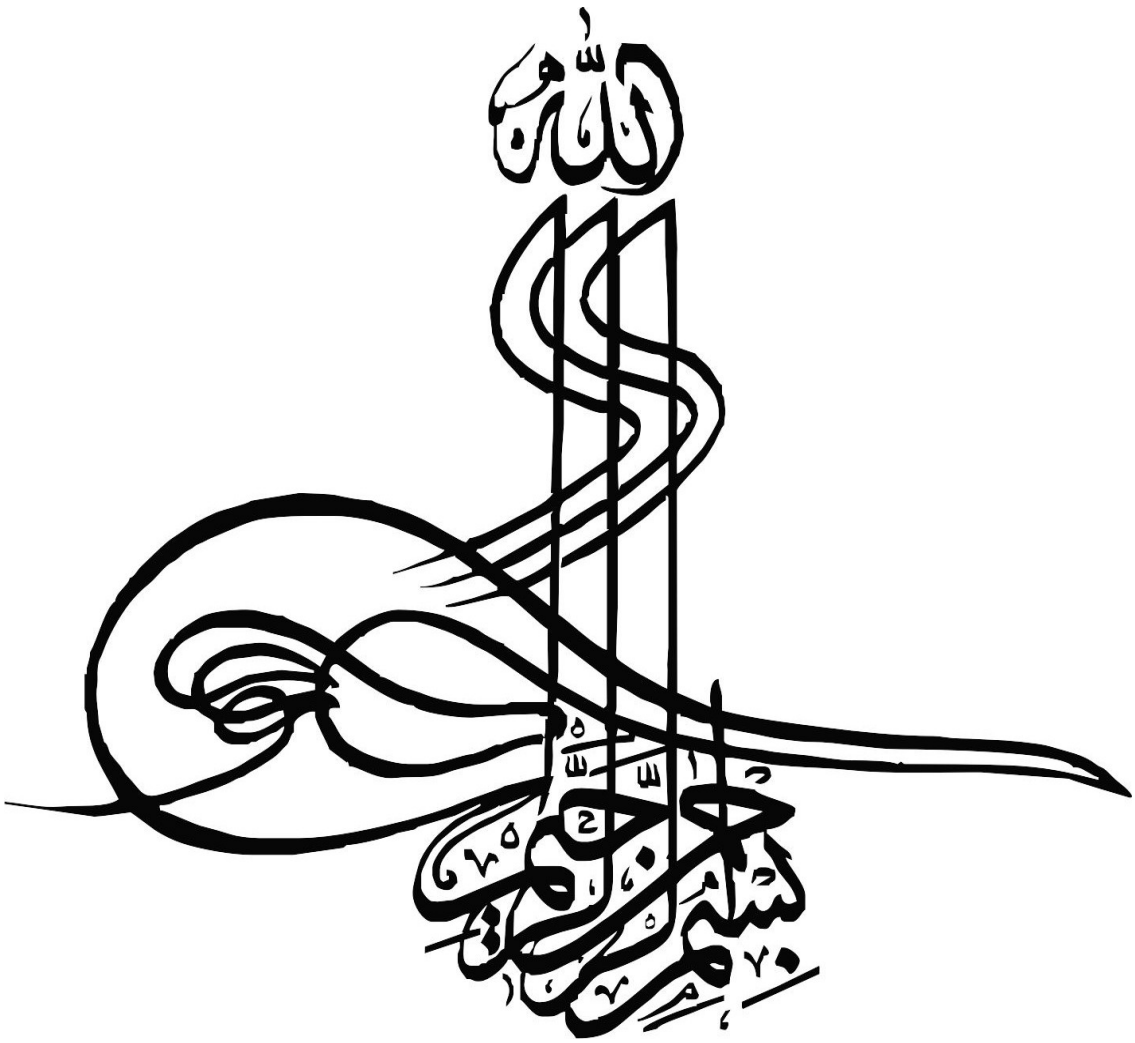

بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده کشاورزی
گروه آب و خاک

شبیه سازی حرکت نیترات در خاک با کشت گوجه فرنگی

سید علی شاهورانی

اساتید راهنما :
دکتر هادی قربانی
دکتر خلیل اژدری

اساتید مشاور :
مهندس علی اصغر نادری
دکتر صمد امامقلی زاده

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد
بهمن ماه ۱۳۹۰

این مجموعه تقدیم می گردد :

به روح بلند و ملکوتی تمامی شهیدان راه حق و حقیقت

خصوصاً شهید بزرگوار **محمد صادق یوسفیان**

خداوندا اگر فراغت از کاری برای ما مقدر فرموده ای آن را فراغتی سالم قرار ده که در آن گناهی ما را نرسد و دلزدگی به ما روی نیاورد. ***(صحیفهٔ سجادیه - دعای ۱۱)***

راز و رمز پویای علم و کشف معانی بدیع و تجلی جلوه های شهودی معرفت، کیمیایی است که آسمان علم به برکت سیما و سیرهٔ نورانی نبی مکرم (ص)، انسان در بند خاک را به معراج حضور می خواند. چه خرم علمی که از چشمهٔ معارف، سیراب شود و چه زیبا دانشی که قبای پرنیانش به عطر و بوی گلستان محمدی و خاندان مطهرش معطر گردد.

سپاس بیکران بر همدلی و همراهی و همگامی پدر و مادر دلسوز و مهربانم که سجدهٔ ایثارشان گل محبت را در وجودم پروراند و دامان گهربارشان لحظه های مهربانی را به من آموخت، آنان که آرامش روحی و آسایش فکری فراهم نمودند تا با حمایت های همه جانبه در محیطی مطلوب، مراتب تحصیلی و نیز پایان نامه درسی را به نحو احسن به اتمام برسانم. از خواهر و برادر عزیزم که در تمامی مراحل تحصیل، باعث تقویت بنیهٔ روحی و فکری من بودند کمال تشکر داشته و از خداوند متعال برای این عزیزان، پیشرفت روز افزون علمی و معنوی، مسئلت می نمایم.

همچنین سپاس ویژه از همسر فداکارم؛ یاریگری که با واژهٔ نجیب و مغرور تلاش، آشنایی دارد، همراهی که با طبع لطیف و گفتار ظریف، مرا در راه رسیدن به اهداف عالی یاری رساند، او که حس تعهد و مسئولیت در زندگی اش تلألویی خدایی دارد.

بسی شایسته است از استاد فرهیخته جناب آقای دکتر اژدری که با کرامتی چون خورشید، سرزمین دلم را روشنی بخشید و گلشنِ سرای علم و دانشم را با راهنمایی های سازندهٔ خود بارور ساخت؛ تقدیر و تبجیل نموده و صمیمانه‌ترین سپاس های خود را به ایشان که شمع وجود گرانقدر خویش را در طبق اخلاص نهاد و نهال نو پای امروز را به امید فردایی شکوفاتر با عصارهٔ جان آبیاری نمود، نثار نمایم.

جناب آقایان دکتر قربانی، دکتر نادری و دکتر امامقلی زاده، اساتید راهنما و مشاورم، چگونه سپاس گویم مهربانی و لطفتان را که سرشار از عشق و یقین است و تأثیر بذل علمتان که چراغ روشن هدایت را بر کلبهٔ محقر وجودم فروزان ساخته است. آری در مقابل این همه عظمت و شکوه مرا نه توان سپاس است و نه کلام وصف.

همچنین جا دارد از جناب آقایان دکتر اصغری، مهندس گلی و سرکار خانم مهندس ساغری که در طول عملیات صحرایی و آزمایشگاهی این پروژه، از لطف بی دریغشان بهره مند بودم، کمال تشکر داشته باشم.

از برادران گرامی جناب آقایان حیدر عربیان، مقداد نورانیان، عباس بینش و فائز عبدالحسینی که بدون هیچ چشم داشت، در رفع مشکلات نرم افزاری راه گشای حقیر بودند، بی نهایت سپاسگزارم و در پایان از تمامی کسانی که مجال ذکر نامشان در این مقال نبود و مستقیم یا غیر مستقیم از وجود پر برکتشان بهره مند بودم تقدیر فراوان نموده و از درگاه ایزد منان ارتقاء درجاتشان را آرزومندم.

سید علی شاهورانی

دی ماه ۱۳۹۰

چکیده

فعالیت های کشاورزی از پر اهمیت ترین منابع بشری آلودگی نیترات در آب های زیر زمینی هستند و آب شویی نیترات از این سیستم ها اثر مستقیمی بر کیفیت آب زیر زمینی دارد. در طول دهۀ اخیر اهمیت آلودگی آب های زیر زمینی به دلیل افراط در مصرف کود های ازته در مناطق با کشاورزی متمرکز، افزایش یافته است. باید توجه داشت که افزایش عملکرد نباید به تخریب محیط زیست منجر گردد. بالا بردن تولید در واحد سطح و بهبود کمی و کیفی عملکرد محصولات نیاز به توجه خاصی دارد. تبدیل سیستم های آبیاری از روش های رایج نظیر سطحی به سیستم های پیشرفته همانند قطره‌ای می‌تواند نقش مهمی را در این خصوص داشته باشد، چرا که استفاده از این سیستم ها باعث افزایش راندمان مصرف آب می شود. کود آبیاری (Fertigation) مؤثرترین روش به کارگیری آب در سبزیجات و محصولات باغی می باشد، که از طریق سیستم آبیاری قطره ای عملی می گردد. به منظور بررسی هر چه بیشتر کارایی این سیستم، آزمایشی در ۴ تیمار با کشت گیاه گوجه فرنگی در منطقۀ بسطام شاهرود انجام گرفت که سه تیمار به آبیاری قطره ای و تیمار چهارم به آبیاری سطحی اختصاص یافت. برای آنالیز دقیق نتایج و به دست آوردن اطلاعات کامل تر، از یک مدل پیشرفته به نام HYDRUS-2D استفاده شد. نتایج حاصل از تحقیق نشان داد که توزیع هفتگی کود و آبیاری یک روز در میان باعث بالا رفتن بازدۀ مصرف آب و نیتروژن می گردد. نتیجۀ دیگر حاکی از آن است که متوسط عملکرد آبیاری قطره ای ۷۲/۵۶ تن در هکتار بوده که نسبت به تیمار آبیاری سطحی ۳۰ درصد و نسبت به میانگین عملکرد منطقۀ بسطام به میزان ۱۱۶ درصد افزایش نشان می دهد. همچنین نتایج حاصل از شبیه سازی حرکت عمقی آب و نیترات نشان داد که نفوذ آب و مواد مغذی در طول دورۀ رویش گیاه متناسب با عمق توسعۀ ریشه بوده و بنابراین در زمان نیاز گیاه در اختیار آن قرار گرفته است که نشان دهندۀ کارایی بالای سیستم کود آبیاری می باشد. از دیگر نتایج مفید حاصل از مدل سازی برآورد مقدار دقیق حجم آب زهکشی شده و نیترات آب شویی شده از زیر ناحیۀ

ریشه در طول دورهٔ رویش گیاه می باشد. آنالیز عددی نمودار های حاصل از مدل نشان داد که میزان آب زهکشی شده از زیر ناحیهٔ ریشه تنها ۰/۳ درصد کل آب داده شده و میزان نیترات آب شویی شده از زیر این ناحیه ۳/۲۹ درصد کل نیترات مصرفی بوده است که این مقادیر بسیار اندک و قابل چشم پوشی بوده و بیانگر آن است که درصد بالایی از آب و مواد مغذی در منطقهٔ توسعهٔ ریشه تمرکز داشته است.

واژگان کلیدی : آب شویی، کود آبیاری، نیترات، شبیه سازی، HYDRUS-2D، گوجه فرنگی

لیست مقالات استخراج شده از پایان نامه

مطالعهٔ حرکت ماهانهٔ نیترات در مزرعهٔ گوجه فرنگی با واسنجی مدل HYDRUS-2D، سومین همایش ملی مدیریت شبکه های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اسفند ۱۳۸۹

چگونگی توزیع کود در سیستم آبیاری قطره ای با کشت پیاز، سومین همایش ملی مدیریت شبکه های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اسفند ۱۳۸۹

بررسی اثر میزان مصرف آب و کود بر عملکرد گوجه فرنگی در سیستم کود آبیاری، اولین همایش ملی علوم زیستی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد فلاورجان، اسفند ماه ۱۳۹۰

فهرست مطالب

فصل اول : کلیات و تئوری تحقیق

۱-۱- سیستم کود آبیاری ۲
۱-۲- سیستم آبیاری قطره ای..... ۳
۱-۲-۱- اجزای سیستم آبیاری قطره ای ۳
۱-۲-۲- انتخاب قطره چکان ۳
۱-۲-۳- طرز کار سیستم ۵
۱-۲-۴- مزیت ها و محدودیت های آبیاری قطره ای..... ۵
۱-۲-۴-۱- مزیت های بالقوۀ آبیاری قطره ای ۵
۱-۲-۴-۲- محدودیت های بالقوۀ آبیاری قطره ای ۸
۱-۲-۵- شرایط محیطی در آبیاری قطره ای ۱۰
۱-۳- بیان مسئله ۱۱
۱-۴- اهمیت استفاده از مدل های کامپیوتری ۱۲
۱-۴-۱- مدل HYDRUS- 2D ۱۳
۱-۵- گیاه گوجه فرنگی ۱۳
۱-۶- هدف تحقیق ۱۴

فصل دوم : مروری بر تحقیقات گذشته

۲-۱- مقدمه ۱۶
۲-۲- دامنه و اهمیت آلودگی نیترات ۱۷
۲-۳- کاربرد مدل های کامپیوتری ۲۵
۲-۴- عوارض و ملاحظات بهداشتی نیترات ۲۸
۲-۵- سیستم های آبیاری ۳۱
۲-۶- گوجه فرنگی ۳۵

فصل سوم : مواد و روش ها

۳-۱- موقعیت محل اجرای طرح ۳۹
۳-۲- اقلیم منطقه ۳۹
۳-۳- مشخصات خاک محل تحقیق..... ۳۹

۳-۴- مشخصات سیستم آبیاری قطره ای مورد استفاده ۴۰
۳-۵- انتخاب گیاه ۴۳
۳-۶- تاریخ کشت ۴۳
۳-۷- برنامهٔ آبیاری و کود آبیاری ۴۳
۳-۸- نمونه برداری و تجزیهٔ نمونه ها ۴۵
۳-۹- اندازه گیری نیتروژن ۴۸
۳-۱۰- اندازه گیری نیترات ۵۱

فصل چهارم : نتایج و بحث

۴-۱- پارامتر های رویشی گیاه ۵۵
۴-۲- مدل سازی ۵۷
۴-۲-۱- مدل Hydrus- 2D ۵۹
۴-۲-۲- واسنجی مدل ۶۱
۴-۲-۳- صحت سنجی مدل ۶۸
۴-۳- شبیه سازی های مدل ۶۹
۴-۳-۱- شبیه سازی توزیع عمقی نیترات ۶۹
۴-۳-۲- شبیه سازی توزیع افقی نیترات ۸۲
۴-۳-۳- شبیه سازی انتقال عمودی آب و نیترات ۸۷
۴-۳-۴- شبیه سازی حجم آب زهکشی شده و نیترات آبشویی شده ۸۸

فصل پنجم : نتیجه گیری و پیشنهادات

۵-۱- نتیجه گیری ۹۳
۵-۲- پیشنهادات ۹۵

منابع مورد استفاده ۹۶

فهرست جداول

فصل دوم

جدول ۲-۱- تخمین جذب روزانهٔ نیترات و سهم گیاهان در مناطق مختلف.....۲۹

فصل سوم

جدول ۳-۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک و فاکتور های اندازه گیری شده در محل تحقیق.۳۹

جدول ۳-۲- برنامه آبیاری هفتگی در سیستم آبیاری قطره ای گوجه فرنگی ۴۵

جدول ۳-۳- برنامه توزیع کود سیستم کود آبیاری و آبیاری سطحی ۴۶

فصل چهارم

جدول ۴-۱- نتایج مربوط به عملکرد گیاه، بازده مصرف آب و بازده مصرف کود نیتروژن ۵۶

جدول ۴-۲- متوسط عملکرد گوجه فرنگی در سال های مختلف زراعی در منطقهٔ بسطام ۵۶

جدول ۴-۳- مقایسهٔ مقادیر مشاهده ای و شبیه سازی رطوبت و غلظت نیترات در انتهای فصل رشد... ۶۸

جدول ۴-۴- روند تغییرات نقطهٔ اوج منحنی های توزیع عمقی نیترات در طول فصل رویش گیاه...۷۸

فهرست اشکال

فصل اول

شکل ۱-۱- شمایی از سیستم آبیاری قطره ای و اجزای آن ۴
شکل ۱-۲- مزرعهٔ تحت کشت با سیستم آبیاری قطره ای ۴

فصل دوم

شکل۲-۱- فعل و انفعالات مختلف نیترات در حین آبشویی از سطح زمین به آب زیر زمینی ۱۷
شکل۲-۲- روند افزایش سریع غلظت نیترات در هشت حلقه چاه آب در مشهد مقدس ۲۱
شکل۲-۳- علائم اختلالات فیزیولوژیکی و کمبود برخی عناصر اصلی در گیاه گوجه فرنگی ۳۶
شکل۲-۴- تصویر آناتومی گیاه گوجه فرنگی ۳۷

فصل سوم

شکل ۳-۱- شمایی از مزرعهٔ تحقیقاتی با سیستم کود آبیاری و کرتی ۴۱
شکل۳-۲- اجزای سیستم آبیاری قطره ای نصب شده در مزرعهٔ تحقیقاتی قبل از کشت ۴۲
شکل ۳-۳- تست و تنظیم دبی قطره چکان ها در سیستم آبیاری قطره ای ۴۲
شکل ۳-۴- نصب دستگاه گلف جهت اندازه گیری هدایت هیدرولیکی اشباع در اعماق مختلف ۴۷
شکل ۳-۵- نصب تانسیومتر برای اندازه گیری رطوبت خاک ۴۷
شکل ۳-۶- شمایی از کرت ۸۰٪ آبیاری قطره ای در ماه چهارم بعد از کشت ۴۹
شکل ۳-۷- شمایی از کرت ۱۰۰٪ آبیاری قطره ای در ماه چهارم بعد از کشت ۴۹
شکل ۳-۸- بخش هضم از دستگاه کجلدال برای اندازه گیری نیتروژن ۵۰
شکل ۳-۹- بخش تقطیر از دستگاه کجلدال برای اندازه گیری نیتروژن ۵۰
شکل ۳-۱۰- دستگاه سانتریفیوژ.....۵۳
شکل ۳-۱۱- دستگاه اسپکتروفتومتر.....۵۳

فصل چهارم

شکل ۴-۱- تصویر هوایی منطقهٔ بسطام شاهرود ۵۷
شکل ۴-۲- مدل واقعی تعریف شده برای Hydrus-2D ۵۸
شکل ۴-۳- ضریب تراکم ریشه در محیط مدل سازی شده و شبکهٔ المانی چهارگانه اخذ شده از مدل...۶۰
شکل ۴-۴- مقایسهٔ مقادیر شبیه سازی شده و مشاهده شدهٔ رطوبت نسبت به عمق خاک (ماه دوم) ۶۲
شکل ۴-۵- مقایسهٔ مقادیر شبیه سازی شده و مشاهده شدهٔ رطوبت در ماه دوم (درصد حجمی)....۶۳

شکل ۴-۶- مقایسهٔ مقادیر شبیه سازی شده و مشاهده شدهٔ رطوبت نسبت به عمق خاک (ماه سوم) ...۶۴
شکل ۴-۷- مقایسهٔ مقادیر شبیه سازی شده و مشاهده شدهٔ رطوبت در ماه سوم (درصد حجمی)...۶۵
شکل ۴-۸- مقایسهٔ مقادیر شبیه سازی شده و مشاهده شدهٔ غلظت نیترات نسبت به عمق خاک....۶۶
شکل ۴-۹- مقایسهٔ مقادیر شبیه سازی شده و مشاهده شدهٔ غلظت نیترات (میلی گرم بر میلی لیتر).. ..۶۷
شکل ۴-۱۰- شبیه سازی تغییرات نیترات با عمق (a) هفتهٔ اول (b) هفتهٔ دوم ۷۱
شکل ۴-۱۱- شبیه سازی تغییرات نیترات با عمق (a) هفتهٔ سوم (b) هفتهٔ چهارم ۷۲
شکل ۴-۱۲- شبیه سازی تغییرات نیترات با عمق (a) هفتهٔ پنجم (b) هفتهٔ ششم ۷۴
شکل ۴-۱۳- شبیه سازی تغییرات نیترات با عمق (a) هفتهٔ هفتم (b) هفتهٔ هشتم.....۷۵
شکل ۴-۱۴- شبیه سازی تغییرات نیترات با عمق (a) هفتهٔ نهم (b) هفتهٔ دهم ۷۷
شکل ۴-۱۵- شبیه سازی تغییرات نیترات با عمق (a) هفتهٔ یازدهم (b) هفتهٔ دوازدهم ۷۹
شکل ۴-۱۶- شبیه سازی تغییرات نیترات با عمق (a) هفتهٔ سیزدهم (b) هفتهٔ چهاردهم ۸۰
شکل ۴-۱۷- شبیه سازی تغییرات نیترات با عمق (a) هفتهٔ پانزدهم (b) هفتهٔ آخر.....۸۱
شکل ۴-۱۸- نمودار تغییرات افقی غلظت نیترات در ابتدای ماه اول ۸۳
شکل ۴-۱۹- نمودار تغییرات افقی غلظت نیترات در ابتدای ماه دوم ۸۴
شکل ۴-۲۰- نمودار تغییرات افقی غلظت نیترات در ابتدای ماه سوم ۸۵
شکل ۴-۲۱- نمودار تغییرات افقی غلظت نیترات در ابتدای ماه چهارم ۸۶
شکل ۴-۲۲- نحوهٔ انتقال آب به اعماق خاک در طول دورهٔ رویش گیاه.....۸۷
شکل ۴-۲۳- نحوهٔ انتقال نیترات به اعماق خاک در طول دورهٔ رویش گیاه.....۸۸
شکل ۴-۲۴- شبیه سازی حجم آب زهکشی شده در کل دورهٔ رویش گیاه در خاک محل تحقیق.....۹۰
شکل ۴-۲۵- شبیه سازی حجم نیترات آبشویی شده در کل دورهٔ رویش گیاه در خاک محل تحقیق ۹۰
شکل ۴-۲۶- شبیه سازی حجم آب زهکشی شده در طول دورهٔ رویش گیاه در خاک لوم شنی ۹۱
شکل ۴-۲۷- شبیه سازی حجم نیترات آبشویی شده در طول دورهٔ رویش گیاه در خاک لوم شنی.....۹۱

فصل اول

کلیات و تئوری تحقیق

۱-۱- سیستم کود آبیاری

با توجه به افزایش سریع جمعیت کشور، نیاز به تولید بیشتر مواد غذایی احساس می‌گردد. بهترین راه برای نیل به این هدف و همچنین کاهش واردات، افزایش تولید در واحد سطح است. در بین نهاده های کشاورزی، اضافه نمودن متعادل کود های شیمیایی بیشتر از سایر نهاده ها در افزایش تولید محصولات کشاورزی مؤثر است. نظر به اینکه تولید کنندگان محصولات کشاورزی کشور برای تولید بیشتر، مصرف کود های شیمیایی را افزایش دادند ولی در عمل به علت محدودیت‌های زمین، آب و اقلیم و به خصوص عدم مدیریت کارا در مسائل آب و کود عملکرد مورد انتظار حاصل نشده و در نتیجه تعادل عناصر غذایی خاک بهم خورده و مسائل عمدهٔ زیست محیطی مطرح شده است، بنابر این افزایش تولید در واحد سطح و بهبود هر چه بیشتر کمی و کیفی عملکرد محصولات زراعی و باغی، نیاز به توجه خاصی دارد. همچنین مدرنیزه کردن سیستم های آبیاری و تبدیل آن ها از روش های رایج زارعین نظیر سطحی به سیستم های تحت فشار همانند قطره‌ای می‌تواند نقش مهمی را در این خصوص داشته باشد چرا که استفاده از این سیستم های تحت فشار باعث افزایش راندمان مصرف آب شده و به عبارت دیگر میزان تولید محصول را به ازای مصرف هر واحد آب افزایش می‌دهد. ترکیب دو فاکتور آب و کود و یا به اصطلاح کود دهی با آبیاری (Fertigation) از محاسن ویژه ای برخوردار می‌باشد، که موفقیت در این روش مستلزم داشتن آگاهی کافی در رابطه با نیاز آبی و نیاز کودی هر محصول است. این سیستم مؤثرترین روش به کارگیری آب در سبزیجات و محصولات باغی می باشد، که از طریق آبیاری قطره ای عملی می گردد. به کارگیری آب و مواد غذایی از طریق سیستم آبیاری قطره ای باعث ذخیره شدن مادهٔ غذایی در ناحیهٔ ریشه و به حداقل رسیدن آب شویی و آب خارج شده از زیر ناحیهٔ ریشه می شود. در این روش به دلیل استفاده بهینه از مصرف آب و کود، آلودگی محیط زیست به حداقل رسیده و تقسیط مصرف کود ها در مراحل حساس و مورد نیاز گیاه به سهولت انجام می‌پذیرد. همچنین از هدر رفتن کود بدلیل کنترل غلظت عناصر غذایی در خاک جلوگیری شده

و مطابق با نیاز رشد گیاه، در اختیار آن قرار داده می‌شود؛ از طرف دیگر به دلیل حلالیت یکنواخت کود ها در آب آبیاری، جذب آن بهتر صورت می‌گیرد. امروزه از جمله اهداف مدیریت کود آبیاری در فعالیت های کشاورزی، بالا بردن درآمد کشاورزان و کاستن از آلودگی های زیست محیطی است.

۱-۲- سیستم آبیاری قطره ای

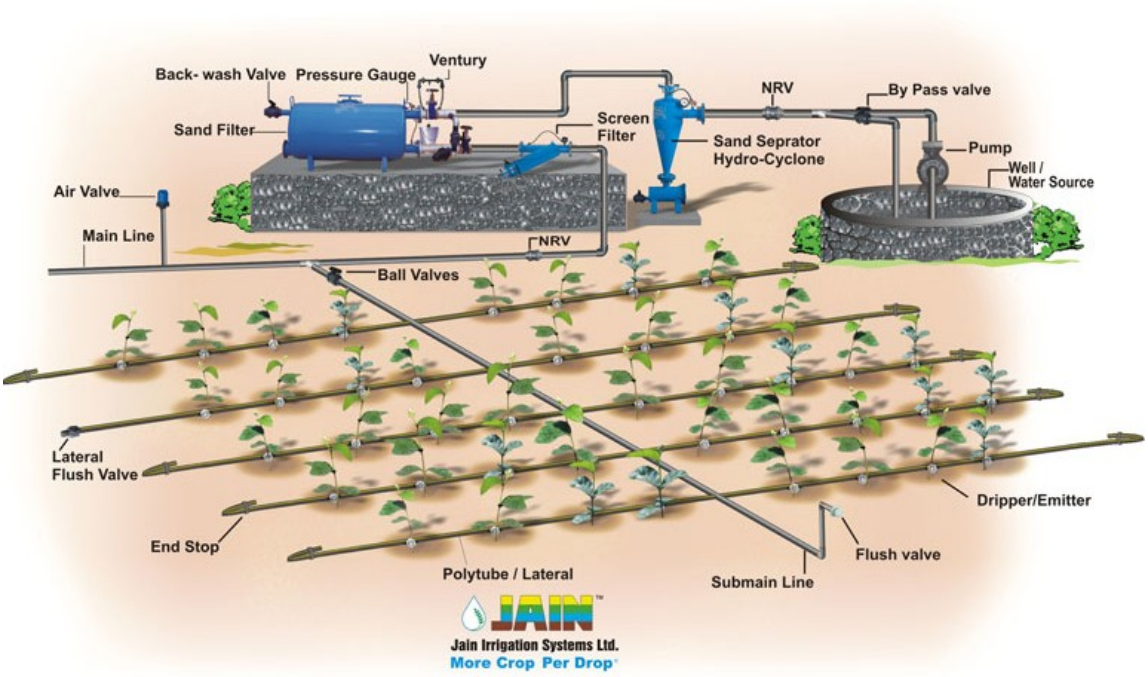
آبیاری قطره ای عبارت است از روشی که طی آن آب با فشار کم از روزنه یا وسیله ای به نام قطره چکان از شبکه خارج و به صورت قطراتی در پای بوته ریخته می شود. شبکه ای که آب را در سراسر مزرعه توزیع می‌نماید به کمک قطره چکان و با فشار کم در روی زمین پاشیده می شود. از مشخصات این روش تحویل آب به گیاه با فشار کم در سطح زمین و در منطقه ریشه و با توزیع مناسب خواهد بود. شکل های ۱-۱ و ۱-۲ به ترتیب شمایی از سیستم آبیاری قطره ای و اجزای آن و نیز یک مزرعهٔ تحت کشت با این نوع سیستم آبیاری را نشان می دهد (موسوی و اخوان، ۱۳۸۶).

۱-۲-۱- اجزای سیستم آبیاری قطره‌ای

منبع آب، موتور پمپ، سیکلون، فیلتر شن، تانک کود، مرکز کنترل، فیلتر توری، لولهٔ اصلی، لولهٔ آبرسانی، لوله های جانبی یا فرعی، قطره چکان.

۱-۲-۲- انتخاب قطره چکان

انتخاب قطره چکان مهم ترین کاری است که در یک سیستم آبیاری قطره‌ای باید انجام گیرد .انتخاب صحیح باعث می شود که از هزینه های نگهداری به مقدار زیاد کاسته شده و زیان های ناشی از مسدود شدن مجرا نظیر هزینهٔ تعویض قطره چکان، آبیاری نشدن بوته هایی که قطره چکان آن بند آمده و در نتیجه کاهش محصول، به مقدار قابل توجهی کاهش یابد (موسوی و اخوان، ۱۳۸۶).



شکل (۱-۱) شمایی از سیستم آبیاری قطره ای و اجزای آن

شکل (۱-۲) مزرعهٔ تحت کشت با سیستم آبیاری قطره ای

۱-۲-۳- طرز کار سیستم

آب توسط پمپ از منبع آب به داخل سیستم آبیاری پمپ شده و ضمن عبور از سیکلون ، شن و مواد خارجی خیلی درشت آن ته نشین می شود. در فیلتر بقیه مواد جامد معلق در آب گرفته می شود. بخشی از آب وارد تانک کود شده با حل کردن مقداری کود در آب، این محلول از انتهای دیگر تانک خارج و مجدداً وارد جریان اصلی آب می‌گردد. آب پس از عبور از فیلتر توری وارد لوله های توزیع کننده شده و مرکز کنترل این مجموعه را هماهنگ می‌کند. در حال حاضر این روش آبیاری برای محصولات گران قیمت اقتصادی بوده و گیاهان گلخانه ای و کلیه گیاهانی که کشت آن زیر پلاستیک صرفه اقتصادی داشته باشد امکان پذیر است. ولی برای غلات ، حبوبات ، گیاهان علوفه‌ای و سایر محصولاتی که قیمت آن پائین است به صرفه نیست. (موسوی و اخوان، ۱۳۸۶)

۱-۲-۴- مزیت ها و محدودیت های آبیاری قطره ای

آبیاری قطره ای مانند هر روش دیگر دارای محاسن و محدودیت هایی است. این مزایا یا معایب عمدتاً از نظر فنی، اقتصادی و یا عوامل مربوط به رشد گیاه است. بنابراین درهنگام انتخاب روش آبیاری قطره ای و یا طراحی و اجرای این روش لازم است این جنبه ها نیز مورد ارزیابی قرارگیرد و تنها در صورتی که محاسن سیستم بیشتر از معایب آن باشد به مرحله اجرا گذاشته شود. به طور کلی درحال حاضر آبیاری قطره ای بیشتر در موارد زیر کاربرد دارد :

الف- در وضعیتی که مقدار آب کم یا هزینهٔ تأمین آن زیاد است.

ب- در زمین های شنی و یا وضعیت هایی که نتوان زمین را برای سایر روش های آبیاری آماده کرد.

ج- در مورد گیاهانی که محصول آن از ارزش اقتصادی زیادی برخوردار باشد.

۱-۲-۴-۱- مزیت های بالقوهٔ آبیاری قطره ای

آبیاری قطره ای درمقایسه با روش های بارانی یا کرتی و جوی و پشته ای دارای محاسنی است که از آن جمله می توان به این موارد اشاره کرد :

الف) بهره گیری بیشتر از منابع آب

با توجه به ماهیت و خصوصیات فنی روش آبیاری قطره ای، مصرف آب در این روش کمتر از سایر روش های آبیاری است. در آبیاری قطره ای تنها بخشی از خاک اطراف بوته گیاه یا درخت آبیاری می شود. کاهش تبخیر از سطح خاک، عدم وجود رواناب سطحی و کنترل نفوذ عمقی از عواملی هستند که باعث کاهش مصرف آب و در نتیجه افزایش بازده آبیاری می شود. در این روش قسمت های اضافی خاک که معمولاً در روش های سنتی مرطوب شده و آب آن به مصرف تبخیر یا تعرق علف های هرز می رسد، خشک باقی می ماند. در بعضی روش ها مانند روش بارانی مقداری از آب پخش شده توسط آب پاش ها مستقیماً در هوا تبخیر و یا توسط باد از مزرعه خارج می گردد، حال آن که در روش قطره ای چنین مواردی وجود ندارد. در روش قطره ای حتی در اراضی شیب دار و دامنهٔ تپه ها نیز رواناب سطحی وجود نخواهد داشت زیرا معمولاً مقدار آبی که از قطره چکان ها خارج می شود کمتر از شدت نفوذ است. عدم ایجاد سله در سطح خاک های سیلتی از دیگر مزایای این روش است. با کنترل مقدار دبی در قطره چکان می توان از تلفات عمقی آب درخاک های شنی جلوگیری نموده و یا شدت پخش آب را متناسب با ظرفیت نفوذ خاک های رسی تنظیم نمود.

ب) رشد بهتر گیاه و افزایش محصول

در آبیاری قطره ای نیاز آبی گیاه بطور روزانه تأمین می شود لذا رطوبت خاک در منطقه توسعهٔ ریشه در طول دوره رشد تقریباً ثابت باقی مانده و گیاه کمتر از نوسان های تنش آب صدمه می بیند. مقایسه مقدار محصول تولیدی در آبیاری قطره ای با سایر روش های نشان داده است که تولید محصول در این روش معمولاً بیشتر و یا حداقل مساوی با سایر روش ها بوده است. به عبارت دیگر آبیاری قطره ای باعث کاهش مقدار محصول نمی شود.

ج) کاهش زیان وارده به گیاه در اثر شوری آب

آبیاری قطره ای در استفاده از آب شور نسبت به سایر روش های آبیاری ارجح است. این امر را می توان حداقل به سه دلیل دانست. اول این که در روش قطره ای فاصله آبیاری ها کوتاه بوده و

منطقهٔ توسعه ریشه ها همواره مرطوب نگهداشته می شود. لذا محلول خاک که ریشه های گیاه، آب و مواد غذایی مورد نیاز خود را از آن دریافت می دارند تقریباً در طول دوره رشد گیاه رقیق مانده و غلظت نمک در آن کم است. دوم اینکه در آبیاری قطره ای برخلاف روش هایی مانند بارانی، آب مستقیماً روی گیاه پاشیده نشده و یونهای کلر و سدیم موجود در سطح برگ که ممکن است باعث سوختگی آن ها شود، تجمع پیدا نمی کند. سوم اینکه در آبیاری قطره ای حجم مرطوب شدهٔ خاک که اصطلاحاً به آن پیاز رطوبتی گفته می شود به طرف خارج از گیاه رو به گسترش بوده و نمک نیز در جبههٔ رطوبت به طور مرتب از نقطهٔ ریزش قطره چکان به خارج از آن رانده می شود، به طوری که اگر قطره چکان کنار گیاه و یا در جای مناسبی قرار گرفته باشد نمک از دسترس ریشه ها دور می شود.

