یازدهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران

مقاله شماره ۲۱

عنوان مقاله:

بررسی اثرات آبیاری با فاضلاب‌های خانگی بر انتقال مواد به عمق خاک و کیفیت زه‌آب‌های خروجی از لایسیمتر

تألیف:

علیرضا حسن‌اقلی[۱]، عبدالمجید لیاقت، مهدی میراب‌زاده، منوچهر وثوقی و حسین فرداد[۱]

چکیده:

با عنایت به حاکم بودن اقلیم خشک و نیمه خشک در کشور و فشارهای شدید وارد شده بر منابع آب تجدیدپذیر در نتیجه وقوع خشکسالی‌های چند ساله اخیر و توسعه روزافزون شهرنشینی، امروزه استفاده بهینه از تمامی منابع آبی در دسترس از جمله فاضلاب‌های شهری و خانگی، مورد توجه قرار گرفته است. هدف و دورنمای این گستره از تحقیق، بررسی میزان انتقال آلودگی‌ها به محدوده زیر عمق توسعه ریشه‌ها و کیفیت زه‌آب خروجی از نظر BOD_5،COD، ازت و فسفر در مدت دو سال اجرای عملیات آبیاری با فاضلاب خانگی و نهایتاً بازگشت آنها از راه زهکش‌های زیرزمینی به محیط زیست می‌باشد. به همین منظور و جهت تنظیم دقیق تمامی عوامل مؤثر، از تحقیقات لایسیمتری استفاده گردید. فاضلاب خام و پساب تصفیه شده شهرک اکباتان به عنوان منبع آب آبیاری و از آب چاه به عنوان تیمار شاهد بهره گرفته شد و سه نوع گیاه شامل گوجه فرنگی، هویج و جعفری در لایسیمترها کشت گردید. با اجرای آزمایش آماری "فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی" و با لحاظ نمودن سه تکرار، جمعاً ۲۷ عدد لایسیمتر ساخته شد و مورد استفاده قرار گرفت.

نتایج بدست آمده نمایانگر بازده بالای حذف بار آلودگی شاخص شده توسط BOD_5 با کمیتی بالغ بر ۱۰۰-۹۹ درصد مقادیر ورودی، برای هر دو نوع فاضلاب خانگی خام و پساب تصفیه شده بود. میزان حذف COD و انتقال آن به عمق خاک با گذشت زمان تغییر نموده و گاهاً مقادیر COD خروجی از زهکش‌ها، کمیتی افزون بر COD ورودی را دارا بود که دلالت بر اثرات تجمعی انتقال بار آلودگی COD

۱- به ترتیب دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبیاری دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران (کرج، دانشکده کشاورزی، گروه آبیاری) و سایر نگارندگان: استادیار و دانشیار دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران، استاد دانشگاه صنعتی شریف و دانشیار دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران.

به عمق نیمرخ خاک داشت. البته با محاسبه بیلان جرمی COD و تعیین مقدار مواد ورودی به لایسیمترها و خروجی از زهکش آنها، بازده حذفی برابر با ۹۹-۹۳ درصد بدست آمد که بیانگر عملکرد مطلوب مجموعه در حذف COD بود. میزان انتقال ازت به عمق خاک در نتیجه کاربرد فاضلاب خام بین ۳۳/۷۵-۱۲/۹۳ درصد و در پساب تصفیه شده، بین ۳۸/۱۷-۲۳/۳۰ درصد مقدار ازت ورودی در نوسان بود، ضمن اینکه میزان انتقال فسفر به عمق در شرایط آبیاری با فاضلاب خام بین ۳/۵۶-۰/۹ درصد و در صورت کاربرد پساب تصفیه شده، بین ٤/١٥-١/٠٣ درصد میزان فسفر ورودی مشاهده شد که نشان از انتقال مقدار بسیار ناچیزی از فسفر به عمق نصب لوله‌های زهکش، در طول مدت اجرای تحقیق داشت.

کلمات کلیدی: فاضلاب خانگی، آبیاری، تحقیقات لایسیمتری، BOD_5، COD، ازت، فسفر، کیفیت زه‌آب.

۱- مقدمه:

استفاده از فاضلاب‌های شهری و خانگی در امر آبیاری و تولید محصولات کشاورزی، به عنوان منبعی سرشار از آب و عناصر کودی مورد نیاز گیاه، از دیرباز در بسیاری از نقاط دنیا رواج داشته است [۱، ۲، ۵، ٦، ۹ و ۱۰] . در ایران که جزء کشورهای خشک و نیمه خشک جهان به حساب می‌آید، میزان مصرف آب در بخش کلان کشاورزی بیشترین درصد را در مقایسه با سایر مصارف به خود اختصاص می‌دهد (در حدود ۹۳/۵ درصد) و این در شرایطی است که در بسیاری از نقاط کشور، کمبود آب و تشدید آن در اثر خشکسالی‌های اخیر به آنچنان وضعیت حاد و بحرانی رسیده است که برنامه‌ریزان و مدیران منابع آب را مجبور ساخته تا در برنامه‌ریزی‌های توسعه منابع آبی، به کلیه منابع متعارف و غیر متعارف آب (از جمله فاضلاب‌های شهری وخانگی)که بتواندبه نحو مؤثر و اقتصادی دراختیارقرار گیرد عطف توجه نمایند [٦ و ۹]. هم اکنون افزایش جمعیت و تمرکز آن در شهرهای بزرگ، موجب افزایش شدید حجم فاضلاب‌های خانگی و شهری گردیده است. در این خصوص موقعیت مکانی فاضلاب‌ها، به دلیل وجود اراضی حاصلخیز در اطراف شهرهای پر جمعیت، بر اهمیت مصرف زراعی این قبیل آب‌ها می‌افزاید [۸ و ١٤]. به عنوان نمونه، شهروندان تهرانی در حال حاضر روزانه بین ۲/۳ تا ۲/۸ میلیون متر مکعب آب را به مصارف مختلف می‌رسانند که از مجموع این مقدار آب مصرفی، در حدود ۷۰ تا ۸۰ درصد آن به فاضلاب شهری و خانگی تبدیل می‌شود که در صورت جمع‌آوری (پس از تکمیل شبکه سراسری فاضلاب شهری)، رقم آب حاصله به حدود ۱/۷ تا ۲/۱ میلیون متر مکعب در روز بالغ می‌گردد که حجم بسیار قابل ملاحظه‌ای است. در حال حاضر در بسیاری از شهرهای پر جمعیت کشور، فاضلاب‌های خانگی و سطحی خارج شده از شهرها در زمین‌های کشاورزی اطراف آنها به صورت گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد که عدم توجه به ملاحظات خاص این امر، خطرات بالقوه‌ای را برای بهداشت انسان‌ها و محیط زیست بدنبال دارد.

امروزه تحقیقات محلی در زمینه استفاده از انواع آب‌های نامتعارف (از جمله فاضلاب‌ها) در آبیاری اراضی کشاورزی و مشاهده جنبه‌های مختلف آن، از اهمیت بسزایی برخوردار می‌باشد. به دلیل وجود برخی تفاوت‌ها در شرایط اقلیمی، گیاهی، اجتماعی- فرهنگی، کیفیت خاک و سایر عوامل و متغیر بودن

خصوصیات فاضلاب از منطقه‌ای به منطقه دیگر و حتی در طول زمان در یک محل [۲، ۱۱ و ۱۲]، تکیه تنها بر بکارگیری دستورالعمل‌های ارائه شده در دیگر مناطق جهان اشتباهی بس بزرگ به حساب آمده که در دراز مدت، صدمات جبران‌ناپذیری را بر منابع آب و خاک وارد می‌سازد. به همین دلیل در طی یک برنامه تحقیقاتی دو ساله در منطقه عمومی استان تهران، شاخص‌های عمده در آبیاری با فاضلاب‌های خانگی مورد بررسی قرار گرفت که بخشی از نتایج بدست آمده، در قالب این مقاله ارائه می‌گردد. هدف و دورنمای این گستره از تحقیق، بررسی میزان جذب بار آلودگی و عناصر غذایی موجود در فاضلاب‌های خانگی خام و تصفیه شده توسط مجموعه خاک و گیاه از نظر شاخص‌های BOD_5، COD، ازت و فسفر، در نتیجه اجرای عملیات آبیاری و نیز چگونگی و میزان ترابری این عوامل مشخصه به زیر عمق توسعه ریشه‌ها با گذشت زمان بوده است.

۲- وسایل و روش‌ها:

در اجرای این تحقیق و به منظور کنترل هر چه بهتر کلیه عوامل مؤثر، از تحقیقات لایسیمتری استفاده شد. تعداد ۲۷ عدد لایسیمتر از جنس پلاستیک و با سطح مقطع دایره‌ای شکل به قطر ۶۰ سانتیمتر و ارتفاع ۱۰۰ سانتیمتر، هر یک دارای لوله زهکش در نزدیکی کف آن به همراه لایه‌ای از صافی ژئوتکستایل در اطراف لوله برای اجتناب از ورود ذرات خاک، طراحی و ساخته شد و در محل مناسب نصب گردید. لایسیمترها از خاک زراعی سطحی 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.

