نشریه حفاظت منابع آب و خاک، سال ششم، شماره دوم، زمستان ۱۳۹۵

ISSN 2251-7480

مدیریت بهره برداری از چاه‌های سطحی کشاورزی در اراضی شالیزاری

حمیده نوری [۱*]، سارا پشنک پور [۲]، عبدالمجید لیاقت [۳]، آرزو نازی قمشلو [۱] و محمدرضا یزدانی [٤]

۱*) استادیار؛ گروه مهندسی آب؛ پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران؛ البرز؛ ایران

*نویسنده مسئول مکاتبات: hnoory@ut.ac.ir

۲) دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی؛ پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران؛ البرز؛ ایران

۳) استاد؛ گروه مهندسی آب؛ پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران؛ البرز؛ ایران

٤) استادیار پژوهشی؛ مؤسسه تحقیقات برنج کشور؛ سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی؛ گیلان؛ ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹٤/۱۱/۱٤ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۸/۰۲

چکیده

چاه‌های سطحی کشاورزی به عنوان منبع تامین آب آبیاری و مدیریت مناسب آنها برای تامین نیاز آبیاری اراضی شالیزاری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند. در این راستا تحقیقی با هدف توسعه مدل شبیه‌سازی بهره‌برداری از چاه‌های سطحی انجام گرفت. رویکرد این مدل بر حداکثر استفاده از آب‌های محلی موجود (باران، چاه سطحی، آبندان، ...) است. در مدل ارائه شده ابتدا بر اساس داده‌های ورودی و معادلات شبیه‌سازی، تبخیرتعرق گیاه، نیاز، دور و حجم آبیاری مورد نیاز، بار آبی در چاه سطحی و خاک به صورت روزانه محاسبه می‌شود. سپس با استفاده از برنامه آبیاری بدست آمده و محدودیت‌های برداشت از چاه سطحی (حداقل بار آبی مجاز در چاه)، روزهای آبگیری از چاه سطحی، دبی پمپاژ، مدت زمان پمپاژ، ارتفاع غرقابی درمزرعه و مقدار رواناب محاسبه می‌شوند. همچنین شبیه‌سازی نوسانات سطح آب زیرزمینی در شرایط غیراشباع در خارج از فصل زراعی برنج، توسط مدل HYDRUS-1D صورت گرفت. طبق نتایج بدست آمده از اجرای مدل در اراضی شالیزاری موسسه تحقیقات برنج کشور در رشت برای سال آبی نرمال، از ۱۰ نوبت آبیاری مورد نیاز، شش نوبت آن توسط چاه سطحی و چهار نوبت توسط کانال تامین شده است. بر اساس نتایج بدست آمده در اراضی شالیزاری مورد مطالعه، سطح آب زیرزمینی کم‌عمق در خارج از فصل زراعی برنج مجددا توسط بارندگی تغذیه گردیده است و از عمق ۴/۸۵ متری به عمق ۱/۸۲ متری صعود کرده است. بنابراین بهره‌برداری از چاه‌های سطحی در طول فصل زراعی برنج با رعایت حداقل بار آبی مجاز باعث افت محسوس آب زیرزمینی و ناپایداری نمی‌گردد.

کلید واژه‌ها: آب برگشتی؛ آب زیرزمینی کم‌عمق؛ مدل شبیه‌سازی؛ HYDRUS-1D

مقدمه

وسعت شالیزارهای استان گیلان۲۳۰ هزار هکتار و تعداد شاربین دارای پیمان آب زراعی۲۷۷ هزار نفر است، بنابراین از آنجایی که بیش از نیمی از وسعت دشت جلگه‌ای استان، شالیزار و بیش از نیمی از خانوارهای استان گیلان با کشت محصول استراتژیک برنج امرار معاش می‌کنند، می‌توان به ابعاد گسترده و پیامد ناشی از بحران کم‌آبی و خشکسالی و اثر مستقیم آن بر اقتصاد این استان پی برد. بزرگترین منبع تامین‌کننده آب کشاورزی در استان گیلان سد سفیدرود است. امروزه به دلیل کاهش حجم ذخیره‌سازی سد مخزنی سفیدرود بر اثر انباشت رسوبات و کاهش آب ورودی به مخزن سد، آب سد به تنهایی

جوابگوی نیاز بخش کشاورزی نیست. علاوه بر این، توزیع مکانی ناهماهنگ نزولات جوّی و جریانات سطحی در طول سال و نقش مهم آب در کشاورزی منطقه، ضرورت مدیریت بهره‌برداری از منابع آب، اعم از سطحی، زیرزمینی و ریزش‌های جوّی را ایجاب می‌کند (آزرمسا، ۱۳۷۹).

یکی از روش‌های مدیریت آب پایدار، استفاده از منابع آبی کوچک و محلی مانند چاه‌های سطحی و آب‌بندان‌ها است که در سراسر مناطق شمالی ایران از زمان‌های گذشته تا به امروز مرسوم بوده است. در استان گیلان به علت شرایط اقلیمی و وجود آب زیرزمینی کم‌عمق، از گذشته تاکنون کشاورزان از چاه‌های سطحی برای مصارف کشاورزی و شرب و غیره استفاده کرده‌اند. بر این اساس، در سرتاسر استان چاه‌هایی با عمق و قدمت مختلف موجود است. در اراضی شالیزاری به علت غرقاب نگه داشتن زمین، بخشی از آب آبیاری از طریق نفوذ عمقی از دسترس گیاه خارج شده و وارد آب زیرزمینی کم عمق می‌گردد. در واقع آب نفوذ عمقی یافته‌ی حاصل از آبیاری‌های غرقابی زمین و آب نفوذی از بارندگی‌ها و جریانات زیر سطحی دراراضی شالیزاری، به سمت چاه‌های سطحی جریان پیدا کرده و ذخیره می‌شود و با پمپاژ آن می‌توان از این آب برای غرقاب‌سازی مجدد زمین استفاده کرد. بنابراین، چاه‌های سطحی به عنوان یک منبع تامین آب قابل اعتماد و قابل دسترس، قابلیت ذخیره سازی آب باران و آب‌های برگشتی حاصل از آب آبیاری را دارا هستند (پشنک پور، ۱۳۹٤).

Boldt و همکاران (۱۹۹۹) دو مدل رشد محصول با آبیاری جویچه‌ای را جهت تخمین عملکرد محصول، وضعیت زهکشی شبکه، جریان بازگشتی و آب مصرفی توسعه دادند. Ito و همکاران (۲۰۰۰) یک روش عددی جهت تخمین جریان آب بازگشتی در اراضی شالیزاری به کمک مدلسازی رگرسیون غیرخطی پیشنهاد دادند. Nakagiri و همکاران (۲۰۰۰)، مدل مخزن پیچیده در مقیاس حوضه جهت کمّی‌سازی مقدار جریان بازگشتی در اراضی شالیزاری بکار بردند. Liu و همکاران (۲۰۰٤) مدل سه بعدی را به منظور برآورد جریان برگشتی زیرسطحی و تغذیه آب زیرزمینی در اراضی پلکانی در شمال تایوان توسعه دادند. Dewandel و همکاران (۲۰۰۸) روشی موثر، سودمند و دارای صرفه اقتصادی را جهت ارزیابی ضریب جریان بازگشتی (نسبت جریان بازگشتی آبیاری به جریان پمپاژ) معرفی کردند. این روش بر اساس بررسی داده‌های پایه و اطلاعات هواشناسی و استفاده از یک مدل هیدرولیکی ساده که روش بیلان آبی را با تئوری جریان (در حالت اشباع و غیر اشباع) ترکیب می‌کند، ارائه نمودند. روش پیشنهادی دارای تخمین نسبتاً خوب از ضریب جریان بازگشتی آبیاری در مقیاس فصلی و حوضه‌ای بود. مقدار ضریب جریان بازگشتی آبیاری برای برنج در فصل پائیز و تابستان به ترتیب۸±۵۱ و ٤±٤۸ درصد و برای سبزیجات، ۱۱±۲٦ و ٤±۲٤ درصد محاسبه گردید. بررسی مطالعات انجام شده نشان داد که مقدار جریان بازگشتی در اراضی شالیزاری مقدار قابل توجهی بوده است. لذا می‌توان با برنامه‌ریزی مناسب و هدفمند، از این جریان مجدداً برای آبیاری اراضی استفاده نمود و از هرز رفتن جریان آب و پیوستن به زه‌آب‌ها و کاهش کیفیت آب جلوگیری نمود. یکی دیگر از مسائل مهم در زمینه چاه‌های سطحی کشاورزی، میزان نفوذ عمقی در اراضی شالیزاری است. رضوی‌پور و کومله (۱۳۷۸) در شالیزارهای مناطق مختلف استان گیلان به اندازه‌گیری‌های نفوذ عمقی خاک به روش سریع ژاپنی پرداختند. نتیجه بدست آمده نشان داد که میزان رس خاک اراضی شالیزاری در تخمین نفوذ عمقی تاثیر زیادی دارد و بر این اساس وجود چهار کلاس مجزای بافتی را از نظر مقدار رس مشخص نمودند.

