



دانشگاه صنعتی مازندران

دانشکده: کشاورزی

گروه: آب و خاک

عنوان پایان نامه:

## شبیه سازی حرکت پتاسیم در خاک با کشت فلفل سبز

دانشجو:

رضوانه خوری صالح آبادو

اساتید راهنما:

دکتر هادی قربانی

دکتر خلیل اژدری

اساتید مشاور:

مهندس علی اصغر نادری

دکتر صمد امامقلی زاده

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

بهار ۱۳۹۲

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## لیست مقالات استخراج شده

۱. ارسال و تایید مقاله کنفرانسی با عنوان: توزیع زمانی و مکانی پتاسیم در سیستم کود آبیاری با کشت فلفل سبز (دوره ۵ ماهه)، همایش ملی خاک، کشاورزی پایدار، دانشگاه ملایر-۱۷ اسفند ۱۳۹۱.
۲. مطالعه حرکت پتاسیم در سیستم کود آبیاری با مدل سازی آبشویی آن در دو نوع خاک مزرعه فلفل سبز، ارسال به مجله مهندسی آب دانشگاه گرگان

## فهرست مطالب

### فصل اول: مقدمه

- مقدمه ..... ۲
- ۱-۱ تعریف سیستم کودآبیاری ..... ۳
- ۲-۱ ضرورت استفاده از کودآبیاری ..... ۳
- ۳-۱ اجزا و طرز کار سیستم کودآبیاری ..... ۳
- ۴-۱ عواملی که بایستی در انتخاب سیستم آبیاری قطره ای مورد توجه قرار گیرد ..... ۵
- ۵-۱ مزیتها و محدودیتهای آبیاری قطره ای ..... ۶
- ۶-۱ مزیتهای بالقوه آبیاری قطره ای ..... ۶
- ۷-۱ محدودیتهای بالقوه در آبیاری قطره ای ..... ۷
- ۸-۱ اهمیت استفاده از نرم افزار ..... ۷
- ۹-۱ مدل HYDRUS- 2D ..... ۸
- ۱۰-۱ فلفل سبز ..... ۹
- ۱۱-۱ بیان مسئله ..... ۹

### فصل دوم: مرور منابع

- ۱-۲ مقدار و اهمیت پتاسیم در خاک ..... ۱۲
- ۲-۲ عوامل موثر بر تثبیت پتاسیم در خاک ..... ۱۴
- ۳-۲ تغییرات پتاسیم خاک ..... ۱۵
- ۴-۲ آبشویی پتاسیم در خاک ..... ۱۶
- ۵-۲ دامنه مصرف کود در ایران و جهان و آلودگی های ناشی از مصرف کود ..... ۱۸
- ۶-۲ اهمیت استفاده از سیستم کود آبیاری ..... ۲۲
- ۷-۲ کاربرد نرم افزار در سیستم های آبیاری ..... ۲۴
- ۸-۲ فلفل سبز ..... ۲۸

## فصل سوم: روش تحقیق

مشخصات کلی پروژه .....	۳۱
روش انجام تحقیق .....	۳۱
۱-۳ الف: موقعیت جغرافیایی محل اجرا طرح .....	۳۲
۲-۳ ب: اقلیم منطقه .....	۳۲
۳-۳ ج: نقشه سایت .....	۳۳
مشخصات طرح .....	۳۴
۴-۳ د: مشخصات سیستم کود آبیاری .....	۳۴
۵-۳ اجرا برنامه کود آبیاری .....	۳۶
انتخاب گیاه .....	۴۶
برنامه آبیاری .....	۴۶
برنامه توزیع کود های مغذی .....	۴۷
نمونه برداری و تجزیه نمونه ها .....	۴۹
شبیه سازی پتاسیم آبشویی شده .....	۵۱

## فصل چهارم: یافته های تحقیق

مقدمه .....	۵۳
۱-۴ عملکرد محصول، بازده مصرف آب و پتاسیم .....	۵۳
۱-۱-۴ عملکرد محصول .....	۵۳
۲-۱-۴ پتاسیم جذب شده .....	۵۴
۳-۱-۴ بازده مصرف پتاسیم .....	۵۴
۲-۴ مدلسازی حرکت آب و املاح در محیط متخلخل .....	۵۶
۱-۲-۴ انتخاب مدل .....	۵۷
۲-۲-۴ مدل HYDRUS-2D .....	۵۷

- ۳-۲-۴ معادله جریان آب ..... ۵۷
- ۴-۲-۴ معادله انتقال املاح ..... ۵۹
- ۵-۲-۴ شکل مدل مفهومی ..... ۵۹
- ۶-۲-۴ شاخص های آماری ..... ۶۱
- ۳-۴ واسنجی مدل ..... ۶۲
- ۴-۴ صحت سنجی مدل ..... ۶۹
- ۵-۴ توزیع افقی و عمودی پتاسیم در ۵ ماه دوره کشت ..... ۷۰
- ۶-۴ شبیه سازی توزیع عمقی پتاسیم در دوره رویشی گیاه ..... ۷۲
- ۷-۴ محاسبه میانگین مربعات خطای مدل ..... ۸۳
- ۵-۴ شبیه سازی آبشویی پتاسیم ..... ۸۶
- ۴-۵-۱ شبیه سازی پتاسیم آبشویی شده و آب زهکش شده ..... ۸۶
- ۴-۵-۲ شبیه سازی پتاسیم آبشویی شده ..... ۸۷

### فصل پنجم: نتیجه گیری

- نتیجه گیری ..... ۹۴
- پیشنهادات ..... ۹۷
- منابع ..... ۹۸

## فهرست جداول

- جدول ۱-۱ تخمین کلی نیاز های سیستم کودآبیاری برای زراعتهای مختلف ..... ۵
- جدول (۱-۲) تلفات سالانه عناصر غذایی گیاه از خاک توسط آبشویی، کیلوگرم بر هکتار ..... ۱۶
- جدول (۲-۲) آزاد شدن و جذب پتاسیم از کانی های مختلف ..... ۱۸
- جدول (۱-۳) مقادیر تشتک تبخیر ماه فروردین در ۵ سال و متوسط آن (میلی متر) ..... ۳۷
- جدول (۲-۳) مقادیر تشتک تبخیر ماه اردیبهشت در ۵ سال و متوسط آن (میلی متر) ..... ۳۸
- جدول (۳-۳) مقادیر تشتک تبخیر در ماه خرداد در ۵ سال و متوسط آن (میلی متر) ..... ۳۹
- جدول (۴-۳) مقادیر تشتک تبخیر ماه تیر در ۵ سال و متوسط آن (میلی متر) ..... ۴۰
- جدول (۵-۳) مقادیر تشتک تبخیر ماه مرداد در ۵ سال و متوسط آن (میلی متر) ..... ۴۱
- جدول (۶-۳) مقادیر تبخیر ماه شهریور در ۵ سال و متوسط آن (میلی متر) ..... ۴۲
- جدول (۷-۳) مقادیر محاسبه شده Etc ..... ۴۳
- جدول (۸-۳) الف) آب مورد نیاز فلفل براساس سطح زیر کشت سیستم کود آبیاری ..... ۴۴
- جدول (۸-۳) الف) آب مورد نیاز فلفل براساس سطح زیر کشت آبیاری کرتی ..... ۴۵
- جدول (۹-۳) مقدار آب توزیع شده در هر هفته در سیستم آبیاری قطره ای و سطحی ..... ۴۷
- جدول (۱۰-۳) برنامه کود مصرفی سیستم کود آبیاری و آبیاری سطحی ..... ۴۹
- جدول (۱۱-۳) خصوصیات فیزیکی خاک محل تحقیق ..... ۵۰
- جدول (۱۲-۳) خصوصیات شیمیایی خاک محل تحقیق ..... ۵۱
- جدول ۱-۴ عملکرد بازده مصرف آب و بازده مصرف پتاسیم ..... ۵۵
- جدول ۲-۴ مقادیر توزیع و جذب شده پتاسیم در دوره پنج ماهه ..... ۵۶
- جدول ۳-۴ مقایسه مقدار پتاسیم اندازه گیری شده با مقدار شبیه سازی شده در کل دوره رشد گیاه در محل قطره چکان ..... ۶۹
- جدول ۴-۴ مقایسه رطوبت اندازه گیری شده (درصد حجمی) با مقدار شبیه سازی شده در کل دوره رشد گیاه در محل قطره چکان ..... ۷۰

- جدول ۴-۵ مقادیر پتاسیم (کیلو گرم بر هکتار) در محل قطره چکان در یک سیکل ۴۸ ساعته در ماه  
چهارم و پنجم رشد ..... ۷۲
- جدول ۴-۶ الف مقادیر R, NRMSE, D,E در ۱۵ روز اول کشت ..... ۸۴
- جدول ۴-۶ ب مقادیر R, NRMSE, D,E در ۱۵ روز دوم کشت ..... ۸۴
- جدول ۴-۶ پ مقادیر R, NRMSE, D,E در ۱۵ روز سوم کشت ..... ۸۴
- جدول ۴-۶ ت مقادیر R, NRMSE, D,E در ۱۵ روز چهارم کشت ..... ۸۵
- جدول ۴-۶ ث مقادیر R, NRMSE, D,E در ۱۵ روز پنجم کشت ..... ۸۵
- جدول ۴-۶ ج مقادیر R, NRMSE, D,E در ۱۵ روز ششم کشت ..... ۸۵



## فهرست تصاویر

- شکل ۱-۱ اجزای یک سیستم کودآبیاری ..... ۴
- شکل (۱-۳): نقشه محل اجرا پروژه ..... ۳۵
- شکل (۲-۳): یکی از کرت‌های سیستم کودآبیاری با لترالها و قطره چکانهای مربوطه ..... ۳۶
- شکل ۱-۴ الف: شرایط اولیه در مدل برای مقدار پتاسیم موجود در خاک؛ ب: مدل مفهومی ..... ۶۰
- شکل ۲-۴ تراکم ریشه در محیط مدل ..... ۶۱
- شکل ۳-۴ مقایسه تغییرات پتاسیم اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده نسبت به عمق خاک در محل قطره‌چکان در ماه اول فصل رشد گیاه ..... ۶۴
- شکل ۴-۴ ضریب همبستگی پتاسیم اندازه‌گیری شده با مقدار شبیه‌سازی شده در ماه اول فصل رشد در اعماق ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ سانتی متری سطح خاک ..... ۶۵
- شکل ۴-۵ مقایسه تغییرات رطوبت اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده نسبت به عمق خاک در محل قطره‌چکان در ماه اول فصل رشد گیاه ..... ۶۶
- شکل ۴-۶ ضریب همبستگی پتاسیم اندازه‌گیری شده با مقدار شبیه‌سازی شده در ماه اول فصل رشد در اعماق ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ سانتی متری سطح خاک ..... ۶۸
- شکل ۴-۷ تغییرات پتاسیم در سیستم کودآبیاری در سه ماهه اول رشد گیاه ..... ۷۱
- شکل ۴-۸ شبیه‌سازی توزیع پتاسیم در ۱۵ روز اول کشت ..... ۷۵
- شکل ۴-۹ شبیه‌سازی توزیع پتاسیم در ۱۵ روز دوم کشت ..... ۷۶
- شکل ۴-۱۰ شبیه‌سازی توزیع پتاسیم در ۱۵ روز سوم کشت ..... ۷۷
- شکل ۴-۱۱ شبیه‌سازی توزیع پتاسیم در ۱۵ روز چهارم کشت ..... ۷۸
- شکل ۴-۱۲ شبیه‌سازی توزیع پتاسیم در ۱۵ روز پنجم کشت ..... ۷۹
- شکل ۴-۱۳ شبیه‌سازی توزیع پتاسیم در ۱۵ روز ششم کشت ..... ۸۰
- شکل ۴-۱۴ شبیه‌سازی توزیع پتاسیم در طول دوره رویش گیاه ..... ۸۲
- شکل ۴-۱۴ شبیه‌سازی میزان پتاسیم آبشویی شده و آب زهکش شده از زیر ناحیه ریشه گیاه در کل دوره رویشی ..... ۸۷

- شکل ۴-۱۵ شبیه سازی پتاسیم آبشویی شده در خاک لوم شنی ..... ۸۹
- شکل ۴-۱۶ شبیه سازی پتاسیم آبشویی شده در خاک لوم رسی شنی ..... ۸۹
- شکل ۴-۱۷ ضرایب آماری پتاسیم شبیه سازی شده ..... ۹۰
- شکل ۴-۱۸ مقایسه شبیه سازی و اندازه گیری میزان آب زهکشی شده در طول دوره رویش گیاه.. ۹۱
- شکل ۴-۲۰ شبیه سازی حجم آب زهکش شده در آبیاری کرتی در خاک های لوم رسی شنی و لوم  
شنی ..... ۹۲

## چکیده

کشاورزی مدرن و پایدار مدیریت مناسب آب و کود را در مزارع کشاورزی می طلبد. امروزه سیستم کودآبیاری موفق ترین روش توزیع مواد غذایی و آب برای گیاهان تشخیص داده شده است. برای ارزیابی مولفه های این سیستم تحقیقی در مرکز آموزش کشاورزی بسطام با مطالعه حرکت و آبشویی پتاسیم و برآورد حجم آب زهکشی شده در این سیستم بروش مدلسازی انجام گرفت. گیاه انتخابی در این تحقیق فلفل سبز و مدل ارزیابی کننده HYDRUS-2D بود. خاک مزرعه تحقیق لوم شنی بود یک سیستم کامل کود آبیاری در مزرعه با لتراهای یک سانتیمتری و قطره چکانهای ۴ لیتر در ساعت پیاده گردید. نتیجه حاصل از پژوهش نشان داد که متوسط عملکرد سیستم کود آبیاری ۴۷ تن در هکتار بوده که نسبت به روش آبیاری کرتی ۵۱ درصد عملکرد بیشتری داشته است. نتایج حاصل از شبیه سازی حرکت پتاسیم در لایه های عمقی خاک نشان داد که با طراحی درست سیستم کود آبیاری بیشترین مقدار پتاسیم توزیع شده در سیستم در طول دوره رویش گیاه متناسب با عمق توسعه ریشه گیاه در لایه های میانی تمرکز یافته و از دسترس گیاه خارج نمی شود. آبشویی پتاسیم با دوروش توزیع هفتگی ۱۰ دقیقه قبل و بعد از کود آبیاری برآورد شد نتایج حاصل از برآورد آبشویی پتاسیم نشان داد که روش توزیع هفتگی ۱۰ دقیقه قبل از کود آبیاری ۳/۵ درصد نسبت به ۱۰ دقیقه بعد از آبیاری آبشویی پتاسیم را کمتر نشان می دهد، نتیجه دیگر حاکی از آن بود که در سیستم کود آبیاری ۳۲ درصد آبشویی پتاسیم کمتر از آبیاری کرتی روی میدهد. همچنین نتیجه مربوط به برآورد حجم آب زهکشی نشان داد که متوسط حجم آب زهکشی در سیستم آبیاری کرتی در خاک لوم شنی معادل ۵۵ درصد آب توزیع شده از زیر ناحیه ریشه بوده است که با توجه به متوسط ۲ درصدی آب زهکشی در سیستم کود آبیاری میزان آب از دست رفته در آبیاری کرتی بسیار بالا می باشد.

**کلمات کلیدی:** کود آبیاری، توزیع پتاسیم، شبیه سازی، آبشویی، فلفل سبز

# فصل اول

## مقدمه

## مقدمه

بدون شک تولید غذای کافی و مطلوب از اهداف توسعه ملی و امنیت غذایی هر کشور محسوب می‌شود و این امر میسر نخواهد شد مگر با اتخاذ تدابیری مانند:

- افزایش سطح زیر کشت و استفاده از تواناییهای منابع آب موجود با ایجاد شبکه‌های جدید آبیاری
- افزایش تولید به ازای هر واحد آب مصرفی از طریق کاربرد شیوه‌های جدید آبیاری
- بالابردن مقدار تولید در هر واحد از سطح زمینهای کشت

افزایش سطح زیر کشت به دلیل بالا بودن هزینه و بالا بردن مقدار تولید در واحد سطح برای کشورهای کم آب جهان امری مفید و پایدار در توسعه کشاورزی نمی‌باشد. بنابراین، بدون اینکه بخواهیم اهمیت نسبی توسعه سطح زیر کشت و بالا بردن مقدار تولید در واحد سطح را نادیده بگیریم در کشورهای کم آب، مانند کشور ما، باید به مقدار تولید به ازای هر متر مکعب آب مصرفی بیشتر بها داده شده و این طرز فکر که «زارع بهتر از هر کس دیگر می‌داند چگونه مزرعه خود را آبیاری کند» متحول شود.

نگاهی به تاریخ آب و آبیاری در جهان نشان می‌دهد که در سالهای اخیر روشهای متعددی در زمینه آبیاری ابداع شده است. کمبود آب، وضعیت نامناسب آب و هوا، پستی و بلندی زمین، کیفیت نامطلوب آب و عدم دسترسی به نیروی کارگر از جمله عواملی هستند که در پیدایش این روشها موثر بوده‌اند. از روشهای جدید آبیاری که به سرعت در کشورهای مختلف رو به گسترش است، روش آبیاری قطره‌ای (trickle) است (علیزاده، ۱۳۷۶).

در این روش آبیاری، آب با فشار کم (حدود یک اتمسفر) پس از گذشتن از دستگاه کنترل مرکزی (در صورت نیاز توام با کود محلول) بوسیله لوله‌هایی که در کل سطح زمین پخش شده، پس از عبور از قطره چکانهایی که در محل‌های مناسب در مجاورت گیاه قرار داده شده‌اند، به صورت قطره قطره و به‌طور ممتد به اندازه نیاز گیاه به خاک داده می‌شود (صحاف امین و فرشی، ۱۳۷۸).

## ۱-۱ تعریف سیستم کودآبیاری

به کار بردن مواد شیمیایی کشاورزی همراه آب آبیاری در سیستم‌های آبیاری قطره‌ای و بارانی یکی از اهداف این سیستم‌ها می‌باشد. اصطلاح عمومی برای این عمل (تزریق مواد شیمیایی به آب آبیاری یا Chemigation) می‌باشد. مواد شیمیایی شامل انواع کودهای محلول، غلفکش‌ها، حشره کش‌ها و غیره می‌تواند به داخل سیستم آبیاری تزریق شود، این اصطلاح در مورد انواع کودها (تزریق کود به آب آبیاری یا Fertigation) نامیده می‌شود که از اهداف ویژه انواع سیستم‌های آبیاری قطره‌ای و بارانی است. تزریق کود به آب آبیاری، شامل حل کردن کودهای محلول در آب و کاربرد آن از طریق سیستم‌های قطره‌ای و بارانی می‌باشد.

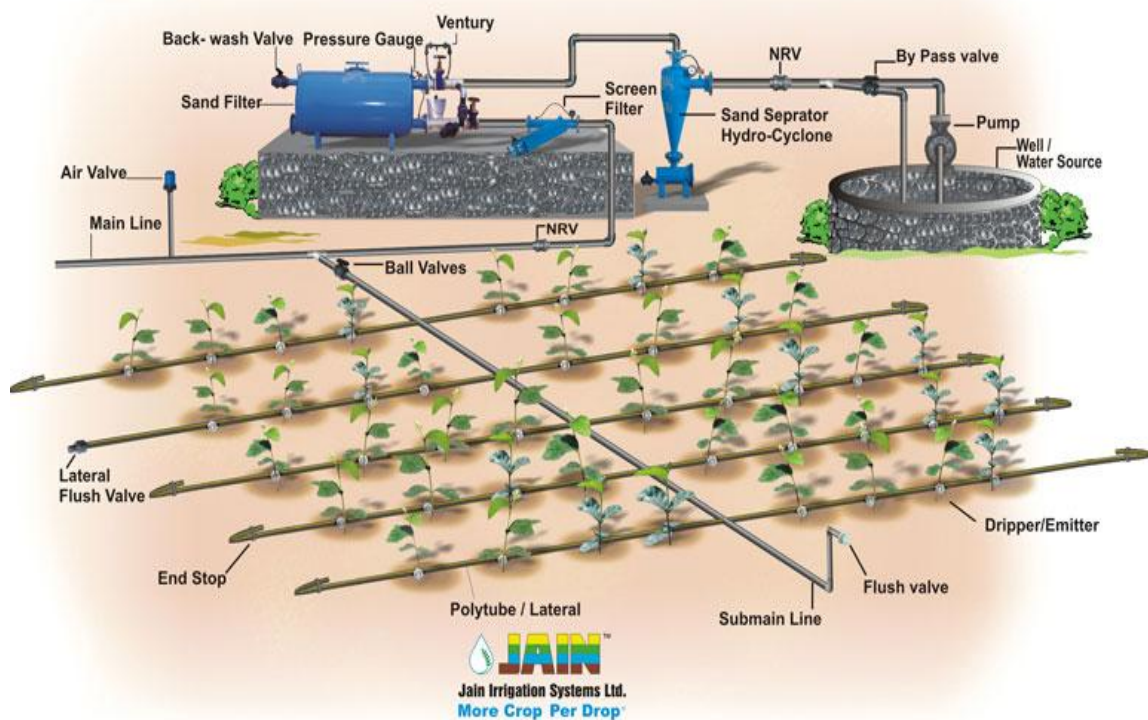
## ۱-۲ ضرورت استفاده از کودآبیاری

تزریق کود به آب آبیاری، به خصوص ازت در نواحی خشک به منظور بهبود حاصلخیزی در مزارعی که با سیستم آبیاری قطره‌ای یا زیر سطحی آبیاری می‌شوند، ضروری می‌باشد. این ضرورت به دلیل آن است که کود خشک پخش شده روی سطح خاک ممکن است همراه با آب آبیاری به سمت منطقه ریشه حرکت نکند. کودهای ازت و دیگر کودها را می‌توان در زمان کشت با خاک مخلوط کرد اما باید فقط در مناطقی که به‌طور کامل توسط بارندگی یا آبیاری مرطوب می‌شوند، وارد خاک گردند پخش کودها در سطح خاک در مزارع تحت آبیاری قطره‌ای در مناطق خشک به دلیل حجم کوچک و نامنظم خاک مرطوب شده از راندمان خوبی برخوردار نمی‌باشد. بافت خاک از جمله عواملی است که در راندمان کود دهی با آبیاری موثر می‌باشد این روش به‌طور معمول در خاک‌های درشت بافت، دارای امتیاز بیشتری نسبت به خاک‌های ریزبافت است.

## ۱-۳ اجزا و طرز کار سیستم کودآبیاری

اجزای یک سیستم کودآبیاری به صورت کلی در شکل ۱-۱ نشان داده شده است. به طوری که مشاهده می‌شود، سیستم شامل سه قسمت عمده است: خط اصلی، قسمت نیمه اصلی و لاترال‌ها.

خط اصلی مشتمل بر پمپ برای تامین فشار در سیستم، دستگاههای تزریق کودهای شیمیایی به داخل سیستم و صافی و یا فیلتر اولیه برای جدا کردن مواد معلق درشت از آب است. در دو طرف صافی دو عدد فشارسنج نصب می‌شود تا از روی افت فشار در صافی زمان شستشوی آن مشخص گردد. آخرین جزء خط اصلی شیر کنترل جریان و دبی سنج است.



شکل ۱-۱ اجزای یک سیستم کودآبیاری

در قسمت نیمه اصلی، یک فیلتر ثانوی برای جدا کردن مواد معلق ریز و شیرهای برقی (solenoid) از نظر کمک به خودکار کردن سیستم تعبیه شده است. در این قسمت از سیستم می‌بایست یک تنظیم کننده فشار (رگولاتور) نیز نصب شود تا فشار را فقط در دامنه ای که دبی را در حد نیاز ثابت نگه دارد، تغییر دهد. برای مشخص کردن فشار، وجود یک فشارسنج نیز الزامی است. در انتهای قسمت نیمه اصلی شیر تخلیه نصب است تا هر چند روز یکبار مواد جمع شده در لوله تخلیه شود. لاترال‌ها لوله‌هایی هستند که از قسمت نیمه اصلی منشعب شده و آب را توسط قطره‌چکان‌ها در سطح زمین پخش می‌کنند. قطره‌چکان‌ها انواع گوناگونی دارند که به طور کلی به دو دسته

قطره‌چکان‌های نقطه‌ای (point source) و قطره‌چکان‌های خطی (line source) تقسیم بندی می‌شوند. تعداد قطره‌چکان‌ها بستگی به شرایط گیاه دارد. در جدول ۱-۱ کلیاتی در مورد تعداد آنها برای زراعت‌های مختلف، ارائه داده شده است.

جدول ۱-۱ تخمین کلی نیازهای سیستم کودآبیاری برای زراعت‌های مختلف (علیزاده، ۱۳۸۴)

طول لاترال (m/ha)	تعداد قطره‌چکان در هکتار	تعداد گیاه در هکتار	فاصله ردیفها (m)	نوع گیاه
۱-۹۰۰	۵۰۰-۱۵۰۰	۲۵۰	۶	درختان میوه معمولی
۳/۰۴۰	۲۰۰۰	۱۰۰۰	۳/۷	درختان میوه پا کوتاه و انگور
۸/۸۴۰	۷۵۰۰	۱۵۰۰۰	۱/۵	گیاهان ردیفی بافاصله زیاد
۱۰/۶۴۰	۱۰۰۰۰	۲۵۰۰۰	۱	گیاهان ردیفی با فاصله کم و گیاهان گلخانه‌ای

#### ۴-۱ عواملی که بایستی در انتخاب سیستم آبیاری قطره‌ای مورد توجه قرار گیرد

عواملی که در انتخاب یک سیستم آبیاری قطره‌ای باید مورد توجه قرار گیرد شامل: خاک، آب و هوا، عوامل گیاهی و منابع آب می‌باشد.

از جمله عوامل خاکی موثر در انتخاب سیستم آبیاری قطره‌ای، بافت خاک و نفوذپذیری، شوری و قلیائیت خاک، وجود لایه محدود کننده در پروفیل خاک و شیب توپوگرافی می‌باشد. از عوامل آب و هوا می‌توان به میزان بارندگی و شدت تبخیر و سرعت باد اشاره نمود. آبیاری قطره‌ای برای کلیه محصولات باغی، جنگل کاریها و گیاهان زراعی و صیفی جات که به صورت ردیفی کشت می‌شوند، قابل توصیه است برای زراعت‌هایی که به صورت متراکم کشت می‌شوند، استفاده از این سیستم معمولاً توجیه اقتصادی ندارد (صحاف امین و فرشی، ۱۳۷۸).



منابع آب انتخابی برای شبکه‌های آبیاری قطره‌ای، بایستی ظرفیت کافی جهت تامین نیاز آب آبیاری را در طول عمر مفید شبکه مورد طراحی دارا باشد. همچنین شدت جریان و فشار آب منبع در حدی باشد که بتواند نیاز شبکه را در مواقع حداکثر برآورده کند. کیفیت آب نیز بایستی در حد مناسب جهت استفاده در شبکه آبیاری قطره‌ای باشد. بررسی انواع منابع آب آبیاری که در داخل و یا در مجاورت پروژه آبیاری قطره‌ای قرار دارند و انتخاب منبع یا منابع آب یکی از ضرورت‌های انجام پروژه آبیاری قطره‌ای می‌باشد (صحاف امین و فرشی، ۱۳۷۸).

از جمله منابع تامین کننده آب آبیاری می‌توان به منابع آبهای سطحی و زیر زمینی، فاضلاب‌های تصفیه شده و آبهای سطحی راگد شامل: استخر، حوضچه‌های طبیعی، مخازن سدها و دریاچه‌ها اشاره کرد (صحاف امین و فرشی، ۱۳۷۸).

#### ۱-۵ مزیتها و محدودیتهای آبیاری قطره ای

آبیاری قطره‌ای مانند هر روش دیگر دارای محاسن و محدودیتهایی است. این مزایا یا معایب عمدتاً از نظر فنی، اقتصادی و یا عوامل مربوط به رشد گیاه است. بنابراین در هنگام انتخاب روش آبیاری قطره‌ای و یا طراحی و اجرای این روش، لازم است این جنبه‌ها نیز مورد ارزیابی قرار گیرد و تنها در صورتی که محاسن سیستم بیشتر از معایب آن باشد به مرحله اجرا گذاشته شود. به طور کلی در حال حاضر آبیاری قطره‌ای بیشتر در موارد زیر کاربرد دارد:

الف- در وضعیتی که مقدار آب کم یا هزینه تامین آن زیاد است.

ب- در زمین‌های شنی و یا وضعیتهایی که نتوان زمین را برای سایر روش‌های آبیاری آماده کرد.

ج- در مورد گیاهانی که محصول آن را بتوان با قیمت زیاد بفروش رساند.

#### ۱-۶ مزیت‌های بالقوه آبیاری قطره‌ای

آبیاری قطره‌ای در مقایسه با روشهای بارانی یا کرتی و جوی و پشته‌ای، دارای محاسنی است که از آن جمله می‌توان به این موارد اشاره کرد:

- بهره‌گیری بیشتر از منابع آب
- رشد بهتر گیاه و افزایش محصول
- کاهش زیان وارده به گیاه در اثر شوری آب
- امکان به‌کارگیری کود و سم همراه با آب آبیاری
- جلوگیری از رویش علفهای هرز
- نیاز کمتر به نیروی انسانی
- صرفه‌جویی در انرژی
- بالا بودن بازده آبیاری

#### ۷-۱ محدودیتهای بالقوه در آبیاری قطره‌ای

علیرغم موفقیت‌هایی که در آبیاری قطره‌ای حاصل شده است، این روش مشکلاتی را نیز در بردارد که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- گرفتگی قطره‌چکان‌ها با املاح و مواد معلق موجود در آب
- زیانهای ناشی از جوندگان مانند موش و سایر حیوانات
- تجمع نمک در سطح خاک
- حرکت محدود آب در خاک و عدم امکان برای توسعه زیاد ریشه
- محدودیتهای فنی-اقتصادی

#### ۸-۱ اهمیت استفاده از نرم‌افزار

استفاده از تکنولوژی‌های معمول و رایج، که در تمامی دنیا کاربرد آنها برای همگان اثبات شده است، موضوعی است که هنوز در کشور ما، گریبان‌گیر عده بی‌شماری است. در کشورهای پیشرفته‌ی امروز، بازده محصولات کشاورزی از عوامل تولیدی، مثل زمین، بسیار بیشتر از کشورهای جهان سوم، از جمله ایران است. به همین دلیل توجه و استفاده از نرم‌افزارها به عنوان یک ابزار کارآمد که زمان و

هزینه‌ها را کاهش می‌دهد، در جهت دستیابی به بازده مطلوب و تأثیر آن در کل کشاورزی و بازده کل کشور حائز اهمیت می‌باشد. اگر در این راستا از نرم افزارهای پیشرفته که صحت عملکرد آن مورد تأیید اکثریت دانشمندان و محققین قرار گرفته، استفاده گردد، می‌توان در جهت رسیدن به کشاورزی نوین گام برداشت.

در ایران مطالعات با ارزشی در رابطه با حرکت آب و املاح در یک محیط متخلخل مانند خاک انجام شده و نتایج ارزنده‌ای به ارمغان آورده است. می‌توان به موارد زیر اشاره داشت:

(۱) نحوه‌ی حرکت آلاینده‌ها و آلودگی لایه‌های خاک

(۲) آلودگی آبهای زیرزمینی

(۳) روش‌های تغذیه صحیح گیاه در حالات و شرایط اقلیمی متفاوت و ارائه الگوهای مدیریتی متناسب با این شرایط.

نرم افزارهای شبیه‌ساز متفاوتی در رابطه با شبیه‌سازی حرکت آب و املاح وجود دارد که در این میان مدل HYDRUS- 2D یکی از مدل‌های پیشرفته در ارتباط با حرکت آب، املاح و گرمای در خاک می‌باشد که توسط سیمیونگ و همکاران در آزمایشگاه شوری خاک آمریکا بسط داده شده است (ملایی و همکاران، ۱۳۸۵).

### **۹-۱ مدل HYDRUS- 2D**

کندلوس و سیمیونگ دو آزمایش آبیاری قطره‌ای زیر سطحی تحت شرایط آزمایشگاه و مزرعه انجام دادند. آنها با مقایسه داده‌های اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده برای هر دو درصدهای رطوبت خاک و ابعاد ناحیه خیس شده نشان دادند که دقت پیشگویی‌های HYDRUS- 2D بسیار بالا بوده و می‌توان از آن به عنوان ابزاری مفید که قادر به بهینه‌کردن همه فاکتورهای اصلی در امر طراحی سیستم‌های آبیاری قطره‌ای زیر سطحی است، استفاده کرد (کندلوس و سیمیونگ، ۲۰۱۰). در رابطه با

توانایی بالای مدل HYDRUS-2D تحقیقات زیادی صورت گرفته است که در فصل دوم به طور کامل مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

## ۱- ۱۰ فلفل سبز

این گیاه بومی مکزیک و آمریکای مرکزی است و مکزیک و پرو اولین کشورهایی بودند که کاشت این گیاه را رواج دادند. کریستف کلمب آنرا به جنوب اروپا آورد و از آنجا نیز به خاورمیانه، آفریقا و آسیا گسترش پیدا کرد. فلفل سبز را نباید با فلفل سیاه یکی دانست، زیرا فلفل سیاه بومی هندوستان بوده و دارای ساقه‌های خوابیده است که میوه‌های کروی و سیاه رنگی تولید می‌کند که پودر میوه آن به صورت چاشنی استفاده می‌شود. سطح زیر کشت فلفل در ایران به‌طور دقیق مشخص نیست، به جهت آنکه به‌طور پراکنده و در سطوح کوچک در کنار دیگرزراعت‌های کشاورزان کشت می‌شود. بیشترین تمرکز کشت فلفل در شهرستان شاهرود در روستاهای فرومد و بیارجمند با سطح زیر کشت در حدود ۶۰۰ هکتار می‌باشد (امتی، ۱۳۷۴). فلفل از سبزیهای فصل گرم می‌باشد و نسبت به سرما و یخبندان و دماهای کمتر از ۱۵ درجه سانتیگراد بسیار حساس است و دمای پایه برای رشد فلفل در حدود ۱۸ درجه سانتیگراد، مناسب می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد استفاده از آبیاری قطره ای به جای روش های دیگر آبیاری باعث افزایش عملکرد در فلفل سبز شده است (برستین و فرانکوئین، ۱۹۷۳).

## ۱- ۱۱ بیان مسئله

در تحقیق حاضر حرکت پتاسیم به عنوان یکی از عناصر مهم مورد نیاز گیاه به روش مدلسازی در نظر گرفته شد و در کلیه مراحل انجام تحقیق از شیوه‌های مدلسازی جدید مربوط به حرکت این عنصر از اعماق مختلف خاک بهره گرفته شد. برای بررسی نحوه حرکت این عنصر در خاک لازم بود ابتدا مقدار دقیق نیاز گیاه انتخابی را به آن، تعیین گردد و سپس برنامه توزیع زمانی آن در یک فصل زراعی تدوین گردد و بر مبنای برنامه ارائه شده نمونه‌برداری و نحوه تجزیه و تحلیل نمونه‌های خاک تعیین

شود. سپس در مرحله ی بعد شبیه‌سازی حرکت این عنصر به اعماق خاک در شرایط مختلف توسط

مدل انتخابی صورت گرفت. کلیه این عملیات می تواند به دو صورت زیر انجام پذیرد:

۱. براساس اجرای یک پروژه کود آبیاری

۲. بر اساس تجزیه و تحلیل داده های حاصل از یک پروژه که به این منظور خاص اجرا شده است.

در تحقیق حاضر از روش دوم استفاده شده است. محل تحقیق مرکز آموزش کشاورزی بسطام بوده

است.

هدف از اجرای این پروژه بررسی حرکت و آبشویی پتاسیم در خاک مزرعه فلفل سبزا استفاده از نرم

افزار HYDRUS-2D .

