

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده کشاورزی

گروه آب و خاک

مطالعه آلودگی خاک به نیتروژن به روش مدل سازی با کشت فلفل سبز

فاطمه ساغری

اساتید راهنما:

دکتر هادی قربانی

دکتر خلیل اژدری

اساتید مشاور:

مهندس علی اصغر نادری

دکتر صمد امامقلی زاده

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

شهریور ماه ۱۳۹۱

خدایا! بر پیامبر و دودمان پاکش درود فرست، و آنگاه که تو رامی خوانم و صدایت می زنم، صدا و دعایم را بشنو و اجابت کن، و آنگاه که با تو بنوا می کنم، بر من عنایت کن.

من از همه به سوی تو گریخته و در پیشگاه تو ایستاده ام، در حالی که دلگشته و نالان درگاه توام و به پاداش تو امید دار.

خدایا! کار مرا آنگونه به سامان برسان که تو سزاوار آنی (نه آن سان که من در خور آنم).

خداوند! اگر می خواستی خوارم کنی، هدایتم نمی کردی. و اگر می خواستی رسوایم سازی، از عقوبت دنیا معافم نمی کردی.

خدایا! مرا قلبی بخش که شوق و عشق، به تو نزدیکش سازد، و زبانی عطا کن که صداقت و راستی اش به درگاهت بالا رود و نگاهی، بخش، که حقیقتش، زمینه ساز قرب به تو گردد!

خدایا! آنکه به تو معروف گردد، ناشناخته نیست، آنکه به تو پناه آورد، خوار و درمانده نیست، و آنکه تو، به او روی عنایت آوری برده دیگری نیست،

خدایا! آنکه از تو راه را یافت، روشن شد و آنکه پناهنده تو شد، پناه یافت، خداوند! من به تو پناه آورده ام، از رحمت خویش یابوس و محروم مساز و از رافت و مهربانیت محروم مگردان.

خداوند! تو را به خودت سگند، که مرا به جایگاه ابل طاعت برسان و به منظرگاه شایسته و پسندیده خویش، رهنمون باش، که من، نه می توانم شری را از خویش دور سازم و نه سودی به خویش رسانم.

خدایا! مرا از آنان قرار ده که ندایشان کردی، پاخت گفتند و نگاهشان کردی، مدبوش جلال تو گشت، با آنان، راز کفنی و نجا کردی، آشکارا برای تو کار کردند.

ای شکوهمند و بزرگوار! بر محمد و خاندان پاکش درود تو باد، و سلام بی پایان و بسیار.

فرازی از مناجات شعبانیه

تقدیم به تنه‌بانه‌ی زندگی ام، فرزندم: مهران

از پدر و مادر عزیزم این دو معلم بزرگوارم که همواره بر کوتاهی و درشتی من، قلم عفو کشیده و گریانه از کنار غفلت هایم گذشته‌اند و در تمام عرصه های زندگی یار و یاور بی چشم داشت برای من بوده‌اند و به پاس عاطفه سرشار و گرمای امید بخش وجودشان که در این سردترین روزگار ان بهترین پشتیبان است، و سرگردانی و ترس در پناهشان به شجاعت می‌گراید و به پاس محبت های بی دریغشان که هرگز فروکش نمی‌کند، پاسگزاری می‌کنم.

پاس سیکران بر بهلی و بهرامی و بهگامی، بمسردلسوز و مهربانم در حالی که بدون مساعدت ایشان، این پروژه به نتیجه مطلوب نمی‌رسید.

بچنین از خانواده عزیز و مهربان، بمسرم که آرامش روحی و آسایش فکری مرا فراهم نمودند تا با حمایت های همه جانبه در محیطی مطلوب، مراتب تحصیلی و نیرپایان نامه را به نحو احسن به اتمام برسانم، پاسگزاری می‌نمایم.

از استاد با کمالات و شایسته؛ جناب آقای دکتر خلیل اژدی که در کمال سه صدر، با حسن خلق و فروتنی، از هیچ لکی در این عرصه بر من دریغ ننمودند و زحمات راهنمایی این پایان نامه را بر عهده گرفتند؛ و با نکته های دلاویز و نکته های بلند، صحیفه های سخن را علم پرور نمودند و همواره راهنما و راه گشای بنده در اتمام و تکمال پایان نامه بوده‌اند کمال شکر را دارم. استادم، مقامت ز عرش برتر باد، همیشه توست اندیشه ات مظفر باد.

به مصداق «من لم یسکر المخلوق لم یسکر الخالق» بسی شایسته است از استادان فرهیخته و فرزانه جناب آقایان، دکتر قربانی، مهندس نادری و دکتر امام قلی زاده که بار راهنمایی های کار ساز و سازنده مرا یاری کردند تقدیر و شکر نمایم.

از جناب آقایان، مهندس مکی و مهندس شهبورانی به دلیل یاری ها و راهنمایی های بی چشم داشتن که بسیاری از سختیها را بر ایمن آسانتر نمودند، کمال شکر را دارم.

و در پایان از کلیه کسانی که جهت پیشبرد این پایان نامه مرا یاری نمودند، پاسگزاری می‌کنم.

تعهد نامه

اینجانب فاطمه ساغری دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی کشاورزی- علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه: مطالعه آلودگی خاک به نیتروژن به روش مدل- سازی با کشت فلغل سبز، تحت راهنمایی دکتر هادی قربانی و دکتر خلیل اژدری متعهد می‌شوم .

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .

- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .

- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .

- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام «دانشگاه صنعتی شاهرود» و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید .

- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می‌گردد.

- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .

- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی

یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ ۱۳۹۱/۶/۱۵

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده:

با توجه به ضریب رشد جمعیت جهانی که سالانه بیش از ۸/۱ درصد است و محدود بودن امکانات افزایش تولید محصولات کشاورزی، تدوین الگوی بهینه مصرف آب و کود در کشاورزی از شاخص‌های مؤثر در نیل به روش راهبردی و بهره‌برداری پایدار از منابع آب و خاک است. برای انجام این مهم آگاهی از وضعیت توزیع رطوبت و مواد تغذیه دهنده گیاهی در خاک، طی دوره رشد محصول ضروری می‌باشد. از آنجا که انجام آزمایش‌های مزرعه‌ای برای تعیین مقدار بهینه آب مصرفی و مواد غذایی مورد نیاز وقت‌گیر، پرهزینه و با دقت پایین است، بنابراین استفاده از مدل‌های کامپیوتری و حل عددی معادلات حاکم بر جریان رایج‌تر و دقیق‌تر می‌باشد. ولی قبل از به کارگیری چنین مدل‌هایی درستی نتایج آن‌ها باید در مقایسه با نتایج آزمایش‌های مزرعه‌ای ارزیابی شود. مدل Hydrus-2D که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفت یک مدل جامع برای شبیه‌سازی حرکت آب، املاح و گرما در داخل خاک است. برای انجام این تحقیق سیستم کود آبیاری با کشت گیاه فلفل سبز، در سال ۱۳۸۹ در مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود واقع در بسطام پیاده گردید. مزرعه آزمایشی شامل دو بخش کود آبیاری قطره‌ای و کود آبیاری سطحی بود. نیاز آبی فلفل از طریق آمار تشتک تبخیر به مدت ۵ سال برآورد گردید و در اختیار گیاه قرار گرفت. مقدار کود مورد نیاز نیز بر اساس منابع معتبر تعیین شد و از طریق سیستم کود آبیاری در اختیار گیاه قرار گرفت. نتایج نشان داد روند کلی توزیع رطوبت توسط مدل با روند تغییرات رطوبت به دست آمده از مزرعه و روند تغییرات غلظت نیتروژن برآورد شده توسط مدل با مقادیر اندازه‌گیری شده در مزرعه مطابقت دارد. نتایج دیگر تحقیق نشان داد که نحوه توزیع نیتروژن در اعماق مختلف خاک، در مراحل مختلف دوره رشد گیاه با روند توسعه ریشه گیاه مطابقت دارد. همچنین شبیه‌سازی‌های دیگر مدل نشان داد که از کل آب توزیع شده در طول دوره رشد گیاه ۰/۰۱ درصد و از کل نیتروژن توزیع شده فقط ۰/۶۹ درصد آبشویی گردیده است.

واژگان کلیدی: کود آبیاری، فلفل سبز، مدل سازی، Hydrus-2D، نیتروژن، آبشویی

لیست مقالات استخراج شده از پایان نامه

مدل سازی حرکت ماهانه آب در لایه‌های مختلف خاک در یک کشت کنترل شده با 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

فهرست مطالب

صفحه

عنوان

فصل اول: مقدمه و کلیات

۲	۱-۱ مقدمه
۴	۲-۱ سیستم آبیاری قطره‌ای
۷	۳-۱ تجهیزات سیستم کود آبیاری قطره‌ای
۷	۱-۳-۱ سیستم کنترل مرکزی
۸	۲-۳-۱ لوله‌های آبیاری قطره‌ای
۸	۳-۳-۱ قطره‌چکان‌ها
۹	۴-۱ عوامل انسداد قطره‌چکان‌ها
۹	۵-۱ پارامترهای طراحی سیستم آبیاری قطره‌ای
۹	۱-۵-۱ خاک
۱۰	۲-۵-۱ آب و هوا
۱۱	۳-۵-۱ عوامل گیاهی
۱۱	۶-۱ نیتروژن
۱۴	۷-۱ فلفل سبز
۱۴	۱-۷-۱ تاریخچه
۱۴	۲-۷-۱ مشخصات
۱۵	۳-۷-۱ تکثیر فلفل سبز

فصل دوم: بررسی منابع

۱۸	۱-۲ مطالعات انجام شده بر روی سیستم کود آبیاری قطره‌ای
۲۱	۲-۲ مطالعات انجام شده بر روی مدل Hydrus-2D
۲۶	۳-۲ مطالعات انجام شده بر روی نیتروژن

فصل سوم: مواد و روش‌ها

۳۴	۱-۳ خصوصیات محل اجرای آزمایش
۳۷	۲-۳ مشخصات سیستم کود آبیاری قطره‌ای
۳۹	۳-۳ انتخاب گیاه
۳۹	۴-۳ تاریخ کشت
۳۹	۵-۳ تاریخ برداشت
۳۹	۶-۳ تعیین آب مورد نیاز گیاه
۴۱	۷-۳ برنامه توزیع کودهای مغذی
۴۳	۸-۳ نمونه‌برداری از خاک
۴۴	۹-۳ روش اندازه‌گیری نیتروژن خاک

فصل چهارم: آشنایی با مدل‌سازی

۴۹	۱-۴ تعریف مدل و کاربردهای آن در آبیاری و زهکشی
۵۰	۲-۴ تعریف نمونه واقعی و مدل
۵۰	۳-۴ گامهای بسط مدل و شناخت آن
۵۱	۴-۴ مقیاس مدل

۵۱	۵-۴ استفاده از مدل
۵۱	۶-۴ تقسیم بندی مدل ها از نظر ماهیت
۵۲	۱-۶-۴ مدل فیزیکی
۵۲	۲-۶-۴ مدل قیاسی
۵۳	۳-۶-۴ مدل ریاضی
۵۴	۱-۳-۶-۴ مدل های ریاضی تحلیلی
۵۴	۲-۳-۶-۴ مدل های ریاضی عددی
۵۵	۳-۳-۶-۴ مدل های کامپیوتری
۵۵	۷-۴ توصیف مدل Hydrus-2D
۵۶	۸-۴ معادلات حاکم
۵۷	۹-۴ شرح بخش های مختلف مدل
۵۸	۱۰-۴ ورودی های مدل
۵۹	۱۱-۴ ایجاد پروژه جدید
۵۹	۱۲-۴ اطلاعات هندسی مورد نیاز مدل
۶۰	۱۳-۴ اطلاعات مربوط به زمان
۶۰	۱۴-۴ خصوصیات هیدرولیکی خاک
۶۳	۱۵-۴ واسنجی و صحت سنجی کردن مدل
۶۳	۱۶-۴ شرایط مرزی محیط مدل شده

فصل پنجم: نتایج و بحث

۶۷	۱-۵ خصوصیات خاک محل آزمایش
۶۸	۲-۵ پارامترهای رویشی گیاه
۷۰	۱-۲-۵ عملکرد
۷۰	۲-۲-۵ بازده مصرف آب
۷۰	۳-۲-۵ بازده مصرف نیتروژن
۷۱	۴-۲-۵ نیتروژن جذب شده
۷۱	۳-۵ واسنجی مدل
۷۷	۴-۵ محاسبه RMSE
۷۷	۵-۵ صحت سنجی مدل
۷۹	۶-۵ شبیه سازی های انجام شده توسط مدل
۷۹	۱-۶-۵ شبیه سازی توزیع عمقی نیتروژن
۹۲	۲-۶-۵ شبیه سازی توزیع افقی نیتروژن
۹۵	۳-۶-۵ شبیه سازی انتقال عمقی رطوبت
۱۰۱	۴-۶-۵ شبیه سازی حجم آب زهکشی شده و نیتروژن آبشویی شده

فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادات

۱۰۴	۱-۶ نتیجه گیری
۱۰۶	۲-۶ پیشنهادات

پیوست

۱۰۸	اصول نظری (English, 1990 ; Zand- parsa & Sepaskhah, 2001)
-----	---

فهرست منابع

منابع فارسی

منابع انگلیسی

۱۱۲

۱۱۵

فهرست اشکال

صفحه

عنوان

فصل اول: مقدمه و کلیات

- شکل (۱-۱) شمایی از سیستم آبیاری قطره‌ای و اجزای آن ۵
- شکل (۲-۱) شمایی از چرخه نیتروژن ۱۱

فصل سوم: مواد و روش‌ها

- شکل (۱-۳) شمایی از مزرعه تحقیقاتی با سیستم کود آبیاری قطره‌ای و آبیاری سطحی ۳۵
- شکل (۲-۳) نصب دستگاه گلف جهت تعیین هدایت هیدرولیکی اشباع در اعماق مختلف ۳۶
- شکل (۳-۳) نصب تانسیموتر جهت کنترل مکش رطوبت خاک ۳۶
- شکل (۴-۳) اجزای سیستم آبیاری قطره‌ای نصب شده در مزرعه تحقیقاتی قبل از کشت ۳۸
- شکل (۵-۳) ارزیابی دبی قطره‌چکان‌ها در سیستم آبیاری قطره‌ای ۳۸
- شکل (۶-۳) بخش هضم از دستگاه کج‌لدا ۴۵
- شکل (۷-۳) بخش تقطیر از دستگاه کج‌لدا ۴۶

فصل چهارم: آشنایی با مدل‌سازی

- شکل (۱-۴) مجموعه‌ای از خازن و مقاومت الکتریکی که هیدرولیک جریان آب زیرزمینی را در یک آبخوان بوسیله مدل قیاسی نشان می‌دهد ۵۳
- شکل (۲-۴) نمونه‌ای از مدل‌های کامپیوتری ۵۵
- شکل (۳-۴) نمایش صفحه عمومی مدل Hydrus-2D ۵۸
- شکل (۴-۴) پنجره معرفی نوع مسئله به مدل ۵۹
- شکل (۵-۴) پنجره ورود نام، توضیح و مسیر ذخیره سازی مسئله ۵۹
- شکل (۶-۴) پنجره مربوط به اطلاعات هندسی مورد نیاز مدل Hydrus-2D ۶۰
- شکل (۷-۴) پنجره ورود اطلاعات مربوط به زمان ۶۰
- شکل (۸-۴) پنجره تعیین نوع مدل، جهت بدست آوردن مشخصات هیدرولیکی خاک ۶۱
- شکل (۹-۴) تعریف خصوصیات هیدرولیکی خاک ۶۲
- شکل (۱۰-۴) مدل واقعی تعریف شده برای مدل Hydrus-2D ۶۴
- شکل (۱۱-۴) شبکه المانی چهارگانه اخذ شده از مدل (شکل سمت چپ) ضریب تراکم ریشه در محیط مدل‌سازی شده (شکل سمت راست) ۶۵

فصل پنجم: نتایج و بحث

- شکل (۱-۵) دوره رشد گیاه، ۹۰ روز پس از کاشت در سیستم کود آبیاری ۶۹
- شکل (۲-۵) واسنجی مدل با توزیع نیتروژن a-۲ ساعت، b-۲۴ ساعت و c-۴۸ ساعت پس از آبیاری در نیمه اول از ماه اول ۷۳
- شکل (۳-۵) مقایسه نتایج حاصل از شبیه‌سازی و اندازه‌گیری با ضریب تبیین و با توزیع نیتروژن a-۲ ساعت، b-۲۴ ساعت و c-۴۸ ساعت بعد از کود آبیاری در نیمه اول از ماه اول ۷۴
- شکل (۴-۵) واسنجی مدل با توزیع رطوبت a-۲ ساعت، b-۲۴ ساعت و c-۴۸ ساعت پس از آبیاری در نیمه دوم از ماه اول ۷۵
- شکل (۵-۵) مقایسه نتایج حاصل از شبیه‌سازی و اندازه‌گیری با ضریب تبیین و با توزیع رطوبت a-۲ ساعت، b-۲۴ ساعت و c-۴۸ ساعت بعد از کود آبیاری در نیمه دوم از ماه اول ۷۶
- شکل (۶-۵) شبیه‌سازی تغییرات نیتروژن با عمق (a) هفته اول (b) هفته دوم ۸۲

- شکل (۷-۵) شبیه‌سازی تغییرات نیتروژن با عمق (c) هفته سوم (d) هفته چهارم ۸۳
- شکل (۸-۵) شبیه‌سازی تغییرات نیتروژن با عمق (a) هفته پنجم (b) هفته ششم ۸۴
- شکل (۹-۵) شبیه‌سازی تغییرات نیتروژن با عمق (c) هفته هفتم (d) هفته هشتم ۸۵
- شکل (۱۰-۵) شبیه‌سازی تغییرات نیتروژن با عمق (a) هفته نهم (b) هفته دهم ۸۸
- شکل (۱۱-۵) شبیه‌سازی تغییرات نیتروژن با عمق (c) هفته یازدهم (d) هفته دوازدهم ۸۹
- شکل (۱۲-۵) شبیه‌سازی تغییرات نیتروژن با عمق (a) هفته سیزدهم (b) هفته چهاردهم ۹۰
- شکل (۱۳-۵) شبیه‌سازی تغییرات نیتروژن با عمق (c) هفته پانزدهم (d) هفته شانزدهم ۹۱
- شکل (۱۴-۵) دوره رشد گیاه، ۱۲۰ روز پس از کاشت در سیستم کود آبیاری ۹۲
- شکل (۱۵-۵) شبیه‌سازی تغییرات افقی نیتروژن a- ماه اول b- ماه دوم ۹۳
- شکل (۱۶-۵) شبیه‌سازی تغییرات افقی نیتروژن c- ماه سوم d- ماه چهارم ۹۴
- شکل (۱۷-۵) تغییرات رطوبت با عمق (شکل سمت چپ) به همراه روند رشد ریشه (شکل سمت راست)- ماه اول ۹۶
- شکل (۱۸-۵) تغییرات رطوبت با عمق (شکل سمت چپ) به همراه روند رشد ریشه (شکل سمت راست)- ماه دوم ۹۷
- شکل (۱۹-۵) تغییرات رطوبت با عمق (شکل سمت چپ) به همراه روند رشد ریشه (شکل سمت راست)- ماه سوم ۹۹
- شکل (۲۰-۵) تغییرات رطوبت با عمق (شکل سمت چپ) به همراه روند رشد ریشه (شکل سمت راست)- ماه چهارم ۱۰۰
- شکل (۲۱-۵) شبیه‌سازی حجم آب زهکشی شده در کل دوره رویش گیاه در خاک محل تحقیق ۱۰۲
- شکل (۲۲-۵) شبیه‌سازی میزان نیتروژن آبشویی شده در کل دوره رویش گیاه در خاک محل تحقیق ۱۰۲

فهرست جداول

صفحه	عنوان
	فصل سوم
۴۱	جدول (۱-۳) برنامه آبیاری هفتگی در سیستم آبیاری قطره‌ای فلفل سبز
۴۳	جدول (۲-۳) برنامه توزیع کود در سیستم کود آبیاری و آبیاری سطحی فلفل سبز
	فصل چهارم
۶۲	جدول (۱-۴) اطلاعات مورد نیاز برای مدل Hydrus-2D
	فصل پنجم
۶۸	جدول (۱-۵) خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای طرح
۶۹	جدول (۲-۵) نتایج مربوط به عملکرد گیاه، بازده مصرف آب و بازده مصرف کود نیتروژن
۷۷	جدول (۳-۵) محاسبه خطای میانگین مجذور مربعات (RMSE) در مرحله واسنجی
۷۸	جدول (۴-۵) صحت‌سنجی مدل در انتهای دوره رشد گیاه بر اساس رطوبت حجمی (٪)
۷۸	جدول (۵-۵) صحت‌سنجی مدل در انتهای دوره رشد گیاه بر اساس غلظت نیتروژن (٪)
۸۷	جدول (۶-۵) ماکزیمم تجمع نیتروژن در اعماق خاک در هر ۱۵ روز

فصل اول

مقدمه و کلیات

۱-۱ مقدمه

افزایش جمعیت و ارتقا سطح کیفی زندگی، بخش کشاورزی را با چالش‌های عمده‌ای در جهت تأمین مواد غذایی و نیل به خودکفایی رو به رو ساخته است. نیاز ۷ میلیارد از جمعیت کره‌ی زمین به نیتروژن با مصرف سرانه حدود ۱۱ گرم در روز، حدود ۲۴ میلیون تن در سال برآورد گردیده است. به عقیده محققین چنانچه بشر بخواهد با برنامه (رژیم) غذایی حاضر خود، ادامه حیات دهد باید افزایش خارج از تصویری را در تولیدات محصولات کشاورزی در نظر بگیرد. ولی این موضوع به علت فشار بیش از حد وارده به اراضی کشاورزی و مصرف زیاد کودهای شیمیایی و غیره، نهایتاً موجب استهلاک زاید الوصف زمین‌های کشاورزی و کاهش کیفیت و باروری خاکها و حتی هدر رفتن بسیاری از اراضی می‌گردد که احتمالاً در آینده تأمین نیاز غذای بشر را دشوار نموده یا غیر ممکن می‌سازد (مانیون، ۱۹۸۸). با توجه به اینکه کشور ایران در مناطق خشک و نیمه خشک کره خاکی قرار گرفته است همیشه با مشکل کم آبی و بحران آب روبروست که در این راستا دو مشکل اساسی وجود دارد. (۱) بارندگی کم و تبخیر و تعرق بالا (۲) پایین بودن راندمان آبیاری حدود ۳۸ درصد، خاکی بودن مسیر انتقال آب، ناهموار بودن داخل مزرعه، فقدان زهکشهای سطحی و زیرزمینی، از طرفی نظر به افزایش روزافزون جمعیت کشور و تامین امنیت غذایی باید سعی نمائیم تا از آبیاری سنتی فاصله گرفته و به آبیاری مدرن و مکانیزه روی آورده تا ضمن افزایش راندمان آبیاری و کارایی مصرف آب، از نظر اقتصادی نیز سطح زندگی و درآمد جوامع روستایی ارتقاء یابد. یکی از راهکارهای عملی جهت نیل به اهداف فوق، استفاده از سیستم های مدرن و مکانیزه یا روش های آبیاری تحت فشار می‌باشد. در کشور ما از مجموع ۳۷ میلیون هکتار اراضی مناسب برای عملیات کشاورزی تنها حدود ۷/۸ میلیون هکتار به صورت فاریاب و ۲۹/۲ میلیون هکتار هم به صورت دیم استفاده می‌شود. بنابراین محدودیت منابع آب، استفاده نامطلوب و غیر اقتصادی از آن می‌تواند یکی از عوامل اصلی محدود کننده توسعه کشاورزی و افزایش تولیدات غذایی در ایران باشد (کشاورز و صادق زاده ۱۳۷۹). در ایران، بخش کشاورزی با مصرف بیش از ۹۰ درصد از منابع آب متعارف، عمده‌ترین مصرف کننده آب به شمار می

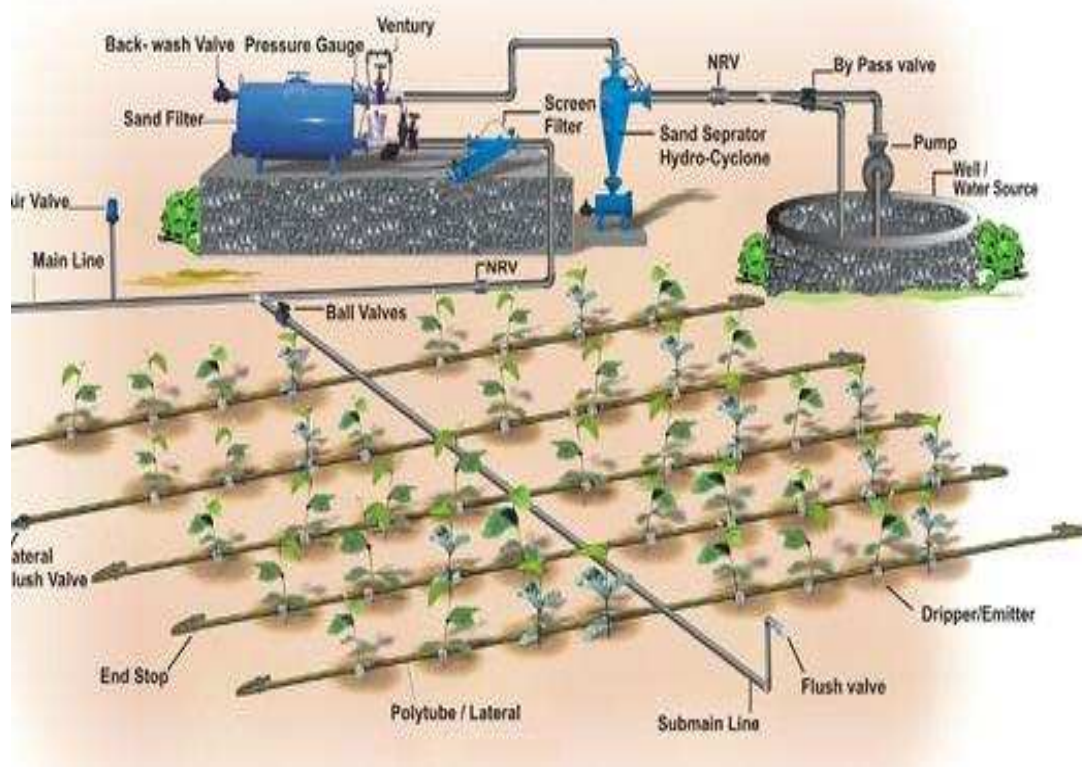
رود. هرگونه صرفه‌جویی در این بخش کمک مؤثری به صرفه‌جویی در منابع آب تلقی می‌شود (فرهمند و همکاران ۲۰۰۶). در حالی که کمبود آب عمده‌ترین عامل بازدارنده تولید در زراعت آبی و دیم محسوب می‌شود، به دلیل بحران فزاینده کمیت و کیفیت منابع آبی در ایران و جهان انتخاب استراتژی‌های مناسب برای بیشینه کردن محصول تولیدی به ازای مصرف هرچه کمتر آب ضروری است. کم آبیاری به عنوان یک راهبرد عملی و روشی اقتصادی در حصول الگوی بهینه مصرف آب به شمار می‌رود.

برای رسیدن و تداوم بخشیدن به کشاورزی پایدار یک منطقه، لازم است کلیه مراحل کشت یک گیاه به صورت علمی مدیریت شود. این مدیریت، اگر چنانچه بر پایه مطالعات معمول اعمال شود احتمال اینکه نتایج درخشانی حاصل نگردد، زیاد می‌باشد. برای رسیدن به چنین مدیریتی لازم است شیوه های مطالعاتی و تحقیقاتی از حالت سنتی خارج شده و با تکنیک‌های مدرن وارد عمل شود. امروزه یکی از مهم‌ترین تکنیک‌های مدرن، مدل‌سازی مراحل مختلف رشد گیاهان می‌باشد. در این تکنیک، کلیه مراحل زندگی گیاه با توجه به الگوی کشت، بطور صحیح مورد بررسی قرار گرفته و حرکت آب و مواد مغذی از لایه‌های خاک کنترل می‌گردد. اما از آنجا که ورود مواد محلول در آب به داخل خاک امکان آلوده کردن لایه‌های خاک را حتی در مقدار بسیار کم نیز دارد، بررسی مواد آلوده‌کننده از طریق مدل‌سازی امری ضروری به نظر می‌رسد. مطالعات انجام شده نشان می‌دهند که در کشت‌های سنتی هیچ تضمینی برای آلوده نشدن خاک نسبت به عناصر مختلف وجود ندارد و در سیستم آبیاری قطره‌ای و کود آبیاری این نوع آلودگی، معمولاً حداقل می‌باشد. اما برای تعیین دقیق کمی و کیفی موضوع، بدون مدل‌سازی حرکت مواد آلاینده در لایه‌های خاک، که از این طریق وارد خاک می‌شوند امکان پذیر نمی‌باشد. در این خصوص مدل‌سازی از طریق نرم‌افزارهای کامپیوتری پیشرفته، مراحل مختلف رشد گیاه را آنالیز نموده و نحوه توزیع آب و مواد آلاینده را در کل دوره رویش گیاه بخصوص نشان می‌دهند. لذا استفاده از چنین مدل‌هایی نتایج مطالعات را رضایت‌بخش نموده و تصویر دقیقی از شیوه آلودگی لایه‌های خاک به عناصر مختلف از جمله نیتروژن را می‌تواند به ارمغان آورد. نکته دیگر

این است که برای سنجش کمیت مواد محلول عبوری از لایه‌های خاک، روش‌های معمولی موثر نخواهد بود. بنابراین برای رسیدن به این امر نیز لازم است محیط حرکت موادی مثل نیتروژن، مدل سازی شده و از طریق آنالیزهای پیشرفته مقدار دقیق عبور و تمرکز آن در لایه‌های مختلف خاک مشخص شود.

۲-۱ سیستم آبیاری قطره‌ای

آبیاری تحت فشار روشی از آبیاری است که در آن آب در مجاری بسته که شامل لوله‌های اصلی و فرعی می‌باشد با فشار جریان می‌یابد و از مجاری روزنه‌دار که به آنها قطره‌چکان، آبپاش، آبفشان و یا نازل گفته می‌شود به صورت قطره یا ذرات ریز خارج می‌گردد و بدین طریق از تلفات آب در مسیر انتقال و در داخل مزرعه جلوگیری شده و آب به اندازه‌ای که لازم است به مزرعه و محصول داده می‌شود (شکل ۱-۱). آبیاری قطره‌ای که زیر مجموعه‌ای از آبیاری تحت فشار است عبارتست از روشی که طی آن آب با فشار کم از روزنه یا وسیله‌ای به نام قطره‌چکان به صورت قطراتی در پای بوته یا درخت ریخته می‌شود. از مشخصات این روش تحویل آب به گیاه با فشار کم در منطقه ریشه بر حسب نیاز گیاه است که در سنین مختلف و فصول مختلف متفاوت می‌باشد.



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

کود آبیاری نوعی روش آبیاری تحت فشار است که همزمان با عملیات آبیاری، مواد غذایی مورد نیاز گیاه را با کارایی مناسب پخش می‌نماید. کودآبیاری را می‌توان در تمامی روشهای آبیاری از جمله آبیاری قطره‌ای بکار بست. مدیریت متناسب با زمان و مکان سیستم کود آبیاری (قطره‌ای)، یکنواختی در توزیع آب و کود و عدم ایجاد رواناب از جمله دلایل رشد و توسعه سیستم های تحت فشار قطره ای در مقابل سیستم‌های آبیاری سطحی است. با مصرف بهینه کود می‌توان همراه با افزایش کارایی مصرف کود (FUE)^۱، حفظ یا افزایش عملکرد محصول و کارایی مصرف آب (WUE)^۲ را نیز بالا برد. سیستم کود آبیاری موثرترین روش به کار گیری آب و کود در آبیاری و تغذیه سبزیجات و محصولات باغی می‌باشد و بدین دلیل امروزه کاربرد وسیع دارد.

۱-Fertilizer Use Efficiency

۲-Water Use Efficiency

آبیاری قطره‌ای نوعی از آبیاری تحت فشار می‌باشد و اهدافی که در این روش مدنظر است به شرح ذیل می‌باشد:

- افزایش راندمان آبیاری به میزان ۷۰ درصد در روش بارانی و به میزان ۹۰ درصد در روش قطره‌ای و تقلیل میزان آب مصرفی در مقایسه با آبیاری سطحی
- عدم تشکیل رواناب سطحی و جلوگیری از فرسایش خاک
- تنظیم میزان آب مورد نیاز برای انواع خاک‌ها و کشت‌ها در فصول مختلف زراعی
- تهویه مناسب خاک و یکنواختی پخش آب در سطح مزرعه و عدم نیاز به زهکشی مزرعه
- افزایش محصول در واحد سطح در مقایسه با آبیاری سنتی
- عدم نیاز به تسطیح اراضی در این روش
- جلوگیری از سله بستن و حفظ پوکی خاک
- عدم نیاز به ایجاد نهرهای خاکی درون مزرعه و نهرهای زهکشی و استفاده بهینه از کل زمین زراعی
- قابل استفاده برای تمام گیاهان
- امکان انجام آبیاری همراه با کودپاشی و سمپاشی و پخش یکنواخت آنها
- وارد نشدن بذر علفهای هرز به مزرعه به دلیل انتقال آب از طریق لوله‌ها
- سهولت در انجام عملیات زراعی
- تبخیر سطحی در آبیاری قطره‌ای به حداقل می‌رسد واز خارج شدن آب از محوطه ریشه جلوگیری می‌گردد.
- عدم امکان رویش بذر علفهای هرز به دلیل مرطوب شدن فقط بخشی از سطح خاک اطراف ریشه گیاه اصلی (آبیاری قطره‌ای)

- افزایش کیفی و کمی محصول
- عدم نیاز به نیروی کارگر زیاد بدلیل ثابت بودن اجزای سیستم

۱-۳ تجهیزات سیستم کودآبیاری قطره‌ای

تجهیزات آبیاری قطره‌ای عبارتند از: سیستم کنترل مرکزی، لوله های اصلی و فرعی و قطره‌چکانها.

۱-۳-۱ سیستم کنترل مرکزی شامل قطعات زیر است:

- پمپ تامین کننده فشار آب

- سیکلون

اولین مخزنی که بعد از پمپ قرار دارد سیکلون است و آب از پهلوی وارد دستگاه شده و پس از چرخش و دوران شن‌های موجود در آب به مخزن پایین سیکلون سقوط می‌کند و آب از مجرای خروجی بالای سیکلون خارج می‌شود. ۸۰ درصد رسوبات در سیکلون ته‌نشین می‌گردد.

- فیلتر شن

فیلتر شن بعد از سیکلون قرار دارد. در این دستگاه سه لایه شن روی یک فیلتر یا صفحه مشبک قرار دارد که آب از بالا وارد دستگاه شده و پس از عبور از لایه‌های شن و جدا شدن ذرات معلق و مواد اضافی آب از مجرای خروجی پایین دستگاه خارج می‌شود. برای شستن و تمیز کردن شن‌ها باید شیر فلکه پمپ و فیلتر شن را بست و شیرهای سیکلون و فیلتر توری را باز کرد تا جریان آب حالت عکس پیدا کرده و رسوبات از دهانه فیلتر توری خارج می‌شود و در حالت کار باید شیر پمپ و فیلتر شن را باز نمود تا سیستم کار کند.

- فیلتر توری

این فیلتر از دو فیلتر استوانه‌ای داخل هم تشکیل شده و تصفیه نهایی توسط این فیلتر انجام می‌گیرد و باید هفته‌ای دو مرتبه این توری‌ها را تمیز کرد.

• مخزن کود

این مخزن بین فیلتر شن و فیلتر توری قرار دارد و کودهای قابل حل در آب در این مخزن ریخته و سپس وارد سیستم می‌شود.

کودهای قابل حل در آب عبارتند از: اوره، نیتрат آمونیوم، سولفات آمونیوم، کلرور پتاس و کودهای میکرو.

نکته قابل توجه اینکه لوله ورودی آب به مخزن کود باید تا نزدیکی انتهای تانک برسد تا کود با آب به خوبی مخلوط گردد. طریقه کود دادن به این نحو است که کود قابل حل در آب را باید طبق نظر کارشناس و با توجه به نوع گیاه در تانک کود ریخته و شیرفلکه زیر تانک کود را آنقدر ببندیم که اختلاف فشار بین دو نقطه ورود و خروج آب، در داخل تانک حدود ۵ متر باشد. بنابراین کود به نسبت معین وارد آب آبیاری می‌گردد.

۱-۳-۲ لوله های آبیاری قطره ای عبارتند از:

- لوله های اصلی که آب را از ایستگاه پمپاژ به مزرعه انتقال می‌دهد.
- لوله های نیمه اصلی که آب را از لوله های اصلی گرفته و به لوله های فرعی می‌رساند.
- لوله های فرعی که قطره‌چکان‌ها روی آنها نصب است و در سطح باغات و روی زمین قرار دارند.

۱-۳-۳ قطره‌چکانها

ساختمان قطره‌چکانها طوری طراحی شده که جلو فشار آب اضافی را گرفته و در مقابل سرما و گرما مقاوم می‌باشند. قطره‌چکان‌ها انواع مختلفی دارند مانند قطره‌چکان در خط، روی خط تنظیم شونده، تک خروجی و چند خروجی که بر حسب نیاز از آنها استفاده می‌شود. گاهی در آبیاری قطره‌ای به جای قطره چکان از آبفشان هم استفاده می‌شود که انواع مختلفی دارد که عبارتند از:

- مه پاش: آب را به صورت مه پخش می کند.
- میکروجت: آب را به صورت چندین رشته باریک پخش می کند.
- بابلر: آب را به صورت فواره مانند پخش می کند.

۴-۱ عوامل انسداد قطره چکان ها

- عوامل فیزیکی مانند شن و ماسه
- عوامل شیمیایی مانند رسوبات سولفات کلسیم و منیزیم
- عوامل بیولوژیکی مانند باکتری و جلبک

۵-۱ پارامترهای طراحی سیستم آبیاری قطره ای

۱-۵-۱ خاک

• بافت خاک و نفوذ پذیری

مناسب ترین بافت برای روش آبیاری قطره ای، بافت متوسط (لوم) می باشد. دبی قطره چکان مورد استفاده در این نوع خاک می تواند بین ۲ تا ۸ لیتر در ساعت تغییر نماید. در بافتهای سنگین (رسی) به علت کمی نفوذپذیری خاک (کمتر از ۵ میلی متر در ساعت) و همچنین در بافتهای سبک (شنی) به علت زیادی نفوذپذیری خاک (بیشتر از ۳۰ میلی متر در ساعت)، استفاده از قطره چکان با دبی کم (حداکثر دبی نقطه ریزش آب ۲ لیتر در ساعت) توصیه می گردد.

• شوری و قلیائیت خاک

استفاده از سیستم آبیاری قطره ای در شرایط شوری خاک که در آن هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک بیشتر از ۴ ds/m است و همچنین در شرایط قلیایی بودن خاک که در آن هدایت الکتریکی عصاره اشباع کمتر از ۴ ds/m و اسیدیته گل اشباع بیشتر از ۸ می باشد، قبل از انجام عملیات آبخویی در شرایط شوری خاک و افزایش مواد اصلاحی و آبخویی در شرایط قلیایی بودن توصیه نمی گردد.

لازم به ذکر است ضوابط فوق برای گیاهان حساس می‌باشد، برای گیاهان غیر حساس ارقام ارائه شده قابل تعدیل است.

• وجود لایه محدود کننده در پروفیل خاک

در صورتی که در حداکثر عمق ریشه دوانی خاک لایه محدود کننده غیر قابل نفوذ برای ریشه و آب و یا لایه‌های گچی و آهکی وجود داشته باشد بایستی قبل از احداث سیستم آبیاری قطره‌ای و کاشت نسبت به اصلاح آن اقدام گردد.

