

شبیه‌سازی تغییرات سطح ایستابی و غلظت نیترات در اراضی شالیزاری با مدل DRAINMOD-N (مطالعه موردی: کاپیک)

حدیثه نوری^۱، حمید زارع ایبانه^{۱*}، عبدالمجید لیاقت^۲ و حمیده نوری^۲

تاریخ پذیرش: ۸۸/۸/۲۵

تاریخ دریافت: ۸۸/۴/۴

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد و استادیار، گروه مهندسی آب، دانشگاه بوعلی سینا همدان

۲- استاد و دانشجوی دکترا، گروه آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران

* مسئول مکاتبه E-mail: zare2000@gmail.com

چکیده

در این تحقیق شبیه‌سازی تغییرات سطح ایستابی و غلظت نیترات آب زیرزمینی در کرت شالیزاری مجهز به سامانه زهکش کنترل شده در مرکز ترویج و توسعه تکنولوژی هراز در استان مازندران انجام شد. برای شبیه‌سازی تغییرات کمی و کیفی آب زیرزمینی ناحیه زهکشی از مدل DRAINMOD-N با اعمال آمار و اطلاعات اندازه‌گیری شده و کالیبره شده استفاده گردید. این مدل با تغییر ضرایب معدنی شدن، دنیتریفیکاسیون و انتشارپذیری در دامنه قابل قبول، برای رسیدن به بهترین انطباق بین داده‌های اندازه‌گیری و برآوردی، کالیبره شد و ضرایب به ترتیب $0/000035$ ، $0/4$ و 5 به دست آمد. تجزیه و تحلیل نتایج به دو صورت ترسیمی و آماری بین مقادیر اندازه‌گیری شده و برآورد شده از مدل انجام شد. مقایسه آماری براساس مقادیر خطای متوسط (MBE)، کارایی مدل (EF) و ضریب همبستگی (r) صورت گرفت. آماره‌های فوق برای برآورد سطح آب زیرزمینی به ترتیب $3/38$ سانتی‌متر، $0/53$ و $0/80$ و برای غلظت نیترات $0/61$ میلی‌گرم بر لیتر، $0/97$ و $0/99$ به دست آمد و حاکی از تطابق خوب مقادیر برآوردی در مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری است. بدین ترتیب می‌توان از DRAINMOD-N به عنوان مدلی توانمند در پیش‌بینی و ابزاری برای مدیریت آب و آلودگی در ناحیه زهکشی به منظور کاستن از خطرات زیست محیطی تغییرات ایجاد شده در اراضی شالیزاری استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: اراضی شالیزاری، زهکش کنترل شده، سطح ایستابی، نیترات، DRAINMOD-N

Simulation of Water Table Fluctuations and Nitrate Concentration with DRAINMOD-N Model in Paddy Rice Field (Case Study: Capic)

H Noori¹, H Zare Abyaneh^{*1}, A Majid Liyagat² and H Noori²

¹MSc Student and Assist. Prof, Water Engin. Dept., University of, Bu-Ali Sina, Hamedan, Iran

²Prof. and Ph.D. Student Dept. of Irrigation and Reclamation, University of Tehran, Iran

*Corresponding author: E-mail: Zare2000@gmail.com

Abstract

In this study, simulations of water table fluctuations and nitrate concentration of groundwater were investigated in paddy rice fields which were equipped with controlled drainage system. This research was done in Haraz Technology and Development center in Mazandaran province north of Iran. For simulating the qualitative and quantitative variations of groundwater surface in the drained area, DRAINMOD-N model was applied using calibrated and measured data. It was necessary to calibrate the mineralization, denitrification and dispersivity constants in acceptable range to achieve the best fitness between the measured and simulated data. Therefore, the above constants were obtained 0.000035, 0.4 and 5 respectively. The analysis was done in graphical and statistical modes between the measured and simulated data. The statistical comparison was done by the mean bias error (MBE), model efficiency (EF) and correlation factor (r) indices. indices were achieved 3.38, 0.53, and 0.80 for estimation of the ground water level and 0.61, 0.97, and 0.99 for the estimation of nitrate concentration, respectively. The DRAINMOD-N model maybe used as a powerful model in simulation and management of water pollution in drained area for reducing the environmental risks which may be occurred in paddy rice fields.

Keywords: Controlled drainage, DRAINMOD-N, Nitrate, Paddy rice field, Water table

مقدمه

کشاورزی منبع اصلی آلودگی آب‌های زیرزمینی و سطحی می‌باشد (راندال و مالا 2001، استوات و همکاران 2001، وانگ و همکاران 2006a، سالازار و همکاران 2009). در سال‌های قبل کشاورزان بر این تصور بودند که بقایای کودها و سموم در خاک باقی مانده و آسیبی به منابع

مصرف کودهای شیمیایی بدون توجه به آثار سوء آن‌ها بر خصوصیات خاک، کمیت و کیفیت محصولات کشاورزی و محیط زیست به‌طور قابل توجهی افزایش یافته است. زه‌آب ناشی از مصرف این کودها در اراضی

مدل به خوبی قادر به پیش‌بینی وضعیت هیدرولوژیکی خاک و تلفات ازت در رواناب سطحی و زهکشی زیرزمینی می‌باشد. رهبری و همکاران (1385) با شبیه‌سازی حرکت نیترات در مدل DRAINMOD-N در مزرعه‌ای تحت کشت ذرت نشان دادند که بین غلظت نیترات برآورد شده توسط مدل و غلظت نیترات اندازه‌گیری شده همبستگی بسیار بالایی برقرار است.

