

## Exploring cytotoxic drugs residues in hospital effluents: a narrative review

**Farshad Hashemian<sup>1</sup>, Elnaz Roohi<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Associate Professor, Department of Clinical Pharmacy, Faculty of Pharmacy, Tehran Medical Sciences, Islamic Azad University, Tehran, Iran

<sup>1</sup>PhD, Department of Clinical Pharmacy, Faculty of Pharmacy, Tehran Medical Sciences, Islamic Azad University, Tehran, Iran

### Abstract

**Background:** Cytotoxic waste management is one of the significant issues in healthcare system. The aim of the present study was to review studies conducted on investigation of possible levels of cytotoxic drug residues in hospital effluents.

**Materials and methods:** All peer-reviewed journal articles on investigation of possible levels of cytotoxic drugs residues in hospital effluents which were published before May 2019 were investigated. 51 publications which were mostly published between 2011 and 2016 were included.

**Results:** Anticancer medication continue to enter hospital effluents and urbane wastewaters. Hospital effluents seem to be one of the main sources of water contamination in this regard. Cytotoxic drugs and their metabolites are detected in hospital effluents in different countries across the globe. Platinum-based antineoplastic drugs, methotrexate, cyclophosphamide, ifosfamide and tamoxifen were found with higher concentrations across different studies.

**Conclusion:** Hospital waste management is one of the most important issues in health care system. According to the results of the present study, cytotoxic drugs residues are detected in the effluents of oncology wards of the investigated hospitals. Therefore, establishment of strict rules and regulations, provision of cytotoxic waste disposal and removal for the purpose of inactivating cytotoxic drugs in hospital effluents prior to entrance of the effluents to the sewage treatment systems is mandatory.

**Keywords:** *Hospital effluents, Antineoplastic drugs, Cytotoxic drugs, Hospital waste.*

**Cited as:** Hashemian F, Roohi E. Exploring cytotoxic drugs residues in hospital effluents: a narrative review. Medical Science Journal of Islamic Azad University, Tehran Medical Branch 2019; 29(4): 284-295.

**Correspondence to:** Farshad Hashemian

**Tel:** +98 9123183018

**E-mail:** hashemian.f@iaups.ac.ir

**ORCID ID:** 0000-0003-0016-3697

**Received:** 25 Oct 2019; **Accepted:** 25Aug 2019

## بررسی میزان باقی مانده داروهای ضد سرطان در پساب بیمارستانی: یک مطالعه مروری

فرشاد هاشمیان<sup>۱</sup>، الناز روحی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>دانشیار، گروه داروسازی بالینی، دانشکده داروسازی، علوم پزشکی تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران  
<sup>۲</sup>دکتری تخصصی، مدرس دانشگاه، گروه داروسازی بالینی، دانشکده داروسازی، علوم پزشکی تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

### چکیده

**سابقه و هدف:** دفع زباله‌های سیتوتوکسیک در بیمارستان‌ها همواره از مسائل حائز اهمیت است. هدف از مطالعه حاضر، بررسی مطالعات انجام شده در خصوص میزان باقی مانده داروهای ضد سرطان در پساب بیمارستانی بود.

**روش بررسی:** کلیه مقالات اصیل و مروری که تا پیش از ماه می ۲۰۱۹، در زمینه اندازه‌گیری بقایای داروهای ضد سرطان در پساب بیمارستانی چاپ شده بودند، مورد جستجو قرار گرفتند. تعداد ۵۱ مقاله که اکثراً در بازه زمانی ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۶ به چاپ رسیده بودند، در مطالعه لحاظ شدند. **یافته‌ها:** داروهای سیتوتوکسیک به طور مداوم به فاضلاب‌ها وارد شده و بیمارستان‌ها به عنوان یکی از منابع اصلی آلوده کننده آب در این خصوص، به نظر می‌رسند. این داروها، متابولیت‌ها و بقایای آنها در نمونه‌های اخذ شده از پساب خروجی بیمارستان‌ها در کشورهای مختلف قابل اندازه‌گیری هستند. به طور میانگین، داروهای ضد سرطان پلاتین دار، متوتروکسات، سیکلوفسفاماید، ایفسفاماید و تاموکسیفن با غلظت بیشتر در مطالعات مورد بررسی گزارش شدند.

**نتیجه‌گیری:** مدیریت دفع زباله‌های پزشکی، یکی از خطرناک‌ترین مسائل مربوط به سلامت و مراقبت‌های پزشکی در کشور است. با توجه نتایج به دست آمده از مطالعه حاضر، باقی مانده داروهای سیتوتوکسیک در پساب خروجی بیمارستان‌ها قابل ردیابی است. لذا، اخذ قوانین و دستورالعمل‌های سخت گیرانه، نظارت مدون به منظور مدیریت نحوه دفع، غیر فعال سازی و حذف داروهای سیتوتوکسیک در بیمارستان‌ها پیش از تخلیه آنها به سیستم فاضلاب شهری ضروری به نظر می‌رسد.

**واژگان کلیدی:** پساب بیمارستانی، داروهای ضد سرطان، داروهای سیتوتوکسیک، زباله‌های بیمارستانی.

### مقدمه

تولید فاضلاب بیمارستانی طی سال‌های اخیر به دلیل پیشرفت و توسعه خدمات پزشکی افزایش چشم‌گیری داشته است (۱). وجود ترکیبات فعال دارویی اعم از آنتی بیوتیک‌ها، مسکن‌ها، داروهای مورد استفاده در بیماری‌های اعصاب و روان، داروهای سیتوتوکسیک و غیره در محیط زیست، به عنوان خطر جدی

برای کیفیت آب به شمار می‌روند (۲). داروهای سیتوتوکسیک که در شیمی درمانی مورد استفاده قرار می‌گیرند، شامل طیف گسترده‌ای از ترکیبات شیمیایی هستند که به طور معمول باعث ایجاد اختلال در یکی از مسیرهای سنتز DNA شده و بدین ترتیب، مانع رشد سلولی می‌شوند (۳). این داروها نه تنها بر روی سلول‌های سرطانی موثر هستند، بلکه سلول‌های سالم را نیز تحت تاثیر قرار می‌دهند و به دلیل دارا بودن اثرات قوی ژنوتوکسیک و ترانوتوکسیک (۴)، به طور بالقوه خطرناک‌ترین آلاینده‌های سیستم آب محسوب می‌شوند. به طور کلی، داروهای سیتوتوکسیک بسیار محلول در آب هستند (دارای  $\log K_{ow}$  پایین) که این ویژگی از لحاظ آلودگی محیطی مضر،

آدرس نویسنده مسئول: تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، دانشکده داروسازی، گروه داروسازی بالینی، فرشاد هاشمیان (email: hashemian.f@iaups.ac.ir)

ORCID ID: 0000-0003-0016-3697

تاریخ دریافت مقاله: ۹۸/۳/۸

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۸/۶/۳

ولی از دیدگاه فارماکولوژیک مفید است. زیرا باعث افزایش فراهمی زیستی دارو و نیز پاک‌سازی سریع آن از بدن می‌شود (۵). شایان ذکر است که در درمان بدخیمی‌ها در بسیاری از موارد، درمان ترکیبی که در واقع استفاده از دو یا تعداد بیشتری داروی سیتوتوکسیک به صورت همزمان است، مورد استفاده قرار می‌گیرد (۶). دانشمندان معتقدند که داروهایی که دارای مکانیسم عمل مشابه هستند، در محیط زیست می‌توانند اثر افزایشی داشته باشند (۷) که این موضوع خود باعث دامن زدن به خطر وجود بقایای این داروها در محیط زیست و سیستم آب و فاضلاب می‌شود.

