چهارمین کارگاه فنی زهکشی
۱۸ آبان ماه ۱۳۸۵

مدل‌سازی انتقال نیترات به خارج از منطقه ریشه با استفاده از مدل GLEAMS و GS^+

محمد افشاراصل[۱]، کورش محمدی[۲]، عبدالمجید لیاقت[۳]، پانته‌آ رهبری

چکیده

شبیه‌سازی انتقال مواد مغذی به علت اهمیتی که در آلوده‌سازی محیط زیست به خصوص آب‌های سطحی و زیرزمینی دارند، از جایگاه ویژه‌ای در علوم کشاورزی برخوردار بوده است. از این میان، کودهای نیتراته به علت استفاده فراوان در کشاورزی و قابلیت انحلال بالاتر دارای اهمیت خاصی است. به همین منظور و جهت بررسی اثر مدیریت‌های مختلف کشاورزی بر روی شستشوی نیتریت، به اندازه‌گیری مقادیر نیترات خارج شده از منطقه ریشه و مقادیر نیترات موجود در آب سطحی و زیرزمینی در طول فصل رشد گیاه ذرت، در یک مزرعه سیلتی ـ لومی و در منطقه کرج پرداخته شد. در این مطالعه غلظت نیترات خارج شده از منطقه ریشه اندازه‌گیری شد و با استفاده از اطلاعات اقلیمی و خاک‌شناسی موجود در مدل ریاضی GLEAMS شبیه‌سازی گردید. مدل GLEAMS جهت شبیه‌سازی انتقال نیتروژن مورد استفاده قرار گرفت و مقایسه بین اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای و نتایج شبیه‌سازی نشان داد که غلظت نیترات خارج شده از منطقه ریشه و نیترات باقی مانده در خاک، به روش‌های مدیریتی در مزرعه بستگی دارد. مقدار نیترات اضافه شده به خاک، زمان و نحوه کود دهی و همچنین نوع آبیاری از عوامل تاثیرگذار در مقدار نیترات شسته شده و باقیمانده در خاک می‌باشند. مقایسه بین نتایج شبیه‌سازی و اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای نشان داد که مدل GLEAMS پس از کالیبراسیون می‌تواند ابزار مناسبی جهت مشخص کردن مقدار بهینه نیترات در سطح قابل قبول زیست محیطی و با توجه به نحوه مدیریت مزارع باشد. به منظور

---

۱ - کارشناس ارشد مهندسین مشاور یکم

۲ - عضو هیئت علمی گروه آبیاری و زهکشی، دانشگاه تربیت مدرس،تهران، صندوق پستی ۳۳۶-۱۴۱۱۵، تلفن: ۴۴۱۹۶۵۲۲،
kouroshm@modares.ac.ir

۳ - عضو هیئت علمی دانشکده مهندسی آبیاری، دانشگاه تهران

ارائه بهتر نتایج و همچنین تعمیم نقاط نمونه برداری به کل مزرعه مطالعاتی با استفاده از روش‌های زمین آمار، از نرم‌افزار GS^+ استفاده شد.

کلمات کلیدی: شبیه‌سازی، شستشوی نیترات، منطقه ریشه، GS^+، GLEAMS

مقدمه

در دهه‌های گذشته استفاده بی‌رویه از کودهای نیتروژنه سبب آلودگی آب‌های زیرزمینی در بخش‌های زیادی از جهان گردیده است. در ایران نیز استفاده از کودهای شیمیایی بدون مدیریت مناسب آلودگی، منابع آب و خاک را با خطر جدی مواجه ساخته است. به همین جهت و با توجه به شستشوی قابل ملاحظه نیتروژن، ارائه راهکاری برای حداقل نمودن نیترات شسته شده و همچنین افزایش راندمان کاربرد آن ضروری است. مدل‌سازی انتقال املاح و همچنین اثر متقابل املاح شیمیایی بر یکدیگر نقش مهمی در تعیین نحوه مدیریت مناسب آبیاری و کود دهی از بعد فنی و زیست محیطی خواهد داشت.

