

بهینه‌سازی کودآبیاری جویچه‌ای از دیدگاه زیست محیطی

مریم نوابیان^{۱*} - عبدالمجید لیاقت^۲ - رضا کراچیان^۳ - فریبرز عباسی^۴

تاریخ دریافت: ۸۸/۸/۱۱

تاریخ پذیرش: ۸۹/۵/۲۴

چکیده

از آنجا که کشاورزی یک کانون نامتمرکز آلاینده‌گی است، مدیریت در سطح مزرعه شامل مدیریت بهینه آب و مواد مغذی می‌تواند به عنوان یک روش موثر در کاهش آلودگی بخش کشاورزی مورد توجه قرار گیرد. در این تحقیق، یک مدل بهینه‌یابی با هدف کاهش خروج نیترات از مزرعه در کودآبیاری جویچه‌ای ارائه شده است. مدل بهینه‌یابی شامل چهار مدل شبیه‌سازی تخمین میزان رواناب، نفوذ عمقی، غلظت نیترات در رواناب و نفوذ عمقی است. الگوریتم ژنتیک برای حل مدل بهینه‌یابی بکارگرفته شد. متغیرهای تصمیم شامل دبی ورودی، مدت زمان آبیاری، زمان شروع کوددهی و مدت زمان تزریق کود بودند. قابلیت مدل‌های شبیه‌سازی در شبیه‌سازی فرآیند کودآبیاری منجر به ارائه مدل بهینه‌یابی جامع کودآبیاری برای شرایط مختلف اقلیم، گیاه، آبیاری و کوددهی شد. برای ارزیابی مدل بهینه‌یابی از داده‌های صحرائی در رژیم جریان ثابت استفاده شد. مقادیر بهینه متغیرهای تصمیم برای مزرعه مورد مطالعه در شرایط حضور گیاه به ترتیب ۰/۱۸۴ لیتر بر ثانیه، ۵۹۵/۲ دقیقه، ۷/۵ دقیقه و ۱۶۲/۹ دقیقه برای دبی، مدت زمان آبیاری، زمان شروع کوددهی و مدت زمان تزریق بدست آمدند. این مقادیر به ترتیب برای شرایط بدون حضور گیاه ۰/۲۱ لیتر بر ثانیه، ۵۳۷/۱ دقیقه، ۶/۵ دقیقه و ۱۴۳/۰ دقیقه تعیین شدند. مقادیر بهینه متغیرهای تصمیم، منجر به خروج به طور متوسط ۱۱۳/۸۶ و ۱۱۸/۱۳ میلی‌گرم بر لیتر نیترات از مزرعه به ترتیب در شرایط حضور و عدم حضور گیاه شدند. به دلیل افزایش غلظت نیترات در نفوذ عمقی در حضور گیاه، مدل بهینه‌یابی با تغییر در مقادیر متغیرهای تصمیم و افزایش دبی، غلظت نیترات در نفوذ عمقی و رواناب را کاهش داد. نتایج نشان داد که حضور گیاه در نتایج بهینه‌یابی تأثیر دارد و بهتر است مقادیر بهینه در حضور و عدم حضور گیاه تعیین شوند.

واژه‌های کلیدی: آبیاری جویچه‌ای، بهینه‌یابی، کودآبیاری، مدیریت آب و مواد مغذی، نیترات

مقدمه

آب و تأثیر آن بر منابع آب و محیط زیست مورد توجه قرار گیرد. نیاز بالای گیاه به نیتروژن، مصرف بالا توسط کشاورزان و حلالیت بالای نیترات (فرم غالب نیتروژن) باعث می‌شود که همواره مقادیر بالای نیترات در آبهای سطحی و زیرزمینی یافت شود. تلفات نیترات ناشی از بخش کشاورزی بر هوا و کیفیت منابع آب سطحی و زیرزمینی تأثیر منفی دارد (۵، ۶ و ۱۹). نیترات در آبهای سطحی منجر به پدیده خوراک‌وری و تخریب و تغییر محیط زیست و اکوسیستم می‌گردد. برای مثال ۶۰ درصد نیترات ورودی به دریای شمال، ۴۸ درصد آلودگی آب سطحی در چکسلواکی و ۵۰ درصد آلودگی آبهای کم عمق در هلند (۲۱) ناشی از فعالیت‌های نادرست کشاورزی هستند. از آنجا که نیترات بخش کشاورزی به صورت آلاینده با کانون نامتمرکز عمل می‌کند (۱۰ و ۱۵)، پس مناسب‌ترین روش کنترل و کاهش آن، جلوگیری از خروج آن از سطح مزرعه می‌باشد. تصمیم‌گیری برای انتخاب بهترین روش کاهش آلاینده‌گی نیترات، به داده‌های صحرائی و مدل‌های شبیه‌سازی انتقال املاح نیاز دارد. روشهای مدیریتی زیادی از جمله استفاده از بافر، فاصله از منابع آب،

بخش کشاورزی بزرگترین مصرف کننده آب در دنیا است که با فرسایش خاک و انتقال املاح باعث کاهش کیفیت منابع آب سطحی و زیرزمینی می‌شود. تنوع املاح و پیچیدگی فرآیند انتقال املاح و مدیریت نادرست آب، مواد مغذی و سایر نهاده‌های بخش کشاورزی باعث صدمات زیادی به محیط زیست شده است که نگرانی‌های بین المللی را از اواخر دهه ۶۰ میلادی ایجاد کرده است. کشاورزی نه تنها باید تداوم تولید مواد غذایی را تضمین نماید، بلکه باید مسایل اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی را در نظر داشته باشد (۱۳). بنابراین، برای دستیابی به کشاورزی پایدار باید مسایل کمی و کیفی

۱- استادیار گروه مهندسی آب دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان

(*)- نویسنده مسئول: Navabian@guilan.ac.ir

۲- استاد گروه مهندسی آب دانشکده آب و خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۳- دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه تهران

۴- دانشیار پژوهشی موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

مواد و روش ها

توصیف مدل بهینه‌یابی

مدل بهینه‌یابی این تحقیق با توجه به مفهوم مدیریت تلفیقی آب و مواد مغذی برای کاهش آلودگی نیترات در کودآبیاری جویچه‌ای ارائه شده است. از آنجا که مقادیر مجاز تخلیه نیترات به منابع آب سطحی و زیر زمینی به صورت غلظت است، تابع هدف این مدل شامل حداقل نمودن تلفات آب و غلظت نیترات به صورت رواناب و نفوذ عمقی تعریف شده است:

$$\text{Minimize: Nitrate Losses} = (D_r \times \overline{C_d}) + (R_r \times \overline{C_r}) \quad (1)$$

که در آن، D_r نسبت نفوذ عمقی به حجم آب ورودی به جویچه، R_r نسبت رواناب به حجم آب ورودی به جویچه، $\overline{C_d}$ میانگین غلظت نیترات خروجی از انتهای عمق توسعه ریشه در طول دوره تناوب آبیاری (mg/L)، $\overline{C_r}$ میانگین غلظت نیترات خروجی از انتهای جویچه (mg/L) در طول زمان آبیاری هستند.