هدف اصلی این تحقیق ارائه یک مدل شبیه‌سازی ساده و کاربردی جهت بهره‌برداری از چاه‌های سطحی کشاورزی در اراضی شالیزاری با در نظر گرفتن ملاحظات تامین آب مورد نیاز گیاه و بیلان آبی مزرعه است. هدف دیگر این تحقیق بررسی پایداری بهره‌برداری از چاه‌های سطحی و

امکان استفاده مجدد برای آبیاری در سال زراعی بعد است. مدل توسعه داده شده برای بهره‌برداری از چاه سطحی در اراضی شالیزاری واقع در موسسه تحقیقات برنج کشور در رشت اجرا گردید.

مواد و روش

ساختار مدل شبیه‌سازی

برای محاسبه تبخیرتعرق مرجع (ET_0) از دو روش فائو پنمن مانتیس ارائه شده توسط Allen (۱۹۹۸) و تشت تبخیر استفاده شده است و با ضرب کردن در ضریب گیاهی برنج (k_c)، مقادیر تبخیرتعرق گیاهی (ET_c) محاسبه گردید (رابطه ۱). در صورتی که کاربر از ضرایب فائو استفاده کند این ضرایب برای منطقه مورد نظر توسط مدل اصلاح می‌گردد. ضریب تشت تبخیر (k_{pan}) براساس معادله اشنایدر (رابطه‌ی ۲ و ۳) محاسبه گردید.

$$ET_C = k_C \times ET_0 \quad (۱)$$

$$ET_0 = k_{pan} \times E_{pan} \quad (۲)$$

$$k_{pan} = 0.5321 - (3.21\times10^{-4}\times U_2) + (0.0249\times \ln(F)) + (0.0025\times Rh) \quad (۳)$$

E_{pan} ارتفاع تبخیر از تشت تبخیر، U_2 سرعت باد در ارتفاع دو متری، F سبزینگی و Rh رطوبت نسبی است. روز اول محاسباتی مدل ارائه شده معادل با شروع فصل زراعی برنج است و محاسبات به صورت روزانه برای یک فصل زراعی (روز ۲۱۵ ام تا ۳۲۵ ام از ابتدای سال آبی (اول مهرماه)) انجام می‌شود. برای تعیین مقدار رطوبت اولیه در این روز دو گزینه در مدل لحاظ شده است. گزینه اول مقداری است که کاربر به عنوان داده ورودی به مدل معرفی می‌کند و گزینه دوم پیش‌فرض مدل است که برابر ظرفیت زراعی فرض شده است.

اولین آبیاری در کشت برنج به منظور آماده‌سازی زمین برای گل‌خرابی و شخم انجام می‌شود. در این مرحله خاک دارای رطوبت اولیه‌ای است که در انتها قرار است رطوبت خاک برابر با رطوبت اشباع گردد و در تمام مدت دوره‌ی کشت، اشباع باقی بماند. بعلاوه، پس از انجام گل‌خرابی و اشباع‌سازی خاک تا ورود نشاء به مزرعه، به اندازه‌ی Hh_1 میلی‌متر آب بر روی زمین قرار داشته باشد. بنابراین در مدل ارائه شده در این تحقیق مقدار آبیاری اول برابر با مجموع آب مورد نیاز برای اشباع کردن خاک، Hh_1 میلی‌متر ارتفاع آب ثابت روی سطح خاک و آب مورد نیاز برای تامین نیاز تبخیر از سطح غرقابی و نشت از لایه زیرین کفه سخت در فاصله زمانی بین آبیاری اول و دوم، در نظر گرفته شده است. چنانچه مقدار رطوبت اولیه توسط کاربر در اختیار نباشد، رطوبت اولیه خاک به صورت پیش‌فرض برابر با رطوبت ظرفیت زراعی خاک لحاظ می‌گردد. آبیاری بعدی در اولین روز انتقال نشاء صورت می‌گیرد. در مدل فرض شده است که آبیاری دوم به فاصله کوتاهی پس از آبیاری اول انجام می‌شود و رطوبت خاک در حد اشباع باقی مانده است. در زمان آبیاری دوم و آبیاری‌های بعدی خاک در وضعیت اشباع است و مقدار آبیاری خالص معادل با ارتفاع آب ثابت مورد نیاز روی سطح خاک (D, mm) لحاظ گردیده است. برنامه‌ریزی آبیاری در مدل بر اساس عمق ثابت (D) و دور آبیاری متغیر در نظر گرفته شده است. ارتفاع پشته‌ها در اراضی بیشتر از D میلی‌متر است و اراضی توانایی نگهداری آب بیشتری را دارند. حداکثر ظرفیت نگهداری آب در اراضی (HH, mm) به منظور جلوگیری از سرریز آب از پشته‌ها در زمان بارندگی در مدل لحاظ شده است. نیاز آبیاری خالص در هر روز ($REQI$, mm) از رابطه ٤ محاسبه می‌گردد:

$$REQI_t = ETc_t + S_t - Rain_t \quad (٤)$$

در رابطه ٤، S میزان نشت از لایه زیرین کفه سخت در روز t ام ($mm.day^{-1}$) و $Rain$ باران روزانه (mm) در روز t - ام است.

بر اساس نتایج مطالعه رضوی‌پور و کومله (۱۳۷۸) برروی خاک‌های مختلف در پهنه شبکه آبیاری سفیدرود، نفوذپذیری خاک‌ها بر اساس درصد رس به چهار کلاس تقسیم می گردد. در مدل ارائه شده، نشت از لایه‌ی زیرین کفه سخت برابر با میزان نفوذ عمقی در نظر گرفته شد و

جدول ۱. مقادیر نشت از لایه‌ی زیرین کفه سخت در نظر گرفته شده در مدل شبیه‌سازی (رضوی‌پور و کومله ، ۱۳۷۸)

پارامترهای مورد بررسی	تقسیم بندی مقدار نشت از لایه‌ی زیرین کفه سخت			
	بسیار زیاد	زیاد	متوسط	کم
مقدار نشت(میلی متر در روز)	۷/۳	۵/٤	۳/۲	۱/۵
مقدار رس (درصد)	۸≤ رس	۱٦≤ رس <۸	٤٤≤ رس <۱٦	٤٤< رس

مقادیر آن برای خاکهای مختلف در شبکه سفیدرود در جدول ۱ ارائه شده است.

نیاز آبیاری خالص تجمعی($CREQI$, mm) در روز tام بر اساس رابطه‌ی ۵ محاسبه می گردد. معیار تعیین دور متغیر آبیاری و روزهای آبیاری، وجود ارتفاع غرقابی (ww_t, mm) کمتر از پنج میلی‌متر بر روی سطح خاک است. یعنی زمانی که خاک اشباع است و ww_t کمتر از پنج میلی‌متر بر روی سطح آن وجود دارد، آبیاری صورت می‌گیرد و آب آبیاری مورد نیاز به طور کامل تامین می‌گردد. ww_t در مزرعه در هر روز براساس رابطه‌ی ٦ محاسبه می گردد. با مشخص شدن روزهای آبیاری، برنامه زمانی آبیاری ($Iday$) و دور متغیر آبیاری بدست می‌آید.

$$CREQI_t = CREQI_t + CREQI_{t-1} \qquad (۵)$$

$$ww_t = ww_{t-1} - CREQI_t + D_t \qquad (٦)$$

در رابطه ٦، D_t (mm) عمق آبیاری خالص در روز t ام در صورت انجام آبیاری (برقرار بودن معیار زمان آبیاری) است. زمانی که آبیاری کامل صورت گیرد، $CREQI$ برابر صفر لحاظ می گردد. در روزهایی که بارندگی بیشتر از مجموع تبخیرتعرق گیاهی و نشت از لایه زیرین کفه سخت باشد، مقدار $CREQI$ *منفی* می‌شود. همانطور که بیان گردید حداکثر عمق آبی که در مزرعه قابل نگهداری است، برابر با ارتفاع خروجی بر روی پشته‌ها به مقدار HH است. اگر ww_t بیشتر از مقدار HH باشد، آب مازاد سرریز شده و از دسترس مزرعه خارج می‌شود و در مزرعه ww_t برابر با HH خواهد بود (رابطه‌ی ۷).