در این مطالعه، مدل GLEAMS برای شبیه‌سازی شستشوی نیتروژن از منطقه ریشه گیاه ذرت در منطقه کرج مورد استفاده قرار گرفت. اطلاعات مورد نیاز جهت شبیه‌سازی در طول یک فصل رشد و در سال ۱۳۸۳ جمع آوری گردید. از آنجایی که مدل GLEAMS بصورت یک بعدی طراحی گردیده است و قابلیت شبیه‌سازی آلودگی را در یک نقطه دارا می‌باشد لذا، از یک مدل زمین آمار، GS^+ برای بسط نتایج در کل مزرعه استفاده گردید.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی

این تحقیق در مزرعه آموزشی ـ تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران، واقع در کیلومتر ۴ جاده کرج ـ ماهدشت انجام شد. این مزرعه دارای طول ۵۱ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۸ دقیقه شمالی بوده و ارتفاع آن از سطح دریای آزاد ۱۳۲۱ متر می‌باشد. این منطقه دارای زمستان‌های سرد و تابستان‌های متعادل است. میانگین درجه حرارت سالانه ۱۳/۹ درجه سانتی‌گراد بوده و گرم‌ترین ماه سال تیر ماه با متوسط دمای ۲۶ درجه سانتی‌گراد و سردترین، دی ماه با متوسط دمای ۰/۸+ درجه سانتی‌گراد است. متوسط تبخیر سالانه از تشتک کلاس A در حدود ۲۰۰۰ میلی‌متر می‌باشد. حداکثر تبخیر نیز در تیر ماه و به میزان ۱۳/۴ میلی‌متر در روز رخ می‌دهد.

میانگین بارندگی سالانه ۲۴۲ میلی‌متر است که ۴۵ درصد از آن در فصل زمستان اتفاق می‌افتد. مزرعه در یک دشت رسوبی قرار دارد. عمق خاک زراعی ۸۰ سانتی‌متر و عمق زیرین آن از ذرات شن و سنگریزه تشکیل شده است. از این رو مشکل شوری و تجمع املاح و مواد مغذی در سطح مزرعه دیده نمی‌شود. بافت خاک مزرعه سیلتی ـ لومی است. منبع آب مورد استفاده سفره آب زیرزمینی است که توسط یک حلقه چاه عمیق استحصال می‌شود. کیفیت آب مورد استفاده براساس تقسیم بندی آزمایشگاه شوری خاک

آمریکا در کلاس C1S1 قرار می‌گیرد که از نظر شوری و قلیائیت مشکل ایجاد نمی‌کند. روش آبیاری نیز سطحی و از نوع فارو است. در جدول ۱ و ۲ برخی مشخصات فیزیکی و خاکشناسی مزارع دیده می‌شود.

جدول ۱- مشخصات خاک‌شناسی منطقه مطالعاتی

عمق (سانتی‌متر)	تخلخل (درصد)	ظرفیت مزرعه (درصد)	نقطه پژمردگی (درصد)	هدایت هیدرولیکی (سانتی‌متر درساعت)
۰ -۲۵	۴۰	۲۱	۱۲/۳	۲/۵
۲۵-۱۰۰	۴۰	۲۰	۱۰/۰	۳/۵
۱۰۰-۱۲۰	۴۰	۲۱	۱۰/۸	۳/۰

جدول ۲- عوامل افزاینده نیتروژن خاک

ردیف	مشخصه	مقدار
۱	بقایای گیاهی (کیلوگرم در هکتار)	۵۰۰
۲	غلظت نیترات موجود در آب آبیاری (ppm)	۲/۱
۳	کل نیتروژن اولیه خاک (درصد)	۰/۱
۴	غلظت نیتروژن موجود در خاک (ppm)	۴/۵