بر اساس حساسیت‌سنجی پارامترهای موثر بر کودآبیاری، دبی ورودی، مدت زمان آبیاری، زمان شروع کوددهی و مدت زمان تزریق پارامترهای موثر بر انتقال و تلفات نیترات می‌باشند که به عنوان متغیرهای تصمیم مدل بهینه‌یابی انتخاب شدند (۳ و ۳۱). اگرچه طول، شیب و هندسه جویچه بر انتقال آب و املاح تأثیر دارند، اما به دلیل وابستگی به شرایط مزرعه، پارامترهای مدیریتی مناسبی برای تصمیم‌گیری نیستند پس جزء متغیرهای تصمیم لحاظ نشدند. محدودیت‌های مدل بهینه‌یابی شامل مقادیر حداقل و حداکثر متغیرهای تصمیم و راندمان آبیاری بودند که در معادلات زیر آمده‌اند:

$$Q_{\min} \leq q \leq Q_{\max} \quad (2)$$

$$t_{co} \geq t_n + t_a \quad (3)$$

$$0 \leq t_s \leq \frac{1}{2} t_{co} \quad (4)$$

$$t_d + t_s \leq t_{co} \quad (5)$$

$$100 - (D + R) \geq E_a \quad (6)$$

به طوری که، Q_{\min} حداقل دبی (l/s)، Q_{\max} حداکثر دبی (l/s)، t_n زمان لازم برای نفوذ خالص آب آبیاری (min)، t_a زمان لازم برای تکمیل فاز پیشروی (min)، t_s زمان شروع کوددهی (min)، t_d مدت زمان تزریق کود (min)، D نفوذ عمقی (%)، R رواناب (%) و E_a راندمان آبیاری می‌باشند.

روش حل مدل بهینه‌یابی

از الگوریتم ژنتیک برای حل مدل بهینه‌یابی استفاده شد. نخستین بار الگوریتم ژنتیک توسط هولاند (۱۶) ارائه شد و سپس گولدبرگ (۱۴) آن را توسعه داده و منتشر کرد. الگوریتم ژنتیک از روند تکاملی موجودات زنده تبعیت می‌کند و مقادیر بهینه تصمیم را بر اساس

کشت گیاهان با ریشه عمیق، فاصله از آبخوان، پوشش گیاهی، ایجاد شرایط نیترات زدایی و مدیریت هم زمان آب و مواد مغذی برای کنترل تلفات نیترات ارائه شده است که برای اجرای آنها باید مسایل فنی و اجرایی مورد مطالعه قرار گیرد (۹ و ۲۵).

به دلیل اینکه آب عامل انتقال املاح در اراضی فاریاب است، مدیریت هم زمان آب و مواد مغذی می‌تواند نقش موثری در کاهش تلفات نیترات داشته باشد (۲۴). از این رو کودآبیاری که قابلیت مدیریت تلفیقی آب و مواد مغذی را دارد، برای کنترل تلفات نیترات مورد توجه محققین قرار گرفت. آبیاری جویچه‌ای یک روش متداول آبیاری در جهان است که نحوه توزیع آب در این روش منجر به تلفات زیاد آب و در نتیجه مواد مغذی به صورت رواناب و نفوذ عمقی می‌شود. بدلیل تلفات زیاد املاح در این روش، بررسی کودآبیاری جویچه‌ای از اهمیت زیادی برخوردار است. مونتگلو و گلپار (۱۸) بیان کردند که انتقال املاح در روشهای آبیاری سطحی به پارامترهای هیدرولیکی خاک مانند رطوبت، منحنی رطوبتی خاک و هدایت آبی اشباع بستگی دارد. جینس و همکاران (۱۷) نشان دادند که توزیع مکانی و زمانی نیترات در آبیاری سطحی از متغیرهای طراحی و مدیریتی مانند کاربرد پیوسته یا پالسی نیترات، مدت زمان آبیاری و غلظت کود تأثیر می‌پذیرد. زریهان و همکاران (۲۸) دریافتند که توزیع نیترات در خاک تحت تأثیر بافت خاک، پارامترهای هیدرولیکی خاک، انتقال املاح و آبیاری و کاربرد کود (مقدار، زمان، مکان و نحوه اعمال کود) است. برخی مطالعات در زمینه کودآبیاری جویچه‌ای نشان دادند که برای دستیابی به شاخص‌های قابل قبول کودآبیاری باید مدیریت و طراحی آبیاری بهبود بخشیده شود (۱ و ۲). عباسی و همکاران (۳) بیان کردند که عمق آب آبیاری و مدت زمان آبیاری نقش اساسی در انتقال و توزیع املاح و رطوبت در زیر جویچه‌های آبیاری دارند.

به دلیل پیچیدگی پدیده‌های انتقال نیترات، حرکت آب و مدیریت آنها، مدل‌های بهینه‌سازی روش مفیدی برای تعیین بهینه پارامترهای آبیاری و مواد مغذی برای کاهش آلودگی نیترات به شمار می‌روند. این تحقیق، یک مدل بهینه‌یابی در کودآبیاری جویچه‌ای با هدف حداقل نمودن تلفات نیترات به صورت رواناب و نفوذ عمقی و در نتیجه کاهش آلودگی نیترات، ارائه می‌کند. تا کنون مدل بهینه‌یابی مشابهی با هدف زیست محیطی ارائه نشده است. برخی مدل‌های بهینه‌یابی موجود از دیدگاه اقتصادی و عملکرد محصول به کنترل آلودگی نیترات پرداخته‌اند. فیئرمن و فالکویتز (۱۲) از مدل بهینه‌یابی اقتصادی برای کاهش آبشویی نیترات استفاده نمودند. آنها بیان کردند که تابع کاهش هزینه و جریمه مازاد بر مصرف کود نمی‌تواند ابزار مناسبی برای کنترل آلودگی نیترات باشد. همچنین مدل‌های بهینه‌یابی با تابع هدف عملکرد محصول نمی‌توانند گزینه مناسبی باشند. زیرا پارامترهای توابع عملکرد محصول به گیاه، اقلیم و شرایط مزرعه بستگی دارد که تعیین آنها به آسانی صورت نمی‌گیرد.