برنج از جمله گیاهان زراعی است که کشت آن در ایران بیشتر به‌صورت نشایی و آبیاری آن غرقابی دایم یا متناوب می‌باشد. کشاورزان برای افزایش عملکرد در اراضی شالیزاری تمایل در به‌کارگیری کودهای شیمیایی دارند و به دنبال آن انجام آبیاری غرقابی یا متناوب با دور آبیاری کوتاه، افزایش تلفات عمقی و در نتیجه افزایش خطر آلودگی آب‌های زیرزمینی را در پی دارد، بنابراین در اراضی شالیزاری نیاز به یک مدل شبیه‌ساز برای پیش‌بینی تغییرات سطح ایستابی و غلظت نیترات در آب‌های زیرزمینی ضروری می‌باشد. این تحقیق به بررسی عملکرد مدل DRAINMOD-N در تغییرات سطح ایستابی و تعیین غلظت نیترات در آب‌های زیرزمینی اراضی شالیزاری دارای زهکش کنترل شده پرداخته است.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال 1387 در یکی از کرت‌های شالیزاری دارای زهکش کنترل شده به مساحت 1/1 هکتار از بلوک 10 مرکز ترویج و توسعه تکنولوژی هراز (کاپیک) در 10 کیلومتر جاده آمل - محمودآباد (استان مازندران) به منظور ارزیابی توانمندی مدل DRAINMOD-N در شبیه‌سازی سطح ایستابی و غلظت نیترات آب زیرزمینی در کرت شالیزاری مورد استفاده قرار گرفت (شکل 1). میانگین بارندگی و درجه حرارت سالانه منطقه به ترتیب 882/6 میلی‌متر و 16 درجه سانتی‌گراد بود منطقه در ارتفاع 5/5 متر از سطح دریا و $17^{\circ}52' E$ طول جغرافیایی و

آب‌های سطحی و زیرزمینی نمی‌رسانند. اما کشف آثار کودهایی چون نیترات و سمومی مانند DDT در آب‌ها نشان‌دهنده نادرستی این طرز تفکر است و بررسی‌های بعدی شواهدی از باقی‌مانده‌های فسفات، فلزات سنگین و سموم نباتی را هم نشان داده است (مدراموتو و همکاران 1994). در سال‌های اخیر تلاش‌های زیادی در استفاده از مدل‌های شبیه‌ساز برای طراحی و تشریح عملکرد سیستم‌های مدیریت آب به عمل آمده است. از جمله این تلاش‌ها، مدل DRAINMOD است که توسط اسکگز در سال 1978 با هدف طراحی و ارزیابی سیستم‌های مدیریت آب عرضه شد. DRAINMOD مدل ریاضی شبیه‌سازی است که برای انواع خاک‌ها و محصولات در شرایط آب و هوایی متفاوت به صورت رضایت‌بخشی آزمایش شده است (بروو و همکاران 1997). لذا نتایج آن قابل اعتماد است چرا که شبیه‌سازی با اطلاعات محلی و مزرعه‌ای ابزار مناسبی در تعیین بهینه پارامترهای یک سیستم مدیریت آب محسوب می‌شود (دسموند 2003). اکثر محققین مدل DRAINMOD را در پیش‌بینی سطح ایستابی بسیار خوب توصیف کرده‌اند (وهبا و همکاران 2002، ونگ و همکاران 2006b). بروو و همکاران (1997) مدل را از نظر بررسی چرخه نیتروژن در پروفیل خاک و تاثیر آن بر عملکرد محصول تحت عنوان DRAINMOD-N ارتقاء دادند. علاوه بر شبیه‌سازی هیدرولوژیکی، توانایی شبیه‌سازی انتقال نیترات، جذب نیترات و تغییر شکل نیترات در پروفیل خاک را نیز دارد (زاو و همکاران 2000). هلوینگ و همکاران (2002) در ارزیابی تلفات نیترات زه‌آب خروجی از زهکش‌ها با مدل DRAINMOD به این نتیجه رسیدند که مدل، پیش‌بینی خوبی از پارامترهای هیدرولوژیکی دارد اما مقدار نیترات در زه‌آب را نمی‌تواند خوب برآورد نماید.

