Effect of Water Reuse on Organic Matter Concentration of Soil and its Self Purification

Hassanoghli,A. (M.Sc), Liaghat,A.(Ph.D) and Mirabzadeh,M. (Ph.D)
Department of Irrigation and Reclamation Eng., Faculty of Agriculture, University of Tehran

Abstract

Use of low quality water in agricultural irrigation lands has been common in many areas since long time ago. According to arid and semi-arid climate of Iran and the limitations of usable water resources, optimum application of each kind of available water (i.e.brackish and wastewater) is necessary. In this regard, the regional researches are needed by considering all local variables such as climate, native plants, culture, wastewater quality and so on.

In order to investigate the effects of irrigation with domestic wastewater on soil organic matters content in the end of plant season and also the self-digestion rate of accumulated matters during non-plant period, a lysimetic study was carried out in Tehran area. A statistical "factorial experiments in form of randomized complete design" (3 × 3× 3) was used. Raw and treated domestic wastewater of Ekbatan complex and well water (control) have been applied for irrigation of raw eating vegetables such as parsley, carrot and tomato for two years.

The results showed that the most increase of organic matter was happened by using the raw wastewater for irrigation of carrot planting, and the least for tomato. After two years and completion of self-digestion period, raw and treated domestic wastewater caused 48.8% and 17.4% increase in soil organic matter content respectively, but reduction of 31.59% was found in control treatment compared with the original amount (0.896%). There is direct relationship between the reduction rate of soil organic matter and the amount of organic matter exceeded by wastewater application. Therefore, the highest rate (14.9mg/100gr.day) was observed in raw wastewater irrigated lysimeters. Statistical analyses showed a significant difference in organic content and purification by means of irrigation water, quality crop, year and sampling time.

تغییرات میزان مواد آلی خاک در نتیجه آبیاری با فاضلاب‌های خانگی و خود پالایی آن

(دریافت۸۰/۱۲/۱۶ پذیرش۸۱/٤/۱۰)

علی‌رضا حسن اقلی* عبدالمجید لیاقت** مهدی میراب زاده***

چکیده

به کارگیری آب‌های با کیفیت نه چندان مطلوب (اصطلاحاً آب‌های نامتعارف) در آبیاری اراضی کشاورزی، از دیرباز در بسیاری از مناطق دنیا عملی رایج و متداول بوده است. در ایران به دلیل حاکم بودن اقلیم خشک و نیمه خشک و فشارهای شدید وارد شده بر منابع آب تجدیدپذیر در نتیجه وقوع خشکسالی‌های چند ساله اخیر، رشد روزافزون جمعیت، توسعه شهرنشینی، صنعتی شدن، و ... استفاده بهینه از تمامی منابع آبی در دسترس از جمله پساب‌های شهری و خانگی به عنوان یکی از انواع آب‌های نامتعارف شدیداً مورد توجه قرار گرفته است.

هدف و دورنمای این بخش از تحقیق، بررسی تغییرات مواد آلی خاک در نتیجه‌ی اجرای عملیات آبیاری با فاضلاب‌های خانگی و نیز خودپالایی و تجزیه این مواد در خارج از فصل کشت و تا ابتدای سال زراعی بعد می‌باشد. به همین منظور و در قالب تحقیقات لایسیمتری، به مدت دو سال از فاضلاب‌های خانگی خام و تصفیه شده شهرک اکباتان جهت آبیاری سبزیجات خوراکی از قبیل گوجه فرنگی، جعفری و هویج استفاده شد. این تحقیق با منظور نمودن آب چاه به عنوان تیمار شاهد و بهره‌گیری از آزمایش آماری فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی به اجرا در آمد. با پایان یافتن فصل کشت و قطع آبیاری، در فواصل زمانی مناسب از خاک نمونه‌برداری شد و مقدار مواد آلی تعیین گردید.

نتایج به دست آمده نشان داد که بیشترین مقدار افزایش مواد آلی به خاک، در اثر کاربرد فاضلاب خام، اتفاق می‌افتد. هم‌چنین در تمامی موارد، مقدار ماده آلی در خاک تحت کشت محصول هویج از همه بیشتر و در گوجه فرنگی از همه کمتر بود. خودپالایی موجب تقلیل قابل توجه مقدار مواد آلی خاک شد. شدت خودپالایی یا نرخ کاهش روزانه مواد آلی با مقدار ماده ورودی به خاک رابطه مستقیم داشته، به طوری که فاضلاب خام با بیشترین مقدار افزایش ماده آلی، بالاترین نرخ کاهش روزانه (۱٤/۹ میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم خاک در روز) را به خود اختصاص می‌دهد. در پایان سال دوم، میزان مواد آلی باقی مانده در خاک، در نتیجه آبیاری با فاضلاب‌های خانگی خام و تصفیه شده، به طور متوسط برابر ٤۸/۸ و ۱۷/٤ درصد مقدار اولیه موجود پیش از اجرای تحقیق بود؛ در حالی که در آب چاه کاهش چشمگیر ۳۱/۵ درصدی مواد آلی از مقدار اولیه اتفاق افتاد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها، وجود تفاوت معنی‌دار در سطح ۱٪ از نظر تأثیر نوع آب آبیاری، نوع محصول کشت شده، سال اجرای آزمایش‌ها و اثر زمان نمونه‌برداری بر مقدار مواد آلی خاک و خودپالایی آن را به وضوح نشان داد.

واژه‌های کلیدی : آبیاری با فاضلاب خانگی، فاضلاب خام، فاضلاب تصفیه شده، مواد آلی، خودپالایی مواد آلی خاک.

---

* دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبیاری، دانشگاه تهران
** استادیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران
*** دانشیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران

