

## بررسی میزان و چگونگی انتقال ازت به عمق خاک در نتیجه عملیات آبیاری با فاضلاب<sup>۱</sup>

علیرضا حسن اقلی، عبدالمجید لیاقت و مهدی میراب زاده<sup>۲</sup>

### ۱- چکیده:

کاربرد فاضلاب و پساب حاصل از تصفیه آن برای مصارف غیر خانگی مانند آبیاری محصولات کشاورزی، به علت نیاز روز افزون به آب (به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشکی نظیر ایران)، روز به روز بیشتر مورد توجه قرار می‌گیرد. به علاوه، وجود مواد غذایی مورد نیاز گیاه همچون ازت در این قبیل آبها، به افزایش حاصلخیزی اراضی کمک می‌کند و در نتیجه تقلیل مصرف کود، به کاهش هزینه‌های عمده جاری در فعالیتهای کشاورزی منجر می‌شود. در عین حال، با توجه به آلاینده‌گی بالقوه ترکیبات نیترا ته و تحرک آنها در خاک، اگر دقت نشود، استفاده از این آبها می‌تواند آلودگی آبهای زیرزمینی و منابع آب سطحی را در نتیجه نفوذ عمقی و تخلیه زه آبهای کشاورزی به منابع آب سطحی در پی داشته باشد. از این نظر، به منظور بررسی میزان و نحوه انتقال انواع ترکیبات ازته به زیر عمق توسعه ریشه در نتیجه آبیاری محصولات کشاورزی با فاضلاب، در قالب تحقیقات لایسیمیتری به مدت دو سال از فاضلاب خانگی خام و پساب تصفیه شده شهرک اکباتان برای آبیاری سبزی‌هایی از قبیل گوجه فرنگی، جعفری و هویج استفاده شد. این تحقیق با منظور کردن آب چاه به عنوان تیمار شاهد و بهره گیری از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی به اجرا درآمد. نتایج به دست آمده بیانگر آن است که میزان انتقال ازت به عمق خاک در نتیجه کاربرد فاضلاب خام بین ۱۲/۹۳ تا ۳۳/۷۵ درصد و در پساب تصفیه شده بین ۲۳/۳۰ تا ۳۸/۱۷ درصد غلظت ازت ورودی در نوسان است. ضمن آنکه با محاسبه بیان جرمی، درصد حذف جرمی ازت بین ۹۶/۶ تا ۹۸/۹ به دست آمد. حداکثر غلظت ازت نیترا ته در مدت دو سال آزمایش، در زه آب خروجی از لایسیمیترهای مورد آبیاری با فاضلاب خام و به میزان ۱۲ میلی‌گرم در لیتر مشاهده شد که بسیار کمتر از مقدار مجاز در استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست ایران جهت تخلیه پسابها به آبهای سطحی (۵۰ میلی‌گرم بر لیتر) است.

### ۲- واژه‌های کلیدی:

آبیاری، ازت، پساب تصفیه شده، زه آب، فاضلاب خام، فاضلاب خانگی، لایسیمیتر

۱- برگرفته از رساله دوره دکتری تخصصی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران.

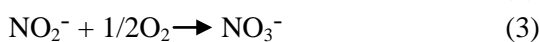
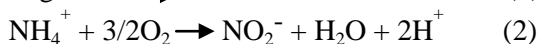
۲- به ترتیب عضو هیئت علمی (استادیار) مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج، بلوار شهید فهمیده، روبروی بانک کشاورزی، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، صندوق پستی: ۳۱۵۸۵-۸۴۵، تلفن: ۰۲۶۱-۲۷۰۵۳۲۰ و دانشیاران دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران.



## ۳- پیشگفتار:

انسان از دیرباز به ارزش‌های کودی فاضلاب و مشتقات آن (لجن) واقف بوده و در نواحی مختلف به منظور حاصلخیز کردن اراضی کشاورزی و تأمین آب و عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان زراعی، از فاضلاب بهره گرفته است. حجم عظیم فاضلاب همواره خطرهایی برای بهداشت جوامع بزرگ ایجاد کرده و در اغلب شهرها معضلی اساسی است، اما با برنامه ریزی و مدیریت مناسب می‌توان این مشکل را تعدیل کرد و ضمن حفظ سلامت و بهداشت جوامع شهری و محیط زیست، به منبع ارزان قیمت آب جهت افزایش سطح زیرکشت و ایجاد و توسعه کشاورزی پایدار دست یافت [۴].

فاضلاب خانگی به‌طور معمول از ۹۹/۹ درصد آب و ۰/۱ درصد مخلوطی از سایر مواد آلی و معدنی و گازها تشکیل می‌شود [۴، ۱۳ و ۱۶]. از جمله ترکیبات مهم فاضلاب می‌توان به ازت اشاره کرد که جزء مهمترین عناصر کودی به شمار می‌آید و در سه شکل عمده ازت آلی، آمونیومی و نیتراتی موجود است. همچنین نیتريت نیز با غلظت اندک ممکن است در فاضلاب وجود داشته باشد [۳، ۹، ۱۰، ۱۳، ۱۵، ۱۶ و ۱۸]. غلظت ازت کل در فاضلاب شهری خام بین ۲۰ تا ۸۵ و گاهی نیز تا ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر (برحسب N) در نوسان است [۱۵، ۱۶، ۱۸ و ۱۹]. پس از کاربرد فاضلاب در زمین، ازت آلی به سرعت به ازت آمونیاکی و سپس به ازت نیتراتی تغییر شکل می‌دهد [۹]. واکنش‌های به وقوع پیوسته در این مراحل به قرار زیر است [۴ و ۱۵]:



کمیت ازت افزوده شده به خاک در نتیجه کاربرد فاضلاب و پساب تصفیه شده می‌تواند گاهی نزدیک یا حتی بیش از مقادیری باشد که در صورت کاربرد کودهای استاندارد در تناوب‌های زمانی مشابه به خاک افزوده می‌شود [۱۱، ۱۷ و ۲۰]. با این همه، نحوه این عمل به صورتی تنظیم شده و با برنامه نخواهد بود. در هر آبیاری، مقداری ازت به همراه آب کاربردی در اختیار گیاه قرار می‌گیرد. این وضعیت در ابتدای فصل رشد و هنگامی که گیاه در مراحل اولیه رشد قرار دارد مفید است، اما هرچه به انتهای فصل و دوره رشد زایشی نزدیک می‌شویم از سودمندی آن کاسته می‌شود، زیرا مقادیر ازت فراهم شده در هر آبیاری نیاز گیاه را بر نمی‌آورد [۱۵]. کمبود و زیادی ازت از حد مورد نیاز، در هر دو حالت برای گیاهان مسئله ساز است. ازت زیاد در آب آبیاری سبب کاهش عملکرد و کیفیت محصول و موجب افزایش رشد بیش از حد علف‌های هرز خواهد شد. ازت نیتراتی ممکن است با انتقال به آب‌های زیرزمینی یا در نتیجه جذب و ذخیره بیش از حد در محصولات کشاورزی، مشکلاتی را به بار آورد. همچنین تخلیه زه آب‌های آلوده به نیترات به منابع آب سطحی، این آب‌ها را آلوده می‌کند و موجب بروز برخی از بیماری‌ها نظیر ممتوگلوبینمیسیانوسیس<sup>۱</sup> در نوزاد انسان و دام‌ها می‌شود. این مشکلات در دام‌ها بغرنج‌تر است و مواردی از قبیل

تأکید بر به کار گیری شیوه‌های ارائه شده در دیگر مناطق جهان اشتباهی بزرگ است که در دراز مدت، زیان‌های جبران ناپذیری بر منابع آب و خاک وارد می‌سازد [۴-۷]. به همین دلیل در برنامه‌ای تحقیقاتی دو ساله در استان تهران، شاخص‌های عمده در آبیاری با فاضلاب‌های خانگی بررسی شد که بخشی از نتایج به دست آمده، در قالب این مقاله ارائه می‌شود. هدف این قسمت از تحقیق، بررسی میزان انتقال ازت موجود در فاضلاب‌های خانگی خام و تصفیه شده از درون نیمرخ خاک، در نتیجه اجرای عملیات آبیاری و نیز چگونگی و میزان ترابری آن به زیر عمق توسعه ریشه‌ها با گذشت زمان است.