# فصل دوم

## مرور منابع

## ۲-۱ مقدار و اهمیت پتاسیم در خاک

در بررسی روابط خاک و گیاه و عناصر غذایی، مسائل مربوط به پتاسیم جزء مهمترین موضوعات محسوب می‌شود. در اواسط قرن ۱۷ میلادی پتاسیم به عنوان عنصر ضروری در رشد گیاهان شناخته شد (راسل، ۱۹۶۱). پتاسیم به طور متوسط ۲/۶ درصد جرم پوسته زمین را تشکیل می‌دهد و بنابراین از نظر فراوانی عنصری، هفتمین و به عنوان عنصر غذایی چهارمین عنصر شیمیایی در لیتوسفر می‌باشد (مک لین و واتسون، ۱۹۸۵). میزان پتاسیم در خاک معمولاً خیلی بیشتر از میزان عناصر غذایی پر مصرف دیگر از جمله ازت و فسفر است. میزان متوسط پتاسیم در خاک‌های مختلف حوالی ۱ درصد است که تقریباً ۶ برابر متوسط میزان ازت و ۱۴ برابر میزان فسفر است (سالاردینی، ۱۳۸۷). نقش پتاسیم در خاک‌ها شگفت‌انگیز است. پراکندگی کانیه‌های پتاسیم در خاک، طبیعت بسیار محلول آنها، آزاد شدن پتاسیم از کلوئیدها به شکل‌های محلول و تبادل‌ی باعث می‌گردند که پتاسیم رفتاری پیچیده داشته باشد. با این وجود، شیمی پتاسیم در خاک‌ها، دست‌کم از نظر شکل‌های موجود، در مقایسه با نیتروژن و فسفر نسبتاً ساده است (اسپارکس، ۱۹۸۰). پتاسیم به چهار شکل کلی محلول، تبادل‌ی، غیر تبادل‌ی و ساختاری در خاک‌ها وجود دارد (اسپارکس، ۲۰۰۰-تیسدال، ۱۹۹۳). به طور کلی ۹۰ تا ۹۸ درصد کل پتاسیم در خاک به شکل غیر قابل دسترس، ۱ تا ۱۰ درصد به کندی قابل دسترس و ۱/۰ تا ۲ درصد به سرعت قابل دسترس می‌باشد (مارتین و اسپارکز، ۱۹۸۵). پتاسیم محلول، پتاسیم موجود در محلول خاک است که با پتاسیم تبادل‌ی در حال تعادل است (سالاردینی، ۲۰۰۳). پتاسیم در خاک به هر شکلی که باشد برای اینکه بتواند مورد استفاده گیاه قرار گیرد، باید به شکل محلول درآید که اهمیت پتاسیم محلول را در تغذیه گیاه می‌رساند (حسین پور و همکاران، ۲۰۰۰). مقدار پتاسیمی که در محلول خاک وجود دارد بسته به طبیعت گیاه، ساختار خاک، سطح کودی و میزان رطوبت بین ۶۰-۱۰ ppm می‌باشد (سالاردینی، ۲۰۰۳).

پتاسیم تبادلی پتاسیمی است که توسط بارهای منفی کلونیدهای آلی و معدنی نگه داری می‌شود (حسین پور و کلباسی، ۲۰۰۱).

رها شدن پتاسیم به شکل غیر تبادلی، بستگی به توزیع اندازه ذرات خاک، نوع کانیهای خاک و کاهش پتاسیم در اثر جذب گیاه یا آبشویی و افزایش آن در اثر کود دهی دارد (توفیقی، ۱۹۹۵). پتاسیم به شکل غیر تبادلی به سرعت در دسترس گیاه قرار نمی‌گیرد، اما با برداشت محصول مشاهده شده است که مقدار این شکل پتاسیم خاک کاسته می‌شود (سرینیواسارائو و همکاران، ۲۰۰۰).

منشا اصلی پتاسیم در خاک، هواپدگی کانیهای حاوی پتاسیم می‌باشد که این بخش پتاسیم ساختمانی را شامل می‌گردد (ملکوتی و همایی، ۲۰۰۵). مطالعات مختلفی در رابطه با مقدار پتاسیم و اجزای آن انجام گرفته است (فاتیما، ۲۰۰۷- آجی بوی و اگونویل، ۲۰۰۸- سیمارد و همکاران، ۱۹۹۳- حسین پور و کلباسی، ۲۰۰۱- منگل و همکاران، ۱۹۹۸- منگل و رحمت اله، ۱۹۹۴- توفیقی، ۱۹۹۹).

اطلاع از درصد سهم هر یک از اجزای تشکیل دهنده خاک (رس، سیلت و شن) در تامین پتاسیم مورد نیاز گیاه و نوع کانیهای تشکیل دهنده هر جزء می‌تواند در تعیین روابط تعادلی بین شکل‌های مختلف پتاسیم در خاک، حل پاره‌ای از مسائل تغذیه‌ای مانند تثبیت و آزادسازی پتاسیم و مدیریت کودی آنها در خاک به ما کمک کند (حسینی فرد و همکاران، ۲۰۰۰).

مقدار پتاسیم در خاک‌های نواحی مرطوب در مقایسه با خاک‌های نواحی خشک کمتر می‌باشد. در بین خاک‌های هر ناحیه میزان پتاسیم با بافت خاک ارتباط دارد. در خاک‌هایی با بافت مشابه میزان پتاسیم به جنس سنگ مادر و مواد کانی تشکیل دهنده خاک بستگی دارد. به عنوان مثال مک‌لین، ۱۹۶۱ با مقایسه پتاسیم موجود در خاک‌های با بافت‌های مختلف در کانادا نشان می‌دهد که میزان متوسط پتاسیم خاک‌های رسی ۱:۱ برابر خاک‌های لیمونی نرم، ۴ برابر خاک‌های لیمونی درشت و ۱۱ برابر خاک‌های شنی می‌باشد. علت غنی بودن خاک‌های رسی به واسطه دارا بودن خاصیت تبادلی و



تثبیت بیشتر توسط کانی های رس می باشد. در این خاکها پتاسیم به صورت قابل تبادل و تثبیت شده ذخیره می شود. این اشکال پتاسیم در برابر آبشویی مقاومت بیشتری دارند (سالاردینی، ۱۳۸۷).

خاکهای هوموسی با وجود مواد آلی زیاد که خود دارای مقدار زیادی پتاسیم است از لحاظ این عنصر فقیرند، زیرا محلولیت این عنصر در این خاکها زیاد است و در نتیجه آبشویی، این عنصر را از دست می دهند و از این لحاظ با خاکهای شنی تفاوت چندانی ندارند.

میزان پتاسیم در اعماق مختلف خاک متفاوت است. در خاک های نواحی مرطوب به علت مهاجرت املاح و کلوئیدها تمرکز پتاسیم در افق B یا افق های زیرین بیشتر است، ولی در نواحی خشک تفاوت چندانی مشاهده نمی شود، یا لایه های رویین دارای مقدار بیشتری پتاسیم هستند.

در ایران، در نواحی خشک که قسمت عمده کشور را تشکیل می دهد، میزان پتاسیم خاک کافی یا زیاد است و بجز بعضی خاک های شنی و یا خاک های رسی که با کشت و کار چندین ساله پتاسیم خود را از دست داده اند، نیازی به مصرف کود های پتاسی مشاهده نمی شود. در نواحی مرطوب خصوصا در گیلان و مازندران احتیاج به این عنصر مشاهده شده است. در این نواحی خاک هایی که با آب رودخانه آبیاری می شوند به علت اضافه شدن پتاسیم محلول در آب و یا پتاسیم همراه رس ها و لای رودخانه، پتاسیم بیشتری دارند تا خاک هایی که نیازی به آبیاری ندارند (سالاردینی، ۱۳۸۷).

## ۲-۲ عوامل موثر بر تثبیت پتاسیم در خاک

با پیشرفت فرایند هواپدگی و آزاد شدن مقدار بیشتری از یونهای پتاسیم، فضای بین لایه های رسها افزایش یافته و به مقدار ظرفیت تبادل کاتیونی خاک اضافه می گردد (سالاردینی، ۱۳۸۷). با آنچه گذشت می توان عوامل موثر بر تثبیت پتاسیم را به شرح زیر خلاصه کرد:

کانی های رسی: نوع رس تثبیت پتاسیم را شدیداً تحت تاثیر قرار می دهد. پدیده تثبیت پتاسیم در رسهای گروه ۲:۱ یعنی ایلیت، میکای هوازده و مسکوویت و اسمکتایت ها رخ داده و رسهای گروه ۱:۱ نقشی در این تثبیت ندارند. نتیجه تحقیقی در مورد سرعت تثبیت پتاسیم در چهار نوع خاک

مختلف حاکی از آن است که مقدار پتاسیم تثبیت شده برای هر نوع خاک، با توجه به خصوصیات آن به ویژه نوع کانی فرق می‌نماید ([www.gologiah.ir](http://www.gologiah.ir)).

pH خاک: ظرفیت تثبیت پتاسیم در حضور آلومینیم سه ظرفیتی، هیدروکسید آلومینیوم و پلیمر های آن که معمولا در شرایط اسیدی غلظت آنها زیاد است، کاهش می‌یابد.

غلظت پتاسیم اضافه شده: اضافه کردن پتاسیم به خاکهایی که ظرفیت تثبیت بالایی دارند، موجب تثبیت بیشتر یون پتاسیم می‌گردد، بنابراین بهتر است قبل از افزودن کود های پتاسیمی به خاک، ظرفیت تثبیت آن از نقطه نظر پتاسیم مشخص شود.

تر و خشک شدن خاک: خشک شدن در بعضی از خاک ها که پتاسیم قابل تبادل فراوانی دارند، منجر به تثبیت و کاهش اینگونه پتاسیم می‌گردد. از سوی دیگر، خشک شدن خاک های مرطوب حاوی مقادیری کم تا متوسط پتاسیم می‌باشند، به ویژه خاک های زیرین، موجب فزونی پتاسیم قابل تبادل گشته و در برخی شرایط، مقدار پتاسیم قابل تبادل در خاک های زیرین به چند برابر فراوانی عادی آن می‌رسد. اثر تر و خشک شدن خاک بر قابلیت جذب پتاسیم هنوز هم پیش از اندازه گیری پتاسیم، خاک را در هوای آزاد خشک می‌کنند. این کار ممکن است مقدار پتاسیم خاک را بیش از حد نشان داده و احتمال توصیه کودی را دچار اختلال کند ([www.gologiah.ir](http://www.gologiah.ir)).

افزون بر آنچه که گفته شد، به نظر می‌رسد رابطه ای مثبت بین ظرفیت تثبیت پتاسیم با آمونیوم وجود دارد. بدین مفهوم که هر یک از کود های پتاسیمی یا آمونیومی را زودتر به خاک اضافه کنند، زودتر تثبیت شده و کود دیگر، با سهولت بیشتری در اختیار گیاه قرار می‌گیرد (سالاردینی ۱۳۸۷).

## ۳-۲ تغییرات پتاسیم خاک

میزان پتاسیم در خاک علاوه بر موارد ذکر شده بالا، تابع سرعت کاهش و از دست رفتن پتاسیم از خاک، از یک طرف و افزایش پتاسیم از سوی دیگر است. از آنجا که افزوده شدن پتاسیم خاک فقط با

اضافه کردن کود های شیمیایی انجام می شود در این بخش فقط از دست رفتن پتاسیم خاک بررسی می شود.

پتاسیم به سه طریق از خاک خارج می شود: برداشت گیاه، آبشویی و فرسایش، میزان برداشت پتاسیم توسط گیاهان متفاوت بوده و بسته به نوع گیاه تغییر می کند. اصولاً میزان برداشت پتاسیم توسط گیاه به طور متوسط کمتر از فسفر است و فقط در مورد گیاهان قندی و ریشه ای است که این مقادیر بر عکس می باشد (سالاردینی، ۱۳۸۷).

## ۲-۴ آبشویی پتاسیم در خاک

پتاسیم به مقدار فراوانی در اثر آبشویی از خاک خارج می شود. مقدار تلفات در خاک ها و شرایط محیطی مختلف متفاوت است. از جمله عوامل موثر در آبشویی پتاسیم بافت خاک، میزان بارندگی، خاصیت تبادل خاک، واکنش و جنس معدنی ها و مقدار پتاسیم می باشد.

مطالعات دانشمندان آلیسون و همکاران، ۱۹۵۹ در آزمایش لیسیمتری، ۶۸ سانتی متر آب را از یک ستون ۱۰۹ سانتی متری خاک شنی که از نظر حاصلخیزی ضعیف بود، عبور دادند. قطعه کود داده شده سالانه به ترتیب ۱۸، ۱۵، و ۱۶ کیلو ازت، پتاسیم و فسفر دریافت داشته است. جدول (۱-۲) نتایج تلفات سالانه عناصر غذایی گیاه از خاک توسط آبشویی نشان می دهد. که وجود گیاه، باعث کاهش زهاب شده و تلفات آبشویی پتاسیمی کاهش داده است. همچنین، افزایش پتاسیم خاک، مصرف کود پتاسی، موجب افزایش تلفات پتاسیم با آبشویی می شود.

جدول (۱-۲) تلفات سالانه عناصر غذایی گیاه از خاک توسط آبشویی، کیلوگرم بر هکتار (سالاردینی، ۱۳۸۷)

مشخصات قطعه	ازت	پتاسیم	فسفر	زهاب به سانتی متر
کود خورده با گیاه	۲۴	۳	۰/۱	۴۴
کود خورده بدون گیاه	۴۰	۲۰	۰/۲	۶۸
کود نخورده بدون گیاه	۳۰	۱۳	۰/۱	۶۷
درصد تلفات از کود	۵۶	۴۷	۰/۱	-

برای آنکه پتاسیم شسته شود، می‌باید به صورت محلول باشد. همان طوری که پتاسیم در نیمرخ خاک پایین می‌رود با کاتیون های خاک به تعادل در می‌رسد. پتاسیم مدت طولانی را به صورت قابل تبادل و مدت بسیار کوتاهی را به صورت محلول می‌باشد و بنابراین حرکت نزولی پتاسیم در نتیجه وجود رس در خاک به تاخیر می‌افتد. تاخیر حرکت پتاسیم بستگی به ظرفیت تبدالی خاک و سهولت جانشینی آن به وسیله کاتیون های دیگر دارد. بنابراین در خاک شنی، تلفات پتاسیم سریع و زیاد خواهد بود (سالاردینی، ۱۳۸۷).

وقتی سایر شرایط مساوی اند، هر چه میزان پتاسیم خاک بیشتر باشد، میزان تلفات نیز بیشتر است و چنانچه جدول (۱-۲) نشان می‌دهد قسمت قابل ملاحظه ای از کود پتاسیم نزدیک به ۵۰ درصد که به خاک داده شده است، تلف شده است.

نوع کانی های خاک در آزادی پتاسیم و بنابراین در تلفات و جذب آن به وسیله گیاه موثر است جدول (۲-۲) از گزارش ریچ در سال ۱۹۶۸ اقتباس شده است این موضوع را نشان می‌دهد. در این آزمایش کانی های مختلف پتاسیم به صورت گرد بسیار نرمی در آورده شده و ۳۰ گرم از هر یک، به مدت ۹۶ ساعت با ۲۰۰ سانتی متر مکعب مایع، تکان داده شد. ضمناً به مقدار مساوی از این گرد ها با خاک گلدان مخلوط و در آنها یولاف کاشته شد. نتایج این آزمایش نشان می‌دهد که بعضی از این کانی‌ها به سهولت کود های عادی پتاسیم، برای گیاه مفید می‌باشند. قابلیت جذب پتاسیم و سهولت آزاد شدن آنها طبق رابطه (۱-۲) بود.

بیوتیت < مسکوویت < ارتوکلاز < میکروکلین

رابطه (۱-۲)

جدول (۲-۲) آزاد شدن و جذب پتاسیم از کانی های مختلف (ریچ، ۱۹۶۸)

آزاد شده با $K_2O$ پی پی ام		جذب شده $K_2O$ میلی گرم به وسیله یولاف در گلدان	کانی
آب	آب کربناتی		
-	-	۳۰۵	سولفات پتاسیم
۲۶	۲۶۱	۲۴۴	بیوتیت
۲۴	۱۶۹	۲۱۳	مسکوویت
۲۰	۹۴	۷۵	ارتوکلاز
۱۸	۶۱	۱۶	میکروکلین

در خاک های اسیدی شست و شوی پتاسیم سریع تر صورت می گیرد. زیرا پتاسیم در شرایط اسیدی به سختی قادر است جای آلومینیوم را در محل های تبدالی بگیرد. در صورتی که در خاک های آهکی بسهولت با کلسیم رقابت می کند. بعلاوه، در شرایط مساوی خاک اسید دارای ظرفیت تبدالی کمتری است و این موضوع به تفصیل به وسیله بلاک، ۱۹۶۸ شرح داده شده است.

اثر کاشت گیاه در تلفات پتاسیم را می توان با توجه به جدول (۱-۲) روشن کرد. چنانچه جدول نشان می دهد تلفات پتاسیم در نتیجه وجود گیاه حتی از خاک کود نخورده نیز کمتر شده است. بعلاوه گیاه با کم کردن غلظت املاح در محیط از تلفات آن جلوگیری می کند. با کاشت گیاه در این آزمایش از تلفات ازت به مقدار زیادی جلوگیری نشده است. علت آن این است که گیاهی که در این آزمایش به کار رفته است کروتولاریا و از خانواده بقولات است و نیاز زیادی به ازت ندارد و در نتیجه باعث کاهش ازت محلول خاک نشده است (سالاردینی، ۱۳۸۷).

## ۵-۲ دامنه مصرف کود در ایران و جهان و آلودگی های ناشی از مصرف کود

بنا به گزارش سازمان خواروبار و کشاورزی جهانی، بین ۳۳ تا ۶۰ درصد افزایش تولیدات کشاورزی در جهان در چند دهه گذشته مرهون مصرف کودهای شیمیایی بوده و در کشورهای با مصرف بهینه کود، این افزایش حداکثر بوده است. از این رو، مصرف بهینه کود، سهل الوصول ترین و اقتصادی ترین راه تحقق طرح افزایش عملکرد هکتاری محصولات کشاورزی و پایداری در تولید است. از طرف دیگر توجه به اثرات سوء کودهای شیمیایی، بویژه ترکیبات ازته و فسفات بر محیط زیست و سلامت انسان و همچنین جنبه های اقتصادی تولید و مصرف کود باعث شده کشورهای صنعتی در این خصوص اقدام جدی به عمل آورند (FAO,2004).

مطالعه مصرف کود در سالهای ۱۹۷۰ تا ۲۰۰۰ نشان دهنده افزایش قابل ملاحظه در مصرف کود در آسیا و افریقای شمالی بوده است. روند مصرف کود در این سال ها در آمریکای شمالی و جنوبی نیز افزایشی، در اروپای غربی تقریباً بدون تغییر و در اروپای مرکزی و شرقی کاهش داشته است. با پیش بینی های انجام شده متوسط رشد مصرف سالیانه کود تا سال ۲۰۳۰ به میزان ۰/۷ تا ۱/۳ درصد خواهد بود (FAO,2007).

مصرف جهانی کودهای شیمیایی بر مبنای اطلاعات سال ۲۰۰۱-۲ برابر با ۱۳۷/۷۳ میلیون تن بوده که سهم کشورهای توسعه یافته از این مقدار ۳۷ درصد و سهم کشورهای در حال توسعه ۶۳ درصد بوده است. همچنین متوسط مصرف جهانی کود در واحد سطح ۹۱ کیلو گرم بر هکتار، متوسط تولید غلات (گندم، جو، شلتوک، ذرت) در واحد سطح ۳/۳ تن در هکتار نسبت مصرف کودی جهان در سال ۲۰۰۱-۲۰۰۱ بر مبنای مواد مغذی  $K_2O, P_2O_5, N$  برابر با ۱۰۰، ۴۰، ۲۸ بوده و پیش بینی درصد رشد متوسط مصرف سالیانه تا ۲۰۳۰ به میزان ۱/۳-۰/۷ می باشد. و اما در ایران متوسط مصرف سالیانه طی سه سال ۸۲-۸۰، ۲/۹ میلیون تن مواد مغذی و ۳/۲ میلیون تن کل کود بوده است. مقدار کود مصرفی طی سال های ۸۴-۸۳ به ۳۷۳۳ هزار تن رسید. نسبت مصرف کودی بر مبنای مواد مغذی

K<sub>2</sub>O,P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>,N در سال ۸۰ برابر با ۱۰۰، ۳۸، ۱۸ بوده است (FAO,2007) - (اداره آمار و اطلاعات، ۲۰۰۴).

بسیاری از پژوهشگران و متخصصان در زمینه حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاهی معتقدند تحت شرایط اقلیمی - زراعی ایران و میزان عناصر مغذی موجود در خاک مناسب‌ترین میانگین نسبت بین عناصر مغذی کودی برای مجموع کودهای مصرفی در ایران، پتاسیم (۰/۲)، فسفر (۰/۵)، نیتروژن (۱) است. براساس آخرین بررسی های FAO، طی سال های ۲۰۳۰-۱۹۹۷، محصولات کشاورزی ۵۷ درصد افزایش تولید خواهند داشت. نرخ افزایش در کشورهای در حال توسعه بیش از کشورهای توسعه یافته خواهد بود. براساس همین پیش بینی، مقدار مصرف کود از میزان ۱۳۸ میلیون تن به ۱۶۷ تا ۱۹۹ میلیون تن در سال ۲۰۳۰ خواهد رسید. منابع مورد استفاده در این بخش (بلالی و همکاران، ۲۰۰۳) - (بایبوردی و همکاران، ۲۰۰۰) - (FAO,2007) - (خواری و ملکوتی، ۲۰۰۲) - (ملکوتی و همکاران، ۲۰۰۴) - (مومنی، ۲۰۰۳) - (پاوو و همکاران، ۲۰۰۲).

آلودگی محیط زیست یک مسأله مهم جهانی است. زمانی که عوامل آلاینده آب ذکر می‌شوند، عامل کشاورزی در صدر قرار دارد که مرتباً در حال شدت گرفتن است. همان‌طور که گفته شد مدارک زیادی مبنی بر افزایش مصرف جهانی کودها در طول چند دهه گذشته وجود دارد. ورود کودهای شیمیایی مصرفی در کشاورزی به آبهای زیرزمینی، باعث ایجاد معضلات زیست محیطی خواهد شد. از آنجا که در اکثر مناطق شهری و روستایی تامین آب شرب با برداشت از آبهای زیرزمینی صورت می‌گیرد، بنابراین ورود عناصر شیمیایی مصرفی در کشاورزی به آبهای زیرزمینی نگران کننده می‌باشد. علاوه بر مسائل و مشکلات زیست محیطی، از دیدگاه زراعی و اقتصادی فرار مواد مغذی باعث کاهش کارایی در مجموعه تولید محصول می‌گردد (شیر افروس و همکاران، ۱۳۸۵).

از دهه ۱۹۷۰ در اروپا نگرانی فزاینده‌ای در مورد ازدیاد نیتروژن، فسفات و ترکیبات آفت کش در آب های سطحی و زیرزمینی شکل گرفته است (یونپ، ۱۹۹۳). ایگنازی در سال ۱۹۹۳ گزارش داد، جامعه

اروپا به وسیله بخشنامه (91/676/EEC) در مورد حفاظت از آبها در برابر آلودگی نیترات حاصل از کشاورزی نسبت به این موضوع واکنش نشان داد (ایگنازی، ۱۹۹۳).

کشاورزی همچنین به عنوان عامل منجر به آلودگی منابع آب زیرزمینی در ایالات متحده ذکر شده است و در سال ۱۹۹۲، چهل و نه ایالت از ۵۰ ایالت امریکا، نیترات را به عنوان آلاینده عمده منابع آب زیرزمینی خود ذکر کردند (آنکلی، ادوین، ۱۳۸۱). ایرزمان و همکاران در سال ۱۹۹۲ گزارش داد، کشاورزی اروپا مسئول ۶۰ درصد از نیتروژن و ۲۵ درصد از فسفر وارده به دریای شمال است (آیرسمن و همکاران، ۱۹۹۲). لورنس و همکاران، ۱۹۸۵ تخلیه فسفر به وسیله جریانات زیرزمینی در این حوضه برابر ۰/۹ کیلوگرم در هکتار در سال اندازه گیری کردند (لاورنس و کامپنارچی، ۱۹۸۶).

غلظت نیترات در چاههای آب اطراف شالیزارهای بابل تعیین شد و مشخص گردید که بین مصرف کودهای ازته و آلودگی آبهای زیرزمینی به نیترات همبستگی مثبت وجود دارد. با توجه به حد مجاز ازت نیتراتی که به وسیله سازمان جهانی بهداشت ۱۰ میلی گرم در لیتر می باشد، ۲۵ درصد از چاه های نمونه برداری شده آب مشروب شهر بابل دارای غلظتی بیش از حد مجاز بود. همچنین به دلیل مصرف زیاد سموم و کودها در استان مازندران، آمار سرطانهای گوارشی و تنفسی چندین برابر میانگین متوسط کشور گزارش شده است. در حال حاضر مطالعات نشان می دهد که در برخی از شهرهای بزرگ کشور از جمله تهران، مشهد، ساری، بابل، رشت، شیراز و در پاره ای از نقاط اصفهان غلظت نیترات در آب آشامیدنی رو به افزایش است (آقا فتحی، ۱۳۷۸).

با توجه به اینکه با هدف تولید بالاتر در محصولات کشاورزی، سالانه مصرف کودهای شیمیایی نیز بالاتر می رود، از طرف دیگر به دلیل استفاده از سیستمهای آبیاری سطحی در این مناطق و بازدهی پایین این روشها به دلیل تلفات آبشویی بالا، احتمال افزایش غلظت نیترات و همچنین دیگر کودهای شیمیایی در آبهای زیرزمینی در سالهای بعد وجود دارد. کودهای فسفره و پتاسه بیشتر وارد آبهای سطحی شده و لذا از طریق انتقال رواناب مزارع کشاورزی به آبهای سطحی خطرات زیست محیطی را برای آبزیان ایجاد خواهد کرد. استفاده بهینه از کود های شیمیایی بر اساس نیاز واقعی گیاهان در این



مناطق علاوه بر بالا بردن عملکرد محصول از زیانهای اقتصادی و همچنین خطرات زیست محیطی مصرف بیش از حد آنها خواهد کاست.

با توجه به افزایش مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی در سطح جهان و ایران و همچنین روش‌های آبیاری نامناسب و هدر روی حجم زیادی از آب و عناصر غذایی و آلودگی منابع آبهای سطحی و زیر زمینی توصیه می‌شود از روش‌های مناسب آبیاری به جای آبیاری سنتی استفاده گردد.

## ۲-۶ اهمیت استفاده از سیستم کود آبیاری

در یک کشور خشک مانند ایران، آبیاری به قدری از عملیات بدیهی و ضروری کشاورزی به شمار می‌رود که ارائه یک تعریف متعارف برای آن بسیار مشکل است. در دنیا فقط ۱۸ درصد ارضی کشاورزی آبیاری می‌شوند و بقیه هنوز به صورت دیم مورد استفاده قرار می‌گیرند، ولی بیش از ۴۰ درصد کل تولیدات کشاورزی جهان که ۵/۳ میلیارد تن می‌باشد و بخصوص محصولات ارزشمند غذایی از همین اراضی تحت آبیاری حاصل می‌شود. بنابراین می‌توان گفت تامین غذای کافی جهان بدون آبیاری برای جمعیت کنونی جهان امکان پذیر نمی‌باشد (علیزاده، ۱۳۸۴).

با توجه به اینکه استان سمنان در منطقه خشک و نیمه خشک ایران واقع شده است، لزوم استفاده بهینه از منابع آبی موجود بخصوص با توجه به خشکسالی‌های اخیر به شدت احساس می‌شود. در واقع کمبود آب و خشکی ناشی از تبخیر شدید آن، عامل اصلی کاهش رشد گیاهان در این اقلیم‌ها می‌باشد (پوزش شیرازی، ۱۳۸۲). شدت تاثیر خشکی بر عملکرد گیاه به فراهمی آب در خاک بستگی دارد افزایش کارایی مصرف آب در زراعت‌های این مناطق از اهداف مهم سیاست‌های افزایش بهره‌وری از منابع آب می‌باشد (دانشیان و همکاران، ۱۳۸۰).

یکی از عوامل بسیار مهم محدود کننده تولید در بخش کشاورزی، آب می‌باشد. در این راستا استفاده از فناوری‌های جدید به منظور افزایش بهره‌وری آب و استفاده بهینه از منابع آب امری اجتناب ناپذیر است.

با توجه به افزایش سریع جمعیت کشور، نیاز به تولید بیشتر مواد غذایی احساس می‌گردد. بهترین راه برای نیل به این هدف و همچنین تأمین قسمتی از ارز مورد نیاز، افزایش تولید در واحد سطح است. در بین نهاده‌های کشاورزی، اضافه نمودن متعادل کودهای شیمیایی بیشتر از سایر نهاده‌ها در افزایش تولید محصولات کشاورزی موثر است.

تزریق کود به آب آبیاری، شامل حل کردن کودهای محلول در آب و کاربرد آن از طریق سیستم‌های قطره‌ای و بارانی می‌باشد که روشی موثر، آسان و اقتصادی است و مناسب بودن آن به شرایط خاک و محصول، روش آبیاری، کیفیت آب، نوع کود و مسایل اقتصادی بستگی دارد. این روش به‌طور معمول در خاک‌های درشت بافت دارای امتیاز بیشتری نسبت به خاک‌های ریز بافت است. همچنین با به کار گیری صحیح‌ترین روش آب در بخش کشاورزی مدیریت مناسب استفاده از این منبع حیاتی را به ارمغان می‌آورد، در این راستا سیستم کود آبیاری از طریق آبیاری قطره‌ای، مناسب‌ترین روش توزیع آب و مواد غذایی بوده و آبشویی مواد حاصلخیز کننده را از ناحیه ریشه گیاه به حداقل می‌رساند. نتایج نشان داده‌اند که مدیریت صحیح توزیع آب و مواد غذایی گیاه باعث به حداقل رسیدن آب خروجی از ناحیه ریشه گیاه، ذخیره شدن ۴۰ درصد مواد غذایی و ۴۵ درصد آب توزیع یافته در سیستم می‌گردد (اژدری، ۱۳۸۶).

همچنین علیزاده در کتاب طراحی سیستم‌های آبیاری ۱۳۸۴ بیان می‌دارد: سیستم‌های آبیاری قطره‌ای که آب را مستقیماً در اختیار ریشه گیاه قرار می‌دهند، از نظر پخش کودهای شیمیایی بسیار مناسب‌اند. به طوری که اگر کود را در آب حل کنیم، بدون صرف هزینه و انرژی اضافی، کود در مزرعه پخش می‌شود.

یکی از راه‌کارهای اصلی برای مقابله با مسئله بحران آب، کاربرد زنجیره‌ای آب متناسب با تغییر کیفیت آن در بخش‌های متنوع مصرف می‌باشد. راه حل دیگر، استفاده بهینه از آب‌های متعارف و نامتعارف موجود و کاربرد سیستم‌های آبیاری کارا و با بازده بالاست (حسن اقلی و همکاران، ۱۳۸۱ -

عابدی و نجفی، ۱۳۸۰ - فرزانه، ۱۳۷۵). همچنین دانشمندان بیان می‌دارند از بین روش‌های مختلف آبیاری، روش آبیاری قطره‌ای، بهترین روش برای کاربرد پساب است.

از مسائل مهم مورد توجه در سیستم‌های آبیاری دبی و یکنواختی قطره‌چکان‌ها می‌باشد. محققین مختلفی در رابطه با عوامل موثر بر دبی و یک‌نواختی پخش قطره‌چکان‌ها بررسی و تحقیق نموده‌اند و نظرهای متفاوتی را برای انجام این کار ارائه کرده‌اند (کهنوجی، ۱۳۷۸ - نجفی و همکاران، ۱۳۸۱). در مدلی که سولومون در سال ۱۹۸۴ ارائه نمود عوامل مختلفی که یک نواختی پخش را تحت تأثیر قرار می‌دهند، در نظر گرفته شد (سولومون، ۱۹۸۴). این عوامل عبارت بودند از تغییرات فشار به دلیل تغییرات ارتفاع یا افت فشار اصطکاکی لوله‌های شبکه آبیاری، تغییرات جزیی یا کلی درجه حرارت آب، عکس‌العمل قطره‌چکان‌ها در برابر این تغییرات، تغییرات ساخت قطره‌چکان‌ها و شیرهای کنترل‌کننده فشار، تعداد قطره‌چکان‌ها برای هر درخت و میزان گرفتگی قطره‌چکان‌ها. (جیوشینگ و همکاران، ۲۰۰۳) گزارش داده‌اند که حرکت آب در اثر یک منبع نقطه‌ای (قطره‌چکان) به نفوذ پذیری خاک و شدت جریان بستگی دارد. (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. (روحی و همکاران، ۲۰۰۶) با تنظیم برنامه آبیاری گیاه گلابول توسط آبیاری قطره‌ای به این نتیجه رسیدند که استفاده از سیستم کود آبیاری مناسب است اما داشتن اطلاعات مربوط به الگوی توزیع آب در خاک در اثر این سیستم ضروری است. (متین و همکاران، ۲۰۰۶) نیز روی گیاه فلفل سبز به چنین نتیجه‌ای رسیده‌اند. اطلاعاتی در رابطه با آبیاری قطره‌ای و فواید و مزایای آن و همچنین اصول طراحی و اجرای آن در منابع (حاجموس، ۲۰۰۰ - اسکاقس و همکاران، ۲۰۰۴ - تامپسون و همکاران، ۲۰۰۳) می‌باشد.

## ۷-۲ کاربرد نرم افزار در سیستم‌های آبیاری

اکثر مناطق ایران دارای اقلیم خشک و نیمه خشک می‌باشند و به دلیل کمبود آب به ویژه در سال‌های اخیر، مصرف آن در کشاورزی نقش بسیار مهمی پیدا کرده است. آبیاری قطره‌ای به دلایل ذکر

شده در متن بسیار رواج یافته است. از آنجا که پیاز رطوبتی ایجاد شده باید کل منطقه توسعه ریشه را پوشش دهد می‌توان گفت ابعاد پیاز رطوبتی و توزیع رطوبت حاصل از آن، دو عامل مهم در تعیین عمق نصب قطره چکان‌ها جهت دستیابی به توزیع بهینه آب و کود در منطقه توسعه ریشه است (کاندلوس و سیمونک، ۲۰۱۰).

از آنجا که طراحی و نصب سیستم آبیاری هزینه بردار و زمان بر است، طراحی باید به گونه ای باشد تا رطوبت مورد نیاز گیاه در کل دوره رشد تامین شود. در طراحی سیستم آبیاری نوع خاک، نوع گیاه، اقلیم منطقه و برنامه ریزی آبیاری باید در نظر گرفته شود. امروزه مدل‌هایی وجود دارند که می‌تواند با در نظر گرفتن تمامی شرایط، میزان رطوبت خاک را در مکان‌های مختلف توسعه ریشه برآورد کنند. با تایید کارایی مدل در شرایط مورد نظر می‌توان قبل از نصب سیستم آبیاری طرح‌های مختلف را سنجید و بهترین طرح را جهت اجرا در نظر گرفت. چنانچه سیستم اجرا شده باشد، جهت بهبود عملکرد سیستم، می‌توان با کمک گرفتن از مدل، راهکارهای مدیریتی مناسبی را پیشنهاد داد (بووین و همکاران، ۲۰۰۶).

مدل جریان حرکت آب و مواد محلول بایستی توانایی شبیه سازی توزیع جریان آب و مواد محلول را در خاک داشته باشد. آنتونوپولس، ۲۰۰۱ گزارش داده است که این چنین مدل‌هایی درک درست روابط بین مقدار و زمان به‌کارگیری آب و مواد غذایی، مقدار جذب مواد غذایی توسط ریشه گیاه، مقدار عملکرد و آلودگیهای خاک و آب زیر زمینی را فراهم خواهد کرد.

(روفائل و همکاران ۲۰۰۶) با مقایسه آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرزمینی با به‌کارگیری آب شور و شیرین گزارش داده‌اند که استفاده از مدل‌های کامپیوتری در اخذ نتایج درست حرکت آب در خاک بسیار موثر می‌باشد. (سینگ و همکاران ۲۰۰۶) با شبیه سازی حرکت آب توزیع شده از قطره چکانهای زیرزمینی به این نتیجه رسیدند که بدون مدل سازی محیط اطراف قطره چکان، اطلاعات به‌دست آمده از نحوه توزیع رطوبت در خاک برای مدیریت سیستم آبیاری کافی نیست.

مدل های مختلفی وجود دارند که با توجه به کاربردهایشان در مدیریت آبیاری استفاده می شوند. این مدل ها به سه دسته حل عددی، حل تحلیلی و معادلات تجربی تقسیم می شوند. مدل های رایجی که امروزه استفاده می شوند شامل:

۱- WetUp (کوک و همکاران، ۲۰۰۳)

۲- HYDRUS-2D (سیمونک و همکاران، ۱۹۹۹)

۳- ZUR (زور، ۱۹۹۶)

۴- میرزایی (میرزایی، ۱۳۸۶) هستند که قابلیت های منحصر به فردی دارند.

