



اندازه‌گیری غلظت نیترات و ارزیابی ریسک سلامتی در اسفناج و شاهی آبیاری شده با فاضلاب خام شهری

نیره السادات حسینی^۱، مهرداد چراغی^{۲*}، هاجر مریخ‌پور^۳، بهاره لرستانی^۴

- ۱- کارشناسی ارشد محیط زیست، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد همدان، همدان، ایران
- ۲- دانشیار، دکترای محیط زیست، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد همدان، همدان، ایران
- ۳- استادیار، دکترای شیمی و حاصلخیزی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه سید جمال الدین اسدآبادی، اسدآباد، همدان، ایران
- ۴- دانشیار، دکترای محیط زیست، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد همدان، همدان، ایران

چکیده	مقاله پژوهشی اصیل
مقدمه پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر غلظت‌های مختلف فاضلاب خام شهری بر تجمع نیترات سبزیجات برگی برای اولین بار در محیط آزمایشگاهی انجام گرفت. مواد و روش‌ها بذر سبزیجات برگی شامل شاهی (<i>Lepidium sativum</i>) و بذر اسفناج (<i>Spinacea oleracea</i>) کشت و به صورت ۴ تیمار: T1 (آبیاری فقط با آب چاه "تیمار شاهد"، T2 (آبیاری با فاضلاب خام به صورت یک‌بار در هفته)، T3 (آبیاری با فاضلاب خام به صورت دو بار در هفته) و T4 (آبیاری فقط با فاضلاب خام) آبیاری شد. آزمایش در سه تکرار انجام پذیرفت و مقدار نیترات در قسمت‌های خوراکی هر یک از نمونه‌ها با دستگاه اسپکتروفتومتر مدل JENWAY در طول موج ۴۰۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. برای مقایسه میانگین غلظت نیترات در نمونه‌ها از آزمون تحلیل واریانس دو طرفه در سطح ۵ درصد و نرم‌افزار SPSS استفاده گردید. نتایج با رهنمودهای WHO مقایسه گردید. یافته‌ها اثر تیمارهای مختلف فاضلاب بر میزان نیترات تجمع یافته در سبزیجات برگی معنی‌دار بود. بیشترین تجمع نیترات در T4 (آبیاری فقط با فاضلاب خام) مشاهده شد. میزان نیترات تجمع یافته در تیمارهای مختلف سبزیجات در دامنه مجاز گزارش شده توسط سازمان بهداشت جهانی و پایین‌تر از حد آستانه سمیت ($P \geq 0.05$) بود. همچنین غلظت نیترات در تیمارهای مختلف اسفناج نسبت به تیمار مشابه شاهی بیشتر بود ($P \geq 0.05$). نتیجه‌گیری میزان تجمع نیترات در دو خانواده سبزیجات برگی متفاوت است. همچنین آبیاری با فاضلاب خام شهری از لحاظ کیفی غلظت نیترات اندام هوایی سبزیجات برگی مورد مطالعه را افزایش می‌دهد. بنابراین توجه خاص مسئولین امر و اقدامات احتیاطی بیشتر به منظور کاهش اثرات سوء ضروری است. کلیدواژه‌ها فاضلاب، نیترات، شاهی، اسفناج	تاریخ دریافت: ۹۶/۸/۸ تاریخ پذیرش: ۹۷/۷/۵ *نویسنده مسئول: مهرداد چراغی، گروه دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد همدان، همدان، ایران تلفن: پست الکترونیک: Cheraghimehrdad99@yahoo.com



مقدمه

در سال‌های اخیر تغییر اقلیم جهانی و به تبع آن تغییر الگوی بارندگی، رشد روزافزون جمعیت و افزایش تقاضا برای آب از یک سو و محدودیت منابع آبی از سوی دیگر، استفاده از منابع آب غیرمعارف (آب شور، لب‌شور و فاضلاب تصفیه شده) برای مقابله با بحران آب را اجتناب‌ناپذیر نموده است (۱-۳). این در حالی است که به کارگیری فاضلاب شهری به عنوان یک منبع آب غیرمعارف به سبب واکنش‌های مختلف بین ترکیبات و آلاینده‌های آن (نظیر نیترات از مهم‌ترین منابع نیتروژنی مورد استفاده گیاهان) با خاک و گیاه مشکلات بهداشتی و آلودگی محصولات کشاورزی را به دنبال خواهد داشت (۴ و ۵). از این رو تأثیر آبیاری با فاضلاب بر روی سلامت و بهداشت عمومی، از اساسی‌ترین دغدغه‌های آژانس‌های بهداشتی و سلامت جوامع است؛ و به رغم تصویب قوانین مختلف در لزوم به کارگیری فاضلاب تصفیه شده برای مقاصد کشاورزی، در حال حاضر در بسیاری از کشورهای در حال توسعه از جمله ایران به دلیل کمبود تأسیسات و هزینه‌های زیاد تصفیه، استفاده از فاضلاب شهری خام و یا به مقدار جزئی تصفیه شده در آبیاری اراضی زراعی مناطق حومه شهری به امری معمول و متعارف تبدیل شده است (۲ و ۴ و ۷).