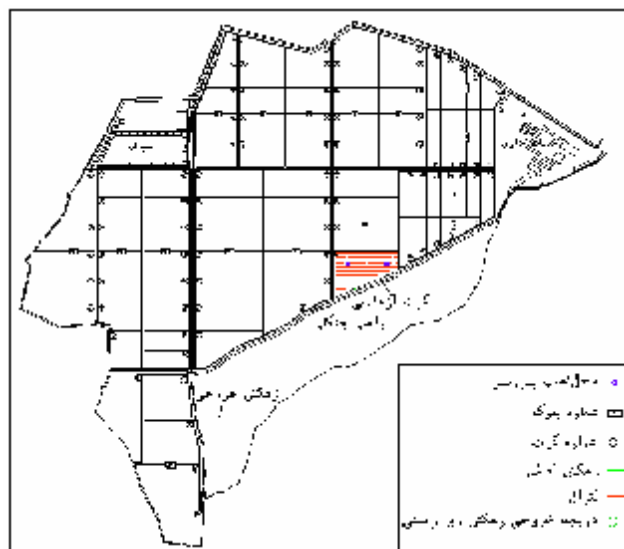
یانگ و همکاران (2007) عملکرد مدل DRAINMOD-N را در مزارع ذرت مورد ارزیابی قرار داده و نشان دادند

مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه پیش از کاشت برنج اندازه‌گیری و خصوصیات شیمیایی آب آبیاری نیز با نمونه‌برداری از آن تعیین و در جداول 1 و 2 ارائه گردیده است. در 19 خرداد سال 1387 زمین مورد نظر آماده و از نشاهای برنج رقم فجر جهت مکانیزه استفاده شد. ارتفاع نشاها 20-18 سانتی‌متر، کاشت به صورت کپه‌کاری، فاصله ردیف‌ها 30 سانتی‌متر، فاصله بوته‌ها در ردیف 16 سانتی‌متر و عمق کاشت حدود 15 سانتی‌متر بود.

آبیاری به روش غرقاب (متناوب) از منابع آب زیرزمینی توسط کانال بتنی موجود در بالای کرت به سمت مزرعه هدایت می‌شد. اندازه‌گیری سرعت آب در داخل کانال با توجه به کم بودن عمق آب در داخل کانال با استفاده از روش‌هایی مانند مولینه، سیفون، پارشال فلوم و دیگر روش‌ها امکان‌پذیر نبود و در نتیجه از روش جسم شناور استفاده گردید. کوددهی از منابع کودی اوره، سولفات تریپل و سولفات دوپتاس به ترتیب به مقدار 150، 100 و 50 کیلوگرم در هکتار تامین شد. دو سوم کود اوره و تمامی کودهای سولفات تریپل، سولفات دوپتاس 10 روز پس از کاشت و باقی‌مانده کود اوره 20 روز پس از کوددهی اول در سطح زمین پخش گردید.

36°58'N عرض جغرافیایی قرار دارد. مرکز کاپیک دارای 85 کرت شالیزاری به مساحت 57 هکتار، مجهز به زهکش‌های سطحی با فاصله 200 تا 400 متر و 4 کرت به مساحت 3 هکتار مجهز به سیستم زهکشی زیرزمینی می‌باشند. جنس لوله‌های زیرزمینی پلی‌اتیلن موجدار، قطر آن 100 میلی‌متر، فاصله لوله‌ها از یکدیگر 10 متر و عمق کارگذاری آن‌ها از 70 تا 93 سانتی‌متر (با توجه به شیب) متغیر بود.

زهکش جمع‌کننده زیرزمینی دارای سازه کنترل در قسمت خروجی می‌باشد که به منظور ایجاد حالت غرقاب در اراضی شالیزاری و جلوگیری از خروج آب در فصل کشت بسته است. سازه کنترل در زمان زهکشی میان فصل و قبل از برداشت محصول، جهت تسریع در تخلیه آب خاک و آماده‌سازی زمین برای شروع کشت دوم باز می‌شد. همان‌گونه که قبلاً اشاره شد در مزرعه سیستم زهکش سطحی برقرار نبود. بنابراین هیچ‌گونه رواناب سطحی از کرت زراعی خارج نمی‌شد.



شکل 1- اراضی شالیزاری مرکز ترویج و توسعه تکنوژی هراز - کاپیک¹ (درزی 1384)

¹ Caspian Sea coastal area agricultural development project-pilot implementation center

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه مورد آزمایش

نیتрат (میلی‌گرم بر لیتر)	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	pH	درصد ذرات			بافت	لایه خاک (سانتی‌متر)
			درصد اشباع	شن	سیلت		
۷/۵۸	۰/۸	۸/۲۸	۶۶/۴۲	۱۱/۷۳	۴۶/۴۱	۴۱/۸۶	۰-۳۰ سیلتی رسی
۱۲/۲	۰/۶۹	۸/۲۶	۶۹/۹۵	۸/۷۱	۴۷/۰۹	۴۴/۲۰	۳۰-۶۰ سیلتی رسی
۸/۲۵	۰/۶۴	۸/۲۶	۶۵/۶۱	۹/۹۷	۴۸/۱۷	۴۱/۸۶	۶۰-۹۰ سیلتی رسی

جدول ۲- خصوصیات شیمیایی آب آبیاری

کلراید (میلی‌اکی‌والان بر لیتر)	کربنات بی‌کربنات منیزیم کلسیم	نیترات قلیائیت سختی کل (میلی‌گرم بر لیتر)	pH	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	
				۰	۱
۳	۱۰/۵	۶۷۵	۷/۹۸	۷/۳۳	۰/۶۵