$$\begin{aligned} &if \quad ww_t > HH \\ &then \quad Runoff_t = ww_t - HH \\ &\qquad ww_t \le HH \\ &then \quad Runoff_t = 0 \end{aligned} \qquad (۷)$$

حجم آب مورد نیاز برای هر آبیاری ($\forall_{irrigation}$) از عمق آبیاری ناخالص (I, m) و مساحت مزرعه تحت آبیاری (A_f, m^2) محاسبه می گردد (رابطه ۸). عمق آبیاری ناخالص که در هر بار آبیاری، باید به زمین داده شود براساس رابطه‌ی ۹ محاسبه می گردد.

$$\forall_{irrigation} = I \times A_f \qquad (۸)$$

$$I = \frac{D}{E_a \times E_d} \qquad (۹)$$

در اراضی شالیزاری چاه‌های سطحی ممکن است داخل یا خارج از مزرعه قرار داشته باشد. در صورتی که چاه داخل مزرعه باشد، آب به صورت مستقیم در مزرعه مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ بنابراین راندمان توزیع در رابطه‌ی ۹حذف می گردد. در صورتی که چاه در خارج از مزرعه باشد، آب حاصل از پمپاژ چاه وارد کانال شده و به مزرعه منتقل می‌گردد و مقدار راندمان توزیع در رابطه ۹ لحاظ می‌گردد. مساحت تحت تاثیر هر چاه (A_{well})، برابر با مساحت دایره‌ای با شعاعی برابر شعاع تاثیر چاه (R_o) است (رابطه۱۰).

$$A_{well} = \pi \times R_0^2 \qquad (۱۰)$$

در مدل ارائه شده در این تحقیق، فرض شده است که خیز سطح آب زیرزمینی کم‌عمق تنها تحت تاثیر نشت عمقی ناشی از آبیاری و بارندگی است و برآیند نشت

جانبی برابر با صفر در نظر گرفته شده است. با توجه به اینکه اکثر اراضی شالیزاری در دشت با شیب کم و در مجاورت یکدیگر با شرایط غرقابی مشابه قرار دارند فرض در نظر گرفته در مدل منطقی است (Dewandel et al., 2008). علاوه بر این تعیین مقدار نشت جانبی ورودی و خروجی در سفره‌های آب زیرزمینی بسیار دشوار و همواره با خطای قابل ملاحظه‌ای همراه است. خیز سطح آب زیرزمینی کم‌عمق بر اثر تغذیه ($\Delta h_{recharge}$, m)، بر اساس رابطه‌ی ۱۱ و ۱۲ (علیزاده، ۱۳۸۸) محاسبه شده است. در شرایطی که A_f از A_{well} کوچکتر باشد، خیز سطح ایستابی از رابطه‌ی ۱۱و در شرایطی که A_f از A_{well} بزرگتر باشد، خیز سطح ایستابی از معادله‌ی ۱۲ محاسبه می‌گردد.

$$\Delta h_{recharge} = \frac{S \times T_{recharge} \times A_f}{A_{well} \times Sy} \qquad (۱۱)$$

$$\Delta h_{recharge} = \frac{S \times T_{recharge}}{Sy} \qquad (۱۲)$$

در مدل ارائه شده محاسبه افت سطح ایستابی بر اثر پمپاژ ($\Delta h_{discharge}$, m) بر اساس رابطه‌ی ۱۳ (علیزاده، ۱۳۸۸) محاسبه می‌گردد.

$$\Delta h_{discharge} = \frac{\forall_{irrigation}}{A \times Sy} = \frac{I \times A_f}{A_{well} \times Sy} \qquad (۱۳)$$

در صورت انجام پمپاژ، سطح ایستابی در خاک و سطح آب در چاه به اندازه‌ی $\Delta h_{discharge}$ افت می‌یابد. در مدل ارائه شده در این تحقیق، فرض شده است منحنی افت چاه به مقدار ثابت $\Delta h_{discharge}$و به طور یکسان افت یابد؛ یعنی میزان اختلاف بین بار آبی در خاک و بار آبی در چاه ثابت است. علاوه بر این، مدل مقدار افت سطح ایستابی در اثر پمپاژ در هر روز را بصورت کامل در همان روز اعمال می‌کند. بار آبی در خاک (h) و بار آبی در چاه (H_w) در هر روز، از رابطه ۱٤و ۱۵ محاسبه شده است.

$$h_t = h_{t-1} - \Delta h_{discharge} + \Delta h_{recharge} \qquad (۱٤)$$

$$Hw_t = Hw_{t-1} - \Delta h_{discharge} + \Delta h_{recharge} \qquad (۱۵)$$

مدل برای هدایت هیدرولیکی اشباع لایه زیرین کفه سخت (K_S)، دو گزینه در اختیار کاربر قرار می‌دهد. در گزینه‌ی اول کاربر به صورت مستقیم هدایت هیدرولیکی اشباع را وارد می‌کند (جدول ۱) و در گزینه‌ی دوم با استفاده از داده‌های ورودی ضریب قابلیت انتقال آبخوان (T) و ضخامت آبخوان (b) و رابطه‌ی ۱٦، K_S را محاسبه میگردد. بر اساسH_w،h و K_S، دبی قابل پمپاژ (Q_{pump}, $m^3.hr^{-1}$) در هر روز بر اساس معادله‌ی دوپویی (Chenaf et al., 2007) محاسبه می گردد (رابطه ۱۷).

$$k_s = \frac{T}{b \times 24} \qquad (۱٦)$$

$$Q_{pump} = \pi \times k_s \times \frac{(h_t^2 - Hw_t^2)}{\ln \frac{R_0}{R_W}} \qquad (۱۷)$$

در مدل ارائه شده، حجم پمپاژ برابر با حجم آبیاری در نظر گرفته شده است و مدت زمان پمپاژ ($T_{pumping}$,hr) از رابطه ۱۹ محاسبه می گردد.

$$\forall_{pumping} = \forall_{irrigation} \qquad (۱۸)$$

$$T_{pumping} = \frac{\forall_{irrigation}}{Q_{pump}} \qquad (۱۹)$$

حداقل بار آبی مجاز آب در چاه سطحی(H_{min}) بر اساس مقادیر افت مجاز در لوله مکش (H_s) و عمق چاه سطحی (D_{well}) محاسبه می‌شود (رابطه۲۰).

$$H_{\min} = D_{well} - H_s \qquad (۲۰)$$

در روز t ام، که بار آبی در چاه سطحی کمتر از حداقل بار آبی مجاز در چاه سطحی باشد، آخرین آبیاری انجام شده (قبل از روزt ام)، به عنوان آخرین آبیاری با چاه سطحی تعیین می‌شود.

$$if \qquad H_t \le H_{\min} \qquad (۲۱)$$

پس از تعیین آخرین آبیاری با چاه سطحی، طبق برنامه زمانی آبیاری ($Iday$) تعیین شده توسط مدل، آبیاری‌های بعدی از کانال تامین می‌گردد. در واقع به علت پایین افتادن سطح آب در چاه سطحی بیش از حد مجاز، چاه سطحی دیگر قادر به تامین آب نخواهد بود. در این

دیدگاه برنامه زمانی تحویل آب از کانال توسط مدل به متولیان کانال تحمیل می‌گردد. در تمام آبیاری‌هایی که توسط کانال انجام می شود، بر اساس ($v_{irrigation}$) و دبی کانال (Q_{canal})، مدت زمان برداشت آب از کانال (T_{canal})، محاسبه شده است (رابطه ۲۲).