#### ۴- مواد و روش‌ها:

در اجرای این تحقیق و به منظور کنترل هر چه بهتر کلیه عوامل مؤثر، از تحقیقات لایسیمتری استفاده شد. لایسیمترهایی از جنس پلاستیک و با سطح مقطع دایره‌ای به قطر ۶۰ سانتیمتر و ارتفاع ۱۰۰ سانتیمتر ساخته و در محل مناسب نصب شد که دارای لوله زهکش در نزدیکی کف آن بودند و لایه‌ای از صافی ژئوتکستایل در اطراف لوله داشتند تا از ورود ذرات خاک جلوگیری شود. لایسیمترها از خاک زراعی سطحی با بافت لوم رسی و بدون اجرای عملیات تراکمی خاصی روی خاک، پرشدند. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمون در جدول‌های شماره ۱ و ۲ مشاهده می‌شود.

کامبود ویتامین آ، اشکال در تولید مثل، سقط جنین، و کاهش تولید شیر در نتیجه بالا بودن ازت در آب و علوفه آبیاری شده با فاضلاب گزارش شده است [۳، ۹، ۱۰ و ۱۵].

نیترات موجود در فاضلاب به سادگی می‌تواند آبشویی شود و به زیر منطقه توسعه ریشه‌های گیاه و به لایه‌های عمقی خاک برود. نیترات، به دلیل آنیون بودن، جذب سطحی ذرات رس دارای بار منفی نمی‌شود و به جهت قابلیت انحلال زیاد در آب، به راحتی از میان نیمرخ خاک به اعماق منتقل می‌شود [۱۱، ۱۷ و ۲۰]. تحقیقات لیتی و همکاران (۱۹۷۷)، وجود همبستگی بین کمیت نیترات آبشویی شده موجود در آب زهکشی و میزان ازت به کار گرفته شده را به وضوح نشان می‌دهد، ضمن اینکه آبیاری بیش از اندازه با فاضلاب موجب انتقال مقادیری قابل توجه از نیترات به زیر عمق توسعه ریشه‌ها می‌شود [۲۰]. در شرایط اقلیمی خشک و نیمه خشک، حرکت رو به بالای نیترات نیز در خاک گزارش شده است [۱۲].

با در نظر گرفتن موارد فوق و با توجه به حجم گسترده کاربرد فاضلاب‌های شهری و خانگی در اراضی زراعی اطراف شهرهای بزرگ کشور، امروزه تحقیقات منطقه‌ای در این خصوص و مشاهده جنبه‌های مختلف آبیاری با فاضلاب اهمیت بسزایی یافته است. 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،

جدول شماره ۱- مشخصات فیزیکی خاک مورد استفاده

رس	سیلت	ماسه	رطوبت (درصد وزنی)		جرم مخصوص (گرم بر سانتیمتر مکعب)		تخلخل کل	نفوذپذیری خاک (میلیمتر در ساعت)		
			FC	PWP	ظاهری	حقیقی		حداقل	حداکثر	متوسط
۳۷/۶	۳۷/۵	۲۴/۹	۱۸/۸۶	۷/۲۰	۱/۱۶	۲/۴۲	۰/۵۲	۱/۹	۵/۰	۳/۱

جدول شماره ۲- مشخصات شیمیایی خاک مورد استفاده

SAR	جمع آنیونها	آنیونهای قابل حل (میلی اکی والان در لیتر)				جمع کاتیونها	کاتیونهای قابل حل (میلی اکی والان در لیتر)				pH	EC <sub>e</sub> (دسی زیمنس بر متر)
		CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>		Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>		
۱/۰۸	۱۶/۴۳	-	۵/۶	۸/۰	۲/۸۳	۱۷/۱۷	۶/۰	۳/۰	۲/۸۷	۰/۳	۷/۲	۱/۲۵

اجرا درآمد. تیمارهای موجود عبارت بودند از: آب آبیاری از سه منبع فاضلاب خام، پساب تصفیه شده، و آب چاه (شاهد) و محصول در سه نوع: گوجه‌فرنگی، هویج و جعفری. در نهایت به منظور حصول شرایط مناسب آماری، آزمایش در سه تکرار اجرا شد. در مجموع ۲۷ لایسیمتر طراحی، ساخته (طرح آماری ۳ × ۳ × ۳) و در محل آزمایش به کار گرفته شد.

آبیاری لایسیمترها مطابق با شرایط معمول محلی بود (به‌طور متوسط دو بار در هفته در دوره حداکثر گرمای فصل و رشد گیاه و یک‌بار در هفته در اواخر فصل زراعی)، با عمق آب آبیاری حدوداً ۷ تا ۸ سانتیمتر و به روش سطحی (غرقابی) انجام گرفت. به همین منظور و برای هر نوبت آبیاری، فاضلاب خام و پساب تصفیه شده به میزان مورد نیاز از تصفیه‌خانه 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.

با توجه به تنوع گیاهان کشت شده در اطراف شهر تهران و به جهت دخالت دادن شرایط موجود در کاربرد فاضلاب در آبیاری، اقدام به کشت گیاهانی شد که معمولاً به صورت تازه و خام مصرف می‌شوند. به همین منظور سه گیاه خوراکی در لایسیمترها کشت شدند: جعفری (سبزی برگی)، هویج (سبزی ریشه‌ای)، و گوجه‌فرنگی (صیفی سالادی).

برای تأمین فاضلاب خانگی مورد نیاز، ابتدا چگونگی تولید و جمع‌آوری فاضلاب در سطح شهر تهران بررسی و سپس از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب دایر بازدید شد و سرانجام، تصفیه‌خانه فاضلاب شهرک اکباتان به عنوان منبع تأمین فاضلاب مورد نیاز انتخاب گردید. 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" و "پساب تصفیه شده" تصفیه‌خانه مذکور به عنوان آب آبیاری استفاده شد. با توجه به ماهیت این بررسی، آزمایش به صورت "فاکتوریل در قالب طرح آماری کاملاً تصادفی" به

اندازه گیری‌ها در مدت اجرای آزمایش شامل این موارد بود: تعیین انواع ترکیبات ازته موجود در فاضلاب‌های خام، تصفیه شده، و آب چاه و در تناوب‌های مناسب در فصل آبیاری در طول دو سال اجرای تحقیق و نیز تعیین این عوامل در زه آب‌های خروجی از زهکش لایسیترها. نمونه برداری‌ها در طول فصل کشت با فواصل زمانی تقریباً یکسان، از آب‌های مورد استفاده در آبیاری و نیز از زه آب خروجی تمامی لایسیترها صورت پذیرفت. اولین نمونه در ابتدای دومین هفته از شروع فصل کشت و آخرین نمونه نیز در انتهای فصل و پیش از برداشت نهایی محصولات و خاتمه عملیات آبیاری در هر دو سال اجرای تحقیق برداشته شد. کلیه آزمایش‌ها در آزمایشگاه آب، خاک و فاضلاب مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی و آزمایشگاه شیمی

فاضلاب تصفیه خانه شهرک اکباتان و مطابق با استاندارد<sup>۱</sup> APHA اجرا شد [۱۴].

