Archive of SID

مجله آبیاری و زهکشی ایران
شماره ۲، جلد۳، پاییز ۱۳۸۸، ص. ۱۲-۱

Iranian Journal of Irrigation and drainage
No. 2, Vol. 3, fall 2009, p. 1-12

# تغییرات هدایت الکتریکی زه‌آب حاصل از اعماق مختلف خاک در نتیجه اجرای عملیات آبیاری با فاضلاب و پساب تصفیه شده شهرک اکباتان

علیرضا حسن‌اقلی[۱]* و عبدالمجید لیاقت[۲]

## چکیده

کاربرد مجدد فاضلاب شهری و پساب حاصل از تصفیه آن برای مصارفی همچون آبیاری اراضی کشاورزی، علیرغم وجود برخی از ترکیبات معدنی و آلی در این قبیل آبها و تأثیر عملیات مذکور بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، امروزه مورد توجه ویژه قرار گرفته است. بنا بر توصیه متخصصان امر، برای کاربرد بهینه این نوع آبها لازم است تا ضمن ملحوظ نمودن شرایط منطقه‌ای و کیفیت فاضلاب و پساب، از نتایج تحقیقات محلی نیز بهره گرفته شود. لذا به منظور بررسی میزان و نحوه انتقال انواع نمک‌ها و آلاینده‌های مختلف در نیمرخ خاک و در نهایت به زیر عمق توسعه ریشه‌ها در نتیجه آبیاری محصولات کشاورزی با این نوع آبهای نامتعارف و نیز مشاهده تأثیر این امر بر تغییرات کیفیت زه‌آب حاصل از اعماق ۲۰، ۴۵ و ۹۰ سانتی-متری سطح خاک، در قالب تحقیقات لایسیمتری به مدت دو سال از فاضلاب خام و پساب تصفیه شده شهرک اکباتان برای آبیاری غرقابی سبزیجاتی همچون گوجه فرنگی، جعفری و هویج در خاکی با بافت لوم رسی استفاده شد. این تحقیق با لحاظ نمودن آب چاه به عنوان تیمار شاهد و بهره گیری از آزمایش آماری فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی به اجرا درآمد. جهت تهیه نمونه‌های زه‌آب از اعماق مختلف ستون خاک، با نصب لوله‌هایی باریک و متخلخل از جنس پلی اتیلن به قطر ۸ میلی‌متر و به شیوه‌ای خاص، امکان تهیه نمونه‌های زه‌آب از اعماق مختلف در طول مدت دو سال اجرای تحقیق فراهم گردید. نتایج به دست آمده حکایت از آن داشت که بیشترین میزان انتقال نمک‌ها (EC) به عمق، به ترتیب نزولی در لایسیمترهای آبیاری شده با آب چاه، فاضلاب خام و پساب تصفیه شده مشاهده گردید، ضمن اینکه با افزایش عمق نمونه برداری، بر مقدار EC زه‌آب افزوده می‌شد. در کل، با تداوم فصل آبیاری از مقدار EC نمونه‌های زه‌آب تا حدودی کاسته شد. در حالی که دامنه تغییرات مقدار EC انواع آب مورد استفاده در آبیاری مابین ۰/۸۸ – ۰/۵۲ دسی زیمنس بر متر در نوسان بود، تغییرات EC در زه‌آب لایسیمترها در محدوده‌ای مابین ۳/۲۱ – ۱/۰۹ دسی زیمنس بر متر قرار داشت.

**واژه‌های کلیدی:** فاضلاب خام، پساب تصفیه شده، آبیاری، لایسیمتر، هدایت الکتریکی

## مقدمه

با توجه به غلبه اقلیم خشک و نیمه خشک بر بخش وسیعی از اراضی ایران و محدودیت روز افزون منابع آب قابل استحصال، استفاده بهینه از تمامی منابع آب موجود از جمله آبهای نامتعارف (آب زیرزمینی شور، زه‌آب و فاضلاب تصفیه شده)، به امری ضروری و اجتناب ناپذیر بدل گردیده است (Jalali et al., 2008). در این مورد به کارگیری فاضلاب برای آبیاری اراضی کشاورزی از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است، زیرا علاوه بر وجود برخی عناصر و نمک‌های مورد نیاز گیاه در فاضلاب و پساب تصفیه شده حاصل از آن، از قابلیت جذب و تصفیه زیستی خاک در حذف و تجزیه مواد آلاینده موجود در فاضلاب استفاده گردیده و علاوه بر بهره گیری مجدد این قبیل آبها در تولید محصولات کشاورزی و ایجاد ارزش افزوده، از آلودگی بیش از حد منابع آبی پذیرنده جلوگیری به عمل می‌آید (Hassanoghli 2004; Hassanoghli et al. 2002 and 2003). از طرفی فاضلاب تنها منبع آبی بالقوه‌ای است که میزان آن با رشد جمعیت و فزونی تقاضا برای آب شیرین افزایش می‌یابد (Heidarpour et al., 2007).

فاضلاب شهری و خانگی اصولاً به ضایعات حاصل از مصرف آب

۱- استادیار پژوهشی مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج
(*- نویسنده مسئول: Email: a.hassanoghli@gmail.com)
۲- دانشیار گروه آبیاری و آبادانی دانشکده مهندسی آب و خاک، پردیس کشاورزی کرج، دانشگاه تهران

www.SID.ir

Archive of SID



در زندگی روزمره انسان با ترکیبی در حدود ۹۹/۹ درصد آب و ۰/۱ درصد اجزایی از سایر مواد آلی، معدنی و گازها اطلاق می‌شود (Monzavi 1993). به طور کلی فاضلاب اثرات مختلف بیولوژیک، فیزیکی و شیمیایی بر محیط زیست انسان برجای می‌گذارد. این اثرات عمدتاً ناشی از کیفیت فیزیکو شیمیایی فاضلاب است که در صورت آبیاری با آن، شرایط فیزیکی خاک اراضی زیر کشت و میزان جذب عناصر ماکرو و میکرو را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Shariati, 1996). البته فواید استفاده از آبهای بازیافتی و دانش فعلی و نقطه نظرات موجود در خصوص مسائل مرتبط با کیفیت و مخاطرات احتمالی ناشی از کاربرد این قبیل آبها توسط Toze (2006) مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. کاربرد فاضلاب در کشاورزی، هرچند باعث ورود عناصر کودی مورد نیاز گیاه به خاک می‌گردد، لیکن ممکن است برخی مخاطرات بهداشتی را (از نظر گسترش عوامل بیماریزای باکتریایی، ویروسی و انگلی و حضور برخی عناصر شیمیایی سمی) به همراه داشته باشد. به همین دلیل تصفیه مناسب فاضلاب قبل از کاربرد زراعی جهت حصول استانداردهای مرتبط با محیط زیست و سلامتی ضرورت می‌یابد. میزان تصفیه مورد نیاز و کیفیت پساب تولیدی به نوع مصرف، نوع محصول کشت شده، وضعیت خاک، عمق آب زیرزمینی و سیستم آبیاری انتخاب شده بستگی دارد (Heidarpour, et al., 2007; Hassanoghli, 2004).

بررسی نحوه ترابری نمک‌ها در خاک و انتقال آن به عمق نصب زهکش‌ها از دو جهت حائز اهمیت می‌باشد: اول اینکه میزان نمک وارد شده توسط آب و چگونگی تجمع آن در پروفیل خاک به طور مستقیم بر رشد گیاه تأثیر می‌گذارد و دوم اینکه زه‌آب حاصل از مزارع کشاورزی عمدتاً به منابع آب سطحی تخلیه شده و یا در مزارع پایین دست به عنوان آب آبیاری مورد استفاده قرار می‌گیرند (Hassanoghli, 2004). شوری (که توسط هدایت الکتریکی یا EC شاخص می‌شود) و سدیمی بودن از مهمترین پارامترها در تعیین مناسب بودن کیفیت آب، فاضلاب و حتی زه‌آب برای آبیاری محصولات کشاورزی می‌باشند (Jalali et al., 2008). افزایش غلظت نمک در خاک‌های تحت آبیاری، نتیجه‌ای مستقیم از فرآیند تبخیر و تعرق است. به علاوه، حرکت آب از میان خاک و اعمال تناوب‌های معمول خشک و خیس شدن آن در نتیجه آبیاری، منجر به انحلال و آزاد شدن نمک‌های معدنی خاک گردیده که این خود، افزایش غلظت نمک در محلول خاک و و زه‌آب زیرزمینی را به میزانی بیش از مقادیر یافت شده در آب آبیاری موجب می‌شود. این موارد در شرایطی که احتمال پیوستن آب نفوذی به منابع آب زیرزمینی وجود داشته و یا در نتیجه اجرای سیستم زهکشی زیرزمینی، زه‌آب حاصل از اراضی زراعی به شبکه زهکشی و از آنجا به منابع آب سطحی تخلیه می‌شود، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. نکته مهم اینکه هدایت الکتریکی به طور مستقیم با مجموع آنیون‌ها و کاتیون‌ها در ارتباط است و بنابراین، به عنوان شاخصی مناسب جهت شناسایی مقادیر کل نمک‌های موجود در آب آبیاری به حساب می‌آید (Hassanoghli 2004; Alizadeh et al., 2001; Alizadeh, 1998; Feigin et al., 1991).