از این رو علیرغم اهمیت استفاده از منابع آب غیرمعارف در بخش کشاورزی، نیل به امنیت غذایی (تأمین غذای سالم، کافی و عاری از هر نوع آلاینده) مستلزم توجه به تأثیر چنین منابعی بر سلامت و کیفیت محصول تولیدی است (۲). اهمیت سلامت سبزیجات به عنوان یکی از محصولات زراعی پر اهمیت با سرانه تولید و مصرف بالا مهم‌ترین شاخص بهداشت و سلامت جوامع است. در این بین سبزیجات برگ‌

به لحاظ دارا بودن انواع ویتامین‌ها، مواد معدنی، پروتئینی، سلولزی، ترکیبات آنتی‌اکسیدان و نقش بسیار مهم در تغذیه و سلامتی انسان از اهمیت بیشتری برخوردار است (۸-۱۱). اسفناج متعلق به خانواده چغندر (Chenopodiaceae) از مهم‌ترین سبزیجات برگی است که برگ و ساقه ظریف آن به صورت تازه و یا فرآوری شده مصرف می‌شود (۱۲-۱۴). شاهی نیز متعلق به خانواده چلیپائی‌ان (Brassicaceae)، از جمله سبزیجات برگی با اهمیت است که از زمان‌های بسیار قدیم خواص خود را به عنوان غذا و داروی انسان ثابت کرده است (۱۵). لذا با توجه به مصرف بالای این سبزیجات، تولید محصولاتی سالم حائز اهمیت است. یکی از فاکتورهای مهم و مؤثر به منظور تشخیص میزان سلامت این محصولات، عدم تجمع نیترات در آنها است. نیترات اغلب منبع اصلی نیتروژن قابل دسترس بیشتر گیاهان مخصوصاً سبزیجات است (۱۴). طبق تحقیقات صورت گرفته حدود ۸۰ درصد از نیتراتی که وارد بدن انسان می‌شود از طریق سبزی‌ها و میوه‌ها است. اگر چه نیترات به تنهایی یک ماده سمی برای انسان محسوب نمی‌شود اما پس از ورود به بدن توسط فلور بدن و معده و در دهان، با واکنش نیتریزاسیون به نیتريت که سمی و سرطان‌زاست تبدیل و جذب می‌شود (۹-۱۶).

نیتريت و نیترات موجود در آب آشامیدنی و مواد غذایی یکی از عوامل محیطی دخیل در ایجاد سرطان‌های دستگاه گوارش فوقانی است (۱۷ و ۱۸). نیترات و نیتريت پیش‌ساز ترکیبات ان- نیتروز هستند (۱۶ و ۱۹ و ۲۰). ترکیبات نیتروز بروز چندین اثر مضر از جمله تشکیل هیپرپلازی قشر فوق کلیوی، نئوپلازی معده و افزایش خطر سرطان مری را فراهم می‌آورد (۷). همچنین نیتريت عامل بیماری مت‌هموگلوبینمیا (کمبود اکسیژن) در اطفال شناخته شده



از این رو با عنایت به ضرورت موضوع، هدف از پژوهش حاضر بررسی تأثیر تعداد دور و غلظت‌های مختلف فاضلاب خام شهری بر تجمع نیترات در سبزیجات برگی (شاهی و اسفناج) و ارزیابی خطر احتمالی ناشی از مصرف سبزیجات برگی (شاهی و اسفناج) دارای مقادیر مختلف نیترات، تحت شرایط کنترل شده و در محیط آزمایشگاهی است. در این مطالعه مقایسه‌ای بین غلظت نیترات در تیمارهای مختلف اسفناج و شاهی با حدود مجاز تعیین شده توسط سازمان بهداشت جهانی (۳۴۵-۳۸۹۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم غلظت نیترات برای اسفناج تازه و ۳۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم غلظت نیترات برای شاهی تازه) انجام شد (۲۸). همچنین میزان مصرف مجاز روزانه تیمارهای مختلف سبزیجات بر اساس حد مجاز دریافت روزانه نیترات برای انسان که توسط سازمان بهداشت جهانی تعیین شده است محاسبه گردید.

مواد و روش‌ها

این طرح در گلخانه دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان انجام پذیرفت. با توجه به ماهیت تحقیق، این آزمایش به صورت "فاکتوریل در قالب طرح آماری کاملاً تصادفی" با دو عامل، عامل اول آب آبیاری در ۴ سطح شامل: T₁ (آبیاری فقط با آب چاه، تیمار شاهد)، T₂ (آبیاری با فاضلاب خام به صورت یک‌بار در هفته)، T₃ (آبیاری با فاضلاب خام به صورت دو بار در هفته) و T₄ (آبیاری فقط با فاضلاب خام) و عامل دوم خانواده‌های سبزیجات برگی در ۲ سطح شامل خانواده چغندر (سبزی اسفناج) و چلیپائیان (سبزی شاهی)، در سه تکرار به اجرا درآمد. به‌منظور کنترل هر چه بهتر عوامل مؤثر از روش کشت سبزیجات در گلدان استفاده شد. بدین ترتیب در مجموع ۲۴ عدد گلدان از جنس پلاستیک و با سطح مقطع دایره‌ای شکل به قطر و ارتفاع ۱۵ سانتیمتر تهیه و در گلخانه مستقر گردید. گلدان‌ها از خاک زراعی منطقه و بدون

است (۲۱). علاوه بر این، افزایش نیترات باعث تجمع اگزالات در سبزی‌های برگی نظیر اسفناج می‌شود، این ماده با عناصر معدنی زیادی مانند کلسیم، آهن، منیزیم و مس نمک‌های نامحلول اگزالات تشکیل می‌دهد که موجب بروز کمبود عناصر مذکور و افزایش خطر تشکیل سنگ‌های کلیه می‌شود (۲۲). با توجه به آن‌چه بیان شد و نظر به اثراتی که هر ماده در بدن و محیط زیست بر جای می‌گذارد یک حد مجاز برای آن تعریف می‌شود. از این رو برای دریافت نیترات نیز حد قابل قبول مصرف روزانه نیترات تعیین شده است. در ایران هنوز هیچ‌گونه استاندارد در این زمینه ارائه نشده است (۹). اما مقدار مجاز دریافت روزانه نیترات (ADI) از طریق مواد غذایی و آب توسط سازمان بهداشت جهانی و کمیته علمی اتحادیه اروپا بین ۰-۳/۷ میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم وزن بدن در روز اعلام شده است (۲۵-۲۳). بر این اساس یک فرد با متوسط وزن ۷۰ kg، نباید بیش از ۲۵۹ میلی‌گرم در روز نیترات دریافت نماید.