DRAINMOD-N به عنوان مدلی نیمه دو بعدی روند توزیع عمودی نیترات در ناحیه اشباع و دو بعدی نیترات در ناحیه غیر اشباع خاک را شبیه‌سازی می‌کند (لیاقت و کویانی 1384). مدل فوق براساس تحلیل نیتروژن و آمونیوم در قالب نیترات عمل می‌کند. مدل، آمونیوم را به طور مستقیم تحلیل نمی‌کند زیرا آمونیوم با شرکت در فعل و انفعالات باکتریایی تبدیل به نیترات شده و یا جذب سطحی کلوئیدهای خاک می‌شود. DRAINMOD-N برای تعیین غلظت نیترات در ناحیه زهکش براساس معادله بیلان نیترات در خاک (رابطه 1) بکار می‌رود (بروو و همکاران 1997).

$$\Gamma = \Gamma_{\text{dep}+} + \Gamma_{\text{fer}+} + \Gamma_{\text{mnl}-} - \Gamma_{\text{rnf}-} - \Gamma_{\text{upt}-} - \Gamma_{\text{den}} \quad [1]$$

که در آن Γ : مقدار کل نیترات Γ_{dep} : مقدار نیترات، حاصل از باران، Γ_{fer} : مقدار نیترات حاصل از کوددهی، Γ_{mnl} : مقدار نیترات حاصل از معدنی شدن مواد آلی، Γ_{rnf} : مقدار تلفات نیترات در رواناب سطحی، Γ_{upt} : مقدار نیترات از طریق جذب گیاهی و Γ_{den} : مقدار تلفات نیترات از طریق فرایند دنتریفیکاسیون است. واحد همه اجزا در معادله بیلان بر حسب $\text{ML}^{-3}\text{T}^{-1}$ است.

جهت سنجش سطح آب زیرزمینی و امکان نمونه‌برداری از آن، دو عدد پیزومتر از جنس پلی‌اتیلن با قطر 25 میلی‌متر، مجهز به فیلتر ژئوتکستال در عمق 90 سانتی‌متری نصب شدند. سنجش‌ها در فاصله روزهای 163 تا 231 ژوئیه‌سی¹ انجام شد. نمونه‌برداری و سنجش پارامترهای کیفی آب براساس روش‌های استاندارد نمونه‌برداری به شکل لحظه‌ای در ظروف شیشه‌ای استریل عاری از آلودگی صورت گرفت. به منظور جلوگیری از هر گونه تغییر کیفی، نمونه‌ها در یخدان مخصوص، با دمای کمتر از 4 درجه سانتی‌گراد حفظ و در پایان به آزمایشگاه انتقال یافت. اندازه‌گیری اسیدیته خاک (pH)، با استفاده از دستگاه pH متر، اندازه‌گیری هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک (EC_e) با دستگاه قابل حمل Ee سنج، اندازه‌گیری یون‌های کلراید، منیزیم، کلسیم، کربنات و بی‌کربنات از روش تیتراسیون، منگنز با دستگاه جذب اتمی و فسفات و نیترات با دستگاه اسپکتروفتومتر انجام شد.

¹ روز ژوئیه‌سی از ابتدای سال میلادی محسوب می‌شود.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 (P_i - \bar{P})^2}} \quad [3]$$

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 - \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad [4]$$

که در آن P_i : مقدار برآورد شده، O_i : مقدار مشاهده شده، O : میانگین مقادیر مشاهده شده، P : میانگین مقادیر برآورد شده و n : تعداد داده‌ها است. خطای متوسط شاخصی، از مقایسه مقادیر برآورد شده و اندازه‌گیری شده است. به طوری که مقدار نزدیک به صفر آن بیان‌کننده مطلوب بودن برآوردها است. علامت مثبت MBE نشان‌دهنده تخمین بیش‌تر مدل و علامت منفی نشان‌دهنده برآورد کمتر مدل نسبت به واقعیت است. مقدار EF نیز نشان‌دهنده کارکرد صحیح مدل در قالب صحت و عدم صحت برازش داده‌ها به ترتیب در بازه $[1$ و $\infty]$ و معیار r همبستگی و عدم همبستگی داده‌ها را به ترتیب در بازه $[1$ و 0] در تخمین مقدار واقعی نشان می‌دهد.

نتایج و بحث

علاوه بر پارامترهای ورودی (جدول 3)، مدل DRAINMOD-N نیاز به ضرابی مانند دنیتریفیکاسیون، معدنی شدن و انتشارپذیری دارد. آنالیز حساسیت انجام شده بر روی مدل ثابت کرده است که تلفات نیترات، بیشترین حساسیت را به دنیتریفیکاسیون و معدنی شدن دارد و حساسیت آن به انتشارپذیری در حد متوسط است (هلویگ و همکاران 2002). با توجه به تحقیقات انجام شده شدت معدنی شدن بین 0/00003 تا 0/008، شدت دنیتریفیکاسیون بین 0/004 تا 1/08 و انتشارپذیری بین 5 تا 30 سانتی‌متر می‌باشد (دیویدسون و همکاران 1987). مقادیر کالیبره شده‌ی ضریب معدنی شدن، دنیتریفیکاسیون و انتشارپذیری در تحقیق جاری به ترتیب برابر 0/000035، 0/4 و 5 به دست آمد (جدول 4).