جدول (۱) – مشخصات فیزیکی نمونه خاک مورد استفاده

درصد ذرات خاک			درصد رطوبت		وزن مخصوص(gr/cm^3)		تخلخل	نفوذپذیری خاک (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	۱/۹	۵	۳/۱

جدول (۲) – مشخصات شیمیایی نمونه خاک مورد استفاده

EC_e dS/m	pH	کاتیون‌های محلول (meq/lit)				جمع کاتیون‌ها	آنیون‌های محلول (meq/lit)				جمع آنیون‌ها	SAR
		K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}		SO_4^{2-}	Cl^-	HCO_3^-	CO_3^{2-}		
۱/۲۵	۷/۲	۰/۳	۲/۸۷	۸	۶	۱۷/۱۷	۲/۸۳	۸	۵/۶	-	۱۶/۴۳	۱/۰۸

با عنایت به تنوع گیاهان کشت شده در اطراف شهر تهران و به جهت دخالت دادن شرایط موجود در کاربرد فاضلاب‌ها در امر آبیاری، اقدام به کشت گیاهانی شد که معمولاً به صورت خام مورد استفاده قرار می‌گیرند. به همین منظور سه نوع گیاه خوراکی از قرار: جعفری (سبزی برگی)، هویج (سبزی ریشه‌ای) و گوجه فرنگی (صیفی سالادی) در لایسیمترها کاشته شد.

جهت تأمین فاضلاب خانگی مورد نیاز در اجرای این تحقیق، ابتدا بررسی‌های لازم بر چگونگی تولید و جمع‌آوری فاضلاب‌ها در سطح شهر تهران بعمل آمد و سپس بازدیدهایی از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب دایر به انجام رسید و در نهایت، تصفیه‌خانه فاضلاب شهرک اکباتان به عنوان منبع تأمین فاضلاب مورد نیاز انتخاب گردید. ضمناً با در نظر گرفتن شرایط فعلی کاربرد فاضلاب‌های خام شهری در جنوب شهر تهران و نیز آینده این منطقه پس از تکمیل شبکه جمع‌آوری و تصفیه فاضلاب، از هر دو نوع "فاضلاب خام ورودی" و "پساب تصفیه شده خروجی" از تصفیه‌خانه 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. در نهایت 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.

عملیات آبیاری لایسیمترها مطابق با عرف محلی (بطور متوسط دو بار در هفته در دوره حداکثر فصل گرما و رشد گیاه و یکبار در هفته در اواخر فصل زراعی)، با عمق آب آبیاری حدوداً ۸ – ۷ سانتیمتر و به روش سطحی (غرقابی) انجام گرفت. به همین منظور و برای هر نوبت آبیاری، فاضلاب خام و تصفیه شده به میزان مورد نیاز از تصفیه‌خانه 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. این عملیات به مدت دو سال زراعی متوالی در طی سال‌های ۱۳۷۸ و ۱۳۷۹ انجام پذیرفت.

اندازه‌گیری‌های انجام شده در مدت اجرای آزمایش شامل تعیین BOD_5[1]، COD[2]، انواع ازت و فسفر موجود در فاضلاب‌های خام، تصفیه شده و آب چاه، در تناوبهای مناسب در ادوار فصل آبیاری در طول دو سال اجرای تحقیق و نیز تعیین این عوامل در زه‌آب‌های خروجی از زهکش لایسیمترها بود. نمونه‌برداری‌ها در طول فصل کشت با فواصل زمانی تقریباً یکسان، از آب‌های مورد استفاده در آبیاری و نیز از زه‌آب خروجی تمامی لایسیمترها صورت پذیرفت. اولین نمونه‌برداری در ابتدای دومین هفته از شروع فصل کشت و آخرین نمونه‌برداری نیز در انتهای فصل و پیش از برداشت نهایی محصولات و خاتمه عملیات آبیاری در هر دو سال اجرای آزمایش انجام پذیرفت. کلیه آزمایش‌های مورد نظر در آزمایشگاه مرکز تحقیقات بیوشیمی و محیط زیست دانشگاه صنعتی شریف، آزمایشگاه آب، خاک و فاضلاب مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی و آزمایشگاه شیمی فاضلاب تصفیه‌خانه شهرک اکباتان و مطابق با استاندارد APHA[3] به انجام رسیده است [۷].

1- Biochemical oxygen demand
2- Chemical oxygen demand
3- American Public Health Association

۳- بحث و نتیجه‌گیری:

در این آزمایش از فاضلاب ورودی به تصفیه‌خانه اکباتان پس از دانه‌گیری اولیه و پساب تصفیه شده خروجی، پس از ته‌نشینی نهایی استفاده گردید و آب چاه به عنوان آب آبیاری رایج یا تیمار شاهد لحاظ شد. مشخصات شیمیایی کلیه انواع آب بکار برده شده از نظر پارامترهای مورد بررسی و نیز مقادیر مجاز آنها بر طبق استانداردهای موجود، در جدول (۳) آمده است.

جدول (۳) – کیفیت شیمیایی فاضلاب خام و پساب تصفیه شده شهرک اکباتان و آب چاه مورد استفاده

پارامتر	واحد	نوع آب آبیاری			میزان مجاز استاندارد ارائه شده		
		فاضلاب خام	پساب	آب چاه	آب چاه[1]	FAO [2]	ایران [3]
BOD_5	mg/lit	۲۰٤/۳	۱۳/۳	۰/۰	–	–	۱۰۰
COD	mg/lit	۳۷۱/۷	۲۷	۲۰	–	–	۲۰۰
EC	dS/m	۰/۷۷	۰/۵۹	۰/٦٦	۲/٦۱	۳	–
pH	–	۷/۱۲	٦/۹۹	۷/۵۱	۷/٦	٦/۵–۸/٤	٦–۸/۵
NO_3 - N	mg/lit	۳/٦	۱۱/۹۵	۵/۷۲	–	۵ – ۳۰	–
NH_4 - N	mg/lit	۲۸/۳	۱/۵۷	۰/۰٦	–	–	–
Organic – N	mg/lit	۱۵/۱۲	۱/۸۱	۰/۱٤	–	–	–
Total Nitrogen	mg/lit	٤۷/۰۲	۱۵/۳۳	۵/۹۲	–	۲/۵ – ٤۳	–
PO_4 - P	mg/lit	٤/۹۸	۲/۷۵	۰/۰٦٦	–	٤/۱۰	–
Total – P	mg/lit	۷/۹۱	٤/٦۱	۰/۰۷۳	–	–	–

۱- برگرفته از بحری، به سال ۱۹۸۸ میلادی (نقل از[۹])

۲- برگرفته از FAO به سال ۱۹۹۲ میلادی (نقل از[٤ و ۹])

۳- برگرفته از سازمان حفاظت محیط زیست ایران به سال ۱۳۷۳ هجری شمسی، استاندارد ارائه شده جهت استفاده از پساب در آبیاری محصولات کشاورزی (نقل از[۱ و ٤])

از مقایسه ارقام این جدول با مقادیر ارائه شده در استانداردهای موجود جهت کاربرد آب و پساب در امر آبیاری می‌توان چنین نتیجه گرفت که آب چاه از نظر کیفیت شیمیایی در وضعیت مطلوبی قرار دارد. پساب تصفیه شده نیز شرایط مشابهی را دارا بوده و بر اساس استاندارد FAO و همچنین از نظر استاندارد ایران، حائز کیفیت شیمیایی مناسب جهت آبیاری می‌باشد. چون کاربرد فاضلاب خام به عنوان آب آبیاری، معمول نبوده و بر اساس توجیهات مراجع معتبر قابل توصیه نمی‌باشد، لذا استانداردی در این خصوص ارائه نگردیده است.

۳ – ۱ - بازده حذف COD در خاک

نتایج حاصل از تجزیه نمونه‌های جمع‌آوری شده از نظر شاخص COD مربوط به دو سال اجرای تحقیق در جداول (٤) و (۵) ارائه شده است. این جداول مشتمل بر متوسط نتایج بدست آمده از هر سه لایسیمتر مشابه در هر دور آبیاری (از نظر نوع آب آبیاری و نوع گیاه) بوده و از طریق آن می‌توان تغییرات نسبی انتقال بار آلودگی شاخص شده توسط COD در طول فصل آبیاری به اعماق خاک و نیز درصد حذف آنرا نسبت به مقدار اولیه ورودی ملاحظه نمود.