میزان نمک و شوری در فاضلاب شهری وابسته به شوری آب مورد استفاده در مصارف خانگی و مواد شیمیایی افزوده شده به آن است. عموماً شوری فاضلابها از ۰/۲ تا ۲/۲ دسی زیمنس بر متر اندازه گیری شده و عده زیادی از پژوهشگران گزارش کرده‌اند که استفاده از فاضلاب در آبیاری مزارع، افزایش شوری خاک و به تبع آن شوری زه‌آب زیرزمینی را به دنبال داشته است. تحقیقات اجرا شده در مصر حکایت از آن داشت که با افزایش سال‌های آبیاری با فاضلاب در اراضی اطراف قاهره، نمک‌های محلول در لایه صفر تا ۲۰ سانتی-متری افزایش یافته و پس از ۶۰ سال، نمک محلول خاک به ۳۲۵ میلی‌گرم بر لیتر (EC نزدیک به ۵/۰ دسی زیمنس بر متر) که تقریباً سه برابر خاک‌های آبیاری نشده می‌باشد رسیده است (Alizadeh, 1997).

به منظور بررسی اثرات آبیاری با فاضلاب بر خصوصیات کیفی خاک و شستشوی نمک‌ها به آب زیرزمینی، تحقیقاتی توسط Jalali et al., (2008) بر روی دو نوع خاک شور- سدیمی و شور دارای بافت سیلت لوم به انجام رسید و مشاهده شد که در نتیجه کاربرد فاضلاب، تبادل سدیم با کاتیون‌های قابل تبادل خاک (پتاسیم، کلسیم و منیزیم) به وقوع پیوست و میانگین درصد سدیم قابل تبادل (ESP) خاکها در مدت کاربرد فاضلاب و آبشویی ستون‌های خاک افزایش یافت. شوری خاک نیز در این شرایط افزایش یافته و مقادیر قابل توجهی از منیزیم و پتاسیم به همراه آب زهکشی شده از ستون‌های خاک خارج گردید. تلفات این عناصر در خاک دارای ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) پایین، بیشتر بود. بنابراین آبیاری با فاضلاب، از آنجا که معمولاً مقادیر سدیم و شوری بالاتری از آب زیرزمینی داراست، می‌تواند انتقال شوری و سدیم را به آب زیرزمینی کم عمق افزایش دهد.

در کنار موارد فوق، هدایت هیدرولیکی خاک که بنا به تعریف عبارت از شدت جریان یافتن آب از میان ذرات خاک در گرادیان هیدرولیکی واحد می‌باشد (Hassanoghli, 2004)، از حضور ذرات معلق و نمک‌های محلول در آب آبیاری تأثیر می‌پذیرد. از طرفی، غلظت بالای سدیم در فاضلاب و پساب در نتیجه کاربرد مواد شیمیایی و نمک طعام در منازل نیز می‌تواند تأثیر قابل توجهی را بر خصوصیات خاک برجای گذارد. هنگامی که سدیم به شکل تبادلی وجود داشته باشد، بر خصوصیات فیزیکی خاک و به خصوص ساختمان آن اثر منفی می‌گذارد. وجود مقدار زیاد سدیم قابل تبادل باعث افزایش نسبت جذب سدیم (SAR) و در نتیجه پراکنده شدن ذرات خاک از یکدیگر می‌شود که در نهایت، کاهش نفوذ پذیری خاک

www.SID.ir

Archive of SID



را در پی دارد (Anderson, 2001; Monzavi, 1993; F.A.O. 1992). این امر می‌تواند بر قابلیت زهکشی خاک و نیز بر میزان شستشوی نمک‌های محلول به عمق نصب زهکش‌های زیرزمینی تأثیرگذار باشد.

تحقیقات Patterson (1996) در استرالیا نشان داد که افزایش قابل توجه SAR در پساب حاصل از تصفیه فاضلاب خانگی (در صورت ورود این نوع پسابها به خاک) منجر به کاهش هدایت هیدرولیکی اشباع خاک ($K_{sat}$) می‌گردد. نامبرده مشاهده نمود که با افزایش SAR از مقدار صفر به ۳، $K_{sat}$ به میزان ۵۰ درصد تقلیل یافته و در صورت افزایش SAR از صفر به ۱۵، میزان کاهش $K_{sat}$ برابر ۷۹ درصد بوده است.

در تحقیقات Viviani and Lovino (2004)، تأثیر غلظت ذرات جامد معلق (TSS) در پساب بر هدایت هیدرولیکی اشباع خاک در شرایط آزمایشگاهی و بافت‌های خاک لومی و رسی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حکایت از آن داشت که در خاک لومی، هدایت هیدرولیکی اشباع پس از نفوذ ۱۷۵ میلی‌متر از فاضلابی با TSS بین ۶۸-۵۷ میلی‌گرم بر لیتر، به حدود ۸۰ درصد مقدار اولیه خود تقلیل یافت. این کاهش در خاک رسی مشهودتر بود. گرادیان بار هیدرولیکی در لایه سطحی (۲۰- ۰ میلی‌متر) ستون‌های خاک، در نتیجه تشکیل لایه‌ای با نفوذ پذیری کم، افزایش یافت. این امر بیان گر آن است که انسداد منافذ موجود در سطح خاک، مکانیزم اصلی مؤثر بر کاهش هدایت هیدرولیکی اشباع بود.

امروزه تحقیقات محلی در زمینه استفاده از انواع آبهای نامتعارف و از جمله فاضلابها در آبیاری اراضی کشاورزی و مشاهده جنبه‌های مختلف آن از اهمیت به سزایی برخوردار می‌باشد، زیرا به دلیل وجود برخی تفاوتها در شرایط اقلیمی، اجتماعی- فرهنگی، کیفیت خاک، نوع گیاهان کشت شده، مدیریت زراعی و سایر عوامل و متغیر بودن خصوصیات فاضلاب از منطقه‌ای به منطقه دیگر و حتی در طول زمان در یک محل، تکیه تنها بر به کارگیری نتایج به دست آمده ازتحقیقات در دیگر مناطق جهان در دراز مدت، صدمات جبران ناپذیری را بر منابع آب و خاک وارد می‌سازد (F.A.O. (1992); McGhee (1991)). لذا به همین منظور، در طی یک برنامه تحقیقاتی دو ساله در استان تهران، شاخص‌های عمده آبیاری با فاضلاب‌های خانگی خام و تصفیه شده مورد بررسی قرار گرفت که بخشی از نتایج به دست آمده در قالب این مقاله ارائه می‌گردد. هدف و دورنمای این بخش از تحقیق، بررسی میزان و نحوه انتقال نمک‌ها (شاخص شده توسط هدایت الکتریکی یا EC) به اعماق مختلف پروفیل خاک و در نهایت به زیر عمق توسعه ریشه‌ها در نتیجه آبیاری با فاضلاب و پساب و نیز مشاهده تأثیر این امر بر تغییرات کیفیت زه‌آب خروجی از اعماق مختلف و هدایت هیدرولیکی خاک با گذشت زمان بوده است.

## مواد و روش‌ها

جهت اجرای این تحقیق، تعدادی لایسیمتر زهکش‌دار بدون سطح ایستابی ثابت طراحی و ساخته شد. لایسیمترها به شکل استوانه و از جنس پلی‌اتیلن ضخیم بوده که ارتفاعی در حدود ۱۰۰ سانتیمتر و قطر ۶۰ سانتیمتر را دارا می‌باشند. پیش از پر نمودن لایسیمترها از خاک، یک لوله زهکش از جنس PVC در بخش تحتانی هر یک از لایسیمترها تعبیه شد و جهت اجتناب از ورود ذرات خاک به درون لوله زهکش، از یک لایه فیلتر ژئوتکستایل در اطراف آن استفاده گردید. ژئوتکستایل مورد استفاده از نوع بافته نازک و با قابلیت نفوذ مناسب و ممانعت از عبور ذرات خاک به درون لوله زهکش بود که به دور لوله زهکش پیچانده شد. لایسیمترها از خاک زراعی سطحی منطقه با بافت لوم رسی و بدون اجرای عملیات تراکمی خاصی بر روی خاک پر شدند. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک در جداول ۱ و ۲ قابل مشاهده است. تمامی پارامترها به روش‌های استاندارد معمول و در آزمایشگاه آب، خاک، فاضلاب مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی اندازه گیری شد. هدایت الکتریکی با استفاده از دستگاه EC meter Jenway 4510، اسیدیته توسط دستگاه pH meter WTW Inolab level 1، مقادیر سدیم و پتاسیم توسط دستگاه فلیم فتومتر Jenway PFP7، سولفات توسط دستگاه اسپکتروفتومتر مارک Biotech و کربنات، بیکربنات، کلر و منیزیم به روش تیتراسیون اندازه گیری شد.