بخشی از داروهایی که هر روز توسط مردم مصرف می‌شود، به صورت متابولیزه نشده و یا به صورت کنژوگه شده (که در واقع، احتمال فعال شدن مجدد آن‌ها وجود دارد) دفع شده و وارد سیستم آب و فاضلاب می‌شوند. دستگاه‌های تصفیه آب، اغلب به طور کامل، قادر به از بین بردن این ترکیبات نیستند (۸). از این رو، مقادیر ناچیز این ترکیبات به آب‌های سطحی وارد می‌شوند (۳). در واقع، در کشورهای مختلف، مقادیر ناچیز داروها در پساب بیمارستان‌ها، فاضلاب‌ها و آب‌های سطحی گزارش شده است (۹-۱۱). آلاینده‌های دارویی در برخی از منابع آب آشامیدنی در ایالات متحده آمریکا (۱۲)، اروپا (۱۳) و نیز ایران (۱۴) گزارش شده‌اند. هرچند نتایج برخی از ارزیابی‌های ریسک انجام شده حاکی از آن بوده است که سطوح بسیار اندک داروها در آب آشامیدنی به نظر نمی‌رسد که سلامت عمومی جامعه را تحت تاثیر قرار دهد و برای رسیدن این مقادیر به میزان دوز درمانی، باید میلیون‌ها لیتر، آب مصرف شود (۳، ۱۵). با این حال، وجود مقادیر بسیار اندک داروهای سیتوتوکسیک که در شیمی درمانی مورد استفاده قرار می‌گیرند و بر روی سنتز DNA اثرگذار هستند، بسیار حائز اهمیت بوده و نیازمند بررسی دقیق‌تر است. اهمیت این موضوع علی‌الخصوص، در مورد جمعیت آسیب‌پذیر، از جمله زنان باردار، جنین آنها و نوزادان دو چندان می‌شود.

لیست آلاینده‌های دارویی موجود در پساب و روان‌آب حاصل از طوفان که ممکن است آب‌های سطحی را آلوده کند، توسط اتحادیه اروپا (EU) و آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده (USEPA) به صورت اولویت بندی شده، مشخص شده است (۱۳). مطالعات زیادی بر روی اثرات ناخواسته احتمالی داروها بر حیات وحش انجام گرفته است. در این خصوص می‌توان به مطالعاتی که نشان دهنده اختلال در عملکرد جنسی در ماهی‌ها در نتیجه ورود داروی "اتینیل استرادیول" به محیط زیست (۱۸-۱۶) و اختلال در عملکرد کلیه و نارسایی

آن و در نهایت مرگ کرکس‌ها در اثر داروی "دیکلوفناک"، اشاره کرد (۱۹، ۲۰). با توجه به اهمیت این موضوع و جدی بودن خطرات احتمالی پیش رو، نظارت بر نحوه دفع مواد زائد بیمارستانی و اطمینان از بی‌خطر شدن آنها پیش از ورود به سیستم فاضلاب شهری ضروری به نظر می‌رسد. از آنجایی که بیمارستان‌ها به عنوان یکی از منابع اصلی آلوده کننده آب در خصوص داروهای سیتوتوکسیک در نظر گرفته می‌شوند و تماس با این دسته از داروها برای سلامت انسان بسیار زیان بار است، هدف از مطالعه حاضر، بررسی مطالعات انجام شده در خصوص میزان باقی مانده داروهای ضد سرطان در پساب بیمارستانی بود. به نظر می‌رسد که تاکنون، مطالعه‌ای مشابه مطالعه مروری حاضر در زمینه بررسی پژوهش‌های انجام شده در خصوص میزان باقی مانده داروهای ضد سرطان در پساب بیمارستانی انجام نپذیرفته است و مطالعه حاضر، اولین پژوهش در این خصوص است.

### روش بررسی

مطالعه مروری حاضر از نوع روایتی بود و کلیه مقالات اصیل و مروری که تا پیش از ماه می ۲۰۱۹، در زمینه بررسی و اندازه‌گیری میزان بقایای داروهای ضد سرطان در پساب بیمارستانی در مجلاتی با معیار داوری "peer review" چاپ شده بودند، بررسی شدند. بدین منظور، پایگاه‌های WOS، Pubmed، Medline، Scopus، Google Scholar، ISC، SID، Ebsco، Ovid، Irandoc و Proquest مورد جستجو قرار گرفتند. بدین منظور، در پاییز و زمستان ۱۳۹۷، در موتورهای جستجوی ذکر شده، با کلید واژه‌های hospital effluents، anti-cancer، cytotoxic drugs، hospital wastewater، medical cytotoxic waste، medication و جستجو صورت گرفت. به عنوان مثال، در پایگاه WOS، در بخش basic search و در پایگاه Scopus، در بخش document research با استفاده از کلیدواژه‌ها، جستجو انجام شد. جستجو در پایگاه Irandoc نیز در دیتابیس کتابخانه دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم پزشکی تهران انجام پذیرفت. با استفاده از این روش جستجو، تعداد ۵۱ مقاله به دست آمد که اکثراً در بازه زمانی ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۶ به چاپ رسیده بودند. در این میان، مقالاتی که صرفاً به بررسی بقایای داروهای سیتوتوکسیک در آب شهری و آب سطحی پرداخته بودند، حذف شدند و در نهایت، مقالاتی که بین سال‌های ۱۹۹۳ و ۲۰۱۸ چاپ شده بودند، در مطالعه لحاظ شدند.

## زباله‌های سیتوتوکسیک در بیمارستان‌ها و باقی مانده داروهای ضد سرطان در پساب بیمارستانی

داروهای ضد سرطان به طور مداوم به فاضلاب بیمارستان‌ها و در نهایت، فاضلاب‌های شهری وارد می‌شوند و تحت فرآیندهای معمول تصفیه‌ای قرار می‌گیرند. تحقیقات نشان داده‌است که فرایندهای معمول تصفیه، قادر به حذف پاره‌ای از داروهای سیتوتوکسیک از آب نیستند (۲۱،۲۲). فاضلاب‌ها حاوی ترکیبات پیچیده‌ایی شامل داروها، متابولیت آنها و مواد حاصل از فرایندهای تصفیه‌ای هستند (۹). وجود آلاینده‌های دارویی در آب، همواره مورد توجه روز افزون سازمان‌های سلامت و بهداشت محیط در سرتاسر جهان بوده است. نگرانی‌هایی در خصوص اثرات ناخواسته ناشی از این مواد دارویی بر روی جوامع انسانی و نیز محیط زیست وجود دارد (۲۳). دفع زباله‌های سیتوتوکسیک در بیمارستان‌ها همواره از مسائل جدی و حائز اهمیت است. این مسئله فقط شامل داروهای مورد استفاده نیست، بلکه ادرار، مدفوع و استفراغ بیماران تحت شیمی درمانی را نیز در برمی‌گیرد. در سال‌های اخیر، با توجه به افزایش شیوع سرطان، مصرف داروهای ضد سرطان نیز در بخش انکولوژی بیمارستان‌ها افزایش یافته است. مطابق با نتایج مطالعه‌ای که در سال ۲۰۱۵ در خصوص میزان ضایعات سیتوتوکسیک تولید شده در بخش‌های انکولوژی بیمارستان‌ها در شهر قم در ایران انجام شد، میزان زباله‌های سیتوتوکسیک در دو بیمارستان ۴۰۰ و ۱۲۰ تخت خوابی مورد بررسی، ۲۹۳/۵ گرم در روز و برابر با ۰/۰۷ کل زباله‌های پزشکی تولید شده بود. میزان تولید زباله‌های بیمارستانی در بخش انکولوژی بیمارستان‌های مورد بررسی به طور میانگین به ترتیب، ۲۱/۵ گرم به ازای هر تخت بیمارستان و ۱۶/۵ گرم به ازای هر بیمار بود. در بررسی جزئی‌تر، میزان زباله‌های سیتوتوکسیک دفعی در یکی از بیمارستان‌های مورد بررسی که دارای ۱۲ تخت فعال در بخش انکولوژی بود، ۳۳۷ گرم در روز و در بیمارستان دیگر که دارای ۱۵ تخت فعال در بخش انکولوژی بود، ۲۵۰ گرم در روز گزارش شد. میزان زباله سیتوتوکسیک تولید شده به ازای هر بیمار در هر روز در بیمارستان‌های مورد بررسی به ترتیب ۱۸ و ۱۵ گرم گزارش شد. همچنین، بیشترین میزان داروهای ضد سرطان قابل ردیابی در خصوص سیکلوفسفامید، ایفسفامید و مسنا گزارش شد. این میزان، در خصوص داروی سیکلوفسفامید ۱۸ میلی گرم در روز، در خصوص ایفسفامید ۱۷ میلی گرم در روز و برای داروی مسنا ۱۵ میلی گرم در روز گزارش شد (۲۴).