جدول (٤) – میزان COD در انواع فاضلاب و آب مورد استفاده جهت آبیاری و متوسط نمونه‌های خروجی از زهکش لایسیمترها در سال ۱۳۷۸

ردیف	نوع گیاه	نوع آب آبیاری	۷۸/۲/۱۳ (۱)	۷۸/۲/۱۳ (۲)	۷۸/۲/۱۳ (۳)	۷۸/٤/۲۰ (۱)	۷۸/٤/۲۰ (۲)	۷۸/٤/۲۰ (۳)	۷۸/٦/۱٤ (۱)	۷۸/٦/۱٤ (۲)	۷۸/٦/۱٤ (۳)	۷۸/۸/۱۷ (۱)	۷۸/۸/۱۷ (۲)	۷۸/۸/۱۷ (۳)
۱	To.	R	۳٤٥	۱٥	۹٥/٦	۳۲۰	٦۳	۸۰/۳	۳٥۰	٦۰	۸۲/۹	۳٤۰	۳۷	۸۹/۱
۲	To.	T	٤۰	۸	۸۰	۲٥	٤۰	-٦۰	٤٥	۳۰	۳۳/۳	۳٥	۱۸	٤۸/٦
۳	To.	N	۲۰	۳	۸٥	۲۰	۳٥	-۷٥	۲۰	۲۸	-٤۰	۲۰	۱۸	۱۰
٤	Pa.	R	۳٤٥	۱۸	۹٤/۸	۳۲۰	٦۷	۷۹/۱	۳٥۰	٤٥	۸۷/۱	۳٤۰	۳۲	۹۰/٦
٥	Pa.	T	٤۰	۱۲	۷۰	۲٥	٤۰	-٦۰	٤٥	۲۷	٤۰	۳٥	۱٥	٥۷/۱
٦	Pa.	N	۲۰	٥	۷٥	۲۰	۳۳	-٦٥	۲۰	۲۷	-۳٥	۲۰	۱۷	۱٥
۷	Ca.	R	۳٤٥	۱۷	۹٥/۱	۳۲۰	٥۸	۸۱/۹	۳٥۰	٤۸	۸٦/۳	۳٤۰	۳۳	۹۰/۳
۸	Ca.	T	٤۰	۷	۸۷/٥	۲٥	۳۸	-٥۲	٤٥	۳۳	۲٦/۷	۳٥	۱۸	٤۸/٦
۹	Ca.	N	۲۰	٥	۷٥	۲۰	٤۰	-۱۰۰	۲۰	۲٥	-۲٥	۲۰	۱۷	۱٥

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

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

(۱) – COD ورودی بر حسب میلی‌گرم بر لیتر، مقدار بار آلودگی فاضلاب و آب مورد استفاده در امر آبیاری است.

(۲) – COD زهکش بر حسب میلی‌گرم بر لیتر، مقدار بار آلودگی آب زهکشی شده از لایسیمترها می‌باشد.

(۳) – درصد حذف، نشان دهنده بازده عملیات تصفیه COD است. اعداد منفی بیانگر افزایش در مقادیر خروجی نسبت به ورودی می‌باشد.

جدول (٥) – میزان COD در انواع فاضلاب و آب مورد استفاده جهت آبیاری و متوسط نمونه‌های خروجی از زهکش لایسیمترها در سال ۱۳۷۹

ردیف	نوع گیاه	نوع آب آبیاری	۷۸/۲/۱۳ (۱)	۷۸/۲/۱۳ (۲)	۷۸/۲/۱۳ (۳)	۷۸/٤/۲۰ (۱)	۷۸/٤/۲۰ (۲)	۷۸/٤/۲۰ (۳)	۷۸/٦/۱٤ (۱)	۷۸/٦/۱٤ (۲)	۷۸/٦/۱٤ (۳)	۷۸/۸/۱۷ (۱)	۷۸/۸/۱۷ (۲)	۷۸/۸/۱۷ (۳)
۱	To.	R	٤۰۰	۲٥	۹۳/۷	٤۳۰	٤۷	۸۹/۱	۳۸۰	٥۳	۸٦/۱	۳۸٥	۳۸	۹۰/۱
۲	To.	T	۳٥	۱۷	٥۱/٤	٤٥	۳٥	۲۲/۲	۲٥	٤۲	-٦۸	۳۰	۲۸	٦/۷
۳	To.	N	۲۰	۱۳	۳٥	۲۰	۳۰	-٥۰	۲۰	۳۰	-٥۰	۲۰	۲۰	۰
٤	Pa.	R	٤۰۰	۲۷	۹۳/۳	٤۳۰	٤۸	۸۸/۸	۳۸۰	٥۷	۸٥	۳۸٥	٤۰	۸۹/٦
٥	Pa.	T	۳٥	۲۰	٤۲/۹	٤٥	۳۸	۱٥/٦	۲٥	۳٥	-٤۰	۳۰	۲٥	۱٦/۷
٦	Pa.	N	۲۰	۱۲	٤۰	۲۰	۲٥	-۲٥	۲۰	۲۸	-٤۰	۲۰	۱۸	۱۰
۷	Ca.	R	٤۰۰	۲٥	۹۳/۸	٤۳۰	٥۰	۸۸/٤	۳۸۰	٥۲	۸٦/۳	۳۸٥	۳۷	۹۰/٤
۸	Ca.	T	۳٥	۱۸	٤۸/٦	٤٥	۳۷	۱۷/۸	۲٥	٤۰	-٦۰	۳۰	۲٥	۱٦/۷
۹	Ca.	N	۲۰	۱۰	٥۰	۲۰	۲۸	-٤۰	۲۰	۳۰	-٥۰	۲۰	۲۰	۰

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

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

(۱) – COD ورودی بر حسب میلی‌گرم بر لیتر، مقدار بار آلودگی فاضلاب و آب مورد استفاده در امر آبیاری است.

(۲) – COD زهکش بر حسب میلی‌گرم بر لیتر، مقدار بار آلودگی آب زهکشی شده از لایسیمترها می‌باشد.

(۳) – درصد حذف، نشان دهنده بازده عملیات تصفیه COD است. اعداد منفی بیانگر افزایش در مقادیر خروجی نسبت به ورودی می‌باشد.

اندازه‌گیری‌های بعمل آمده در نمونه‌های زه‌آب خروجی از زهکش لایسیمترها نشان می‌دهد که مقدار COD در ابتدای فصل و اولین اندازه‌گیری در طی هر دو سال آبیاری کمترین میزان بوده و با ادامه عملیات آبیاری، بر میزان COD خروجی افزوده شده تا به مقدار حداکثر برسد، لیکن با نزدیک شدن به انتهای فصل کشت مجدداً از مقدار COD خروجی زهکش‌ها کاسته می‌شود. میزان نوسانات و به خصوص نقطه حداکثر اندازه‌گیری در هر دو سال به هم نزدیک می‌باشد و مقایسه مقادیر COD ورودی توسط آب‌های مورد استفاده در امر آبیاری، با روند تغییرات COD خروجی از زهکش‌ها، دلالت بر اثرات تجمعی ترابری مواد به عمق ستون خاک دارد (به ویژه مشاهده مقادیر COD بیشتر در خروجی زهکش‌ها نسبت به میزان ورودی در پساب تصفیه شده و آب چاه). چنین به نظر می‌رسد که در اوایل فصل کشت، خاک قابلیت و ظرفیت کافی جهت جذب و حذف آلاینده‌های موجد COD را در اختیار داشته، لیکن با ادامه فصل کشت و اجرای آبیاری‌های مکرر، مرتباً بر مقدار مواد باقیمانده در خاک افزوده شده و احتمال تجمع و انتقال مواد به عمق افزایش می‌یابد. با سپری شدن نقطه حداکثر مصرف آب و نزدیکتر شدن به انتهای فصل کشت، از شدت عملیات آبیاری کاسته می‌شود و مجدداً فرصت بیشتری در اختیار خاک، گیاه و موجودات ریز قرار می‌گیرد تا نسبت به پالایش مواد اقدام نمایند، ضمن اینکه ورود آلاینده‌های جدید به خاک نیز تقلیل می‌یابد. در نتیجه از مقدار COD موجود در آب زهکش کاسته می‌شود.

نکته مهم و قابل توجه در این خصوص، وضعیت خاص فاضلاب خام از نظر درصد بالای حذف مواد در مقایسه با دیگر انواع آب آبیاری است. میزان COD در فاضلاب خام عملاً مشتمل بر کل مواد آلی ناپایدار نیز می‌باشد که توسط BOD شاخص می‌شود. در پساب تصفیه شده، این بخش از مواد به همراه مقادیری از مواد با پایداری بیشتر، قبل از ورود به خاک و طی فرآیند تصفیه در تصفیه‌خانه از فاضلاب حذف می‌گردند. بنابراین بیان نمودن بازده عملیات یا درصد حذف به منظور انجام مقایسه با نتایج بدست آمده از فاضلاب‌های تصفیه شده و آب چاه و تفسیر آن کمی پیچیده‌تر می‌شود، زیرا عملاً نمی‌توان مقدار دقیق مواد آلاینده پایدار را در فاضلاب خام ورودی مشخص نمود. البته تفاضل BOD_5 و COD حدودی (نه چندان دقیق) را در این زمینه ارائه می‌نماید که در صورت استفاده از آن، بازده محاسبه شده در فاضلاب خام کاهش خواهد یافت. بنابراین در مقام مقایسه، بهترین بازده در حذف COD در شرایط آبیاری با فاضلاب خام اتفاق افتاده است، لیکن این موضوع بسیار مهم است که آب چاه نیز دارای مقدار ثابتی از COD در حدود ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد که نشان می‌دهد، مقادیری از آلاینده‌های مقاوم در نتیجه عوامل مختلف وارد آب‌های زیرزمینی منطقه می‌گردد.

