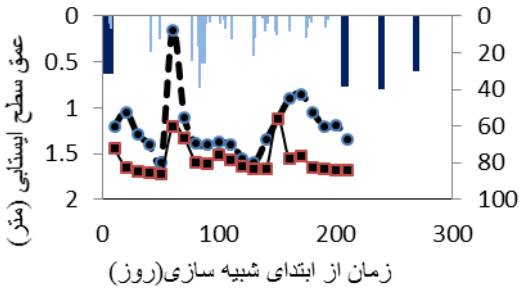



(ی)

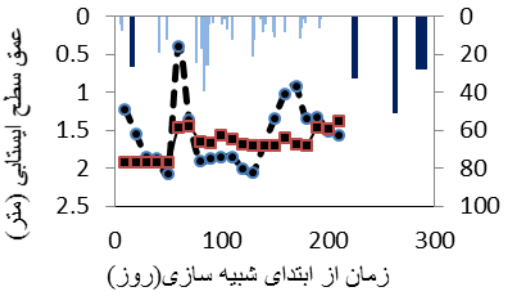
**شکل ۶- مقایسه عمق سطح ایستابی مشاهده شده و پیش‌بینی شده ( PMWIN) با خط یک به یک در شرایط همگام در منطقه کوشکک. الف- چاهک ۱، ب- چاهک ۲، ج- چاهک ۳، د- چاهک ۴، ه- چاهک ۵، ی- چاهک ۶.**


عمق سطح ایستابی (متر)
0
0.5
1
1.5
2
0
20
40
60
80
100
0
100
200
300
زمان از ابتدای شبیه سازی(روز)

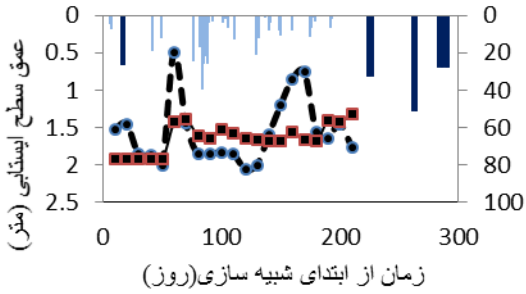
(الف)


عمق سطح ایستابی (متر)
0
0.5
1
1.5
2
0
20
40
60
80
100
0
100
200
300
زمان از ابتدای شبیه سازی(روز)

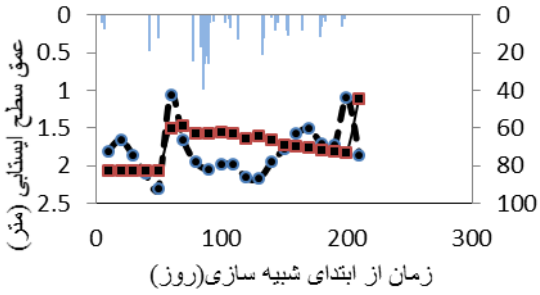
(ب)


عمق سطح ایستابی (متر)
0
0.5
1
1.5
2
2.5
0
20
40
60
80
100
0
100
200
300
زمان از ابتدای شبیه سازی(روز)

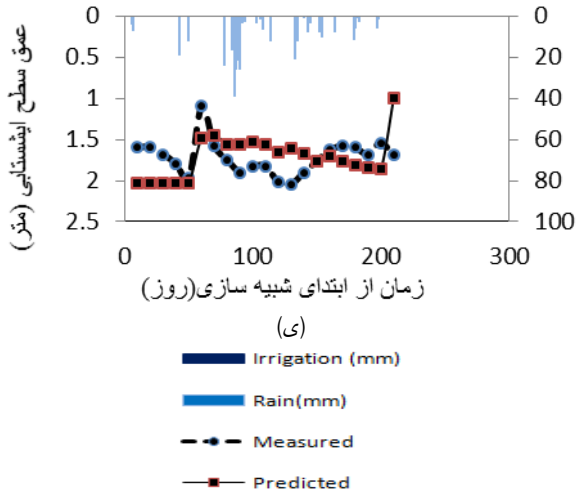
(ج)


عمق سطح ایستابی (متر)
0
0.5
1
1.5
2
2.5
0
20
40
60
80
100
0
100
200
300
زمان از ابتدای شبیه سازی(روز)

(د)


عمق سطح ایستابی (متر)
0
0.5
1
1.5
2
2.5
0
20
40
60
80
100
0
100
200
300
زمان از ابتدای شبیه سازی(روز)

(ه)




**شکل۷ - تغییرات عمق سطح ایستابی اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده (مدل PMWIN) نسبت به زمان در چاهک‌ها در شرایط غیرهمگام در منطقه کوشکک. الف- چاهک ۱، ب- چاهک ۲، ج- چاهک ۳، د- چاهک ۴، ه- چاهک ۵، ی- چاهک ۶**