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، هم‌چنین به کارگیری محصولات جانبی فاضلاب نظیر لجن نیمه جامد حاصل از چاه‌های جذبی منازل (معروف به بار انسانی یا کود سیاه در مناطق کشاورزی ایران) و لجن تولید شده در خلال فرآیند تصفیه فاضلاب جهت حاصلخیز نمودن خاک، از دیر باز در بسیاری از کشورهای جهان رواج داشته و دارد [۱، ۲ و ٦]. با اجرای عملیات آبیاری توسط فاضلاب در اراضی کشاورزی، مواد و ترکیبات متنوعی به خاک منتقل می‌گردد که از جمله آن‌ها می‌توان به مواد آلی اشاره نمود. فاضلاب خانگی به طور معمول از ۹۹/۹ درصد آب و ۰/۱ درصد مخلوطی از سایر مواد آلی، معدنی و گازها تشکیل می‌شود. حدود نیمی از مواد خارجی موجود در فاضلاب مواد آلی و مابقی، مواد معدنی و دیگر مواد است. عمده مواد آلی موجود در فاضلاب‌ها از نوع ناپایدار بوده و دارای منشأ انسانی، حیوانی یا گیاهی می‌باشند که در صورت آبیاری با فاضلاب به خاک افزوده می‌گردند [۳ و ٦]. در این حالت خاک به عنوان یک صافی یا فیلتر عمل می‌نماید که قادر است بخش اعظم مواد آلی قابل تجزیه که به صورت محلول و معلق در فاضلاب و پساب وجود دارند را، از آن جدا سازد. مواد آلی در اختیار میکروارگانیسم‌هایی قرار می‌گیرد که در شکل توده‌های زنده و لایه‌های لزج بر روی سطح ذرات خاک و گیاهان رشد می‌کنند. این موجودات در شرایط هوازی، مواد آلی را جذب نموده و به مصرف می‌رسانند، ضمن این که مقداری از مواد غذایی مورد نیاز گیاه نیز از این طریق فراهم می‌گردد. به علاوه، مواد آلی خواص فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهند [۱ و ٤].

توانایی خاک در تدارک عناصر غذایی، ذخیره آب، رهاسازی گازهای گلخانه‌ای، اصلاح و تعدیل آلاینده‌ها و ... به شدت متأثر از کیفیت و کمیت مواد آلی موجود در خاک می‌باشد [۷]. وجود مواد آلی در خاک موجب اصلاح ساختمان آن می‌گردد، بدین معنی که مواد آلی به صورت یک عامل چسباننده، ذرات خاک را به یکدیگر پیوند داده، زمین را نرم و متخلخل کرده و برای کشاورزی مناسب می‌سازد. در نتیجه این امر ریشه گیاهان پراکنش بیشتری یافته، قابلیت نگهداری آب در زمین‌های شنی فزون گشته و حالت فیزیکی خاک‌های رسی اصلاح می‌شود. بنابراین آب بیشتری برای جذب در اختیار گیاه قرار می‌گیرد. اصلاح نفوذپذیری خاک نسبت به آب و هوا و بهبود زهکشی آن از دیگر اثرات حضور مواد آلی است. چه، این مواد منافذی به اندازه‌های مناسب در خاک ایجاد می‌کنند که افزون بر تأثیر به سزای آن‌ها در تهویه خاک، با حفظ رطوبت کافی، از خشکی بیش از اندازه‌ی آن جلوگیری به عمل می‌آورد. ضمناً وجود مواد آلی، اسیدی شدن و کاهش pH خاک را به دنبال دارد. عمل مزبور در جذب پاره‌ای از عناصر کم مصرف، نظیر روی و آهن که در حالت اسیدی بیشتر قابل جذب می‌باشند، مفید است [٤].

امروزه تحقیقات محلی در زمینه استفاده از انواع آب‌های نامتعارف (از جمله فاضلاب‌ها) در آبیاری اراضی کشاورزی و مشاهده جنبه‌های مختلف آن، از اهمیت به سزایی 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 [۸]، تکیه تنها بر به کارگیری نتایج به دست آمده از تحقیقات در دیگر مناطق جهان اشتباهی بس بزرگ به حساب می‌آید و در دراز مدت صدمات جبران ناپذیری را بر منابع آب و خاک وارد می‌سازد. به همین دلیل در طی یک برنامه تحقیقاتی چند ساله در منطقه عمومی استان تهران، شاخص‌های عمده در آبیاری با فاضلاب‌های خانگی مورد بررسی قرار گرفت که بخشی از نتایج به دست آمده در قالب این مقاله ارائه می‌گردد. هدف در این قسمت از تحقیق، بررسی میزان و نحوه تغییر در کمیت مواد آلی و تجمع آن در لایه‌های سطحی خاک در نتیجه آبیاری با فاضلاب خانگی و نیز بررسی قدرت خودپالایی خاک از نظر تغییرات به وجود آمده در مقدار مواد آلی تجمع یافته، در خارج از فصل کشت می‌باشد.

مواد و روش‌ها

در اجرای این تحقیق و به منظور کنترل هر چه بهتر کلیه عوامل موثر، از تحقیقات لایسیمتری استفاده شد. تعداد ۲۷ عدد لایسیمتر از جنس پلاستیک و با سطح مقطع دایره‌ای به قطر ٦۰ 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 منطقه با بافت لوم رسی[1] و بدون اجرای عملیات تراکمی خاصی بر روی خاک پر شدند. مشخصات فیزیکی و شمیایی در جدول ۱ قابل مشاهده است.

با نگرش به وضعیت کشاورزی در اطراف شهر تهران و جهت دخالت دادن بحرانی‌ترین شرایط در کاربرد فاضلاب‌ها در امر آبیاری، گیاهانی از خانواده سبزیجات که عمدتاً به صورت خام مصرف می‌شوند، در لایسیمترها کشت گردید. به همین منظور سه نوع سبزی شامل جعفری (سبزی برگی)، هویج (سبزی غده‌ای) و گوجه فرنگی (صیفی سالادی میوه‌دار) در لایسیمترها کاشته شد.

از تصفیه‌خانه فاضلاب شهرک اکباتان به عنوان تأمین فاضلاب خانگی مورد نیاز استفاده شد. در اینجا نیز برای دخالت دادن شرایط بحرانی و حصول نتایج کامل‌تر، از هر دو نوع "فاضلاب خام ورودی" و "فاضلاب تصفیه شده خروجی" از تصفیه‌خانه به عنوان آب آبیاری استفاده به عمل آمد و آب چاه به عنوان تیمار شاهد لحاظ شد.

با بررسی به عمل آمده، آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی به عنوان طرح آماری مناسب انتخاب گردید. با منظور نمودن سه نوع آب آبیاری (فاضلاب خانگی خام، تصفیه شده و آب چاه) و سه نوع محصول (گوجه فرنگی، هویج و جعفری) و سه تکرار (طرح آماری ۳×۳×۳)، جمعاً تعداد ۲۷ عدد لایسیمتر ساخته شد و به مدت دو سال در خلال فصول زراعی ۱۳۷۸ و ۱۳۷۹، از ابتدای فصل کشت محصولات در اردیبهشت ماه تا انتهای برداشت نهایی در نیمه اول آبان‌ماه، تحت آبیاری با فاضلاب قرار گرفت.

