

## پیش‌بینی چگونگی حرکت رطوبت و تجمع نیترات در خاک با استفاده از مدل NLEAP

بابک سیفی\*<sup>۱</sup> و امید بهمنی<sup>۲</sup>

(۱) کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی گروه مهندسی آب دانشگاه بوعلی سینا همدان، ایران.

(۲) استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه بوعلی سینا همدان، ایران.

\* نویسنده مسئول: [b.seyfi1396@gmail.com](mailto:b.seyfi1396@gmail.com)

تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۹/۲۵

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۷/۱۲

### چکیده

رابطه بین تجمع نیترات در خاک و غلظت آن در آب‌های زیرزمینی و در سیستم‌های مختلف گیاهی هنوز به‌طور کامل شناخته نشده است، اما نشان‌دهنده این موضوع است که همبستگی زیادی بین شستشوی نیترات و فاکتورهای محیطی و مدیریتی وجود دارد. در این تحقیق به منظور شبیه‌سازی حرکت نیترات در نیمرخ خاک و تلفات گاز نیتروژن در منطقه توسعه ریشه‌ها از مدل NLEAP GIS 4.2 استفاده شد. مدل NLEAP GIS 4.2 نسخه جدید و توسعه یافته NLEAP می‌باشد که به منظور مدل کردن نیتروژن در خاک‌های مختلف به کار می‌رود. داده‌های مورد استفاده مربوط به مزرعه ARC2-14 از اراضی تحقیقاتی نیشکر در واحد امیر کبیر و تیمارهای اعمال شده شامل آبیاری کامل (I3) و ۸۵ درصد (I2) و ۷۰ درصد (II) از آبیاری کامل و مقادیر کود از ته شامل ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار (N1)، ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار (N2) و ۳۵۰ کیلوگرم در هکتار (N3) کود اوره می‌باشد. مقادیر اندازه‌گیری شده غلظت نیترات در پروفیل خاک و مقادیر پیش‌بینی شده در طول دوره تحقیق مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد مدل NLEAP GIS 4.2 غلظت نیترات خاک را با روالی منطقی پیش‌بینی کرده است. هم‌چنین دامنه تغییرات پارامترهای  $AE$ ،  $RMSE$  و  $R2$  برای برآورد غلظت نیترات در نیمرخ خاک به ترتیب در بازه‌های ۱/۴- تا ۲/۳، ۱/۷- تا ۳ و ۰/۳ تا ۰/۹۹ به‌دست آمد.

واژه‌های کلیدی: نیتروژن، غلظت نیترات در خاک، مدل NLEAP GIS 4.2، نیمرخ خاک.

رشد چشمگیر جمعیت جهان و تقاضای روز افزون برای مواد غذایی از چالش‌های مهم سده حاضر است. جهت تأمین تقاضای فزاینده مواد غذایی، راهی جز افزایش سطح زیر کشت و یا افزایش تولید در واحد سطح وجود ندارد. استفاده از کودهای شیمیایی و ارقام پر محصول به عنوان دو راه ممکن برای افزایش تولید در واحد سطح مطرح می‌باشند.

کود نیتروژنه به دلیل تأثیر بر رشد رویشی ریشه و اندام‌های هوایی گیاه، بیش از دیگر منابع کودی مورد توجه کشاورزان، کارشناسان و پژوهشگران قرار گرفته است. به همین دلیل کشاورزان تمایل زیاد به مصرف آن دارند.

از دیدگاه پژوهشی، کاربرد کودهای نیتروژنی صرف نظر از تأثیر بر عملکرد، به دلیل تأثیرگذاری بر کیفیت محصول و امکان ایجاد آلودگی‌های زیست‌محیطی اهمیت فراوان دارد. مصرف مازاد کودهای نیتروژنی موجب آبهویی کود می‌گردد. نیترات به دلیل داشتن بار منفی، توسط رس جذب نمی‌شود و به آسانی همراه با آب آبیاری از لایه‌های بالایی شسته شده و به اعماق خاک راه می‌یابد. نیشکر از جمله گیاهانی است که ماده تر زیادی تولید می‌کند و برای نیل به این هدف نیازمند مقادیر قابل توجهی آب و کود از ته می‌باشد (بهمنی، ۱۳۸۸).

اصلاح مدیریت آبیاری و برنامه‌ریزی دقیق جهت استفاده بهینه از آب و کود در مناطق مختلف با کاربرد مدل‌های ریاضی قابل اجراست. به طوری که در دهه‌های اخیر استفاده از مدل‌ها به عنوان ابزار مدیریتی و تحقیقی روز به روز در حال توسعه است. مدل‌های ریاضی، روند حرکت آب و املاح را در سیستم خاک، گیاه و اتمسفر به صورت کمی شبیه‌سازی می‌کنند (آنتونوپولس، ۱۹۹۷).

یکی از مدل‌های شبیه‌سازی حرکت آب و املاح در خاک، مدل NLEAP است که در سال ۱۹۹۱ توسط فلوت<sup>۱</sup> و روی<sup>۲</sup> شفر<sup>۳</sup> برای مدیریت آب و املاح خاک در شرایط مرطوب و اراضی با سطح ایستابی کم عمق ارائه شده است ولی برای شرایط خشک و نیمه خشک نیز با موفقیت آزمایش شده است و همچنین قادر به شبیه‌سازی غلظت نیترات در خاک و مقادیر آبهویی نیترات و جذب گیاه می‌باشد.

تحقیقات فراوانی که صورت گرفته بیانگر این مطلب است که رابطه بین تجمع نیترات در خاک و غلظت آن در آب‌های زیرزمینی و در سیستم‌های مختلف گیاهی هنوز به طور کامل شناخته نشده، اما نشان دهنده این موضوع است که همبستگی زیادی بین شستشوی نیترات و فاکتورهای محیطی و مدیریتی وجود دارد. در این بخش به مرور تحقیقات انجام گرفته در این خصوص پرداخته شده است.

<sup>۱</sup>- Foolet R.F.

<sup>۲</sup>-Roy f.

<sup>۳</sup>-Sheffer M.J

داویس و همکاران (۱۹۹۵)، طبق برآوردی که انجام دادند به این نتیجه رسیدند که میزان  $\text{NO}_3 - \text{N}$  شستشو یافته در زمین‌های کشاورزی بریتانیا در یک دوره ۵۰ ساله به ۳۶ کیلوگرم نیترات در هکتار افزایش یافته است و حدود یک سوم این مقدار نیز نیترات باقی مانده در خاک بوده است.

