2024, Vol.11, No.2, Pages 65 to 76
Journal of Water and Sustainable Development

سال یازدهم، شماره ۲، ۱۴۰۳، صفحات ۶۵ تا ۷۶
نشریه آب و توسعه پایدار

Article Type: Case Study

نوع مقاله: مطالعه موردی

An Analysis on the Management of Septage Disposal in Mashhad and Providing a Suitable Practical Solution

R. Salajegheh[1], M. Raei Naee[2*], K. Esmaili[3]

1, 2, 3- Ph.D Candidate, Associate Professor and MSc in Water Science and Engineering, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

*(Corresponding Author Email: mehdi.raei1365@yahoo.com)

Received: 28-08-2023 Revised: 06-03-2024
Accepted: 19-03-2024 Available Online: 21-09-2024

تحلیلی بر مدیریت دفع سپتاژ در مشهد و ارائه راه حل عملی مناسب

رضوان سلاجقه[۱]، مهدی راعی نائی[۲*]، کاظم اسماعیلی[۳]

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی دکتری سازه‌های آبی، دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد علوم و مهندسی آب و دانشیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

*(نویسنده‌ی مسئول، E-Mail: mehdi.raei1365@yahoo.com)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۰۶ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۲/۱۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۲۹ تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۶/۳۱

Abstract

Septage refers to wastewater that has been concentrated after being stored in absorption wells and septic tanks. Due to the retention and storage process, its quality differs somewhat from raw wastewater entering sewage treatment plants. In the past, this type of wastewater was disposed of by direct discharge in non-residential areas or even onto vegetable farms. Septage cannot be equated with raw wastewater, as its degree of concentration and stabilization varies depending on its source, duration, and storage conditions. Therefore, proper assessments should be conducted regarding the management of its discharge into the environment. In this study, to explore the management methods for septage in the city of Mashhad, the qualitative and quantitative characteristics of Mashhad's septage were first examined. Qualitative investigations into the subject of septage revealed that studies on the quality and composition of septage have been conducted in other parts of the country too. Additionally, the standards and regulations for the disposal and treatment of septage, as well as the treatment processes themselves, were reviewed. Moreover, given the similarities between the processing of septage and the sludge from wastewater treatment plants, this process was thoroughly examined. The results of the investigation indicated that, for the liquid portion, independent treatment before discharge into surface waters is the preferred process, while composting is the most suitable approach for managing the sludge portion.

Keywords: Septage, Septic Tank, Sludge, Absorption Well, Composting.

چکیده

سپتاژ فاضلابی است که پس از ماندگاری در چاه‌های جذبی و در سپتیک تانک‌ها تغلیظ شده و کیفیت آن بدلیل ماندگاری و ذخیره شدن تا حدودی نسبت به فاضلاب ورودی به تصفیه‌خانه‌های فاضلاب متفاوت می‌باشد. نحوه‌ی دفع این نوع فاضلاب از گذشته بصورت تخلیه مستقیم در نواحی غیرمسکونی و یا حتی در مزارع صیفی‌جات بوده است. سپتاژ را نمی‌توان معادل فاضلاب خام قلمداد نمود، زیرا درجه تغلیظ و تثبیت آن برحسب منشأ، زمان و شرایط ماندگاری متفاوت است. لذا باید در مورد نحوه مدیریت تخلیه آن در طبیعت بررسی‌های لازم صورت گیرد. در این تحقیق جهت بررسی روش‌های مدیریت سپتاژ شهر مشهد، ابتدا خصوصیات کیفی و کمی سپتاژ مشهد مورد مطالعه قرار گرفت. بررسی‌ها از نگاه کیفی به موضوع سپتاژ نشان داد مطالعاتی در خصوص کیفیت سپتاژ و مواد موجود در آن در سایر نقاط کشور نیز صورت گرفته است. همچنین استانداردها و ضوابط مربوط به دفع و تصفیه سپتاژ و نیز فرآیند تصفیه مورد بررسی قرار گرفت. از طرفی با توجه به شباهت فرآوری سپتاژ و لجن تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، این فرآیند به طور مفصل بررسی شد. ماحصل بررسی‌ها نشان داد در بخش مایع، تصفیه مستقل جهت تخلیه به آب‌های سطحی فرآیند منتخب است و در بخش لجن نیز کمپوست کردن مناسب‌ترین رویکرد می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: سپتاژ، سپتیک تانک، لجن، چاه جاذب، کمپوست کردن.