مدل GLEAMS

مدل GLEAMS در اواسط دهه ۱۹۸۰ میلادی توسط سازمان USDA-ARS برای ارزیابی اثرات سیستم‌های مدیریت کشاورزی ارائه گردید (Knisel and Leonardo, 1989). نتیجه تکمیل شده این مدل، GLEAMS3.0 بود که به بررسی و شبیه‌سازی آلودگی‌های غیر نقطه‌ای می‌پرداخت (Knisel et al., 1999). نقش مدیریت زراعی در انتقال املاح کشاورزی در گام‌های روزانه توسط مدل GLEAMS قابل شبیه‌سازی است. مدل با استفاده از داده‌های مکانی روند حرکت املاح بخصوص نیتروژن و فسفر را در محیط ریشه و زه‌آب سطحی بررسی می‌کند. پیش‌بینی فرسایش و رسوب در سطح مزرعه، رواناب تولید شده در اثر آبیاری و بارندگی و نفوذ عمقی از قابلیت‌های مدل می‌باشد. این مدل در نقاط مختلف جهان مورد ارزیابی قرار گرفته است. این تحقیقات بیانگر قابل کاربرد بودن مدل در شرایط اقلیمی و زراعی مختلف می‌باشد. رفع نواقص موجود در معادلات بکار رفته و افزایش قابلیت‌های آن در نسخه‌های جدیدتر مدل سبب شده است ابزار مناسبی جهت شبیه‌سازی انتقال املاح ارائه شود (Shirmohamadi and Knisel, 1994, Romos and Paz, 2004; Dukes and Ritter, 2000).

مدل GS+

جهت ارزیابی و بررسی‌های زمین‌آماری اطلاعات اندازه‌گیری شده، می‌باید از یک روش دقیق استفاده نمود. یکی از شاخه‌های آماری که زمین‌آمار نامیده می‌شود. جهت تحلیل مکانی داده‌های پراکنده مورد استفاده قرار می‌گیرد. در بررسی‌های آمار کلاسیک نمونه‌های بدست آمده از جامعه عمدتاً بصورت تصادفی در نظر گرفته می‌شوند و مقدار اندازه‌گیری شده یک کمیت معین در یک نقطه خاص، هیچگونه اطلاعاتی درباره مقدار همان کمیت در نقطه دیگر و به فاصله معلوم نخواهد داشت. در صورتی که در زمین آمار می‌توان بین مقادیر یک کمیت در جامعه نمونه‌ها، فاصله نمونه‌ها و جهت قرار گرفتن آنها نسبت به هم ارتباط برقرار کرد. هر متغیری که در فضای ۳ بعدی توزیع شده باشد و دارای وابستگی مکانی باشد می‌تواند در مطالعات زمین آماری مورد بحث و بررسی قرار گیرد. یکی از روش‌های قابل کاربرد در زمین آمار، روش کریکینگ می‌باشد. این روش بین شماری از نقاط مشاهده‌ای و یا کلیه آنها با استفاده از یک شعاع ویژه بنام شعاع تاثیر، رابطه ریاضی برقرار می‌کند. کریگینگ یک روش چند مرحله‌ای می‌باشد. این مراحل شامل تحلیل مکانی داده‌ها، مدل‌سازی تغییر نما و ایجاد سطح می‌باشد. واریانس متغیر بین نقاطی به فاصله h از یکدیگر می‌تواند همبستگی متقابل مقدار متغیر تصادفی را بین این نقاط نشان دهد. در صورت وجود ساختار مکانی، طبیعی است که همبستگی در نقاط نزدیک به هم بیشتر از نقاط دور از هم می‌باشد. این واریانس متغیر با نیم تغییر نما $\gamma(h)$ مشخص می‌گردد که از رابطه ۱ بدست می‌آید.

$$\gamma(h)=\frac{1}{2N(h)}\sum_{i=1}^{N(h)}[z(x)-z(x+h)]^2 \qquad (۱)$$

در این رابطه $N(h)$ تعداد جفت نقاط و $z(x)$ مقدار اندازه‌گیری شده پارامتر متغیر در نقطه x می‌باشد. قبل از کاربرد نیم تغییر نما، لازم است بهترین مدل ریاضی برآن برازش شود. فرآیند برازش مدل ریاضی مناسب بر یک نیم تغییر نما دارای اهمیت زیادی است. مدل‌های مختلف نیم تغییر نما عبارتند از: کروی، خطی، خطی با آستانه متغیر، نمایی و گوسی. با بررسی مدل‌های مختلف نیم تغییر نما برای شستشوی نیترات مشخص شد که مدل گوسی بهترین برازش را برای نقاط نمونه برداری دارد و بصورت رابطه ۲ تعیین می‌گردد.

$$\begin{aligned}&\gamma(h)=C_o+C(1-e^{-\frac{h^2}{a^2}}) && h<a\\ &\gamma(h)=C_o+C && h>a\\ &\gamma(h)=C_o && h=o\end{aligned} \qquad (۲)$$

که در این رابطه C_o اثر ناحیه‌ای، a دامنه تاثیر و $C+C_o$ آستانه می‌باشد.