### ۵- نتایج و بحث:

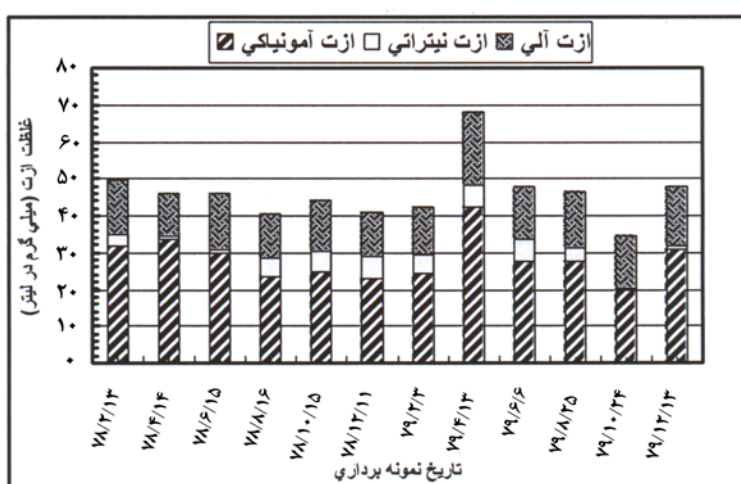
**میزان ازت موجود در آب و فاضلاب کاربردی** - برای بررسی میزان ازت موجود در فاضلاب خام و پساب تصفیه شده شهرک اکباتان و نیز آب چاه مورد استفاده در آبیاری لایسیترها، از نتایج دوره‌ای آزمایش‌ها در آزمایشگاه شرکت آب و فاضلاب استان تهران، آزمایشگاه تصفیه خانه فاضلاب شهرک اکباتان، و اندازه گیری‌های طول مدت اجرای تحقیق استفاده شد. مقادیر متوسط انواع ازت در دو سال اجرای آزمایش در جدول شماره ۳ و روند تغییرات میزان ازت کل و هر یک از انواع ازت با تناوب یک ماه در میان، در نمودارهای شماره ۱ و ۲ مشاهده می‌شود.

جدول شماره ۳- متوسط مقادیر انواع ازت موجود در فاضلاب خام و پساب تصفیه شده شهرک اکباتان و آب چاه مورد استفاده در سال‌های ۱۳۷۸ و ۱۳۷۹

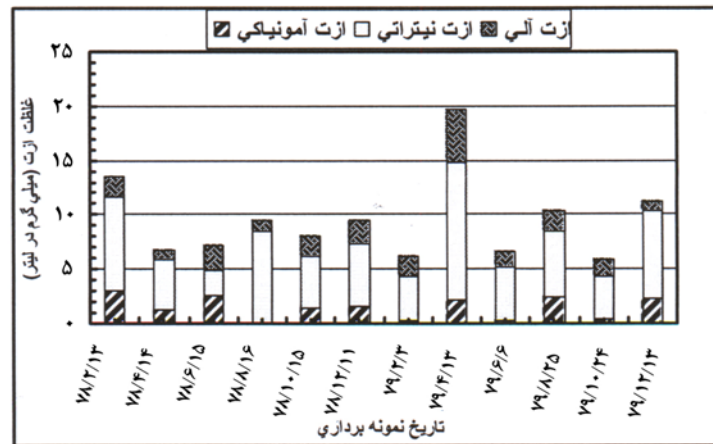
ردیف	نوع ازت	فاضلاب خام		پساب تصفیه شده		آب چاه	
		متوسط	دامنه تغییرات	متوسط	دامنه تغییرات	متوسط	دامنه تغییرات
۱	نیتراتی (NO <sub>3</sub> -N)	۳/۶	۰/۶۱-۶/۰۶	۱۱/۹۵	۲/۰۵-۱۸/۹	۵/۷۲	۵/۳۱-۵/۹۴
۲	آمونیاکی (NH <sub>4</sub> -N)	۲۸/۳	۱۹/۷-۴۲/۵	۱/۵۷	۰/۰۳-۷/۶۱	۰/۰۶	۰/۰۵۳-۰/۰۶۹
۳	آلی (Organic-N)	۱۵/۱۲	۱۱/۹-۱۹/۵۷	۱/۸۱	۰/۸۴-۴/۸۸	۰/۱۴	۰/۱۲-۰/۱۷
۴	ازت کل (Total N)	۴۷/۰۲	۳۴/۲۸-۶۸/۱	۱۵/۳۳	۵/۸۷-۲۱/۲۳	۵/۹۲	۵/۴۹-۶/۴۴

همان‌گونه که از جدول شماره ۳ مشاهده می‌شود، عمده‌ازت موجود در فاضلاب خام از نوع آمونیاکی و به طور متوسط در حدود ۶۰/۲ درصد ازت کل است. پس از آن، ازت آلی با ۳۲/۲ درصد و نیترات با ۷/۶ درصد قرار می‌گیرند. در مقابل، عمده‌ازت موجود در پساب تصفیه شده از نوع نیترات و به طور متوسط در حدود ۷۸/۰ درصد ازت کل است. پس از آن ازت آلی با ۱۱/۸ درصد و ازت آمونیاکی با ۱۰/۲ درصد قرار دارند. بر اساس نتایج به دست آمده از اندازه‌گیری‌ها در آب چاه، ازت نیتراتی با ۹۶/۶ درصد، غالب مطلق است. نیتريت به دلیل اینکه ناچيز و ناپایدار بود و به سادگی به نیترات اکسید می‌شود، در مطالعات آلودگی فاضلاب اهمیت چندانی ندارد. غالب بودن ازت نیتراتی در پساب تصفیه شده نشان می‌دهد که فاضلاب از لحاظ نیاز به اکسیژن در وضعیت تعادلی قرار دارد [۹]. سازمان خواربار و کشاورزی جهانی (FAO) حد مجاز ازت کل در پساب کاربردی برای آبیاری

را تا ۴۳/۰ میلی‌گرم در لیتر گزارش کرده است [۹]. مقدار ازت کل متوسط پساب خروجی تصفیه‌خانه شهرک اکباتان ۱۵/۳ میلی‌گرم در لیتر و کمتر از این حد است. حداکثر ازت کل مشاهده شده نیز که برابر ۲۱/۲۳ میلی‌گرم در لیتر است، از این مقدار تجاوز نمی‌کند. کاربرد فاضلاب خام در آبیاری معمولاً توصیه نمی‌شود و از این نظر محدوده‌ای نیز در این خصوص ارائه نشده است. بر اساس معیار سازمان خواربار و کشاورزی جهانی، حد مجاز ازت نیتراتی در پساب کاربردی جهت آبیاری ۳۰/۰ میلی‌گرم در لیتر تعیین شده است [۹]. از نتایج مشخص می‌شود که متوسط ازت نیتراتی موجود در پساب تصفیه شده شهرک اکباتان و حداکثر میزان مشاهده شده آن (به ترتیب ۱۱/۹۵ و ۱۸/۹ میلی‌گرم در لیتر)، کمتر از این مقدار است. لازم است گفته شود که استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست ایران حدودی را در این خصوص ارائه نمی‌کند [۴ و ۹].