علی‌رغم افزایش غلظت باقی مانده داروهای سیتوتوکسیک در محیط زیست و اثرات بالقوه آن بر روی انسان، مطالعاتی که در آنها میزان داروهای سیتوتوکسیک در پساب بیمارستانی اندازه‌گیری شده باشد، محدود است و بیشتر مطالعات این دسته شامل بررسی میزان داروهای سیتوتوکسیک در سیستم آب شهری و نیز آب سطحی است.

### مطالعات انجام شده در خصوص باقی مانده داروهای ضد

#### سرطان در پساب بیمارستانی در اروپا

در میان داروهای سیتوتوکسیک مصرفی در بخش انکولوژی بیمارستان‌ها، به نظر می‌رسد که دو داروی سیکلوفسفامید و ایفسفامید پس از طی مراحل تصفیه آب شهری، همچنان دست نخورده و به فرم فعال باقی می‌مانند (۲۱). از این رو، این داروها می‌توانند در نهایت وارد آب سطحی شوند. لذا، در بسیاری از موارد، سیکلوفسفامید به عنوان داروی سیتوتوکسیک مرجع به منظور ارزیابی روش‌های نوین حذفی داروهای سیتوتوکسیک و نیز دیگر داروها در سیستم تصفیه آب به کار می‌رود (۲۲). در مطالعات انجام شده در آلمان و کانادا، داروی سیتوتوکسیک سیکلوفسفامید در پساب بیمارستانی و نیز در آب حاصل از سیستم تصفیه شهری گزارش شده است (۲۷-۲۵). به عنوان مثال، میزان دو داروی سیکلوفسفامید و ایفسفامید در نمونه‌های حاصل از پساب بیمارستان آموزشی فرایبورگ و نیز در نمونه‌های آب سطحی مورد بررسی قرار گرفت. سیکلوفسفامید، به میزان ۴۰ ng/L ( $<LOD$ ) و ایفسفامید به میزان ۲۰۶۰ ng/L ( $<LOD$ ) در پساب بیمارستان آموزشی فرایبورگ گزارش شد. در نمونه‌های آب سطحی نیز میزان سیکلوفسفامید و ایفسفامید به ترتیب، ۰/۷-۰/۶ ng/L و ۱-۰/۶ ng/L گزارش شد (۲۵).

در تحقیق دیگری، وجود ۱۰ داروی ضد سرطان در پساب بیمارستانی، پساب شهری و نیز آب‌های سطحی در کشور اسپانیا مورد مطالعه قرار گرفت. در این مطالعه ارزشمند، خطرات بالقوه زیست محیطی ناشی از وجود بقایای این داروها نیز مورد بررسی قرار گرفت. بقایای داروهای azathioprine، methotrexate، paclitaxel، docetaxel، etoposide، cyclophosphamide و tamoxifen در پساب بیمارستانی و نیز در پساب ورودی به سیستم فاضلاب شهری مورد شناسایی قرار گرفت. البته بقایای اکثر داروهای ذکر شده پس از عبور از سیستم تصفیه آب شهری، حذف شد. تنها بقایای سه داروی سیکلوفسفامید، تاموکسیفن و سیپروفلوکسازین در پساب حاصل از تصفیه آب شهری و نیز در آب سطحی مورد شناسایی قرار گرفت. غلظت این داروها به

ترتیب در محدوده  $20 \text{ mg/L}$ ،  $25-38 \text{ mg/L}$  و  $103-7$  گزارش شد. دو داروی تاموکسیفن و سیپروفلوکساسین به طور معمول در دامپزشکی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند که بقایای آنها در رودخانه بالادست تخلیه فاضلاب نیز گزارش شد. مطابق با نتایج به دست آمده از این مطالعه، به نظر می‌رسد که دو داروی ذکر شده بدون تغییر، از سیستم تصفیه آب شهری عبور می‌کنند. از لحاظ ارزیابی ریسک، مقادیر گزارش شده این دو دارو در آب خروجی تصفیه شهری، خطرات بالقوه محیطی و اکولوژیکی را به دنبال خواهد داشت (۲۸).

در مطالعه جامعی که در سال ۲۰۱۶ توسط ایزیدوری و همکاران انجام گرفت، نمونه‌هایی از پساب بیمارستانی و پساب فاضلاب‌ها از نقاط مختلف اسلوانی و اسپانیا جمع‌آوری شد و از لحاظ وجود ۲۲ نوع داروی ضدسرطان، متابولیت‌های آنها و مواد حاصل از فرایندهای تصفیه‌ای مورد بررسی قرار گرفت. مطابق با نتایج به دست آمده، ۶۲ مورد از ۲۲۰ نمونه، حاوی مقادیر قابل ردیابی داروهای ضد سرطان بودند. بدین ترتیب که ۹۰٪ نمونه‌ها حاوی باقی مانده داروهای ضد سرطان پلاتین‌دار (سیس پلاتین، کربوپلاتین و اگزالی پلاتین)، ۸۰٪ نمونه‌ها حاوی داروی ضد سرطان ارلوتینیب، ۷۰٪ حاوی سیکلوفسفاماید و تاموکسیفن و ۶۰٪ دارای متوتروکسات بودند (۹). در مطالعه دیگری که توسط لنز و همکارانش صورت گرفت، غلظت داروهای ضد سرطان حاوی پلاتین در پساب بیمارستانی در شهر وین مورد بررسی قرار گرفت و میزان آن در محدوده  $3-250 \text{ } \mu\text{g/L}$  گزارش شد. همچنین نتایج حاصل از آنالیز HPLC-ICP-MS حاکی از آن بود که عمدتاً داروی کربوپلاتین به صورت دست نخورده در پساب بیمارستانی مشاهده می‌شود (۲۹). در مطالعه‌ای دیگر که در آن، غلظت داروهای ضد سرطان حاوی پلاتین در پساب بخش انکولوژی و نیز فاضلاب اصلی یک بیمارستان بزرگ در انگلستان در مدت زمانی ۳ هفته بررسی شد. غلظت این داروها در پساب حاصل از بخش انکولوژی در محدوده  $140 \text{ } \mu\text{g/L}$  -  $102$  و در لوله‌های اصلی فاضلاب در محدوده  $100 \text{ } \mu\text{g/L}$  -  $103$  گزارش شد. مقایسه مقادیر تجویز داروهای ضد سرطان حاوی پلاتین در طول زمان مورد مطالعه و مقادیر تخمینی پلاتین وارد شده به فاضلاب، حاکی از آن بود که حدود ۲۲٪ کل پلاتین وارد شده به محیط زیست، از طریق پساب بیمارستان است و باقیمانده از طریق بیماران تحت درمان به محیط وارد می‌شود (۳۰).

نتایج سه مطالعه ذکر شده در بالا هم سو با یکدیگر بوده و در هر سه مطالعه مقادیر قابل ردیابی و قابل توجه داروهای ضد سرطان پلاتین دار گزارش شد. نتیجه حاصل در خصوص نقش پساب بیمارستانی در ورود داروهای سیتوتوکسیک پلاتین دار به محیط زیست بسیار حائز اهمیت است و بیانگر نقش خطیر مدیریت دفع زباله های پزشکی به عنوان یکی از مهم ترین مسائل مربوط به سلامت و مراقبت های پزشکی در حال حاضر است.

