

# گندزدایی آب تصفیه‌خانه آب و پساب تصفیه‌خانه فاضلاب اصفهان با اشعه گاما

حسن هاشمی<sup>۱</sup> محمد مهدی امین<sup>۲</sup> بیژن بینا<sup>۳</sup> محمد عبدالهی<sup>۴</sup> مریم حاتم‌زاده<sup>۵</sup>

(دریافت ۸۸/۱/۱۸ پذیرش ۸۹/۴/۶)

## چکیده

برای بررسی تأثیر اشعه گاما بر گندزدایی آب و فاضلاب، نمونه‌های آب خام و آب فیلتر شده تصفیه‌خانه آب اصفهان، نمونه‌های پساب ثانویه خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب شمال اصفهان، پساب ثانویه زلال‌سازی شده با زمان ماند یک روز و پساب ثانویه فیلتر شده جمع‌آوری شد. با استفاده از دستگاه درمانی <sup>60</sup>Co مولد اشعه گاما با نرخ انتشار اشعه ۴۰۵/۳۸ CGy/min، نمونه‌های آب در دزهای ۲۰-۱۶۰ Gy و نمونه‌های پساب در دزهای ۲۴۰-۸۰ پرتو دهی گردید. برای تعیین میزان کلیفرم قبل و بعد از پرتو دهی، بر روی نمونه‌ها کشت میکروبی انجام شد. بر اساس نتایج آزمایش‌های میکروبی، تقریباً ۱۰۰ درصد کلیفرم‌های کل و مدفوعی در نمونه‌های آب در دز ۱۶۰ Gy از اشعه گاما غیر فعال شدند. کارایی اشعه گاما در غیر فعال‌سازی کلیفرم‌های کل پساب در دز ۲۴۰ Gy، بسته به کیفیت آنها متفاوت بود و برای نمونه‌های پساب ثانویه، زلال شده و فیلتر شده به ترتیب ۵۶، ۸۳، ۶۴ درصد بود. کاهش کلیفرم‌های مدفوعی نیز به ترتیب ۴۶، ۵۸، ۸۱ درصد به دست آمد. همچنین کاهش مؤثر (۵ تا ۸۰ درصد) بار کلیفرمی نمونه‌های پساب، در دزهای ۲۴۰-۱۲۰ Gy مشاهده شد. طبق منحنی‌های دز-پاسخ، با افزایش دز پرتو، غیر فعال‌سازی کلیفرم‌ها به صورت خطی افزایش می‌یابد. با دز گامای مورد استفاده در این مطالعه در نمونه‌های آب، راندمان حذف کامل کلیفرم‌ها حاصل گردید. اما برای نمونه‌های فاضلاب با وجود راندمان‌های بالای ۸۰ درصد در نمونه‌های فیلتر شده پساب، هنوز استاندارد زیست‌محیطی مرتبط با پارامترهای میکروبی پساب برآورده نمی‌شود، بنابراین لازم است دزهای بالاتر اشعه مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: گندزدایی، آب و پساب، اشعه گاما

## Disinfection of Water and Wastewater Using Gamma Irradiation in Isfahan Water and Wastewater Treatment Plants

Hassan Hashemi<sup>1</sup> Mohammad Mehdi Amin<sup>2</sup> Bijan Bina<sup>3</sup>  
Mohammad Abdellahi<sup>4</sup> Maryam Hatamzadeh<sup>5</sup>

(Received Apr. 7, 2009 Accepted June 27, 2010)

### Abstract

To investigate the effect of gamma irradiation on the disinfection of water and wastewater, water samples were collected from raw and filtered water and wastewater samples were taken from the effluent of the secondary sedimentation, polished effluent (1-day retention time), and also from filtered (rapid sand filter) effluent. The samples were irradiated with gamma collimated beam in a batch system using a Co-60 therapeutic gamma radiation machine with a radioactive source emission rate of 405.38CGy/min at different doses of 20-160 Gy and 80-240 Gy, respectively. The samples were analyzed before and after irradiation for total and fecal

1. Faculty Member of Environmental Health Eng., Faculty of Public Health, Shahrekord University of Medical Sciences, Shahrekord
2. Asist. Prof., Environment Research Center., Faculty of Public Health, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan (Corresponding Author) (+98 311) 7922686 amin@hlth.mui.ac.ir
3. Prof., Environment Research Center., Faculty of Public Health, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan
4. Faculty Member of Medical Physics, Boushehr University of Medical Sciences
5. B. A. of Microbiology, Environment Research Center, Isfahan University of Medical Sciences