• شیب و توپوگرافی

در شیبهای بیشتر از ۱۰ درصد، استفاده از قطره‌چکان با دبی کمتر از ۴ لیتر در ساعت توصیه می‌گردد. در شیبهای خیلی تند بیش از ۲۵ درصد، ایجاد شیاریهایی در طول ردیفهای کشت که معمولاً در روی خطوط تراز کشت می‌شوند جهت استقرار لوله‌های فرعی ضروری است. وقتی توپوگرافی زمین دارای پستی و بلندیهای زیاد و نامنظم باشد تهیه نقشه توپوگرافی با خطوط تراز نیم متری جهت طراحی هیدرولیکی شبکه لازم است.

۱-۵-۲ آب و هوا

• میزان بارندگی و قدرت تبخیر کنندگی هوا

معمولاً سیستم آبیاری قطره‌ای در کلیه اقلیمهایی که در آنها میزان بارندگی کفاف نیاز آبی گیاه مورد کشت را نمی‌دهد قابل اجراست. از نظر اقتصادی کاربرد این سیستم در شرایط خشک و نیمه خشک بیشتر از مناطق مرطوب مقرون به صرفه خواهد بود.

• سرعت باد

سرعت زیاد باد (تا حدی که به رشد گیاه لطمه نزند) عامل محدود کننده‌ای در انتخاب سیستم آبیاری قطره‌ای نمی‌باشد. فقط در باغات و در سرعتهای بیشتر از ۵ متر در ثانیه احداث باد شکن و همچنین

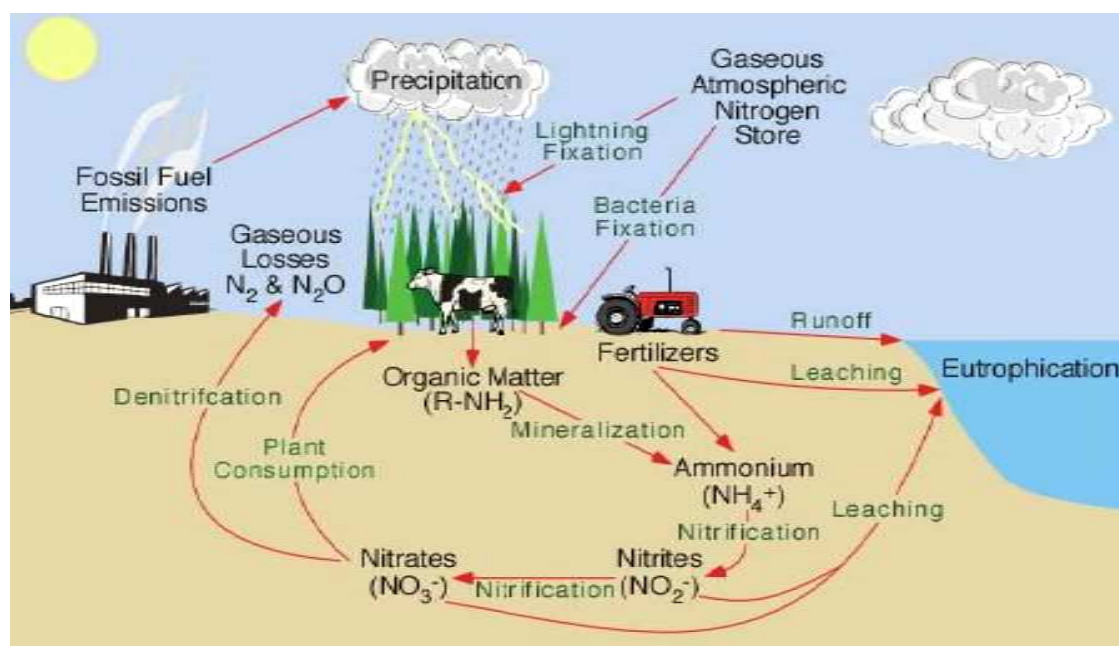
تخصیص قطره‌چکانهای بیشتر برای هر درخت و افزایش دور آبیاری (جهت توسعه دادن به رشد ریشه) توصیه می‌گردد.

۱-۵-۳ عوامل گیاهی

آبیاری قطره‌ای برای کلیه محصولات باغی، جنگل کاریها و گیاهان زراعی و صیفی‌جات که به صورت ردیفی کشت می‌شوند قابل توصیه است. برای زراعت‌هایی که به صورت متراکم کشت می‌شوند معمولاً از نظر اقتصادی استفاده از این سیستم توجیه‌پذیر نمی‌باشد.

۱-۶ نیتروژن

نیتروژن اتمسفر یکی از منابع عمده تأمین کننده نیتروژن خاک است. فرایندهای شیمیایی و زیستی که سبب جابجایی نیتروژن در لیتوسفر، اتمسفر، هیدروسفر و بیوسفر می‌شوند، چرخه‌ی زیستی نیتروژن را تشکیل می‌دهند (شکل ۲-۱).



شکل (۲-۱) شمایی از چرخه نیتروژن

به علت پیچیدگی این چرخه، شناسایی منابع نیتروژن در آبهای زیرزمینی معمولاً مشکل است. در اکثر موارد، نترات در آبهای زیرزمینی به صورت یک آلاینده‌ی انتشاری از کشاورزی ناشی شده و

غلظت نیترات تا حدودی با میزان کود دهی نیتروژنه و تاریخچه کود دهی در منابع کشاورزی در ارتباط است. نیترات قابل انحلال بوده و تحرک زیادی دارد. این امر جذب نیترات را در گیاهان آسان کرده و فروشویی را از خاک به وسیله آبهای نفوذی مستعد می‌سازد. تثبیت زیستی نیتروژن اتمسفر به وسیله سیانوباکترها و میکروارگانیسم‌های همزیست و آزاد، تجزیه مواد آلی و بقایای حاصل از پوشش گیاهی و کودهای آلی و بارندگی در مناطقی که هوای آنها آلوده به گازهای نیتروژن‌دار است، از دیگر منابع تأمین نیتروژن خاک محسوب می‌شوند. همچنین نیتروژن توسط فاضلاب‌های شهری، صنعتی و کشاورزی به خاک اضافه می‌شود. نیتروژن خاک یکی از عوامل مهم تولید محصول در کشاورزی است و در خاک پویا است. از آنجا که نیتروژن نقشی چشمگیر در تولید فرآورده‌های کشاورزی مناطق خشک و نیمه خشک مانند ایران ایفا می‌کند، انتخاب نوع و مقدار مناسب کودهای حاوی این عنصر برای تولید اپتیمم محصول الزامی است. نیتروژن عنصری مهم و حیاتی برای گیاه به شمار می‌رود و در پروتئین‌ها، اسیدهای نوکلئیک و کلروفیل وجود دارد و بیش از عناصر غذایی دیگر در معرض از دست رفتن می‌باشد و مقدار بازیافت آن کمتر از نصف مقدار به کار رفته می‌باشد. دلایل پایین بودن راندمان جذب نیتروژن (NUE)¹ عبارت از: آزاد سازی نیتروژن از بافتهای گیاهی، دنیتریفیکاسیون، آبشویی و تصعید آمونیوم می‌باشد.

به علت هزینه‌های رو به افزایش کودهای شیمیایی، لازم است که جذب و مصرف نیتروژن از راندمان بالایی برخوردار باشد تا بدین وسیله از هزینه نهاده‌ها کاسته و سود بالاتری عاید زارعین گردد. برای رسیدن به هدف فوق لازم است راندمان جذب عناصر غذایی و عوامل مؤثر بر آن را شناخته و راههای افزایش آن را در روش های نوین تولید گیاهان زراعی تشخیص داد. (بدون آنکه عملکرد کاهش یابد). از آنجا که بازده کود نیتروژن به وسیله جذب نیتروژن توسط گیاه و زیست توده تولیدی تعیین می‌شود بنابراین تمام عواملی که روی تولید زیست توده و غلظت نیتروژن در بافتهای گیاهی تأثیر دارند

1-Nitrogen Uptake Efficiency

بر مقدار بازده نیتروژن موثرند. این عوامل تقریباً به پنج دسته عوامل خاکی، گیاهی، محیطی، عملیات زراعی و مدیریت کوددهی تقسیم می‌شوند. به علت حساسیت نیتروژن به تلف شدن از خاک، ضروری است این عنصر در مقادیر کم و به دفعات در طول دوره رشد گیاه مصرف شود. کود اغلب در دو یا چند مرحله به خاک اضافه می‌گردد و نسبت به مقدار نیتروژن مصرفی نیاز گیاه و طول مدت این نیاز، مرحله رشد و بافت خاک این مقادیر می‌توانند مساوی یا متفاوت از همدیگر باشند.

اوره به عنوان کود نیتروژن دار، دارای ۴۶ درصد نیتروژن بوده و بیشترین غلظت نیتروژن را در میان کودهای نیتروژن دار دارد. اوره ماده فعالی است که به وسیله فعال نمودن آنزیم پروتولیز در برگها باعث افزایش فتوسنتز می‌گردد و جریان مواد نیتروژنی از برگها به بذرها را افزایش می‌دهد.

(Heller et al., 1991). تأثیر روش‌های مختلف آبیاری بر روی تلفات نیتروژن، تأثیر منبع کودی نیتروژن بر روی آبشویی نترات در خاکهای مختلف و تأثیر مدیریت کودی بر آبشویی نترات در پژوهش‌های دیگر محققان بررسی شده است. با توجه به جهت‌گیری پژوهش‌ها به نظر می‌رسد بررسی تأثیر توام سطوح کود و آب در تلفات نیتروژن در یک سیستم مدیریتی کود آبیاری ضروری است. برداشت نیتروژن توسط گیاه تحت تأثیر آب آبیاری است و همانگونه که آب مازاد بر نیاز موجب افزایش آبشویی نترات می‌شود کمبود آب آبیاری، سبب کاهش جذب نیتروژن توسط گیاه، تجمع نیتروژن در خاک و افزایش تلفات گازی نیتروژن می‌شود. بنابراین اعمال مدیریت آبیاری موجب مهار تلفات آبشویی می‌شود. در هر مدیریت کارا و دقیق، علاوه بر تقسیط کود براساس نیاز ادواری گیاه، طی دوره رشد باید محاسبه مقدار کود مورد نیاز گیاه در اثر تنش رطوبتی لحاظ شود.

نترات (NO_3^-) یکی از آنیون‌های معدنی است که در نتیجه اکسیداسیون نیتروژن عنصری حاصل می‌شود. این ماده یکی از عناصر بسیار ضروری برای سنتز پروتئین در گیاهان است و نقش مهمی را در چرخه نیتروژن دارد. نترات از طریق اکسیداسیون طبیعی، تولید و بنابراین در تمام محیط زیست یافت می‌شود. فاضلاب‌های شهری، صنعتی، مواد دفعی حیوانی و گیاهی در شهرهای بزرگ که دارای

نیتروژن آلی هستند به خاک دفع می‌شوند. در اثر فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک، نیتروژن آلی به یون آمونیوم (NH_4^+) تبدیل شده که به این پدیده Ammonification گفته می‌شود. خاک توانایی نگهداری این ترکیب را در خود دارد اما به مرور طی پدیده دیگری به نام Nitrification بخشی از یون آمونیوم ابتدا به نیتريت (NO_2^-) و سپس به نیترات تبدیل می‌شود. لایه سطحی خاک قادر به حفظ و نگهداری این دو ترکیب نبوده و در نتیجه نیتريت و نیترات به آبهای زیرزمینی راه می‌یابند. از آن جایی که نیترات در آب به صورت محلول وجود دارد روش‌های معمول تصفیه آب قادر به حذف آن نیست. از این رو نیاز به آن دسته از روش‌های تصفیه پیشرفته می‌باشد که قادر به کاهش آلاینده‌های محلول هستند. از سوی دیگر چرخه نیترات‌سازی در شهرهایی که دفع نادرست فاضلاب از طریق چاه‌های جذبی انجام می‌شود همچنان ادامه دارد و مشکل تولید پیوسته نیترات و انتشار آن به آب‌های زیرزمینی را سبب می‌گردد.

۱-۷ فلفل سبز

فلفل سبز دارای گونه‌های مختلف از جنس Capsicum و از خانواده Solanaceae هست. فلفل سبز شیرین به فارسی فلفل دلمه‌ای و فلفل شیرین به فرانسوی poiverdefuince و به انگلیسی Guiveapepper و paprika گفته می‌شود. نام علمی آن Capsicum annuum است.

۱-۷-۱ تاریخچه

تاریخ مصرف فلفل به ۷ هزار سال پیش از میلاد مسیح بر می‌گردد. زمانی که سرخ پوستان آمریکایی ساکن پرو و مکزیک به عنوان ادویه از آن استفاده می‌کردند. تا اینکه طی قرون ۱۵-۱۶ میلادی کاشفان آمریکایی این سبزی خوش‌نقش و نگار را به اروپا و از آنجا به آسیا و آفریقا آوردند.

۱-۷-۲ مشخصات

فلفل سبز شیرین، گیاهی است یک‌ساله که ارتفاع آن از ۱-۳۰ متر یا کمی بیشتر است. برگ‌های آن سبز، بیضی و نوک تیز است. گل‌های آن به رنگ سفید و منفرد معین یا از محل اتصال دم‌برگ به ساقه فقط یک گل، خارج می‌شود. میوه آن سته با غلافی گوشتی که نسبتاً بزرگ می‌شود. طول آن به

طور متوسط به ۱۰ تا ۱۵ سانتی متر می‌رسد. رنگ نارس آن سبز ولی پس از رسیدن کامل به رنگ های زرد، قرمز، قهوه‌ای و یا ارغوانی در می‌آید. در وسط آن محوری است اسفنجی گوشتی سفید، که تخم‌های میوه در اطراف آن محور قرار گرفته‌اند. این گیاه برای رشد و نمو مناسب طالب نور، دما، آب زیادی است. فلفل سبز در مقابل دمای کم به وضوح عکسل‌العمل نشان می‌دهد. حداقل میزان دما برای جوانه زنی ۱۱ درجه سانتی‌گراد و برای رشد و نمو، بالای ۱۴ درجه سانتی‌گراد است. این گیاه می‌تواند دمای ۲ درجه سانتی‌گراد را برای مدت چند روز نیز تحمل کند ولی در درازمدت ریشه صدمه دیده و خسارت کلی به گیاه وارد می‌شود. دمای بالای ۳۰ درجه سانتی‌گراد نیز برای رشد و نمو مضر است و باعث کاهش عملکرد به دلیل افتادن گلها و گاه‌آ نیز افتادن میوه‌ها می‌شود. دمای مناسب برای عمل لقاح بین ۱۸ تا ۲۲ درجه سانتی‌گراد است و یا بهتر اینکه روزها ۲۵ و شبها ۱۶ درجه سانتی‌گراد باشد.

فلفل سبز سیستم ریشه ای ضعیفی دارد و گسترش آن در خاک نیز کم است. از این نظر به آب زیادی نیاز دارد. این نیاز به ویژه در اوایل دوره رشد محسوس است. رشد خوب و عملکرد مناسب، زمانی به وجود می‌آید که مقدار آب موجود در خاک بین ۶۰ تا ۸۰ درصد ظرفیت مزرعه باشد.

۱-۷-۳ تکثیر فلفل سبز

از طریق کاشت بذر که در اسفند و فروردین در خزانه، در هوایی با درجه حرارت مناسب، کاشته می‌شود تکثیر می‌یابد. وقتی که گیاه دارای ۵-۴ برگ شد یا بلندی آن به ۱۰ سانتی‌متر رسید آن‌ها را در محل دیگری با فاصله بیشتر منتقل و نشا می‌کنند و سپس در اردیبهشت ماه که بوته‌ها به قدر کافی بزرگ شدند این بوته‌ها را با قسمتی از خاک که ریشه آن را پوشانیده به محل اصلی منتقل می‌کنند. محل کاشت باید رو به آفتاب باشد و خاک غنی و خوب شخم خورده باشد. دوره برداشت آن بیشتر در ماه‌های تیر و مرداد است.

پژوهش حاضر در استان سمنان، در ایستگاه تحقیقات کشاورزی بسطام شاهرود، به عنوان منطقه‌ای خشک و نیمه خشک با محدودیت کمی و کیفی منابع آب، بر روی محصول فلفل به واسطه‌ی ارزش

اقتصادی و مصرف زیاد آن به صورت خام و فراوری شده، به روش کود آبیاری قطره‌ای و ارزیابی آن به کمک مدل Hydrus-2D انجام شد. و اهدافی که از انجام این تحقیق دنبال می‌شد عبارت بود از:

۱- بررسی زمانی، مکانی و برآورد میزان دقیق آب و نیتروژن عبوری از لایه های زیرین خاک، توسط مدل

۲- بررسی منطقه‌ای (مزرعه بسطام) و الگوی کشت (فلفل) با توجه به شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک محل و پاسخ به سیستم کود آبیاری قطره‌ای

۳- بررسی تاثیر دوره‌های مختلف رشد گیاه در آلودگی لایه‌های خاک به نیتروژن از طریق کود آبیاری قطره‌ای

۴- صحت‌سنجی کردن مدل متناسب (Hydrus-2D)، در ارتباط با حرکت مواد محلول در خاک

فصل دوم

بررسی منابع

۲-۱ مطالعات انجام شده بر روی سیستم کود آبیاری قطره‌ای

کم آبیاری حد مجاز کاهش عملکرد در اثر کاهش مصرف آب و بالاترین میزان درآمد خالص به ازاء واحد آب مصرفی را تبیین می‌کند. گفته‌های فوق بیانگر این واقعیت است که هرگونه تلاش در بهینه سازی مدیریت منابع آب، بدون توجه به بخش کشاورزی قرین موفقیت نخواهد بود (سپاسخواه و همکاران، ۱۳۸۵). در این راستا استفاده از روش‌های نوین آبیاری و استفاده از منابع جدید آب مانند کاربرد آبهای نامتعارف (آب‌های شور، زه‌آب‌ها و فاضلاب) دو راهبرد مدیریتی مهم، جهت تعدیل شرایط کمبود آب می‌باشد (خانی قریه گپی، ۱۳۸۷).

لام و همکاران (۲۰۰۰) در تحقیقی ۴ ساله حداکثر کارایی مصرف آب را با مصرف ۲۱۰ کیلوگرم ازت به ازای هر هکتار غلات به دست آوردند. آنان علت افزایش کارایی مصرف آب را استفاده از سیستم کود آبیاری قطره‌ای زیرزمینی دانستند. مید (۲۰۰۰) آزمایشی را به منظور تعیین کارایی مصرف کود ازت انجام داد. وی یکنواختی پخش کود به واسطه استفاده از سامانه کود آبیاری قطره‌ای را عامل افزایش چشمگیر کارایی مصرف کود (FUE) در دو محصول کاهو و کلم دانست. گرانبی و همکاران (۲۰۰۰) و زارع ابیانه و همکاران (۱۳۸۶)، زارع ابیانه (۱۳۸۵) و اخوان و همکاران (۱۳۸۴) و (۱۳۸۹) نیز به نتایج مشابهی دست یافتند.

اولین بار (English; 1990) با ترکیب کار محققین مختلف یک قالب عملی، عمومی و تحلیلی برای بحث در خصوص کم آبیاری ارائه داد در تحلیل وی که بررسی اقتصادی نیز دخیل است توابعی برای تولید محصول و هزینه تولید ارائه می‌شود. مدل English الگوریتمی جهت بهینه‌سازی مقدار آب آبیاری برای استفاده بیشینه از واحد حجم آب در دو وضعیت محدودیت آب و زمین است. وی در چارچوب کلی تحلیل خود تابع تولید خاصی را در نظر نمی‌گیرد و تاکید می‌کند که کاربرد روش ارائه شده برای مشکلات مختلف تابع تولید امکان‌پذیر است. براساس تحلیل ارائه شده به وسیله English تحقیقات زیادی در ایران و دیگر نقاط جهان جهت بهینه سازی مصرف آب برای محصولات مختلف کشاورزی انجام شده است. (English; 1990) تحلیل خود را برای گندم در منطقه کلمبیای آمریکا

بکار برد. وی با دو قیمت متفاوت برای گندم، گزارش کرد که با کم آبیاری در شرایط محدودیت آب می‌توان در مصرف آب ۵۰ درصد صرفه‌جویی و سطح زیر کشت را دو برابر کرده و تا ۱۱ درصد سود بیشتر نسبت به شرایط محصول بیشینه (آبیاری کامل) به دست آورد. (English and James; 1990)

گزارش تحقیقی نه ساله با سیستم آبیاری بارانی عقربه‌ای روی گندم را منتشر کردند که نشان می‌دهد با اعمال کم آبیاری درآمد خالص در واحد سطح، ۲۵ درصد کمتر از آبیاری کامل اما درآمد خالص نسبت به واحد آب مصرفی ۱۴/۵ درصد بیشتر از آبیاری کامل بوده است. توکلی (۱۳۸۱) با به کار بردن تحلیل (English; 1990) ضمن ارزیابی اقتصادی کم آبیاری، روی محصول چغندر قند گزارش کردند که آبیاری کامل بیشترین محصول را می‌دهد اما با ۳۴ درصد کاهش آب مصرفی می‌توان بالاترین سود به ازاء مصرف واحد حجم آب را بدست آورد. اولین بار (Sepaskhah and Akbari; 2005) با وارد کردن اثر بارندگی فصل رشد در تابع تولید گندم و پنبه ضمن توسعه معادلات (English; 2005) نشان دادند که ضرایب تابع تولید با حالتی که اثر بارندگی لحاظ نمی‌شود کاملاً متفاوت است. آنها همچنین در معادلاتی که برای مقدار بهینه آب مصرفی ارائه دادند، اثر باران فصل رشد را وارد کردند. اصول نظری (English., 1990., Zand- parsa and Sepaskhah., 2001) در قسمت پیوست آورده است.

در بین سیستم های آبیاری، سیستم آبیاری قطره‌ای دارای راندمان بالایی می‌باشد. آبیاری قطره‌ای را می‌توان به دو صورت سطحی و زیرسطحی نصب نمود که در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، آب در محیط ریشه در دسترس گیاه قرار داده می‌شود و بقیه قسمت‌های زمین خشک باقی می‌ماند. لذا مقدار تلفات آب بسیار کم و دارای راندمان آبیاری بسیار بالایی است. توربون و همکاران (۲۰۰۳) بیان نمودند که از مزیت های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی توانایی کود دهی با راندمان بسیار بالا به گیاه، توانایی استفاده از آبهای لب‌شور به لحاظ عدم تبخیر از سطح خاک و تجمع نمک در محل روزنه، توانایی استفاده از فاضلابها به لحاظ کاهش اثرات سوء زیست محیطی در استفاده از فاضلاب به دلیل خیس نشدن سطح خاک و عدم تماس با محیط خارج و غیره می‌باشد که برای رسیدن به این اهداف آبیاری قطره‌ای

زیرسطحی باید درست طراحی و بهره‌برداری شود. طراحی آبیاری قطره‌ای می‌بایستی به گونه‌ای انجام گیرد که آب در محیط ریشه در سراسر مزرعه به طور یکنواخت توزیع گردد. برای دستیابی به این امر می‌بایست از نحوه توزیع آب در خاک مورد نظر به خوبی اطلاع داشت. لام و همکاران (۱۹۹۷) یک تحقیق دو ساله را برای تعیین مقدار بهینه فاصله بین لاترال‌ها برای گیاه ذرت در یک خاک لوم انجام دادند. عمق نصب قطره‌چکانها ۴۵-۴۰ سانتی‌متر زیر سطح خاک و سه فاصله ۱/۵، ۲/۳ و ۳ متر بین لاترال‌ها مورد بررسی قرار گرفت. نتیجه تحقیق آنها نشان داد که با افزایش فاصله لاترال‌ها مقدار محصول تولیدی با مقدار آب آبیاری یکسان، کاهش می‌یابد. لی و همکاران (۲۰۰۴) توزیع جعبه رطوبتی را در آبیاری قطره‌ای برای دو خاک لومی و شنی بررسی و نحوه توزیع رطوبت در مقطع افقی و عمودی را با توابع نمایی نشان دادند. آنها در خصوص دبی آب کاربردی بیان کردند که با افزایش دبی، توزیع افقی رطوبت افزایش خواهد یافت و با کاهش دبی، توزیع رطوبتی در جهت عمودی افزایش پیدا می‌کند. اشمیتز و همکاران (۲۰۰۲) یکی از راههای مؤثر برای بهینه کردن برنامه‌ریزی آبیاری را استفاده از حل عددی معادلات جریان برای شبیه‌سازی توزیع رطوبت در خاک دانسته‌اند. توربورن و همکاران (۲۰۰۰) و بریستو و همکاران (۲۰۰۰) عنوان کردند که برای طراحی و مدیریت آبیاری قطره‌ای می‌بایست از شکل توزیع رطوبتی و مواد غذایی آگاهی داشت و این کار با حل عددی معادلات حاکم بر جریان امکان پذیر است. کوت و همکاران (۲۰۰۳) توانایی به کارگیری آبیاری قطره‌ای را برای کشاورزی تابعی از بافت و ساختمان خاک، دبی قطره چکان، هدایت هیدرولیکی خاک و طبقه بندی خاک عنوان کردند.

پیتر و همکاران (۲۰۰۳) به این نتیجه رسیدند که در آبیاری قطره‌ای برای بهبود بازده مصرف آب و مواد مغذی بایستی بین فاصله قطره‌چکانها، شدت جریان، مشخصات رطوبتی خاک و مدت زمان آبیاری هم‌خوانی مناسب وجود داشته باشد. جیوشینگ و همکاران (۲۰۰۳) نیز به نتایج مشابهی رسیدند. روحی و همکاران (۲۰۰۶) با تنظیم برنامه آبیاری گیاه گلایول توسط آبیاری قطره‌ای به این نتیجه رسیدند که استفاده از این سیستم مناسب است، اما داشتن اطلاعات مربوط به الگوی توزیع آب

در خاک در این سیستم ضروری است. متین و همکاران (۲۰۰۶) نیز روی گیاه فلفل به چنین نتیجه ای رسیدند. کوت و همکاران (۲۰۰۳) دریافتند که معیارهای طراحی مشخص که بتواند سیستم آبیاری قطره‌ای را در ارتباط با خواص هیدرولیکی خاک مدیریت نماید وجود ندارد. هاینس (۱۹۸۵) گزارش داده است که در اثر سیستم کود آبیاری توزیع رطوبت در خاک فرم خاصی پیدا کرده و ناحیه خیس شدگی عمدتاً در اطراف قطره‌چکان می‌باشد. در طراحی آبیاری قطره‌ای، حجم خاک مرطوب شده توسط یک قطره‌چکان، مهم می‌باشد. لذا محاسبه دقیق تعداد قطره‌چکان مورد نیاز برای ایجاد رطوبت لازم در حجم مشخصی از خاک به طوری که هیچ تنشی به گیاه وارد نشود ضروری می‌باشد. لوبانا و ناردا (۱۹۹۸) گزارش دادند حجم خاک مرطوب شده توسط یک قطره‌چکان تابعی از بافت خاک، آبدهی قطره‌چکان و مقدار کل آب به کار رفته می‌باشد.

طراحی مناسب سیستم کود آبیاری نیاز به اطلاعات درستی از الگوی توزیع رطوبت در ناحیه ریشه، فراهم بودن مواد غذایی در ناحیه ریشه و شست و شوی مواد غذایی از ناحیه زیر ریشه که خود تابعی از آبدهی قطره‌چکان و خواص فیزیکی هیدرولیکی خاک می‌باشد دارد.

۲-۲ مطالعات انجام شده بر روی مدل Hydrus-2D

از آنجایی که لازمه مدیریت زمانی و مکانی در آبیاری قطره‌ای، برای محصولات مختلف، انجام آزمایشات صحرایی مختلفی است که مستلزم هزینه زمانی و مکانی زیادی است، لذا می‌توان از مدل های شبیه‌ساز زراعی برای غلبه بر این محدودیت ها استفاده کرد (منصور و مصطفی زاده، ۱۳۸۵ و ۱۳۸۶). با کمک مدل و شبیه‌سازی حالات مختلف مدیریتی، می‌توان از تکرار آزمایشات صحرایی و افزایش هزینه‌ها جلوگیری نمود (خیامیم و گوهری، ۱۳۸۳). مدل Hydrus-2D یکی از مدل‌های پیشرفته در ارتباط با حرکت دو بعدی آب، املاح و گرما در خاک می‌باشد که توسط سیمپونک و همکاران (۱۹۹۹) در آزمایشگاه شوری خاک امریکا ارائه شده است. در این میان می‌توان به تحقیقات راجپوت و همکاران (۲۰۰۶)، ونترلا و همکاران (۲۰۰۰) و عباسی و همکاران (۲۰۰۳ a,b,c) اشاره نمود.

به منظور بررسی کارایی نرم افزار Hydrus-2D تحقیقات مختلفی در ایران و جهان صورت گرفته است. مدل عددی Hydrus-2D یک مدل جامع برای حرکت آب و املاح و گرما در داخل خاک است که برای شرایط مختلف خاک و آب ورودی به داخل خاک توانایی شبیه سازی توزیع رطوبت را در خاک دارد و می توان از این مدل برای پیش بینی شکل پیاز رطوبتی استفاده نمود (عباسی و تاجیک، ۱۳۸۶). آنتونوپولس (۲۰۰۱) گزارش داده است که این چنین مدل هایی درک درست روابط بین مقدار و زمان به کارگیری آب و مواد غذایی، مقدار جذب مواد غذایی توسط ریشه گیاه، مقدار عملکرد و آلودگی خاک و آب زیرزمینی را فراهم خواهد کرد. اما انتخاب یک مدل مناسب در این زمینه بسیار حائز اهمیت می باشد. لافولی و همکاران (۱۹۹۷) و برگستروم و همکاران (۱۹۹۱) گزارش نموده اند که برای شبیه سازی جریان آب، انتقال مواد غذایی، جریان گرمایی و مقدار جذب مواد غذایی توسط گیاه، مدل های متعددی توسعه یافته است. مدل های انتقال آب و مواد محلول، فهم حرکت آن ها را در خاک و میزان جذب، توسط ریشه گیاه را امکان پذیر ساخته و می تواند ابزار لازم برای طراحی یک سیستم کود آبیاری را ارزیابی نماید.

اسکاگز و همکاران (۲۰۰۴) شکل توزیع رطوبتی را در آبیاری قطره ای سطحی در یک خاک لوم شن و با سه دبی کاربردی (۶۰ و ۴۰ و ۲۰ لیتر برای هر متر لوله) مورد بررسی قرار دادند. آنها نتایج آزمایش را با نتایج حاصله از مدل Hydrus-2D مقایسه و عنوان کردند که نتایج حاصله از مدل تطبیق بسیار خوبی با نتایج آزمایش صحرایی در ۲۴ ساعت بعد از اتمام آبیاری داشته است. لیگا و اسلک (۲۰۰۴) عنوان نمودند می توان از مدل Hydrus-2D در ارائه شکل توزیع رطوبتی در آبیاری قطره ای زیر سطحی استفاده نمود و اظهارات خود را با اجرا کردن مدل توسط یک سری داده های مجازی به تأیید رساندند. عباسی و تاجیک (۱۳۸۶) نشان دادند که مدل Hydrus-2D برآورد نسبتاً خوبی از توزیع رطوبت در جبهه رطوبتی ارائه می دهد. با داشتن این مدل می توان جنبه های مختلف مدیریتی از قبیل فاصله لاترال ها، دبی خروجی و عمق نصب (در آبیاری قطره ای زیرسطحی) را برای شرایط مزرعه مورد

نظر، اعمال کرد تا بهترین گزینه برای مقدار حجم آب کاربردی و فاصله لاترال‌ها و نیز عمق نصب لاترال (در آبیاری قطره ای زیرسطحی) را پیدا نمود.

سینگ و همکاران (۲۰۰۶)، با شبیه‌سازی حرکت آب توزیع شده از قطره‌چکان‌های زیرزمینی به این نتیجه رسیدند که بدون مدل‌سازی محیط اطراف قطره‌چکان، اطلاعات بدست آمده از نحوه توزیع رطوبت در خاک برای مدیریت سیستم آبیاری کافی نیست. روفائل و همکاران (۲۰۰۶) با مقایسه آبیاری سطحی و زیرزمینی با به کارگیری آب شور و شیرین گزارش داده‌اند که استفاده از مدل‌های رایانه‌ای در اخذ نتایج درست حرکت آب در خاک بسیار موثر می‌باشد. اژدري (۲۰۰۵) با مدل‌سازی در سیستم کود آبیاری با کشت گیاه پیاز به این نتیجه رسید که برای طراحی درست یک سیستم کود آبیاری قطره‌ای اطلاع از پارامترهای هیدرولیکی خاک بسیار ضروری است و شناسایی این پارامترها از طریق مدل‌های رایانه‌ای پیشرفته مثل Hydrus-2D درجه اطمینان مطالعات را بالا می‌برد. ری ول و همکاران (۱۹۹۷) بیان کردند که مدل‌های توسعه یافته شرایط دینامیکی آبیاری قطره‌ای را با در نظر گرفتن مرزهای ساده، شبیه‌سازی می‌نمایند.

با توجه به اینکه اغلب مدل‌ها بر پایه شرایط اقلیمی-زراعی یک منطقه ایجاد شده‌اند، لذا کاربرد آن‌ها در مناطق و زیست بوم‌های متفاوت مستلزم اصلاح و واسنجی است (قهرمان و همکاران، ۱۳۸۳). معمولاً اعتبار سنجی مدل‌ها، با محاسبه آمارهای خطاسنجی از راه مقایسه نتایج شبیه‌سازی و اندازه‌گیری به ازای مجموعه‌ای از شرایط آب و هوایی، خاکی و عملیات زراعی صورت می‌گیرد (هاشمی نیا، ۱۳۸۳).

در شبیه‌سازی رطوبت در خاک در سیستم آبیاری قطره‌ای با استفاده از مدل Hydrus-2D نتایج حاصل از واسنجی و اعتبارسازی مدل نشان داد که مدل جهت شبیه‌سازی نحوه حرکت آب در خاک به ویژه در سیستم آبیاری قطره‌ای به شرطی که داده‌های مورد نیاز آن به درستی انتخاب شوند مدل مناسبی می‌باشد (اژدري، ۱۳۸۶). کوت و همکاران (۲۰۰۳) در کشت نیشکر با آبیاری قطره‌ای و با به

کارگیری مدل Hydrus-2D و (Rode et al., 2009) در کشت گیاه پیاز و مدل سازی حرکت آب در خاک نیز به نتایج مشابهی رسیدند.

گارگ و همکاران (۲۰۰۹) در کشور هند در یک مزرعه برنج به تخمین خصوصیات هیدرولیکی خاک با استفاده از مدل Hydrus-2D پرداخته برای این منظور الگوریتم مارگوات- لورنبرگ در محیط شبیه ساز Hydrus-2D ایجاد شد. نتایج مطالعات شبیه سازی بیان می کند که هر دو مدل یک بعدی و دو بعدی Hydrus با دقت قابل قبولی جریان آب را در زمین های پست برنج شبیه سازی می کنند.

در سال ۲۰۰۸ ارزیابی و شبیه سازی انتقال آب و نیتروژن تحت آبیاری شیاری در مزرعه پیاز در کشور بلغارستان صورت گرفت. در این مطالعه تغییرات رطوبت و نیتروژن تحت دو نوع آبیاری شیاری معمول (EFI)^۱ و آبیاری شیاری متناوب (AFI)^۲ مدل سازی شد. نتایج نشان داد که در روش شبیه سازی انتقال نیترات در سیستم کود آبیاری ضروری است. همچنین این نتایج خاطر نشان ساخت که در صورتی که مدل Hydrus-2D به درستی کالیبره شود، قادر به بررسی اثرات نوع روش آبیاری است و به خوبی می تواند توزیع یکنواخت آبشویی و زهکشی نیتروژن را مطالعه نماید (کرویزر و همکاران، ۲۰۰۸).

توانایی مدل Hydrus در شبیه سازی حرکت آب در خاک و آبشویی نیترات در مطالعه راجپوت و همکاران (۲۰۰۶) بررسی شد. نتایج مطالعه ی آنان مؤید آن بود که مدل فوق به خوبی می تواند ارتباط بین آبشویی نیترات با خصوصیات خاکها را در انواع خاکها با کاربری متفاوت تفسیر نماید. صیاد و همکاران (۱۳۸۷) پژوهشی را به منظور بررسی حرکت کادمیوم، مس، سرب و روی در یک خاک آهکی تحت کشت گندم و گلرنگ در منطقه کبوتر آباد در شرق اصفهان با کمک مدل Hydrus انجام دادند. نتایج نشان داد که گیاه گلرنگ باعث حرکت بیش تر فلزات در خاک در مقایسه با گندم گردید.

۱-Every furrow irrigation

۲-Alternative furrow irrigation

غلظت فلزات در زه آب تیمارهای کشت شده با گلرنگ بیشتر از گندم بود ($P < 0.05$). نتایج شبیه سازی حرکت فلزات به وسیله مدل Hydrus نشان داد که اگرچه این مدل توانایی برآورد روند حرکت فلزات در خاک را دارد ولی مقادیر پارامترهای جذبی بهینه شده توسط آن از میزان تعیین شده در آزمایشگاه بسیار کمتر بود. همچنین مدل Hydrus توانست جذب کادمیوم را به وسیله گندم و گلرنگ، مس و سرب را در گندم برآورد نماید. لکن در کل، میزان جذب فلزات را بیشتر از مقادیر اندازه گیری شده برآورد نمود.

ملایی کندلوس و همکاران (۱۳۸۵) در ایستگاه تحقیقاتی کرج به بررسی پیاز رطوبتی در سیستم آبیاری قطره ای زیرسطحی با استفاده از نرم افزار Hydrus-2D پرداختند. آنان اظهار داشتند که این مدل برآورد نسبتاً خوبی از توزیع رطوبت در جبهه رطوبتی ارائه می دهد. به کمک این مدل می توان جنبه های مختلف مدیریتی را در شرایط مزرعه ای اعمال کرد.

نتایج پژوهش اژدري در سال ۲۰۰۸ که به منظور مدل سازی آبیویی نیتروژن از یک مزرعه آزمایشی با استفاده از نرم افزار Hydrus-2D صورت گرفت که حاکی از آن است که این مدل به خوبی قادر به شبیه سازی روند توزیع رطوبت و غلظت نیتروژن در خاک می باشد. در این تحقیق نشان داده شد که میزان دبی قطره چکان بر غلظت نیتروژن در خاک های لوم رسی شنی و لومی تأثیر ندارد. اما در خاک های با بافت درشت مثل لوم شنی با افزایش دبی، نیتروژن بیشتر به لایه های پایین خاک شسته شده و سبب آلودگی ذخایر زیرزمینی می گردد. در مجموع از تحقیقات انجام شده می توان نتیجه گرفت که مدل Hydrus-2D قادر به شبیه توزیع رطوبت و املاح در ناحیه ریشه است. در مدیریت کمی و کیفی ناحیه ریشه در گام اول مستلزم شناخت پارامترها و عوامل مؤثر در آن و معادلات حاکم بر آنهاست و در گام دوم نیاز به ابزاری است تا بتواند عکس العمل تنش های مختلف کمی و کیفی وارده به ناحیه ریشه را در شرایط موجود و آینده پیش بینی کند. در این راستا با توجه به پژوهش های صورت گرفته مدل Hydrus-2D انتخاب گردید.

۳-۲ مطالعات انجام شده بر روی نیتروژن

در چند دهه اخیر، مصرف کودهای نیتروژن دار بدون توجه به تأثیر آنها بر خصوصیات خاک و محیط زیست، گسترش غیر قابل انکاری داشته است (جعفری ملک آبادی و همکاران، ۱۳۸۳). شکل‌های معمول نیتروژن غیرآلی شامل نیترات، نیتريت، گاز نیتروژن، آمونیوم، و سیانید است. نیترات شایعترین آلاینده آب‌های زیرزمینی لقب گرفته است (فتر، ۱۹۹۹). مدیریت ضعیف آبیاری و فعالیت‌های کودپاشی، همراه با شرایط هیدرودینامیک نامطلوب از مهم‌ترین عوامل در آلودگی آب‌های زیرزمینی به حساب می‌آید (گویمر، ۱۹۸۸). نیتروژن نیز نقش مهمی در تولید گیاهان ایفا می‌کند (کیمبر و مک گریگور، ۱۹۹۵). کارایی پایین مصرف آب و نیتروژن، مسائل و موضوعات مهم در کشاورزی ایران هستند (ملکوتی و نفیسی، ۱۹۸۸).