**(جدول ۱) - مشخصات فیزیکی خاک مورد استفاده**

| درصد ذرات خاک[1] | | | درصد رطوبت وزنی | | جرم مخصوص($gr/cm^3$) | | تخلخل | نفوذپذیری خاک[2] (mm/hr) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| رس | سیلت | ماسه | FC | PWP | ظاهری | حقیقی | کل | حداقل | حداکثر | متوسط |
| ۳۷/۶ | ۳۷/۵ | ۲۴/۹ | ۱۸/۸۶ | ۷/۲۰ | ۱/۱۶ | ۲/۴۲ | ۰/۵۲ | ۱/۹۰ | ۵/۰۰ | ۳/۱۰ |

(۱) بافت خاک از نوع لوم رسی (Clay Loam) می‌باشد.

(۲) نفوذ پذیری خاک پیش از شروع تحقیق، اندازه‌گیری شده به روش بار ثابت.

**(جدول ۲) - مشخصات شیمیایی خاک مورد استفاده**

| $EC_e$ dS/m | pH | کاتیونهای محلول (meq/lit) | | | | جمع | آنیونهای محلول (meq/lit) | | | | جمع | SAR |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $K^+$ | $Na^+$ | $Ca^{2+}$ | $Mg^{2+}$ | کاتیونها | $SO_4^{2-}$ | $Cl^-$ | $HCO_3^-$ | $CO_3^{2-}$ | آنیونها | |
| ۱/۲۵ | ۷/۲۰ | ۰/۳۰ | ۲/۸۷ | ۸/۰۰ | ۶/۰۰ | ۱۷/۱۷ | ۲/۸۳ | ۸/۰۰ | ۵/۶۰ | – | ۱۶/۴۳ | ۱/۰۸ |

www.SID.ir

Archive of SID



با عنایت به تنوع گیاهان کشت شده در اطراف شهر تهران و به منظور دخالت دادن شرایط موجود کاربرد فاضلابها در امر آبیاری در این شهر، اقدام به کشت گیاهانی شد که معمولاً به صورت خام مورد استفاده قرار می‌گیرند. لذا سه نوع سبزی خوراکی از قرار: جعفری (سبزی برگی)، هویج (سبزی ریشه‌ای) و گوجه فرنگی (صیفی سالادی) در لایسیمترها کاشته شد. جهت تأمین فاضلاب خانگی مورد نیاز، ابتدا بررسی‌های لازم بر چگونگی تولید و جمع آوری فاضلابها در سطح شهر تهران به عمل آمد و در نهایت، تصفیه خانه فاضلاب شهرک اکباتان به عنوان منبع تأمین فاضلاب مورد نیاز انتخاب گردید. ضمناً با در نظر گرفتن شرایط کاربرد فاضلابهای خام شهری در جنوب شهر تهران و نیز آینده این منطقه پس از تکمیل شبکه جمع آوری و تصفیه فاضلاب، از هر دو نوع "فاضلاب خام ورودی" و "پساب تصفیه شده خروجی" از تصفیه خانه مذکور به عنوان آب آبیاری استفاده شد.

با توجه به ماهیت تحقیق، این آزمایش به صورت "فاکتوریل در قالب طرح آماری کاملاً تصادفی" به اجرا درآمد. تیمارهای موجود عبارت بودند از آب آبیاری در سه منبع: فاضلاب خام، پساب تصفیه شده و آب چاه (به عنوان شاهد) و محصول در سه نوع: گوجه فرنگی، هویج و جعفری. به منظور حصول شرایط مناسب آماری، آزمایش در سه تکرار انجام پذیرفت و در مجموع تعداد ۲۷ عدد لایسیمتر طراحی و ساخته شد (طرح آماری ۳ × ۳ × ۳) و پس از نصب در محل آزمایش، مورد استفاده قرار گرفت. ضمناً در طول تحقیق از هیچ نوع کودی (اعم از شیمیایی یا دامی) استفاده نگردید. عملیات آبیاری لایسیمترها مطابق با عرف محلی (به طور متوسط دو بار در هفته در دوره حداکثر فصل گرما و رشد گیاه و یک بار در هفته در اواخر فصل زراعی)، با عمق آب حدوداً ۸ – ۷ سانتی‌متر در هر آبیاری و به روش سطحی- غرقابی در طی سال‌های ۱۳۷۸ و ۱۳۷۹ هجری شمسی انجام گرفت. برای هر نوبت آبیاری، فاضلاب خام و تصفیه شده به میزان مورد نیاز از تصفیه خانه شهرک اکباتان به محل اجرای تحقیق حمل می‌گردید و بلافاصله از آن برای آبیاری استفاده می‌شد. آب معمولی نیز از یک حلقه چاه در نزدیکی محل اجرای آزمایش تهیه می‌گردید.

از تمهیدات مورد پیش بینی در راستای هرچه کامل‌تر شدن تحقیق، تدارک و کارگذاری لوله‌هایی متخلخل در درون لایسیمترها جهت تهیه نمونه‌های آب از اعماق مختلف خاک (حد فاصل سطح خاک تا لوله زهکش) می‌باشد. در هر لایسیمتر تعداد دو عدد از این نوع لوله در اعماق ۲۰ و ۴۵ سانتی‌متری از سطح خاک و در امتداد و به موازات لوله زهکش نصب شد. با توجه به فقدان لوله آماده با ویژگی‌های مورد نیاز، اقدام به تهیه و ساخت آنها گردید. لوله‌های مورد استفاده از جنس پلی‌اتیلن سیاه رنگ و به قطر هشت میلی‌متر بود. ابتدا قطعاتی از لوله به طول مورد نیازتهیه گردید و سپس با استفاده از مته‌ای کوچک، روزنه‌هایی در طول هر قطعه لوله ایجاد شد. بخش انتهایی لوله که در داخل خاک قرار می‌گرفت، توسط یک قطعه مغزی لاستیکی توپر مسدود گردید. پس از آماده سازی لوله‌ها، نوبت به نصب و کار گذاری آنها در لایسیمترها رسید. جای گذاری لوله‌ها در هنگامی که لایسیمترها از خاک پر بوده و زمان اولین نمونه برداری نزدیک می‌شد صورت پذیرفت. بدین منظور ابتدا روزنه‌های مورد نیاز بر روی دیواره جلویی لایسیمترها ایجاد گردید. سپس با استفاده از میله‌ای فلزی، مسیر عبور لوله از داخل خاک ایجاد شد. این امر جهت ممانعت از اصطکاک بیش از حد لوله با خاک و انسداد احتمالی روزنه‌های آن توسط ذرات خاک صورت گرفت. در مرحله بعد و برای اینکه لوله شکلی کاملاً افقی را به خود گرفته و به صورتی صاف و بدون خمیدگی در خاک قرار گیرد، از میله‌ای فلزی با قطر داخلی لوله در حین نصب و در درون لوله پلاستیکی استفاده شد. لوله و میله درون آن به آرامی و با دقت تمام از طریق روزنه ایجاد شده وارد لایسیمتر گردید و پس از جای گیری نهایی، میله فلزی به آرامی از داخل لوله پلاستیکی خارج گردیده و اطراف لوله بر روی دیواره لایسیمتر با استفاده از چسب سیلیکون با دقت تمام آب بندی شد (Hassanoghli et al., 2003). شکل ۱ نمونه‌ای از لایسیمتر آماده شده را نشان می‌دهد. پس از نصب، بخشی از لوله به طول ۱۰ سانتی‌متر که فاقد روزنه بود، در امتداد زهکش از دیواره جلویی لایسیمتر بیرون می‌ماند که از طریق آن امکان تهیه نمونه زه‌آب از عمق نصب لوله میسر گردید.

اندازه گیری‌های انجام شده در مدت اجرای آزمایش شامل تعیین هدایت الکتریکی (با استفاده از دستگاه Conductivity Meter مدل ۴۵۱۰ ساخت کمپانی Jenway) در فاضلابهای خام، تصفیه شده و آب چاه، در تناوب‌های مناسب در طول فصل آبیاری در مدت دو سال اجرای تحقیق و نیز تعیین این عوامل در زه‌آبهای خروجی از زهکش‌های نصب شده در اعماق مختلف لایسیمترها بود. نمونه برداری‌ها در طول فصل کشت با فواصل زمانی تقریباً یکسان صورت پذیرفت. اولین نمونه برداری در ابتدای دومین هفته از شروع فصل کشت و آخرین نمونه برداری نیز در انتهای فصل و پیش از برداشت نهایی محصولات و خاتمه عملیات آبیاری انجام گردید. در خاتمه سال دوم اجرای تحقیق، از لایسیمترها به عنوان ادوات اندازه گیری هدایت هیدرولیکی خاک استفاده شد و کمیت آن به روش بار هیدرولیکی ثابت به دست آمد.