مدل HYDRUS-2D بسته نرم افزاری تحت سیستم عامل ویندوز است که با تجزیه و تحلیل جریان آب به انتقال املاح و گرما در شرایط دو بعدی قادر به شبیه سازی در شرایط اشباع و غیر اشباع در حالت افقی، عمودی و شعاعی است. این مدل برپایه حل عددی معادلات فیزیکی حاکم بر جریان است و علاوه بر تعیین نحوه توزیع رطوبت در خاک، قادر به مشخص کردن مقادیر رطوبت در منطقه شبیه سازی شده است. بسیاری از مطالعات عملکرد این مدل را برای شرایط تحت آزمایش، با مقایسه داده های صحرایی و شبیه سازی شده تایید کرده اند.

در تحقیقی نحوه توزیع رطوبت به صورت عمودی و افقی در ناحیه ریشه گیاه ترب و مقدار آبشویی عمقی از طریق شبیه سازی محیط ناحیه ریشه با استفاده از مدل HYDRUS-2D مورد بررسی قرار گرفت، نتایج نشان داد که این مدل توانایی بالایی در شبیه سازی دارد و می توان با انتخاب دور مناسب آبیاری و دبی مناسب قطره چکان، رطوبت لازم برای گیاه را در حد مطلوب نگه داشت (اژدری، ۱۳۷۸).

مدل HYDRUS-2D توسط سیمونک و همکاران در آزمایشگاه شوری خاک آمریکا بسط داده شده است (ملایی و همکاران، ۱۳۸۶). در این راستا تحقیقات زیادی صورت گرفته است، (کندلوس و سیمونک، ۲۰۱۰) دو آزمایش آبیاری قطره ای زیر سطحی تحت شرایط آزمایشگاه و مزرعه انجام دادند. آنها با مقایسه داده های اندازه گیری شده و شبیه سازی شده برای هر دو درصد های رطوبت

خاک و ابعاد ناحیه خیس شده نشان دادند که دقت پیش گویی های HYDRUS-2D بسیار بالا بوده و می توان از آن به عنوان ابزاری مفید که قادر به بهینه کردن همه فاکتور های اصلی در امر طراحی سیستم های آبیاری قطره ای زیر سطحی است، استفاده کرد. (سییال و اسکگز، ۲۰۰۹) به بررسی الگوی پخش آب ایجاد شده با لوله های سفالی به طول ۲۰ متر و عمق ۴۰ سانتی متر برای چهار ارتفاع فشار پرداختند. در مقایسه داده های اندازه گیری شده در مزرعه و شبیه سازی شده با نرم افزار HYDRUS-2D با سه مقیاس آماری ( $R^2$ , ME, RMSE) نتایج مشابهی به دست آوردند که بیانگر کارایی جذب مدل در تخمین الگوی رطوبتی می باشد.

(المالگو و دیامانتو پولوس، ۲۰۰۹) با مدل کردن آبیاری قطره ای زیر سطحی و مقایسه نتایج حاصل از آن با مدل های تحلیلی و عددی HYDRUS-2D دریافتند که روند تغییرات دبی بر الگوی رطوبتی و نفوذ عمقی تاثیر گذار است. اما بر مقادیر تبخیر و تعرق واقعی تاثیری ندارد. همچنین تاثیر خصوصیات هیدرولیکی خاک می تواند به هندسه خیس شده توسط قطره چکان ها تاثیر گذار باشد.

(ترنتون و همکاران، ۲۰۰۸) با به کارگیری دو سیستم آبیاری سطحی و زیر سطحی و دو شوری مختلف برای آب آبیاری (۱/۵ و ۲/۶ ds/m) به شبیه سازی تجمع املاح در خاک با مدل HYDRUS-2D پرداختند. آنها عقیده دارند که تعیین الگوی انتقال و تجمع نمک ها در خاک قبل از کاربرد آب آبیاری برای گیاهان مختلف به خصوص در هنگام جوانه زنی امری ضروری است و مدل HYDRUS-2D می تواند ابزاری مفید جهت تخمین این پارامتر ها باشد.

(کوک و همکاران، ۲۰۰۶) جهت بررسی الگوی رطوبتی با استفاده از سه بافت، دو نوع قطره چکان سطحی و زیر سطحی و دو راه حل عددی HYDRUS-2D و تحلیلی روش فیلیپ دریافتند که هر دو روش مذکور تخمین قابل قبولی از جبهه رطوبتی دادند. سینگ و همکاران، ۲۰۰۶ در تحقیقشان از لوله های متخلخل و نوار تیپ جهت بررسی تغییرات الگوی رطوبتی در آبیاری زیر سطحی استفاده کردند. آنها میزان راندمان مدل HYDRUS-2D را در پیش گویی عرض و عمق خیس شدگی به ترتیب ۹۶/۴ درصد و ۹۸/۴ درصد اعلام کردند.

در تحقیقاتی که توسط ملایی و همکاران، ۱۳۸۷، ۱۳۸۶، ۱۳۸۵ و صدرقاین، ۱۳۸۲، به طور مجزا انجام پذیرفت به همبستگی بالای داده‌های اندازه‌گیری شده و اندازه‌های به‌دست آمده از روش‌های عددی HYDRUS-2D و روش‌های تحلیلی و تجربی (برای مثال شوارتزمن و زور) اشاره شده است. آنها نیز معتقدند که تعیین پیاز رطوبتی قبل از طراحی سیستم آبیاری زیر سطحی یکی از پارامترهای مهم جهت بهبود کارایی سیستم خواهد بود. اژدری، ۱۳۸۷ نیز روی گیاه ترب با آبیاری قطره‌ای سطحی و مدل شبیه‌ساز HYDRUS-2D به نتایج مشابهی دست یافت.

تحقیقی در سطح مزرعه در کالیفرنیا انجام شد که طی سه زمین آبیاری، بر روی یک نمونه بافت خاک نسبتاً سبک، توسط لوله‌هایی که به فواصل مساوی قطره‌چکان‌هایی روی آن تعبیه شده بود، آبیاری صورت گرفت و با مقایسه نتایج مشاهده شده با نتایج حاصل از مدل، کارایی مدل HYDRUS-2D در شبیه‌سازی ابعاد رطوبتی تایید شد (اسکاگز و همکاران، ۲۰۰۴). اژدری، ۲۰۰۵ با مدل‌سازی در سیستم کود آبیاری با کشت پیاز به این نتیجه رسید که برای طراحی درست یک سیستم کود آبیاری و 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.

گاردنس و همکاران، ۲۰۰۵ با به‌کارگیری مدل HYDRUS-2D در مطالعه سناریوهای مختلف کود آبیاری به این نتیجه رسیدند که مدل فوق در شبیه‌سازی توزیع آب و نیتروژن در سیستم کود آبیاری از توانایی بالایی برخوردار است.

## ۲-۸ فلفل سبز

محصولات سبزی و صیفی نسبت به کمبود آب بسیار حساس بوده و هرگونه تنش رطوبتی باعث کاهش کمی و کیفی عملکرد می‌شود. گیاه فلفل به خشکی مقاوم است ولی واکنش بسیار خوبی به آبیاری مناسب نشان می‌دهد (صدرقاین و همکاران، ۱۳۸۹). میزان شدت نور و حاصلخیزی خاک تأثیر اساسی

در بارآوری و تولید این محصول دارند. رطوبت مناسب برای خاک مزارع فلفل ۷۰-۶۰ درصد است. روش کاشت فلفل در اغلب مناطق دنیا و همچنین در کشور ما به صورت نشایی است (گلدبرگ و شمویل، ۱۹۷۱ - هندریکس و وایرنجا، ۱۹۹۰ - اسمایسترال، ۱۹۹۴ - وین، ۱۹۹۷).

سطح زیر کشت فلفل در ایران به طور دقیق مشخص نیست، به جهت آنکه به طور پراکنده و در سطوح کوچک در کنار دیگرزراعت‌های کشاورزان کشت می‌شود. بیشترین تمرکز کشت فلفل در شهرستان شاهرود در روستاهای فرومد و بیارجمند با سطح زیر کشت در حدود ۶۰۰ هکتار می‌باشد (امتی، ۱۳۷۴).

برستین و فرانکوئین، ۱۹۷۳ در تحقیقی سه روش آبیاری قطره ای، سطحی (حوضچه ای) و بارانی با استفاده از آب شور را روی محصول فلفل دلمه ای با یکدیگر مقایسه نمودند. در آزمایش های اول از آب با شوری کم (۴۵۰ میلی گرم نمک در لیتر) استفاده شد و عملکرد محصول در روش قطره ای ۵۰ درصد بیشتر از دو روش دیگر بود. در آزمایش های بعدی از آب با شوری ۲۴۵۰ میلی گرم در لیتر برای هر سه روش آبیاری استفاده گردید. در آبیاری قطره ای ۱۴ درصد، آبیاری حوضچه ای ۹۴ درصد و آبیاری بارانی ۵۴ درصد کاهش محصول مشاهده شد. زمانی که دور آبیاری افزایش داده شد، کاهش محصول در آبیاری بارانی و حوضچه ای به ترتیب ۱۸ تا ۵۹ درصد بود و آب مورد نیاز در روش قطره ای حدود یک سوم کمتر از دو روش دیگر بود. (صدرقاین و همکاران، ۲۰۱۱) روش آبیاری قطره ای با نوار های آبدبه تیپ با تامین ۱۰۰ درصد نیاز آبی قابل توجه به کشاورزان جهت زراعت فلفل می‌باشد.



# فصل سوم

## روش تحقیق

## مشخصات کلی پروژه

در تحقیق حاضر حرکت پتاسیم به عنوان یکی از عناصر مهم مورد نیاز گیاه به روش مدل‌سازی در نظر گرفته شده است و در کلیه مراحل انجام تحقیق از شیوه‌های مدل‌سازی جدید مربوط به حرکت این عناصر از اعماق مختلف خاک بهره گرفته شد. برای بررسی نحوه حرکت این عنصر در خاک لازم است ابتدا مقدار دقیق نیاز گیاه انتخابی به این عنصر تعیین شود و سپس برنامه توزیع زمانی آن در یک فصل زراعی تدوین گردد و بر مبنای برنامه ارائه شده نمونه‌برداری و نحوه تجزیه و تحلیل نمونه‌های خاک تعیین شود. سپس در مرحله ی بعد شبیه‌سازی حرکت این عنصر به اعماق خاک در شرایط مختلف توسط مدل انتخابی صورت می‌گیرد.

## روش انجام تحقیق

این پایان نامه عمدتاً جهت ارزیابی داده‌های مرتبط با حرکت پتاسیم از اعماق مختلف در یک سیستم کود آبیاری با کشت ردیفی گیاه فلفل سبز در نظر گرفته شده است لذا نمونه‌های خاک از اعماق مختلف ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ سانتی متری سطح خاک و جهت آنالیز برخی خواص فیزیکی و شیمیایی در آزمایشگاه مورد بررسی قرار می‌گیرد. با توجه به نتایج حاصل از آزمایشات خواص فیزیکی و شیمیایی و همچنین آنالیزهای میزان رطوبت و پتاسیم می‌توان از مدل کامپیوتری پیشرفته HYDRUS-1D، HYDRUS-2D استفاده نمود. این دو مدل به دو روش مستقیم و معکوس حرکت آب و املاح را از اعماق مختلف خاک شبیه سازی می‌کنند.

ابتدا بر روی خاک محل آزمایش به عنوان خاک پایه مدل‌ها اجرا و سپس با توجه به قابلیت مدل‌ها جهت شبیه سازی دو پارامتر مهم آب و پتاسیم و در حالات و شرایط متفاوت برای خاک‌های مختلف این عملیات ادامه خواهد یافت. یکی از موارد مهم در این تحقیق تعیین بهترین روش کود آبیاری برای گیاه فلفل سبز با توجه به شرایط منطقه ای می‌باشد. در این راستا استراتژی‌های مختلف کود دهی با مدل‌های یاد شده آزمایش می‌شود و این مدل‌ها به صورت مختلف و با کلیه داده‌های دوران رشد گیاه

که معمولاً به صورت ماهانه تهیه گردیده است اجرا و نتایج مرتبط به روند حرکت رطوبت و پتاسیم در لحظات و مکان‌های مختلف در محیط آزمایش بدست می‌آید.

کلیه جداول مربوط به دوره رویشی گیاه فلفل سبز اعم از جداول مربوط به آب، خاک و گیاه و سایر جداول باید مورد ارزیابی قرار گیرند. سپس نقشه محل اجرا طرح در فرمت مناسب ترسیم گردد (ترسیم نقشه توسط نرم افزارهای مربوطه ارجعیت دارد).

مختصری از مشخصات مربوط به پروژه انجام یافته که عملیات مدل سازی و شبیه سازی در مدل انتخاب شده بر مبنای آنها تنظیم خواهد شد به شرح زیر می‌باشد:

### ۱-۳ الف: موقعیت جغرافیایی محل اجرا طرح

این طرح در یکی از زمین‌های مرکز آموزشی کشاورزی بسطام شاهرود در سال ۱۳۸۶ و با کشت گیاه فلفل سبز انجام گرفت. این مرکز 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 قرار دارد.

### ۲-۳ ب: اقلیم منطقه

اقلیم منطقه مورد نظر نیمه خشک با متوسط بارندگی ۱۴۰ میلی متر و متوسط درجه حرارت ۱۴/۴ و حداقلی ۱۴- و حداکثری ۴۲ درجه سانتی گراد می‌باشد همچنین دارای تابستان‌های گرم و زمستان‌های سرد است.

### ۳-۳ ج: نقشه سایت

شکل ۱-۳ نقشه محل اجرا پروژه را نشان می‌دهد. تصویر ۱-۳ مربوط به عکس ماهواره ای پروژه می‌باشد.



تصویر ۱-۳ : عکس ماهواره ای منطقه

## مشخصات طرح

در این تحقیق یک طرح کاملاً تصادفی در نظر گرفته شده بود. علت انتخاب این طرح این بود که محل طرح تسطیح گردیده و آزمایشات مربوطه حاکی از یکنواخت بودن خاک کرت های مختلف محل بود از طرف دیگر به دلیل دستیابی به هدف اصلی این تحقیق (بررسی حرکت آب و املاح از دیدگاه مدل سازی) لذا در این تحقیق بحث نوع طرح آزمایشی اهمیت ندارد و این انتخاب صرفاً فیزیکی ظاهری طرح را مشخص می نماید. تیمارهای در نظر گرفته شده در این طرح عبارت بود از:

1- $T_1$  : توزیع مقدار کامل نیتروژن مورد نیاز گیاه به صورت کود آبیاری

2- $T_2$ : توزیع ۸۰ درصد نیتروژن مورد نیاز گیاه به صورت کود آبیاری

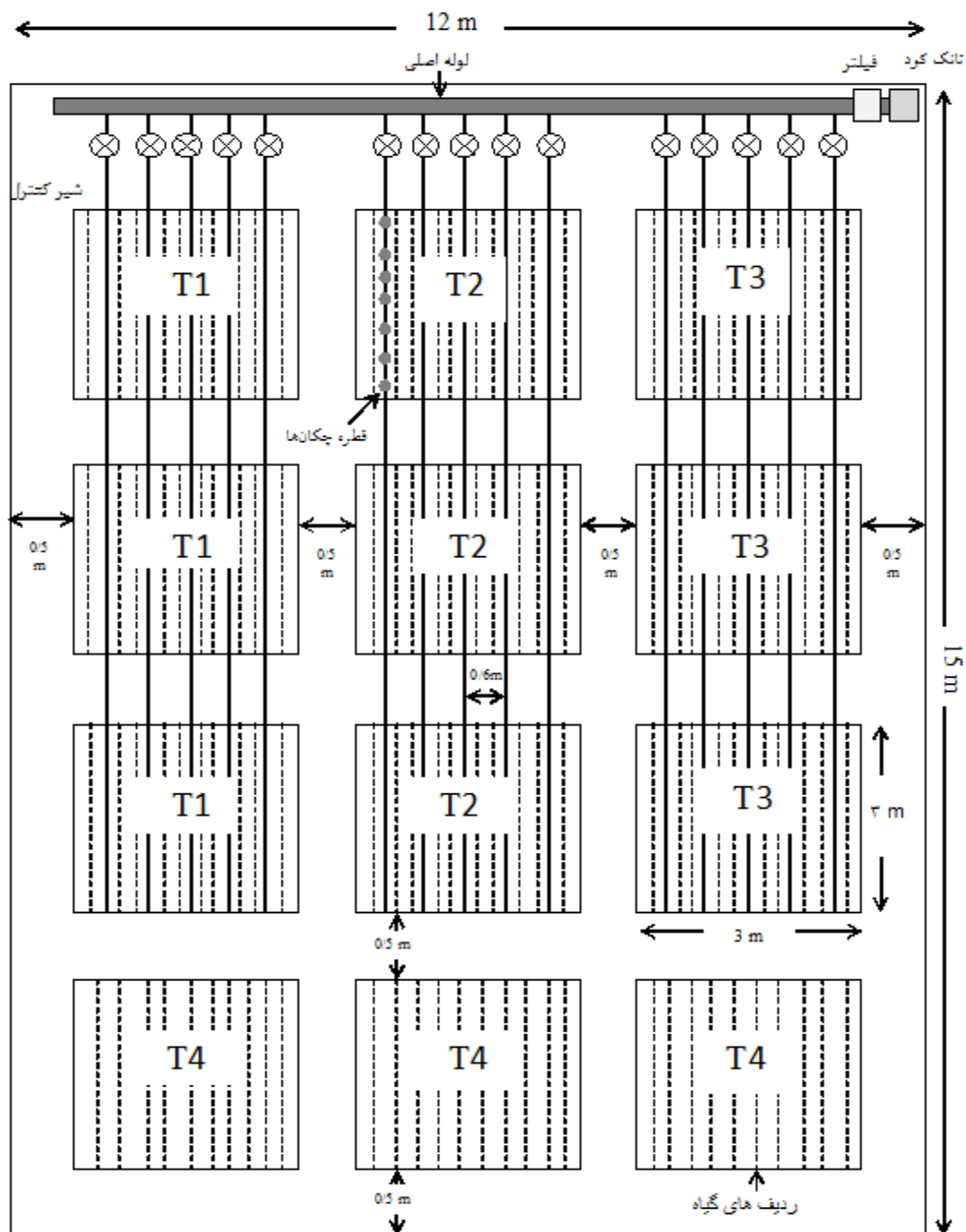
3- $T_3$ : توزیع ۶۰ درصد نیتروژن مورد نیاز گیاه به صورت کود آبیاری

4- $T_4$ : توزیع کامل نیتروژن مورد نیاز گیاه در آبیاری کرتی به صورت دستی

هر تیمار دارای سه تکرار بود.

### ۳-۴ د: مشخصات سیستم کود آبیاری

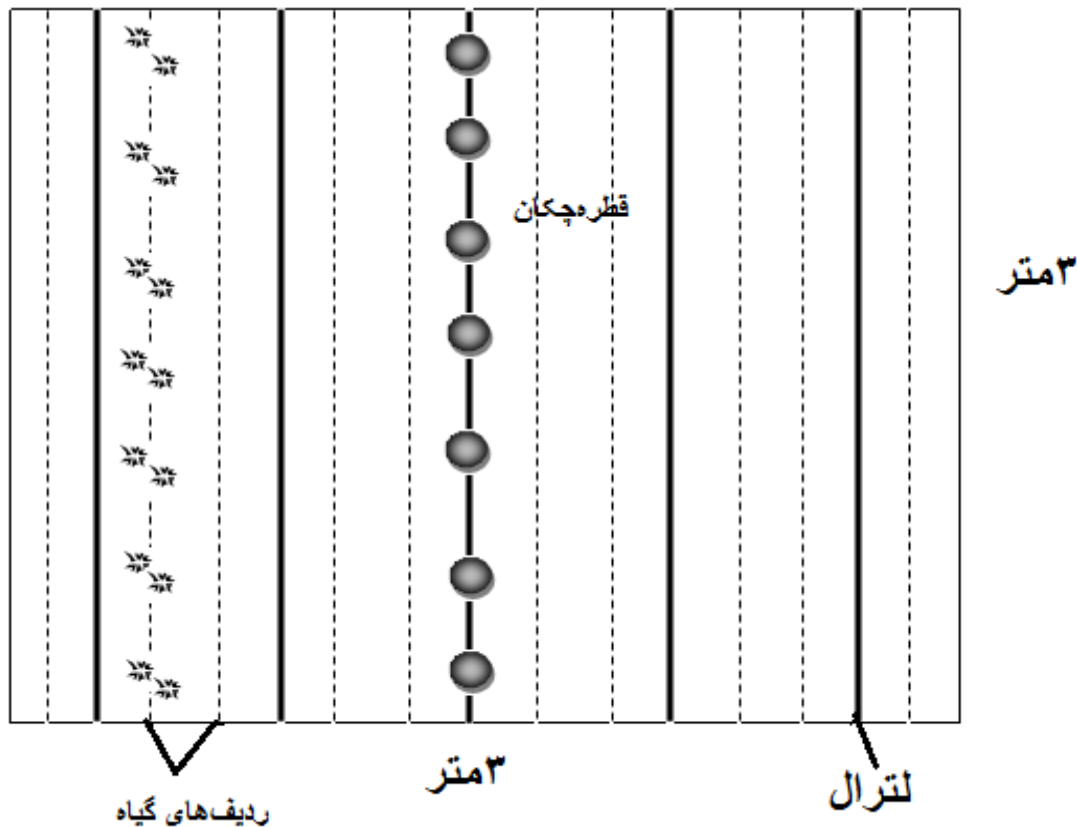
کود آبیاری یعنی توزیع مواد غذایی مورد نیاز گیاه از طریق آبیاری قطره ای. برای رسیدن به این هدف لازم بود یک سیستم آبیاری قطره ای کامل طراحی و اجرا گردد که در این طرح سیستم مذکور پیاده گردید. در محل طرح ۱۲ کرت به ابعاد ۳ در ۳ متر مربع ایجاد که سطح خالص کرت ها ۱۰۸ متر مربع بود. بین دو کرت متوالی یک فاصله ۵۰ سانتی متری وجود داشت. سه کرت از ۱۲ کرت فوق مخصوص آبیاری کرتی و ۹ کرت دیگر مربوط به سیستم کود آبیاری بود. این سیستم مجهز به دستگاه تانک کود بود که جهت محلول سازی مواد کودی در زمان های در نظر گرفته شده از آن بهره برداری گردد. این سیستم از قسمت فیلتر شروع می شود و آب خروجی از تانک کود پس از عبور از فیلتر مخصوص وارد لوله اصلی و سپس به لترال ها می رسد و از طریق قطره چکان های مربوطه توزیع می گردید.



شکل (۳-۱): نقشه محل اجرا پروژه

بر روی هر لترال عبوری از داخل کرت ها شیر های کنترل کننده نصب گردید و در مواقع ضروری از آن ها استفاده می شود. هر لترال عبوری از کرت ها دارای ۷ قطره چکان با آبدهی ۴ لیتر بر ساعت بود. جمعا هر کرت دارای ۵ لترال و ۳۵ قطره چکان و دارای فاصله نیم متری با کرت های دیگر بود. قطر

لوله های لترال ۱ سانتی متر بود و تنظیم فواصل قطره چکان با تعداد بوته های کاشته شده در هر ردیف مطابقت داشت. شکل (۲-۳) یکی از کرت های آزمایش را نشان می دهد.



شکل (۲-۳): یکی از کرت های سیستم کودآبیاری با لترالها و قطره چکانهای مربوطه

### ۳-۵ اجرا برنامه کود آبیاری

در این پروژه نحوه اجرا کود آبیاری بر اساس جداول برنامه ریزی آبیاری و توزیع مواد مغذی صورت گرفته بود. به طوریکه آبیاری تمامی کرت ها هر ۴۸ ساعت یکبار انجام می گرفت. آب توزیع شده در کرت ها کاملا کنترل شده و دارای توزیع یکنواخت و بر اساس نیاز آبی گیاه در ماه های مختلف زراعی بود. توزیع مواد مغذی نیز بر اساس جدول برنامه کودی به صورت هفتگی انجام می گرفت. آب مورد نیاز گیاه فلفل سبز بر اساس آمار تشتک تبخیر به مدت ۵ سال و برآورد میانگین آن صورت گرفت. جداول زیر آمار تبخیر منطقه را در سال های مختلف در طی ۵ سال نشان می دهد.

لازم به یادآوری است از آنجا که نرم افزار های آنالیز کننده این تحقیق یک مدل شبیه ساز می باشد آمار تبخیر و تعرق منطقه را به صورت روزانه نیاز دارد. لذا مقدار آب مورد نیاز گیاه در طول فصل رشد به صورت روزانه برآورد گردیده است. از طرفی به دلیل تعیین دور آبیاری کرت ها به صورت ۴۸ ساعت یکبار لذا لازم بود آب مورد نیاز گیاه به صورت روزانه تعیین گردد. تعیین اب مورد نیاز گیاه به صورت روزانه این حسن را دارد که دقیق ترین مقدار آن بر اساس نیاز روزانه گیاه تخمین زده شده و در اختیار گیاه قرار می گیرد.

جداول (۳-۱) مقادیر تشتک تبخیر ماه فروردین در ۵ سال و متوسط آن (میلی متر)

روز	(80)	(81)	(82)	(83)	(84)	متوسط تبخیر (میلی متر)
1	3,8	0	5,7	3,7	6,7	3,98
2	4,7	0	5,8	1,6	5,3	3,48
3	6,3	3,5	2,5	2,2	2,5	3,40
4	4	3,5	4,6	3	3,6	3,74
5	4,9	3,6	4,3	4	3,8	4,12
6	2	3,5	3,6	4,2	3,8	3,42
7	0,6	5,8	2,7	4,4	0,0	2,70
8	4,7	4,1	4,6	4,5	4,8	4,54
9	4	4,3	4,2	5,4	4,1	4,40
10	5,2	4,4	4,1	6,3	4,1	4,82
11	5,4	3,9	0	5,2	5,0	3,88
12	5,4	3,6	3,3	6,2	4,2	4,52
13	5,4	6,2	2,4	5,6	6,5	5,22
14	4,6	1,7	4,4	3,2	7,1	4,18
15	6	0,3	4,5	3,4	5,1	3,86
16	7,6	1,9	6	2,9	5,6	4,80
17	5,2	2,4	7,1	4	4,7	4,68
18	7	6,6	6,5	1,8	5,2	5,42
19	7	5,5	4,1	3,2	3,2	4,58
20	7,7	6,5	4,6	3,8	5,3	5,58
21	6,6	7,4	5,1	4	4,4	5,50
22	7,8	1,2	6,4	5,7	5,6	5,34
23	6,4	0,7	3,9	5,7	4,2	4,18
24	8	3	4,6	6,8	4,2	5,32
25	6	0,8	2,8	6,6	5,0	4,24
26	5,4	2,4	2,3	5,6	5,7	4,28
27	7	4,3	2,7	5,7	6,5	5,24
28	7	3,2	1,8	7,3	6,7	5,20
29	6,7	2,6	1,2	7,7	4,2	4,48
30	6,6	5,7	2,2	2,8	4,2	4,30
31	6	8,6	1,5	4,4	6,4	5,38



جدول (۲-۳) مقادیر تشتک تبخیر ماه اردیبهشت در ۵ سال و متوسط آن (میلی متر)

روز	(80)	(81)	(82)	(83)	(84)	متوسط تبخیر (میلی متر)
1	7,9	1,3	3	4,6	7,9	4,94
2	7,3	4,8	1,7	2,5	8,3	4,92
3	7,4	4,2	2,5	6,0	8,4	5,70
4	6,4	3,8	3,2	5,3	7,0	5,14
5	6,2	4,4	5,4	6,6	9,2	6,36
6	8	5,5	5,7	5,5	9,1	6,76
7	9,1	6,2	6,5	4,9	9,4	7,22
8	6,9	3,7	6,0	6,2	6,4	5,84
9	7,6	8,1	8,1	2,2	8,2	6,82
10	6,3	8,6	4,3	6,3	7,0	6,50
11	5,4	6	5,9	5,8	6,9	6,00
12	9,8	5,4	4,1	6,2	6,5	6,40
13	8	6,3	4,6	7,2	5,4	6,28
14	5,2	6,2	5,7	7,8	6,3	6,24
15	5,6	5,7	7,7	8,2	7,4	6,92
16	7,8	3,1	5,4	8,0	5,7	6,00
17	6,5	8,2	6,8	3,9	5,6	6,20
18	8	6,2	8,4	5	6,3	6,78
19	8,8	9,2	6,7	6,3	8,8	7,96
20	10	6,4	5,1	6,9	6,5	6,98
21	10,5	6,4	7	8,8	7,8	8,10
22	8,6	9,4	5,7	9	8,7	8,28
23	8,3	7,1	5,2	6,7	8,2	7,10
24	10,5	5,7	3,7	9,7	5,5	7,02
25	9,7	5	6	6,2	5,3	6,42
26	8,9	7,8	6,4	9	6,3	7,68
27	9,8	8,8	7,6	8,2	5,9	8,06
28	7,3	6,1	7,7	9,6	7,4	7,62
29	9,8	6,8	7,2	8,5	5,1	7,48
30	7,9	8,6	6,5	6,7	5,4	7,02
31	9,4	8,6	5	8,7	7,6	7,86

جدول (۳-۳) مقادیر تشتک تبخیر در ماه خرداد در ۵ سال و متوسط آن (میلی متر)

روز	(80)	(81)	(82)	(83)	(84)	متوسط تبخیر (میلیمتر)
1	10	7,1	6,5	11,2	6,8	8,32
2	8,8	7,7	6,6	8,8	8,1	8,00
3	7,5	8,3	9,8	8,3	8,1	8,40
4	9,6	7,6	5	7,9	7,2	7,46
5	10,3	9,4	7,5	4,8	6,8	7,76
6	5,5	7,6	7,4	6,7	6,6	6,76
7	8,8	7,9	5,7	8,5	7,2	7,62
8	9,2	8	5	10,4	7,0	7,92
9	10,2	8,8	2,5	9,3	6,5	7,46
10	12,5	10,1	5,1	5,8	4,9	7,68
11	10,2	9	6,9	6,4	8,5	8,20
12	8,9	7,6	6,9	7,6	8,3	7,86
13	10	10,4	9,4	7,5	6,8	8,82
14	12,6	8,6	7,5	8	9,6	9,26
15	11	10	8,7	10	10,8	10,10
16	10,8	7	8,5	9,8	9,2	9,06
17	10,5	10,2	8,9	10,	9,8	9,90
18	11,2	12	6,6	8,2	9,7	9,54
19	10,3	9,2	7,6	9,4	11,5	9,60
20	10,1	7	9,6	11,3	8,5	9,30
21	10,2	8	7,8	10,5	8,8	9,06
22	9,2	9,4	8,8	9,4	9,4	9,18
23	9,2	9,5	7,7	10,9	10,5	9,56
24	8,1	9,9	9,8	9,8	9,6	9,44
25	8,9	9,5	9,7	10,6	9,8	9,70
26	10,6	11	7,4	10	9,8	9,76
27	9,2	9,4	7,7	9,7	10,2	9,24
28	10,5	11	8,3	12,2	9,6	10,30
29	12,6	9,5	10	12,2	10,0	10,86
30	10	11	10,7	12,7	8,8	10,64
31	13	11,2	9	10	11,0	10,84

جدول (۳-۴) مقادیر تشتک تبخیر ماه تیر در ۵ سال و متوسط آن (میلی متر)

متوسط تبخیر (میلی متر)	(84)	(83)	(82)	(81)	(80)	روز
10,06	9,1	9,5	8	11,3	12,4	1
9,44	9,0	13,3	8	7	9,9	2
9,38	10,6	9,	7,2	10	10	3
10,72	11,6	12,6	9,7	9,5	10,2	4
11,08	9,1	14	12,2	10,7	9,4	5
10,48	8,1	15,2	7,8	9,5	11,8	6
11,70	10,0	14,8	9,7	10,8	13,2	7
11,10	10,1	10,3	11,9	9,8	13,4	8
10,58	8,9	9,6	11,3	10,3	12,8	9
10,66	11,1	11,2	9,8	8,8	12,4	10
10,40	11,8	11,9	8,5	10,4	9,4	11
9,54	12,2	8,7	8,7	9,1	9	12
10,88	11,7	11	10,8	10,8	10,1	13
10,58	9,4	9,5	11,1	11,7	11,2	14
10,26	11,2	9,4	8,5	11,2	11	15
11,46	13,5	9,2	10,9	12,1	11,6	16
10,76	12,2	8,8	10,7	10,3	11,8	17
10,56	10,0	10,	11	10,2	11,5	18
10,02	10,3	9,4	9,4	9	12	19
11,04	13,0	9,3	9,8	9,3	13,8	20
9,92	10,1	5,	10,2	11,8	12,4	21
9,86	9,8	3	12	12,5	12	22
10,08	10,8	6,2	10,5	12,1	10,8	23
10,90	15,6	4,4	11,9	11,2	11,4	24
10,50	9,4	9,	9,8	12,8	11,4	25
10,10	8,6	9,6	9,5	12,6	10,2	26
9,72	9,7	11,2	10,3	10	7,4	27
11,30	13,0	15,4	12,8	9,3	6	28
10,14	7,9	12,8	11,4	13,2	5,4	29
9,64	6,6	11,9	9,6	9,3	10,8	30
9,98	10,3	11,2	10	6,8	11,6	31

جدول (۳-۵) مقادیر تشتک تبخیر ماه مرداد در ۵ سال و متوسط آن (میلی متر)

روز	(80)	(81)	(82)	(83)	(84)	متوسط تبخیر (میلی متر)
1	10,3	7	8,6	9,	11,0	9,20
2	11,3	8,2	9,2	9,5	9,9	9,62
3	10,3	8,7	9,3	9,6	10,4	9,66
4	12	12	9,3	9,9	10,6	10,76
5	12,4	10,4	12,5	11	16,2	12,50
6	13	9,2	12,1	9,3	11,4	11,00
7	13	10,6	10,6	11,7	11,7	11,52
8	11,1	10,2	12,1	10,4	12,2	11,20
9	10,2	10,8	11,8	9	10,5	10,46
10	11,2	10,6	11,2	9,6	8,2	10,16
11	9,8	8,4	11,8	9,9	6,2	9,22
12	9,8	9	11,5	10,2	8,6	9,82
13	10,1	9	9,8	9	11,8	9,94
14	10	10,7	8,7	8,8	11,2	9,88
15	8,5	9,8	9	10,6	9,5	9,48
16	6,2	9,3	8,1	11,2	10,4	9,04
17	10,5	12	9,9	10,3	12,4	11,02
18	8,8	11,2	9,5	9,6	9,7	9,76
19	7,5	10,2	10,6	10,	8,8	9,44
20	6,4	9,6	12,1	9,8	9,2	9,42
21	7	10	12	9,7	12,8	10,30
22	8,5	7,9	12,7	8,9	8,1	9,22
23	9,2	9,8	9,8	9,7	4,0	8,50
24	7	6,7	8,6	10,5	11,2	8,80
25	9,7	7	11,2	11	13,7	10,52
26	9,3	12,6	11,3	10,2	9,5	10,58
27	7,8	10,8	10	11,5	10,3	10,08
28	7,4	10	9	12,2	10,2	9,76
29	9	9,5	11,1	11,2	12,4	10,64
30	8,2	11,3	8,8	9,6	7,2	9,02
31	9,5	11,1	6,4	11,3	8,0	9,26

جدول (۳-۶) مقادیر تبخیر ماه شهریور در ۵ سال و متوسط آن (میلی متر)

روز	(80)	(81)	(82)	(83)	(84)	متوسط تبخیر (میلیمتر)
1	11,8	7,6	6	9,9	8,4	8,74
2	9,5	10,8	6,1	9,5	10,2	9,22
3	6,8	9,1	9,9	8,8	8,3	8,58
4	9,7	10,2	8,1	8	6,5	8,50
5	7,5	11,2	6,8	8,2	5,4	7,82
6	7,4	10,7	11,2	11,3	9,0	9,92
7	8,2	9,5	11,9	10,6	6,0	9,24
8	9,6	10,8	8,7	9,8	7,1	9,20
9	7,5	9,8	11	10,5	7,2	9,20
10	10,8	10,3	9,5	11,7	3,9	9,24
11	9	8,8	9,4	9,8	5,1	8,42
12	6	10,4	9,2	9,18	8,8	8,72
13	6,5	9,1	8,8	8,85	8,3	8,31
14	7,2	10,8	10,1	10,3	6,5	8,98
15	8,3	11,7	9,4	8,9	6,3	8,92
16	11,6	11,2	9,3	9,4	6,2	9,54
17	9,6	12,1	5,1	7,6	7,2	8,32
18	7,5	10,3	3	7,6	8,9	7,46
19	6,2	10,2	6,2	7,84	9,4	7,97
20	5,3	9	4,4	9,85	9,5	7,61
21	6	9,3	9,1	8,11	8,6	8,22
22	4,3	11,8	9,6	7,95	9,5	8,63
23	8,6	12,5	11,2	10,33	6,6	9,85
24	5,7	12,1	10,6	11,8	5,5	9,14
25	4,6	9,11	9,8	10,8	6,8	8,22
26	6,3	7,8	11,9	9,87	4,6	8,09
27	7,3	10,3	11,2	11,7	4,9	9,08
28	6,5	10	8,7	8,62	7,0	8,16
29	4,25	9,3	9,6	9,58	8,2	8,19
30	6,3	13,2	8,4	7,87	9,1	8,97
31	5,1	9,3	7,6	6,8	7,4	7,26

در تعیین آب مورد نیاز از روش تشتک تبخیر استفاده شده است که معادله مربوطه به صورت زیر می باشد:

$$Etc = Kp \times Kc \times T \quad \text{فرمول (۳-۱)}$$

در این رابطه ETC برابر با تبخیر و تعرق منطقه

Kp: ضریب تشتک تبخیر

Kc: ضریب گیاهی

T: تبخیر مستقیم از سطح تشتک

مقدار  $K_p$  بر اساس بررسی های به عمل آمده از روی منابع موجود برای منطقه شاهرود ۶۰ درصد در نظر گرفته شده است. مقدار  $K_c$  بر اساس نشریه ۵۶ از سری نشریه های FAO و بر اساس جداول موجود و با تقسیم فصل رشد به شش قسمت (۰/۱، ۰/۴، ۰/۷، ۱، ۰/۷، ۰/۴) تعیین گردید (ضریب ۰/۲ مخصوص ماه فروردین و ۰/۴ مرتبط به ماه اردیبهشت و به ترتیب ضرایب مربوط به ماههای خرداد، تیر، مرداد و شهریور می باشد).