$$T_{canal} = \frac{\forall_{irrigation}}{Q_{canal}} \qquad (۲۲)$$

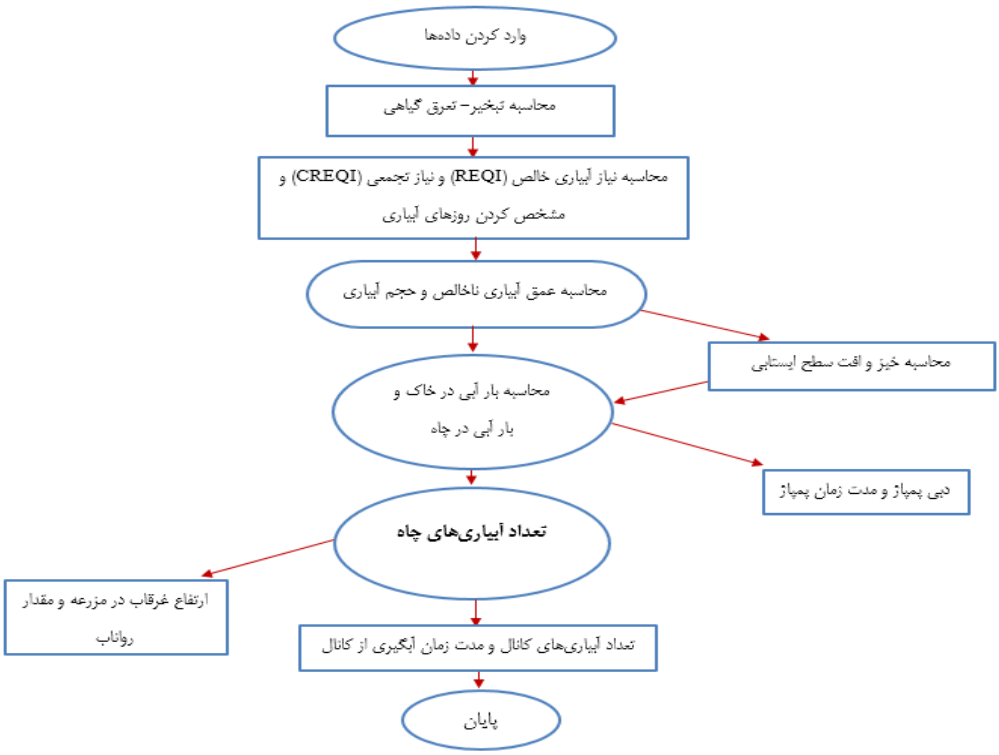
پس از آخرین آبیاری با چاه سطحی، در اثر تغذیه حاصل از آبیاری و بارندگی، سطح ایستابی مجددا خیز می‌یابد. در مدل امکان برداشت مجدد آب از چاه سطحی به صورت مستمرکنترل می‌گردد. بر اساس رابطه ۲۳ اگر H_w برابر یا بیشتر از مجموع $\Delta h_{recharge}$ و H_{min} گردد، چاه سطحی مجدداً قادر به انجام پمپاژ و آبدهی خواهد بود. در غیر این صورت، برداشت آب از کانال صورت می‌گیرد (رابطه ۲٤).

$$if \quad H_i \geq (H_{\min} + \Delta h_{recharge}) \quad then \quad \text{آبیاری مجدد از چاه} \qquad (۲۳)$$

$$if \quad H_i < (H_{\min} + \Delta h_{recharge}) \quad then \quad \text{آبیاری با کانال} \qquad (۲٤)$$

فلوچارت مدل بهره‌برداری از چاه‌های سطحی کشاورزی در اراضی شالیزاری در شکل ۱ ارائه شده است. کدنویسی مدل در محیط برنامه‌نویسی MATLAB نوشته شده است.

داده‌های ورودی مورد نیاز که توسط مدل فراخوانی می شود، در جدول ۲ ارائه شده است.



شکل ۱. فلوچارت مدل بهره‌برداری از چاه‌های سطحی در اراضی شالیزاری

جدول ۲. داده‌های ورودی موردنیاز در مدل ارائه شده در این تحقیق

داده	پارامتر	شاخص	یکا	داده	پارامتر	شاخص	یکا
خاک	عمق پروفیل خاک	Dr	میلی‌متر	چاه سطحی	عمق چاه سطحی	D_{well}	متر
	رطوبت ظرفیت مزرعه و اشباع	SATوFc	-		عمق اولیه سطح آب در چاه سطحی	Sw	متر
	نشت از لایه ی زیرین کفه سخت	S	میلی متر در روز		عمق سطح ایستابی درفاصله شعاع تاثیر	Sr	متر
	هدایت هیدرولیکی اشباع	Ks	متر بر ثانیه		شعاع تاثیر چاه	R_0	متر
برنامه آبیاری	تاریخ شروع کشت	$DOYc$	شماره روززابتدای سال آبی		شعاع چاه	Rw	متر
	تاریخ برداشت محصول	$DOYh$	شماره روززابتدای سال آبی		افت مجاز در لوله‌ی مکش	H_s	متر
	تاریخ شروع آبیاری	$DOYi$	شماره روز از ابتدای سال آبی	آبخوان سطحی	آبدهی ویژه	Sy	-
	طول فصل آبیاری	Di	روز		ضخامت آبخوان	b	متر
	راندمان کاربرد و توزیع آبیاری	EdوEa	-		ضریب انتقال آبخوان	T	مترمربع بر روز
	دبی کانال	Q_{canal}	مترمکعب بر ساعت		داده‌های هواشناسی برای محاسبه تبخیر تعرق مرجع	-	-
	مساحت مزرعه تحت آبیاری	A_f	مترمربع	هواشناسی	بارندگی	$Rain$	میلی متر
	ارتفاع سرریز برای رواناب درشالیزار	HH	متر		تبخیر از تشت	E_{pan}	میلی متر
	ارتفاع غرقابی مورد نیاز گلخرابی	$Hh1$	متر		سرعت باد	U_2	متر بر ثانیه
	عمق آبیاری خالص	D	میلی متر		فاصله سبزینگی	F	متر
	ضریب گیاهی برنج	Kc	-		رطوبت نسبی	Rh	درصد

احیای مجدد آب زیرزمینی کم‌عمق پس از فصل زراعی برنج

همواره یکی از نگرانی‌ها در برداشت و بهره‌برداری از چاه‌های سطحی، افت سطح آب زیرزمینی کم‌عمق و در نتیجه ناپایداری در بهره‌برداری بلندمدت از آنها است. در این قسمت به بررسی احیای مجدد آب‌های زیرزمینی پس از برداشت برنج و امکان استفاده مجدد از چاه برای آبیاری در سال زراعی بعد پرداخته شده است. در دوره‌ی فصل کشت برنج به علت غرقاب بودن اراضی، خاک اشباع بوده و بر اساس معادلات ارائه شده در بخش قبل، موقعیت سطح آب زیرزمینی کم‌عمق (بار آبی در خاک) در طول

دوره‌ی کشت برنج بدست می‌آید. از آنجایی که در خارج از فصل زراعی برنج، خاک همواره اشباع باقی نمی‌ماند، بنابراین برای محاسبه نوسانات سطح آب زیرزمینی کم‌عمق نیاز به شبیه‌سازی جریان آب در حالت‌های غیراشباع و اشباع است. در این تحقیق، برای محاسبه نوسانات سطح آب زیرزمینی کم‌عمق پس از برداشت برنج تا سال زراعی بعد (اواسط مرداد تا اواسط فروردین سال بعد)، از مدل HYDRUS-1D استفاده شده است.