نمودار شماره ۱- نوسانات مقادیر انواع ازت در فاضلاب خام شهرک اکباتان طی سال‌های ۱۳۷۸ و ۱۳۷۹



نمودار شماره ۲- نوسانات مقادیر انواع ازت در پساب تصفیه شده شهرك اكباتان طی سالهای ۱۳۷۸ و ۱۳۷۹

**بررسی میزان انتقال ازت به عمق خاک**

نمونه‌ها و به تفکیک هر سال، در جدول‌های شماره ۴ و ۵ ارائه شده است. این جداول در برگیرنده متوسط نتایج به دست آمده از هر سه لایسیمتر مشابه در هر آبیاری (از نظر نوع آب کاربردی و نوع گیاه) بود که از آنها می‌توان تغییرات و درصد انتقال ازت کل را به زیر عمق توسعه ریشه، در مقایسه با مقدار اولیه ورودی به خاک، مشاهده کرد.

بر اساس نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌های ازت کل و ترکیبات آن در نمونه‌های زه آب تهیه شده از زهکش لایسیمترها و آب آبیاری در طول مدت دو سال اجرای تحقیق، تجزیه و تحلیل‌های ضروری انجام پذیرفت و نتایج قابل توجهی به دست آمد. مقادیر ازت کل اندازه‌گیری شده در

جدول شماره ۴- میزان ازت کل در انواع فاضلاب و آب مورد استفاده برای آبیاری و متوسط آن در زه آب 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	۴۹/۷۳	۹/۸۳	۱۹/۷۷	۴۸/۳۵	۷/۱۳	۱۴/۷۵	۴۶/۷۱	۶/۸۱	۱۴/۵۸
۲	To.	T	۱۳/۵۲	۴/۵۶	۳۳/۷۳	۱۴/۱۷	۳/۵۵	۲۵/۰۵	۱۱/۴۸	۳/۶۵	۳۱/۷۹
۳	To.	N	۶/۳۸	۳/۷۴	۵۸/۶۲	۵/۴۹	۳/۱۲	۵۶/۸۳	۵/۵۳	۳/۰۶	۵۵/۳۳
۴	Pa.	R	۴۹/۷۳	۹/۱۶	۱۸/۴۲	۴۸/۳۵	۷/۶۷	۱۵/۸۶	۴۶/۷۱	۶/۰۴	۱۲/۹۳
۵	Pa.	T	۱۳/۵۲	۴/۱۸	۳۰/۹۲	۱۴/۱۷	۳/۸۳	۲۷/۰۳	۱۱/۴۸	۳/۶۷	۳۱/۹۷
۶	Pa.	N	۶/۳۸	۳/۲۴	۵۰/۷۸	۵/۴۹	۲/۶۷	۴۸/۶۳	۵/۵۳	۲/۳۴	۴۲/۳۱
۷	Ca.	R	۴۹/۷۳	۱۰/۷۶	۲۱/۶۴	۴۸/۳۵	۸/۶۸	۱۷/۹۵	۴۶/۷۱	۶/۲۷	۱۳/۴۲
۸	Ca.	T	۱۳/۵۲	۴/۴۰	۳۲/۵۴	۱۴/۱۷	۳/۶۷	۲۵/۹	۱۱/۴۸	۳/۱۷	۲۷/۶۱
۹	Ca.	N	۶/۳۸	۳/۷۱	۵۸/۱۵	۵/۴۹	۳/۱۸	۵۷/۹۲	۵/۵۳	۲/۸۳	۵۱/۱۸

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

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

ستون‌ها: (۱) - میزان ازت کل ورودی بر حسب میلی‌گرم در لیتر، در نتیجه به‌کارگیری انواع آب آبیاری، (۲) - میزان ازت کل خروجی بر حسب میلی‌گرم در لیتر، اندازه‌گیری شده در زه آب لایسیمترها، (۳) - درصد انتقال، نشان‌دهنده مقدار ازت کل مشاهده شده در زه آب زهکش‌ها در مقایسه با مقادیر ورودی از آب آبیاری در هر نمونه برداری.

جدول شماره ۵- میزان ازت کل در انواع فاضلاب و آب مورد استفاده برای آبیاری و متوسط آن در زه آب خروجی از زهکش لایسیمترها طی سال ۱۳۷۹

ردیف	۷۹/۸/۱۱			۷۹/۵/۸			۷۹/۲/۱۰			نوع آب**	نوع گیاه*	شماره
	(۳)	(۲)	(۱)	(۳)	(۲)	(۱)	(۳)	(۲)	(۱)			
۱	۱۶/۲۱	۷/۱۶	۴۴/۱۸	۱۶/۳۸	۸/۳۹	۵۱/۲۲	۳۰/۱۴	۱۳/۱۳	۴۳/۵۶	R	To.	۱
۲	۲۳/۶۸	۳/۲۷	۱۳/۸۱	۲۳/۷	۳/۶۳	۱۵/۳۲	۳۲/۶	۴/۱۶	۱۲/۷۶	T	To.	۲
۳	۳۸/۷۹	۲/۱۸	۵/۶۲	۴۰/۴۶	۲/۴۴	۶/۰۳	۵۱/۵۵	۳/۳۲	۶/۴۴	N	To.	۳
۴	۱۶/۳۴	۷/۲۲	۴۴/۱۸	۱۵/۳۷	۷/۸۷	۵۱/۲۲	۲۵/۹۲	۱۱/۲۹	۴۳/۵۶	R	Pa.	۴
۵	۲۴/۱۹	۳/۳۴	۱۳/۸۱	۲۳/۳	۳/۵۷	۱۵/۳۲	۲۹/۷۸	۳/۸۰	۱۲/۷۶	T	Pa.	۵
۶	۴۰/۳۹	۲/۲۷	۵/۶۲	۴۱/۹۶	۲/۵۳	۶/۰۳	۴۸/۱۴	۳/۱۰	۶/۴۴	N	Pa.	۶
۷	۱۸/۶۷	۸/۲۵	۴۴/۱۸	۱۸/۶۵	۹/۵۵	۵۱/۲۲	۳۳/۷۵	۱۴/۷	۴۳/۵۶	R	Ca.	۷
۸	۲۵/۲۷	۳/۴۹	۱۳/۸۱	۲۵/۸۵	۳/۹۶	۱۵/۳۲	۳۸/۱۷	۴/۸۷	۱۲/۷۶	T	Ca.	۸
۹	۴۶/۴۴	۲/۶۱	۵/۶۲	۴۹/۷۵	۳/۰	۶/۰۳	۵۳/۲۶	۳/۴۳	۶/۴۴	N	Ca.	۹

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

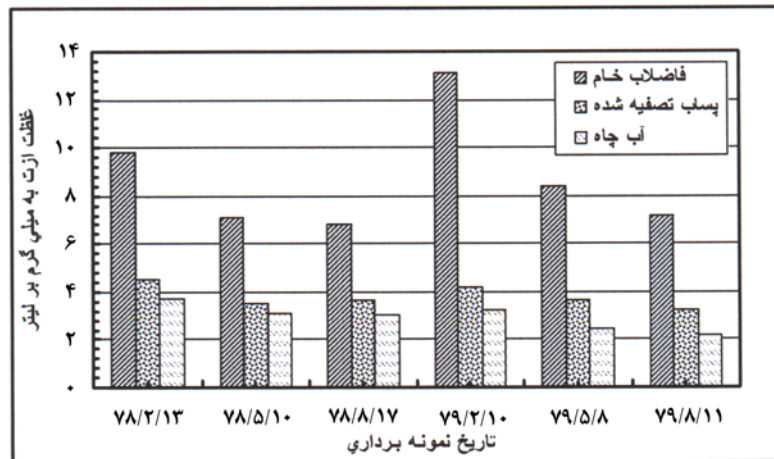
\*\* نوع آب آبیاری کاربردی : R = فاضلاب خام ، T = پساب تصفیه شده ، N = آب چاه (نرمال).