پس از پایان فصل کشت و قطع آبیاری در هر سال، نمونه‌برداری از خاک سطحی (عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر) در فواصل زمانی مناسب جهت تعیین میزان مواد آلی تجمع یافته در خاک، به صورت کربن آلی و تغییرات آن با گذشت زمان (خودپالایی مجموعه) تا شروع فصل کشت بعدی انجام پذیرفت. درصد کربن آلی با استفاده از روش والکلی-بلاک اندازه‌گیری شد [۵].

برای نمونه‌برداری از خاک جهت تعیین مقدار مواد آلی، به این ترتیب عمل گردید که ابتدا در سطح هر لایسیمتر، مثلثی فرضی و متساوی‌الاضلاع در نظر گرفته شد و سپس از سه رأس آن در هر مرحله سه نمونه تهیه گردید و نمونه چهارم نیز از مرکز سطح لایسیمتر برداشته شد. این چهار نمونه به دقت با یکدیگر مخلوط شده و مقدار مورد نیاز از نمونه مرکب، جهت اندازه‌گیری درصد کربن آلی به آزمایشگاه ارسال شد. این نحوه نمونه‌برداری موجب می‌گردد تا اثر تجمعات احتمالی مواد آلی در بعضی از نقاط و تأثیر آن بر نتایج به نحو چشمگیری کاهش یابد. برای محاسبه درصد مواد آلی خاک از روی درصد کربن آلی اندازه‌گیری‌شده، می‌توان از رابطه (۱) استفاده نمود[٤].

(۱) درصد مواد آلی خاک = درصد کربن آلی × (۱/۷۲-۲/۰)

ضریب تبدیل ۱/۷۲ برای مواد آلی بیشتر خاک‌ها حاکم بوده، لیکن این مقدار را در خاک‌های سطحی برابر ۲، و برای خاک‌های عمقی ۱/۵ انتخاب می‌کنند. بعضی از محققین نیز ضریب تبدیل ۱/۹ را برای محاسبه درصد مواد آلی خاک برگزیده‌اند. به هر حال به عقیده‌ی اکثر دانشمندان علم تغذیه گیاهی "ضریب تبدیل ۲" برای محاسبه درصد مواد آلی بهترین نتیجه را می‌دهد [٤].

[1] Clay Loam

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در تحقیق.

بافت خاک	EC (Ds/m)	pH	OC% کربن آلی	آنیون‌ها(meq/lit)				کاتیون‌ها(meq/lit)				درصد ذرات خاک		
				CO_3	HCO_3	Cl	SO_4	Ca	Mg	K	Na	ماسه	سیلت	رس
لوم رسی	۱/۲۵	۷/۲	۰/٤٤۸	-	۵/٦	۸/۰	۰/۸۳	۸/۰	٦/۰	۰/۳	۲/۸۷	۲٤/۹	۳۷/۵	۳۷/٦

نتایج و بحث

اجزای تشکیل دهنده مواد آلی فاضلاب مشتمل بر انواع کربوهیدرات‌ها، پروتئین‌ها و چربی‌ها می‌باشد، لیکن تجزیه فاضلاب به منظور تعیین هر یک از این اجزاء به ندرت انجام می‌پذیرد [۸]. جهت شناسایی و تعیین میزان بار آلی موجود در فاضلاب‌های خانگی خام و تصفیه شده و تغییرات آن در طول سال در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، معمولاً از شاخص‌هایی چون BOD، COD و TOC استفاده می‌گردد. تعیین BOD از متداول‌ترین آزمایش‌ها می‌باشد. اکسیداسیون بیوشیمیایی ترکیبات آلی کربن‌دار (مرحله اول تصفیه زیستی فاضلاب) فرآیندی تدریجی است که از نخستین لحظات کار باکتری‌ها شروع شده و در ۲۰ درجه گرما تا مدت ۲۰ شبانه روز ادامه می‌یابد. در گرمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد، قسمت بیشتر اکسیداسیون مربوط به این مرحله (حدود ٦۸ درصد) در پنج روز اول رخ می‌دهد و پس از ۲۰ روز تقریباً به پایان می‌رسد. بدین جهت برای نشان دادن درجه آلودگی فاضلاب معمولاً (BOD_5) را تعیین می‌کنند. در این شرایط با داشتن BOD_5 و استفاده از برخی روابط و بهره‌گیری از روش‌های موجود، مقدار BOD کل قابل محاسبه است [۳، ۸ و ۹]. رابطه اساسی نشان دهنده ارتباط بین BOD در هر زمان و BOD کل را می‌توان به صورت زیر ارائه نمود [۹] :

$$Y_t = L - L_t = L(1 - e^{-k't}) \qquad (۲)$$

که در آن :

k' = ضریب ثابت وابسته به درجه گرمای فاضلاب (day^{-1})

t = زمان (day)

L_t = مقدار BOD باقی‌مانده در فاضلاب در مرحله اول اکسیداسیون در زمان t (mg/lit)

L یا BOD_L = عبارت است از BOD باقی مانده در زمان t=۰ (مقدار کل یا نهایی BOD در ابتدای مرحله اول اکسیداسیون)

Y_t = میزان BOD که از فاضلاب خارج و حذف شده است.

با داشتن BOD_5 و k' و استفاده از این رابطه، BOD کل به صورت زیر محاسبه می‌شود [۹] :

$$BOD_L = BOD_5 / (1 - e^{-5k'}) \qquad (۳)$$

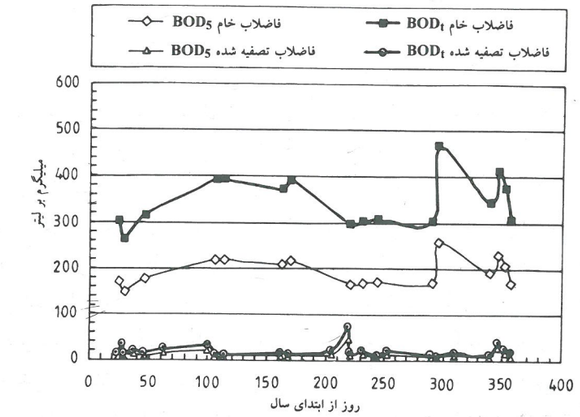
جهت تعیین k' روش‌های متعددی موجود است که از جمله آن‌ها می‌توان به روش حداقل مربعات اشاره نمود [۹]. با استفاده از چند سری اندازه‌گیری متوالی BOD در فاضلاب‌های خام و تصفیه شده شهرک اکباتان (یعنی با داشتن BOD در پنج روز متوالی برای نمونه‌ها) و به کارگیری روش حداقل مربعات، مقدار k' برای هر یک از سری‌های BOD موجود محاسبه شده و از متوسط آن‌ها به عنوان k' در تعیین BOD کل استفاده گردید. بدین ترتیب k' فاضلاب خام شهرک اکباتان به طور متوسط ۰/۱٦۵ و مقدار آن در فاضلاب تصفیه شده برابر ۰/۲۲۳ به دست آمد. با به کارگیری این مقادیر و استفاده از رابطه (۳)، BOD کل فاضلاب‌های خام و تصفیه شده شهرک اکباتان در طول سال‌های ۱۳۷۸ و ۱۳۷۹ محاسبه شد که مقادیر مربوطه در نمودارهای ۱ و ۲ ملاحظه می‌گردد. هم‌چنین جدول ۲ در برگیرنده حداقل‌ها و حداکثرهای BOD_5 مشاهده شده، و یا به عبارتی دامنه تغییرات BOD_5 انواع فاضلاب خام و تصفیه شده شهرک اکباتان می‌باشد، که از نتایج دوره‌ای آزمایش‌های کیفی به انجام رسیده توسط آزمایشگاه شرکت آب و فاضلاب استان تهران و آزمایشگاه تصفیه‌خانه فاضلاب شهرک اکباتان استخراج گردیده است.