www.SID.ir

Archive of SID

**(شکل ۱) – لایسیمتر پس از نصب لوله‌های نمونه برداری زه‌آب از اعماق ۲۰ و ٤٥ سانتی‌متری**

## نتایج و بحث

### شرایط آب و هوایی و بارندگی در منطقه

به منظور تعیین شرایط اقلیمی در طول مدت اجرای تحقیق، از داده‌های ایستگاه هواشناسی دانشکده کشاورزی کرج طی سال‌های ۱۹۹۹ لغایت ۲۰۰۱ میلادی استفاده گردید. کمترین حداقل دمای مطلق ماهانه اتفاق افتاده در بین سال‌های تحقیق برابر ۱۱- درجه و مربوط به ژانویه سال ۲۰۰۱ میلادی (۱۱ دی لغایت ۱۱ بهمن ماه ۱۳۷۹) و بزرگترین حداکثر مطلق آن برابر ۳۹/۶ درجه در سپتامبر سال ۱۹۹۹ میلادی (۱۰ شهریور لغایت ۸ مهر ماه ۱۳۷۸) بوده است. در طول سال ۲۰۰۱، احتمال تفاوت دما به طور مطلق به ۵۰/۴ درجه رسید که در مدت آزمایش بیشترین بود. گرمترین ماه‌های سال در منطقه معمولاً در جولای و آگوست (تیر و مرداد ماه) و سردترین ماه سال در ژانویه (دیماه) اتفاق می‌افتد. حداکثر و حداقل متوسط درجه حرارت ماهانه مشاهده شده در طول آزمایش، به ترتیب برابر ۳۵/۵ درجه (آگوست ۲۰۰۱) و ۲/۲- درجه (ژانویه ۲۰۰۱) بوده است. یخبندان‌ها در محل معمولاً از اواسط آبانماه شروع و در اواسط اسفند ماه خاتمه پیدا می‌کنند، بنابراین در طول فصل رشد گیاهان کشت شده در این تحقیق با یخبندان مواجه نشدیم.

میانگین بارندگی سالانه در این مدت از حداقل ۱۷۸ میلیمتر در سال ۲۰۰۱ تا حداکثر ۲۴۹/۴ میلیمتر در سال ۲۰۰۰ تغییر نمود. عمدهٔ بارندگی‌ها بین ماه‌های اکتبر تا مارس (اواسط مهر تا اواسط فروردین) اتفاق افتاد که گاهاً در اوایل اردیبهشت نیز بارندگی‌هایی واقع شد. بنابراین در طول فصل کشت سبزیجات، یعنی اواسط اردیبهشت تا اواخر مهر ماه عملاً بارندگی وجود نداشته و یا مقدار آن ناچیز بود و تأثیری را در بیلان آبی خاک و تأمین نیاز آبی گیاه بر جای نمی‌گذاشت. پر باران‌ترین ماه‌های سال در مدت آزمایش به تناوب بین ماه‌های نوامبر و دسامبر (بهمن و اسفند ماه) در نوسان بود. بطوریکه مشاهده می‌شود، عملاً در تمام مدت فصل رویش سبزیجات در منطقه طرح و به جهت تأمین آب مورد نیاز گیاهان، اجرای عملیات آبیاری امری ضروری و اجتناب ناپذیر است.

### تغییرات هدایت الکتریکی (EC) در زه‌آب

عموماً از EC جهت نشان دادن غلظت نمک‌های محلول در آب و خاک استفاده می‌شود و آب آبیاری، منبع اصلی افزوده شدن نمک‌ها به خاک است. مقادیر متوسط EC انواع آب آبیاری مورد استفاده و دامنه تغییرات آن در مدت دو سال اجرای آزمایش، در جدول ۳ قابل مشاهده است. با عنایت به جدول می‌توان ملاحظه نمود که فاضلاب خام بالاترین EC را در بین انواع آب آبیاری مورد استفاده دارا بوده است.

مطابق استاندارد سازمان جهانی خواربار و کشاورزی (F.A.O.)، حداکثر میزان مجاز EC در پساب تصفیه شده که محدودیتی در حد کم تا متوسط را برای آبیاری ایجاد نماید، برابر ۳/۰ دسی زیمنس بر متر می‌باشد و مقادیر کوچکتر از ۰/۷ دسی زیمنس بر متر، هیچ گونه محدودیتی را در این خصوص ایجاد نمی‌کند (F.A.O., 1992). همان گونه که ملاحظه می‌شود، مقادیر EC در پساب تصفیه شده شهرک اکباتان کمتر از ۰/۷ دسی زیمنس بر متر می‌باشد. در خصوص فاضلاب خام، EC متوسط و دامنه تغییرات آن بسیار نزدیک به ۰/۷ دسی زیمنس بر متر بوده و به میزان ناچیزی از آن بیشتر است، لیکن با حد محدودیت ۳/۰ دسی زیمنس بر متر فاصله قابل ملاحظه‌ای داشته و بسیار کمتر از آن می‌باشد. در خصوص آب چاه، بحری در

www.SID.ir

Archive of SID



سال ۱۹۸۸ حد مجاز EC جهت مصارف آبیاری را برابر ۲/۶۱ دسی زیمنس بر متر تعیین نموده است (Erfani-Agah, 1999). مطابق ارقام جدول ۳، EC آب چاه مورد استفاده پایین‌تر از این حد و حتی کمتر از ۰/۷ دسی زیمنس بر متر می‌باشد و بنابراین، محدودیتی بر کاربرد آب چاه جهت آبیاری متصور نخواهد بود. لازم به ذکر است که استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست ایران جهت کاربرد مجدد پساب فاضلاب در امر آبیاری، مقادیری را در این خصوص ارائه ننموده است (I.D.E., 1994).

نتایج حاصل از تجزیه نمونه‌های زه‌آب جمع آوری شده از اعماق مختلف ستون خاک (لایسیمترها) از نظر میزان EC، در مدت دو سال اجرای آزمایش در جداول ۴ و ۵ ارائه گردیده است. این جداول مشتمل بر متوسط نتایج به دست آمده از هر سه لایسیمتر مشابه در هر آبیاری (از نظر نوع آب آبیاری، نوع گیاه و عمق نمونه برداری) می‌باشند که از طریق آنها می‌توان تغییرات نسبی و میزان انتقال نمک‌ها به اعماق مختلف و نهایتاً به زیر عمق توسعه ریشه‌ها را در مقایسه با مقدار اولیه نمک‌های ورودی به خاک مشاهده نمود. از بررسی اعداد موجود در متن جداول چنین نتیجه گیری می‌شود که بیشترین میزان انتقال نمک‌ها (EC) به عمق خاک، در لایسیمترهای تحت آبیاری با آب چاه اتفاق افتاده است. ملاحظه روند تغییرات EC اندازه گیری شده از سطح خاک به طرف عمق در تمامی لایسیمترها نشان از آن دارد که هر چه بر عمق نمونه برداری افزوده می‌شود، مقدار EC اندازه گیری شده در نمونه آب استحصالی نیز افزایش می‌یابد، به گونه‌ای که بیشترین مقدار EC همواره در نمونه‌های زه‌آب خروجی از زهکش لایسیمترها و کمترین EC در نمونه‌های آب تهیه شده از عمق ۲۰ سانتی‌متری از سطح خاک به دست آمد. این امر در نتیجه آبشویی نمکها به عمق در حین عملیات آبیاری حادث می‌شود. نتایج حاصل از تحقیقات Heidarpour et al., (2007) نیز نشان داده است که کاربرد فاضلاب و آب زیرزمینی جهت آبیاری سطحی (غرقابی)، باعث افزایش EC در لایه‌های عمقی خاک (۳۰-۱۵ سانتی‌متر و ۶۰-۳۰ سانتی‌متر) در مقایسه با لایه سطحی می‌شود.

نکته قابل توجه دیگر اینکه با تداوم فصل آبیاری، از مقدار EC اندازه گیری شده در تمامی اعماق نمونه برداری در این تحقیق تا حدودی کاسته می‌گردد. بنابراین می‌توان چنین نتیجه گیری نمود که نمک‌های محلول مرتباً به همراه آب آبیاری به عمق خاک انتقال یافته و با تداوم فصل و در نتیجه آبشویی آنها، به تدریج از میزان نمک‌های قابل انحلال در نیمرخ خاک کاسته می‌شود. لازم به ذکر است که ضریب آبشویی در محاسبه آب مورد نیاز گیاهان، برابر ۳۰ درصد در نظر گرفته شد.