جدول (۷-۳) مقادیر محاسبه شده Etc و جدول (۸-۳) آب مورد نیاز گیاه فلفل بر اساس سطح زیر کشت سیستم کود آبیاری و آبیاری کرتی نشان می دهد. آب مورد نیاز گیاه را بر حسب متر مکعب به ازای نوع سیستم اعم از قطره ای و کرتی از روی جدول تبخیر و تعرق محاسبه گردیده است.

جدول ۷-۳ بر آورد تبخیر و تعرق (Etc) فلفل سبز بر اساس داده های تشتک تبخیر (میلیمتر در روز)

روز	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
1	0.71	1.66	3.02	5.92	7.23	3.98
2	0.60	1.30	3.20	5.40	6.79	4.72
3	0.42	1.58	3.47	5.54	6.81	4.66
4	0.52	1.70	3.53	5.31	6.38	3.89
5	0.57	1.92	3.47	4.95	7.11	3.84
6	0.50	1.77	3.44	5.57	6.48	3.86
7	0.47	1.67	3.63	6.65	7.33	3.44
8	0.55	1.54	4.21	5.84	6.83	3.91
9	0.53	1.87	3.66	5.35	5.34	4.03
10	0.60	1.58	3.20	5.21	6.59	3.60
11	0.58	1.85	3.73	5.63	6.82	3.52
12	0.69	1.84	3.38	6.26	6.54	3.78
13	0.59	1.72	4.14	6.18	6.83	4.04
14	0.60	1.69	3.84	5.80	6.91	3.59
15	0.56	1.69	4.15	6.30	6.74	3.39
16	0.55	1.65	3.78	6.28	6.44	3.18
17	0.64	1.77	3.90	6.32	6.97	3.37
18	0.59	1.81	4.47	6.06	6.28	3.40
19	0.52	2.00	4.25	6.02	6.63	3.27
20	0.51	1.82	4.41	5.94	6.59	3.17
21	0.56	2.07	4.21	5.54	6.95	3.25
22	0.61	2.18	4.13	6.12	6.01	3.37
23	0.64	1.86	4.43	5.98	5.52	3.25
24	0.55	1.75	4.31	6.18	6.69	3.00
25	0.72	1.59	4.51	5.59	6.62	3.01
26	0.46	1.66	4.71	5.91	6.57	2.67
27	0.65	1.80	4.88	6.21	5.86	2.66
28	0.69	1.77	4.50	6.41	5.42	2.47
29	0.66	1.80	4.52	6.18	6.61	2.68
30	0.74	2.15	4.39	5.72	5.92	2.72
31	0.83	2.08	4.59	6.26	5.34	2.79
<b>جمع ماه</b>	<b>18.43</b>	<b>55.17</b>	<b>124.05</b>	<b>182.62</b>	<b>201.13</b>	<b>106.49</b>

جدول ۳-۸ الف) بر آورد آب مورد نیاز فلفل سبز بر اساس سطح زیر کشت آبیاری قطره ای (متر مکعب )

روز	فروردین	اوردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
1	0.14	0.32	0.59	1.15	1.40	0.77
2	0.12	0.25	0.62	1.05	1.32	0.91
3	0.08	0.31	0.67	1.08	1.32	0.90
4	0.10	0.33	0.68	1.03	1.24	0.76
5	0.11	0.37	0.67	0.96	1.38	0.74
6	0.10	0.34	0.67	1.08	1.26	0.75
7	0.09	0.32	0.70	1.29	1.42	0.67
8	0.11	0.30	0.82	1.13	1.32	0.76
9	0.10	0.36	0.71	1.04	1.03	0.78
10	0.12	0.31	0.62	1.01	1.28	0.70
11	0.11	0.36	0.72	1.09	1.32	0.68
12	0.13	0.36	0.66	1.21	1.27	0.73
13	0.12	0.33	0.80	1.20	1.32	0.78
14	0.12	0.33	0.74	1.13	1.34	0.70
15	0.11	0.33	0.81	1.22	1.31	0.66
16	0.11	0.32	0.73	1.22	1.25	0.62
17	0.12	0.34	0.76	1.23	1.35	0.65
18	0.12	0.35	0.87	1.18	1.22	0.66
19	0.10	0.39	0.83	1.17	1.29	0.63
20	0.10	0.35	0.86	1.15	1.28	0.61
21	0.11	0.40	0.82	1.08	1.35	0.63
22	0.12	0.42	0.80	1.19	1.17	0.65
23	0.12	0.36	0.86	1.16	1.07	0.63
24	0.11	0.34	0.84	1.20	1.30	0.58
25	0.14	0.31	0.87	1.08	1.29	0.58
26	0.09	0.32	0.91	1.15	1.27	0.52
27	0.13	0.35	0.95	1.20	1.14	0.52
28	0.13	0.34	0.87	1.24	1.05	0.48
29	0.13	0.35	0.88	1.20	1.28	0.52
30	0.14	0.42	0.85	1.11	1.15	0.53
31	0.16	0.40	0.89	1.21	1.03	0.54
جمع ماه	<b>3.58</b>	<b>10.71</b>	<b>24.07</b>	<b>35.43</b>	<b>39.02</b>	<b>20.66</b>

جدول ۳-۸ (ب) بر آورد آب مورد نیاز فلفل سبز بر اساس سطح زیر کشت آبیاری سطحی (متر مکعب)

روز	فروردین	اوردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
1	0.03	0.08	0.15	0.29	0.35	0.19
2	0.03	0.06	0.16	0.26	0.33	0.23
3	0.02	0.08	0.17	0.27	0.33	0.23
4	0.03	0.08	0.17	0.26	0.31	0.19
5	0.03	0.09	0.17	0.24	0.35	0.19
6	0.02	0.09	0.17	0.27	0.32	0.19
7	0.02	0.08	0.18	0.33	0.36	0.17
8	0.03	0.08	0.21	0.29	0.33	0.19
9	0.03	0.09	0.18	0.26	0.26	0.20
10	0.03	0.08	0.16	0.26	0.32	0.18
11	0.03	0.09	0.18	0.28	0.33	0.17
12	0.03	0.09	0.17	0.31	0.32	0.19
13	0.03	0.08	0.20	0.30	0.33	0.20
14	0.03	0.08	0.19	0.28	0.34	0.18
15	0.03	0.08	0.20	0.31	0.33	0.17
16	0.03	0.08	0.19	0.31	0.32	0.16
17	0.03	0.09	0.19	0.31	0.34	0.16
18	0.03	0.09	0.22	0.30	0.31	0.17
19	0.03	0.10	0.21	0.29	0.32	0.16
20	0.03	0.09	0.22	0.29	0.32	0.16
21	0.03	0.10	0.21	0.27	0.34	0.16
22	0.03	0.11	0.20	0.30	0.29	0.16
23	0.03	0.09	0.22	0.29	0.27	0.16
24	0.03	0.09	0.21	0.30	0.33	0.15
25	0.04	0.08	0.22	0.27	0.32	0.15
26	0.02	0.08	0.23	0.29	0.32	0.13
27	0.03	0.09	0.24	0.30	0.29	0.13
28	0.03	0.09	0.22	0.31	0.27	0.12
29	0.03	0.09	0.22	0.30	0.32	0.13
30	0.04	0.11	0.22	0.28	0.29	0.13
31	0.04	0.10	0.23	0.31	0.26	0.14
<b>جمع ماه</b>	<b>0.90</b>	<b>2.70</b>	<b>6.08</b>	<b>8.95</b>	<b>9.86</b>	<b>5.22</b>



## انتخاب گیاه

گیاه انتخابی در طرح مذکور فلفل سبز *Capsicum annuum*l واریته تهران بود. علت این انتخاب این بود که بر اساس مطالعات موجود این گیاه در محصولات استراتژی مهم کشور و جهان مربوط می‌شود و بر اساس تولیدات گلخانه ای و آزاد محلی از مصرف قابل توجه آب برخوردار می‌باشد و نسبت به سیستم آبیاری قطره ای حساسیت مثبتی نشان می‌دهد.

## برنامه آبیاری

جدول (۳-۹) برنامه آبیاری و مقدار آب توزیع شده را به صورت هفتگی نشان می‌دهد. در این تحقیق هر هفته ۶ روز در نظر گرفته شده است. در هفته ۳ بار آبیاری سطحی صورت گرفته است. اصولاً بین آب مورد نیاز در محیط و آب توزیع شده هماهنگی وجود داشته باشد این جدول نشان می‌دهد که این هماهنگی و تعادل در سیستم آبیاری قطره ای بیشتر بوده است.

جدول (۳-۹) مقدار آب توزیع شده در هر هفته در سیستم آبیاری قطره ای و سطحی

شماره هفته	مدت زمان آبیاری (دقیقه)	مقدار آب توزیع شده در سیستم آبیاری قطره ای (لیتر) ۸۱ متر مربع = سطح زمین	مقدار آب توزیع شده در سیستم آبیاری سطحی (لیتر) ۲۷ متر مربع = سطح زمین
۱	۱۰	۶۳۰	۹۰
۲	۱۰	۶۳۰	۹۰
۳	۱۲	۷۵۶	۱۰۰
۴	۱۲	۷۵۶	۱۲۰
۵	۱۲	۷۵۶	۱۸۰
۶	۱۴	۸۸۲	۳۰۰
۷	۱۴	۸۸۲	۳۵۰
۸	۱۵	۹۴۵	۴۰۰
۹	۱۸	۱۱۳۴	۴۰۰
۱۰	۲۰	۱۲۶۰	۴۵۰
۱۱	۲۵	۱۵۷۵	۶۰۰
۱۲	۳۰	۱۸۹۰	۶۰۰
۱۳	۳۰	۱۸۹۰	۶۵۰
۱۴	۳۰	۱۸۹۰	۷۰۰
۱۵	۳۵	۲۲۰۵	۷۵۰
۱۶	۳۵	۲۲۰۵	۱۱۰۰
۱۷	۳۵	۲۲۰۵	۱۲۰۰
۱۸	۴۰	۲۵۲۰	۱۲۰۰
۱۹	۴۰	۲۵۲۰	۱۲۰۰
۲۰	۴۰	۲۵۲۰	۹۰۰
۲۱	۳۶	۲۲۶۸	۸۰۰
۲۲	۳۴	۲۱۴۲	۸۰۰
۲۳	۳۴	۲۱۴۲	۷۰۰
۲۴	۳۴	۲۱۴۲	۷۵۰
۲۵	۳۴	۲۱۴۲	۵۰۰
۲۶	۳۰	۱۸۹۰	۵۰۰
۲۷	۳۰	۱۸۹۰	۴۵۰
۲۸	۲۵	۱۵۷۵	۴۰۰
۲۹	۲۰	۱۲۶۰	۴۰۰
۳۰	۱۵	۹۴۵	۴۰۰
جمع	۷۶۹	۴۸۴۴۷	۱۷۰۸۰

### برنامه توزیع کود های مغذی

مطالعات منابع متعدد از جمله (سینک و تنپورج ۲۰۰۰) نشان داده که نیاز مواد مغذی گیاه به صورت نیتروژن ۹۰ کیلو گرم بر هکتار، فسفر ۶۰ کیلو گرم بر هکتار و پتاسیم ۷۰ کیلو گرم بر هکتار می باشد. از طرفی برنامه کود آبیاری ایجاب می کرد که کود های مختلف این سه عنصر از نوع حلال در آب

باشد برای این منظور اوره ( $\text{NH}_2 \text{CO NH}_2$ ) منبع اصلی نیتروژن، و اسید فسفریک  $\text{H}_3\text{PO}_4$  به عنوان منبع فسفر کلرور پتاسیم  $\text{KCl}$  منبع پتاسیم در نظر گرفته شد و با توجه به سطح زیر کشت مقادیر کاربردی آنها به صورت زیر تعیین گردید.

اوره (Urea) =  $2/11$  کیلو گرم

اسید فسفریک ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) =  $1/44$  لیتر

کلرور پتاسیم ( $\text{KCl}$ ) =  $1/46$  کیلوگرم

روش توزیع کود های یاد شده در این تحقیق بر اساس میزان آب استفاده گیاه به صورت هفتگی بود. این روش یک متد مهم تلقی گردیده و برای برآورد مقدار کود مورد نیاز گیاه در هر هفته از معالات زیر استفاده گردید.

$$\text{اوره (gr)} = \frac{A \cdot 52 \cdot 100}{46} \quad \text{فرمول (۲-۳)}$$

$$\text{اسید فسفریک (ml)} = \frac{A \cdot 30 \cdot 100 \cdot 2/29}{61 \cdot 1/68} \quad \text{فرمول (۳-۳)}$$

$$\text{کلرور پتاسیم (gr)} = \frac{A \cdot 80 \cdot 100 \cdot 1/2}{62} \quad \text{فرمول (۴-۳)}$$

A = آب مورد نیاز هفتگی گیاه

اگر چنانچه آب مورد نیاز به صورت هفتگی باشد مقدار کود مورد نیاز گیاه در هفته از روی فرمول های فوق با اعمال ضریب ۵۰ درصد بدست خواهد آمد. جدول (۳-۱۰) نشان می دهد که توزیع این کود ها در هفته های مختلف طوری بوده که توزیع کود مربوط به پتاسیم زود تر از کود های دیگر و در مرحله دوم کود فسفر و سپس نیتروژن تا پایان ماه سوم از دوره رشد گیاه به پایان رسیده است.

اوره در سه تیمار اول به صورت ۱۰۰ درصد، ۸۰ درصد و ۶۰ درصد کل مورد نیاز گیاه (تیمار های مربوط به کود آبیاری) و در تیمار چهارم به صورت ۱۰۰ درصد کود مورد نیاز گیاه توزیع گردیده است.

جدول (۳-۱۰) برنامه کود مصرفی سیستم کود آبیاری و آبیاری سطحی

هفته	اوره (گرم)				H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> (ml)	KCl (g)
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>		
۱	۲۵	۲۰	۱۵	۲۵	۶۰	۱۱۱
۲	۲۷/۵	۲۲	۱۶/۵	۲۷/۵	۶۶	۱۲۲/۱
۳	۳۰	۲۴	۱۸	۳۰	۷۲	۱۳۳/۲
۴	۳۲/۵	۲۶	۱۹/۵	۳۲/۵	۷۸	۱۴۴/۳
۵	۳۵	۲۸	۲۱	۳۵	۸۴	۱۵۵/۴
۶	۳۷/۵	۳۰	۲۲/۵	۳۷/۵	۹۰	۱۶۶/۵
۷	۴۰	۳۲	۲۴	۴۰	۹۶	۱۷۷/۶
۸	۴۲/۵	۳۴	۲۵/۵	۴۲/۵	۱۰۲	۱۸۸/۷
۹	۴۵	۳۶	۲۷	۴۵	۱۰۸	۱۹۹/۸
۱۰	۴۷/۵	۳۸	۲۸/۵	۴۷/۵	۱۱۴	۲۱۰/۹
۱۱	۵۰	۴۰	۳۰	۵۰	۱۲۰	-
۱۲	۵۲/۵	۴۲	۳۱/۵	۵۲/۵	۱۲۶	-
۱۳	۵۵	۴۴	۳۳	۵۵	۱۳۲	-
۱۴	۵۷/۵	۴۶	۳۴/۵	۵۷/۵	-	-
۱۵	۶۰	۴۸	۳۶	۶۰	-	-
۱۶	۶۲/۵	۵۰	۳۷/۵	۶۲/۵	-	-
جمع	۷۰۰	۵۶۰	۴۲۰	۷۰۰	۱۲۴۸	۱۴۶۰

### نمونه برداری و تجزیه نمونه ها

نمونه‌های خاک از اعماق مختلف ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ سانتی متری سطح خاک و جهت آنالیز برخی خواص فیزیکی و شیمیایی در آزمایشگاه مورد بررسی قرار گرفت. جدول (۳-۱۱) خصوصیات فیزیکی خاک محل آزمایش را بیان می‌کند که بر این اساس بافت خاک پس از عبور از الک ۲ میلی‌متری به روش هیدرومتری بایکس تعیین گردید. جرم مخصوص ظاهری به روش وزنی، ضریب نفوذپذیری

توسط دستگاه گلف، حد ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دایم توسط دستگاه صفحات فشاری اندازه‌گیری شد. کربن آلی به روش والکی بلاک اندازه‌گیری شد (نلسون و سامرز، ۱۹۸۲). این آزمایشات قبل از شروع فصل کشت در این تحقیق انجام گرفت و داده‌های مربوطه ثبت گردید.

جدول (۱۱-۳) خصوصیات فیزیکی خاک محل تحقیق

عمق (cm)	درصد ذرات خاک (%)			بافت خاک	جرم مخصوص (g/cm <sup>3</sup> )	ضریب نفوذ پذیری (cm/h)	FC (درصد حجمی)	PWP (درصد حجمی)
	رس	سیلت	شن					
۰-۱۵	۹	۲۸	۶۳	لوم شنی	۱/۵۸	۱/۳۱	۱۷/۱۱	۷/۴۹
۱۵-۳۰	۱۲	۱۷	۷۱	لوم شنی	۱/۶۱	۱/۱۵	۲۳/۲۷	۹/۱۳
۳۰-۴۵	۱۰	۲۱	۶۹	لوم شنی	۱/۵۷	۱/۱۱	۲۴/۱۱	۹/۳۴
۴۵-۶۰	۱۱	۱۹	۷۰	لوم شنی	۱/۶۰	۱/۰۹	۲۵/۳۶	۱۰/۳۵

مشخصات شیمیایی خاک محل آزمایش نیز در جدول (۱۲-۳) ذکر شده است. در این طرح لازم بود که قبل از شروع فصل کشت و انجام مراحل اصلی تحقیق از کم و کیف مشخصات شیمیایی خاک اطلاعاتی حاصل گردد که این کار نیز همزمان با تعیین مشخصات فیزیکی خاک صورت گرفت. از جمله مشخصات مهم شیمیایی خاک محل این محل تعیین مقدار نیتروژن، فسفر و پتاسیم موجود در خاک بود که اطلاع از مقدار عددی آنها در لایه‌های مختلف خاک برای بخش مدل سازی تحقیق لازم و ضروری بود. مشخصات شیمیایی مورد نظر در آزمایشگاه تعیین و مقدار عددی آن در جدول زیر ذکر شده است.

جدول (۳-۱۲) خصوصیات شیمیایی خاک محل تحقیق

عمق (cm)	pH	Ec (ds/m)	کربن آلی (%)	NO <sub>3</sub> -N (kg/ha)	NH <sub>4</sub> -N (kg/ha)	عناصر موجود (کیلو گرم بر هکتار)		
						نیتروژن	فسفر	پتاسیم
۰-۱۵	۷/۸	۱/۳۹	۰/۴۶	۲۸/۳۰	۳۲/۵۰	۶۵/۳	۲۱	۹۵
۱۵-۳۰	۷/۱	۱/۲۰	۰/۵۹	۳۴/۲۶	۲۶/۱۷	۶۱/۵۰	۱۹	۷۴
۳۰-۴۵	۷/۳	۰/۶۴	۰/۶۰	۲۵/۳۴	۲۱/۳۹	۵۴/۸۰	۱۱	۶۳
۴۵-۶۰	۷/۵	۰/۵۵	۰/۶۳	۲۷/۸۰	۱۹/۸۷	۵۲/۷۰	۷	۴۵

#### شبیه سازی پتاسیم آبشویی شده

در تحقیق حاضر مقدار پتاسیم آبشویی شده با اجرای چهار روش کود آبیاری در دو نوع خاک لوم شنی و لوم رسی شنی مزرعه برآورد گردید. در روش‌های A و B، کود دهی به صورت هفتگی و به ترتیب ۱۰ دقیقه قبل و بعد از آبیاری انجام شد. روشهای C و D، کوددهی به صورت هر ۴ روز یکبار و در روش C کوددهی ۱۰ دقیقه قبل از آبیاری و در روش D کوددهی ۱۰ دقیقه بعد از آبیاری انجام شد. همچنین مقایسه ای بین روش کود آبیاری و کرتی از نقطه نظر میزان پتاسیم آبشویی شده و حجم آب زهکشی صورت گرفت.

# فصل چهارم

## یافته‌های تحقیق

## مقدمه

نتایج حاصل از تحقیق شامل قسمت های زیر می باشد:

- ۱- عملکرد، بازده مصرف آب و پتاسیم
  - ۲- مدلسازی
  - ۳- شبیه سازی های مختلف حرکت آب و پتاسیم
- در این فصل به بررسی موضوعات ذکر شده می پردازیم.

### ۴-۱ عملکرد، بازده مصرف آب و پتاسیم

جدول ۴-۱ مقادیر عملکرد، آب مصرفی، بازده مصرف آب، نیتروژن توزیع شده و پتاسیم توزیع و جذب شده را نشان می دهد.

#### ۴-۱-۱ عملکرد محصول

با توجه به مقادیر عملکرد بر حسب تن برهکتار ذکر شده در جدول متوسط عملکرد فلفل سبز در سه تیمار اول یعنی سیستم کودآبیاری ۴۷/۱۳ تن بر هکتار در حالیکه در تیمار چهارم یعنی آبیاری سطحی میزان عملکرد ۳۱/۳ تن برهکتار بوده است.

آنالیز درصدی این جدول نشان می دهد که سیستم کودآبیاری از نظر عملکرد نسبت به آبیاری سطحی ۳۳/۶ درصد افزایش عملکرد داشته است.

همچنین نتایج ذکر شده در جدول نشان می دهد که بیشترین مقدار عملکرد فلفل سبز در تیمار سوم یعنی تیماری که کمترین مقدار نیتروژن را دریافت کرده رخ داده است. که براین اساس تیمار سوم نسبت به آبیاری سطحی ۳۸/۱۴ درصد افزایش عملکرد داشته است. با توجه به جدول زیر آب مصرفی در سه تیمار اول برابر بوده و در تیمار چهارم آب مصرفی بیشتر از سه تیمار اول است در حالیکه میزان متوسط بازده مصرف آب در سه تیمار اول ۷/۲۳ کیلو گرم بر متر مکعب و در مقایسه با تیمار چهارم ۳۰/۴۲ درصد افزایش بازده مصرف آب مشاهده می شود. همچنین در تیمار سوم بیشترین بازده



مصرف آب در مقایسه با تیمار اول و دوم با مقدار آب توزیع شده مساوی رخ داده است. با مقایسه میزان بازده آب مصرفی در آبیاری سطحی نتیجه می‌شود که تیمار سوم ۵۴/۱۹ درصد افزایش بازده در مصرف آب داشته است.

#### ۲-۱-۴ پتاسیم جذب شده

متوسط میزان پتاسیم جذب شده بر حسب کیلو گرم بر هکتار در سه تیمار اول ۵۷/۷ کیلوگرم بر هکتار که در مقایسه با تیمار چهارم ۴۰/۷ درصد افزایش جذب پتاسیم مشاهده می‌گردد. نتیجه بدست آمده دیگر اینکه تیمار سوم نسبت به آبیاری سطحی ۴۱/۱ درصد افزایش جذب پتاسیم داشته است.

#### ۳-۱-۴ بازده مصرف پتاسیم

با توجه به مقادیر ذکر شده بازده مصرف پتاسیم بر حسب کیلو گرم بر کیلوگرم جدول ۴-۱ مقدار ۳۳/۷۴ درصد سه تیمار اول یعنی سیستم کودآبیاری در مقایسه با تیمار چهارم یعنی آبیاری سطحی افزایش بازده مصرف پتاسیم داشته اند. همچنین تیمار سوم ۳۴/۱۴ درصد افزایش بازده مصرف پتاسیم در مقایسه با تیمار چهارم داشته است.

با توجه به نتایج بدست آمده بیشترین عملکرد و بازده مصرف آب و پتاسیم و مقدار پتاسیم جذب شده توسط گیاه در سه تیمار اول یعنی سیستم کودآبیاری در مقایسه با تیمار چهارم یعنی آبیاری سطحی مشاهده گردید. نتایج دیگر بیان می‌دارد که بیشترین مقدار عملکرد و جذب پتاسیم و بازده مصرف آب و پتاسیم در تیمار سوم (با کاربرد ۶۰ درصدی نیتروژن مورد نیاز گیاه به صورت سیستم کودآبیاری) رخ داده است.

جدول ۴-۱ عملکرد بازده مصرف آب و بازده مصرف پتاسیم

تیمار	عملکرد (تن بر هکتار)	مقدار آب مصرفی (میلی متر)	بازده مصرف آب (کیلوگرم بر متر مکعب)	نیترژن توزیع شده (کیلو گرم بر هکتار)	پتاسیم توزیع شده (کیلو گرم بر هکتار)	پتاسیم جذب شده (کیلو گرم بر هکتار)	بازده مصرف پتاسیم (کیلو گرم بر کیلو گرم)
T <sub>۱</sub>	۴۴/۵	۴۶۰/۷	۹/۶۶	۹۰	۶۰	۵۷/۷	۷۴۱/۱۶
T <sub>۲</sub>	۴۶/۳	۴۶۰/۷	۱۰/۰۵	۷۲	۶۰	۵۷/۳	۷۷۱/۶۶
T <sub>۳</sub>	۵۰/۶	۴۶۰/۷	۱۰/۹۸	۵۴	۶۰	۵۸/۱	۸۴۳/۳۳
T <sub>۴</sub>	۳۱/۳	۶۲۲/۷	۵/۰۳	۹۰	۶۰	۳۴/۲۳	۵۲۱/۶۶

جدول ۴-۲ مقادیر توزیع شده و جذب شده پتاسیم را در فصل رشد گیاه (دوره پنج ماهه) نشان می‌دهد. بر اساس مقادیر ذکر شده در جدول متوسط توزیع در سه ماه اول دوره رشد به ترتیب ۱۵، ۲۰، ۲۵ کیلوگرم بر هکتار بوده است که در ماه چهارم و پنجم دوره رشد به دلیل کاهش نیاز گیاه به عنصر غذایی توزیع پتاسیم صورت نگرفته است.

در ماه اول فصل رشد از مقدار ۱۵ کیلوگرم بر هکتار متوسط توزیع ۱۳/۲ کیلو گرم بر هکتار و در ماه سوم از ۲۰ کیلوگرم بر هکتار توزیع شده ۱۸/۶ کیلو گرم بر هکتار پتاسیم را گیاه جذب کرده که حدود ۸۸ درصد از پتاسیم توزیع شده را گیاه جذب کرده است. در ماه سوم این مقدار جذب به ۲۲/۵ می‌رسد که با توجه به مقدار توزیع شده پتاسیم، گیاه ۹۰ درصد از پتاسیم را جذب کرده است. در ماه چهارم و پنجم مقادیر جذب به ۳/۱ و ۰/۶ کیلوگرم بر هکتار می‌رسد.

در سه ماه اول رشد گیاه به دلیل افزایش سوخت و ساز و میوه دهی نیاز به عنصر غذایی افزایش می‌یابد با توجه به اهمیت این موضوع توزیع پتاسیم در طی ۵ ماهه رشد یکسان نبوده که حتی در ماه چهارم و پنجم به دلیل کاهش نیاز گیاه توزیع صورت نگرفته است. از مجموع ۶۰ کیلو گرم بر هکتار پتاسیم توزیع شده در ۵ ماه ۵۸ کیلو گرم بر هکتار پتاسیم توسط گیاه جذب شده است که می‌توان نتیجه گرفت در طول دوره رویشی نیاز گیاه به پتاسیم تامین گشته است.

جدول ۴-۲ مقادیر توزیع و جذب شده پتاسیم در دوره پنج ماهه

مقادیر جذب شده پتاسیم توسط گیاه (kg/ha)	مقادیر متوسط توزیع شده پتاسیم (kg/ha)	فصول رشد
۱۳/۲	۱۵	ماه اول
۱۸/۶	۲۰	ماه دوم
۲۲/۵	۲۵	ماه سوم
۳/۱	—	ماه چهارم
۰/۶	—	ماه پنجم

#### ۲-۴ مدل سازی حرکت آب و املاح در محیط متخلخل

اطلاع از حرکت آب و مواد غذایی در خاک برای طراحی، کاربرد و مدیریت سیستم کود آبیاری ضروری می باشد. در این سیستم آب و مواد غذایی عمدتاً در ناحیه اطراف ریشه گیاه توزیع گردیده و از پخش آنها در کل سطح زمین جلوگیری می شود. در سیستم فوق ناحیه رطوبتی و تمرکز مواد غذایی در لایه های بالایی خاک شکل می گیرد.

در کود آبیاری معمولاً تعداد دفعات آبیاری زیاد است اما عملاً با کنترل آبدهی قطره چکان می توان مقدار آب خروجی را تقلیل داد. اخیراً یک سری معیار های طراحی این سیستم توسعه پیدا نموده اما عمدتاً بدون در نظر گرفتن خواص هیدرولیکی خاک بوده است (کوک و همکاران، ۲۰۰۳).

مدلهای جریان آب و انتقال مواد محلول می توانند حرکت آب و املاح را در محیط متخلخل شبیه سازی نمایند اما انتخاب یک مدل مناسب و تهیه داده های لازم چنین مدلی حائز اهمیت می باشد. اگر چنانچه در این زمینه مدل مناسبی انتخاب شود و بتواند حرکت آب و پتاسیم را تحت سیستم کود آبیاری در شرایط مختلف شبیه سازی نماید نتایج این نوع شبیه سازی ها می تواند در طراحی، کارکرد، مدیریت و توسعه درست این سیستم ها بکار گرفته شود.

#### ۴-۲-۱ انتخاب مدل

تا کنون مدل‌های مختلفی در مورد حل معادله جریان آب و انتقال مواد محلول توسعه یافته است از جمله می‌توان به مدل‌های SWMS-2D و Chain-2D اشاره نمود. این دو مدل در دهه ۱۹۹۰ ساخته و تا سال ۱۹۹۹ از قابلیت اجرائی نسبتاً مناسبی برخوردار بودند در سال ۲۰۰۰ مدل دیگری تحت عنوان Hydrus-2D توسط دانشگاه کالیفرنیا ساخته شد که شکل تکمیل یافته دو مدل قبلی می باشد و از توانایی بسیار بالایی جهت شبیه سازی حرکت آب و مواد غذایی در محیط متخلخل برخوردار است. این مدل همچنین توانایی شبیه سازی حرکت آب و انتقال املاح را بصورت سه بعدی دارد.

#### ۴-۲-۲ مدل HYDRUS-2D

این مدل یک مدل عناصر محدود است که معادله ریچارد را در حالت اشباع و غیر اشباع در محیط متخلخل و معادله انتقال املاح را به صورت توزیع مولکولی حل می کند. مدل فوق جریان آب و انتقال را به صورت عمودی، افقی و شعاعی حل نموده و برای حالات مختلف حرکت آنها را شبیه سازی می نماید. مدل فوق جهت انجام عملیات شبیه سازی شرایط مرزی مناسبی را برای جریان، زهکشی و اتمسفری در محیط مدل شده در نظر می گیرد. این مدل معادله جریان آب و انتقال را با بکار گیری روش عددی عناصر محدود با اسکیم یا طرح نوع گالرکین (Galerkin) حل می کند. جزئیات مربوط به این مدل را می توان از منوال تخصصی مربوطه بدست آورد (سیمونک و همکاران، ۱۹۹۹).

#### ۴-۲-۳ معادله جریان آب

حرکت آب در محیط غیر اشباع و اشباع خاک را می توان با شکل اصلاح شده معادله ریچاردز بصورت زیر ارائه نمود:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[ K \left( \frac{\partial h}{\partial z} + 1 \right) \right] - S \quad (۱-۴)$$

شرایط اولیه و مرز برای این معادله به صورت زیر می باشد:

$$H=h_i(z) \quad \text{at} \quad -60 \leq z \leq 0, t=0 \quad (2-4)$$

$$-K\left(\frac{\partial h}{\partial z} + 1\right) = E(t) \quad \text{at} \quad z=0, t>0 \quad (3-4)$$

$$\frac{\partial h}{\partial z} = 0 \quad \text{at} \quad z=-60, \quad t>0 \quad (4-4)$$

که در معادلات فوق،  $\theta$  میزان رطوبت خاک،  $t$  زمان،  $z$  محور عمودی،  $k$  هدایت هیدرولیکی غیر اشباع خاک،  $S$  جذب آب توسط ریشه،  $h$  میزان بار فشار،  $h_i$  میزان بار فشار اولیه خاک و  $Et$  تبخیر و تعرق می باشند. در این تحقیق مرز انتهایی مدل مفهومی مرز زهکشی در نظر گرفته شد و لذا  $\frac{\partial h}{\partial z} = 0$  می باشد. همچنین حداکثر عمق خاک مورد تحقیق ۶۰ سانتیمتر می باشد که بیشتر از حد اکثر عمق ریشه گیاه انتخابی است.

تحلیل جریان در منطقه غیر اشباع خاک بسیار پیچیده بوده و به دو تابع غیر خطی  $K(h)$  و  $\theta(h)$  که توابع غیر خطی رفتار هیدرولیکی خاک هستند بستگی دارد (Dobre and Drobot, 2010). در این مطالعه از مدل فان گنوختن برای بررسی توابع غیر خطی  $K(h)$  و  $\theta(h)$  استفاده شده است. توابع غیر خطی یاد شده به صورت زیر می باشند (Simunek and Nimmo, 2005):

$$(5-4)$$

$$\theta(h) = \begin{cases} \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + |\alpha h|^n]^m} & h < h_s \\ \theta_s & h \geq h_s \end{cases}$$

$$K(h) = K_s S_e^l \left[ 1 - (1 - S_e^{1/m})^m \right]^2 \quad (6-4)$$

که در این روابط  $k_s$  هدایت هیدرولیکی اشباع و  $h_s$  میزان مکش حد آستانه ورود هوا می باشند. در این مدل تحلیلی، توابع غیر خطی  $K(h)$  و  $\theta(h)$  را بوسیله پنج پارامتر هیدرولیکی  $\theta_r$ ،  $\theta_s$ ،  $k_s$ ،  $\alpha$  و  $n$  تعریف

می‌کنند که  $\theta_r$  رطوبت باقیمانده،  $\theta_s$  رطوبت اشباع،  $k_s$  هدایت هیدرولیکی اشباع،  $\alpha$  و  $n$  پارامترهای شکل می‌باشند.