تارکلسون (۲۰۰۶)، با در نظر گرفتن ۷۵ درصد آب مورد نیاز آبیاری و آبیاری کامل بر روی ذرت نشان داد که شستشو کاهش نیترات تحت رژیم کم آبیاری به رطوبت خاک زیر ناحیه ریشه بستگی داشته است و این کاهش نیترات معنی‌دار بوده است.

روی (۲۰۰۱)، مدل NLEAP را بر روی مزارع ذرت و گوجه فرنگی مورد استفاده قرار داد و پس از کالیبراسیون و اعمال مدیریت‌های مختلف، مدیریت توأمان آب و کود را به صورت کاربرد سامانه‌های با راندمان بالاتر آبیاری، تعیین زمان و مقدار مناسب کود و هم‌چنین پیش‌بینی زمان بارندگی به عنوان بهترین روش‌های مدیریتی کنترل و کاهش آبشویی نیترات به سمت سفره آب زیرزمینی در کنار دستیابی به حداکثر محصول را مطرح نمودند.

آلوا (۲۰۰۶)، با تحقیقی که بر روی مرکبات انجام داد به این نتیجه رسید که حدود ۱۵ درصد از نیترات به زیر ناحیه ریشه انتقال یافته و هم‌چنین دریافت که برآورد مدل LEACHM از میزان شستشوی نیترات خیلی نزدیک به میزان واقعی است.

بهمنی و همکاران (۱۳۸۸)، به بررسی میزان تجمع نیترات و آمونیوم در نیمرخ خاک تحت رژیم‌های آبی و کودی مختلف با استفاده از مدل LEACHM پرداختند و نتیجه مقایسه مقادیر شبیه‌سازی این فاکتورها را در نیمرخ خاک با داده‌های به دست آمده از مزرعه قابل قبول دانستند.

نبی پور و همکاران (۱۳۹۰)، در یک تحقیق آزمایشگاهی با استفاده از شرایط گلخانه تیمارهای مختلف کودی شامل کود اوره، کود گاوی و لجن فاضلاب شهری را به ستون خاک اضافه کردند و پس از آبشویی به اندازه‌گیری غلظت نیترات‌ها پرداختند. نتایج نشان داد که در آبیاری اول غلظت نیترات به طور معنی‌داری بیش‌تر از سایر دوره‌های آبیاری بود.

در تحقیق حاضر، کارایی مدل NLEAP در شبیه‌سازی تغییرات غلظت نیترات در نیمرخ خاک تحت تنش آبی و شرایط مزرعه‌ای گیاه نیشکر مورد ارزیابی قرار گرفته است. مدل NLEAP در صورتی که با دقت قابل قبولی پارامترهای مذکور را شبیه‌سازی کند، ابزار مفیدی جهت مدیریت آب و کود در مزرعه خواهد بود.

## مواد و روش‌ها

## مدل NLEAP

در این تحقیق به بررسی چگونگی حرکت رطوبت و تجمع نیترات در خاک با استفاده از مدل NLEAP پرداخته شده است. نسخه قدیمی این نرم افزار که تحت DOS بود با عنوان Nitrate leaching and economic analysis در سال ۱۹۹۱ توسط شفر و همکارانش در دانشگاه کلرادو ارائه شد و در سال ۱۹۹۸ توسط دگادو و همکارانش مورد تجدید نظر قرار گرفت و بعد از آن شفر و همکارانش و دلگادو و همکارانش در سال ۲۰۱۰ این نسخه را اصلاح کرده و به nitrogen lost and environmental assessment package تغییر نام دادند. این نسخه از امکانات سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) نیز می‌تواند استفاده کند و در نهایت نسخه GIS 4.2 NLEAP نام گرفت.

عملیات اجرای این پژوهش در سال‌های ۸۶-۱۳۸۵ در مزرعه ARC2-14 در اراضی تحقیقاتی نیشکر در واحد کشت و صنعت امیرکبیر که یکی از واحدهای هفت گانه طرح توسعه نیشکر می‌باشد، صورت پذیرفته است (بهمنی، ۱۳۸۸). نیشکر از گیاهان مهم قندی است که کشت و کار آن سابقه طولانی دارد. سابقه کشت این گیاه حدود ۶۰۰ سال قبل از میلاد در گینه و اندونزی و هند گزارش شده است. کشت نیشکر به دو صورت کشت سال اول (پلنت) و جوانه‌زنی (کشت راتون) صورت می‌گیرد. کشت راتون تحت عنوان رشد محصول بعد از برداشت ساقه بدون نیاز به بذر تعریف می‌شود. در راستای توسعه کشاورزی در استان خوزستان ۷ واحد کشت و صنعت نیشکری هر کدام به وسعت ۱۲۰۰۰ هکتار در شمال و جنوب اهواز تکمیل شده و یا در حال احداث است. در این اراضی شبکه‌های آبیاری احداث شده و به دلیل بالا بودن سطح ایستابی، شور و سدیمی بودن اراضی و عدم وجود زهکشی طبیعی در آن‌ها، شبکه‌های زهکشی مصنوعی نیز احداث شده است. نیشکر در مقایسه با سایر گیاهان احتیاج به نیترات بیش‌تری جهت رشد و نمو دارد. میزان مصرف کود اوره در مزارع کشت و صنعت امیر کبیر، ۳۵۰ کیلوگرم در هکتار گزارش شده است. مطالعه‌ای که در سال ۱۳۸۳ توسط مرکز تحقیقات نیشکر در مورد میزان آبشویی نیترات در مزارع ARC2 کشت و صنعت امیر کبیر به عمل آمده نشان داد که میزان نیترات اضافه شده در ۵ ماه ابتدای سال ۸۳ حدود ۳۳۶ کیلوگرم در هکتار و مقدار نیتراتی که طی این مدت از طریق زهکشی از هر هکتار خارج شده ۴۵/۱ کیلوگرم بوده است که بیانگر شستشوی بیش از ۱۳ درصدی نیترات در این زمین‌ها می‌باشد (بهمنی، ۱۳۸۸).