اندازه‌گیری‌های به عمل آمده از نظر شاخص BOD_5 در آب چاه (شاهد) در مدت دو سال اجرای تحقیق، همواره مقدار برابر با صفر را نشان می‌داد. بنابراین آب چاه، قادر به افزودن مواد آلی شاخص شده توسط BOD_5 به خاک نمی‌باشد.

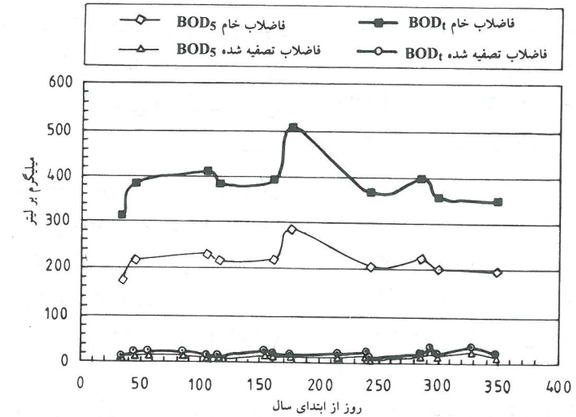
جدول ۲- دامنه تغییرات مقادیر BOD_5 فاضلاب‌های خام و تصفیه شده در تصفیه‌خانه فاضلاب شهرک اکباتان*.

ردیف	نوع فاضلاب	سال ۱۳۷۸				سال ۱۳۷۹			
		حداقل	تاریخ	حداکثر	تاریخ	حداقل	تاریخ	حداکثر	تاریخ
۱	فاضلاب خام	۱٤۷	۷۸/۱/۳۰	۲٦۱	۷۸/۱۰/۲۰	۱۹۵	۷۹/۱۲/۱۳	۲۸۵	۷۹/٦/۲۱
۲	فاضلاب تصفیه شده	٦	۷۸/٤/۱٤	٤۸	۷۸/۸/٤	۸	۷۹/۸/۲۸	۲٤	۷۹/۱۰/۱۸

* کلیه مقادیر به میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد.



نمودار ۱- مقادیر BOD پنج روزه (BOD_5) و کل (BOD_t) در فاضلاب خام و تصفیه شده شهرک اکباتان طی سال ۱۳۷۸.



نمودار ۲- مقادیر BOD پنج روزه (BOD_5) و کل (BOD_t) در فاضلاب خام و تصفیه شده شهرک اکباتان طی سال ۱۳۷۹.

با توجه به وجود مواد آلی در فاضلاب، طبیعی است که در هر نوبت آبیاری مقادیری از ماده آلی به خاک افزوده شود، زیرا خاک به عنوان یک صافی عمل نموده و این مواد را از فاضلاب جدا می‌سازد. در فاصله مابین دو آبیاری بخشی از مواد آلی در نتیجه فعالیت‌های زیستی جذب و تجزیه شده، لیکن با اجرای عملیات آبیاری مجدداً مواد جدید به خاک افزوده می‌شود. با پایان یافتن فصل کشت و قطع عملیات آبیاری، مواد آلی تجمع یافته در خاک در معرض فعل و انفعالات بیولوژیکی و شیمیایی قرار گرفته و فرصت چند ماهه‌ای جهت تجزیه این مواد در اختیار می‌باشد. نتیجه نهایی و برآیند این فعل و انفعالات در خاک بسیار مهم است زیرا در نهایت، تعیین کمیت مواد آلی افزوده شده به خاک در نتیجه آبیاری با فاضلاب (اضافه بر میزان اولیه‌ی موجود) را میسر می‌سازد. این امر در برنامه‌ریزی فعالیت‌های کشاورزی و کاهش مصرف برخی نهاده‌های اساسی نظیر کودهای دامی، سبز و حتی کود شیمیایی بسیار حائز اهمیت می‌باشد.

به منظور بررسی میزان خودپالایی مواد آلی خاک در خارج از فصل کشت و تعیین افزایش یا کاهش ذخایر موجود، در فواصل زمانی مناسب نمونه‌هایی از خاک هر لایسیمتر تهیه شد و درصد مواد آلی در آن تعیین شد. اولین نمونه به فاصله حدوداً یک هفته پس از اجرای

جدول ۳- میزان خودپالایی مواد آلی خاک در خارج از فصل کشت طی سال اول اجرای آزمایش‌ها (۱۳۷۹-۱۳۷۸).