کشاورزان بطور سنتی، مقادیری بسیار بیشتر از حد بهینه نیتروژن را در مزارع ذرت استفاده می‌کنند (Emam 2007). مصرف مقادیر بهینه کود نیتروژن برای تولید حداکثر عملکرد و کاهش آثار منفی زیست محیطی مهم می‌باشد (English et al., 1996). پژوهش‌ها نشان داده‌اند که مصرف زیادتر از حد بهینه نیتروژن، نه تنها به بهبود عملکرد دانه نمی‌انجامد، بلکه باعث هدر روی کود، کاهش سوددهی کشت گیاه زراعی و افزایش آلودگی آب‌های زیرزمینی می‌شود. از طرفی، مصرف کم نیتروژن، دلیل کاهش رشد و عملکرد محصول شناخته شده است (Ulger, 1997). با توجه به موارد فوق، ضروری است که مقادیر بهینه کود نیتروژن برای هر منطقه براساس پژوهش تعیین شود. این مقادیر باید به صورتی باشد که حداکثر عملکرد و حداقل آلودگی نیتروژن را داشته باشد (Schroder et al., 2000). توجه به مقدار نیتروژن باقی مانده در خاک در زمان کاشت، از طریق آزمون خاک، در تعیین مقدار بهینه مصرف کود نقش تعیین کننده‌ای دارد (Berenguer et al., 2009). نتایج یک پژوهشی با مصرف همزمان مقادیر کود نیتروژن و تیمارهای مختلف آبیاری نشان داد که افزایش مصرف نیتروژن، تنها با افزایش مقدار آبیاری باعث ازدیاد عملکرد می‌شود (Di 2008, Paolo and Rinaldi,

بیش از ۴۰ درصد پروتئین دنیا از کودهای نیتروژن تأمین می‌شود. مصرف سالانه کود نیتروژنی از ۱۱/۵ میلیون تن در سال ۱۹۶۱ به ۸۴/۴ میلیون تن در سال ۲۰۰۲ رسیده است (Asadi 2004 a, Mosier et al., 2004). در این خصوص اثبات شده که کمتر از ۵۰ درصد کود نیتروژنی به کار رفته، مورد استفاده گیاه قرار می‌گیرد و بقیه از طریق آبشویی، فرسایش، رواناب و تلفات گازی از دسترس گیاه خارج و تلف می‌شود (Asadi 2004 a; Wicsler 1998; Bacon 1995). تلفات آن نه تنها از نظر اقتصادی نظیر عملکرد محصول، قیمت کود، انرژی و نیروی انسانی مهم است بلکه از نظر آلودگی محیط زیست هم نیاز توجه دارد (Cerrato and Blackmer, 1990). به خاطر نقش حساس و هم‌چنین کمبود عرضه نیتروژن، مدیریت منابع نیتروژن از بعد تولید محصولات کشاورزی بسیار مهم است (Novoa and Loomis, 1981). نیتروژن، عنصر کلیدی در غذای گیاه است (وهابزاده، ۱۳۷۸). کمبود نیتروژن در گیاه منجر به کاهش بازده اقتصادی محصول می‌گردد (لالور و همکاران ۲۰۰۱). بر طبق نظر مارشدر ۱۹۹۵ همچنین وجود مقادیر زیاد نیتروژن در گیاه حساسیت آن را نسبت به بسیاری‌ها و ورس افزایش می‌دهد. در مناطق خشک و نیمه خشک به دلیل آبشویی املاح و برای جلوگیری از تجمع آنها در نیم‌رخ خاک عمق آبیاری همواره مقداری بیشتر از تبخیر و تعرق گیاه در نظر گرفته می‌شود. این پدیده می‌تواند سبب آبشوی نترات شود (jalali & Rowell, 2003). نتایج دلالت بر آن دارد که علاوه بر مقدار آبی که از منطقه توسعه ریشه عبور می‌کند، غلظت نترات نیز در نیم‌رخ خاک یا آب آبیاری عامل مؤثری در مقدار آبشویی نترات می‌باشد. نتایجی که محققان دیگر (Eriksen et al., 1997, Randall et al., 1999) به دست آورند موضوع را تأیید می‌کند. در روشهای صحیح کشت گیاه، معمولاً از مصرف مقادیر بیش از حد کود شیمیایی اجتناب می‌شود، زیرا افزایش غلظت ترکیبات نیتروژن‌دار، در آب زهکشی را باعث می‌شود که از افق‌های سطحی خاک به طرف پایین حرکت می‌کند (Babiker et al., 2004 Borken and Matzner., 2004).

در شرایط اقلیمی خشک و نیمه خشک تلفات تصعید کود اوره در روش پخش کود در سطح خاک تا ۴۰ درصد نیز گزارش شده است (Malakouti & Homaee, 2004). در صورتی که در پژوهشی، کل تلفات نیتروژن از منبع کود اوره در روش کود-آبیاری حدود ۱۹/۵ درصد است.

حداکثر مجاز غلظت نیترات که می‌تواند در آب آبیاری وجود داشته باشد، توسط سازمان حفاظت محیط زیست امریکا ۴۵ میلی‌گرم در لیتر تعیین شده است (US-EPA, 1996). همچنین حد آستانه مجاز میزان نیترات برای تخلیه به آبهای سطحی براساس استاندارد سازمان محیط زیست ایران ۵۰ میلی‌گرم NO_3^- در لیتر و برای تخلیه به چاههای جاذب آب ۱۰ میلی‌گرم در لیتر است. (سازمان محیط زیست ایران، ۱۳۷۳). مکان‌هایی که کشاورزی تراکم فراوان دارد، خطر زیادی برای آلودگی نیتراتی آبهای سطحی و زیرزمینی وجود دارد.

(McIntyre et al., 2005; McIntyre and Wheeler., 2004). محسنی (۱۳۶۵) با مطالعه غلظت نیترات در چاههای آب اطراف شالیزارهای بابل دریافت که یک همبستگی مثبت بین مصرف کود نیتروژن‌دار و غلظت نیترات در آب‌های زیرزمینی وجود دارد. وی همچنین مشاهده کرد که ۲۵ درصد از چاههای آب آشامیدنی نمونه‌برداری شده، غلظت نیتروژن نیتراتی بالاتر از حداکثر مجاز EPA (۱۰ میلی‌گرم بر لیتر) دارند و میانگین غلظت آنها ۴۰/۲ میلی‌گرم بر لیتر است. لطیف (۱۳۸۱) با مطالعه آلودگی به نیترات و منشأیابی آن در آبهای زیرزمینی دشت مشهد دریافت که حداکثر غلظت نیترات آب‌های زیرزمینی منطقه ۷۴/۴ میلی‌گرم در لیتر در ایستگاه میدان جمهوری است و ۷/۵ درصد چاه‌ها غلظت نیترات بیش از حداکثر مجاز EPA (۴۵ میلی‌گرم بر لیتر) دارند. تسک و همکاران (۲۰۰۳) دریافتند که غلظت نیترات آب‌های زیرزمینی منطقه کاسیاکانتی آیداهو تحت مدیریت EPA کاهش یافته است.

نیترات از کودهای شیمیایی، تجزیه گیاهان، کودهای حیوانی و دیگر باقیمانده‌های آلی به وجود می‌آید. گیاهان، نیترات و آمونیوم را مصرف می‌کنند. گاهی اوقات باران این ماده غذایی را به طرف آب‌های سطحی و زیرزمینی حرکت می‌دهد (Hamilton and Helsel., 1995). برای بررسی توزیع نیترات

در آب‌های زیرزمینی باید شناخت دقیقی نسبت به فرآیندهای شیمیایی حاکم بر تبدیلات نیتروژن وجود داشته باشد. به همین دلیل در طی دو دهه گذشته، شدیداً مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است (لیو و همکاران، ۱۹۹۷ و کینی، ۱۹۸۹). اکثر موارد نفوذ نیترات به آب زیرزمینی به صورت یک آلاینده انتشاری از کشاورزی ناشی شده و غلظت نیترات را می‌توان با میزان استفاده از کودهای نیترا ته در ارتباط دانست (لرنر و پاپاتولیوس، ۱۹۹۳).

آلودگی آب‌های زیرزمینی به نیترات یک مشکل گسترده برای اقتصاد، اکوسیستم و سلامتی انسان است (Goolsby, 2000; O'Neil and Raucher., 1990).

نگرانی درمورد غلظت‌های نامطلوب نیتروژن در آب دارای جنبه‌های مستقیم بهداشتی و بوم‌شناختی است (Krapac et al., 2002; Lundberg et al., 2004).

بعلاوه، زمانی که آب‌های زیرزمینی به آب‌های سطحی اضافه می‌شود، کاهش منابع آب آشامیدنی را به دنبال دارند (وهایزاده، ۱۳۷۸).

حداکثر غلظت نیترات و نیتريت آب برای مصرف شرب به ترتیب ۴۵ میلی‌گرم در لیتر (۱۰ میلی‌گرم در لیتر بر حسب نیتروژن) و ۳/۳ میلی‌گرم در لیتر (۱ میلی‌گرم در لیتر بر حسب نیتروژن) توصیه گردیده است (یواس‌ای پی‌آ ۱۹۹۵).

سطوح بالای غلظت نیترات در آب آشامیدنی می‌تواند ظرفیت انتقال خونی اکسیژن را کاهش دهد و موجب بیماری سیندرم بچه آبی^۱ شود. به همین صورت، غلظت زیاد نیترات برای حیوانات نشخوار کننده مانند گاو و گوسفند نیز سمیت ایجاد می‌کند (عرفان منش وافیونی، ۱۳۷۹). نیترات موجود در آب شرب می‌تواند در دستگاه گوارشی انسان به نیتريت تبدیل شده و خطر ابتلا به سرطان را افزایش دهد. (داتا و همکاران، ۱۹۹۷). نیتروژن به شکل نیترات در غلظت‌های بالا دارای زیان بهداشتی است. رابطه بین غلظت نیترات در آب آشامیدنی و بروز مت‌هموگلوبینمیا و سیانوسیس در کودکان کاملاً

۱- Blue baby syndrome

شناخته شده است. دام ها نیز ممکن است از علا یم چند عارضه و بیماری ناشی از وجود مقادیر زیاد نیترات در آب آشامیدنی، نظیر متهموگلوبینمیا، کمبود ویتامین A، اختلالات تولید مثل، سقط جنین و کاهش تولید شیر رنج ببرند (Fewtrell, 2004; Knobeloch et al., 2000).

جنبه دوم نگرانی از افزایش غلظت نیترات در آب، ترس از غنی شدن آبهای سطحی است که موجب رشد سریع گیاهان آبی می شود. شناخته شده ترین جنبه آن، رشد زیان آور پلانکتون هاست. غنی شدن را باید فرایندی طبیعی دانست که به وسیله 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 (Dorgham et al. 2004; Lucassen et al., 2004). به هر حال به دنبال فرایند غنی شدن، مسائل و مشکلاتی مثل ایجاد مانع در قایقرانی و کشتیرانی به واسطه رشد پرتراکم علف های هرز، مسدود شدن کانال های آبیاری به وسیله جلبک ها و علف های هرز، بوی زیان آور حاصل از رشد الگها، تولید توکسین به وسیله الگ های مشخص، کاهش اکسیژن آبها، بویژه پس از تثبیت جوانه زنی الگ ها و به دنبال آن از بین رفتن ماهی ها و رکود اقتصادی به واسطه جایگزین شدن ماهی های مرغوب به وسیله گونه های ماهی با مرغوبیت کمتر به وجود خواهد آمد (Fei, 2004; Shimura et al., 2002).

مطالعات سطوح نیترات در آب زیرزمینی تورنفلد، بیش از ۱۰۰ میلی گرم در لیتر گزارش شده است. برای تعیین سهم هر کدام از کاربری های اراضی در نیترات آب زیرزمینی، انجمن مدیریت آب روستایی و هیدرولیک، تسهیلاتی را برای اندازه گیری نیترات آبشویی شده و نفوذ کرده، تحت سیستم های مدیریتی مختلف و گیاهان گوناگون و توزیع مقادیر کیفی و کمی نیترات آب زیرزمینی را به وسیله کودها و پوشش گیاهی فراهم کرد. نتایج نشان داد که در بین استفاده های مختلفی که از آب می شود، کشاورزی منبع اصلی آلودگی آب زیرزمینی توسط نیترات محسوب می شود (کپودر و شولکا، ۲۰۰۲).

(ابیدات و همکاران، ۲۰۰۷)، برای مطالعه گسترش آلودگی نیترات در آب زیرزمینی و تعیین منابع محتمل نیترات، تعداد ۲۴۸ نمونه آب زیرزمینی که از ۱۶ چاه در نقاط مختلف منطقه الهاشمیه کشور اردن جمع آوری و غلظت نیترات آنها را بررسی کردند. نتایج نشان داد که غلظت نیترات در برخی از چاه‌های انتخابی از سال ۲۰۰۱ تا سال ۲۰۰۶ افزایش یافته است به گونه ای که نیترات در سال ۲۰۰۶ از ۱۰ تا ۳۳۰ میلی گرم در لیتر با میانگین ۷۷ میلی گرم در لیتر بوده است. در حالت کلی این مطالعه غلظت نیترات را در ۹۲ درصد نمونه‌ها بالای ۲۰ میلی گرم در لیتر در اثر فعالیت‌های بشری نشان داد. این مطالعه نشان دهنده همبستگی زیاد بین غلظت نیترات و فاضلاب به عنوان منبع آلوده بود. (جعفری ملک آبادی و همکاران، ۱۳۸۳)، به منظور بررسی کیفیت آب زیرزمینی استان اصفهان از ۷۵ حلقه چاه با کاربری‌های مختلف در اصفهان، نجف آباد، نطنز، شهرضا و کاشان به مدت ۵ ماه (دی ماه ۱۳۷۹ تا اردیبهشت ماه ۱۳۸۰)، به صورت ماهانه نمونه‌برداری کردند. نتایج مطالعات آنها نشان داد که غلظت نیترات در اکثر مناطق مورد بررسی نسبت به زمان، روند افزایشی داشته و بیشترین غلظت نیترات مربوط به اسفند ۱۳۷۹ و فروردین ۱۳۸۰ بوده است. همچنین توزیع نیترات رابطه نزدیکی با وسعت و شدت فعالیت‌های کشاورزی، عمق سفره آب زیرزمینی و میزان مصرف آب داشته است. یکی از شاخص‌های مهم برای نشان دادن کیفیت آب آشامیدنی و کشاورزی، میزان نیترات موجود در آن است (Krapac et al., 2002; Criss and Davisson, 2004).

نیترات از طریق تجزیه و فساد پسماندهای انسانی و حیوانی، تولیدات صنعتی و رواناب حاصل از کشاورزی وارد آبهای سطحی و زیرزمینی می‌شود.

(Dia and Cameron, 2002; Kraft and Stites, 2003).

سبزی کاری به آرامی، انتقال آلودگی‌ها را افزایش می‌دهد. شهری شدن نواحی در مقایسه با مناطق روستایی، عامل آلودگی را سریع تر به ذخایر آبی انتقال می‌دهد (Kraft and Stites., 2003). رودخانه کلرادو از کوه‌های واقع در وایومینگ سرچشمه گرفته و طی مسیر از طریق کانال و آبراهه، زمین‌های

کشاورزی منطقه نیمه خشک را مشرب و کیفیت آب زیرزمینی حاشیه خود را کاهش می دهد (وهازاده، ۱۳۷۸).

(Bowers; 2000) اعلام کرد همبستگی بین فعالیت کشاورزی و آلودگی به نیترات آب های زیرزمینی به خوبی اثبات شده است. نهلس و همکاران (۲۰۰۱) دریافتند که حداکثر غلظت نیترات آب های زیرزمینی در دو منطقه از دشت شنی ویسکانسین مرکزی آمریکا به دلیل آبیاری مناطق سبزی کاری شده است. همچنین (Kraft and Stites., 2003) میانگین غلظت نیتروژن نیتراتی آب های زیرزمینی کم عمق (تا ۳ متر) را حدود ۲۰ میلی گرم در لیتر اندازه گیری کردند.

(Angle et al., 1993)، با مطالعه غلظت های نیترات خاک تحت کشت ذرت بر اثر شخم و کود حیوانی توجه کرده و دریافتند که مقدار آبشویی نیترات در پروفیل خاک عموماً با افزایش نرخ کاربرد کود افزایش می یابد.

(Abdorashid et al., 2000)، با مطالعه مدیریت نفوذ آب و نیتروژن روی نیترات باقیمانده خاک و سرعت نیترات زدایی تحت کشت ذرت در خاک شنی لومی در کبک در سال های ۱۹۹۶ و ۱۹۹۷ دریافتند که غلظت های نیترات تحت مدیریت سطح آب به ترتیب ۴۲ و ۱۶ درصد در فصل رشد کاهش یافت.

فصل سوم

مواد و روش ها

۳-۱ خصوصیات محل اجرای آزمایش

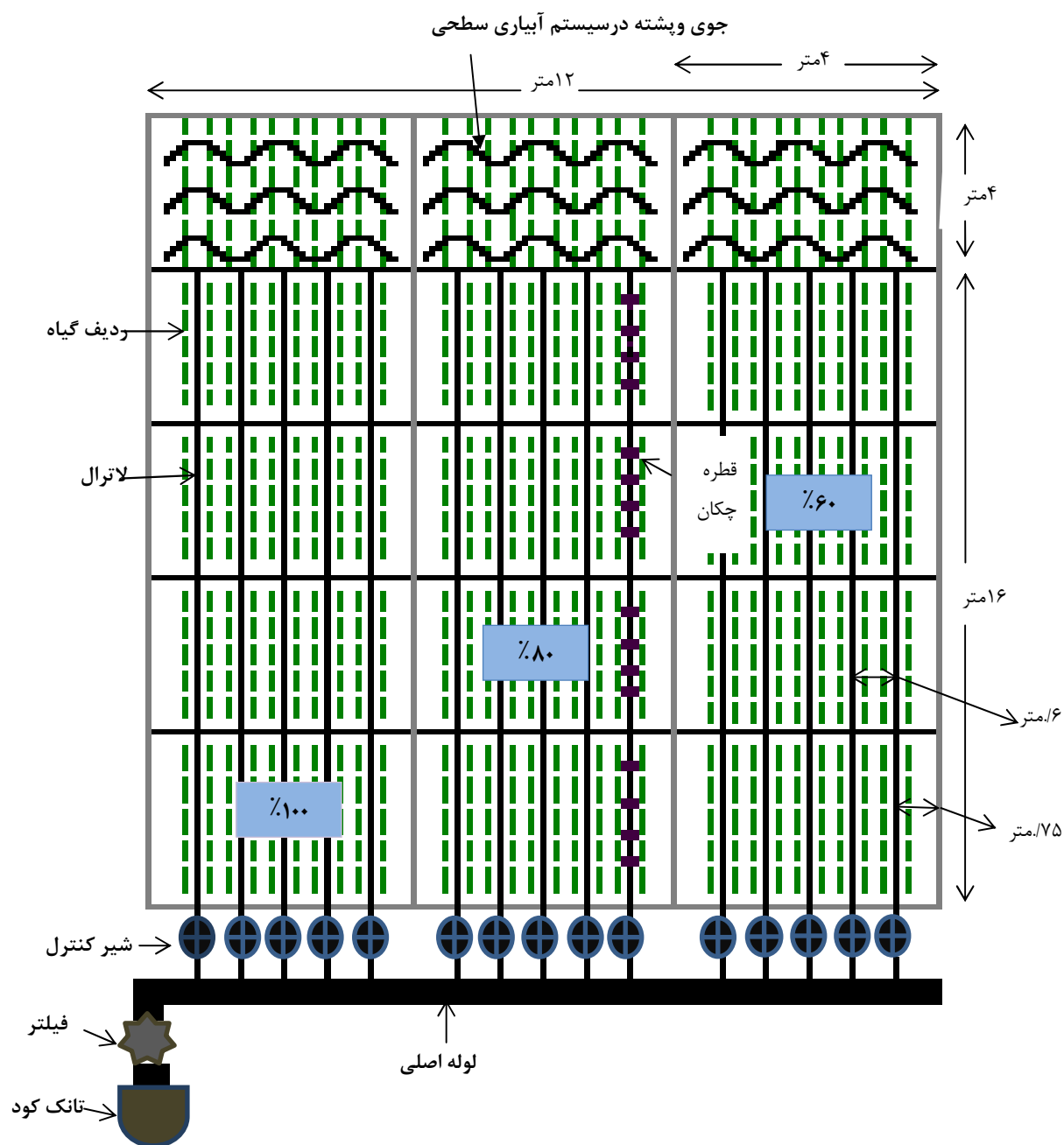
این تحقیق در اول فروردین ۱۳۸۹ با کشت گیاه فلفل سبز در مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود صورت گرفت و کلیه مراحل تحقیق در این مکان انجام شد.

این منطقه در طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۴۸ دقیقه و ۳۱/۸۵ ثانیه شرقی و عرض ۳۶ درجه و ۲۷ دقیقه و ۳۵/۲۴ ثانیه شمالی و با ارتفاع ۱۳۴۵/۳ متر از سطح دریا قرار گرفته است. این منطقه دارای اقلیم نیمه خشک با متوسط بارندگی سالیانه ۱۵۶/۵ میلی‌متر می‌باشد. متوسط درجه حرارت سالیانه آن ۱۴/۴، حداقل درجه حرارت ۵/۸- و حداکثر آن ۳۹/۶ درجه سانتی‌گراد می‌باشد که دارای تابستان‌های نسبتاً گرم و زمستان‌های سردی است و غالب بارندگی‌های آن در فصل زمستان رخ می‌دهد.

این طرح شامل اجرای یک سیستم کامل کود آبیاری قطره‌ای به منظور بررسی روند تغییرات رطوبت و نیتروژن در عمق توسعه ریشه گیاه فلفل سبز به روش مدل‌سازی بود.

در شکل (۳-۱) شمایی از مزرعه تحقیقاتی با سیستم کود آبیاری قطره‌ای و سطحی نشان داده شده است.

برای انجام این مطالعه، نمونه‌هایی از خاک مزرعه از ۶ لایه ۰-۱۰، ۱۰-۲۰، ۲۰-۳۰، ۳۰-۴۰، ۴۰-۵۰ و ۵۰-۶۰ سانتی‌متری در میانه هر کرت با فرض یکنواختی مشخصات خاک برداشت و به آزمایشگاه منتقل گردید. به منظور تعیین برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، نمونه‌ها هوا خشک شده و از الک دو میلی‌متری عبور داده شدند. در این مطالعه بافت خاک از روش هیدرومتری بایکاس، وزن مخصوص ظاهری از روش کلوخه پارافین، هدایت هیدرولیکی خاک اشباع با کار گذاشتن دستگاه گلف تا عمق ۶۰ سانتی‌متری در ۶ لایه اندازه‌گیری شد، شکل (۳-۲). همچنین کنترل رطوبت از طریق نصب تانسیومتر در مزرعه مورد آزمایش قرار گرفت، شکل (۳-۳).



شکل (۱-۳) شمایی از مزرعه تحقیقاتی با سیستم کود آبیاری قطره‌ای و آبیاری سطحی



شکل (۲-۳) نصب دستگاه گلف جهت تعیین هدایت هیدرولیکی اشباع در اعماق مختلف



شکل (۳-۳) نصب تانسومتر جهت کنترل مکش رطوبت خاک

رطوبت خاک در حد ظرفیت زراعی و پژمردگی دائم توسط دستگاه صفحات فشاری (۵ بار و ۱۵ بار) اندازه‌گیری گردید. صفحه ۵ بار برای مقادیر مکش ۰/۱ تا ۵ بار و صفحه ۱۵ بار برای مکش‌های بیش از ۵ بکار گرفته شد. لازم به توضیح است جهت اندازه‌گیری رطوبت، در حد مکش ۵ بار و ۱۵ بار از دستگاه صفحات فشاری موجود در دانشکده کشاورزی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

استفاده شد. حدود رطوبتی گزارش شده بر اساس میانگین ۱۲ نمونه خاک اخذ شده از ۱۲ کرت می باشد.

ویژگی‌های شیمیایی خاک شامل هدایت الکتریکی عصاره اشباع (EC_e) و اسیدیته (PH) متعلق به گل اشباع به ترتیب با دستگاه پرتابل هدایت‌سنج و PH سنج تعیین گردید. نیتروژن با استفاده از دستگاه کج‌لدال و کربن الی به روش اکسیداسیون مرطوب اندازه‌گیری شد. آب مورد نیاز از محل یک حلقه چاه در کلاس کیفی $C_1 - S_1$ بر اساس نمودار ویلکوکس و $PH=8$ و $EC= 0.212 \text{ ds.m}^{-1}$ تامین گردید.

۳-۲ مشخصات سیستم کود آبیاری قطره‌ای

این تحقیق در سطحی معادل ۲۴۰ مترمربع، بطوریکه که ۱۹۲ مترمربع آن شامل ۱۲ کرت به ابعاد ۴×۴ متر به صورت کود آبیاری قطره‌ای و معادل ۴۸ متر مربع به صورت سه کرت ۴×۴ متر به صورت کود آبیاری سطحی انجام گردید، که به منظور مدیریت بهتر و سهولت در تردد، بین هر کرت ۵۰ سانتی‌متر فاصله لحاظ شد. هر کرت شامل ۵ خط فرعی (لاترال) به فاصله ۶۰ سانتی‌متر با ۱۰ قطره چکان در هر خط به فاصله ۴۰ سانتی‌متر و دبی ۴ لیتر در ساعت بود. دو طرف هر خط فرعی به کشت فلفل سبز اختصاص داده شد. فاصله بین دو بوته ۲۰ سانتی‌متر بود. لوله‌های لاترال از جنس PVC به قطر ۱ سانتی‌متر و ضخامت ۲ میلی‌متر بود. تنظیم فواصل قطره‌چکانها با تعداد بوته‌های کشت شده در هر ردیف مطابقت داشت و هر قطره‌چکان ۴ بوته فلفل سبز را آبیاری می‌کرد.

در سیستم قطره‌ای برای کنترل و اندازه‌گیری میزان کود و آب در محل اتصال لاترالها به لوله اصلی از شیرهای کنترل استفاده گردید. جهت جلوگیری از گرفتگی قطره‌چکانها توسط ذرات معلق بین خط توزیع و خط تغذیه کننده یک فیلتر با مش ۱۵۰ نصب شد. به منظور کود دهی به صورت محلول از روش تزریق با ایجاد فشار استفاده شد. در این روش انژکتور محلول کودی را از یک تانک، تحت فشار مکش به داخل سیستم آبیاری قطره‌ای تزریق می‌کرد.

شکل (۳-۴) و (۳-۵) به ترتیب اجزای سیستم آبیاری قطره‌ای نصب شده در مزرعه قبل از کشت و تنظیم دبی قطره‌چکان ها در سیستم را نمایش می‌دهد.



شکل (۳-۴) اجزای سیستم آبیاری قطره‌ای نصب شده در مزرعه تحقیقاتی قبل از کشت



شکل (۳-۵) ارزیابی دبی قطره‌چکان‌ها در سیستم آبیاری قطره‌ای

عملیات آبیاری بر اساس برنامه ریزی آبیاری هر ۴۸ ساعت یکبار انجام می‌شد. آب توزیع شده در کرت‌ها کاملاً کنترل شده و دارای توزیع یکنواخت و بر اساس نیاز آبی گیاه در ماه‌های مختلف زراعی بود. توزیع مواد مغذی نیز هر ۷ روز به همراه عملیات آبیاری به مدت ۱۰ دقیقه انجام گرفت.

۳-۳ انتخاب گیاه

گیاه انتخابی در این تحقیق فلفل سبز بود که از جنس (Capsicum) و از خانواده Solanaceae است. فلفل سبز در زمره سبزیجاتی است که نسبت به سیستم کود آبیاری قطره‌ای پاسخ مثبتی می‌دهد.

(اژدری، ۱۳۸۶) و تولید آن در ایران در سطحی نسبتاً وسیع صورت می‌گیرد و این گیاه یکی از پرمصرف‌ترین محصولات کشاورزی است که به صورت خام و فراوری شده استفاده می‌شود و نیز نیاز گیاه به آب، در طول دوره رشد خود قابل توجه است. (میزان حجم آب مصرفی در واحد هکتار در بخش نتایج آمده است).

۳-۴ تاریخ کشت

بذر فلفل سبز در اول فروردین سال ۱۳۸۹ در خزانه کشت شد و بوته‌های فلفل سبز پس از رشد کافی در خزانه، در اول اردیبهشت همان سال به صورت نشاء در زمین اصلی تحت مدیریت کود آبیاری قرار گرفت. در ادامه فصل رشد، با نمونه‌برداری زمانی و مکانی از خاک منطقه ریشه، روند توزیع رطوبت و نیتروژن روندیابی شد.

۳-۵ تاریخ برداشت

در نهایت، پس از ۱۵۴ روز از عملیات نشاء، اقدام به برداشت محصول گردید و در پایان پس از هوا خشک شدن فلفل سبز، اقدام به تعیین عملکرد محصول به روش توزینی شد.

۳-۶ تعیین آب مورد نیاز گیاه

آب مورد نیاز گیاه، بر اساس آمار طشتک تبخیر، به مدت ۵ سال و برآورد میانگین آن در قالب معادله ۳-۱ صورت گرفت.

$$Et_c = K_p \cdot K_c \cdot E_p \quad (۱-۳)$$

در این رابطه، ET_c تبخیر و تعرق منطقه ($mm.d^{-1}$)، K_p ضریب طشتک تبخیر، K_c ضریب گیاهی و E_p تبخیر مستقیم از سطح طشتک ($mm.d^{-1}$) می‌باشد.

مقدار K_p بر اساس بررسی های به عمل آمده از روی منابع موجود در منطقه شاهرود برای طشتک کلاس A آمریکایی ۰/۶۰ در نظر گرفته شد (بی نام، ۱۳۸۵). مقدار K_c بر اساس نشریه شماره ۵۶ فائو و با تقسیم فصل رشد به شش ماه اول سال ۱۳۸۹ به ترتیب ۰/۲، ۰/۴، ۰/۷، ۱، ۰/۷ و ۰/۴ تعیین گردید.

از آنجا که سیستم آبیاری قطره‌ای براساس دور ۴۸ ساعت طراحی و مدل Hydrus-2D نیز به آمار تبخیر و تعرق روزانه نیاز داشت، لذا مقدار آب مورد نیاز گیاه در مقیاس زمانی روزانه برآورد و به مدل اعمال گردید. این امر سبب تلفات کمتر آب و مدیریت مناسب‌تر آب و مواد مغذی می‌شود. بخش کرتی یکبار در هفته با زمان تقریبی ۳۰ دقیقه آبیاری شد. برنامه آبیاری اجرا شده در طرح، در جدول (۱-۳) نشان داده شده است.

جدول (۱-۳) برنامه آبیاری هفتگی در سیستم آبیاری قطره‌ای فلفل سبز

شماره هفته	مدت زمان آبیاری قطره ای (دقیقه) ۳ بار در هفته	حجم آب مصرفی (لیتر)
۱	۱۰	۹۶۰
۲	۱۲	۱۱۵۲
۳	۱۵	۱۴۴۰
۴	۱۸	۱۷۲۸
۵	۲۰	۱۹۲۰
۶	۲۰	۱۹۲۰
۷	۲۵	۲۴۰۰
۸	۳۰	۲۸۸۰
۹	۴۵	۴۳۲۰
۱۰	۵۰	۴۸۰۰
۱۱	۶۰	۵۷۶۰
۱۲	۷۵	۷۲۰۰
۱۳	۷۵	۷۲۰۰
۱۴	۹۰	۸۶۴۰
۱۵	۹۰	۸۶۴۰
۱۶	۶۰	۵۷۶۰
۱۷	۴۵	۴۳۲۰
۱۸	۳۰	۲۸۸۰

۳-۷ برنامه توزیع کودهای مغذی

مطالعه منابع متعدد از جمله تمبورج و سینک (۲۰۰۰) نشان داد که نیاز مواد مغذی گیاه فلفل سبز به صورت ترتیبی ۹۰، ۶۰ و ۶۰ کیلوگرم بر هکتار برای نیتروژن، فسفر و پتاسیم می‌باشد. به این ترتیب از مقادیر فوق در طرح حاضر استفاده شد. چون سیستم آبیاری به صورت قطره‌ای بود ایجاب می‌کرد که کودهای مورد استفاده از نوع محلول در آب باشند. برای این منظور از کود اوره با فرمول کودی NH_2CONH_2 به عنوان منبع اصلی نیتروژن، اسید فسفریک با فرمول کودی H_3PO_4 به عنوان منبع اصلی فسفر و کلرور پتاسیم با فرمول KCL برای تامین پتاسیم استفاده شد. مقادیر هر کدام از کودها با توجه به سطح زیر کشت به شرح ذیل معین گردید.

اوره (Urea) = ۴/۶۹ Kg

اسید فسفریک (H_3PO_4) = ۳/۲۲ Lit

کلرور پتاسیم (KCL) = ۳ Kg

روش توزیع کودهای یاد شده در این طرح بر اساس استفاده از میزان آب مورد نیاز گیاه به صورت هفتگی بوده است. این روش یک روش علمی تلقی گردیده و برای برآورد مقدار کود مورد نیاز گیاه در هر هفته از معادلات زیر استفاده شد:

$$\text{اوره (گرم)} = \frac{A \times 52 \times 100}{46} \quad (۲-۳)$$

$$\text{اسید فسفریک (میلی لیتر)} = \frac{A \times 30 \times 100 \times 2.29}{61 \times 1.68} \quad (۳-۳)$$

$$\text{کلرور پتاسیم (گرم)} = \frac{A \times 80 \times 100 \times 1.2}{62} \quad (۴-۳)$$

A، آب مورد نیاز هفتگی گیاه می باشد.

بر اساس برنامه در نظر گرفته شده کلرور پتاسیم در طی ۸ هفته، اسید فسفریک در ۱۰ هفته و اوره در ۱۲ هفته از ابتدای کشت مزرعه ای از طریق سیستم آبیاری توزیع شد.

نیتروژن در سه تیمار ۱۰۰ درصد برای ردیف اول (T_1)، ۸۰ درصد برای ردیف دوم (T_2) و ۶۰ درصد برای ردیف سوم (T_3) در اختیار گیاه قرار گرفت. ردیف چهارم (T_4) که در قسمت پایین این سه کرت قرارداد داشت برای آبیاری سطحی برنامه ریزی شد. جدول (۲-۳) توزیع مواد مغذی را برای دو سیستم کود آبیاری قطره ای و سطحی به صورت هفتگی نشان می دهد. در این جدول ۷۵ درصد از دو ستون آخر (ستون های کود فسفات و کود پتاس) مربوط به سیستم قطره ای و ۲۵ درصد از آنها مربوط به سیستم سطحی می باشد.

جدول (۲-۳) برنامه توزیع کود در سیستم کود آبیاری و آبیاری سطحی فلفل سبز

هفته	Urea (gr)				H ₃ PO ₄ (ml)	KCL (gr)
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄		
۱	۴۰	۳۲	۲۴	۴۰	۱۵۰	۱۰۰
۲	۵۰	۴۰	۳۰	۵۰	۲۰۰	۲۰۰
۳	۶۰	۴۸	۳۶	۶۰	۲۰۰	۲۰۰
۴	۸۰	۶۴	۴۸	۸۰	۲۵۰	۳۰۰
۵	۱۰۰	۸۰	۶۰	۱۰۰	۳۰۰	۴۰۰
۶	۱۲۰	۹۶	۷۲	۱۲۰	۴۰۰	۵۰۰
۷	۱۵۰	۱۲۰	۹۰	۱۵۰	۴۰۰	۶۰۰
۸	۱۵۰	۱۲۰	۹۰	۱۵۰	۴۰۰	۷۰۰
۹	۱۵۰	۱۲۰	۹۰	۱۵۰	۵۰۰	
۱۰	۱۵۰	۱۲۰	۹۰	۱۵۰	۵۰۰	
۱۱	۱۰۰	۸۰	۶۰	۱۰۰		
۱۲	۵۰	۴۰	۳۰	۵۰		
۱۳						
۱۴						
جمع	۱۲۰۰	۹۶۰	۷۲۰	۱۲۰۰	۳۳۰۰	۳۰۰۰

۳-۸ نمونه برداری از خاک

برای تعیین میزان رطوبت و غلظت نیتروژن موجود در خاک، نمونه برداری های لازم از خاک منطقه ریشه تا عمق ۶۰ سانتی متری که شامل ۶ نمونه از ۶ لایه ۱۰ سانتی متری بود، در طول فصل زراعی صورت گرفت. این نکته قابل ذکر است که عمق توسعه ریشه گیاه فلفل حدود ۳۰ سانتی متر است. اما به منظور بررسی توزیع نیتروژن به صورت عمودی، قبل و بعد از کود آبیاری در منطقه ریشه و همچنین میزان توزیع رطوبت در زیر ناحیه ریشه از ۳ عمق ۴۰ و ۵۰ و ۶۰ سانتی متری نیز نمونه برداری به عمل آمد. نتایج این عمل نیز به مدل داده شد تا مدل نیز میزان توزیع نیتروژن و رطوبت را در این لایه ها و لایه های زیرین مورد بررسی و شبیه سازی کند. همچنین یک نمونه خاک (مخلوط

چند نمونه از مکان‌های مختلف زمین مورد استفاده) به منظور تعیین شرایط حاکم بر زمین تهیه شد، که میزان رطوبت و نیتروژن اولیه نیز در آزمایشات قبل از کشت لحاظ شد، تا در مدل‌سازی مورد استفاده قرار گیرد. بعد از کشت نیز نمونه‌برداری به فواصل زمانی یک ماهه برای تعیین رطوبت و میزان نیتروژن انجام شد و نتایج آن نیز در مدل‌سازی به کار برده شد.

تمامی نمونه‌های اخذ شده به آزمایشگاه منتقل و اطلاعات مربوط به رطوبت از طریق وزنی و اطلاعات مربوط به نیتروژن نیز با استفاده از دستگاه کج‌دال اندازه‌گیری شد. در این خصوص اطلاعات مربوط به مقدار رطوبت و نیتروژن در هر دوره نمونه‌برداری در فواصل زمانی قبل، ۲۴، ۲ و ۴۸ ساعت پس از آبیاری با استفاده از اوگر مخصوص تهیه و صورت گرفت.

لازم به توضیح است که برای اندازه‌گیری دقیق میزان رطوبت نمونه‌ها، بلافاصله آنها در مزرعه وزن شده و بعد به آزمایشگاه منتقل می‌شد.

۳-۹ روش اندازه‌گیری نیتروژن خاک

مقدار نیتروژن موجود در نمونه‌های مورد آزمایش با استفاده از دستگاه کج‌دال نیمه اتوماتیک مدل Vapodest 20s اندازه‌گیری شد. در این مدل تنها آخرین مرحله، یعنی تیتراسیون به صورت دستی انجام می‌گیرد و تنها قابلیت تعیین میزان نیتروژن را دارد.

این دستگاه از دو بخش هضم و تقطیر تشکیل شده است. شکل (۳-۶) و (۳-۷). بخش هضم در این مدل شامل ۱۲ لوله است که آنالیز همزمان ۱۲ نمونه را ممکن می‌سازد. برای انجام هضم نمونه‌ها باید ترکیبی از نمونه خاک یا گیاه، اسید سولفوریک غلیظ (۹۶ درصد) و قرص کاتالیزور یا (مخلوطی از ۹۶ گرم سولفات پتاسیم و ۴ گرم سولفات مس ۵ آب) را با مقادیر مناسب که بسته به وزن نمونه خاک یا گیاه متغیر است، در لوله‌ها ریخته و آنها را در جایگاهشان در دستگاه هضم قرار می‌دهیم. درجه دستگاه را ابتدا روی ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد تنظیم می‌کنیم تا مخلوط درون لوله‌ها به نقطه جوش برسد و سپس دما را به ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد کاهش می‌دهیم و آنقدر حرارت را ادامه می‌دهیم تا نمونه‌ها به رنگ سبز شفاف در آیند و عمل هضم نمونه‌ها کامل شود. این عمل تقریباً حدود ۳ ساعت به طول می‌انجامد. لازم به ذکر است که در سری اول که نمونه‌ها را در دستگاه هضم قرار می‌دهیم احتیاج به نمونه شاهد نیز داریم که نمونه شاهد حاوی مخلوط بالا به جز نمونه خاک یا گیاه است.