**(جدول ۳) - دامنه تغییرات EC در فاضلاب خام، پساب تصفیه شده و آب چاه در مدت اجرای تحقیق**

| نوع آب آبیاری | EC (دسی زیمنس بر متر) | | غلظت نمک‌های محلول (TDS) (میلی‌گرم بر لیتر) |
|---|---|---|---|
| | متوسط | دامنه تغییرات | |
| فاضلاب خام | ۰/۷۷ | ۰/۶۷ – ۰/۸۸ | ۴۹۳/۶ |
| پساب تصفیه شده | ۰/۵۹ | ۰/۵۲ – ۰/۶۶ | ۳۷۸/۲ |
| آب چاه | ۰/۶۶ | ۰/۶۳ – ۰/۶۹ | ۴۲۳/۱ |

**(جدول ٤) - EC متوسط در نمونه‌های آب تهیه شده از اعماق مختلف خاک و زه‌آب لایسیمترها طی سال اول اجرای تحقیق**

| نوع گیاه* | نوع آب** | ۱۳ اردیبهشت ؛ عمق خاک: | | | ۱۰ مرداد ؛ عمق خاک: | | | ۱۷ آبان ؛ عمق خاک: | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ۲۰ cm | ٤٥ cm | ۹۰ cm | ۲۰ cm | ٤٥ cm | ۹۰ cm | ۲۰ cm | ٤٥ cm | ۹۰ cm |
| To. | R | ۱/۰۶ | ۱/۴۹ | ۱/۶۳ | ۰/۹۳ | ۱/۳۳ | ۱/۵۶ | ۰/۷۶ | ۰/۸۹ | ۱/۲۸ |
| To. | T | ۰/۷۵ | ۰/۸۴ | ۱/۶۰ | ۰/۶۴ | ۰/۷۵ | ۱/۴۷ | ۰/۶۰ | ۰/۶۶ | ۱/۲۶ |
| To. | N | ۰/۷۷ | ۱/۳۸ | ۲/۴۴ | ۰/۷۵ | ۱/۱۱ | ۲/۱۷ | ۰/۷۲ | ۰/۷۸ | ۱/۵۷ |
| Pa. | R | ۱/۰۷ | ۱/۲۹ | ۱/۳۲ | ۰/۸۸ | ۱/۱۷ | ۱/۲۲ | ۰/۷۲ | ۰/۹۱ | ۱/۰۹ |
| Pa. | T | ۰/۷۶ | ۱/۱۱ | ۱/۴۰ | ۰/۷۳ | ۱/۰۳ | ۱/۲۹ | ۰/۵۷ | ۰/۸۴ | ۱/۱۳ |
| Pa. | N | ۱/۵۲ | ۱/۸۲ | ۲/۰ | ۱/۲۵ | ۱/۵۸ | ۱/۸۳ | ۰/۸ | ۰/۹۸ | ۱/۵۹ |
| Ca. | R | ۱/۱۱ | ۱/۵۸ | ۱/۷۱ | ۰/۸۹ | ۱/۲۰ | ۱/۵۲ | ۰/۶۸ | ۰/۹۳ | ۱/۲۸ |
| Ca. | T | ۱/۱۰ | ۲/۰۳ | ۲/۷۸ | ۰/۸۲ | ۱/۴۰ | ۱/۶۹ | ۰/۶۷ | ۰/۹۴ | ۱/۲۶ |
| Ca. | N | ۱/۴۰ | ۲/۴۰ | ۲/۸۵ | ۰/۹۹ | ۱/۸۰ | ۲/۶۲ | ۰/۷۷ | ۱/۳۵ | ۱/۵۸ |

* نوع گیاه: To. = گوجه فرنگی ، Pa. = جعفری ، Ca. = هویج.

** نوع آب آبیاری کاربردی: R = فاضلاب خام ، T = پساب تصفیه شده ، N = آب چاه (معمولی).

**توجه:** مقادیر ارائه شده در جدول، بیانگر متوسط کمیت EC اندازه گیری شده در نمونه‌های بدست آمده از اعماق مختلف می‌باشد. میزان EC در نمونه‌های آب آبیاری کاربردی به ترتیب تاریخ و بر حسب نوع آب برابر است با: فاضلاب خام = ۰/۸۸ (مورخ ۱۳ اردیبهشت ماه)، ۰/۷۲ (۱۰ مرداد ماه) و ۰/۷ (۱۷ آبان ماه)، پساب تصفیه شده = ۰/۵۶ ، ۰/۵۷ و ۰/۵۲ ، آب چاه = ۰/۶۳ ، ۰/۶۹ و ۰/۶۵

www.SID.ir

Archive of SID



(جدول ۵) – EC متوسط در نمونه‌های آب تهیه شده از اعماق مختلف خاک و زه‌آب لایسیمترها طی سال دوم اجرای تحقیق

| نوع گیاه* | نوع آب** | ۱۰ اردیبهشت ؛ عمق خاک | | | ۸ مرداد ؛ عمق خاک | | | ۱۱ آبان ؛ عمق خاک | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ۲۰ cm | ٤٥ cm | ۹۰ cm | ۲۰ cm | ٤٥ cm | ۹۰ cm | ۲۰ cm | ٤٥ cm | ۹۰ cm |
| To. | R | ۱/۱۸ | ۱/۶۴ | ۱/۷۶ | ۱/۰۵ | ۱/۴۸ | ۱/۵۹ | ۰/۸۷ | ۱/۰۹ | ۱/۳۷ |
| To. | T | ۰/۸۶ | ۱/۰۹ | ۱/۹۶ | ۰/۶۸ | ۰/۸۶ | ۱/۷۴ | ۰/۶۷ | ۰/۷۵ | ۱/۴۹ |
| To. | N | ۰/۹۲ | ۱/۳۹ | ۲/۳۳ | ۰/۸۲ | ۱/۱۳ | ۲/۱۱ | ۰/۷۶ | ۰/۹۰ | ۱/۶۶ |
| Pa. | R | ۱/۳۲ | ۱/۶۱ | ۱/۷۹ | ۰/۹۰ | ۱/۲۹ | ۱/۵۵ | ۰/۸۴ | ۱/۰۲ | ۱/۲۵ |
| Pa. | T | ۱/۰۴ | ۱/۵۴ | ۲/۱۰ | ۰/۸۲ | ۱/۲۴ | ۱/۵۶ | ۰/۷۳ | ۰/۹۸ | ۱/۲۳ |
| Pa. | N | ۱/۴۷ | ۲/۱۶ | ۲/۶۶ | ۱/۲۳ | ۱/۸۴ | ۲/۱۱ | ۰/۹۱ | ۱/۲۱ | ۱/۷۴ |
| Ca. | R | ۱/۱۵ | ۲/۰۸ | ۲/۵۳ | ۰/۹۴ | ۱/۵۰ | ۱/۹۱ | ۰/۷۹ | ۱/۱۳ | ۱/۴۲ |
| Ca. | T | ۱/۲۱ | ۲/۲۵ | ۳/۱۸ | ۱/۰۸ | ۱/۵۰ | ۲/۰۳ | ۰/۸۳ | ۱/۱۵ | ۱/۳۷ |
| Ca. | N | ۱/۳۸ | ۲/۶۷ | ۳/۲۱ | ۱/۱۳ | ۱/۹۴ | ۲/۹۵ | ۰/۹۴ | ۱/۷۲ | ۲/۲۹ |

* نوع گیاه: To. = گوجه فرنگی ، Pa. = جعفری ، Ca. = هویج.

** نوع آب آبیاری کاربردی: R = فاضلاب خام ، T = پساب تصفیه شده ، N = آب چاه (معمولی).

**توجه:** مقادیر ارائه شده در جدول، بیانگر متوسط کمیت EC اندازه گیری شده در نمونه‌های بدست آمده از اعماق مختلف می‌باشد. میزان EC در نمونه‌های آب آبیاری کاربردی به ترتیب تاریخ و بر حسب نوع آب برابر است با: فاضلاب خام = ۰/۸۵ (مورخ ۱۰ اردیبهشت ماه)، ۰/۶۸ (۸ مرداد ماه) و ۰/۷۶ (۱۱ آبان ماه)، پساب تصفیه شده = ۰/۶ ، ۰/۵۶ و ۰/۶۳ ، آب چاه = ۰/۶۴ ، ۰/۶۵ و ۰/۶۸

مقادیر EC اندازه گیری شده در نمونه‌های زه‌آب مربوط به سال دوم، افزایش ناچیزی را در مقایسه با سال اول از خود نشان داد. البته این افزایش در خاتمه فصل کشت سال دوم به حداقل میزان خود رسید و مقادیر EC اندازه گیری شده در نمونه‌های سری آخر سال دوم به میزان EC موجود در خاتمه فصل کشت سال اول اجرای آزمایش نزدیک می‌گردید. چنین به نظر می‌رسد که پس از قطع آبیاری در سال اول، در نتیجه فعل و انفعالات شیمیایی و زیستی، تجزیه و تبدیلات به وقوع پیوسته در خاک و آورد ناچیز بارندگی، مقدار نمک‌های قابل انحلال خاک افزایش یافته که با شروع فصل آبیاری سال دوم، در قالب افزایش EC نمونه‌های سری اول بروز نمود.

ملاحظه ارقام EC اندازه گیری شده در زه‌آب حاصل از عمق ۲۰ سانتی‌متری خاک، دامنه تغییراتی مابین ۱/۵۲–۰/۵۷ دسی‌زیمنس بر متر را نشان داد. میزان EC در عمق ۴۵ سانتیمتری از سطح خاک لایسیمترها در محدوده ۲/۶۷ – ۰/۶۶ دسی زیمنس بر متر قرار داشت، ضمن اینکه حداقل و حداکثر EC اندازه گیری شده در زه آب خروجی از زهکش لایسیمترها در محدوده‌ای مابین ۳/۲۱ – ۱/۰۹ دسی زیمنس بر متر واقع شد. بیشترین مقادیر EC در نمونه‌ها معمولاً در شروع فصل آبیاری اندازه‌گیری شد و با تداوم عملیات، از کمیت EC موجود در نمونه‌های آب کاسته گردید، ضمن اینکه حداکثرهای تمامی این محدوده تغییرات در لایسیمترهای تحت آبیاری با آب چاه و گیاه هویج مشاهده شد. ظاهراً ترکیب شیمیایی آب چاه به گونه‌ای عمل می‌نماید که علیرغم کمتر بودن EC این نوع آب از فاضلاب خام، موجبات انحلال بهتر و انتقال بیشتر نمک‌ها را به عمق خاک، در مقایسه با فاضلاب خام و پساب تصفیه شده فراهم می‌آورد. ضمن اینکه رشد قابل ملاحظه گیاهان کشت شده در لایسیمترهای تحت آبیاری با فاضلاب و جذب بیشتر آب و نمک‌ها توسط آنها نیز می‌تواند در این امر مؤثر باشد.