ردیف	نوع محصول	نوع آب آبیاری	۷۸/۸/۲۴			۷۸/۱۱/۱۰			۷۹/۱/۲۶		
			(۱)	(۲)	(۳)	(۱)	(۲)	(۳)	(۱)	(۲)	(۳)
۱	گوجه فرنگی	فاضلاب خام	۱/۶۱۶	-	۸۰/۴	۱/۲۴۶	۲۲/۹	۳۹/۱	۰/۸۲۲	۴۹/۱	-۸/۳
۲	جعفری	فاضلاب خام	۱/۸۴۸	-	۱۰۶/۲	۱/۴۵۶	۲۱/۲	۶۲/۵	۰/۹۸۸	۴۶/۵	۱۰/۳
۳	هویج	فاضلاب خام	۲/۱۷۰	-	۱۴۲/۲	۱/۶۳۴	۲۴/۷	۸۲/۴	۱/۲۱۸	۴۳/۹	۳۵/۹
	متوسط	فاضلاب خام	۱/۸۷۸	-	۱۰۹/۶	۱/۴۴۵	۲۲/۹	۶۱/۴	۱/۰۰۹	۴۶/۵	۱۲/۶
۴	گوجه فرنگی	فاضلاب تصفیه شده	۱/۳۱۲	-	۴۶/۴	۱/۰۸۴	۱۷/۴	۲۱/۰	۰/۷۷۰	۴۱/۳	-۱۴/۱
۵	جعفری	فاضلاب تصفیه شده	۱/۷۲۸	-	۹۲/۸	۱/۲۷۶	۲۶/۲	۴۲/۴	۰/۹۲۲	۴۶/۷	۲/۹
۶	هویج	فاضلاب تصفیه شده	۱/۹۶۲	-	۱۱۹/۰	۱/۳۲۶	۳۲/۴	۴۸/۰	۱/۰۷۶	۴۵/۲	۲۰/۱
	متوسط	فاضلاب تصفیه شده	۱/۶۶۷	-	۸۶/۱	۱/۲۲۹	۲۵/۳	۳۷/۱	۰/۹۲۳	۴۴/۴	۳/۰
۷	گوجه فرنگی	آب چاه	۱/۱۴۰	-	۲۷/۲	۰/۸۷۲	۲۳/۵	-۲/۷	۰/۶۰۶	۴۶/۸	-۳۲/۴
۸	جعفری	آب چاه	۱/۵۲۶	-	۷۰/۳	۱/۰۲۸	۳۲/۶	۱۴/۷	۰/۷۱۸	۵۲/۹	-۱۹/۸
۹	هویج	آب چاه	۱/۶۲۶	-	۸۱/۵	۱/۲۳۴	۲۴/۱	۳۷/۷	۰/۹۲۸	۴۲/۹	۳/۶
	متوسط	آب چاه	۱/۴۳۱	-	۵۹/۶	۱/۰۴۵	۲۶/۷	۱۶/۶	۰/۷۵۱	۴۷/۵	-۱۶/۳

(۱)- درصد ماده آلی موجود در نمونه خاک در تاریخ مورد نظر (طبق رابطه ۱)
(۲)- درصد حذف ماده آلی خاک در نتیجه خودپالایی، نسبت به مقدار اندازه‌گیری شده در اولین نمونه‌برداری به انجام رسیده در همان دوره.
(۳)- درصد افزایش یا کاهش مقدار مواد آلی خاک، علاوه بر میزان اولیه موجود در آغاز تحقیق (۰/۸۹۶درصد). اعداد منفی بیانگر کاهش ماده آلی از میزان اولیه موجود در خاک می‌باشد.

جدول ۴- میزان خودپالایی مواد آلی خاک در خارج از فصل کشت طی سال دوم اجرای آزمایش‌ها (۱۳۸۰-۱۳۷۹).

ردیف	نوع محصول	نوع آب آبیاری	۷۹/۸/۱۷			۷۹/۱۱/۸			۸۰/۱/۲۹		
			(۱)	(۲)	(۳)	(۱)	(۲)	(۳)	(۱)	(۲)	(۳)
۱	گوجه فرنگی	فاضلاب خام	۲/۶۳۸	-	۱۹۴/۴	۱/۶۷۸	۳۶/۴	۸۷/۳	۱/۲۰۰	۵۴/۵	۳۳/۹
۲	جعفری	فاضلاب خام	۳/۰۵۴	-	۲۴۰/۸	۱/۷۶۲	۴۲/۳	۹۶/۷	۱/۳۴۶	۵۵/۹	۵۰/۲
۳	هویج	فاضلاب خام	۳/۶۱۴	-	۳۰۳/۳	۲/۲۴۴	۳۷/۹	۱۵۰/۴	۱/۴۵۴	۵۹/۸	۶۲/۳
	متوسط	فاضلاب خام	۳/۱۰۲	-	۲۴۶/۲	۱/۸۹۵	۳۸/۹	۱۱۱/۴	۱/۳۳۳	۵۶/۷	۴۸/۸
۴	گوجه فرنگی	فاضلاب تصفیه شده	۱/۷۸۰	-	۹۸/۷	۱/۲۹۴	۲۷/۳	۴۴/۴	۰/۸۲۶	۵۳/۶	-۷/۸
۵	جعفری	فاضلاب تصفیه شده	۱/۹۳۶	-	۱۱۶/۱	۱/۳۵۲	۳۰/۲	۵۰/۹	۱/۰۸۴	۴۴/۰	۲۱/۰
۶	هویج	فاضلاب تصفیه شده	۲/۲۸۶	-	۱۵۵/۱	۱/۶۷۶	۲۶/۷	۸۷/۰	۱/۲۴۴	۴۵/۶	۳۸/۸
	متوسط	فاضلاب تصفیه شده	۲/۰۰۱	-	۱۲۳/۲	۱/۴۴۱	۲۸/۱	۶۰/۷	۱/۰۵۱	۴۷/۷	۱۷/۴
۷	گوجه فرنگی	آب چاه	۱/۱۱۶	-	۲۴/۶	۰/۷۸۲	۲۹/۹	-۱۲/۷	۰/۴۹۲	۵۵/۹	-۴۵/۱
۸	جعفری	آب چاه	۱/۲۹۶	-	۴۴/۶	۰/۸۳۴	۳۵/۶	-۶/۹	۰/۶۱۸	۵۲/۳	-۳۱/۰
۹	هویج	آب چاه	۱/۵۹۰	-	۷۷/۴	۱/۱۴۰	۲۸/۳	۲۷/۲	۰/۷۳۴	۵۳/۸	-۱۸/۱
	متوسط	آب چاه	۱/۳۳۴	-	۴۸/۸	۰/۹۱۹	۳۱/۳	۲/۵	۰/۶۱۵	۵۴/۰	-۳۱/۵

(۱)- درصد ماده آلی موجود در نمونه خاک در تاریخ مورد نظر (طبق رابطه ۱)
(۲)- درصد حذف ماده آلی خاک در نتیجه خودپالایی، نسبت به مقدار اندازه‌گیری شده در اولین نمونه‌برداری به انجام رسیده در همان دوره.
(۳)- درصد افزایش یا کاهش مقدار مواد آلی خاک، علاوه بر میزان اولیه موجود در آغاز تحقیق (۰/۸۹۶درصد). اعداد منفی بیانگر کاهش ماده آلی از میزان اولیه موجود در خاک می‌باشد.