#### ۴-۲-۴ معادله انتقال املاح

معادله انتقال املاح بکار رفته در مدل Hydrus-2D توسط سیمیونک (۱۹۹۹) بصورت زیر بیان شده است:

$$\frac{\partial \theta C}{\partial t} = \left\{ \frac{\partial}{\partial r} (\theta D_{rr} \frac{\partial C}{\partial r} + \theta D_{rz} \frac{\partial C}{\partial z}) + \frac{1}{r} (\theta D_{rr} \frac{\partial C}{\partial r} + \theta D_{rz} \frac{\partial C}{\partial z}) + \frac{\partial}{\partial z} (\theta D_{zz} \frac{\partial C}{\partial z} + \theta D_{rz} \frac{\partial C}{\partial r}) \right\} - \left( \frac{\partial q_r C}{\partial r} + \frac{q_r C}{r} + \frac{\partial q_z C}{\partial z} \right) \quad (۷-۴)$$

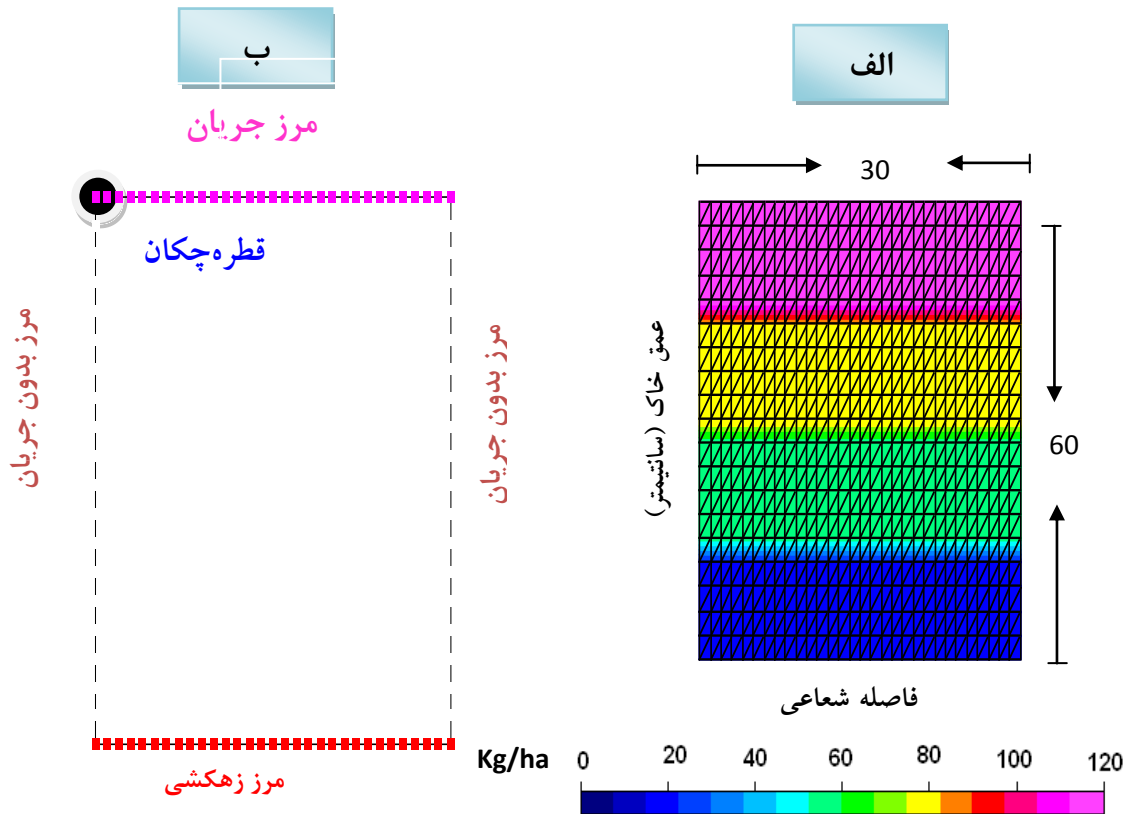
در این معادله C نشان دهنده غلظت محلول،  $\theta$  رطوبت حجمی خاک، r مختص شعاعی،  $D_{zz}$ ،  $D_{rz}$  اجزای پخشیدگی،  $q_r$  و  $q_z$  چگالی محلول جریان یافته می‌باشد.

مدل انتخاب شده برای شبیه سازی جریان آب و انتقال املاح در محیط متخلخل معادلات فوق را به روش عناصر محدود حل می‌کند. در این تحقیق شبیه سازی جریان آب و حرکت پتاسیم بعنوان یکی از مواد غذایی گیاه فلفل سبز صورت گرفت این شبیه سازی در انواع خاکهای مختلف و استراتژیهای مختلف کود آبیاری انجام شد و هدف از آن یافتن الگوهای مدیریتی مناسب سیستم کود آبیاری در شرایط مختلف بود.

#### ۴-۲-۵ شکل مدل مفهومی

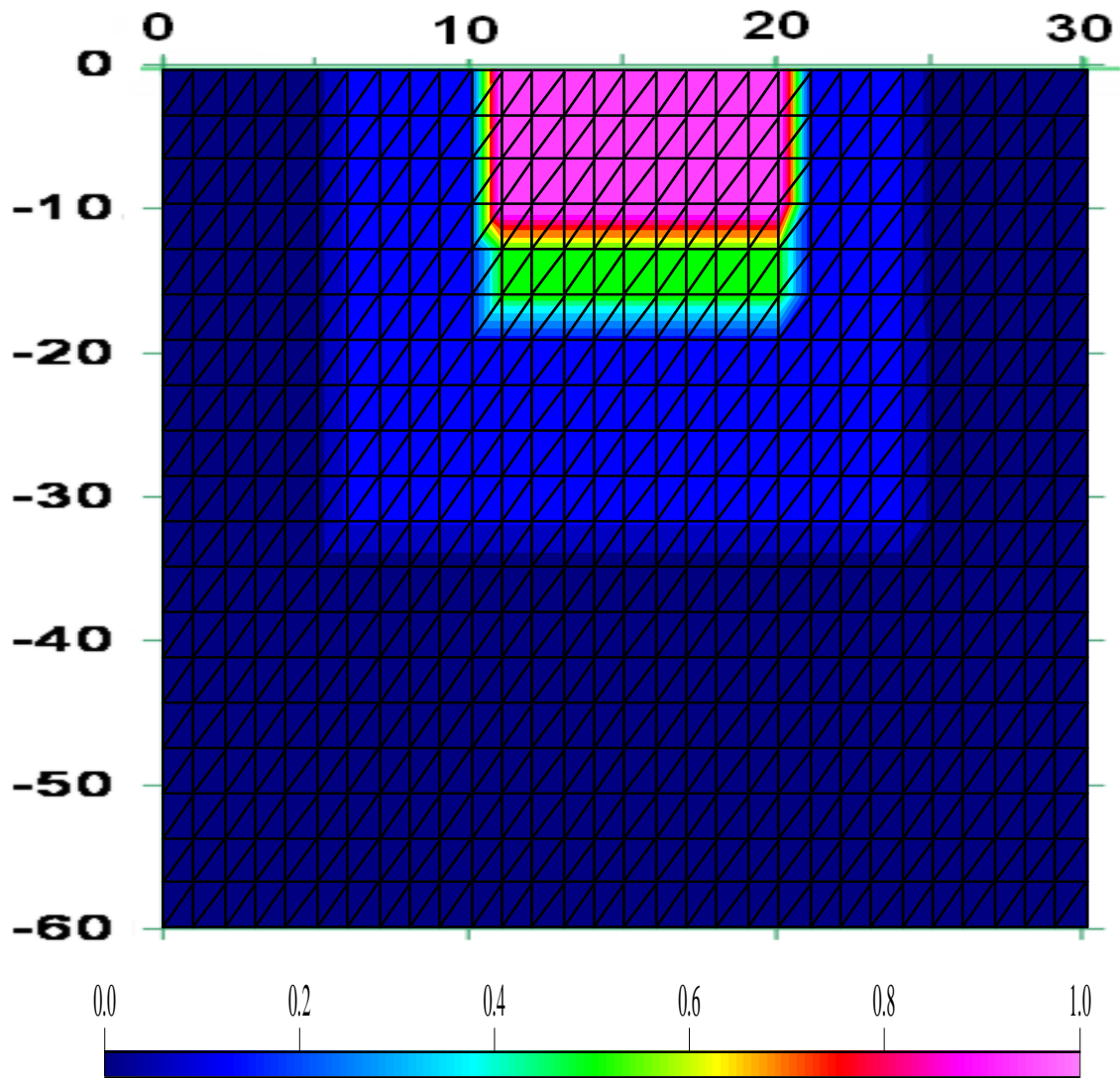
مدل واقعی در نظر گرفته شده در تحقیق عبارت است از استوانه ای به شعاع ۳۰ و به عمق ۶۰ سانتیمتر مرکب از چهار لایه ۱۵ سانتیمتری خاک که قطره چکان در گوشه سمت چپ آن در سطح خاک قرار گرفته و گیاه کاشته شده کنار آن واقع شده است. این مدل بصورت یک مدل واقعی برای Hydrus-2D معرفی شده و دارای شرایط مرزی متعددی می‌باشد و عملیات شبیه سازی در کلیه حالات بر روی آن صورت گرفته است (شکل ۴-۱). شرایط اولیه در مورد جریان آب عبارت است از

مقدار رطوبت موجود در خاک در لایه های مختلف و در مورد انتقال محلول عبارت است از مقدار پتاسیم موجود در خاک قبل از اولین عملیات کود آبیاری.



شکل ۴-۱ الف شرایط اولیه در مدل برای مقدار پتاسیم موجود در خاک ب:مدل مفهومی

شکل ۴-۲ نیز نشان دهنده میزبان تراکم ریشه در محیط مدل شده می باشد. این شکل بیان مفهومی از رشد ریشه را در طول دوره ی رشد گیاه نشان می دهد. از روی شکل و با توجه به مقیاس آن مشخص است که تراکم ریشه در ناحیه اول از سطح خاک (۰-۱۵ سانتی متری) وقتی به حداکثر می رسد، به مفهوم رشد کامل آن بوده و تراکم به ۱۰۰ درصد نزدیک می شود و در زمان های غیر حداکثر رشد تراکم آن کمتر از ۱۰۰ درصد می باشد.



شکل ۴-۲ تراکم ریشه در محیط مدل

#### ۴-۲-۶ شاخص های آماری

برای مقایسه نتایج مدل با داده های اندازه گیری از شاخصهای مختلف آماری استفاده شد که

مهمترین آنها به شرح زیر می باشند:

۱- خطای میانگین مجذور مربعات (RMSE)

$$RMSE = \left\{ \frac{1}{n} \left[ \sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2 \right] \right\}^{0.5} \quad (۴-۸)$$



۲- خطای میانگین مجذور مربعات نرمال شده (NRMSE)

$$\text{NRMSE} = \frac{\left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2 \right]^{0.5}}{O} \quad (9-4)$$

در این روابط  $X$  مقدار اندازه گیری،  $Y$  مقدار شبیه سازی شده،  $n$  تعداد داده ها و  $O$  میانگین داده های اندازه گیری می باشد.

۳- ضریب همبستگی (d)

$$d = 1 - \left\{ \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|X_i - O| + |Y_i - O_e|)^2} \right\} \quad (10-4)$$

در این رابطه  $d$  ضریب همبستگی و  $O_e$  میانگین داده های شبیه سازی شده می باشد. مقادیر NRMSE و  $d$  بین صفر تا ۱ تغییر می کند. هرچه قدر مقدار NRMSE به صفر نزدیک شود و همچنین  $d$  به ۱ نزدیک شود نشان دهنده این است که مدل با دقت بالایی شبیه سازی را انجام می دهد.

۴- ضریب نش سات کلیف (E)

$$E = 1 - \left\{ \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - O)^2} \right\} \quad (11-4)$$

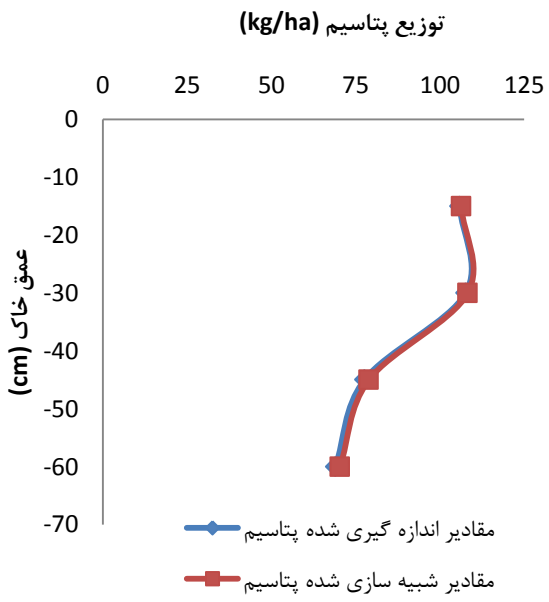
مقدار  $E$  از ۱ تا  $-\infty$  تغییر می کند و هر چه قدر به ۱ نزدیک شود نشان دهنده مطابقت بالای مقادیر حاصل از مدل و داده های اندازه گیری شده می باشد.

### ۳-۴ واسنجی مدل

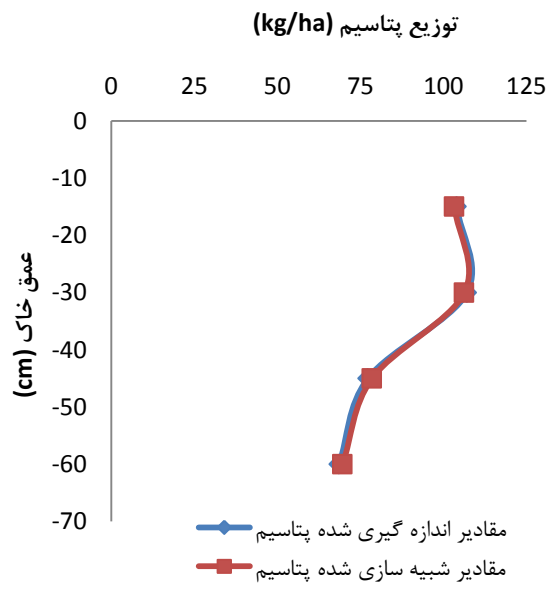
مدل HYDRUS-2D برای آنالیز توزیع پتاسیم و رطوبت در اعماق مختلف خاک کالیبره گردید و با مقادیر پتاسیم و رطوبت بدست آمده از اندازه گیری ها مورد مقایسه قرار گرفت. برای کالیبره کردن مدل بیشتر از داده های صحرائی و یا آزمایشگاهی استفاده گردید. واسنجی مدل در ماه اول فصل رشد و در زمانهای ۲، ۴، ۲۴ و ۴۸ ساعت بعد از آبیاری و در محل قطره چکان صورت گرفت.

نتایج واسنجی مدل برای توزیع پتاسیم در خاک در شکل ۳-۴ نشان می‌دهد مقادیر مشاهداتی بسیار نزدیک به مقادیر پتاسیم شبیه سازی شده توسط مدل می‌باشد و تفاوت زیادی بین آنها مشاهده نمی‌شود. ضرایب همبستگی  $R^2$  مربوط به پتاسیم به دست آمده از مدل و مقادیر آزمایش عملی بین ۰/۹۹۳۴ تا ۱ بوده است. شکل ۴-۴ مبین این مقادیر می‌باشد.

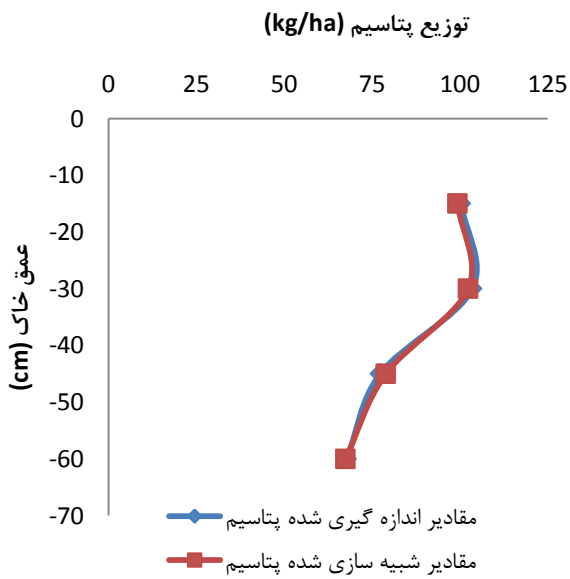
همچنین این واسنجی برای مقادیر شبیه سازی و اندازه گیری شده رطوبت خاک صورت گرفت و نتایج مشابه بالا بدست آمد. مقادیر ضرایب همبستگی مربوط به رطوبت به دست آمده از مدل و اندازه گیری شده بسیار بالا می‌باشد که این نشان می‌دهد مدل جهت تشابه سازی توزیع رطوبت در خاک از طریق سیستم کودآبیاری مدل مناسبی می‌باشد. مقادیر شبیه سازی و اندازه گیری شده رطوبت خاک و ضرایب همبستگی به ترتیب در اشکال ۴-۵ و ۴-۶ آمده است.



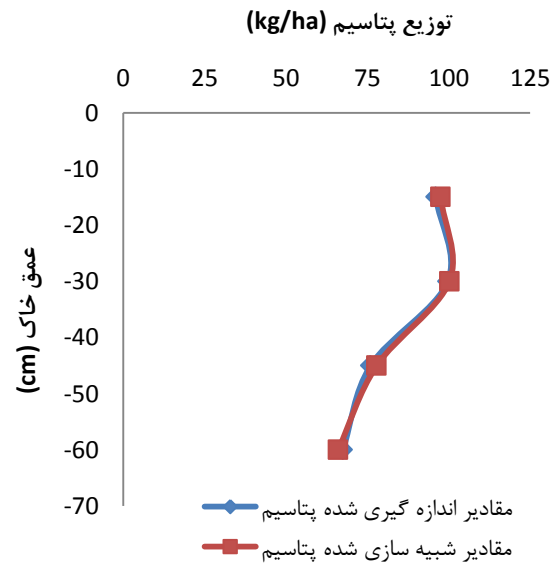
الف



ب



ج



د

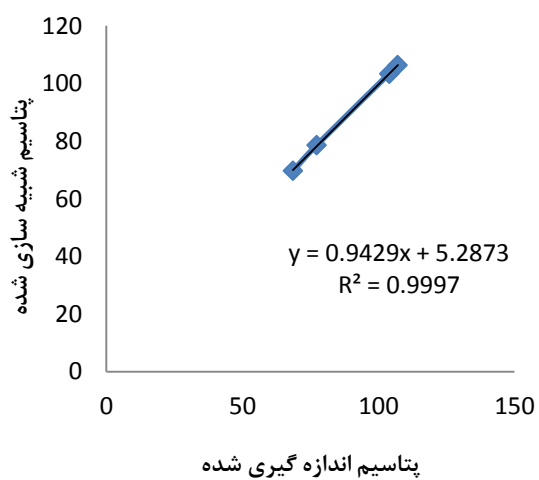
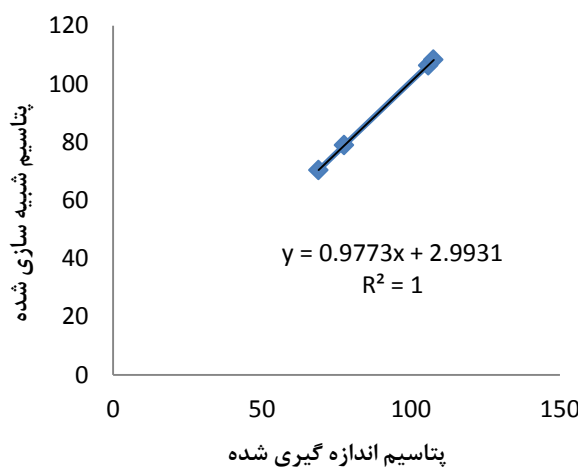
شکل ۳-۴ مقایسه تغییرات پتاسیم اندازه گیری شده و شبیه سازی شده نسبت به عمق خاک در محل قطره چکان در ماه اول فصل رشد گیاه

ب : ۴ ساعت بعد از آبیاری

الف : ۲ ساعت بعد از آبیاری

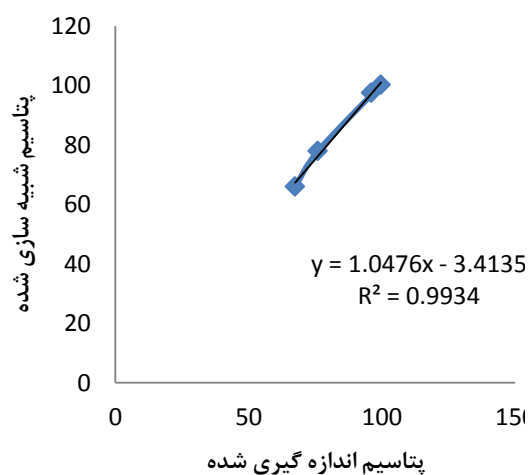
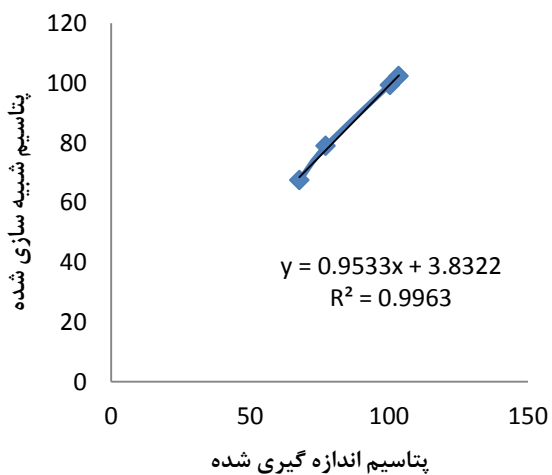
د : ۴۸ ساعت بعد از آبیاری

ج : ۲۴ ساعت بعد از آبیاری



الف

ب



ج

د

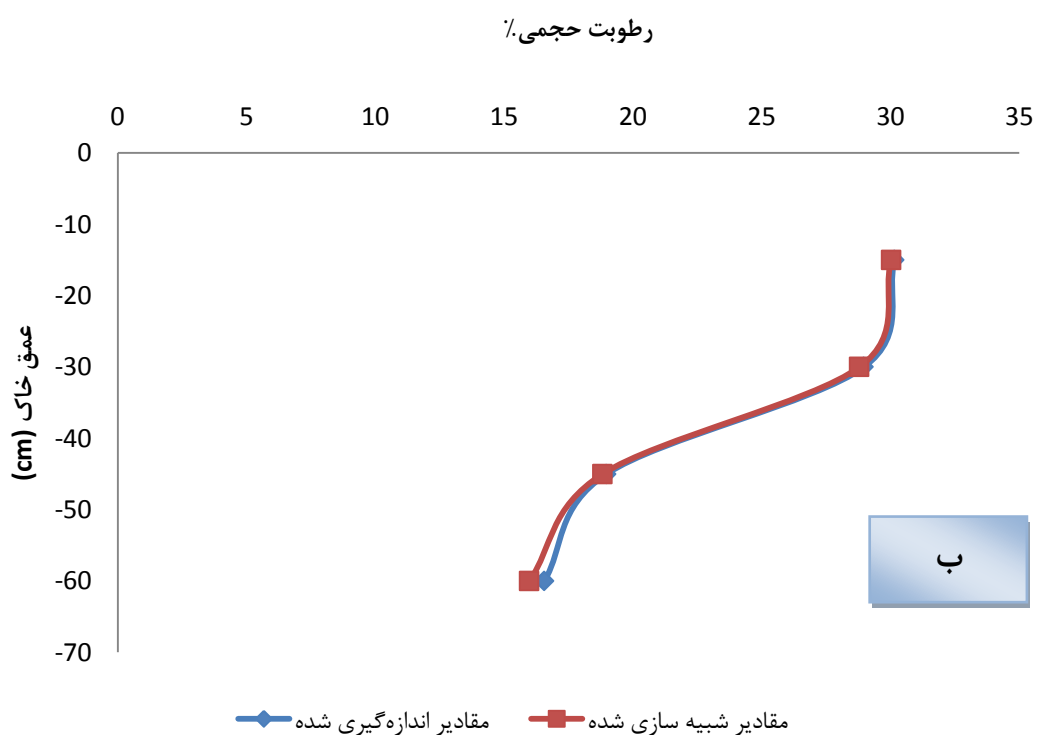
شکل: ۴-۴ ضریب همبستگی پتاسیم اندازه گیری شده با مقدار شبیه سازی شده در ماه اول فصل رشد در اعماق ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ سانتی متری سطح خاک

ب : ۴ ساعت بعد از آبیاری

الف : ۲ ساعت بعد از آبیاری

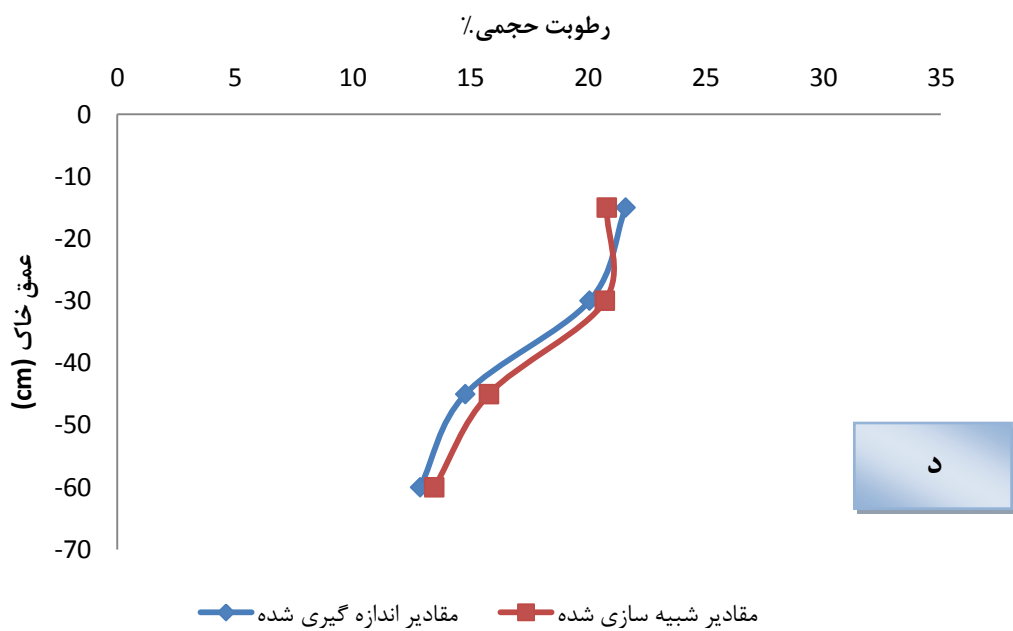
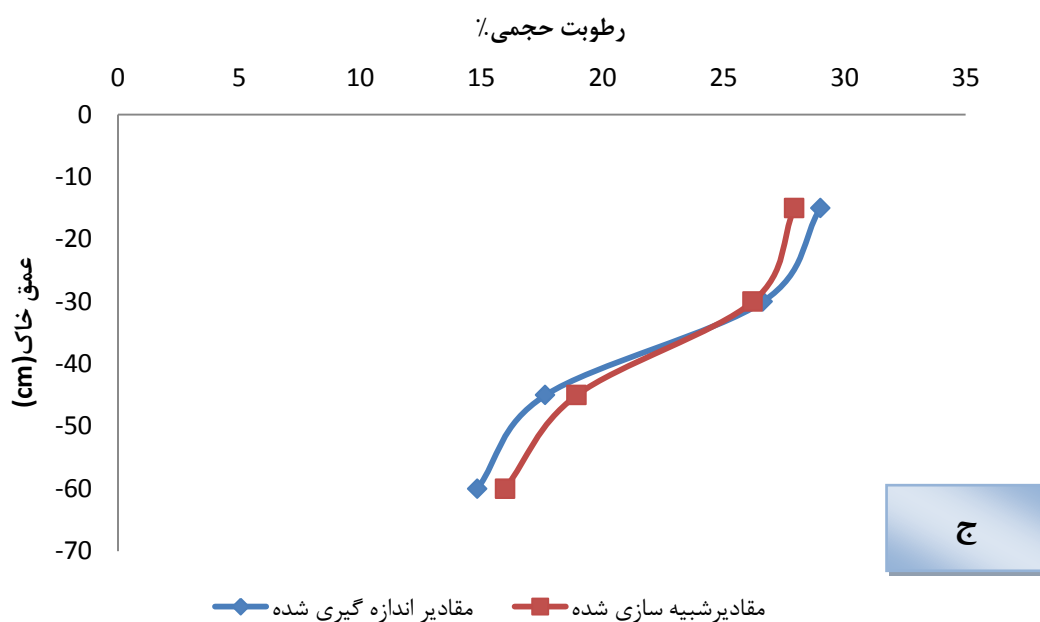
د : ۴۸ ساعت بعد از آبیاری

ج : ۲۴ ساعت بعد از آبیاری



شکل ۴-۵ مقایسه تغییرات رطوبت اندازه گیری شده و شبیه سازی شده نسبت به عمق خاک در محل قطره چکان در ماه اول فصل رشد گیاه

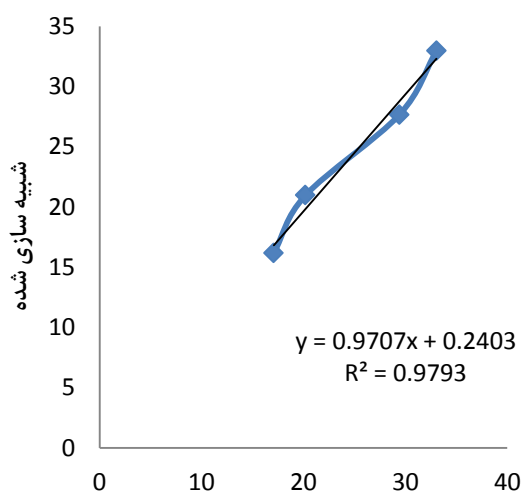
الف : ۲ ساعت بعد از آبیاری     ب : ۴ ساعت بعد از آبیاری



شکل ۴-۵ مقایسه تغییرات رطوبت اندازه گیری شده و شبیه سازی شده نسبت به عمق خاک در محل قطره چکان در ماه اول فصل رشد گیاه

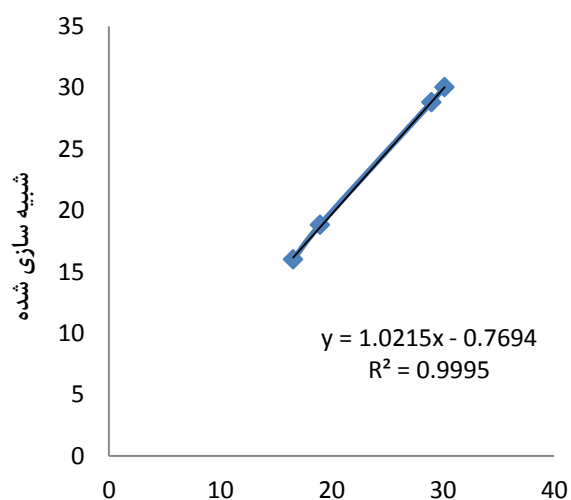
د : ۴۸ ساعت بعد از آبیاری

ج : ۲۴ ساعت بعد از آبیاری



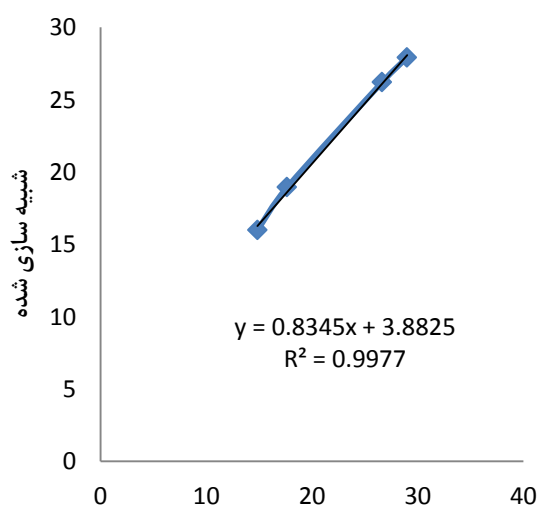
اندازه گیری شده

الف



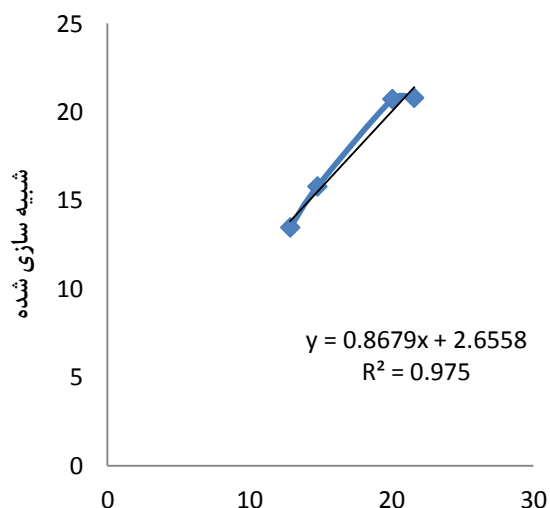
اندازه گیری شده

ب



اندازه گیری شده

ج



اندازه گیری شده

د

شکل: ۴-۶ ضریب همبستگی پتاسیم اندازه گیری شده با مقدار شبیه سازی شده در ماه اول فصل رشد در اعماق ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ سانتی متری سطح خاک

ب : ۴ ساعت بعد از آبیاری

الف : ۲ ساعت بعد از آبیاری

د : ۴۸ ساعت بعد از آبیاری

ج : ۲۴ ساعت بعد از آبیاری

#### ۴-۴ صحت سنجی مدل

بعد از انجام کالیبراسیون مدل، جهت اطمینان از نتایج آن و اعتبار بخشیدن به نتایج مدل عملیات صحت سنجی انجام گرفت. در این عملیات برنامه مدل برای مدت زمان طولانی معادل کل دوره رشد گیاه اجرا گردید.

برای این منظور مقادیر اندازه‌گیری شده پتاسیم در زمان‌های ۲، ۴، ۲۴ و ۴۸ ساعت بعد از آبیاری با مقدارشبییه‌سازی شده آن توسط مدل مقایسه گردید. همانطور که جداول نشان می‌دهد بین مقادیر اندازه‌گیری شده پتاسیم و مقادیر شبیه‌سازی شده توسط مدل تفاوت بسیار کمی وجود دارد. همچنین با مقایسه مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده درصد رطوبت حجمی خاک مشاهده می‌گردد که اختلاف بسیار کمی بین این مقادیر وجود دارد.

میتوان نتیجه گرفت که مدل انتخابی جهت شبیه‌سازی توزیع رطوبت و پتاسیم در خاک به ویژه در سیستم کودآبیاری مدل مناسبی می‌باشد.