تجزیه و تحلیل آماری کلیه مقادیر EC اندازه گیری شده در مدت دو سال اجرای آزمایش، با توجه به طرح آماری انتخاب شده و بهره گیری از برنامه رایانه‌ای SAS انجام پذیرفت. نتایج به دست آمده از این بررسی در جدول ۶ خلاصه گردیده است. با توجه به نتایج حاصله چنین نتیجه گیری می‌شود که اثر سال اجرا، نوع گیاه، نوع آب آبیاری، عمق نمونه برداری و زمان نمونه برداری بر میزان EC اندازه گیری شده در نمونه‌های آب به دست آمده، از لحاظ آماری در سطح یک درصد دارای تفاوت معنی دار می‌باشد.

بر طبق نتایج آزمون دانکن که در جدول ۷ ارائه شده، می‌توان چنین بیان نمود که:

**اثر سال:** میانگین EC اندازه گیری شده در نمونه‌های آب به دست آمده از اعماق مختلف لایسیمترها در سال دوم، بالاتر از میانگین سال اول قرار گرفت و تفاوت معنی داری را نشان داد. این امر بیانگر افزایش میزان تجمع و انتقال نمک‌ها به اعماق مختلف ستون خاک در سال دوم اجرای عملیات آبیاری، در مقایسه با سال اول بوده است.

www.SID.ir

Archive of SID



**(جدول ٦) - نتایج تجزیه و تحلیل آماری مقادیر EC نمونه‌های زه‌آب در مدت دو سال اجرای تحقیق**

| منابع تغییر | درجه آزادی | مجموع مربعات (SS) | میانگین مربعات (MS) |
|---|---|---|---|
| سال اجرا | ۱ | ۴/۸۴ | ۴/۸۴ ** |
| نوع گیاه | ۲ | ۱۲/۵۳ | ۶/۲۶ ** |
| نوع آب آبیاری | ۲ | ۱۳/۶۵ | ۶/۸۳ ** |
| عمق نمونه برداری | ۲ | ۶۳/۵۸ | ۳۱/۷۹ ** |
| زمان نمونه برداری | ۲ | ۲۸/۳۹ | ۱۴/۱۹ ** |

** - در سطح یک درصد معنی دار بوده است.

**(جدول ۷) - نتایج آزمون دانکن داده‌های EC مربوط به دو سال اجرای تحقیق**

| گروه دانکن | سال اجرا | | نوع گیاه | | عمق نمونه برداری | | زمان نمونه برداری | | گروه دانکن | نوع آب آبیاری | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | سال | میانگین | گیاه* | میانگین | عمق | میانگین | ترتیب | میانگین | | آب** | میانگین |
| A | دوم | ۱/۴۶ | Ca. | ۱/۵۹ | زهکش | ۱/۸۲ | اول | ۱/۶۶ | A | N | ۱/۶۰ |
| B | اول | ۱/۲۶ | Pa. | ۱/۳۰ | ۴۵ cm | ۱/۳۵ | دوم | ۱/۳۶ | B | R | ۱/۲۷ |
| C | - | - | To. | ۱/۲۱ | ۲۰ cm | ۰/۹۳ | سوم | ۱/۰۷ | B | T | ۱/۲۲ |

* نوع گیاه: .To = گوجه فرنگی ، .Pa = جعفری ، .Ca = هویج.

** نوع آب آبیاری کاربردی : R = فاضلاب خام ، T = پساب تصفیه شده ، N = آب چاه (معمولی).

**توجه:** اعداد ارائه شده در متن جدول، بیانگر میانگین هدایت الکتریکی به دسی زیمنس بر متر در زه‌آب لایسیمترها می‌باشد.

**اثر نوع آب آبیاری:** میانگین EC در نمونه‌های آب تهیه شده از لایسیمترهای تحت آبیاری با آب چاه، بالاتر از میانگین EC در نمونه‌های آب حاصل از فاضلاب خام و پساب تصفیه شده قرار داشت، لیکن تفاوت معنی داری از نظر تأثیر نوع آب آبیاری بر مقدار نمک‌های انتقال یافته به اعماق مختلف خاک در فاضلاب خام و پساب تصفیه شده مشاهده نگردید و تنها میانگین EC آب چاه، دارای تفاوت معنی دار با سایر انواع آب آبیاری بود.

**اثر نوع گیاه:** میانگین EC اندازه گیری شده در نمونه‌های آب به دست آمده از لایسیمترهای تحت کشت گیاه هویج، بالاتر از میانگین EC در گیاه جعفری بوده و هر دو آنها بالاتر از میانگین گیاه گوجه فرنگی قرار گرفت و تفاوت معنی داری را بین سه نوع گیاه از نظر انتقال نمک‌ها به عمق خاک از خود نشان داد. این امر در نتیجه تفاوتهای فیزیولوژیکی گیاهان کشت شده با یکدیگر، به خصوص از نظر میزان و عمق گسترش ریشه‌ها و نیز مقدار جذب عناصر موجود در آب و خاک توسط آنها اتفاق افتاده است.

**اثر عمق نمونه برداری:** میانگین EC اندازه گیری شده در زه آب حاصل از زهکش لایسیمترها، همواره بیشترین مقادیر را دارا بوده و پس از آن و به ترتیب نزولی، میانگین EC نمونه‌های آب به دست آمده از اعماق ۴۵ و ۲۰ سانتی‌متر قرار داشت. انواع آب آبیاری مورد استفاده، کمترین مقدار میانگین EC را در مقایسه با نمونه‌های جمع آوری شده از اعماق مختلف دارا بود. نتایج حکایت از وجود تفاوت معنی دار از نظر عمق نمونه برداری، بر میزان نمک‌های محلول در نمونه‌های زه آب تهیه شده از اعماق مختلف داشت.

**اثر زمان نمونه برداری:** میانگین EC در نمونه‌های زه‌آب سری اول بالاتر از میانگین آن در نمونه‌های سری دوم و هر دو این موارد بالاتر از میانگین نمونه‌های سری سوم قرار گرفت و تفاوت معنی‌داری را به ترتیب از نمونه برداری اول تا سوم نشان داد. به عبارتی، تداوم عملیات آبیاری تأثیر معنی داری را بر کاهش مقدار نمک‌های موجود در نمونه‌های زه‌آب جمع آوری شده از اعماق مختلف بر جای گذاشت، زیرا با تداوم فصل کشت و اجرای آبیاری‌های مکرر، در نتیجه آبشویی نمک‌ها و خروج تدریجی آنها از نیمرخ خاک به همراه زه آبها، کاهش در EC نمونه‌های آب جمع‌آوری شده به وقوع پیوسته است.

### تأثیر آبیاری با فاضلاب و پساب بر هدایت هیدرولیکی خاک

در خصوص این موضوع و به عنوان مبحثی مرتبط با تأثیر هدایت الکتریکی آب آبیاری بر کمیت و کیفیت انتقال نمک‌ها به اعماق مختلف خاک، ابتدا لازم بود تا کیفیت شیمیایی فاضلاب و پساب از نظر SAR و EC و تأثیر احتمالی آن بر هدایت هیدرولیکی خاک مورد ارزیابی قرار گیرد. بررسی میزان SAR انواع آب آبیاری مورد استفاده در آزمایش حاضر و مقایسه آنها با مقادیر مجاز ارائه شده، حکایت از عدم ایجاد محدودیت توسط این پارامتر برای خاک و آبیاری گیاهان دارد. کمیت SAR در فاضلاب خام شهرک اکباتان به طور متوسط برابر با ۱/۱۹ بود که در محدوده‌ای از ۱/۱۱ تا ۱/۳۴ تغییر می‌یافت. مقدار SAR متوسط و دامنه تغییرات آن در پساب تصفیه شده شهرک

www.SID.ir

Archive of SID



اکباتان برابر ۱/۴۱ (در محدوده ۱/۲۸ تا ۲/۱۴) و برای آب چاه برابر ۰/۹۰ (در محدوده ۰/۸۲ تا ۰/۹۶) بود. مرز استاندارد تعیین شده از نظر آبیاری بدون محدودیت با پساب و حتی آب چاه، میزان SAR بین صفر تا ۳ را در بر می‌گیرد که در مرتبه تکمیلی، EC آب آبیاری نیز بایستی ملحوظ گردد. مقادیر EC (در SAR بین ۳ – ۰) هنگامی که بیش از ۰/۷ دسی زیمنس بر متر باشد، شرایط خوب محسوب شده و بین ۰/۷ – ۰/۲ دسی زیمنس بر متر متوسط و کمتر از ۰/۲ دسی زیمنس بر متر، شرایط نامناسب (با محدودیت شدید) به حساب می‌آید (Verdy 2001; Anderson 2001; Metcalf and Eddy (1991)). متوسط EC در فاضلاب خام، پساب تصفیه ثانویه و آب چاه بکار برده شده در این آزمایش به ترتیب برابر ۰/۷۷، ۰/۵۹ و ۰/۶۶ دسی زیمنس بر متر بوده است. بنابراین از روی ارقام SAR و EC انواع آب آبیاری مورد استفاده می‌توان چنین استنباط نمود که بروز تغییر در هدایت هیدرولیکی خاک در نتیجهٔ حضور و تأثیر عوامل شیمیایی در آب آبیاری، دارای اثر قابل توجهی نبوده و محدودیتی از این نظر در آبیاری با انواع آب بکار برده شده متصور نمی‌باشد.