هیدرولیکی $\rho_2 \left(m^{\frac{16}{3}-2\rho_2} \right)$ توان تابع نمایی بین سطح مقطع جریان و شعاع هیدرولیکی می‌باشند.

مدل شبیه‌سازی غلظت نیترات در رواناب

برای شبیه‌سازی غلظت نیترات در رواناب از مدل ترکیبی شامل جریان آب و انتقال املاح که توسط عباسی و همکاران (۳) ارائه شده است، استفاده گردید. این مدل حل عددی معادله یک بعدی انتقال-انتشار و معادله ساده شده سنت و نانت (اینرسی صفر) است (معادلات ۹، ۱۰ و ۱۱).

$$\frac{\partial(AC)}{\partial t} + \frac{\partial(AUC)}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial t} \left(AK_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) \quad (9)$$

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial Z}{\partial t} = 0 \quad (10)$$

$$\frac{\partial y}{\partial x} = S_0 - S_f \quad (11)$$

که C غلظت املاح (kg/m^3)، U سرعت جریان آب (m/s)، A سطح مقطع جریان (m^2)، K_x ضریب انتشار طولی (m^2/s)، t زمان (s)، x فاصله (m)، Q شدت جریان (m^3/s)، y عمق جریان (m)، S_0 شیب جویچه ($m \cdot m^{-1}$)، S_f شیب هیدرولیکی ($m \cdot m^{-1}$) و Z مقدار نفوذ در واحد طول جویچه ($m^3 \cdot m^{-1}$) می‌باشند.

اگرچه شرایط جریان آب در جویچه به شرایط دو بعدی نزدیک است، اما معادله یک بعدی می‌تواند با داده‌های کمتری دقتی نزدیک با دقت معادلات دو بعدی ارائه کند. این مدل در تحقیقات بسیاری برای جویچه‌های انتها باز و بسته مورد استفاده قرار گرفته است و از صحت و دقت کافی برای شبیه‌سازی برخوردار است (۴). پارامترهای هندسه جویچه، نفوذ، ضریب زبری، مشخصه‌های جریان آب و انتقال املاح پارامترهای ورودی به مدل هستند.

برای حل معادله انتقال املاح، پارامترهای سرعت متوسط آب و سطح مقطع جریان از معادله اینرسی صفر محاسبه و در معادله انتقال بکار گرفته شدند. حل عددی این مدل به روش الگوی تفاضل محدود کرانک نیکلسون صورت گرفت. شرایط مرزی بالا و پایین دست به ترتیب غلظت متغیر نیترات ورودی نسبت به زمان و گرادیان صفر غلظت نسبت به زمان است. شرط اولیه نیز برای طول جویچه، غلظت صفر در نظر گرفته شد. متوسط غلظت نیترات خروجی توسط رواناب از معادله (۱۲) محاسبه و در مدل بهینه‌یابی بکار گرفته شد.

عملگرهای انتخاب والد، تزویج، جهش، جایگزینی و تولید نسل جدید در فضای امکان پذیر مساله تعیین می‌نماید. مقادیر متغیرهای تصمیم در رشته‌هایی به نام کروموزوم به صورت کد صفر و یک یا اعداد حقیقی جایگذاری شده و عملیات پردازشی بر روی آنها برای انتخاب والدی برتر و ایجاد نسل جدید از میان جمعیت اولیه صورت می‌گیرد. تولید نسل جدید تا زمان رسیدن به جواب بهینه ادامه دارد. الگوریتم ژنتیک قابلیت مناسبی برای حل مسایل غیرخطی نسبت به سایر روشها دارد (۲۲). دستیابی به جواب بهینه عمومی از اهمیت زیادی در مسایل بهینه‌یابی برخوردار است که پرواین (۲۲) جزئیات سه مرحله‌ای تعیین پارامترهای حل الگوریتم ژنتیک و نحوه اجرای آن را برای دستیابی به حل بهینه عمومی ارائه کرده است. در این تحقیق از روش پرواین برای دستیابی به جواب بهینه عمومی استفاده گردید.

مدلهای شبیه‌سازی

مدل شبیه‌سازی رواناب و نفوذ عمقی در آبیاری جویچه‌ای

با رژیم جریان ثابت

رواناب در آبیاری جویچه‌ای به دبی ورودی، طول، شیب، هندسه جویچه و مقطع جریان بستگی دارد. نفوذ عمقی تابعی از فیزیک خاک، هندسه جویچه، نفوذپذیری، پارامترهای آبیاری و نیاز خالص آبیاری است. زریهان و همکاران (۳۱) مدل ریاضی تخمین رواناب و نفوذ عمقی را با استفاده از تحلیل حساسیت، ابعادی و رگرسیونی ارائه نمودند. نتایج تخمین این مدل‌ها با مدل اینرسی صفر مورد مقایسه قرار گرفتند و نتایج رضایت‌بخش گزارش گردید. معادلات زیر مدل ریاضی تخمین رواناب (معادله ۷) و نفوذ عمقی (معادله ۸) را نشان می‌دهند:

$$R_r = 10 \exp \left[1.21 \times \frac{\left(\frac{ak \rho_1 \rho_2 q_0^{(\rho_2-2)}}{t_{co}^{0.001(a+\rho_2)+0.379}} c^{0.181} S_0^{0.05} \right)^{0.001}}{n^{0.2} L^{(0.001\rho_2+0.248)}} \right] \quad (7)$$

$$D_r = 94 \exp \left[-3.364 \frac{Z_r L}{t_{co} q_0} - 0.09 \frac{\left(\frac{ak \rho_1 \rho_2 q_0^{(\rho_2-2)}}{t_{co}^{0.05} \frac{3(a+\rho_2)+87}{60} c^{\frac{11}{20}} S_0^{0.5} \right)^{0.05}}{n L^{\frac{(\rho_2+18)}{20}}} \right] \quad (8)$$

به طوری که، Z_r نیاز خالص آبیاری ($m^3 m^{-1}$)، L طول جویچه (m)، t_{co} زمان قطع جریان (min)، q_0 دبی ورودی به جویچه ($m^3 min^{-1}$)، a توان در تابع نفوذ کوستیاکف اصلاح شده، k ضریب ترم نمایی در تابع نفوذ کوستیاکف اصلاح شده ($m min^{-1}$)، c ضریب ترم خطی تابع نفوذ کوستیاکف اصلاح شده ($m min^{-1}$)، S_0 شیب جویچه ($m m^{-1}$)، n ضریب زبری مانینگ ($s m^{-\frac{1}{3}}$)، ρ_1 ضریب در رابطه نمایی بین سطح مقطع جریان و شعاع