- ۱- عضو هیئت علمی گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهرکرد
- ۲- استادیار، مرکز تحقیقات محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان (نویسنده مسئول) ۷۹۲۲۶۸۶ (+۳۱۱) amin@hlth.mui.ac.ir
- ۳- استاد، مرکز تحقیقات محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان
- ۴- عضو هیئت علمی گروه فیزیک پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی بوشهر
- ۵- کارشناس میکروبیولوژی، مرکز تحقیقات محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان

coliforms. It was observed that nearly 100% reduction was achieved in total and fecal coliforms in water samples treated with a dose of 160 Gy. Depending on effluent quality, disinfection efficiencies achieved using 240 Gy gamma irradiation for inactivation of total coliforms in wastewater samples were 83, 64, and 56 percent for filtered, clarified, and secondary effluents, respectively. The same values were nearly 81, 58, and 46 percent, respectively, for inactivation of fecal coliforms. At lower doses of 120-240Gy, the coliform bacteria were successfully inactivated. It was concluded that a linear correlation holds between the dose delivered and the inactivation of microorganisms, so that inactivation increases with increasing irradiation time.

**Keywords:** Disinfection, Water, Treated Wastewater, Gamma Irradiation.

## ۱- مقدمه

گندزدایی آب و فاضلاب با استفاده از مواد شیمیایی یا عوامل فیزیکی انجام می‌شود. پرتوهای مورد استفاده در این روش به دو دسته پرتوهای یونیزان شامل پرتو ایکس، گاما، باریک الکترن، آلفا و بتا و پرتوهای غیر یونیزان (اشعه ماورابنفش) تقسیم می‌شوند [۱]. استفاده از پرتوها، از جمله روشهای نوین گندزدایی است. هر چند که استفاده از پرتوها با کشف خاصیت گندزدایی نور خورشید از قدیم مورد توجه بوده است ولی استفاده از پرتوهای یونیزان، روشی است که به خاطر قدرت نفوذ بیشتر، کارایی بالا در فرایند گندزدایی و عدم تولید مواد جانبی، اخیراً مورد توجه قرار گرفته است. همچنین باید توجه داشت که سمیت پساب گندزدایی شده با پرتو گاما کمتر است [۲ و ۳]. استفاده از تابش‌های یون‌ساز باعث رادیولیز آب و ایجاد الکترون‌های هیدراته، رادیکال آزاد هیدروکسیل و هیدروژن می‌شود و میل به واکنش‌های شیمیایی قوی آنها سبب غیرفعال نمودن میکروارگانیسم‌ها و تجزیه آلودگی‌ها می‌شود [۴ و ۵].

گندزدایی با اشعه گاما گزینه‌ای جالب برای تصفیه آب، فاضلاب و لجن به صورت مستقیم و در ترکیب با سایر فرایندها به شمار می‌رود [۶]. اشعه گاما از امواج الکترومغناطیسی است که دارای طول موج کوتاه و قدرت نفوذ زیاد است. این روش گندزدایی به صورت تابش اشعه گاما منتشره از ایزوتوپ‌های ساطع کننده آن (سزیم-۱۳۷ یا کبالت-۶۰) به آب و پساب است. قدرت منبع گاما، تعیین کننده زمان تماس با اشعه گاما است. پرتوهای یون‌ساز از طریق دو مکانیسم یون‌سازی و تحریک، با محیط مادی تبادل انرژی می‌کنند. در بافت زنده، یون‌سازی موجب ایجاد رادیکال‌های آزاد، تغییر ساختارهای ملکولی درون سلولی و به تبع آن تغییر ساختار اجزاء ریزسلولی و نهایتاً مرگ سلول می‌شود [۷]. برای تولید اشعه گاما می‌توان از زائادات نیروگاههای هسته‌ای نیز استفاده نمود. بازیابی این زائادات گامی مؤثر در جهت بازیافت مواد زائد رادیواکتیو راکتورها به شمار می‌آید [۸].