در مطالعه دیگری که در سال ۲۰۱۴ انجام گرفت، بقایای ۱۳ داروی سیتوتوکسیک و متابولیت آنها در نمونه‌های حاصل از پساب یک بیمارستان مرکزی و بزرگ در کشور اسپانیا و نیز نمونه‌های حاصل از آب خروجی از سیستم تصفیه با استفاده از روش solid-phase extraction-liquid chromatography- tandem mass spectrometry (SPE-LC-MS/MS) بررسی شد. نتایج حاصل از این مطالعات، وجود داروهای متوتروکسات، ایفسفاماید، سیکلوفسفاماید، ایرینوتکان، دوکسوروبیسین، کاپسیتابین، تاموکسیفن و متابولیت‌های اندوکسیفن، هیدروکسی تاموکسیفن و هیدروکسی پاکلیتاکسل را در محدوده غلظتی  $2 \text{ ng/L}$  (برای متوتروکسات) و  $180 \text{ ng/L}$  (برای تاموکسیفن) در پساب بیمارستانی نشان داد. مطابق با نتایج به دست آمده، برخی از این داروها مانند متوتروکسات، دوکسوروبیسین و ایرینوتکان به طرز موثری توسط سیستم تصفیه آب از بین می‌روند (۳۱). البته نتایج به دست آمده در این خصوص، در مورد داروی متوتروکسات مخالف با نتایج به دست آمده از مطالعه ایزی دوری و همکاران (۹) و مطالعه بین و همکاران (۳۲) است. با این حال، هم سو با نتایج به دست آمده از مطالعه کلیمانن و همکاران (۲۸) و کومرر و ال احمد (۲۵)، در مطالعه فوق، داروهایی چون تاموکسیفن، سیکلوفسفاماید و ایفسفاماید به طرز قابل توجهی به صورت دست نخورده باقی ماندند (۳۱). مطالعه دیگری در این خصوص، بررسی پساب خروجی بخش انکولوژی بیمارستان آموزشی وین در طی دو سال، برای مدت ۹۸ روز از لحاظ وجود داروهای ضدسرطان فلوروراسیل، دوکسوروبیسین، اپی روبیسین و دانوروبیسین بود. نتایج حاصل از این مطالعه، وجود داروی فلوروراسیل با غلظت  $123/5 \text{ } \mu\text{g/L}$  -  $8/6$  و دوکسوروبیسین با غلظت  $135 \text{ } \mu\text{g/L}$  -  $0/26$  در پساب خروجی بخش انکولوژی بیمارستان آموزشی وین را تأیید کرد (۳۳). وایزبروت و همکارانش نیز در سال ۲۰۰۹، پساب خروجی یکی از بیمارستان‌های مرکزی سوئیس را مورد بررسی قرار دادند و همگام با نتایج حاصل از مطالعه

ذکر شده پیشین، داروی فلوروراسیل با غلظت  $27-5 \text{ ng/L}$  گزارش شد (۳۴). شایان ذکر است که داروی فلوروراسیل با غلظت  $4-0.9 \text{ } \mu\text{g/L}$  در نمونه‌های حاصل از پس‌آب خروجی بیمارستان‌های فرانسه نیز گزارش شد (۳۵).

### مطالعات انجام شده در خصوص باقی مانده داروهای ضد

#### سرطان در پس‌آب بیمارستانی در ایران

مطالعات در خصوص اندازه گیری میزان احتمالی داروهای سیتوتوکسیک در پس‌آب خروجی بیمارستان‌ها در ایران بسیار محدود است. در مطالعه‌ای که در شهر تهران صورت پذیرفت، وجود بقایای دو داروی شیمی درمانی فلوروراسیل و وین کریستین در پس‌آب حاصل از بخش شیمی درمانی هفت مرکز تخصصی و فوق تخصصی درمان سرطان مورد بررسی قرار گرفت. میزان باقی مانده داروی فلوروراسیل در پس‌آب بیمارستانی، در محدوده  $26/84-74/92 \text{ } \mu\text{g/L}$  از ۴ مرکز مورد بررسی در شهر تهران گزارش شد. بقایای این دارو در ۳ مرکز مورد بررسی دیگر مشاهده نشد. همچنین، در نمونه‌های اخذ شده از مراکز بیمارستانی مورد مطالعه، بقایای داروی وین کریستین مشاهده نشد. عدم مشاهده بقایای داروی وین کریستین احتمالاً به این دلیل بود که این دارو در مقایسه با فلوروراسیل کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرد. با توجه به نتایج به دست آمده از مطالعه اخیر ذکر شده، باقی مانده داروهای سیتوتوکسیک در پس‌آب خروجی بیمارستان‌ها قابل ردیابی است و اخذ قوانین و دستورالعمل‌های سخت گیرانه به منظور غیرفعال کردن داروهای سیتوتوکسیک در بیمارستان‌ها، پیش از تخلیه آنها به سیستم فاضلاب شهری ضروری به نظر می‌رسد (۳۶).

با توجه به اینکه مطالعات انجام شده در این خصوص بر روی پس‌آب بیمارستانی در ایران بسیار اندک است، مطالعه دیگری که در این خصوص بر روی آب ورودی به سیستم فاضلاب و خروجی از آن انجام شد، ذکر می‌شود. این مطالعه در سال ۲۰۱۶، در شهر قم به منظور بررسی وجود داروهای ضد سرطان پلاتین دار (سیس پلاتین، کربوپلاتین و اگزالی پلاتین) بر روی نمونه‌های حاصل از آب ورودی و خروجی سیستم آب و فاضلاب انجام پذیرفت. غلظت داروهای سیس پلاتین، کربو پلاتین و اگزالی پلاتین در نمونه‌های آب ورودی به سیستم تصفیه آب و فاضلاب به ترتیب،  $0/21-1/12 \text{ } \mu\text{g/L}$ ،  $0/55-1/6 \text{ } \mu\text{g/L}$  و  $0/6-0/11 \text{ } \mu\text{g/L}$  بود که در کلیه نمونه‌های اخذ شده، میزان گزارش شده داروهای ضدسرطان پلاتین دار کمتر از LOQ بود (۱۴). با مقایسه این مطالعه با مطالعه لنز و همکارانش که در شهر وین

بر روی داروهای ضدسرطان پلاتین دار صورت گرفت می‌توان نتیجه گیری کرد که هم سو با نتایج به دست آمده از مطالعه لنز و همکاران، داروهای ضد سرطان پلاتین دار به سیستم آب و فاضلاب وارد شده و داروی کربوپلاتین احتمالاً تا حد زیادی دست نخورده باقی می‌ماند. البته شایان ذکر است که مطالعه انجام شده در شهر قم، بر روی پس‌آب بیمارستانی صورت نگرفته است. اگر پس‌آب بیمارستانی نیز از این لحاظ بررسی می‌شد، احتمالاً غلظت‌های بالاتر داروهای مورد بررسی گزارش می‌شد.

شایان ذکر است که در سال ۱۳۹۰، اختراعی با نام "طراحی دستگاه غیر فعال سازی مواد سیتوتوکسیک وارد شده به فاضلاب های بیمارستانی ناشی از شیمی درمانی" توسط نویسنده مقاله مروری حاضر در سازمان ثبت اسناد و املاک کشور ثبت شده است (۳۷).

### مطالعات انجام شده در خصوص باقی مانده داروهای ضد

#### سرطان در پس‌آب بیمارستانی در دیگر کشورهای آسیایی

در مطالعه‌ای که بر روی پس‌آب ۲۱ بیمارستان در سال ۲۰۱۰ در شهر پکن در مدت زمان ۱ تا ۷ روز انجام پذیرفت، وجود باقی مانده ۹ داروی سیتوتوکسیک متوتروکسات، آزاتیوپرین، دوکسوروبیسین، دوکسوروبیسینول، وین کریستین، ایفسفاماید، سیکلوفسفاماید، اتوپوزاید و پروکاربازین مورد بررسی قرار گرفت. از بین ۶۵ نمونه پس‌آب مورد آزمایش، میانگین غلظت بدست آمده برای داروهای متوتروکسات، آزاتیوپرین، ایفسفاماید، سیکلوفسفاماید و اتوپوزاید، به ترتیب  $17 \text{ ng/L}$ ،  $15 \text{ ng/L}$ ،  $151 \text{ ng/L}$ ،  $100 \text{ ng/L}$  و  $42 \text{ ng/L}$  گزارش شد. همچنین، باقی مانده داروهای دوکسوروبیسین، دوکسوروبیسینول، وینکریستین و پروکاربازین در پس‌آب بیمارستان های مورد مطالعه گزارش نشد. با توجه به نتایج به دست آمده، نویسندگان مطالعه این گونه نتیجه گیری کردند که پس‌آب بیمارستانی یکی از منابع مهم آلودگی آب‌های سطحی با بقایای داروهای سیتوتوکسیک است (۳۲). در خصوص داروی متوتروکسات، نتایج به دست آمده از این مطالعه، همگام با نتایج به دست آمده از مطالعه نگریا و همکاران (۳۱) است. این محققان نیز غلظت های قابل ردیابی متوتروکسات را در پس‌آب بیمارستانی گزارش کردند. هر چند، غلظت گزارش شده توسط آنها تقریباً ۶ برابر کمتر از غلظت گزارش شده در مطالعه بالا است. همچنین در مورد داروی سیکلوفسفاماید نیز غلظت گزارش شده در مطالعه بالا تقریباً  $2/5$  و  $5$  برابر بیشتر از غلظت گزارش شده در مطالعه کومر و همکارانش (۲۵) و فرناندو کلیمنت و همکارانش (۲۸) است که این موضوع احتمالاً نشان دهنده عدم کاربرد سیستم‌های

حذف زباله‌های سیتوتوکسیک در پساب بیمارستان مورد مطالعه در مقایسه با مطالعات ذکر شده است. جدول ۱ به طور خلاصه، بقایای داروهای ضد سرطان قابل ردیابی در پساب بیمارستانی در مطالعات مرور شده را نشان می‌دهد.