تأثیر جریانهای جانبی را بر انتقال آب و املاح جویچه لحاظ می‌نمایند، در نظر گرفته شدند. جویچه‌ها دارای طول ۸۳ متر، شیب ۰/۰۳۵ متر بر متر، فواصل ۷۵ سانتیمتر در خاک لوم رسی بود. دبی ورودی به جویچه، مدت زمان آبیاری و دوره تناوب آبیاری به ترتیب ۰/۴۵ لیتر بر ثانیه، ۲۷۰ دقیقه و ۶ روز بودند. آب آبیاری از رایزر شبکه آبرسانی تامین شده و پس از عبور از مخزن تثبیت کننده سطح آب، توسط لوله به جویچه‌ها منتقل می‌شدند تا دبی ورودی در طول آبیاری ثابت بماند. میزان نیترات در آب آبیاری ۴۴/۲ میلی گرم بر لیتر اندازه‌گیری شد. دبی ورودی و خروجی جویچه‌ها به ترتیب به روش حجمی و فلوم WSC اندازه‌گیری شدند. برای تثبیت شدت تزریق کود، از یک مخزن دارای شناور بر روی جویچه استفاده شد که این مخزن، کود را از مخزن اصلی دریافت می‌کردند. غلظت کود نیترات پتاسیم در مخزن ۷/۲۷ گرم بر لیتر بود. تزریق کود از ابتدای آبیاری و مدت زمان تزریق نصف مدت زمان آبیاری در نظر گرفته شدند. غلظت تزریق نیترات ورودی به جویچه از معادله زیر بدست آمد:

$$C_f = \frac{Q_i C_i + Q_{fi} C_{fi}}{Q_i} \quad (14)$$

که در آن، Q_i ، Q_{fi} ، C_i ، C_{fi} و C_f به ترتیب دبی آبیاری (l/s)، شدت تزریق (l/s)، غلظت نیترات در آب آبیاری (mg/l)، غلظت تزریق کود (mg/l) و غلظت نیترات ورودی به جویچه (mg/l) هستند.

پارامترهای ورودی به مدل‌های شبیه‌سازی شامل هندسه جویچه، هدایت آبی اشباع، ضرایب نفوذ کوستیافک اصلاح شده و ضرایب منحنی پیشروی آب به ترتیب با نرم افزار NSURFACE، روش ورودی و خروجی، روش دو نقطه‌ای الیوت و واکر (۱۱) و تحلیل رگرسیونی داده‌های فاز پیشروی تعیین شدند. جدول (۱) ویژگی‌های خاک و آبیاری آزمایش صحرائی را نشان می‌دهد.

برای اندازه‌گیری غلظت نیترات در رواناب نمونه‌های رواناب خروجی از جویچه‌ها در بازه‌های زمانی ۵ دقیقه‌ای در زمان‌های اعمال و قطع کود و در بازه‌های ۱۵ دقیقه‌ای در طول انجام آزمایش تا پایان آبیاری برداشت گردید. برای بررسی غلظت نیترات در خاک، نمونه‌های خاک در مقاطع ابتدا، وسط و انتهای جویچه در اعماق ۲۰، ۴۰ و ۶۰ سانتیمتری در طول دوره تناوب آبیاری جمع‌آوری شدند. غلظت نیترات به روش اسپکتروفتومتری اندازه‌گیری شدند. رطوبت خاک در نقاط مشابه برداشت نمونه خاک برای اندازه‌گیری نیترات با استفاده از بلوک گچی اندازه‌گیری شدند.

واسنجی مدل شبیه‌سازی غلظت نیترات در رواناب

پارامترهای مورد نیاز مدل شبیه‌سازی غلظت نیترات شامل مشخصات جویچه، آبیاری و تزریق کود هستند که همگی آنها بجز ضریب پخشیدگی نیترات در آب ساکن و ضریب انتشارپذیری طولی با استفاده از داده‌های صحرائی بدست می‌آیند.

$$C_r = \frac{\sum_{t=0}^{t=t_{CO}} C_t \times Q_r}{\sum_{t=0}^{t=t_{CO}} Q_r} \quad (12)$$

$$C_t = \frac{C_t^t + C_t^{t+\Delta t}}{2} \quad \& \quad Q_r = \frac{Q_r^t + Q_r^{t+\Delta t}}{2} \quad (13)$$

C_t غلظت نیترات (mg/l) و Q_r حجم رواناب (l) هستند.

مدل شبیه‌سازی غلظت نیترات در نفوذ عمقی

برای شبیه‌سازی غلظت نیترات در نفوذ عمقی از مدل HYDRUS_1D (۲۶) استفاده شد. این مدل فرآیندهای جذب سطحی، تصعید، ترسیب، انتقال، انتشار و تخریب و تبدیل مرتبه صفر و یک را برآورد می‌نماید. مدل HYDRUS_1D، حل عددی معادلات یک بعدی انتقال املاح انتقال - انتشار و جریان آب ریچاردز است.

خصوصیات فیزیکی خاک، شرایط حل پایدار و همگرا، ویژگی‌های هیدرولیکی خاک، جذب آب و املاح توسط گیاه، پارامترهای انتقال، تخریب و تبدیل املاح از پارامترهای ورودی به مدل هستند. شرایط مرزی بالا و پایین دست و اولیه برای شبیه‌سازی شرایط کودآبیاری جویچه‌ای برای حل معادله ریچاردز شامل شرایط اتمسفری، زهکشی آزاد و رطوبت خاک و برای حل معادله انتقال املاح شامل غلظت، گرادیان صفر غلظت نسبت به زمان و غلظت در نظر گرفته شدند. برای محاسبه متوسط نیترات خروجی به صورت نفوذ عمقی در طول جویچه، مدل HYDRUS_1D در سه مقطع ابتدا، وسط و انتهای جویچه اجرا و متوسط آنها در مدل بهینه‌یابی بکار گرفته شد.