اسیدهای نوکلئیک اهداف اصلی پرتوافکنی یونیزه است که باعث تخریب مواد ژنتیکی میکروب‌ها می‌شود. سطح انرژی پرتودهی نسبتاً پایین بوده و لذا موجب تولید پساب رادیواکتیو نمی‌شود. پرتوافکنی یونیزه به طور مستقیم و یا غیر مستقیم، با تولید

رادیکال‌های آزاد، میکروارگانیسم‌ها را غیر فعال می‌سازد. پرتو گاما قادر به تخریب میکروب‌ها و تغییر ساختار آلی است. در گندزدایی با اشعه گاما فاکتورهای مختلف فیزیکی مانند دما و قدرت منبع، شیمیایی مانند عوامل حساس کننده و حفاظت کننده و فاکتورهای بیولوژیکی یا فیزیولوژیکی مانند فاز رشد و مقدار DNA اثر دارند. حساسیت میکروارگانیسم‌ها نسبت به پرتوافکنی، بسته به نوع پاتوژن متغیر است. تکنولوژی استفاده از پرتوها در گندزدایی آب و فاضلاب و لجن در نقاط مختلف دنیا بررسی شده است. اگرچه قریب به ۵۰ سال قبل به استفاده از اشعه گاما پی برده شد ولی فقط در سالهای اخیر چندین گزارش در مورد نقش بالقوه این پرتو در تصفیه فاضلاب وجود دارد. مطالعات اخیر در کشورهای مختلف دنیا تأثیر تابش یونیزان بر تصفیه آب و فاضلاب را ثابت نموده است. در سال ۱۹۹۲ بخش انرژی اتمی هند که در زمینه فناوری پرتودهی به منظور ارتقا بهداشت عمومی و حفاظت محیط فعالیت دارد، گندزدایی پساب تصفیه‌خانه فاضلاب را با استفاده از اشعه گاما در حذف بار پاتوژن‌ها مورد بررسی قرار داد. تجهیزات تابش برای تصفیه آب و فاضلاب در کشورهای زیادی نصب شده است. اولین سیستم تابش گاما برای گندزدایی لجن در سال ۱۹۷۳ در آلمان نصب شد که به منظور کاهش جرم بیولوژیکی در چاههای آب هم مورد استفاده قرار گرفت.

هدف از انجام این مطالعه، تأثیر اشعه گاما بر گندزدایی آب و پساب بود. در زمان انجام این تحقیق با مرور مطالعات انجام شده در داخل کشور، پژوهشی در زمینه گندزدایی آب و پساب با پرتو گاما در ایران مشاهده نشد.

## ۲- مواد و روشها

این مطالعه از نوع توصیفی بوده و در یک راکتور با جریان ناپیوسته<sup>۱</sup> در مقیاس آزمایشگاهی انجام شد. در این تحقیق برای بررسی کارایی اشعه گاما در حذف کلیفرم‌ها، نمونه‌های میکروبی به صورت لحظه‌ای از آب خام ورودی به تصفیه‌خانه آب اصفهان و بعد از فیلتراسیون (قبل از واحد گندزدایی) و نیز از پساب نهایی

<sup>1</sup> Batch

پس از عمل پرتودهی، برای تعیین درصد حذف کلیفرم‌ها در نمونه‌های پرتودهی شده و تعیین کارایی فرایند پرتودهی در عمل گندزدایی، مجدداً آزمایش میکربی بر روی نمونه‌ها انجام شد. آزمایش‌های میکربی بر روی نمونه‌های آب، به‌روش تخمیر چند لوله‌ای (۱۰ لوله‌ای در محیط لاکتوز براث ۲ غلظتی) و برای پساب در رقت‌های  $10^{-3}$ ،  $10^{-4}$ ،  $10^{-5}$  انجام شد [۵].

### ۳- نتایج و بحث

پاتوژن‌های باکتریایی در اثر پرتوفاکنی با دز بین ۲۰۰ تا ۳۰۰ کیلو راد به‌طور مؤثری (۸-۶ لگاریتم) کاهش می‌یابند. دز ۱ مگا راد (Mrad) برای حذف پاتوژن‌های باکتریایی، قارچی، ویروسی و نیز انگل‌ها کافی است. طبق تحقیقاتی که در سال ۲۰۰۶ در بغداد بر روی کارایی پرتوهای یونیزان بر گندزدایی فاضلاب شهری انجام شد، دز ۵۰۰ - ۱۰۰۰ راد در کاهش میکروارگانیسم‌ها در حد استاندارد مؤثر بود [۲]. دز ۵ کیلوگری از الکترون‌های پراثری باعث کاهش ۹۰ درصد بار میکربی پساب شد [۹].