جدول ۳-۴ مقایسه مقدار پتاسیم اندازه‌گیری شده با مقدار شبیه‌سازی شده در کل دوره رشد گیاه در محل قطره‌چکان

زمان بعد از آبیاری (ساعت)								
۴۸		۲۴		۴		۲		
اندازه‌گیری	شبیه‌سازی	اندازه‌گیری	شبیه‌سازی	اندازه‌گیری	شبیه‌سازی	اندازه‌گیری	شبیه‌سازی	عمق (cm)
۹۵/۴۵	۹۷/۳۵	۱۰۱/۵۵	۹۹/۶۳	۱۰۵/۰۱	۱۰۳/۸۳	۱۰۶/۶۵	۱۰۷/۱۳	۱۵
۹۹/۷۰	۱۰۰/۶۲	۱۰۲/۵۶	۱۰۲/۷۸	۱۰۸/۱۵	۱۰۷/۳۴	۱۰۷/۷۲	۱۰۹/۲۶	۳۰
۷۷/۲۳	۷۸/۱۳	۷۶/۳۰	۷۸/۹۲	۷۷/۳۰	۷۸/۰۶	۷۷/۵۹	۷۸/۲۲	۴۵
۶۷/۵۰	۶۶/۳۴	۶۷/۸۰	۶۷/۴۵	۶۷/۶۰	۶۹/۶۸	۷۰/۲۲	۷۰/۵۳۶	۶۰

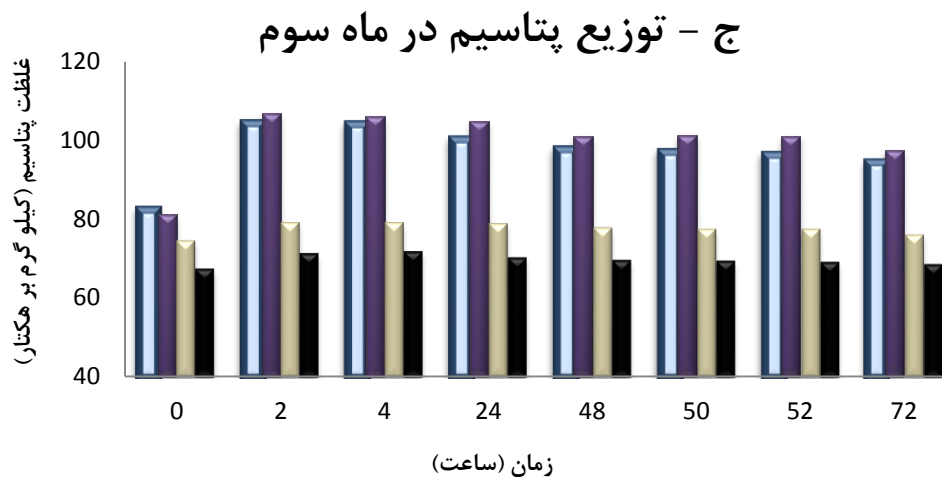
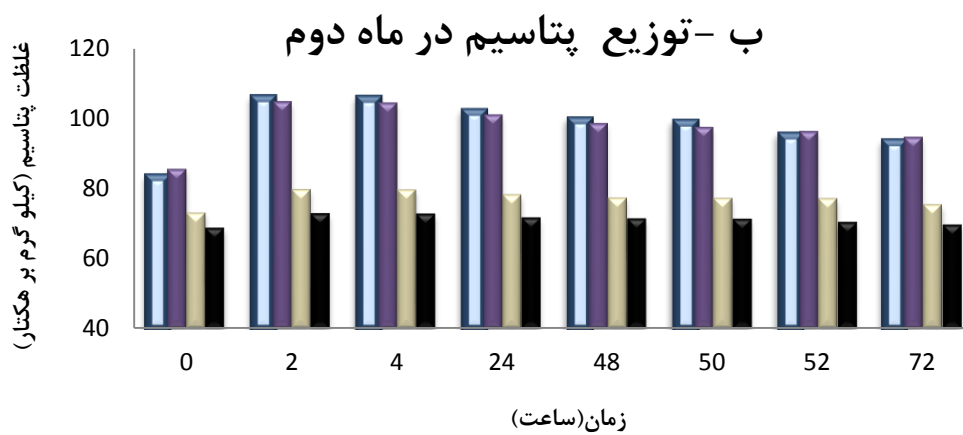
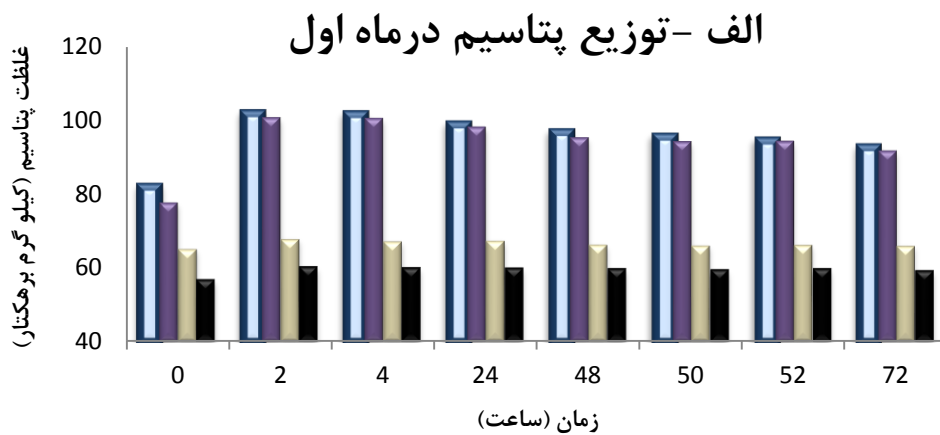


جدول ۴-۴ مقایسه رطوبت اندازه گیری شده (درصد حجمی) با مقدار شبیه سازی شده در کل دوره رشد گیاه در محل قطره چکان

زمان بعد از آبیاری (ساعت)								
۴۸		۲۴		۴		۲		
اندازه گیری	شبیه سازی	اندازه گیری	شبیه سازی	اندازه گیری	شبیه سازی	اندازه گیری	شبیه سازی	عمق (cm)
۲۳/۰	۲۰/۲	۲۷/۱	۲۷/۱	۳۱/۲	۲۹/۸	۳۱/۱	۳۱/۵	۱۵
۲۰/۵	۲۱/۱	۲۵/۸	۲۶/۴	۲۸/۵	۲۸/۹	۲۸/۵	۲۶/۸	۳۰
۱۴/۴	۱۵/۳	۱۷/۱	۱۸/۴	۱۸/۴	۱۸/۳	۱۹/۶	۲۰/۴	۴۵
۱۱/۵	۱۳/۱	۱۵/۴	۱۵/۵	۱۶/۱	۱۵/۵	۱۶/۶	۱۵/۳	۶۰

#### ۴-۵ توزیع افقی و عمودی پتاسیم در ۵ ماه دوره کشت

شکل ۴-۷ توزیع پتاسیم را در دوره ۷۲ ساعته بعد از آبیاری در فاصله افقی ۱۰ سانتی متری قطره چکان در سه ماه اول فصل رشد گیاه نشان می دهد. شکل ۴-۷-الف مربوط به ماه اول و شکل های ۴-۷ ب و ج ماه های دوم و سوم را نشان می دهند شکل زیر نشان می دهد که توزیع پتاسیم در سه ماه اول رشد کاملاً یکنواخت بوده و یک روند ثابتی را دنبال می کند. همچنین نتایج نشان می دهد با سیستم کود آبیاری بیشترین تجمع پتاسیم در فاصله ۳۰-۱۵ سانتی متری سطح خاک صورت گرفته است که متناسب با حداکثر عمق ریشه گیاه در هر سه ماه از فصل رشد می باشد.



شکل ۴-۷ تغییرات پتاسیم در سیستم کودآبیاری در سه ماهه اول رشد گیاه

جدول ۴-۵ مقادیر پتاسیم را در محل قطره‌چکان‌ها در دو ماه آخر فصل رشد نشان می‌دهد. مقادیر پتاسیم در ماه چهارم فصل رشد در لحظه‌های قبل از آبیاری تا ۴۸ ساعت بعد از آبیاری نسبت به ماه پنجم رشد در دوره ۴۸ ساعته یاد شده بیشتر می‌باشد که می‌توان علت آن را در نیاز بیشتر گیاه در این ماه از فصل رشد گیاه نسبت به ماه پنجم بیان کرد. همچنین بیشترین توزیع مقادیر پتاسیم در فاصله‌ی سطح خاک تا عمق ۳۰ سانتی متری مشاهده می‌شود.

جدول ۴-۵ مقادیر پتاسیم (کیلو گرم بر هکتار) در محل قطره‌چکان در یک سیکل ۴۸ ساعته در ماه چهارم و پنجم رشد

عمق (سانتی متر)	قبل از آبیاری		۲ ساعت بعد از آبیاری		۴ ساعت بعد از آبیاری		۲۴ ساعت بعد از آبیاری		۴۸ ساعت بعد از آبیاری	
	ماه ۴	ماه ۵	ماه ۴	ماه ۵	ماه ۴	ماه ۵	ماه ۴	ماه ۵	ماه ۴	ماه ۵
۰ - ۱۵	۷۱	۷۰/۳	۷۴/۶	۷۰/۵	۷۴/۵	۷۰/۱	۷۲/۶	۶۹/۷	۷۰	۶۹/۳
۱۵ - ۳۰	۷۰/۶	۶۵/۷	۷۲/۴	۶۵/۴	۷۲	۶۵	۷۱/۶	۶۴/۴	۶۹	۶۳/۷
۳۰ - ۴۵	۶۷/۷	۶۴/۷	۶۷/۷	۶۴/۸	۶۷	۶۴	۶۶/۴	۶۴/۴	۶۶/۴	۶۳/۴
۴۵ - ۶۰	۶۴/۴	۶۱/۸	۶۴/۴	۶۱/۴	۶۴	۶۱	۶۳/۹	۶۱/۸	۶۳/۷	۶۱/۵

#### ۴-۶ شبیه سازی توزیع عمقی پتاسیم در دوره رویشی گیاه

شکل ۴-۸ الف توزیع پتاسیم شبیه سازی شده توسط مدل در ۱۵ روز اول دوره کشت در محل قطره‌چکان و در اعماق ۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰ سانتی متری سطح خاک در زمان‌های قبل، ۲، ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت بعد از آبیاری نشان می‌دهد. شکل ۴-۸ ب مقادیر شبیه سازی شده پتاسیم را در فاصله افقی ۱۰ سانتی متری قطره‌چکان در اعماق ذکر شده را بیان می‌کند. نتیجه حاصل از شکل ۴-۸ الف نشان می‌دهد که در ۱۵ روز اول کشت میزان پتاسیم در زمان ۲ ساعت بعد از آبیاری در اعماق مختلف به حداکثر مقدار خود رسیده و با گذشت ۷۲ ساعت بعد از آبیاری مقدار آن کاهش می‌یابد. همچنین

نتایج نشان می‌دهد که بیشترین تمرکز پتاسیم در اعماق ۵ تا ۱۰ سانتی متری سطح خاک مشاهده می‌شود که با توجه به عمق توسعه ریشه در این دوره از فصل رشد گیاه عمق تمرکز پتاسیم مطابق با عمق توسعه ریشه بوده است.

از آنجا که با توجه به شکل ۴-۸-الف انطباق بسیار بالایی بین مقادیر شبیه سازی تمرکز پتاسیم و مقدار اندازه گیری آن در لایه های عمقی خاک مشاهده می‌شود میتوان نتیجه گرفت که سیستم کود آبیاری طوری طراحی گردیده که از همان روزهای اولیه کاشت گیاه تمرکز بالاترین مقدار پتاسیم همزمان با رشد ریشه صورت می‌گیرد. انطباق مربوطه نه تنها عمقی بلکه بصورت افقی نیز مشاهده می‌شود (شکل ۴-۸ ب).

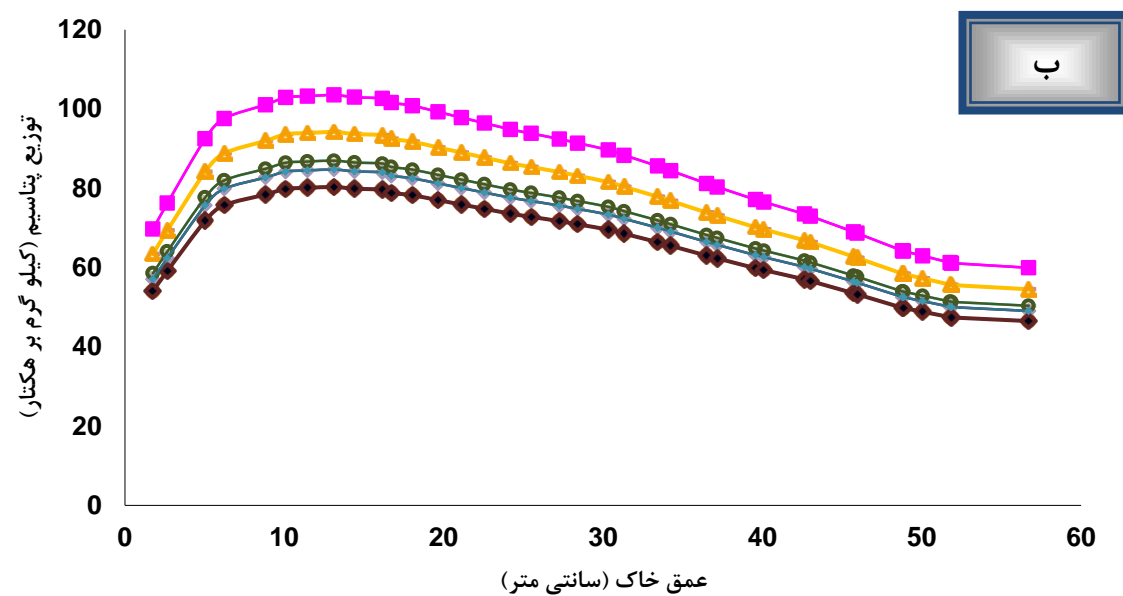
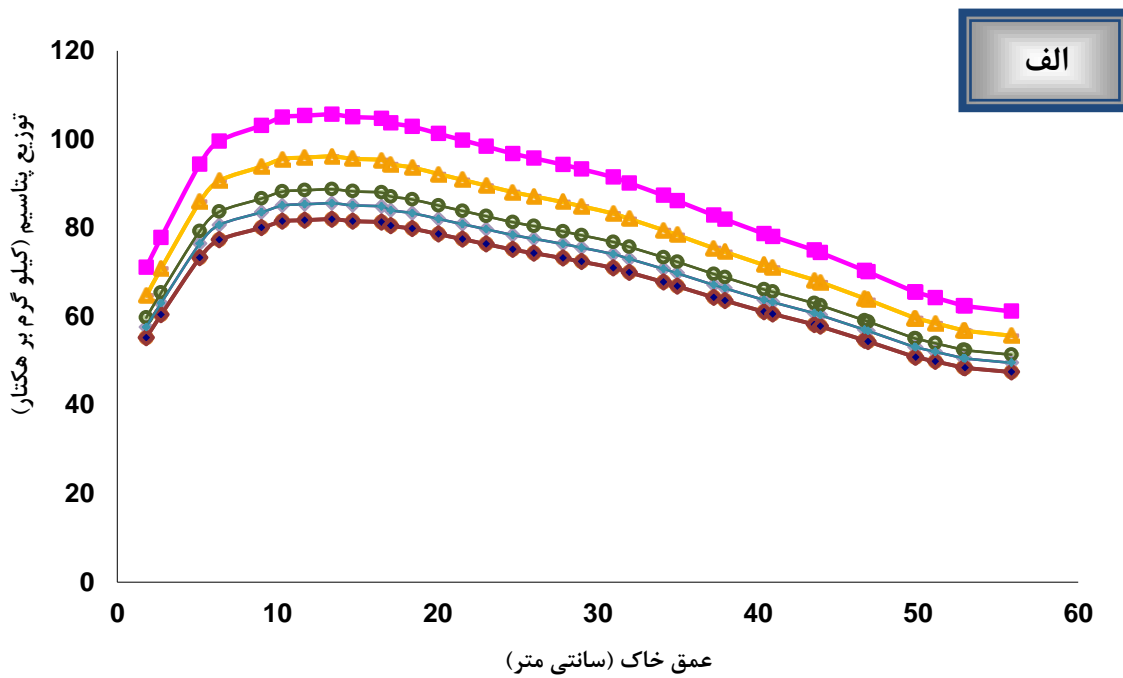
شکل ۴-۹ الف و ب به ترتیب مقادیر شبیه سازی شده پتاسیم توسط مدل در محل قطره چکان و در فاصله افقی ۱۰ سانتی متری قطره چکان در ۱۵ روز دوم دوره کشت یا پایان ماه اول در اعماق ۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰ سانتی متری سطح خاک در لحظه قبل و سیکل ۷۲ ساعته بعد از آبیاری نشان می‌دهد. با توجه به اشکال ۴-۹ الف و ب در نزدیکی سطح خاک مقدار پتاسیم حدود ۳۰ کیلو گرم بر هکتار در زمان های مختلف بعد از آبیاری می‌باشد که بیشترین تجمع در ۱۰ سانتی متری سطح خاک مشاهده گردید و در اعماق پایین تر سطح روند توسعه ریشه گیاه با روند تمرکز پتاسیم در اعماق خاک در زمان های مختلف بیان می‌دارد. در اینجا نیز مشاهده می‌شود افزایش مقدار تمرکز پتاسیم در لایه های عمقی متناسب با رشد ریشه می‌باشد.

شکل ۴-۱۰ الف مقادیر پتاسیم شبیه سازی شده توسط مدل در ۱۵ روز سوم کشت در محل قطره چکان و در اعماق ۱۵ تا ۶۰ سانتی متری سطح خاک در زمان های قبل و ۷۲ ساعت بعد از آبیاری را مشخص می‌کند. با توجه به روند تمرکز پتاسیم در اعماق خاک و در زمان های مختلف قبل و بعد آبیاری بیشترین تمرکز در ۱۰ تا ۲۰ سانتی متری سطح خاک مشاهده می‌شود که این عمق مطابقت منطقی با عمق توسعه ریشه در این دوره از رشد گیاه دارد. همچنین مقادیر پتاسیم در زمان ۲ ساعت بعد از آبیاری نسبت به قبل و ۲۴ تا ۷۲ ساعت بعد از آبیاری در اعماق مختلف خاک از سطح

خاک تا عمق ۶۰ سانتی متری بیشترین مقدار را دارا می‌باشد. شکل ۴-۱۰ ب توزیع پتاسیم شبیه سازی شده را در فاصله افقی ۱۰ سانتی متری قطره‌چکان در اعماق ۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰ سانتی متری و در زمان های قبل و ۷۲ ساعت بعد از آبیاری نشان می‌دهند. که روند تمرکز پتاسیم در این نمودار شبیه آنچه در شکل ۴-۸ الف ذکر شده می‌باشد.

اشکال ۴-۱۱ و ۴-۱۲ و ۴-۱۳ الف به ترتیب توزیع پتاسیم شبیه سازی شده توسط مدل در ۱۵ روز چهارم، پنجم و ششم دوره کشت در محل قطره‌چکان و در اعماق ۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰ سانتی متری سطح خاک در زمان‌های قبل، ۲، ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت بعد آبیاری نشان می‌دهد. می‌توان نتیجه گرفت عمق تمرکز پتاسیم مطابق با عمق توسعه ریشه در این دوران از فصل رشد بوده است.

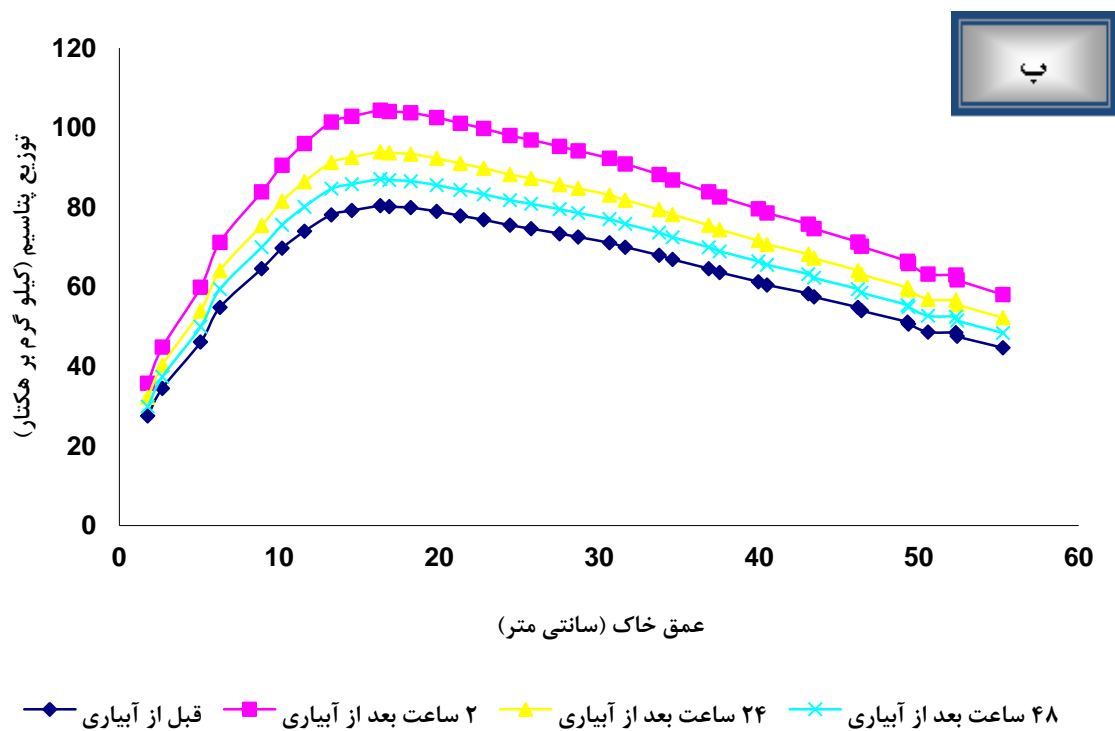
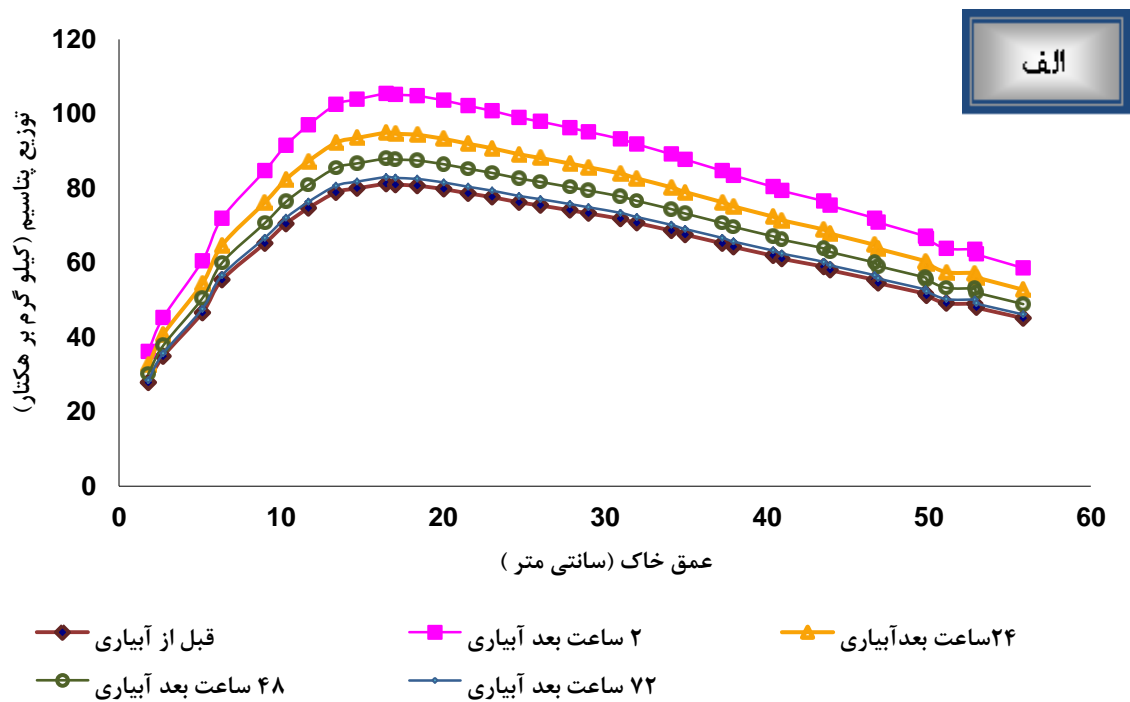
اشکال ۴-۱۱ و ۴-۱۲ و ۴-۱۳ ب به ترتیب توزیع پتاسیم شبیه سازی شده را در فاصله افقی ۱۰ سانتی متری قطره‌چکان در اعماق ۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰ سانتی متری و در زمان های قبل و ۷۲ ساعت بعد از آبیاری نشان می‌دهند. با توجه به اشکال ذکر شده می‌توان نتیجه گرفت تمرکز پتاسیم مطابقت افقی با توسعه ریشه داشته است.



◆ قبل آبیاری   
■ ۲ ساعت بعد آبیاری   
▲ ۲۴ ساعت آبیاری   
● ۴۸ ساعت بعد آبیاری   
◆ ۷۲ ساعت بعد آبیاری

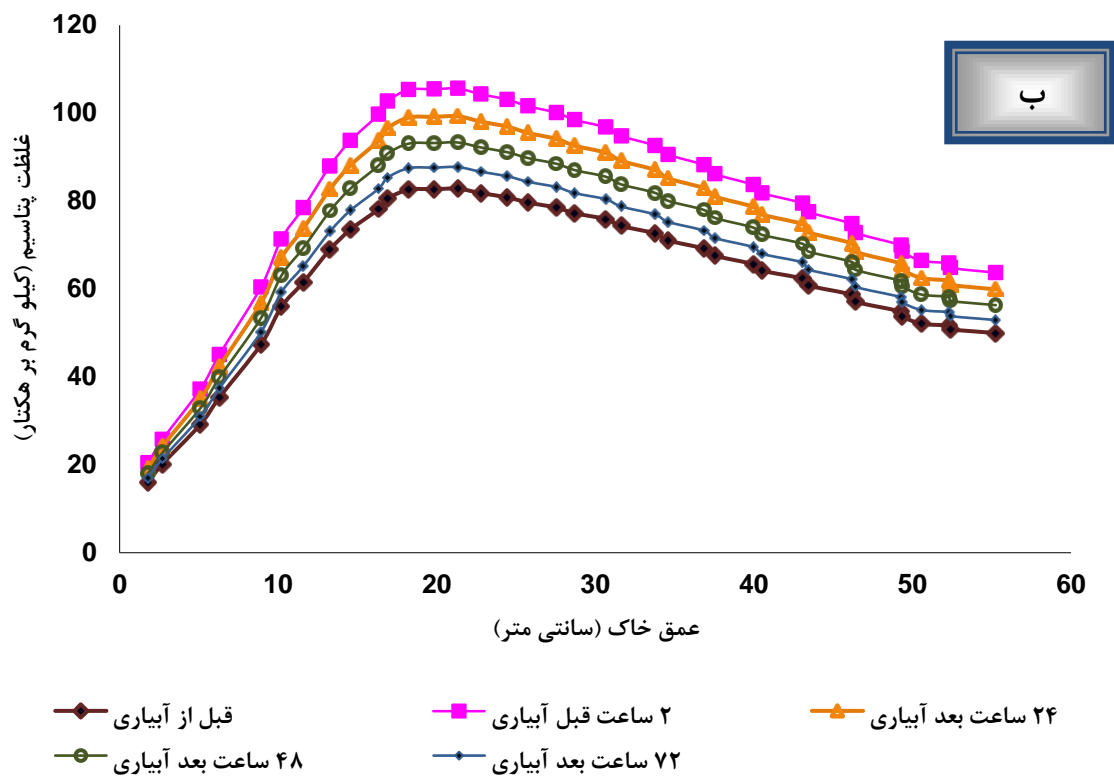
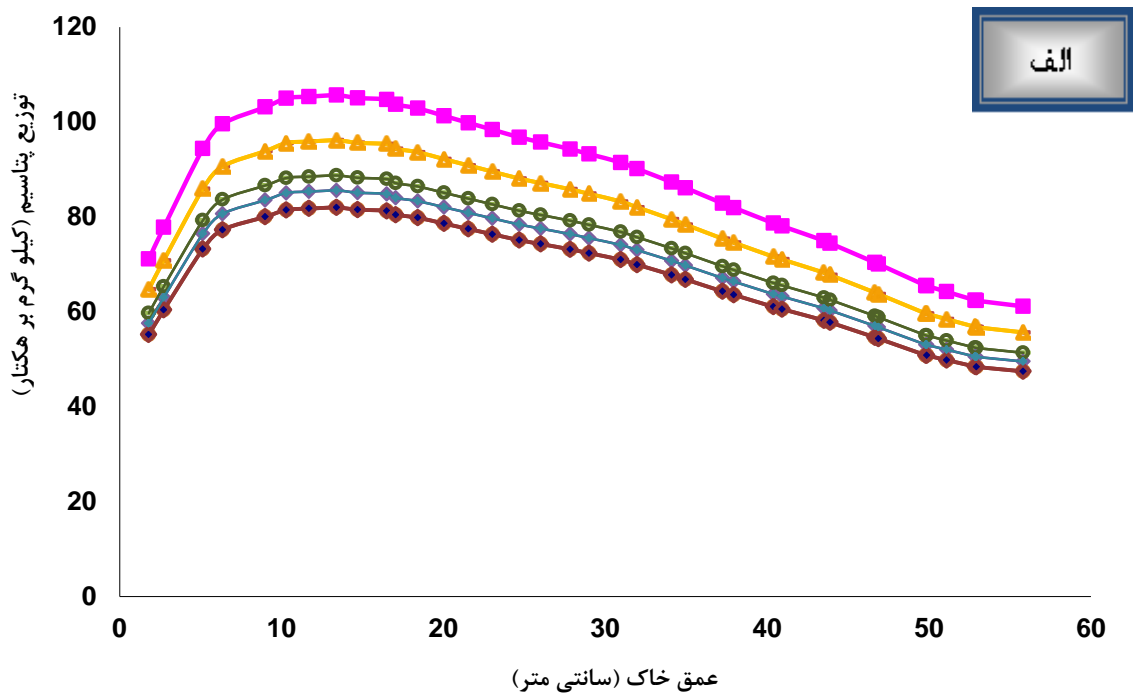
شکل ۴-۸ شبیه سازی توزیع پتاسیم در ۱۵ روز اول کشت

الف: محل قطره چکان      ب: ۱۰ سانتی متری قطره چکان



شکل ۴-۹ شبیه سازی توزیع پتاسیم در ۱۵ روز دوم کشت

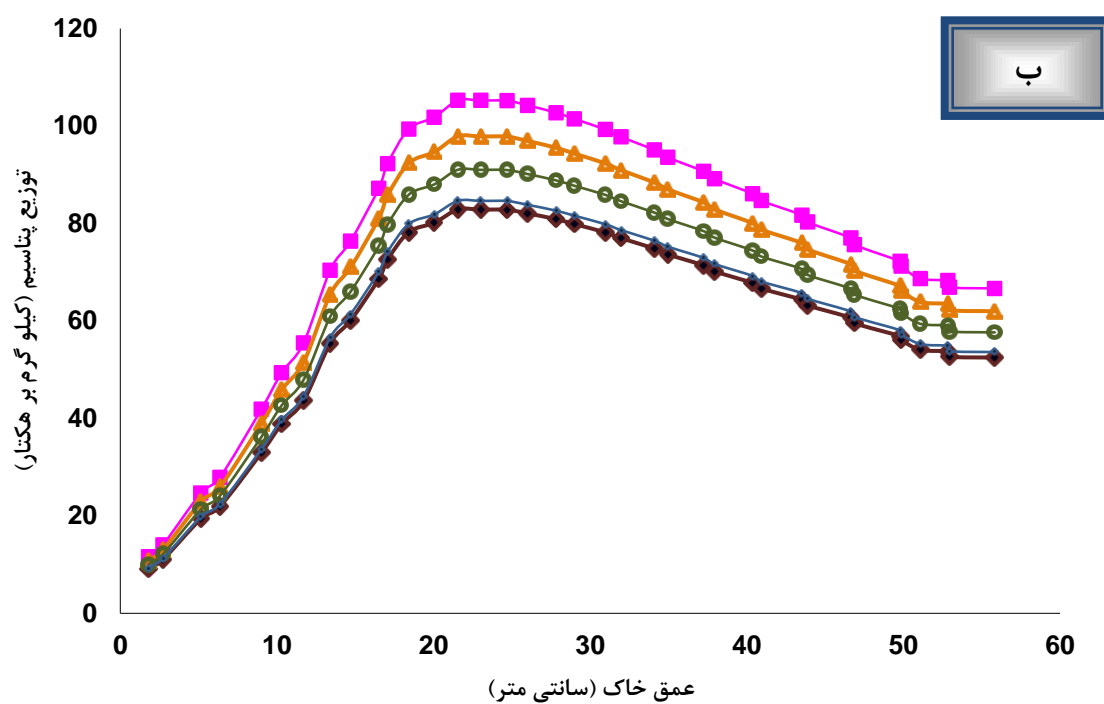
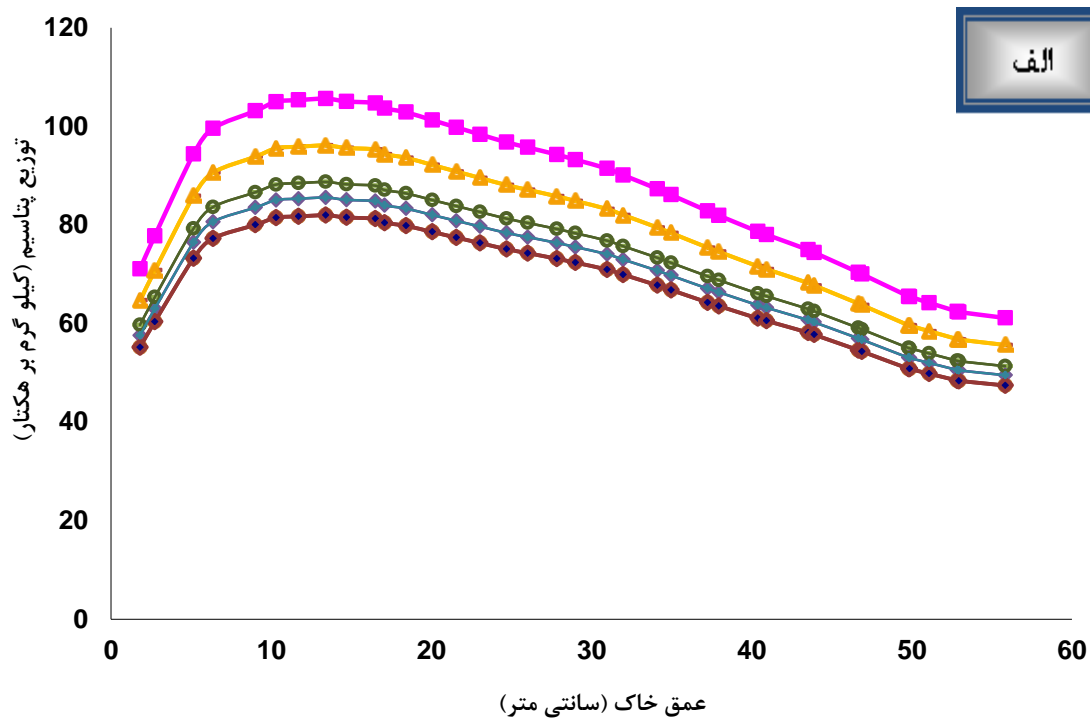
الف: در محل قطره چکان      ب: ۱۰ سانتی متری قطره چکان