د) امکان به کارگیری کود و سم همراه با آب آبیاری

در آبیاری قطره ای این امکان وجود دارد تا کود های شیمیایی محلول را به تدریج و همراه با آب آبیاری در اختیار گیاه قرار داد. بدین ترتیب خطر شسته شدن کود ها به عمق خاک و یا خارج شدن آن ها همراه با رواناب سطحی وجود ندارد. افزایش کارایی مصرف کود در آبیاری قطره ای به دلیل مصرف کم کود است که فقط در کنار بوته یا درخت و در عمق توسعهٔ ریشه وارد می گردد و دیگری مربوط به زمان مصرف آن می باشد. دلیل دیگر توزیع یکنواخت کود در منطقه ریشه ها و عدم شسته شدن کود به اعماق خاک است. علاوه بر کود ها سایر مواد مانند قارچ کش ها، حشره کش ها و یا علف کش ها را نیز می توان توام با آب وارد خاک نمود.

ه) جلوگیری از رویش علف های هرز

در آبیاری قطره ای آب قبل از وارد شدن به سیستم از صافی های مخصوص گذشته و تصفیه می شود. لذا امکان وارد شدن بذر علف های هرز به داخل زمین وجود ندارد. از طرف دیگر چون سطح سایه انداز گیاه، آبیاری شده و قسمت های دیگر زمین خشک باقی می ماند شرایط برای رشد علف های هرز فراهم نمی باشد.

و) نیاز کمتر به نیروی انسانی

سیستم آبیاری قطره ای را به سادگی می توان خودکار نمود و نیاز آن را به نیروی انسانی کاهش داد. با استفاده از شیر های برقی، زمان قطع و وصل جریان آب برنامه ریزی شده و نیازی به کارگر برای انجام این کار ها وجود ندارد. کاربرد هم زمان کود و سم با آبیاری می تواند تا حد زیادی در نیروی کار مورد نیاز برای انجام کودپاشی یا سم پاشی صرفه جویی نماید. از محاسن دیگر آبیاری قطره ای این است که هم زمان با عمل آبیاری، کارگران می توانند در بین ردیف های گیاهی یا درخت ها رفت و آمد نموده و به انجام کار های مربوطه بپردازند، در صورتی که در سایر روش های آبیاری می بایست چند روزی صبر کرد تا خاک برای رفت و آمد کارگران یا ماشین ها مناسب شود.

ز) صرفه جویی در انرژی

سیستم آبیاری قطره ای در مقایسه با سایر روش های آبیاری تحت فشار به انرژی کمتری نیاز دارد. زیرا فشار آب مورد نیاز در این سیستم به مراتب کمتر از سیستم آبیاری بارانی است (ویدرز و ویپوند، ۱۳۶۷).

۱-۲-۴-۲- محدودیت های بالقوه در آبیاری قطره ای

علی رغم موفقیت هایی که در آبیاری قطره ای حاصل شده است این روش مشکلاتی را نیز در بردارد که از آن جمله می توان به موارد زیر اشاره نمود :

الف) گرفتگی قطره چکان ها

بزرگترین مشکل در آبیاری قطره ای گرفتگی قطره چکان ها با مواد مختلف و مسدود شدن روزنه ها در آن است. گرفتگی قطره چکان ها بتدریج باعث عدم توزیع یکنواخت آب می شود. خطر مسدود شدن قطره چکان باعث بالا رفتن هزینه های نگهداری سیستم مانند کنترل قطره چکان ها و تعویض یا تعمیر آن ها نیز می شود. برای رفع این مشکل دو راه می توان انتخاب کرد، یکی استفاده از وسایل یا قطره چکان هایی که امکان گرفتگی آن ها کم است و دوم توجه بیشتر به کیفیت آب و تصفیه آن

قبل از ورود به سیستم. اکثراً بر این عقیده اند که تصفیه آب و اصلاح شیمیایی آن و شستشوی لوله ها و قطره چکان ها مؤثر ترین راه حل این مسئله است.

ب) تجمع نمک در سطح خاک و نزدیک گیاه

در هنگام آبیاری با آب شور با روش قطره ای، بخصوص در مناطق خشک و نیمه خشک، تجمع نمک در محیط خارجی پیاز رطوبتی و سطح خاک زیاد است. این امر باعث می شود که اگر در فصل رشد باران رخ دهد نمک های تجمع یافته در سطح خاک به طرف پایین شسته شده و وارد منطقه توسعهٔ ریشه شوند. به همین دلیل توصیه می شود در صورت وقوع باران عمل آبیاری قطع نشده و همچنان تا پایان بارندگی ادامه داشته باشد تا نمک به محیط ریشه ها رانده نشود. در آبیاری قطره ای تجمع تدریجی نمک در سطح خاک باعث می شود که پس از پایان دورهٔ رشد و برداشت محصول وضعیت برای رشد گیاه بعد در سال آتی مناسب نشده و جوانه زدن را با اشکال مواجه سازد. لذا باید حتی المقدور پس از پایان دوره رشد و قبل از شروع کشت در سال بعد، خاک را با انجام یک آبیاری سطحی شستشو داد. به همین دلیل ایجاب می کند که در بسیاری موارد زمین آبیاری قطره ای طوری آماده سازی شود که برای آبیاری سطحی نیز مناسب باشد.

ج) محدودیت حرکت آب درخاک و عدم توسعه ریشه ها

حجم کوچک خاک خیس شده در آبیاری قطره ای درمقایسه با سایر روش ها از یک طرف مفید است. در توزیع آب در خاک و توسعهٔ ریشه های گیاه عوامل متعددی مانند، خاک (بافت، خصوصیات نفوذ و ناهمگنی آن)، گیاه (جذب آب و شدت تعرق)، مقدار و فاصله بین آبیاری ها، تعداد قطره چکان ها برای هر گیاه و دبی آن ها دخالت دارد که چنان چه به هر علتی محیط توسعه ریشه ها محدود گردد ممکن است رشد گیاه نیز به تبع آن محدود شود، به همین دلیل توصیه می شود طرح های آبیاری قطره ای در مورد درختان میوه هم زمان با کاشت اولیه آن ها پیاده شود و حتی الامکان از تغییر سیستم آبیاری باغات کهنه و درختان چند ساله و مسن به سیستم قطره ای خودداری شود.

د) محدودیت های فنی - اقتصادی

هزینهٔ سرمایه گذاری اولیه در آبیاری قطره ای نسبت به سایر روش های آبیاری زیادتر است. آبیاری قطره ای را از نظر سرمایه گذاری می توان مشابه آبیاری بارانی با لوله های ثابت دانست. در حال حاضر هزینهٔ سرمایه گذاری اولیه یک سیستم قطره ای در سطح بین المللی ۲۰۰۰ تا ۷۰۰۰ دلار برای هر هکتار می باشد که مشتمل بر وسایل تصفیه، پمپ، دستگاه تزریق کود و لوله ها می باشد. هزینهٔ مورد نیاز برای احداث هر هکتار آبیاری قطره ای برای سال ۱۳۷۶ حدود ۶ تا ۷ میلیون ریال برآورد شده است. به طورکلی در درجهٔ اول این سیستم بیشتر مناسب گیاهانی است که با فاصله زیاد از یکدیگر کشت می شوند. در درجهٔ دوم می توان آن ها را برای بعضی گیاهان ردیفی نیز به کار برد ولی به لحاظ اقتصادی کاربرد آن برای گیاهان دیگر مانند غلات و زراعت های مشابه به صرفه نمی باشد (ویدرز و ویپوند، ۱۳۶۷).

۱-۲-۵- شرایط محیطی در آبیاری قطره ای

قبل از تصمیم گیری در مورد اجرا و بخصوص قبل از شروع طراحی سیستم آبیاری قطره ای باید وضعیت محیطی که قرار است سیستم در آن پیاده شود مورد آزمایش قرار گیرد. بر پایه این آزمایش ها اولین تصمیم گیری این خواهد بود که آیا به طورکلی به کار بردن روش آبیاری قطره ای مفید خواهد بود یا خیر و اگر جواب این بررسی ها مثبت باشد مسلماً تأثیر زیادی در بهبود روش، حل مشکلات، سازگاری طرح با وضعیت موجود و بهره وری از سیستم خواهد داشت.

بررسی هایی که باید در این مورد انجام شود عبارتند از :

- مطالعات آب و هوا
- بررسی وضعیت خاک
- مطالعه منابع آب
- بررسی وضعیت زراعت و یا درختانی که آبیاری می شوند (ویدرز و ویپوند، ۱۳۶۷).

۱-۳- بیان مسئله

برای رسیدن به کشاورزی پایدار و تداوم آن لازم است کلیهٔ مسائل مربوط به کاشت، داشت و برداشت محصول به صورت کنترل شده مطالعه شود. علاوه بر این توجه به سالم بودن محیط زیست در این گونه عملیات حائز اهمیت می باشد. برای بررسی دقیق چگونگی آلودگی لایه های خاک به مواد ورودی و ارتباط آن با سلامت زیست محیطی باید محیط های کنترل شده از طریق مدل سازی شبیه سازی شود تا چگونگی بیان دقیق مسئله روشن شود.

شبیه سازی آلودگی لایه های خاک به هر نوع آلاینده ای، بیان دقیق ماهیت حرکت مواد ورودی به داخل خاک می باشد. از آنجا که آلاینده های ورودی به داخل خاک ممکن است از نظر چگونگی حرکت و قرارگیری در لایه های مختلف فرم های گوناگونی داشته باشند، تکنیک شبیه سازی می تواند نحوهٔ حرکت آن ها را در جهات مختلف افقی و عمودی مورد بررسی قرار دهد. از طرف دیگر چنان چه سیستم شبیه ساز از قابلیت و اطمینان بالایی برخوردار باشد از نظر زمانی محدودیت های مربوط به بررسی آلودگی لایه های خاک در فواصل زمانی مختلف مطالعه، برطرف می گردد و این روش جوابگوی دقیق نیازهای مربوط به چگونگی بررسی حرکت مادهٔ آلوده کننده در قشر های مختلف خاک با توجه به شرایط موجود و منطقه ای خواهد بود .

در تحقیق حاضر جهت شبیه سازی آلودگی لایه های خاک به نیترات، از مدل کامپیوتری تخصصی HYDRUS-2D استفاده شد. به کارگیری چنین مدل هایی برای حرکت آب و مواد آلاینده در خاک این امکان را به وجود می آورد که نحوه حرکت و توزیع ماده ورودی به خاک هم از نظر زمانی و هم از نظر مکانی در یک کشت کنترل شده در مزرعه به صورت علمی و دقیق تر مورد بررسی قرار گیرد.

بررسی منابع موجود نشان می دهد که در خصوص شبیه سازی حرکت آلاینده ها در خاک تحقیقات قابل توجهی موجود نمی باشد. از سوی دیگر در منطقه مورد مطالعه نیز مطالعات مشابه چندانی صورت نگرفته است و برخی تحقیقات موجود شرایط خاص خود را داشته است. مطالعات سابق عمدتاً

به بررسی حرکت آب و مواد مغذی در لایه های سطحی خاک پرداخته و به هیچ عنوان آلودگی در اعماق زیرین خاک را مورد بحث قرار نداده است. در نمونه ای از تحقیقات گذشته اژدری (۲۰۰۵) به این نتیجه رسید که به کارگیری هفتگی کود های مورد نیاز سبزیجات به صورت کود آبیاری در رشد و نمو آن بسیار مؤثر بوده، به طوری که در این سیستم ماده غذایی مورد نیاز گیاه به موقع و به مقدار کافی و به مناسب ترین شیوهٔ ممکن در اختیار گیاه قرار می گیرد.

۱-۴- اهمیت استفاده از مدل های کامپیوتری

آزمایش های وسیع با خاک های مختلف و با آب دهی مختلف قطره چکان برای تحقیق روی نحوهٔ توزیع آب مواد مغذی جهت به دست آوردن پارامتر های مدیریتی و طراحی یک سیستم آبیاری درست، کار پر هزینه و وقت گیری است. یک مدل مناسب کالیبره شده جریان آب و محلول می تواند زمان و هزینه اقتصادی مطالعه را در این خصوص پایین آورد. مدل ، باید توانایی شبیه سازی توزیع جریان آب و مواد محلول را در خاک داشته باشد.

طبق مطالعات محققین این چنین مدل هایی درک درست روابط بین مقدار و زمان به کارگیری آب و مواد غذایی، مقدار جذب مواد غذایی توسط ریشهٔ گیاه، مقدار عملکرد و آلودگی های خاک و آب های زیر زمینی را فراهم می کند (Antonopoulos, 2001). استفاده از مدل های کامپیوتری در اخذ نتایج درست حرکت آب در خاک بسیار مؤثر است (Rouphael et al., 2006).

دانشمندان با شبیه سازی حرکت آب توزیع شده از قطره چکان های زیر زمینی، به این مطلب دست یافتند که بدون مدل سازی محیط اطراف قطره چکان، اطلاعات به دست آمده از نحوهٔ توزیع رطوبت در خاک، برای مدیریت سیستم آبیاری کافی نیست (Singh et al., 2006).

اژدری (۲۰۰۵) با مدل سازی در سیستم کود آبیاری با کشت پیاز به این نتیجه رسید که برای طراحی درست یک سیستم کود آبیاری (قطره ای) اطلاع از پارامتر های هیدرولیکی خاک بسیار ضروری است

و شناسایی این پارامترها از طریق مدل های پیشرفته مثل HYDRUS-2D درجهٔ اطمینان مطالعات را بالا می برد.

بدون توجه به تکنیک مدل سازی و شبیه سازی و استفاده از مدل های کامپیوتری پیشرفته بیان کمیت و کیفیت آلاینده های محیط مشکل می باشد. مشخص شدن چگونگی حرکت مواد آلاینده از نظر زمانی و مکانی از طریق تکنیک شبیه سازی امکان پذیر است.

۱-۴-۱- مدل HYDRUS-2D

مدلی است که معادله جریان آب و مواد محلول را در محیط متخلخل حل می کند و اگر داده های لازم جهت کالیبره شدن آن در اختیار باشد می تواند نحوهٔ توزیع آب را در شرایط مختلف در انواع خاک ها و همچنین جریان آب و مواد محلول را در یک صفحهٔ افقی، عمودی و بصورت سه بعدی شبیه سازی نماید. پس از اخذ داده های مربوط به بافت خاک، درصد دانه بندی ذرات، درصد رطوبت در حد ظرفیت مزرعه (F.C) و نقطهٔ پژمردگی دائم (P.W.P) ، پارامتر های هیدرولیکی خاک را تخمین می زند. میزان تبخیر و تعرق محیط گیاهی باید به طور جداگانه به این مدل معرفی شود.

میزان نفوذ عمقی آب به خارج از ناحیهٔ ریشهٔ گیاه (آب زهکشی) از اهمیت خاصی برخوردار است و محاسبهٔ دقیق آن ساده نیست. مدل فوق مقدار این پارامتر را برای مدت زمان مشخصی مثل کل دورهٔ رشد گیاه محاسبه و به صورت جدول در اختیار می گذارد. این مدل جهت شبیه سازی توزیع آب در خاک از طریق کود آبیاری مدل مناسبی می باشد. جزئیات شرح کامل این مدل در دستورالعمل و راهنمای تخصصی مربوط به این مدل آمده است (Simunek et al., 1999).

۱-۵- گیاه گوجه فرنگی

گوجه فرنگی گیاهی است که دورهٔ رشد آن تابستانه بوده و بنابراین برای رشد و نمو سریع خود و همچنین به خاطر محصول زیادی که تولید می کند نیاز فراوانی به آب دارد. از علل دیگر مصرف آب زیاد در این گیاه می توان به تبخیر آب اشاره نمود، زیرا در اثر تهویه که برای پایین آوردن رطوبت

محیط لازم است، تبخیر شدت یافته و در نتیجه نیاز گیاه به آب افزایش می یابد. در روزهای گرم آفتابی اگر آب کافی در اختیار گوجه فرنگی قرار نگیرد پژمرده شده و اغلب در روی برگ های فوقانی آن ها لکه هایی ظاهر می شود، به علاوه گل ها به سرعت خواهند ریخت. تشکیل میوه در بوتهٔ گوجه فرنگی تابع چند عامل است که با یکدیگر تأثیر متقابل دارند. این عوامل عبارتند از مواد غذایی، درجه حرارت و طول مدت روز. گوجه فرنگی احتیاج فراوانی به نور دارد کمبود نور باعث کاهش رشد و نمو گیاه شده، تشکیل گل و رشد میوه را مختل می سازد. کم یا زیاد شدن دفعات آبیاری و نا مرتب بودن آن مخصوصاً در اواخر دورهٔ رشد گیاه و موقع رسیدن میوه، گیاه را دچار پاره ای از بیماری های فیزیولوژی می کند. گوجه فرنگی برای گسترش ریشه های عمیق و قوی خود احتیاج به زمینی نرم و خاک عمیق دارد (جیحونی، ۱۳۸۸).

۱-۶- هدف تحقیق

اهداف این تحقیق عبارتند از :

- ❖ بررسی چگونگی آلودگی لایه های خاک به نیترات در سیستم کود آبیاری به روش مدل سازی
- ❖ تعیین مقدار دقیق آب و نیترات عبوری از لایه های عمقی خاک
- ❖ کالیبره کردن مدل HYDRUS-2D نسبت به حرکت آب و نیترات در لایه های خاک
- ❖ بررسی اثرات زیست محیطی آلودگی لایه های خاک به نیترات

فصل دوم

مروری بر تحقیقات گذشته

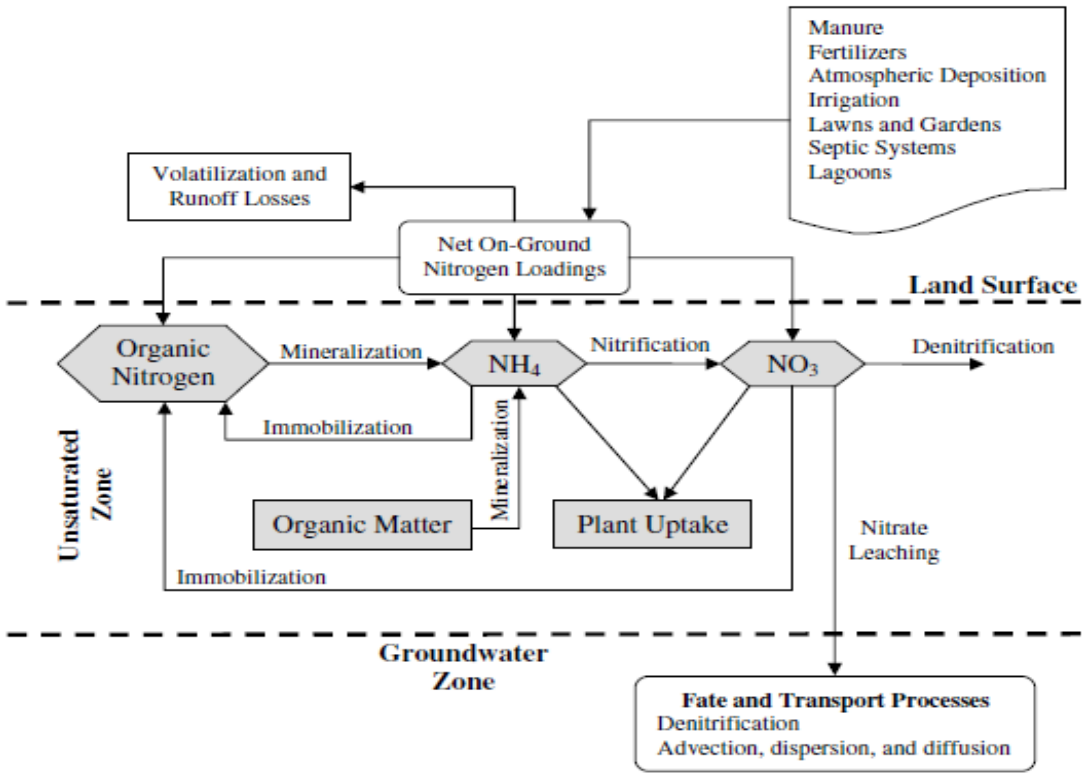
۲ ۱-- مقدمه

یکی از ویژگی های مهم در مورد مصرف تازۀ گیاهان در کیفیت تغذیه ای، غلظت نیترات ها است که احتمالاً در محصولات برگی خیلی بالا است (Santamaria, 2006). فعالیت های کشاورزی از پر اهمیت ترین منابع بشری آلودگی نیترات در آب های زیر زمینی هستند و آب شویی نیترات از این سیستم ها اثر مستقیمی بر کیفیت آب زیر زمینی دارد. در مناطق با باغبانی متمرکز، نظارت بر غلظت نیترات در حوزۀ آبخیز، نیاز به تکمیل اطلاعات از طریق کنترل نیتروژن فراتر از سیستم ریشه دارد. بنابراین جهت شرح و کمی کردن آب شویی نیترات و همچنین تعیین میزان نیترات در محصول نیاز به ابزار های مؤثر و توانمند است. در دو دهۀ اخیر همگام با توسعۀ توان سخت افزاری و نرم افزاری استفاده از مدل سازی در سیستم های کشاورزی افزایش چشم گیری داشته است. همچنین نگرانی دربارۀ کیفیت منابع طبیعی، نقش مهمی را در توسعۀ مدل ها برای ارزیابی تدابیر محیطی ایفا کرده است. امروزه مدل های متنوعی برای شناسایی اثر محیطی چرخۀ نیتروژن در سیستم های کشاورزی وجود دارد که در مقیاس های گوناگون از جمله مزرعه، حوزۀ آبخیز، منطقه ای و یا در سطح ملی استفاده می شود (Doltra and Munoz, 2009).

افزایش عملکرد نبایستی به تخریب محیط زیست منجر گردد. نظر به اینکه سبزی ها به عنوان تأمین کنندۀ ویتامین ها برای انسان به شمار رفته و مصرف روزانۀ آن ها به صورت های مختلف توصیه شده است، لذا بایستی از سالم بودن آن ها مطمئن بود. یکی از معیار های سلامت سبزی ها عدم تجمع نیترات در آن ها می باشد. نیتروژن به منظور نگهداری حاصلخیزی خاک و تولید محصول ضروری است، ولی در صورت استفادۀ بی رویه از آن می تواند سلامت محصولات و نیز انسان را به خطر اندازد. تجمع نیترات در انواع سبزی ها بستگی به عوامل متعددی از جمله مقدار و نوع کود حاوی نیتروژن، دفعات مصرف، رقم، شدت نور، دما، طول روز و زمان برداشت دارد (ملکوتی، ۱۳۷۹؛ بهتاش و همکاران، ۱۳۸۰).

۲ ۲- دامنه و اهمیت آلودگی نیترات

نیتروژن یک ماده غذایی حیاتی برای افزایش رشد گیاه می باشد. این حقیقت باعث استفادهٔ وسیع از کود های ازته برای بالا بردن تولید محصولات در بسیاری از مناطق جهان شده است. در طول دههٔ اخیر اهمیت آلودگی آب های زیر زمینی به دلیل افراط در مصرف کود نیتروژن در مناطق با کشاورزی متمرکز، افزایش یافته است. زمانی که کاربرد کود های غنی از نیتروژن از حد تقاضای گیاه و ظرفیت دنیتریفیکاسیون خاک تجاوز کند، عموماً نیتروژن می تواند به شکل نیترات به آب های زیر زمینی آب شویی شود که بسیار متحرک و دارای جذب سطحی اندک می باشد. توصیف دقیق آب شویی نیترات به آب های زیر زمینی مشکل است و این به دلیل برهم کنش پیچیده بین روش های کاربری اراضی، میزان بارگذاری نیتروژن در روی زمین، تغذیهٔ آب های زیر زمینی، دینامیک نیتروژن خاک و خصوصیات خاک می باشد. این روابط در شکل ۲-۱ نشان داده شده است.



شکل (۲-۱) فعل و انفعالات مختلف نیترات در حین آب شویی از سطح زمین به آب زیر زمینی

(Almasri and Kaluarachchi, 2007)

وقتی مدل سازی و آنالیز در مقیاس منطقه ای انجام می گیرد، دانستن فاکتور های فوق الذکر جهت برآورد تغییرات مکانی و ناپایدار آب شویی نیترات به آب های زیر زمینی دارای اهمیت است (Almasri and Kaluarachchi, 2007).

والنسیای اسپانیا از مناطقی است که از لحاظ آلودگی آب های زیر زمینی به نیترات مورد توجه می باشد. بیش از دو میلیون نفر از ساکنان این مناطق در معرض خطر این آلودگی هستند. بیشتر کشاورزان از برنامۀ کود دهی پیشنهادی دولت منطقه ای تبعیت نمی کنند (Paz and Ramos, 2003).

نتایج مطالعات انجام شده توسط محققین، نشان می دهد که استفادۀ بیش از حد نیاز از کود های نیتروژنی و آب شویی سریع یون نیترات (NO_3) از خاک، از عوامل اصلی آلودگی منابع آب به شمار می رود. انحلال پذیری زیاد و سهولت انتقال یون نیترات به آب های زیر زمینی که از منابع مهم آب آشامیدنی بسیاری از کشورهای در حال توسعه می باشد، سلامتی و بهداشت مردم را در معرض تهدید جدی قرار داده است (قیصری و همکاران، ۱۳۸۵).

نیترات از طریق تجزیه و فساد پس ماند های انسانی و حیوانی، تولیدات صنعتی و رواناب حاصل از کشاورزی وارد آب های سطحی و زیر زمینی می شود. نیتروژن به شکل نیترات در غلظت های بالا دارای زیان بهداشتی است. نگرانی دیگر از افزایش غلظت نیترات در آب، ترس از غنی شدن آب های سطحی است که موجب رشد سریع گیاهان آبزی می شود؛ شناخته شده ترین جنبۀ آن، رشد زیان آور پلانکتون ها است. غنی شدن را باید فرآیندی طبیعی دانست که به وسیلۀ فعالیت های بشر از قبیل تخلیه فاضلاب های شهری و صنعتی و پساب های کارخانه ها، رواناب و آبشویی اراضی کشاورزی با کود دهی فراوان تشدید می شود. به هر حال به دنبال فرآیند غنی شدن، مسائل و مشکلاتی مثل ایجاد مانع در قایق رانی و کشتی رانی به واسطۀ رشد پر تراکم علف های هرز، مسدود شدن کانال های آبیاری به وسیلۀ جلبک ها و علف های هرز، بوی زیان آور حاصل از رشد جلبک ها، تولید مواد سمی به وسیلۀ جلبک های مشخص، کاهش اکسیژن آب ها، و به دنبال آن از بین رفتن ماهی ها و سایر آبزیان

و رکود اقتصادی ناشی از جایگزین شدن ماهی های مرغوب به وسیلهٔ گونه های ماهی با مرغوبیت کمتر به وجود خواهد آمد. در مناطق کشاورزی، بویژه مناطق دارای بیشترین آلودگی نیترات، می توان با دادن آگاهی به کشاورزان در زمینه آلودگی آب های زیرزمینی در اثر استفاده بیش از حد کود های شیمیایی نیتروژن دار و یا جایگزین کردن کود های دیر حل یا غیر نیتراتی، از آلوده شدن بیش از حد مجاز این منابع جلوگیری کرد (قیصری و همکاران، ۱۳۸۶).

استفاده گسترده از کود های نیتروژن دار و بالا رفتن غلظت نیترات در زه آب ها، نگرانی های زیادی را از لحاظ زیست محیطی ایجاد کرده است (Andersson et al., 2002; Strahm et al., 2005). زهکش های کشاورزی مقدار زیادی نیترات را از پروفیل خاک خارج می کنند. بالا بودن نیترات در زه آب ها نشان دهندهٔ کاربرد نا مناسب کود و راندمان پایین کود دهی بوده که علاوه بر بالا رفتن هزینه های تولید، موجب آلودگی آب های زیر زمینی و سطحی شده و رشد جلبک ها را در دریاچه ها و تالاب ها افزایش می دهد (Stewart et al.,2005). در این میان حتی کود هایی که ازت آمونیومی در ترکیب خود دارند به دلیل تبدیل آمونیوم به نیترات، مشابه کود های نیتراتی عمل می نمایند. عوامل مؤثر در آب شویی ازت نیتراتی شامل بافت خاک، میزان کود نیتروژن دار، بارندگی، عمق منطقهٔ ریشه، سطح آب زیر زمینی و میزان آب آبیاری می باشند. از میان ویژگی های خاک، بافت، ساختمان و مادهٔ آلی آن در آب شویی نیترات مؤثرتر می باشند (جعفری و همکاران، ۱۳۸۶).

چنان چه میزان کود دهی نیتروژن با نیاز گیاه هماهنگ شود آب شویی نیترات به حداقل می رسد (Verburg et al., 2005). با افزایش غلظت نیترات در خاک، عمق آب شویی و حرکت نیترات هم افزایش می یابد (جعفری و همکاران، ۱۳۸۶).

از آنجا که نیترات یک آنیون متحرک است، در صورتی که میزان آن در خاک مازاد بر نیاز گیاه باشد، به دلیل همسانی بار آن با رس های خاک، به سرعت از پروفیل خاک شسته می شود. تحرک زیاد نیترات و ظرفیت کم تبادل آنیونی خاک ها، آب شویی این یون را از پروفیل خاک تشدید می کند.

مقدار نیترات خارج شده از پروفیل خاک با مقدار کود نیتروژن دار داده شده نسبت مستقیم دارد. با این وجود در خاک هایی که هیچ کودی به آن ها اضافه نشده نیز مقداری نیترات از خاک خارج می شود(Lee and Jose, 2005; Lee and Shibu, 2005) . نوع بافت خاک هم در میزان آب شویی نیترات اثر دارد، به طوری که در خاک های رسی مقدار نیترات خاک بیشتر است و این ناشی از معدنی شدن دائمی نیتروژن آلی در خاک است (Aronsson and Bergstrom, 2001).

بهتاش و همکاران (۱۳۸۰) اظهار داشتند که برای این که بتوان تجمع نیترات را در گیاهان به حداقل رساند، باید از مصرف زیاد کود های نیتروژن دار خودداری نموده و کود نیتروژن دار را بر اساس نیاز واقعی گیاه مصرف کرد و مقدار مواد آلی و نیتروژن خاک را قبل از کاشت گیاهان مورد آزمایش قرار داد.

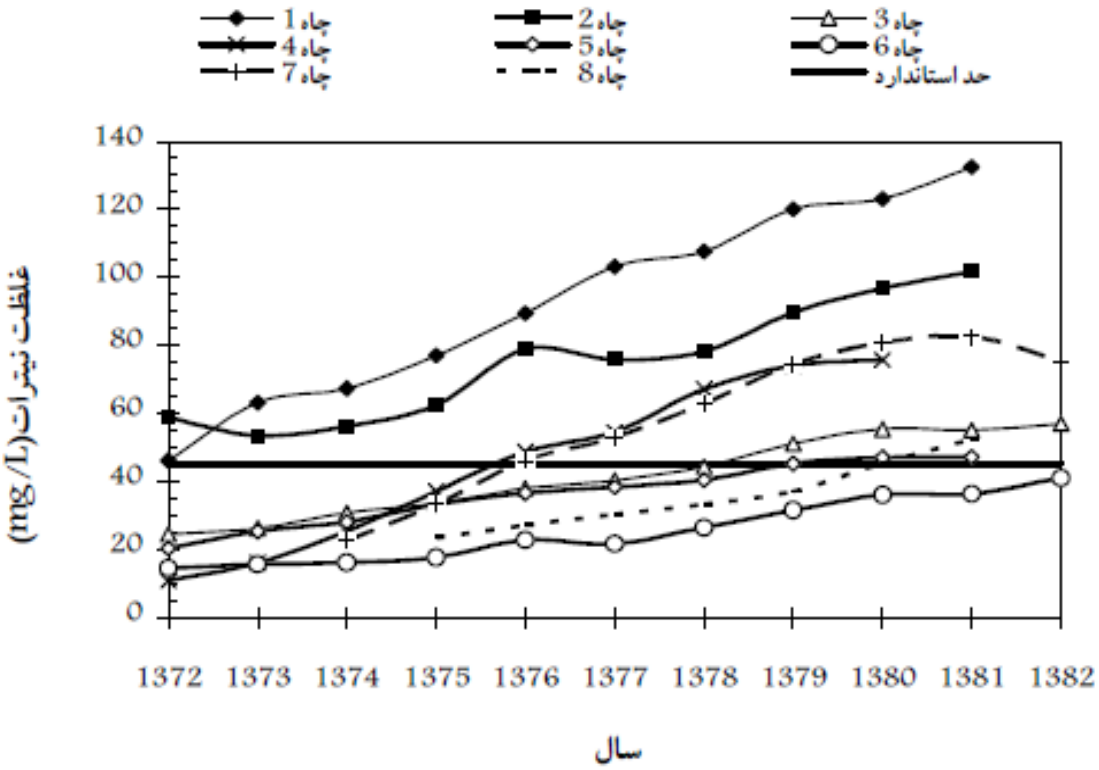
نانبخش (۱۳۸۲) با بررسی آب ۳۹ حلقه چاه عمیق قابل شرب در شهر ارومیه به این نتیجه رسید که هر چند در حال حاضر مسئله آلودگی آب این چاه ها به نیترات و نیتریت منتفی است، اما بالا بودن غلظت این ترکیبات در چند چاه به صورت منفرد، نشانهٔ خطر افزایش غلظت نیترات می باشد و پیشنهاد کرد که کنترل کیفی آب شهر به طور مرتب انجام و حریم بهداشتی چاه ها به طور کامل رعایت شود و در صورت عدم امکان، منابع جدیدی جایگزین گردد.

اگرچه انحلال رسوبات طبیعی حاوی نیترات در آب، تجزیهٔ گیاهان، فضولات حیوانی، نشت شیرابه حاصل از تلنبار شدن زباله های شهری، کود های نیترات دار و فاضلاب خانگی از جمله منابع ورود نیترات و نیتریت به آب های زیر زمینی می باشند با این حال نقش فاضلاب های حاصل از فعالیت های صنعتی را نیز نباید از نظر دور داشت (Viessman and Hammer, 1998؛ فرشاد و همکاران، ۱۳۸۰؛ سماواتی، ۱۳۷۹).

جلالی و راول (۲۰۰۳) گزارش کردند آب های زیرزمینی بدون توجه به شرایط اقلیمی در معرض تهدید آلودگی یون نیترات می باشند. در مناطق خشک و نیمه خشک عمق آبیاری به خاطر آب شویی

املاح و جلوگیری از تجمع آن ها در نیمرخ خاک همواره مقدار بیشتری از تبخیر و تعرق گیاه در نظر گرفته می شود، این پدیده می تواند سبب آبشویی نیترات شود.

حد مجاز نیترات در آب شرب ۱۰ mg/L NO_3^-_N یا ۴۵ mg/L nitrate تعیین شده است. در بسیاری از مناطق به دلیل عدم دسترسی به منابع آبی جایگزین به ناچار غلظت نیترات در آب شرب از میزان استاندارد وضع شده توسط سازمان های مسئول مانند WHO, USEPA, FAO و استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران فراتر می رود. در شکل ۲-۲ روند سریع افزایش غلظت نیترات در ۸ حلقه چاه پایش در آبخوان شهر مشهد نشان داده شده است (واقعی و همکاران، ۱۳۸۹).



شکل(۲-۲) روند افزایش سریع غلظت نیترات در هشت حلقه چاه آب در مشهد مقدس (واقعی و همکاران، ۱۳۸۹)

سه خصوصیت مهم که در تشخیص منشأ آلودگی آب های زیر زمینی مورد توجه قرار می گیرند عبارتند از درجهٔ تجمع منشأ آلودگی، تاریخچهٔ باردهی (Loading history)، و نوع آلاینده هایی که از هر منشأ سرچشمه می گیرند. اندازه منبع آلایندهٔ آب زیر زمینی، از یک چاه مجزا تا ناحیه ای به

وسعت صدها کیلومتر مربع متغیر است. تاریخچهٔ باردهی، چگونگی تغییرات غلظت آلاینده را به عنوان تابعی از زمان در منشأ یا بر حسب نرخ تولید آلاینده توصیف می نماید. منشأ شهری آلودگی آب های زیر زمینی، شامل نشت از سیستم فاضلاب، چاه های توالت، زباله دانی های غیر بهداشتی، و گورستان ها می باشند. عموماً مقادیر نیاز اکسیژن شیمیایی و بیو شیمیایی، کلراید، نیترات، و سختی آب های زیر زمینی آلوده از منشأ شهری، زیاد می باشد. کود های شیمیایی، حشره کش ها، آفت کش ها، آبیاری با فاضلاب و فضولات حیوانی از عمده ترین منشأ آلودگی آب های زیر زمینی به واسطهٔ فعالیت های کشاورزی می باشند. کشاورزی عمدتاً باعث رخداد آلودگی های غیر نقطه ای آب های زیر زمینی می شود. هر چند که کود های شیمیایی عمدتاً ترکیبات نیتروژنه، فسفات و پتاسیم را وارد خاک می نمایند، ولی تبدیل ترکیبات نیتروژنه به نیترات و جذب فسفات و پتاسیم توسط خاک باعث می شود که کود های شیمیایی اساساً آلودگی نیتراتهٔ آب های زیر زمینی را به همراه داشته باشند. نیترات و فسفات دو آلاینده عمدهٔ آب های زیر زمینی هستند که منشأ اصلی آن ها فاضلاب شهری و فعالیت های کشاورزی می باشند. به سبب قابلیت تحرک کمتر فسفات، آلودگی وسیع آب های زیر زمینی نسبت به فسفات کمتر گزارش گردیده است، در حالی که نیترات به عنوان شاخص آلودگی آب های زیر زمینی همواره مورد توجه محققان بوده است . اکثر موارد رخداد نیترات در آب های زیر زمینی از کشاورزی ناشی شده و غلظت نیترات با میزان استفاده از کود های نیتروژنه در ارتباط است (ناصری و علیجانی، ۱۳۸۶).