در این مطالعه، تعداد کلیفرم‌های کل و مدفوعی پس از پرتودهی با دز ۱۶۰ Gy، از ۲۳ MPN/100mL به صفر رسید و در نمونه آب فیلتر شده نیز از ۱۶ MPN/100mL به صفر کاهش یافت (شکل ۲). در نمونه پساب ثانویه خروجی از تصفیه‌خانه فاضلاب شمال اصفهان، پس از پرتودهی با دز ۲۴۰ Gy، تعداد کلیفرم‌ها از  $10^5$  MPN/100mL به  $10^4$  MPN/100mL و تعداد کلیفرم‌های مدفوعی از  $5 \times 10^4$  MPN/100mL به  $10^4$  MPN/100mL کاهش یافت (شکل ۳-الف). همچنین تعداد کلیفرم‌های کل در این دز تابشی، در نمونه پساب زلال شده در یک واحد پایلوت با زمان ماند یک روز از  $10^4$  MPN/100mL به  $10^4$  MPN/100mL و تعداد کلیفرم‌های مدفوعی از  $10^4$  MPN/100mL به  $10^4$  MPN/100mL کاهش یافت (شکل ۳-ب).

بر طبق تحقیقات انجام شده در هند که با دستگاه  $^{60}\text{Co}$  با قدرت پرتودهی ۸۰ کیلوکوری انجام شد، دز ۲ کیلوگری از اشعه گاما باعث کاهش مؤثر بار کلیفرم‌ها در فاضلاب خام به کمتر از ۱۰۰ CFU/ml شد. همچنین پارامترهای فیزیکیوشیمیایی پساب گندزدایی شده با اشعه گاما نیز اندازه‌گیری شد که برای استفاده در کشاورزی مناسب بود [۱۰].

در نمونه پساب فیلتر شده در واحد پایلوت فیلتر شنی، تعداد کلیفرم‌ها از  $10^4$  MPN/100mL به  $10^4$  MPN/100mL و تعداد کلیفرم‌های مدفوعی از  $10^4$  MPN/100mL به  $10^4$  MPN/100mL کاهش یافت (شکل ۳-ج). لازم به‌ذکر است که در دزهای ۲۴۰ - ۱۲۰ Gy، بار کلیفرمی نمونه‌ها به‌طور

خروجی از تصفیه‌خانه فاضلاب شمال اصفهان، پساب نهایی زلال‌سازی شده در یک واحد پایلوت با زمان ماند یک روز و پساب نهایی فیلتر شده توسط یک واحد پایلوت فیلتر شنی تحت فشار با دانه‌های ۴ تا ۶ میلی‌متر، جمع‌آوری شد. سپس آزمایش میکربی برای تعیین بار کلیفرم‌های کل و مدفوعی به‌روش تخمیر چند لوله‌ای بر روی نمونه‌های آب و پساب انجام شد [۵]. نمونه‌ها به بخش پرتو درمانی بیمارستان سیدالشهدا اصفهان انتقال داده شد و توسط دستگاه  $^{60}\text{Co}$  به‌عنوان منبع اشعه گاما، پرتودهی گردید. دستگاه کبالت مدل فوینکس  $^{60}\text{Co}$  یک دستگاه کامل برای استفاده تله تراپی است که شامل چشمه  $^{60}\text{Co}$ ، گنتری قابل چرخش، مجموعه سر درمان قابل چرخش، کلیماتور با قابلیت تنظیم، تخت درمان، کنترل دستی و میز فرمان است (شکل ۱).



شکل ۱- تصویر دستگاه  $^{60}\text{Co}$  مورد استفاده جهت پرتودهی نمونه‌ها در این مطالعه

میزان پرتودهی نمونه‌ها بر حسب گری (واحد دز جذبی) با استفاده از مشخصات خروجی دستگاه کبالت که به‌صورت ماهیانه در بخش پرتودهی تعیین می‌گردد، بر حسب سانتی‌گری در دقیقه محاسبه شد.