## ورودی‌های مدل NLEAP

داده‌های مورد استفاده در تحقیق حاضر شامل سه بخش به ترتیب زیر می‌باشند:

۱- هواشناسی

۲- کدهای مدیریتی

۳- لایه خاک

در پژوهش حاضر، اطلاعات مربوط به بارندگی براساس آمار ایستگاه هواشناسی کشت و صنعت امیرکبیر در طول دوره شبیه‌سازی در سال ۱۳۸۶ و مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل با استفاده از داده‌های هواشناسی ایستگاه هواشناسی کشت و صنعت امیر کبیر با تشک تبخیر محاسبه و مستقیماً به مدل معرفی گردید. اطلاعات مربوط به خاک در این تحقیق در اعماق ۶۰-۳۰، ۹۰-۶۰ و ۱۲۰-۹۰ سانتی‌متر انتخاب و شد و پس از کوبیدن خاک و الک کردن، درصد مواد تشکیل دهنده و مشخصات آن تعیین شد (بهمنی، ۱۳۸۸). آبیاری‌ها ابتدا در تیمار کامل در نظر گرفته شده و در تیمار دوم ۸۵ درصد مقدار تیمار کامل و در تیمار سوم ۷۵ درصد تیمار کامل در نظر گرفته شده است و تاریخ‌های مشخص به جدول رویدادها اضافه شد. مقادیر کوددهی اوره در دو تاریخ مشخص (۳۱ اردیبهشت و ۲ تیر)، به ترتیب به میزان ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم بر هکتار برای سناریوی اول و ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم بر هکتار برای سناریوی دوم و ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم بر هکتار برای سناریوی سوم به جدول رویدادها اضافه شد.

## اعتبار سنجی مدل

اعتبار مدل از مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده در مزرعه و مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل با محاسبه سه پارامتر آماری شامل میانگین خطا (AE)، جذر میانگین مجذور خطا (RMSE) و ضریب تبیین ( $R^2$ ) مورد ارزیابی قرار گرفت (روابط ۱ و ۲):

$$AE = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)}{n} \quad \text{رابطه ۱:}$$

$$RMSE = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n} \right]^{0.5} \quad \text{رابطه ۲:}$$

که در این رابطه‌ها، AE میانگین خطا، n تعداد مشاهدات،  $O_i$  مقادیر مشاهده شده در مزرعه و  $P_i$  مقادیر شبیه‌سازی شده می‌باشد. هم‌چنین جذر میانگین مجذور خطا از رابطه ۲، محاسبه می‌گردد.

مقدار پارامتر RMSE، نشان‌دهنده پراکندگی داده‌هاست و هرچه این عدد مقدار کم‌تری را نشان دهد و به صفر نزدیک‌تر باشد، کارایی خوب مدل را بیان می‌کند. اگر میانگین خطا صفر و نزدیک صفر باشد، نشان‌دهنده پیش‌بینی خوب مدل است و اگر این مقدار بالای صفر باشد، نشان‌دهنده بیش برآوردی و زیر صفر نشان‌دهنده کم برآوردی مدل می‌باشد. پس از ورود داده‌ها به مدل و تعریف سناریوهای مورد نظر، مدل NLEAP با مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده غلظت نیترات در نیمرخ خاک با مقادیر پیش‌بینی شده در طول دوره تحقیق مورد ارزیابی قرار گرفت. میزان تطابق و هماهنگی میان مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده از لحاظ آماری محاسبه و مقایسه می‌شود.

### نتایج و بحث

(جدول ۱)، نشان‌دهنده مقادیر اندازه‌گیری شده غلظت اولیه نیترات در نیمرخ خاک در ابتدای دوره شبیه‌سازی است که برای پیش‌بینی غلظت نیترات در اعماق مختلف خاک در طول دوره شبیه‌سازی به مدل معرفی شد.

جدول ۱: غلظت اولیه نیترات خاک اندازه‌گیری شده (بهمنی، ۱۳۸۸).

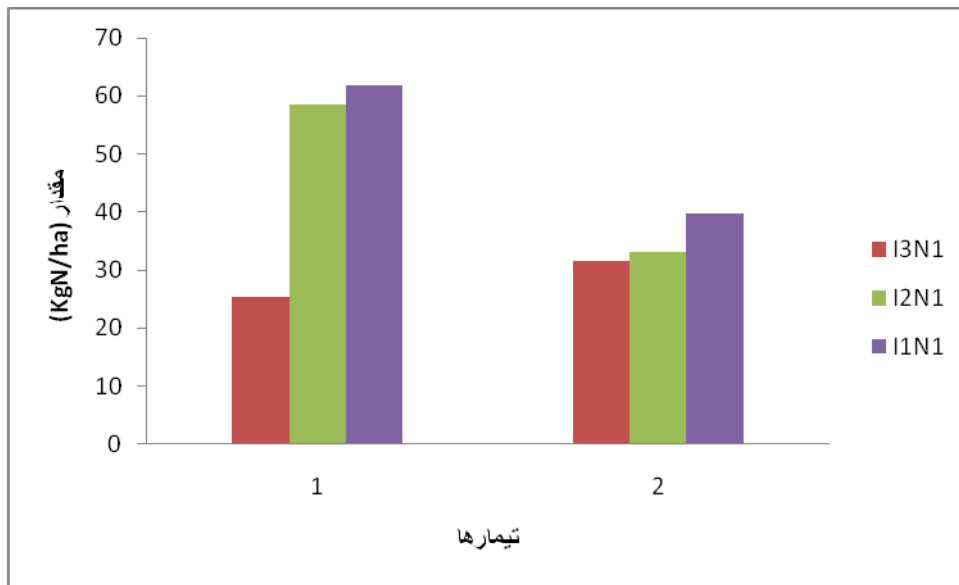
عمق (سانتی‌متر)	۳۰	۶۰	۹۰	۱۲۰
(میلی‌گرم بر لیتر)	۹/۳	۹/۷	۱۹/۹	۲۷
(میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک)	۲/۱	۲/۲	۴/۵	۶/۱

### بررسی روند تغییرات غلظت نیترات خاک شبیه‌سازی شده در تیمار N1

روند تغییرات غلظت نیترات خاک پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده در نیمرخ خاک از سطح تا عمق ۱۲۰ سانتی‌متر در تیمار N1 در (شکل‌های ۱ تا ۳) نمایش داده شده است.