اکنون ضرورت دارد تا مسئله را از دیدگاه دیگری بررسی کنیم. موارد بیان شده تا کنون در بر گیرنده نوعی مقایسه ظاهری بین مقادیر COD اندازه‌گیری شده در واحد حجم آب‌های آبیاری و زه‌آب‌های زهکشی شده بود، لیکن توجه به این نکته نیز ضروری است که حجم آب خروجی از زهکش لایسیمترها بسیار کمتر از حجم آب ورودی به آنها در نتیجه عملیات آبیاری است. نسبت حجم آب خروجی از زهکش‌ها به حجم آب مورد استفاده جهت آبیاری لایسیمترها بین ۰/۱ تا ۰/۰۵ (یک بیستم) تغییر می‌کند،

بنابراین بهتر آن است که جهت تعیین وضعیت و چگونگی حذف مواد آلاینده موجد COD توسط مجموعه خاک و عوامل زیستی در لایسیمترها (گیاه و میکرو ارگانیسم‌ها)، از برقراری بیلان جرمی بین میزان ماده وارد شده به یک لایسیمتر و خروجی از آن بهره گرفت. بدین منظور متوسط COD ورودی توسط هر یک از انواع آب‌های آبیاری و نیز متوسط COD خروجی از زهکش‌ها در طول فصل کشت (بدون احتساب نوع گیاه) محاسبه گردید و با داشتن حجم آب مورد استفاده در هر نوبت آبیاری و حجم آب زهکشی شده از لایسیمترها، متوسط جرم ماده ورودی و خروجی به یک لایسیمتر از حاصلضرب غلظت COD در حجم آب بدست آمد. نتایج حاصله در جدول (٦) ارائه شده است.

جدول (٦) – متوسط مقدار نهایی مواد (جرم) ورودی و خروجی یک لایسیمتر در ارتباط با شاخص COD در آبیاری توسط فاضلاب‌های خانگی

ردیف	سال آزمایش	نوع آب*	آب ورودی به لایسیمترها			زه‌آب لایسیمترها			نسبت جرمی**	درصد حذف جرمی
			(۱)	(۲)	(۳)	(۱)	(۲)	(۳)		
۱	۱۳۷۸	R	۳۵۸/٤	٤۱۵/۷۹	۱٤٦۹۲	٤۱/۱	۳	۱۰٦	۰/۰۰۷۲	۹۹/۲۸
۲	۱۳۷۸	T	۲۵	۲۹	۱۰۲۵	۲۳/۸	۱/۷٤	٦۱/٤۸	۰/۰٦۰	۹٤
۳	۱۳۷۸	N	۲۰	۲۳/۲	٤۳۱	۲۱	۱/۵۳	۵٤/۰٦	۰/۰٦٦	۹۳/٤
٤	۱۳۷۹	R	۳۹۱	٤۱٤/٤٦	۱٤٦٤۵	٤۱/٦	۲/۸۷	۱۰۱/٤	۰/۰۰٦۹	۹۹/۳۱
۵	۱۳۷۹	T	۳۰/۱	۳۱/۹۱	۱۱۲۸	۳۰	۲/۰۷	۷۳/۱٤	۰/۰٦۵	۹۳/۵۱
٦	۱۳۷۹	N	۲۰	۲۱/۲	۷٤۹	۲۲	۱/۵۲	۵۳/۷۱	۰/۰۷۲	۹۲/۸۳

(۱)= COD متوسط به میلی‌گرم بر لیتر، (۲) = جرم تجمعی ورودی به لایسیمتر یا خروجی از آن به گرم، (۳) = جرم تجمعی ورودی یا خروجی به کیلوگرم در هکتار، با در نظر گرفتن متوسط ارتفاع آب آبیاری اعمال شده در آزمایش.

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

** نسبت جرمی عبارت است از نسبت جرم تجمعی خروجی به جرم تجمعی ورودی به لایسیمتر.

همانگونه که از جدول (٦) ملاحظه می‌گردد، درصدهای حذف جرمی یا در حقیقت بازده حذف بدست آمده بین ۹۲/۸ الی ۹۹/۳ درصد در نوسان است که نشان از قابلیت تصفیه و عملکرد بسیار بالای مجموعه در حذف آلودگی‌های شاخص شده توسط COD در کلیه انواع آب آبیاری، اعم از فاضلاب‌های خام و تصفیه شده و آب چاه مصرفی دارد. بدین دلیل می‌توان چنین نتیجه گرفت که مجموعه خاک و موجودات زنده آن بصورت یک صافی کامل عمل نموده و قادر می‌باشند تا مواد آلاینده شاخص شده توسط COD را به نحو بسیار مطلوبی حذف نماید. بنابراین چنانچه در عملیات آبیاری با فاضلاب، هدف انتقال مقادیری مجاز از COD به زهکش‌ها در عمق خاک باشد که به آب‌های سطحی تخلیه می‌گردند، لازم است تا با اجرای تحقیقات دقیق، وضعیت تعادل نسبی را بین مقدار آب آبیاری، دور آبیاری و کاهش محصول قابل قبول در منطقه بدست آورد تا به این مهم دست یافت. لیکن، به دلیل کاهش قابل توجه حجم آب زهکشی شده در مقایسه با حجم آب مورد استفاده در امر آبیاری، در صورت تخلیه زه‌آب‌ها به منابع آب سطحی، مقدار

آلاینده‌های منتقل شده به این منابع عملاً تقلیل یافته و در نتیجهٔ عمل اختلاط ممکن است غلظت COD نهایی حاصل گردیده، از میزان مجاز و پذیرفته شده‌ای که در منابع آب سطحی قابل قبول می‌باشد تجاوز ننماید. تجزیه و تحلیل آماری کلیه مقادیر اندازه‌گیری شده COD در مدت دو سال اجرای تحقیق، با عنایت به طرح آماری انتخاب شده و با استفاده از برنامه رایانه‌ایSAS انجام پذیرفت. نتایج بدست آمده از این بررسی در جدول (۷) خلاصه شده است. با توجه به نتایج، اثر سال اجرای تحقیق به همراه نوع آب آبیاری و زمان یا مرحله نمونه‌برداری‌های متوالی بر روی مقدار COD اندازه‌گیری شده، از لحاظ آماری در سطح یک درصد دارای تفاوت معنی‌دار بود، لیکن نوع محصول اثر معنی‌داری را از خود نشان نداد.

جدول (۷) – نتایج تجزیه و تحلیل آماری داده‌های COD دو سالانه اجرای تحقیق

منابع تغییر	درجه آزادی	مجموع مربعات (SS)	میانگین مربعات (MS)
سال اجرا	۱	۳۳۷/۵۰	۳۳۷/۵۰ **
نوع محصول	۲	٤٨/٨٤	۲٤/٤۲ n.s.
نوع آب آبیاری	۲	۱٤۹۸۰/۷۹	۷٤۹۰/۳۹ **
اثر زمان نمونه‌برداری	۳	۲٥۸۷۱/۷٦	۸٦۲۳/۹۲ **

n. s. دارای تفاوت معنی‌دار نمی‌باشد. ** دارای تفاوت معنی‌دار در سطح یک درصد می‌باشد.

۳ – ۲ – بازده حذف BOD_5 در خاک

بازده مجموعه خاک و گیاه از نظر حذف بار آلودگی شاخص شده با BOD_5 در تمامی طول مدت اجرای آزمایش و در هر دو نوع فاضلاب خام و تصفیه شده مورد استفاده برای آبیاری، بین ۹۹ تا ۱۰۰ درصد در نوسان بوده که این خود دلالت بر عملکرد مطلوب مجموعه در حذف بار آلی و ترابری ناچیز این مواد به اعماق ستون خاک دارد. لازم به توضیح است که BOD_5 خروجی از زهکش‌ها در بدترین شرایط از مقدار ناچیز یک میلی‌گرم بر لیتر (تنها در یک مشاهده دو میلی‌گرم بر لیتر) تجاوز ننمود، بنابراین چنین نتیجه‌گیری می‌شود که قابلیت مجموعه در رفع آلودگی شاخص شده با BOD_5 بسیار مطلوب و مناسب می‌باشد. ضمناً با توجه به کمیت مقادیر اندازه‌گیری شده BOD_5 در زه‌آب زهکش‌ها که عمدتاً صفر و گاهاً اعداد یک و دو بدست آمد، اجرای تجزیه و تحلیل‌های آماری برای این پارامتر ضروری به نظر نمی‌رسد و لذا آزمونی از این نظر بر روی داده‌های برداشت شده انجام نپذیرفت.

۳ – ۳ – آبشویی ازت به عمق خاک

ازت از جمله عناصر غذایی مهم و موجود در فاضلاب و پساب تصفیه شده حاصل از آن می‌باشد که نقشی اساسی را در رشد و نمو گیاهان بازی می‌کند. در نتیجهٔ آبیاری با پساب و فاضلاب، مقادیر قابل توجهی ازت به خاک افزوده می‌شود که میزان آن بستگی به کمیت ازت موجود در فاضلاب و پساب و حجم آب

کاربردی دارد [٤ و ١٠]. بر اساس نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌های بعمل آمده از نظر کمیت ازت کل و ترکیبات آن در نمونه‌های زه‌آب تهیه شده از زهکش لایسیمترها و انواع آب آبیاری در طول مدت دو سال اجرای تحقیق، تجزیه و تحلیل‌های ضروری انجام پذیرفت و نتایج قابل توجهی بدست آمد. مقادیر متوسط ازت کل اندازه‌گیری شده در نمونه‌ها و به تفکیک هر سال، در جداول (۸) و (۹) ارائه گردیده است.