= دز اشعه گاما ساطع شده از دستگاه  $^{60}\text{Co}$

$$378/61 \times 1/0.87 \times 7.98 / 5 = 40.5/3 \text{ACGy/min}$$

نمونه‌های آب به مدت ۵ تا ۴۰ دقیقه و نمونه‌های پساب به مدت ۲۰ تا ۶۰ دقیقه مورد پرتودهی قرار گرفتند. با توجه به‌شدت پرتو خروجی و مدت زمان پرتودهی نمونه‌ها، میزان دز دریافتی هر نمونه طبق رابطه زیر تعیین شد

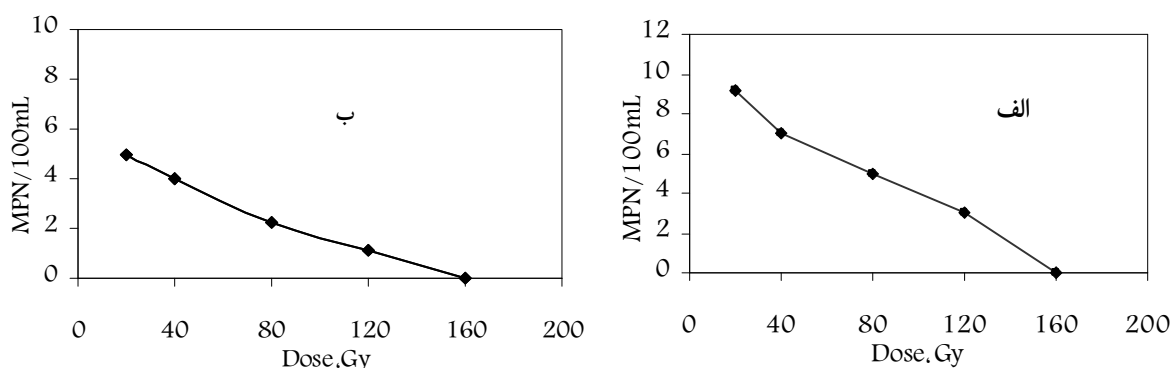
$$D=I \times t \quad (1)$$

که در این رابطه D میزان دز دریافتی، t زمان پرتودهی و I شدت پرتو خروجی است.