میان‌یابی زمین آماری برای تخمین پارامتر متغیر در نقطه‌ای مانند X_p از ترکیب خطی نقاط مشاهداتی همجوار و با استفاده از رابطه ۳ بدست می‌آید.

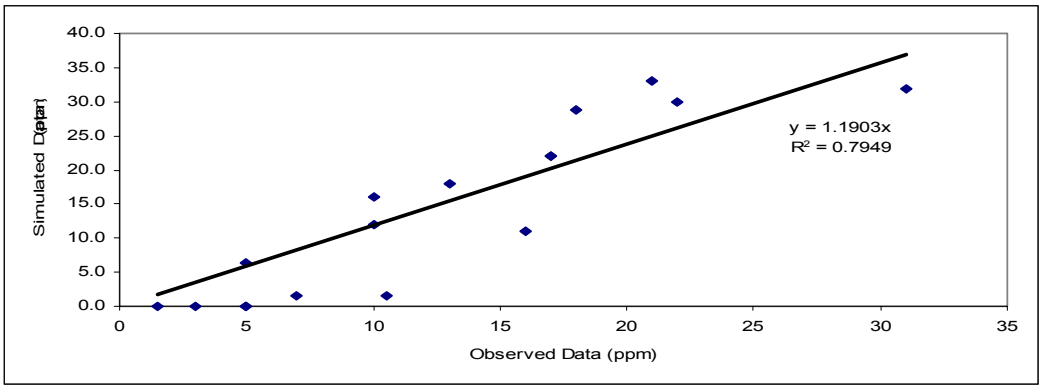
$$Z^*(x_p)=\sum_{i=1}^{n}\lambda_i Z(x_i) \qquad with\sum_{i=1}^{n}\lambda_i=1 \qquad (۳)$$

که در این رابطه λ_i ضریب وزنی کریگینگ برای نقاط مشاهده شده می‌باشد.

GS^+ یک نرم افزار زمین‌آماری است که تحلیل‌های آماری را با استفاده از روش کریگینگ انجام می‌دهد. این نرم افزار در ابتدا در سال ۱۹۸۸ ارائه گردید و نسخه تکمیل شده آن در سال ۲۰۰۲ ارائه گردید.

نتایج

از آنجا که شبیه‌سازی انتقال نیترات هدف این تحقیق بوده است، تنها از پردازنده‌های هیدرولوژی و مواد مغذی مدل GLEAMS استفاده شد و پردازنده‌های سموم و آفات و همچنین رسوب مورد بررسی قرار نگرفت. همانطور که قبلاً به آن اشاره گردید مدل GLEAMS یک بعدی بوده و تنها قادر به ارزیابی نقطه‌ای نیتروژن می‌باشد. به همین منظور از نرم افزار GS^+ برای میان‌یابی نقاط شبیه‌سازی شده و مشاهده شده در کل مزرعه ذرت استفاده شد. شکل ۱ برازش متقابل نیترات شبیه‌سازی شده و مشاهده شده را نشان می‌دهد که در آن مقدار $R^2=0.79$ بدست آمد.