شکل (۶-۳) بخش هضم از دستگاه کج‌دال

در مرحله بعد نمونه‌ها را برای انجام عمل تقطیر، کاملاً سرد می‌کنیم. بخش تقطیر، دارای دستگاهی با دو جایگاه می‌باشد که در یکی، لوله مربوط به بخش هضم و در دیگری ارلنی حاوی ترکیبی از ۵۰ میلی‌لیتر اسید بوریک ۲ درصد و چند قطره معرف فنل فتالین (بارنگ قرمز) قرار می‌گیرد. (رنگ محلول درون ارلن به رنگ صورتی می‌باشد).



شکل (۷-۳) بخش تقطیر از دستگاه کج‌لدا

با شروع کار دستگاه تقطیر، در درون لوله حاوی نمونه هضم شده با اضافه شدن اسید، رنگ سبز لجنی ظاهر شده که این صحت انجام آزمایش را می‌رساند و بعد از اتمام کار دستگاه (حدود ۴ دقیقه)، رنگ محلول داخل ارلن سبز می‌شود که هر چه این رنگ تیره‌تر باشد نشان دهنده غلظت نیتروژن بیشتر در نمونه خاک یا گیاه است. در مرحله آخر که به صورت دستی انجام می‌گیرد ارلن‌هایی که در دستگاه تقطیر برای هر نمونه استفاده شده را با توجه به شماره نمونه، شماره‌گذاری کرده و با محلول HCL ۰/۱ نرمال تا ظهور مجدد رنگ قرمز کمرنگ یا رنگ صورتی تیترا می‌کنیم. سپس از رابطه (۳-۳) درصد نیتروژن را محاسبه می‌کنیم.

$$\%N = \frac{1.4008 * 0.1 * (V_S - V_B)}{M} \times 100 \quad (۵-۳)$$

در رابطه فوق :

$$N = \text{غلظت نیتروژن بر حسب درصد}$$

$$0/1 = \text{نرمالیتة اسید کلریدریک تیترا کنندہ}$$

$$V_S = \text{مقدار اسید مصرفی برای تیتراسیون نمونه بر حسب میلی لیتر}$$

$$V_B = \text{مقدار اسید مصرفی برای تیتراسیون شاهد بر حسب میلی لیتر}$$

$$M = \text{وزن نمونه بر حسب گرم می باشد.}$$

فصل چهارم

آشنایی با مدل سازی

۴-۱ تعریف مدل و کاربردهای آن در آبیاری و زهکشی

مدل شرحی ساده از هویت یا فرآیندی پیچیده است. به عبارت دیگر مدل سازی به معنای استخراج روابط بین پدیده های مرتبط با هم و ارایه یک سیستم پویا است، تا امکان پیشگویی تغییرات پدیده یا پدیده ها نسبت به زمان، مکان و غیره به وجود آید. ساخت مدل بر پایه کشف روابط منطقی و شناخت و تفسیر این روابط امکان پذیر می گردد. در شرایط حاضر استفاده از مدل تقریباً در تمامی علوم، کاری متعارف می باشد به طوری که امروزه از شبیه سازی انفجارهای اتمی گرفته تا علوم انسانی، از مدل استفاده می شود. در علوم مهندسی با پیشرفت محاسبات عددی و ساخت کامپیوترهای پرسرعت طی چند دهه اخیر، زمینه لازم برای ساخت و ارایه مدل، بیش از پیش فراهم گردیده است. در علوم مختلف کشاورزی و از آن جمله آبیاری و زهکشی نیز مدل سازی در حال توسعه می باشد. استفاده از مدل ها، زمینه لازم را برای پاسخهای سریع، دقیق و اقتصادی به بسیاری از سوالات فراهم آورده است. در قرن بیستم با پیدایش کامپیوتر، استفاده از مدل وارد مرحله نوینی شد، به طوری که بسیاری از مدل های پیچیده با استفاده از کامپیوتر قابلیت تحلیل پیدا کردند. این روند با ورود کامپیوترهای جدید هر روز در حال گسترش بوده و امروزه این امکان بوجود آمده است که بسیاری از مدل های پیچیده حتی بوسیله کامپیوترهای خانگی قابل تحلیل شوند.

استفاده از مدل در طی دوران مختلف تاریخ توانسته است منافع بسیاری را برای انسان به ارمغان بیاورد که برخی از موارد آن بشرح ذیل می باشد:

- کم کردن هزینه ها

- سریع شدن دسترسی به نتایج

- دسترسی به نتایج دقیقتر

۲-۴ تعریف نمونه واقعی و مدل

معمولا در ایجاد پدیده‌های طبیعی، عوامل گوناگونی دخالت دارند. در تهیه مدل این گونه پدیده‌ها سعی می‌شود که عوامل کم اهمیت جهت ساده شدن کار حذف گردند. این موضوع باعث می‌شود که یک پدیده پیچیده طبیعی، تبدیل به یک پدیده ساده‌تر شده و مدل کردن و تحلیل آن سهل‌تر شود. البته بایستی توجه داشت که حذف این عوامل باید بر اساس منطق صورت گیرد چرا که در غیر این صورت نتایج دریافتی از مدل با نتایج دریافتی از پدیده طبیعی، تفاوت فاحشی پیدا خواهد کرد. به طور کل می‌توان گفت دقیقترین مدل یک پدیده طبیعی، خود آن پدیده می‌باشد، اما مسائلی همچون پیچیدگی، هزینه و یا وقت‌گیر بودن موجب می‌شود که انسان از مدل استفاده کند. در علم مدل به نمونه واقعی یا اصلی، پروتوتیپ^۱ و به نمونه تهیه شده از روی نمونه واقعی، مدل گویند.

۳-۴ گامهای بسط مدل و شناخت آن

به طور خلاصه برای مدل کردن یک پدیده باید مراحل زیر را پیمود:

- ❖ شناخت مساله
- ❖ بسط مفهومی
- ❖ جدا کردن مساله به اجزای اساسی
 - چه فرآیندهایی را شامل می‌شود؟
 - چه رابطه تجربی را شامل می‌شود؟
- ❖ فرموله کردن مدل و بسط معادلات
- ❖ کالیبره کردن مدل، حل فرمول‌ها و روابط با استفاده از دستگاه داده‌ها
- ❖ تصحیح و بازبینی مدل با واقعیت

۱-Prototype

❖ ارزیابی نتایج

- رد مدل
- تأیید مدل
- اصلاح مدل بر پایه بینش جدید

۴-۴ مقیاس مدل

در عمل ممکن است مقیاس عوامل در نمونه واقعی در حدی باشد که انجام آزمایش در آن مقیاس غیر ممکن یا غیر اقتصادی باشد. در این صورت لازم است که مقیاس مدل مورد مطالعه، در قیاس با نمونه اصلی تغییر (بزرگتر یا کوچکتر) نماید. به طور مثال ساختن یک مدل از سرریز سد در مقیاس واقعی ممکن است غیر اقتصادی باشد، اما ساختن مدل کوچک آن می‌تواند هزینه‌ها را تا حد زیادی کاهش دهد. این تغییر مقیاس می‌تواند در زمینه زمان هم کاربرد داشته باشد. بطور مثال تحلیل فرآیند رسوب در طبیعت زمان‌بر می‌باشد، اما می‌توان مدل‌هایی برای تحلیل رسوب تهیه نمود که بتوان سریعتر به نتایج دست یافت.

۴-۵ استفاده از مدل

بعد از اینکه برای تحلیل یک فرآیند طبیعی، مدل تهیه شد می‌توان با اعمال ورودی‌های مختلف نتیجه آن فرآیند طبیعی را پیش‌بینی نمود. در این مرحله هر چه مدل بهتر تهیه شده باشد نتایج خروجی آن نیز به واقعیت نزدیکتر خواهد بود.

۴-۶ تقسیم بندی مدل‌ها از نظر ماهیت

مدل‌هایی که معمولاً برای مطالعه و بررسی آبیاری و زهکشی مورد استفاده قرار می‌گیرند، سه نوع می‌باشند:

۴-۶-۱ مدل فیزیکی

در مدل فیزیکی، مدل از نظر فیزیکی شبیه نمونه واقعی می‌باشد، اما در مقیاسی متفاوت. برای مثال مدل فیزیکی یک سد یا رودخانه که در آزمایشگاه‌های هیدرولیک تهیه می‌شوند نمونه‌هایی از مدل‌های فیزیکی هستند. این مدل‌ها در حال حاضر در دنیا جایگاه ویژه‌ای خود را دارند. این نوع از مدل‌ها معمولاً پرهزینه می‌باشند.

۴-۶-۲ مدل قیاسی

نوع دیگری از مدل‌ها وجود دارند که می‌توان آنها را نوع خاصی از مدل‌های فیزیکی دانست. مبنای منطقی اینگونه مدل‌ها این است که در طبیعت پدیده‌های گوناگونی وجود دارند که از نظر فیزیکی و معادلات ریاضی شبیه هم هستند. به طور مثال حرکت جریان الکتریسته و یا حرکت حرارت در بسیاری موارد شبیه فیزیک حرکت آب می‌باشد. بر این اساس می‌توان فرض کرد که ولتاژ معادل فشار، هدایت الکتریکی معادل ضریب نفوذ پذیری، شیب پتانسیل الکتریکی معادل شیب هیدرولیکی و بردار شدت جریان الکتریکی معادل بردار سرعت آب می‌باشد. در چنین شرایطی فرمول اهم، هم بجای فرمول داریسی مورد استفاده واقع خواهد شد. بنابراین در برخی موارد می‌توان به جای استفاده از مدل‌های فیزیکی از مدل‌های الکتریکی، حرارتی و غیره، استفاده نمود تا بدین وسیله امکان تهیه مدل و آزمایش سهل‌تر شود. شکل (۴-۱) نمونه‌ای از مدل قیاسی می‌باشد که برای یک آبخوان تهیه شده است.



شکل (۴-۱) مجموعه‌ای از خازن و مقاومت الکتریکی که هیدرولیک جریان آب زیرزمینی را در یک آبخوان بوسیله مدل قیاسی نشان می‌دهد

۴-۶-۳ مدل ریاضی

در علم آبیاری و زهکشی، مدل‌های ریاضی در حقیقت به معنای حل معادلات اصلی حاکم بر فیزیک آب و خاک می‌باشند. مدل‌های ریاضی را می‌توان در گروه‌های زیر طبقه‌بندی نمود:

- مدل‌های خطی و غیر خطی
- مدل‌های قطعی و احتمالی
- مدل‌های ایستا و پویا
- پارامترهای توده‌ای و توزیعی

مراحلی که برای ایجاد و اجرای یک مدل ریاضی طی می‌شود عموماً شامل موارد ذیل می‌باشد:

الف- درک رفتار فیزیکی سیستم

در این مرحله روابط و اثرات متقابل عوامل موجود در یک سیستم تعیین می‌شوند.

ب- تعیین معادلات ریاضی

در این مرحله، روابط فیزیکی حاکم که در مرحله قبل شناسایی شده‌اند به صورت عبارات ریاضی تفسیر می‌شوند. در این قسمت باید فرضیات ساده‌ای را در نظر گرفت و معادلات حاکم بر جریان را

بدست آورد. نتایج حاصله از این مرحله عموماً شامل یک یا تعدادی معادله دیفرانسیل همراه با شرایط اولیه^۱ و مرزی^۲ مناسب می‌باشد.

ج - حل معادلات ریاضی

در این مرحله بایستی روش حل مناسبی جهت فرمول ارائه شده در مرحله قبل بدست آید. عموماً دو روش اساسی برای حل معادلات ریاضی در این مرحله وجود دارد که عبارتند از روش تحلیلی و روش عددی. بر همین مبنا دو نوع مدل ریاضی قابل تعریف می‌باشد:

۴-۶-۳-۱ مدل‌های ریاضی تحلیلی

مدل‌های ریاضی تحلیلی معمولاً برای مسایل ساده کاربرد دارند. به عبارت دیگر اگر از این نوع مدل برای مسایل پیچیده استفاده شود لازم است که با فرضیات مختلف معادلات را ساده نموده تا امکان حل مسئله با مدل‌های ریاضی تحلیلی فراهم آید. بدیهی است که این ساده‌سازی، خطاهایی را در جواب نهایی موجب خواهد شد.

۴-۶-۳-۲ مدل‌های ریاضی عددی

در مورد پدیده‌های پیچیده امکان استفاده از مدل‌های ریاضی تحلیلی وجود ندارد یا بسیار مشکل است. دلیل این امر این است که تحلیل اینگونه سیستم‌ها با مدل‌های ریاضی تحلیلی، نیاز به ساده سازی‌های زیادی داشته و بدون اعمال این ساده‌سازی‌ها امکان حل وجود نخواهد داشت و در صورتی که این ساده‌سازی‌ها انجام شود نتایج صحیح و قابل اعتماد نخواهند بود. در چنین شرایطی برای تحلیل اینگونه پدیده‌ها از روشهای عددی استفاده می‌شود. مدل‌های ریاضی عددی عموماً با حل معادلات دیفرانسیل همراه است. جهت استفاده از روشهای عددی، متغیرهای پیوسته بوسیله متغیرهای ناپیوسته جانشین می‌شوند. بنابراین یک سری معادلات جبری بدست می‌آید.

۱-Initial condition

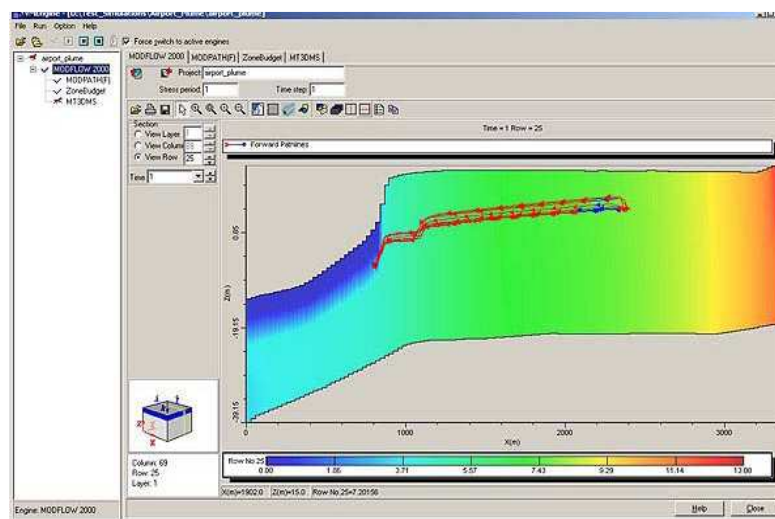
۲-Boundary condition

معادلات حاصل، عموماً با استفاده از روشهای مستقیم و یا روشهای تکراری حل می‌شوند.

۴-۶-۴ مدل‌های کامپیوتری

امروزه معمولاً جهت تحلیل مدل‌های ریاضی از برنامه‌های مختلف کامپیوتری استفاده می‌شود. مدل‌های کامپیوتری در حقیقت همان مدل‌های ریاضی هستند اما به دلیل اینکه این نوع مدل‌ها با کامپیوتر تحلیل می‌شوند به آنها مدل‌های کامپیوتری می‌گویند. امروزه استفاده از این نوع مدل‌ها بطور وسیعی در حال گسترش می‌باشد. از دلایل این امر سادگی و کم هزینه بودن این نوع از مدل‌ها است (شکل ۴-۲).

امروزه انواع مختلفی از مدل‌های کامپیوتری در زمینه حل مسایل آبیاری و زهکشی تولید شده‌اند. بطور مثال Drainmod, Sirmod, SRFR, Infiltr, Hydrus و جمله این مدل‌ها می‌باشند. امروزه اینگونه مدل‌ها به طور وسیعی در حال گسترش می‌باشند.



شکل (۴-۲) نمونه‌ای از مدل‌های کامپیوتری

۴-۷ توصیف مدل Hydrus-2D

این مدل یک مدل عناصر محدود است که معادله ریچاردز را برای جریان آب به صورت اشباع در محیط متخلخل و همچنین معادله جریان محلول را در محیط متخلخل حل می‌کند. معادله جریان

بخشی به نام ترم جذب آب توسط گیاه می‌باشد. این مدل معادله حرکت املاح را در حالت غیرخطی و غیرتعادلی برای فازهای جامد و مایع حل می‌کند. همچنین مدل فوق برای تشابه‌سازی حرکت آب و املاح در حالت غیراشباع، نیمه اشباع و اشباع کامل در محیط متخلخل به کار می‌رود. مدل Hydrus-2D یکی از مدل‌های پیشرفته در ارتباط با حرکت دو بعدی آب، املاح و گرما در خاک می‌باشد. این مدل توسط سیمپونک و همکاران در آزمایشگاه، شوری خاک آمریکا بسط داده شده است.

این مدل شامل حل عددی معادله ریاضی ریچاردز برای بررسی حرکت آب در خاک و معادلات انتقال - انتشار برای بررسی حرکت املاح و گرما در خاک است. در این مدل معادلات مربوطه به روش عناصر محدود حل گردیده‌اند. این مدل قادر به شبیه‌سازی در شرایط اشباع و غیر اشباع بوده و توانایی تخمین خصوصیات خاک به روش مستقیم و معکوس را دارد. مدل مذکور در حل معادله جریان و انتقال املاح، شرایط مرزی مناسبی را در ارتباط با اتمسفر و بخش زهکش در نظر می‌گیرد. یکی از مشخصات مدل این است که میزان تبخیر و تعرق گیاهی را به صورت جداگانه نیاز دارد و تفکیک تبخیر و تعرق بر اساس روش فدس و همکاران (۱۹۷۸) گذرین (۱۹۷۷) و ریتچی (۱۹۷۲) انجام شد. موارد تخصصی در راهنمای مدل ذکر شده است.

در این قسمت برخی از بخش‌های مهم مدل، تشریح گردیده است.

۴-۸ معادلات حاکم

فرم تغییر یافته معادله ریچاردز که در مدل Hydrus-2D به صورت عددی حل می‌شود، به صورت زیر می‌باشد:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial r} \left\{ k(h) \frac{\partial h}{\partial r} \right\}$$

که در آن θ (L³L⁻³) رطوبت حجمی، h (L) ارتفاع فشاری آب، t (T) زمان، r (L) فاصله شعاعی از محل قطره چکان، Z (L) مختصات عمودی و K (LT⁻¹) ضریب هدایت هیدرولیکی غیر اشباع می‌باشد. این

مدل، معادله فوق را با به کارگیری روش خطی عناصر محدود نوع Galerkin به صورت عددی حل می کند.

در این مدل برای توصیف مشخصات هیدرولیکی خاک نظیر منحنی رطوبتی و هدایت آبی غیر اشباع روابط متعددی تعریف شده است. معمولترین آنها رابطه وان گنوختن - معلم (۱۹۸۰) به شرح ذیل است:

$$\theta(h) = \begin{cases} \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (\frac{h}{h_0})^n]^m} \end{cases}$$

$$k(h) = k_s s_e^l [1 - (1 - s_e^m)^{\frac{1}{n}}]$$

$$s_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \quad (4 -)$$

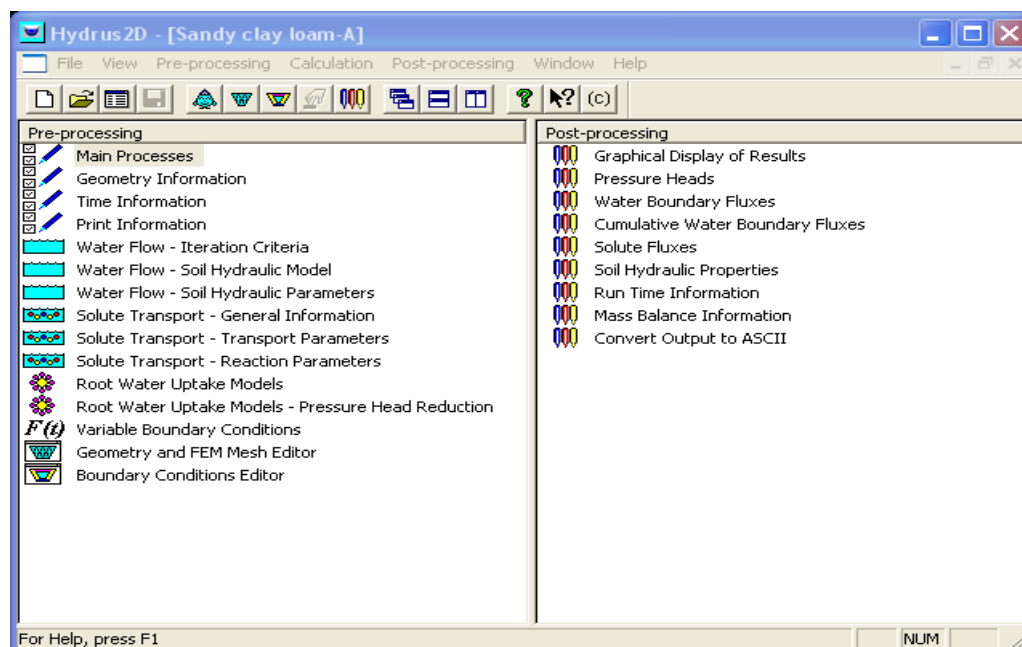
که در آن، θ_r رطوبت باقیمانده، θ_s رطوبت اشباع، m ، n ، l و α پارامترهای تجربی، K_s هدایت آبی اشباع و S_e اشباع نسبی است.

۴-۹ شرح بخش‌های مختلف مدل

برای اجرای برنامه، داده‌های مورد نیاز در پنجره‌های خاص از کاربر سؤال می‌شود. پنجره‌های مدل شامل پنجره اصلی، اطلاعات هندسی، اطلاعات زمانی، مشخصات هیدرولیکی خاک، شرایط اولیه و مرزی و چاپ نتایج است.

با شروع برنامه صفحه‌ای مطابق شکل (۴-۳) نمایش داده می‌شود. همانطور که ملاحظه می‌گردد در سمت چپ باید داده‌های ورودی با رجوع به هر بخش و وارد نمودن پارامترهای مورد نیاز به برنامه معرفی گردد. در سمت راست نتایج حاصل از اجرای برنامه بصورت طبقه بندی شده و گرافیکی نشان

داده می‌شود. همین نتایج بصورت فایل‌های متنی نیز در اختیار کاربر قرار داده می‌شوند. جهت تشریح مدل ابتدا به بررسی چگونگی ورود اطلاعات و سپس خروجی های مدل تشریح می‌گردد.

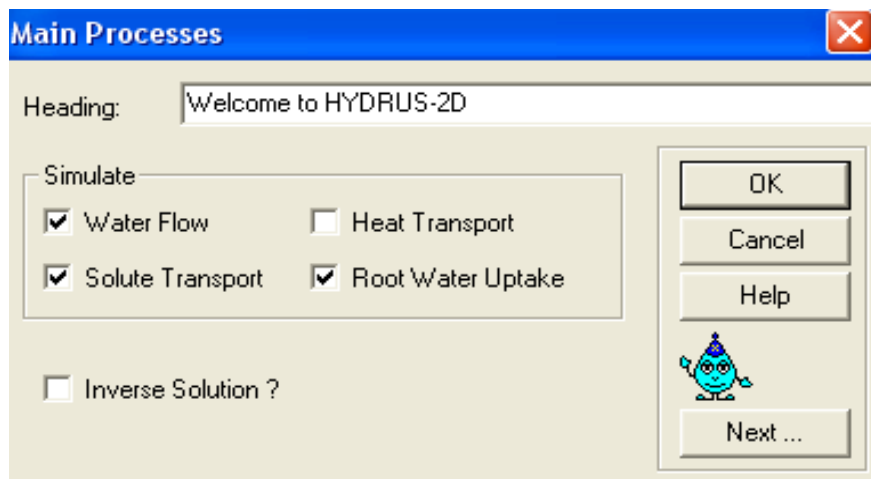


شکل (۴-۳) نمایش صفحه عمومی مدل Hydrus-2D

۴-۱۰ ورودی های مدل

با انتخاب گزینه Main Processes از منوی Pre-Processing و یا انتخاب آن از سمت چپ صفحه عمومی، پنجره ای مطابق شکل (۴-۴) نمایان می‌شود.

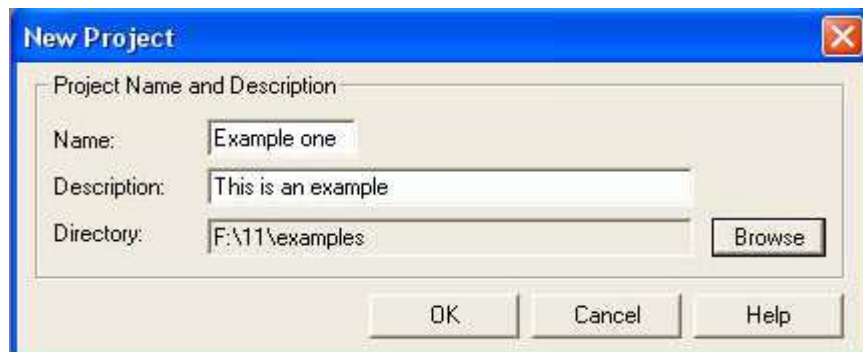
در قسمت Heading می‌توان عنوانی برای برنامه انتخاب نمود. این عنوان در فایل‌های خروجی به نمایش گذاشته می‌شود. این مدل قادر است حرکت آب، املاح و گرما در خاک، برداشت آب توسط ریشه و همچنین رشد ریشه را شبیه‌سازی نماید. از خصوصیات بارز این مدل این است که با انتخاب گزینه Inverse Solution می‌تواند خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک را به روش معکوس شبیه سازی و تحلیل نماید. با انتخاب هر کدام از گزینه‌ها، پنجره یا پنجره‌های مربوط به آن نشان داده می‌شود تا پارامترهای مربوطه تحت عنوان ورودی وارد گردد.



شکل (۴-۴) پنجره معرفی نوع مسئله به مدل

۴-۱۱ ایجاد پروژه جدید

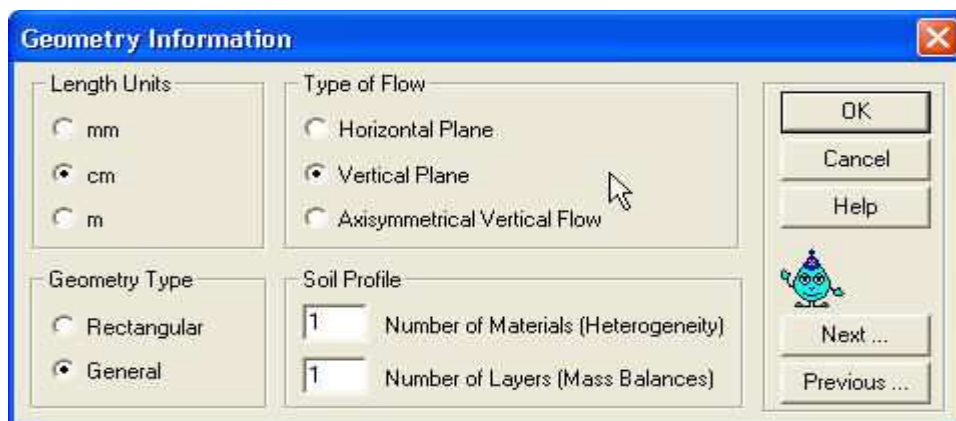
با انتخاب گزینه New از منوی File پنجره ای مطابق شکل (۴-۵) ظاهر خواهد شد که باید اطلاعات مربوط به نام، توضیح در مورد مسأله و مسیر ذخیره سازی آن را بر روی رایانه مشخص شود.



شکل (۴-۵) پنجره ورود نام، توضیح و مسیر ذخیره سازی مسئله

۴-۱۲ اطلاعات هندسی مورد نیاز مدل

شکل (۴-۶) پنجره مربوط به اطلاعات هندسی مورد نیاز مدل را نشان می دهد که می توان واحد طول، نوع شکل هندسی مورد نظر برای شبیه سازی، جهت حرکت آب که می تواند عمودی یا افقی باشد، همگن یا ناهمگن بودن خاک و تعداد لایه های خاک را تعیین نمود.



شکل (۴-۶) پنجره مربوط به اطلاعات هندسی مورد نیاز مدل Hydrus-2D

۴-۱۳ اطلاعات مربوط به زمان

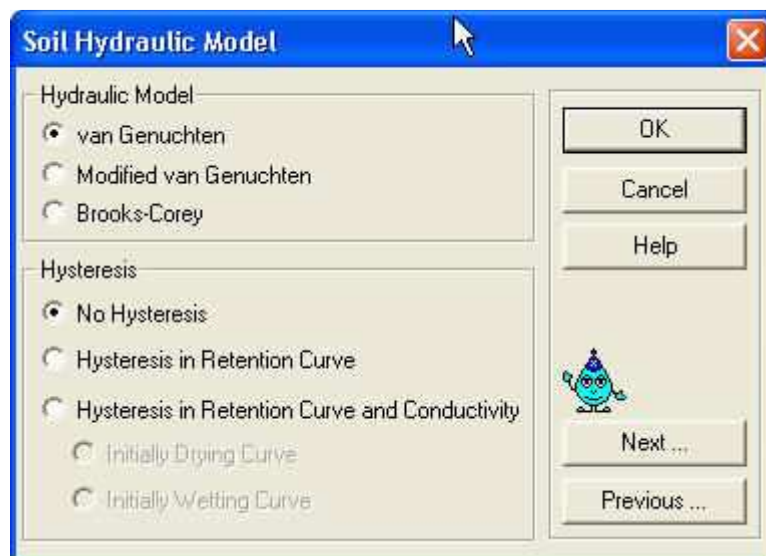
شکل (۴-۷) پنجره مربوط به اطلاعات زمان به کار رفته در مدل Hydrus-2D را نشان می‌دهد که می‌توان واحد زمان، زمان آغاز و پایان شبیه‌سازی، کمترین و بیشترین بازه زمانی مجاز برای شبیه‌سازی و تعداد دفعاتی که شرایط مرزی در طی مرحله شبیه‌سازی تغییر می‌کند را تعیین کرد.



شکل (۴-۷) پنجره ورود اطلاعات مربوط به زمان

۴-۱۴ خصوصیات هیدرولیکی خاک

شکل (۴-۸) پنجره مربوط به تعیین نوع مدل، جهت بدست آوردن مشخصات هیدرولیکی خاک و انتخاب وجود یا عدم وجود پدیده پسماند (هیسترسیس) می‌باشد.



شکل (۴-۸) پنجره تعیین نوع مدل، جهت بدست آوردن مشخصات هیدرولیکی خاک

شکل (۴-۹) نیز پنجره مربوط به تعیین مشخصات هیدرولیکی خاک را نشان می‌دهد. شش پارامتر هیدرولیکی خاک مورد نیاز، شامل رطوبت باقیمانده، رطوبت اشباع، هدایت آبی اشباع و مقادیر α و n را که از مدل ROSETTA به دست آمده است، باید به مدل معرفی نمود. مدل ROSETTA مدلی است واقع شده در داخل Hydrus-2D و بر اساس شبکه عصبی کار می‌کند و پس از اخذ داده‌های مربوط به بافت خاک، درصد ذرات دانه‌بندی، درصد رطوبت در حد ظرفیت مزرعه و نقطه پژمردگی دائم، پارامترهای هیدرولیکی خاک را تخمین می‌زند. مقدار عددی این پارامترهای برای اجرای Hydrus-2D ضروری می‌باشد. کلیه اطلاعات مورد نیاز برای مدل Hydrus-2D و نحوه گردآوری آنها در جدول (۴-۱) آمده است.

یکی از روش‌های دیگر دستیابی به این پارامترها استفاده از نرم افزار RETC می‌باشد.

	Qr	Qs	Alpha	n	Ks	l
1	0.0592	0.4146	0.0238	1.3388	19.65	0.5

Soil Catalog: Neural Network Prediction: ☐ Temperature Dependence: ☐

OK Cancel Help Next ... Previous ...

شکل (۴-۹) تعریف خصوصیات هیدرولیکی خاک

جدول (۴-۱) اطلاعات مورد نیاز برای مدل Hydrus-2D

اطلاعات	متغیرهای ورودی	نحوه تأمین
هواشناسی	حداقل و حداکثر دمای روزانه	اه
	تبخیر و تعرق	Ref ET
	بافت خاک	ام
	تعداد لایه ها	ام
	شرایط اولیه	ام
خاک	بار فشاری آب خاک	ام
	مقدار رطوبت خاک	ام
	هدایت هیدرولیکی	ام
	پارامترهای هیدرولیکی	RETc , ROS ET TA
آبیاری	عمق آب آبیاری	ام
	میزان غلظت املاح در آب آبیاری	ام

ام = اندازه گیری مزرعه ای

اه = اطلاعات ایستگاه هواشناسی

۴-۱۵ واسنجی و صحت‌سنجی کردن مدل

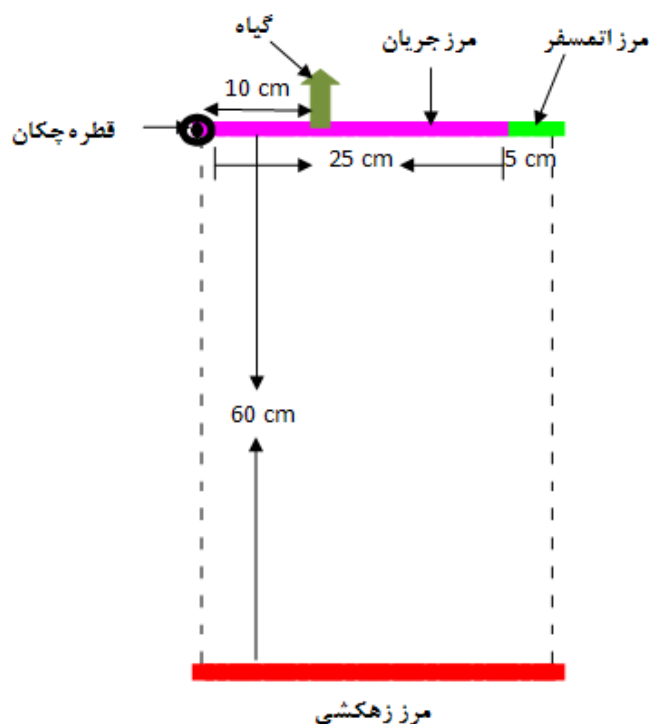
برای واسنجی کردن مدل بیشتر از داده‌های مربوط به آزمایشات صحرایی و آزمایشگاهی و در اندکی از موارد از منابع معتبر استفاده می‌شود و بعد از واسنجی مدل جهت اطمینان از نتایج آن و اعتبار بخشیدن به نتایج مدل عملیات صحت‌سنجی انجام می‌گیرد که اکثراً این عملیات برای مدت زمان طولانی معادل کل دوره رشد گیاه اجرا می‌شود.

براین اساس مدل Hydrus-2D برآورد نسبتاً خوبی از توزیع رطوبت در جبهه رطوبتی ارائه می‌دهد. با داشتن این مدل می‌توان جبهه‌های مختلف مدیریتی را برای یک مکان اعمال کرد و بهترین گزینه را انتخاب کرد.

۴-۱۶ شرایط مرزی محیط مدل شده

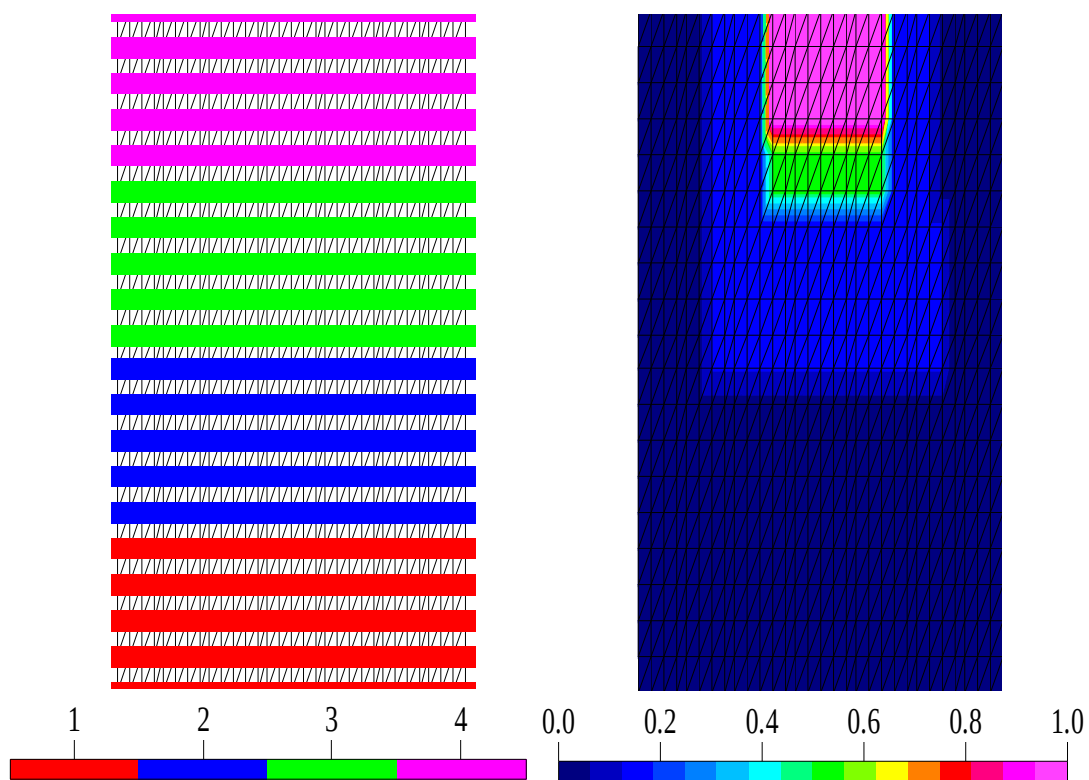
بر حسب نوع مسئله شرایط اولیه و مرزی متفاوت خواهد بود و کلیه پارامترهای موجود در این قسمت باید قبلاً تعیین گردیده و به مدل معرفی شوند.

محیط مدل شده در این طرح عبارت است از استوانه‌ای به ارتفاع ۶۰ سانتیمتر و به شعاع ۳۰ سانتیمتر که ۲۵ سانتیمتر آن تحت پوشش قطره‌چکان با آبدهی ۴ لیتر در ساعت قرار گرفته و ۵ سانتیمتر، بعنوان مرز هوای آزاد می‌باشد. جریان عبوری از مرز بالایی به آرامی محیط اطراف ناحیه ریشه را مرطوب ساخته و مواد مغذی را در آن بطور یکنواخت توزیع می‌نماید. اگر چنانچه سیستم، دارای آب مازاد خروجی از زیر ناحیه ریشه و آبشویی مواد غذایی باشد از طریق مرز زهکشی پایینی حرکت نموده و توزیع آن در لایه‌های پایینی خاک می‌تواند شبیه‌سازی گردد، شکل (۴-۱۰).



شکل (۴-۱۰) مدل واقعی تعریف شده برای مدل Hydrus-2D

با توجه به داده‌هایی که به مدل وارد می‌شود، مدل می‌تواند شبکه المانی چند لایه‌ای از توزیع مواد را ترسیم کند. همچنین مدل می‌تواند میزان تراکم ریشه را در محیط مدل نشان دهد. در این مدل ناحیه اطراف رشد ریشه، دارای ضریب ۱ یا ۱۰۰ درصد بوده و هر چه از این ناحیه دور شود با توجه به تراکم ریشه از نسبت این ضریب کاسته می‌شود که ضریب مربوط به هر بخش با توجه به مقیاس رنگی مرتبط با شکل قابل محاسبه است. در شکل (۴-۱۱) سمت چپ شبکه المانی ساخته شده توسط مدل Hydrus-2D و شکل سمت راست میزان تراکم ریشه در محیط مدل شده برای این طرح نشان داده شده است.