ستون‌ها: (۱)- میزان ازت کل ورودی بر حسب میلی‌گرم در لیتر، در نتیجه به کار گیری انواع آب آبیاری، (۲) - میزان ازت کل خروجی بر حسب میلی‌گرم در لیتر، اندازه گیری شده در زه آب لایسیمترها، (۳) - درصد انتقال، نشان دهنده مقدار ازت کل مشاهده شده در زه آب زهکش‌ها در مقایسه با مقادیر ورودی از آب آبیاری در هر نمونه برداری.

می‌رسد و بالطبع حضور مقادیر کمتری از ازت در آب زهکشی شده قابل انتظار است. از لحاظ کمی، بیشترین مقدار ازت اندازه گیری شده، در فاضلاب خام ورودی و زه آب‌های خروجی از لایسیمترهایی دیده شد که در آبیاری آنها از فاضلاب خام استفاده می‌شد. کمترین مقدار ازت اندازه‌گیری شده نیز در آب چاه و زه آب لایسیمترهای مورد آبیاری با آب چاه مشاهده شد. با این همه، مقادیر ازت اندازه گیری شده در زه آب لایسیمترهای مورد آبیاری با پساب تصفیه شده، اندکی زیادتر از آب چاه و نزدیک به آن قرار داشت. در مقایسه از نظر نوع گیاه، بیشترین مقدار ازت قابل اندازه‌گیری در زه آب حاصل از لایسیمترهایی دیده شد که در آنها هویج کشت شده بود و مقادیر کمتر به تناوب در لایسیمترهای مورد کشت گوجه فرنگی و جعفری مشاهده شد. این تفاوت با نوع و گونه گیاهی و نیازهای فیزیولوژیکی هر نوع گیاه در ارتباط است.

به منظور مشاهده مطلوب‌تر و بهتر روند تغییرات و تسهیل در نتیجه گیری، نمونه‌ای از نتایج در نمودار شماره ۳ ارائه شده است. این نمودار متوسط تغییرات غلظت ازت کل مشاهده شده در زه آب خروجی از لایسیمترهای تحت کشت گوجه فرنگی را در طول مدت دو سال اجرای تحقیق نشان می‌دهد. از بررسی مقادیر موجود در متن جدول‌های شماره ۴ و ۵ و نمودار شماره ۳ می‌توان چنین نتیجه گیری کرد که بیشترین مقدار ازت خروجی از ستون خاک، در ابتدای هر فصل و در اولین نمونه‌های جمع آوری شده از زهکش لایسیمترها مشاهده می‌شود و با تداوم عملیات آبیاری، به تدریج از کمیت ازت موجود در زه آبها تا حدودی کاسته خواهد شد. دلیل این امر را می‌توان در افزایش رشد گیاهان در لایسیمترها و توسعه سیستم ریشه‌ای و اندام هوایی آنها جستجو کرد، زیرا در نتیجه رشد رویشی، مقادیر بیشتری از ازت موجود در خاک و آب آبیاری به مصرف گیاه





نمودار شماره ۳- تغییرات غلظت ازت کل در زه آب خروجی از لایسیمترهای تحت کشت گوجه فرنگی

فاضلاب خام)، ضمن اینکه درصدهای انتقال ازت مشاهده شده در کشت هویج بیش از دو گیاه دیگر است. دلیل این وضعیت را می توان در نوع غالب ترکیبات ازتی موجود در آب آبیاری جستجو کرد زیرا عمده ترکیبات ازتی فاضلاب خام از نوع آمونیایی و آلی (به طور متوسط با ۶۰/۲ درصد و ۳۲/۲ درصد) است و چون خاک قابلیت جذب و نگهداری این ترکیبات را داراست، نسبت ازت ظاهر شده در زه آب لایسیمترها در مقایسه با مقدار ورودی به آنها ناچیز و بسته به مرحله نمونه برداری و نوع گیاه، درصد انتقال بین ۱۲/۹۳ تا ۳۳/۷۵ درصد در نوسان است. البته در این شرایط، با تجزیه تدریجی ازت آمونیایی و ازت آلی در خاک و تبدیل آنها به نیترات در فاصله بین دو دور آبیاری، گیاه فرصت مناسبی را برای جذب ازت قابل استفاده در اختیار دارد. رشد رویشی بهتر و بیشتر گیاهان کشت شده در لایسیمترهای مورد آبیاری با فاضلاب خام، نتیجه این امر و نیز مقدار بیشتر ازت موجود در فاضلاب خام (در مقایسه با انواع دیگر آب آبیاری)

با پایان یافتن فصل کشت در سال اول و قطع آبیاری، بقایای گیاهی و نیز ازت آلی و آمونیایی جذب شده در لایه های خاک تجزیه و به انواع قابل تحرک تر نظیر نیترات تبدیل شدند و به همین دلیل با شروع فصل دوم آبیاری و در اولین اندازه گیری، افزایش قابل توجهی در مقدار ازت موجود در زه آب لایسیمترهای مورد آبیاری با فاضلاب خام و پساب تصفیه شده، در مقایسه با آخرین اندازه گیری سال قبل مشاهده شد. این وضعیت با شدت کمتری در لایسیمترهای مورد آبیاری با آب چاه نیز دیده شد. یادآوری می شود که در تمامی فصل کشت هیچ نوع کودی به لایسیمترها اضافه نشد.

با در نظر گرفتن درصد ازت انتقال یافته به عمق در هر مرحله نمونه برداری یا نسبت غلظت ازت خروجی از زهکش هر لایسیمتر به غلظت ازت ورودی به آن از آب آبیاری، چنین مشاهده می شود که درصد انتقال در مورد فاضلاب خام کمترین و در مورد آب چاه بیشترین است و پساب تصفیه شده نیز بین این دو قرار دارد (و تا حدودی نزدیک تر به

گیاه خارج و به زهکش لایسیمترها منتقل می‌شود. درصد انتقال ازت به عمق در لایسیمترهای مورد آبیاری با آب چاه بین ۳۸/۷۹ تا ۵۸/۶۲ درصد در نوسان بود. ضمن اینکه تقریباً تمامی ازت موجود در زه آب لایسیمترهای آبیاری شده با آب چاه از نوع نیتراتی است.