شکل ۱- برازش متقابل نیترات شبیه‌سازی شده و مشاهده شده

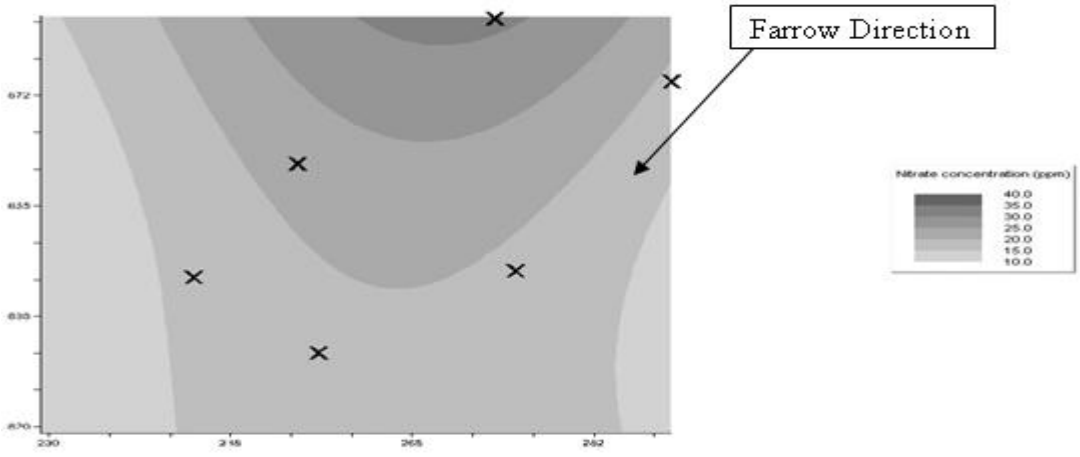
تغییرات مقدار نیترات شسته شده از منطقه ریشه در طول فصل رشد ذرت در اشکال ۲ و ۳ نشان داده شده است. با توجه به نتایج بدست آمده مشخص است که مقدار غلظت نیترات پس از هر آبیاری، در زه‌آب خارج شده از منطقه با کاهش همراه است. دلیل این مسئله می‌تواند در مصرف نیتروژن توسط گیاه باشد. علاوه بر این ذرت در مراحل اولیه رشد از عدم پراکنش ریشه در منطقه ریشه برخوردار است، از این رو قادر به جذب زیاد مواد غذایی نخواهد بود و بخش عمده کودهای اضافه شده به خاک از آن شسته می‌شود. از آنجایی که عمق کاربرد آب در ابتدای فارو نسبت به انتهای آن بیشتر است، مقدار نیترات

شسته شده در ابتدای فارو نسبت به انتهای آن نیز بیشتر می‌باشد و با کاهش نسبی در طول فارو همراه است.

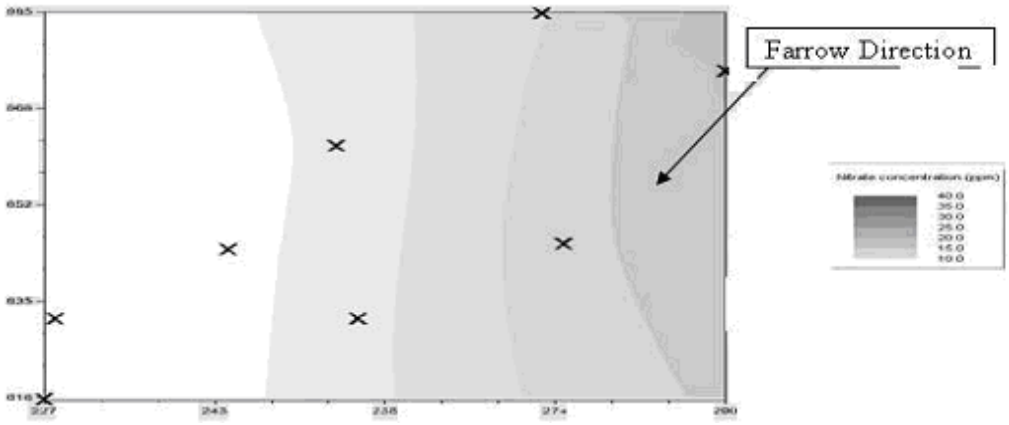
برای کاهش مقدار نیترات شسته شده از خاک ۳ سناریوی مختلف از جهت مدیریتی پس از کالیبراسیون مدل GLEAMS مورد ارزیابی قرار گرفت. در سناریو اول ۵۰ درصد از مقدار کود اوره اضافه شده به خاک در شرایط نرمال در مراحل اولیه رشد گیاه ذرت و ۵۰ درصد باقیمانده ۲۵ روز پس از کشت به گیاه داده شد. مقدار نیترات شسته شده از منطقه ریشه پس از هر آبیاری در جدول ۳ ارائه شده است.