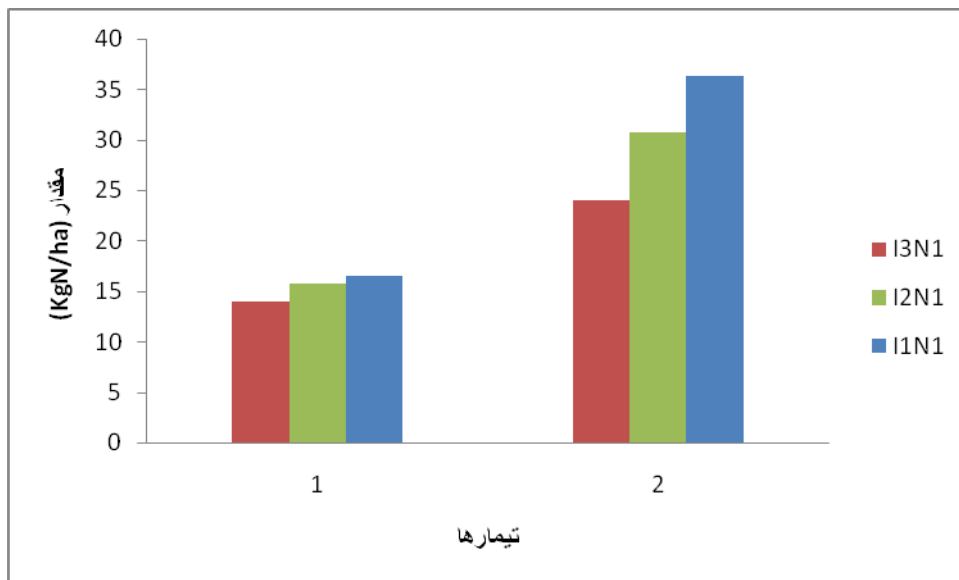
در عمق ۳۰-۶۰ سانتی‌متر، روند تغییرات غلظت نیترات پیش‌بینی شده به ازای تیمارهای مختلف آبیاری، مشابه یکدیگرند. بلافاصله بعد از کاربرد کود در هر دو مرحله غلظت نیترات در خاک افزایش یافته و سپس به تدریج در اثر جذب آن توسط گیاه یا تلفات ناشی از دنیتریفیکاسیون و آبشویی، غلظت نیترات کاهش می‌یابد.

مقایسه تیمارهای آبیاری برای عمق ۳۰-۶۰ سانتی‌متری نشان می‌دهد به ازای کاهش سطح آب کاربردی، غلظت نیترات در خاک در هر زمان بیش‌تر پیش‌بینی شده است (شکل ۱).



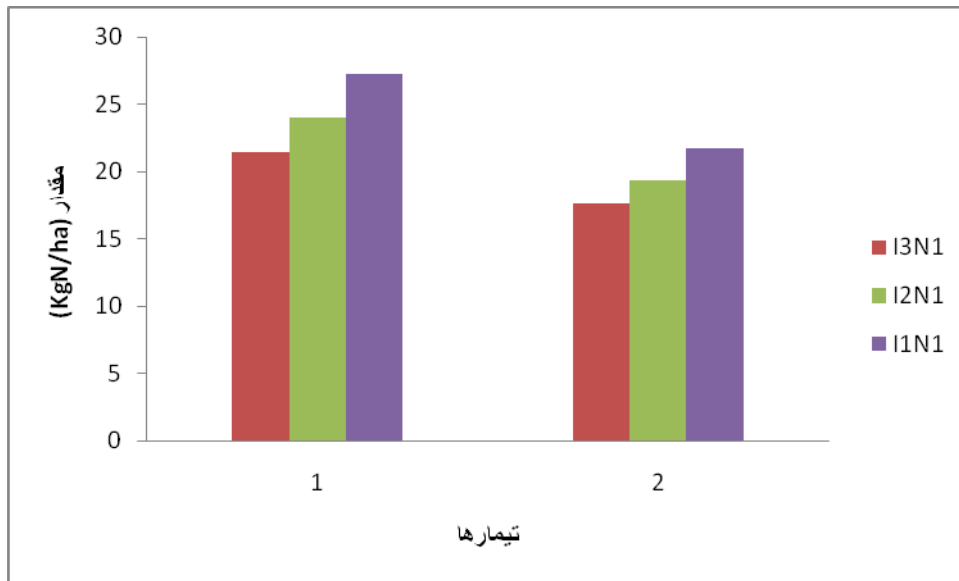
شکل ۱: مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده مقدار نیترات باقیمانده در عمق ۳۰-۶۰ سانتی‌متری خاک در تیمار N1

در عمق ۶۰-۹۰ سانتی‌متر، تغییرات غلظت نیترات خاک پیش‌بینی شده، دامنه نوسانات مشابه عمق بالاتر دارد. در این عمق نیز غلظت نیترات خاک در تیمار I1 بیش‌تر از دو تیمار دیگر پیش‌بینی شده است.



شکل ۲: مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده مقدار نیترات باقیمانده در عمق ۶۰-۹۰ سانتی‌متری خاک در تیمار N1

روند تغییرات غلظت نیترات پیش‌بینی شده توسط مدل NLEAP در عمق ۹۰-۱۲۰ سانتی‌متر، دامنه نوسانات محدودتری نسبت به دو عمق بالا دارد. به‌طوری‌که مشاهده می‌شود در هر تیمار آبیاری، غلظت نیترات در خاک، در این عمق رو به کاهش است که نشان دهنده شست‌شوی بیش‌تر نیترات از این لایه می‌باشد.



شکل ۳: مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده مقدار نیترات باقیمانده در عمق ۹۰-۱۲۰ سانتی‌متری خاک در تیمار N1 هم‌چنین در (جدول ۲)، نیز نتایج ارزیابی آماری شبیه‌سازی نیترات خاک توسط مدل NLEAP در اعماق مختلف مختلف خاک در تیمار N1 نشان داده شده است.

جدول ۲: مقایسه آماری مقادیر نیترات شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده برای اعماق مختلف خاک در تیمار N1

LEACHM		NLEAP			عمق خاک
AE	RMSE	AE	R <sup>2</sup>	RMSE	
-۱/۶۹۹	۲/۸۲	-۱۲	۰/۳	۱۳	۳۰-۶۰
-۰/۹۲۷	۱/۶۷	-۱۰	۰/۶۴	۱۰	۹۰-۶۰
-۱/۳۸۲	۱/۸۱	-۱	۰/۸۱	۱/۵	۹۰-۱۲۰

مقایسه منحنی‌های مربوط به سه تیمار آبیاری نشان می‌دهد که هرچه سطح آب کاربردی کم‌تر باشد نیترات بیش‌تری در خاک تجمع یافته است، به‌طوری‌که نمودار مربوط به تیمار II بالاتر از بقیه قرار گرفته است.

با توجه به (شکل‌های ۱ تا ۳) و نتایج حاصل شده در (جدول ۲) و هم‌چنین مقایسه تیمارهای آبیاری نشان می‌دهد که مقدار AE، برای مدل در عمق ۶۰-۳۰ سانتی‌متری، منفی به‌دست آمده و این امر نشان‌دهنده کم‌تر برآورد کردن غلظت نیترات می‌باشد. مقادیر RMSE بیانگر این است که غلظت نیترات در این عمق با دقت خوبی تخمین زده شده است.