مطالعات سطوح نیترات در آب زیر زمینی تورنلفلد، مقدار آن را بیش از ۱۰۰ میلی گرم در لیتر نشان داده است. همچنین نتایج حاصل از برخی تحقیقات نشان داده است که در بین استفاده های مختلفی که از آب می شود، کشاورزی منبع اصلی آلودگی آب زیرزمینی توسط نیترات محسوب می شود (Cepuder and Shukla, 2002؛ لاله زاری و همکاران، ۱۳۸۸).

جعفری ملک آبادی و همکاران (۱۳۸۳) به منظور بررسی کیفیت آب زیرزمینی استان اصفهان از ۷۵ حلقه چاه با کاربری های مختلف در اصفهان، نجف آباد، نطنز، شهرضا و کاشان به مدت ۵ ماه به صورت ماهانه نمونه برداری کردند. نتایج مطالعات آن ها نشان داد که غلظت نیترات در اکثر مناطق مورد بررسی نسبت به زمان روند افزایشی داشته است. همچنین توزیع نیترات رابطهٔ نزدیکی با وسعت و شدت فعالیت های کشاورزی، عمق سفرهٔ آب زیرزمینی و میزان مصرف آب داشته است.

لاله زاری و همکاران (۱۳۸۸) با انجام مطالعات گسترده در دشت شهرکرد پیش بینی کردند که در شمال دشت، فعالیت های گستردهٔ کشاورزی و استفاده از کود های نیتروژنه مهم ترین عامل در بروز آلودگی نیترات در آینده خواهد بود. آن ها تأکید کردند که استفاده از روش های آبیاری با راندمان بالاتر مانند آبیاری تحت فشار و نیز بررسی سناریو های مختلف تغذیهٔ آب برگشتی تصفیه خانه به منظور جلوگیری از گسترش نیترات ضروری است. همچنین کریمی (۱۳۸۸) به این نتیجه رسید که با افزایش مقدار مصرف کود ازته و در نتیجه افزایش غلظت ازت در خاک، کارآیی جذب آن کاهش می یابد.

اهمیت محیطی آب شویی نیترات توجه زیادی را به خود جلب کرده و استفادهٔ بیش از حد از کود های شیمیایی نیتروژن به عنوان عامل اصلی آلودگی آب های زیر زمینی به نیترات شناخته شده است (Conrad and Fohrer, 2009 ; Xin-Qiang et al., 2010; Khatlwada et al., 2002).

جلالی (۲۰۰۵) اظهار داشت که آب چاه در بعضی از محل های منطقهٔ همدان در ایران دارای بیش از ۵۰ mg/l نیترات است. عموماً آب های زیر زمینی در پایین دست مناطق با کشت عمقی یا کشاورزی متمرکز در همدان از لحاظ میزان نیترات می تواند در گروه متوسط تا زیاد طبقه بندی گردد. تنها ۱۶٪ از نمونه های آب در گروهی طبقه بندی شدند که خطر کمی برای سلامتی انسان و محیط دارند. عملیات کشاورزی، خصوصاً کشت و کود دهی از عوامل اصلی آلودگی نیترات در مقیاس

منطقه ای می باشند. بهینه ساختن روش های مدیریتی جهت استفاده آب و کاربرد کود نیتروژن در کشاورزی، یکی از راه های جلوگیری از آلودگی نیترات در محیط یا به حداقل رساندن آن است.

محققین با آنالیز های چند متغیرهٔ مفصل روی نمونه های آب ۱۳۱ حلقه چاه در سنگال به این نتیجه رسیدند که ۵۷٪ چاه ها بیش از ۵۰ mg/l نیترات دارند. چاه های با سطح آب عمیق تر، کمتر دارای آلودگی نیترات و شوری اضافی هستند. در مناطق مسکونی تعداد چاه های آلوده به نیترات بیشتر است. آن ها اظهار کردند که به نظر می رسد مراعات نکردن اصول بهداشتی خطر آلودگی نیترات را تشدید می کند (Sall and Vanclooster, 2009).

دانشمندان دریافتند که تشدید عمل کود دهی به طور قابل توجهی از طریق افزایش غلظت نیترات باعث کاهش کیفیت آب های زیر زمینی می گردد. آن ها تأکید کردند که به منظور جلوگیری از آلودگی آب های زیر زمینی به نیترات و حفظ محیط زیست باید قانونی برای عملیات کشاورزی صحیح وضع گردد، بدون آن که درآمد کشاورزان را تحت تأثیر قرار دهد (Angelopoulos et al., 2009).

برای عملیات مدیریتی مناسب در کشاورزی، ابتدا باید کشاورزان در مورد اجتناب از آبیاری بیش از حد توجیه شوند. اگر آبیاری و کود دهی در آینده تشدید شود می توان افزایش قابل توجهی را در غلظت و بار نیترات انتظار داشت (Ribbe et al, 2008).

سفره های آب زیر زمینی در همه جا یک منبع مهم آب آشامیدنی بوده که در مقابل آلودگی آسیب پذیر هستند. نیترات در سفره های آبی کم عمق به دلیل وجود منابع نقطه ای و غیر نقطه ای عمومی ترین آلوده کننده می باشد. مطالعات بسیاری در آمریکا انجام شده که نشان می دهد فعالیت های کشاورزی منبع اصلی افزایش غلظت نیترات در آب های زیر زمینی هستند. در این زمینه محققین به نتایج زیر دست یافتند:

کاربرد کود های دامی و غیر آلی در کشاورزی یک منبع بالقوه در آلودگی آب های زیر زمینی به نیترات می باشد. عموماً در طولانی مدت با بارگذاری مداوم نیتروژن روی زمین و عملیات کاربری

اراضی کشاورزی در حوزه های آبخیزی که فعالیت های کشاورزی غالب است، روند غلظت نیترات در آب های زیر زمینی افزایش می یابد و این غلظت بالاتر از حداکثر مجاز (MCL[1]) می باشد. احتمال آلودگی سفره های آب کم عمق و سطحی در مقایسه با سفره های آب عمیق و غیر سطحی، به نیترات خیلی بیشتر است (Almasri and Kaluarachchi, 2004).

فرهمند و همکاران (۱۳۸۸) با تعیین میزان آلودگی نیتراتی خاک ناحیه ریشه گیاه گوجه فرنگی در اثر مصرف مقادیر مختلف آب آبیاری و کود ازت به این نتیجه رسیدند که مقادیر آب آبیاری و کود ازت و همچنین تأثیر متقابل آن ها بر مقدار تجمع نیترات در خاک در سطح یک درصد معنی دار بوده است.

۲ ۳ - کاربرد مدل های کامپیوتری

برای برآورد میزان مصرف کود نیتروژن محصولات مختلف باید موارد زیر در نظر گرفته شود :

الف- میزان نیاز گیاه به نیتروژن ب- میزان نیتروژن در آب آبیاری ج- میزان نیتروژن معدنی خاک

به کارگیری مدل های کامپیوتری، این امکان را می دهد تا بتوان بهترین میزان کود دهی نیتروژن را جهت به حداقل رساندن تلفات نیترات از طریق آب شویی، بدون کاهش عملکرد تعیین کرد (Paz and Ramos, 2003).

اخوان و همکاران (۱۳۸۹) با بررسی سناریو های مختلف مدیریتی به منظور کاهش آبشویی نیترات با کاربرد مدل SWAT بیان کردند که آنالیز این چنین مدل ها می تواند در مدت زمان کوتاهی نتیجه بخش باشد، در حالی که مطالعات مزرعه ای نیاز به سال ها زمان دارد. همچنین، مشخص کردن منابع نیتروژن آبشویی نیترات مشکل و هزینه بر است. کاربرد مدل این امکان را به کاربر می دهد تا مقدار نیتروژن آبشویی شده از منابع کود حیوانی و کود معدنی را مشخص کند. از طرفی از آن جایی که اکثر پیش بینی های مدل ها دارای قطعیت نبوده و منجر به عدم اطمینان به نتایج مدل می شود، در این راستا آنالیز عدم قطعیت می تواند راه گشا باشد.

---

1. Maximum Contaminant Level

اتحادیهٔ اروپا در قانون آب، حد غلظت نیترات در آب زیر زمینی را mg/l ۵۰ تعیین نموده است. برای کنترل پخش آلودگی آب های زیر زمینی لازم است که با انجام آنالیزهایی، تصمیمات مدیریتی اتخاذ گردد. استفاده از یک مدل می تواند به تست اثر سیاست های مختلف از قبیل قیمت های آب، مالیات های نیتروژن، استانداردهای نیتروژن، کمک های مالی و غیره، کمک کند. همچنین این روش ها می تواند برای بررسی دیگر منابع آلاینده مثل جانوران مزرعه، زباله ها و مخازن گند زدایی توسعه یابد (Pena-Haro et al, 2009).

محققان برای شبیه سازی حرکت عرضی و عمقی نیترات در دو روش کود دهی به صورت کرتی و تزریق کود مایع در سیستم کود آبیاری، مدل Hydrus-2D را مورد استفاده قرار دادند. شبیه سازی حرکت آب و مواد مغذی در خاک توسط مدل های مطمئن، درک ما را برای تعیین وضعیت کود دهی و تشخیص حرکات بعدی مواد مغذی در خاک افزایش می دهد (Assefa and Chen, 2008). همچنین استفاده از نرم افزارهایی مثل GIS تحلیل ارتباط بین پارامتر های توصیفی مختلف و غلظت های نیترات را آسان می کند (Almasri and Kaluarachchi, 2004).

در سال های اخیر افزایش کاربرد کود های نیتروژنه در بخش کشاورزی، آب شویی نیترات به زیر عمق توسعهٔ ریشه و به دنبال آن آلودگی آب های زیر زمینی را به همراه داشته است. آلودگی های نیتروژنی در منابع آب و خاک یک مشکل شناخته شده و مسئلهٔ قابل توجه از دیدگاه زیست محیطی و کشاورزی می باشد. به منظور فهم فرآیند آلودگی خاک و آب به وسیلهٔ کود نیتروژنه لازم است که غلظت و مقدار نیترات از طریق روش های شبیه سازی محاسبه و پایش گردد. از آنجایی که نیاز گیاه به نیتروژن در دوره های مختلف رشد متفاوت می باشد، مصرف زیاد یا بی موقع کود نیتروژنه سبب افزایش آب شویی نیترات می گردد. بنابراین تنظیم زمان مصرف کود های نیتروژنی حائز اهمیت می باشد. در این راستا استفاده از مدل ها می تواند دانش ما را نسبت به رفتار کود ها در سیستم گیاه - خاک افزایش دهد (قیصری، ۱۳۸۵).

ربیع و همکاران (۱۳۸۹) با کاربرد مدل گیاهی CERES-Maize دریافتند که این مدل به خوبی قادر به شبیه سازی آب شویی نیتروژن نیتراتی از زیر عمق توسعه ریشه در طول دورهٔ رشد ذرت می باشد. تا کنون مدل های کمی توسعه یافته اند که با داشتن مشخصه های هیدرولیکی خاک دبی خروجی از زیر ناحیهٔ ریشه و حجم آب خروجی از ناحیهٔ ریشه را با تخمین شکل پیاز رطوبتی بتوانند برآورد کنند (ملایی و همکاران، ۱۳۸۶). از این میان مدل Hydrus-2D یکی از مدل های پیشرفته در ارتباط با حرکت آب، املاح و گرما در خاک می باشد که توسط سیمیونک و همکاران (۱۹۹۹) در آزمایشگاه مطالعات شوری خاک آمریکا بسط داده شده است (ملایی و همکاران، ۱۳۸۵). این مدل نحوهٔ حرکت آب در خاک را با کاربرد معادلهٔ دارسی و عموماً حل معادلهٔ ریچاردز تعیین می کند. در این مدل یکی از اطلاعات ورودی مهم تبخیر و تعرق روزانه می باشد (Doltra and Munoz, 2009).

دانشمندان با مدل کردن آبیاری قطره ای زیر زمینی (قطره چکان) و مقایسه نتایج حاصل از آن با مدل تحلیلی و عددی (Hydrus-2D) دریافتند که روند تغییرات دبی بر روی الگوی رطوبتی و نفوذ عمقی تأثیرگذار است (Elmaloglou and Diamantopoulos, 2009).

حسینی نیا و همکاران (۱۳۸۹) در تحقیقی دقت شبیه سازی های Hydrus-2D را در برآورد میزان نفوذ و درصد رطوبت، تحت آبیاری قطره ای زیر سطحی در خاک شنی ارزیابی کردند. توزیع درصد های رطوبت پیش بینی شده توسط Hydrus-2D با نتایج آزمایشگاهی تطابق بسیار خوبی داشت. نتایج بر این نکته تأکید داشت که مدل Hydrus-2D می تواند به عنوان ابزاری مفید جهت طراحی و مدیریت آبیاری قطره ای زیر سطحی مورد استفاده قرار گیرد.

به طور کلی می توان گفت که به دلیل دخیل بودن عوامل بسیار زیاد در حرکت آب و املاح در محیط خاک، نمی توان یک روند ثابت و بدون تغییر برای تغییرات این دو عنصر حیاتی در این محیط به دست آورد. ولی از آنجا که در کشاورزی پایدار جلوگیری از هدررفت این دو پارامتر بسیار مهم می باشد، اطلاع از روند تقریبی آن ها لازم و ضروری است. لذا به منظور مدیریت بهینه در مزرعه و کسب حداکثر

سود، لازم است تا با استفاده از نرم افزارهایی مانند Hydrus، Swap و نظایر آن انتقال آن ها را در خاک بررسی کرد. این نرم افزارها قادر به پیش بینی روند حرکت آب و املاح در محیط پیچیده خاک هستند و به خوبی می توانند نحوه حرکت این دو پارامتر را در شرایط تعریف شده برای آن ها، شبیه سازی نمایند. به این ترتیب می توان مدیریتی جامع و مناسب برای مصرف آب و کود در زمین های زراعی مبتنی بر اصول کشاورزی دقیق را انتظار داشت (اژدری و همکاران، ۱۳۸۸).

۲ ۴- عوارض و ملاحظات بهداشتی نیترات

نیترات یک ترکیب شیمیایی معمولی در طبیعت است و به طور وسیع در خاک ، آب و غذا یافت می شود و در نتیجه ورود آن به زنجیرهٔ غذایی بشر آسان و حتمی است. به دلیل خطراتی که زیادی نیترات در رژیم غذایی برای انسان دارد، توجه به مقادیر آن به ویژه در گیاهان بسیار حائز اهمیت است. اگر چه برخی مطالعات مربوط به امراض مسری نشان داده است که نیترات ممکن است برای سلامتی انسان مفید باشد، از قبیل حفاظت روده در برابر عفونت های باکتریایی مضر، لیکن به نظر می رسد عوارض و زیان های ناشی از نیترات برای انسان بسیار بیشتر از فواید آن باشد.

جذب قابل قبول روزانه (ADI[1]) برای نیترات mg/kg ۰/۳۷ - ۰ وزن بدن تعیین شده است در حالی که در اغلب موارد در زندگی روزمرهٔ بشر مقدار آن از حد فوق تجاوز می کند. جذب روزانهٔ نیترات از سه منبع عمده صورت می گیرد (Shao-ting et al, 2007).

الف) گیاهان

ب) آب شرب

ج) فرآورده های گوشتی

اگر چه در بین کشور های مختلف از نظر عادات غذایی روزانه و کیفیت آب اختلاف زیادی وجود دارد ولی هنوز گیاهان منبع اصلی جذب نیترات هستند. (جدول ۲-۱)

1. Acceptable Daily Intake

جدول(۲ -۱) تخمین جذب روزانهٔ نیترات و سهم گیاهان در مناطق مختلف (Hambridge, 2003)

Country	Daily nitrate intake from vegetables (mg d^{-1})	Contribution of vegetables (%)
Eastern Asia	28	45
Africa	20	30
Latin America	55	65
Europe	155	90

بنابراین درک مکانیسم متابولیسم هضم نیترات یک شرط لازم برای ارزیابی دقیق اثرات مضر و مفید آن بر سلامتی انسان است. تغییرات نیترات در مرحلهٔ اول، زمانی که گیاه از طریق بلع وارد بدن می شود از اهمیت خاصی برخوردار است. نیترات در سطح پشتی زبان از طریق باکتری های همزیست به شکل بی هوازی به سرعت تبدیل به نیتریت می گردد. بنابراین مقدار نیتریت در بزاق دهان عموماً بالا بوده و می تواند به ۲۰۰ µM برسد. به دلیل حضور آنزیم نیتریت رداکتاز در حفرهٔ دهانی، نیتریت در معده به انواعی از ترکیبات نیتروژن تبدیل خواهد شد. این ترکیبات عمدتاً شامل اکسید نیتریک (NO) و ترکیبات NOCs هستند. نیتریت شکل گرفته در دهان می تواند به دو شیوه اسیدی گردد :

الف) اسیدی شدن مستقیم در محیط اسیدی اطراف دندان ها به واسطهٔ میکروارگانیزم ها

ب) اسیدی شدن بعد از آغاز بلع در اسید معده که مهم تر به نظر می رسد (Shao-ting et al, 2007). در هر حال اسیدی شدن نیتریت، نیتروز اسید را تولید می کند که نا پایدار بوده و سریعاً به ترکیبات گوناگون نیتروژن تجزیه می شود. مهم ترین این تولیدات NO می باشد. ترکیبات NOCs شامل نیتروز آمین ها و نیتروز آمیدها است. فرآیند تشکیل NOCs با حضور نیتریت در معدهٔ انسان انجام می شود که البته میزان بالای ویتامین C مانع از واکنش نیتروزاسیون و تشکیل این ترکیبات می شود.

نیتریت بدن و معدهٔ انسان با مصرف غذاهای حاوی این ماده و همچنین از طریق تبدیل نیترات به نیتریت تشکیل می شود. در حقیقت نیترات می تواند به نیتریت تبدیل شود و نیتریت نیز در واکنش با آمین های نوع دوم در معدهٔ انسان به نیتروز آمین تبدیل شود. تقریباً ۲۵٪ نیترات حاصل از غذا و آب، بعد از ورود به بدن انسان به شکل زیر بین بزاق دهان و معده و روده به گردش در می آید.

غذا یا آب ← حفرهٔ دهانی ← مری ← معده ← روده ← پلاسما ← بزاق دهانی ← حفره دهانی (Shao-ting et al, 2007).

اگر چه نیترات خود سمیت ندارد ولی مواد حاصل از متابولیسم آن از قبیل نیتریت و ترکیبات NOCs اثرات مضری بر انسان دارند، خصوصاً ترکیبات NOCs که بیشتر سرطان ها به آن ها مربوط می شود. درحالی که NO حاصل از متابولیسم نیتریت برای انسان مفید می باشد. بنابراین خطرات نیترات باید عمدتاً ناشی از شرایط کشاورزی غیر استاندارد و یا عادات نا مناسب غذایی باشد. به هر حال تنها به دلیل ارتباط شیمیایی نیترات با ترکیبات NOCs و این که نیترات پیش مادهٔ تولید این ترکیبات است، نمی توان اثرات مفید آن را نفی کرد و باید هر دو اثر به درستی و در کنار یکدیگر مورد ارزیابی قرار گیرند. اثرات مفید نیترات در یک غلظت خاص ایجاد می شود، اما وقتی میزان جذب آن بیش از اندازه شود، مضرات آن عارض می گردد. گیاهان تر و تازه با تجمع نیتریت کم دارای مقادیر زیادی آنتی اکسیدان های حفاظتی هستند که می تواند شیوع سرطان را کاهش دهد. اما وقتی گیاهان تازه بعد از برداشت به شکل نا مناسبی انبار شوند، بخشی از نیترات موجود در آن ها تبدیل به نیتریت می گردد. همین که میزان نیتریت از جذب قابل قبول روزانه (۰/۰۶ mg/kg ۰ وزن بدن) تجاوز کند واکنش آمین به راحتی در بدن انسان رخ داده و نیتروز آمین های به شدت سرطان زا شکل می گیرد. غذا هائی نظیر بیکن (گوشت نمک زدهٔ خوک)، کالباس تخمیری، هات داگ، سالامی، گوشت قرمه شده و دیگر گوشت های عمل آوری یا دودی شده ماهی و مرغ و نظایر آن می توانند دارای مقادیر زیاد نیترات و نیتریت باشند که عدم مصرف آن ها در رژیم غذایی و کنترل میزان نیترات و نیتریت در

فرآورده های گوشتی و آب آشامیدنی در جلوگیری از خطرات این ترکیبات مؤثر است. پس تا زمانی که این قبیل خطرات مبهم وجود دارد، کاملاً معقول و منطقی است که میزان نیترات را در گیاهان و آب آشامیدنی بوسیلهٔ وضع قانون محدود کنیم (Shao-ting et al, 2007).

نیترات یکی از محلول ترین آنیون ها در آب است و می تواند به راحتی به سطح آب زیر زمینی آب شویی گردد (Wendland et al., 2005; Mkandawire, 2008). عموماً جذب نیترات بالا خطر سرطان معده در بزرگسالان، مت هموگلوبینمیا یا سندرم کودک آبی (Blue Baby) که تحت عنوان بیماری زهر خنده نیز شناخته می شود، افزایش ترشح غدد پاراتیروئید، ادرار زیاد در کودکان، فشار خون و غیره را به همراه دارد. در سال های اخیر تحقیقات بسیاری، اثرات مفید نیترات را بر سلامتی بشر اثبات کرده که این نتایج معکوس باعث بحث و مجادله شده است. دام ها نیز ممکن است از علایم چند بیماری ناشی از وجود مقادیر زیاد نیترات در آب آشامیدنی، نظیر مت هموگلوبینمیا، کمبود ویتامین A، اختلالات تولید مثل، سقط جنین وکاهش تولید شیر رنج ببرند (قیصری و همکاران، ۱۳۸۶).

۲ ۵ - سیستم های آبیاری

استفاده از روش آبیاری بارانی و اعمال مدیریت آبیاری موجب کنترل نفوذ عمقی می شود. در صورتی که نیتروژن بیش از نیاز گیاه مصرف شود، به دلیل کنترل نفوذ عمقی در آبیاری بارانی، نیتروژن اضافه از محدودهٔ فعال ریشه آب شویی نمی شود. با این همه نیتروژن اضافه ای که در خاک تجمع یافته در فصل های پر باران یا پس از آبیاری سنگین آب شویی خواهد شد. بنابراین قیصری و همکاران (۱۳۸۵) دریافتند که اعمال مدیریت آبیاری به تنهایی قادر به حل مشکل آب شویی نیترات نیست و از این رو برای کنترل تلفات نیتروژن، مدیریت آبیاری توأم با مدیریت کود تحت عنوان مدیریت کود آبیاری را توصیه کردند.

مصرف کود های اوره روی سطح خاک (روش پخش سطحی) امکان هدررفت نیتروژن به صورت گاز (متصاعد شدن) و آب شویی را به بالا ترین حد خود می رساند. بنابراین با توجه به آب شویی نیترات

در روش پخش سطحی، ضرورت دارد از روش هایی استفاده شود که باعث کاهش یا جلوگیری از آب شویی نیترات گردند. شایسته زاده و همکاران (۱۳۸۷) با مقایسهٔ چهار تیمار کود دهی در حضور گیاه گندم شامل شاهد (بدون مصرف کود اوره)، پخش سطحی، کود آبیاری و محلول پاشی به این نتیجه رسیدند که تیمار کود آبیاری با توجه به راندمان مصرف آب بالا و آب شویی نیترات کم، بهترین تیمار کود دهی می باشد.

به گزارش محققان، از سیستم های آبیاری بارانی برای کاربرد کود نیتروژن تحت عنوان کود آبیاری استفاده می شود. کود آبیاری سبب یکنواختی پخش کود و افزایش راندمان مصرف آن می گردد (Asadi, 2004; Patel and Rajput, 2000). چقا و قائمی (۱۳۸۷) به این نتیجه رسیدند که در سیستم آبیاری بارانی تحت مدیریت کود آبیاری مقدار قابل توجهی از کود مصرفی جذب اندام های گیاهی شده است و به تبع آن مقدار آبشویی نیتروژن در این سیستم بسیار کمتر از آبیاری جویچه ای می باشد. نتایج نشان داد مقدار نیتروژن آب شویی شده در عمق های مختلف در آبیاری جویچه ای از آبیاری بارانی بیشتر است. نتایج به دست آمده بیان گر آن است که کاربرد سیستم های آبیاری بارانی و نوع مدیریت کود دهی (کود آبیاری) در کشاورزی نقش مؤثری بر کاهش آب شویی نیتروژن و به تبع آن کاهش آلودگی آب های زیرزمینی دارد.

در کشاورزی مدرن نیاز به نیتروژن نسبت به عناصر غذایی دیگر بیشتر است. همچنین خاک بیشتر مناطق کشاورزی جهان فاقد این عنصر غذایی مهم بوده و نیاز گیاه از طریق اضافه نمودن کود های نیتروژنی به زمین تأمین می گردد. در این راستا مشاهده می شود کمتر از ۵۰ درصد کود نیتروژنی به کار رفته مورد استفاده قرار می گیرد و بقیه از طریق آب شویی، فرسایش، رواناب و تصعید گازی از دسترس گیاه خارج شده و تلف می شود. از جمله عوامل مدیریتی که در کنترل تلفات کود های نیتروژنی مؤثر است، میزان و نحوهٔ مصرف کود و روش آبیاری می باشد. در سیستم های آبیاری مکانیزه مدیریت آب و کود به سهولت انجام می شود (قیصری و همکاران، ۱۳۸۵).

بخش کشاورزی بزرگ ترین مصرف کنندۀ آب در جهان است و در مناطق خشک، کشت آبی ۵۰ تا ۸۵ درصد آب کل را مصرف می کند (Hamdy, 2001) و راندمان مصرف آن در این بخش ۳۰ تا ۳۲ درصد است. از این نظر با توجه به این که اکثر مناطق کشور از لحاظ اقلیمی جزء مناطق خشک و نیمه خشک محسوب می شود و توزیع بارندگی به گونه ای است که بیش ترین میزان آن در فصل زمستان می باشد، توجه به چگونگی استفاده از آب موجود برای کشاورزی از اهمیت زیادی برخوردار است. بنابراین استفاده بهینه از واحد حجم آب بایستی از اهداف مهم سیاست های افزایش بهره وری از منابع آب در کشور باشد (صادق زاده و کشاورز، ۱۳۷۹؛ کریمی و همکاران، ۱۳۸۵).

آبیاری قطره ای در آمریکا عملکرد و کارآیی مصرف آب در گوجه فرنگی را به ترتیب ۱۹ و ۲۰٪ در مقایسه با آبیاری سطحی افزایش می دهد (Pruitt et al, 1989). در تحقیقی این نتیجه به دست آمد که در آبیاری کرتی و شیاری میزان هدر رفت آب حدود ۷۱٪ است، و اتلاف زیاد عناصر غذایی از طریق آب شویی را به همراه دارد (Navalawala, 1991). در مطالعۀ دیگری تأثیر مدیریت های آبیاری بر کارآیی مصرف آب در زراعت گندم مورد بررسی قرار گرفت و مشخص شد که کارآیی مصرف آب تحت تأثیر رژیم آبیاری قرار می گیرد (Tavakkoli and Oweis, 2004؛ کریمی و همکاران، ۱۳۸۵).

حبی و همکاران (۱۳۸۱) با ارزیابی اثر دوره های کود دهی در کود آبیاری قطره ای روی کارآئی مصرف آب در زراعت گوجه فرنگی، اعلام کردند که کاربرد کود از طریق کود آبیاری قطره ای همراه با مدیریت آبیاری و کود دهی می تواند باعث افزایش محصول و کارائی مصرف آب و کود گردد.

کمبود منابع آبی، کیفیت نا مناسب آب کاربردی و تبخیر بالا، باغداران و کشاورزان را در مناطق گرم و خشک ایران مجبور به استفاده از سیستم های تحت فشار نظیر آبیاری قطره ای نموده است. از سوی دیگر طراحی صحیح این سیستم ها نیاز به اطلاعات کافی از نحوۀ توزیع جریان آب در خاک به صورت افقی و عمودی دارد. این نوع اطلاعات در تعیین عمق نصب لترال ها، فاصلۀ آن ها، فاصلۀ قطره چکان ها از هم و چگونگی تنظیم شدت جریان خروجی از آن نقش مهمی ایفا می کند.

همچنین این نوع اطلاعات در به حداقل رساندن میزان نفوذ عمقی سیستم و تلفات تبخیر نیز تأثیر گذار می باشد (اژدری، ۱۳۸۶).

ضعف مدیریت که ناشی از فقدان دانش و کمبود تجربه مدیران در بخش های برنامه ریزی و اجرایی است از اهم مشکلات و مسائل مبتلا به نظام بهره برداری در شبکه های آبیاری است. مشکلات و نارسایی های موجود در شبکه های آبیاری و زهکشی را می توان به دو دسته فنی و ساختاری و مدیریتی تقسیم نمود. این مشکلات فنی، اجتماعی و فرهنگی است که نتیجه آن در سیستم بهره برداری، کاهش بهره وری تأسیسات و پایین بودن راندمان آبیاری است. تحویل آب در اکثر شبکه های آبیاری و زهکشی در کشور بصورت غیر حجمی و بر اساس سطح اراضی زیر کشت صورت می گیرد و هیچ کنترلی به میزان مصرف وجود ندارد. این یکی از مهم ترین دلایل عدم موفقیت شبکه های آبیاری در رسیدن به راندمان مطلوب و مصرف بهینه منابع آب بوده و بسیاری از نابسامانی ها از اینجا ناشی می شود. برای رسیدن به تولید مطلوب با راندمان بالا از آب و خاک باید کلیهٔ عوامل مؤثر در کشاورزی به شکل زنجیری و هماهنگ به کار گرفته شوند. پایین بودن کارآیی یکی از دلایل نا موفق بودن شبکه های آبیاری است. کمبود و نقصان های سازه ای و ساختاری از یک سو و عدم بهره وری از امکانات و نیروی انسانی از طرف دیگر باعث شده است که برآیند و عملکرد سامانه ها در زمینه های مختلف قابل تطبیق و مقایسه با معیارها و پیش بینی اولیه نباشد و از شبکه های آبیاری عملاً با کمتر از نصف ظرفیت های بالقوهٔ آن ها بهره برداری می شود و تا هنگامی که چنین روندی ادامه داشته باشد و اقدام مؤثری در جهت بهبود عملکرد ها صورت نگیرد، نمی توان تحولی بنیادین که گویای بهره برداری اقتصادی و منطقی از این سامانه ها باشد را انتظار داشت. مهم ترین و اصلی ترین هدف احداث و توسعه شبکه های مدرن آبیاری، بالا رفتن راندمان آبیاری در حین انتقال و یا افزایش توزیع و مصرف در مزرعه و در نهایت جلوگیری از تلفات آب می باشد. صرفه جویی در مصرف آب کشاورزی، افزایش عملکرد در هکتار، افزایش سطح زیرکشت، جلوگیری از

خطر تخریب ناشی از سیل و طغیان رودخانه ها، از دیگر اهداف و پی آمد های اجرایی طرح های بهبود و توسعه شبکه های آبیاری و زهکشی به شمار می روند. مطالعات و بررسی های انجام شده حاکی از این است که با توجه به محدودیت منابع آب و شیوه های بهره برداری عمدتاً سنتی از منابع آب و مصرف بسیار بالای آب در بخش کشاورزی و از همه مهم تر مسأله بحران کمبود آب که از چالش های بزرگ پیشروی داخلی و جهانی است، مدیریت مصرف آب کشاورزی در کشور را که از نظر فیزیکی و عملیاتی در احداث و توسعه شبکه های آبیاری انعکاس می یابد، ملزم به کاربرد نگرش و اقداماتی فراگیر و عاجل در رابطه با این فرآیند می نماید و در غیر این صورت باید شاهد اتلاف منابع آب و به تبع آن بلا استفاده ماندن ظرفیت های قابل توجه کشاورزی درکشور بود (نیک بخت شهبازی، ۱۳۸۸).

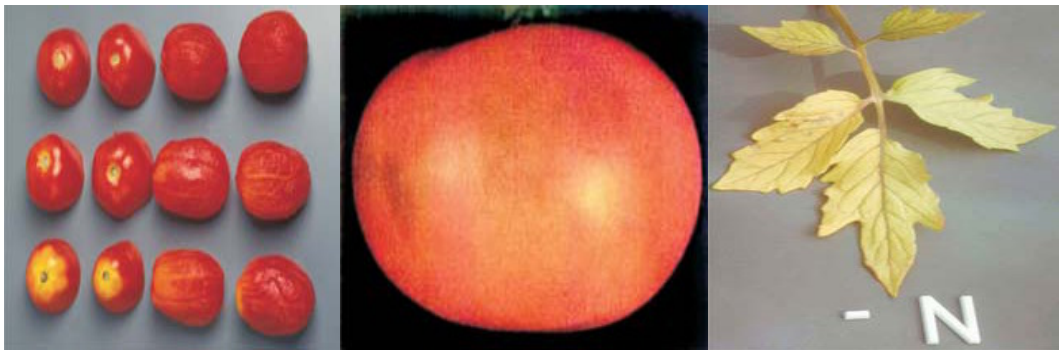
۲ ۶- گوجه فرنگی

گوجه فرنگی (Lycopersicon esculentum) گیاهی است دو لپه ای، دارای شاخه های زیاد که ارتفاع آن حدود یک متر می رسد، این گیاه از خانوادهٔ Solonaceae و بومی کشور پرو در آمریکای جنوبی می باشد (شکل ۲-۴). گوجه فرنگی به طور ذاتی گیاهی علفی و چند ساله است که در تمام نقاط جهان اغلب به صورت یک ساله کشت می شود. طبق آمار معاونت بهبود امور تولیدات گیاهی وزارت جهاد کشاورزی، سطح زیر کشت گوجه فرنگی فضای باز ایران در سال ۱۳۸۷ در حدود ۱۴۷۰۰۰ هکتار، میزان برداشت ۵۳۰۰۰۰۰ تن و میانگین برداشت در هکتار ۳۶ تن می باشد. از چالش های عمده در تولید گوجه فرنگی در ایران محدودیت منابع آبی و بالا بودن نیاز آبی این محصول می باشد. از سوی دیگر میزان تولید گوجه فرنگی در واحد هکتار در ایران پایین است. به عنوان نمونه ایالات متحده آمریکا از ۱۱۴ هزار هکتار سطح زیر کشت ۱۱ میلیون تن گوجه فرنگی (۹۶.۵ تن در هکتار) برداشت می کند که بسیار بیشتر از میزان تولید در هکتار ایران می باشد. با استفاده از بذر های هیبرید مناسب از جنبه کیفیت محصول، مقاومت بالا نسبت به آفات و بیماری های رایج و میزان برداشت، تغییر روش آبیاری کرتی و سنتی به آبیاری تحت فشار قطره ای و تدوین برنامهٔ غذایی مناسب،

می توان میزان تولید را به بیش از حد استاندارد افزایش داد. انتخاب رقم برای کشت در یک منطقه از اهمیت زیادی برخوردار است. این رقم هم باید مقاوم به آفات و بیماری ها و شرایط نامساعد منطقه (نور کم، دمای پایین و ...) بوده و هم بتواند در این شرایط، محصولی با کیفیت و کمیت بالا تولید نماید. (جیحونی، ۱۳۸۸).