در سناریو دوم، نیترات در آب آبیاری حل و سپس به گیاه داده شد. این روش عموماً در آبیاری تحت فشار رایج می‌باشد. در این سناریو مقادیر بسیار زیادی از No_3-N در آب خارج شده از منطقه ریشه مشاهده گردید. مهم‌ترین علت این مسئله آب شویی و انتقال نیترات محلول همراه با آب آبیاری است. جدول ۳ مقدار نیترات شسته شده از منطقه ریشه را در سناریو ۲ نشان می‌دهد.

در سناریو سوم نحوه مدیریت آبیاری تغییر یافته و به جای آبیاری در دوره‌های ثابت ۱۰ روزه که در منطقه مطالعاتی متداول می‌باشد، ۷۵ درصد از عمق آب آبیاری در فواصل زمانی ۱۰ روز و ۲۵ درصد باقیمانده بین دو آبیاری متوالی و در هر ۵ روز انجام می‌گیرد. در این حالت به علت کاهش مقدار آب خارج شده از ناحیه ریشه مقدار نیترات شسته شده نیز با کاهش قابل توجهی همراه می‌باشد. در جدول ۴ مقدار نیترات شسته شده از منطقه ریشه در این سناریو ارائه شده است.



شکل ۲- مقدار نیترات شسته شده از منطقه ریشه پس از اولین آبیاری و ۱۵ روز پس از کاشت



شکل ۳- مقدار نیترات شسته شده از منطقه ریشه در آخرین آبیاری و ۸۵ روز پس از کاشت

جدول ۳- مقدار نیترات شسته شده از منطقه ریشه در سناریوهای مختلف و وضع موجود

NO3-N Leaching (kg/ha)									
Senario no.	**peresent condition**			**Senario 1**			**Senario 2**		
Position / Julian day	top	middle	end	top	middle	end	top	middle	end
190	7	6.5	3.5	5.4	6	3.5	7.1	8.7	8.7
200	7.3	4	2.1	3.2	3.4	1.7	11	13.2	12.1
210	6.5	3.5	1.7	2.1	0.5	0.7	15.5	9.6	9.2
220	2.5	0.3	0.3	5.2	4.3	1.9	0	0	0
230	0.5	0.3	0	2.9	1.2	0.7	0	0	0

جدول ۴- مقدار نیترات شسته شده از منطقه ریشه در سناریو ۳

NO3-N Leaching (kg/ha)			
Senario no.	Senario 3		
Position / Julian day	top	middle	end
190	7	8	3.5
195	1.7	0.7	0.7
200	3.1	2.1	1.4
205	0.4	0.4	0
210	1.3	0.4	0.4
215	0	0	0
220	0.7	0	0
225	0	0	0

نتیجه‌گیری و بحث

مدل GLEAMS به همراه GS^+ این امکان را می‌دهد تا نقشه‌های شستشوی نیترات تحت شرایط مدیریتی مختلف تهیه شود. استفاده از روش‌های زمین آمار این قابلیت را فراهم می‌آورد تا مدل‌های یک بعدی شبیه‌سازی انتقال املاح در سطح مزارع بزرگ مورد استفاده قرار گیرد و تحلیل نتایج بصورت دقیق‌تری انجام شود. در این میان برخی از نرم‌افزارها مانند GS^+ به سبب ایجاد نقشه‌های دو بعدی و روش‌های تحلیل آماری قابل قبول مانند کریگینگ می‌تواند کمک مؤثری در بسط اطلاعات نقطه‌ای از مزارع در کل مزرعه باشد.

در این تحقیق با استفاده از تلفیق مدل انتقال املاح GLEAMS با مدل GS^+، سناریوهای مختلف مدیریت کشاورزی مدل‌سازی گردید. نتایج و مقایسه ۳ سناریو نشان داد که سناریوهای اول و دوم، در کاهش مقدار نیترات شسته شده ناموفق می‌باشند، اما سناریو سوم عملکرد و نتایج بهتری را فراهم می‌آورد. از سوی دیگر با مسدود کردن انتهای فارو امکان کاهش شستشوی نیترات از طریق روا ناب سطحی فراهم می‌آید. اما این مسئله سبب افزایش شستشوی عمقی نیترات می‌گردد که باید با تغییر طول فارو و جریان ورودی به فارو، آن را کاهش داد.