از بررسی اعداد موجود در متن جداول فوق می‌توان چنین نتیجه‌گیری نمود که بیشترین مقدار ازت خروجی از زهکش‌ها، در ابتدای هر فصل و در اولین نمونه‌های بدست آمده از زهکش لایسیمترها مشاهده شده و با تداوم عملیات آبیاری، به تدریج از کمیت ازت موجود در زه‌آب‌ها تا حدودی کاسته می‌شود. دلیل این امر را می‌توان در افزایش رشد گیاهان کشت شده در لایسیمترها و توسعه سیستم ریشه‌ای و اندام هوایی آنها جستجو نمود، زیرا در نتیجه رشد سبزینه‌ای، مقادیر بیشتری از ازت موجود در خاک و آب آبیاری به مصرف گیاه رسیده و بالطبع، حضور مقادیر کمتری از ازت در آب زهکشی شده قابل انتظار است.

جدول (۸) – میزان ازت کل در انواع فاضلاب و آب مورد استفاده جهت آبیاری و متوسط آن در زه‌آب خروجی از زهکش لایسیمترها طی سال ۱۳۷۸

ردیف	نوع گیاه*	نوع آب**	۷۸/۲/۱۳			۷۸/۵/۱۰			۷۸/۸/۱۷		
			(۱)	(۲)	(۳)	(۱)	(۲)	(۳)	(۱)	(۲)	(۳)
۱	To.	R	٤٩/٧٣	٩/٨٣	١٩/٧٧	٤٨/٣٥	٧/١٣	١٤/٧٥	٤٦/٧١	٦/٨١	١٤/٥٨
۲	To.	T	١٣/٥٢	٤/٥٦	٣٣/٧٣	١٤/١٧	٣/٥٥	٢٥/٠٥	١١/٤٨	٣/٦٥	٣١/٧٩
۳	To.	N	٦/٣٨	٣/٧٤	٥٨/٦٢	٥/٤٩	٣/١٢	٥٦/٨٣	٥/٥٣	٣/٠٦	٥٥/٣٣
٤	Pa.	R	٤٩/٧٣	٩/١٦	١٨/٤٢	٤٨/٣٥	٧/٦٧	١٥/٨٦	٤٦/٧١	٦/٠٤	١٢/٩٣
٥	Pa.	T	١٣/٥٢	٤/١٨	٣٠/٩٢	١٤/١٧	٣/٨٣	٢٧/٠٣	١١/٤٨	٣/٦٧	٣١/٩٧
٦	Pa.	N	٦/٣٨	٣/٢٤	٥٠/٧٨	٥/٤٩	٢/٦٧	٤٨/٦٣	٥/٥٣	٢/٣٤	٤٢/٣١
۷	Ca.	R	٤٩/٧٣	١٠/٧٦	٢١/٦٤	٤٨/٣٥	٨/٦٨	١٧/٩٥	٤٦/٧١	٦/٢٧	١٣/٤٢
۸	Ca.	T	١٣/٥٢	٤/٤٠	٣٢/٥٤	١٤/١٧	٣/٦٧	٢٥/٩	١١/٤٨	٣/١٧	٢٧/٦١
۹	Ca.	N	٦/٣٨	٣/٧١	٥٨/١٥	٥/٤٩	٣/١٨	٥٧/٩٢	٥/٥٣	٢/٨٣	٥١/١٨

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

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

(۱) – میزان ازت کل ورودی بر حسب میلی‌گرم بر لیتر، در نتیجه بکارگیری انواع آب آبیاری.

(۲) – میزان ازت کل خروجی بر حسب میلی‌گرم بر لیتر، اندازه‌گیری شده در زه‌آب لایسیمترها.

(۳) – درصد انتقال، نشان دهنده مقدار ازت کل مشاهده شده در زه‌آب زهکش‌ها در مقایسه با مقادیر ورودی توسط آب آبیاری در هر نمونه‌برداری می‌باشد.

جدول (۹) – میزان ازت کل در انواع فاضلاب و آب مورد استفاده جهت آبیاری و متوسط آن در زه‌آب خروجی از زهکش لایسیمترها طی سال ۱۳۷۹

ردیف	نوع گیاه*	نوع آب**	۷۹/۲/۱۰			۷۹/۵/۸			۷۹/۸/۱۱		
			(۱)	(۲)	(۳)	(۱)	(۲)	(۳)	(۱)	(۲)	(۳)
۱	To.	R	٤٣/٥٦	١٣/١٣	٣٠/١٤	٥١/٢٢	٨/٣٩	١٦/٣٨	٤٤/١٨	٧/١٦	١٦/٢١
۲	To.	T	١٢/٧٦	٤/١٦	٣٢/٦	١٥/٣٢	٣/٦٣	٢٣/٧	١٣/٨١	٣/٢٧	٢٣/٦٨
۳	To.	N	٦/٤٤	٣/٣٢	٥١/٥٥	٦/٠٣	٢/٤٤	٤٠/٤٦	٥/٦٢	٢/١٨	٣٨/٧٩
٤	Pa.	R	٤٣/٥٦	١١/٢٩	٢٥/٩٢	٥١/٢٢	٧/٨٧	١٥/٣٧	٤٤/١٨	٧/٢٢	١٦/٣٤
٥	Pa.	T	١٢/٧٦	٣/٨٠	٢٩/٧٨	١٥/٣٢	٣/٥٧	٢٣/٣	١٣/٨١	٣/٣٤	٢٤/١٩
٦	Pa.	N	٦/٤٤	٣/١٠	٤٨/١٤	٦/٠٣	٢/٥٣	٤١/٩٦	٥/٦٢	٢/٢٧	٤٠/٣٩
۷	Ca.	R	٤٣/٥٦	١٤/٧	٣٣/٧٥	٥١/٢٢	٩/٥٥	١٨/٦٥	٤٤/١٨	٨/٢٥	١٨/٦٧
۸	Ca.	T	١٢/٧٦	٤/٨٧	٣٨/١٧	١٥/٣٢	٣/٩٦	٢٥/٨٥	١٣/٨١	٣/٤٩	٢٥/٢٧
۹	Ca.	N	٦/٤٤	٣/٤٣	٥٣/٢٦	٦/٠٣	٣/٠	٤٩/٧٥	٥/٦٢	٢/٦١	٤٦/٤٤

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

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

(۱) – میزان ازت کل ورودی بر حسب میلی‌گرم بر لیتر، در نتیجه بکارگیری انواع آب آبیاری.

(۲) – میزان ازت کل خروجی بر حسب میلی‌گرم بر لیتر، اندازه‌گیری شده در زه‌آب لایسیمترها.

(۳) – درصد انتقال، نشان‌دهنده مقدار ازت کل مشاهده شده در زه‌آب زهکش‌ها در مقایسه با مقادیر ورودی توسط آب آبیاری در هر نمونه‌برداری می‌باشد.

به لحاظ کمی بیشترین مقادیر ازت اندازه‌گیری شده، در فاضلاب خام ورودی و زه‌آب‌های خروجی از لایسیمترهایی اتفاق افتاد که از فاضلاب خام در آبیاری آنها استفاده می‌گردید. کمترین مقادیر ازت اندازه‌گیری شده نیز در آب چاه و زه‌آب لایسیمترهای تحت آبیاری با آب چاه مشاهده شد، لیکن مقادیر ازت اندازه‌گیری شده در زه‌آب لایسیمترهای تحت آبیاری با پساب تصفیه شده، اندکی بالاتر از آب چاه و در نزدیکی آن قرار داشت. در مقام مقایسه و از نظر نوع گیاه، بیشترین مقادیر ازت قابل اندازه‌گیری در زه‌آب حاصل از لایسیمترهای تحت کشت هویج مشاهده شد و مقادیر کمتر به تناوب، در لایسیمترهای تحت کشت گوجه فرنگی و جعفری ملاحظه گردید. دلیل این تفاوت در نوع و گونه گیاهی و نیازهای فیزیولوژیکی هر گونه نهفته است.

با پایان یافتن فصل کشت در سال اول و قطع آبیاری، بقایای گیاهی و نیز ازت آلی و آمونیاکی جذب شده در لایه‌های خاک تجزیه و به انواع قابل تحرک‌تر نظیر نیترات تبدیل می‌شوند، لذا با شروع فصل دوم آبیاری و در اولین اندازه‌گیری، افزایش قابل توجهی در مقدار ازت موجود در زه‌آب لایسیمترهای تحت آبیاری با فاضلاب خام و پساب تصفیه شده، در مقایسه با آخرین اندازه‌گیری سال قبل مشاهده گردید. این

وضعیت با شدت کمتری در لایسیمترهای تحت آبیاری با آب چاه نیز اتفاق افتاد. لازم به یادآوری است که در کل فصل کشت از هیچ نوع کودی در لایسیمترها استفاده نشد.