در شرایطی که تخلیه زه آب‌های حاصل از زهکش‌های زیرزمینی مزارع مورد آبیاری با فاضلاب و پساب به منابع آب سطحی مد نظر باشد، مقدار ازت و به خصوص نیترات موجود در زه آب‌ها به همراه فسفر، عاملی مؤثر در وقوع پدیده اوتروفیکاسیون<sup>۱</sup> به شمار می‌آید. استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست ایران مقادیر مجاز انواع ازت موجود در پساب تصفیه شده را برای "تخلیه به منابع آب سطحی" ارائه می‌دهد [۳ و ۴] که می‌توان این مقادیر را ملاک تخلیه زه آب‌های حاصل از آبیاری با پساب به منابع آب سطحی نیز قرار داد. مطابق این استاندارد، مقدار  $\text{NH}_4$ ،  $\text{NO}_2$  و  $\text{NO}_3$  نباید به ترتیب از ۲/۵، ۱۰/۰ و ۵۰/۰ میلی‌گرم در لیتر تجاوز کند. با مشاهده مقادیر ازت کل و ترکیبات ازت دار اندازه گیری شده در زه آب لایسیمترها چنین نتیجه گیری می‌شود که در مدت دو سال اجرای آزمایش، مقادیر تمامی ترکیبات ازتی زه آب‌ها همواره پایین‌تر از میزان مجاز قرار داشت. بیشترین مقدار  $\text{NH}_4$  اندازه گیری شده در زه آب لایسیمترها (اعم از آبیاری شده با فاضلاب خام یا سایر انواع آب) برابر ۱/۹ میلی‌گرم در لیتر و  $\text{NO}_3$  برابر ۱۲ میلی‌گرم در لیتر بود که فاصله قابل توجهی را با مقادیر مجاز دارد، ضمن اینکه مقدار  $\text{NO}_2$  نیز بسیار ناچیز و قابل صرف‌نظر کردن بود. بنابراین، در

است. در بین انواع ترکیبات ازتی مشاهده شده در زه آب لایسیمترهای مورد آبیاری با فاضلاب خام، ازت نیتراتی با متوسط ۸۱/۶ درصد نوع غالب بود و حداکثر مقدار آن از ۱۲/۰ میلی‌گرم در لیتر تجاوز نمی‌کرد. ذکر این نکته ضروری است که در کشت بسیاری از انواع گیاهان زراعی، در صورت اجرای مناسب عملیات کشاورزی و در شرایط تولید اقتصادی، وجود ۲۰/۰ میلی‌گرم در لیتر ازت نیتراتی در زه آب‌های خروجی از زهکش‌های لوله‌ای زیرزمینی نصب شده در مزارع می‌تواند جزء بهترین شرایط عملی قابل دسترسی باشد [۲۰].

در پساب تصفیه شده، ازت نیتراتی با متوسط ۷۸ درصد ترکیب غالب است و به دلیل بار منفی نیترات و متحرک بودن آن در خاک، به رغم کاهش مقدار ازت کل در پساب (در مقایسه با فاضلاب خام) درصد انتقال ازت به عمق در لایسیمترهای مورد آبیاری با پساب تصفیه شده، نسبت به فاضلاب خام، افزایش دارد. در این حالت، درصد انتقال ازت به عمق، بسته به نوع گیاه و مرحله نمونه برداری بین ۲۳/۳۰ تا ۳۸/۱۷ درصد در نوسان بود. عمده ترکیبات ازتی در زه آب لایسیمترهای تحت آبیاری با پساب تصفیه شده را ازت نیتراتی با ۹۳/۷۵ درصد تشکیل می‌دهد.

آب چاه در بین سایر انواع آب آبیاری نامطلوب‌ترین شرایط را از نظر درصد انتقال ازت به عمق دارا بود. تقریباً تمامی ازت موجود در آب چاه از نوع ازت نیتراتی است و به طور متوسط ۹۶/۶ درصد ازت در آب چاه از این نوع است. بنابراین، مقدار قابل توجهی از ازت در هر آبیاری (در مقایسه با مقدار ورودی به لایسیمتر) به سرعت از دسترس

حاصل از آبیاری آنهاست. 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 جالب توجه خواهد بود که از برقراری بیلان جرمی بین میزان ماده وارد شده به لایسیمتر و خروجی از آن جهت نتیجه گیری تکمیلی بهره گرفته شود. بدین منظور، مقدار متوسط ازت ورودی از هر یک از انواع آب‌های آبیاری و نیز مقدار متوسط ازت خروجی از زهکش‌ها در طول فصل کشت (بدون توجه به نوع گیاه) محاسبه شد 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 هر لایسیمتر از حاصل ضرب غلظت ازت در حجم آب به دست آمد. نتایج حاصل در جدول شماره ۶ ارائه شده است.

صورت کاربرد فاضلاب و پسابی با کیفیت و کمیت مشابه آنچه در تحقیق حاضر استفاده شد، می‌توان زه آب‌های حاصل از زهکش‌های زیرزمینی را حداقل در مدت دو سال اولیه اجرای عملیات آبیاری، به منابع آب سطحی تخلیه کرد. قابل ذکر است که به دلیل استفاده از روش آبیاری غرقابی (کرتی) لایسیمترها، رواناب سطحی در این سری آزمایش‌ها وجود نداشت.

### – بیلان جرمی ازت در لایسیمترها

اکنون مسئله از دیدگاه دیگری بررسی می‌شود. موارد بیان شده تا کنون در بر گیرنده مقایسه‌ای بین مقادیر ازت اندازه گیری شده در واحد حجم آب‌های آبیاری و زه آب‌های زهکشی شده بود (مقایسه غلظت‌ها)، اما توجه به این نکته نیز ضروری است که حجم آب خروجی از زهکش لایسیمترها بسیار کمتر از حجم آب ورودی

جدول شماره ۶ – متوسط مقدار نهایی جرم ازت کل ورودی و خروجی یک لایسیمتر در نتیجه آبیاری با فاضلاب

ردیف	سال آزمایش	نوع آب*	آب ورودی به لایسیمترها			زه آب لایسیمترها			نسبت جرمی**	درصد حذف جرمی
			(۱)	(۲)	(۳)	(۱)	(۲)	(۳)		
۱	۱۳۷۸	R	۴۴/۶۰	۵۱/۷۴	۱۸۲۹	۸/۰۴	۰/۵۹	۲۰/۸۵	۹۸/۸۶	
۲	۱۳۷۸	T	۹/۰۹	۱۰/۵۴	۳۷۲	۳/۸۵	۰/۲۸	۹/۹	۹۷/۳۴	
۳	۱۳۷۸	N	۵/۸	۶/۷۳	۲۳۸	۳/۱۰	۰/۲۳	۸/۱۲	۹۶/۵۸	
۴	۱۳۷۹	R	۴۷/۷۲	۵۰/۵۸	۱۷۸۷	۹/۷۳	۰/۶۷	۲۳/۶۷	۹۸/۶۸	
۵	۱۳۷۹	T	۹/۹۸	۱۰/۵۸	۳۷۴	۳/۷۹	۰/۲۶	۹/۱۹	۹۷/۵۴	
۶	۱۳۷۹	N	۶/۰۳	۶/۳۹	۲۲۶	۲/۷۶	۰/۱۹	۶/۷۱	۹۷/۰۳	

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

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

ستونها: (۱) – متوسط ازت کل به میلی‌گرم در لیتر، (۲) – جرم تجمعی ازت ورودی به لایسیمتر یا خروجی از آن به گرم، (۳) – جرم تجمعی ورودی یا خروجی به کیلوگرم در هکتار، با لحاظ کردن کل ارتفاع آب آبیاری کاربردی در طول آزمایش.