**بکارگیری روش های پیشرفته آنالیز به منظور بررسی احتمال وجود بقایای داروهای سیتوتوکسیک و یا متابولیت‌های آنها در پساب بیمارستانی و فاضلاب‌ها**

نیاز مبرم در خصوص ایجاد روش‌های آنالیز پیشرفته که قادر به تشخیص بقایای داروهای سیتوتوکسیک و متابولیت‌های آنها باشد، وجود دارد. همچنین نیاز به ایجاد روش‌های آنالیز به منظور تشخیص اثرات زیست محیطی تماس با بقایای داروهای ضد سرطان و یافتن بیومارکرهای احتمالی در این زمینه بسیار حائز اهمیت است تا گام‌های بلندی در جهت ارزیابی دقیق ریسک محیطی تماس با این دسته از داروها برداشته شود (۳۸). در واقع، گروه‌هایی در فرانسه (۳۹)، آلمان (۴۰)، جمهوری چک (۴۱)، کرواسی (۴۲) و کانادا (۲۶) تکنیک‌های جدیدی را ارائه کرده‌اند که با استفاده از تلفیق on-line solid-phase extraction با کروماتوگرافی فاز مایع و طیف سنجی جرمی (LC-ESI(+/-)-MS/MS)، روش‌های حساس و دقیقی را به منظور اندازه‌گیری میزان باقی مانده این داروها ایجاد کرده‌اند. در مطالعه دیگری که توسط Cessen و همکارانش در سال ۲۰۱۶ انجام گرفت، یک روش آنالیز کروماتوگرافی گاز -

طیف سنجی جرمی (Gas Chromatography - mass spectrometry) به منظور تشخیص سیکلوفسفاماید، ایزوفسفاماید، متابولیت‌ها و محصولات تبدیلی آنها (کربوکسی-سیکلوفسفاماید، کتو-سیکلوفسفاماید و ان-دیکلرواتیل-سیکلوفسفاماید) در پساب‌ها و فاضلاب‌ها معرفی شد. روش ذکر شده در خصوص پساب بیمارستانی و پساب ورودی و خروجی فاضلاب مورد استفاده قرار گرفت. در خصوص پساب خروجی بیمارستان، سطوح تا مقادیر ۳ µg/L توسط این روش قابل شناسایی گزارش شد. در حالی که در پساب ورودی و خروجی فاضلاب، مقادیر به دست آمده پایین تر از مقدار LOQ گزارش شد. همچنین، این نویسندگان به ایجاد محصولات تبدیلی احتمالی اشاره کردند و سه محصول تبدیلی احتمالی جدید داروهای سیتوتوکسیک ذکر شده را معرفی کردند (۴۳). شایان ذکر است که در مطالعه اخیر که در خصوص به کارگیری روش‌های پیشرفته آنالیز به منظور بررسی احتمال وجود بقایای داروهای سیتوتوکسیک و یا متابولیت‌های آنها در پساب بیمارستانی و فاضلاب‌ها در کشور برزیل صورت گرفت، روش‌های آنالیز HPLC-FLD به همراه microextratcion و solid phase extraction به منظور تعیین مقادیر احتمالی داروهای ضد سرطان دوکسوروبیسیسین، دانوروبیسیسین، اپی روبیسیسین و ایرینوتکان در پساب بیمارستانی مورد اعتبار سنجی قرار گرفت. نتایج اعتبار سنجی بیانگر ۰/۹۹

**جدول ۱. آلودگی پساب بیمارستانی توسط داروهای سیتوتوکسیک**

داروی مورد بررسی	کشور (شهر)	بیمارستان مورد بررسی	غلظت به دست آمده دارو	رفرانس
	آلمان (فرایبورگ)	بیمارستان آموزشی فرایبورگ	۴۰ ng/L	Kümmerer et al., 2010
	اسپانیا	تعدادی از بیمارستان های اسپانیا	۲۰ mg/L	Ferrando et al., 2014
سیکلوفسفاماید	چین (پکن)	۲۱ بیمارستان در پکن	۱۰۰ ng/L	Yin et al., 2010
	آلمان (فرایبورگ)	بیمارستان آموزشی فرایبورگ	۲۰۶۰ ng/L	Kümmerer et al., 2010
ایفسفاماید	چین (پکن)	۲۱ بیمارستان در پکن	۱۵۱ ng/L	Yin et al., 2010
	اسپانیا	تعدادی از بیمارستان های اسپانیا	۲۵-۳۸ mg/L	Ferrando et al., 2014
تاموکسیفن	اسپانیا	یک بیمارستان مرکزی و بزرگ در اسپانیا	۱۸۰ ng/L	Negreira et al., 2014
	اسپانیا	یک بیمارستان مرکزی و بزرگ در اسپانیا	۲ ng/L	Negreira et al., 2014
متوترکسات	چین (پکن)	۲۱ بیمارستان در پکن	۱۷ ng/L	Yin et al., 2010
	اتریش (وین)	بیمارستان آموزشی وین	<۸/۶-۱۲۳/۵ µg/L	Mahnik et al., 2007
فلوروراسیل	سوئیس	بیمارستان مرکزی سوئیس	<۵-۲۷ ng/L	Weissbrodt et al., 2009
	فرانسه	بیمارستانی در فرانسه	۰/۰۹-۴ µg/L	Mullot et al., 2009
	ایران (تهران)	هفت مرکز تخصصی و فوق تخصصی درمان سرطان	۲۶/۸۴-۷۴/۹۲ µg/L	Sadeghi et al., 2016
دوکسوروبیسیسین	اتریش (وین)	بیمارستان آموزشی وین	<۰/۲۶-۱/۳۵ µg/L	Mahnik et al., 2007
آزاتیوپراین	چین (پکن)	۲۱ بیمارستان در پکن	۱۵ ng/L	Yin et al., 2010
اتوپوزاید	چین (پکن)	۲۱ بیمارستان در پکن	۴۲ ng/L	Yin et al., 2010

$r^2 > 2$  و مقادیر بازیابی بین ۷۴ تا ۱۰۵ درصد بود. حد اندازه گیری (Limit of quantification)،  $1 \mu\text{g/L}$  گزارش شد. با استفاده از روش ذکر شده، وجود بقایای داروهای ضد سرطان در نمونه‌های پس‌آب بیمارستان آموزشی سانتا ماریا در برزیل مورد آزمایش قرار گرفت و داروهای ضد سرطان ذکر شده در محدوده غلظتی  $\geq \text{LOQ} - 6.22 \mu\text{g L}^{-1}$  گزارش شد (۴۴).