شکل (۴-۱۱) شبکه المانی چهارگانه اخذ شده از مدل (شکل سمت چپ)

ضریب تراکم ریشه در محیط مدل سازی شده (شکل سمت راست)

فصل پنجم

نتایج و بحث

۵-۱ خصوصیات خاک محل آزمایش

جدول (۵-۱) نتایج حاصل از آزمایشات فیزیکی و شیمیایی خاک محل انجام پژوهش حاضر را نشان می‌دهد.

همانگونه که در جدول مشاهده می‌شود، بافت خاک در ۴ عمق ابتدایی (۰-۴۰) سانتی‌متر، لوم رسی و در دو عمق انتهایی (۴۰-۶۰) سانتی‌متر، لوم رسی شنی می‌باشد. نتایج جدول نشان می‌دهد که با افزایش عمق درصد شن زیاد می‌شود. به نظر می‌رسد که با سبک‌تر شدن بافت، در عمق ۵۰ سانتی متری به بعد نفوذ آب دارای سرعت بیشتری می‌گردد و از آنجا که حرکت املاح در خاک، با وضعیت رطوبت خاک، ارتباط مستقیمی دارد در نتیجه با افزایش رطوبت، انتقال املاح هم به تبع آن افزایش می‌یابد. پس باید روشی را برای آبیاری و کوددهی اتخاذ کرد که کمترین هدر رفت آب و املاح را به ارمغان آورد. در یک پروژه کود آبیاری که اژدری (۱۳۸۶) در اطراف شاهرود انجام داد و در آن جریان آب را از زیر ناحیه ریشه گیاه فلفل سبز، در سیستم کود آبیاری با استفاده از نرم افزار Hydrus-2D شبیه‌سازی کرد و به این نتیجه رسید که مناسبترین روش کشت گیاه فلفل سبز، در خاک لوم شنی استفاده از سیستم کود آبیاری می‌باشد و در صورت طراحی و اجرای درست سیستم حداکثر ۳ درصد از مقدار آب مصرفی در کل دوره رشد گیاه از مدار مصرف خارج شده و حدود ۹۷ درصد از آب توزیع شده به مصرف گیاه می‌رسد. متین و همکاران (۲۰۰۶) در تحقیقی روی گیاه فلفل سبز به این نتیجه رسیدند که استفاده از سیستم کود آبیاری قطره‌ای برای این گیاه مناسب است مشروط بر این که اطلاعات مربوط به توزیع الگوی آب در خاک، در سیستم مربوطه در دسترس باشد.

جدول (۱-۵) خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای طرح

EC (dsm^{-1})	pH	ضریب نفوذپذیری (cmh^{-1})	رطوبت حجمی (%)		جرم مخصوص ظاهری (grcm^{-3})	بافت خاک	ذرات (%)			عمق خاک (cm)
			PWP	FC			رس	سلیت	شن	
۳/۸۳	۷/۸۱	۱/۸۸۰	۱۱/۹۴	۱۶/۴۹	۱/۳۸	لوم رسی	۳۸/۱۶	۳۳/۴۴	۲۸/۴۰	۰-۱۰
۳/۷۷	۷/۸۳	۱/۷۰۰	۱۲/۵۵	۱۶/۰۱	۱/۳۶	لوم رسی	۳۸/۱۶	۳۱/۶۴	۳۰/۲۰	۱۰-۲۰
۳/۶۶	۷/۸۴	۱/۴۴۰	۱۴/۴۰	۱۷/۲۸	۱/۴۸	لوم رسی	۳۶/۱۶	۳۴/۳۶	۲۹/۴۸	۲۰-۳۰
۳/۱۱	۷/۹۴	۱/۱۳۰	۱۲/۴۶	۱۶/۵۲	۱/۳۶	لوم رسی	۳۶/۱۶	۳۴/۶۵	۲۹/۱۹	۳۰-۴۰
۴/۳۳	۷/۹۴	۲/۲۴۰	۱۳/۳۳	۱۷/۳۹	۱/۵۰	لوم رسی شنی	۲۲/۱۶	۲۷/۶۴	۵۰/۲۰	۴۰-۵۰
۱/۸۵	۸/۰۰	۲/۱۴۰	۱۳/۷۵	۱۷/۷۰	۱/۵۱	لوم رسی شنی	۲۴/۱۶	۲۵/۸۰	۵۰/۰۴	۵۰-۶۰

۲-۵ پارامترهای رویشی گیاه

پارامترهای رویشی گیاه در جدول (۲-۵) نشان داده شده است. با توجه به میزان مصرف هفتگی کودهای مورد نظر، به ویژه نیتروژن که در جدول (۱-۳) آورده شده است و با مقایسه داده‌های این دو جدول، می‌توان نتیجه گرفت که این نحوه توزیع کود که بر مبنای مقدار آب مورد نیاز هفتگی گیاه انتخابی می‌باشد، به یکی از اهداف ما که تولید بیشتر در سطح کمتر است پاسخ مثبتی داده است. نتیجه و اثر بخش بودن این نحوه توزیع کود در شکل (۱-۵) و جدول (۲-۵) آمده است. شکل (۱-۵) مربوط به دوره رشد گیاه، ۹۰ روز پس از کاشت می‌باشد.



شکل (۵-۱) دوره رشد گیاه، ۹۰ روز پس از کاشت در سیستم کود آبیاری

این شکل نشان می‌دهد که ۳ ماه پس از کاشت، گیاه کاملاً شاداب و باطراوت است و از رشد و تراکم بسیار خوبی برخوردار است و نسبت به شیوه توزیع آب و مواد غذایی عکس العمل مثبتی نشان داده است. چون از نظر فیزیولوژیکی اگر توزیع آب و مواد غذایی گیاه مشکلی داشته باشد گیاه قبل از رسیدن به دوره رشد کامل عکس‌العمل خاصی را نشان می‌دهد. این نتیجه اخذ شده از شکل ظاهری پروژه با نتایج مربوط به عملکرد گیاه در تیمارهای مختلف و مقدار کم آبشویی مواد غذایی از ناحیه ریشه گیاه که از بخش مدل‌سازی تحقیق بدست آمده است مطابقت دارد.

جدول (۵-۲) نتایج مربوط به عملکرد گیاه، بازده مصرف آب و بازده مصرف کود نیتروژن

تیمار	عملکرد (tha^{-1})	مقدار آب مصرفی (mm)	بازده مصرف آب (kgm^{-3})	نیتروژن مصرفی (kg ha^{-1})	نیتروژن جذب شده (kg ha^{-1})	بازده مصرف نیتروژن (tkg^{-1})
T _۱	۴۲/۴	۳۸۰/۵	۱۱/۱۴	۹۰	۷۱/۳۷	۰/۴۷
T _۲	۴۰/۷	۳۸۰/۵	۱۰/۶۹	۷۲	۶۹/۵۶	۰/۵۶
T _۳	۳۹/۳	۳۸۰/۵	۱۰/۳۲	۵۴	۷۵/۸۷	۰/۷۲
T _۴	۳۲/۹	۵۲۰/۷	۶/۳۲	۹۰	۴۴/۲۳	۰/۳۶

۵-۲-۱ عملکرد

همانطور که جدول (۵-۲) نشان می‌دهد متوسط عملکرد محصول فلفل سبز در سه تیمار کود آبیاری (تیمارهای ۱، ۲ و ۳) ۴۰/۸ تن در هکتار می‌باشد. این جدول نشان می‌دهد که بیشترین مقدار عملکرد، مربوط به تیمار اول یعنی توزیع ۹۰ کیلوگرم بر هکتار کود نیتروژن و کمترین مقدار آن ۳۹/۳ تن در هکتار، مربوط به ۵۴ کیلوگرم بر هکتار کود نیتروژن می‌باشد. از روی این جدول کاملاً واضح است که کمترین مقدار عملکرد، مربوط به آبیاری کرتی می‌باشد.

مقایسه عملکرد بین روش کود آبیاری و آبیاری سطحی نشان می‌دهد که متوسط عملکرد سیستم کود آبیاری نسبت به روش آبیاری سطحی ۷/۹ تن در هکتار یا ۱۹/۳۶ درصد افزایش یافته است. همچنین T_1 نسبت به T_4 ۹/۵ تن در هکتار یا ۲۲/۴ درصد، افزایش محصول نشان می‌دهد. لذا با توجه به اختلاف زیاد عملکرد در دو سیستم آبیاری کرتی و کود آبیاری، سیستم کود آبیاری از نظر این شاخص رویشی (عملکرد) بهترین روش تولید محصول فلفل سبز می‌باشد. همچنین در سیستم کود آبیاری نیز توزیع ۱۰۰ درصد نیتروژن مورد نیاز از طریق آبیاری قطره‌ای بهترین تیمار می‌باشد.

۵-۲-۲ بازده مصرف آب

همانطور که از جدول (۵-۲) پیداست، مقایسه بازده مصرف آب در دو روش کود آبیاری و آبیاری سطحی بیان می‌کند که متوسط بازده مصرف آب در سیستم کودآبیاری (۱۰/۷۲ کیلوگرم بر مترمکعب) نسبت به روش آبیاری سطحی ۴/۴ کیلوگرم بر مترمکعب یا ۴۱/۰۴ درصد افزایش یافته است. همچنین مقایسه بین دو تیمار ۱ نسبت به ۴، ۴/۸۲ کیلوگرم بر مترمکعب یا ۴۳/۲۷ درصد افزایش بازده مصرف آب را نشان می‌دهد.

۵-۲-۳ بازده مصرف نیتروژن

نتایج بدست آمده از این بخش جدول (۵-۲) گویای این است که متوسط بازده سه تیمار سیستم کود آبیاری (۵۸/۰ تن بر کیلوگرم) نسبت به بخش آبیاری سطحی ۰/۲۲ تن بر کیلوگرم یا ۳۷/۹۳ درصد افزایش داشته است. همانطور که در جدول دیده می‌شود بازده مصرف نیتروژن در تیمار ۳ یعنی

بخشی که ۶۰٪ از کود مورد نیاز گیاه را دریافت کرده است نسبت به دیگر تیمارها بیشتر است و نسبت به تیمار ۴، ۳۶/۰ تن بر کیلوگرم یا ۵۰ درصد افزایش بازده داشته است.

۵-۲-۴ نیتروژن جذب شده

با مقایسه متوسط نیتروژن جذب شده در سه تیمار کود آبیاری (۷۲/۲۷ کیلوگرم بر هکتار) با تیمار بخش آبیاری سطحی نتیجه می‌گیریم که قسمت کودآبیاری ۲۸/۰۴ کیلوگرم بر هکتار یا ۳۸/۸۰ درصد، نیتروژن بیشتر جذب کرده است.

علت اصلی بالا بودن عملکرد و سایر عوامل در سیستم کود آبیاری این است که در این پژوهش پنج فاکتور اساسی جهت تولید بهینه محصول در نظر گرفته شد این پنج فاکتور عبارتند از:

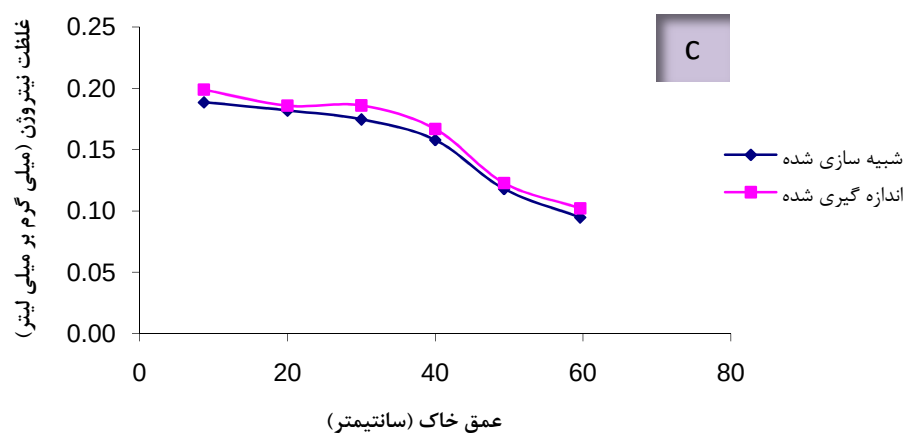
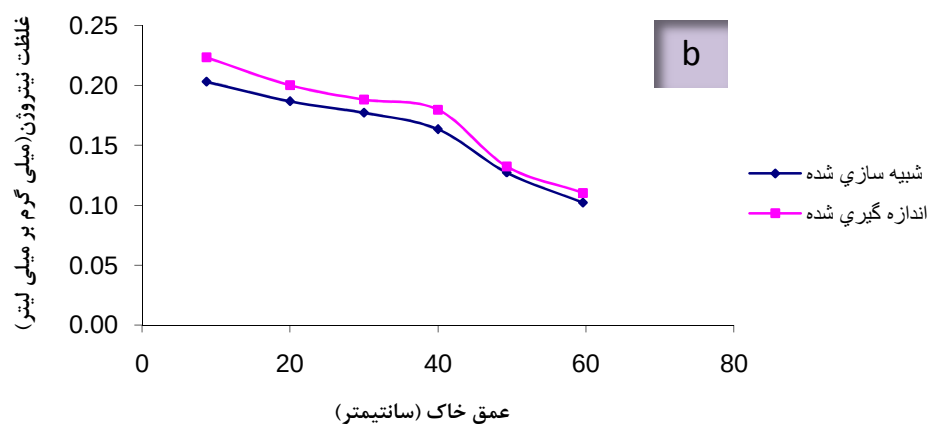
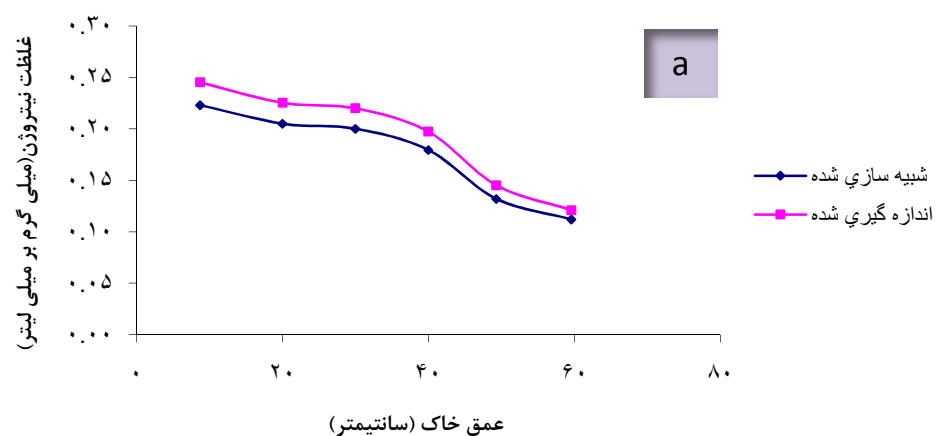
الف- شناخت دقیق میزان آب مورد نیاز روزانه و فصلی گیاه. ب- توزیع آب به صحیح‌ترین روش و در زمان مناسب. ج- شناخت دقیق مقدار مواد مغذی مورد نیاز گیاه. د- توزیع مواد غذایی به صحیح‌ترین روش. ه- توزیع مواد فوق در زمان مناسب.

۵-۳ واسنجی مدل

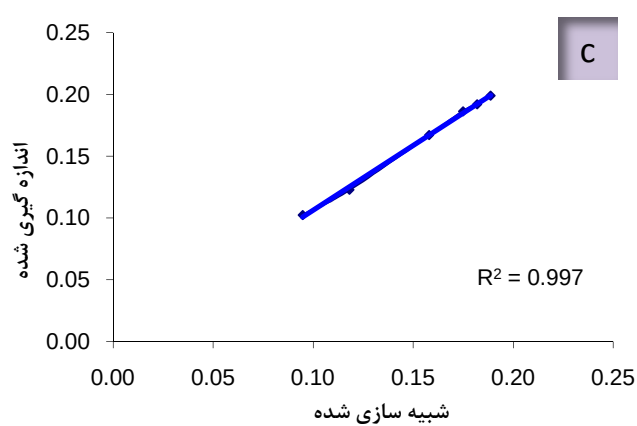
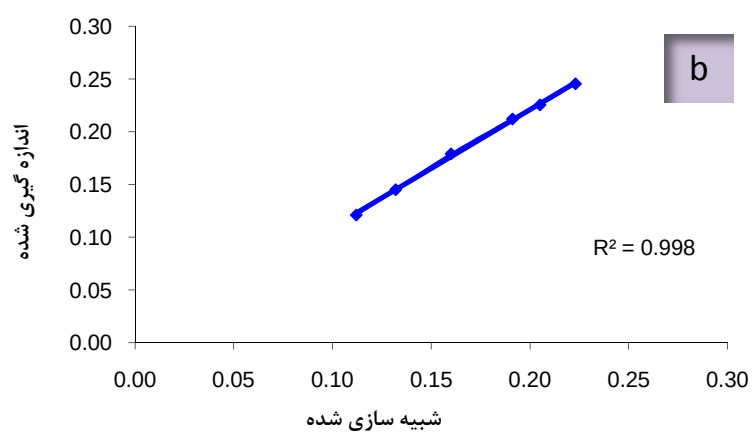
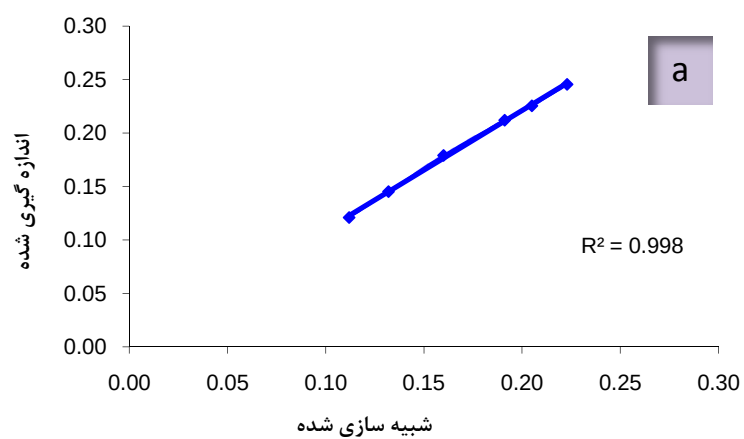
جهت واسنجی مدل، ابتدا این مدل با داده‌های مربوط به روند توزیع رطوبت و نیتروژن در خاک در ماه اول واسنجی گردید.

نمونه‌هایی از نتایج عملیات واسنجی در اشکال ۵-۲ و ۵-۴ آمده است. همانطور که در شکل‌ها دیده می‌شود در یک دوره ۴۸ ساعته سه بار از اعماق مختلف خاک (۰-۱۰، ۱۰-۲۰، ۲۰-۳۰، ۳۰-۴۰، ۴۰-۵۰ سانتی‌متری) نمونه‌برداری شده و نمونه‌ها مورد آنالیز قرار گرفتند. شبیه‌سازی توزیع رطوبت و نیتروژن در این دوره ۴۸ ساعته از طریق مدل Hydrus-2D نتایج کاملاً مشابهی با مقادیر اندازه‌گیری شده در مزرعه در ۲، ۲۴ و ۴۸ ساعت بعد از آبیاری را نشان می‌دهد. لازم به توضیح است مشابه این عملیات به صورت هفتگی نیز صورت گرفت که نتایج کم و بیش مشابه هم بودند. این نتیجه حاکی از آن است که مدل فوق می‌تواند حرکت آب در خاک را برای حالات و شرایط مختلف شبیه‌سازی کند. گزارشات اژدری (۱۳۸۶) نیز حاکی از این امر است.

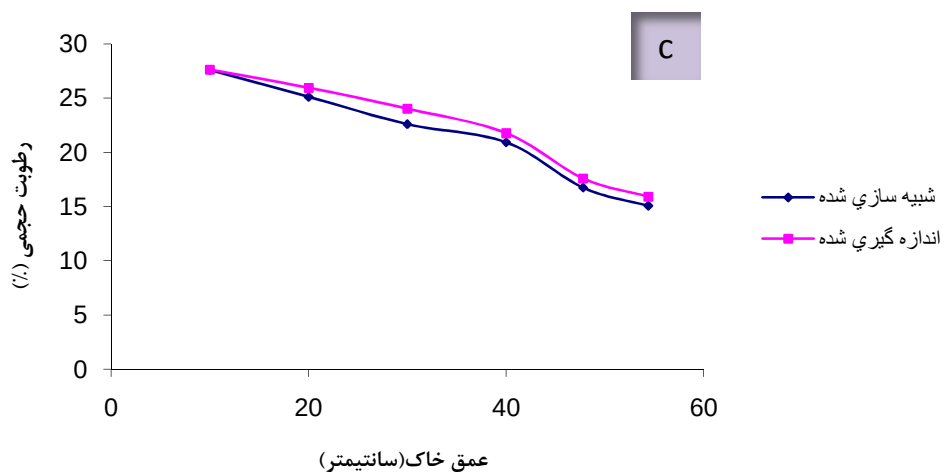
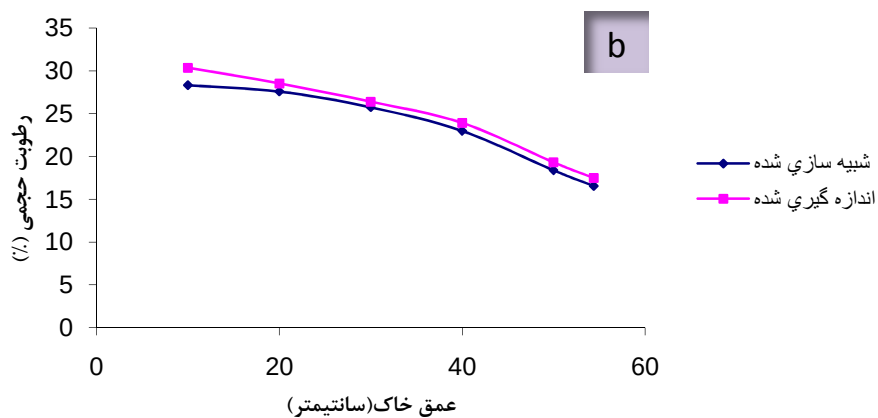
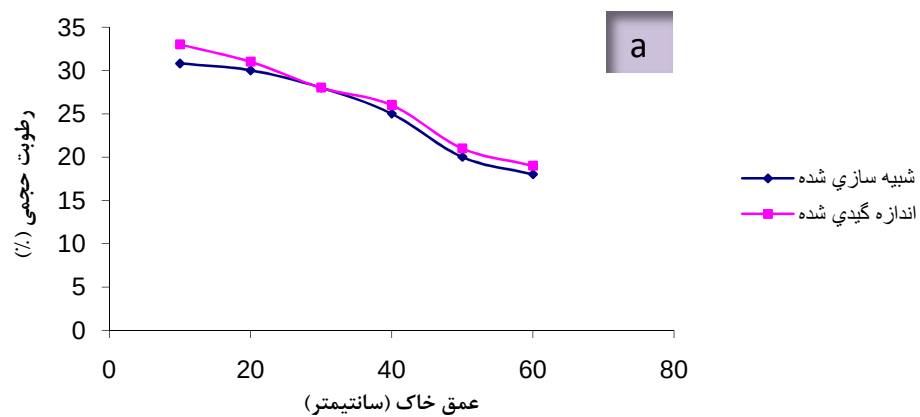
همان طور که در شکل (۴-۵) مشاهده می‌شود به ازای افزایش عمق از میزان رطوبت نسبت به سطح کاسته شده است. کاهش رطوبت به ازای افزایش عمق به دلیل غلبه نیروی مکش خاک بر نیروی ثقل، در بقاء رطوبت خاک و تبخیر و تعرق گیاه می‌باشد. یکی دیگر از دلایل کاهش رطوبت به ازای افزایش عمق، انتخاب مناسب سرعت و مدت توزیع رطوبت است که باعث می‌شود از آب زهکش شده کاسته و میزان بیشتری از آب ورودی در اختیار ریشه گیاه قرار بگیرد. کمترین مقدار رطوبت به عمق ۶۰ سانتی‌متری اختصاص دارد. همچنین نتایج مقایسه‌ای جهت خطاسنجی در اشکال ۳-۵، ۵-۵ آورده شده است، که ضریب تبیین (R^2) بالا، حاکی از توانمندی مدل در شبیه‌سازی رطوبت و نیتروژن در خاک است.



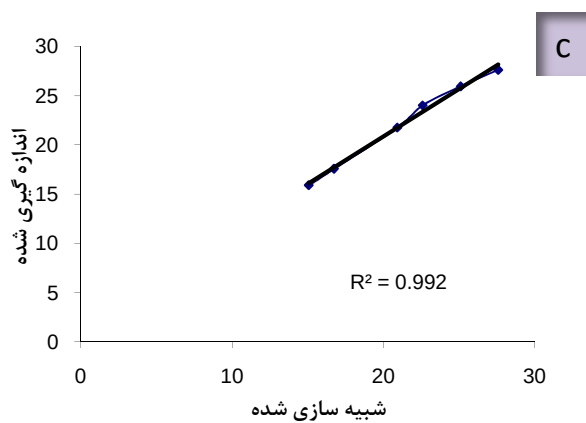
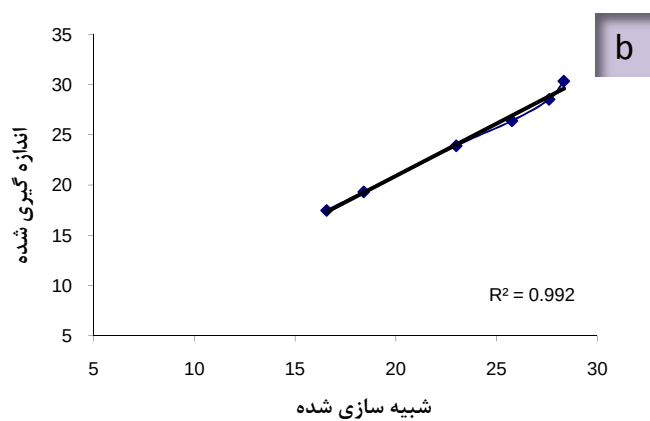
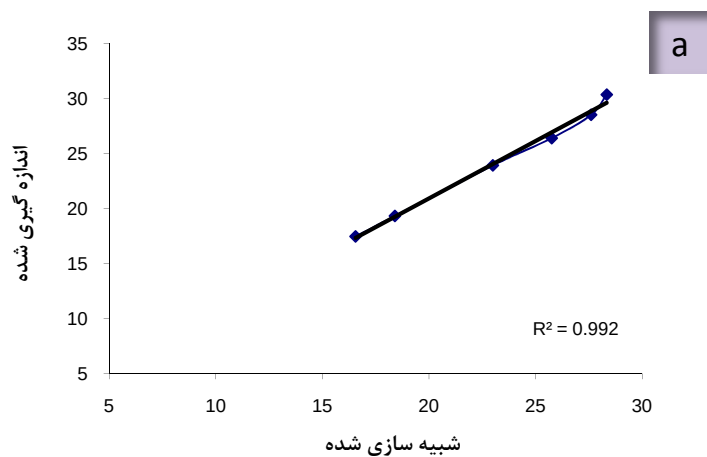
شکل (۵-۲) واسنجی مدل با توزیع نیترژن a-۲ ساعت، b-۲۴ ساعت و c-۴۸ ساعت پس از آبیاری در نیمه اول از ماه اول



شکل (۳-۵) مقایسه نتایج حاصل از شبیه سازی و اندازه گیری با ضریب تبیین و با توزیع نیتروژن a- ۲ ساعت، b- ۲۴ ساعت و c- ۴۸ ساعت بعد از کود آبیاری در نیمه اول از ماه اول



شکل (۴-۵) واسنجی مدل با توزیع رطوبت a- ۲ ساعت، b- ۲۴ ساعت و c- ۴۸ ساعت پس از آبیاری در نیمه دوم از ماه اول



شکل (۵-۵) مقایسه نتایج حاصل از شبیه سازی و اندازه گیری با ضریب تبیین و با توزیع رطوبت a- ۲ ساعت، b- ۲۴ ساعت و c-

۴۸ ساعت بعد از کود آبیاری در نیمه دوم از ماه اول

۴-۵ محاسبه خطای میانگین مجذور مربعات (RMSE)^۱

در این تحقیق علاوه بر محاسبه ضریب تبیین برای اطمینان از عملکرد مدل، برآورد خطای میانگین مجذور مربعات (RMSE) نیز در مرحله واسنجی صورت گرفت که نتیجه آن در جدول (۳-۵) آمده است. همانطور که این جدول نشان می‌دهد مقدار RMSE محاسبه شده هم برای توزیع رطوبت و هم برای توزیع نیتروژن بسیار پایین می‌باشد که نشان دهنده درست عمل نمودن مدل است.

جدول (۳-۵) محاسبه خطای میانگین مجذور مربعات (RMSE) در مرحله واسنجی

RMSE					
ساعت توزیع نیتروژن بعد از کود آبیاری			ساعت توزیع رطوبت بعد از آبیاری		
۲	۲۴	۴۸	۲	۲۴	۴۸
۰/۰۰۹	۰/۰۰۱	۰/۰۰۹	۰/۰۰۸	۰/۰۰۹	۰/۰۰۷

۵-۵ صحت‌سنجی مدل

برای اطمینان کامل از عملکرد مدل، علاوه بر واسنجی، صحت‌سنجی مدل نیز انجام گرفت. در این عملیات، برنامه مدل برای انتهای دوره رشد گیاه اجرا گردید که نمونه ای از نتایج آن در جدول (۴-۵) و (۵-۵) آورده شده است. این جداول نشان می‌دهد که مدل انتخاب شده در ماه‌های مختلف دوره رشد گیاه، مقادیر شبیه‌سازی رطوبت و نیتروژن را مشابه مقادیر اندازه‌گیری شده برآورد می‌کند.

^۱-Root Mean Square Error

جدول (۴-۵) صحت‌سنجی مدل در انتهای دوره رشد گیاه بر اساس رطوبت حجمی (%).

زمان بعد از آبیاری (ساعت)						عمق (cm)
۴۸		۲۴		۲		
شبه سازی	اندازه گیری	شبه سازی	اندازه گیری	شبه سازی	اندازه گیری	
۲۵/۸	۲۵/۴	۳۱/۴	۳۲/۴	۳۲/۳	۳۴/۴	۱۰
۲۵/۲	۲۴/۶	۳۰/۶	۳۲/۷	۳۳/۷	۳۴/۹	۲۰
۲۳/۰	۲۲/۴	۲۸/۸	۲۷/۵	۲۹/۵	۲۹/۰	۳۰
۲۶	۲۳/۳	۲۸/۰	۲۶/۱	۲۸/۵	۲۷/۳	۴۰
۲۸	۲۷	۲۸	۲۷	۲۸/۲	۲۸/۸	۵۰
۲۴/۸	۲۳/۳	۲۵	۲۳/۴	۲۵/۱	۲۴/۳	۶۰

جدول (۵-۵) صحت‌سنجی مدل در انتهای دوره رشد گیاه بر اساس غلظت نیتروژن (%).

زمان بعد از کود آبیاری (ساعت)						عمق (cm)
۴۸		۲۴		۲		
شبه سازی	اندازه گیری	شبه سازی	اندازه گیری	شبه سازی	اندازه گیری	
۰/۱۸۱	۰/۱۸۴	۰/۱۹۳	۰/۱۸۳	۰/۲۲۱	۰/۲۰۱	۱۰
۰/۱۸۰	۰/۱۷۳	۰/۱۷۷	۰/۱۶۸	۰/۲۰۳	۰/۱۸۵	۲۰
۰/۱۷۳	۰/۱۶۶	۰/۱۵۵	۰/۱۵۹	۰/۱۹۱	۰/۱۷۲	۳۰
۰/۱۵۹	۰/۱۵۰	۰/۱۴۷	۰/۱۴۷	۰/۱۶۱	۰/۱۴۴	۴۰
۰/۱۱۵	۰/۱۱۲	۰/۱۱۶	۰/۱۱۴	۰/۱۳۱	۰/۱۱۹	۵۰
۰/۰۹۷	۰/۰۹۰	۰/۰۹۲	۰/۰۹۲	۰/۱۰۹	۰/۱۰۱	۶۰

۵-۶ شبیه‌سازی‌های انجام شده توسط مدل

نتایج حاصل از واسنجی و صحت‌سنجی مدل نشان داد که مدل، جهت شبیه‌سازی نحوه حرکت آب در خاک، به ویژه در سیستم کود آبیاری قطره‌ای به شرطی که داده‌های مورد نیاز آن به درستی انتخاب شوند و همچنین شبیه‌سازی حرکت نیتروژن در خاک مدل مناسبی می‌باشد. کوت و همکاران (۲۰۰۳) به نتایج مشابهی رسیدند. این مدل قادر است حرکت آب و املاح (نیتروژن) را هم به صورت عمقی توسط منبع تغذیه کننده (قطره‌چکان) و هم به صورت شعاعی در طول دوره رشد گیاه شبیه سازی کند. همچنین این مدل توانایی شبیه‌سازی مقادیر آب خروجی از زیر ناحیه ریشه و میزان نیتروژن آبشویی شده را در شرایط مختلف دارد.

۵-۶-۱ شبیه‌سازی توزیع عمقی نیتروژن

شبیه‌سازی‌های مختلف از توزیع عمقی نیتروژن، طی دوره رشد گیاه فلفل سبز به صورت هفتگی در اشکال (۵-۶) الی (۵-۱۳) آمده است. هر کدام از این شکل‌ها از دو قسمت رنگی و معمولی تشکیل شده‌اند. قسمت رنگی هر شکل، نتیجه حاصل از اجرای مدل برای فاصله زمانی مشخص است که آن زمان برای مدل تعریف شده است. به عنوان مثال شکل (۵-۶) قسمت رنگی، نشان دهنده محدوده مدل‌سازی شده است که دارای ۶۰ سانتی‌متر عمق و ۳۰ سانتی‌متر عرض می‌باشد. این محدوده مربوط به محیط فعالیت کشت گیاه فلفل بوده که از سه لایه ۲۰ سانتی‌متری تشکیل گردیده است. ۲۰ سانتی‌متر اول به عنوان محیط فعالیت ریشه، ۲۰ سانتی‌متر بعدی لایه واسط و ۲۰ سانتی‌متر آخر ناحیه زهکشی است. گیاه مربوطه در ۱۰ سانتی‌متری قطره‌چکان در سطح خاک قرار گرفته است از آنجا که این اشکال پس از واسنجی و صحت‌سنجی مستقیماً شبیه‌سازی مدل را نشان می‌دهند از درجه اطمینان بالایی برخوردارند.

همانطور که در اشکال (۵-۶) تا (۵-۱۳) نشان داده شده است روند کلی غلظت نیتروژن از سطح به عمق کاهش می‌یابد. این روند با توجه به توزیع نیتروژن به همراه آب آبیاری در سطح و انتقال آن با

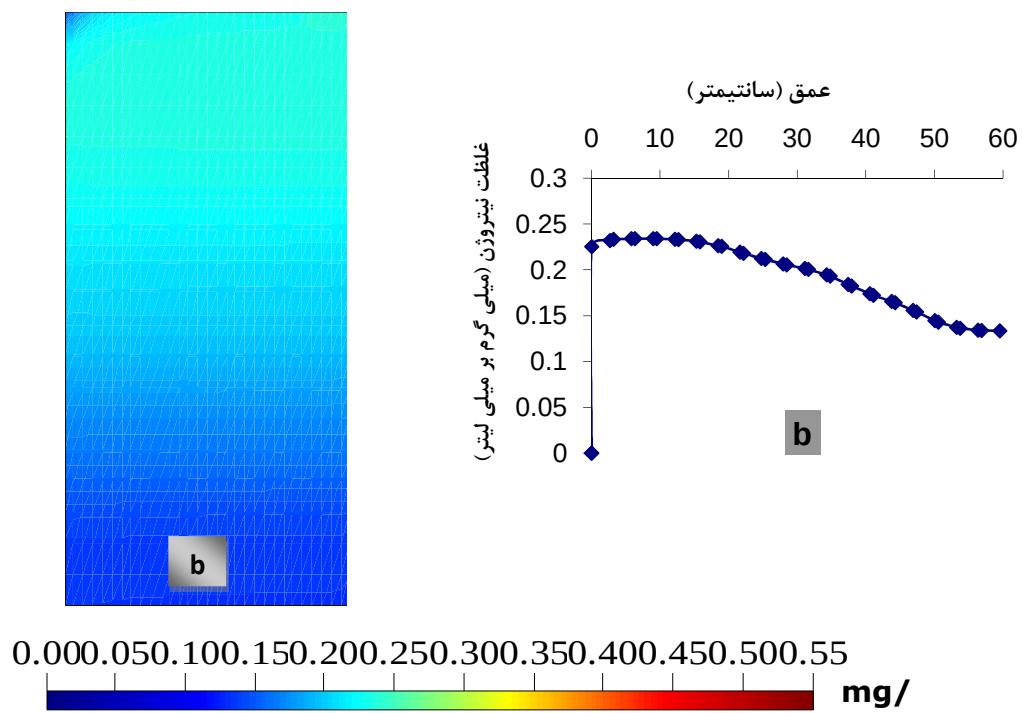
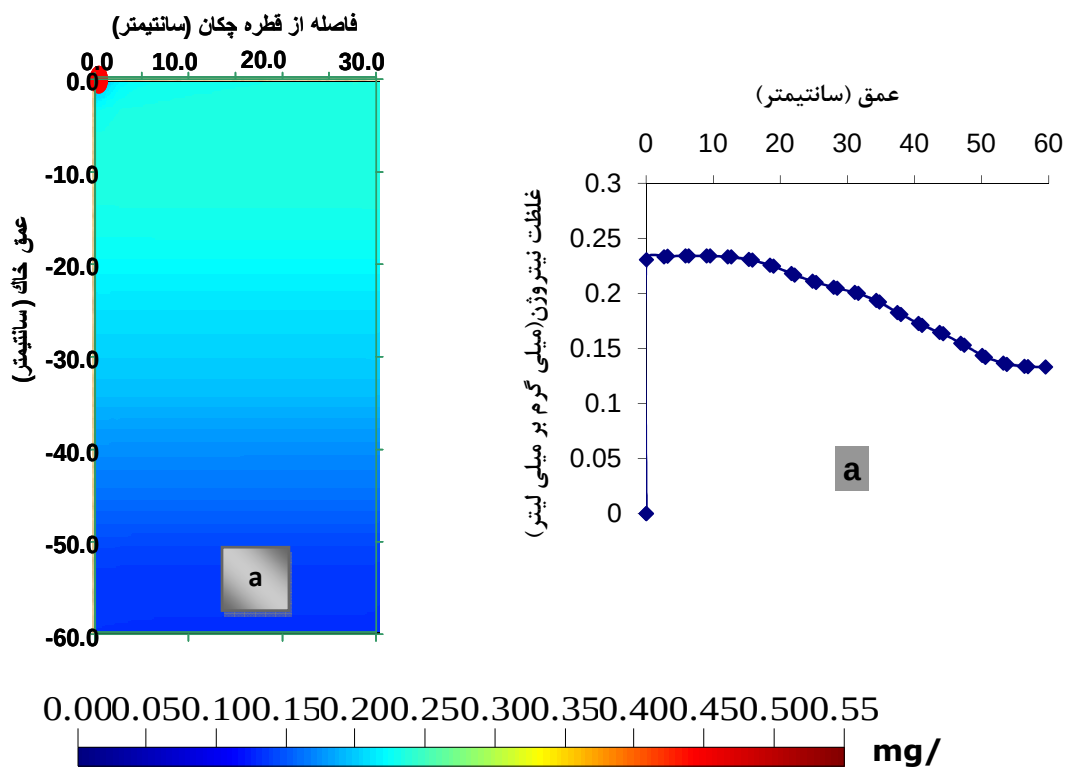
رطوبت در اعماق خاک می‌تواند قابل قبول باشد. مقایسات جزئی‌تر نشان می‌دهد که هر چه از ابتدای دوره رشد جلوتر می‌رویم میزان نیتروژن از سطح خاک کمتر و به لایه‌های میانی نفوذ می‌کند. دلیل این امر را می‌توان رشد ریشه‌های گیاه فلفل و نیاز بوته‌ها به نیتروژن بیشتر دانست. جذب نیتروژن در طول دوره رشد از روند یکنواختی برخوردار نیست و در برخی مراحل با سرعت بیشتری انجام می‌گیرد. رستمی و جیریایی (۱۳۷۷)، رادمهر و همکاران (۱۳۷۵) و دالینگ و همکاران (۱۹۷۵) این امر را اذعان داشتند.