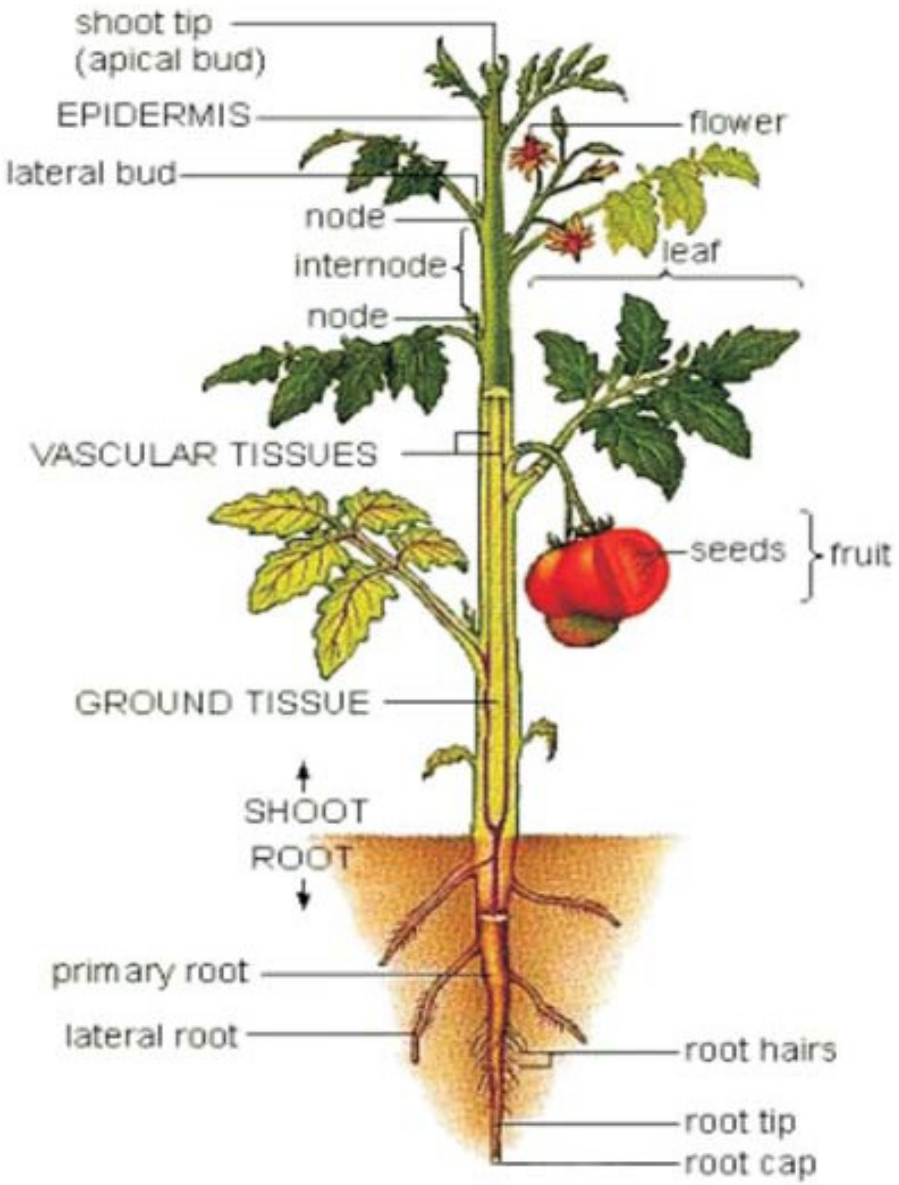
در شکل (۲-۳) علائم کمبود برخی عناصر اصلی و همچنین تعدادی از اختلالات فیزیولوژیکی در گیاه گوجه فرنگی آورده شده است.

(۱) (۲) (۳)



(۴) (۵) (۶)

شکل (۲-۳) علائم اختلالات فیزیولوژیکی و کمبود برخی عناصر اصلی در گیاه گوجه فرنگی
(۱) آفتاب سوختگی (۲) ترک رشدی شعاعی (۳) ترک رشدی متحد المرکز
(۴) کمبود ازت (۵) کمبود فسفر (۶) کمبود پتاسیم
(جیحونی، ۱۳۸۸)



شکل (۲-۴) تصویر آناتومی گیاه گوجه فرنگی (جیحونی، ۱۳۸۸)

فصل سوم

مواد و روش ها

۳ -۱ - موقعیت محل اجرای طرح

این تحقیق در مزرعه تحقیقاتی دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود واقع در بسطام انجام شد. مزرعهٔ مورد نظر از نظر موقعیت جغرافیایی دارای طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۵۸ دقیقه و ۳۱/۸۵ ثانیهٔ شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۷ دقیقه و ۳۳/۲۹ ثانیهٔ شمالی می باشد.

۳ -۲ - اقلیم منطقه

این منطقه دارای اقلیم نیمه خشک بوده، به طوری که میانگین بارندگی سالانهٔ آن ۱۶۷ میلی متر، متوسط درجهٔ حرارت سالیانه آن ۱۴/۴ درجه، حداکثر دما ۴۱+ درجه، حداقل دما ۱۴- درجهٔ سانتی گراد و دارای زمستان های سرد و تابستان های گرم می باشد.

۳ -۳ - مشخصات خاک محل تحقیق

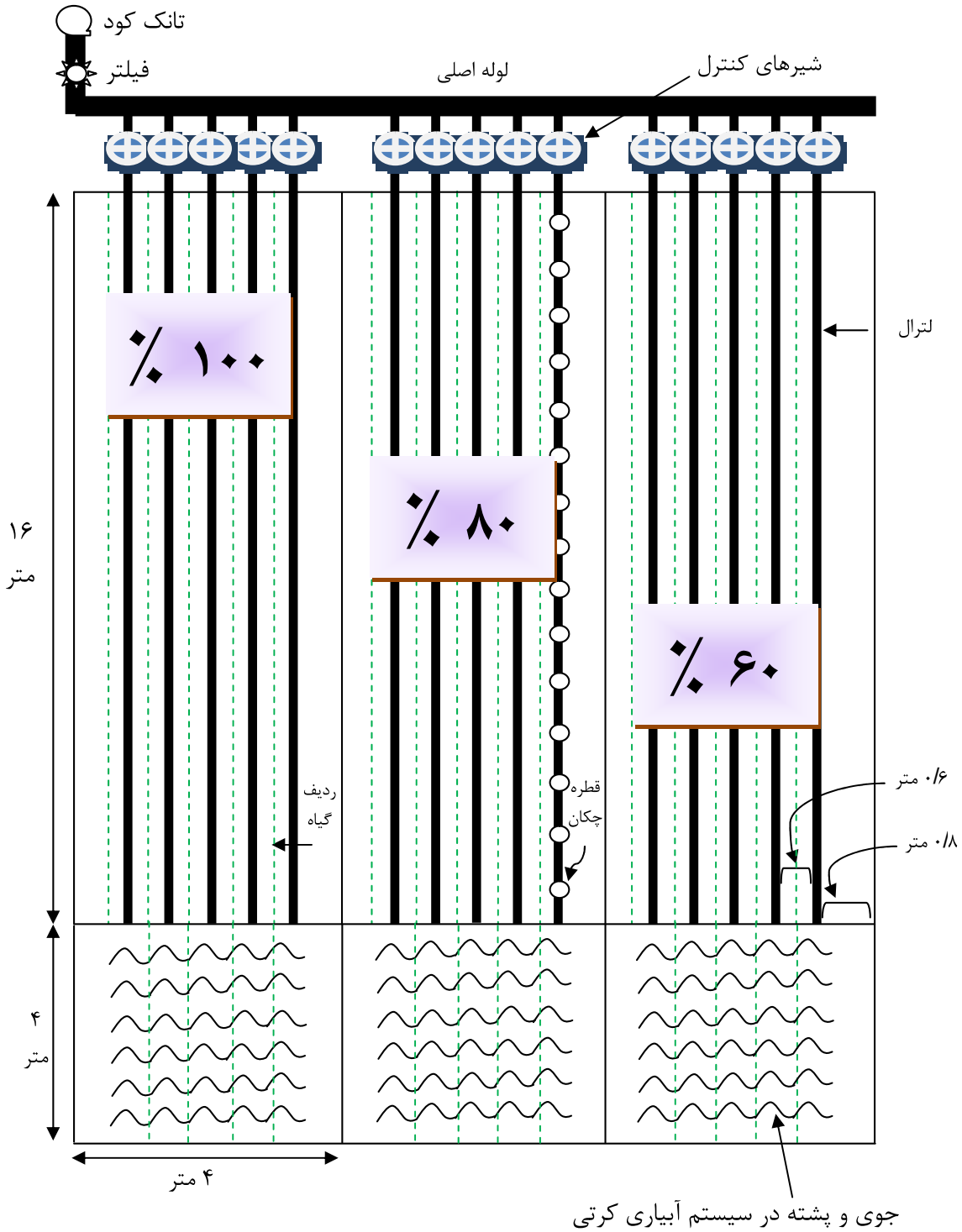
برخی مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه در جدول ۳-۱ نشان داده شده است.

جدول (۳ ۱) مشخصات فیزیکی و شمیایی خاک و فاکتور های اندازه گیری شده در محل تحقیق

pH	رطوبت PWP	رطوبت FC	جرم مخصوص ظاهری	ضریب نفوذپذیری	بافت خاک	ذرات (٪)			عمق
	(%vol)	(%vol)	(g/cm^3)	(cm/h)		شن	سیلت	رس	(cm)
۷/۷۷	۱۳/۶	۲۲/۷۵	۱/۳۸	۱/۸	لوم رسی	۳۷	۳۳	۳۰	۰-۱۰
۷/۸۲	۱۱/۱۴	۲۱/۷۸	۱/۳۶	۱/۸	لوم رسی	۳۶	۳۲	۳۲	۱۰-۲۰
۷/۸۱	۱۱/۸	۲۵/۵۷	۱/۴۸	۱/۵۱	لوم رسی	۳۶	۳۴	۳۰	۲۰-۳۰
۷/۹	۱۲/۲۷	۲۲/۴۶	۱/۳۶	۱/۹۴	لوم رسی شنی	۶۲	۱۲	۲۶	۳۰-۴۰
۷/۸۴	۱۳/۴۷	۲۶/۰۸	۱/۵۰	۱/۹۷	لوم رسی شنی	۵۰	۳۲	۱۸	۴۰-۵۰
۷/۸۸	۱۴/۸	۲۶/۷۲	۱/۵۱	۱/۰۱	لوم رسی	۴۲	۳۰	۲۸	۵۰-۶۰

۳ -۴ - مشخصات سیستم آبیاری قطره ای مورد استفاده

برای اجرای طرح یک سیستم آبیاری قطره ای کامل مورد نیاز بود. سیستم مورد نظر بر اساس امکانات موجود در منطقه طراحی و اجرا گردید که شامل قسمت های مختلف نظیر فیلتر، تانک کود و شیر آلات کنترل فشار بود. با اجرای این سیستم امکان پخش هم زمان آب و کود (کود آبیاری) فراهم شد. از مهم ترین ویژگی های این سیستم این است که مواد غذایی در زمان نیاز گیاه و به صورت یکنواخت توزیع می گردید. در این سیستم آب خروجی از تانک کود پس از عبور از فیلتر وارد لولهٔ اصلی شده و سپس به لترال ها می رسید و از طریق قطره چکان های مربوطه توزیع می گردید. بر روی هر لترال عبوری از داخل کرت ها، شیر های کنترل کننده نصب گردید و در مواقع ضروری از آن ها استفاده می شد. آب مورد نیاز برای آبیاری زمین از یک حلقه چاه با EC = ۰/۲۱۲ ds/m و pH = ۸ که بیان گر کیفیت مطلوب آن است، تأمین شد. سطح خالص زمین مورد استفاده ۲۴۰ متر مربع بود، که ۱۹۲ متر مربع آن به صورت سه کرت ۴×۱۶ متر برای سیستم قطره ای و ۴۸ متر مربع آن به صورت سه کرت ۴×۴ متر برای آبیاری کرتی اختصاص داده شد. از هر کرت اصلی پنج لترال عبور داده شد که قطر لوله های لترال یک سانتی متر بود و بر روی لوله ها به فاصله هر ۴۰ سانتی متر یک قطره چکان نصب گردید که فواصل قطره چکان ها با تعداد بوته های کاشته شده در هر ردیف مطابقت داشت. فاصله هر دو لترال ۶۰ سانتی متر و فاصله لترال کناری از پشته کرت مجاور ۸۰ سانتی متر در نظر گرفته شد. برای آبیاری قسمت کرتی انتهای لوله ها باز شده و آب به این بخش جریان پیدا می کرد. بعد از نصب کامل سیستم آبیاری قطره ای اتصالات آن تست شده و دبی مورد نظر برای قطره چکان ها که ۴ لیتر بر ساعت بود تنظیم گردید. در شکل ۳-۱ شمایی از محل اجرای تحقیق آورده شده که خصوصیات ذکر شده در بالا در آن به تصویر کشیده شده است. در این شکل منظور از اعداد ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰٪ تیمار های ازت می باشد. همچنین مراحل اجرای پروژه و تنظیم سیستم آبیاری در شکل ۳-۲ و ۳-۳ نشان داده شده است.



شکل (۳-۱) شمایی از مزرعهٔ تحقیقاتی با سیستم کود آبیاری و کرتی

شکل (۳ -۲) اجزای سیستم آبیاری قطره ای نصب شده در مزرعهٔ تحقیقاتی قبل از کشت

شکل (۳ -۳) تست و تنظیم دبی قطره چکان ها در سیستم آبیاری قطره ای

۳ -۵ - انتخاب گیاه

گیاه انتخابی در این تحقیق گوجه فرنگی بود، برخی خواص گوجه فرنگی عبارتند از :

الف) تناسب طول دورهٔ رشد (زودرسی یا دیررسی) با توجه به فصل رشد منطقه

ب) مقاومت به امراض و بیماری های شایع در منطقه

ج) سایه اندازی مناسب برگ ها بر روی میوه و جلوگیری از آفتاب سوختگی آن

د) به دلیل کشت ردیفی از نظر علف های هرز برای کشاورزان مشکل ساز نمی باشد.

با توجه به خصوصیات ذکر شده برای گوجه فرنگی و همچنین در نظر گرفتن ویژگی های اقلیمی منطقهٔ اجرای پروژه، این گیاه برای انجام تحقیق مناسب تشخیص داده شد.

۳ -۶ - تاریخ کشت

گیاه گوجه فرنگی در تاریخ ۸۹/۱/۱ در خزانه کشت شد. پس از رشد کافی، نشاها از ابتدای اردیبهشت ماه به زمین اصلی انتقال داده شد و در پای هر قطره چکان یک گیاه کاشته شد و برنامه کود آبیاری و آبیاری به طور منظم و طبق جداول تنظیم شده به کار گرفته شدند.

۳ -۷ - برنامهٔ آبیاری و کود آبیاری

منابع مختلفی از جمله تمبورج و سینگ (۲۰۰۰) مورد بررسی قرار گرفت و بر اساس آن ها نیاز مواد غذایی گیاه به صورت ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۸۰ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۵۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم تعیین گردید. از طرفی برنامهٔ کود آبیاری ایجاب می کرد که کود های مورد استفاده، از نوع محلول در آب باشند. برای تأمین این عناصر به ترتیب از اوره (NH_2CONH_2)، اسید فسفریک (H_3PO_4) و کلرور پتاسیم (KCl) استفاده شد. مقادیر هر کدام از کود ها با توجه به سطح زیر کشت به شرح ذیل معین گردید :

اوره = ۵/۲۲ Kg

اسید فسفریک = ۴/۳ Lit

کلرور پتاسیم = ۲/۵ Kg

نیتروژن در سه تیمار ۱۰۰٪ برای ردیف اول (T_1)، ۸۰٪ برای ردیف دوم (T_2) و ۶۰٪ برای ردیف سوم (T_3) در اختیار گیاه قرار گرفت. ردیف چهارم (T_4) که در قسمت پایین این سه کرت قرار داشت برای آبیاری کرتی برنامه ریزی شد. بخش آبیاری قطره ای هر ۴۸ ساعت یکبار با مقادیر خاصی که در جدول مربوطه موجود است آبیاری گردید و بخش کرتی یکبار در هفته با زمان تقریبی ۳۰ دقیقه آبیاری می شد. برنامه کود آبیاری نیز در ابتدای هر هفته صورت می گرفت. آب توزیع شده در کرت ها کاملاً کنترل شده و دارای توزیع یکنواخت بوده و بر اساس نیاز آبی گیاه در ماه های مختلف زراعی بود. جدول ۳-۲ برنامهٔ آبیاری سیستم قطره ای و جدول ۳-۳ توزیع مواد غذایی را برای دو سیستم کود آبیاری و کرتی به صورت هفتگی نشان می دهد. همان طور که جدول ۳-۳ نشان می دهد تعداد هفته های توزیع کود در کود های سه گانه متفاوت بوده است. در این جدول ۷۵ درصد از دو ستون آخر (ستون های کود فسفاته و پتاسه) مربوط به سیستم قطره ای و ۲۵ درصد از آن ها مربوط به سیستم سطحی می باشد.

جدول (۳ ۲) برنامه آبیاری هفتگی در سیستم آبیاری قطره ای گوجه فرنگی

شماره هفته	مدت زمان آبیاری قطره ای۳ بار در هفته (دقیقه)	حجم آب مصرفی (لیتر)
۱	۱۵	۱۳۱۴
۲	۱۸	۱۵۷۷
۳	۲۲/۵	۱۹۷۱
۴	۲۷	۲۳۶۵
۵	۳۰	۲۶۲۸
۶	۳۰	۲۶۲۸
۷	۳۷/۵	۳۲۸۵
۸	۴۵	۳۹۴۲
۹	۵۲/۵	۴۵۹۹
۱۰	۶۰	۵۲۵۶
۱۱	۶۷/۵	۵۹۱۳
۱۲	۷۵	۶۵۷۰
۱۳	۷۵	۶۵۷۰
۱۴	۹۰	۷۸۸۴
۱۵	۹۰	۷۸۸۴
۱۶	۶۷/۵	۵۹۱۳
۱۷	۶۰	۵۲۵۶
۱۸	۴۵	۳۹۴۲

۳ -۸ - نمونه برداری و تجزیهٔ نمونه ها

برای بدست آوردن اطلاعات اولیه از خاک محل تحقیق، نظیر بافت خاک، EC (متعلق به عصارهٔ خاک)، pH (متعلق به گل اشباع) و جرم مخصوص ظاهری (روش کلوخه پارافین) پیش از کشت نمونه هایی از خاک محل، برداشته شد. تعیین بافت خاک با روش هیدرومتری بایکاس انجام گرفت. یک سری نمونه هم جهت اندازه گیری رطوبت حد ظرفیت مزرعه و نقطهٔ پژمردگی دائم با دستگاه صفحات فشاری به دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان ارسال و مورد آنالیز قرار گرفت.

هدایت هیدرولیکی اشباع نیز توسط دستگاه گلف تا عمق ۶۰ سانتی متر در ۶ لایه اندازه گیری شد (شکل ۳-۴). همچنین کنترل رطوبت خاک از طریق نصب تانسیومتر در مزرعهٔ مورد آزمایش، صورت گرفت (شکل ۳-۵).

جدول (۳ ۳) برنامه توزیع کود سیستم کود آبیاری و آبیاری سطحی

هفته	اوره (گرم)				H_3PO_4 (ml)	KCl (g)
	T_1	T_2	T_3	T_4		
۱	۵۰	۴۰	۳۰	۵۰	۲۰۰	۱۰۰
۲	۶۰	۴۸	۳۶	۶۰	۲۰۰	۱۰۰
۳	۸۰	۶۴	۴۸	۸۰	۲۰۰	۲۰۰
۴	۹۰	۷۲	۵۴	۹۰	۳۰۰	۲۰۰
۵	۱۰۰	۸۰	۶۰	۱۰۰	۴۰۰	۳۰۰
۶	۱۳۰	۱۰۴	۷۸	۱۳۰	۴۰۰	۴۰۰
۷	۱۵۰	۱۲۰	۹۰	۱۵۰	۵۰۰	۶۰۰
۸	۱۵۰	۱۲۰	۹۰	۱۵۰	۷۰۰	۶۰۰
۹	۱۶۰	۱۲۸	۹۶	۱۶۰	۷۰۰	
۱۰	۱۶۰	۱۲۸	۹۶	۱۶۰	۷۰۰	
۱۱	۱۲۰	۹۶	۷۲	۱۲۰		
۱۲	۶۰	۴۸	۳۶	۶۰		
۱۳						
۱۴						
جمع	۱۳۱۰	۱۰۴۸	۷۸۶	۱۳۱۰	۴۳۰۰	۲۵۰۰

شکل (۳-۴) نصب دستگاه گلف جهت اندازه گیری هدایت هیدرولیکی اشباع در اعماق مختلف

شکل (۳-۵) نصب تانسیومتر برای اندازه گیری رطوبت خاک

نمونه برداری خاک در طول مراحل کشت در زمان های ۲، ۲۴ و ۴۸ ساعت بعد از کود آبیاری در ماه های مختلف از دورهٔ رویش گیاه صورت گرفت. این نمونه ها با استفاده از اوگر مناسب از ۶ عمق ۰-۱۰، ۱۰-۲۰، ۲۰-۳۰، ۳۰-۴۰، ۴۰-۵۰ و ۵۰-۶۰ سانتی متر برداشته شد. برای جلوگیری از تبخیر رطوبت نمونه ها، بلا فاصله آن ها را در مزرعه وزن کرده و سپس برای انجام سایر آنالیز ها به آزمایشگاه منتقل گردید. قبل از انجام مراحل اصلی تحقیق خصوصیات فیزیکی خاک محل، مورد آزمایش قرار گرفت و نتیجهٔ مربوطه در جدول ۳-۱ آمده است. شکل ۳-۶ و ۳-۷ مزرعهٔ مورد مطالعه را در مراحل پایانی تحقیق نشان می دهد.

۳ -۹ - اندازه گیری نیتروژن

برای انجام پاره ای از مقایسه ها نیاز بود که هر دو مقدار نیتروژن و نیترات مورد اندازه گیری قرار گیرد. مقدار نیتروژن با دستگاه کجلدال اتوماتیک مدل Vapodest 20s اندازه گیری شد. در این مدل تنها آخرین مرحله یعنی تیتراسیون به صورت دستی انجام می گیرد و قابلیت اندازه گیری نیترات و نیتریت وجود ندارد. در ذیل شرح مختصری از نحوهٔ آنالیز نیتروژن با این دستگاه آمده است.

این دستگاه از دو بخش هضم و تقطیر تشکیل شده است (شکل ۳-۸ و ۳-۹). بخش هضم شامل ۱۲ لوله است که آنالیز هم زمان ۱۲ نمونه را ممکن می سازد. مخلوط لازم در هر لوله برای انجام آنالیز شامل نمونه خاک یا گیاه، اسید سولفوریک غلیظ (۹۶٪) و قرص کاتالیزور (یا مخلوط ۹۶ گرم سولفات پتاسیم + ۴ گرم سولفات مس ۵ آبه) است که مقدار هر کدام بسته به وزن نمونه متغیر است. این مخلوط ابتدا در دمای ۴۰۰ درجهٔ سانتی گراد به نقطهٔ جوش می رسد و سپس دما به ۳۰۰ درجهٔ سانتی گراد کاهش یافته و آن قدر حرارت ادامه می یابد که نمونه ها به رنگ سبز شفاف درآیند (زمان تقریبی ۳ ساعت). در مرحلهٔ بعد نمونه ها بعد از خنک شدن برای تقطیر آماده می شوند. این بخش دارای دو جایگاه می باشد. در یکی از آن ها لولهٔ مربوط به بخش هضم و در دیگری ارلنی حاوی ۵۰ میلی لیتر اسید بوریک ۲٪ + چند قطره معرف (با رنگ قرمز)، قرار می گیرد.

شکل (۳ -۶) شمایی از کرت ۸۰٪ آبیاری قطره ای در ماه چهارم بعد از کشت

شکل (۳ -۷) شمایی از کرت ۱۰۰٪ آبیاری قطره ای در ماه چهارم بعد از کشت

شکل (۳ -۸) بخش هضم از دستگاه کجلدال برای اندازه گیری نیتروژن

شکل (۳ -۹) بخش تقطیر از دستگاه کجلدال برای اندازه گیری نیتروژن

با شروع کار دستگاه ایجاد رنگ سبز لجنی در لوله نشانهٔ صحت انجام آزمایش است و بعد از اتمام زمان کار (حدود ۴ دقیقه) رنگ محلول داخل ارلن سبز می شود که هر چه این رنگ تیره تر باشد نشان دهندهٔ این است که غلظت نیتروژن در آن نمونه بیشتر بوده است. در مرحلهٔ آخر ارلن های شماره گذاری شده با محلول HCl ۰/۱ نرمال تا ظهور رنگ قرمز تیتر می شود. سپس از رابطهٔ ۳-۱ درصد نیتروژن محاسبه می گردد.

$$\%N = \frac{1/4008 * 0/1 * (V_s - V_b)}{M} \times 100$$

رابطهٔ (۳-۱)

در رابطهٔ فوق :

N = غلظت نیتروژن بر حسب درصد

۰/۱ = نرمالیتهٔ اسید تیتر کننده

V_s= مقدار اسید مصرفی برای تیتراسیون نمونه بر حسب میلی لیتر

V_b= مقدار اسید مصرفی برای تیتراسیون شاهد بر حسب میلی لیتر

M = وزن نمونه بر حسب گرم می باشد.

۳ -۱۰ - اندازه گیری نیترات

برای اندازه گیری نیترات خاک از روش میراندا و همکاران (۲۰۰۱) استفاده گردید. نکتهٔ اساسی در استفاده از روش مذکور این بود که نمونه ها با همان رطوبت هنگام نمونه برداری بلا فاصله به آزمایشگاه منتقل شوند. چون در بعضی مواقع بین نمونه برداری و آنالیز آزمایشگاهی فاصله ایجاد می شد، به ناچار نمونه ها در فریزر نگهداری می شدند تا رطوبت آن ها حفظ شود.

نکتهٔ مهم دیگر این بود که تمام ظروف مربوط به آنالیز ها می بایست کاملاً تمیز و با اسید شسته شوند تا موجب ایجاد آلودگی و تأثیر منفی بر کار نشوند.

در شروع آنالیز ها ابتدا محلول KCl 2M تهیه گردید. ۱۰ گرم از خاک مرطوب را در لوله های درپوش دار مخصوصی ریخته، سپس بر روی هر نمونه ۲۵ میلی لیتر از محلول KCl 2M اضافه گردید. لوله ها را به صورت افقی به مدت ۲۰ تا ۳۰ دقیقه تکان داده و در مرحلهٔ بعد در دستگاه سانتریفیوژ با سرعت ۲۰۰۰ دور به مدت ۵ دقیقه قرار داده شد (شکل ۳-۱۰). در نهایت به وسیلهٔ پیپتور مخصوصی از محلول بالای لوله به مقدار لازم برداشت کرده و تا شروع مرحلهٔ بعدی آنالیز در جای کاملاً خنک نگهداری شد. سر پیپتور قابل تعویض بوده و برای جلوگیری از ایجاد آلودگی از هر کدام فقط یک بار استفاده می شد.

در مرحلهٔ بعد به روش زیر اقدام به تهیهٔ معرف[1] گردید. دو محلول جداگانه تهیه شد. برای محلول شمارهٔ یک ۰/۴ گرم VCl_3 را به ۵۰ میلی لیتر HCl یک مولار اضافه کرده و خوب تکان داده شد تا کاملاً حل شود. برای محلول شمارهٔ دو، ۰/۲ گرم سولفانیل آمید[2] و ۰/۰۱ گرم NED[3] و ۴۰۰ میلی لیتر آب مقطر را با هم خوب مخلوط کرده سپس محلول شمارهٔ یک و دو را در یک ظرف ریخته تا یک محلول معرف یکنواخت به دست آید. نکته این که این محلول باید در جای کاملاً خنک نگهداری شود. محلول های استاندارد هم با روش خاص خود تهیه گردید.

در مرحلهٔ آخر باید محلول نهایی جهت آنالیز در کووت های دستگاه اسپکتروفتومتر ریخته می شد (شکل ۳-۱۱). بدین منظور با پیپتور های ویژه ای ۱۸ میکرو لیتر از نمونه را به همراه ۸۸۵ میکرو لیتر معرف در کووت ریخته و از هر نمونه (نمونهٔ خاک یا محلول استاندارد) ۲ تکرار تهیه گردید.

در نهایت دستگاه اسپکتروفتومتر روی طول موج ۵۴۰ نانومتر تنظیم و عدد مربوط به هر کووت یادداشت شده و واحد اعداد بدست آمده با روابط مخصوصی به واحد مورد نیاز نرم افزار Hydrus-2D تبدیل گردید.

---

1. Reagent
2. Sulphanilamide
3. (N-(1-naphthyl)ethylenediamine dihydrochloride)

شکل (۳ -۱۰) دستگاه سانتریفیوژ

شکل (۳ -۱۱) دستگاه اسپکتروفتومتر

فصل چهارم

نتایج و بحث

۴-۱- پارامتر های رویشی گیاه

همان طور که در جدول ۳-۳ (فصل سوم) اشاره شد توزیع کود در سیستم کود آبیاری به صورت هفتگی بوده است. نتایج مربوط به پارامتر های رویشی گیاه در جدول ۴-۱ آمده است که اثر بخشی این نحوهٔ توزیع کود را به خوبی نشان می دهد.

با توجه به نتایج حاصل از جدول ۴-۱ مشاهده می شود که کلیه تیمارها عملکرد کاملاً رضایت بخشی داشته اند. از طرفی تیمار ۲ با مقدار ۸۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن مصرفی، بیش ترین عملکرد و نیز بالا ترین بازده مصرف آب را نشان می دهد. اما بالا ترین بازدهٔ مصرف نیتروژن مربوط به تیمار ۳ با مقدار ۶۰ کیلوگرم در هکتار می باشد. طبق اطلاعات جدول ۴-۱، متوسط عملکرد در سه تیمار مربوط به کود آبیاری ۷۲/۵۶ تن در هکتار بوده است که نسبت به تیمار آبیاری سطحی ۳۰ درصد افزایش عملکرد را نشان می دهد و میانگین بازدهٔ مصرف آب و نیتروژن در سیستم کود آبیاری نسبت به آبیاری کرتی به ترتیب ۱۱۲ و ۷۰ درصد افزایش داشته است. تیمار ۲ نیز نسبت به آبیاری کرتی ۳۲ درصد افزایش عملکرد نشان می دهد. شایسته زاده و همکاران (۱۳۸۷) نیز با مقایسه چهار تیمار کود دهی در حضور گیاه گندم شامل، شاهد (بدون مصرف کود اوره)، پخش سطحی، کود آبیاری و محلول پاشی به این نتیجه رسیدند که تیمار کود آبیاری با توجه به راندمان مصرف آب بالا و آبشویی نیترات کم، بهترین تیمار کوددهی می باشد. همچنین اسدی (۲۰۰۴) و پاتل و راجپوت (۲۰۰۰)، به این نتیجه رسیدند که کود آبیاری باعث یکنواختی در پخش کود و افزایش راندمان مصرف آن و در نهایت افزایش عملکرد محصول می گردد. پوریت و همکاران (۱۹۸۹) نشان دادند که آبیاری قطره ای در امریکا عملکرد و کارآیی مصرف آب در گوجه فرنگی را به ترتیب ۱۹ و ۲۰٪ در مقایسه با آبیاری سطحی افزایش می دهد. نوالاوالا (۱۹۹۱) در تحقیقی نشان داد که در آبیاری کرتی و شیاری میزان هدر رفت آب حدود ۷۱٪ است، و اتلاف زیاد عناصر غذایی از طریق آبشویی را به همراه دارد.

جدول (۴-۱) نتایج مربوط به عملکرد گیاه، بازده مصرف آب و بازده مصرف کود نیتروژن

تیمار	عملکرد (t/ha)	میزان آب مصرفی (m^3)	بازدهٔ مصرف آب (kg/m^3)	میزان نیتروژن مصرفی (kg/ha)	بازدهٔ مصرف نیتروژن (t/kg)
T_1 (۱۰۰٪ کود آبیاری)	۷۱/۹۱	۴۱۴۰/۶۲	۱۷/۳۶	۱۰۰	۰/۷۲
T_2 (۸۰٪ کود آبیاری)	۷۳/۷۱	۴۱۴۰/۶۲	۱۷/۸۰	۸۰	۰/۹۲
T_3 (۶۰٪ کود آبیاری)	۷۲/۰۶	۴۱۴۰/۶۲	۱۷/۴۰	۶۰	۱/۲
T_4 آبیاری سطحی	۵۵/۸۵	۶۷۵۰	۸/۲۷	۱۰۰	۰/۵۶

با مراجعه به ادارهٔ جهاد کشاورزی شهر بسطام اطلاعات کامل و معتبر در مورد متوسط عملکرد گوجه فرنگی در این منطقه جمع آوری گردید، که نتایج آن در جدول ۴-۲ آمده است. چنان که از داده های جداول ۴-۱ و ۴-۲ پیداست عملکرد تحقیق حاضر در بخش آبیاری سطحی نسبت به متوسط عملکرد منطقهٔ بسطام ۶۶ درصد افزایش داشته است. همچنین متوسط عملکرد در سه کرت مربوط به آبیاری قطره ای در مقایسه با میانگین عملکرد منطقهٔ بسطام به میزان ۱۱۶ درصد افزایش نشان می دهد که حاکی از کارایی فوق العاده و کاملاً قابل قبول سیستم کود آبیاری می باشد.

جدول (۴-۲) متوسط عملکرد گوجه فرنگی در سال های مختلف زراعی در منطقهٔ بسطام

سال زراعی	۸۵-۸۶	۸۶-۸۷	۸۷-۸۸	۸۸-۸۹	۸۹-۹۰
متوسط عملکرد (t/ha)	۳۰	۳۳	۳۵	۳۵	۳۵

در شکل ۴-۱ تصویری از موقعیت منطقهٔ بسطام و محل مورد مطالعه که توسط نرم افزار گوگل ارث[1] به دست آمده، آورده شده است.

شکل (۴-۱) تصویر هوایی منطقهٔ بسطام شاهرود

همان طور که ملاحظه می شود نتایج حاصل از پارامتر های رویشی گیاه اعم از بازده مصرف آب و بازده مصرف نیتروژن در حدی بوده که عملکرد بسیار بالایی را در این تحقیق به ارمغان آورده است. مطمئناً تناسب این مقادیر با میزان عملکرد و مقایسهٔ آن ها با مقادیر منطقه ای بیان گر این نکته خواهد بود که سیستم به کار رفته در این تحقیق از طراحی ویژه ای برخوردار بوده است. حبی و همکاران (۱۳۸۱) نیز با ارزیابی اثر دوره های کود دهی در کود آبیاری قطره ای روی کارائی مصرف آب در زراعت گوجه فرنگی، به نتایج مشابه دست یافتند.

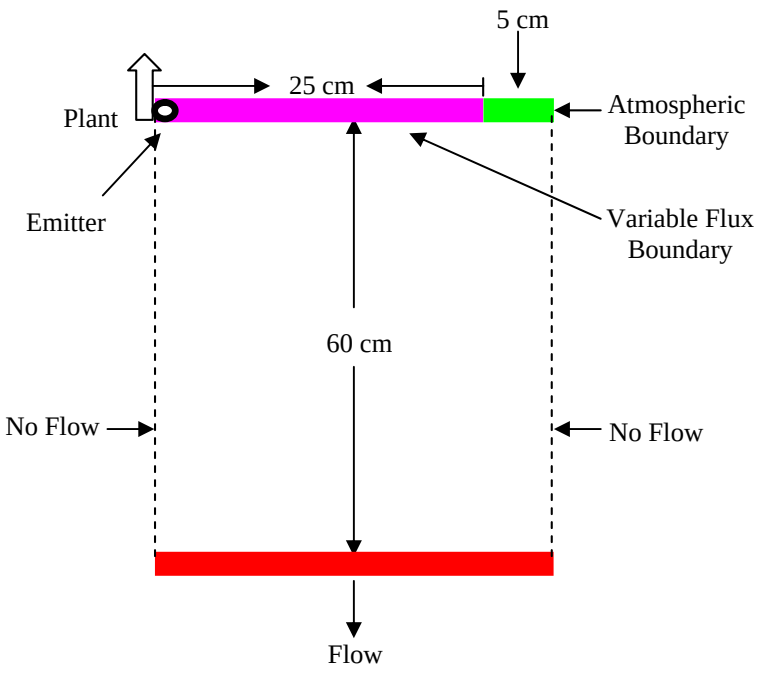
۴-۲- مدل سازی

برای مدل سازی حرکت نیترات و آب در خاک باید از یک مدل مناسب و قابل اطمینان بهره گرفته شود. در این زمینه پس از بررسی های لازم مشخص شد که مدل Hydrus-2D به دلیل توانایی های زیاد خود جهت شبیه سازی حرکت این مواد در حالات و شرایط مختلف، نسبت به مدل های دیگر ارجح می باشد، به همین خاطر این مدل جهت انجام عملیات کامپیوتری در نظر گرفته شد.