نظر به آن‌چه بیان شد در سال‌های اخیر پژوهش‌های بسیاری با هدف ارزیابی اثرات زیان‌بار نیترات اضافی در گیاهان خوراکی (غلات و سبزیجات)، صورت گرفته است که می‌توان به مطالعات صورت گرفته در ایران توسط کافشانی و همکاران، شهباززادگان و همکاران (۲۶-۲۰) و مطالعه مشابه صورت گرفته در سایر کشورها توسط چن و همکاران اشاره کرد (۲۷).

با توجه به مصرف تازه‌خوری و اهمیت بهداشتی میزان نیترات در سبزیجات و نقش آنها در سلامتی انسان و نظر به استفاده از فاضلاب‌های خام شهری در حواشی شهرهای بزرگ و مراکز استان‌ها به منظور آبیاری سبزیجات، ارزیابی بهداشتی و خطر احتمالی ناشی از مصرف سبزیجات برگی آبیاری شده با فاضلاب خام شهری ضروری به شمار می‌رود.



به‌عنوان آب آبیاری، ارائه نگردیده است بنابراین از استاندارد پساب (فاضلاب تصفیه شده) به‌منظور بررسی کیفیت فاضلاب خام استفاده شده است.

پس از کشت بذرها در گلدان طی هفته اول آبیاری با آب چاه انجام پذیرفت و پس از جوانه‌زنی سبزیجات تعداد آنها به چهار گیاه در هر گلدان کاهش یافت. عملیات آبیاری مطابق با عرف محلی و به روش سطحی-غرقابی و به صورت ۴ تیمار ادامه یافت (جدول ۱). برای دستیابی به تیمارهای مورد نظر از دور آبیاری به صورت ۲ روز یک بار استفاده شد. میزان آب آبیاری برای کلیه گلدان‌ها یکسان (استفاده از ظرف مندرج ۱۰۰ سی سی) و در طول دوره آزمایش هر گلدان ۲۸ مرتبه آبیاری شد. در طول دوره رشد دمای متوسط روزانه ۲۵ درجه سانتیگراد و دمای متوسط شبانه ۱۷ درجه سانتیگراد بود. با توجه به ماهیت آزمایش و به‌علت استفاده از فاضلاب خام شهری برای آبیاری سبزیجات در این طرح از هیچ گونه کود شیمیایی و دامی در ابتدای آزمایش و طی رشد سبزیجات استفاده نشد.

اجرای عملیات تراکمی خاص و تنها پس از عبور دادن خاک از الک ۰/۲ سانتیمتر (به منظور حصول یکنواختی بیشتر) پر شدند. بذر اسفناج (بذر خاردار) و شاهی، از نوع بذره‌ای معمول مورد استفاده در سبزی‌کاری خریداری شده و به‌صورت دست‌پاش در عمق ۲ سانتیمتر از خاک سطحی گلدان‌ها کشت شدند. به‌منظور تأمین فاضلاب شهری مورد نیاز برای آبیاری با توجه به وجود نهرهای فاضلاب در اطراف اراضی کشاورزی و مصرف این نوع آب‌ها در آبیاری سبزیجات، یکی از این نهرها به عنوان منبع تأمین‌کننده فاضلاب انتخاب گردید. لذا برای هر نوبت آبیاری، فاضلاب خام به میزان مورد نیاز از منبع تأمین‌کننده (نهر انتخاب شده) به محل اجرای آزمایش (گلخانه دانشگاه) حمل شده و بلافاصله از آن برای آبیاری استفاده می‌گردید. آب چاه نیز از آب چاه اطراف اراضی کشاورزی تأمین شد. به‌منظور بررسی کیفیت فیزیکی و شیمیایی فاضلاب خام و آب مورد استفاده نمونه‌ای از هر کدام به آزمایشگاه ارسال شد. شایان ذکر است که نظر به این‌که استاندارد در رابطه با فاضلاب خام

جدول ۱- نحوه اجرای آبیاری

T ₄	T ₃	T ₂	T ₁	نوبت‌های آبیاری
آبیاری با فاضلاب	آبیاری با فاضلاب دو بار در هفته	آبیاری با فاضلاب یک بار در هفته	آبیاری با آب چاه	
فاضلاب خام	آب چاه	آب چاه	آب چاه	نوبت اول
فاضلاب خام	آب چاه	آب چاه	آب چاه	نوبت دوم
فاضلاب خام	فاضلاب خام	آب چاه	آب چاه	نوبت سوم
فاضلاب خام	آب چاه	آب چاه	آب چاه	نوبت چهارم
فاضلاب خام	آب چاه	آب چاه	آب چاه	نوبت پنجم
فاضلاب خام	آب چاه	آب چاه	آب چاه	نوبت ششم
فاضلاب خام	فاضلاب خام	فاضلاب خام	آب چاه	نوبت هفتم

گردید. نمونه‌های سبزیجات برداشت شده درون پاکت‌های کاغذی با برچسب‌های معین به آزمایشگاه منتقل شده، به