شکل (۵-۶) نشان می‌دهد که غلظت نیتروژن از سطح خاک تا عمق حدود ۱۰ سانتی‌متری یعنی در منطقه توسعه ریشه، افزایش داشته و پس از آن روند کاهشی را دنبال می‌کند. به عبارت دیگر، مواد غذایی مورد نیاز گیاه در محل گسترش ریشه در اختیار آن قرار گرفته است. از عمق حدود ۱۰ سانتی متری سطح خاک با کاهش میزان تجمع سیستم ریشه نسبت به عمق، مقدار نیتروژن نیز کاهش یافته است، که این امر گویای آن است که توزیع مواد غذایی در نظر گرفته شده در این طرح، تلفات عمقی را کاهش داده و سبب جذب کود مصرفی توسط گیاه شده است. همانطور که در شکل دیده می‌شود در اعماق پایین غلظت نیتروژن تقریباً به یک مقدار ثابت می‌رسد که دلیل آن، سرعت و مدت توزیع مناسب است. سرعت جذب نیتروژن توسط گیاه مناسب بوده و کود مصرفی، مورد استفاده گیاه قرار گرفته و از هدررفت آن جلوگیری می‌شود. همچنین این موضوع می‌تواند به معنای قرارگیری مقدار نیتروژن کافی در دسترس ریشه گیاه باشد. اژدری (۱۳۸۶) و (Taftah & Sepaskhah ; 2012) نیز تجمع نیتروژن در منطقه توسعه ریشه گیاه را ناشی از مقدار و سرعت مناسب توزیع مواد غذایی در خاک دانستند.

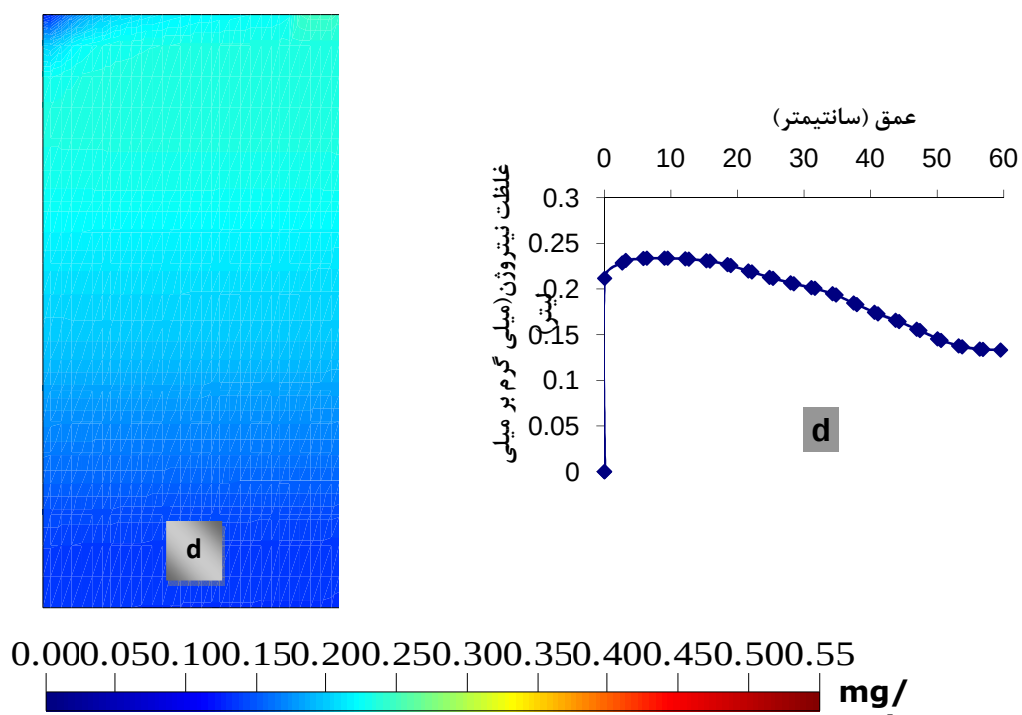
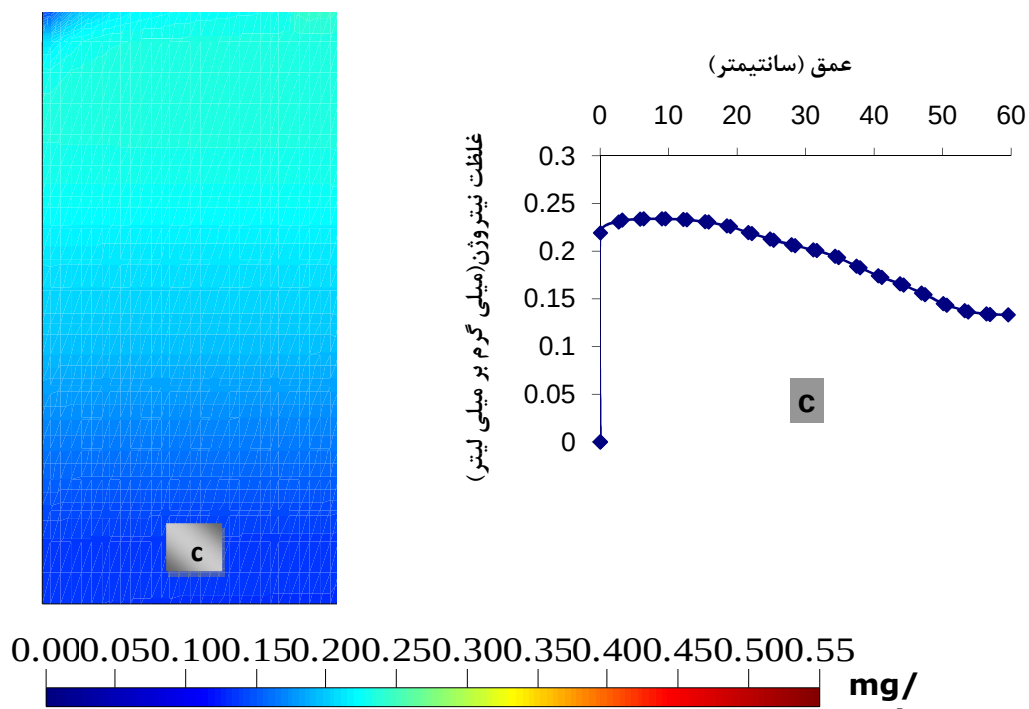
شکل (۵-۷) توزیع عمقی نیتروژن را در هفته‌های سوم و چهارم نشان می‌دهد. نکته مهم در این دو منحنی این است که افزایش خیلی جزئی نیتروژن را به، عمق حداکثر تا ۱۲ سانتی متر را داریم که نشان از رشد اندک ریشه است. از این عمق به بعد دوباره سیر نزولی توزیع نیتروژن دیده می‌شود. شکل (۵-۸) توزیع نیتروژن را در ابتدای ماه دوم یعنی هفته‌های پنجم و ششم به نمایش گذاشته

است. در این شکل نیتروژن تا عمق حدود ۱۴ سانتی متر نفوذ کرده و دوباره سیر نزولی آغاز شده است که این افزایش عمق نشان می دهد که توسعه ریشه همچنان با ادامه فصل رشد به روند صعودی خود به طور آهسته ادامه می دهد.

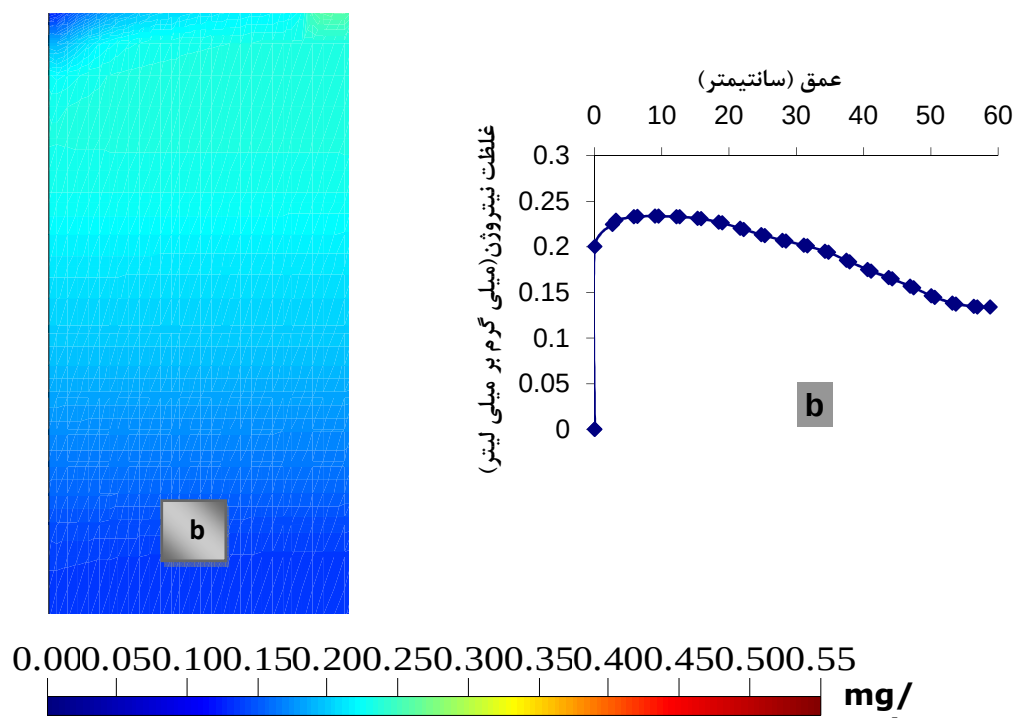
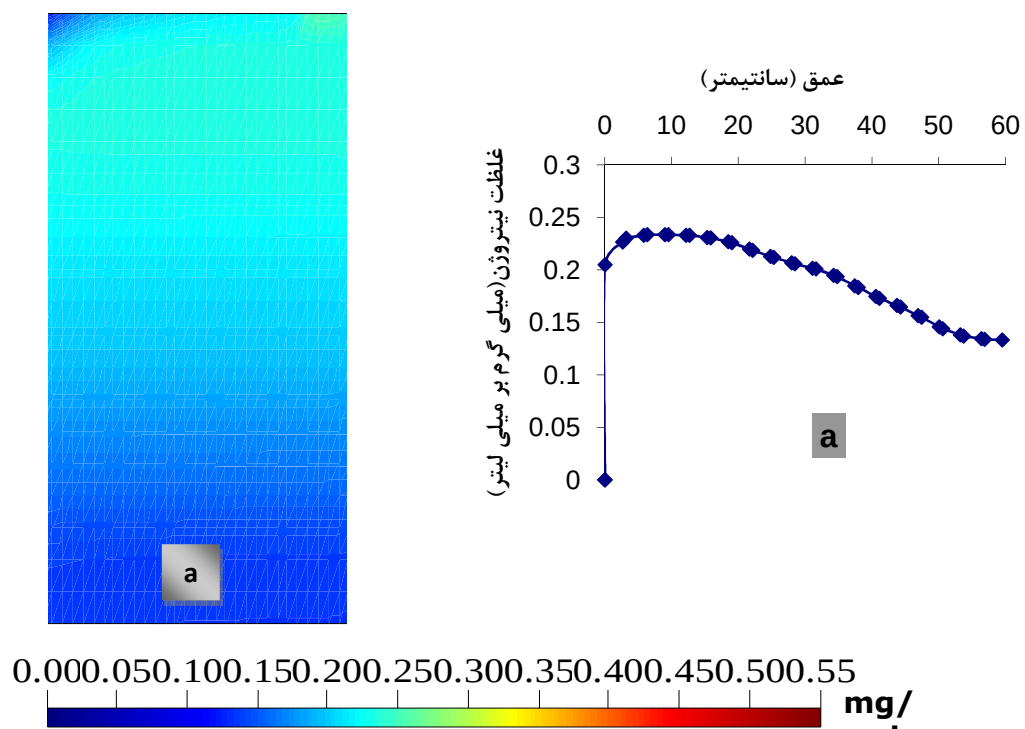
شکل (۵-۹) نیمه دوم ماه دوم یعنی هفته های هفتم و هشتم را نشان می دهد که در این منحنی قوس منحنی اندکی بیشتر شده و نفوذ نیتروژن تا عمق حدود ۱۶ سانتی متر پیش روی کرده است.



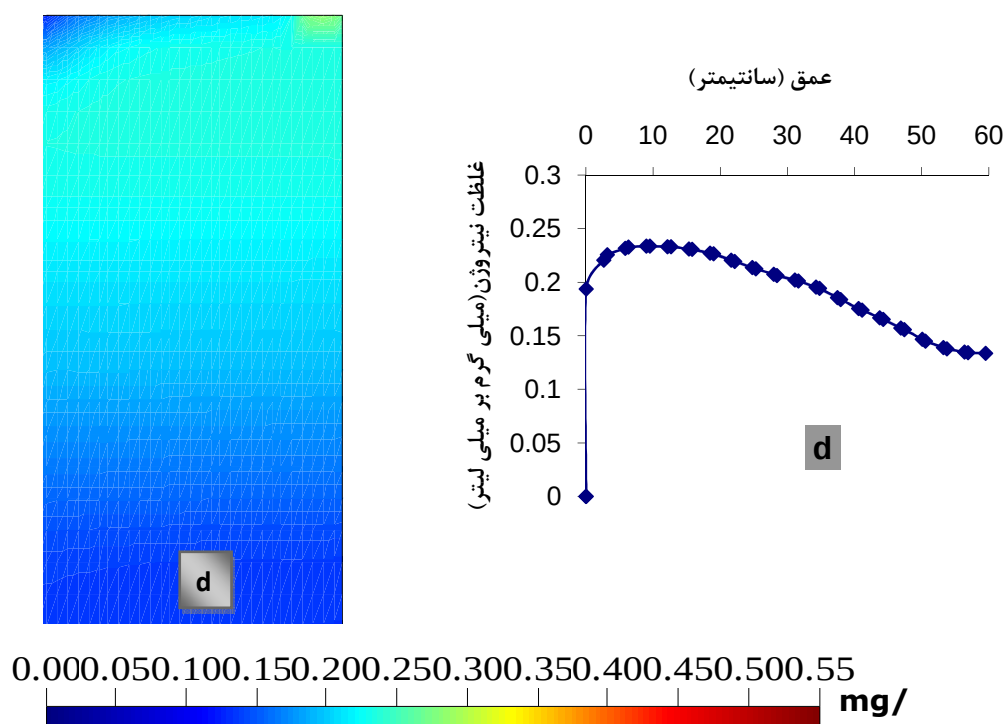
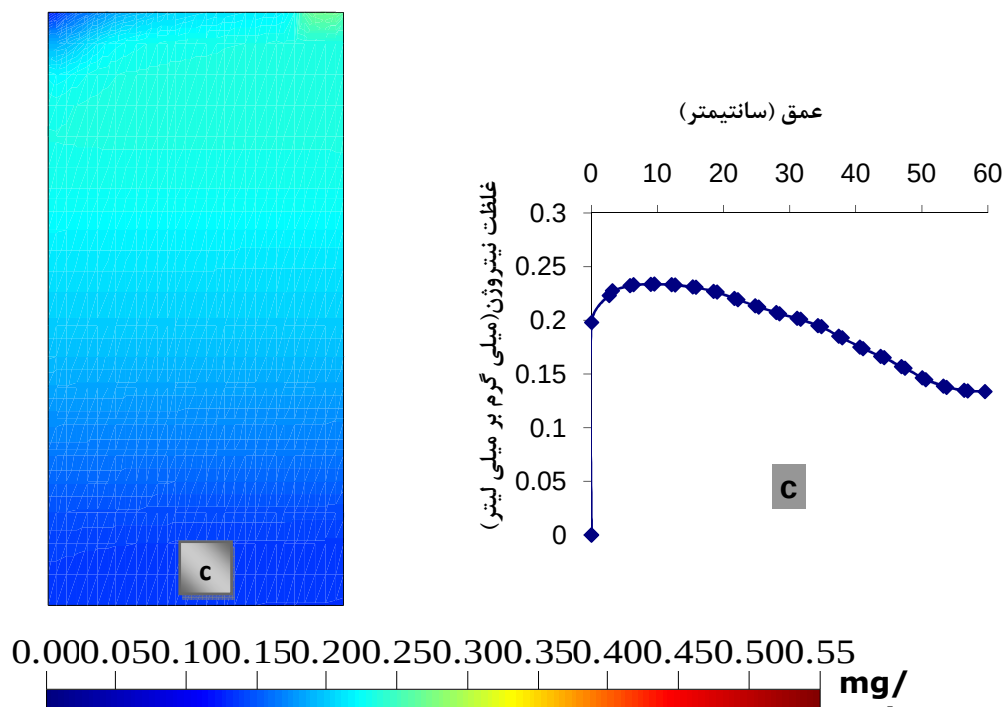
شکل (۵-۶) شبیه‌سازی تغییرات نیتروژن با عمق (a) هفته اول (b) هفته دوم



شکل (۵-۷) شبیه‌سازی تغییرات نیتروژن با عمق (C) هفته سوم (d) هفته چهارم



شکل (۵-۸) شبیه‌سازی تغییرات نیترژن با عمق (a) هفته پنجم (b) هفته ششم



شکل (۹-۵) شبیه‌سازی تغییرات نیترژن با عمق (c) هفته هفتم (d) هفته هشتم

شکل (۵-۱۰) شرایط توزیع عمقی نیتروژن در هفته های نهم و دهم را نشان می دهد. با ورود به ماه سوم از کاشت، دیده می شود که غلظت نیتروژن در سطح زمین کاهش یافته و به اعماق مخصوصاً تا عمق ۱۰ سانتی متر نفوذ بیشتری داشته است و قوس منحنی تا عمق حدود ۱۸ سانتی متر رسیده است و سپس سیر نزولی ادامه پیدا کرده است. علت این امر شاید گسترش ریشه های فرعی در این دو عمق و افزایش حجم ریشه دوانی گیاه است. افزایش جذب مواد غذایی در صورت وجود رطوبت کافی در نتایج تحقیقات محققین بسیاری همچون کریمی و همکاران (۱۳۸۵)، هبار (۲۰۰۴)، واعظی و همکاران (۱۳۸۱) و ملیک و همکاران (۱۹۹۴) دیده می شود.

شکل (۵-۱۱) که توزیع عمقی نیتروژن در نیمه دوم از ماه سوم را نشان می دهد دارای قوس بیشتری نسبت به هفته های گذشته است که این امر دلالت بر این امر دارد که گیاه همچنان روند صعودی رشد خود را طی می کند و از شادابی و طراوت لازم برخوردار است که این امر ناشی از توزیع درست و به موقع آب و کودهای شیمیایی مورد نظر است. پیتز و همکاران (۲۰۰۳) به این نتیجه رسیدند که در آبیاری قطره ای برای بهبود بازده مصرف آب و مواد مغذی بایستی بین فاصله قطره چکانها شدت جریان، مشخصات رطوبتی خاک و مدت زمان آبیاری هم خوانی مناسب وجود داشته باشد.

با ورود به ابتدای ماه چهارم (شکل ۵-۱۲) و با توجه به نزدیک شدن، به انتهای فصل رشد گیاه مشاهده می شود که غلظت نیتروژن در سطح زمین بسیار کم شده و توزیع نیتروژن تا عمق حدود ۲۰ سانتی متر پیش رفته است با گذشت فصل رشد و بزرگ شدن بوته های فلفل و به تبع آن بزرگ شدن ریشه ها نیاز گیاه به نیتروژن بیشتر شده و جذب نیتروژن به وسیله گیاه افزایش می یابد. در نیمه دوم ماه چهارم (شکل ۵-۱۳) نیز همین روند مشاهده می شود این سیر صعودی که از افزایش غلظت نیتروژن در محیط اطراف ریشه نتیجه می شود، با نتایج مزرعه ای طول ریشه که در انتهای فصل رشد اندازه گیری شده و با توسعه برنامه کود آبیاری هفتگی در طول دوره رشد گیاه مطابقت دارد. جدول

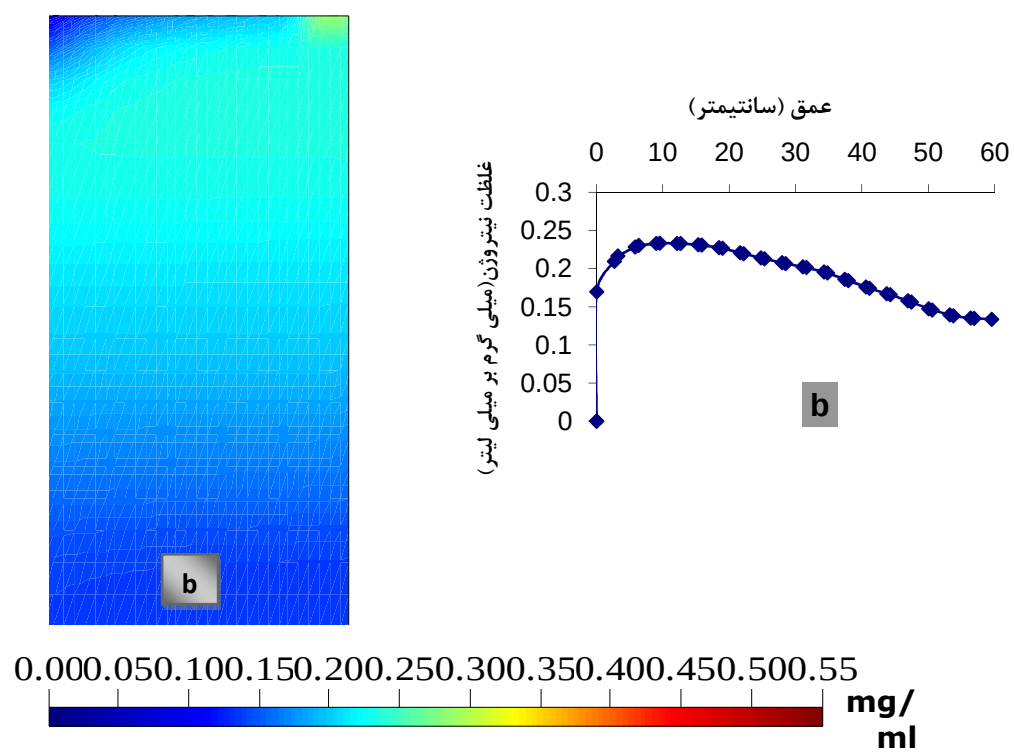
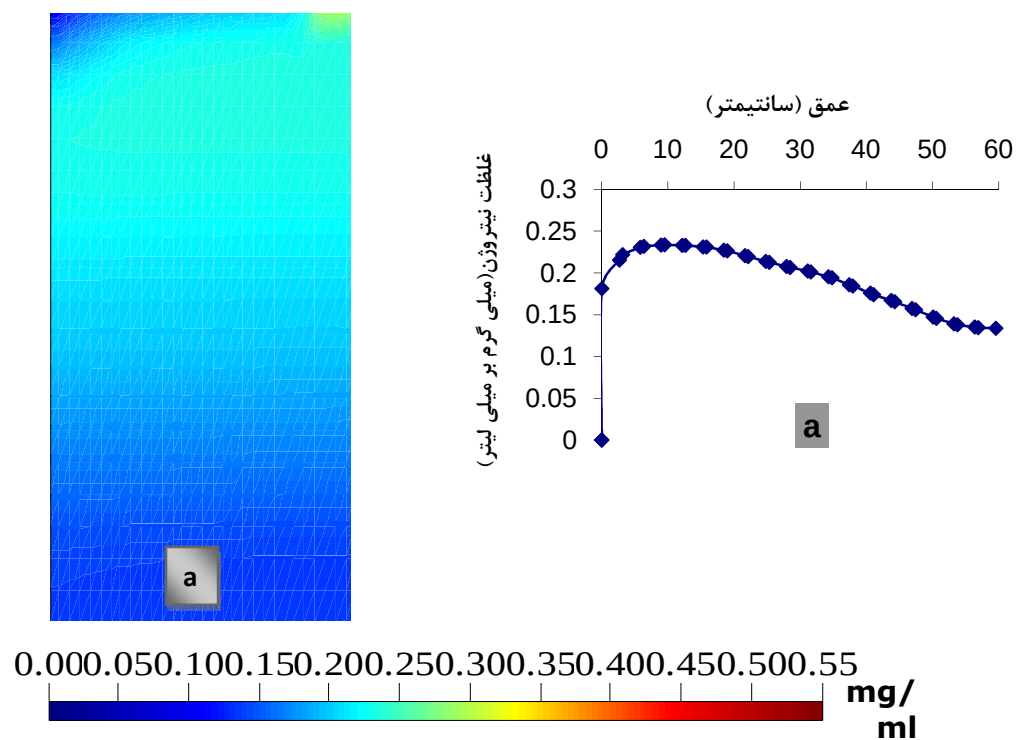
(۵-۵) ماکزیمم عمق تجمع نیتروژن را در هر ۱۵ روز نشان می دهد.

جدول (۵-۶) ماکزیمم تجمع نیتروژن در اعماق خاک در هر ۱۵ روز

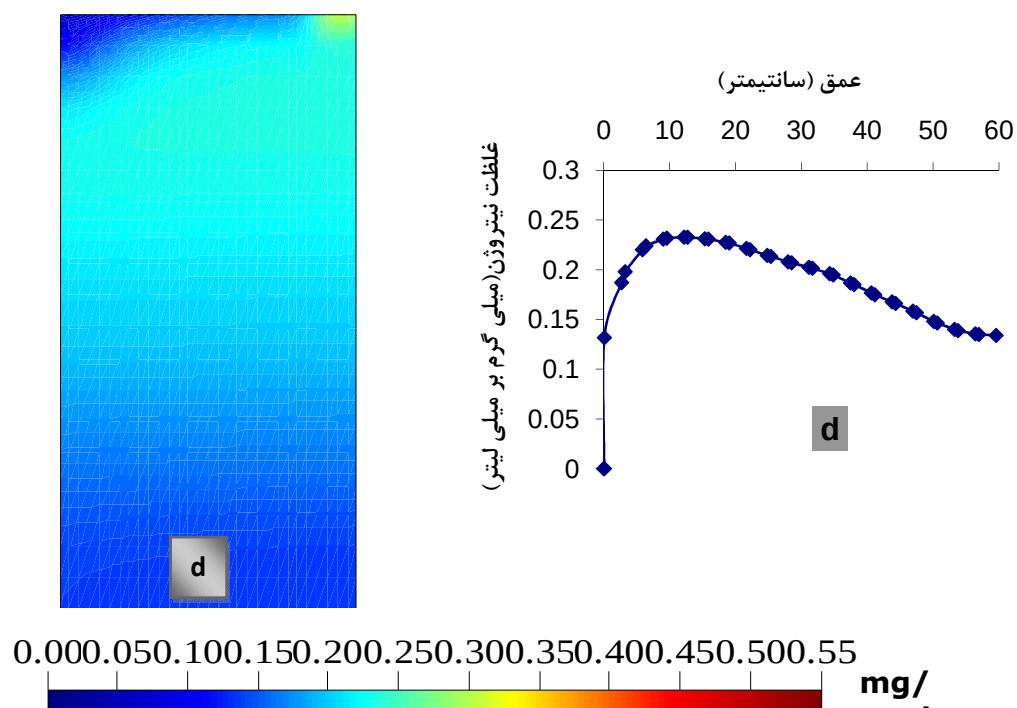
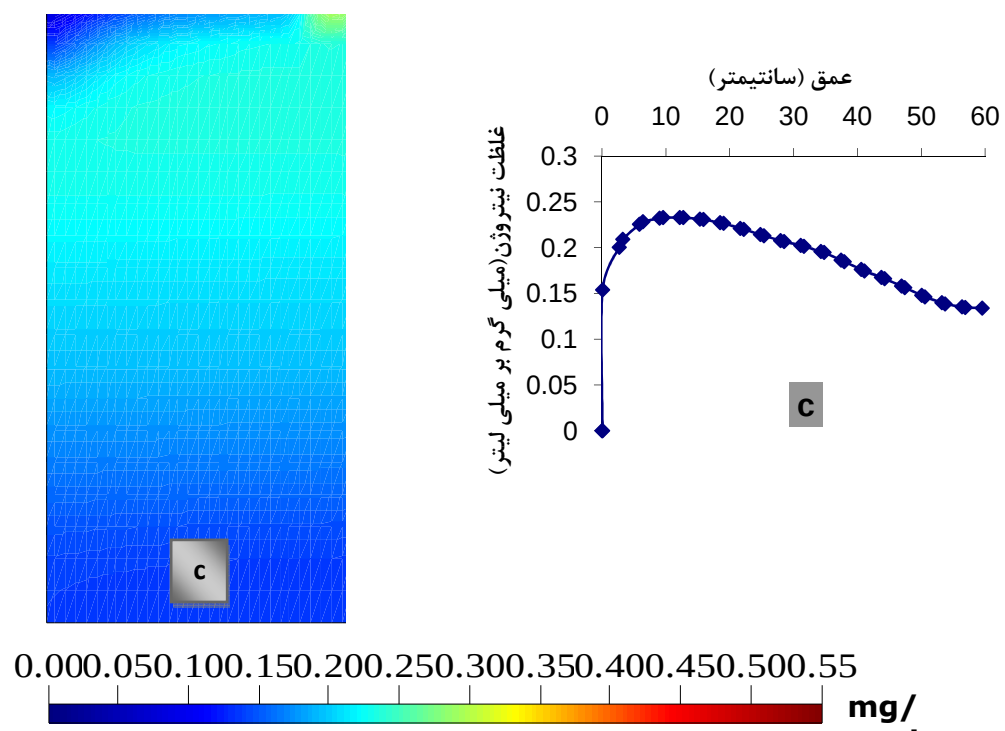
هشتم	هفتم	ششم	پنجم	چهارم	سوم	دوم	اول	۱۵ روز
۲۱	۲۰	۱۹	۱۸	۱۶	۱۴	۱۲	۱۰	ماکزیمم عمق (cm)

شکل (۵-۱۴) تصویری از رشد گیاه در ماه چهارم را نشان می‌دهد که در آن طراوت و شادابی گیاه دیده می‌شود و این امر را می‌توان به نحوه تنظیم و اجرای صحیح برنامه کود آبیاری و تنظیم درست سیستم آبیاری قطره‌ای نسبت داد.

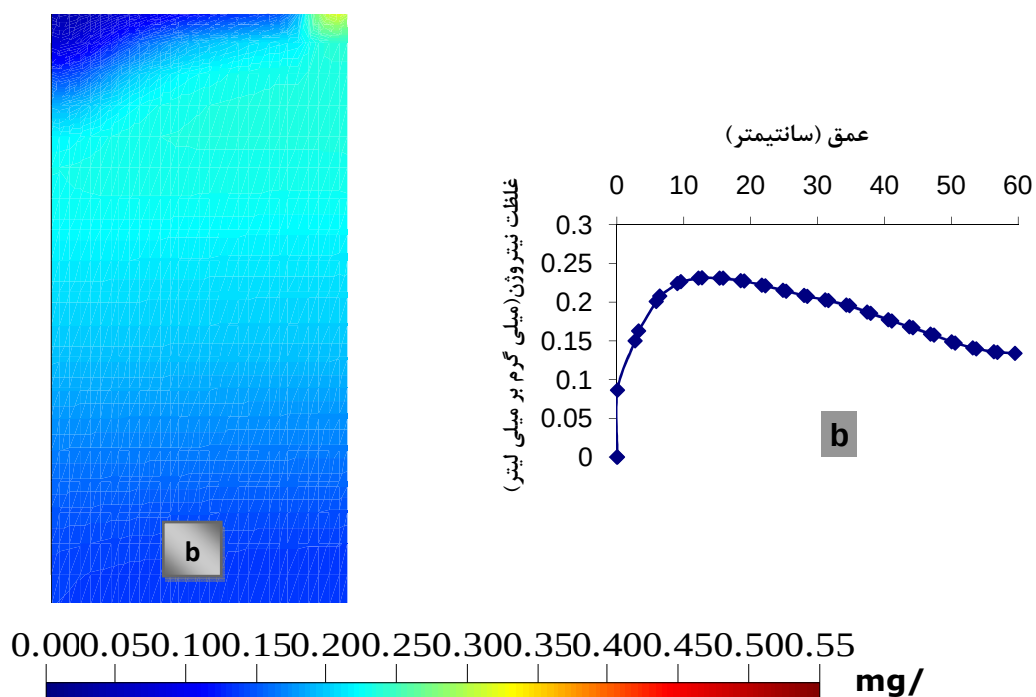
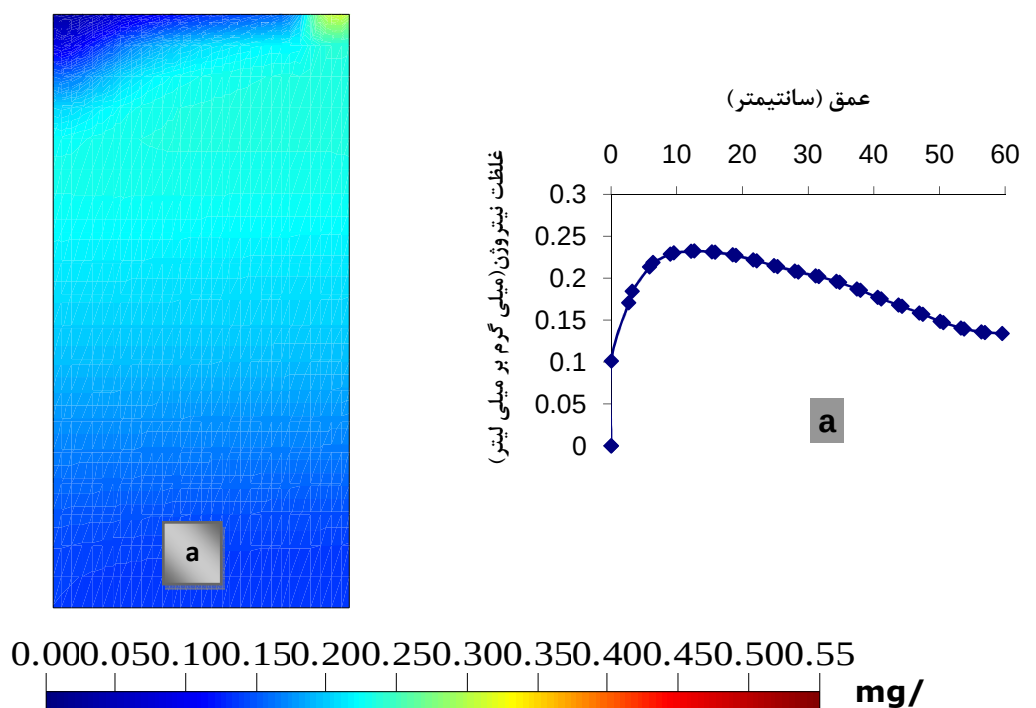
باریوسف (۱۹۹۹) به این نتیجه رسید که کود آبیاری از طریق آبیاری قطره‌ای مزایای متعددی دارد، از جمله: تسهیل توزیع مواد غذایی مناسب برای گیاه مطابق با مراحل دوران رشد و شرایط اقلیمی، کاهش شوری خاک و آلودگی آب‌های زیرزمینی، کاهش غیریکنواختی در توزیع غلظت مواد غذایی در طول دوره رشد، سادگی بکارگیری مواد حاصل خیز کننده مایع و جامد از طریق این سیستم.