ارزیابی مدل بهینه‌یابی

برای اطمینان از نتایج مدل بهینه‌یابی، گزینه‌های صحت‌سنجی، اعتبارسنجی، واسنجی و عمومیت جواب بهینه باید مورد بررسی قرار گیرند. از آنجا که مدل‌های شبیه‌سازی بکار رفته در مدل بهینه‌یابی از صحت و اعتبار کافی برخوردارند، برای اطمینان از دستیابی به جواب بهینه عمومی برای شرایط مزرعه، دو گزینه واسنجی مدل‌های شبیه‌سازی و مشخصه حل بهینه عمومی مورد توجه قرار گرفتند. برای واسنجی و ارزیابی نتایج مدل بهینه‌یابی، آزمایش‌های صحرائی کودآبیاری جویچه‌ای در رژیم جریان ثابت در مزرعه تحقیقاتی گروه مهندسی آب پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران واقع در کرج در سال ۱۳۸۶ انجام شد. در این آزمایش‌ها حرکت آب و انتقال نیترات در جویچه‌ها مورد بررسی قرار گرفت. در ساختار فیزیکی مدل صحرائی، بدلیل شبیه‌سازی شرایط واقعی آبیاری جویچه‌ای، سه جویچه ایجاد شد که جویچه میانی به عنوان جویچه‌ای که آزمایش در آن صورت می‌گیرد و جویچه‌های جانبی به عنوان جویچه‌هایی که

جدول ۱- ویژگی‌های خاک و آب آبیاری در آزمایش صحرائی

پارامتر	واحد	مقدار
$A = \rho_1 Y^{\rho_2}$ پارامترهای هیدرولیکی		
ρ_1	$m^{3.33-2\rho_2}$	۰/۲۶۴
ρ_2	-	۲/۶۹۵
$WP = \delta_1 Y^{\delta_2}$ پارامترهای هندسی جویچه		
δ_1	$m^{0.562}$	۰/۹۲۴۸
δ_2	-	۰/۲۰۸۶
$Z = kt^a + f_0 t$ پارامترهای نفوذ		
A	-	۰/۱۳۴
k	$m^3 \cdot \min^{-a} \cdot m^{-1}$	۰/۰۰۱۱۴
f_0	$m^3 \cdot \min^{-1} \cdot m^{-1}$	۰/۰۰۰۱۰۷۱
ضریب زبری مانینگ، n	$m^{1/6}$	۰/۰۴
پارامترهای منحنی رطوبتی معلم- ون گنوختن		
L	-	۰/۵
رطوبت اشباع، θ_s	-	۰/۵۶
رطوبت باقیمانده، θ_r	-	۰/۰۶۲
هدایت آبی اشباع، K_s	cm/d	۲۰/۵۶
$X = pt^r$ پارامترهای فاز پیشروی		
P	-	۰/۲۶۴
r	-	۰/۷۷۵

منحنی ون گنوختن - معلم، N نسبت به سایر فاکتورهای موثر بر حرکت آب از حساسیت بیشتری برخوردار می‌باشند. همچنین به دلیل اندازه‌گیری صحرائی پارامترهای هدایت آبی اشباع، رطوبت باقیمانده و رطوبت اشباع، L، ALPHA همراه فاکتور N به عنوان ضرایب واسنجی انتخاب شدند. بنابراین پارامترهای ضریب انتشارپذیری طولی و پارامترهای فاکتور شکل به عنوان ضرایب واسنجی به روش حل معکوس موجود در HYDRUS از داده‌های صحرائی رطوبت و غلظت نیترات در اعماق ۲۰، ۴۰ و ۶۰ سانتیمتری خاک و در طول دوره تناوب آبیاری بدست آمدند. سایر پارامترهای مورد نیاز HYDRUS از داده‌های صحرائی بدست آمدند. برای مزرعه مورد مطالعه، شرایط اولیه رطوبتی مدل شبیه‌سازی در اعماق ۲۰، ۴۰ و ۶۰ به ترتیب ۱۸/۹۵، ۱۷/۳۲ و ۹/۹۶ درصد حجمی بودند. شرط اولیه غلظت نیترات در اعماق فوق به ترتیب ۴۲۸/۷، ۷۲/۶۳ و ۳۶/۲۳ میلی گرم بر لیتر نیترات بودند. مقادیر پارامترهای واسنجی شده در شکل (۱) آمده است.

واسنجی مدل شبیه‌سازی رواناب در آبیاری جویچه‌ای با

رژیم جریان ثابت

برای واسنجی مدل‌های تخمین رواناب و نفوذ عمقی ابتدا نرم افزار SRFR (US Salinity Lab Conservation, 1999) با استفاده از داده‌های صحرائی واسنجی شد.

در این تحقیق ضریب پخشیدگی نیترات در آب ساکن بنا بر مطالعه موهانتی و همکاران (۲۰)، ۱/۷۰۴ سانتیمتر مربع بر روز در نظر گرفته شد. اما به دلیل تأثیرپذیری ضریب انتشارپذیری طولی از شرایط جویچه و سرعت آب و همچنین به دلیل دشواری اندازه‌گیری، ضریب انتشارپذیری طولی از میان پارامترهای موثر بر انتقال نیترات به عنوان ضریب واسنجی انتخاب گردید. برای تعیین ضریب انتشارپذیری، مدل شبیه‌سازی برای مقادیر مختلف ضریب انتشارپذیری اجرا و مقادیر نیترات خروجی تخمینی مدل با داده‌های صحرائی مورد مقایسه قرار گرفتند. ضریب انتشارپذیری مربوط به نزدیک‌ترین تخمین به داده صحرائی، به عنوان مقدار ضریب واسنجی شده ضریب انتشارپذیری در مدل بهینه‌یابی بکار گرفته شد. بدین روش ضریب انتشارپذیری یک سانتیمتر بدست آمد که با نتایج سایر محققین تطابق دارد (۳).

واسنجی مدل شبیه‌سازی غلظت نیترات در نفوذ عمقی

انتقال، انتشار و نیترات‌زدایی نقش مهمی در انتقال نیترات در خاک دارند. ویلیامز (۳۰) نشان داد که در رطوبت‌های کمتر از نود درصد رطوبت اشباع، می‌توان از نیترات‌زدایی صرف‌نظر کرد. به دلیل اینکه رطوبت خاک همواره از حد رطوبتی ذکر شده کمتر بود، در این تحقیق از نیترات‌زدایی صرف‌نظر شد.

بر اساس مطالعه عباسی و همکاران (۴)، پارامتر فاکتور شکل

Variable	Value	S.E.Coeff.	95% Confidence limits	
			Lower	Upper
ALPHA	.10541E-01	.26966E-02	.51190E-02	.15963E-01
N	.15803E+01	.57760E-01	.14641E+01	.16964E+01
DISP	.13523E+01	.34126E+00	.66615E+00	.20386E+01

شکل ۱- مقادیر واسنجی ضریب انتشار (DISP) و پارامترهای فاکتور شکل (ALPHA و N)

عملگرهای گزینش^۱، تزویج^۲، جهش^۳ و تعداد فرزند ایجاد شده در ترکیب دو والد برتر و نحوه جایگزینی آن در نسل بعد^۴ هستند، که باید تعیین گردند.