**جدول۷- مقایسه ارتفاع سطح ایستابی مشاهده شده و پیش‌بینی شده (مدل PMWIN) ا ز لایه نفوذ ناپذیر (متر) در شرایط همگام در منطقه**

| شماره چاه مشاهده ای | ارتفاع سطح آب مشاهده شده (متر) | ارتفاع سطح آب پیش بینی شده (متر) | مقداراختلاف (متر) | درصداختلاف |
|---|---|---|---|---|
| ۱ | ۷/۱۲ | ۶/۹۸۶ | ۰/۱۷۲ | ۲/۴ |
| ۲ | ۷/۰۹ | ۶/۹۵۸ | ۰/۱۳۲ | ۱/۹ |
| ۳ | ۶/۴۹ | ۶/۷۶ | -۰/۲۷ | ۴/۲ |
| ۴ | ۶/۶۱ | ۶/۷۷ | -۰/۱۶ | ۲/۴ |
| ۵ | ۶/۳۶ | ۶/۶۲ | -۰/۲۶ | ۴/۱ |
| ۷ | ۶/۶۸ | ۶/۶۶ | ۰/۰۲ | ۰/۳ |
| میانگین | ۶/۷۳ | ۶/۷۹ | ۰/۰۶ | ۲/۵۵ |

**جدول ۸- مقادیر NRMSE و d درچاهک های مختلف در شرایط غیر همگام در منطقه کوشکک**

| شماره چاهک | NRMSE | d |
|---|---|---|
| ۱ | ۰/۲۷ | ۰/۵۶ |
| ۲ | ۰/۳۵ | ۰/۵۱ |
| ۳ | ۰/۲۶ | ۰/۴۸ |
| ۴ | ۰/۲۶ | ۰/۴۲ |
| ۵ | ۰/۲۱ | ۰/۴۰ |
| ۶ | ۰/۱۸ | ۰/۳۷ |
| میانگین | ۰/۲۵۵ | ۰/۴۶ |

## نتیجه‌گیری

اجرای مدل Drainmod(۶) نشان داد که این مدل قادر است سطح ایستابی در ناحیه بین دو زهکش را در شرایط همگام با NRMSE در منطقه سلامی (در فصل بارش و آبیاری) و ایستگاه تحقیقاتی کوشکک (در فصل بارش) به‌ترتیب ۰/۱۷ و ۰/۱۴ و شاخص تطابق به‌ترتیب ۰/۹۴ و ۰/۹۲ شبیه‌سازی کند که پیش‌بینی خیلی خوبی است اما مدل Drainmod (۶) در منطقه کوشکک در فصل آبیاری برآورد خیلی خوبی از سطح ایستابی ندارد. در منطقه کوشکک مقادیر زیاد آب آبیاری با دور آبیاری زیاد به‌صورت سطحی به زمین داده شده است که باعث انحراف از شرایط ماندگار شده و لذا مدل برآورد مناسبی از سطح ایستابی ندارد. در واقع همبستگی مناسب‌تری بین سطح ایستابی مشاهده شده و پیش‌بینی شده در ماه‌های مرطوب نسبت به ماه‌های خشک در مدل Drainmod (۶) وجود دارد. در

ماه‌های خشک، به‌دلیل عدم برآورد تبخیر تعرق در مدل، مقادیر تغذیه که عمدتاً ناشی از آبیاری است، بیش‌تر از واقعیت برآورد می‌گردد و اثر تبخیر در کاهش سطح ایستابی لحاظ نمی‌گردد، در نتیجه عمق سطح ایستابی کم‌تر برآورد می‌شود.

نتایج اجرای مدل PMWIN نشان داد که مقدار خطا بین مقادیر عمق سطح ایستابی مشاهده شده و شبیه‌سازی شده در هر دو منطقه زیاد است و NRMSE در پیزومترها بین ۰/۱۶ تا ۰/۴۳ در سلامی و ۰/۱۸ تا ۰/۳۵ در کوشکک متغیر می‌باشد. شاخص تطابق نیز بین ۰/۳۷ تا ۰/۵۶ در کوشکک و ۰/۵۱ تا ۰/۹۳ در سلامی متغیر است. بنابراین اجرای مدل PMWIN در طرح‌های زهکشی در این دو منطقه دقت قابل قبولی ندارد. مدل PMWIN چون در شرایط غیرهمگام مقدار تغذیه را دریافت می‌کند، این مقادیر روی زمان‌های دیگر هم اثر می‌گذارد ولی مدل PMWIN قادر نیست این اثر را به خوبی محاسبه کند. در حالی‌که مدل (۶) Drainmod در شرایط همگام اجرا شده و کم‌تر از ناهماهنگی داده‌های زمان قبل متأثر است.

## منابع


حسن پور،ب.، پارسی نژاد،م.، سلحشور دلیوند،ف.، کوثری،ه . ۱۳۸۹. برآورد نوسانات سطح ایستابی در اراضی شالیزار با استفاده از مدل Drainmod. نشریه آبیاری و زهکشی ایران . ۲:۴. ۱۷۴-۱۶۷.

رضایی،ع. ۱۳۷۲. ارزیابی نوسانات سطح ایستابی در منطقه کوشکک با استفاده از مدل Drainmod. پایان نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی. دانشگاه شیراز.۲۲۴ صفحه.