مقادیر متوسط هدایت هیدرولیکی اشباع در خاتمه اجرای آزمایش‌های لایسیمتری و پس از دو سال آبیاری لایسیمترها با فاضلاب خام، پساب تصفیه شده و آب چاه و کشت سبزی در آنها، در جدول ۸ قابل مشاهده است. این جدول دربرگیرنده متوسط نتایج به دست آمده از سه لایسیمتر مشابه (از نظر نوع آب آبیاری و گیاه کشت شده) می‌باشد.

همان گونه که از جدول ۸ ملاحظه می‌گردد، کاربرد انواع آب آبیاری و کشت سبزی‌های مختلف، تأثیر مثبتی را بر هدایت هیدرولیکی اشباع خاک برجای گذاشته و موجبات افزایش قابل توجه آنرا در مقایسه با مقدار اولیه هدایت هیدرولیکی خاک (قبل از شروع آبیاری) فراهم آورده است. این امر با نتایج به دست آمده از تحقیقات چنگ و همکاران در سال ۱۹۸۳ و مهیدا در سال ۱۹۸۱ همخوانی دارد. نامبردگان نیز افزایش هدایت هیدرولیکی خاک را در نتیجه کاربرد فاضلاب در خاک گزارش نموده‌اند (Alizadeh, 1997). تحقیقات Alizadeh et al. (2001) نشان داد که آبیاری محصول ذرت با پساب تصفیه شده شهر مشهد به مدت دو سال و تا پایان سال زراعی ۱۳۷۹، کاهش ۱۵/۶ درصدی ظرفیت نفوذ پذیری خاک را در مقایسه با زمان قبل از آغاز تحقیق به دنبال داشته است. مطابق بررسی به عمل آمده، دلیل اصلی این امر مقدار بالای جامدات معلق موجود در پساب بوده و کیفیت شیمیایی فاضلاب در این خصوص بی تأثیر بوده است.

به منظور تعیین اثر نوع آب آبیاری و نوع گیاه کشت شده بر مقدار هدایت هیدرولیکی اشباع خاک، آنالیزهای آماری ضروری به انجام رسید، لیکن در مقام مقایسه ظاهری می‌توان دریافت که در گوجه فرنگی با سیستم ریشه‌ای عمیق و بسیار گسترده، نوع آب آبیاری تأثیر چندانی بر میزان هدایت هیدرولیکی خاک بر جای نگذاشته و تمامی مقادیر متوسط اندازه گیری شده نزدیک به هم می‌باشند. در لایسیمترهای تحت کشت گیاه جعفری و هویج، تأثیر نوع آب آبیاری مشهودتر است، به گونه‌ای که بیشترین مقدار هدایت هیدرولیکی در لایسیمترهای تحت آبیاری با فاضلاب خام اندازه گیری شد و پس از آن، پساب تصفیه ثانویه و آب چاه در مرتبه بعدی قرار گرفتند. در همین حال بیشترین میزان هدایت هیدرولیکی اشباع به تفکیک نوع آب آبیاری، برای فاضلاب خام و پساب تصفیه شده در لایسیمترهای تحت کشت گیاه جعفری، و برای آب چاه در لایسیمترهای تحت کشت گیاه گوجه‌فرنگی به دست آمد. بنابراین از تمامی موارد فوق می‌توان چنین نتیجه گیری نمود که در اغلب موارد، کاربرد فاضلاب خام و پساب تصفیه شده شهرک اکباتان (به مدت دو سال) جهت آبیاری سبزیجات خوراکی، اثرات اصلاحی بر خاک داشته و افزایش هدایت هیدرولیکی خاک را موجب شده است.

نتیجه تجزیه و تحلیل آماری مقادیر هدایت هیدرولیکی اشباع خاک، در خاتمه دومین سال اجرای آزمایش‌ها در جدول ۹ قابل مشاهده است. با توجه به نتایج حاصله، اثر نوع آب آبیاری و نوع گیاه کشت شده در لایسیمترها بر میزان هدایت هیدرولیکی اشباع خاک از لحاظ آماری در سطح یک درصد معنی دار بوده است. مطابق با نتایج آزمون دانکن که در جدول ۱۰ ارائه شده، می‌توان چنین بیان نمود که:

**الف- اثر نوع آب آبیاری:** میانگین هدایت هیدرولیکی اشباع خاک ($K_{sat}$) در لایسیمترهای تحت آبیاری با فاضلاب خام، بالاتر از میانگین $K_{sat}$ در لایسیمترهای آبیاری شده با پساب تصفیه ثانویه واقع شده و این مورد نیز بالاتر از میانگین $K_{sat}$ خاک در لایسیمترهای آبیاری شده با آب چاه قرار داشت و تفاوت معنی داری را از نظر نوع آب آبیاری بر میزان هدایت هیدرولیکی اشباع خاک از خود نشان داد. مقدار میانگین $K_{sat}$ خاک پیش از شروع آزمایش‌ها، پایین‌تر از تمامی موارد فوق واقع گردید.

**ب- اثر نوع گیاه:** میانگین $K_{sat}$ در لایسیمترهای تحت کشت گیاه جعفری، بالاتر از میانگین $K_{sat}$ در لایسیمترهای زیر کشت هویج واقع شده و این مورد نیز بالاتر از میانگین $K_{sat}$ خاک در لایسیمترهای زیر کشت گوجه فرنگی قرار داشت و تفاوت معنی داری را از نظر نوع گیاه کشت شده بر میزان هدایت هیدرولیکی اشباع خاک از خود نشان داد.

www.SID.ir

Archive of SID



**(جدول ۸) - متوسط هدایت هیدرولیکی اشباع اندازه گیری شده در لایسیمترها، در آغاز و خاتمه اجرای آزمایش‌ها**

| نوع آب آبیاری | متوسط هدایت هیدرولیکی اشباع (میلیمتر در ساعت)* | | |
|---|---|---|---|
| | گوجه فرنگی | جعفری | هویج |
| فاضلاب خام | ۱۸/۷ | ۵۳/۲ | ۳۷/۸ |
| پساب تصفیه شده | ۱۸/۶ | ۳۱/۴ | ۲۰/۴ |
| آب چاه | ۱۸/۶ | ۱۴/۵ | ۱۵/۷ |

* متوسط هدایت هیدرولیکی اشباع خاک قبل از شروع اجرای آزمایش‌ها برابر ۳/۱۰ میلیمتر در ساعت بود.

**(جدول ۹) - نتایج تجزیه و تحلیل آماری داده‌های هدایت هیدرولیکی اشباع خاک در پایان اجرای آزمایش آبیاری**

| منابع تغییر | درجه آزادی | مجموع مربعات (SS) | میانگین مربعات (MS) |
|---|---|---|---|
| نوع آب آبیاری | ۲ | ۱۹۰۲/۲۲ | ۹۵۱/۱۱ ** |
| نوع گیاه کشت شده | ۲ | ۹۴۲/۳۶ | ۴۷۱/۱۸ ** |

** - در سطح یک درصد معنی دار بوده است.

**(جدول ۱۰) - نتایج آزمون دانکن مقادیر میانگین هدایت هیدرولیکی اشباع خاک در خاتمه اجرای آزمایش آبیاری**

| گروه بندی دانکن | نوع آب آبیاری | | نوع گیاه | |
|---|---|---|---|---|
| | نوع آب* | میانگین | گیاه** | میانگین |
| A | R | ۳۶/۵۳ | Pa. | ۳۳/۰۱ |
| B | T | ۲۳/۴۹ | Ca. | ۲۴/۶۶ |
| C | N | ۱۶/۲۵ | To. | ۱۸/۶۰ |
| D | مقدار اولیه | ۳/۱۰ | مقدار اولیه | ۳/۱۰ |

* نوع آب آبیاری کاربردی: R = فاضلاب خام ، T = پساب تصفیه شده ، N = آب چاه (نرمال).