How to cite this article: Salajegheh, R., Esmaili, K., & Raei Naee, M. (2024). An Analysis on the Management of Septage Disposal in Mashhad and Providing a Suitable Practical Solution. Journal of Water and Sustainable Development, 11(2), 65-76. doi: http://dx.doi.org/10.22067/jwsd.v11i2.2308-1268

مقدمه

فاضلاب به مجموعه آب‌های دورریختنی که ممکن است پس از تصفیه قابلیت استفاده مجدد را داشته باشد گفته می‌شود. جمع‌آوری و تصفیه فاضلاب عبارت است از تصفیه فیزیکی، زیستی و پیشرفته (نهایی) با مقاصد بهداشت همگانی، پاکیزگی و حفظ محیط‌زیست، بازیابی فاضلاب و تأثیر بر سفره‌های آب زیرزمینی (منزوی، ۱۳۶۱).

فاضلاب با منشاء خانگی، صنعتی و سطحی در طبیعت مشاهده می‌شود. سپتاژ نوعی از فاضلاب است که به لجن (مایع و جامد) حاصل از سپتیک تانک[1]ها و چاه‌های فاضلاب اطلاق می‌شود. به‌عبارت‌دیگر سپتاژ را نمی‌توان معادل فاضلاب خام قلمداد نمود، که برحسب منشأ، زمان و شرایط ماندگاری آن متفاوت است (EPA، ۱۹۹۴).

به دلیل تنوع بالای منابع تولید (خانگی، صنعتی و ...)، نحوه تولید (چاه جذبی، سپتیک تانک و ...) و محل تولید (کشورهای مختلف، محیط شهر یا روستا و ...)، پارامترهای کیفی سپتاژ محدوده گسترده‌ای را دربردارند؛ بطوری که در رابطه با سپتاژ خانگی اعداد کیفیت می‌تواند بسیار متفاوت باشد (میثمی و همکاران، ۱۳۹۸).

قدیمی‌ترین سیستم کانالی را می‌توان در آثار تمدن هندیان مشاهده نمود. در این آثار که تاریخ آن‌ها به حدود ۷۰۰۰ سال پیش نسبت داده می‌شود، باقیمانده فاضلاب‌روهایی برای هدایت فاضلاب‌های خانگی دیده می‌شود. در خرابه‌های شهر بابل و نینوا و نیز در جزیره کرت آثاری از مجراهای فاضلاب همگانی دیده شده‌اند. در شهرهای یونان و روم قدیم آثار فاضلاب‌روهایی به قطرهای ۲ تا ۳ متر مشاهده می‌شوند که ساختمان آن‌ها را به ۲۰۰۰ سال پیش از میلاد نسبت می‌دهند. در اورشلیم آثار کانال‌های هدایت فاضلاب به بیرون شهر و جمع‌آوری آن در دریاچه‌های فاضلاب و حتی استفاده از فاضلاب به‌عنوان کود در کشاورزی دیده شده است که تاریخ ایجاد آن‌ها به حدود ۳۰۰۰ سال پیش می‌رسد. در شهر همبئی باقیمانده فاضلاب‌روهایی مشاهده می‌شود که ساختمان آن‌ها را به حدود ۱۹۰۰ سال پیش مربوط می‌دانند (منزوی، ۱۳۶۱).

کانال‌های اصلی شبکه جمع‌آوری فاضلاب (اگو) شهر پاریس به درازای ۳۶ کیلومتر در سال ۱۷۸۹ میلادی ساخته شدند. شهر لندن پس از کشتاری که بیماری وبا در آن انجام داده و طی آن ۲۵۰۰۰ نفر تلف شدند، در سال‌های ۱۸۳۲ تا ۱۸۴۸ دارای شبکه زیرزمینی جمع‌آوری فاضلاب شد. هامبورگ در سال ۱۸۴۲، برلین در سال ۱۸۵۲ و فرانکفورت در سال ۱۸۶۶ مجهز به شبکه‌ی کانال‌کشی شدند (منزوی، ۱۳۶۱؛ شرکت مهندسی متکاف و ادی، ۱۳۹۲).