از نظر درصد ازت انتقال یافته به عمق در هر مرحله نمونه‌برداری و یا به عبارتی، نسبت ازت خروجی از زهکش هر لایسیمتر به مقدار ازت ورودی به آن توسط آب آبیاری، در کل چنین مشاهده می‌شود که درصد انتقال در فاضلاب خام کمترین و در آب چاه بیشترین است و پساب تصفیه شده نیز در بین آنها (و حدوداً نزدیکتر به فاضلاب خام تا آب چاه) قرار دارد، ضمن اینکه درصدهای انتقال ازت مشاهده شده در کشت هویج بیش از سایر گیاهان می‌باشد. دلیل این وضعیت را می‌توان در نوع غالب ترکیبات ازته موجود در آب آبیاری جستجو نمود، زیرا عمدهٔ ترکیبات ازته فاضلاب خام از نوع آمونیاکی و آلی (بطور متوسط با ۶۰/۲ درصد و ۳۲/۱۶ درصد) می‌باشد و چون خاک قابلیت جذب و نگهداری این ترکیبات را داراست، بنابراین نسبت ازت ظاهر شده در زه‌آب لایسیمترها در مقایسه با مقدار ورودی به آنها ناچیز بوده و بسته به مرحله نمونه‌برداری و نوع گیاه، درصد انتقال بین ۱۲/۹۳ تا ۳۳/۷۵ درصد در نوسان است. در بین انواع ترکیبات ازته مشاهده شده در زه‌آب لایسیمترهای تحت آبیاری با فاضلاب خام، ازت نیتراته با متوسط ۸۱/۶ درصد، نوع غالب بود و حداکثر مقدار آن از ۱۲ میلی‌گرم بر لیتر تجاوز ننمود.

در پساب تصفیه شده، ازت نیتراته با متوسط ۷۷/٤ درصد ترکیب غالب می‌باشد و به دلیل بار منفی نیترات و متحرک بودن آن در خاک، علیرغم کاهش مقدار ازت کل در پساب در مقایسه با فاضلاب خام، درصد انتقال ازت به عمق در لایسیمترهای تحت آبیاری با پساب تصفیه شده، از افزایش نسبی در برابر فاضلاب خام برخوردار می‌باشد. در این حالت درصد انتقال ازت به عمق، بسته به نوع گیاه و مرحله نمونه‌برداری بین ۲۳/۳۰ تا ۳۸/۱۷ درصد در نوسان است. عمدهٔ ترکیبات ازته در زه‌آب لایسیمترهای تحت آبیاری با پساب تصفیه شده را ازت نیتراته با متوسط ۹۳/۷۵ درصد تشکیل می‌دهد.

آب چاه بدترین شرایط را از نظر درصد انتقال ازت به عمق در بین سایر انواع آب آبیاری دارا بود. تقریباً تمامی ازت موجود در آب چاه از نوع ازت نیتراته است و بطور متوسط ۹٦/٦ درصد ازت در آب چاه از این نوع می‌باشد. بنابراین مقدار قابل توجهی از ازت در هر آبیاری (در مقایسه با مقدار ورودی به لایسیمتر) به سرعت از دسترس گیاه خارج شده و به زهکش لایسیمترها منتقل می‌گردد. درصد انتقال ازت به عمق در لایسیمترهای تحت آبیاری با آب چاه بین ۳۸/۷۹ تا ۵۸/٦۲ درصد در نوسان بود. ضمن اینکه تقریباً تمامی ازت موجود در زه‌آب لایسیمترهای آبیاری شده با آب چاه از نوع نیتراته می‌باشد و نزدیک به یک درصد ازت زه‌آب از انواع دیگر است.

در شرایطی که تخلیه زه‌آب‌های حاصل از زهکش‌های زیرزمینی مزارع تحت آبیاری با فاضلاب و پساب به منابع آب سطحی مد نظر باشد، مقدار ازت و به خصوص نیترات موجود در زه‌آب‌ها در کنار فسفر، به عنوان یک عامل غذایی مؤثر در وقوع پدیده اوتریفیکاسیون[1] (پر غذایی) به شمار می‌آید. استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست ایران، مقادیر مجاز انواع ازت موجود در پساب تصفیه شده را جهت "تخلیه به منابع

1- Eutrophication

آب سطحی" ارائه می‌دهد [۱ و ٤] که می‌توان این مقادیر را ملاک تخلیه زه‌آب‌های حاصل از آبیاری با پساب به منابع آب سطحی نیز قرار داد. مطابق این استاندارد، مقدار NH_4، NO_2 و NO_3 نبایستی به ترتیب از ۲/۵، ۱۰ و ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر تجاوز کند.

با ملاحظه مقادیر ازت کل و ترکیبات ازته اندازه‌گیری شده در زه‌آب لایسیمترها چنین نتیجه‌گیری می‌شود که در طول مدت دو سال اجرای آزمایش، مقادیر تمامی ترکیبات ازته زه‌آب‌ها همواره پائین‌تر از میزان مجاز قرار داشت. بیشترین مقدار NH_4 اندازه‌گیری شده در بین تمامی لایسیمترها (زه‌آب) برابر ۱/۹ میلی‌گرم بر لیتر و NO_3 برابر ۱۲ میلی‌گرم بر لیتر بود که فاصله قابل توجهی را با مقادیر مجاز دارا می‌باشند، ضمن اینکه مقدار NO_2 نیز بسیار ناچیز و قابل صرفنظر بود. بنابراین در صورت کاربرد فاضلاب و پسابی با "کیفیت" و "کمیت" مشابه آنچه در تحقیق حاضر استفاده شد، می‌توان زه‌آب‌های حاصل از زهکش‌های زیرزمینی را در مدت دو سال ابتدایی اجرای عملیات آبیاری، به منابع آب سطحی تخلیه نمود. قابل ذکر است که به دلیل استفاده از روش آبیاری غرقابی (کرتی)، رواناب سطحی در این آزمایش وجود نداشت.

تجزیه و تحلیل آماری کلیه مقادیر ازت اندازه‌گیری شده در مدت دو سال اجرای آزمایش، با بهره‌گیری از برنامه رایانه‌ای SAS انجام پذیرفت. نتایج بدست آمده از این بررسی در جدول (۱۰) خلاصه گردیده است. با عنایت به نتایج حاصله، اثر نوع آب آبیاری و زمان یا مرحله نمونه‌برداری‌های متوالی، بر میزان ازت اندازه‌گیری شده در زه‌آب لایسیمترها، از لحاظ آماری در سطح یک درصد دارای تفاوت معنی‌دار بود، لیکن تأثیر سال اجرای آزمایش و نوع گیاه در این خصوص معنی‌دار نبود.

جدول (۵ – ۲۹) – نتایج تجزیه و تحلیل آماری داده‌های ازت در مدت دو سال اجرای تحقیق

منابع تغییر	درجه آزادی	مجموع مربعات (SS)	میانگین مربعات (MS)
سال اجرا	۱	۷/٤٦	۷/٤٦ $^{n.s.}$
نوع گیاه	۲	۱۳/٦۳	٦/۸۱ $^{n.s.}$
نوع آب آبیاری	۲	۱۱۱۳/۵۰	۵۵٦/۷۵ **
اثر زمان نمونه‌برداری	۲	۱۲٦/۰۲	٦۳/۰۱ **

n. s. – معنی‌دار نبوده است. ** – در سطح یک درصد معنی‌دار بوده است.

۳ – ۴ – آبشویی فسفر به عمق خاک

نتایج حاصل از تجزیه نمونه‌های آب و زه‌آب جمع‌آوری شده از نظر میزان فسفر کل، مربوط به دو سال اجرای آزمایش در جداول (۱۱) و (۱۲) ارائه شده است. این جداول مشتمل بر متوسط نتایج بدست آمده از هر سه لایسیمتر مشابه در هر آبیاری (از نظر نوع آب آبیاری و نوع گیاه) می‌باشد.

از بررسی نتایج چنین نتیجه‌گیری می‌شود که بیشترین مقدار فسفر ترابری شده به عمق ستون خاک، در زه‌آب لایسیمترهای تحت آبیاری با فاضلاب خام مشاهده شد و کمترین مقادیر نیز در لایسیمترهای تحت آبیاری با آب چاه ملاحظه گردید. مقادیر فسفر اندازه‌گیری شده در اولین نمونه‌برداری از زه‌آب تمامی لایسیمترها در سال نخست اجرای تحقیق بسیار نزدیک به هم و مستقل از نوع آب آبیاری بود که این امر،

دلالت بر حضور مقادیری از فسفر قابل انحلال در خاک داشت که به همراه آب آبیاری به عمق منتقل گردید. با تداوم عملیات آبیاری لایسیمترها توسط انواع آب مورد استفاده، به‌تدریج تفاوت‌ها از نظر میزان انتقال فسفر به عمق خاک آشکار شد.