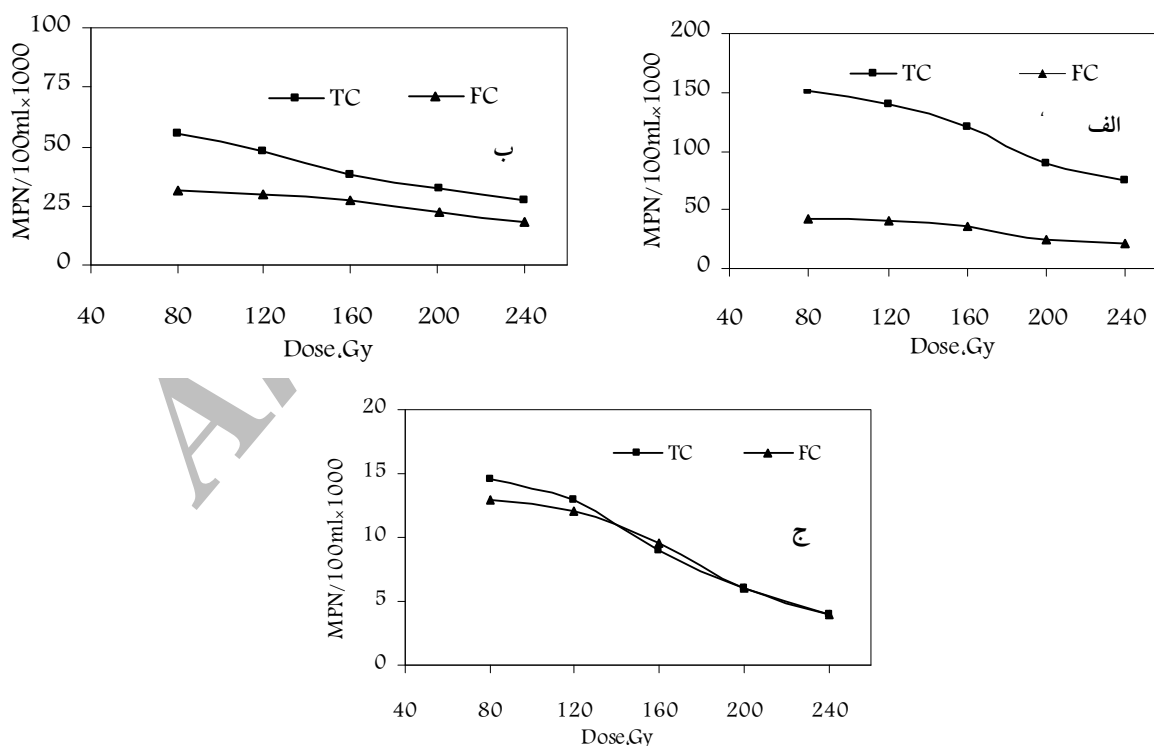
<sup>1</sup> Phoenix 60

شد. در مطالعه دیگری برای کاهش ۱ Log از کلیفرم‌ها، دز Gy ۲۰۰ و برای غیرفعال‌سازی ۳-۴ Log از کلیفرم‌ها در فاضلاب خام، دز ۱۰۰۰-۲۰۰۰ Gy مورد نیاز بود. برای باکتری‌های مولد اسپور ۵۰۰۰ Gy و برای غیرفعال‌سازی ۱ Log از/شرشیاکلی با اشعه گاما دز ۸۰ Gy گزارش شده و برای ۴ Log دز ۲۵۰ Gy پیشنهاد شده است [۱۱ و ۱۲]. همچنین کارایی اشعه گاما در این دز برای غیرفعال‌سازی کلیفرم مدفوعی به ترتیب ۴۶، ۵۸ و ۸۱ درصد در نمونه‌های پساب ثانویه، زلال شده و فیلتر شده را نشان می‌دهد.

مؤثری (۵۰ تا ۸۰ درصد) کاهش یافتند. همان‌گونه که در نمودارهای دز- پاسخ دیده می‌شود، با پرتو دهی نمونه‌های آب خام و فیلتر شده در دز تابشی ۱۶۰ Gy، کلیفرم‌ها به‌طور کامل غیرفعال شدند (شکل ۴- الف). در پرتو دهی نمونه‌های پساب در دز اشعه ۲۴۰ Gy، غیرفعال‌سازی کلیفرم کل در نمونه‌های پساب ثانویه، زلال شده و فیلتر شده به ترتیب ۵۶، ۶۴ و ۸۳ درصد بود (شکل ۴- ب). استفاده از اشعه گاما در گندزدایی فاضلاب در مقیاس کامل در آلمان انجام شد. در این تحقیق دز اشعه گاما برای غیرفعال‌سازی ۴ Log از کلی‌فاژها و کلیفرم‌ها، ۵۰۰۰ Gy تعیین



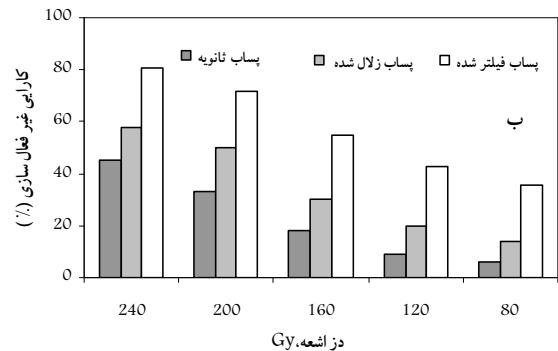
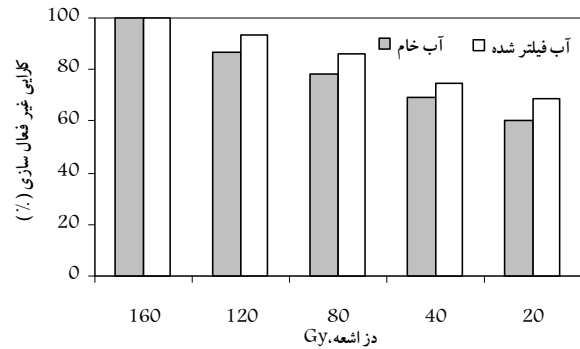
شکل ۲- نمودار میزان کلیفرم کل و مدفوعی پس از گندزدایی با اشعه گاما در دز ۱۶۰ Gy: (الف) در آب خام و (ب) در آب فیلتر شده تصفیه‌خانه آب اصفهان



شکل ۳- نمودار میزان کلیفرم کل و مدفوعی پس از گندزدایی با اشعه گاما در دز ۲۴۰ Gy: (الف) در پساب ثانویه خروجی از تصفیه‌خانه فاضلاب شمال اصفهان، (ب) در پساب ثانویه زلال‌سازی شده در واحد پایلوت با زمان ماند یک روز و (ج) در پساب ثانویه فیلتر شده