آخرین آبیاری و به محض آماده شدن خاک جهت نمونه‌برداری تهیه شد. سومین نمونه پیش از آغاز سال زراعی جدید و دومین نمونه تقریباً در میانه بازه زمانی موجود مابین نمونه‌برداری اول و سوم تهیه شد. این عملیات به مدت دو سال متوالی به اجرا در آمد که نتایج آن در جداول ۳ و ٤ ملاحظه می‌گردد. جداول در برگیرنده متوسط اعداد به دست آمده در لایسیمترهای مشابه از نظر نوع آب آبیاری و محصولات کشت شده می‌باشد که مقادیر آن در ستون ۱ قابل مشاهده است. با مبنا قرار دادن اعداد ستون ۱ در هر سال، درصد حذف مواد آلی در خارج از فصل کشت قابل محاسبه می‌باشد که این مقادیر در ستون ۲ جدول آمده است. بنابراین اعداد ستون ۲ روند تغییر در ذخیره مواد آلی در یک سال مشخص را نسبت به مقدار اندازه‌گیری شده در خاک بلافاصله پس از قطع آبیاری نشان می‌دهد. هم‌چنین با توجه به مقدار ماده آلی موجود در خاک پیش از شروع عملیات آبیاری با فاضلاب (۰/۸۹۶درصد) و جهت انجام مقایسه کمّی و ملاحظه روند تغییرات در میزان مواد آلی خاک در خلال دو سال اجرای تحقیق، درصد افزایش یا کاهش ماده آلی نسبت به مقدار اولیه موجود در خاک بر اساس نوع محصول و نوع آب آبیاری محاسبه شد که نتایج آن در ستون ۳ جداول مذکور قابل مشاهده است.

نتایج به دست آمده در این تحقیق نشان می‌دهد که بیشترین مقدار افزایش مواد آلی به خاک در اثر کاربرد فاضلاب خام جهت آبیاری اتفاق می‌افتد. منشاء مواد آلی اندازه‌گیری شده در خاک پس از برداشت محصول، علاوه بر میزان برآورد آن توسط فاضلاب، به مقدار ریشه‌های باقی‌مانده در خاک (بر اساس نوع گیاه) بستگی دارد. مطابق با اندازه‌گیری به عمل آمده، درصد ماده آلی باقی‌مانده در پایان فصول زراعی سال‌های ۱۳۷۸ و ۱۳۷۹ در لایسیمترهای تحت کشت محصول هویج و در تمامی انواع آب آبیاری بیش از محصول جعفری بوده و در محصول گوجه فرنگی از همه کمتر است. هویج یک محصول غده‌ای است که با ادامه فصل رشد مرتباً بر اندازه و حجم غده آن افزوده می‌شود، بنابراین سطح آبگذر لایسیمتر (خاک) در نتیجه این امر محدودتر شده، خاک سطحی متراکم‌تر گردیده و مقدار مواد آلی تجمع یافته در واحد حجم خاک سطحی افزایش می‌یابد.

در مجموع و همان گونه که از ستون ۳ جداول ۳ و ٤ و متوسط‌های مربوطه قابل ملاحظه می‌باشد، در پایان سال اول تحقیق، آبیاری با فاضلاب خام و تصفیه شده به ترتیب موجبات افزایش ۱۲/٦ و ۳ درصدی مواد آلی خاک را در مقایسه با مقدار اولیه موجود پیش از شروع تحقیق (۰/۸۹٦ درصد) فراهم آورده، در صورتی که در تیمار شاهد (آب چاه) با کاهشی به میزان ۱٦/۳ درصد مواجه هستیم. در پایان سال دوم تحقیق، افزایش مواد آلی خاک در نتیجه آبیاری با فاضلاب‌های خام و تصفیه شده، به ترتیب ٤۸/۸ و ۱۷/٤ درصد مقدار اولیه موجود در خاک بالغ گردیده، در حالی که درصد کاهش مواد آلی در آبیاری با آب چاه و در مقایسه با موجودی اولیه خاک، به تقلیل ۳۱/۵ درصدی ذخایر این مواد منجر شده است. بنابراین، مقایسه درصد ماده آلی اندازه‌گیری شده در آخرین نمونه‌برداری از خاک لایسیمترها در خلال دو سال اجرای تحقیق نشان از افزایش قابل توجه مواد آلی در خاک‌های تحت آبیاری با فاضلاب خام و تصفیه شده در سال دوم نسبت به سال اول دارد، در حالی که در خاک‌های تحت آبیاری با آب چاه، روند کاهشی پیوسته‌ای مشاهده می‌گردد. این امر نشان از تأثیر آبیاری با فاضلاب به خصوص فاضلاب خام در افزایش میزان مواد آلی خاک دارد.

به جهت بررسی شدت خودپالایی یا نرخ کاهش روزانه مقدار مواد آلی موجود در خاک در خارج از فصل کشت، محاسباتی به انجام رسید که نتایج به دست آمده برای سال‌های ۷۹-۱۳۷۸ و ۸۰-۱۳۷۹ به ترتیب در جداول ۵ و ٦ ارائه می‌شود. این جداول در برگیرنده مقادیر متوسط بر حسب نوع آب آبیاری است که نرخ کاهش در آن‌ها در هر بازه زمانی، به میلی‌گرم ماده آلی حذف شده در ۱۰۰ گرم خاک در هر روز بیان می‌شود.

متوسط نرخ کاهش مواد آلی در فاصله ۷٦ روز از پایان آبیاری و در حقیقت نیمه اول بازه زمانی مورد نظر در سال ۱۳۷۸ در تمامی انواع آب آبیاری نزدیک به یکدیگر بوده و مابین ۵/۰۸ تا ۵/۷٦ میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم خاک در روز تغییر می‌کند. پیش از شروع فصل کشت جدید در سال ۱۳۷۹ و در نیمه دوم بازه زمانی سال اول، نرخ کاهش در لایسیمترهای تحت آبیاری با فاضلاب خام نزدیک به بازه زمانی‌اول و با اندکی افزایش در حد ۵/۸۱ میلی‌گرم ماده آلی حذف شده در ۱۰۰ گرم خاک در روز حفظ شده،

جدول ۵- شدت یا نرخ کاهش روزانه مواد آلی خاک (خودپالایی) در خارج از فصل کشت طی سال اول اجرای آزمایش‌ها (۱۳۷۹-۱۳۷۸).