منابع و مراجع

۱- **کمالی، م.** (۱۳۸۲). بررسی تناسب اراضی مزارع کشاورزی دانشکده کشاورزی کرج. پایان نامه کارشناسی ارشد خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران، ۱۴۵ ص

۲- **کاویانی، ع. لیاقت، ع. محمدی، ک. و افشار اصل، م.** (۱۳۸۳). آبشویی نیترات به زیر منطقه ریشه گیاهان صیفی در آبیاری شیاری. مجموعه مقالات دومین همایش علمی و پژوهشی دانشجویان علوم کشاورزی سراسر کشور، دانشگاه تربیت مدرس، ۵ ص

۳- **میثاقی، ف.** (۱۳۸۲). توسعه الگوریتم ترکیبی زمین آمار و شبکه عصبی مصنوعی به منظور استخراج توزیع مکانی بارندگی. پایان نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۲۰ ص

4- **Assimakopoulos, J.H., Kalivas, D.P. and Kollias, V.J. (2003)** 'A GIS-based fuzzy classification for mapping the agricultural soils for N-fertilizers use'. The Science of the Total Environment. **309**: 19–33.

5- **Costa, J.L., Martý´nez, D., Suero, E.E., Vidal, C.M. and Bedmar, F. (2002)** 'Nitrate contamination of a rural aquifer and accumulation in the unsaturated zone'. Agricultural Water Management. **57**: 33–47.

6- **De Paz, J. and Ramos, C. (2002).** Linkage of a geographical information system with the gleams model to assess nitrate leaching in agricultural areas. Environmental Pollution. **118**: 249–258.

7- **De Paz, J.M. and Ramos, C. (2004).** Simulation of nitrate leaching for different nitrogen fertilization rates in a region of Valencia (Spain) using a GIS–GLEAMS system. Agriculture, Ecosystems and Environment. **103**: 59–73.
8- **11. Dukes, M.D. and Ritter, W.F. (2000).** Validation of GLEAMS nutrient component for wastewater application in the Mid-Atlantic region. Bioresource Technology **74:** 89-102
9- **Hudak, P.F. (2000).** Regional trends in nitrate content of Texas groundwater. Journal of Hydrology. **228**: 37–47.
10- **Isaaks, E.H. and R.M. Srivastava. (1989)** 'An Introduction to Applied Geostatistics'. New York, N.Y.: Oxford University Press.
11- **Lee, K. and Jose, S. (2004).** Nitrate leaching in cottonwood and loblolly pine biomass plantations along a nitrogen fertilization gradient. Agriculture, Ecosystems and Environment. Available online at www.sciencedirect.com.
12- **Neve, S. and Hofman., G. (1998).** N Mineralization and nitrate leaching from vegetable crop residues under field conditions: a model evaluation. Soil Biol. Biochem. **30**(14), 2067- 2075.
13- **Knisel, W. and Leonardo, R**. **(1989).** Irrigation impact on groundwater: a Model Study in the Humid Region. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, **115**(5): 791-806.
14- **Knisel, W. Leonardo, R**, **and Davis, M. (1999).** The GLEAMS model- A tool for evaluatig agrichemical ground-water loading as affected by chemistry, soil, climate and management. American water resources conference, Denover, 187-197
15- **Rimski-Korsakov, H., Rubio, G. and Lavado, S. (2004).** Potential nitrate losses under different agricultural practices in the pampas region, Argentina. Agricultural Water Management. **65**: 83–94.
16- **Shaffer, M.J., Bartling, P.N.S. and McMaster, G.S. (2004).** GPFARM modeling of corn yield and residual soil nitrate-N. Computers and Electronics in Agriculture. **43**: 87–107.
17- **Shirmahammadi, A. and Knisel, W. (1989).** Irrigated agriculture and water quality in the South. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, **115(5):** 823-838.
18- **Shirmahammadi, A. and Knisel, W. (1994).** Evaluation of the GLEAMS model for pesticide leaching in Sweden. Environmental Science and Health, **29(6)**: 1167-1182.