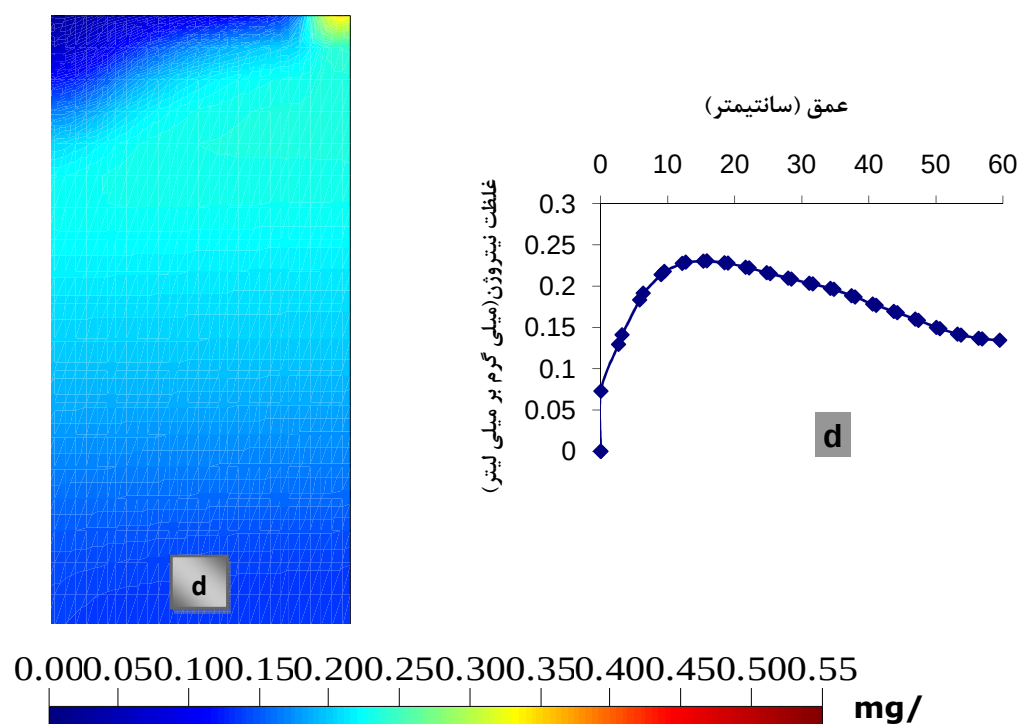
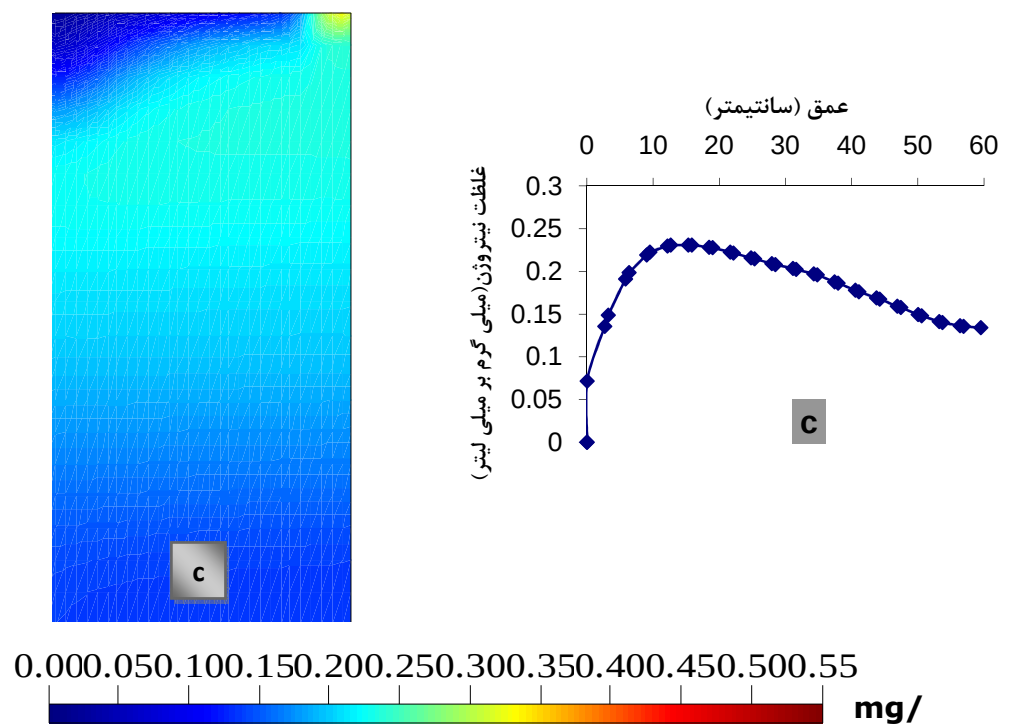
شکل (۵-۱۰) شبیه سازی تغییرات نیتروزن با عمق (a) هفته نهم (b) هفته دهم



شکل (۵-۱۱) شبیه‌سازی تغییرات نیترژن با عمق (C) هفته یازدهم (d) هفته دوازدهم



شکل (۵-۱۲) شبیه سازی تغییرات نیتروزن با عمق (a) هفته سیزدهم (b) هفته چهاردهم



شکل (۵-۱۳) شبیه‌سازی تغییرات نیتروژن با عمق (c) هفته پانزدهم (d) هفته شانزدهم

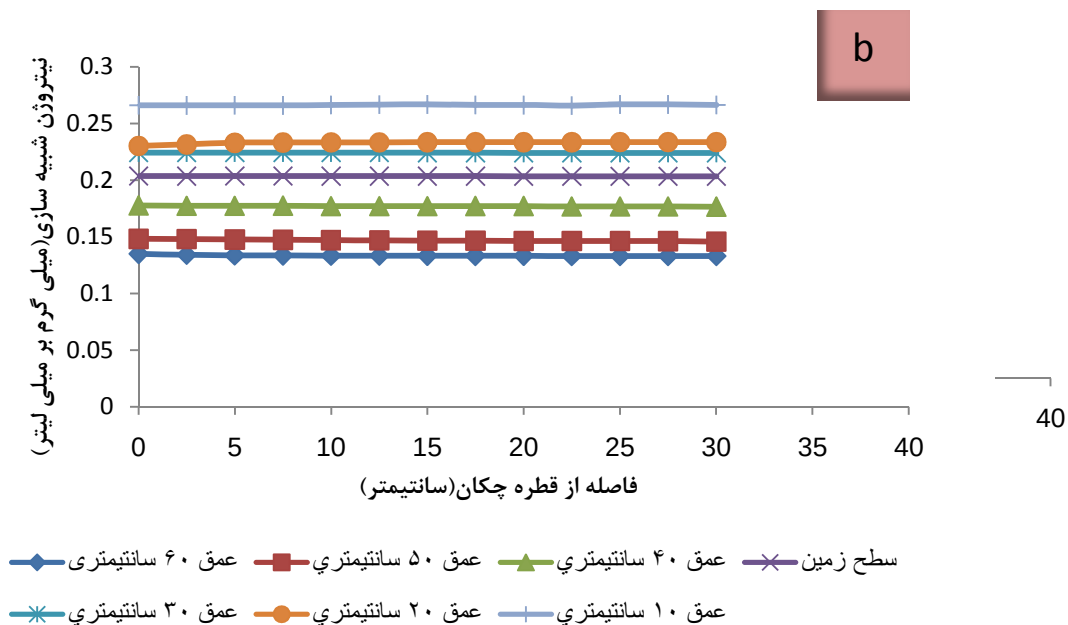
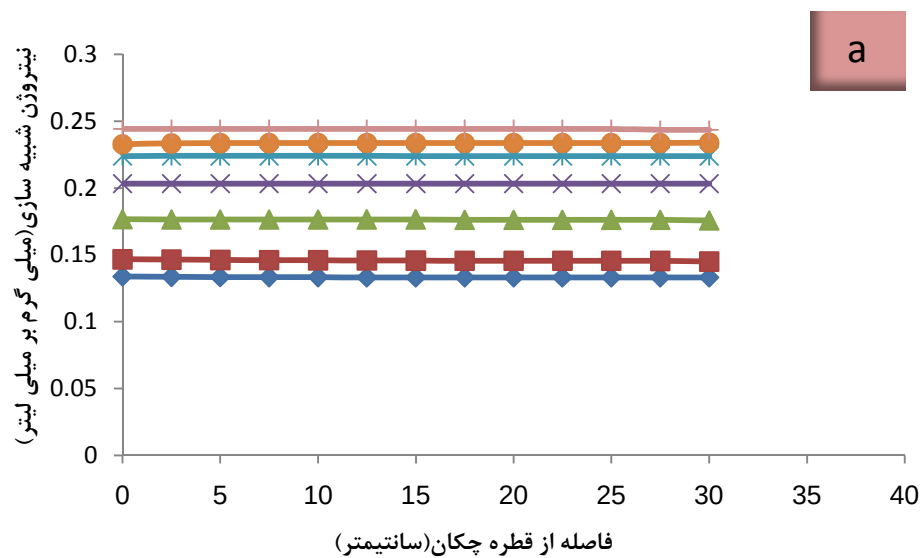


شکل (۵-۱۴) دوره رشد گیاه، ۱۲۰ روز پس از کاشت در سیستم کود آبیاری

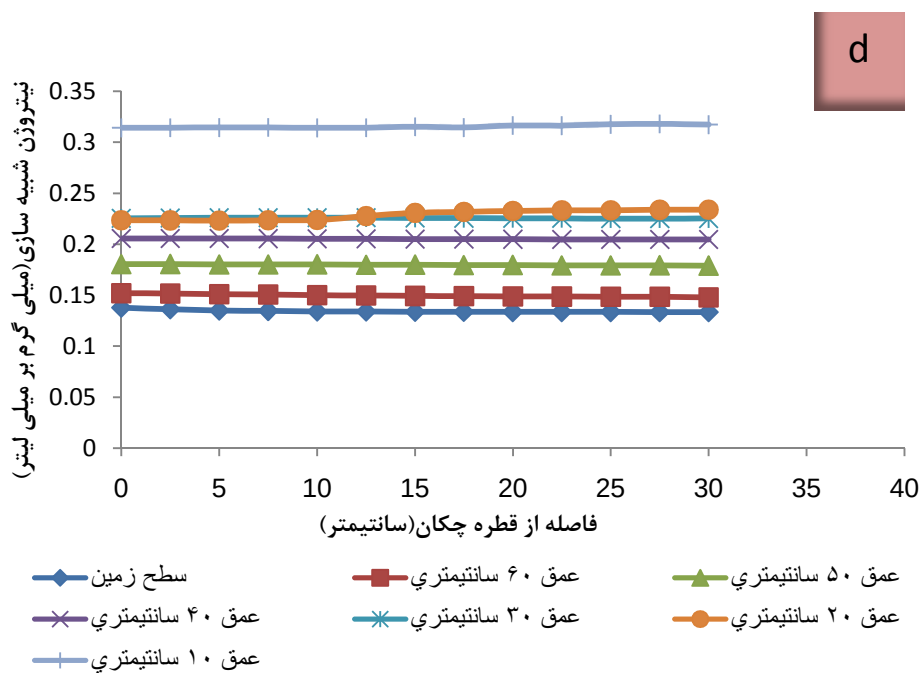
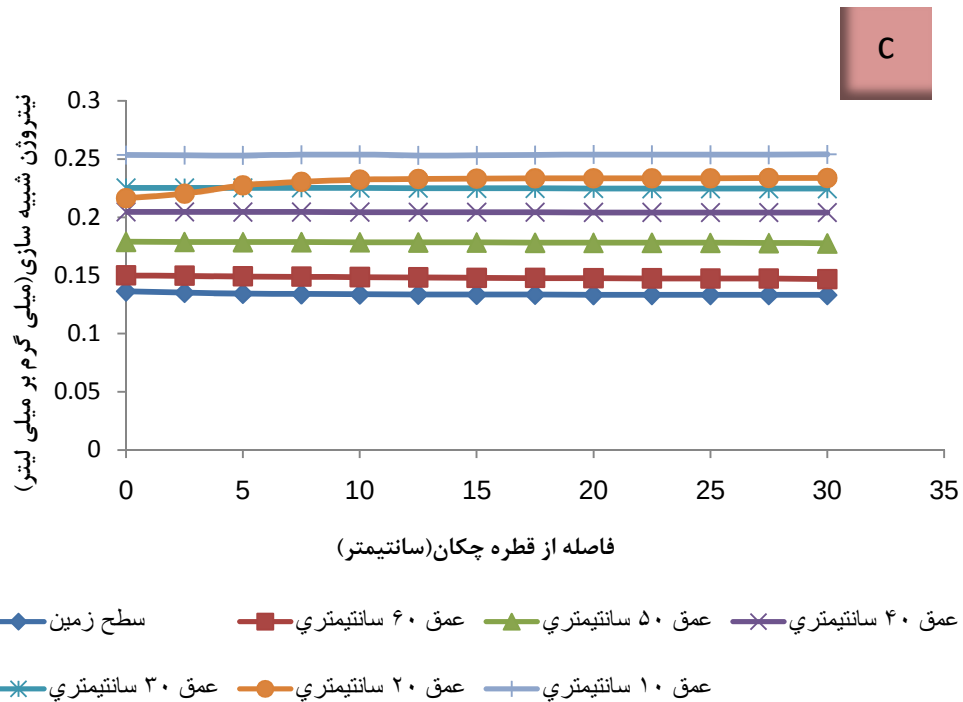
به طور کلی نتایج حاصل از نرم افزار Hydrus-2D نشان داد که مدل به خوبی توانسته است وضعیت غلظت نیتروژن خاک مزرعه را پیش بینی نماید. اژدری (۲۰۰۸) و سیمونگ و همکاران (۱۹۹۸) به نتایج مشابهی دست یافتند.

۵-۶-۲ شبیه سازی توزیع افقی نیتروژن

نموگرام‌های (۵-۱۵) و (۵-۱۶) تغییرات نیتروژن را به صورت افقی و در فواصل مختلف از قطره‌چکان در اعماق مختلف بررسی می‌کند. به طور کلی، مقدار نیتروژن موجود در اعماق ۱۰ تا ۲۰ سانتی‌متری بیشتر از اعماق پایین‌تر (۲۰ تا ۶۰ سانتی‌متری) می‌باشد. در اثر کود آبیاری در طول فصل زراعی مقدار کود در این دو عمق افزایش داشته ولی زمان کافی برای رسیدن به اعماق پایین را نداشته یا به وسیله ریشه گیاه جذب و مصرف شده است. علت پایین آمدن غلظت نیتروژن در سطح زمین در ماههای آخر را می‌توان به گرم‌تر شدن هوا و تصعید بیشتر نیتروژن نسبت داد.



شکل (۵-۱۵) شبیه سازی تغییرات افقی نیتروژن a- ماه اول b- ماه دوم

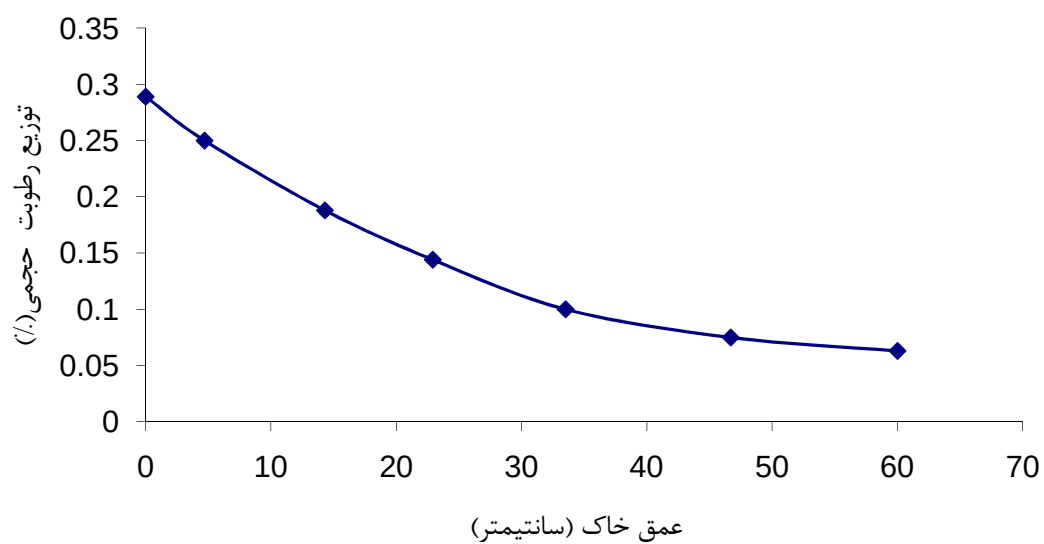
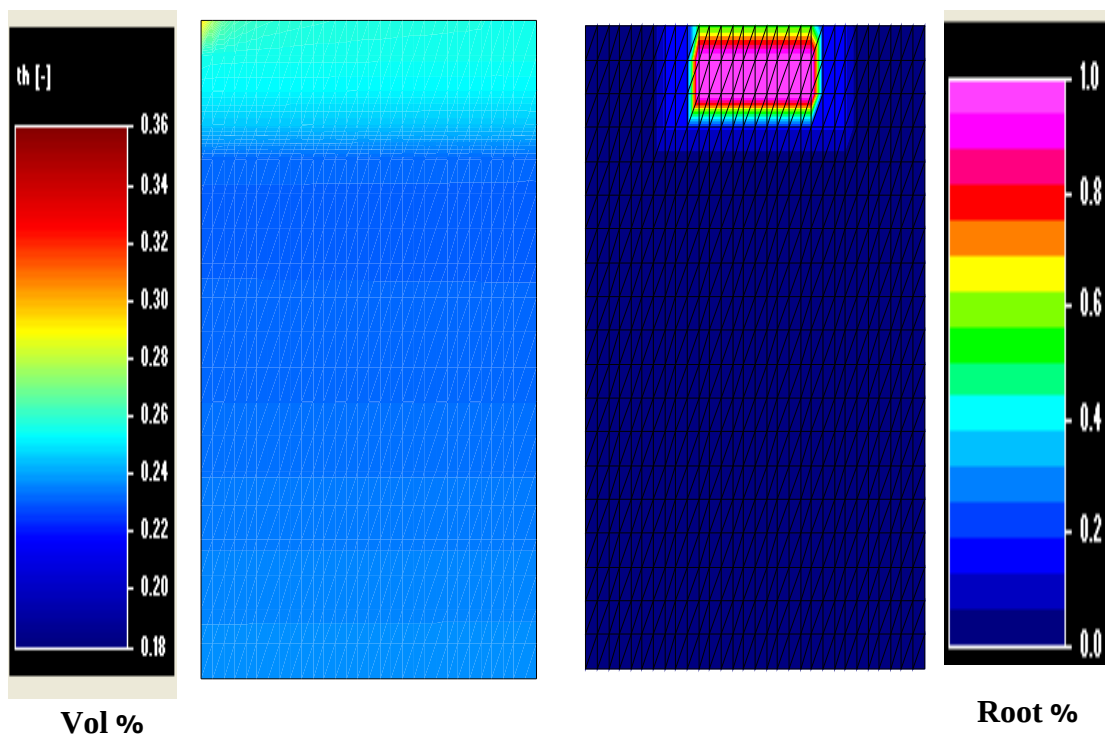


شکل (۵-۱۶) شبیه سازی تغییرات افقی نیتروژن C- ماه سوم d- ماه چهارم

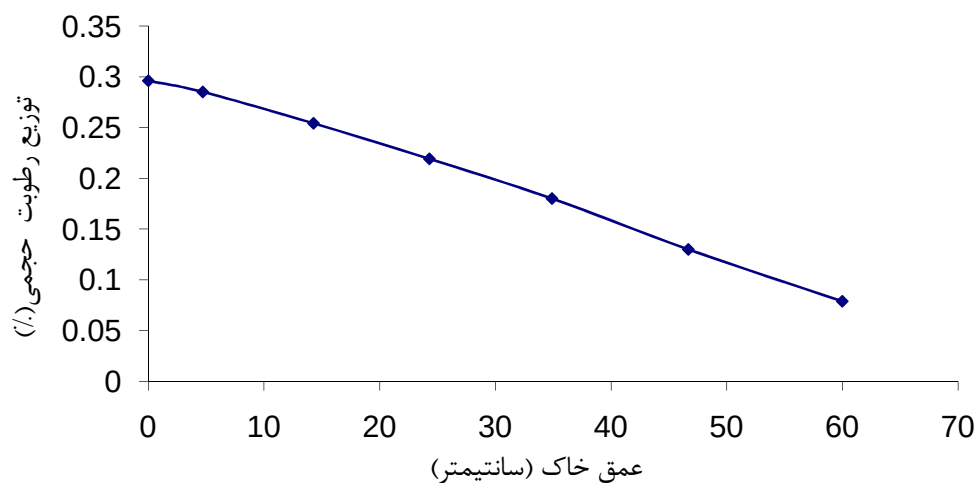
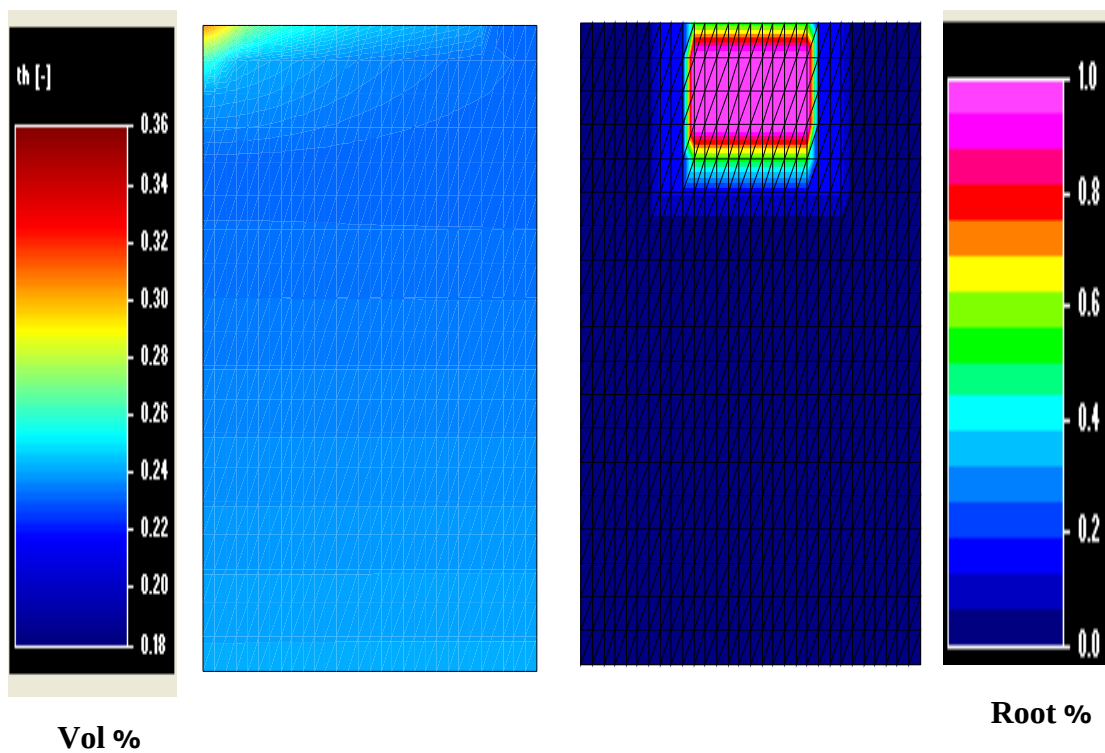
۵-۶-۳ شبیه‌سازی انتقال عمقی رطوبت

اشکال (۵-۱۷) تا (۵-۲۰) به طور کلی روند توزیع رطوبت را در اعماق مختلف همزمان با رشد ریشه گیاه به همراه نمودگرام‌های توزیع عمقی رطوبت نشان می‌دهد که هر چه رشد ریشه افزایش می‌یابد رطوبت در لایه‌های استقرار ریشه جذب می‌شود و نفوذ به اعماق پایین‌تر را کمتر می‌کند و به واسطه همین، زهکشی آب و آبخویی مواد مغذی محلول در آب را کاهش می‌دهد.

وجود رطوبت در حد مطلوب در منطقه توسعه ریشه به دلیل نوع سیستم آبیاری بکار گرفته شده است. همانگونه که تحقیقات، عنوان داشتند آبیاری قطره‌ای سبب کاهش تبخیر سطحی از خاک، کاهش نفوذ عمقی، کاهش رواناب سطحی، کاهش آلودگی منابع آب و خاک و در نهایت سبب افزایش کارایی مصرف آب می‌گردد. به نظر، هر یک از عوامل فوق به تنهایی نقش موثری در حفظ رطوبت خاک دارند. گزارشات ارائه شده از سوی هانگلر (۱۹۹۱)، اوران و همکاران (۱۹۹۹) و یازار و همکاران (۲۰۰۲) نیز این امر را تایید نموده‌اند. مقایسه الگوی توزیع رطوبت در ماه دوم پس از کاشت (شکل ۵-۱۸) نسبت به ماه اول (شکل ۵-۱۷) بیان کننده آن است که میزان رطوبت در سطح زمین، در حد ظرفیت زراعی، در لایه سطحی را می‌توان به کوتاه بودن دور آبیاری (۴۸ ساعت) نسبت داد. ضمن آنکه افزایش در صد سایه‌اندازی گیاه نیز در کاهش تبخیر از سطح خاک و حفظ رطوبت نقش داشته است.



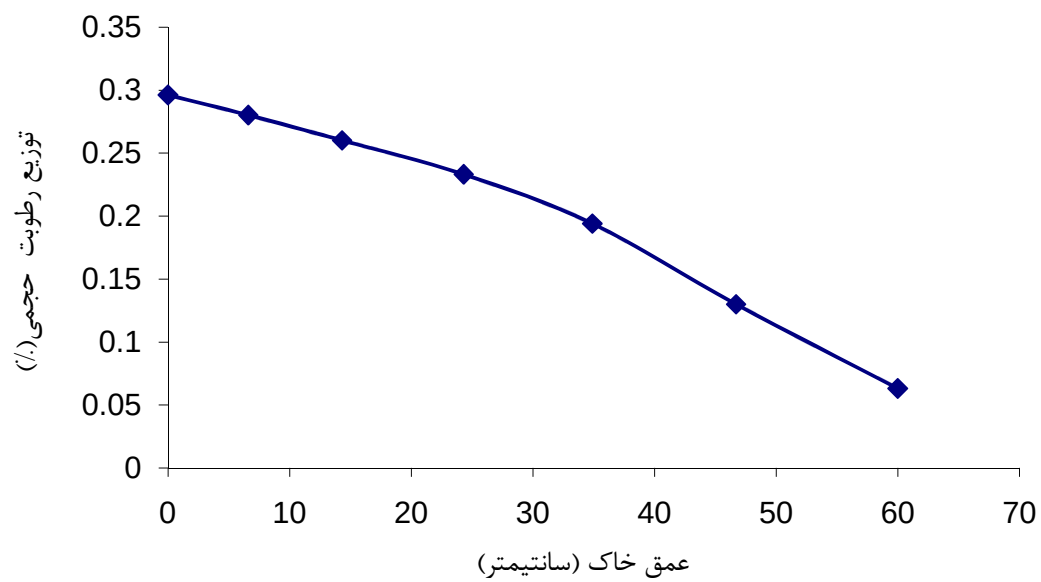
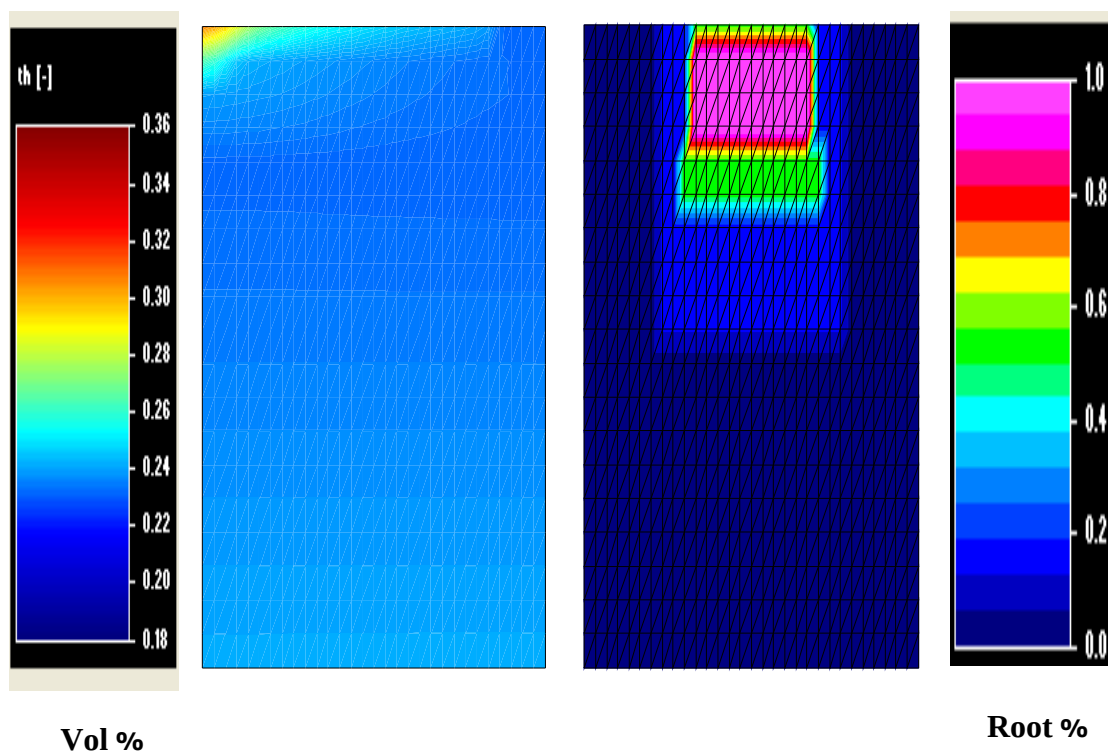
شکل (۵-۱۷) تغییرات رطوبت با عمق (شکل سمت چپ) به همراه روند رشد ریشه (شکل سمت راست) - ماه اول



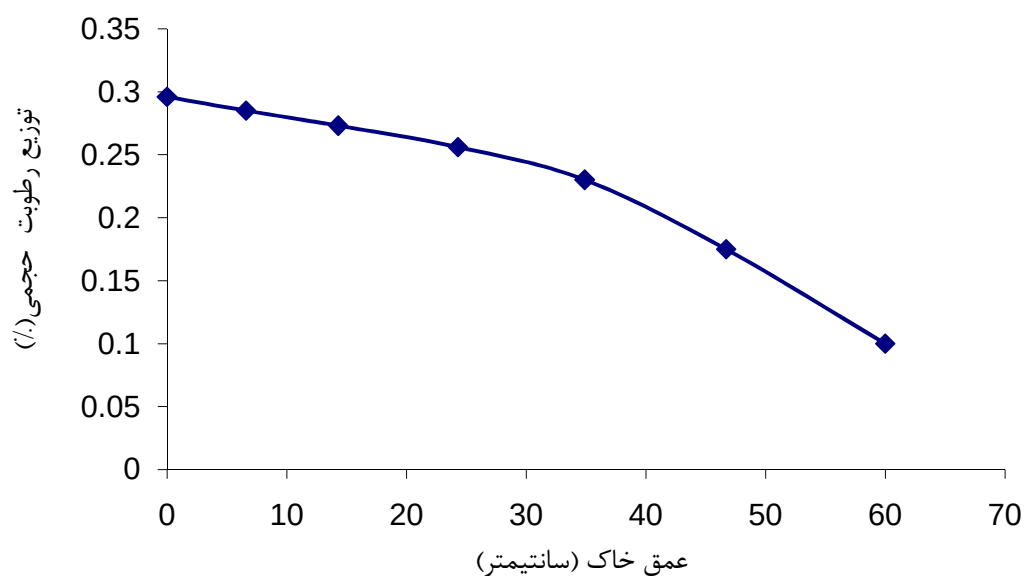
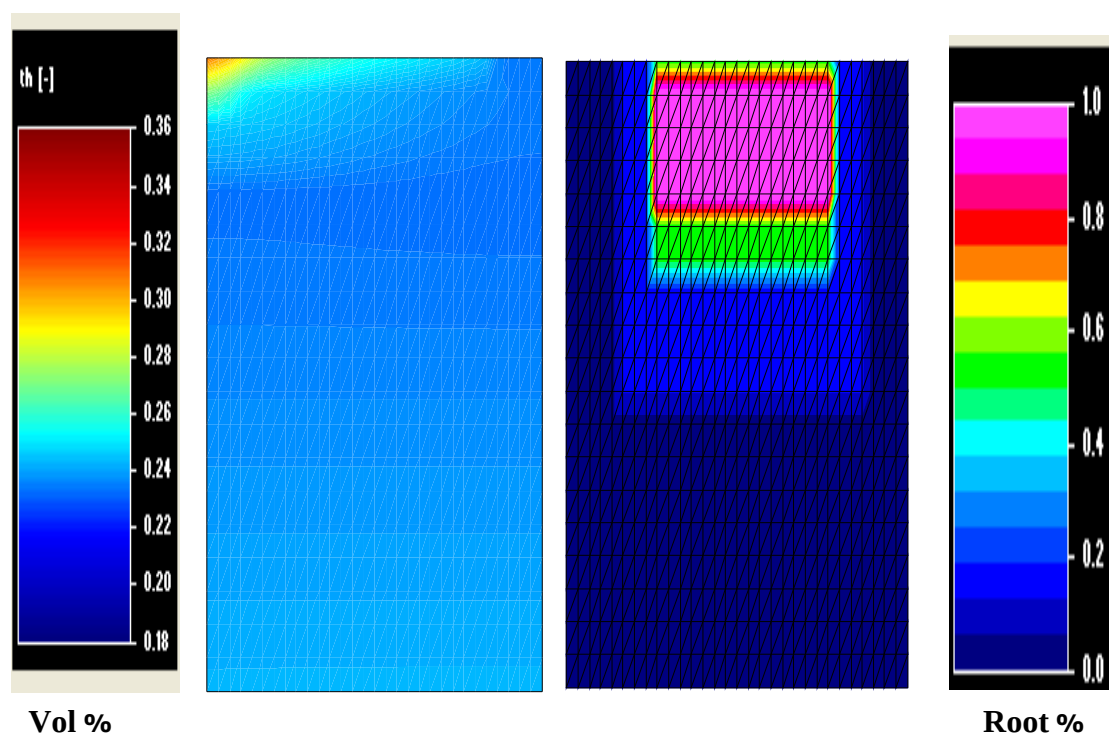
شکل (۵-۱۸) تغییرات رطوبت با عمق (شکل سمت چپ) به همراه روند رشد ریشه (شکل سمت راست) - ماه دوم

باک و همکاران طی تحقیق خود در سال ۱۹۸۷ نتیجه گرفتند آبیاری قطره‌ای با دور پایین ظرفیت آب خاک، پتانسیل آب برگ، فتوسنتز خالص و تعرق را در مقایسه با روش سطحی، بیشتر ثابت نگه می‌دارد. علی‌رغم ثابت بودن رطوبت خاک در لایه سطحی، رطوبت در اعماق پس از دو ماه نسبت به ماه اول افزایش داشته است. علت این امر را می‌توان تداوم عملیات آبیاری و افزایش درصد پوشش گیاهی و رشد ریشه گیاه دانست که مانع از تبخیر آب در سطح خاک و هدایت آن به اعماق شده است. تداوم عملیات آبیاری در انتقال رطوبت به لایه‌های پایین به واسطه نیروی ثقل موثر است. ضمن آنکه گسترش سیستم ریشه در هدایت جریان به اعماق و افزایش رطوبت اعماق خاک نقش دارد. شکل (۵-۱۹) روند تغییرات رطوبت در ماه‌های گذشته (ماه‌های اول و دوم) را تایید می‌کند و همانگونه که از شکل استنباط می‌شود ادامه عملیات آبیاری و گسترش سیستم ریشه‌ای گیاه، منجر به ارتقاء رطوبت تا اعماق حدود ۳۰ سانتی‌متری (عمق محدوده توسعه ریشه) می‌شود.

در شکل (۵-۲۰) که گیاه در ماه چهارم رشد خود به سر می‌برد روند قبلی رطوبت را ادامه می‌دهد با این تفاوت که رطوبت در عمق ۲۰-۳۰ سانتی‌متر نسبت به ماه سوم افزایش می‌یابد و این امر نیز به دلیل توسعه ریشه طبیعی است. نکته حائز اهمیت در اشکال (۵-۱۷) تا (۵-۲۰) این است که روند کاهش رطوبت از سطح به اعماق خاک تدریجی است. روند تدریجی کاهش رطوبت با عمق و افزایش تدریجی آن نسبت به ماه قبل، نشان دهنده توزیع مناسب رطوبت از طریق قطره‌چکان، فاصله مناسب آنها و به طور کلی طراحی صحیح سیستم آبیاری است. پیترو و همکاران (۲۰۰۳) نیز اعتقاد داشتند که بهبود توزیع آب و مواد غذایی در آبیاری قطره‌ای، منوط به ارتباط مناسب بین شدت جریان، فاصله قطره‌چکانها، مشخصات رطوبتی خاک و مدت زمان آبیاری است. همچنین در اشکال فوق میزان رطوبت در ناحیه توسعه ریشه در حد ظرفیت زراعی می‌باشد و گواه آن است که با این نوع برنامه ریزی آبیاری، گیاه دچار تنش آبی نمی‌شود.



شکل (۵-۱۹) تغییرات رطوبت با عمق (شکل سمت چپ) به همراه روند رشد ریشه (شکل سمت راست) - ماه سوم



شکل (۵-۲۰) تغییرات رطوبت با عمق (شکل سمت چپ) به همراه روند رشد ریشه (شکل سمت راست) - ماه چهارم

۵-۶-۴ شبیه‌سازی حجم آب زهکشی شده و نیتروژن آبشویی شده

پس از انجام عملیات لازم و اطمینان از درست عمل کردن مدل، جهت شبیه‌سازی حرکت و توزیع نیتروژن و آب زهکشی از زیر ناحیه ریشه بکار گرفته شد.

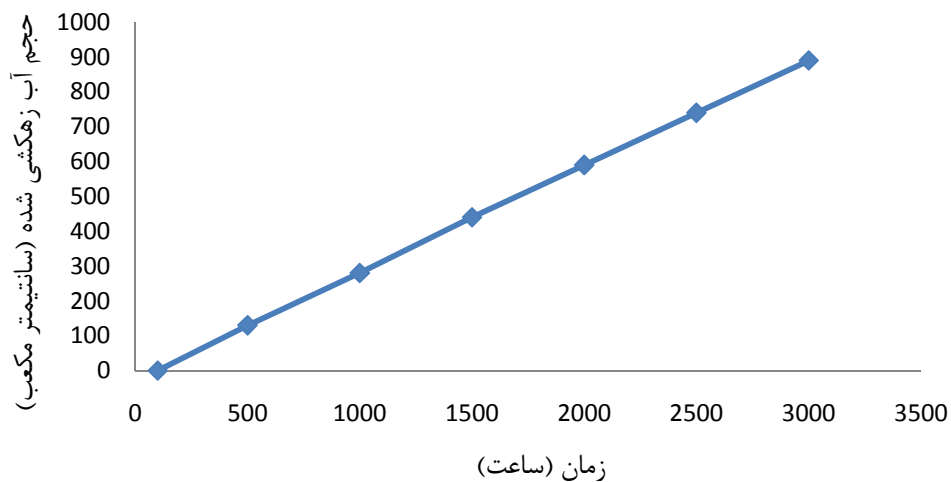
شکل (۵-۲۱) نشان می‌دهد که در کل دوره رویش گیاه که حدود ۴ ماه یا تقریباً ۳۰۰۰ ساعت بوده است، مجموعاً ۸۹۰ سانتی متر مکعب، آب به زیر ناحیه ریشه، که لایه پایین‌تر از عمق مدل‌سازی شده می‌باشد، (پایین‌تر از ۶۰ سانتی‌متر) زهکشی گردیده است. از آنجا که از هر قطره‌چکان سیستم کود آبیاری در طول دوره رویش جمعا $8020833/3$ سانتی‌متر مکعب، آب وارد خاک گردیده است، نسبت آب زهکش شده از بخش پایین محیط مدل شده به حجم آب ورودی $0/0001$ و یا به عبارتی $0/01$ درصد آن می‌باشد و $99/99$ آب ورودی در اختیار ریشه قرار گرفته است.

با توجه به اعداد بالا می‌توان نتیجه گرفت که درصد آب زهکشی با توجه به نوع خاک بسیار پایین بوده و بیانگر تمرکز و توزیع درصد بالایی از آب، در بخش‌های فوقانی محیط مدل شده یا منطقه ریشه گیاه فلفل می‌باشد.

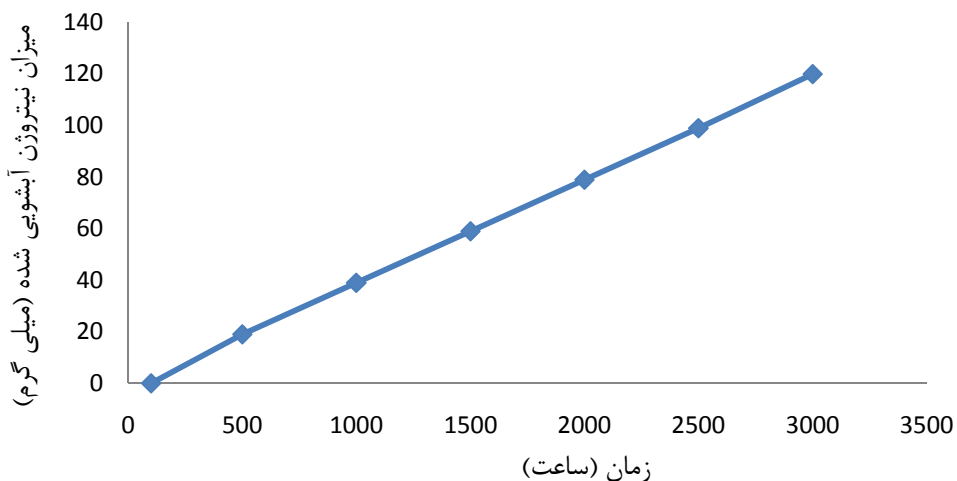
در شکل (۵-۲۲) نیز میزان نیتروژن آبشویی شده از زیر ناحیه ریشه در کل دوره رویش، شبیه‌سازی شده است، که این مقدار برابر ۱۲۰ میلی‌گرم می‌باشد. در طول دوره رویش گیاه ۱۲۰۰۰۰۰ میلی گرم کود اوره به صورت محلول توسط سیستم کود آبیاری، به کرت ۱۰۰٪ تزریق شده است که با توجه به درصد نیتروژن در کود اوره (۴۶ درصد)، ۵۵۲۰۰۰ میلی‌گرم نیتروژن وارد این کرت شده است. با توجه به مقادیر بدست آمده میزان نیتروژن خارج شده از هر قطره‌چکان، در کل دوره رویش گیاه در این کرت ۱۷۲۵۰ میلی‌گرم بوده است. با توجه به اعداد بدست آمده، مقدار نیتروژن آبشویی شده از زیر ناحیه ریشه $0/69$ درصد کل نیتروژن مصرفی برای کرت ۱۰۰٪ بوده است. به عبارت دیگر بیش از $99/3$ درصد نیتروژن مصرفی در بخش‌های بالایی محیط مدل شده تجمع و در اختیار ریشه گیاه قرار گرفته است و میزان بسیار کمی از نیتروژن آبشویی شده است. راپچوت و همکاران نیز طی تحقیقی در سال ۲۰۰۸ نتیجه گرفتند، تغذیه مداوم خاک در سیستم کودآبیاری و گذشت زمان، سبب

تجمع نیتروژن در اعماق می‌گردد. ضمن آنکه آبخویی نیترات حتی بدون مصرف کود ازته، امری طبیعی است (گالدینگ، ۲۰۰۰).

مدل Hydrus-2D قابلیت این را دارد که حرکت آب و مواد غذایی را هم در محیط مدل شده و هم در ناحیه زیر ریشه، برای خاکهای مختلف شبیه‌سازی کند.



شکل (۵-۲۱) شبیه‌سازی حجم آب زهکشی شده در کل دوره رویش گیاه در خاک محل تحقیق



شکل (۵-۲۲) شبیه‌سازی میزان نیتروژن آبخویی شده در کل دوره رویش گیاه در خاک محل تحقیق

فصل ششم

نتیجہ گیری و پیشہادات

۱-۶ نتیجه گیری

مطالعه دقیق شاخص‌ها و پارامترهای پایداری حفاظت آب و خاک در رسیدن به کشاورزی پایدار حائز اهمیت می‌باشد. امروزه نظر اکثریت متخصصین و فن‌آوران کشاورزی بر این است که برای اخذ نتایج درست از هر نوع تحقیق مربوطه به امور کشاورزی خصوصا در زمینه آب، خاک و گیاه حتما باید از دانش و تکنیک مدل‌سازی از طرق مدل‌های پیشرفته استفاده گردد.