شکل ۴-۱۰ شبیه سازی توزیع پتاسیم در ۱۵ روز سوم کشت

الف: در محل قطره چکان      ب: ۱۰ سانتی متری قطره چکان

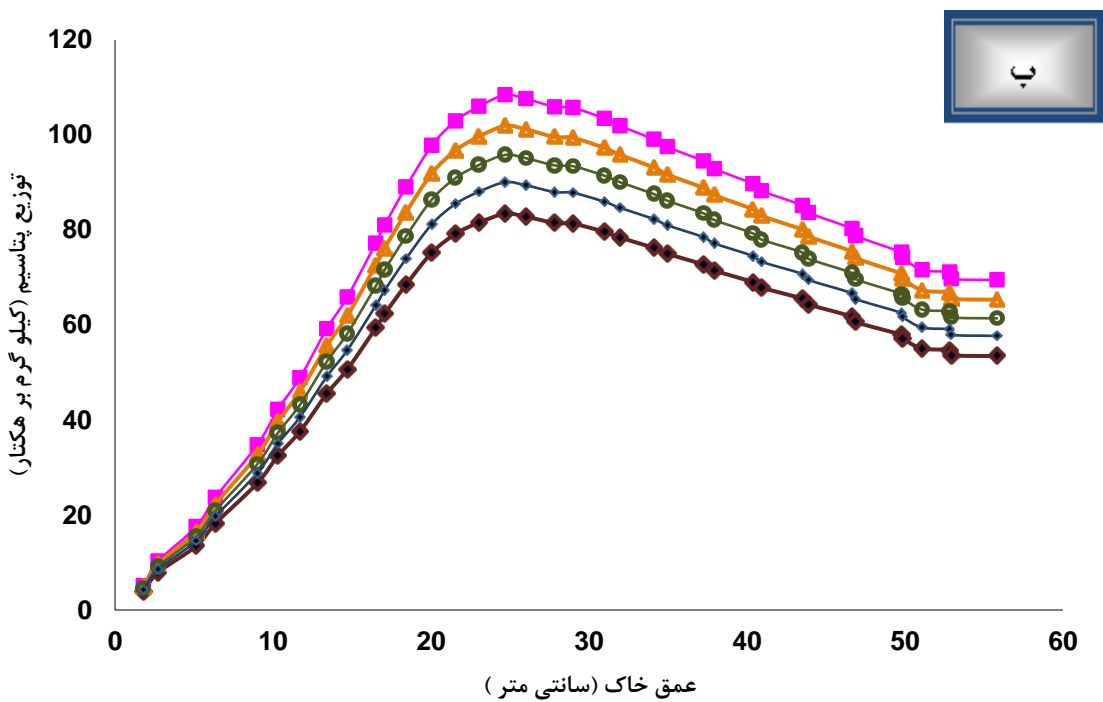
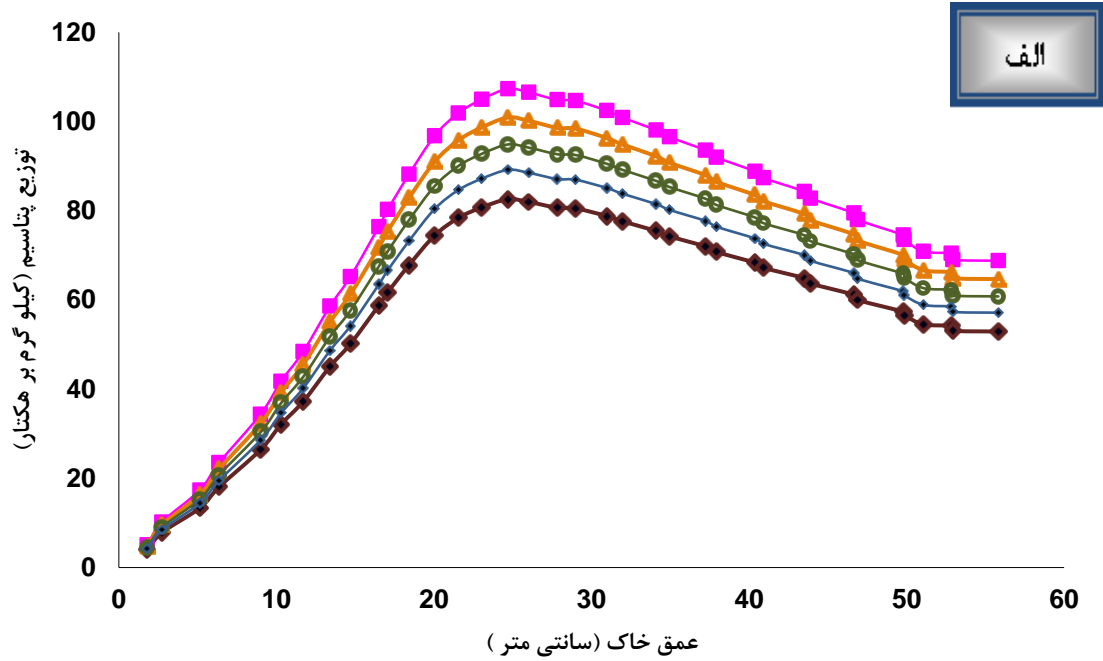




- ◆ قبل از آبیاری
- ۲ ساعت بعد آبیاری
- ▲ ۲۴ ساعت بعد آبیاری
- ۴۸ ساعت بعد آبیاری
- ◆ ۷۲ ساعت بعد آبیاری

شکل ۴-۱۱ شبیه سازی توزیع پتاسیم در ۱۵ روز چهارم کشت

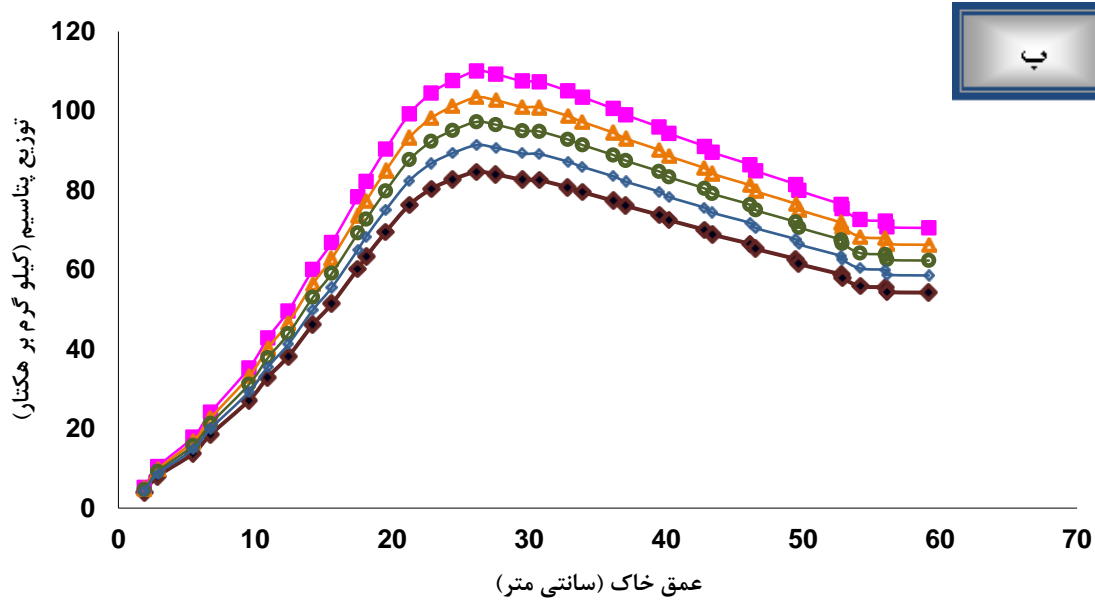
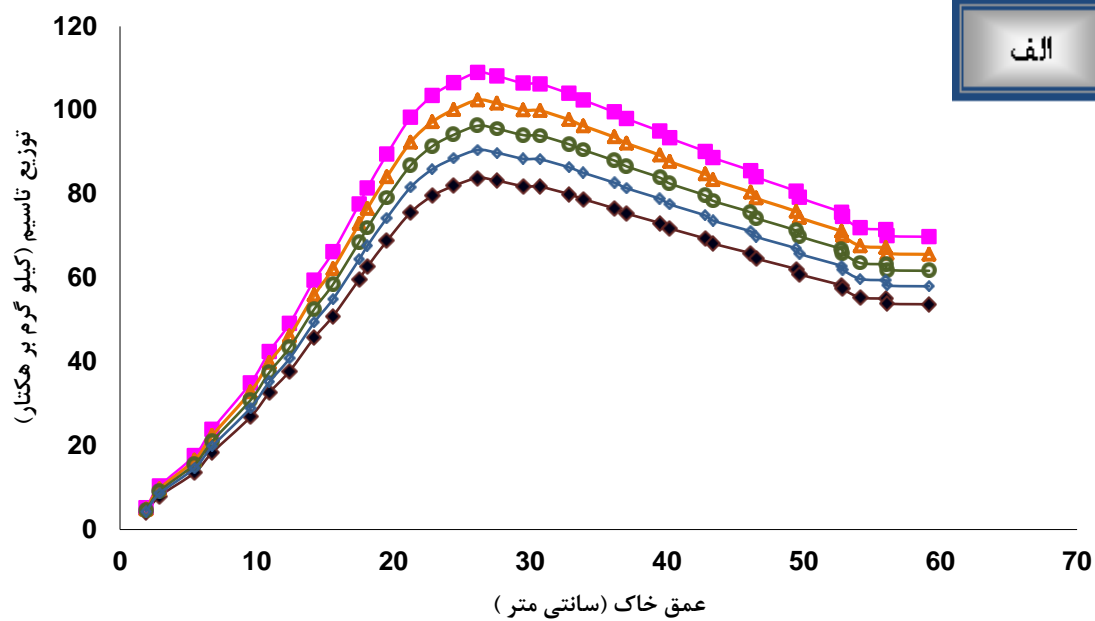
الف: در محل قطره چکان      ب: ۱۰ سانتی متری قطره چکان



- ◆ قبل از آبیاری
- ۲ ساعت بعد آبیاری
- ▲ ۲۴ ساعت بعد آبیاری
- ۴۸ ساعت بعد آبیاری
- ◆ ۷۲ ساعت بعد آبیاری

شکل ۴-۱۲ شبیه سازی توزیع پتاسیم در ۱۵ روز پنجم کشت

الف: در محل قطره چکان      ب: در ۱۰ سانتی متری قطره چکان

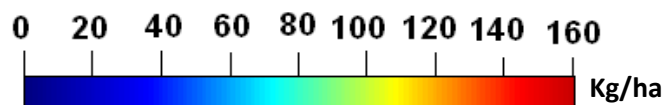
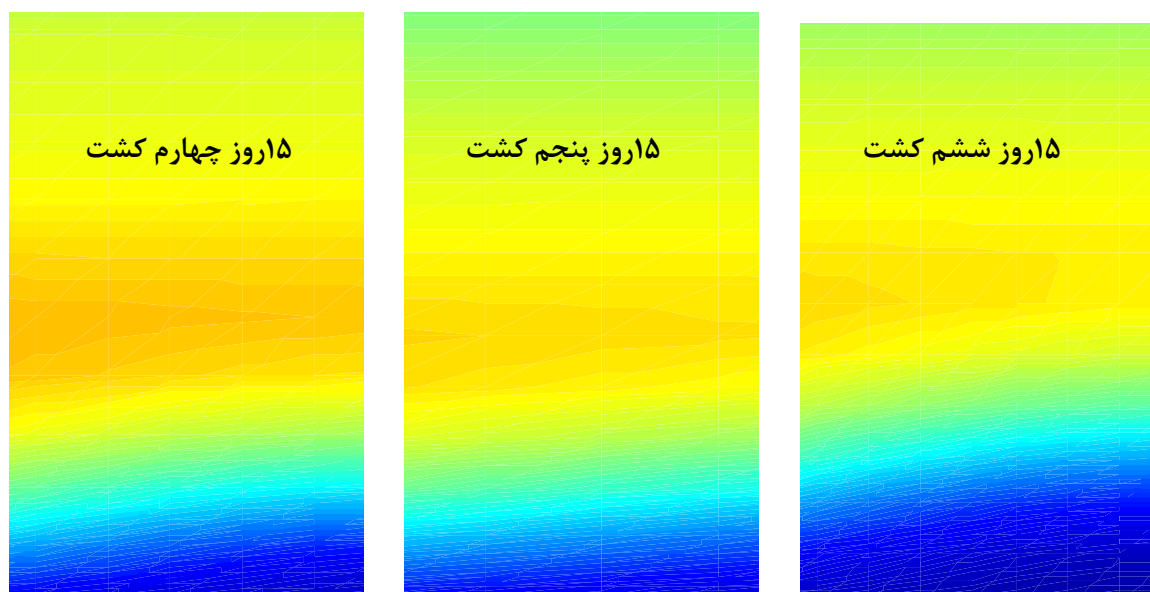
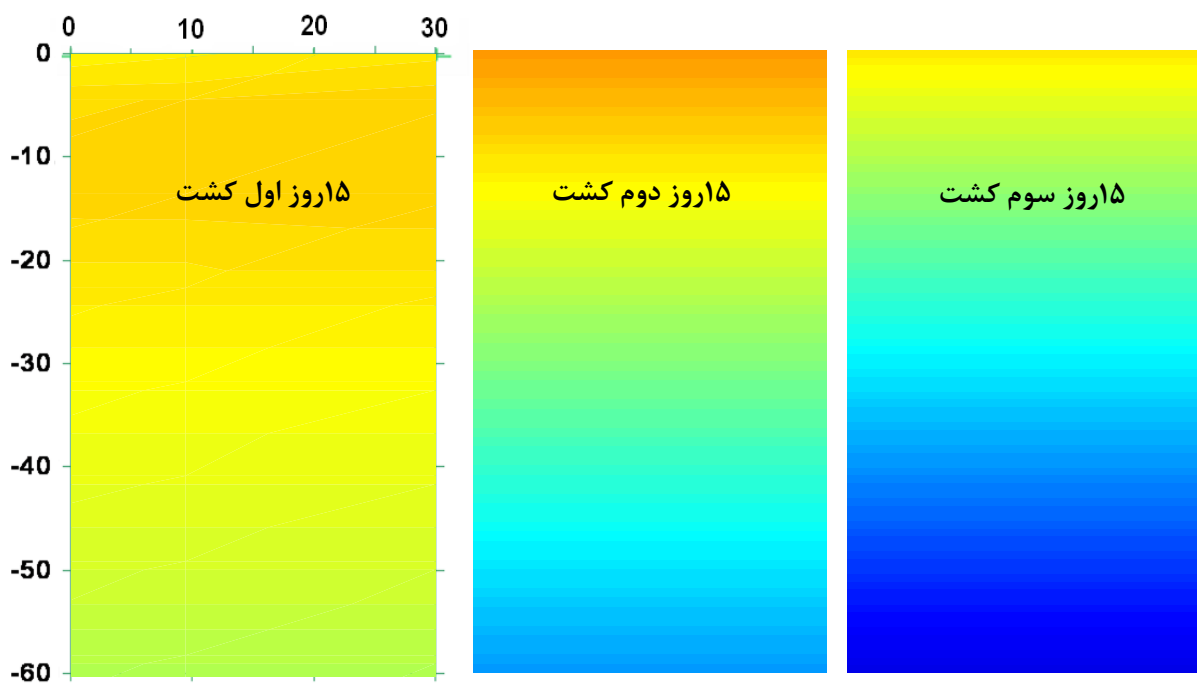


- ◆ قبل از آبیاری
- ۲ ساعت بعد آبیاری
- ▲ ۲۴ ساعت بعد آبیاری
- ۴۸ ساعت بعد آبیاری
- ◆ ۷۲ ساعت بعد آبیاری

شکل ۴-۱۳ شبیه سازی توزیع پتاسیم در ۱۵ روز ششم کشت

الف: در محل قطره چکان      ب: در ۱۰ سانتی متری قطره چکان

شبه سازی توزیع عمقی و افقی پتاسیم در طول دوره رویشی گیاه به صورت اسپکتروم های رنگی در شکل ۴-۱۴ آمده است. ابعاد این شبهه سازی در ۳۰ سانتی مترافقی و ۶۰ سانتی متری عمودی صورت گرفته است. همان طور که در این شکل مشاهده می شود، در شش دوره رویشی گیاه تجمع پتاسیم در هر ماه متناسب با رشد ریشه گیاه بوده و مطابقت افقی و عمودی بین تجمع پتاسیم و توسعه ریشه وجود دارد. همچنین این اشکال بیان می دارد که آبشویی پتاسیم به اعماق پایین تر صورت نگرفته است.



شکل: ۴-۱۴ شبیه سازی توزیع پتاسیم در طول دوره رویش گیاه

#### ۷-۴ محاسبه میانگین مربعات خطای مدل

جدول ۴-۶ مقادیر  $R$ ,  $NRMSE$ ,  $d$ ,  $E$  را در شش دوره از کشت (موارد الف تا ج مربوط به ۱۵ روز اول تا ششم کشت) را مشخص می‌کنند.  $RMSE$  خطای متوسط مجذور مربعات می‌باشد که جهت میزان انطباق شبیه سازی های مدل HYDRUSE 2D با داده های اندازه گیری شده با پارامترهای آماری بیان شد. مقدار  $R$  بر پراکندگی داده‌های حاصل از شبیه سازی مدل از داده‌های اندازه گیری شده دلالت دارد.

ضریب  $R$  به تنهایی گویای مقایسه دو سیستم شبیه سازی اندازه گیری نیست لذا از ضرایب مهم تر از جمله  $E$ ,  $d$ ,  $NRMSE$  استفاده گردید. ضریب  $d$  شاخص تطابق بین مقادیر اندازه گیری شده و شبیه سازی شده و  $E$  بازده مدل را بیان می‌کند. هر چه  $N$  به صفر و  $d$  به یک نزدیک تر باشد مقادیر شبیه سازی شده دقیق تر می‌باشد.

مقادیر  $E$  بین منهای بی نهایت تا یک متغیر است که مقادیر  $E$  برابر با یک نشان دهنده انطباق کامل مقادیر شبیه سازی شده با مقادیر اندازه گیری شده و  $E$  برابر با صفر دقت مدل و  $E$  کوچک تر از صفر ضعف مدل را در تخمین مقادیر پتاسیم بیان می‌کند. همان طور که جداول نشان می‌دهد در کلیه حالت ها مقادیر  $NRMSE$  به سمت صفر میل نموده و مقادیر  $R$ ,  $E$ ,  $d$  نزدیک یک می‌باشد و این نشان از انطباق کامل شبیه سازی مدل انتخاب شده و مقادیر اندازه گیری پتاسیم می‌باشد.

جدول ۴-۶ الف مقادیر R, NRMSE, D,E در ۱۵ روز اول کشت

	قبل از آبیاری	۲ ساعت بعد آبیاری	۲۴ ساعت بعد آبیاری	۴۸ ساعت بعد آبیاری	۷۲ ساعت بعد آبیاری
R	۰/۸۷۵۹	۰/۸۴۲۷	۰/۹۵۴۵	۰/۸۸۹۷	۱/۴۸۶۹
NRMSE	۰/۰۱۲۳	۰/۰۱۰۱	۰/۰۱۱۷	۰/۰۱۱۱	۰/۰۱۹۱
d	۰/۹۸۸۵	۰/۹۹۷۷	۰/۹۹۶۴	۰/۹۹۶۵	۰/۹۸۶۹
E	۰/۹۵۷۴	۰/۹۸۹۹	۰/۹۸۴۸	۰/۹۸۴۶	۰/۹۴۵۹

جدول ۴-۶ ب مقادیر R, NRMSE, D,E در ۱۵ روز دوم کشت

	قبل از آبیاری	۲ ساعت بعد آبیاری	۲۴ ساعت بعد آبیاری	۴۸ ساعت بعد آبیاری	۷۲ ساعت بعد آبیاری
R	۰/۸۷۵۰	۰/۹۹۱۷	۰/۹۰۰۱	۰/۹۴۹۹	۱/۴۶۹۶
NRMSE	۰/۰۱۲۱	۰/۰۱۱۷	۰/۰۱۰۹	۰/۰۱۱۷	۰/۰۱۸۶
d	۰/۹۹۸۳	۰/۹۹۶۹	۰/۹۹۷۰	۰/۹۹۶۱	۰/۹۸۷۵
E	۰/۹۹۷۷	۰/۹۸۶۲	۰/۹۸۷۲	۰/۹۸۲۸	۰/۹۴۸۲

جدول ۴-۶ پ مقادیر R, NRMSE, D,E در ۱۵ روز سوم کشت

	قبل از آبیاری	۲ ساعت بعد آبیاری	۲۴ ساعت بعد آبیاری	۴۸ ساعت بعد آبیاری	۷۲ ساعت بعد آبیاری
R	۱/۹۷۶۱	۱/۸۹۸۸	۱/۷۷۶۲	۱/۹۰۸۰	۰/۴۱۸۶
NRMSE	۰/۰۲۵۵	۰/۰۲۰۷	۰/۰۲۰۰	۰/۰۲۱۸	۰/۰۰۵۰
d	۰/۸۲۸۰	۰/۹۷۸۳	۰/۹۷۹۱	۰/۹۷۱۹	۰/۹۹۸۲
E	۰/۳۲۷۴	۰/۹۱۷۸	۰/۹۱۲۱	۰/۸۸۵۷	۰/۹۹۲۳

جدول ۴-۶ مقادیر R, NRMSE, D,E در ۱۵ روز چهارم کشت

	قبل از آبیاری	۲ ساعت بعد آبیاری	۲۴ ساعت بعد آبیاری	۴۸ ساعت بعد آبیاری	۷۲ ساعت بعد آبیاری
R	۱/۸۵۹۲	۱/۵۳۵۶	۱/۵۷۲۴	۱/۸۵۱۴	۰/۴۲۷۰
NRMSE	۰/۰۲۳۶	۰/۰۱۶۵	۰/۰۱۷۴	۰/۰۲۰۷	۰/۰۰۵۰
d	۰/۸۵	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۹۸	۱/۰۰
E	۰/۳۷	۰/۹۵	۰/۹۳	۰/۹۰	۰/۹۹

جدول ۴-۶ مقادیر R, NRMSE, D,E در ۱۵ روز پنجم کشت

	قبل از آبیاری	۲ ساعت بعد آبیاری	۲۴ ساعت بعد آبیاری	۴۸ ساعت بعد آبیاری	۷۲ ساعت بعد آبیاری
R	۰/۸۵۱۱	۰/۹۳۲۳	۰/۹۶۳۲	۱/۰۱۶۴	۱/۵۷۲۵
NRMSE	۰/۰۱۱۰	۰/۰۱۰۳	۰/۰۱۰۹	۰/۰۱۱۷	۰/۰۱۸۷
d	۰/۹۹۱۰	۰/۹۹۷۴	۰/۹۹۷۰	۰/۹۹۶۱	۰/۹۸۷۵
E	۰/۹۶۶۰	۰/۹۸۹۴	۰/۹۸۷۲	۰/۹۸۲۸	۰/۹۴۸۲

جدول ۴-۶ مقادیر R, NRMSE, D,E در ۱۵ روز ششم کشت

	قبل از آبیاری	۲ ساعت بعد آبیاری	۲۴ ساعت بعد آبیاری	۴۸ ساعت بعد آبیاری	۷۲ ساعت بعد آبیاری
R	۲/۵۱	۳/۰۴	۲/۲۸	۳/۰۷	۳/۲۱
NRMSE	۰/۰۳۲۵	۰/۰۳۳۸	۰/۰۲۶۲	۰/۰۳۶۳	۰/۰۳۸۹
d	۰/۸۸۳۹	۰/۹۶۷۹	۰/۹۷۷۴	۰/۹۵۲۳	۰/۹۲۸۱
E	۰/۴۱۴۹	۰/۸۳۹۹	۰/۸۸۶۲	۰/۷۳۸۹	۰/۶۲۴۷



## ۴-۵ شبیه سازی آبشویی پتاسیم

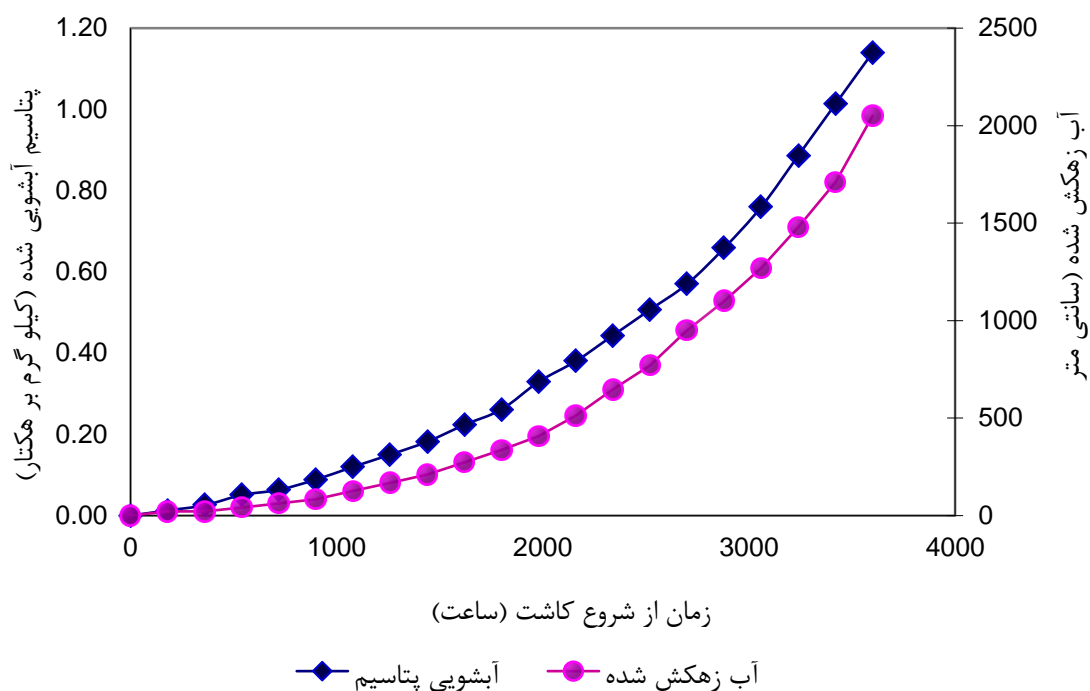
### ۴-۵-۱ شبیه سازی پتاسیم آبشویی شده و آب زهکش شده

شکل ۴-۱۴ شبیه سازی پتاسیم آبشویی شده و حجم آب زهکش شده از زیر ناحیه ریشه گیاه را در کل دوره رویش نشان می‌دهد. با توجه به این گراف در کل دوره رویش گیاه پتاسیم به میزان ۱/۱۹ درصد از زیر ناحیه ریشه گیاه آبشویی شده و ۹۸/۱ درصد پتاسیم در منطقه ریشه متمرکز شده است. این موضوع اهمیت سیستم کودآبیاری را در رابطه با کاهش آبشویی ماده غذایی و عدم خروج آن از زیر ناحیه فعالیت ریشه گیاه را بیان می‌کند.

همچنین این نمودار نشان می‌دهد که میزان آب خارج شده از زیر ناحیه ریشه در کل فصل رویش با توجه به مقدار شبیه سازی شده توسط مدل، ۲۰۵۰ سانتی متر مکعب بوده است. در کل دوره رویش گیاه مجموعاً ۹۰ لیتر آب از هر قطره‌چکان توزیع گردیده است که با توجه به مقدار شبیه سازی شده توسط مدل ۹۷/۸ درصد از آب مصرفی در ناحیه ریشه گیاه باقی مانده است.

لازم به ذکر است که این میزان پتاسیم و آب در خاکی با بافت سبک لوم شنی در ناحیه ریشه متمرکز کرده است که با توجه به سیستم کودآبیاری به کار گرفته شده در مزرعه مقدار پتاسیم و آب خارج شده از ناحیه ریشه به کمترین مقدار خود رسیده است. در حالیکه با کاربرد آبیاری به شیوه سنتی حجم زیادی از آب و پتاسیم آبشویی شده و از دسترس گیاه خارج می‌گردد.

برای بررسی این موضوع شبیه سازی حرکت آب و پتاسیم از زیر ناحیه ریشه گیاه در خاک‌های با بافت‌های مختلف صورت گرفت و نتایج حاصل نشان داد که در خاک لوم رسی شنی مقدار آب خارج شده از ناحیه ریشه و همچنین مقدار پتاسیم زهکش شده به کمتر از ۱ درصد می‌رسد. یعنی بیش از ۹۹ درصد آب و پتاسیم مصرفی با کاربرد روش کودآبیاری در خاک‌های با بافت سنگین‌تر از لوم شنی در ناحیه ریشه ذخیره می‌گردد.



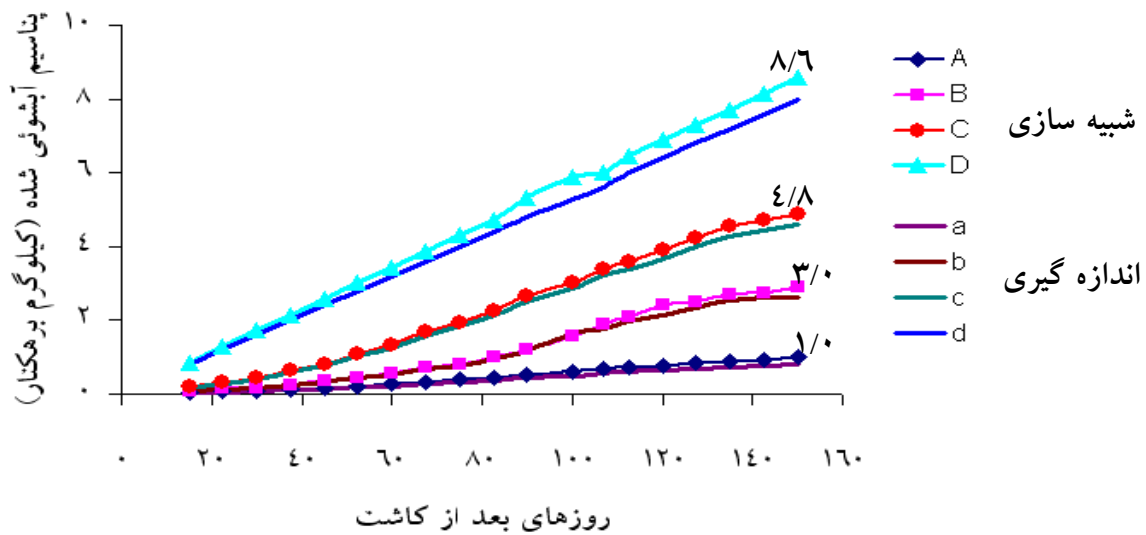
شکل ۴-۱۴ شبیه سازی میزان پتاسیم آیشویی شده و آب زهکش شده از زیر ناحیه ریشه گیاه در کل دوره رویشی

#### ۴-۵-۲ شبیه سازی پتاسیم آیشویی شده

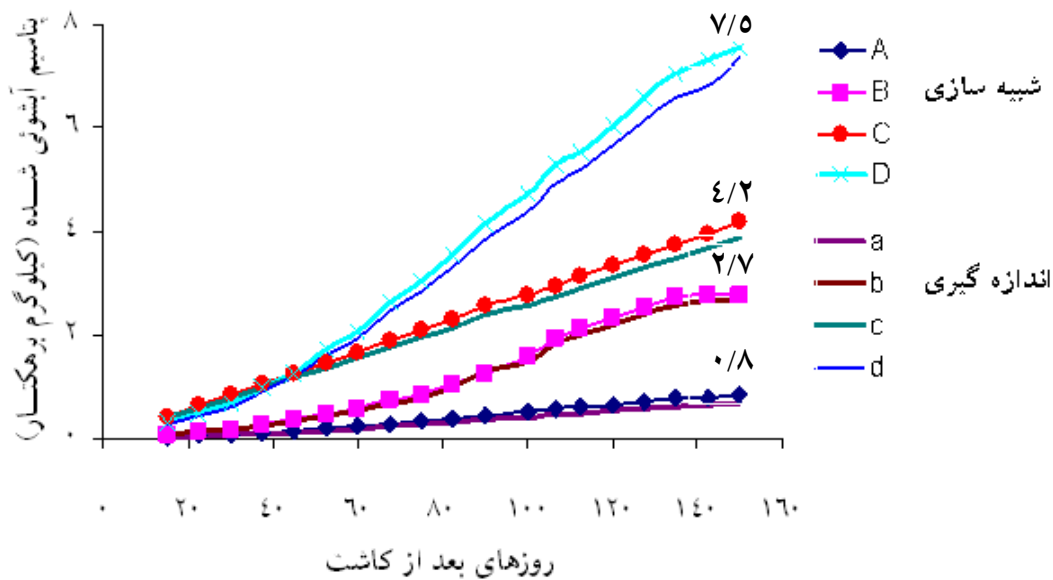
در تحقیق حاضر مقدار پتاسیم آیشویی شده با اجرای چهار روش کود آبیاری در دو نوع خاک لوم شنی و لوم رسی شنی برآورد گردید و نتایج حاصل از آن در اشکال ۴-۱۵ و ۴-۱۶ آمده است. این برآورد در طول دوره رویش گیاه که ۱۵۰ روز بود صورت گرفت. شکل ۴-۱۵ نتیجه مربوط به این قسمت از تحقیق در خاک لوم شنی را نشان می دهد روند قرارگیری منحنیها در این شکل بیانگر آن است که در این خاک با اجرای روش کود آبیاری A ۱ کیلوگرم بر هکتار یا ۱/۶ درصد از ۶۰ کیلوگرم بر هکتار پتاسیم توزیع شده در مزرعه آیشویی گردیده است و این بیان کننده آن است که ۹۸/۴ درصد از پتاسیم توزیعی در ناحیه ریشه گیاه باقی می ماند. همچنین بر اساس این شکل با اجرای روش کود آبیاری B ۳ کیلوگرم بر هکتار یا ۵ درصد از پتاسیم توزیعی آیشویی گردیده است. این شکل بیان کننده نکته مهم دیگری نیز است و آن این است که با اجرای روشهای کود آبیاری C و D (کود آبیاری چهار روز یک بار) بترتیب ۴/۸ و ۸/۶ کیلوگرم بر هکتار و یا ۸ و ۱۴ درصد از مقدار پتاسیم

توزیع شده آبشویی یافته است. با توجه به نکات ذکر شده در این شکل می توان نتیجه گرفت که در این نوع خاک، روش A نسبت به روش B ۳/۴ درصد و نسبت به روشهای C و D ۷ و ۱۳ درصد آبشویی پتاسیم را کمتر نشان می دهد. همچنین مشخص می شود که در روش A نسبت به متوسط ۳ روش دیگر ۷/۴ درصد آبشویی پتاسیم کمتر اتفاق می افتد. شکل ۴-۱۶ وضعیت آبشویی پتاسیم را در خاک لوم رسی شنی نشان می دهد. نتیجه حاصل از این شکل نشان می دهد که در این خاک نیز روش A در طول دوره رویش گیاه با داشتن ۰/۸ کیلوگرم برهکتار پتاسیم آبشویی که معادل ۱/۳ درصد پتاسیم توزیع شده می باشد نسبت به روشهای دیگر کمترین آبشویی را داشته است. همچنین این شکل نشان می دهد که روش B ۲/۷ کیلوگرم برهکتار، روش C ۴/۲ و روش D ۷/۵ کیلوگرم برهکتار آبشویی داشته اند. از تجزیه و تحلیل این شکل مشخص می شود که روش A نسبت به متوسط سه روش دیگر ۶/۷ درصد آبشویی پتاسیم را کمتر می نماید. شکل ۴-۱۷ مقایسه مقادیر اندازه گیری پتاسیم آبشویی شده را با اعمال شاخص های آماری نشان می دهد. نتیجه حاصل از این شکل حاکی از آن است که در این نوع خاک در کلیه روشهای کود آبیاری مورد مطالعه A, B, C, D هر ۴ شاخص آماری مهم  $RMSE$ ,  $R^2$ ,  $d$ ,  $E$  نتیجه رضایت بخشی را نشان می دهند چنانچه مشاهده می شود در هر ۴ روش  $NRMSE$  نزدیک به صفر  $d$ ,  $R^2$  و  $E$  بسیار نزدیک به یک هستند این حاکی از آن است که تطابق بسیار بالایی بین داده های اندازه گیری و شبیه سازی شده توسط مدل  $hydrus-2D$  در برآورد پتاسیم آبشویی شده در طول دوره رویش گیاه انتخابی وجود داشته است. شکل ۴-۱۸ مقایسه شبیه سازی و اندازه گیری میزان آب زهکشی شده در طول دوره رویش گیاه را در دو نوع خاک مورد مطالعه نشان می دهد. ملاحظه می شود که در طول دوره رویش گیاه از خاک لوم رسی ۲۹۳۲ سانتیمتر مکعب آب و از خاک لوم رسی شنی ۱۶۰۸ سانتیمتر مکعب آب از زیر ناحیه ریشه گیاه زهکشی گردیده است. در کل دوره رویش گیاه از هر قطره چکان ۱۰۵ لیتر آب خارج گردیده بود لذا درصد آب زهکشی شده نسبت به آب توزیع شده برای خاک لوم رسی شنی ۲/۸ و برای

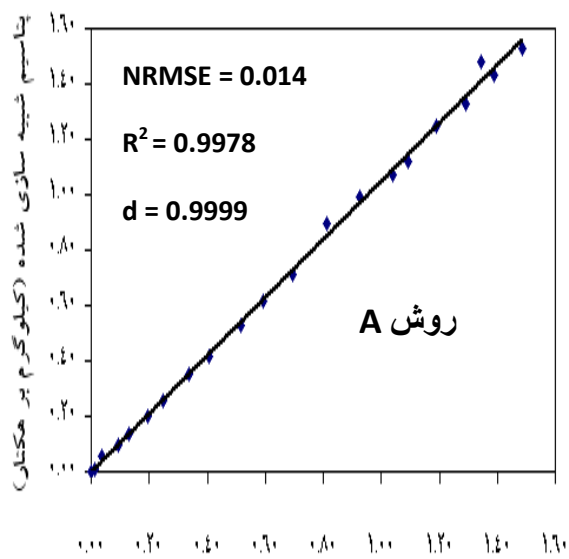
خاک لوم رسی شنی ۱/۵ درصد می باشد. این نتیجه بیان کننده آن است که در سیستم کود آبیاری در هر دو خاک مقدار آب زهکشی یافته نسبت به آب توزیع شده بسیار پایین می باشد.