#### ۴- نتیجه گیری

آزمون آماری در هر یک از نمونه‌های آب خام و فیلتر شده، تفاوت معنی‌داری بین تعداد کلیفرم‌های نمونه‌های آب قبل و بعد از پرتودهی نشان داد. اشعه گاما با دز ۱۶۰ Gy قادر به غیرفعال‌سازی کلیه باکتری‌های کلیفرم کل و مدفوعی در تصفیه‌خانه آب اصفهان است و استانداردهای آب شرب از طریق گندزدایی با اشعه گاما قابل حصول است ( $P\text{-Value} < 0.001$ ). همچنین بین تعداد کلیفرم نمونه‌های پساب (ثانویه، زلال‌سازی شده و فیلتر شده) قبل و بعد از پرتودهی، تفاوت معنی‌دار بود ( $P\text{-Value} < 0.05$ ). اگر چه در نمونه‌های پساب فیلتر شده توسط واحد پایلوت فیلتراسیون شنی، راندمان حذف کلیفرم‌ها با استفاده از اشعه گاما با دز ۸۰، ۲۴۰ Gy، ۱۰۰۰ کلیفرم کل در ۱۰۰ میلی‌لیتر و ۴۰۰ کلیفرم مدفوعی در ۱۰۰ میلی‌لیتر پساب (استانداردهای سازمان محیط زیست ایران) نیست. طبق آزمون آماری t مستقل، تأثیر اشعه گاما بر گندزدایی نمونه‌های آب فیلتر شده بیشتر از تأثیر آن بر نمونه‌های آب خام بود. همچنین بر اساس آزمون آماری آنالیز واریانس یکطرفه، تأثیر اشعه گاما بر گندزدایی نمونه‌های پساب فیلتر شده در مقایسه با پساب ثانویه و زلال‌سازی شده بیشتر بود.



شکل ۴- نمودار کارایی اشعه گاما در غیرفعال‌سازی کلیفرم‌های مدفوعی: الف) در نمونه‌های آب در دز ۱۶۰ Gy و ب) در نمونه‌های پساب در دز ۲۴۰ Gy

#### ۵- مراجع

- 1- Tchobanglous, G., and Burton, F. (2003). *Wastewater Engineering Treatment, disposal and reuse*, 4<sup>th</sup> Ed., McGraw-Hill, Metcalf and Eddy Inc., New York.
- 2- Al-Ani, M. Y., and Al-Khalidy, F. R. (2006). "Use of ionizing radiation technology for treating municipal wastewater." *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 3(4), 360-368.
- 3- Thompson, E. J., and Blatchley, R. E. (1999). "Toxicity effects of gamma irradiated wastewater effluents." *Wat. Res.*, 33 (9) 2053-2058.
- 4- William, R. H., Geoffrey S. L., and Hendee, E. G. (2005). *Radiation therapy physics*, John Wiley and Sons Inc. Publication, New York.
- 5- Clesceri, L. S., Greenberg, A. E., and Eaton, A. D. (2005). *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 20<sup>th</sup> Ed., American Public Health Association, WEF., AWWA, Washington DC.
- 6- Knecht, A. M. (2001). *Hazardous and radioactive waste treatment technologies handbook*, 1<sup>st</sup> Ed., Idaho National Engineering and Environmental Laboratory, USA.
- 7- Taghipour, F. (2004). "Ultraviolet and ionizing radiation for microorganism inactivation." *Water Research*, 38 (18), 3940-3948.
- 8- Swinwood, J. F., Waite, T. D., Kruger, P. R., and Raso, S. M. (1994). "Radiation : Technologies for water treatment, A global perspective." *J. of the International Atomic Energy Agency*, 36 (1), 5-11.
- 9- Behjat, A., Mozahheb, S. A., Khalili, M. B., Vakhshoor, B., Zareshaei, H., and Fallahzadeh, M. (2007). "Advanced oxidation treatment of drinking water and wastewater using light-energy electron beam irradiation." *J. of Water and Wastewater*, 61, 60-68. (In Persian)
- 10- Gautam, S., Shah, M. R., Sabharwal, S., and Sharma, A. (2005). "Gamma irradiation of municipal sludge for safe disposal and agricultural use." *Wat. Res.*, 77 (5), 427-429.
- 11- Thompson, E. (1997). *Gamma irradiation for disinfection of water and wastewater*, Francis Pub., Purdue University, Indiana.
- 12- Rawat, K. P., Sharma, A., and Rao, S. M. (1998). "Microbiological and physicochemical analysis of radiation disinfection municipal sewage." *Wat. Res.*, 32 (3) 737-740.