1. Google earth

حسینی نیا و همکاران (۱۳۸۹) با کاربرد مدل Hydrus-2D میزان نفوذ و درصد رطوبت را تحت آبیاری قطره ای زیر سطحی در خاک شنی شبیه سازی کرده و مشاهده کردند که توزیع درصد رطوبت پیش بینی شده توسط مدل با نتایج آزمایشگاهی تطابق بسیار خوبی دارد و به این نتیجه رسیدند که این مدل می توان ابزاری مفید جهت طراحی و مدیریت آبیاری قطره ای زیر سطحی باشد. بخشی از قابلیت های این مدل در فصل دوم توضیح داده شده است.

مدل کامپیوتری مربوط به این تحقیق استوانه ای تئوری است به شعاع ۳۰ سانتی متر و به عمق ۶۰ سانتی متر از خاک محل تحقیق، به طوری که منبع تغذیه دهندهٔ آب و مواد محلول در نزدیکی محل کاشت گیاه واقع گردیده است. این مدل طوری طراحی گردیده است که مرزهای جانبی آن از نظر جذب آب و مواد مغذی نفوذ ناپذیر بوده و قسمت انتهایی آن به عنوان مرز زهکشی برای خروج آب و نیترات مازاد در صورت آب شویی در نظر گرفته شده است. همچنین در این مدل کامپیوتری ۵ سانتی متر نیز به عنوان مرز هوای آزاد در نظر گرفته شده است (شکل ۴-۲).



شکل (۴-۲) مدل واقعی تعریف شده برای Hydrus-2D

۴-۲-۱- مدل Hydrus-2D

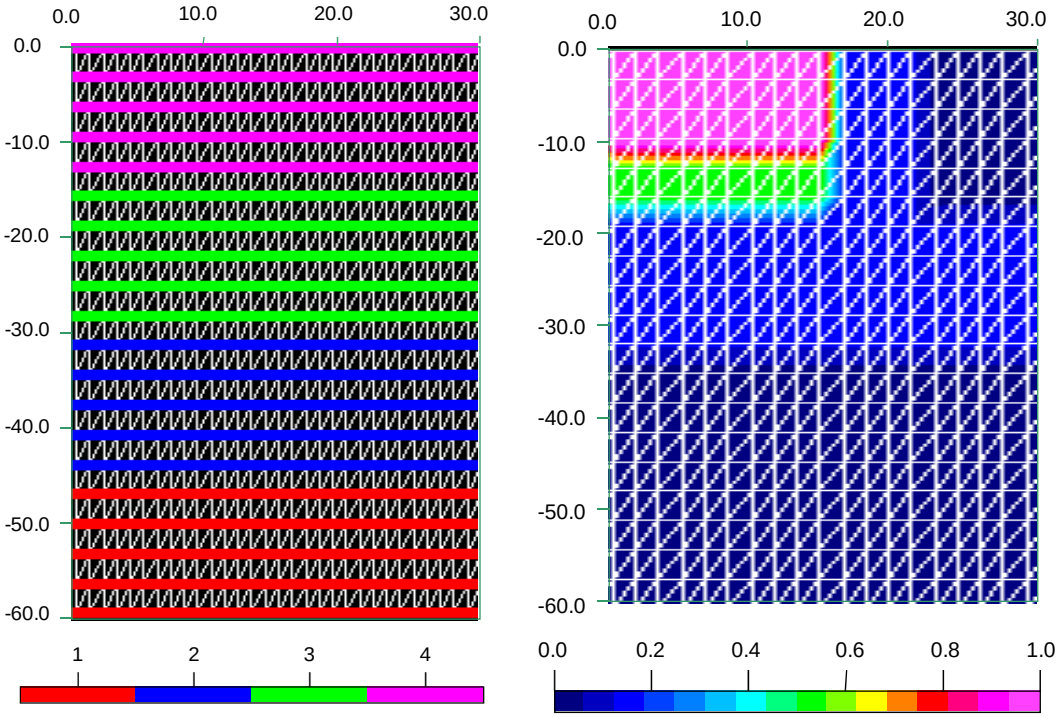
این مدل، به روش عناصر محدود کار می کند و معادلهٔ ریچاردز را برای حرکت آب و مواد محلول در خاک حل می کند. مدل فوق در حل معادلهٔ جریان و انتقال محلول شرایط مرزی متعددی را در نظر می گیرد و در حین اجرا شدن، حرکت آب و مواد انتقالی از سطح خاک به اعماق مختلف را در شرایط مختلف شبیه سازی می کند. یکی از مزایای اصلی این مدل این است که دورهٔ اجرای آن را می توان مطابق با دورهٔ رویش گیاه تنظیم نمود و لذا از لحظه به لحظه رویش گیاه می توان اطلاعات و داده های کیفی مناسب اخذ نمود. جزئیات کامل مربوط به این مدل در راهنمای تخصصی آن آمده است (Simunek et al, 1999).

فرم تغییر شکل یافتهٔ معادلهٔ ریچاردز برای جریان آب از یک منبع نقطه ای به شکل زیر می باشد :

رابطهٔ (۴-۱)
$$\frac{\partial \Theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial r}\left\{ K(h)\frac{\partial h}{\partial r}\right\} + \frac{K(h)}{r}\frac{\partial h}{\partial r} + \frac{\partial}{\partial z}\left\{K(h)\left(\frac{\partial h}{\partial z}+1\right)\right\}$$

که در این رابطه Θ رطوبت حجمی ($cm^3\ cm^{-3}$)، h بار هیدرولیکی یا بار آبی، t زمان، r فاصلهٔ شعاعی از محل قطره چکان، z مختصات عمودی و k ضریب هیدرولیکی غیر اشباع می باشد. این مدل معادلهٔ فوق را با بکارگیری روش خطی عناصر محدود نوع Galerkin به صورت عددی حل می کند (اژدری، ۱۳۸۷).

تصویر سمت چپ در شکل ۴-۳ نمایی از شبکهٔ المانی ساخته شده در مدل Hydrus-2D و تصویر سمت راست در این شکل نمایی از محیط مدل شده بوده که میزان تراکم ریشهٔ گیاه را نشان می دهد. در این مدل فرض بر این است که ناحیهٔ اطراف رشد ریشه دارای ضریب ۱ یا ۱۰۰ درصد بوده و هر چه از ناحیهٔ ریشه دور شود از نسبت این ضریب کاسته می شود، که ضریب مربوط به هر بخش با توجه به مقیاس موجود در زیر شکل قابل محاسبه می باشد.



شکل (۴-۳) ضریب تراکم ریشه در محیط مدل سازی شده (تصویر سمت راست)

شبکهٔ المانی چهارگانه اخذ شده از مدل (تصویر سمت چپ)

داده های ورودی به مدل عبارتند از :

۱) درصد ذرات خاک (شن، سیلت و رس)

۲) بافت خاک

۳) نفوذ پذیری

۴) تبخیر و تعرق به صورت جداگانه

۵) رطوبت F.C ۶) رطوبت P.W.P

۷) زمان های مؤثر بارندگی منطقه

۸) ضریب تراکم ریشه

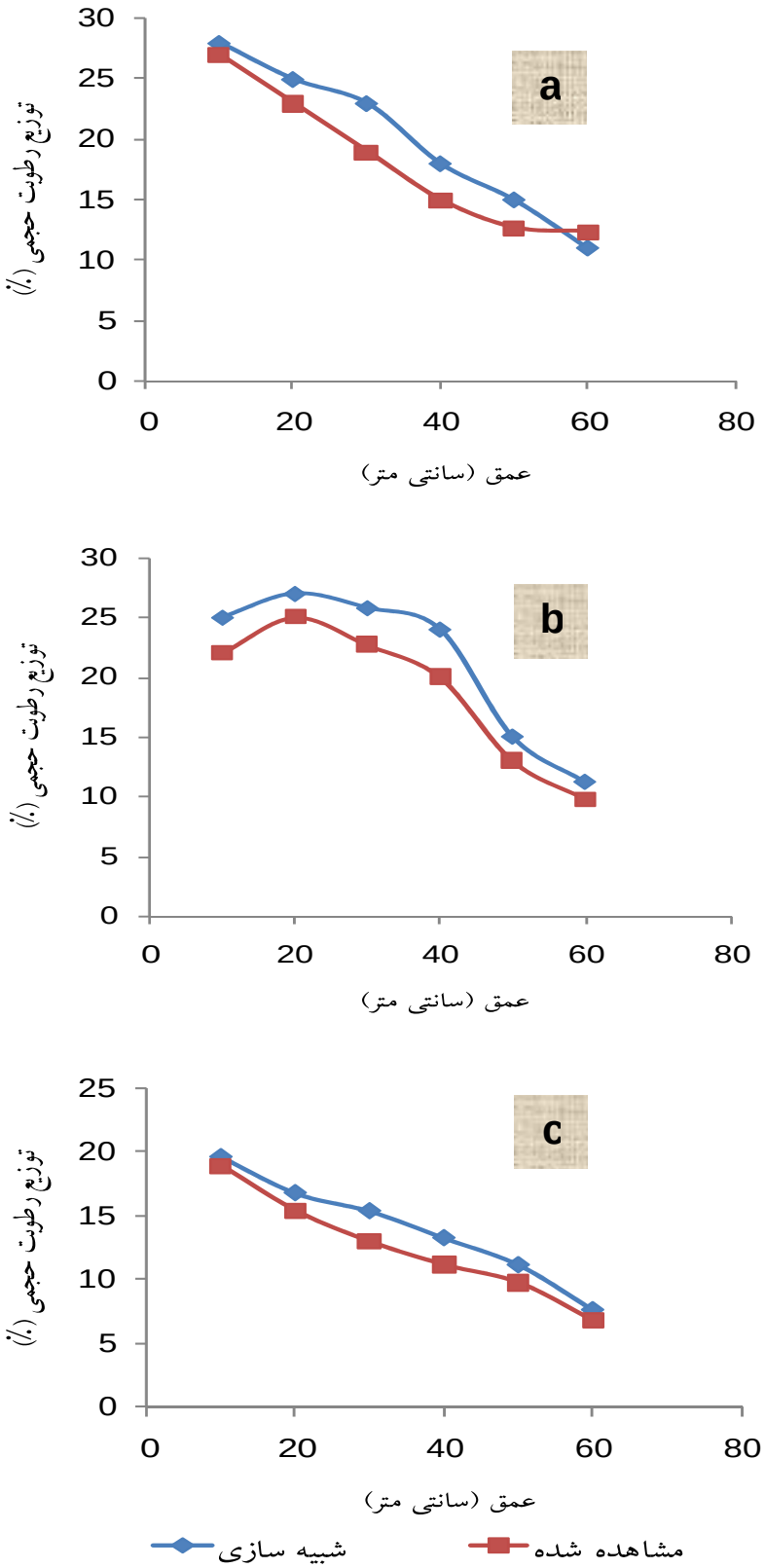
۹) جرم مخصوص ظاهری خاک

۴-۲-۲- واسنجی مدل

قبل از به کارگیری مدل جهت انجام عملیات شبیه سازی حرکت نیترات در ناحیهٔ ریشه و پایین تر از آن، لازم بود که این مدل با داده های مختلف دورهٔ رویش گیاه واسنجی شود.

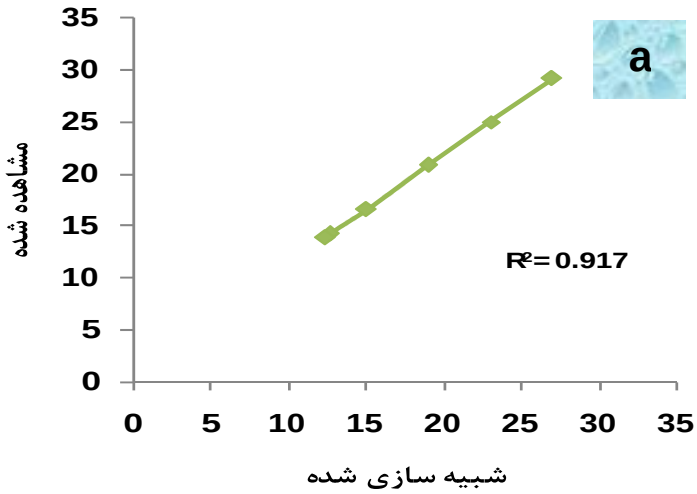
نمونه هایی از واسنجی مدل در شرایط خاص در اشکال ۴-۴، ۴-۶ و ۴-۸ آمده است. همان طور که شکل ۴-۴ نشان می دهد در ماه دوم از دورهٔ رویش گیاه مقدار رطوبت اندازه گیری شده در ساعات مختلف پس از آبیاری در اعماق مختلف خاک کاملاً مشابه مقادیر شبیه سازی شدهٔ مدل بوده و تفاوت زیادی بین آن ها مشاهده نمی گردد. همین رفتار در شکل ۴-۶ نیز که مربوط به ماه سوم از دورهٔ رویش گیاه می باشد، مشاهده می شود.

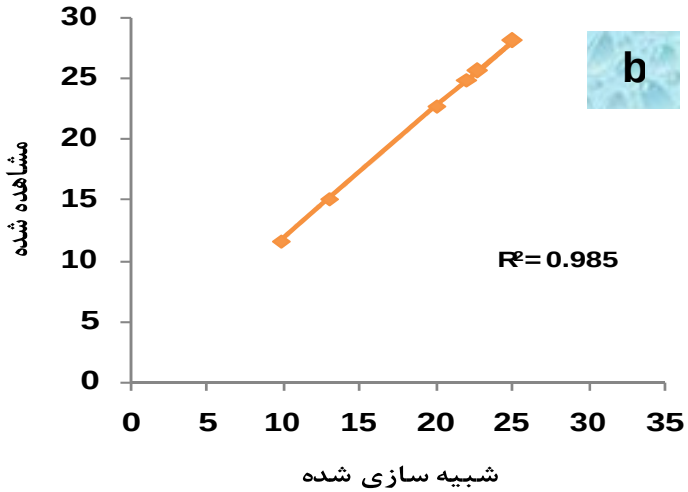
شکل ۴-۸ مربوط به مقایسهٔ نحوهٔ توزیع نیترات در ماه سوم از دورهٔ رویش گیاه بر اساس شبیه سازی مدل می باشد. در این شکل نیز مشاهده می شود که مقادیر شبیه سازی شدهٔ غلظت نیترات توسط مدل، روندی بسیار مشابه با مقادیر مشاهده شده در ساعات مختلف بعد از کود آبیاری را طی کرده است. همچنین در اشکال ۴-۵، ۴-۷ و ۴-۹ رگرسیون خطی حاصل از مقایسهٔ نتایج شبیه سازی شده و اندازه گیری شدهٔ رطوبت و غلظت نیترات آورده شده است. از این اشکال نیز کاملاً پیداست که مقادیر مشاهده شدهٔ رطوبت و غلظت نیترات نسبت به مقادیر شبیه سازی شدهٔ آن ها توسط مدل، اختلاف چشم گیری ندارند. ضرایب همبستگی (R^2) بالا نیز در این نمودار ها بیان گر همین مطلب می باشد که در مجموع اعتبار بسیار بالای مدل را در پیش بینی فرآیند های مورد مطالعه نشان داده و بیان گر واقع گرا بودن مدل مورد استفاده در این تحقیق می باشد.

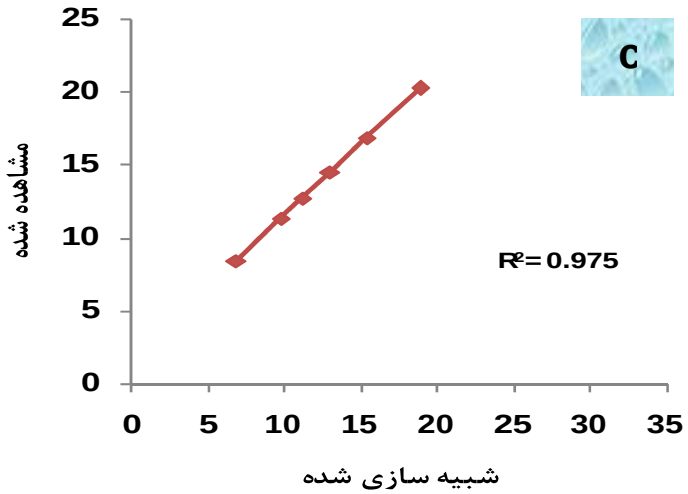


شکل (۴-۴) مقایسهٔ مقادیر شبیه سازی شده و مشاهده شدهٔ رطوبت نسبت به عمق خاک (ماه دوم)

a) ۲ ساعت b) ۲۴ ساعت c) ۴۸ ساعت بعد از آبیاری

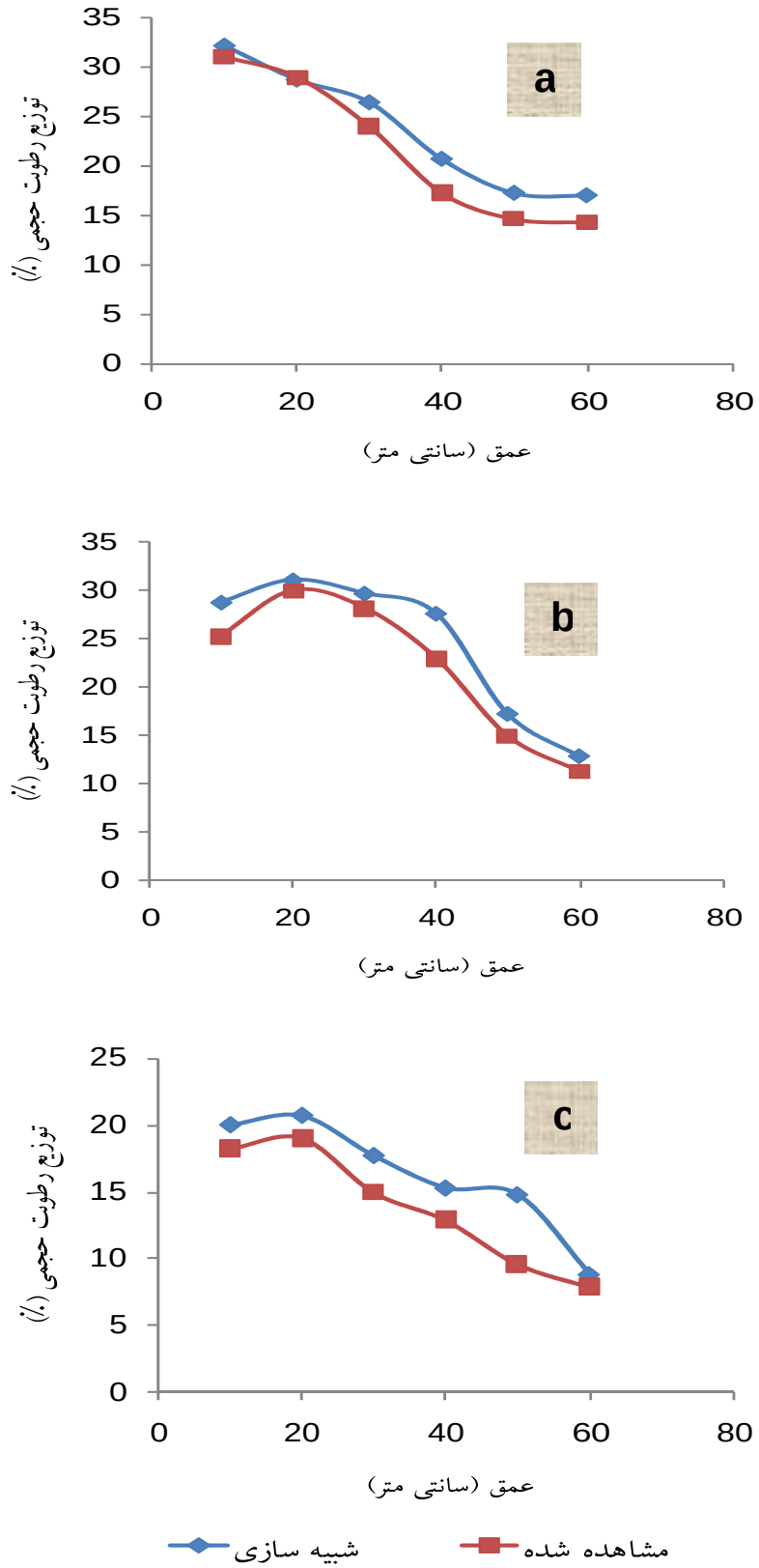






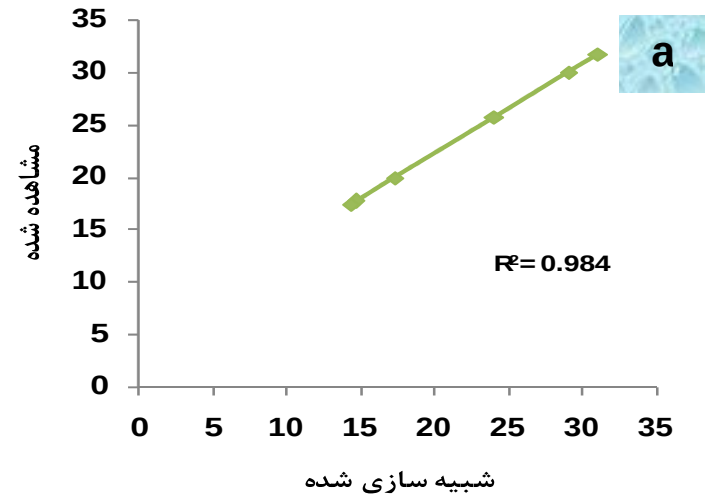
شکل (۴-۵) مقایسهٔ مقادیر شبیه سازی شده و مشاهده شدهٔ رطوبت در ماه دوم (درصد حجمی)

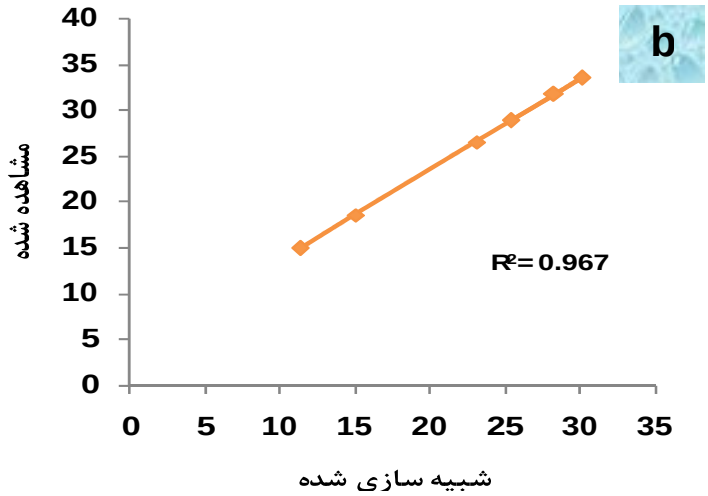
a) ۲ ساعت b) ۲۴ ساعت c) ۴۸ ساعت بعد از آبیاری

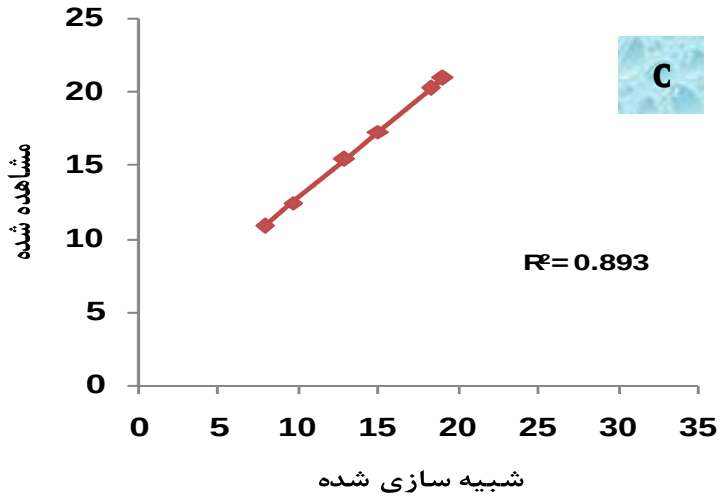


شکل (۴-۶) مقایسهٔ مقادیر شبیه سازی شده و مشاهده شدهٔ رطوبت نسبت به عمق خاک (ماه سوم)

a) ۲ ساعت b) ۲۴ ساعت c) ۴۸ ساعت بعد از آبیاری

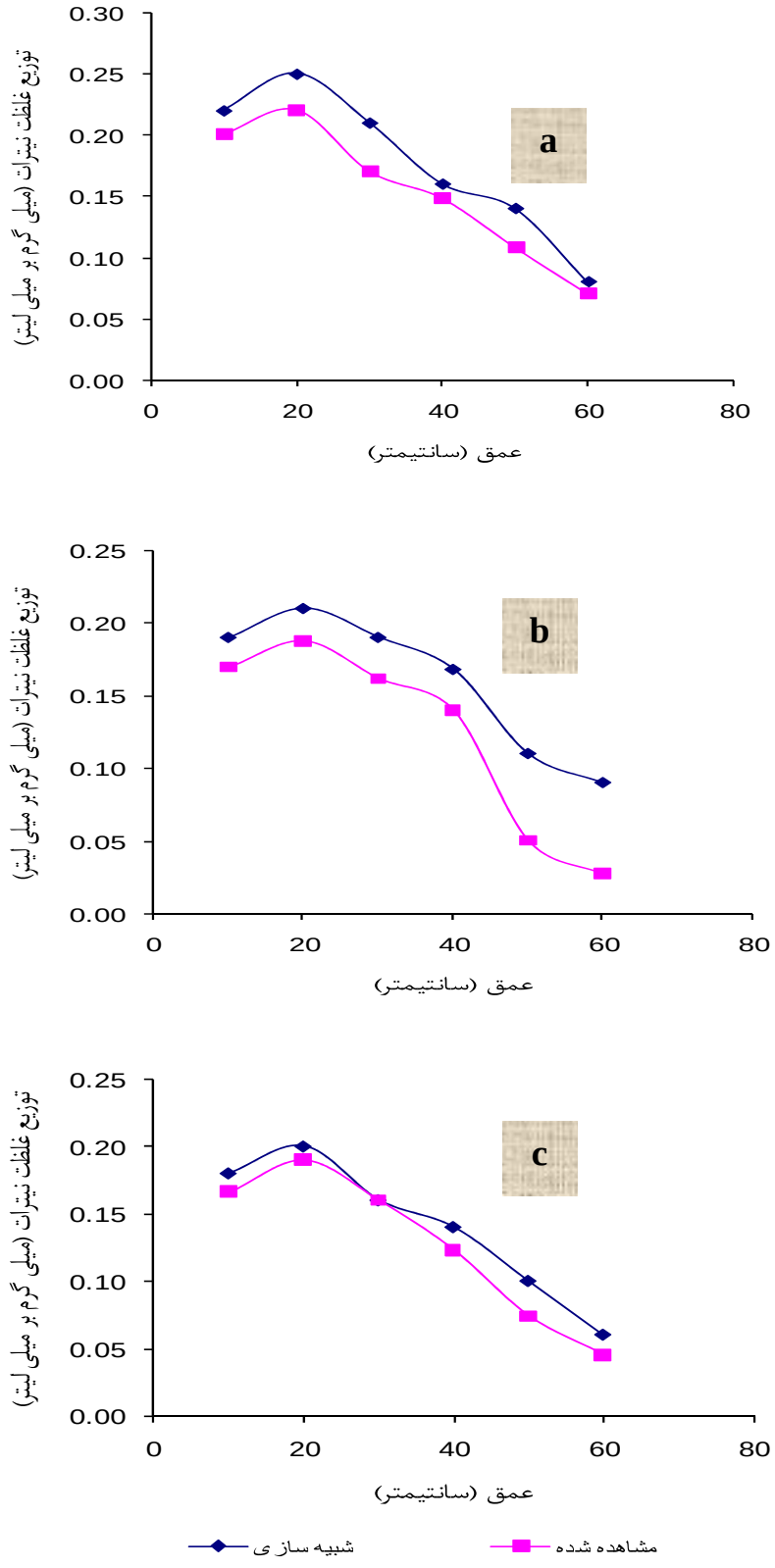




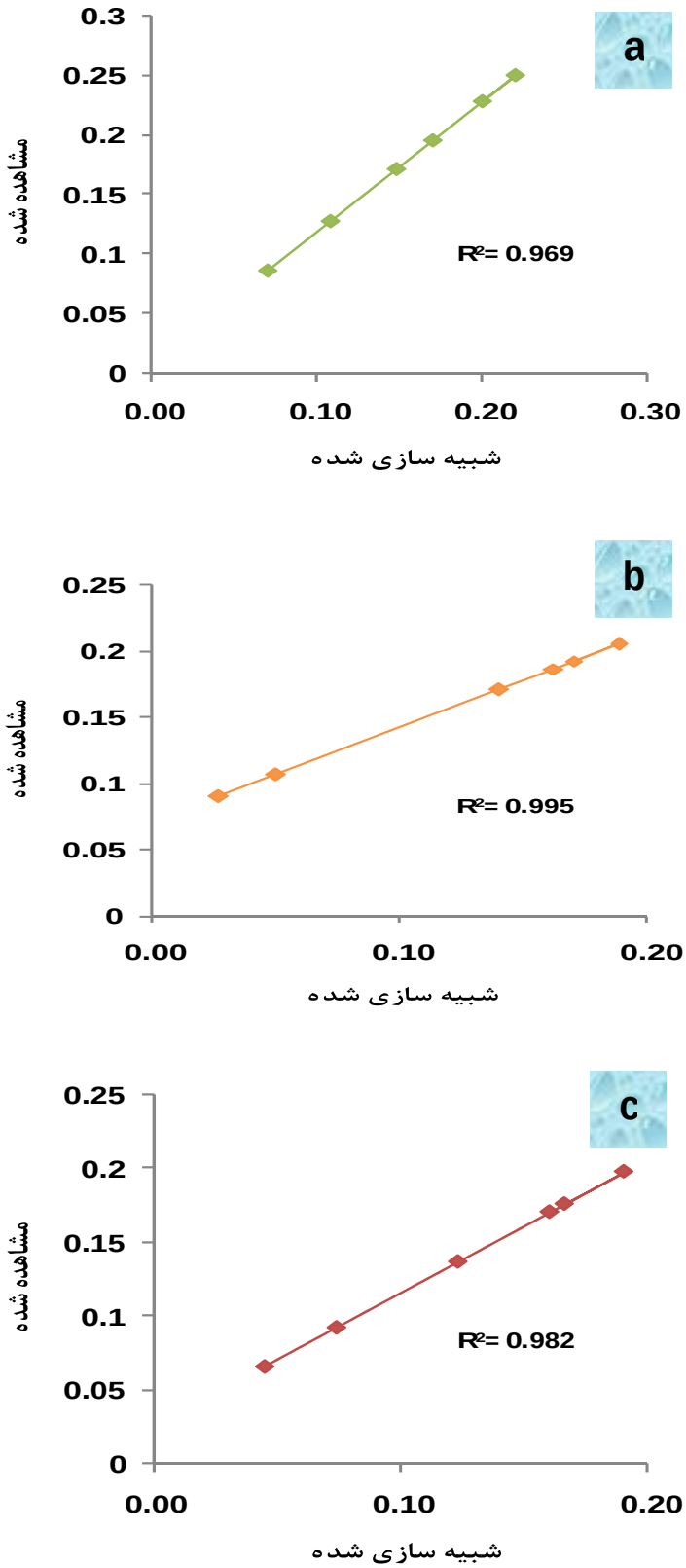


شکل (۴-۷) مقایسهٔ مقادیر شبیه سازی شده و مشاهده شدهٔ رطوبت در ماه سوم (درصد حجمی)

a) ۲ ساعت b) ۲۴ ساعت c) ۴۸ ساعت بعد از آبیاری



شکل (۴-۸) مقایسهٔ مقادیر شبیه سازی شده و مشاهده شدهٔ غلظت نیترات نسبت به عمق خاک a) ۲ ساعت b) ۲۴ ساعت c) ۴۸ ساعت بعد از آبیاری



شکل (۴-۹) مقایسهٔ مقادیر شبیه سازی شده و مشاهده شدهٔ غلظت نیترات (میلی گرم بر میلی لیتر) a) ۲ ساعت b) ۲۴ ساعت c) ۴۸ ساعت بعد از آبیاری

۴-۲-۳- صحت سنجی مدل

در قسمت صحت سنجی از داده های دراز مدت برای آزمایش نتایج مدل استفاده شد. جدول (۴-۳) داده های مربوط به انتهای دورهٔ رشد گیاه می باشد. همان طور که در این جدول ملاحظه می شود، روند تغییرات داده های مربوط به اندازه گیری و شبیه سازی در انتهای دورهٔ رشد گیاه نیز بسیار مشابه هم بوده و تفاوت چندانی بین آن ها مشاهده نمی شود و این موضوع نشان می دهد که این مدل می تواند شبیه سازی حرکت آب و املاح مانند نیترات را در دراز مدت نیز به خوبی انجام دهد. به همین دلیل پس از کسب نتایج قابل قبول از صحت سنجی، این مدل جهت شبیه سازی های مختلف به کار گرفته شد.

جدول (۴-۳) مقایسهٔ مقادیر مشاهده ای و شبیه سازی رطوبت و غلظت نیترات در انتهای فصل رشد

عمق خاک (cm)	رطوبت حجمی (%)		مقدار نیترات (mg/ml)	
	اندازه گیری	شبیه سازی	اندازه گیری	شبیه سازی
۱۰	۲۸	۲۷/۵	۰/۲۵	۰/۲۴۲
۲۰	۲۶	۲۷	۰/۲۶	۰/۲۵
۳۰	۲۴/۳	۲۵	۰/۲۳	۰/۲۴
۴۰	۲۲	۲۳	۰/۲۱	۰/۲۲
۵۰	۱۹	۲۰	۰/۱۸	۰/۱۷
۶۰	۱۶	۱۶/۵	۰/۱۵	۰/۱۴۱

۴- ۳ - شبیه سازی های مدل

این مدل شبیه سازی های مختلفی برای حرکت عمقی و شعاعی نیترات در محیط مدل شده انجام داده که به تفضیل شرح داده خواهد شد. بخشی از شبیه سازی های مدل مربوط به بررسی تغییرات عمقی نیترات توزیع شده در خاک توسط منبع تغذیه کننده (قطره چکان) و بخشی از آن مربوط به تحلیل توزیع شعاعی آن در طول دورهٔ رویش گیاه می باشد. علاوه بر این، مدل، مقادیر آب خروجی از زیر ناحیهٔ ریشهٔ گیاه و همچنین مقادیر نیترات آب شویی شده را در شرایط مختلف، شبیه سازی کرده است. علاوه بر شبیه سازی های مربوط به حرکت این ماده در خاک مزرعه، شبیه سازی هایی برای دو نوع خاک دیگر نیز انجام شده است که نتایج آن شرح داده خواهد شد.

۴ -۳ -۱ - شبیه سازی توزیع عمقی نیترات

شبیه سازی های مختلف از توزیع عمقی نیترات طی دورهٔ رویش گیاه مورد مطالعه در اشکال ۴-۱۰ الی ۴-۱۷ آمده است. شکل ۴-۱۰ توزیع عمقی نیترات را در هفته های اول و دوم از دورهٔ رویش گیاه نشان می دهد. این شکل از دو بخش اسپکتروم رنگی و معمولی تشکیل گردیده است. بخش رنگی دارای مقیاس خاصی است که مقدار عددی توزیع نیترات را نشان می دهد. نکات بسیار حائز اهمیتی در این شکل وجود دارد. از آنجا که این شکل پس از واسنجی و صحت سنجی مستقیماً شبیه سازی مدل را نشان می دهد از درجهٔ اطمینان بالایی برخوردار است.