در مدل HYDRUS-1D برای شبیه‌سازی جریان آب، ازحل عددی معادله ریچاردز طبق رابطه ۲۵ استفاده شده است (Simunek et al., 1999):

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial Z}\left[k\left(\frac{\partial \psi}{\partial Z} - 1\right)\right] \pm S \qquad (۲۵)$$

در رابطه ۲۵، θ درصد رطوبت حجمی K هدایت هیدرولیکی خاک، ψ افت فشار هیدرولیکی، S میزان جذب آب، t زمان یا طول دوره و z عمق است. در این مدل، تابع نگهداری آب در خاک، $\theta(\psi)$، با مدل وان‌گنوختن (۱۹۸۰) به صورت زیر تعریف شده است:

$$\theta(\psi) = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{\left(1 + |\alpha\psi|^{\lambda}\right)^{\frac{\lambda-1}{\lambda}}} \qquad \psi > 0$$
$$\theta(\psi) = \theta_s \qquad \psi \le 0 \qquad (۲۶)$$

این معادله با مدل معلم (۱۹۷۶) ترکیب شده و حاصل، تابع هدایت هیدرولیکی به صورت زیر است:

$$k(\psi) = k_s S_e^n \left[1 - \left(1 - S_e^{\frac{\lambda-1}{\lambda}}\right)\right]^2 \qquad (۲۷)$$

که در آن θ_s مقدار رطوبت اشباع بر حسب درصد، θ_r مقدار رطوبت باقیمانده بر حسب درصد، k_s هدایت هیدرولیکی اشباع متر بر روز، α عکس مقدار ورود هوا بدون بعد، λ شاخص توزیع اندازه منافذ بدون بعد، n پارامتر شکل منحنی بدون بعد و S_e مقدار رطوبت موثر بر حسب درصد که از رابطه ۲۸ محاسبه می‌گردد.

$$S_e = (\theta - \theta_s)/(\theta_s - \theta_r) \qquad (۲۸)$$

اجرای مدل

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق اراضی شالیزاری و چاه سطحی تحت بهره‌برداری در موسسه تحقیقات برنج کشور در رشت است. مشخصات فیزیکی و هیدرولیکی چاه سطحی مورد مطالعه در جدول ۳ ارائه شده است. در اراضی شالیزاری موسسه تحقیقات برنج،آب پس از پمپاژ از چاه‌های سطحی وارد کانال می‌شود و در مزرعه توزیع می‌گردد، بنابراین در اجرای مدل برای منطقه مورد مطالعه، راندمان توزیع و کاربرد لحاظ گردیده است. با استفاده از آمار بارندگی ایستگاه هواشناسی کشاورزی رشت و شاخص بارندگی استاندارد (*SPI*)، سال آبی ۸۰-۱۳۷۹ به عنوان سال نرمال انتخاب گردید. داده‌های ورودی مورد نیاز برای اجرای مدل (جدول ۱) در منطقه مورد مطالعه از منابع علمی معتبر مربوط به منطقه و سازمانهای مرتبط (موسسه تحقیقات برنج کشور در رشت و آب منطقه‌ای استان گیلان) جمع‌آوری گردید.

بر اساس گزارش‌های موسسه تحقیقات برنج رشت (۱۳۹۳)، برای راندمان‌های کاربرد و توزیع به ترتیب مقادیر ۶۳ و ۸۰ درصد در نظر گرفته شده است. ارتفاع پشته‌های اطراف کرت‌های شالیزاری مورد مطالعه (به مساحت یک هکتار) به طور میانگین ۱۵۰ میلی‌متر است و کشاورزان دریچه‌هایی در ارتفاع ۱۰۰ میلی‌متری روی پشته ایجاد می‌کنند تا در صورت بارندگی شدید، بتوانند آب را از آن خارج کنند. بنابراین، مقدار *HH* در اجرای مدل ۱۰۰ میلی‌متر در نظر گرفته شده است. عمق غرقابی مورد نیاز برای زمان آماده‌سازی (Hh_1) برابربا ۵ میلی‌متردرنظرگرفته شد. عمق آب آبیاری خالص در دوره رشد گیاه (D) ثابت و برابر۵۰ میلی‌متر در نظر گرفته شد (موسسه تحقیقات برنج رشت، ۱۳۹۳).

رقم برنج تحت کشت در اراضی شالیزاری مورد مطالعه، رقم زودرس هاشمی است و عمق توسعه ریشه برابر با ۲۰۰ میلی‌متر است. دوره رشد این رقم تقریبا ۱۱۰ روز بعد از کشت نشاء است.

جدول ۳. مشخصات چاه‌سطحی مورد مطالعه واقع در موسسه تحقیقات برنج رشت (موسسه تحقیقات برنج رشت، ۱۳۹۳)

پارامتر	مقدار	یکا
Dwell	۲۰	m
Sr	۲	m
Sw	۳	m
T	٤۰۰	$m^2.day^{-1}$
Sy	۰/۲۲	(–)
R0	۵۰	m
Rw	۰/۳	m
Hmin	۱٤/٦	m

زمان کاشت نشاء حدوداً ۱۵ اردیبهشت و آبیاری جهت آماده‌سازی اراضی حدوداً ۱۰ روز قبل از زمان کشت نشاء آغاز می‌گردد. همچنین طول دوره آبیاری، ۹۵ روز از زمان آماده‌سازی اراضی است. ضریب گیاهی برنج برای مراحل مختلف رشد که توسط سازمان فائو پیشنهاد شده است پس از اصلاح توسط مدل استفاده گردید (جدول٤).

خاک اراضی شالیزاری منطقه مورد مطالعه دارای نفوذپذیری عمقی متوسط ۳/۲ میلی‌متردر روز و ظرفیت اشباع ۰/٤۵ است (رضوی پور، ۱۳۸۷؛ موسسه تحقیقات برنج، ۱۳۹۳). رطوبت حجمی اولیه معادل با پیش‌فرض مدل و برابر با رطوبت حجمی ظرفیت زراعی در نظر گرفته شد (۰/۳۸). با توجه به آمار بلندمدت بارندگی در منطقه مورد مطالعه در ماه فروردین (میانگین ۲۰ ساله مجموع بارندگی در این ماه ۷٦/۱ میلیمتر است)، پیش‌فرض مدل برای رطوبت اولیه قابل قبول است.
مشخصات بافت خاک در اراضی شالیزاری مورد مطالعه در جدول ۵ ارائه شده است. عمق پروفیل خاک در مدل HYDRUS-1D براساس عمق چاه سطحی در نظر گرفته شده است. رطوبت اولیه زیرلایه‌ی اول تا سوم بر اساس رطوبت متناظر با رطوبت ظرفیت زراعی در خاک‌های سنگین از منحنی مشخصه‌ی خاک هر لایه بدست آمده است (موسسه تحقیقات برنج، ۱۳۹۳). به علت بارندگی پس از برداشت برنج در انتهای مرداد ماه ۱۳۸۰، رطوبت زیر لایه چهارم نزدیک به اشباع (۰/٤۵) در نظر گرفته شده است. مدت زمان اجرای مدل از انتهای فصل کشت برنج تا شروع فصل زراعی در سال بعد به مدت ۲۵۰ روز است. شرایط مرزی بالادست خارج از فصل کشت و بدون گیاه در نظر گرفته شده است و شرایط مرزی پایین دست بدون جریان (جریان صفر) در نظر گرفته شده است (جدول ۳).

مقادیر پارامترهای هیدرولیکی خاک مربوط به معادلات ون گنوختن (۱۹۸۰) و معلم (۱۹۷٦) براساس توابع انتقالی موجود در مدل HYDRUS-1D، با تعیین بافت خاک بدست آمده است (جدول ٦).

جدول ٤. ضریب گیاهی اصلاح شده برنج برای مراحل مختلف رشد (Allen, 1998)

گیاه	*Kc-in*	*Kc-mid*	*Kc-end*	ارتفاع گیاه (متر)
برنج	۱/۰۵	۱/۲	۰/۶-۰/۹	۱

جدول۵. افق خاک در اراضی شالیزاری موسسه تحقیقات برنج رشت (موسسه تحقیقات برنج رشت، ۱۳۹۳؛ دواتگر، ۱۳۸۹)

لایه	زیر لایه	ضخامت (سانتی‌متر)	بافت
لایه‌ی افقی سطحی	اول	۰-۱۵	سیلتی لوم
لایه‌ی افقی سطحی	دوم	۱۵-٤۵	سیلتی رسی
لایه‌ی سخت	سوم	٤۵-۸۰	رسی
لایه زیرین لایه سخت	چهارم	۸۰-۲۰۰۰	شنی