فوق است، با این همه نحوه ورود ازت به خاک مورد بسیار مهمی است. در عملیات زراعی، کودهای شیمیایی معمولاً در یک یا چند مرحله و بسته به نیاز گیاه در هر مرحله از رشد به خاک اضافه می‌شوند، اما در آبیاری با فاضلاب و پساب، ازت به صورت تدریجی و به میزان جزئی در هر آبیاری وارد خاک می‌شود. بنابراین ممکن است در برخی از مراحل رشد، مقدار ازت وارد شده با فاضلاب بیش از مقدار مورد نیاز گیاه باشد و در مراحل بحرانی رشد (نظیر گل‌دهی) مقدار وارد شده نیازهای گیاه را برطرف نکند و حتی علائم کمبود آن ظاهر شود. توجه به این نکته ضروری است که مقادیری از ازت وارد شده به خاک در نتیجه تصعید از دسترس گیاه خارج می‌شود و بخش کمی از آن را نیز عوامل زنده (باکتری‌ها) مصرف می‌کنند.

### تجزیه و تحلیل آماری نتایج

برای تجزیه و تحلیل آماری کلیه مقادیر ازت اندازه‌گیری شده در مدت دو سال اجرای آزمایش، از طرح آماری "فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی" و با بهره‌گیری از برنامه رایانه‌ای SAS استفاده شد. نتایج به دست آمده از این بررسی در جدول‌های شماره ۷ و ۸ خلاصه شده است. با عنایت به نتایج به دست آمده، اثر نوع آب آبیاری و زمان یا مرحله نمونه برداری‌های متوالی، بر میزان ازت کل اندازه‌گیری شده در زه آب لایسیترها، از لحاظ آماری در سطح یک درصد دارای تفاوت معنی دار بود اما تأثیر سال اجرای آزمایش و نوع گیاه در این خصوص معنی دار نبود.

همان‌گونه که از جدول شماره ۶ مشاهده می‌شود، درصدهای حذف جرمی یا در واقع بازده حذف ازت محاسبه شده، بین ۹۶/۶ تا ۹۸/۹ درصد در نوسان است که نشان از انتقال ناچیز جرم ازت به عمق (در مقایسه با مقادیر ورودی به لایسیترها در کلیه انواع آب آبیاری) دارد. بنابراین در مجموع و به طور متوسط کمتر از چهار درصد جرم ازت وارد شده به لایسیترها به عمق نصب زهکش‌ها منتقل و عمده آن در خاک نگهداری می‌شود و به اعماق ستون خاک انتقال نمی‌یابد. البته درصدهای حذف جرمی به دست آمده در انواع آب آبیاری نزدیک به هم هستند، اما در لایسیتراهای مورد آبیاری با فاضلاب خام بیشترین مقادیر و در لایسیتراهای مورد آبیاری با آب چاه کمترین مقادیر درصد حذف جرمی به دست آمد. این وضعیت و در حقیقت، انتقال ناچیز جرم ازت به عمق ستون خاک نشان دهنده عملکرد مناسب مجموعه در جداسازی ازت از فاضلاب خام و پساب تصفیه شده است. موضوع هنگامی جالب توجه‌تر می‌شود که بدانیم مقادیر ازت وارد شده به خاک در این آزمایش بیش از میزانی است که به صورت معمول و با کاربرد کودهای رایج به اراضی زراعی افزوده می‌شود.

میزان ازت اضافه شده به خاک بر اثر اضافه کردن کودهای شیمیایی، به نوع گیاه کشت شده بستگی دارد که برای گوجه فرنگی ۱۰۰ تا ۱۵۰، برای جعفری ۹۰ تا ۱۰۰ و برای هویج ۸۰ تا ۱۲۰ کیلوگرم ازت در هکتار است [۱، ۲، ۸]. از ارقام موجود در متن جدول شماره ۶ می‌توان مشاهده کرد که در شرایط این آزمایش، مقدار ازت کل وارد شده به خاک از آب چاه نیز تا حدودی بیش از مقادیر

جدول شماره ۷- نتایج تجزیه و تحلیل آماری داده‌های ازت کل در مدت دو سال اجرای تحقیق

منابع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات (SS)	میانگین مربعات (MS)
سال اجرا	۱	۷/۴۶	۷/۴۶ <sup>n.s.</sup>
نوع گیاه	۲	۱۳/۶۳	۸۱/۶ <sup>n.s.</sup>
نوع آب آبیاری کاربردی	۲	۱۱۱۳/۵۰	۵۵۶/۷۵ **
اثر زمان نمونه برداری	۲	۱۲۶/۰۲	۶۳/۰۱ **

n. s. - معنی دار نبوده است. \*\* - در سطح یک درصد معنی دار بوده است.

جدول شماره ۸- نتایج آزمون دانکن داده‌های ازت کل مربوط به دو سال اجرای تحقیق

گروه بندی دانکن	نوع آب آبیاری		گروه بندی دانکن	اثر زمان نمونه برداری	
	نوع آب*	میانگین**		ترتیب	میانگین**
A	R	۸/۸۸	A	اول	۶/۴۱
B	T	۳/۸۲	B	دوم	۴/۹۱
C	N	۲/۹۳	B	سوم	۴/۳۱

\* نوع آب آبیاری کاربردی: R = فاضلاب خام، T = پساب تصفیه شده، N = آب چاه (نرمال).  
\*\* اعداد ارائه شده، بیانگر میانگین غلظت ازت کل به میلی‌گرم در لیتر در زه آب لایسیتراست.

نمونه برداری اول به دوم و سوم است. میانگین ازت کل در نمونه برداری اول به طور معنی داری بالاتر از بقیه نمونه‌ها قرار داشته، اما میزان ازت کل اندازه گیری شده در نمونه برداری‌های دوم و سوم، تفاوت معنی داری از خود نشان نمی‌داد. بنابراین در اوایل هر فصل آبیاری، مقادیر بیشتری از ازت به عمق خاک منتقل شده است.

#### ۶- نتیجه گیری:

همان‌گونه که قبلاً نیز اشاره شد، تحقیق حاضر به منظور بررسی تأثیر کاربرد فاضلاب خانگی خام و پساب تصفیه شده در آبیاری محصولات کشاورزی

بر طبق نتایج آزمون دانکن (مقایسه میانگین‌ها) که در جدول (۸) ارائه شده می‌توان چنین گفت:

۱- اثر نوع آب آبیاری: میانگین ازت کل موجود در زه آب لایسیتراهای مورد آبیاری با فاضلاب خام بالاتر از میانگین ازت کل زه آب حاصل از پساب تصفیه شده است و هر دو مورد نیز بیشتر از میانگین ازت کل اندازه گیری شده در زه آب به دست آمده از آب چاه است که تفاوت معنی‌داری را از نظر تأثیر نوع آب آبیاری بر مقدار ازت منتقل شده به عمق زهکش‌ها از خود نشان می‌دهد.

۲- اثر زمان نمونه برداری: میانگین ازت کل موجود در زه آب‌ها به ترتیب روند نزولی، از

و مشاهده چگونگی انتقال آلاینده ازت به عمق خاک بود. در شرایط اجرای این تحقیق، نتایج بیانگر عملکرد رضایت بخش مجموعه خاک و گیاه در حذف انواع ازت موجود در آب‌های آبیاری، در طول مدت دو سال اجرای تحقیق است. در خصوص انتقال ازت به عمق خاک، بزرگترین مقدار در آب ورودی و زه آب خروجی از لایسیمترهایی مشاهده شد که از فاضلاب خام در آبیاری آنها استفاده شده است و کمترین مقادیر نیز در نتیجه آبیاری با آب چاه دیده شد. چگونگی تغییرات میزان ازت خروجی از زهکش لایسیمترها در طول فصل کشت و در هر دو سال، روندی نزولی را از ابتدای

هر فصل به سمت انتها از خود نشان داد. با در نظر گرفتن درصد انتقال ازت به عمق و یا نسبت غلظت ازت خروجی از زهکش هر لایسیمتر به غلظت ازت ورودی به آن از آب آبیاری، چنین مشاهده شد که درصد انتقال در فاضلاب خام کمتر (بین ۱۲/۹۳ تا ۳۳/۷۵) و در پساب تصفیه شده تا حدودی بیشتر (بین ۲۳/۳۰ تا ۳۸/۱۷) بود. همچنین، میزان نترات موجود در زه آب زیرزمینی حاصل از تمامی لایسیمترها (در مقایسه با مقادیر مجاز ارائه شده در استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست ایران جهت تخلیه این قبیل آبها به منابع آب سطحی) به مقادیر بحرانی نزدیک نبوده است.