طول کروموزوم نقش موثری در زمان محاسبات دارد به طوری که در برخی موارد با تغییر مقیاس اعداد طول کروموزوم را کاهش می‌دهند. تعداد بیت برای متغیرهای تصمیم مدل بهینه‌یابی ارائه شده با توجه به مقادیر حداکثر و حداقل آنها به ترتیب ۱۶، ۲۳، ۱۳، ۲۲ و ۲۲ بدست آمدند. بنابراین طول کروموزوم که حاصل مجموع تعداد بیت‌ها می‌باشد برابر با ۹۶ تعیین گردید. پارامترهای تعداد جمعیت اولیه، تعداد نسل، احتمالهای جهش و تزویج با توجه به روش پیشنهادی پروین (۲۲) به ترتیب ۱۴۰، ۲۰۰، ۰/۰۵ و ۰/۹۵ در نظر گرفته شدند. همچنین در الگوی حل، عملگرهای گزینش، تزویج و جهش به ترتیب به روشهای تورنمنت^۵، یکنواخت^۶ و خزشی^۷ انتخاب و برای تولید یک فرزند از ترکیب دو والد برتر و جایگزینی و تکرار کروموزوم برتر در نسل بعد استفاده شد.

برای بررسی تأثیر حضور گیاه بر نتایج بهینه‌یابی، مدل بهینه‌یابی در شرایط حضور و عدم حضور گیاه اجرا شد. پارامترهای مورد نیاز برای شبیه‌سازی حضور گیاه شامل تبخیر و تعرق، جذب آب توسط گیاه و جذب نیترات هستند که تبخیر و تعرق برای گیاه ذرت بر اساس پنمن-مانتیث با استفاده از داده‌های هواشناسی بدست آمد. سایر پارامترها از مطالعات وسلینگ (۲۹) و برادبنت (۸) بدست آمدند.

نتایج و بحث

مقادیر بهینه متغیرهای تصمیم دبی ورودی، مدت زمان آبیاری، زمان شروع کوددهی و مدت تزریق کود در جدول (۲) آمده است.

سپس از نتایج SRFR در شرایط مختلف برای واسنجی مدل‌های تخمین رواناب و نفوذ عمقی در رژیم جریان ثابت بهره گرفته شد. معادلات (۱۵) و (۱۶) ضرایب واسنجی مدل‌های تخمین رواناب و نفوذ عمقی زیربهار و همکاران (۳۱) را بیان می‌کنند.

$$R_r (Measured) = 1.4077 R_r (Estimated) - 29.972 \quad (15)$$

$$D_r (Measured) = 0.355 D_r (Estimated) + 6.991 \quad (16)$$

مدل بهینه‌یابی

قیودی که محدوده فضای تصمیم مربوط به مطالعه صحرایی را در مدل بهینه‌یابی تعیین می‌کنند در معادلات ۲۱-۱۷ آمده‌اند. ردی و آپولایو (۲۳) میزان دبی حداکثر و حداقل را با توجه به تأثیر شکل جویچه بر فرسایش و آبدوی به ترتیب برابر با ۵۰٪ و ۱۰٪ دبی فرساینده (بوهر، ۱۹۷۶) بیان نمودند. در این تحقیق نیز دبی حداکثر و حداقل ۱/۵ و ۰/۱۸ لیتر بر ثانیه برابر با ۸۵٪ و ۱۵٪ دبی فرساینده برای ایجاد دامنه وسیعتر جستجوی جواب بهینه لحاظ شدند. حداکثر زمان آبیاری با توجه به ساعات کاری و شرایط کشاورز ۹۰۰ دقیقه و حداکثر زمان شروع کوددهی نصف زمان آبیاری یعنی ۴۲۰ دقیقه در نظر گرفته شد. محدوده زمان شروع کوددهی بر اساس مطالعه سانتوس و همکاران (۱۹۹۷) و عباسی و همکاران (۳) که کودآبیاری در ۵۰٪ میانی و نیمه اول را دارای راندمان کاربرد آب و یکنواختی بالاتری بیان نمودند، انتخاب شد. حداکثر مدت زمان کوددهی با توجه به زمان شروع کوددهی، برابر با زمان آبیاری در نظر گرفته شد.

$$0.18 \leq q \leq 1.5 \quad (l/s) \quad (17)$$

$$t_n + t_a \leq t_{co} \leq 900 \quad (\text{min}) \quad (18)$$

$$0 \leq t_s \leq \frac{1}{2} t_{co} \quad (19)$$

$$t_d + t_s \leq t_{co} \quad (20)$$

$$100 - (D_r + R_r) \geq 40 \quad (21)$$

پارامترهای حل الگوریتم ژنتیک شامل طول کروموزوم، تعداد جمعیت اولیه، تعداد نسل، احتمالهای جهش و تزویج، نحوه اعمال

- 1- Selection
- 2- Crossover
- 3- Mutation
- 4- Elitism
- 5- Tournament
- 6- Uniform
- 7- Creep

نیترات خروجی در رواناب و نفوذعمقی و یا افزایش حجم آب آبیاری حرکت نماید.

مقادیر اجزاء تابع هدف شامل نسبت رواناب به حجم کل آب آبیاری، نسبت نفوذعمقی به حجم کل آب آبیاری، متوسط غلظت نیترات خروجی توسط رواناب در طول آبیاری و متوسط غلظت نیترات خروجی توسط نفوذعمقی در طول دوره تناوب آبیاری و در نهایت متوسط تلفات نیترات به صورت رواناب و نفوذعمقی در جدول (۳) ارائه شده‌اند. شکل (۲ و ۳) تغییرات مقدار تابع هدف را در برابر شماره نسل نشان می‌دهد. همانطور که در شکل مشخص است مقدار تابع هدف به سمت جواب بهینه عمومی همگرا شده است.

بررسی مفهومی تابع هدف نشان می‌دهد که مدل بهینه‌یابی برای یافتن مقادیر بهینه متغیرهای تصمیم باید به سوی حداقل نمودن جرم

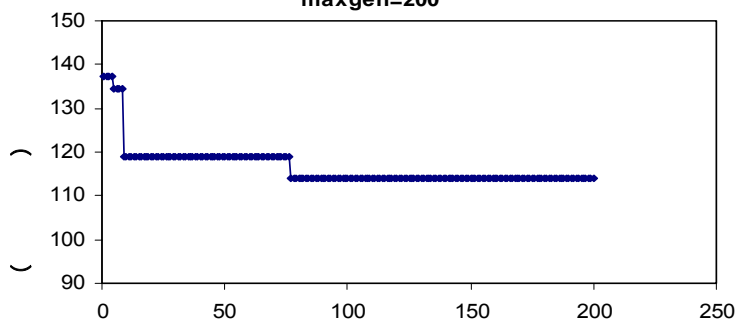
جدول ۲- مقادیر بهینه متغیرهای تصمیم در رژیم جریان ثابت