برای شبیه‌سازی تغییرات سطح ایستابی و غلظت نیترات در آب زیرزمینی بایستی اطلاعات و آمار مناسبی از کرت شالیزاری مورد مطالعه موجود باشد، تا با اعمال اطلاعات در محیط مدل شبیه‌سازی انجام گردد. در جدول 3 اطلاعات مورد نیاز ورودی به مدل ارائه شده است. مقادیر عددی رابطه 1 براساس جدول 3 از گروه سایر اطلاعات انتخاب می‌شود. لازم به ذکر است که تمامی پارامترهای معرفی شده در رابطه 1 نسبت به عمق و زمان متغیر هستند (بروو و همکاران 1997) که با توجه به داده‌های خواسته شده و براساس توابع تعریف شده در مدل، مقدار هر جزء محاسبه می‌شود. برای شبیه‌سازی نیترات بایستی اطلاعات و آمار مناسبی از وضعیت ناحیه زهکش تحت مطالعه موجود باشد تا با اعمال اطلاعات در محیط مدل، غلظت نیترات محلول در آب خاک شبیه‌سازی شود. در جدول 3 اطلاعات مورد نیاز برای تعیین روند غلظت نیترات و نحوه تهیه آن‌ها ارائه و دسته‌بندی شده است. همان‌گونه که در جدول مشخص است برخی اطلاعات از مرکز کاپیک تهیه و تعدادی نیز با سنجش، نمونه‌گیری از آب زیرزمینی و کالیبره کردن مدل به دست می‌آیند. در مجموع تمامی اطلاعات ورودی به مدل DRAINMOD-N در زیرگروه‌های اطلاعات اقلیم، خاک، گیاه، اطلاعات سازه-ای مرتبط با زهکش و سایر اطلاعات در جدول 3 ارائه شده است.

به منظور مقایسه نتایج حاصل از مدل DRAINMOD-N با مشاهدات و اندازه‌گیری‌های انجام شده در طول فصل رشد برنج، از سه معیار خطای متوسط¹ (MBE)، ضریب همبستگی² (r) و کارایی مدل³ (EF) در قالب روابط 2، 3 و 4 استفاده شد.

$$MBE = \sum_{i=1}^n (P_i - O_i) / n \quad [2]$$

¹ Mean bias error

² Correlation coefficient

³ Modeling efficiency

جدول ۳- مقادیر پارامترهای مختلف ورودی در مدل DRAINMOD-N

منبع	مقدار	واحد	گروه اطلاعاتی	
م.ک.	اطلاعات روزانه از ایستگاه هواشناسی	فارنهایت	دمای ماکزیمم و مینیمم روزانه	سطح
م.ک.	اطلاعات روزانه از باران‌سنج	اینچ	مقدار بارندگی روزانه	
م.ک.	۰/۴۸	متر بر روز	هدایت هیدرولیکی اشباع (۰-۳۰)	شکل
م.ک.	۰/۲۴	متر بر روز	(۳۰-۶۰)	
م.ک.	۰/۱۹	متر بر روز	(۶۰-۹۰)	
م.ک.	۹۰	سانتی‌متر	عمق لایه غیرقابل نفوذ	آبیاری
ا.ا.	۰/۳۴	درصد حجمی	رطوبت اشباع	
م.ک.	۱/۴	گرم بر سانتی‌متر مکعب	چگالی ظاهری	
ا.ا.	۰/۲۰	درصد حجمی	رطوبت نقطه پژمردگی	
ا.ا.	شکل ۲	اینچ	آب آبیاری	سیستم زهکشی و زهکش کنترل شده
م.ک.	۸۲	سانتی‌متر	عمق زهکش	
م.ک.	۱۰۰۰	سانتی‌متر	فاصله زهکش‌ها	
م.ک.	۳۰	سانتی‌متر	ذخیره سطحی	
م.	۱/۱	سانتی‌متر	شعاع موثر زهکش	
م.ک.	(۱۹ خرداد تا ۲۰ شهریور، ۰)	سانتی‌متر	عمق سرریز	
م.ک.	(۲۰ شهریور تا ۲۵ شهریور، ۱۳۰)	سانتی‌متر		
م.ک.	۷۵۰۰	کیلوگرم بر هکتار	عملکرد پتانسیل	بهای
ا.ا.	۱۰۰ (۲۹ خرداد) + ۵۰ (۱۷ تیر)	کیلوگرم بر هکتار	میزان کود اوره مصرفی	
م.ک.	۴۰	سانتی‌متر	عمق موثر ریشه	
ا.ا.	۷/۳	میلی‌گرم بر لیتر	ازت موجود در باران	نیتر
م.ک.	۱/۳۶	درصد	مقدار نیتروژن در گیاه	
ا.ک.	جدول ۴	یک بر روز	ضریب معدنی شدن	
ا.ک.	جدول ۴	یک بر روز	ضریب دنیتریفیکاسیون	
ا.ک.	جدول ۴	سانتی‌متر مربع بر روز	ضریب انتشار	

م.ک. = مرکز کاپیک، ا.ا. = اطلاعات اندازه‌گیری، م. = محاسباتی، ا.ک. = اطلاعات کالیبره.