این تحقیق به منظور بررسی نحوه حرکت آب و نیتروژن در یک سیستم کود آبیاری در مزرعه کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود در بسطام بطریق مدل‌سازی صورت گرفت. مدل مورد استفاده در این تحقیق Hydrus-2D بود. این مدل بر اساس نتایج حاصل از عملیات مزرعه‌ای گیاه فلفل سبز که بصورت کود آبیاری مدیریت گردید و همچنین از روی آنالیزهای آزمایشگاهی مربوط به نمونه‌های اخذ شده در طول دوره رشد گیاه واسنجی و صحت‌سنجی گردید. نتایج متعددی از این تحقیق بدست آمد که اهم آنها بشرح ذیل می‌باشد:

۱- در این تحقیق علی‌رغم یکسان بودن مقدار تغذیه گیاهی و میزان آب مصرفی سیستم کود

آبیاری و آبیاری کرتی، عملکرد محصول فلفل سبز در سیستم کود آبیاری ۱۹/۳۶ درصد

نسبت به آبیاری کرتی و ۲۸/۳۱ درصد نسبت به عملکرد منطقه‌ای افزایش محصول داشت.

۲- نتایج تحقیق نشان داد که بازده مصرف آب در محصول فلفل سبز در سیستم آبیاری قطره‌ای

۴۱/۰۴ درصد و بازده مصرف نیتروژن ۳۷/۹۳ درصد نسبت به سیستم آبیاری سطحی افزایش

داشته است.

۳- این تحقیق نشان داد که در محصول فلفل سبز حداکثر عملکرد و حداکثر بازده مصرف آب و

مواد غذایی در تیمار اول که ۱۰۰ درصد مواد غذایی پیش‌بینی شده در اختیار گیاه قرار گرفته

بود، رخ داده است.

۴- واسنجی مدل با داده‌های ماه اول از دوره رویش گیاه فلفل سبز نشان داد که مدل انتخاب

شده، عملیات شبیه‌سازی حرکت آب و نیترات در خاک را بدرستی انجام می‌دهد.

- ۵- صحت‌سنجی مدل Hydrus-2D با داده‌های طولانی مدت (کل دوره رویش گیاه) انجام گرفت و نشان داد که علی‌رغم طولانی بودن دوره صحت‌سنجی، مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه سازی شده مشابه هم هستند.
- ۶- شبیه‌سازی انجام یافته توسط مدل نشان داد که در کلیه دوره رشد گیاه تمرکز ماده غذایی عمدتاً در اعماق بین ۵ تا ۲۵ سانتی‌متری مطابق با عمق ریشه دوانی محصول صورت گرفته و بعد از عمق ۲۵ سانتی‌متری، روند حرکت نیتروژن به اعماق زیرین کاهش یافته است.
- ۷- نتایج تحقیق نشان داد که از مجموع مقدار آب ورودی به ناحیه ریشه محصول فلفل سبز، فقط ۰/۰۱ درصد آن بعنوان آب زهکشی به زیر ناحیه ریشه نفوذ یافته و مابقی آب (۹۹/۹۹ درصد) در محدوده فعالیت ریشه این گیاه توزیع گردیده است.
- ۸- نتیجه حاصل از شبیه‌سازی میزان آبشویی نیتروژن نشان داد که از مجموع مقدار توزیعی این ماده فقط ۰/۶۹ درصد به خارج از ناحیه ریشه آبشویی گردیده و مابقی در محدوده مصرفی گیاه تمرکز یافته است.
- ۹- نتایج حاصل از تحقیق نشان داد که شناخت دقیق میزان مصرف آب و مواد غذایی و توزیع بموقع آنها به صحیح‌ترین روش، شاخصهای رویشی گیاه بخصوص میزان عملکرد را افزایش داده و از آلوده شدن لایه‌های عمقی خاک جلوگیری می‌کند.

۶-۲ پیشنهادات

- ۱- از آنجا که مدل Hydrus-2D نتایجی با ضریب اطمینان بالا از میزان توزیع رطوبت و املاح در اعماق مختلف خاک، را پیش‌بینی می‌کند، می‌توان از این مدل و مدل‌های پیشرفته دیگر مربوط به آبیاری و زهکشی در مطالعات آب و خاک استفاده کرد.
- ۲- از معیارهای مدیریتی آنالیز یافته اخذ شده از مدل‌های کامپیوتری پیشرفته به منظور توسعه سیستم کود آبیاری استفاده کنیم تا بالاترین کارایی را از سیستم دریافت کنیم.
- ۳- با توجه به وجود مدل‌های پیشرفته‌ای چون Hydrus-2D و SWAT، از شیوه‌های صحیح تحقیقات مربوط به آلودگی محیط زیست استفاده کنیم و از نتایج در رفع آلودگی‌ها استفاده کنیم.
- ۴- مدل Hydrus-2D در مقیاس مزرعه‌ای، با ضریب اطمینان بالا شبیه‌سازی رطوبت و املاح را انجام می‌دهد. لذا پیشنهاد می‌شود برای محصولات دیگر و در اقلیم‌های متفاوت و همچنین بافت‌های مختلف خاک از این مدل استفاده شود.
- ۵- با بدست آوردن نتایج صحیح و دقیق از آلودگی لایه‌های خاک به نیتروژن توسط مدل Hydrus-2D، روش‌های صحیح کنترل آلودگی لایه‌های خاک نسبت به نیتروژن را ترویج دهیم.
- ۶- برای افزایش دقت مدل‌ها در شبیه‌سازی و مدل‌سازی، باید محدودیت‌های ذاتی آن را از طریق بالا بردن دقت ورودی‌ها و در نظر گرفتن پدیده‌های طبیعی موجود در خاک، کاهش دهیم و برای بدست آوردن پارامترهای هیدرولیکی خاک از مدل‌های پیشرفته و دقیقی چون ROSETTA و RETC استفاده کنیم.

پیوست

اصول نظری (English, 1990 ; Zand- parsa & Sepaskhah, 2001):

تولید محصول گیاه را می‌توان به صورت تابعی از مقدار آب آبیاری و کود (نیتروژن) بیان کرد (N و W (Y). تابع هزینه تولید هم می‌تواند شامل مجموع هزینه‌های آماده‌سازی زمین برای کاشت، کاشت، مدیریت مزرعه، برداشت و غیره (به عنوان هزینه ثابت) و نیز هزینه آب و کود مصرفی (به عنوان هزینه‌های متغیر تابع) باشد. (C (W و N)). درآمد خالص به میزان آب و کود مصرفی و سطح زیر کشت مربوط می‌شود.

$$I = A \times i(W, N) \quad (1)$$

که $i(W, N)$ درآمد خالص بر واحد سطح، I درآمد کل و A سطح زیر کشت می‌باشد. $i(W, N)$ تابعی از آب و نیتروژن مصرفی به صورت زیر است.

$$i(W, N) = p_y \times Y(W, N) - C(W, N) \quad (2)$$

که p_y ارزش واحد وزن محصول است. سطح زیر کشت (A) ممکن است تابعی از مقدار آب باشد. اگر آب عامل محدود کننده باشد، کشاورز برای استفاده از تمام آب موجود می‌تواند زمین کافی را به آبیاری اختصاص دهد. در این صورت:

$$A = \frac{w_t + R}{w} \quad (3)$$

که W عمق آب مصرفی (m)، R باران سالانه (m) و w_t کل آب قابل استهلال ($m-ha$) است. مقادیری از W و N که محصول را حداکثر می‌کند (w_m و N_m)، با مشتق‌گیری از تابع تولید محصول، به صورت زیر تعیین می‌شود:

$$\frac{\partial Y(W, N)}{\partial W} = 0 \quad (4)$$

$$\frac{\partial Y(W, N)}{\partial N} = 0 \quad (5)$$

مقادیری از W و N که از معادله فوق به دست می‌آید به ترتیب w_m و N_m است. اگر زمین عامل محدودکننده باشد مقدار آب و نیتروژن مصرفی که به واسطه آن درآمد بیشینه حاصل می‌شود، با مشتقات جزئی تابع تولید محصول نسبت به W و N در صفر کردن آنها تعیین می‌شود:

$$\frac{\partial I}{\partial W} = A \frac{\partial i(W,N)}{\partial W} + i(W,N) \frac{\partial A}{\partial W} = 0 \quad (6)$$

$$\frac{\partial I}{\partial N} = A \frac{\partial i(W,N)}{\partial N} + i(W,N) \frac{\partial A}{\partial N} = 0 \quad (7)$$

اگر از اثر آلودگی نیتروژن در محیط صرف نظر شود یا به عبارت دیگر کاربرد نیتروژن با محدودیت مواجه نباشد. آنگاه $\partial A / \partial N$ صفر خواهد بود. لذا مقدار بهینه آب و نیتروژن در شرایط محدودیت زمین به صورت زیر تعیین می‌شود:

$$\frac{\partial i(W,N)}{\partial W} = 0 \quad (8)$$

$$\frac{\partial i(W,N)}{\partial N} = 0 \quad (9)$$

مقادیر از آب آبیاری و کود نیتروژن که از حل این دو معادله به دست می‌آید w_i و N_i نامیده می‌شود. وقتی که آب عامل محدود کننده باشد، A تابعی از W است و اگر $\partial A / \partial N$ نیز صفر باشد (محدودیتی برای کاربرد نیتروژن نباشد). مقادیر بهینه W و N را می‌توان از معادلات (۳) و (۶) و (۷) تعیین کرد:

$$(w) \frac{\partial i(W,N)}{\partial W} = i(W,N) \quad (10)$$

$$\frac{\partial i(W,N)}{\partial N} = 0 \quad (11)$$

جواب‌های این دو معادله مقادیر بهینه آب و نیتروژن در شرایط محدودیت آب است (W_N, N_m) . معادله (۹) و (۱۱) مشابهند. یعنی در شرایط محدودیت زمین و آب با مقدار مساوی آب مصرفی، میزان بهینه مصرف نیتروژن مساوی است.

منابع

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

اخوان، س.، مصطفی زاده فرد، ب.، موسوی، ف.، قدمی فیروزآبادی، ع.، و بهرامی، ب.، (۱۳۸۴). "تأثیر مقدار و روش آبیاری بر عملکرد و کیفیت سیب زمینی رقم آگریا". مجله آب و خاک و گیاه در کشاورزی، جلد ۷، شماره ۳.

اژدری، خ. (۱۳۸۶). "شبیه‌سازی توزیع رطوبت در خاک در سیستم آبیاری قطره‌ای با استفاده از مدل Hydrus-2D". مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، جلد پانزدهم، شماره اول، ص ۱۸۰-۱۶۸.

بینام. (۱۳۸۵). سالنامه هواشناسی. سازمان هواشناسی کل کشور. تهران.

توکلی، ع. (۱۳۸۱). "به‌گزینی مدیریت آبیاری تکمیلی و بهینه‌سازی مصرف کود نیتروژن برای گندم". گزارش طرح پژوهشی اجرا شده در مرکز تحقیقات دیم مراغه ۱۴ صفحه.

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. جلد هشتم، شماره سوم، ص ۸۲-۶۹.

خانی قریه گپی، م. (۱۳۸۷). "ارزیابی و صحت‌سنجی مدل SWAT در برآورد عملکرد چغندر قند تحت کمیت‌ها و کیفیت‌های مختلف آبیاری". پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی.

خیامیم، س. و گوهری، ج. (۱۳۸۳). "مدل سازی رشد چغندر قند : اهداف و نیازها". مجله اقتصاد کشاورزی و توسعه. جلد ۱۲، شماره ۴۸، ص ۹۵-۹۳.

رادمهر، م. لطفی آینه، غ. و کجیاف، ع. (۱۳۷۵). "روند جذب N.P.K در اجزاء مختلف گندم، رقم

فلات در تاریخ‌های مختلف کشت در جنوب". چهارمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات.

رستمی، م. و جبرایلی، ح. (۱۳۷۷). "تغییرات ازت در بافت رویشی و رابطه آن با پروتئین دانه در

گندم". مجله علوم کشاورزی ایران جلد ۲۹، ص ۴۴۷-۴۵۴.

زارع ابیانه، ح. (۱۳۸۵). "دینامیک انتقال جرم در خاکهای مطبق و غیر مطبق". پایان نامه دکتری،

گروه آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.

زارع ابیانه، ح.، کزازی، م.، ظفری، د.، و زمانی، پ. (۱۳۸۶). "اثرات آبیاری بارانی و جویچه‌ای بر روی

بیماری خال سیاه، رشد ثانویه محصول و عملکرد پنج رقم سیب زمینی در منطقه همدان".

مجله آب، خاک و گیاه در کشاورزی، جلد هفتم، شماره سوم.

سازمان محیط زیست ایران. (۱۳۷۳). "استاندارد خروجی فاضلاب‌ها. سازمان محیط زیست ایران"،

دفتر محیط زیست انسانی

سپاسخواه، ع. توکلی، ع. و موسوی، ف. (۱۳۸۵). "اصول و کاربرد کم آبیاری". کمیته ملی و آبیاری

زهکشی ایران، ص ۲۸۸.

صیاد، غ. ع. افیونی، م. موسوی، س. ف. (۱۳۸۷). "تأثیر گلرنگ و کاربرد مس، کادمیم، روی و سرب

بر تحرک این چهار عنصر در یک خاک آهکی". مجله علوم و فنون کشاورزی، و منابع طبیعی،

سال یازدهم، شماره اول، ص ۵۵-۶۷.

عباسی، ف. و تاجیک، ف. (۱۳۸۶). "برآورد همزمان پارامترهای هیدرولیکی و انتقال املاح در خاک به

روش حل معکوس در مقیاس مزرعه". مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال

یازدهم، شماره اول، ص ۱۱۱-۱۲۲.

عرفان منش، م. و افیونی، م. (۱۳۷۹). "آلودگی محیط زیست : آب، خاک و هوا". نشر ارکان، اصفهان.

قهرمان، ن.، خلیلی ع.، لیاقت ع.م. و اسماعیل نیا، س. (۱۳۸۳)، "ارزیابی مدل SWACROP جهت برآورد عملکرد گیاهان گندم و جو در اقلیم کرج". دومین کنفرانس ملی دانشجویی منابع آب و خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.

کریمی، ا. همایی، م.، معزاردلان، م. لیاقت، ع. و رئیسی، ف. (۱۳۸۵). "اثر کود آبیاری بر عملکرد و کارایی مصرف آب در ذرت به روش آبیاری قطره‌ای خطی". مجله علمی پژوهشی علوم کشاورزی، سال دوازدهم، شماره ۳.

کشاورز، ع. و صادق زاده، ک. (۱۳۷۹). "کم آبیاری بهینه و تجزیه و تحلیل ریاضی و اقتصادی آن". مجله تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، جلد ۵، شماره ۱۷.

لطیف، م. (۱۳۸۱). "بررسی آلودگی نیتрат و منشأیابی آن در آب‌های زیرزمینی دشت مشهد". پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

محسنی، ا. (۱۳۶۵). "بررسی وضع آلودگی آب‌های زیرزمینی به یون نیترات در اثر کاربرد کودهای ازته در شهرستان بابل". پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.

ملایی کندلوس، م. لیاقت، ع. عباسی، ف. (۱۳۸۵). "شبیه سازی پیاز رطوبتی در آبیاری قطره‌ای زیر سطحی با استفاده از مدل Hydrus-2D". کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، دومین کارگاه فنی خرد آبیاری.

منصوری، ح. و مصطفی زاده، ب. (۱۳۸۵). "راهنمای نصب و اجرای مدل SWAP". اولین همایش منطقه ای بهره برداری بهینه از منابع آب حوضه های کارون و زاینده رود، دانشگاه شهر کرد.

منصوری، ح. مصطفی زاده، س. ف.، موسوی، ف. و فیضی م (۱۳۸۶). "استفاده از مدل SWAP به منظور بررسی تأثیر مدیریت آبیاری با آب شور بر رطوبت خاک منطقه رودشت اصفهان"، مجموعه مقالات نهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، دانشگاه شهید باهنر کرمان.

هاشمی نیا، س. م. (۱۳۸۳). "مدیریت کم آب در کشاورزی" انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.

واعظی، ع.، همایی، م.، و ملکوتی، م.ج.، (۱۳۸۱). "اثر کودآبیاری بر کارایی مصرف کود و آب در ذرت علوفه ای". مجله علوم آب و خاک، جلد ۱۶، شماره ۲، ص ۱۶۰-۱۵۲.

وهاب زاده، ع. (۱۳۷۸). "شناخت محیط زیست". ترجمه. دانیل بوتکین و ادوارد کلر. انتشارات موزه طبیعت و حیات وحش. فصل ۱۹، ص ۳۸۱ تا ۴۵۹.

Abbasi, F., F.J. Adamsen, D. J. Hunsaker, J. Feyen, P. Shouse and M. Th.

VanGenuchten, 2003a. "Effects of flow depth on water flow and solute transport in furrow irrigation: Field data analysis". J. Irrig. Drain. Eng., 129(4): 237-246.

Abbasi, F.D., Jacques, J., Simunek, J., Feyen, and M.Th. van Genuchten, 2003b. "Inverse estimation of the soil hydraulic and solute transport parameters from transient field experiments: heterogeneous soil". Trans. ASAE 46, (4): 1097-1111.

Abbasi, F., Simunek, J. Feyen, M.Th., van Genuchten, and Shouse, P. J., 2003c. "Simultaneous inverse estimation of the soil hydraulic and solute transport parameters from transient field experiments: homogeneous soil". Trans. ASAE, 46(4): 1085-1095.

Abdorashid, A. E., Madramootoo, C., and Hamel, C. 2000. "Influence of water table and nitrogen management on residual soil NO₃⁻ and denitrification rate under corn production in sandy loam soil in Quebec". J. Agric. Ecosys. and Environ. 79: 187-197.

- Ajdary . K.H., 2005. "Modeling of water and nitrogen movement under drip fertigation. ph.D thesis. Division of Agricultural Engineering". Indian Agricultural research Institute, New Delhi , India.
- Ajdary, KH., Singh, D.K., Singh, A.K., and Khanna, M. 2008."Modelling of nitrogen leaching from experimental onion field under drip fertigation". J. Agricultural Water Management. 89: 15-28.
- Ajdary, K.H., singh . D . K . singh . A . K . and khanna, M . 2005. "Simulation of water distribution under drip irrigation using HYDRUS – 2D". p221-223. Vol. 2 in: Mathur . G.N. and A.S. chawla(eds),proceedings of the xll world congress . New Delhi . India.
- Angle, J. S., Gross, C. M., Hill, R. L., and McIntosh, M. S. 1993. "Soil nitrate concentrations under corn as affected by tillage, manure, and fertilizer application". J. Environ. Qual, 22: 141- 147.
- Antonopoulos, V.Z.2001. "Simulation of Water and nitrogen balances of irrigation and fertilized Corn-crop soil". Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 127(2): 77-83.
- Asadi, M.E. 2004. "Effect of irrigation and tillage practices on nitrate leaching". program me and Abstracts. 3rd international nitrogen conference. October, 12-16. Nanting, china.
- Babiker, I. S., *et al.* 2004. "Assessment of groundwater contamination by nitrate leaching from intensive vegetable cultivation using geographical information system". Environment International, 29 (8): 1009- 1017.
- Bacan , P. E., 1995. "Nitrogen fertilization in the Environment". Marcel Dekker. N. Y.
- Bar-Yosef, B.1999. Advances in Agronomy. Vol.65,1-77.
- Berenguer, P., Santiveri, F., Boixadera, J., and Lloveras. J., 2009. "Nitrogen fertilisation of irrigated maize under Mediterranean conditions". Europ. J. Agron. 30: 163–171.

- Bergstrom, L., Johnsson, H. and Torstensson, G. 1991. "Simulation of soil nitrogen dynamics using the SOILN model". *Fertilizer Research*. 27:181-188.
- Borken, W. and Matzner, E., 2004. "Nitrate leaching in forest soils: an analysis of long-term monitoring sites in Germany". *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 167 (3): 277-283.
- Bowers, F. H., 2000. "Septic system and nitrate nitrogen as indicators of groundwater quality trends in New Jersey". New Jersey Dept. of Environ. Protec.
- Bristow, K.L., Cote, C.M., Thorburn, P.J., Cook, F.J., 2000. "soil wetting and solute transport in trickle irrigation systems". in: 6th international Micro-Irrigation Conference (Micro2000). 22-27 october 2000. Cape Town, south Africa.
- Bucks, D. A., and Myers, L. E., 1987. "Trickle irrigation-application uniformity from simple emitter plugging". *Trans.*16(6): 1108-1111.
- Cepuder P. and Shukla, M.K. 2002. "Groundwater nitrate in Austria: a case study in Tullnerfeld". *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 64: 301–315.
- Cerrato, M.E. and Blackmer, A.M. 1990. "Comparison of models for describing corn yield response to nitrogen fertilizer". *Agron. J.* 82: 138-143.
- Cote, C.M., Bristow, K.L., Charlesworth, P.B., Cook, F.J., Thorburn, P.J., 2003. "Analysis of soil wetting and solute transport in subsurface trickle irrigation". *Irrig Sci* . 22 :143-156.
- Crevoisier, D., Popova, Z., Mailhole, J.C., Ruelle, P., 2008. "Assessment and simulation of water and nitrogen transfer under furrow irrigation". *J. of Agricultural Water Management*, 95(4): 336-354.
- Criss, R.E., and Davisson, M.L., 2004. "Fertilizers, water quality, and human health". *Environmental Health Perspectives*, 112 (10): A536-A536.
- Dalling, M.J., Halloran, G.M., and Wilson, A.H., 1975. "The relation between nitrate reductase activity and grain nitrogen productivity in wheat". *Aust. J. Agric. Res.* 26:1-10.

- Datta, P.S., Dab, D.L., and Tyagi, S.K., 1997. "Assessment of groundwater contamination from fertilizers in Delhi area based on O_{18} , NO_3^- and K^+ composition". J. Contamin. Hydrol. 27: 249-262.
- Di, H.J., and Cameron. K.C., 2002. "Nitrate leaching and pasture production from different nitrogen sources on a shallow stony soil under flood-irrigated dairy pasture". Australian Journal of Soil Research, 40(2): 317-334.
- Di Paolo, E. and Rinaldi. M., 2008. "Yield response of corn to irrigation and nitrogen fertilization in a Mediterranean environment". Field Crops Res. 105, 202–210.
- Dorgham, M.M., *et al.* 2004. "Eutrophication problems in the Western Harbour of Alexandria. Egypt". Oceanologia, 46(1): 25-44.
- Emam, Y. 2007. "Cereal Production. Shiraz University Press. Third edition". 190 pages. (In Persian).
- English, M., and James. L., 1990. "Deficit irrigation. II: Observation in Colombia basin". J. Irrig. Drain. Eng., ASCE. 116(3): 413-426.
- English, M. and Raja. S.N., 1996. "Perspectives on deficit irrigation. Agric". Water Manage. 32: 1–14.
- English, M., 1990. "Deficit irrigation". I: Analytical framework. J. Irrig. Drain. Eng., ASCE. 116(3): 399-412.
- Eriksen , G.N., coale, f.g., and Bollero, G.A., 1999 . "Soil nitrogen dynamics and maize production in municipal solid waste amended soil". Agronomy. 91: 1009 – 1016.
- Farahmand, A.R., Fardad, H., Liaghat, A., and Khashi, A. 2006. "The effect of water and nitrogen amounts on quantity and quality of tomato under deficit irrigation". Iranian J. Agri. Sci. 37:273-279.
- Feddes, R.A., kowalik, p.J., and zaradny. H., 1978 . "Simulation of field water use and crop yield, wageningen". simulation Monographs, 189 p.
- Fei, X.G. 2004. "Solving the coastal eutrophication problem by large scale seaweed cultivation". Hydrologia, 512 (1-3): 145-151.

- Fetter, C.W., 1999. "Contaminant Hydrogeology". Prentice Hall Inc. NJ.
- Fewtrell, L. 2004. "Drinking-water nitrate, methemoglobinemia, and global burden of disease". A discussion. *Environmental Health Perspective*, 112 (14): 1371-1374.
- Garg, K.K., Das, B.S., Safeeq, M., Bhadoria, P.B.S., 2009. "Measurement and modeling of soil water regime in a lowland paddy field showing preferential transport". *J of Agricultural Water Management*, 96: 1705-1714.
- Goolsby, D. A. 2000. "Mississippi basin nitrogen flux believed to cause Gulf hypoxia: EOS". *Trans. Am. Geophys. Union* 81: 321-327.
- Goulding, K. 2000. "Nitrate leaching from arable and horticultural land soil". *Use manage*. 16:145-151.
- Goudriaan, J., 1977. "Crop micrometeorology". a simulation study. simulation Monographs, Pudoc, Wageningen. 299 p.
- Granberry, D.M., Harrison, K.A., and Kelley, W.T., 2000. "Drip irrigation".
- Guimer, J. 1988. "Anomalously high nitrate concentrations in ground water". *Ground water*. 36(2):275-282.
- Hamilton, P. A., and Helsel, D. A. 1995. "Effects of agriculture on ground-water quality in five regions of the United State". *Ground Water* 33, 217-226.
<http://www.epa.gov/safewater/mcl.htm>.
- Hanggeler, J. 1981. "Overview of drip/micro irrigation products. Proceeding of the South". Texas Irrigation conference. January 15. Hondo Texas.
- Hayens, R.J. 1985. Principles of fertilizer use for trickle irrigated crops. *Fertilizer Research*, v(6), n(2), p.235-255.
- Hebbar, S.S., Ramachandrapa, B.K., Nanjappa, H.V., & Prabhakar. M., 2004. "Studies on NPK drip fertigation in field grown tomato. *Europ*". *J. Agronomy*. 21: 117-127.
- Heller, R. Esnault, R. Lance, C. 1991. "Physiology of vegetable. I-nutrition. Edition Masson".

- Jalali , M . and . Rowell , D . L . 2003 , "The role of calcite and gypsum in the leaching of potassium in a sandy soil" . *Exp. Agric.* 39: 379 – 394.
- Jiusheng, L.I. ,Jianjun, Z. and Ren , L.I. 2003 . "water and nitrogen distribution as affected by fertigation of ammonium nitrate from a point source". *J . Irrig . Sci* . 22 : 19-30.
- Kenney, D.R. 1989. "The origin of ground water nitrate". Boston p.320.
- Kimber, D.S., and Mc Gregor, D.L. 1995. "Brassica oil seeds: production and utilization(eds.)". CAB International. 394 p.
- Knobeloch, L. *et al.* 2000. "Blue babies and nitrate contaminated well water". *Environmental Health Perspective*, 108 (7): 675-678.
- Kraft, G.J., and Stites, W. 2003. "Nitrate impacts on ground water from irrigated-vegetable systems in a humid north-central US sand plain". *Agricultural Ecosystems and Environ.* 100, 63-74.
- Krapac, I. G *et al.*, 2002. "Impacts of swine manure pits on groundwater quality". *Environ Pollute*, 120(2): 475- 92.
- Lafolie, F., Bruckler, L. De Cockborne A.M., and Laboucarie C. 1997. "Modeling the Water transport and nitrogen dynamics in irrigated salad crops". *Irrig Sci.* 17:95-104.
- Lamm, F.R., Scheyer, A.J., and Clark. G.A. 2000. "Optimum nitrogen fertigation for corn using subsurface drip irrigation". Available on the www. [url:http://Oznet.Ksu.Edu/sdi/SDI %20 N Optimization. Htm](http://Oznet.Ksu.Edu/sdi/SDI%20N%20Optimization.Htm).
- Lamm, F.R ., Stone, L.R., Manges, H.L., and Brien, D.M., 1997. "Optimum lateral spacing for subsurface drip-irrigated corn". *Trans . of ASAE.*40(4) :1021-1027.
- Lawlor, D.W., Lemaire, G., and Gastal, F. 2001. "Nitrogen, plant growth and crop yield". Lea, P J., and Morot-Gaudry, J.F. (Eds). *In: Plant nutrition*. Berlin. Springer. P. 343-367.
- Lerner, D.N. and Papatolios, K.T., 1993. "A simple analytical approach for predicting nitrates concentration in pumped groundwater". *Groundwater.* 31(3):370-376.

- Liga, M., and Slack, D., 2004. "A design model for subsurface drip irrigation in Arizona". Dep .Agri. Biosys.Arizona.
- Li, J., Zhang, J., and Rao.M., 2004. "Wetting patterns and nitrogen distributions as affected by fertigation strategies from a surface point source". Agricultural water Management. 67:89-104.
- Lubana, S.p.p., and Narda, N.K., 1998 . "Soil water dynamic model for trickle irrigated tomatoes". J . Agricultural water Management . 37 : 145-161.
- Lucassen, E., *et al.* 2004. "High groundwater nitrate concentrations inhibit eutrophication of sulphate-rich freshwater wetlands". Biogeochemistry, 67 (2): 249-267.
- Lui, Z.j., Hallberg, G.R., Zimmerman, D.L., and Libra, R.D., 1997. "Detecting changes in the spatial distribution of nitrate concentration in groundwater". Journal of the American Water Resources Association. 33(6):1209-1218.
- Lundberg, J.O., *et al.* 2004. "Opinion – Nitrate, bacteria and human health". Nature Reviews Microbiology, 2 (7): 593-602.
- Malakouti, M.g., and Homae, M., 2004 . "Soil fertility of arid and semi – arid Regions Difficulties and solutions" . 2nd Ed . Tarbiat Modaress university pub.
- Malakouti, M.J., and Nafici, M., 1988. "Fertilization of dryland and irrigated soils". Tarbiat Modarres Univ. 267P. (In Persian).
- Malik, R.S., Kumar, K., and Bhandari, A.R., 1994. "Effect of urea application through drip irrigation system on nitrate distribution in Liamy sand soils and pea yield". J. Indian Soc. Soil sci. 42(1), 6-10.
- Mannion, A.M., 1988. "Future trends in agriculture: The role of biotechnology". Outlook on Agriculture. 27:213-218.
- Marshner, H., 1995. "Mineral nutrition of higher plants". Academic Press, London, England. 889 P.

- Mead R., 2000. "Fertigation efficiency". Available on the [www.url:http://www.Microirrigation forum.com/ new/ archives/ fertiff.Htm/](http://www.Microirrigationforum.com/new/archives/fertiff.Htm/).
- Metin, S.S., Yazar, A., and Eker, S., 2006. "Effect of drip irrigation regimes on yield and quality of field grown bell pepper". J . Agricultural water Management . 81 : 115-131.
- McIntyre, N. *et al.* 2005. "Risk-based modeling of surface water quality: a case study of the Charles River, Massachusetts". Journal of Hydrology, 274 (1-4): 225- 247.
- McIntyre, N.R., and H.S. Wheater. 2004. "A tool for risk based management of surface water quality. Environmental Modeling and Software", 19 (12): 1131- 1140
- Mosier , A.R., syers, j.k., and freney, j.R., 2004. "Agricuture and the Nitrogen cycle". scopes series 65 . gsland press
- Nehls, T., Arriaga, F., Kelling, K.A., and Lowery, B. 2001. "Nitrate loading under different N rates and surfactants and potato yield". In: Proceeding of the Wis. Ann. Potato Mtgs., Vol. 14, "University of Wisconsin-Extension, Madison, WI". pp. 79-85.
- Novoa, R. and R.S., Loomis, 1981. "Nitrogen and plant production. Plant Soil". 58: 177-204.
- Obeidat, M.M., Massadeh, A.M., Al-Ajlouni A.M., and Athamneh F.S., 2007. "Analysis and evaluation of nitrate levels in groundwater at Al-Hashimiya area, Jordan". Environ Monit. Assess. 135(1-3):475-486.
- Oneil, W. B., and Raucher, R.S., 1990. "The costs of groundwater contamination". J. Soil Water Conserv. 45, 180-183.
- Oron, C.J., Y. demalach, L., Gillerman, I. David and V.P. Raco, (1999). "Improved saline water under subsurface drip irrigation". Agricultural Water Management, 39(1): 19-33.
- Paterson, B. 2002. "Food production, poverty alleviation and environmental challenges as influence by limited water resources and population growth". Proceeding of 18th Congress on Irrigation and Drainage, General Reports, Vol. C1, 1-23.

- Peter .J.T., lan. K.D., lan, M.B., Craig, P.B., Mike, A.S., and Brian, A.K., 2003. "The faster of nitrogen applied to sugarcane by trickle irrigation". J. Irrig . Sci . 22 . 201-209.
- Rajput, T.B.S., Patel, N., 2006. "Water and nitrate movement in drip irrigated onion under fertigation and irrigation treatments". Agricultural Water Management 79, 293–311.
- Revol, P., Clothier, B.E., Mailhol, J.C., Vachaud, G., and Vauclin, M. 1997. "Infiltration from a source point source and drip irrigation 2 . an approximate time – dependent solution for wet – front position". J. water Resour . Res. 33(8):1869-1874.
- Ritchie, J.T., 1972. "Model for predicting evaporation from a row crop with incomplete cover". J. water Resour. Res.8 :1204-1213.
- Rode, M., Thiel, E., Franko, U., Wenk , G., Hesser, F., 2009. "Impact of selected agricultural management options on the reduction of nitrogen loads in three representative meso scale catchments in central Germany". Science of the Total Environment 407(11), 3459–3472.
- Rouphael, Y., Mariateresa. C., Elvira, R., Alberto, B., and Giuseppe, C., 2006. "Comparison of the subirrigation and drip – irrigation systems for greenhouse zucchini squash production using saline and non – saline nutrient solutions". J. Agricultural water Management. 82 :99-117.
- Ruhi, B., Karaguzel, O., Aydinakir, K., and Buyuktas, D., 2006. "The effects of drip irrigation on flowering and flower quality of glasshouse gladiolus plant". J. Agricultural water Management. 81 :132-144.
- Schmitz, G.H. Schutze, N. and Petersohn, U., 2002. " New strategy for optimizing water application under trickle irrigation". J. Irrig. Drain. Eng., 128(5) . 287-297.
- Schroder, J., Neeteson, O., Oenema and Struik, P.C., 2000. "Does the crop or the soil indicate how to save nitrogen in maize production". Reviewing the state of the art. Field Crops Res. 66, 151–164.

- Sepaskhah, A.R., and Akbari, D., 2005. "Deficit irrigation planning under variable seasonal rainfall". *Biosys. Eng.* 92(1): 97-106.
- Shimura, R., *et al.*, 2002. "Aquatic animal research in Fewtrell, L". 2004. "Drinking-water nitrate, space station and its issues – Focus on support technology on nitrate toxicity". *Space line Sciences: Biological Research and Space Radiation Advance in Space Reaserch*, 30 (4): 803-808.
- Simmunek, J., K. Huang, M. Senjna and M. Th. Van Genuchten, 1998. "The Hydrus-1D software pakage for simulating the one-dimensional movement of water, heat and multiple soulute in variability- saturated media". Version 1.01 GWMC – TPS-70. International Ground Water Modeling Center, Colorado School of Mines, Golden, Colorado, pp. 162.
- Simunek, J.M., Sejna and M. Th. van Genuchten. 1999. "The HYDRUS-2D software package for simulatring the two- dimensional movement of water. heat and multiple solutes in variably saturated media". Version 2.0.IGWMC-TPS-70. Int .Ground water Modeling Center , Colorado school of Mines . Golden . Co.
- Singh, D.K., Rajpur. T.B.S., 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.
- Skaggs, T.H., Trout, T.J., Simunek, J., and Sh ouse, P.J., 2004. " Comparison of HYDRUS- 2D simulations of drip irrigation with experimental observations." *J. Irri. Drain. Eng.* 130(4) . 304-310.
- Tafteh. A., and Sepaskhah, A.R., 2012. "Application of HYDRUS-1D model for simulating water and nitrate leaching from continuous and alternate furrow irrigated rapeseed and maize fields". *Journal of Agricultural Water Management*.113:19-29.
- Tesch, C., Carlson, R. and Fox, J. 2003. "Ground water nitrate monitoring in Cassia County, Idaho". State Dept. of Agric., Div. of Agric. Resources, 7 p.
- Thamburaj, S. and Singh, N. 2000. "Vegetables, Tubercrops and Spices. Published by Indian Council of Agricultural Research". New dehli.

- Thorburn. P.J., Cook, F.J., Bristow, K.L., 2003. "Soil-dependent wetting from trickle emitters: implication for system design and management". *Irrig Sci.* 22: 121-127.
- Thorburn, P.J., Cook, F.J., Bristow, K.L., 2000. " Variations in wetting patterns from trickle emitters in soils of different texture". In : 6th International Micro-Irrigation Conference (Micro 2000) . 22 – 27 October 2000, Cape Town . South Africa
- Ulger, A.C.H., Ibrikci, B., Lakir and Guzel. N., 1997. "Influence of nitrogen rates and row spacing on corn yield, protein content and other plant parameters". *J. Plant Nutr.* 20: 1697-1709.
- US-EPA. 1996. "Drinking water regulations and health advisories:Washington, D.C.,U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water". 822-B-96-002, 11 p.
- U. S. E. P. A. 1995. "Drinking Water Standards". U. S. EPA. New York.
- van Genuchten, M.Th., 1980. "A close-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils". *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44: 892–898.
- Ventrella, D., Mohanty, B.P., Simunek, J., Losavio, N., and van Genuchten, M. Th., 2000. "Water and chloride transport in a fine-textured soil: Field experiments and modeling". *Soil Sci.*, 165(8): 624-631.
- Wiesler, f., 1998. comparative. "Assessment of the effiCacy of various Nitrogen fertilizer". In: Rengel. z. (Ed) *Nutrient use in crop production . food product press . N .Y .*
- Yazar, A., S.M. Sezen and B. Gencel, 2002. "Drip irrigation of corn in the Southeast Anatolia Project (GAP) area in Turkey". *Irrigation and Drainage* 51:293-300.
- Zand-Parsa, Sh. and A.R. Sepaskhah. 2001. "Optimal applied water and nitrogen for corn". *Agricultur Water Management.* 52: 73-85.

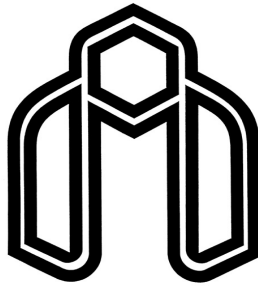
Abstract:

According to the annual growth rate of world population that is more than 8.1 percent and limited resources to increase agricultural production, development of the optimization model for water and fertilizer use in agriculture is one the effective indexes to achieve strategic and sustainable use of water and soil resources. To do this important, knowledge of moisture distribution and plant nutrient in soil during crop growth period is necessary. Since doing the field experiment to determine the optimum amount of water and nutrient requirement is time-consuming, costly and low accuracy, so using computer models and numerical solution of current equations is more common and more accurate. But before using these models, the accuracy of results of such models should be evaluated in comparison with the results of field tests. HYDRUS-2D model used in this study is a comprehensive model to simulate the water movement, solute and heat transport in the soil. To do this study, a fertigation system along with transplanting of green pepper was implemented in year of 1389 in the field of faculty of agriculture, Shahrood University of Technology, located in Bastam city. The experimental field consists of two parts: Drip irrigation and surface irrigation. Water requirement of green pepper was estimated by pan evaporation data for 5 years, and it was provided to the plant. Also the amount of required fertilizer was identified based on valid resources and was provided to the plant by fertigation system.

The results showed the overall procedure of moisture distribution by the model is consistent with the rate of moisture changes gained in the field and the rate of nitrogen concentration changes estimated by the model is consistent with the value measured in the field.

Other results showed that how the distribution of nitrogen implemented in the soil at various depths at different stages of plant growth is consistent with the rate of crop root development. Also other model simulations showed that drainage water below than crop root zone during the crop growing period was 0.01 % percent of distributed water and leaching of nitrogen was only 0.69% percent.

Key words: Fertigation, Green Pepper, Modeling, Hydrus-2D, Nitrogen, Leaching



Shahrood University of Technology

Faculty of Agriculture

Department of Water and Soil

Msc Thesis

**Study of Soil Pollution to Nitrogen Using Modeling Method in Green Pepper
Transplanting**

Fateme Saghari

Supervisors:

Dr. Hadi Ghorbani

Dr. Khalil Azhdary

Advisors:

Ali Asghar Naderi

Dr. samad Emamgholizadeh

September 2012