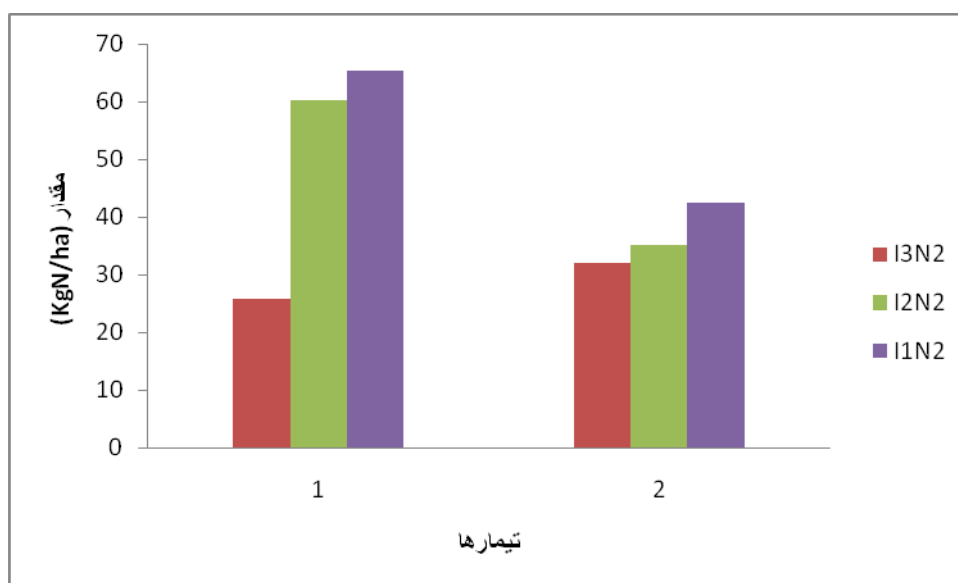
در عمق ۶۰-۹۰ سانتی‌متری، مقدار منفی AE برای مدل NLEAP بیانگر کم‌تر برآورد شدن غلظت نیترات خاک می‌باشد. اما می‌توان گفت مدل با دقت قابل قبولی، غلظت نیترات خاک را در این عمق برآورد کرده است.

در عمق ۹۰-۱۲۰ سانتی‌متری نیز برای مدل، مقدار AE منفی است و غلظت نیترات کم‌تر از مقدار اندازه‌گیری شده تخمین زده شده است.

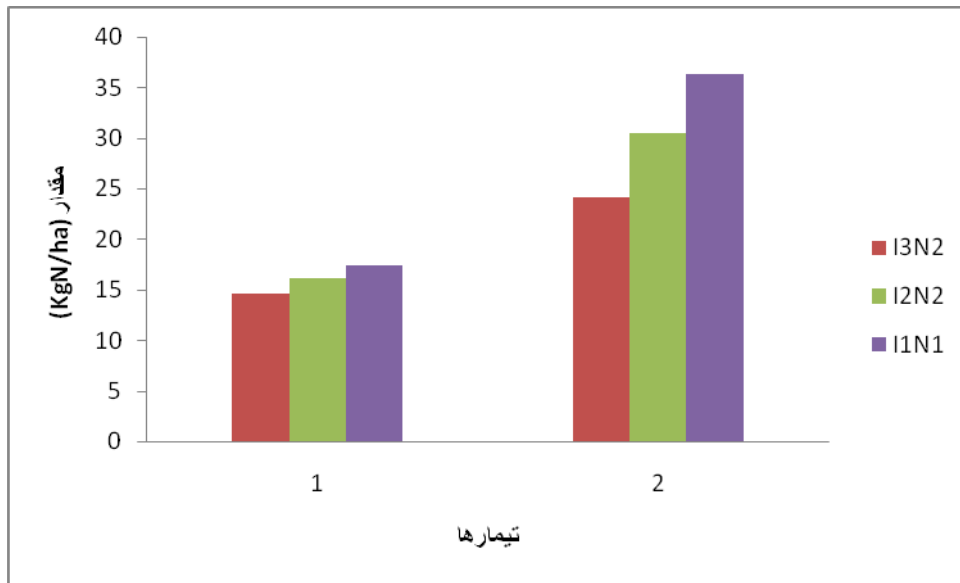
### بررسی روند تغییرات غلظت نیترات خاک شبیه‌سازی شده در تیمار N2

روند تغییرات غلظت نیترات خاک پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده در نیمرخ خاک از سطح تا عمق ۱۲۰ سانتی‌متر در تیمار N2 در (شکل‌های ۴ تا ۶) نمایش داده شده است.

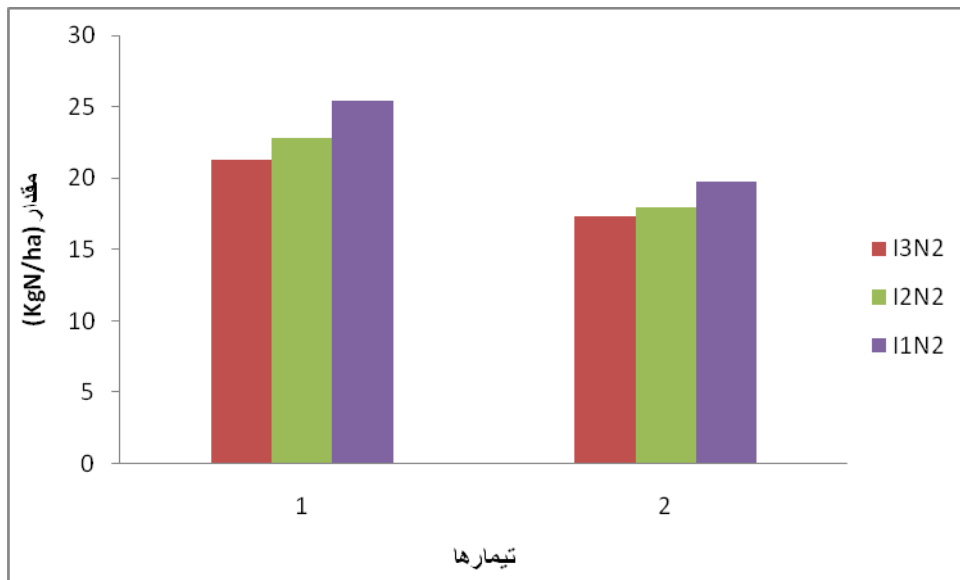
در عمق ۳۰-۶۰ سانتی‌متر، پیش‌بینی غلظت نیترات در خاک برای هر سه تیمار آبیاری، روندی مشابه با مقادیر اندازه‌گیری شده دارد، به طوری که بعد از کاربرد کود در هر دو مرحله، غلظت نیترات کاهش می‌یابد. در این عمق نیز به ازای کاهش سطح آب کاربردی، غلظت نیترات در خاک، در هر زمان بیش‌تر پیش‌بینی شده و بیش‌ترین مقدار در II است (شکل ۴).