متغیر تصمیم	بدون حضور گیاه	با حضور گیاه
دبی (لیتر بر ثانیه)	۰/۱۸۴	۰/۲۱
زمان آبیاری (دقیقه)	۵۹۵/۲	۵۳۷/۱
زمان شروع کوددهی (دقیقه)	۷/۵	۶/۵
مدت زمان تزریق (دقیقه)	۱۶۲/۹	۱۴۳/۰

جدول ۳- شاخص‌های ارزیابی مدل بهینه‌یابی در رژیم جریان ثابت

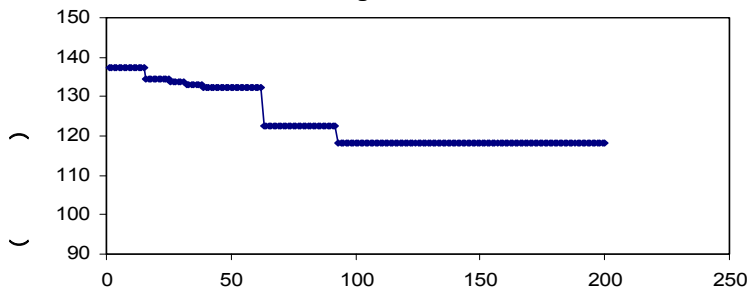
میزان رواناب (درصد)	بدون حضور گیاه	با حضور گیاه
میزان نفوذعمقی (درصد)	۵۴/۴۶	۵۸/۴۷
متوسط نیترات در رواناب (میلی گرم بر لیتر)	۲۰۸/۱	۲۰۱/۲۵
متوسط نیترات در نفوذعمقی (میلی گرم بر لیتر)	۳۰/۹۲	۳۲/۲۴
متوسط نیترات خروجی (میلی گرم بر لیتر)	۱۱۳/۸۶	۱۱۸/۱۳

Model 1: $P_c=0.95$, $P_m=0.05$, Pop size=140, nparam=4, maxgen=200



شکل ۲- روند تغییرات تابع هدف در رژیم جریان ثابت در برابر شماره نسل در شرایط بدون گیاه

Model 1: $P_c=0.95$, $P_m=0.05$, Pop size=140, nparam=4, maxgen=200



شکل ۳- روند تغییرات تابع هدف در رژیم جریان ثابت در برابر شماره نسل در حضور گیاه

در نفوذ عمقی و رواناب نسبت به شرایط بدون حضور گیاه، مدل با افزایش دبی ورودی منجر به کاهش غلظت کود نیترات ورودی و در نتیجه بهبود متوسط خروج نیترات از مزرعه می‌گردد. ارزیابی نتایج بدست آمده در بهینه‌یابی نشان از عملکرد قابل قبول مدل بهینه‌یابی در تعیین بهینه مقادیر پارامترهای تأثیر گذار بر کودآبیاری دارد. بنابراین این مدل می‌تواند به عنوان یک راهنمای جامع بجای دستورالعمل‌های کلی حاصل از تجربیات صحرایی و آزمایشگاهی، در مدیریت و طراحی شرایط مختلف کودآبیاری مورد توجه قرار گیرد.

استفاده از مدل بهینه‌یابی زیست محیطی برای کاهش تلفات آلاینده‌ی نیترات نه تنها منافع زیست محیطی دارد بلکه با تأثیر بر کارایی کاربرد آب و کود، افزایش عملکرد محصول، کاهش هزینه احیاء محیط زیست و منابع آب آلوده باعث منافع اقتصادی نیز می‌گردد. از این رو استفاده از مفاهیم زیست محیطی در طراحی و مدیریت پروژه‌های آبیاری و زهکشی توصیه می‌گردد.

برای حداقل نمودن جرم نیترات خروجی باید مدت زمان تزریق به صفر میل کند. از آنجا که نیاز کودی مزرعه بر اساس نیاز گیاه و نیترات موجود در خاک مشخص می‌شود، این مساله در مدل‌های شبیه‌سازی لحاظ شده است تا از صفر شدن مدت زمان تزریق جلوگیری و کود مورد نیاز به مزرعه وارد شود. پارامترهای زمان شروع کوددهی و مدت زمان تزریق ملزم به اعمال کود مورد نیاز مزرعه هستند. افزایش حجم آب آبیاری نیز اگرچه باعث کاهش غلظت نیترات خروجی در رواناب و نفوذ عمقی می‌شود، اما تلفات آب را زیاد و راندمان آبیاری را کاهش می‌دهد. میزان آب آبیاری بر اساس راندمان آبیاری که در قیود مدل بهینه‌یابی آورده شده است، کنترل می‌شود. از آنجا که که شدت تزریق کود از مخزن (حاصل تقسیم نیاز کودی به مدت زمان تزریق)، زمان شروع کوددهی و میزان آب آبیاری بر جرم و غلظت نیترات خروجی توسط رواناب و نفوذ عمقی موثر هستند، مدل بهینه‌یابی نقطه بهینه را در تعادل اجزاء تابع هدف پیدا نموده است. در شرایط حضور گیاه به دلیل بیشتر بودن غلظت نیترات خروجی

منابع

- ۱- جلینی م. و عباسی ف. ۱۳۸۸. ارزیابی یکنواختی کودآبیاری و تلفات کود در آبیاری جویچه‌ای، مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۳، شماره ۲، صفحات ۷۵-۸۶.
- ۲- عباسی ف.، لیاقت ع. م. و گنجه ا. ۱۳۸۷. ارزیابی یکنواختی کودآبیاری در آبیاری جویچه‌ای. مجله تحقیقات آب و خاک ایران (مجله علوم کشاورزی ایران)، جلد ۳۹، شماره ۱، صفحات ۱۱۷-۱۲۸.
- 3- Abbasi F., Simunek J., van Genuchten M. T., Feyen J., Adamsen F. J., Hunsaker D. J., Strelkoff T. S., and Shouse P. 2003 a. Overland Water Flow and Solute Transport: Model Development and Field-Data Analysis. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, Vol. 129 (2): 71-81.
- 4- Abbasi F., Shooshtari M. M. and Feyen J. 2003 b. Evaluation of the various surface irrigation numerical simulation models. *J. Irrig. Drain. Eng.* 129 (4): 208-213.
- 5- Antweiler R.C., Goolsby D.A. and Taylor H.E. 1996. Nutrients in the Mississippi River. In: Meade, R.H. (Ed.), *Contaminants in the Mississippi River*, 1133. U.S. Geol. Surv. Circ., pp. 73-85.
- 6- Appelgren B. G. 1994. Agricultural and environmental legislation Lithuania. Technical report. FAO-LEG: TCP/LIT/2352. Technical cooperation programmed. FAO. Rome.
- 7- Booher L. J. 1976. Surface irrigation. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- 8- Broadbent F. E. 1984. Plant use of soil nitrogen. Nitrogen in crop production, R. D. Hauck, ed., ASA-CSSA-SSSA, Madison, Wis., 171-182.
- 9- Delgado J.A., Shaffer M., Hu C., Lavado R.S., Cueto-Wong J., Joosse P., Li X., Rimski-Korsakov H., Follett R., Colon W. and Sotomayor D. 2006. A decade of change in nutrient management: a new nitrogen index. *J. Soil Water Conserv.* 61, 66A-75A.
- 10- Dzikiewicz M. 2000. Activities in non-point pollution control in rural areas of Poland. *Ecol. Eng.* 14, 429-434.
- 11- Elliot R. L., and Walker W. R. 1982. Field evaluation of furrow infiltration and advance functions. *Trans. ASAE.* 25(2): 396-400.
- 12- Feinerman E. and Falkovitz M. S. 1997. Optimal Scheduling of nitrogen fertilization and irrigation. *Water Resour. Manag.* 11:101-117.
- 13- FAO. 1993. Livestock for Food, Income, Employment and Sustainable Agriculture. FAO Animal Production and Health Division, Rome Italy.
- 14- Goldberg D.E. 1989. Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning, Addison. Wesley, New York.
- 15- Hofmann B.S., Brouder S.M. and Turco R.F. 2004. Tile spacing impacts on yield and drainage water nitrate load. *Ecol. Eng.* 23, 251-267
- 16- Holland J.H. 1975. Adaptation in Natural and Artificial Systems. University of Michigan Press, Ann Arbor, MI.