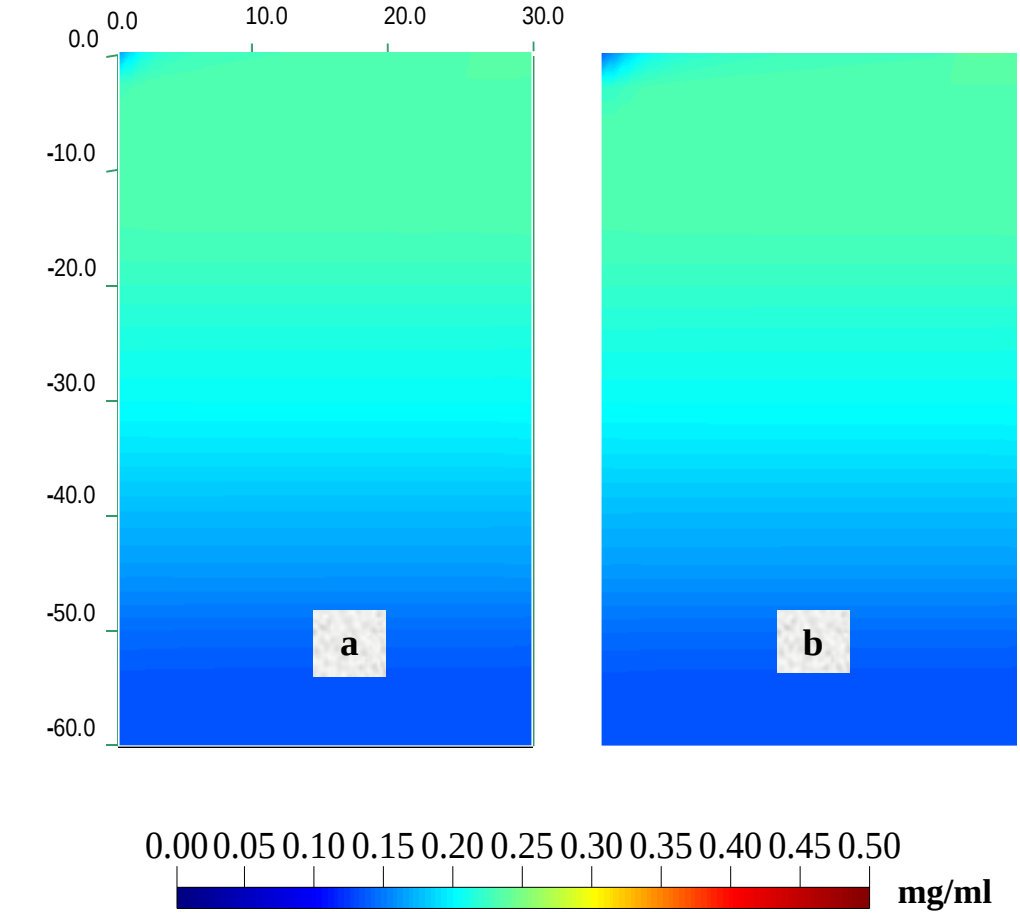
اولین نکته در شکل ۴-۱۰ این است که قسمت اول منحنی توزیع عمقی نیترات صعودی است و این بخش صعودی حداکثر تا عمق ۶ سانتی متر از سطح خاک ادامه داشته و سپس منحنی سیر نزولی پیدا کرده است. مفهوم این نوع توزیع این است که فشار محلول خروجی از منبع تغذیه کننده طوری تنظیم گردیده که در هفته های اول و دوم حداکثر مقدار نیترات توزیع شده در اعماق نزدیک سطح زمین قرار گرفته و به اعماق زیرین انتقال نیافته است. نکتهٔ مهم دیگر این است که پس از عمق حدود ۶ سانتی متری، در این دوره از رویش گیاه منحنی به شدت سیر نزولی پیدا کرده و نفوذ نیترات به

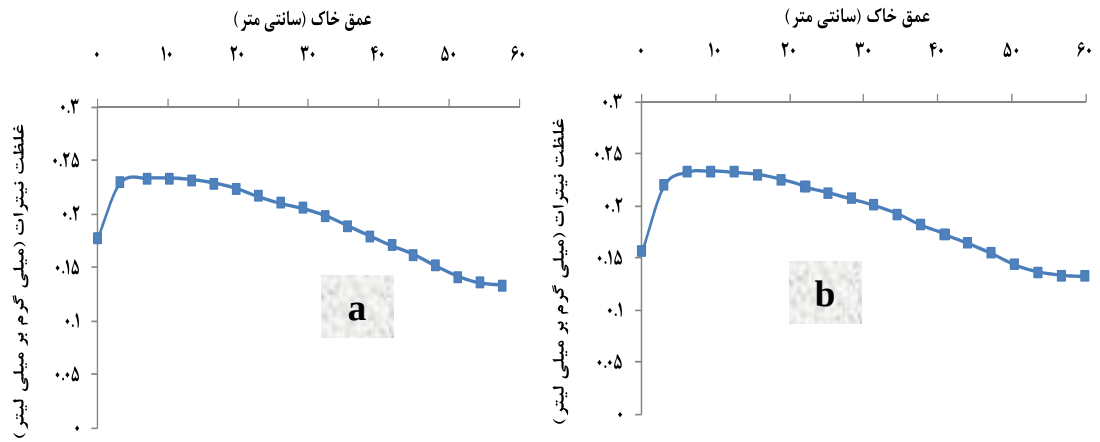
لایه های پایین تر به شدت کاهش یافته است. از آنجا که در هفته های اول و دوم از فصل رویش، گیاه مورد مطالعه در مراحل اولیهٔ رشد خود بوده و عمق ریشه دوانی حدوداً ۶-۵ سانتی متر بوده است لذا تمرکز نیترات در ناحیهٔ اطراف ریشه در این زمان تأثیر مهمی در جذب مواد غذایی گیاه داشته و گیاه را در این مرحله دچار فقر غذایی نخواهد کرد.

شبیه سازی مدل، در محیط مدل شده که استوانه ای به شعاع ۳۰ سانتی متر و عمق ۶۰ سانتی متر بوده صورت گرفته است. در اسپکتروم رنگی منبع تغذیه (قطره چکان) در گوشهٔ سمت چپ بالا قرار گرفته و مقیاس رنگی نیز این نکته را تأیید می کند. از روی این شکل رنگی واضح است که روند توزیع نیترات به سمت اعماق پایین تر نزولی می باشد.

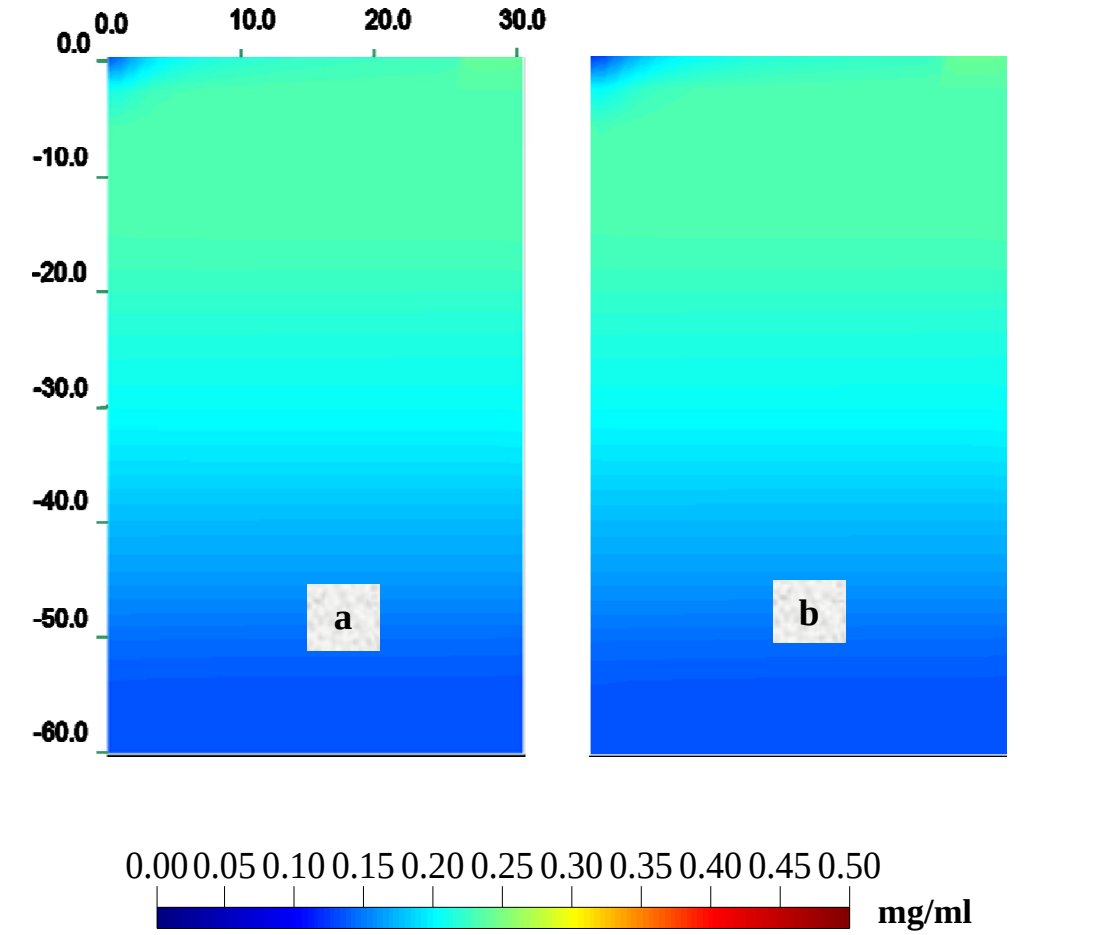
شکل ۴-۱۱ توزیع عمقی نیترات را در هفته های سوم و چهارم از رویش گیاه نشان می دهد. نکتهٔ قابل ذکر در شکل مذکور این است که در این دو منحنی، افزایش جزئی در انتقال نیترات به لایه های پایین تر مشاهده می شود که حداکثر تا عمق ۸ سانتی متری ادامه داشته و از این عمق به بعد منحنی سیر نزولی را طی می کند، که با توجه به میزان توسعهٔ ریشه در این دوره از رویش گیاه توزیع نسبتاً خوبی را نشان می دهد. با بررسی اسپکتروم رنگی نیز می توان به نتایج مذکور دست یافت.

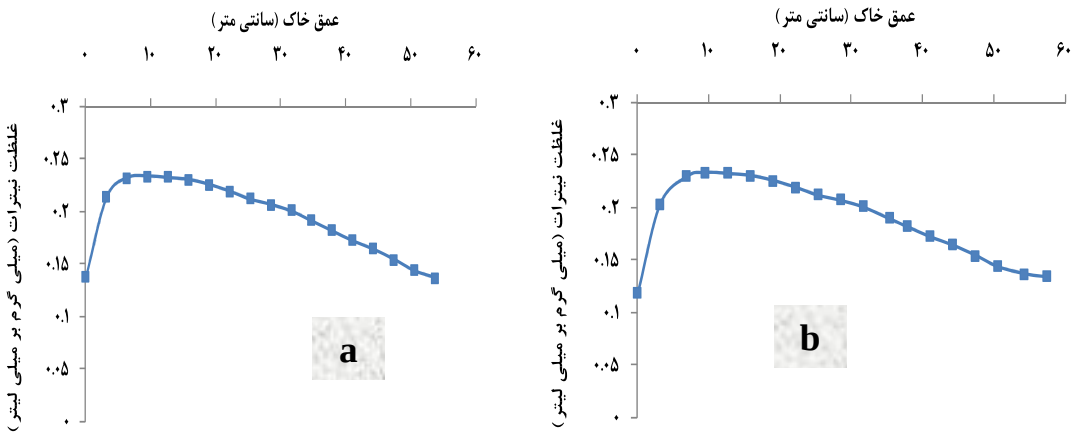
همچنین در اشکال فوق بار دیگر ملاحظه می شود که سیر نزولی حرکت نیترات به سمت لایه های پایین پس از یک نقطهٔ اوج صورت گرفته و حاکی از آن است که قطره چکان در توزیع محلول به درستی عمل کرده است.





شکل (۴-۱۰) شبیه سازی تغییرات نیترات با عمق (a) هفتهٔ اول (b) هفتهٔ دوم

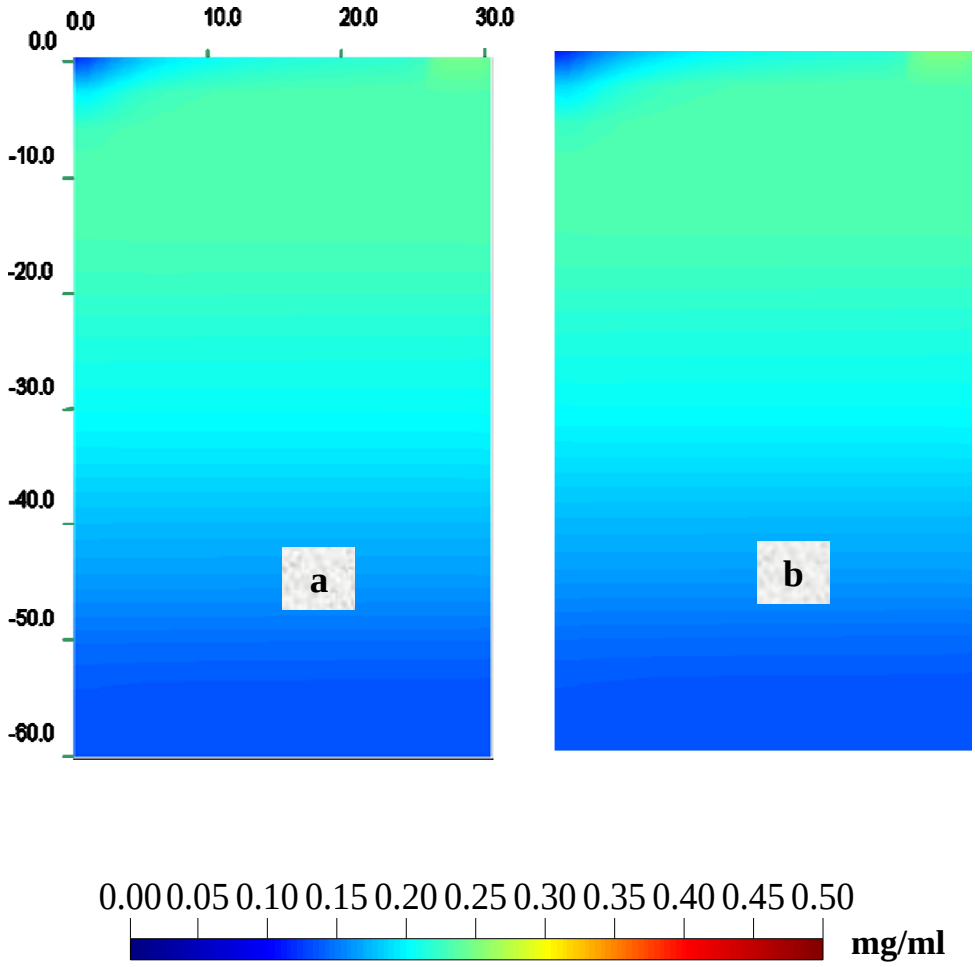


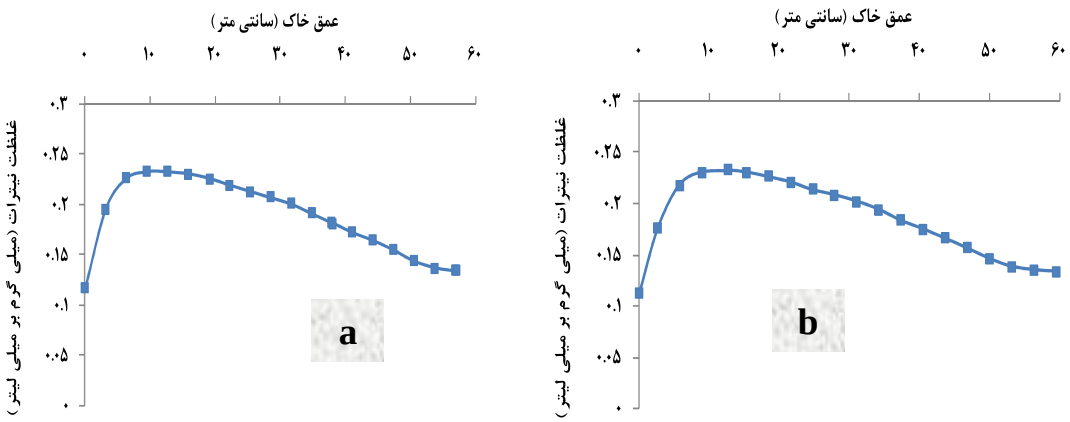


شکل(۴ -۱۱) شبیه سازی تغییرات نیترات با عمق (a) هفتهٔ سوم (b) هفتهٔ چهارم

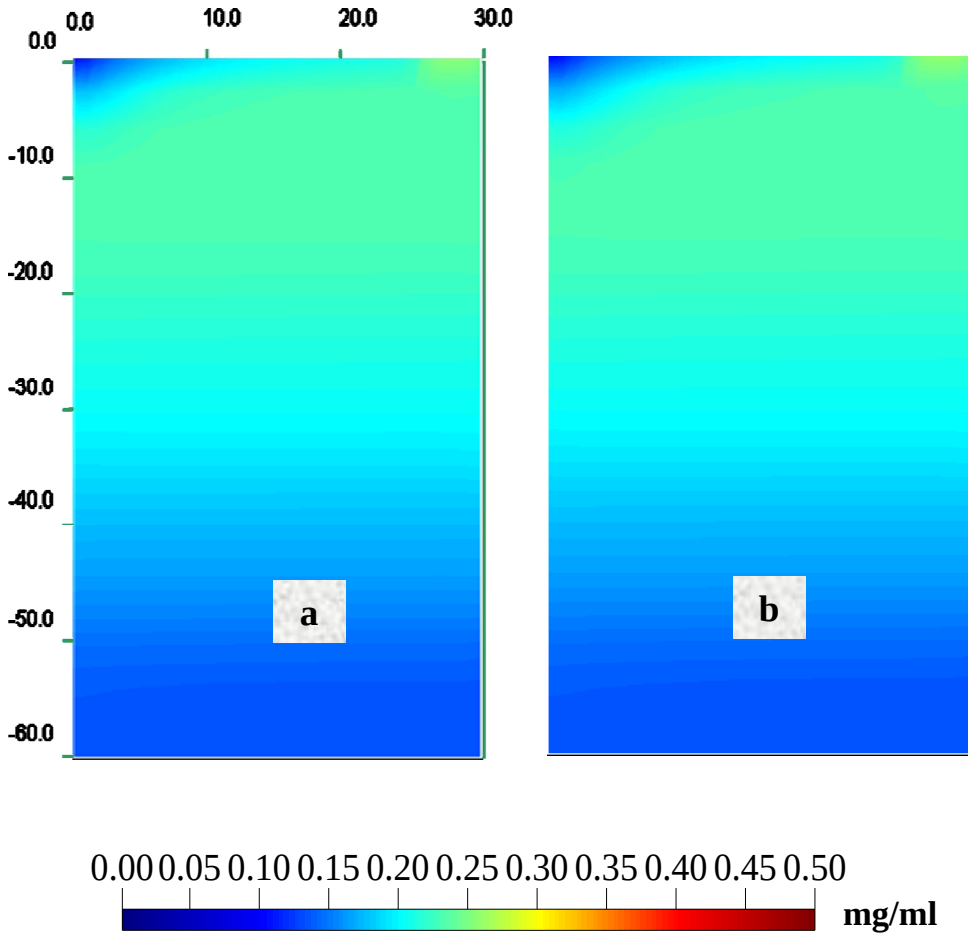
در شکل ۴-۱۲ منحنی ها نشان دهندۀ توزیع عمقی نیترات در ابتدای ماه دوم از دورۀ رویش گیاه هستند. از این شکل پیداست که توزیع عمقی نیترات مشابه با هفته های قبل می باشد، با این تفاوت که سیر صعودی منحنی به مرز ۱۰ سانتی متری عمق خاک رسیده است. اما نکتۀ پر اهمیت در این شکل نیز این است که روند افزایش نیترات از سطح خاک به طرف پایین تدریجی بوده و مقدار آن طوری تنزل نموده است که یک منحنی با شیب ۰/۲۳ درصد را تشکیل داده است و این نکته نشان دهندۀ آن است که مقدار آب شویی رو به کاهش می باشد.

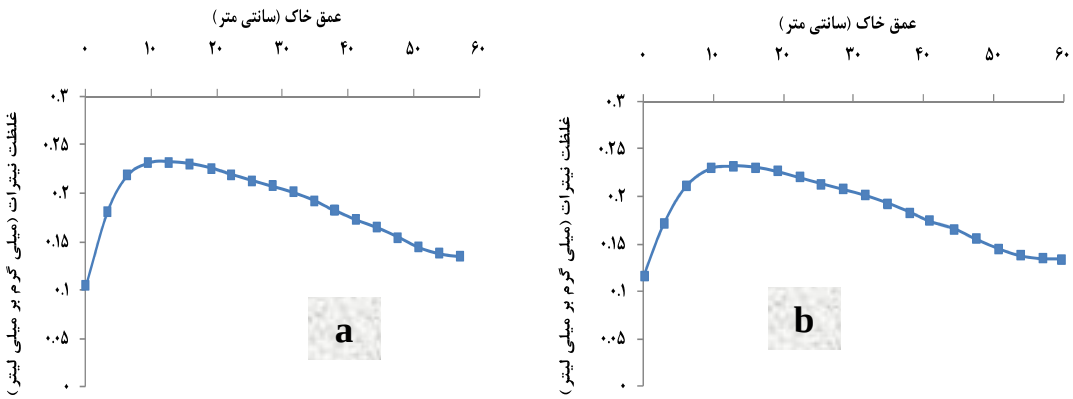
در شکل ۴-۱۳ مشاهده می شود که مقدار نیترات در سطح خاک کاهش و به طرف اعماق (حداکثر تا عمق ۱۰ سانتی متر) افزایش داشته است. در اسپکتروم رنگی نیز نحوۀ گسترش رنگ آبی در محل قطره چکان نشان دهندۀ این یکنواختی در توزیع عمقی نیترات می باشد. مشابه منحنی هفته های گذشته ملاحظه می شود که با توجه به حجم ریشه دوانی گیاه گوجه فرنگی در هفته های مختلف فشار تنظیم شده برای قطره چکان تقریباً منجر به بهترین توزیع عمقی نیترات گشته است و در هر مرحله به خوبی مواد غذایی را در دسترس گیاه قرار داده و مانع از هدر رفت آن شده است. لاله زاری و همکاران (۱۳۸۸) با انجام مطالعات گسترده در دشت شهرکرد به این نتیجه رسیدند که استفاده از روش های آبیاری با راندمان بالاتر مانند آبیاری تحت فشار به منظور جلوگیری از گسترش آب شویی نیترات ضروری می باشد. جلالی (۲۰۰۵) نیز اظهار داشت که بهینه ساختن روش های مدیریتی جهت استفادۀ آب و کاربرد کود نیتروژن در کشاورزی نظیر مدیریت کود آبیاری، یکی از راه های جلوگیری از آلودگی نیترات در محیط یا به حداقل رساندن آن است.





شکل(۴ -۱۲) شبیه سازی تغییرات نیترات با عمق (a) هفتهٔ پنجم (b) هفتهٔ ششم



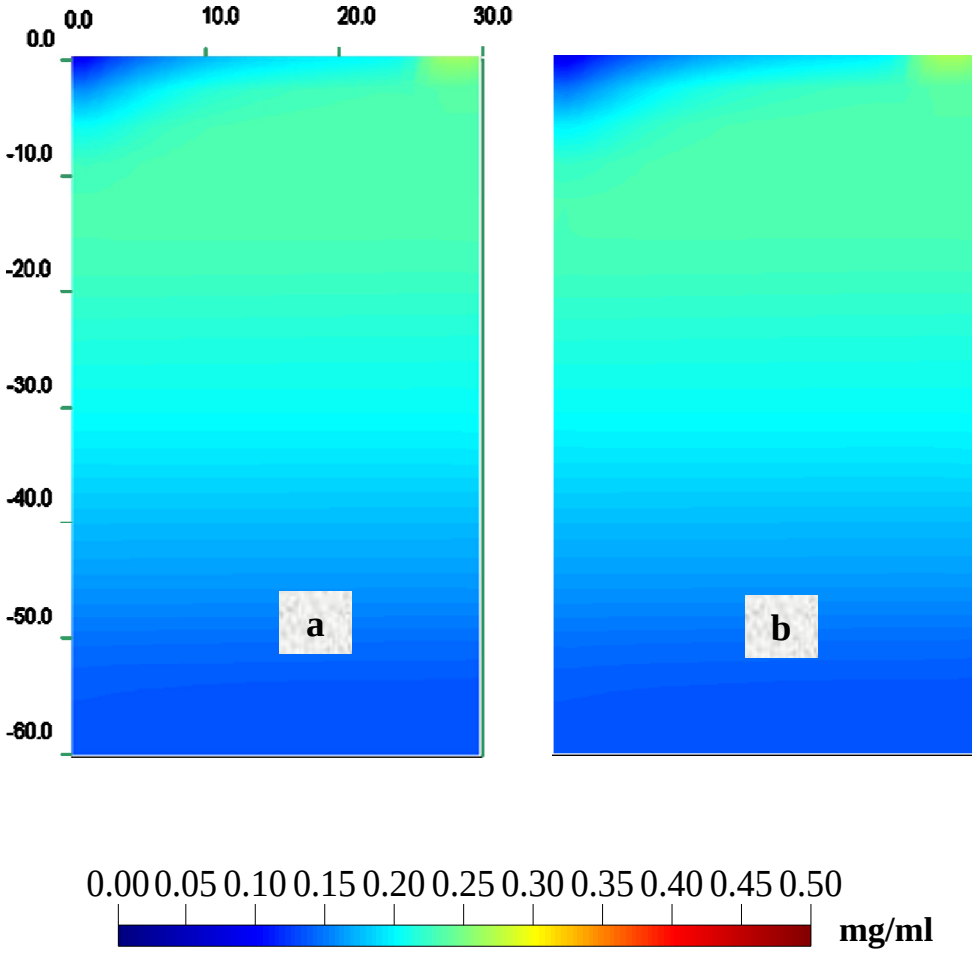


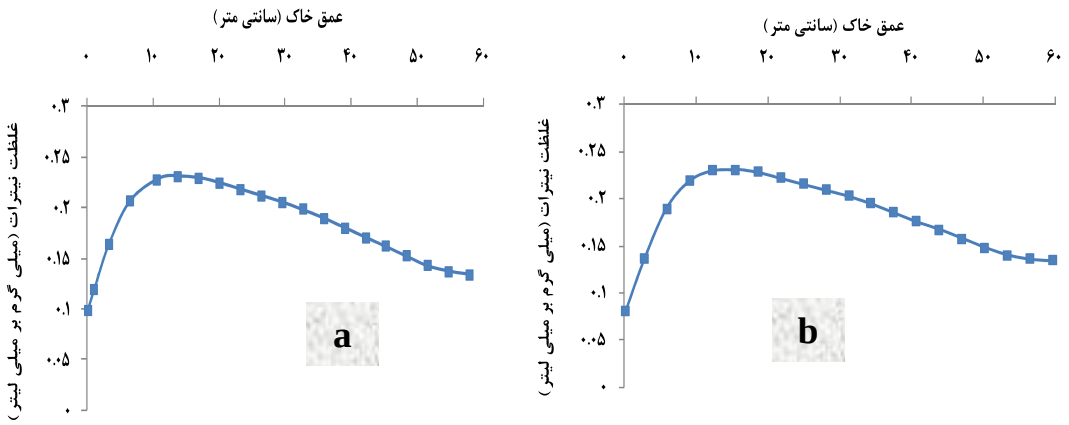
شکل (۴-۱۳) شبیه سازی تغییرات نیترات با عمق (a) هفتهٔ هفتم (b) هفتهٔ هشتم

منحنی و اسپکتروم رنگی شکل ۴-۱۴ توزیع عمقی نیترات را در شروع ماه سوم از دورهٔ رویش گیاه نشان می دهد. گوجه فرنگی به واسطهٔ رشد سریع و دوره رویش طولانی نیاز به تغذیهٔ کافی و به موقع دارد. به طور مثال کمبود ازت در گیاه سبب کاهش جیبرلین ، اکسین و افزایش ممانعت کننده های رشد می شود. کمبود ازت منجر به توقف رشد اندام های هوایی شده و با زرد شدن رنگ برگ های پیر نمایان می شود. اندازه، رنگ، مزه و درصد مواد جامد در میوه در اثر مصرف زیاد ازت کاهش می یابد. به طور کلی ازت زیاد موجب کاهش مقاومت گیاه نسبت به بیماری ها می گردد (جیحونی، ۱۳۸۸).

با توجه به تصاویر موجود در فصل سوم ملاحظه می شود که گیاه گوجه فرنگی در ماه سوم از شادابی، طراوت و رشد کافی برخوردار بوده است، که علت آن وجود نور کافی در این مرحله از دورهٔ رویش و توزیع مناسب و یکنواخت آب و مواد غذایی، خصوصاً ازت، توسط سیستم کود آبیاری می باشد. این گیاه دارای سیستم ریشه ای وسیعی بوده و می تواند حتی تا عمق ۱۵۰ سانتی متری خاک نیز نفوذ نماید، اما به طور کلی ۷۲ درصد از ریشه ها در عمق ۲۰-۰ سانتی متر، ۲۲ درصد در عمق ۵۰-۲۰ سانتی متر و ۶ درصد باقیمانده پایین تر از ۵۰ سانتی متری سطح زمین قرار دارند.

با توجه به این مشخصات شبیه سازی مدل نیز با دورهٔ رویش گیاه در این مرحله مطابقت داشته، به طوری که شیب منحنی نزولی ۰/۲۸ درصد بوده است. همان طور که در شکل ۴-۱۴ دیده می شود به دلیل شدت گرما و تابش نور خورشید در این مرحله از فصل رویش به میزان قابل توجهی کاهش نیترات در سطح خاک مشاهده می گردد. همچنین بخش صعودی منحنی در این هفته ها از مرز ۱۰ سانتی متر گذشته و نسبت به هفته های ابتدایی فصل رویش، حرکت نیترات مطابق با رشد و توسعهٔ ریشه، به سمت ناحیهٔ تراکم ریشه افزایش محسوسی داشته است.





شکل (۴-۱۴) شبیه سازی تغییرات نیترات با عمق (a) هفتهٔ نهم (b) هفتهٔ دهم

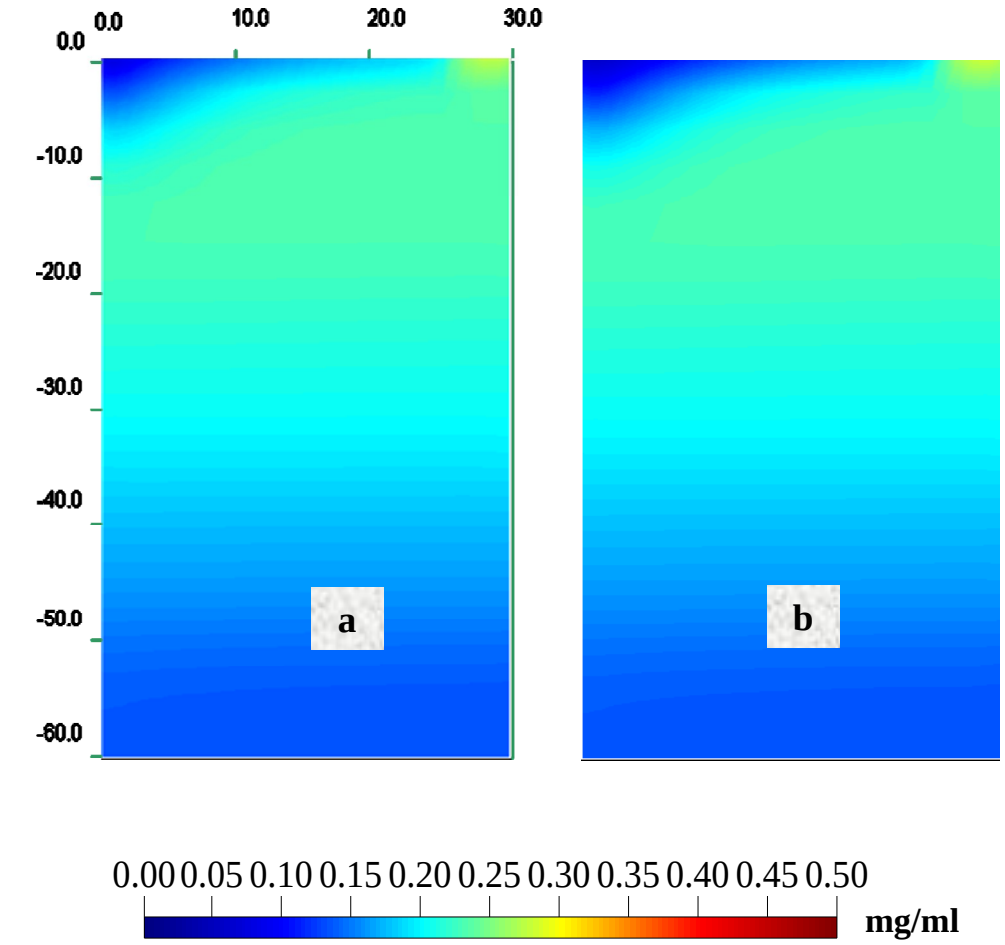
شکل ۴-۱۵ نشان دهندۀ توزیع عمقی نیترات در انتهای ماه سوم، یعنی هفته های یازدهم و دوازدهم از دورۀ رویش گیاه است. اسپکتروم رنگی این شکل نشان می دهد که بیشترین تراکم توزیع مواد غذایی در اطراف بوتۀ گیاه بوده است، که باز هم حاکی از عملکرد خوب سیستم کود آبیاری و فشار مناسب قطره چکان ها می باشد و باعث جلوگیری از اتلاف محلول غذایی در سطوح برهنۀ خاک شده است. همچنین از این شکل واضح است که سیر صعودی منحنی های موجود تا عمق ۱۶ سانتی متر ادامه داشته و کاهش تدریجی نیترات سطح خاک در این هفته ها نیز دیده می شود، به طوری که در هفتۀ دوازدهم این مقدار به ۰/۰۵ میلی گرم بر میلی لیتر رسیده است.

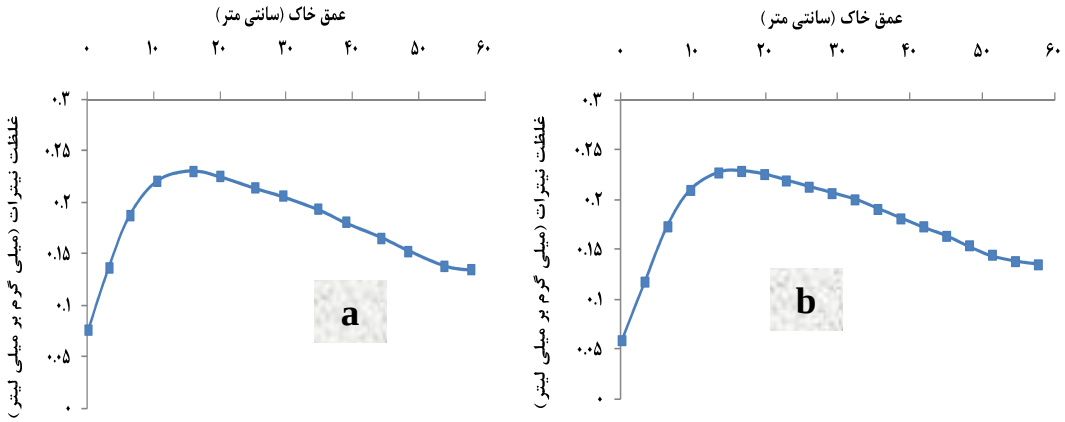
اگر چه در مورد اسپکتروم های رنگی و نمودار ها توضیحات لازم داده شد اما دقت بیشتر روی این اشکال نتایج دیگری را به ارمغان می آورد. به عنوان مثال درصد توسعۀ عمق ریشه دوانی گیاه کاملاً مطابق با توسعۀ برنامۀ کود آبیاری در طول دورۀ رویش گیاه بوده است. جدول ۴-۴ روند تغییرات نقطۀ اوج تجمع نیترات را در منحنی های توزیع عمقی نیترات در خاک نشان می دهد.