** نوع گیاه: .To = گوجه فرنگی ، .Pa = جعفری ، .Ca = هویج.

**توجه:** اعداد ارائه شده در متن جدول، بیانگر میانگین هدایت هیدرولیکی اشباع خاک به میلیمتر در ساعت است.

## نتیجه گیری

کیفیت آب آبیاری نقشی اساسی را در تولید محصولات کشاورزی ایفا نموده و از طرف دیگر، تأثیر قابل توجهی بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و انتقال نمک‌ها به زیر عمق توسعه ریشه برجای می‌گذارد. در حقیقت، غلظت عوامل شیمیایی در لایه‌های خاک تحت تأثیر الگوی حرکت آب، غلظت نمک‌ها در آب آبیاری و جذب گیاهی قرار دارد. با عنایت به نیاز روزافزون به توسعه کشاورزی، استفاده از آبهای آبیاری با کیفیت پایین (نظیر پساب حاصل از تصفیه فاضلاب) در مناطق خشک و نیمه خشک، امری اجتناب ناپذیر بوده و با روندی رو به رشد مواجه است. در این تحقیق، اثر کاربرد فاضلاب خام (با نگاهی به وضعیت کشاورزی در جنوب تهران) و پساب تصفیه شده شهرک اکباتان و نیز آب معمولی (تیمار شاهد) بر انتقال نمک‌ها و سایر عوامل آلاینده به اعماق مختلف خاک و تأثیر آن بر کیفیت زه‌آب حاصل، در شرایط کشت سبزی‌های مختلف در مدت دو سال مورد بررسی قرار گرفت. از طرفی به دلیل کیفیت پایین‌تر فاضلاب در مقایسه با آب معمولی، اثر کاربرد آن بر خواص هیدرولیکی خاک نیز ارزیابی شد. نتایج حکایت از آن داشت که با تداوم عملیات آبیاری، میزان EC زه‌آب حاصل از اعماق مختلف خاک تغییراتی یافته، به گونه‌ای که بیشترین مقدار آن همواره در نمونه‌های زه‌آب حاصل از پایین‌ترین عمق (۹۰ سانتی‌متر زیر سطح خاک) و کمترین مقدار در نمونه‌های زه‌آب سطحی (عمق ۲۰ سانتی‌متری سطح خاک) به دست آمد. همچنین از نظر تأثیر نوع آب آبیاری، بیشترین میزان انتقال نمک‌ها به عمق، به ترتیب نزولی در آبیاری با آب معمولی، فاضلاب خام و پساب تصفیه شده مشاهده گردید. کاربرد انواع آب آبیاری و کشت سبزی‌های مختلف بدون افزودن کود به خاک، تأثیر مثبتی را بر خواص فیزیکی خاک و میزان هدایت هیدرولیکی اشباع بر جای گذاشت و موجبات افزایش آن را در مقایسه با مقدار اولیه هدایت هیدرولیکی خاک (قبل از شروع عملیات آبیاری) فراهم آورد.

## مراجع

Alizadeh, A. (1997), Using reclaimed municipal

www.SID.ir

Archive of SID



Research (Kerman Branch). 19 February, pp: 8-20.
Heidarpour, M., Mostafazadeh-Fard, B., Abedi Koupaei, J. and Malekian, R. (2007), The effects of treated wastewater on soil chemical properties using subsurface and surface irrigation methods. Agricultural Water Management,Vol.90, pp:87-94.
I.D.E. (1994), Iranian standard of wastewater effluents. Iran Department of Environment, Research Deputy, Office of Human Environment.
Jalali, M., Merikhpour, H., Kaledhonkar, M. J. and Van Der Zee, S. E. A. T. M. (2008), Effects of wastewater irrigation on soil sodicity and nutrient leaching in calcareous soils. Agric. Wat. Manage., Vol. 95, pp: 143-153.
McGhee T. J. (1991), Wastewater supply and sewerage. 6th edition, McGraw-Hill Inc.
Metcalf and Eddy Inc. (1991), Wastewater engineering: treatment, disposal, reuse. 3rd edition.
Monzavi, M. T. (1993), Municipal wastewater, part 2: wastewater treatment. Tehran University, No. 1867.
Patterson, R. A. (1996), Soil hydraulic conductivity and domestic wastewater. In Proceeding of Australian and New Zealand National Soils Conference. University of Melbourne, 1 – 4 July. Australian Soil Science Society Inc., pp: 207-208.
Shariati, M. R. (1996), Investigation of chemical quality and use of wastewater in irrigation. Journal of Water, Soil and Environment. No. 10, pp: 51-55.
Toze, S. (2006), Reuse of effluent water-benefits and risks. Agric. Wat. Manage., Vol. 80, pp: 147-159.
Vedry, B. (2001), From sewage water treatment to wastewater reuse. One century of Paris sewage farms history. Wat. Sci. Tech. Vol 43, No. 10, pp: 101-107.
Viviani, G. and Lovino, M. (2004), Wastewater reuse effects on soil hydraulic conductivity. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE, Vol. 130, No. 6., pp: 476-484.
wastewater for irrigation of suger beet. Final research report, Ministery of Energy.
Alizadeh, A. (1998), Irrigation water quality. 5th edition, Astan Ghods Razavi (Behnashr Co.), No.9.
Alizadeh, A., Bazari, M. E., Velayati, S., Hasheminia, M. and Yaghmai, A. (2001), Using reclaimed municipal wastewater for irrigation of corn. ICID International Workshop on Wastewater Reuse Management. September 19-20, Seoul, Korea. pp: 147-154.
Anderson, J. (2001), Climbing the ladder: a step by step approach to international guidelines for water recycling. Wat. Sci. Tech. Vol 43, No. 10, pp: 1-8.
Erfani-Agah, A. (1999), Effects of irrigation with domestic wastewater on lettuce and tomatos cropping. Proc. of Conference on Wastewater Reuse for Irrigation and its Environmetal Effects. Iranian National Commeettee on Irrigation and Drainage (IRNCID), pp: 51-55.
F. A. O. (1992), Wastewater treatment and use in agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, No. 47.
Feigin, A., Ravina, I. and Shalhevet, J. (1991). Irirgation with treated sewage effluent. Springer- Verlag, Berlin.
Hassanoghli, A. (2004), Use of raw and treated domestic wastewater for irrigation of agricultural crops. Final research report, Agricultural Engineering Research Institute (AERI), No. 83/806, 231 pages.
Hassanoghli, A., Liaghat, A. and Mirabzadeh, M. (2002), Effect of water reuse on organic matter concentration of soil and its self purification. Journal of Water & Wastewater, ISSN 1024-5936, Vol. 42, pp: 2-11.
Hassanoghli, A., Liaghat, A. and Mirabzadeh, M. (2003), Design, construction and use of drained lysimeters for study on pollutants transfer through soil via irrigation with wastewater. First National Seminar on Lysimeter, University of Kerman. Iranian Academic Center for Education, Culture and

تاریخ دریافت: ۸۷/۷/۷
تاریخ پذیرش: ۸۸/۷/۲۵

www.SID.ir

Archive of SID

Iranian Journal of Irrigation and drainage
No. 2, Vol. 3, fall 2009, p. 1-12

مجله آبیاری و زهکشی ایران
شماره ۲، جلد۳، پاییز ۱۳۸۸، ص. ۱۲-۱

# Electrical conductivity changes in drainage water samples extracted from different depths of soil via irrigation by raw and treated domestic wastewater of Ekbatan complex

**A. Hassanoghli[1*] and A. Liaghat[2]**

## Abstract

Use of domestic wastewater and effluent from the treatment plants for irrigation purposes, despite the existence of some inorganic and organic compounds in these waters and their effects on the physical and chemical properties of soil, needs special attention. According to the experts recommend for optimal use of these types of waters, local researches are required while considering regional conditions and quality of wastewater and effluents. Therefore, in order to evaluate the soil-plant complex effects as a biological filter on wastewater pollutants and to investigate their transport below the root zone as a result of irrigation, a series of lysimeter studies were carried out in Tehran area. Drainage water samples obtained from depths of 20, 45 and 90 cm below soil surface, in the form of a two-year lysimetric research. A statistical "factorial experiments in the form of randomized complete design" (3 × 3 × 3) was used. Raw and treated domestic wastewater of Ekbatan housing complex and well water (control) was applied for irrigation of raw edible vegetables such as parsley, carrot and tomato in a clay loam soil texture. To extract the drainage water samples from different depths, a series of thin perforated drains (8 mm diameter) were installed in 20 and 45 cm from soil surface. The results showed that maximum EC in drainage water samples were observed in well water, treated and raw wastewater irrigated lysimeters respectively. Increasing the depth of sampling increased the EC quantity. The amount of EC in irrigation waters were between 0.52 to 0.88 dS/m. For drainage water samples, it changed between 1.09 to 3.21 dS/m.

**Keywords:** Raw wastewater, Treated wastewater, Irrigation, Lysimeter, Electrical conductivity

1- Research assistant professor, Agricultural Engineering Research Institute (AERI).
(* - Corresponding author Email: a.hassanoghli@gmail.com)
2- Associate professor, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, University of Tehran (Karaj)

www.SID.ir