پس از ۸ هفته هنگامی که سبزی‌ها رشد کافی کردند، از گلدان‌ها خارج و قسمت هوایی (ساقه و برگ) آنها جدا



تحلیل واریانس دو طرفه استفاده شد. میانگین‌ها توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن مقایسه گردید. مقایسه میزان نیترات تجمع یافته در سبزیجات با استانداردهای موجود نیز با استفاده از آزمون تی تست تک نمونه‌ای انجام گرفت. سطح معنی‌داری آزمون‌های آماری $P < 0.05$ در نظر گرفته شد. با توجه به متوسط غلظت نیترات در تیمارهای مختلف سبزیجات مقدار مصرف مجاز سبزی در هر تیمار برای پیش‌گیری از مصرف بیش از حد نیترات با استفاده از معادله زیر محاسبه گردید (۳۰):

$$I = (F \times C_1) + (W \times C_2) / M$$

که در آن I نشان دهنده میزان دریافت روزانه نیترات بر حسب میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم وزن بدن و F ، C_1 ، W ، C_2 و M به ترتیب نشان دهنده، میزان مصرف مواد غذایی بر حسب کیلوگرم در روز، غلظت نیترات در مواد غذایی بر حسب میلی‌گرم در کیلوگرم وزن تر، میزان مصرف آب بر حسب لیتر در روز، غلظت نیترات در آب بر حسب میلی‌گرم در لیتر و میانگین وزن یک فرد بالغ (مذکر/ مونث) بر حسب کیلوگرم (۷۰ کیلوگرم) است.

یافته‌ها

کیفیت فاضلاب خام و آب چاه

مقادیر ترکیبات شیمیایی موجود در آب چاه و فاضلاب مورد استفاده همراه با مقادیر استاندارد آلوده کننده در فاضلاب برای مصارف کشاورزی (سازمان حفاظت محیط زیست ایران، فائو و سازمان بهداشت جهانی) به منظور بررسی کیفیت آب آبیاری و فاضلاب در جدول ۲ ارائه شده است.

منظور حذف گرد و غبار و احتمالاً هر گونه آلودگی، ابتدا با آب شسته و سپس با آب مقطر آب‌کشی شدند. نمونه‌های شاهی و اسفناج تازه توزین شده و وزن تر آنها تعیین گردید. سبزیجات، ابتدا به مدت ۲۴ ساعت هوا خشک شده سپس به مدت ۲۴ ساعت در داخل آون با دمای ۵۵ درجه سانتیگراد قرار گرفتند. پس از آن نمونه‌های خشک شده از آون خارج، توزین (وزن خشک) و درصد رطوبت سبزیجات تعیین گردید. نمونه‌های خشک شده به وسیله هاون به صورت پودر در آمدند. برای تهیه عصاره سبزیجات از نسبت ۱ به ۴۰ نمونه به اسید استفاده شد. بدین منظور از هر نمونه ۰/۶۲۵ گرم به وسیله ترازوی دیجیتال توزین و در فالكون ریخته شده و ۲۵ سی سی اسید استیک ۲ درصد به آنها اضافه شد. سپس به مدت ۳۰ دقیقه به وسیله شیکر دورانی تکان داده شده و بعد از آن به مدت ۳ دقیقه سانتریفیوژ گردیدند. سپس با کاغذ صافی واتمن شماره ۴۲ صاف شدند. اندازه‌گیری نیترات به طور هم‌زمان با عصاره‌گیری (جلوگیری از رشد میکروارگانیسم‌ها در عصاره) به وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر مدل JENWAY ساخت کشور انگلستان، کالیبر شده با استانداردهای ppm ۰/۲، ۰/۴، ۰/۶، ۰/۸، ۱، ۲ و ۵ نیترات ساخته شده از نمک نیترات پتاسیم در طول موج ۴۰۰ نانومتر انجام شد (۲۹).

داده‌های حاصل از این مطالعه توسط نرم‌افزار آماری SPSS v.17 تجزیه و تحلیل شدند. پس از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها و برابری واریانس‌ها، برای بررسی اثر همزمان نحوه آبیاری و خانواده‌های مختلف سبزیجات برگی بر تجمع نیترات در سبزیجات برگی (شاهی و اسفناج) از آزمون



جدول ۲- مقادیر ترکیبات شیمیایی موجود در آب چاه و فاضلاب مورد استفاده و مقایسه آن با حدود استاندارد

پارامتر	واحد	نوع آب آبیاری		میزان مجاز استاندارد ارائه شده جهت آبیاری		
		فاضلاب	آب چاه	آب چاه	بهداشت جهانی	پساب
BOD5	mg/l	۶۷۴	۱۹۹	-	-	۱۰۰
COD	mg/l	۳۵۰	۱۸	-	-	۲۰۰
pH	-	۷/۴۴	۷/۵۴	۷/۶	۸-۶/۵	۸-۶/۵
EC	ds/m	۱/۲	۱/۳	۲/۶۱	-	۳
NO3	mg/l	۳۵/۴۳	۳/۸	-	۵	۳۰-۵
TDS	mg/l	۷۲۳	۸۳۱	-	۴۵۰	۴۵۰
نیتروژن کل	mg/l	۴۳/۴	۵/۶	-	-	۲/۴۲-۵
کدورت	NTU	۴۴	۳/۹	-	-	۵۰

کیفیت سبزیجات از لحاظ غلظت نیترات

یافته‌های حاصل از مطالعه حاضر نشان داد، نحوه آبیاری تأثیر معنی‌داری بر میزان نیترات تجمع یافته در سبزیجات برگی مورد مطالعه داشت (جدول ۳).