جدول (۴-۴) روند تغییرات نقطۀ اوج منحنی های توزیع عمقی نیترات در طول فصل رویش گیاه

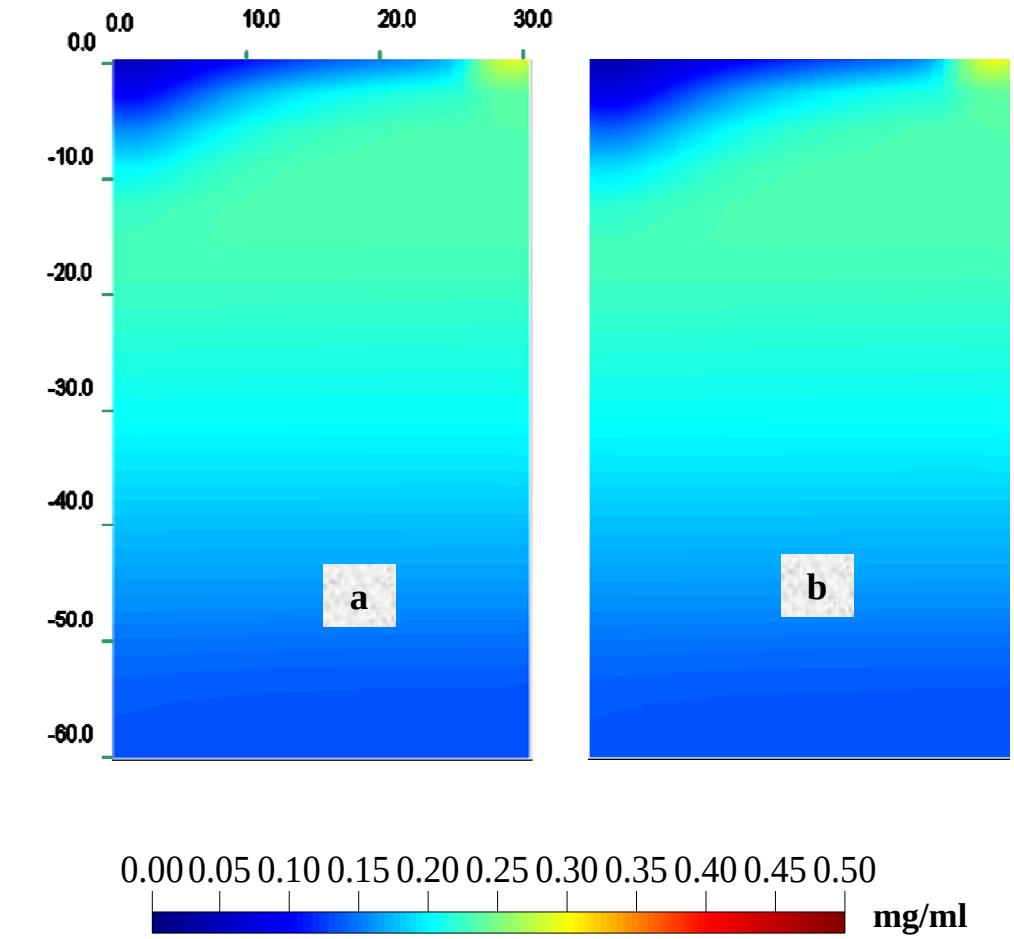
۱۵ روز	اول	دوم	سوم	چهارم	پنجم	ششم	هفتم	هشتم
نقطۀ اوج منحنی (cm)	۶	۸	۱۰	۱۱	۱۲	۱۶	۱۸	۲۰

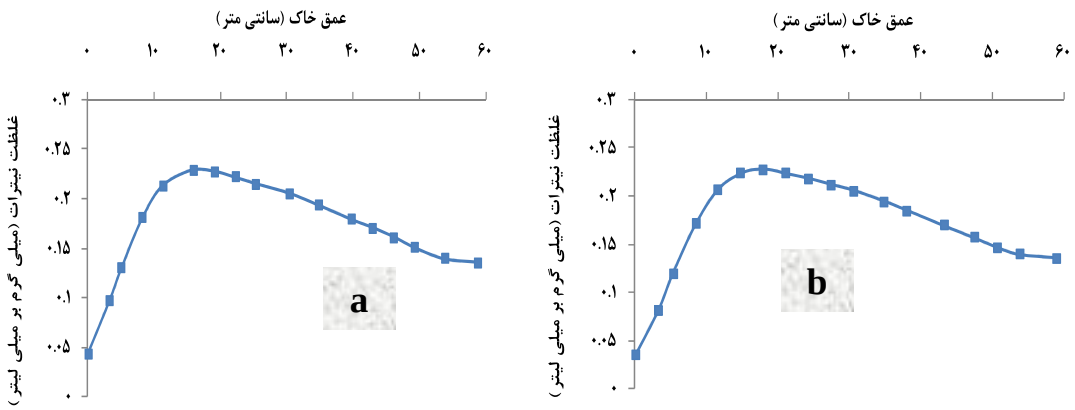
از جدول فوق کاملاً واضح است که تغییرات نقطۀ اوج منحنی های توزیع عمقی نیترات در طی فصل رشد گوجه فرنگی از روند منظمی پیروی کرده است. با توجه به داده های اندازه گیری شده از طول ریشه، میزان توسعۀ ریشه در هفته های ابتدایی حدود ۵ سانتی متر و در هفته های آخر به طور متوسط ۲۲ سانتی متر بوده است. همان طور که اعداد جدول ۴-۴ نشان می دهد میزان رشد ریشه در طول فصل رویش گیاه در مقایسه با مقدار نفوذ نیترات به اعماق در این دوره، بسیار به هم نزدیک می باشد و بنابراین حاکی از آن است که برنامۀ کود آبیاری به بهترین شکل ممکن تنظیم شده و توسط سیستم آبیاری قطره ای اجرا گردیده است.



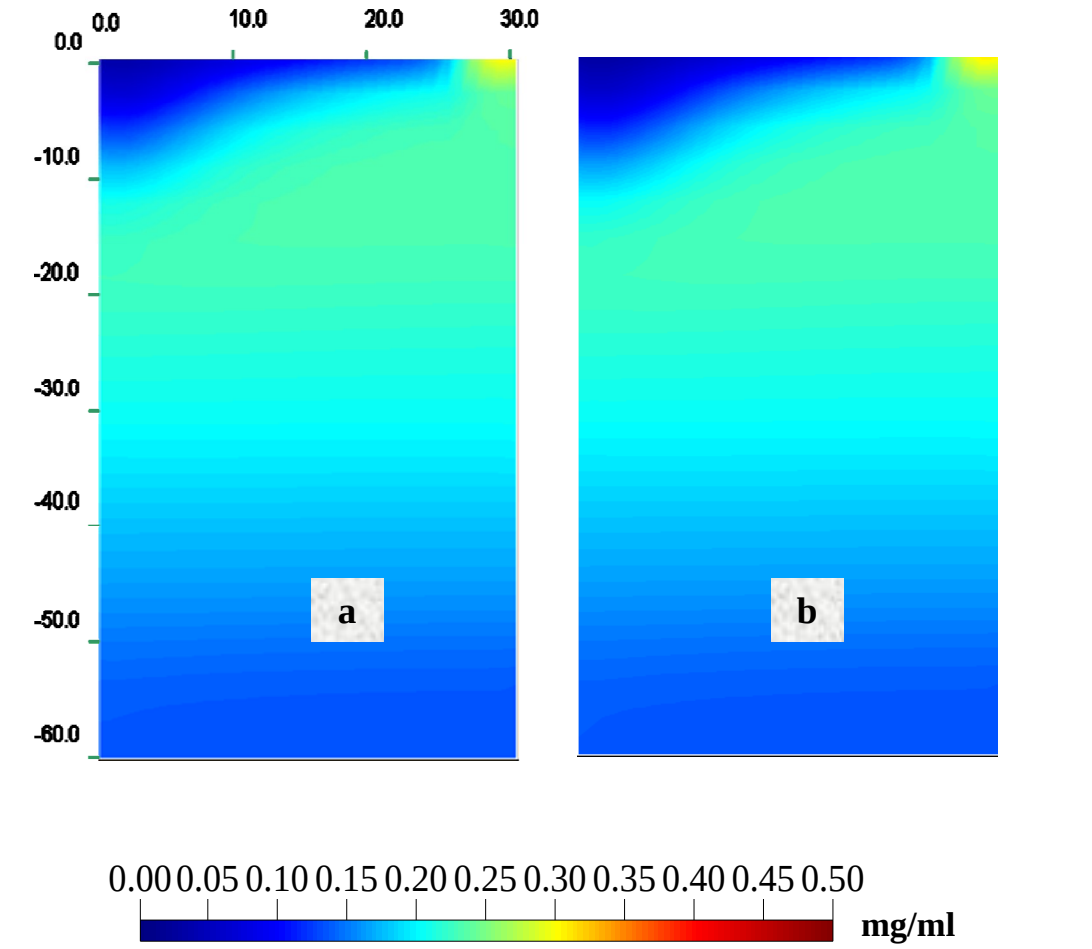


شکل(۴ -۱۵) شبیه سازی تغییرات نیترات با عمق (a) هفتهٔ یازدهم (b) هفتهٔ دوازدهم





شکل (۴-۱۶) شبیه سازی تغییرات نیترات با عمق (a) هفتهٔ سیزدهم (b) هفتهٔ چهاردهم

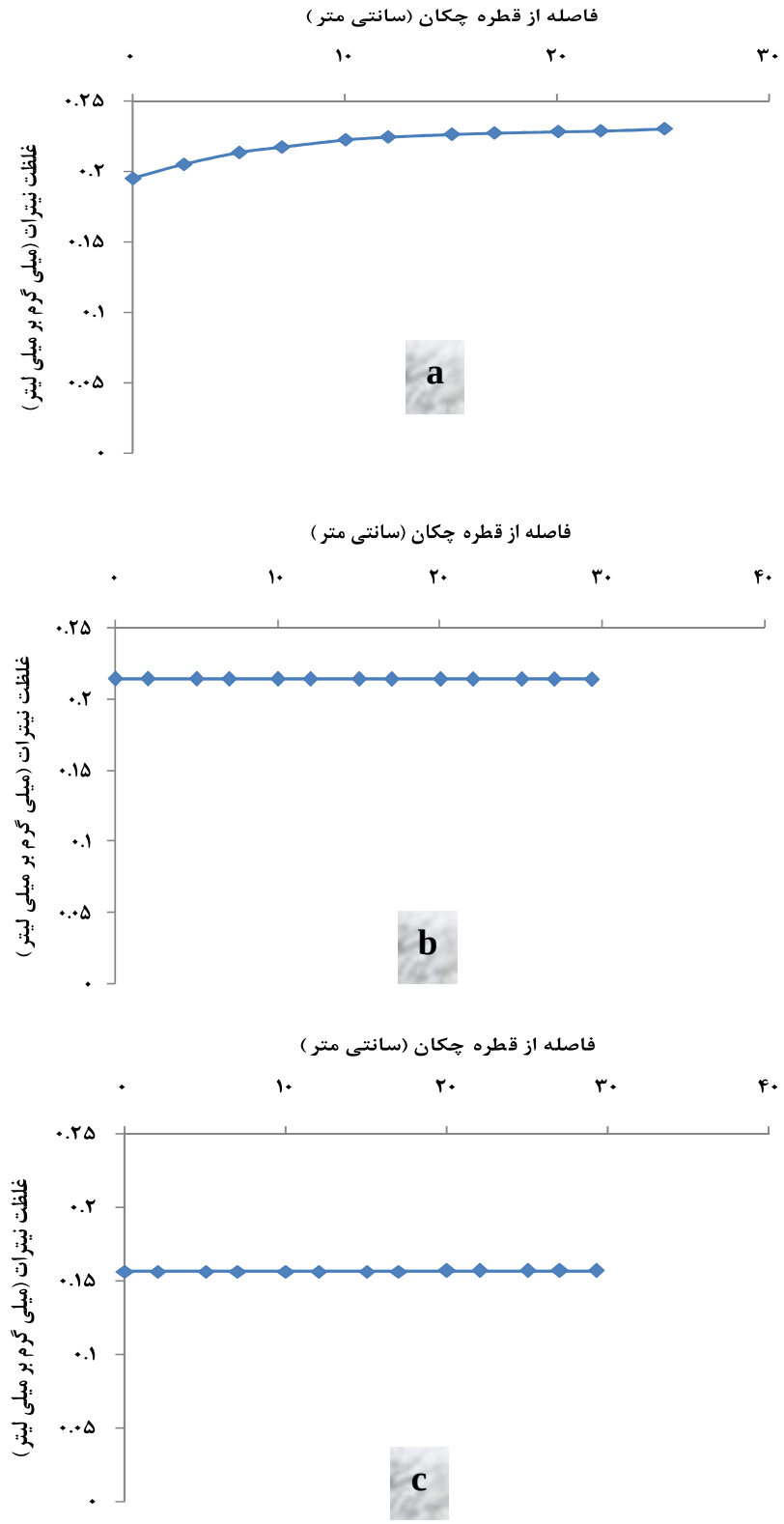


شکل (۴ -۱۷) شبیه سازی تغییرات نیترات با عمق (a) هفتهٔ پانزدهم (b) هفتهٔ آخر

۴-۳-۲- شبیه سازی توزیع افقی نیترات

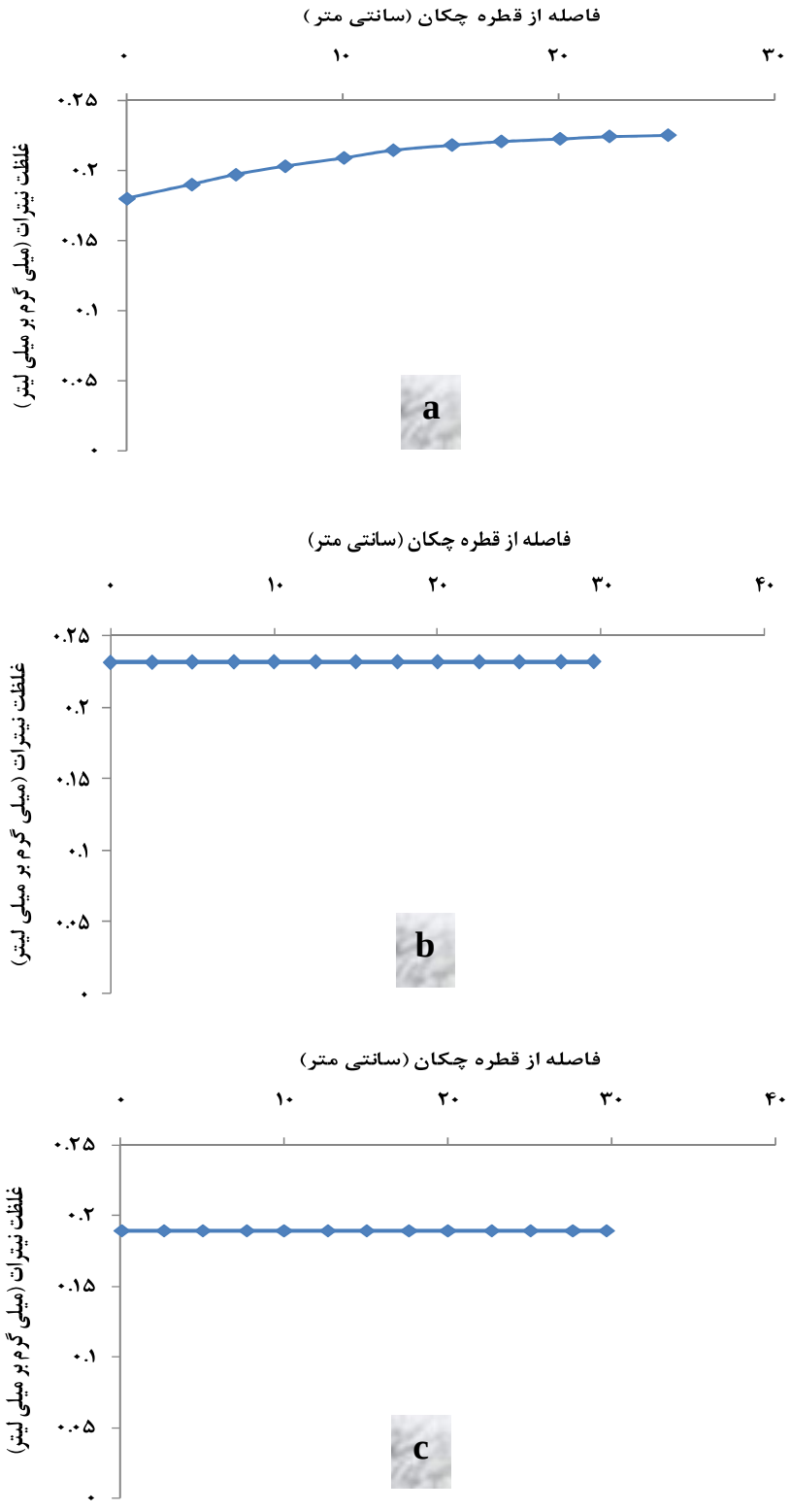
اشکال ۴-۱۸ الی ۴-۲۱ توزیع افقی نیترات را در اعماق و ماه های مختلف از دورهٔ رویش گیاه نشان می دهند. از این اشکال پیداست که در ماه اول در لایهٔ نزدیک به سطح زمین (عمق ۰-۱۰ سانتی متری) توزیع افقی نیترات طوری صورت گرفته که از محل قطره چکان به سمت انتهای شعاع ۳۰ سانتی متری مقدار آن افزایش یافته است. این نوع توزیع می تواند ناشی از حداکثر بودن فشار آب خروجی از قطره چکان در محل نصب و نحوهٔ پیشرفت پیاز رطوبتی و نیز خاصیت کاپیلاری باشد. البته همان طور که ملاحظه می گردد میزان انحراف نمودار در حدی است که قابل اغماض می باشد. از آن جا که قطره چکان در نزدیکی بوتهٔ گیاه قرار داشته است شبیه سازی توزیع افقی مدل منطقی می باشد. در لایه های دیگر ملاحظه می شود که توزیع افقی ثابت بوده و از یکنواختی نسبتاً بالایی برخوردار می باشد.

نکتهٔ حائز اهمیت دیگر در اشکال مذکور این است که تغییرات تمرکز نیترات با توسعهٔ رشد گیاه افزایش نشان می دهد به طوری که در کلیهٔ سطوح این رفتار مشاهده می شود. مقدار نیترات از ۰/۲۳ میلی گرم در میلی لیتر در لایه های سطحی به ۰/۱۳ میلی گرم در میلی لیتر در عمق ۶۰-۵۰ سانتی متر رسیده است که این مورد در هر چهار ماه از دورهٔ رویش گیاه تکرار شده است. از این نحوهٔ توزیع نیز کاملاً پیداست که بیشترین تمرکز نیترات در عمق توسعهٔ ریشهٔ گیاه بوده و با فاصله از قطره چکان یکنواختی آن حفظ شده است که طبیعتاً بیان گر عملکرد مناسب سیستم کود آبیاری می باشد. آسفا و چن (۲۰۰۸) با استفاده از مدل Hydrus-2D حرکت افقی نیترات را در دو روش کود دهی کرتی و تزریق کود مایع در سیستم کود آبیاری شبیه سازی کرده و به نتایج مشابه دست یافتند.



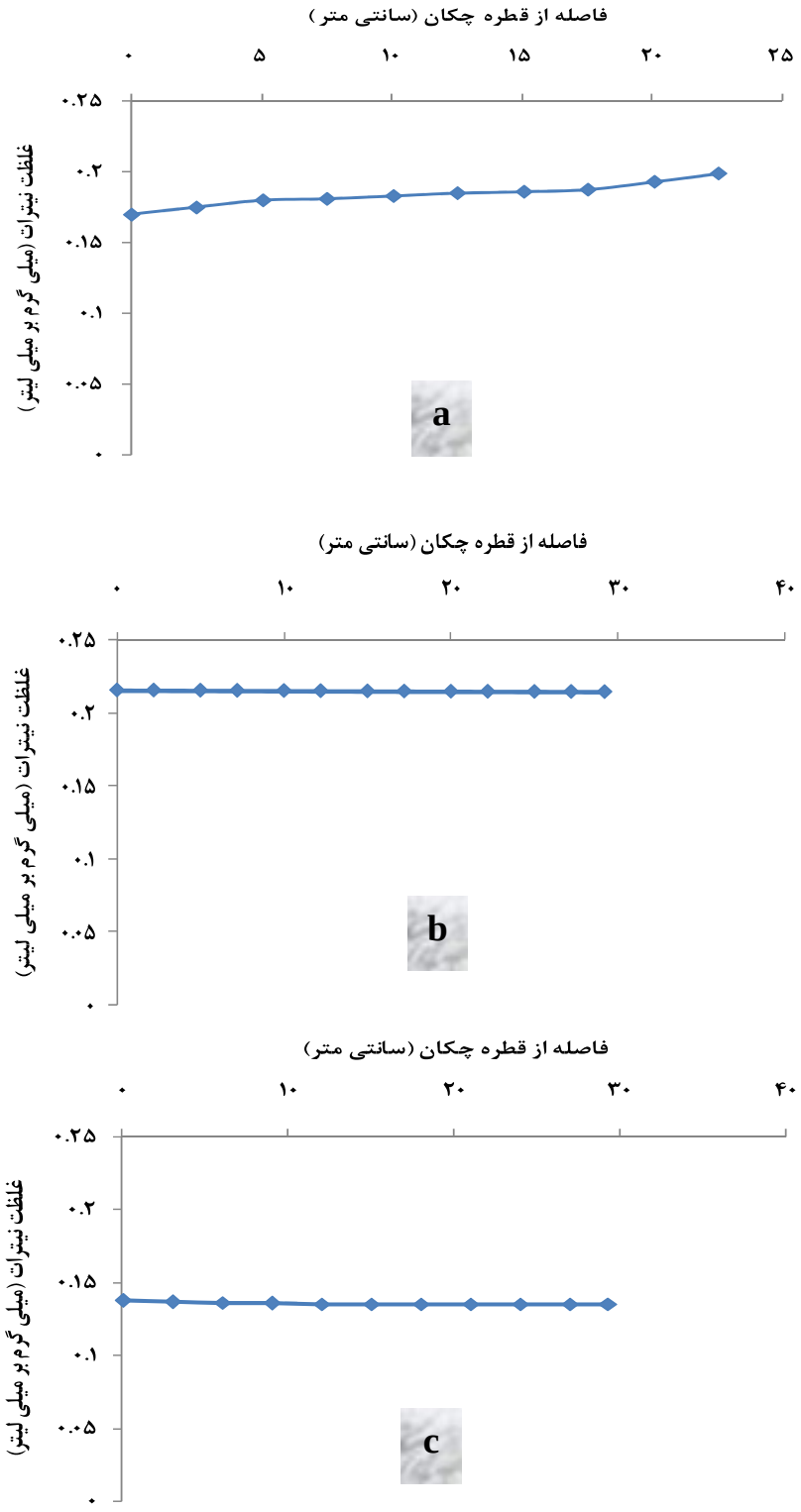
شکل (۴-۱۸) نمودار تغییرات افقی غلظت نیترات در ابتدای ماه اول

(a) عمق ۱۰-۰ سانتی متر (b) عمق ۳۰-۲۰ سانتی متر (c) عمق ۵۰-۴۰ سانتی متر



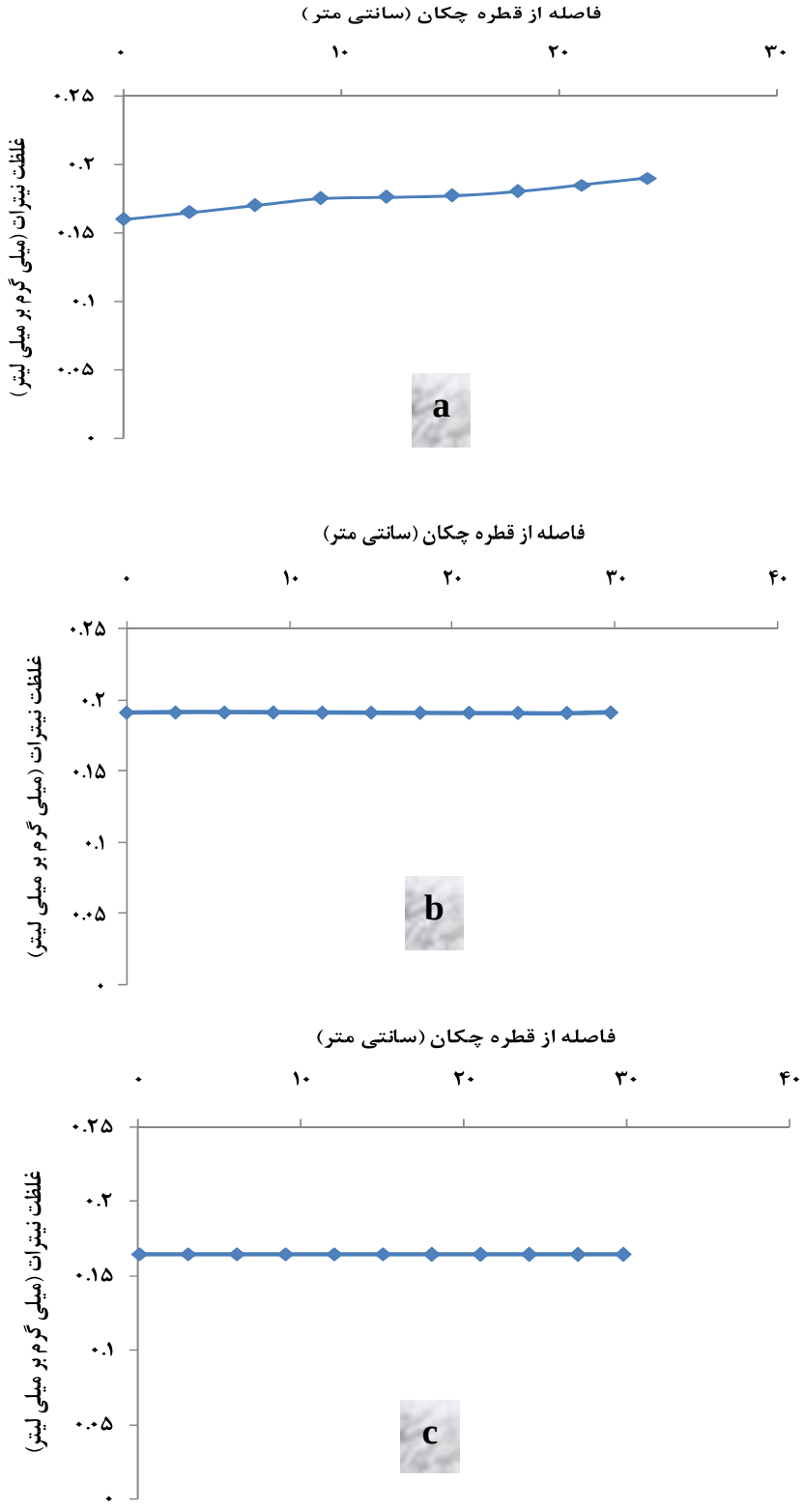
شکل (۴ -۱۹) نمودار تغییرات افقی غلظت نیترات در ابتدای ماه دوم

(a) عمق ۱۰ -۰ سانتی متر (b) عمق ۲۰ -۱۰ سانتی متر (c) عمق ۴۰ -۳۰ سانتی متر



شکل (۴-۲۰) نمودار تغییرات افقی غلظت نیترات در ابتدای ماه سوم

(a) عمق ۱۰-۰ سانتی متر (b) عمق ۳۰-۲۰ سانتی متر (c) عمق ۶۰ ۵۰ سانتی متر

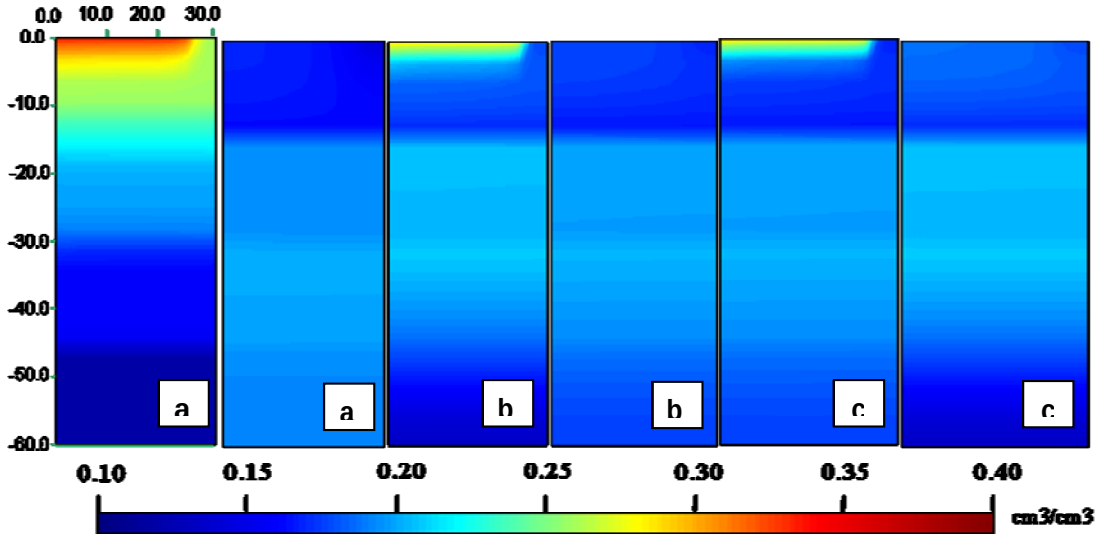


شکل (۴-۲۱) نمودار تغییرات افقی غلظت نیترات در ابتدای ماه چهارم

(a) عمق ۱۰-۰ سانتی متر (b) عمق ۴۰-۳۰ سانتی متر (c) عمق ۵۰-۴۰ سانتی متر

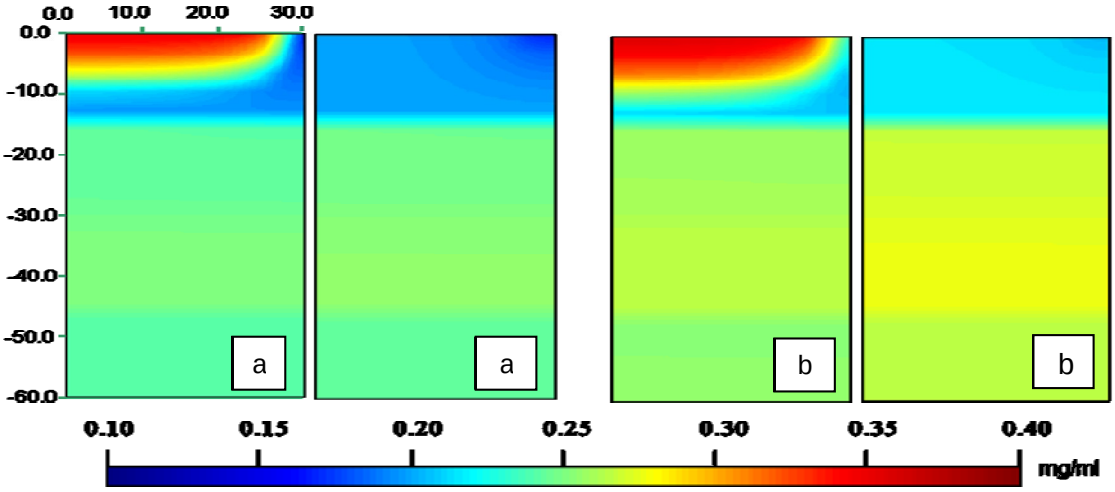
۴ -۳ -۳ - شبیه سازی انتقال عمودی آب و نیترات

شکل ۴-۲۲ چگونگی انتقال آب را به اعماق پایین خاک در طول دورهٔ رویش گیاه نشان می دهد. همان طور که ملاحظه می شود در قسمت a شبیه سازی مدل حاکی از آن است که در ماه اول به علت این که تراکم ریشه زیاد نبوده انتقال آب به عمق های پایین سریع تر صورت گرفته است در حالی که در بخش b که مربوط به ابتدای ماه دوم می باشد عمدتاً تمرکز آب در ناحیهٔ میانی دیده می شود. همچنین از اسپکتروم رنگی قسمت c پیداست که تمرکز حداکثر مقدار آب در لایهٔ میانی بیشتر از ماه دوم می باشد.



شکل (۴ -۲۲) نحوهٔ انتقال آب به اعماق خاک در طول دورهٔ رویش گیاه
(a) ماه اول (b) ماه دوم (c) ماه سوم

همچنین انتقال نیترات به اعماق پایین خاک در ماه اول و سوم از روی شبیه سازی های مدل در شکل ۴-۲۳ قابل رؤیت می باشد. در این شکل نیز انتقال سریع نیترات از لایهٔ میانی در ماه اول مشاهده می شود (a)، در حالی که در ماه سوم یعنی زمان حداکثر رشد و توسعهٔ ریشه بخش عمدهٔ نیترات در لایهٔ وسط تمرکز یافته است (b). مجموع نتایج بیان گر این مطلب است که روند حرکت آب و املاح در اعماق مختلف متناسب با توسعهٔ ریشه بوده و توزیع آن ها به درستی صورت گرفته است.



شکل (۴-۲۳) نحوهٔ انتقال نیترات به اعماق خاک در طول دورهٔ رویش گیاه
(a) ماه اول (b) ماه سوم

۴-۳-۴- شبیه سازی حجم آب زهکشی شده و نیترات آب شویی شده

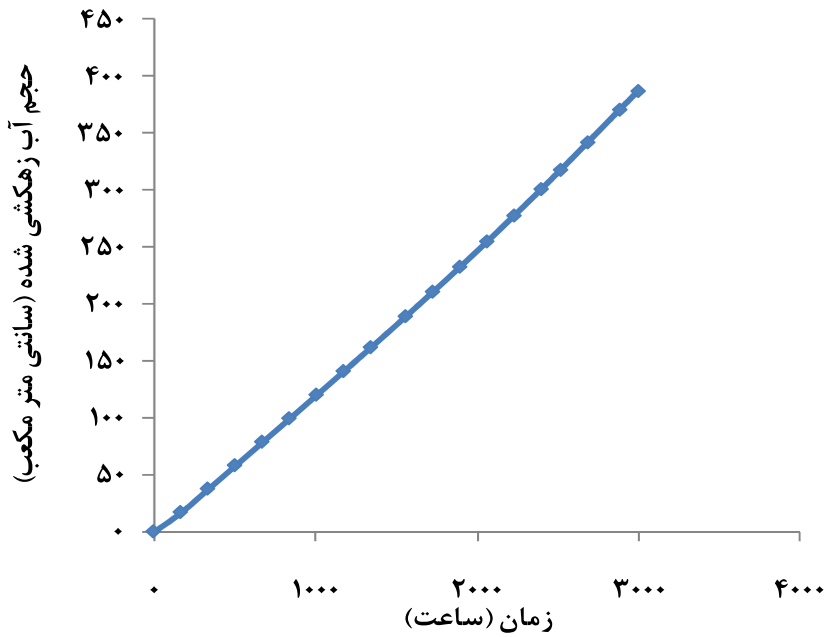
یکی از توانایی های بسیار بالای مدل Hydrus-2D این است که میزان آب زهکشی شده از زیر ناحیهٔ ریشهٔ گیاه و همچنین مقدار املاح آب شویی شده از این ناحیه را به طور دقیق برآورد می کند. شکل ۲۴-۴ نشان می دهد که در کل دورهٔ رویش گیاه که ۵ ماه یا حدود ۳۰۰۰ ساعت بوده است، مجموعاً ۳۸۶/۳۷ سانتی متر مکعب آب به زیر ناحیهٔ ریشه، که لایهٔ پایین تر از عمق مدل سازی شده می باشد، (پایین تر از ۶۰ سانتی متر) زهکشی گردیده است. از آنجا که از هر قطره چکان سیستم کود آبیاری در طول دورهٔ رویش جمعاً ۱۳۲۴۹۵ سانتی متر مکعب آب وارد خاک گردیده است، نسبت آب خروجی از بخش پایین محیط مدل شده به حجم آب ورودی ۰/۰۰۳ و یا به عبارتی ۰/۳ درصد آن می باشد. این درصد آب زهکشی با توجه به نوع خاک بسیار پایین بوده و بیان گر تمرکز و توزیع درصد بالایی از آب، در بخش های فوقانی محیط مدل شده می باشد.