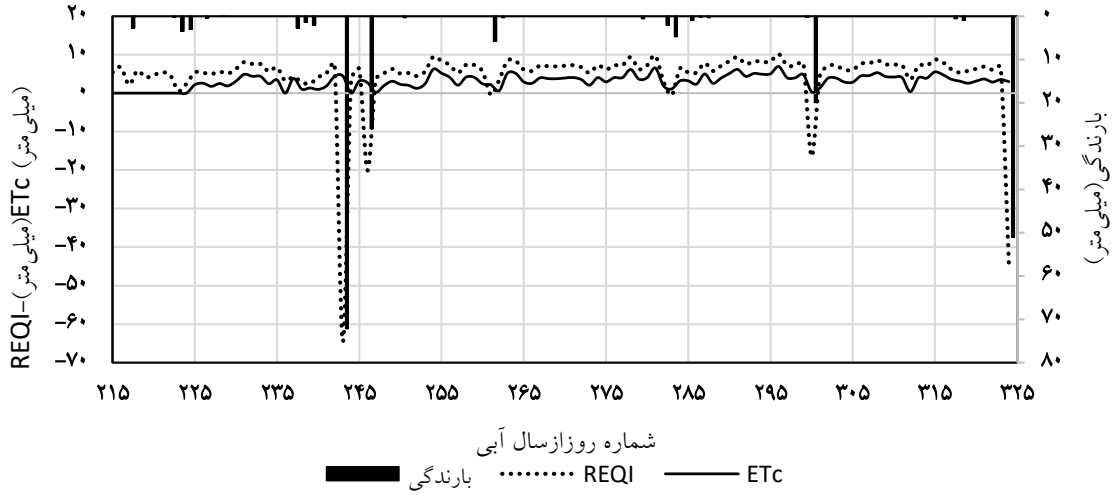
نتایج و بحث

مقدار کل بارندگی در سال آبی نرمال ۱٤٤۰/۷ میلی‌متر و در فصل کشت برنج ۲۰۳/٤ میلی‌متر بوده است. در شکل ۲ تغییرات تبخیرتعرق گیاهی، بارندگی و نیاز آبیاری خالص در فصل کشت ۱۱۰ روزه برنج نشان داده شده‌اند. در این شکل، محور افقی شماره روز از ابتدای سال آبی (اول مهر ماه) است.

همانطور که بیان گردید تعیین روزهای آبیاری، بر اساس ارتفاع غرقابی کمتر از ۵ میلی‌متر در مزرعه (درمحدوده‌ی ۵-۰/۵ میلی‌متر)صورت گرفته است. مقادیر نیاز تجمعی آبیاری و روزهای آبیاری در طول فصل زراعی در شکل ۳ ارائه شده است.برای دوره‌ی کشت برنج در این سال، ۱۰ نوبت آبیاری مورد نیاز محاسبه شده که یک نوبت آن جهت آماده‌سازی مزرعه است. عمق آب خالص مورد نیاز در آبیاری اول برای آماده‌سازی اراضی، دارای مقدار بیشتری نسبت به بقیه آبیاری‌ها است. مقدار عمق آب خالص مورد نیاز در آبیاری اول (روز ۲۱۵ ام)، برابر با مجموع مقدار آب مورد نیاز جهت اشباع سازی اراضی شالیزاری (۱٤ میلی‌متر)، Hh_1 (پنج میلی‌متر) و تامین نیاز تبخیر از سطح آب غرقابی و نشت از لایه زیرین کفه سخت در فاصله زمانی بین آبیاری اول و دوم است که در مجموع مقدار آب مورد نیاز برای آبیاری اول، ٦٦/٤۷ میلی‌متر بدست آمده است. آبیاری دوم ۱۰ روز بعد از آماده سازی زمین، در روز انتقال نشاء به مزرعه به مقدار خالص ۵۰ میلی‌متر انجام شده است. زمان آبیاری‌های بعدی با توجه به ارتفاع غرقابی در مزرعه مشخص شده است و فاصله بین آبیاری‌ها متغیر است(شکل ۳).

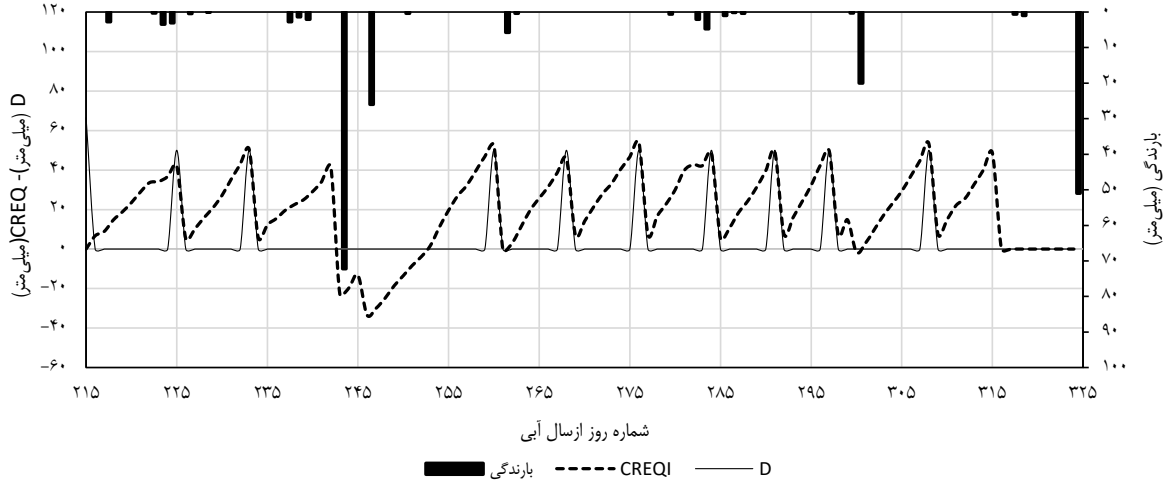
جدول٦. مقادیر پارامترهای هیدرولیکی تخمین زده شده توسط توابع انتقالی در مدل HYDRUS-1D

شماره لایه	شماره زیر لایه	بافت خاک	هدایت هیدرولیکی اشباع (متر بر روز)	ضریب n(-)	ضریب α (-)	رطوبت حجمی اشباع (درصد)	رطوبت حجمی باقیمانده (درصد)	رطوبت حجمی اولیه (درصد)
۱	۱	سیلتی لوم	۰/۱۰۸	۱/٤۱	۲	۰/٤۵	۰/۰٦۷	۰/۳۸
۱	۲	سیلتی رس	۰/۰۰٤۸	۱/۰۹	۰/۵	۰/٤۷	۰/۰۷	۰/۳۹
۲	۳	رسی	۰/۰٤۸	۱/۰۹	۰/۸	۰/۵۰	۰/۰٦۸	۰/٤۲
۳	٤	شن	۷/۱۲۸	۲/٦۸	۱٤/۵	۰/۳٤	۰/۰٤۵	۰/٤۵

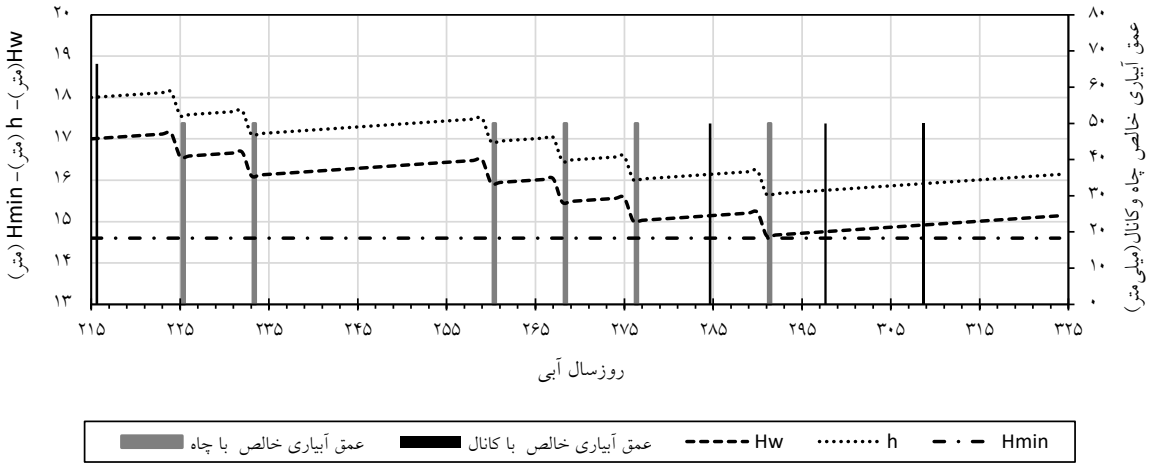


شکل۲. مقادیر تبخیرتعرق، بارندگی و نیاز آبیاری خالص در طول فصل زراعی

CREQI در روزهای بارندگی کاهش پیدا کرده است و پس از بارندگی مجدداً افزایش یافته است. با توجه به شکل ۳ در روزهای ۲۴۳ ام تا ۲۵۳ ام بارندگی زیادی وجود داشته و در مزرعه ذخیره شده است. در این مدت به علت بارندگی زیاد، *CREQI* مقادیر منفی را نشان داد. بار آبی در خاک و بار آبی در چاه سطحی تحت تاثیر تغذیه توسط بارندگی و آبیاری و افت حاصل از پمپاژ (در صورت آبیاری با چاه) به صورت روزانه در مدل محاسبه شده است. با مقایسه بار آبی روزانه در چاه سطحی با حداقل بار آبی مجاز، تعداد آبیاری‌های ممکن با چاه سطحی محاسبه شده است. طبق نتایج به دست آمده در این اجرا، H_{min} در چاه سطحی مورد مطالعه برابر ۱۴/۶ متر است و تا جایی که بار آبی از حداقل میزان بار آبی مجاز کمتر نشود، ادامه آبیاری‌ها از چاه صورت گرفته است. افت سطح ایستابی در تامین یک نوبت آبیاری ۰/۵۷ متر و خیز سطح ایستابی در اثر تغذیه ۰/۰۱۴ متر در روز بدست آمده است.