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس غلظت نیترات در تیمارهای مختلف فاضلاب در سبزیجات برگی مورد مطالعه

منابع تغییرات	میانگین مربعات	اندازه اثر	Pvalue
نحوه آبیاری	۴۷۲۲/۸۳	۰/۹۹	<۰/۰۰۱*
خانواده سبزیجات برگی	۲۰۲۸۷۶/۶۴	۰/۹۹	<۰/۰۰۱*
اثر متقابل نحوه آبیاری و خانواده سبزیجات برگی	۱۷۲/۳۹	۰/۸۰	<۰/۰۰۱*
خطا	۷/۶۶	-	-

* اختلاف معنی‌دار در سطح معنی‌داری $P < 0.05$

بین خانواده‌های سبزیجات برگی مورد مطالعه از نظر میزان نیترات تجمع یافته اختلاف معنی‌داری مشاهده شد، بطوریکه بیشترین غلظت نیترات در هر چهار تیمار مربوط به اسفناج و کم‌ترین مربوط به شاهی بود (جدول ۳ و ۴).
اثر متقابل بین نحوه آبیاری و خانواده‌های سبزیجات مورد مطالعه بر میزان نیترات تجمع یافته معنی‌دار بود. در مجموع

غلظت نیترات اسفناج بیشتر از شاهی و حداکثر غلظت نیترات اندام هوایی سبزیجات مربوط به T_4 (تیمار آبیاری با فاضلاب) بود (جدول ۳ و ۴).



جدول ۴- نتایج حاصل از نیترا ت جمع یافته در تیمارهای مختلف سبزیجات و میزان مصرف مجاز تیمارهای مختلف سبزیجات
بر اساس رهنمود سازمان بهداشت جهانی

تیمار	متوسط غلظت نیترا ت (mg/kg وزن تر)			مقدار مصرف مجاز (g/day) برای فرد ۷۰ kg *			مقدار مصرف مجاز (g/day) برای کودک ۲۵ kg *		
	سبزیجات برگه‌ای	اسفناج	شاهی	سبزیجات برگه‌ای	اسفناج	شاهی	سبزیجات برگه‌ای	اسفناج	شاهی
T ₁	۲۴۲/۳۴/۱۰۷±۲۵	۳۴۰/۲۳ ± ۲/۷۹	۱۴۴/۴۴ ± ۱/۸	۱۰۶۹	۷۶۱	۱۷۹۳	۳۸۲	۲۷۲	۶۴۰
T ₂	۲۶۴/۱۰۲±۹۸/۰۳	۳۵۸/۱۰ ± ۱/۷۷	۱۷۱/۸۷ ± ۳/۶۱	۹۷۷	۷۲۳	۱۵۰۷	۳۴۹	۲۵۸	۵۳۸
T ₃	۲۷۸/۱۰۰±۶۸/۶۳	۳۷۰/۵۳ ± ۲/۱۶	۱۸۶/۸۳ ± ۲/۳۶	۹۲۹	۶۹۹	۱۳۸۶	۳۳۲	۲۵۰	۴۹۵
T ₄	۳۰۹/۹۳±۴۴/۰۶	۳۵/۳۹۴ ۴/۳۶ ±	۲۲۴/۵۲ ± ۲/۱۶	۸۳۷	۶۵۷	۱۱۵۳	۲۹۹	۲۳۴	۴۱۲

* با فرض این که فرد مورد نظر از آب و منابع دیگر دارای نیترا ت استفاده نکند، محاسبه شده است.

گرم سبزی، مقدار مجاز نیترا ت در بدن فرد تأمین شده و در صورت مصرف بیشتر، سبب بروز اختلالات و اثرات مضر ناشی از نیترا ت در بدن می‌گردد. قابل ذکر است که این موضوع برای کودکان از اهمیت بیشتری برخوردار است، به عنوان مثال مصرف سبزی آبیاری شده با فاضلاب برای یک کودک ۲۵ کیلوگرم به ۲۹۹ گرم در روز کاهش می‌یابد که خود بیان گر تأثیر و اهمیت بیشتر مصرف سبزی در رژیم غذایی کودکان نسبت به بزرگسالان است (جدول ۴).

در جدول ۵ نتایج آزمون تی تک نمونه‌ای به منظور مقایسه میانگین غلظت یون نیترا ت اسفناج و شاهی در شیوه‌های مختلف آبیاری با رهنمود سازمان بهداشت جهانی آمده است (۲۸).

با توجه به رهنمود سازمان بهداشت جهانی که حد مجاز مصرف روزانه نیترا ت برای انسان را کمتر از ۳/۷ میلیگرم بر کیلوگرم وزن بدن، مشخص کرده (۲۴و۲۵) و متوسط غلظت نیترا ت در تیمارهای مختلف سبزیجات برگه‌ای مورد مطالعه، مقدار مصرف مجاز روزانه سبزی در هر تیمار برای پیشگیری از مصرف بیش از حد نیترا ت محاسبه شده است (جدول ۴). بر این اساس چنانچه فردی با وزن ۷۰ kg از سبزیجات آبیاری شده با آب چاه در رژیم غذایی خود استفاده کند، می‌تواند به میزان ۱۰۶۹ گرم در روز از سبزیجات مورد مطالعه مصرف نماید، اما اگر از سبزیجات آبیاری شده با فاضلاب در رژیم غذایی خود استفاده نماید، مقدار مصرف آن به ۸۳۷ گرم در روز کاهش می‌یابد، چرا که با مصرف ۸۳۷