به طور مشابه، شکل ۲۵-۴ مجموع نیترات آب شویی شده به زیر ناحیهٔ ریشهٔ گیاه را در کل دورهٔ رویش گیاه نشان می دهد که این مقدار برابر ۵۱/۵ میلی گرم می باشد. در طول دورهٔ رشد گیاه ۱۰۴۸۰۰۰ میلی گرم کود اوره به صورت محلول توسط سیستم کود آبیاری به کرت ۸۰٪ تزریق شده

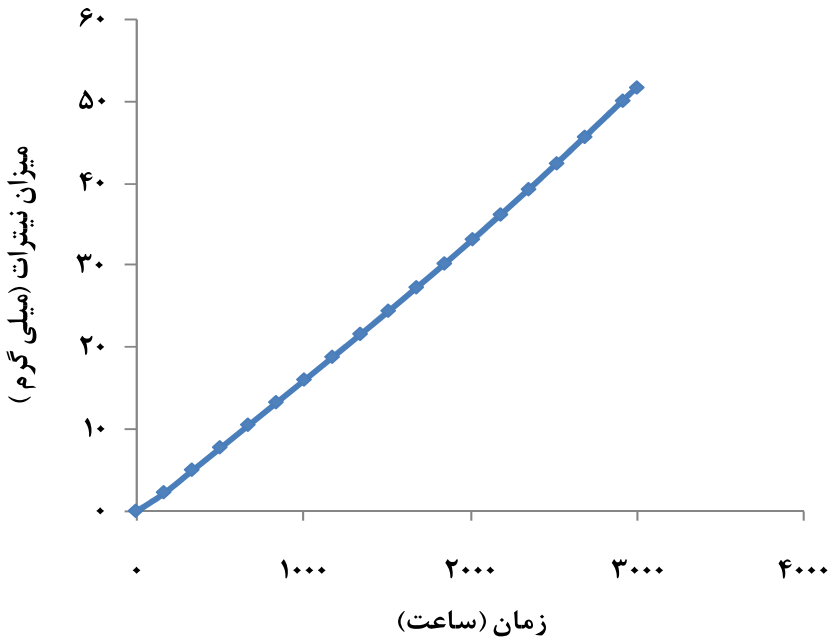
است که با توجه به درصد کود اوره تجاری (۴۶٪) ۴۸۲۰۸۰ میلی گرم نیتروژن وارد این کرت شده است. با توجه به اعداد به دست آمده مقدار نیترات حاصل از هر قطره چکان در این کرت ۱۵۶۶/۷۶ میلی گرم بوده است. همان طور که ملاحظه می کنیم مقدار نیترات آب شویی شده به زیر ناحیهٔ ریشه ۳/۲۹ درصد کل نیترات مصرفی برای کرت ۸۰٪ بوده است. به عبارت دیگر بیش از ۹۶/۷ درصد از نیترات در بخش های بالایی محیط مدل شده تمرکز یافته و مقدار بسیار ناچیزی از آن آب شویی شده است. قیصری و همکاران (۱۳۸۵) نیز جهت حل مشکل آب شویی نیترات و کنترل تلفات نیتروژن، مدیریت آبیاری توأم با مدیریت کود تحت عنوان مدیریت کود آبیاری را توصیه کردند. چقا و قائمی (۱۳۸۷) به این نتیجه رسیدند که کاربرد سیستم های آبیاری تحت فشار نظیر بارانی و به همراه مدیریت کود آبیاری در کشاورزی نقش موثری بر کاهش آبشویی نیتروژن و به تبع آن کاهش آلودگی آب های زیر زمینی دارد.

با توجه به قابلیت مدل برای شبیه سازی حرکت آب و مواد مغذی در حالات و شرایط مختلف، مشابه شبیه سازی های فوق، برای خاک لوم شنی نیز تکرار گردید و نتایج آن در شکل های ۴-۲۶ و ۴-۲۷ آمده است. همان طور که در شکل ۴-۲۶ مشاهده می شود با توجه به شبیه سازی صورت گرفته، کل مقدار آبی که در طول فصل رشد از زیر ناحیهٔ ریشه در خاک لوم شنی زهکشی می شود برابر با ۱۵۲۰ سانتی متر مکعب خواهد بود که این عدد ۱/۱۵ درصد میزان آبی است که در این ۳۰۰۰ ساعت از هر قطره چکان به خاک وارد شده است. آنالیز عددی شکل ۴-۲۷ نیز نشان می دهد که طبق شبیه سازی مدل، تنها ۲۰۵ میلی گرم یا به بیان دیگر ۱۳/۱ درصد از کل نیترات به کار رفته در کرت ۸۰٪ در این دورهٔ ۵ ماهه، به زیر ناحیهٔ ریشه آب شویی خواهد شد.

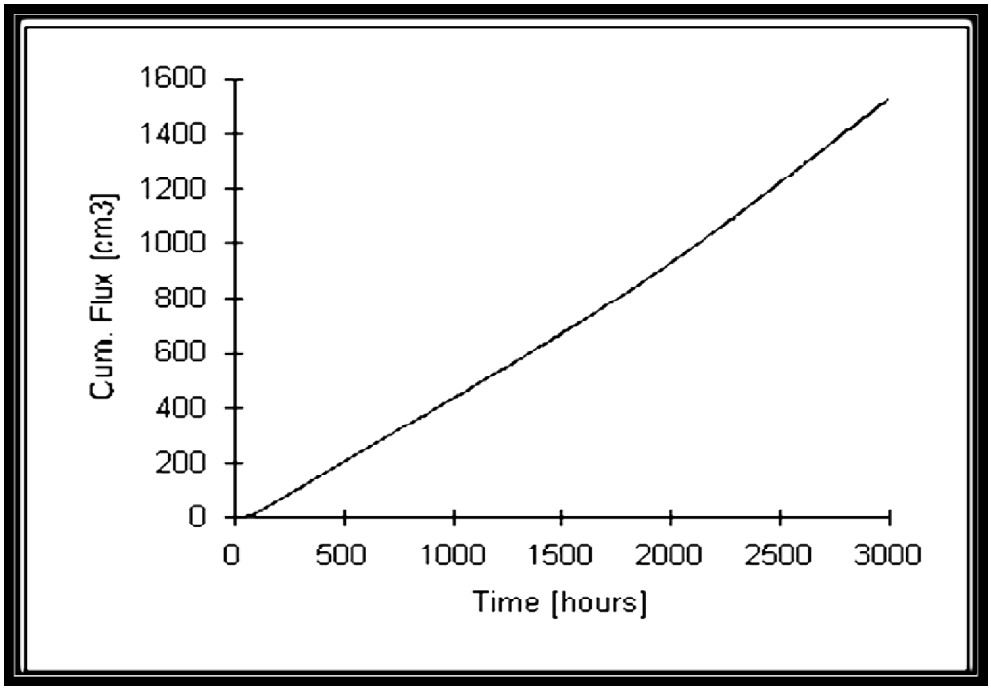
نتایج بدست آمده از این اشکال حاکی از این نکتهٔ مهم است که علی رغم این که بافت خاک نسبتاً درشت می باشد، ولی باز هم مقدار آب خروجی از زیر ناحیهٔ ریشه و محیط مدل شده و همچنین میزان نیترات آب شویی شده به طور قابل ملاحظه ای پایین می باشد.



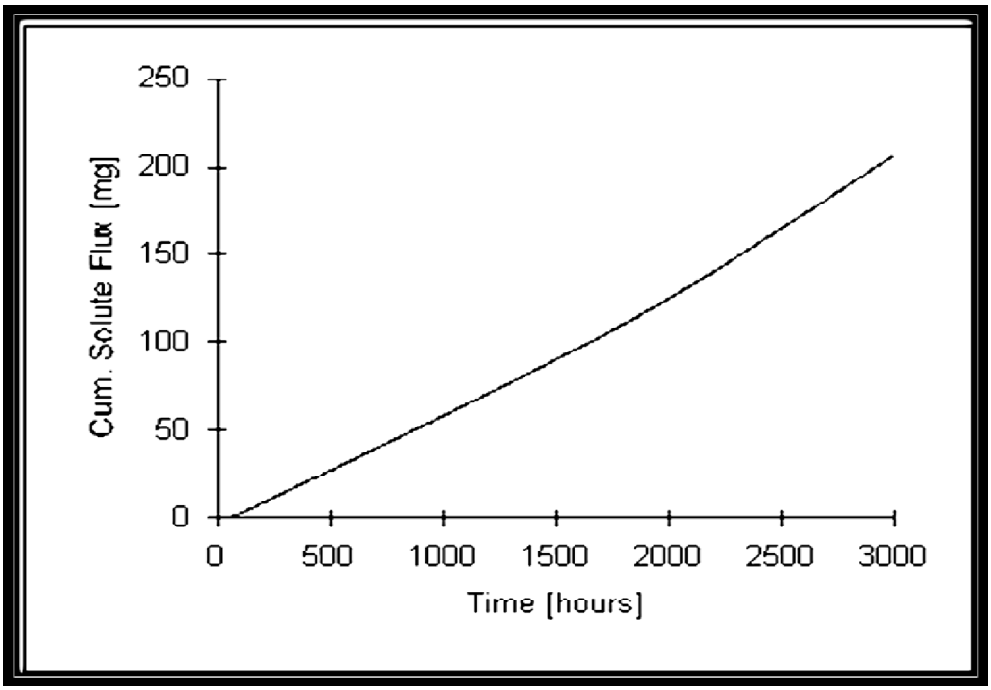
شکل (۴-۲۴) شبیه سازی حجم آب زهکشی شده در کل دورهٔ رویش گیاه در خاک محل تحقیق



شکل (۴-۲۵) شبیه سازی حجم نیترات آب شویی شده در کل دورهٔ رویش گیاه در خاک محل تحقیق



شکل (۴ -۲۶) شبیه سازی حجم آب زهکشی شده در طول دورهٔ رویش گیاه در خاک لوم شنی



شکل (۴ -۲۷) شبیه سازی حجم نیترات آب شویی شده در طول دورهٔ رویش گیاه در خاک لوم شنی

فصل پنجم

نتیجه گیری و پیشنهادات

۵-۱ - نتیجه گیری

بسیاری از محققین از جمله جلالی و راول (۲۰۰۳)، استوارت و همکاران (۲۰۰۵)، کنراد و فوهرر (۲۰۰۹)، آنگلوپولوس و همکاران (۲۰۰۹)، ناصری و علیجانی (۱۳۸۶) و لاله زاری و همکاران (۱۳۸۸) به این نتیجه رسیدند که استفادۀ گسترده و بی رویه از کودهای ازته که بیش از نیاز واقعی گیاه است، از مهمترین عوامل آبشویی نیترات از پروفیل خاک و آلودگی آب های سطحی و زیر زمینی به نیترات می باشد. جهت رفع یا تعدیل این مشکل، در تحقیق حاضر از سیستم آبیاری قطره ای به همراه مدیریت کود آبیاری استفاده گردید. مجموع نتایج حاصل از تحقیق اعم از عملکرد های پارامتر های رویشی گیاه، واسنجی و صحت سنجی مدل و شبیه سازی های مختلف آن در مورد توزیع عمقی و افقی نیترات در طول دورۀ رویش گیاه و همچنین نتایج حاصل از مقدار انتقال نیترات به لایه های پایین تر از منطقۀ توسعۀ ریشۀ گیاه، نکات قابل توجهی را نشان می دهد.

اولاً عملکرد گیاه در منطقۀ مورد مطالعه در سیستم کود آبیاری نتایج کم نظیری را نشان داد. دوماً سایر پارامترهای رویشی اعم از بازدۀ مصرف نیتروژن و بازدۀ مصرف آب در مطلوب ترین مقدار خود بوده اند، به طوری که تأثیر آن ها بر عملکرد گیاه بسیار قابل توجه بوده است.

نکتۀ حائز اهمیت دیگر این است که در تحقیق حاضر استراتژی کود آبیاری قبل از آبیاری به کار گرفته شد. سیستم کود دهی همیشه ۱۰ دقیقه قبل از آبیاری و به صورت هفتگی اعمال می شد. مقایسه این استراتژی با شیوه های دیگر سیستم کود دهی حاکی از آن است که در این روش درصد موفقیت بالاتر می باشد. در مجموع نتایج نهایی حاصل از تحقیق را می توان به صورت زیر خلاصه نمود :

الف) عملکرد گیاه انتخابی در سیستم کود آبیاری نسبت به آبیاری کرتی در محل تحقیق ۳۰ درصد و نسبت به منطقۀ بسطام ۱۱۶ درصد افزایش داشته است.

ب) نتایج حاصل از واسنجی مدل Hydrus-2D با داده های توزیع رطوبت در خاک در مراحل مختلف رشد گیاه نشان داد که مقادیر حاصل از شبیه سازی مدل با مقادیر اندازه گیری شده تفاوت چشم گیری را نشان نمی دهد و درجهٔ رگرسیون دو پارامتر با ۰/۹۶۳ = R^2 تأیید می شود.

ج) خروجی های بخش صحت سنجی مدل نیز که با داده های دراز مدت دورهٔ رویش گیاه به دست آمده است، حاکی از آن بود که مدل در دوره های طولانی مدت نیز عملیات شبیه سازی حرکت آب و انتقال املاح را به درستی انجام می دهد.

د) شبیه سازی توزیع عمقی نیترات با مدل مربوطه نشان داد که توزیع این ماده در مراحل مختلف دورهٔ رشد گیاه از یک منحنی بسیار ایده آل تبعیت می کند، طوری که در یک سیستم پیشرفته می توان انتظار چنین منحنی را داشت. روند تغییرات این منحنی طوری بود که از سطح خاک تا ناحیهٔ توسعهٔ ریشه در هفته های مختلف سیر صعودی داشته و پس از رسیدن به یک حداکثر سیر نزولی را طی کرده است و این رفتار در کلیهٔ مراحل دورهٔ رشد تکرار گردیده است.

ه) با توجه به نتایج شبیه سازی توزیع عمقی نیترات ملاحظه می گردد که نقطهٔ اوج منحنی های مربوطه در هفتهٔ آخر نسبت به هفتهٔ اول حدود ۳۰ درصد افزایش داشته که تقریباً مطابق با درصد افزایش عمق ریشه دوانی در این هفته ها بوده است.

و) از دیگر نتایج ارزندهٔ مدل سازی این بود که مقدار آب زهکشی شده از زیر ناحیهٔ ریشه در کل دورهٔ رویش گیاه، توسط مدل با دقت برآورد گردید که مقدار آن ۳۸۶/۳۷ سانتی متر مکعب بود و این مقدار معادل تنها ۰/۳ درصد کل آب توزیع شده می باشد.

ز) همچنین مقدار نیترات آب شویی شده از زیر ناحیهٔ ریشه در طول فصل رشد به وسیلهٔ مدل به دست آمد که مقدار آن ۳/۲۹ درصد کل نیترات مصرفی در کرت ۸۰٪ بوده و به این معنی است که در طول دورهٔ رویش گیاه ۹۶/۷ درصد از کل نیترات توزیع شده در ناحیهٔ ریشه تمرکز یافته است.

ح) استراتژی آبیاری ۴۸ ساعته، کود آبیاری هفتگی و سیستم کود دهی ۱۰ دقیقه قبل از آبیاری در هر هفته، روشی کاملاً مناسب برای توزیع کودِ محصول گوجه فرنگی در منطقهٔ مورد مطالعه تشخیص داده شد.

۵- ۲ - پیشنهادات

با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق و سایر گزارشات مرتبط با موضوع موارد ذیل پیشنهاد می شود :

الف) نتایج این آزمایش در طول یک سال زراعی حاصل شده است، لذا جهت احراز نتایج قطعی تر لازم است تا این آزمایش در سال های آتی نیز تکرار گردد.

ب) با توجه به عملکرد گیاه گوجه فرنگی تحت سیستم کود آبیاری و همچنین نتایج کاملاً رضایت‌بخش در زمینهٔ میزان زهکشی آب و آب شویی نیترات از زیر ناحیهٔ ریشهٔ گیاه، توصیه می شود با اعطای تسهیلات لازم به کشاورزان جهت نصب سیستم آبیاری تحت فشار قطره ای و توجیه و آموزش آن ها برای برنامه ریزی صحیح و رفع معایب احتمالی سیستم، راه برای استفادهٔ هر چه گسترده تر از این گونه سیستم های کشت هموار گردد.

ج) در این تحقیق از کود اوره به عنوان منبع نیتروژن استفاده شد، به کار گیری سایر منابع تأمین کنندهٔ نیتروژن به منظور مقایسه نتایج، توصیه می گردد.

د) همچنین پیشنهاد می شود جهت اطمینان بیش تر از کارایی این مدل و نظایر آن، سناریو های شبیه سازی شده توسط مدل طی سال های آینده به صورت عملی در زمین زراعی اجرا گردد.

ه) پیشنهاد می شود تسهیلات لازم جهت انجام پروژه های مشابه با محصولات مختلف از طریق مدل سازی و مقایسه با مدل های گوناگون، از سوی مراکز آموزش و پژوهش و نیز مجریان بخش کشاورزی بیش از پیش فراهم گردد.

منابع مورد استفاده

اخوان، س. موسوی، س.ف. عابدی کوپایی، ج. عباسپور، ک. و زیبازاده، م. ۱۳۸۹. "بررسی سناریوهای مختلف مدیریتی به منظور کاهش آب شویی نیترات با استفاده از مدل SWAT." چهارمین همایش تخصصی مهندسی محیط زیست.

اژدری، خ. ۱۳۸۷. "شبیه سازی توزیع رطوبت درخاک در سیستم آبیاری قطره ای با استفاده از مدل HYDRUS-2D". مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی– جلد پانزده– شماره اول، ص ۱۴-۱.

اژدری، خ. ۱۳۸۶. "کاربرد مدل کامپیوتری HYDRUS-2D در مدیریت منابع آب". سومین کنفرانس سراسری آبخیزداری و مدیریت منابع آب، کرمان.

اژدری، خ. فرخی، ا. و زارع ابیانه، ح. ۱۳۸۸. " مطالعهٔ تغییرات کود نیتروژن و رطوبت در مزرعه‌ای مجهز به سیستم کود آبیاری قطره‌ای." اولین کنفرانس بین المللی مدیریت منابع آب.

بهتاش، ف.، مسیحا، س.، و ملکوتی، م. ۱۳۸۰. "بررسی اثر مقادیر مختلف کود شیمیایی اوره در تجمع نیترات در اندام های قابل مصرف اسفناج و جعفری". مجلهٔ علوم و فنون باغبانی ایران جلد ۲ شماره های ۳ و ۴ صفحه های ۱۵۵ تا ۱۶۰.

جعفری، س. الهامی فرد، م. نادیان، ح. شینی دشتگل، ع. و گرجی زاده، م. ۱۳۸۶."مطالعهٔ لایسیمتری اثرات سطوح مختلف کود اوره بر عملکرد کمی و کیفی نیشکر و تغییرات غلظت نیترات و آمونیوم در خاک و زه آب". دهمین کنگرهٔ علوم خاک ایران.

جیحونی، م. ۱۳۸۸. "نشریهٔ فنی گوجه فرنگی." شمارهٔ ۲، تیراژ ۱۰۰۰.

جعفری ملک آبادی، ع. افیونی، م. موسوی، س.ف. و خسروی، ا. ۱۳۸۳. "بررسی غلظت نیترات در آبهای زیرزمینی استان اصفهان". مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی.۸(۳):۶۹- ۸۲.

چقا، ی. و قائمی، ع.ا. ۱۳۸۷. " بررسی آب شویی نیترات در دو روش کود آبیاری و پخش سطحی." دومین همایش ملی مدیریت شبکه های آبیاری و زهکشی، اهواز.

حبی، م.ص. ثاقب، ن.ا. موسوی شلمانی، م.ا. خراسانی، ع. عباس علیان، ح. و تیموری، س.ا. ۱۳۸۱. "ارزیابی اثر دوره های کود دهی در کود آبیاری قطره ای روی کارآئی مصرف آب در زراعت گوجه فرنگی." یازدهمین همایش کمیتهٔ ملی آبیاری و زهکشی ایران.

حسینی نیا، م. کریمی گوغری، ش. نقوی، ه. و ایراندوست، م. ۱۳۸۹ . "استفاده از مدل شبیه ساز HYDRUS-2D جهت ارزیابی حجم خاک مرطوب شده در سیستم های آبیاری قطره ای زیر سطحی." اولین کنفرانس بین المللی مدل سازی گیاه، آب، خاک و هوا، دانشگاه شهید باهنر کرمان.

ربیع، م. قیصری، م. و میرلطیفی، س.م. ۱۳۸۹. " بررسی کارایی مدل DSSAT برای شبیه سازی آب شویی نیترات در سطوح مختلف آب و کود نیتروژنی." اولین کنفرانس بین المللی مدل سازی گیاه، آب، خاک و هوا، دانشگاه شهید باهنر کرمان.

سماواتی، ع. ۱۳۷۹. "ترکیبات نیتروژن دار در آب." مجلهٔ آب و محیط زیست، شمارهٔ ۹، ص ۵۷.

شایسته زاده، م. چرم، م. و صیاد، غ.ع. ۱۳۸۷." بررسی تأثیر کاربرد های مختلف نیتروژن بر آب شویی نیترات." دومین همایش ملی مدیریت شبکه های آبیاری و زهکشی، اهواز.

صادق زاده، کورش و ع .کشاورز. ۱۳۷۹. "توصیه هایی بر بهینه سازی کارآیی مصرف آب در اراضی زراعی کشور". سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی. ۳۱ صفحه.

فرشاد، ع. ایماندل، ک. و محمدی، ع. ۱۳۸۰. " بررسی میزان نیتریت و نیترات در چاه های آب واحد های صنعتی منطقه تهران – کرج."چهارمین همایش کشوری بهداشت محیط، مجموعهٔ مقالات جلد اول، یزد ۱۵ لغایت ۱۷ آبان ماه ۱۳۸۰، ص ۸۷-۹۷.

فرهمند، ع. گلکار، ف. لیاقت، ع. فرداد، ح. و کاشی، ع. ۱۳۸۸. "بررسی آلودگی نیتراتی خاک در اثر میزان آب آبیاری و کود ازت در کشت گوجه فرنگی." دومین سمپوزیوم بین المللی مهندسی محیط زیست.

قیصری، م. ۱۳۸۵. "تأثیر کود آبیاری ذرت با روش آبیاری بارانی بر روی آبشویی نیترات، تحت سطوح مختلف کود و آب کاربردی." رسالهٔ دکتری علوم و مهندسی آبیاری دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.

قیصری، م. میرلطیفی، س.م. همایی، م. و اسدی، م.ا. ۱۳۸۵. " آب شویی نیترات در سیستم آبیاری بارانی تحت مدیریت کود آبیاری ذرت". مجلهٔ تحقیقات مهندسی کشاورزی/جلد۷/شمارهٔ ۲۹/ ص ۱۱۸-۱۰۱.

قیصری، م. میرلطیفی، س.م. همایی، م. و اسدی، م.ا. ۱۳۸۵. " اثرات سطوح مختلف کود نیتراتی و آب آبیاری بر آبشویی نیترات و عملکرد ذرتتحت مدیریت کود-آبیاری". همایش ملی مدیریت شبکه های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشکدهٔ مهندسی علوم آب ۱۲ الی ۱۴ اردیبهشت ۱۳۸۵.

قیصری، م. هودجی، م. نجفی، پ. و عبداللهی، آ. ۱۳۸۶. "بررسی آلودگی نیتراتی آب زیرزمینی ناحیهٔ جنوب شرق شهر اصفهان". محیط شناسی سال سی و سوم، شماره ۴۲، تابستان ۱۳۸۶، صفحهٔ ۵۰-۴۳.

کریمی، ا. ۱۳۸۸. "ارزیابی رژیم های آبیاری سطحی بر کارآیی مصرف نیتروژن در زراعت چغندرقند". مجلهٔ پژوهش های تولید گیاهی، جلد شانزدهم، شمارهٔ اول.

کریمی، ا. همایی، م. معزاردلان، م. لیاقت، ع. و رئیسی، ف. ۱۳۸۵. "اثرکود آبیاری بر عملکرد و کارآیی مصرف آب در ذرت به روش آبیاری قطره ای خطی." مجلهٔ علمی پژوهشی علوم کشاورزی، سال دوازدهم، شمارهٔ ۳.

لاله زاری، ر. طباطبای، س.ح. و یارعلی، ن. ۱۳۸۸."بررسی تغییرات ماهانهٔ نیترات در آب زیر زمینی دشت شهرکرد و پهنه بندی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی". مجلهٔ پژوهش آب ایران. ۳ (۴) :۱۷- ۹.

ملایی کندلوس، م. لیاقت، ع.م. و عباسی، ف. ۱۳۸۶. " استفاده از آنالیز ابعادی در تعیین ابعاد پیاز رطوبتی در آبیاری قطره ای زیر سطحی (SDI)." نهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۱۹-۲۱ بهمن ماه.

ملایی کندلوس، م. لیاقت، ع.م. و عباسی، ف. ۱۳۸۵. " شبیه سازی پیاز رطوبتی در آبیاری قطره ای زیر سطحی با استفاده از مدل HYDRUS-2D." مجموعۀ مقالات دومین کارگاه فنی خرد آبیاری، تهران، ۲ آذر، ص۲۷-۱۸.

ملکوتی، م.ج. ۱۳۷۹. "کنترل غلظت نیترات در سیب زمینی، پیاز و سبزی ها، ضرورتی انکار ناپذیر در حفظ سلامتی جامعه." مجله علوم خاک و آب ۱۲: ۵-۱.

موسوی، س.ف. اخوان، س. ۱۳۸۶. " **اصول آبیاری** ". چاپ اول، انتشارات کنکاش، اصفهان، ص ۳۱۴-۲۸۸.

ناصری، ح. و علیجانی، ف. ۱۳۸۶. "بررسی منابع آلاینده آب های زیر زمینی دشت ایذه، شمال شرق خوزستان". علوم محیطی سال چهارم، شمارۀ چهارم.

نانبخش، ح. ۱۳۸۲. "بررسی میزان غلظت نیترات و نیتریت در چاه های آب قابل شرب شهر ارومیه در سال ۱۳۸۰". مجلۀ پزشکی ارومیه، سال چهاردهم، شمارۀ دوم، ص ۱۰۳- ۹۸.

نیک بخت شهبازی، ع.ر. ۱۳۸۸. " بررسی نارسایی های موجود و اصلاح مدیریت آب در شبکه های آبیاری و زهکشی." دوازدهمین همایش کمیتۀ ملی آبیاری و زهکشی ایران، اسفند ماه ۸۸.

واقعی، ر. گنجی دوست، ح. عظیمی، ع. و آیتی، ب. ۱۳۸۹. "تصفیۀ آب های شرب آلوده به نیترات با استفاده از دنیتریفیکاسیون اتو تروفیک در بیو فیلتر هیدروژنی". آب و فاضلاب، بهار ۱۳۸۹، ۲۱ (۱(مسلسل ۷۳)): ۳۴- ۳۹.

ویدرز، ب. ویپوند، ا. ۱۳۶۷. " **آبیاری : طراحی و عمل** ". نی ریزی، س. چاپ اول، نوبهار، تهران، ص ۵۲-۲۴.

Ajdary, Kh. 2005. “ Modeling of water and nitrogen movement under drip fertigation”. Ph.D Thesis. Division of Agricultural Engineering, Indian Agricultural research Institute, New Delhi, India.

Almasri, Mohammad N., Kaluarachchi, Jagath J. 2007. “Modeling nitrate contamination of groundwater in agricultural watersheds”. Journal of Hydrology 343: 11– 229.

Almasri, Mohammad N., Kaluarachchi, Jagath J. 2004. “Assessment and management of long-term nitrate pollution of ground water in agriculture-dominated watersheds.” Journal of Hydrology 295 : 225–245.

Andersson, P., Berggren, D., Nilsson, I. 2002. “ Indices for nitrogen status and nitrate leaching from Norway spruce (Picea abies (L.) Karst.) Stands in Sweden”, Forest Ecology and Management 157:39–53.

Angelopoulos, K., Spiliopoulos, I.C., Mandoulaki, A., Theodorakopoulou, A., and Kouvelas, A. 2009. “Groundwater nitrate pollution in northern part of Achaia Prefecture.” Desalination 248 (2009) 852–858.

Antonopoulos, V. Z. 2001. “Simulationof water and nitrogen balances of irrigation and fertilized Corn-crop soil”. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 127, No. 2, March/April, page: 77-83.

Aronsson, P. and Bergstrom L., 2001. “Nitrate leaching from lysimeter - grown short-rotation willow coppice in relation to N- application, irrigation and soil type”. Biomass Bioenergy 21(3):155–64.

Asadi, M. E. 2004a. “ Effect of irrigation and tillage practices on nitrate leaching. Programme and Abstracts N 2004.” The third International Nitrogen Conference, Nanting, China, 12-16 October 2004, P 149.

Assefa, B. and Chen, Y. 2008. “ Simulation of the lateral movement of NO3-N in soils following liquid manure injection”. Canadian Biosystems Engineering. 50: 2.17_2.26.

Cepuder P. and Shukla M.K. 2002. “ Ground water nitrate in Austria : a case study in Tullnerfeld”. Nutrient Cycling in Agroecosystems. 64: 301– 315.

Conrad, Y., Fohrer, N., 2009. “ Modelling of nitrogen leaching under a complex winterwheat and red clover”. Phys. Chem. Earth 34 (8–9), 530–540.

Doltra, J., and Mu?oz, P. 2009. “Simulation of nitrogen leaching from a fertigated crop rotation in a Mediterranean climate using the EU-Rotate_N and Hydrus-2D models”. Agricultural Water Management 97: 277–285.

Elmaloglou, S.r. and Diamantopoulos, E. 2009. “ Simulation of soil water dynamics under subsurface drip irrigation from line source.” J. Agri water mang. (96) ,1587-1595.

Hambridge T. 2003. “Nitrate and nitrite: intake assessment”. In: WHO Food Additives Series, World Health Organization, Geneva. 50, 1053-1071.

Hamdy, a. 2001. “ Agricultural water demand management: a must for water saving”. In: Advanced Short Course on Water Saving and Increasing Water Productivity: Challenges and Options. Faculty of Agriculture, University of Jordan, Amman. Jordan, March 2001, pp. B 18.1-b 18.30.

Jalali, M. 2005. “ Nitrates leaching from agricultural land in Hamadan, western Iran”. Agriculture, Ecosystems and Environment 110 (2005) 210–218.

Jalali, M., Rowell, D.L., 2003. “ The role of calcite and gypsum in the leaching of potassium in a sandy soil”. Expl. Agric. 39, 379–394.

Khatlwada , N.R ., Takizawa , S ., Tran , T.V ., Inoue , M ., 2002 . “ Groundwater contamination assessment for sustainable water supply in Kathmandu Valley, Nepal”. Water Sci. Technol. 46, 147–154.

Lee, K. and Jose S. 2005. “Nitrate Leaching in Cotton wood and Loblolly pine biomass along a nitrogen fertilization”. Agriculture Ecosystems & Environment 105: 619-625.

Lee, K., and Shibu, J., 2005. “ Nitrate leaching in cottonwood and loblolly pine biomass plantations along a nitrogen fertilization gradient”. Agriculture, Ecosystems and Environment 105: 615–623.

Miranda KM., Espey MG., and Wink DA. 2001. “A rapid, simple spectrophotometric method for simultaneous detection of nitrate and nitrite”. Nitric Oxide 5, 62-71. Doi:10.1006/niox.2000.0319.

Mkandawire, T., 2008. “ Quality of groundwater from shallow wells of selected villages in Blantyre District, Malawi.” Phys. Chem. Earth 33 (8–13), 807–811.

Navalawala, B.N. 1991. “ Water logging and its related issues in India.” J. Irrigation Power 1,55-64.

Patel, N. and Rajput, T.B.s. 2000. " Effect of fertigation on growth and yield of onion." In: Micro irrigation, CBIP publication no. 282, pp. 451-454.

Paz, J.M., and Ramos, C. 2003. " 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.

Pe?a-Haro, S., Pulido-Velazquez, M., and Sahuquillo, A. 2009. " A hydro-economic modelling framework for optimal management of groundwater nitrate pollution from agriculture." Journal of Hydrology 373 (2009) 193–203.

Pruitt, W.O., E. Fereres, P.E. Martin, H. Singh, D.W. Henderson, R.M. Hagan, E. Tarantino, & B. ChandiO. 1989. "Microclimate, evapotranspiration, and water use efficiency for drip and furrow irrigated tomatoes." International Conference on Irrigation and Drainage (ICID) 12th Congress, Q 38, R 22, PP.367-393.

Ribbe, L., Delgado, P., Salgado, E., and Flügel, W.A. 2008. " Nitrate pollution of surface water induced by agricultural non-point pollution in the Pocochay watershed, Chile." Desalination 226 (2008) 13–20.

Rouphael, Y., Mariateresa, C., Elvira, R., Alberto, B. and Giiuseppe, C. 2006. "Comparison of the subirrigation and drip-irrigation system for greenhouse zucchini squash production using saline and non-saline nutrient solution". J. Agricultural Water Managament. 82:99-117.

Sall, M., Vanclooster, M. 2009. "Assessing the well water pollution problem by nitrates in the small scale farming systems of the Niayes region, Senegal." Agricultural Water Management 96 (2009) 1360–1368.

Santamaria, P., 2006."Nitrate in vegetables:toxicity, content, intake and EC regulation". J. Sci. Food Agric. 86, 16–17.

Shao-ting, DU., Yong-song, Z. and Xian-yong, L. 2007. "Accumulation of Nitrate in Vegetables and Its Possible Implications to Human Health." Agricultural Sciences in China 6(10): 1246-1255.

Simunek, J., Sejna, M., and Van, G. M. Th. 1999. " The HYDRUS-2D software pakage for simulating the two-dimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variably-saturated media". U. S. salinity Laboratory Agricultural Research Service U. S. Department of Agricultural Riverside, California, 226p.

Singh, D.k., Rajput, T.B.S., Singh, D.K., Sikarwar, H.S., Sahoo, R.N., and Ahmad, T. 2006. “Simulation of soil wetting pattern with subsurface drip irrigation from line source”. J. Agricultural Water Management. 83:130-134.

Stewart, L., Charlesworth P., Bristow K., Thorburn P., 2005. “Estimating deep drainage and nitrate leaching from the root zone under sugarcane using APSIM-SWIM”. Agricultural Water Management.

Strahm B., Harrison, R., Terry, A., Flaming, B. Licata, w. and Petersen, K. 2005. “ Soil solution nitrogen concentrations and leaching rates as influenced by organic matter retention on a highly productive Douglas-fir site”. Forest Ecology and Management 218: 74–88.

Tavakkoli, A.R. & T.Y. Oweis. 2004. “ The role of supplemental irrigation and nitrogen in producing bread wheat in the highlands of Iran.” Agricultural Water Management. 65:225-236.

Thamburaj, S. and Singh, N. 2000. “ Vegetables, Tuber crops and Spices”. I.C.A.R., New Delhi. pp.10-28.

Verburg, K., B. Keating, M. Probert, K. Bristow, and N. Huth. 2005. “ Nitrate leaching under sugarcane: Interactions between crop yield, soil type and management strategies”, Proceedings of the Australian Agronomy Conference, Australian Society of Agronomy.

Viessman WJ., and Hammer MJ. 1998. “ water supply and pollution control”. 6th ed, Technomic, Inc. Lancaster, Pennsylvaniai U.S.A; 80-85.

Wendland, F., Bogena, H., Goemann, H., Hake, J.F., Kreins, P., Kunkel, R., 2005. “Impact of nitrogen reduction measures on the nitrogen loads of the river Ems and Rhine (Germany).” Phys. Chem. Earth 30 (8–10), 527–541.

Xin-Qiang, L., Lei, X., Hua, L., Miao-Miao, H., Yi-Chao, Q., Jin, L., Ze-Yu, N., Yu-Shi, Y., and Yingxu, C. 2010. “Influence of N fertilization rates, rainfall, and temperature on nitrate leaching from a rainfed winter wheat field in Taihu watershed.” Physics and Chemistry of the Earth xxx (2010) xxx–xxx.

This document was created with Win2PDF available at http://www.daneprairie.com.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.