ردیف	نوع آب آبیاری	متوسط مقدار ماده آلی*		نرخ کاهش روزانه**	م.ماده آلی*	نرخ کاهش روزانه **
		۷۸/۸/۲٤	۷۸/۱۱/۱۰		۷۹/۱/۲٦	
۱	فاضلاب خام	۱/۸۷۸	۱/٤٤۵	۵/۷۰	۱/۰۰۹	۵/۸۱
۲	فاضلاب تصفیه شده	۱/٦٦۷	۱/۲۲۹	۵/۷٦	۰/۹۲۳	٤/۰۸
۳	آب چاه	۱/٤۳۱	۱/۰٤۵	۵/۰۸	۰/۷۵۱	۳/۹۲

* متوسط مقدار ماده آلی که به درصد وزنی یا گرم ماده آلی موجود در ۱۰۰ گرم نمونه خاک بیان می‌شود.
** نرخ کاهش روزانه ماده آلی خاک از تفاضل مقادیر ماده آلی اندازه‌گیری شده در ابتدا و انتهای هر پریود زمانی (تفاضل اعداد ستون ٤ از ستون ۳ و ستون ٦ از ستون ٤) و تقسیم آن بر فاصله زمانی دو نمونه‌برداری به روز به دست می‌آید.

جدول ٦- شدت یا نرخ کاهش روزانه مواد آلی خاک (خودپالایی) در خارج از فصل کشت طی سال دوم اجرای آزمایش‌ها (۱۳۸۰-۱۳۷۹).

ردیف	نوع آب آبیاری	متوسط مقدار ماده آلی*		نرخ کاهش روزانه**	م.ماده آلی*	نرخ کاهش روزانه **
		۷۹/۸/۱۷	۷۹/۱۱/۱۸		۸۰/۱/۲۹	
۱	فاضلاب خام	۳/۱۰۲	۱/۸۹۵	۱٤/۹۰	۱/۳۳۳	۷/۰۳
۲	فاضلاب تصفیه شده	۲/۰۰۱	۱/٤٤۱	٦/۹۱	۱/۰۵۱	٤/۸۸
۳	آب چاه	۱/۳۳٤	۰/۹۱۹	۵/۱۲	۰/٦۱۵	۳/۸۰

* متوسط مقدار ماده آلی که به درصد وزنی یا گرم ماده آلی موجود در ۱۰۰ گرم نمونه خاک بیان می‌شود.
** نرخ کاهش روزانه مواد آلی خاک از تفاضل مقادیر ماده آلی اندازه‌گیری شده در ابتدا و انتهای هر پریود زمانی (تفاضل اعداد ستون ٤ از ستون ۳ و ستون ٦ از ستون ٤) و تقسیم آن بر فاصله زمانی دو نمونه‌برداری به روز به دست می‌آید.

لیکن نرخ کاهش روزانه در فاضلاب تصفیه شده و آب چاه به ترتیب به ٤/۰۸ و ۳/۹۲ تقلیل یافته است.

نتایج مربوط به سال دوم تحقیق و در هر دو بازه زمانی موجود پس از قطع آبیاری در سال ۸۰-۱۳۷۹، افزایش چشمگیری را در نرخ کاهش روزانه مواد آلی در لایسیمترهای تحت آبیاری با فاضلاب‌های خام و تصفیه شده از خود نشان می‌دهد، در صورتی که در آب چاه این وضعیت به چشم نمی‌خورد. نرخ کاهش روزانه مواد آلی در لایسیمترهای آبیاری شده با فاضلاب خام و در بازه اول سال دوم تحقیق، به طور متوسط به ۱٤/۹ میلی‌گرم ماده آلی حذف شده بر ۱۰۰گرم خاک در روز بالغ گردیده است که ۲/٦ برابر موقعیت مشابه در سال اول می‌باشد. در بازه زمانی دوم مربوط به فاضلاب خام، اگرچه نرخ کاهش تقریباً به نصف بازه زمانی اول تقلیل یافته است (۷/۰۳ میلی‌گرم ماده آلی حذف شده بر ۱۰۰ گرم خاک در روز)، لیکن در مقایسه با شرایط مشابه سال قبل از آن، افزایشی در حدود ۱/۲ برابر را نشان می‌دهد.

نرخ کاهش در لایسیمترهای تحت آبیاری با فاضلاب تصفیه شده نیز در هر دو بازه زمانی سال دوم نسبت به سال ماقبل افزایش یافته است، به گونه‌ای که در بازه زمانی اول سال ۱۳۷۹ به میزان ٦/۹۱mg و در بازه زمانی دوم به ٤/۸۸ میلی‌گرم ماده آلی حذف شده بر ۱۰۰گرم خاک در روز بالغ گردیده است، که در مقایسه با سال قبل از آن از افزایشی ملموس برخوردار بوده است.

مقادیر به دست آمده در لایسیمترهای تحت آبیاری با آب چاه مبین وضعیتی نسبتاً ثابت می‌باشد، به نحوی که نرخ کاهش روزانه مواد آلی در بازه‌های زمانی اول هر دو سال اجرای تحقیق به ترتیب برابر ۵/۰۸ و ۵/۱۲ میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم خاک در روز بوده که در بازه زمانی دوم به ۳/۹۲ و ۳/۸۰ تقلیل می‌یابد. بنابراین می‌توان چنین نتیجه گرفت که وجود مواد آلی در فاضلاب، افزایش فعالیت‌های زیستی و در نتیجه افزایش قابل توجه تجزیه مواد آلی در خاک را به دنبال داشته و هر چه غلظت مواد آلی در فاضلاب مورد استفاده جهت آبیاری بیشتر باشد (فاضلاب

خـام در مقایسه با فاضلاب تصفیه شده)، تجزیه مواد آلی و نـرخ کـاهش روزانـه آن در خارج از فصل کشت از شدت بیشتری برخوردار است.

با عنایت به مطالب فوق می‌توان چنین استنباط نمود که استفاده مستمر از فاضلاب در طی سالیان متمادی، موجبات افـزایش مـیزان مـواد آلـی خـاک را فـراهم آورده، لیکن از طرفـی شـدت یـا نـرخ تجـزیه روزانه ماده آلی نیز در این حالـت با افزایشی محسوس مواجه می‌گردد. این دو فرآیند متضـاد بالاخـره در مـرحله‌ای بـه شرایط تعادل با یکدیگر نزدیک شده و آن هنگامی است که سیستم وضعیتی پایدار[1] را از خود بروز می‌دهد. بنابراین جهت نیل به نقطه پایداری توصـیه می‌شود که یک چنین تحقیقاتی در طولانی مدت به اجرا در آید.

بـه مـنظور تکمیل بحث، تجزیه و تحلیل آماری مقادیر انـدازه‌گـیری شده مواد آلی خاک در طول دوره خودپالایی در مـدت دو سـال اجرای تحقیق توسط برنامه SAS انجام پذیرفـت که نتایج به دست آمده در قالب جدول ۷ خلاصه شده است.