### سپاسگزاری:

اجرای تحقیق حاضر با مساعدت مالی کمیسیون آب شورای پژوهش‌های علمی کشور و همکاری مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشکده کشاورزی کرج (دانشگاه تهران)، معاونت عملیات و بهره برداری شرکت فاضلاب استان تهران و تصفیه خانه فاضلاب شهرک اکباتان میسر گردیده است که بدین وسیله صمیمانه تشکر و قدردانی می‌گردد.

### ۷- مراجع:

- ۱- پیوست، غ. ۱۳۸۱. سبزیکاری. ناشر: مؤلف، چاپ دوم.
- ۲- تصدیقی، م. (مترجم). ۱۳۶۴. سبزیکاری، از باغچه منزل تا کشاورزی صنعتی. انتشارات پیشگام.
- ۳- توکلی، م. و طباطبایی، م. ۱۳۷۸. آبیاری با فاضلاب تصفیه شده. مجموعه مقالات همایش جنبه‌های زیست محیطی استفاده از پسابها در آبیاری. وزارت نیرو، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، ۱۱ آذر ماه ۱۳۷۸، تهران. ۲۶-۱
- ۴- حسن اقلی، ع. ۱۳۸۱. استفاده از فاضلابهای خانگی و پساب تصفیه خانه‌ها در آبیاری محصولات کشاورزی و تغذیه مصنوعی سفره‌های آب زیرزمینی. رساله دکتری تخصصی در رشته علوم و مهندسی آبیاری. دانشگاه تهران.
- ۵- حسن اقلی، ع.، لیاقت، ع.، میراب زاده، م.، وثوقی، م. و فرداد، ح. ۱۳۸۲. بررسی اثرات آبیاری با فاضلابهای خانگی بر انتقال مواد به عمق خاک و کیفیت زه آبهای خروجی از لایسیمتر. مجموعه مقالات یازدهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. تهران. ۳ و ۴ دیماه ۱۳۸۲. ۳۱۷-۳۳۴.

- ۶- حسن اقلی، ع.، لیاقت، ع. و میراب زاده، م. ۱۳۸۱. تغییرات میزان مواد آلی خاک در نتیجه آبیاری با فاضلابهای خانگی و خودپالایی آن. مجله آب و فاضلاب. شماره ۴۲، ۲-۱۱.
- ۷- حسن اقلی، ع.، میراب زاده، م.، لیاقت، ع.، وثوقی، م. و فرداد، ح. ۱۳۸۱. بررسی اثرات آبیاری با فاضلابهای خانگی بر کیفیت زه آبهای خروجی لایسیمتر از نظر شاخصهای  $BOD_5$  و COD. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی. جلد ۳، شماره ۱۱، ۱۷-۳۸.
- ۸- زرین کفش، م. ۱۳۶۸. حاصلخیزی خاک و تولید. انتشارات دانشگاه تهران. شماره ۲۰۰۹.
- ۹- علیزاده، ا. ۱۳۷۶. استفاده از فاضلاب تصفیه شده در آبیاری چغندرقلند. وزارت نیرو. شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور. گزارش نهایی طرح پژوهشی.
- ۱۰- علیزاده، ا. ۱۳۷۴. استفاده از پساب تصفیه شده خانگی در آبیاری سبزیجاتی که به صورت خام مصرف می‌شوند. وزارت نیرو. معاونت امور آب و فاضلاب شهری. شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور. گزارش نهایی طرح پژوهشی.
- ۱۱- ملکوتی، م. ج. و همایی، م. ۱۳۷۳. حاصلخیزی خاکهای مناطق خشک (مشکلات و راه حل‌ها). انتشارات دانشگاه تربیت مدرس. شماره ۲۲.
- ۱۲- ملکوتی، م. ج. و نفیسی، م. (مترجم). ۱۳۷۳. مصرف کود در اراضی زراعی، فاریاب و دیم، (ترجمه). انتشارات دانشگاه تربیت مدرس. چاپ دوم. شماره ۲۰.
- ۱۳- منزوی، م. ت. ۱۳۷۲. فاضلاب شهری. جلد دوم: تصفیه فاضلاب. انتشارات دانشگاه تهران. چاپ چهارم.
- 14- Anon. 1995. Standards method for the examination of water and wastewater. 19<sup>th</sup> Ed. American Public Health Association (APHA). U. S. A.
- 15- Anon. 1990. Irrigation with reclaimed municipal wastewater - A guidance manual. California State Water Resources Control Board. Edited by: G. Stuart Pettygrove and Takashi Asano. Prepared by: Department of Land, Air and Water Resources. University of California, Davis. Pub: Lewis Publishers, Inc.
- 16- Anon. 1992. Wastewater treatment and use in agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Rome. No 47.
- 17- Feigin, A., Ravina I. and Shalhevet, J. 1991. Irrigation with treated sewage effluent. Springer- Verlag. Berlin.
- 18- McGhee, T. J. 1991. Water supply and sewerage. 6<sup>th</sup> Ed. McGraw-Hill, Inc.
- 19- Metcaff & Eddy Inc. 1991. Wastewater engineering: Treatment, disposal, reuse. 3<sup>rd</sup> Ed.
- 20- Ritter, W. F. and Shirmohammadi, A. 2001. Agricultural nonpoint source pollution. Lewis publishers, CRC Press LLC.

## **Investigation on Nitrogen Leaching to Soil Depth by Irrigation with Wastewater**

**A. Hassanoghli, A. Liaghat and M. Mirabzadeh**

Because of water shortage in arid and semi-arid regions, reuse of wastewater and treated effluents for agricultural irrigation has become an essential matter now. While these kinds of water contain a lot of nutrients such as nitrogen, by using them we could be able to increase the soil fertility and decrease both the chemical nutrient consumption and the costs of agricultural production. However, due to high potential of pollutant and transferability of nitrate components ( $\text{NO}_3$ ) through soil, careless application could cause ground and surface water contamination. With this regard, in order to investigate the transformation of nitrogen below the root zone as a result of irrigation with wastewater, a series of lysimeter studies were carried out in Tehran area. A statistical “factorial experiments in the form of randomized complete design” ( $3 \times 3 \times 3$ ) 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 showed that nitrogen leaching 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. Also, mass balance analyses indexed by nitrogen showed a mean efficient reduction of 96.6% to 98.9%. Maximum  $\text{NO}_3$  concentration during two years was about 12 mg/lit, which happened in drainage water of lysimeters that irrigated with raw wastewater. This amount of  $\text{NO}_3$  was very lower than the permissible  $\text{NO}_3$  amounting of Iranian standards (50 mg/lit) for discharge the effluents to surface water resources.

**Keywords:** Domestic Wastewater, Drain Water, Irrigation, Lysimeter, Nitrogen, Raw Wastewater, Treated Wastewater.