مقایسه شکلی نوسانات سطح ایستابی اندازه‌گیری شده و برآورد شده توسط مدل در شکل ۲ به همراه آب آبیاری نشان داده شده است. این شکل براساس مقادیر عمق سطح ایستابی ناحیه زهکشی در محور عمودی به ازای روزهای فصل رشد در محور افقی رسم شده است. به‌علاوه مقدار آب آبیاری شامل آب باران و آب داده شده به مزرعه نیز به شکل افزوده شده است. براساس شکل ۲ در بیشتر

جدول ۴- پارامترهای کالیبره شده ورودی به مدل DRAINMOD-N

پارامتر	واحد	بازه	مقادیر کالیبره
ضریب معدنی شدن	یک بر روز	۰/۰۰۰۰۳-۰/۰۰۸	۰/۰۰۰۰۳۵
ضریب دنیتریفیکاسیون	یک بر روز	۰/۰۰۴-۱/۰۸	۰/۴
ضریب انتشار	سانتی‌متر مربع بر روز	۵-۳۰	۵

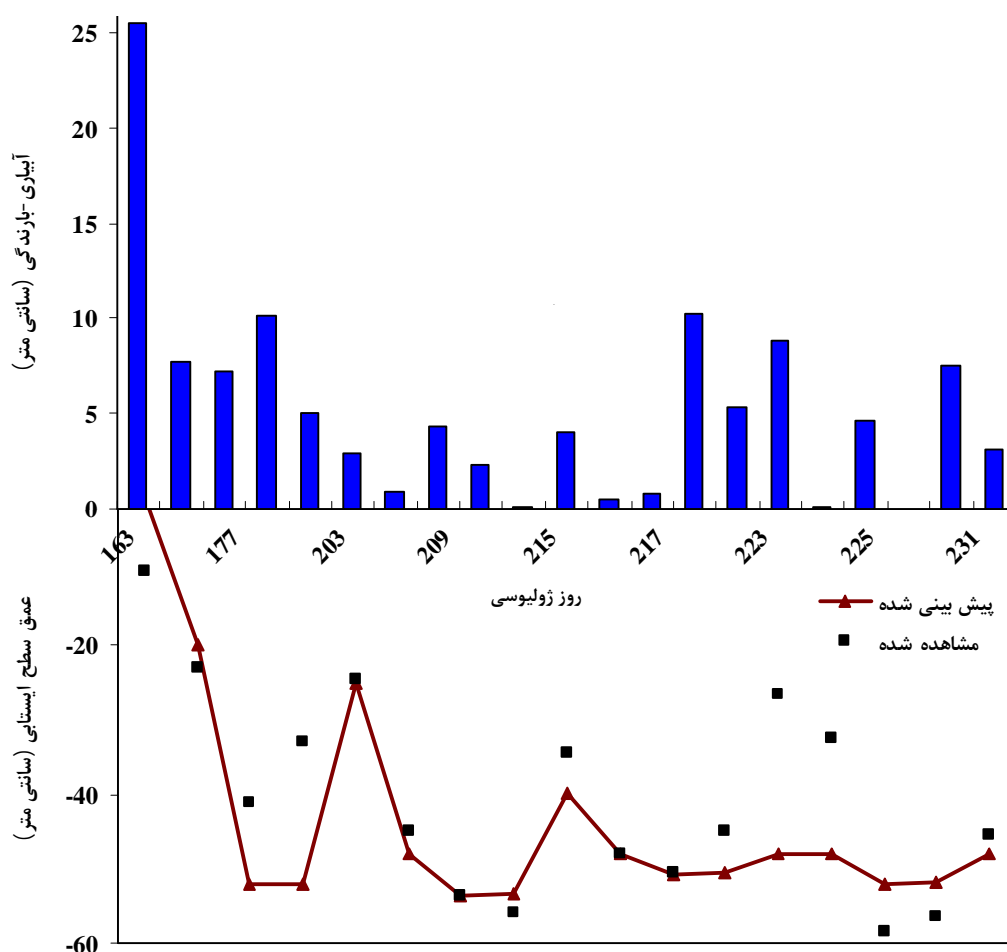
همکاران 2002). بنابراین بخش کمی از نیترات $\text{NO}_3\text{-N}$ تشکیل شده در چنین شرایطی جذب گیاه گردیده ولی قسمت اعظم آن به خاطر حلالیت زیاد نیترات، وارد آب زیرزمینی کم عمق اراضی شالیزاری می‌شود که افزایش اوج غلظت را در پی دارد. از دلایل دیگر روند کاهش نیترات اشباع بودن خاک در اراضی شالیزاری است که سبب تغییر فرم نیترات به نیتروژن آزاد طی فرآیند دنیتریفیکاسیون شده است. علاوه بر موارد فوق تفاوت‌های موجود بین مقادیر اندازه‌گیری و مشاهداتی در شکل 3 هم می‌تواند ناشی از برخی خطاها نظیر خطای اندازه‌گیری و نرم‌افزاری باشد.

برای مقایسه نتایج مدل DRAINMOD-N با مشاهدات میدانی از معیارهای EF و MBE استفاده شد و نتایج به‌دست آمده در جدول 5 آورده شد. این نتایج نشان‌دهنده حداقل مقدار این معیارها در نتایج شبیه‌سازی شده با مدل DRAINMOD-N می‌باشد. با توجه به جدول 5 مقادیر خطای متوسط برای تغییرات سطح ایستابی $3/38$ سانتی‌متر و برای غلظت نیترات $0/61$ گرم بر لیتر به‌دست آمد که نشان از فرارآورد مدل نسبت به مقادیر مشاهداتی است. همچنین مقدار EF (این پارامتر کارایی برآورد مدل را مشخص می‌کند) برای سطح ایستابی $0/53$ و غلظت نیترات $0/97$ به‌دست آمده که کارایی بسیار خوب مدل به واسطه همبستگی خیلی خوب بین مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده دارد.