شکل ۴: مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده مقدار نیترات باقیمانده در عمق ۳۰-۶۰ سانتی‌متری خاک در تیمار N2 در عمق ۶۰-۹۰ سانتی‌متر تغییرات غلظت نیترات خاک پیش‌بینی شده، دامنه نوسانات مشابه دارد. بررسی (شکل ۵)، نشان می‌دهد، تطابق کم‌تری بین مقادیر پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده غلظت نیترات در خاک برای هر سه تیمار آبیاری وجود دارد و مقادیر پیش‌بینی شده با فاصله محسوسی کم‌تر از مقادیر واقعی است (شکل ۵).



شکل ۵: مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده مقدار نیترات باقیمانده در عمق ۶۰-۹۰ سانتی‌متری خاک در تیمار N2 روند تغییرات غلظت نیترات شبیه‌سازی شده در عمق ۹۰-۱۲۰ سانتی‌متر، مشابه با عمق متناظر با آن در تیمار N1 می‌باشد. مشاهده می‌شود شبیه‌سازی غلظت نیترات در خاک در هر سه تیمار با شیب ملایم رو به افزایش است و در تیمار I1 نیترات بیش‌تری در خاک تجمع یافته است (شکل ۶).



شکل ۶: مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده مقدار نیترات باقیمانده در عمق ۹۰-۱۲۰ سانتی‌متری خاک در تیمار N2 در جدول ۳، نتایج ارزیابی آماری شبیه‌سازی نیترات خاک توسط مدل NLEAP و مدل LEACHM در اعماق مختلف خاک در تیمار N2 نشان داده شده است.

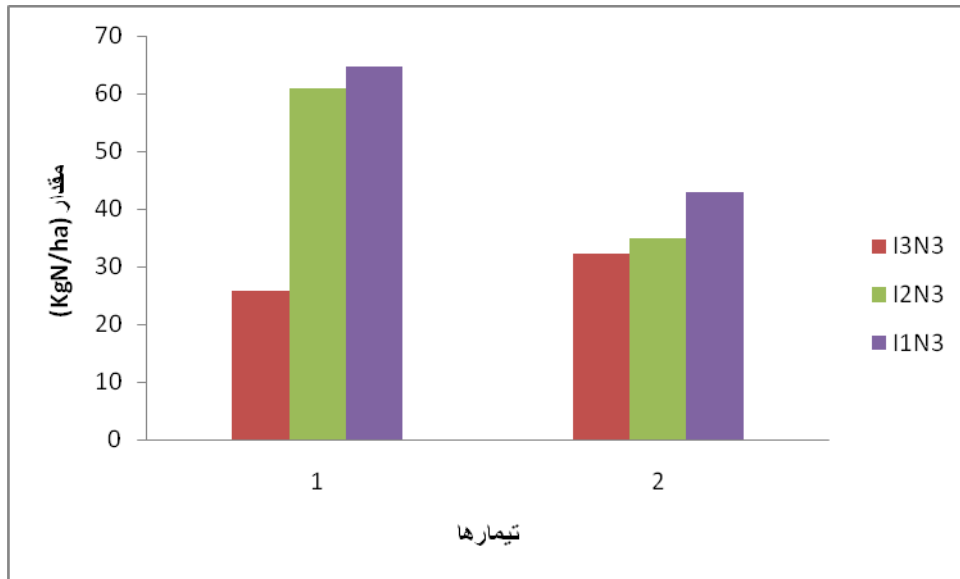
## جدول ۳: مقایسه آماری مقادیر نیترات شبیه سازی شده و اندازه گیری شده برای اعماق مختلف خاک در تیمار N2

LEACHM		NLEAP			عمق خاک
AE	RMSE	AE	R <sup>2</sup>	RMSE	
-۰/۰۶۵	۲/۰۶	-۱/۴	۰/۹۰	۲/۳	۳۰-۶۰
-۱/۰۶۴	۲/۶۲	-۱۲	۰/۷۱	۱۳	۶۰-۹۰
-۰/۹۷۴	۱/۵۷	-۱/۷	۰/۹۹	۲/۱	۹۰-۱۲۰

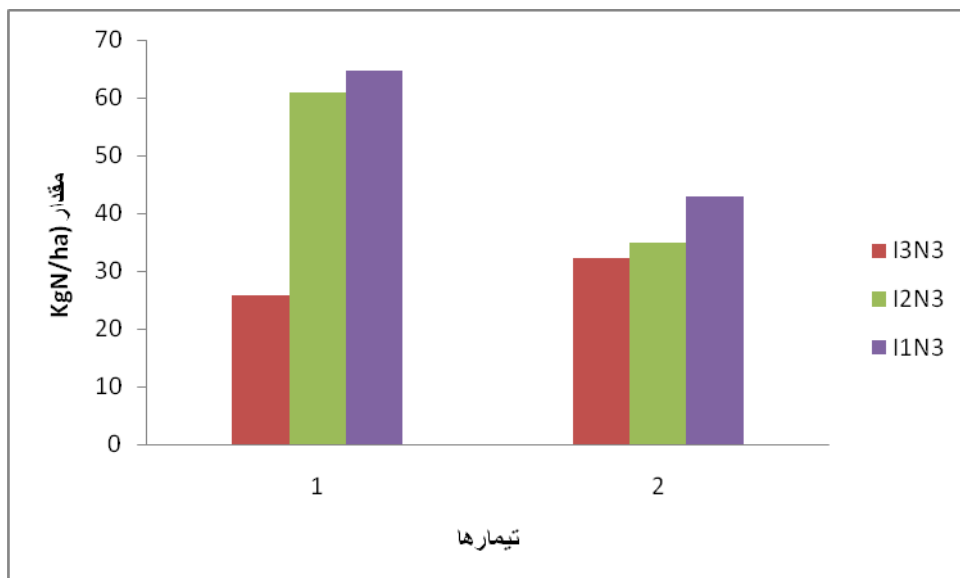
با توجه به نتایج به دست آمده از (شکل‌های ۴ تا ۶) و نتایج (جدول ۲)، می‌توان این‌گونه تفسیر کرد که در عمق ۶۰-۳۰ سانتی‌متری، مقدار AE برای مدل منفی است و نشان دهنده کم‌تر برآورد کردن غلظت نیترات می‌باشد. مقادیر RMSE و R<sup>2</sup> برای مدل بیانگر این است که غلظت نیترات خاک در این عمق (۶۰-۳۰ سانتی‌متری)، با دقت خوبی پیش‌بینی شده است. در عمق ۹۰-۶۰ سانتی‌متری تطابق کم‌تری بین مقادیر پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده غلظت نیترات در خاک برای هر سه تیمار آبیاری منجر به افزایش RMSE و کاهش R<sup>2</sup> شده است. مقدار منفی AE برای مدل مؤید کم‌تر برآورده شدن غلظت نیترات خاک در این عمق است. هم‌چنین مقدار منفی AE برای مدل NLEAP بیانگر کم‌تر برآورده شدن غلظت نیترات خاک در عمق ۹۰-۱۲۰ سانتی‌متری است.