جدول (۱۱) – میزان فسفر کل در انواع فاضلاب و آب مورد استفاده جهت آبیاری و متوسط آن در زه‌آب خروجی از زهکش لایسیمترها طی سال ۱۳۷۸

ردیف	نوع گیاه*	نوع آب**	۷۸/۲/۱۳			۷۸/۵/۱۰			۷۸/۸/۱۷		
			(۱)	(۲)	(۳)	(۱)	(۲)	(۳)	(۱)	(۲)	(۳)
۱	To.	R	۷/۷۱	۰/۰۷	۰/۹۱	٦/۰۲	۰/۱٦۸	۲/۷۹	۵/۸۲	۰/۱۲	۲/۰٦
۲	To.	T	٤/٤۱	۰/۰٦٦	۱/۵	۳/۷۷	۰/۱۱٤	۳/۰۲	۳/٤۹	۰/۰۹۵	۲/۷۲
۳	To.	N	۰/۰۷٦	۰/۰۵۹	۷۷/٦۳	۰/۰٦۵	۰/۰۱۹	۲۹/۲۳	۰/۰۷	۰/۰۱	۱٤/۲۹
٤	Pa.	R	۷/۷۱	۰/۰٦۸	۰/۸۸	٦/۰۲	۰/۱٤۸	۲/٤٦	۵/۸۲	۰/۱۰۵	۱/۸
۵	Pa.	T	٤/٤۱	۰/۰٦۲	۱/٤۱	۳/۷۷	۰/۰۹٤	۲/٤۹	۳/٤۹	۰/۰۷۲	۲/۰٦
٦	Pa.	N	۰/۰۷٦	۰/۰٦۷	۸۸/۱٦	۰/۰٦۵	۰/۰۱۷	۲٦/۱۵	۰/۰۷	۰/۰۰۷	۱۰
۷	Ca.	R	۷/۷۱	۰/۰۷۱	۰/۹۲	٦/۰۲	۰/۱۸۵	۳/۰۷	۵/۸۲	۰/۱۳۸	۲/۳۷
۸	Ca.	T	٤/٤۱	۰/۰٦	۱/۳٦	۳/۷۷	۰/۱۲۱	۳/۲۱	۳/٤۹	۰/۱۰٦	۳/۰٤
۹	Ca.	N	۰/۰۷٦	۰/۰٦٤	۸٤/۲۱	۰/۰٦۵	۰/۰۲۱	۳۲/۳۱	۰/۰۷	۰/۰۱۱	۱۵/۷۱

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

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

(۱) – میزان فسفر کل ورودی بر حسب میلی‌گرم بر لیتر، در نتیجه بکارگیری انواع آب آبیاری.

(۲) – میزان فسفر کل خروجی بر حسب میلی‌گرم بر لیتر، اندازه‌گیری شده در زه‌آب لایسیمترها.

(۳) – درصد انتقال، نشان دهنده مقدار فسفر کل مشاهده شده در زه‌آب زهکش‌ها در مقایسه با مقادیر ورودی توسط آب آبیاری در هر نمونه‌برداری می‌باشد.

جدول (۱۲)- میزان فسفر کل در انواع فاضلاب و آب مورد استفاده جهت آبیاری و متوسط آن در زه‌آب خروجی از زهکش لایسیمترها طی سال ۱۳۷۹

ردیف	نوع گیاه*	نوع آب **	۷۹/۲/۱۰			۷۹/۵/۸			۷۹/۸/۱۱		
			(۱)	(۲)	(۳)	(۱)	(۲)	(۳)	(۱)	(۲)	(۳)
۱	To.	R	۹/٤٤	۰/۱٤٦	۱/۵۵	۵/٦۷	۰/۱۵۷	۲/۷۷	۱۲/۸	۰/۱۳۱	۱/۰۲
۲	To.	T	۵/٦	۰/۱۰٤	۱/۸٦	۳/۱۸	۰/۱۲۱	۳/۸۱	۷/۲۱	۰/۰۹۲	۱/۲۸
۳	To.	N	۰/۰۸	۰/۰۱۲	۱۵	۰/۰۷۵	۰/۰۱۱	۱٤/٦۷	۰/۰۷۲	۰/۰۰۹	۱۲/۵
۳	Pa.	R	۹/٤٤	۰/۰۸۵	۰/۹	۵/٦۷	۰/۱٤۲	۲/۵	۱۲/۸	۰/۱۱۹	۰/۹۳
٤	Pa.	T	۵/٦	۰/۰٦۸	۱/۲۱	۳/۱۸	۰/۱	۳/۱٤	۷/۲۱	۰/۰۷٤	۱/۰۳
۵	Pa.	N	۰/۰۸	۰/۰۱	۱۲/۵	۰/۰۷۵	۰/۰۰۸	۱۰/٦۷	۰/۰۷۲	۰/۰۰۵	٦/۹٤
٦	Ca.	R	۹/٤٤	۰/۱۵۹	۱/٦۸	۵/٦۷	۰/۲۰۲	۳/۵٦	۱۲/۸	۰/۱۷٤	۱/۳٦
۷	Ca.	T	۵/٦	۰/۱۲	۲/۱٤	۳/۱۸	۰/۱۳۲	٤/۱۵	۷/۲۱	۰/۱۱۲	۱/۵۵
۸	Ca.	N	۰/۰۸	۰/۰۱۷	۲۱/۲۵	۰/۰۷۵	۰/۰۱٤	۱۸/٦۷	۰/۰۷۲	۰/۰۱۱	۱۵/۲۸

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

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

(۱) – میزان فسفر کل ورودی بر حسب میلی‌گرم بر لیتر، در نتیجه بکارگیری انواع آب آبیاری.

(۲) – میزان فسفر کل خروجی بر حسب میلی‌گرم بر لیتر، اندازه‌گیری شده در زه‌آب لایسیمترها.

(۳) – درصد انتقال، نشان دهنده مقدار فسفر کل مشاهده شده در زه‌آب زهکش‌ها در مقایسه با مقادیر ورودی توسط آب آبیاری در هر نمونه‌برداری می‌باشد.

ملاحظه روند و نحوه تغییرات مقادیر فسفر موجود در زه‌آب لایسیمترها نشان می‌دهد که در سال نخست آزمایش، با تداوم فصل کشت و اجرای عملیات آبیاری، ابتدا مقدار فسفر در زه‌آب لایسیمترهای تحت آبیاری با فاضلاب خام و پساب تصفیه شده افزایش یافته، لیکن با نزدیک شدن به انتهای فصل زراعی، تا حدودی از میزان آن کاسته می‌شود. دلیل اصلی این امر در کاهش دفعات و حجم آب آبیاری کاربردی و افزایش جذب گیاهی در این شرایط نهفته است. در آب چاه یک روند نزولی پیوسته از ابتدا تا انتهای فصل کشت قابل مشاهده بود که دلیل آن، ناچیز بودن مقدار فسفر موجود در آب چاه و نگهداشت آن توسط خاک می‌باشد و بنابراین، در نتیجه فعالیت‌های گیاهی (جذب فسفر) و ورود مقادیر ناچیز آن به خاک، مرتباً از میزان انتقال فسفر به عمق کاسته می‌شود.

در اولین نمونه‌برداری انجام شده از زه‌آب لایسیمترها در سال دوم، افزایش ناچیزی در میزان فسفر اندازه‌گیری شده در زه‌آب‌ها، در مقایسه با آخرین نمونه‌برداری سال اول مشاهده گردید. این امر می‌تواند به دلیل تجزیه بقایای گیاهی در خاک و نیز تجزیه و تبدیل مقادیری از فسفر آلی افزوده شده به خاک در نتیجه آبیاری با فاضلاب و پساب به فسفر معدنی و انتقال آن به عمق اتفاق افتاده باشد. البته روند تغییرات میزان فسفر اندازه‌گیری شده در زه‌آب لایسیمترها و فراز و نشیب‌های آن همانند سال اول اجرای آزمایش‌ها بود و مقادیر بدست آمده، تفاوت‌های چشمگیری را از خود نشان نمی‌داد. ملاحظه ارقام فسفر اندازه‌گیری شده در زه‌آب حاصل از لایسیمترهای تحت آبیاری با فاضلاب خام و پساب تصفیه شده و دامنه تغییرات آنها نشان می‌دهد که، حداکثر و حداقل میزان فسفر در زه‌آب حاصل از آبیاری با فاضلاب خام برابر ۰/۲۶ و ۰/۰۸۷ میلی‌گرم بر لیتر و در زه‌آب حاصل از پساب تصفیه شده برابر ۰/۱۵۵ و ۰/۰۵۹ میلی‌گرم بر لیتر در نوسان بوده است. بر اساس مشاهدات هوک (۱۹۸۳)، بکارگیری پساب تصفیه ثانویه با غلظت فسفر بین ۱۶–٤ میلی‌گرم بر لیتر، می‌تواند موجبات نفوذ فسفر به لایه‌های زیرین خاک را تا حدودی فراهم آورد. معمولاً میزان فسفر در زه‌آب حاصل از خاکهای عمقی اراضی کشاورزی تحت آبیاری با پساب تصفیه شده، بین ۰/۱۱ – ۰/۰۲ میلی‌گرم بر لیتر در نوسان است [۱۰ و ۱۳]. این مقادیر با دامنه بدست آمده برای پساب در نتیجه اجرای تحقیق حاضر همخوانی قابل قبولی دارد.