### ارزیابی ریسک احتمالی ناشی از وجود بقایای داروهای سیتوتوکسیک در آب

مطالعاتی در خصوص ارزیابی ریسک احتمالی وجود داروهای سیتوتوکسیک در آب صورت گرفته است. به عنوان مثال، مطالعه‌ای در سال ۲۰۰۷ بر روی جمعیت زنان باردار، کودکان و افراد بالغ سالم با هدف ارزیابی ریسک تجمعی احتمالی ناشی از آلاینده‌های دارویی در آب آشامیدنی انجام شد. مطابق با نتایج این مطالعه، کلیه داروهای سیتوتوکسیک برای گروه زنان باردار و شیرده در دسته منع مصرف قرار دارد، مگر زمانی که مزایای استفاده از آنها بیشتر از خطر احتمالی باشد. هر چند زمان مورد نیاز برای رسیدن به حداقل دوز بالینی، نشان دهنده وجود خطر فوری نیست، دوزهای تحت بالینی (subclinical) این داروها ممکن است منجر به بروز اثرات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی سلولی شود (۴۵). به عنوان نمونه، داروهای سیتوتوکسیک ممکن است بعد از مدتی منجر به ایجاد تظاهرات بالینی شوند. چنین تظاهراتی شامل کوتاهی قد و ناهنجاری‌های قلبی عروقی، مانند آنچه در کودکان و نوزادان تحت شیمی درمانی مشاهده می‌شود، است (۴۶، ۴۷). بنابراین، قرار گرفتن در معرض دوز تحت بالینی برای مدت طولانی در جمعیت زنان باردار و کودکان ممکن است منجر به بروز تغییرات فیزیولوژیک طولانی مدت شود (۴۵).

در مطالعه دیگری که با هدف اندازه گیری غلظت داروهای ضد سرطان حاوی پلاتین در آب لوله کشی شهرستان قم در ایران و ارزیابی ریسک احتمالی ناشی از آن انجام پذیرفت، داروی سیس پلاتین در محدوده غلظتی  $0.07 \pm 0.24 \mu\text{g/L}$  و اگزالی کربوپلاتین در محدوده غلظتی  $0.05 \pm 0.28 \mu\text{g/L}$  و پلاتین در محدوده غلظتی  $0.01 \pm 0.11 \mu\text{g/L}$  در پس‌آب خروجی فاضلاب گزارش شد. نتایج حاکی از آن بود که در تمام نمونه‌های حاصل از چاه‌های زیر زمینی، غلظت ترکیبات حاوی پلاتین پایین‌تر از حد اندازه گیری (Limit of quantification) بود. غلظت داروهای سیس پلاتین، کربوپلاتین و اگزالی پلاتین در نمونه‌های حاصل از ایستگاه توزیع آب آشامیدنی نیز کمتر از حد تشخیص (Limit of Detection) گزارش شد. میزان Margin of Exposure

(MOE) در خصوص دو داروی سیس پلاتین و کربوپلاتین برای گروه‌های کودکان، زنان باردار و شیرده کمتر از ۱ به دست آمد. با این وجود، رابطه بین میزان MOE و ریسک ابتلا به سرطان کاملاً مشخص نیست و نیاز به تحقیقات بیشتری در زمینه رابطه بین دوز داروهای مذکور و میزان پاسخ است. همچنین، تحقیقات تکمیلی در خصوص متابولیت‌ها و محصولات تبدیلی این داروها از سوی نویسندگان پیشنهاد شد (۱۴).

درواقع، مطالعات گوناگونی در نقاط مختلف جهان در خصوص ارزیابی ریسک ناشی از ورود بقایای داروهای ضد سرطان به آب انجام پذیرفته است. به عنوان مثال، در مطالعه اخیر که بر روی پس‌آب یک بیمارستان آموزشی در کشور برزیل انجام گرفت، داروهای ضد سرطان دوکسوروبیسین، دانوروبیسین، اپی روبیسین و ایرینوتکان در محدوده غلظتی  $\geq \text{LOQ} - 6.22 \mu\text{g L}^{-1}$  شناسایی شد و نتایج ارزیابی ریسک اولیه، حاکی از آن بود که این مقادیر به طور بالقوه بسیار خطرناک بوده و توجه خاص، تصمیم‌گیری‌های قاطعانه و اخذ قوانین و دستورالعمل‌های سخت گیرانه در خصوص تصفیه فاضلاب بیمارستانی مورد نیاز است (۴۴).

موضوع جالب توجهی در مطالعه‌ای که در سال ۲۰۱۶ توسط Kummerer و همکارانش انجام گرفت، مطرح شد. آنها این موضوع را مورد بررسی قرار دادند که آیا خطرات احتمالی مربوط به وجود داروهای سیتوتوکسیک در محیط با توجه به مقدار محرک محیطی (environmental concentration)  $0.1 \mu\text{g/L}$  (trigger value) که توسط EMA تعیین شده و میزان  $1 \mu\text{g/L}$  که توسط FDA مطرح است، دست کم گرفته می‌شود یا خیر. این محققان، ۱۰۲ ماده ضد سرطان و فعال را در محیط شناسایی کردند. مطابق با بررسی‌های آنها، میزان استفاده از داروهایی که با مصرف آنها به طور بالقوه احتمال آسیب به DNA وجود دارد، در طی ۶ سال اخیر از ۲۴٪ به ۶۷٪ افزایش یافته است. تنها، میزان مصرف دو داروی کاپسیتاباین و فلورواوراسیل ۸ برابر شده است که معادل با ۳۹٪ کل مصرف داروهای ضد سرطان است. این محققان این گونه نتیجه گیری کردند که در خصوص داروهایی که بالقوه باعث آسیب به DNA می‌شوند (داروهای سیتوتوکسیک)، حد مجاز تعیین شده توسط EMA و FDA صدق نکرده و باید در خصوص ارزیابی ریسک و خطر بالقوه زیست محیطی آنها به صورت موردی (case by case) بررسی صورت گیرد (۴۸).

### غیرفعال شدن داروهای سیتوتوکسیک توسط سیستم‌های تصفیه فاضلاب

مطالعاتی در خصوص حذف و غیرفعال شدن پاره‌ای از داروهای پرمصرف ضد سرطان توسط ازوناسیون، سیستم غشای بیوراكتور، لجن فعال، اسمز معکوس، نانوفیلتراسیون و الکترولیز وجود دارد. در مطالعه‌ای، غیرفعال شدن داروهای فلوروراسیل، سیتارابارین، آزاتیوپرین و متوتروکسات (آنتی متابولیت‌های دارای بازهای نیتروژن‌دار) توسط اوزون بررسی شد. نتایج این مطالعات حاکی بر آن بود که غلظت‌های ۳۰۰ تا ۵۰۰ میلی گرم در لیتر آنتی متابولیت‌ها توسط اوزوناسیون، غیرفعال می‌شوند (۴۵ دقیقه در غلظت ۱۶ تا ۱۸ میلی گرم در لیتر) (۴۹). در مطالعه تحقیقاتی دیگری که در شهر وین انجام پذیرفت، پساب بخش آنکولوژی بیمارستان آموزشی این شهر برای مدت ۹۸ روز، در طول ۲ سال، از لحاظ آلودگی به داروهای سیتوتوکسیک فلوروراسیل، دوکسوروبیسین، اپی روبیسین و دانوروبیسین مورد مطالعه قرار گرفت. حذف این داروها از طریق سیستم غشای بیوراكتور (membrane Bioreactor) مورد بررسی قرار گرفت. همچنین سرنوشت این داروهای سیتوتوکسیک در سیستم فاضلاب و حذف آنها از طریق سیستم لجن فعال (activated sludge) و نیز با مواد نشان‌دار رادیواکتیو مورد بررسی قرار گرفت. سطوح غلظتی به دست آمده برای داروی فلوروراسیل از میزان کمتر از ۸/۶ تا ۱۲۴  $\mu\text{g/L}$  و برای داروی دوکسوروبیسین از میزان کمتر از ۰/۲۶ تا ۱۳۵  $\mu\text{g/L}$  گزارش شد. مطالعات انجام شده با مواد نشان‌دار رادیواکتیو، حاکی از آن بود که داروی فلوروراسیل از فاز مایع حذف شده و میزان ۲۵٪ معادل نشان‌دار شده دارو به فرم گازی و تنها بخش ناچیزی از آن به فرم جامد یافت شد. بنابراین، حداقل یک قسمت از داروی فلوروراسیل، زیست تجزیه پذیر است. نویسندگان این گونه نتیجه‌گیری کردند که داروهای سیتوتوکسیک مورد مطالعه، از طریق سیستم‌های تجزیه فاضلاب از طریق زیست تجزیه پذیری و یا جذب سطحی، حذف می‌شوند (۳۳). مطالعه مروری که توسط ژنگ و همکارانش صورت گرفت نشان داد که سیستم غشای بیوراكتور، اسمز معکوس و نانوفیلتراسیون قادر به کاهش داروی سیکلوفسفاماید و سیستم الکترولیز قادر به کاهش داروی متوتروکسات است. همچنین UV و UV-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> قادر به کاهش متوتروکسات و سیکلوفسفاماید در آب خالص، دیونیزه و آب طبیعی است (۵۰). همان طور که در بالاتر نیز ذکر شد، داروی سیکلوفسفاماید پس از طی مراحل تصفیه آب شهری، همچنان دست نخورده و به فرم فعال باقی مانده و روش‌های

معمول تصفیه آب قادر به حذف این دارو نیستند. در مطالعه مروری که در کشور ایران انجام شده است، چندین روش ترکیبی حذف این دارو مورد بررسی قرار گرفته است. مطابق با نتایج به دست آمده از این مطالعه مروری، با استفاده از سیستم‌های ترکیبی بیوراكتور-غشایی-اسمز معکوس، بیوراكتور-غشایی-نانوفیلتراسیون، حذف بیشتر سیکلوفسفاماید قابل دسترسی است (۵۱).