- 17- Jaynes D. B., Rice R. C. and Hunsaker D. J. 1992. Solute transport during chemigation of level basin. *Trans. ASAE*, 35 (6): 1809-1815.
- 18- Mantoglou A., and Gelhar L. 1987. Capillary tension head variance, mean soil moisture content and effective specific soil moisture capacity of transient unsaturated flow in stratified soils. *Water Resour. Res.*, 23 (1): 47-56.
- 19- Mitsch W.J. and Day J.W. 2006. Restoration of wetlands in the Mississippi-Ohio-Missouri (MOM) River Basin: experience and needed research. *Ecol. Eng.* 26, 55-69.
- 20- Mohanty B. P., Bowman R. S., Hendrickx J. M. H., Simunek J. and van Genuchten M. T. 1998. Preferential transport of nitrate to tile drain in an intermittent-flood-irrigated field: model development and experimental evaluation. *Water Resou. Reas.* 34(5): 1061-1076.
- 21- Owens L.B. and Edwards W.M. 1994. Groundwater nitrate levels under fertilized grass and grass legume pastures. *J. Environ. Qual.* 23, 752-758.
- 22- Praveen K., Alameda J., Bajcsy P., Folk M. and Markus M. 2006. Hydro informatics data integrative approaches in computation, analysis, and modeling. Chapter 24: Genetic Algorithm. CRC Press, Taylor and France group. 529 Pages.
- 23- Reddy J. M., and Apolayo H. M. 1991. Sensitivity of furrow irrigation system cost and design variable. *J. Irrig. Drain. Eng.*, 117 (2): 201-219.
- 24- Sanchez C. A. and Doerge T. A. 1999. Using nutrient uptake patterns to develop efficient nitrogen management strategies for vegetables. *Hortechonology*, 9 (4): 601-606.
- 25- Shaffer M.J., and Delgado J.A. 2002. Essentials of a national nitrate leaching index assessment tool. *J. Soil Water Conserv.* 57, 327-335.
- 26- Simunek J., Sejna M. and Vangenuchten M. Th. 1999. HYDRUS_1D manual. U. S. Salinity Lab. Agriculture Research Service.
- 27- USDA. 1999. SRFR package Version 4.06. United state Agriculture Department. Agriculture Research Service. Software.
- 28- Zerihun D., C. A. Sanchez, K. L. Farrell-Poe, F. J. Adamsen and D. J. Hunsaker. 2003. Performance indices for surface N fertigation. *J. Irrig. and Drain. Eng.*, 129(3): 173-183.
- 29- Wesseling J. G., Elbers J. A., Kabat P., and van den Broek B. J. 1991. SWATRE: instructions for input, Internal Note, Winand Staring Centre, Wageningen, the Netherlands,
- 30- Williams J. R. 1995. The EPIC model. Pages 910-1000 in V. P. Singh, editor. *Computer models of watershed hydrology*. Water Resources Publications, Highlands Ranch, Colorado, USA.
- 31- Zerihun D., Feyen J., Mohan Reddy J. and Wang Z. 1997. Empirical functions for dependent furrow irrigation variables: 1- Methodology and equation. *Irrig. Sci.*, 17: 111-120.

Optimization of Furrow Fertigation from environmental

M. Navabian^{1*} - A. M. Liaghat² - R. Kerachian³ - F. Abbasi⁴

Received:

Accepted:

Abstract

Optimal management of water and nutrient could consider as effective on farm method to reduce pollution because agriculture is none point pollution. In this research, an optimal model was presented to reduce nitrate loss in furrow fertigation. The optimal model contains four simulation models for predicting runoff, deep percolation, nitrate concentration in runoff and nitrate concentration in deep percolation. Genetic algorithm was used for model solution. Decided values were inlet discharge, cutoff time of irrigation, starting time and duration of fertigation. Simulation model's ability to simulate fertigation event cause a comprehensive optimal model of fertigation in different climate, plant, irrigation and fertigation situations. Field experiment of furrow irrigation under continues regime was used to evaluate optimal model. Optimal decided values for inlet discharge, cutoff time of irrigation, starting time and duration of fertigation was determined 0.184 L/s, 595.2 min, 7.5 min and 162.9 min in plant conditions. These values were 0.21 L/s, 537.1 min, 6.5 min and 143 min in none plant condition. Optimal decided values cause 113.86 and 118.3 mg/L mean nitrate loss from farm as runoff and deep percolation under plant and none plant conditions, respectively. Optimal model was increased nitrate concentration in deep percolation or decreased nitrate concentration in runoff by increasing inlet discharge because plant increase nitrate concentration in deep percolation. Results show plant has effect on optimization then it is appropriate to determine optimal decided values under plant and none plant conditions.

Keywords: Furrow irrigation, Optimization, Fertigation, Water and nutrient management, Nitrate

1- Assistant Prof., Water Engineering Department, Agricultural Science Campus, University of Guilan, Rasht, Iran
(*- corresponding author Email: Navabian@guilan.ac.ir)

2- Prof., Department of Water and Soil, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

3-Associate Prof., School of Civil Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran

4-Associate Prof., Agricultural Engineering Research Institute, AERI, Iran