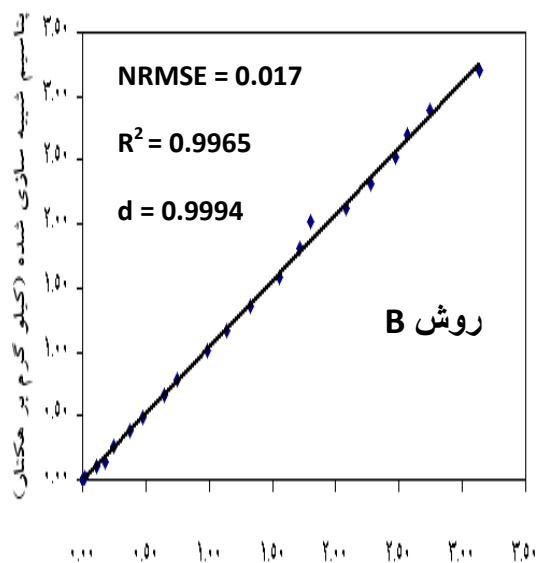
شکل ۴-۱۵ شبیه سازی پتانسیم آبشویی شده در خاک لوم رسی شنی



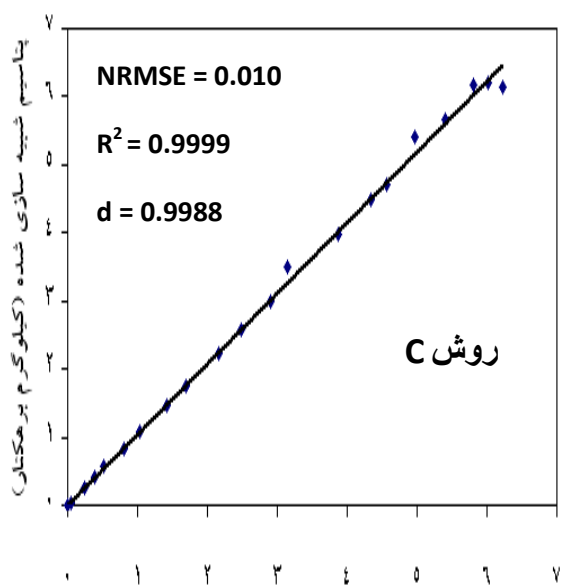
شکل ۴-۱۶ شبیه سازی پتانسیم آبشویی شده در خاک لوم رسی شنی



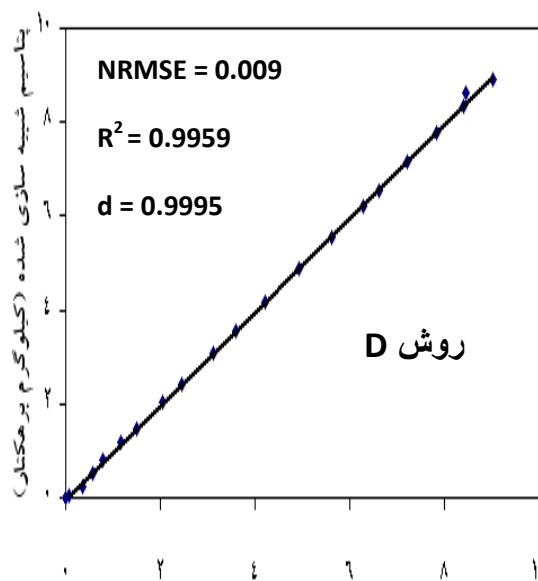
پتاسیم اندازه گیری شده (کیلوگرم بر هکتار)



پتاسیم اندازه گیری شده (کیلوگرم بر هکتار)

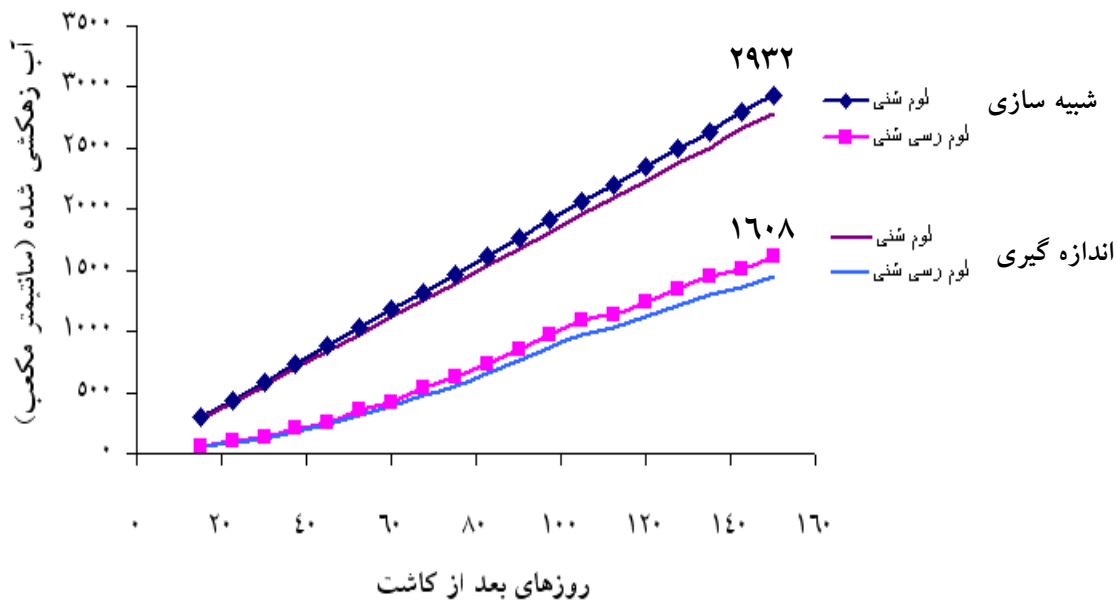


پتاسیم اندازه گیری شده (کیلوگرم بر هکتار)



پتاسیم اندازه گیری شده (کیلوگرم بر هکتار)

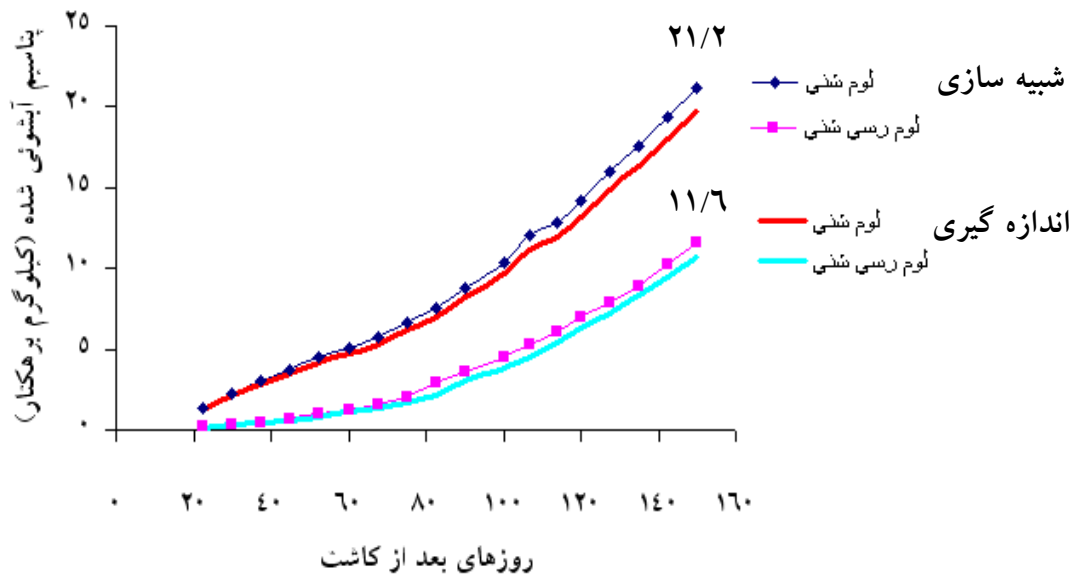
شکل ۴-۱۶ ضرایب آماری پتاسیم شبیه سازی شده در خاک لوم شنی



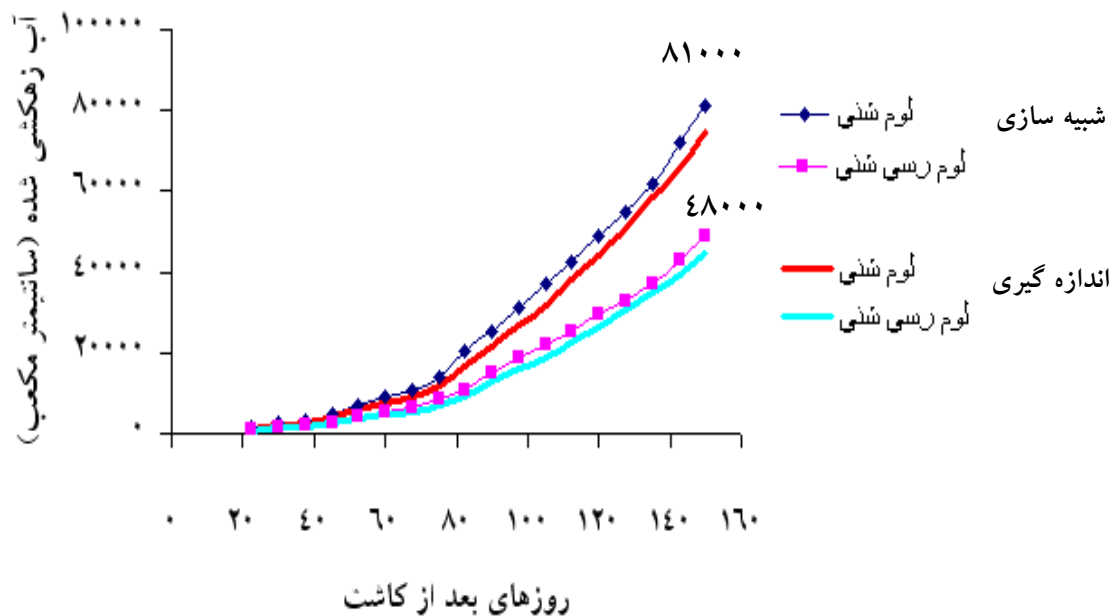
شکل ۴-۱۸ مقایسه شبیه سازی و اندازه گیری میزان آب زهکشی شده در طول دوره رویش گیاه

شکل ۴-۱۹ آبشویی پتاسیم را در خاکهای مورد مطالعه در بخش آبیاری کرتی مزرعه تحقیق نشان می دهد همانطور که ملاحظه می شود از ۶۰ کیلو گرم برهکتار پتاسیم توزیعی در این تیمار در خاک لوم شنی ۲۱/۲ و در خاک لوم رسی شنی ۱۱/۶ کیلوگرم بر هکتار معادل ۳۵/۳۳ و ۱۹/۳۳ درصد پتاسیم توزیعی به ترتیب در این دو خاک آبشویی گردیده است. این نتیجه بیان کننده آن است که در این نوع آبیاری بخش قابل توجهی از مواد غذایی توزیع شده گیاه از دسترس آن خارج شده است. نکته دیگر اینکه از مقایسه این شکل با شکل ۴-۱۵ مشخص می شود که کلیه روشهای کود آبیاری بکاررفته در تحقیق نسبت به آبیاری سطحی دارای درصد آبشویی کمتری هستند. روش نسبت به آبیاری کرتی ۳۴ درصد در خاک لوم شنی و ۱۸ درصد در خاک لوم رسی شنی آبشویی را کمتر نشان می دهد. شکل ۴-۲۰ حجم آب زهکشی شده از سیستم آبیاری کرتی را نشان می دهد در این سیستم در طول دوره رویش گیاه از سطح معادل پوشش یک قطره چکان در طرح کود آبیاری ۱۴۷ لیتر آب در کرت توزیع گردیده بود لذا با توجه به این شکل ملاحظه می شود در خاک لوم شنی ۸۱۰۰۰ سانتیمتر مکعب برابر ۵۵ درصد و در خاک لوم رسی شنی معادل ۳۲ درصد آب توزیع شده

از زیر ناحیه ریشه زهکشی شده است که با توجه به متوسط ۲ درصدی آب زهکشی در سیستم کود آبیاری میزان آب از دست رفته در آبیاری کرتی بسیار بالا می باشد.



شکل ۴-۱۹ شبیه سازی پتاسیم در خاک های لوم شنی و لوم رسی شنی در آبیاری کرتی



شکل ۴-۲۰ شبیه سازی حجم آب زهکش شده در آبیاری کرتی در خاک های لوم رسی شنی و لوم شنی

# فصل پنجم

## نتیجه گیری



## نتیجه‌گیری

نتایج بسیار ارزنده‌ای از این تحقیق بدست آمده است، که این نتایج حاصل کاربرد سیستم کود آبیاری به عنوان یک ابزار کارآمد جهت مدیریت مناسب منابع آب و همچنین کاربرد مدل سازی در کشاورزی به منظور کاهش زمان و هزینه‌ها می‌باشد. نتایج به شرح زیر است:

۱. با کاربرد سیستم کود آبیاری ۴۷/۱۳ تن برهکتار عملکرد حاصل شده است این در حالی است که در آبیاری سطحی ۳۱/۳ تن بر هکتار عملکرد بدست آمده و لذا سیستم کود آبیاری نسبت به آبیاری سطحی ۳۳/۶ درصد افزایش عملکرد داشته است.

۲. در سیستم کود آبیاری ۳۳/۷۴ درصد در مقایسه با آبیاری سطحی افزایش بازده مصرف پتاسیم مشاهده می‌شود.

۳. نتایج حاصل از شبیه‌سازی توزیع عمقی پتاسیم نشان داد که عمق تمرکز پتاسیم مطابق با عمق توسعه ریشه بوده است و همچنین انطباق بالایی بین مقادیر شبیه‌سازی تمرکز پتاسیم و مقدار اندازه‌گیری آن در لایه‌های عمقی خاک مشاهده شد که می‌توان نتیجه گرفت که سیستم کود آبیاری طوری طراحی گردید که از همان روزهای اولیه کاشت گیاه تمرکز بالا ترین مقدار پتاسیم همزمان با رشد ریشه صورت گرفته است. انطباق مربوطه نه تنها عمقی بلکه به صورت افقی نیز مشاهده شد.

۴. نتیجه حاصل از تحقیق نشان داد که روش کود آبیاری هفتگی ۱۰ دقیقه قبل از آبیاری در خاک لوم شنی و لوم رسی شنی با داشتن ۱ و ۰/۸ کیلو گرم بر هکتار مقدار پتاسیم آبشویی شده برابر با ۱/۶ و ۱/۳ درصد پتاسیم توزیع شده در طول دوره تحقیق نسبت به کلیه روشهای مورد مطالعه کمترین آبشویی پتاسیم دارا بوده و نسبت به روشهای دیگر ارجح تر است.

۵. این پژوهش نشان داد که از ۱۰۵ لیتر آب توزیع شده از هر قطره چکان سیستم کود آبیاری در طول دوره رویش گیاه فقط ۲۹۰۰ و ۱۶۰۰ سانتیمتر مکعب آب معادل با ۱/۵ و ۲/۷ درصد آب توزیع شده بترتیب در خاکهای لوم شنی و لوم رسی شنی زهکشی شده است.

۶. نتیجه دیگر پژوهش نشان داد که متوسط میزان آبشویی پتاسیم در روشهای کود آبیاری هفتگی قبل و بعد از آبیاری نسبت به روش آبیاری کرتی میزان آبشویی پتاسیم در خاک لوم شنی ۳۲ درصد و در خاک لوم رسی شنی ۱۹ درصد کمتر رخ می دهد.
۷. نتیجه مربوط به مقایسه حجم آب زهکشی سیستم کود آبیاری با آبیاری کرتی نشان داد که حجم آب زهکشی یافته در سیستم کود آبیاری در خاک لوم شنی ۵۲ و در خاک لوم رسی شنی ۳۰ درصد کمتر بوده است.

## تحلیل اقتصادی

تحلیل اقتصادی این طرح در جدول \* آمده است این جدول بر مبنای هزینه های منطقه ای و بروز میباشد و با این فرض صورت گرفته که زمین و آب از ان کشاورز می باشد بر مبنای این جدول مجموع هزینه های تولید محصول فلفل سبز(فلفل دلمه ای) در واحد سطح(یک هکتار) ۵۶ میلیون ریال و درآمد ناخالص این محصول ۸۰ میلیون ریال است که پس از کسر هزینه ها درآمد خالص آن ۲۳ میلیون ریال خواهد بود لذا طرح دارای توجیه اقتصادی می باشد

جدول \* تحلیل اقتصادی تولید فلفل سبز (فلفل دلمه ای) در شاهرود

هزینه ها		
ملاحظات	هزینه(ریال)	نوع عملیات
	۹۰۰۰۰۰۰	آماده کردن زمین برای کاشت
	۷۰۰۰۰۰۰	بذر و کود
	۲۵۵۰۰۰۰۰	پباده کردن سیستم کود آبیاری
	۴۰۰۰۰۰۰	آفت کشی و سم پاشی
	۱۱۰۰۰۰۰۰	هزینه های کارگری
	۵۶۵۰۰۰۰۰	جمع هزینه ها
درآمد ها		
	درآمد(ریال)	عملکرد در واحد سطح(تن بر هکتار)
درآمد ناخالص کشاورز با ضریب ۳۳ درصد از کل عملکرد ۴۸ تن بر هکتار	۸۰۰۰۰۰۰۰	۱۶
درآمد خالص	۲۳۵۰۰۰۰۰	

## منابع

- اژدری، خ، (۱۳۸۶)، "کاربرد مدل کامپیوتری HYDRUS-2D در مدیریت منابع آب"، سومین کنفرانس سراسری آبخیزداری و مدیریت منابع آب و خاک، ص ۵۲۹ تا ۵۳۵، کرمان.
- اژدری، خ، (۱۳۸۷)، "شبیه سازی توزیع رطوبت در خاک در سیستم آبیاری قطره ای با استفاده از مدل HYDRUS-2D"، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، جلد پانزدهم، شماره اول، ص: ۱۶۸-۱۸۰.
- آقا فتحی، طاهر. (۱۳۷۸). کشاورزی پایدار با تاکید بر استفاده بهینه از سموم و کود های شیمیایی. اولین گزارش ملی توسعه انسانی. سازمان برنامه و بودجه، ۱۳۷۸، ص ۱۷۲ تا ۱۸۱. تهران.
- امتی، ف، کریمی، ع، (۱۳۷۴)، " بررسی عوامل قارچی مولد بوته میری فلفل قرمز و تعیین مهمترین آنها"، گزارش نهائی مرکز تحقیقات کشاورزی سمنان، انتشارات سازمان تات.
- آنگلی، ادوین. (۱۳۸۱). مهار آلودگی آب ناشی از فعالیت های کشاورزی. مترجم: محمدرضا شریعتی. کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. تهران.
- بارانی مطلق، م. ثوابقی، غ، ر، (۱۳۸۲)، "بررسی شکل های مختلف پتاسیم در خاکهای زیر کشت نیشکر خوزستان"، مجموعه مقالات هشتمین کنگره علوم خاک ایران، ص ۶۹۵-۶۹۷، رشت.
- پوریزدان خواه، ه، خالدیان م، ر، (۱۳۹۱)، "بهبود کارایی مدل HYDRUS-2D در اعمال تغییرات زمانی پارامتر های هیدرولیکی خاک"، نشریه آب خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۶، شماره ۶، ص ۱۴۴۰-۱۴۴۹.
- پوزش شیرازی، م، (۱۳۸۲)، "تاثیر مقادیر مختلف پتاسیم بر کارایی مصرف آب و تحمل گیاه به خشکی گیاه گوجه فرنگی در استان بوشهر"، مجموعه مقالات هشتمین کنگره علوم خاک ایران، ص ۹۳۰ تا ۹۳۲، رشت.
- ترابی م، صدقائین س ح، (۱۳۸۲)، "ارزیابی یک مدل نیمه تجربی برای تخمین ابعاد پیاز رطوبتی و فاصله قطره چکانها"، مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، ۱۷(۴): ۱۵-۲۸.
- حسن اقلی، ع. ر.، ع. لیاقت و م. میراب زاده، (۱۳۸۱) "تغییرات میزان مواد آلی خاک در نتیجه آبیاری با فاضلاب های خانگی و خودپالایی آن"، مجله آب و فاضلاب، ۴۲: ۲-۱۱.
- دانشیان، ج. جنوبی، پ، (۱۳۸۰)، "بررسی تاثیر تنش خشکی بر عملکرد دانه گیاه سویا"، مجموعه مقالات هفتمین کنگره علوم خاک ایران، ص ۶۱ تا ۶۳.

- سالاردینی ع ا، (۱۳۸۷) "حاصلخیزی خاک" چاپ هشتم، انتشارات دانشگاه تهران، ص ۴۳۳.
- صدرقائن س ح، باغانی ج، حقایقی مقدم س ا، اکبری م، (۲۰۱۱)، "اثر سه سیستم آبیاری میکرو و سطوح مختلف آبیاری بر عملکرد و کارایی مصرف آب فلفل"، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۵، شماره ۳، ص: ۵۶۳-۵۶۹.
- عابدی، م.ج. و پ. نجفی (۱۳۸۰)، "استفاده از فاضلاب تصفیه شده در کشاورزی"، انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، تهران.
- علیزاده، ا. (۱۳۸۴) "طراحی سیستم های آبیاری" چاپ ششم، انتشارات آستان قدس رضوی، ص ۵۸۳.
- فرزانه، ع. (۱۳۷۵)، "فعل و انفعالات شیمیایی آب و معضل گرفتگی قطره چکان ها در سیستم آبیاری قطره ای"، مجله آب و ماشین، ۲۲: ۴۵-۵۱.
- کهنوجی، م. (۱۳۷۸)، پایان نامه ارشد: "تاثیر درجه حرارت آب آبیاری بر دبی چکاننده ها در سیستم آبیاری قطره ای"، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
- ملایی کندلوس م، لیاقت ع، عباسی ف، (۱۳۸۵)، "شبه سازی پیاز رطوبتی با استفاده از مدل HYDRUS-2D"، مجموعه مقالات دومین کارگاه فنی خرد آبیاری، تهران، ۲ آذر، ص ۱۸-۲۷.
- ملایی کندلوس م، لیاقت ع، عباسی ف، (۱۳۸۶)، "استفاده از آنالیز ابعادی در تعیین ابعاد پیاز رطوبتی در آبیاری قطره ای زیر سطحی (SDI)، نهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، [http://www.civilica.com/Paper-ABYARI09-ABYARI09\\_147.htm](http://www.civilica.com/Paper-ABYARI09-ABYARI09_147.htm) 1، (۲۴ مهر ۱۳۸۸).
- ملایی کندلوس م، لیاقت ع، عباسی ف، (۱۳۸۷)، "برآورد پیاز رطوبتی در آبیاری قطره ای زیر سطحی با استفاده از آنالیز ابعادی"، مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، ۳۹(۲): ۳۷۱-۳۷۸.
- میرزایی ف، (۱۳۸۶)، "یک مدل ساده برای برآورد سطح خیس شده در آبیاری قطره ای با استفاده از تکنیک آنالیز ابعادی"، سمینار علمی طرح ملی آبیاری تحت فشار و توسعه پایدار: ۳۰۵-۳۱۳.
- نجفی پ، موسوی س ف، عابدی م ج، (۱۳۸۱)، "اثر کاربرد روش آبیاری قطره ای در بهبود وضعیت بهره بردای از پساب فاضلاب شهری" مجموعه مقالات همایش اثرات زیست محیطی پساب های کشاورزی بر آب های سطحی و زیرزمینی، ص ۸۵ تا ۹۲.

شیر افروس ع، لیاقت ع، ستوده نیا ع، بشلیده ح، (۱۳۸۵)، "آلودگی آبهای زیر زمینی به وسیله کود های مصرفی کشاورزی (مطالعه موردی دشت قزوین)" همایش ملی مدیریت شبکه های آبیاری و زهکشی

- Ajdary, Kh., Singh, A.K., and Khanna, M. 2005. Simulation of water distribution under drip irrigation using HYDRUS-2D. P221-233, vol. 2 In: Mathur, G.N. and A.S. Chawla(eds), proceedings of the XII World water congress ,New Delhi, India.
- Ajiboye, G.A., and Ogunwale, J.A. 2008. Potassium distribution in the sand, silt and clay separates of soils developed over talc at Ejiba, Kogi State, Nigeria. *World Journal of Agricultural Sciences*. 4: 6, 709-716.
- Allison, L. E. 1964. Salinity in relation to irrigation. *Adv. Agron.* 16: 139-180.
- Antonopoulos, V. Z. 2001. Simulation of Water and nitrogen balances of irrigation and fertilized Corn crop soil. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 127, No.2, March/April, page: 77-83.
- Balali, M. R., Moameni, A., Malakouti, M. J. & Afkhami, M. 2003. Balanced soil fertilization towards sustainable agriculture and food security in Iran. *Congress on Global Food Security and the Role of Sustainable Fertilization*, FAO, Rome.
- Berstein L., and Francois L.E. 1973. Comparisons of drip, furrow, and sprinkler irrigation. *Soil Science*, 115(1): 73- 86.
- Black, C. A. 1968. *Soil – plant Relationships*. John Wiley and Sons. Inc. New York.
- Boivin A., Šim\_ nek J., Schiavon M., and Van Genuchten M.Th. 2006. Comparison of pesticide transport processes in three tile-drained field soils using HYDRUS-2D. *Vadose Zone Journal*, 5: 838-849.
- Bybordi, M., Malakouti, M. J., Amirmokri, H. & Nafici, M. 2000. Production and optimized consumption of mineral fertilizers in Iran towards sustainable agriculture. pp. 282. Ministry of Agriculture. Karaj, Iran.
- Cook F.J., Thorburn P.J., Fitch P., and Bristow K.L. 2003. WetUp: a software tool to display approximate wetting patterns from drippers. *Irrigation Science*. 22: 129-134.
- Cook, F.J., P. Fitch, P.J. Thorburn, P.B. Charlesworth and K.L. Bristow. 2006. Modeling trickle irrigation: Comparison of analytical and numerical models for estimation of wetting front position with time. *Environ. Modeling & Software* 21: 1353-1359.
- Elmaloglou, S.R. and E. Diamantopoulos. 2009. Simulation of soil water dynamics under subsurface drip irrigation from line source. *Agric. Water Manage.* 96: 1587-1595.
- FAO.2004. *Current world fertilizer trends and outlook to 2008/09*. Rome.
- FAO.2007. *Food Outlook, Global Market Analysis. Global Information and Early Warning System on food and agriculture*, FAO, Rome.
- Fotyma, M. 2007. Content of potassium in different forms in the soils of southeast Poland. *Polish journal of soil science*, vol.1:19-31. *Polish Journal of Soil Science*, Vol. 1: 19-31.

- Gardenas, A. I., Hapmans, J. W., Hanson, B. R., Simunek, J. 2005. Two-dimensional modeling of nitrate leaching for various fertigation scenarios under micro-irrigation. *Agricultural Water Management* 74(3): 219-242.
- Goldberg D., and Shmueli M. 1971. Sprinkle and trickle irrigation of green pepper in arid zone. *Hortscience*, 6(6SEC.1): 556-562.
- Hendrickx J.M.H., and Wierenga P.J. 1990. Variability of soil water tension in a trickle irrigated chile pepper. *Field. Irrigation Science, IRSCD2*, 11(1): 23-30.
- Hochmuth, G.J. 2000. Nitrogen management practices for vegetable production in Florida. Circular 1222. University of Florida.
- Hosseini-fard, J., M., and Karimian, A., Jalalian, A., and Monshi, M. 2000. Application of new method of slope in quantity analysis clay minerals in soils. P520. Proceedings of 6<sup>th</sup> Iranian Soil Sciences Congress. Ferdowsi University of Mashhad, Iran.
- Hosseini-pour, A., Kalbasi M., and Khademi, H. 2000. Kinetics of nonexchangeable K release in soil and soil components of Gilan province. *Iranian Journal of Soil and Water Sciences*. 14: 2, 99-113.
- Hosseini-pour, A., Kalbasi M. 2001. Potassium fixation and charge characteristics of clay in some soils of central and northern Iran. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Water Resources, Water and Soil Science*. 5: 3, 79-93.
- Ignazi, J.C. 1993. Improving nitrogen management in irrigated, intensely cultivated areas: the approach in France. In: *Prevention of Water Pollution by Agriculture and Related Activities. Proceeding of the FAO Expert Consultation, Santiago, Chile, 20-23 Oct. 1992. Water Report 1. FAO, Rome. pp247-261.*
- Irsman, G.C., L.R. Ahuja & O.R. Leahman. 1992. The Transfer of Soil Surface-Applied Chemicals to Runoff. *Transaction of the ASCE*, 28(4): 1909-1915, 192.
- Jiusheng, Li., Jianjun, Z. and Li. Ren. 2003. Water and nitrogen distribution as affected by fertigation of ammonium nitrate from a point source. *Irrig Sci*. 22: 19-30.
- Kandelous M.M., and Šimunek J. 2010. Numerical simulations of water movement in a subsurface drip irrigation system under field and laboratory conditions using HYDRUS-2D. *Agricultural Water Management*. 97: 1070–1076.
- Khavazi, K. & Malakouti, M.J. 2002. Necessity for the production of biofertilizers in Iran: a compilation of papers. pp. 589. Ministry of Agriculture. Karaj, Iran.
- Korb, N., C. Jones and J. Jacobsen. 2002. Potassium Cycling, Testing and Fertilizer recommendations. Nutrient management. Module NO.5.
- Lawrence, A.R. and Kumpunarachi. 1986. Impact of agriculture on groundwater quality in Kalpitiya, Sri Lanka. British Geological Survey. Report WD/03/86/20.



- Maclean, A.J. 1961. Potassium-supplying power of some Canadian soils. *Canadian Jour. Soil Sci.* 41:196-206.
- Malakouti M.J., Bybordi, A. & Tabatabaee, S. J. 2004. Balanced fertilization of vegetable crops: an approach to enhance yield and quality of vegetables, reduce contaminants and improve human health. pp. 338. Agronomy Department. Ministry of Jihad-e-Agriculture. Tehran.
- Malakouti, M.J., and. Homaei, M. 2005. Soil fertility of arid and semi-arid regions "Difficulties and Solutions". 2nd. ed., Tarbiat Modares University Press, Tehran, Iran. 508p.
- Martin, W.H., and Sparks, D.L. 1985. The behavior of non-exchangeable K in soils. *Communication in Soil Science and Plant Analysis.* 16: 133-162.
- McLean, E.O., and Watson, M.E. 1985. Soil measurements of plant available potassium. P277–308, In: Munson, R.D. (ed.), Potassium in agriculture. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI., USA.
- Mengel, K. and Rahmatullah, 1994. Exploitation of potassium by various crop species from primary minerals in soils rich in mica. *Biology and Fertility of Soils.* 17: 75-79.
- Mengel, K., Rahmatullah and Dou, H. 1998. Release of potassium from the silt and sand fraction of loess-derived soils. *Soil Science.* 163: 10:805-813.
- 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.
- Moameni, A. 2003. An appraisal of land resources of Iran: a contribution to a project on Framework for Sustainable Agricultural Development Strategy in Iran under the auspices of FAO. FAO Representation, Tehran, Iran.
- Munson, R. D., and W.L., Nelson. 1963. Movement of applied potassium in soil. *Jour. Agr. Food Chem.* 11: 193-201.
- Pauw de, E. D., Gaffari, A. & Gasemi, V. 2002. Agro-climatic zone maps of Iran. Seed and Plant Improvement Research Institute (SPIRI), Karaj, Iran.
- Peter, J.T., Ian, K.D., Ian, M.B., Craig, P.B., Mike, A.S., and Brian, A.K. 2003. The fate of nitrogen applied to sugarcane by trickle irrigation. *J. Irrig. Sci.* 22:201-209.
- Rich, C. I. 1968. Mineralogy of soil potassium. In: Kilmer, T. C. The Role of potassium in Agriculture Amer. Soc. Agron. Madison Wisconsin.
- 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., Aydinsakir, K., and Buyuktas, D. 2006. The effects of drip irrigation on flowering and flower quality of glasshouse gladiolas plant. *J. Agricultural Water Management*. 81:132-144.
- Russell, E.W. 1961. *Soil Conditions and Plant Growth*. 9th. edition, Longmans Green and Co., London. 530p.
- Russell, E. W. 1961. *Soil Conditions and Plant Growth*, 9<sup>th</sup> Ed. Longmans. London.
- Salardini, A.A. 2003. *Soil fertility*. Tehran University Press, 410p.
- Simard, R.S., Dekimpe, C. R., and Zizka, J. 1993. Release of potassium and magnesium from soil fractions and its kinetics. *Soil Science Society of America Journal*. 56: 1421-1428.
- Šimunek J., Šejna M., and Van Genuchten M.Th. 1999. The HYDRUS-2D software package for simulating the two-dimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variably-saturated media. IGWMC-TPS 53, Version 2.0, International Ground Water Modeling Center, Colorado School of Mines, Golden, Colo.
- Singh, D.K., Rajput, T.B.S., Singh, D.K., Sikarwar, H.S., Sahoo, R.N., and Ahmad, T. 2006. Simulation of soil wetting pattern with subsurface drip irrigation from line source. *J. Agricultural water Management*. 83:130-134.
- Siyal, A.A. and T.H. Skaggs. 2009. Measured and simulated soil wetting patterns under porous clay pipe subsurface irrigation, *Agric. Water Manage*. 96: 893-904.
- Skaggs, T.H., Trout, T.J., Simunek, j., and Shouse, J. 2004. Comparison of HYDRUS-2D simulation of drip irrigation with experimental observation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 130, No.4, 1-7.
- Skaggs, T.H., T.J. Trout, J. Simunek and P.J. Shouse. 2004. Comparison of HYDRUS-2D simulation of drip irrigation with experimental observations. *J. Irrig. Drain. Eng*. 4: 304-310.
- Smaistral A.G. 1994. Field studies of porous pipe micro-irrigation laterals. ASAE paper No 94-2172, ASAE International summer meeting, Kansas city, Mo. June 19-22.
- Solomon, K. H. 1984. Global uniformity of trickle irrig. systems. *Trans. ASAE*. 28 (4): 1151-1158.
- Sparks, D.L. 1980. Chemistry of soil Potassium in Atlantic Coastal Plain soil. *A review. Commun. Soil Sic. Plant Anal.* 11:435-449
- Sparks, D.L. 2000. Bioavailability of soil potassium. P.D38-D53. In M.E. Sumner (ed.) *hand book of soil science*. CRC Press. Boca Raton. Florida.
- Srinivasarao, C., Subba Rao, A., and Rupa, T.R. 2000. Plant mobilization of soil reserve potassium from fifteen smectitic soils in relation to soil test potassium and mineralogy. *Soil Science Society of America Journal*. 165:7. 578-586.

- Statistics and Information Technology Office. 2004. Fertilizer use data in the Islamic Republic of Iran during 2001 - 2004. Agricultural Support Service Company. Ministry of Jihad-e-Agriculture, Tehran.
- Thompson, T. L., White, S. A., Walorth, J. and Sower, G. J. 2003. Fertigation frequency for subsurface drip-irrigated Broccoli. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 67:910-918.
- Tisdale, S.L. et al. 1993. *Soil fertility and fertilizers*. Macmillan. Pub.
- Towfighi, H. 1995. Kinetics potassium release from paddy soils of north of Iran. I. Comparison and evaluation of first-order, zero order and parabolic diffusion rate equations. *Iranian Journal of Agriculture Science.* 26(4): 27-41.
- Towfighi, H. 1999. Comparison of four chemical extractants for estimation of available potassium in paddy soils in north of Iran. *Iranian Journal of Agriculture Science.* 30 (3): 631-647.
- Trenton, L.R., A.W. Scoll, W.W. Arthur and L.T. Thomas. 2008. Tape depth and germination method influence patterns of salt accumulation with subsurface drip irrigation, *Agric. Water Manage.* 95(6): 669-677.
- UNEP. 1993. *The Aral Sea: Diagnostic study for the development of an Action Plan for the conservation of the Aral Sea.* Nairobi.
- Wien H.C. 1997. Peppers In: Wien H.C. (eds), *The physiology of vegetables crops*, CAB International, pp: 259-293.
- Zur B. 1996. Wetted soil volume as a design objective in trickle irrigation. *Irrigation Science* 16(1996): 101-105.