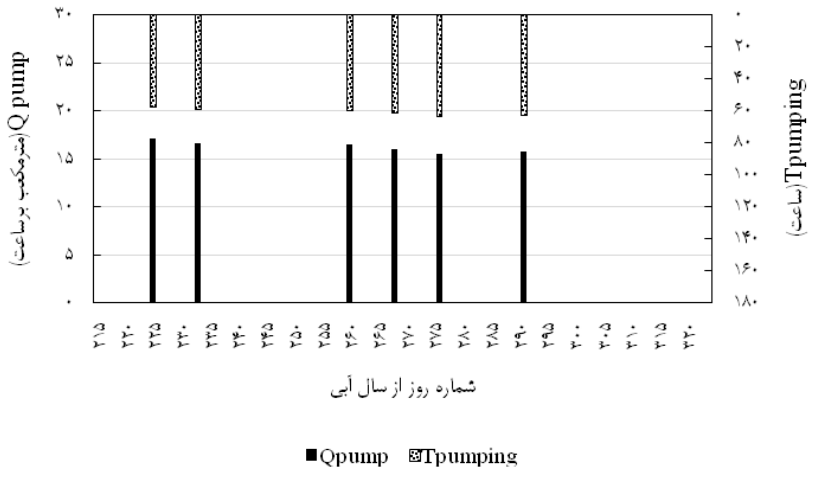
شکل ۳. مقادیر نیاز تجمعی آبیاری و روزهای آبیاری در طول فصل زراعی



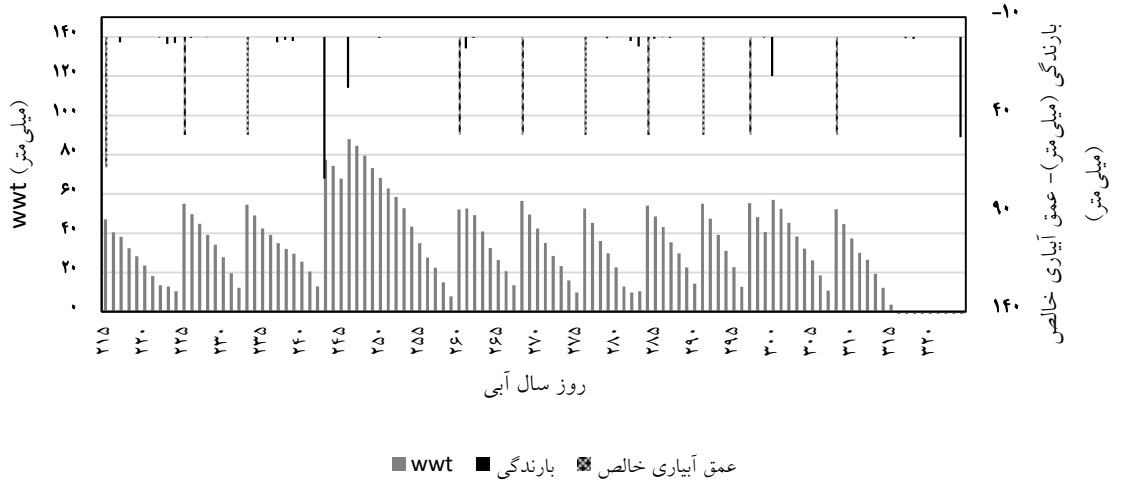
شکل ٤. مقادیر بارآبی در خاک، بار آبی در چاه، حداقل بار آبی مجاز در چاه و عمق آبیاری خالص با چاه و کانال در طول فصل

با توجه به شکل ٤، از مجموع ۱۰ نوبت آبیاری بدست آمده، شش نوبت آبیاری از چاه سطحی و چهار نوبت آبیاری از کانال صورت گرفته است. پس از انجام پنج نوبت آبیاری، بار آبی در چاه سطحی به حدی افت پیدا کرده است که امکان انجام مابقی آبیاری‌ها از چاه وجود ندارد و از کانال برداشت شده است. با انجام یک نوبت آبیاری از کانال، بار آبی در چاه سطحی در اثر تغذیه عمودی افزایش یافته است و امکان یک نوبت برداشت مجدد از چاه سطحی فراهم شده است. در تمام طول دوره کشت، مقادیر بار آبی در چاه سطحی بیشتر از حداقل بار آبی مجاز بوده است. مقدار دبی پمپاژ و مدت زمان پمپاژ برای هر نوبت آبیاری از چاه سطحی، در شکل ۵ نشان داده شده است.

بر اساس شکل ٦، ارتفاع غرقابی در اراضی شالیزاری مورد مطالعه پس از هر بار بارندگی یا آبیاری افزایش یافته و پس از آن مجددا تا آبیاری یا بارندگی بعدی به علت تبخیرتعرق گیاهی و نشت از لایه‌ی زیرین کفه سخت کاهش یافته است. ww_t در فصل زراعی مورد بررسی، بیش از ۱۰۰ میلی‌متر نشده است و رواناب در مزرعه بوجود نیامده است. در روز ۳۱٦ ام ww_t در مزرعه صفر شده است و امکان برداشت پس از خشک شدن زمین بوجود آمده است.



شکل ۵. دبی پمپاژ و مدت زمان پمپاژ در طول فصل زراعی

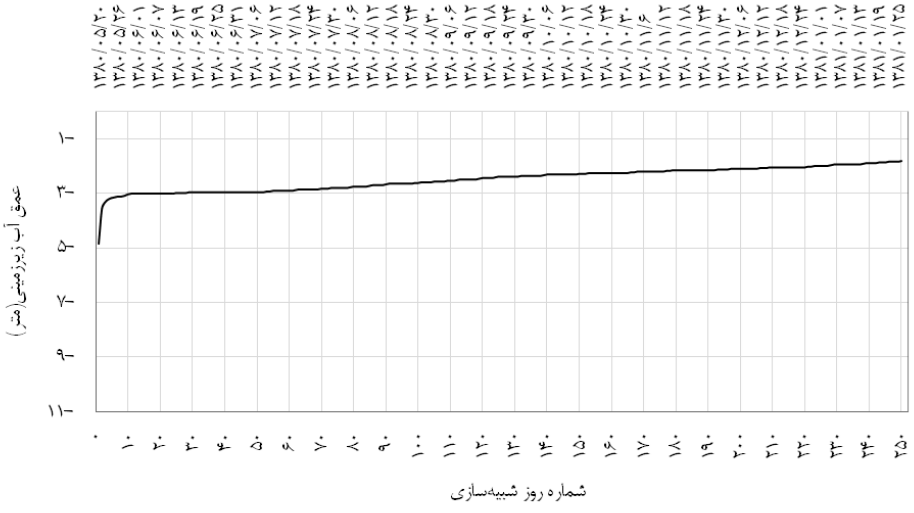


شکل ٦. تغییرات ارتفاع غرقابی در مزرعه در طول فصل زراعی

طبق نتایج بدست آمده از مدل شبیه‌سازی بهره‌برداری از چاه سطحی ارائه شده در این تحقیق، عمق آب زیرزمینی در انتهای فصل کشت برابر با ٤/٨٥ متر است (شکل ٤). میزان تغذیه آب زیرزمینی از انتهای فصل کشت برنج تا ابتدای فصل زراعی در سال بعد توسط مدل HYDRUS-1D محاسبه گردید. بر اساس شکل ۷، آب زیرزمینی در خارج از فصل زراعی از عمق ٤/٨٥ متری به عمق ۱/۸۲ متری صعود کرده است. بنابراین اگرچه در داخل فصل زراعی برنج، برداشت از چاه سطحی مورد مطالعه منجر به افت سطح آب زیرزمینی کم‌عمق گردید، لیکن پس از توقف برداشت از چاه سطحی و برداشت برنج، سطح آب زیرزمینی کم‌عمق در اثر بارندگی مجدداً صعود یافته است و به عمقی کمتر از مقدار اولیه خود در شروع فصل زراعی (سه متر) رسیده است (جدول ٤). بنابراین امکان بهره‌برداری پایدار از چاه سطحی برای آبیاری برنج در سال زراعی بعدی وجود دارد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، مدل شبیه‌سازی بهره‌برداری از چاه‌های سطحی در اراضی شالیزاری، به منظور تدوین برنامه برداشت آب از چاه سطحی و کانال برای تامین کامل نیاز آبیاری محصول برنج ارائه شده است.