جدول ۵- مقایسه غلظت نیترا ت در تیمارهای مختلف سبزیجات برگه‌ای مورد مطالعه با رهنمود سازمان بهداشت جهانی

نحوه آبیاری	حد مجاز غلظت نیترات		میانگین غلظت نیترات		حد مجاز غلظت نیترات		میانگین غلظت نیترات	
	در اسفناج تازه		در اسفناج تازه		در شاهی تازه		در شاهی تازه	
	(mg/kg وزن تر)		(mg/kg وزن تر)		(mg/kg وزن تر)		(mg/kg وزن تر)	
T ₁	۳۸۹۰-۳۴۵	۳۴۰/۲۳	<۰/۰۰۱*	۳۰۰۰	۱۴۴/۴۴	<۰/۰۰۱*		
T ₂	۳۸۹۰-۳۴۵	۳۵۸/۱۰	<۰/۰۰۱*	۳۰۰۰	۱۷۱/۸۷	<۰/۰۰۱*		
T ₃	۳۸۹۰-۳۴۵	۳۷۰/۵۳	<۰/۰۰۱*	۳۰۰۰	۱۸۶/۸۳	<۰/۰۰۱*		
T ₄	۳۸۹۰-۳۴۵	۳۹۴/۳۵	<۰/۰۰۱*	۳۰۰۰	۲۲۴/۵۲	<۰/۰۰۱*		

* اختلاف معنی‌دار در سطح معنی‌داری $P < ۰/۰۵$



بحث

در مطالعه حاضر تأثیر تعداد دور و غلظت‌های مختلف فاضلاب خام شهری بر تجمع نیترات در سبزیجات برگی (شاهی و اسفناج) و ارزیابی خطر احتمالی ناشی از مصرف سبزیجات برگی (شاهی و اسفناج) دارای مقادیر مختلف نیترات، تحت شرایط کنترل شده و در محیط آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفته است.

از مقایسه ارقام پارامترهای اندازه‌گیری شده آب چاه با مقادیر استاندارد موجود به منظور کاربرد آب چاه در امر آبیاری می‌توان نتیجه گرفت که آب چاه از نظر کیفیت شیمیایی در وضعیت مطلوبی قرار دارد؛ همچنین در مقایسه با ارقام پارامترهای اندازه‌گیری شده فاضلاب خام با مقادیر استاندارد موجود به منظور کاربرد پساب مقادیر نیتروژن کل، هدایت الکتریکی، کل مواد محلول، اکسیژن مورد نیاز شیمیایی و اکسیژن مورد نیاز زیست شیمیایی بیشتر از میزان حد مجاز بود (جدول ۲).

نتایج تجزیه گیاهی حاصل از این تحقیق نشان داد، روند تغییر غلظت نیترات در اسفناج و شاهی تحت تیمارهای مختلف آبیاری با فاضلاب افزایشی بود، به‌طوری‌که بیشترین کم‌ترین غلظت نیترات به ترتیب در تیمار آبیاری با فاضلاب و تیمار آبیاری با آب چاه (تیمار شاهد) مشاهده شد (جدول ۴). میزان نیترات تجمع یافته در تیمارهای مختلف سبزیجات در دامنه مجاز گزارش شده توسط سازمان بهداشت جهانی و پایین‌تر از حد آستانه سمیت بود ($P \leq 0.05$). نتایج مطالعات چن^۱ و همکاران نیز نشان داد که با افزایش غلظت نیترات عرضه شده به خاک بیشترین انباشت نیترات در سبزی‌ها حاصل شده است (۲۷).

همچنین نتایج حاصل از پژوهش کافشانی و همکاران، نشان داد که غلظت نیترات در سبزیجات آبیاری شده با فاضلاب نسبت به سبزیجات آبیاری شده با آب چاه افزایش یافت، که مشابه نتایج به دست آمده از این تحقیق است (۲۶). حسین و همکاران نیز در پژوهش خود، افزایش عناصر غذایی نظیر نیتروژن و فسفر، افزایش مقدار نمک‌ها و نیز فلزات سنگین در خاک را بعد از کاربرد فاضلاب گزارش کردند (۳۲). نتایج حاصل از پژوهش جعفرنژادی و موسوی فضل نیز، حاکی از آن است که کاربرد طولانی مدت این منابع آبی ضمن آلودگی آب و خاک، کاهش عملکرد و کیفیت محصول، پایداری تولید کشاورزی و سلامت افراد جامعه را نیز با خطر مواجه می‌کند که با نتایج مطالعه حاضر همخوانی دارد (۴).

بر پایه نتایج به دست آمده از مطالعه حاضر، چنین به نظر می‌رسد که فاضلاب به علت غنی بودن از عناصر غذایی مختلف خصوصاً نیتروژن باعث افزایش غلظت نیترات سبزیجات مورد مطالعه در غلظت‌های بالاتر آبیاری با فاضلاب شده است (۳۱). همچنین روند افزایشی میزان نیترات در غلظت‌های بالاتر آبیاری با فاضلاب بیان‌گر این است که استعمال مداوم و پایدار از فاضلاب خام شهری، منجر به ورود و تجمع نیترات در سبزیجات و کاهش کیفیت آنها می‌شود.