## بررسی روند تغییرات غلظت نیترات خاک شبیه سازی شده در تیمار N3

در شکل‌های ۷ تا ۹، روند تغییرات غلظت نیترات خاک پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده در نیمرخ خاک از سطح تا عمق ۱۲۰ سانتی‌متر در تیمار N3 نمایش داده شده است. در عمق ۶۰-۳۰ سانتی‌متری، بعد از کاربرد کود در هر دو مرحله، غلظت نیترات خاک، افزایش یافته که میزان افزایش برای تیمار II بیش‌تر از سایر تیمارها بوده است. (شکل ۷) مربوط به این عمق (۶۰-۳۰ سانتی‌متری)، هماهنگی خوبی بین روند شبیه‌سازی با مقادیر اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد.

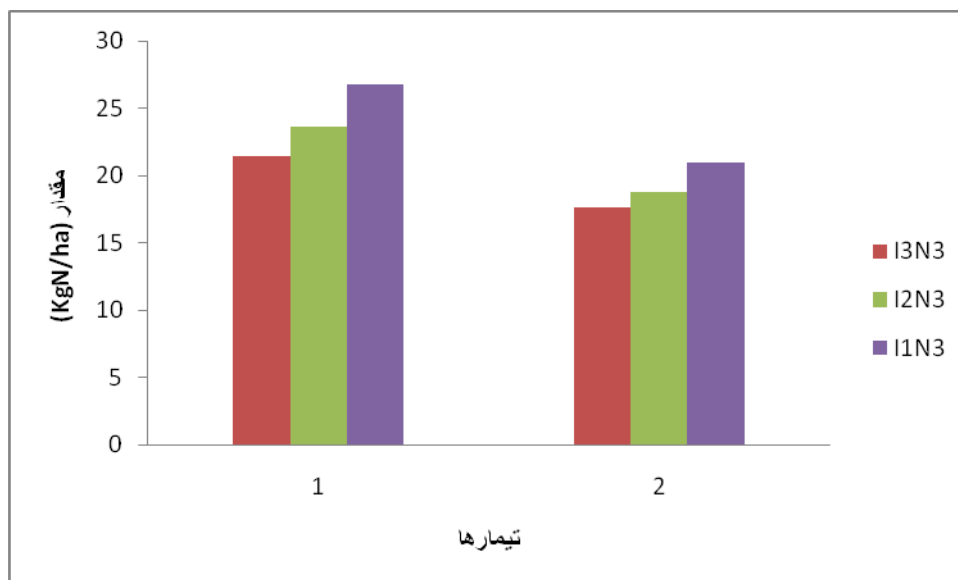


شکل ۷: مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده مقدار نیترات باقیمانده در عمق ۳۰-۶۰ سانتی‌متری خاک در تیمار N3 در عمق ۶۰-۹۰ سانتی‌متری، تغییرات غلظت نیترات شبیه‌سازی شده، دامنه نوسانات مشابهی نسبت به لایه بالا دارد. پس از کوددهی دوم، غلظت نیترات در هر سه تیمار آبیاری کاهش یافته و تیمار I3 کم‌ترین غلظت نیترات را در خاک دارا می‌باشد (شکل ۸).



شکل ۸: مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده مقدار نیترات باقیمانده در عمق ۶۰-۹۰ سانتی‌متری خاک در تیمار N3

در عمق ۹۰-۱۲۰ سانتی‌متر، روند تغییرات غلظت نیترات خاک پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده، دامنه نوسانات محدودتری نسبت به لایه‌های بالایی دارد. غلظت نیترات در هر سه تیمار آبیاری دقیق‌تر پیش‌بینی شده است.



شکل ۹: مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده مقدار نیترات باقیمانده در عمق ۹۰-۱۲۰ سانتی‌متری خاک در تیمار N3 با توجه به (شکل‌های ۷ تا ۹)، مشاهده می‌شود مقدار نیترات با توجه به مقدار آب آبیاری و سطح کود ازته متغیر می‌باشد و با کاهش مقدار آب آبیاری و افزایش مقدار کود مصرفی، مقدار نیترات بیش‌تری در نیم‌رخ خاک وجود دارد (شکل ۹).

نتایج ارزیابی آماری شبیه‌سازی نیترات خاک توسط مدل NLEAP در اعماق مختلف خاک در تیمار N3 در (جدول ۴)، نشان داده شده است.

جدول ۴: مقایسه آماری مقادیر نیترات شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده برای اعماق مختلف خاک در تیمار N3

LEACHM		NLEAP			عمق خاک
AE	RMSE	AE	R <sup>2</sup>	RMSE	
-۰/۱۷۴	۰/۵۹	۱۴	۰/۴۸	۲۰	۳۰-۶۰
-۰/۲۵۹	۳/۶۱	-۱۴	۰/۹۶	۱۵	۶۰-۹۰
-۰/۵۵۶	۱/۸۴	۵	۰/۹۹	۵	۹۰-۱۲۰

با توجه به نتایج حاصله (جدول ۴)، در عمق ۳۰-۶۰ سانتی‌متری مقدار AE برای مدل مثبت است و شاخص R<sup>2</sup>

بیانگر دقت خوب مدل در پیش‌بینی غلظت نیترات خاک در این عمق (۳۰-۶۰ سانتی‌متری)، همانند دو تیمار N1 و N2

است. مقدار پارامتر RMSE بیانگر پراکندگی بیش‌تر بین مقادیر شبیه‌سازی شده و واقعی در ارتباط با مدل NLEAP می‌باشد.

منفی بودن AE در عمق ۹۰-۶۰ سانتی‌متری، برای مدل حاکی از این است که غلظت نیترات خاک، کم‌تر از مقدار واقعی تخمین زده شده است. میزان RMSE به‌دست آمده برای مدل نشان دهنده پراکندگی بین داده‌های شبیه‌سازی شده و واقعی و کاهش دقت مدل در پیش‌بینی غلظت نیترات خاک است. مقدار مثبت AE برای عمق ۱۲۰-۹۰ سانتی-متری، حاکی از بیش‌تر برآورد شدن غلظت نیترات توسط مدل بوده و مقادیر RMSE و  $R^2$  نشان می‌دهد که مدل در این لایه مقدار غلظت نیترات را به خوبی برآورد کرده است.