مطالعات انجام شده بر روی میزان داروهای سیتوتوکسیک باقی مانده در پساب بیمارستانی به خصوص در ایران بسیار اندک بوده و از این جهت، مطالعه حاضر دارای ضعف است. با این وجود، مطالعه حاضر از این جهت که اولین مطالعه مروری در خصوص میزان باقی مانده داروهای ضد سرطان در پساب بیمارستانی است، دارای نقطه قوت بوده و انشالله در راستای پر کردن شکاف‌هایی که در دانش موجود در این زمینه وجود دارد و نیز کمک به ارزیابی ریسک سلامت انسان و محیط زیست، نقش موثری را خواهد داشت. از آنجایی که پاره‌ای از داروهای سیتوتوکسیک و متابولیت‌های آنها از سیستم‌های تصفیه آب و فاضلاب عبور کرده و وارد سیستم آب سطحی می‌شوند، ضروری به نظر می‌رسد که تحقیقات پیش رو در راستای زدودن بقایای داروهای سیتوتوکسیک و کاهش میزان خروج آنها به سیستم فاضلاب صورت گیرد.

### نتیجه‌گیری

مدیریت دفع زباله‌های پزشکی، یکی از مهم‌ترین و خطیرترین مسائل مربوط به سلامت و مراقبت‌های پزشکی در حال حاضر در کشور است. ضایعات بیمارستانی و علی‌الخصوص ضایعات سیتوتوکسیک، طیف گسترده‌ای از خطرات مربوط به سلامتی و ایمنی را برای بیماران، افراد شاغل در حرف پزشکی و در نهایت عموم مردم به دنبال دارد. بسیاری از بیمارستان‌ها در ایران دارای یک سیستم قابل قبول حذف ضایعات سیتوتوکسیک نبوده و حتی از لحاظ وجود قوانین و سیاست‌گذاری‌ها در خصوص نحوه مدیریت دفع زباله‌های سیتوتوکسیک پزشکی دارای خلا هستند. برنامه ریزی و نظارت مدون به منظور مدیریت نحوه دفع، غیرفعال‌سازی و حذف زباله‌های بیمارستانی و علی‌الخصوص زباله‌های سیتوتوکسیک و اطمینان از بی‌خطر شدن آنها پیش از ورود به سیستم فاضلاب شهری اولین گام در خصوص کاهش خطرات مرتبط با دفع زباله‌های سیتوتوکسیک در بیمارستان‌ها است. با توجه به نتایج به دست آمده از مطالعه حاضر و مقایسه نتایج به دست آمده از مطالعات در دیگر نقاط جهان، تصویب قوانین و دستورالعمل‌هایی به

این خصوص و ارتقای سیستم‌های نظارتی بر اجرای دقیق قوانین و دستورالعمل‌ها نیز پیشنهاد می‌شود.

### تشکر و قدردانی

منابع مورد نیاز به منظور انجام مطالعه مورد نظر، توسط نویسندگان تامین شده است.

منظور غیرفعال کردن داروهای سیتوتوکسیک پیش از تخلیه آنها به سیستم فاضلاب شهری ضروری به نظر می‌رسد. همچنین، باید تحقیقات بر روی مانیتور کردن پساب بیمارستانی و پساب ورودی و خروجی فاضلاب‌ها و نیز آب‌های سطحی به طور سیستماتیک انجام گیرد تا میزان وجود و پخش بقایای داروهای سیتوتوکسیک، متابولیت‌ها و محصولات تبدیلی آنها به طور دقیق تعیین شود. برگزاری دوره‌های آموزشی در

## REFERENCES

1. Amouei A, Asgharnia H, Fallah H, Faraji H, Barari R. Characteristics of Effluent Wastewater in Hospitals of Babol University of Medical Sciences, Babol, Iran, Health Scope 2015;4:e23222. [In Persian]
2. Farré M, Pérez S, Kantiani L, Barcelo D. Fate and toxicity of emerging pollutants, their metabolites and transformation products in aquatic environment. *Sci Total Environ*. 2008; 27: 991-1007.
3. Rowney NC, Johnson AC, Williams RJ. Cytotoxic drugs in drinking water: a prediction and risk assessment exercise for the thames catchment in the United kingdom. *Environ Toxicol Chem*. 2009;28:2733-43.
4. Kummerer K. Drugs in the environment: emission of drugs, diagnostic aids and disinfectants into wastewater by hospitals in relation to other sources. A review. *Chemosphere* 2001;45:957-969.
5. Aungst BJ. Novel formulation strategies for improving oral bioavailability of drugs with poor membrane permeation or presystemic metabolism. *J Pharm Sci* 1993;82:979-987.
6. Macpherson IRJ, Cassidy J. Challenges in combinational oncology studies. *Pharm Med* 2008;22:85-97.
7. Kortenkamp A, Faust M, Scholze M, Backhaus T. Low level exposure to multiple chemicals: reason for human health concerns? *Environ Health Perspect* 2007;115:106-114.
8. Jones O, Voulvoulis N, Lester JN. Human pharmaceuticals in wastewater treatment processes. *Crit Rev Environ Sci Technol* 2005;35:401-427.
9. Isidori M, Lavorgna M, Russo C, Kundi M, Žegura B, Novak M, et al. Chemical and toxicological characterisation of anticancer drugs in hospital and municipal wastewaters from Slovenia and Spain. *Environ Pollut* 2016;219:275-287.
10. Fuerhacker M, Mahnik SN, Lenz K, Weissenbacher N, Mader RM, Krenn P, et al. Hospital waste water: health risk for human and environment by cytostatic drug emissions? Part I: model calculation and chemical monitoring. *BMC Pharmacol* 2007;7:A69.
11. Jaafari J, Dehghani MH, Hoseini M, Safari GH. Investigation of hospital solid waste management in Iran. *World Rev Sci Technol Sustain Dev* 2015;12:111-125.
12. Chen M, Ohman K, Metcalfe C, Ikonoumou M, Amatya P, Wilson J. Pharmaceuticals and endocrine disruptors in wastewater treatment effluents and in the water supply system of Calgary, Alberta, Canada. *Water Qual Res J Can* 2006;40:351-64.
13. Ebele AJ, Abdallah MA, Harrad S. Pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) in the freshwater aquatic environment *Emerg Contam* 2017;3:1-16.
14. Ghafuri Y, Yunesian M, Nabizadeh R, Mesdaghinia A, Dehghani MH, Alimohammadi M. Platinum cytotoxic drugs in the municipal wastewater and drinking water, a validation method and health risk assessment. *Human Ecologi Risk Ass* 2017;24:1-13.
15. Johnson AC, Jurgens MD, Williams RJ, Kummerer K, Kortenkamp A, Sumpter JP. Do cytotoxic chemotherapy drugs discharged into rivers pose a risk to the environment and human health? An overview and UK case study. *J Hydrol* 2008;348:167-175.
16. Jobling S, Williams RJ, Johnson AC, Taylor A, Gross-Sorokin M, Nolan M, et al. Predicted exposures to steroid estrogens in UK rivers correlate with widespread sexual disruption in wild fish populations. *Environ Health Perspect* 2006;114:32-39.
17. Gross-Sorokin MY, Roast SD, Brighty GC. Assessment of Feminization of Male Fish in English Rivers by the Environment Agency of England and Wales. *Environ Health Perspect*. 2006;114:147-51.
18. Söfker M, Tyler CR. Endocrine disrupting chemicals and sexual behaviors in fish--a critical review on effects and possible consequences. *Crit Rev Toxicol* 2012;42:653-68.