نتایج حاصل از مطالعه اخیر نشان داد بین خانواده‌های سبزیجات برگی (خانواده چغندر و خانواده چلیپاییان) مورد مطالعه از نظر میزان نیترات تجمع یافته اختلاف معنی‌داری مشاهده می‌شود ($P \leq 0.05$). نتایج مطالعه الکساندر^۲ (۸) نیز نشان داد که برخی از سبزی‌ها مقدار زیادی نیترات در

Alexander^۲Chen^۱



به منظور کسب نتایج بهتر و دقیق‌تر لازم است در کنار مطالعات آزمایشگاهی، مطالعات میدانی نیز صورت گیرد. همچنین پیشنهاد می‌شود کیفیت سبزیجات از لحاظ سایر پارامترها نظیر تجمع فسفات و فلزات سنگین مورد ارزیابی دقیق قرار گیرد.

تشکر و قدردانی

این مقاله مستخرج از پایان‌نامه کارشناسی ارشد محیط زیست مصوب دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان است. نویسندگان در پایان از کلیه عزیزانی که در انجام این پژوهش همکاری نموده‌اند تشکر و قدردانی می‌نمایند.

اندام‌های خود ذخیره می‌کنند. در گزارش سانتاماریا^۱ (۳۳)، لندبرگ^۲ و همکاران (۳۴) نیز اسفناج در گروه سبزیجات با میزان نیترات بالا قرار داشت که مشابه نتیجه حاصل از این پژوهش است. نتایج مطالعه ایاز^۳ و همکاران بر روی هفت سبزی نیز نشان داد که بالاترین محتوای نیترات مربوط به سبزی اسفناج و جعفری است (۳۵). با استناد به مباحث تحقیقاتی فوق و نظر به این‌که انباشتگی مواد در گیاه به آب و هوا، خاک، گونه گیاهی و مدیریت کشاورزی وابسته است (۳۴-۲۵)، و با توجه به شرایط محیطی یکسان کشت سبزیجات در طی آزمایش و کنترل عوامل مؤثر، بالا بودن غلظت نیترات در اسفناج نسبت به شاهی را می‌توان به دلیل استعداد ژنتیکی و مربوط به تفاوت در خانواده‌های سبزیجات بیان نمود.

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش، افزایش غلظت و تداوم آبیاری با فاضلاب خام شهری سبب ورود آلاینده نیترات و تجمع آن در سبزیجات برگی (اسفناج و شاهی) گردیده و ضمن کاهش کیفیت و سلامت محصول تهدیدی بالقوه برای سلامت افراد جامعه است. از این رو با توجه به مصرف تازه خوری بسیاری از سبزیجات، استفاده غیر اصولی از فاضلاب خام شهری علاوه بر مسائل زیست‌محیطی و ایجاد آلودگی در منابع آب و خاک، مشکلات بسیاری از نظر سلامتی (تجمع نیترات) برای مصرف‌کنندگان به بار خواهد آورد؛ از این رو استفاده پایدار از فاضلاب در بخش کشاورزی نیازمند اعمال مدیریت صحیح مصرف و پایش کیفی اراضی آبیاری شده با فاضلاب است.

^۱ Santamaria
^۲ Lundberg
^۳ Ayaz



References

1. Janosova B, Miklankova J, Hlavinek P, Wintgens T. Drivers for wastewater reuse regional analysis in the Czech Republic. *Desalination* 2006;187(1-3):103-14.
2. Badiei A, Karandish F, Tabatabaei SM. The influence of irrigation with raw and treated municipal wastewater on wheat yield and microbial characteristics of soil and plant. *Water and Soil Science* 2017;26(4.2):215-28. [Persian]
3. Alinezhad Jahromi H, Mohammadkhani A, Salehi MH. The effect of using urban wastewater of shahrekord on growth, yield and accumulation of lead and cadmium in medicinal plant lemon balm (*melissa officinalis*). *JWSS* 2012;16(20):173-85. [Persian]
4. Jafarnejady A, Mousavifazl MH. Effects of treated wastewater on soil microbial and chemical contamination and wheat. *Water Research in Agriculture* 2014;28(3):517-525. [Persian]
5. Gheshlaghi Z, Khorassani R, Haghnia G, Kafi M. The effect of nitrate levels and harvest times on fe, zn, cu, and k, concentrations and nitrate reductase activity in lettuce and spinach. *JCPP* 2015;5(16):315-31. [Persian]
6. Woldetsadik D, Drechsel P, Keraita B, Keraita F, Keraita H. Heavy metal accumulation and health risk assessment in wastewater-irrigated urban vegetable farming sites of Addis Ababa, Ethiopia. *International Journal of Food Contamination* 2017; 4:9
7. Amare E, Kebede F, Kloos H, Mulat W. Wastewater confronting realities for sustainable livelihood in developing countries: case study Mekelle University, Ethiopia. *Water Conserv Sci Eng* 2017;2(1):21-30
8. Alexander J, Benford D, Cockburn A, Cravedi JP, Dogliotti E, Di Domenico A, *et al.* Nitrate in vegetables: Scientific opinion of the panel on contaminants in food chain. *The EFSA Journal* 2008;689:1-79.
9. Sadeghi E, Hashemian A, Mohammadi M, Bohloul Oskoi S, Meskini H, Mohammadi R *et al.* Study on the effect of boiling and freezing process on nitrate and nitrite levels in abundant consumed vegetables. *Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology* 2013;8(3):201-8. [Persian]
10. Sobhan Ardakani S, Shayesteh K, Afiooni M, Mahboobi Soofiani N. Nitrate concentration in some of vegetable products in Esfahan. *Journal of Environmental Studies* 2005;31(37):69-76. [Persian]
11. Zohrehvand F, Takdastan A. Concentrations of heavy metals in vegetables of farming lands irrigated with water from Karun river in Ahvaz. *j.health* 2017;8(4):385-93. [Persian]
12. Najafi N, Parsazadeh M, Tabatabaei SJ, Oustan SH. Effects of nitrogen form and pH of nutrient solution on the uptake and concentrations of Potassium, Calcium, Magnesium and Sodium in root and shoot of spinach plant. *Water and Soil Science* 2010;20(2):111-31. [Persian]
13. Bunea, A, Andjelkovic M, Socaciu C, Bobis O, Neacsu M, Verhé R, *et.al.* Total and individual carotenoids and phenolic acids content in fresh, refrigerated and processed spinach (*Spinacia oleracea* L.). *Food Chem* 2008;108(2):649-56.
14. Fallah Mortezaezhad SM, Peyvast GhA, Olfati JA, Sammak B. Effects of chemical and organic fertilizers on yield and nitrate accumulation in spinach (*Spinacia oleracea* L.). *J of Plant Prod Res* 2014;21(1):49-68. [Persian]
15. Najjar khodabakhsh A, Chaparzadeh N. The role of ascorbic acid in reduction of oxidative effects of salinity on *Lepidium sativum* L. *Journal of Plant Research* 2015;28(1):175-85. [Persian]
16. Kiani Sh., Gheytsi M. Evaluation of nitrate and nitrite accumulation in vegetables exposed on Shahrekord's markets. *Journal of Food Hygiene* 2016;5(4):67-79. [Persian]
17. Ward MH, deKok TM, Levallois P, Brender J, Gulis G, Nolan BT, *et al.* Workgroup report: Drinking-water nitrate and health-recent findings and research needs. *Environ Health Perspect* 2005;113(11):1607-14.
18. Sadeghi1 E, Sharafi K, Almasi A, Dayhim M, Azizi E, Ghayebzadeh M. Study on the nitrite and nitrate levels changes by drying and frying. *ijhe* 2015;7(4):491-98. [Persian]
19. Sindelar JJ, Milkowski AL. Human safety controversies surrounding nitrate and nitrite in the diet. *Nitric Oxide* 2012;26(4):259-66.
20. Shahbazzadegan S, Hashemimajd K, Shahbazi B. Determination of nitrate concentration of consumed vegetables and fruits in Ardabil. *J Ardabil Univ Med Sci* 2010;10(1):38-47. [Persian]