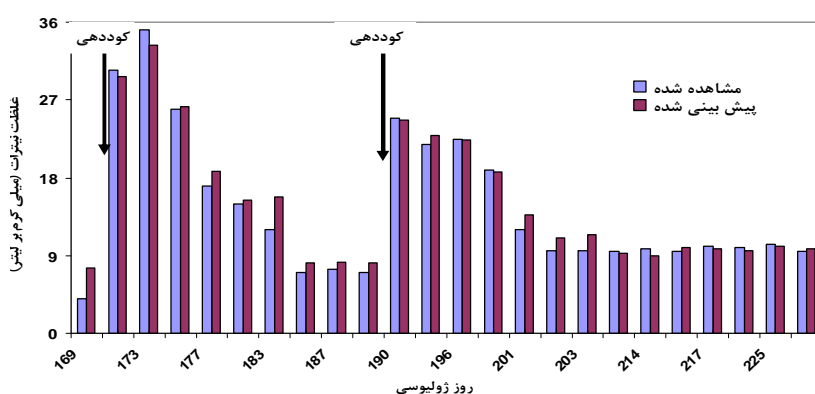
در ارزیابی‌های هلوگ و همکاران (2002) و یانگ و همکاران (2007) نیز مقادیر مشابهی گزارش شده است. محققان فوق‌ضریب همبستگی DRAINMOD-N در پیش‌بینی سطح ایستابی را در محدوده $0/84$ تا $0/44$ و کارایی مدل را $0/84$ تا $0/35$ گزارش نمودند.

زمان‌ها عمق سطح ایستابی پیش‌بینی شده توسط مدل اختلاف کمی با مقادیر مشاهداتی دارد. نوسانات سطح ایستابی را می‌توان ناشی از تبخیر و تعرق گیاه، آب آبیاری و بارندگی‌های فصل رشد دانست. ضمن آن‌که خطاهای اندازه‌گیری و پیش‌بینی شده هم در بروز این نوسانات و تفاوت‌ها بی‌تاثیر نبوده است. علل دیگر اختلاف بین مقادیر مشاهداتی و پیش‌بینی شده می‌تواند ناشی از خطای داده‌های ورودی مدل (مانند تبخیر و تعرق و هدایت هیدرولیکی) باشد. همچنین وجود جریان‌ات ترجیحی جدار خارجی لوله پیزومتر که به دلیل نحوه نصب پیزومتر به وجود آمده است، زیرا برای نصب پیزومتر ابتدا با آگر چاهکی حفر گردیده و لوله پیزومتر در داخل آن قرار گرفت سپس اطراف لوله با خاک و به‌صورت دستی پر شد احتمالاً جریان‌ات ترجیحی از طریق خاک دست‌خورده اطراف لوله وارد لوله پیزومتر گردیده که باعث بالا آمدن سطح آب داخل پیزومتر نسبت به سطح ایستابی در خاک می‌باشد.

روند تغییرات غلظت نیترات اندازه‌گیری و برآوردی از مدل DRAINMOD-N در شکل 3 آورده شده است که بیان‌گر قابلیت مدل می‌باشد. بیشترین مقدار غلظت نیترات در روزهای اولیه پس از کوددهی مشاهده می‌شود. شکل 3 نشان می‌دهد که روند تغییرات نیترات پس از افزایش اولیه به واسطه کوددهی حالت نزولی دارد. روند کاهش غلظت نیترات می‌تواند به دلیل وجود شرایطی از جمله بهبود رژیم رطوبتی خاک از طریق تر و خشک شدن پیوسته خاک در اثر انجام آبیاری متناوب برنج باشد. همچنین شرایط مناسب خاک (جدول 1) از نظر شوری و اسیدیته وقوع فرایندهای دنیتریفیکاسیون، معدنی شدن، جذب گیاهی و فرآیند جذب سطحی خاک را بهبود می‌بخشد (سینگ و



شکل ۲- مقایسه نوسانات سطح ایستابی اندازه‌گیری شده و برآورد شده به همراه آب آبیاری در کرت مورد مطالعه



شکل ۳- روند تغییرات غلظت نیترات مشاهده شده و برآورد شده در آب زیرزمینی کرت مورد مطالعه

خطای متوسط به ترتیب بین $0/63$ تا $0/92$ ، $4/88$ تا $0/95$ و $0/4$ تا $0/5$ برآورد نموده‌اند.