با توجه به نتایج حاصله و با توجه به (شکل‌های ۳ تا ۹)، در هر سه تیمار ازت مشاهده می‌شود که مدل NLEAP در اکثر مواقع غلظت نیترات خاک را در اعماق مختلف، کم‌تر از مقدار واقعی پیش‌بینی کرده است که ممکن است ناشی از کم‌تر در نظر گرفتن ضریب حداکثر نرخ نیتریفیکاسیون یا بیش‌تر در نظر گرفتن حداکثر نرخ دنیتریفیکاسیون طی واسنجی مدل باشد. در کلیه شکل‌ها مشاهده می‌گردد که با توجه به میزان سطوح مختلف نیتروژن ورودی به مزرعه، میزان نیتروژن باقیمانده در خاک از یک روند مشخصی برخوردار است و با کاهش میزان آب آبیاری، میزان نیترات موجود در خاک افزایش می‌یابد که در نتیجه کاهش میزان شست و شو این امر رخ داده است.

### نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، کارایی مدل NLEAP در شبیه‌سازی تغییرات غلظت نیترات در نیم‌رخ خاک تحت تنش آبی و شرایط مزرعه‌ای گیاه نیشکر مورد ارزیابی قرار گرفته است. به‌طور کلی با توجه به نمودارهای مربوط به غلظت نیترات خاک در بازه‌های ۶۰-۳۰، ۹۰-۶۰ و ۱۲۰-۹۰ سانتی‌متری، در هر سه تیمار N1، N2 و N3 روند تغییرات غلظت نیترات در طول دوره شبیه‌سازی، در اعماق نزدیک‌تر به سطح زمین، دارای نوسانات بیش‌تر و تغییرات کاهشی بیش‌تری نسبت به اعماق پایین‌تر می‌باشد. هم‌چنین مشاهده می‌شود که غلظت نیترات در عمق ۱۲۰-۹۰ سانتی‌متر، در انتهای دوره شبیه‌سازی بیش‌تر می‌شود که حاکی از شست و شوی نیترات از لایه‌های بالایی و انتقال آن به لایه‌های زیرین خاک است. در هر سه تیمار ازت و در همه اعماق، به‌ازای کاهش سطح آب کاربردی، نیترات بیش‌تری در خاک تجمع یافته است و تیمار آبیاری II بیش‌ترین غلظت نیترات را در هر زمان نسبت به دو تیمار آبیاری دیگر به خود اختصاص داده است و این مطلب بیانگر این است که در اثر اعمال تنش آبی و کاهش عمق آب آبیاری، میزان شستشوی نیترات از هر یک از لایه‌های خاک مورد بررسی کم‌تر است.

نتایج نشان داد که میزان نیترات با توجه به میزان آب آبیاری و سطح کود ازته به کار رفته متغیر بود و با کاهش میزان آب کاربردی و افزایش مقدار کود به کار رفته نیترات بیش تری در نیمرخ خاک مشاهده شد و به مرور زمان نیترات به لایه‌های پایینی خاک انتقال یافت و غلظت آن در سطوح مختلف خاک تغییر یافته است که آبشویی، جذب توسط گیاه و تبدیل نیترات به گاز نیتروژن در اثر پدیده دنیتریفیکاسیون از عوامل این کاهش به شمار می‌رود. شبیه‌سازی مدل NLEAP در مورد داده‌های برآورد شده از همین روند منطقی پیروی می‌کند.

### منابع

- بهمنی، ا. برومند نسب، س. بهزاد، م و ناصری، ع. ع. (۱۳۸۸). بررسی میزان تجمع نیترات و آمونیوم در نیمرخ خاک تحت رژیم‌های آبی و کودی مختلف با استفاده از مدل LEACHM. مجله علوم محیطی، دوره ۷، شماره ۲، ص ۹۵-۱۰۸.
- بهمنی، ا. (۱۳۸۸). بررسی حرکت و تجمع نیترات در خاک تحت تنش آبی با استفاده از مدل LEACHM و شرایط مزرعه ای در گیاه نیشکر. پایان‌نامه دکتری رشته آبیاری زهکشی، گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- کاوایانی، ع.، لیاقت، ع و سهرابی، ت. (۱۳۹۰). بررسی عوامل موثر بر غلظت نیترات آبشویی شده محصولات یونجه، ذرت و سبزیجات با استفاده از مدل NLEAP. مجله پژوهش آب در کشاورزی، دوره ۲۵، شماره ۲، ص ۱۶۶-۱۴۷.
- Davies, D. B. and Sylvester-Bradley, R. (1995).** The contribution of fertilizer nitrogen to leach able nitrogen in the UK: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 68, pp: 399- 406.
- Antonopoulos, V. Z. (1997).** Simulation of soil moisture dynamics on irrigated cotton in semi-arid climates. *Agriculture Water Management*, 34, pp: 233-246.
- Alva, A. K. and Paramasivam, S. (2006).** Nitrogen best management practice for citrus trees II. Nitrogen fate, transport and components of N budget. *Scientia Horticulturae*. 109, pp: 223-233.
- Tarkalson, D. D. (2006).** Nitrate accumulation and movement under deficit irrigation in soil receiving cattle manure and commercial fertilizer. *Agricultural water management*. 85, pp: 201- 210.
- Follet, R. F. (1991).** Managing Nitrogen for Groundwater Quality and Farm Profitability, SSSA.

- Boiron, M., Morari, F., Bonaiti, G., Passch, M. and Skaggs, R. W. (2000).** Analysis of DRAINMOD performances with different detail of soil input data in the Vento region of Italy. *Agriculture Water Management*. 42 (3), pp: 259-272.
- Jaynes, D. B., Clvin, T. S., Karlen, D. L., Cambardella, C. A. and Meek, D. W. (2001).** Nitrate loss subsurface drainage as affected by nitrogen fertilizer rate. *Journal of Enviromental quality*. 30(4), pp: 1305-1314.
- Mack, U. D., Feger, K. H., Gong, Y. and Stahr, K. (2005).** Soil water balance and nitrate leaching in 30 Mirania, S., Mohammadian, M. and W.M. Fallah. Nitrogen management in irrigated agriculture. Mazandaran University Pub. Iran (in Persian).
- Sadek, A. E., Feyen, J. and Ragab, R. (2002).** Simulation of nitrogen balance of maize field under different drainage strategies using the DRAINMOD-N model. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 51(1), pp: 61-75.