از بررسی درصدهای انتقال فسفر به عمق خاک چنین مشاهده می‌شود که کمترین درصد انتقال در فاضلاب خام اتفاق افتاد (بین ۰/۹ تا ۳/۵٦ درصد)، ضمن اینکه از نظر نوع گیاه نیز عمدتاً جعفری کمترین درصد انتقال و هویج بیشترین مقدار را از خود نشان دادند. در پساب تصفیه شده، علیرغم کاهش مقدار فسفر موجود در زه‌آب لایسیمترها در مقام مقایسه با زه‌آب حاصل از فاضلاب خام، درصد انتقال به مقدار جزئی افزایش یافت (بین ۱/۰۳ تا ٤/۱۵ درصد). به هر حال نتایج نشان دهنده انتقال ناچیز فسفر به عمق خاک در هر دو این حالات می‌باشد و عملاً بین ۹٦ تا ۹۹ درصد فسفر موجود در فاضلاب خام و پساب تصفیه شده، توسط مجموعه خاک و گیاه از آنها جدا می‌شود. در خصوص آب چاه، علیرغم حضور مقادیر

بسیار جزئی از فسفر در زه‌آب لایسیمترهای تحت آبیاری، به دلیل ناچیز بودن میزان فسفر ورودی توسط آب آبیاری به خاک، درصد انتقال بالاتری محاسبه می‌گردد. بجز اولین نمونه‌برداری در سال نخست اجرای آزمایش که مقدار فسفر اندازه‌گیری شده در زه‌آب‌ها، تابع میزان فسفر قابل انحلال موجود در خاک بوده و مستقل از نوع آب آبیاری است، درصد انتقال در مابقی اندازه‌گیری‌های انجام شده در زه‌آب این لایسیمترها بین ٦/٩٤ الی ٣٢/٣١ درصد در نوسان بوده است. به هر حال مقایسه میزان فسفر مشاهده شده در زه‌آب لایسیمترهای آبیاری شده توسط آب چاه با دیگر انواع آب آبیاری مورد استفاده در این تحقیق، نشان از این حقیقت دارد که مقادیر فسفر در این شرایط، چند ده برابر کمتر از میزان فسفر اندازه‌گیری شده در زه‌آب حاصل از فاضلاب خام و پساب تصفیه شده می‌باشد. از نظر ترکیبات فسفره موجود در زه‌آب لایسیمترها و انواع آب آبیاری مورد استفاده، ملاحظه می‌گردد که در فاضلاب خام ٦٣ درصد فسفر از نوع فسفات و مابقی آن از نوع آلی بوده که این نسبت در زه‌آب حاصل از زهکش اینگونه لایسیمترها، بطور متوسط برابر ۹۷ درصد فسفات و در حدود سه درصد فسفر آلی می‌باشد. میزان فسفات در پساب تصفیه شده و آب چاه به ترتیب برابر ٥٩/٧ و ٩٠/٤ درصد بود که در زه‌آب حاصل از لایسیمترهای تحت آبیاری با آنها، تقریباً تمامی فسفر مشاهده شده از نوع فسفاته بوده است. هنگامی که تخلیه زه‌آب‌های حاصل از زهکش‌های زیرزمینی به منابع آب سطحی و در شرایطی مشابه با این تحقیق مدنظر باشد، فسفر فسفاته و میزان آن به عنوان عاملی مهم در وقوع پدیده اوتریفیکاسیون، نباید از حدود مجاز تعیین شده در استانداردها فزونی یابد. بر اساس استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست ایران، حداکثر مقدار فسفات مجاز شمرده شده جهت تخلیه انواع پساب (و یا زه‌آب در این شرایط) به منابع آب سطحی، برابر شش میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد، در حالی که در بدترین شرایط، فسفات اندازه‌گیری شده در زه‌آب خروجی از لایسیمترها از ۰/۲۱ میلی‌گرم بر لیتر تجاوز ننمود که بسیار کمتر از حد مجاز (در حدود ۳/٥ درصد آن) بوده و مشکلی از این نظر قابل تصور نمی‌باشد.

در نهایت، تجزیه و تحلیل آماری داده‌های حاصل شده از اندازه‌گیری فسفر در مدت دو سال اجرای آزمایش، همانند بخش‌های قبلی در جدول (۱۳) ارائه گردیده است. با توجه به نتایج بدست آمده چنین نتیجه‌گیری می‌شود که اثر سال اجرا (در سطح پنج درصد)، نوع گیاه، نوع آب آبیاری و زمان نمونه‌برداری، بر مقدار فسفر اندازه‌گیری شده در زه‌آب لایسیمترها از لحاظ آماری در سطح یک درصد دارای تفاوت معنی‌دار بوده است.

جدول (۱۳) – نتایج تجزیه و تحلیل آماری داده‌های فسفر در مدت دو سال اجرای تحقیق

منابع تغییر	درجه آزادی	مجموع مربعات (SS)	میانگین مربعات (MS)
سال اجرا	۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲ *
نوع گیاه	۲	۰/۰۱۸	۰/۰۰۹ **
نوع آب آبیاری	۲	۰/۳٥۲	۰/۱۷٦ **
زمان نمونه‌برداری	۲	۰/۰۲	۰/۰۱ **

*- در سطح پنج درصد معنی‌دار بوده است ؛ ** - در سطح یک درصد معنی‌دار بوده است.

۴- منابع:

۱- توکلی، محمود و محمود طباطبایی (۱۳۷۸). آبیاری با فاضلاب تصفیه شده. مجموعه مقالات همایش جنبه‌های زیست محیطی استفاده از پسآب‌ها در آبیاری. وزارت نیرو، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، ۱۱ آذرماه ۱۳۷۸، تهران.

۲- حسن‌اقلی، علیرضا، عبدالمجید لیاقت و مهدی میراب زاده (۱۳۸۱). "تغییرات میزان مواد آلی خاک در نتیجه آبیاری با فاضلاب‌های خانگی و خودپالایی آن". مجله آب و فاضلاب، شماره ۴۲.

۳- شریعت پناهی، محمد (۱۳۸۰). "اصول کیفیت و تصفیه آب و فاضلاب". انتشارات دانشگاه تهران، شماره ۲۰۰۷، چاپ ششم.

٤- عرفانی آگاه، علی (۱۳۷۸). "بررسی کارایی فاضلاب تصفیه شده خانگی در آبیاری زراعت کاهو و گوجه فرنگی". مجموعه مقالات همایش جنبه‌های زیست محیطی استفاده از پسآب‌ها در آبیاری. وزارت نیرو، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. ۱۱ آذرماه ۱۳۷۸، تهران. صفحات: ٦۱ الی ۷۹.

٥- علیزاده، امین (۱۳۷٦). استفاده از فاضلاب تصفیه شده در آبیاری چغندر قند. وزارت نیرو، شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور. گزارش نهایی طرح پژوهشی.

٦- منزوی، م. ت. (۱۳۷۲). "فاضلاب شهری، جلد دوم: تصفیه‌ی فاضلاب". انتشارات دانشگاه تهران، شماره ۱۸٦۷، چاپ چهارم.

7- APHA (1995). "Standards method for the examination of water and wastewater". 19th edition, American Public Health Association, Washington D. C.

8- Bouwer, Herman (1994). "Irrigation and global water outlook". Agricultural Water Management, No. 25, Elsevier Sci., pp: 221 – 231.

9- FAO (1992). "Wastewater treatment and use in agriculture". Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, FAO No. 47.

10- Feigin, A. , I. Ravina and J. Shalhevet (1991). "Irrigation with treated sewage effluent". Pub by Springer – Verlag, Berlin.

11- McGhee, Terence J. (1991). "Wastewater Supply and Sewerage". McGrew-Hill Inc. ISBN 0-07-100823-3.

12- Metcalf & Eddy Inc. (1991). "Wastewater engineering: treatment, disposal, reuse". 3rd edition. ISBN 0-07-041677-X.

13- Ritter, W. F. and A. Shirmohammadi (2001). "Agricultural nonpoint source pollution". Lewis publishers, CRC Press LLC, ISBN 1 – 56670 – 222 – 4.

14- Vazquez-Montiel, Oscar, Nigel J. Horan and Duncan D. Mara (1996). "Management of domestic wastewater for reuse in irrigation". Wat. Sci. Tech. Vol. 33, No. 10 – 11, pp: 335 – 362. Published by Elsevier Sci. Ltd.

قدردانی:

اجرای تحقیق حاضر با مساعدت کمیسیون آب شورای پژوهشهای علمی کشور و همکاری مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، معاونت عملیات و بهره‌برداری شرکت فاضلاب استان تهران و تصفیه‌خانه فاضلاب شهرک اکباتان میسر گردیده است که بدینوسیله صمیمانه تشکر و قدردانی می‌گردد.

Effect of irrigation with domestic wastewater on transfer of some materials to soil depth and drain water quality of lysimeters

A. Hassanoghli, A. Liaghat, M. Mirabzadeh, M. Vosoughi and H. Fardad

Abstract:

Use of municipal or domestic wastewater for irrigation is very important in arid and semi-arid regions, because of the shortage in water resources with suitable quality. This kind of application needs the regional researches due to climate, plants and cultural varieties.

In order to study the soil – plant complex effects as a biological filter on reducing BOD_5 and COD, Nitrogen and Phosphorous contents of domestic wastewater and to investigate the transformation of these pollutants and nutrients below the root zone as a result of irrigation, a series of lysimeter studies were carried out in Tehran area. A statistical "factorial experiments in the form of randomised complete design" (3 x 3 x 3) was used. Raw and treated domestic wastewater of Ekbatan housing complex and well water (control) have been applied for irrigation of raw edible vegetables such as Parsley, Carrot and Tomato for two years.

The results of this research showed a 99% to 100% BOD_5 reduction which was measured in drainage water of lysimeters in both raw and treated wastewater. The COD rate of drainage water was low at the early stage of plantation and increased by continuing the irrigation up to maximum level, then reduced in the ending period of experiment. Mass balance analyses indexed by COD showed an efficient reduction of 93% to 99%. Nitrogen transformation through soil to drain depth, were between 12.93% to 33.75% of entranced amount for irrigation with raw wastewater and 23.30% to 38.17% for treated wastewater. This amounts for phosphorous were about 0.9% - 3.56% in raw wastewater and 1.03% - 4.15% for treated one. All results indicated an ideal operation of soil–plant–microorganisms system, which eliminates the BOD_5 and COD pollutants and removes the Nitrogen and Phosphorous in raw and treated domestic wastewater.