بـر اسـاس نـتایج بـه دست آمده، اثر سال اجرای تحقیق به همـراه نوع آب آبیاری، نوع محصول کشت شده و زمان یا مـرحله نمونـه‌بـرداری‌های متوالی از لحاظ آماری در سطح ۱٪ دارای تفاوت معنی‌دار می‌باشند. بدین معنی که تأثیر هر یـک از ایـن موارد بر مقدار ماده آلی موجود در خاک و نیز مقـدار ماده آلی باقی‌مانده پس از خودپالایی در خاک بسیار مؤثـر اسـت. تـنها اثـر مـتقابل محصـول و آب آبـیاری بـر یکدیگر معنی‌دار نمی‌باشد. مطابق با نتایج آزمون دانکن که در جدول ۸ ارائه شده می‌توان چنین بیان نمود که :

اثـر سـال: میانگین مقادیر ماده آلی موجود در خاک در سـال دوم در مجموع بالاتر از میانگین سال اول قرار گرفته و تفـاوت معنـی‌داری را نشـان مـی‌دهـد. ایـن امر به دلیل افـزایش مـاده آلـی ورودی توسـط فاضـلاب به خصوص فاضلاب خام و نیز باقی ماندن مقادیری از مواد آلی از سال قبل در خاک (علاوه بر میزان اولیه) اتفاق می‌افتد.

اثر نوع آبیاری: میانگین مربوط به فاضلاب خام بالاتر از میانگیـن فاضـلاب تصـفیه شده قرار داشته و این مورد نیز بالاتـر از میانگیـن آب چـاه قـرار مـی‌گـیرد کـه تفـاوت معنـی‌داری مابیـن اثـر سه نوع آب آبیاری را بر مقدار مواد آلی خاک نشان می‌دهد.

اثـر نوع گیاه: میانگین مربوط به محصول هویج بالاتر از میانگیـن محصـول جعفری و هر دو آن‌ها بالاتر از میانگین محصـول گوجـه فرنگی قرار گرفته و تفاوت معنی‌داری را بین سه نوع محصول از خود نشان می‌دهد.

اثـر زمـان نمونه‌برداری: میانگین مواد آلی در نمونه‌های سـری اول بالاتـر از میانگین در نمونه‌های سری دوم و هر دو ایـن مـوارد بالاتـر از میانگین نمونه‌های سری سوم قرار مـی‌گـیرد و تفاوت معنی‌داری را به ترتیب از نمونه‌برداری اول تـا سـوم نشـان مـی‌دهـد. بـه عبارتی، خودپالایی تأثیر معنـی‌داری را بـر کاهش مقدار ماده آلی خاک در خارج از فصـل کشت و در طول دوره زمانی انجام نمونه‌برداری‌های متوالی از خود بر جای می‌گذارد.

قدردانی

اجـرای تحقـیق حاضـر با مساعدت مالی کمیسیون آب شـورای پـژوهش‌هـای علمـی کشـور و همکـاری موسسه تحقیقـات فنـی و مهندسـی کشاورزی، معاونت عملیات و بهـره‌بـرداری شـرکت فاضـلاب استان تهران و تصفیه‌خانه فاضلاب شهرک اکباتان میسر گردیده است که بدین وسیله صمیمانه تشکر و قدردانی می‌گردد.

[1] Self Sustainable

جدول ۷- نتایج تجزیه و تحلیل آماری داده‌های مربوط به خودپالایی مواد آلی خاک در طی دو سال تحقیق.

منبع	درجه آزادی	مجموع مربعات (ss)	میانگین مربعات
سال اجرا	۱	۲/٦۷	۲/٦۷**
نوع آب آبیاری	۲	۱۵/٦۷	۷/۸۳**
نوع محصول کشت شده	۲	۵/۲۰	۲/٦۰**
اثر متقابل گیاه و آب آبیاری	٤	۰/۱۲	۰/۰۳n.s.
اثر زمان نمونه‌برداری	۲	۲٤/۹٦	۱۲/٤۸**

n.s. و ** به ترتیب بی معنی و معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪

جدول ۸- نتایج آزمون دانکن مربوط به دو سال اجرای تحقیق بر خودپالایی مواد آلی خاک.

گروه بندی دانکن	سال اجرا			نوع آب آبیاری			نوع محصول			اثر نمونه		
	تعداد	سال	میانگین	تعداد	نوع آب	میانگین	تعداد	نوع گیاه	میانگین	تعداد	ترتیب	میانگین
A	۸۱	دوم	۱/۵۲	٥٤	ف.خ.	۱/۷۸	٥٤	هویج	۱/٦۲	٥٤	اول	۱/۹۰
B	۸۱	اول	۱/۲٦	٥٤	ف.ت.	۱/۳۸	٥٤	جعفری	۱/۳۸	٥٤	دوم	۱/۳۳
C	-	-	-	٥٤	آ.چ.	۱/۰۱	٥٤	گوجه‌فرنگی	۱/۱۸	٥٤	سوم	۰/۹۵

ف.خ.= فاضلاب خام ف.ت. = فاضلاب تصفیه شده آ.چ. = آب چاه

منابع و مراجع

۱- 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، تهران.

۲- علـیزاده، ا.، (۱۳۷٦). *"استفاده از فاضـلاب تصفیه شده در آبیاری چغندرقند"*، وزارت نیرو، شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور. گزارش نهایی طرح پژوهشی.

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

٤- ملکوتی، م.ج.، و همایی، م.، (۱۳۷۳). *"حاصل‌خیزی خاک‌های مناطق خشک- مشکلات و راه‌حل‌ها"*. انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، شماره ۲۲.

۵- احیائـی، م.، و بهبهانـی‌زاده، ع.ا.، (۱۳۷۲). "شـرح روش‌های تجزیه شیمیایی خاک"، چاپ اول، وزارت کشاورزی، موسسه تحقیقات خاک و آب، نشریه شماره ۸۹۳

6- F.A.O., (1992). *"Wastewater Treatment and Use in Agriculture"*, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, FAO, No. 47.

7- Rees, R.M. et al., (2000). *"Sustainable Management of Soil Organic Matter"*, CABI Publishing.

8- McGhee, Terence, J., (1991). *"Wastewater Supply and Sewerage"*, McGraw-Hill Inc.

9- Tchobangolous, G., (1979). *"Water Engineering : Treatment, Disposal, Reuse"*, Metcalf & Eddy Inc.