شکل ۷. نوسانات آب زیرزمینی کم عمق در خارج از فصل کشت برنج

مدل بر اساس دیدگاه متولیان تامین آب آبیاری با هدف حداکثر استفاده از آب‌های محلی و شرایط و محدودیت‌های موجود در اراضی شالیزاری تهیه شده است. در این دیدگاه ابتدا آب آبیاری مورد نیاز با چاه سطحی تامین شده و زمانی که سطح آب در چاه سطحی بیش از حد مجاز افت پیدا کند، آب مورد نیاز از کانال برداشت گردیده است. نتایج مدل شبیه‌سازی ارائه شده برای اراضی شالیزاری و چاه سطحی تحت بهره‌برداری در موسسه تحقیقات برنج کشور در رشت، نشان داد که از تعداد ۱۰ نوبت آبیاری مورد نیاز در سال‌نرمال، شش نوبت از چاه سطحی و مابقی آبیاری‌ها از کانال تامین شده است. نتایج بدست آمده بیانگر قابلیت بالای چاه‌های سطحی در تامین آب آبیاری اراضی شالیزاری است. نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی نوسانات سطح آب زیرزمینی کم‌عمق پس از فصل زراعی برنج توسط مدل HYDRUS-1D، نشان داد که علی‌رغم افت سطح آب زیرزمینی کم‌عمق در فصل زراعی برنج در اثر برداشت از چاه سطحی، سطح آب زیرزمینی کم‌عمق در اثر تغذیه حاصل از بارندگی خارج از فصل رشد مجدداً صعود کرده است و امکان بهره‌برداری پایدار از چاه سطحی برای آبیاری برنج در سال زراعی بعد وجود دارد.

سپاسگزاری

بخشی از هزینه این طرح پژوهشی از محل اعتبارات قطب علمی ارزیابی و بهسازی شبکه‌های آبیاری و زهکشی تامین شده است. بدینوسیله از دبیرخانه دائمی قطب‌های علمی کشور قدردانی می‌شود.

فهرست منابع

آزرمسا، م. فیاض، م. تطهیری، م. ۱۳۷۹. مدیریت منابع و مصرف آب شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود. دهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. تهران، خرداد ماه ۱۳۷۹.

پشنک‌پور، س. ۱۳۹٤. مدیریت بهره‌برداری از چاه‌های کشاورزی در اراضی شالیزاری شبکه سفیدرود. پایان نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، پردیس کشاورزی، دانشگاه تهران، گروه آبیاری و آبادانی. ۱۵۳ صفحه.

رضوی‌پور کومله، ت. ۱۳۷۸. اندازه‌گیری نفوذ عمقی آب در بافت‌های مختلف خاک شالیزار در دو مرحله از رشد برنج. پایان نامه کارشناسی ارشد خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات. ۱۱۰ صفحه.

علیزاده، ا. ۱۳۷۸. اصول هیدرولوژی کاربردی، انتشارات آستان قدس رضوی، شماره نشر ۳۵، چاپ یازدهم، ٦۲۲ صفحه، ٤۰۳-۳۳۱.

گزارش موسسه تحقیقات برنج رشت، ۱۳۹۳، www.berenj.areo.ir.

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration–guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. FAO, Rome.333 pages.

Boldt, A.L., Eisenhauer, D. E., Martin, D.L. and Wilmes, G.J. 1999. Water Conservation practices for a River Valley Irrigated with Groundwater. Agricultural Water Manage. 30: 235–256.

Chenaf, D., and Chapuis, R. P. 2007. Seepage face height, water table position, and well efficiency at steady state. Groundwater, 45(2): 168-177.

Croke, B.F.W., F. Andrews, J. Spate and Cuddy, S.M. 2005. IHACRES user guide. Technical Report 2005/19. Second Edition. iCAM, School of Resources, Environment and Society, The Australian National University, Canberra.http://www.toolkit.net.au/ihacres.

Dewandel, B., Gandolfi, J.M., Condappa, D. and de Ahmed, S. 2008. An Efficient Methodology for Estimating Irrigation Return Flow Coefficients of Irrigated Crops at Watershed and Seasonal Scale. Hydrological Process. 22: 1700-1712.

Ito, Y., Shiraishi, H. and Oonishi, R. 2000. Numerical Estimation of Return Flow in River Basin. Japan Agricultural Research Quarterly, 14(1): pp.24-30.

Kim, H.K., Jang, T.I., Im, S.J. and Park, S.W. 2009. Estimation of Irrigation Returns Flow From Paddy Fields Considering The Soil Moisture. Agricultural Water Management, 96: 875-882.

Liu, C.W., Huang, H.C., Chen, S.K. and Kuo, Y.M. 2004. Subsurface return flow and ground water recharge of terrace fields in northern Taiwan. Journal of the American Water Resources Association 40: 603–614.

Nakagiri, T., Watnabe, T., Horino, H. and Maruyama, T. 2000. Analysis of Sufficiency andReuse of Irrigation Water in The Kino River Basin—Analysis of Irrigation Water UseBy a Basin Hydrological Model (ii). Transactions of the Japanese Society of Irrigation, Drainage and Reclamation Engineering 205: 35–42 (in Japanese, withEnglish abstract).

Simunek, j., Sejan, M. and Van Genuchten, M. Th. 1998. The HYDRUS-1D software package for simulating the one-dimensional movement of water , heat and multiple solutes in variably saturated media Research report No. 144, U. S. Salinity Lab., USDA, Riverside, California. 164 pages.

van Genuchten, M. 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Science Society of America Journal. 44 (5): 892–898.

ISSN 2251-7480

Operational management of agricultural bore wells in paddy fields

Hamideh noory[1*], Sara Pashankpoor[2], Abdol Majid Liaghat[3], Arezo Nazi Ghameshloo[1] and Mohammadreza Yazdani[4]

1[*]) Assistant Professor, Department of Irrigation & Reclamation Engineering Faculty of Agriculture, Engineering & Technology University of Tehran, Alborz, Iran
[*]Corresponding author email: hnoory@ut.ac.ir
2) MSc. Graduated Student, Department of Irrigation & Reclamation Engineering Faculty of Agriculture Engineering & Technology University of Tehran, Alborz, Iran
3) Professor, Department of Irrigation & Reclamation Engineering Faculty of Agriculture Engineering & Technology University of Tehran, Alborz, Iran
4) Faculty member of the Rice Research Institute, Guilan, Iran

Received 03-02-2016 Accepted: 23-10-2016

Abstract

In this research, an operational simulation model was developed to indicate the importance of agricultural bore wells as an irrigation water resource and sustainable management of them to supply irrigation demand of paddy fields. The main approach of this research was based on maximum using of local water resources (e.g. wells, ponds). In the proposed model, crop evapotranspiration, irrigation requirement and interval and water head in soil and bore well are daily calculated based on input data and simulation equations. Then, using of obtained irrigation scheduling and considering the limitation of minimum permission level in bore well, water harvesting days from bore well, pumping discharge and time, pond water in fields and runoff are calculated. Simulation of groundwater level fluctuation in the out of paddy rice growing season in unsaturated condition of soil was computed by Hydrus-1D. The model was run for paddy fields of Rasht Rice Research Institute for normal year; The results indicated that 10 irrigation events were required that six and four of them were supplied by bore well and canal, respectively. The obtained results in the studied paddy fields showed that shallow groundwater level was discharged by precipitation in the out of paddy rice growing season and raised from depth of 4.85 m to 1.82 m. Therefore, operation of bore wells during paddy rice growing season as well as considering minimum permission water head does not cause considerable groundwater drawdown and unsustainable operation

Keywords: hydrus-1D; irrigation; shallow groundwater; simulation model