19. Nambirajan K, Muralidharan S, Roy AA, Manonmani S. Residues of diclofenac in tissues of vultures in India: a post-ban scenario. *Arch Environ Contam Toxicol* 2018;74:292-97.
20. Oaks JL, Gilbert M, Virani MZ, Watson RT, Meteyer CU, Rideout BA, et al. Diclofenac residues as the cause of vulture population decline in Pakistan. *Nature* 2004;427:630-3.
21. Buerge IJ, Buser HR, Poiger T, Müller MD. Occurrence and fate of the cytostatic drugs cyclophosphamide and ifosfamide in wastewater and surface waters. *Environ Sci Technol* 2006;40:7242-50.
22. O'Keefe TL. Cytotoxic drug contamination in hospital and municipal wastewater and its transfer to surface water. *Pharma-Cycle, Inc, Middletown, RI*; 2011:11.
23. Parrella A, Lavorgna M, Criscuolo E, Russo C, Isidori M. Estrogenic activity and cytotoxicity of six anticancer drugs detected in water systems. *Sci Total Environ* 2014;485:216-222.
24. Ghafuri Y, Nabizadeh R. Composition and quantity of cytotoxic waste from oncology wards: A survey of environmental characterization and source management of medical cytotoxic waste. *Biosci Biotech Res Comm* 2017;10: 438-44.
25. Kümmerer K, Al-Ahmad A. Estimation of the cancer risk to humans resulting from the presence of cyclophosphamide and ifosfamide in surface water. *Environ Sci Pollut Res Int* 2010;17:486-96.
26. Garcia-Ac A, Segura PA, Viglino L, Gagnon C, Sauvé S. Comparison of APPI, APCI and ESI for the LCMS/MS analysis of bezafibrate, cyclophosphamide, enalapril, methotrexate and orlistat in municipal wastewater. *J Mass Spectrom* 2011;46:383-90.
27. Steger-Hartmann T, Kümmerer K, Schecker J. Trace analysis of the anti-neoplastics ifosfamide and cyclophosphamide in sewage water by two step solid phase extraction and GC/MS. *J Chromatogr* 1996;A726:179-84.
28. Ferrando-Climent L, Rodríguez-Mozaz S, Barcelo D. Incidence of anticancer drugs in an aquatic urban system: From hospital effluents through urban wastewater to natural environment. *Environmental Pollution* 2014;216-223.
29. Lenz K, Koellensperger G, Hann S, Weissenbacher N, Mahnik SN, Fuerhacker M. Fate of cancerostatic platinum compounds in biological wastewater treatment of hospital effluents. *Chemosphere* 2007;69:1765-74.
30. Vyas N, Turner A, Sewell G. Platinum-based anticancer drugs in waste waters of a major UK hospital and predicted concentrations in recipient surface waters. *Sci Total Environ* 2014;493:324-29.
31. Negreira N, de Alda ML, Barceló D. Cytostatic drugs and metabolites in municipal and hospital wastewaters in Spain: Filtration, occurrence, and environmental risk. *Sci Total Environ* 2014;497-498:68-77.
32. Yin J, Shao B, Zhang J, Li K. A preliminary study on the occurrence of cytostatic drugs in hospital effluents in Beijing, China. *Bull Environ Contam Toxicol* 2010;84:39-45.
33. Mahnik SN, Lenz K, Weissenbacher N, Mader RM, Fuerhacker M. Fate of 5-fluorouracil, doxorubicin, epirubicin, and daunorubicin in hospital wastewater and their elimination by activated sludge and treatment in a membrane-bio-reactor system. *Chemosphere* 2007;66:30-37.
34. Weissbrodt D, Kovalova L, Ort C, Pazhepurackel V, Moser R, Hollender J, et al. Mass flows of X-ray contrast media and cytostatics in hospital wastewater. *Environ Sci Technol* 2009;43:4810-7.
35. Mullot JU, Karolak S, Fontova A, Huart B, Levi Y. Development and validation of a sensitive and selective method using GC/MS-MS for quantification of 5-fluorouracil in hospital wastewater. *Anal Bioanal Chem* 2009;394:2203-12.
36. Sadeghi TS, Hashemian F, Afshar M. Exploring cytotoxic drugs residues in hospital effluents using high performance liquid chromatography [Dissertation]. Tehran: Faculty of Pharmacy, Tehran Medical Sciences, Islamic Azad University; 2016. P.30-35 [In Persian]
37. Hashemian F, Majdi M, Mohammadpour N. Cytotoxic deactivator system for hospital effluents. 2012. IR Patent No: 74272. Approved by Invention Committee of MOH and National Pharmaceutical Research Network.
38. Kosjek T, Heath E. Occurrence, fate and determination of cytostatic pharmaceuticals in the environment. *Trends Anal Chem* 2011;30:1065-1087.
39. Mullot JU, Karolak S, Fontova A, Huart B, Levi Y. Development and validation of a sensitive and selective method using GC/MS-MS for quantification of 5-fluorouracil in hospital wastewater. *Anal Bioanal Chem* 2009;394:2203-12.
40. Voigt K, Brüggemann R. Ranking of pharmaceuticals detected in the environment: aggregation and weighting procedures. *Comb Chem High Throughput Screen* 2008;11:770-82.
41. Zounková R, Odráska P, Dolezalová L, Hilscherová K, Marsálek B, Bláha L. Ecotoxicity and genotoxicity assessment of cytostatic pharmaceuticals. *Environ Toxicol Chem* 2007;26:2208-14.

42. Smital T, Terzic S, Zaja R, Senta I, Pivcevic B, Popovic M, et al. Assessment of toxicological profiles of the municipal wastewater effluents using chemical analyses and bioassays. *Ecotoxicol Environ Saf* 2011;74:844-51.
43. Česen M, Kosjek T, Buseti F, Kompare B, Heath E. Human metabolites and transformation products of cylophosphamide and ifosfamide: analysis, occurrence and formation during abiotic treatments. *Environ Sci Pollut Res Int* 2016;23:11209–23.
44. Souza DM, Reichert JF, Martins AF. A simultaneous determination of anti-cancer drugs in hospital effluent by DLLME HPLC-FLD, together with a risk assessment. *Chemosphere* 2018;201:178-188.
45. Collier AC. Pharmaceutical contaminants in potable water: Potential concerns for pregnant women and children. *Eco Health* 2007; 4:164–171.
46. Mone SM, Gillman MW, Miller TL, Herman EH, Lipshultz SE. Effects of environmental exposures on the cardiovascular system: Prenatal period through adolescence. *Pediatrics* 2004;113:1058–1069.
47. Chow EJ, Friedman DL, Yasui Y, Whitton JA, Stovall M, Robison LL, et al. Decreased adult height in survivors of childhood acute lymphoblastic leukemia: A report from the childhood cancer survivor study. *J Pediatr* 2007;150:370-75.
48. Kümmerer K, Haiß A, Schuster A, Hein A, Ebert I. Antineoplastic compounds in the environment—substances of special concern. *Environ Sci Pollut Res Int* 2016;23:14791-804.
49. Rey RP, Padron AS, Leon LG, Pozo MM, Baluja C. Ozonation of cytostatics in water medium. Nitrogen bases. *Ozone Sci Eng* 1999;21:69–77.
50. Zhang J, Chang VWC, Giannis A, Wang J-Y. Removal of cytostatic drugs from aquatic environment: A review. *Sci Total Environ* 2013;44: 281-298.
51. Khodkar A, Khoram Nezhadian S, Pendashte A. A review on elimination methods of anti-cancer drugs from effluents. *Proceedings of the first international congress on environment*; 2016 Feb 20; Tehran, Iran.