سمیع پور،ف.، محمدی،ک.، مهدیان،م.ح.، ناصری.ع.ع. ۱۳۸۹. ارزیابی مدل های زهکشی SWAP **و** DRAINMOD به منظور تعیین عمق و فاصله بهینه زهکش ها بر اساس بیش‌ترین عملکرد محصول و کم‌ترین مقدار آب خروجی. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۳:۴. ۳۸۶-۳۷۵.

شمسایی،م. امیر بیکی،م.ع. ۱۳۸۳ .مدیریت بهر برداری آب های زیرزمینی یزد با استفاده از مدل ریاضی. اولین کنفرانس سالانه مدیریت منابع آب ایران. دانشکده فنی دانشگاه تهران. ۱۲ صفحه.

منصوری،ح. مصطفی زاده،ب. ۱۳۸۵ . راهنمای نصب و اجرای مدل SWAP . اولین همایش منطقه‌ای بهره‌برداری بهینه از منابع آب حوضه‌های کارون و زاینده‌رود. دانشگاه شهرکرد. ۸ صفحه.

میرعباسی نجف آبادی، ر و رهنما،م.ب. ۱۳۸۶. شبیه‌سازی آبخوان دشت سیرجان با استفاده از مدل Modflow و بررسی اثرات احداث سد تنگوئیه بر آن. مجله پژوهش آب ایران. ۱(۱): ۹-۱.

Fouss,J.L., Bengston,R.L., Carter,C.E. 1987. Simulation subsurface drainage in the lower Mississippi Valley with DRAINMOD. Transactions of American Society Agricultural Engineers. 30, 1679–1688.

Noshadi,M., Parvizi,H., Sepaskhah,A.R. 2012. Evaluation of different methods for measuring field saturated hydraulic conductivity under high and low water table. Vadose Zone Journal. 11, 1-9.

Osman,Y.Z and Bruen,M.P. 2002. Modeling stream-aquifer seepage in an alluvial aquifer: An improved loosing- stream package for MODFLOW. Journal of Hydrology. 264. 69-86.

Rodriguez,L.B., Cello,P.A., Vionnet,C.A and Goodrich,D. 2008. Fully conservative coupling of HEC-RAS with MODFLOW to simulate stream-aquifer interactions in a drainage basin. Journal of Hydrology. 353.129-142.

Skaggs,R.W. 1978. A water management model for shallow water table soils. Technical Report No.134 of the Water Resources Research Institute of the University of North Carolina. North Carolina State University. Raleigh, NC.

Skaggs,R.W. 1980. Methods for design and evaluation of drainage water management systems for soils with high water tables. Drainmod reference report USDA-SCS. South National Technical Center. Fort Worth. TX. USA. 130 pp.

Todd,W.R., Kenneth,R.B. 2001. Delineation of capture zones for municipal wells in fractured dolomite. Sturgeon Bay Wisconsin. USA. Hydrogeology Journal :9. 432–450.

Yang,X. 2008. Evaluation and application of Drainmod in an Australian sugarcane field. Journal of Agricultural Water Management .95. 439- 446.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 3, Vol. 8, Jul-Agu. 2014, p. 638-653

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۳، جلد۸، مرداد - شهریور ۱۳۹۳، ص. ۶۵۳-۶۳۸

# Comparison of Drainmod (6) and Modflow (PMWIN) models in estimation of water table fluctuations in land drainage

**M. Noshadi[1]*, R. Ghahremani[2], A.R. Sepaskhah[3]**

Recived: Nov. 16, 2014 Accepted: Sep. 17, 2014

## Abstract

In recent decades considerable progress has been made in using computer models of groundwater as a cheap and quick way for investigating the movement, balance and management of groundwater resources. In this research PMWIN and Drainmod (6) models in drainage system were evaluated and compared for two regions, Salami and Kooshkak. The results showed that Drainmod (6) model is suitable for simulation of water table fluctuations in steady state conditions in Salami (rain and irrigation periods) and Kooshkak research station (rainy season) with NRMSE 0.17 and 0.14, respectively, and agreement index (d) of 0.94 and 0.92, respectively, which are very good predictions. But the prediction of water table fluctuation by Drainmod(6) model in Kooshkak was not accurate because of large deviation of field situation from steady state condition. The results showed that the difference between observed and simulated water table depths by PMWIN model is high in both regions with NRMSE between 0.16 and 0.43 in Salami and 0.18 and 0.35 in Kooshkak. The agreement index (d) was between 0.37 and 0.56 in Kooshkak and 0.51 and 0.93 in Salami. Therefore, the PMWIN model did not show acceptable accuracy and is not suitable in drainage projects in the study areas. But, the Drainmod(6) model showed more suitable prediction of water table fluctuations in drained area than PMWIN.

**Key words:** Drainage systems, Drainmod (6) model, Evaluation, PMWIN model, Water table.

1- Associate, Water Engineering Department, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran
2- MSc Student of Irrigation and Drainage, Water Engineering Department, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran
3- Professor, Water Engineering Department, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran
(*-Corresponding Author Email:noshadi@shirazu.ac.ir)