گزارشات وانگ و همکاران (۲۰۰۶) علاوه بر تایید برآوردهای سطح ایستابی پژوهش حاضر، نتایج پیش‌بینی مقدار نیترات را براساس ضریب همبستگی، کارایی مدل و

نشان داد که مدل برای هر دو متغیر مجهول دچار فرابردی است. دقت مدل برای تخمین غلظت نیترات بیشتر از سطح ایستابی بوده است. کارایی بالای مدل نشان داد که مدل DRAINMOD-N برای شبیه‌سازی و برنامه‌ریزی سطح ایستابی و سطح کوددهی در اراضی شالیزاری می‌تواند مفید باشد. پیشنهاد می‌گردد علاوه بر تکرار شبیه‌سازی برای دو سال زراعی به منظور حذف اثرات زیست محیطی نیترات در اراضی شالیزاری، مدل برای اراضی شالیزاری مجهز به زهکش سطحی نیز شبیه‌سازی گردد.

جدول ۵- نتایج ارزیابی آماری مدل برای برآورد مقادیر نوسانات سطح ایستابی و غلظت نیترات در آب زیرزمینی

پارامتر	MBE	EF	r
سطح ایستابی	۳/۳۸ (cm)	۰/۵۳	۰/۸۰
غلظت نیترات	/۶۱ (mg/l)	۰/۹۷	۰/۹۹

نتیجه‌گیری

اعتبار مدل DRAINMOD-N از طریق مقایسه مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده سطح ایستابی و غلظت نیترات مورد ارزیابی قرار گرفت. خطای متوسط

منابع مورد استفاده

- درزی ع. ۱۳۸۴، بررسی سیستم زهکشی زیرزمینی در اراضی شالیزاری با استفاده از نرم افزار DRAINMOD. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. رشته آبیاری و زهکشی موسسه آموزش عالی ابوریحان، دانشگاه تهران.
- رهبری پ، جبلی، س ج و لیاقت ع م، ۱۳۸۵. شبیه‌سازی انتقال نیترات توسط مدل DRAINMOD-N. مجله کشاورزی، جلد ۸، شماره ۱، صص ۲۱-۳۲.
- لیاقت، ع م و کاویانی ع، ۱۳۸۴. شبیه‌سازی حرکت آب و املاح به طرف زهکش‌ها با استفاده از نرم‌افزار DRAINMOD. کارگاه آموزشی مدل‌سازی در آبیاری و زهکشی.

Breve MA, 1994. Modeling the movement and fate of nitrogen in artificially drained soils. PhD thesis, North Carolina State University, Raleigh, NC.

Breve M, Skaggs RW, Parsons JE and Gilliam JW, 1997. DRAINMOD-N, a nitrogen model for artificially drained soils. Trans. ASAE 40: 1067-1075.

Davidson JM, Graetz DA, Suresh P, Rao C and Selimm HM, 1987. Simulation of nitrogen movement, transformations, and uptake in plant root zone. USEPA, EPA-600/3-78-029, Athens, GA.

Desmond E, 2003. Studies including hydrologic modeling and data analysis at the Ohio management system evaluation area. Ph.D thesis, Ohio State University.

Helwig TG, Madramootoo CA and Dodds GT, 2002. Modeling nitrate losses in drainage water using DRAINMOD 5.0. Agric. Water Manag. 56: 153-168.

- Madramootoo CA, Dodds GT and Alikhani Z, 1994. Proceedings of a national policy workshop on sustainable land and water resources management. Pp. 65. Agricultural and Biosystems Department of McGill University. Canada.
- Randall GW and Mulla DJ, 2001. Nitrate nitrogen in surface waters as influenced by climatic conditions and agricultural practices. *J Environ Qual* 30: 337-344.
- Salazar O, Westrom I, Youssef MA, Skaggs RW and Joel A, 2009. Evaluation of DRAINMOD-N model for predicting nitrogen losses in loamy sand under cultivation in south-east Sweden. *Agric Water manag* 96: 267-281.
- Singh M, Bhattacharya AK, Nair TVR and Singh AK, 2002. Nitrogen loss through subsurface drainage effluent in coastal rice field from India. *Agric Water Manag* 52: 249-260.
- Skaggs RW, 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.
- Stoate C, Boatman ND, Boralho RJ, Rio Carvalho C, Desnoo GR and Eden P, 2001. Ecological impacts of arable intensification in Europe. *J Environ Manag* 63: 337-365.
- Wahba MAS, El-Ganainny M, Abdel-Dayem MS, Kandil H and Gobran A, 2002. Evaluation of DRAINMOD-S for simulating water table management under semi-arid conditions. *J Irrig and Drain* 51: 213-216.
- Wang S, Prasher SO, Patel RM, Yang CC, Kim SH, Madani A, Macdonald PM and Robertson SD, 2006a. Fate and transport of nitrogen compounds in a cold region soil using DRAINMOD. *Computer and Electronics in Agriculture* 53: 113-121.
- Wang X, Mosley CT, Frankenberger, JR and Kladvko EJ, 2006b. Subsurface drain flow and crop yield predictions for different drain spacing using DRAINMOD. *J of Agric Water Manag* 79: 113-136.
- Yang CC, Prasher SO, Wang S, Kim SH, Tan CH, Drury C and Patel RM, 2007. Simulation of nitrate-N movement in southern Ontario, Canada with DRAINMOD-N. *J Agric Water manag* 87: 299-306.
- Zhao SL, Huggins DR and Moncrief JF, 2000. Predicting subsurface drainage, corn yield, and nitrate losses with DRAINMOD-N. *J Environ Qual* 29: 817-825.