21. Gatseva PD, Argirova MD. High-nitrate levels in drinking water may be a risk factor for thyroid dysfunction in children and pregnant women living in rural Bulgarian areas. *Int J Hyg Environ Health* 2008;211(5):555-9.
22. Zhang Y, Lin X, Zhang Y, Zhang SJ, Du S. Effects of nitrogen levels and nitrate/ammonium ratio on oxalate concentration of different forms in edible parts of spinach. *Journal of Plant Nutrition* 2005;28(11):2011-25.
23. Taghipour H, Nowrouz P, Dastgiri Mehri S, Bafandeh Y, Mahdavi R, Hashemimajd K. Estimating of dietary nitrate consumption in two cities of Varzaghan and Parsabad with different occurrence of gastric cancer. *J Ardabil Univ Med Sci* 2014;14(3):266-73. [Persian]
24. Hashemi Majd K, Fathi Achachiloei B. [Estimation of nitrate dietary intake to food of Ardabilcitizens]. *Agricultural Science* 2007;17(1):91-8. [Persian]
25. Pavlou GC, Ehalotis CD, Kavvadias VA. Effect of organic and inorganic fertilizers applied during successive crop seasons on growth and nitrate accumulation in lettuce. *Scientia Horticulturae* 2007;111(4):319-25.
26. Kafeshani O, Yahai M, Entezari MH, Hassanzadeh A, Mohebat L, Torabi A. Comparing the nitrate level in vegetables irrigated with Zayandehrood river and well water. *J Health Syst Res* 2013;9(2):196-201. [Persian]
27. Chen BM, Wang ZH, Li SX, Wang GX, Song HX, Wang XN. Effects of nitrate supply on plant growth, nitrate accumulation, metabolic nitrate concentration and nitrate reductase activity in three leafy vegetables. *J Plant Sci* 2004;167:635-43.
28. WHO. Nitrates, Nitrites and N-Nitroso Compounds. *Environmental Health Criteria*. Geneva .1978. Available From: <http://www.who.int/iris/handle/10665/38763>
29. Jones JB. *Laboratory guides for conducting soil tests and plant analysis*. CRC Press; 2001.
30. Dutt MC, Lim HY, Chew RK. Nitrate consumption and the incidence of gastric cancer in Singapore. *Food Chem Toxicol* 1987;25(7):515-20.
31. Rahmani HR. Investigation of nitrate pollution in the soil, water and plants in some agricultural fields in Baraan (Esfehan). *ENVIRONMENTAL SCIENCES* 2006;3(11):23-34. [Persian]
32. Hussain I, Raschid L, Hanjra MA, Marikar F, Vander Hoek W. Wastewater use in agriculture: Review of impacts and methodological issues in valuing impacts: with an extended list of bibliographical references. *International Water Management Institute (IWMI)* 2002;37-55.
33. Santamaria P. Nitrate in vegetables: toxicity, content, intake and EC regulation. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 2006;86(1):10-17.
34. Lundberg JO, Weitzberg E, Gladwin MT. The nitrate-nitrite-nitric oxide pathway in physiology and therapeutics. *Nat Rev Drug Discov* 2008;7(2):156-67
35. Ayaz A, Topcu A, Yurttagul M. Survey of nitrate and nitrite levels of fresh vegetables in Turkey. *J Food Tech* 2007;5(2):177-79.