اولین سابقه از جمع‌آوری و دفع فاضلاب در ایران مربوط به تخت جمشید بوده که با استفاده از کانال‌هایی به یک نیزار طبیعی در پایین‌دست تخلیه می‌شد. در طی ۳۰ تا ۴۰ سال اخیر نیز در برخی از شهرها مانند اصفهان، اهواز و برخی نواحی تهران، اقدام به ایجاد شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب گردید. به‌ویژه با تأسیس شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور در بسیاری از شهرها که در این مورد با مشکلات حادی روبه‌رو بودند، شبکه‌های جمع‌آوری و تأسیسات تصفیه‌خانه فاضلاب به وجود آمد (منزوی، ۱۳۹۰). آمار شرکت آب و فاضلاب کشور نشان می‌دهد که در سال ۱۳۷۶ شهرهای بروجن، شهرکرد، فولادشهر، اصفهان، شاهین‌شهر، بخش‌هایی از تهران، و هویزه ازجمله شهرهایی هستند که به‌جز شبکه جمع‌آوری فاضلاب دارای تصفیه‌خانه فعال نیز بوده‌اند (منزوی، ۱۳۹۰). در حال حاضر حدود ۳۰۰ شهر در کشور شبکه جمع‌آوری فاضلاب دارند که جمعیتی حدود ۳۵ میلیون نفر را پوشش می‌دهد (درگاه اینترنتی شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور، ۱۴۰۲).

در حال حاضر بخش خصوصی حمل و دفع سپتاژ در اکثر شهرهای ایران را انجام می‌دهد و تانکرهای تحت پوشش این بخش عمدتاً اقدام به حمل سپتاژ خانگی می‌نمایند. محل دفع سپتاژ به‌طور عمده بیابان‌ها و یا رودخانه‌های اطراف شهرها است. بخش کمی از آن برای استفاده در اراضی کشاورزی به کشاورزان فروخته می‌شود و مابقی در بیابان‌ها، رودخانه‌ها، تصفیه‌خانه‌ها و یا نقاط دیگر شهر تخلیه می‌گردد. در برخی موارد ملاحظه شده که فاضلاب‌های صنعتی نیز معمولاً به‌طور غیرقانونی توسط تانکرها حمل شده و در بیابان‌ها و رودخانه‌های اطراف تخلیه می‌شود. در جدول (۱) چگونگی دفع سپتاژ در برخی از شهرهای ایران ارائه شده است. بررسی‌های صورت گرفته نشان می‌دهد که در بیشتر شهرهای ایران که فاقد سیستم شبکه جمع‌آوری فاضلاب بوده و یا آن که شبکه به‌طور کامل اجرا نشده است، مشکل حمل و دفع سپتاژ وجود دارد. همچنین باوجود آنکه بخش خصوصی اقدام به حمل و دفع سپتاژ می‌نمایند، ولی سازمان‌دهی و مدیریت صحیحی توسط بخش دولتی مرتبط نداشته که این امر باعث بروز مشکلات متعددی در اکثر شهرها شده است (شرکت مهندسی مشاور پارس آب تدبیر، ۱۳۹۷).

اجرای شبکه فاضلاب کلانشهر مشهد از سال ۱۳۷۳ آغاز شده و تاکنون با انجام سه هزار و هفتصد کیلومتر حدود ۸۵ درصد پیشرفت فیزیکی داشته است. هم اینک پنج تصفیه‌خانه با ظرفیت اسمی ۲۶۳ هزارمترمکعب در شبانه روز در مدار بهره‌برداری است (ایرنا، ۱۴۰۲). مشاهدات میدانی نویسندگان در سال ۱۴۰۲ این موضوع را تایید می‌کند که هنوز اقدام قابل توجهی در خصوص رفع مسئله دفع سپتاژ در کلان مشهد صورت نگرفته است.

در سال‌های اخیر پژوهشگرانی به تحقیق و بررسی نحوه ساماندهی سپتاژ در شهرهای مشهد، شرق مازندران، گرگان و بابلسر پرداختند (میثمی و همکاران، ۱۳۹۸؛ مفتاح هلقی و

همکاران، ۱۳۹۵؛ یوسفی و سیدی‌راد، ۱۳۹۲؛ یوسفی، ۱۴۰۱). نتایج این تحقیقات منجر به تهیه طرح تصفیه¬خانه شده است. میثمی و همکاران (۱۳۹۸) با بررسی نحوه استخراج خصوصیات کمی و تخمین حجم کل فاضلاب تانکری شهر مشهد، سپس با معرفی نحوه دستیابی به خصوصیات کیفی و آزمایشات انجام شده روی سپتاژ مشهد، طرح پیشنهادی تصفیه¬خانه سپتاژ مشهد را ارائه کردند.

در مطالعه حاضر جهت بررسی روش‌های مدیریت سپتاژ شهر مشهد، در ابتدا مبانی کیفی و کمی مورد مطالعه قرار گرفته است. در خصوص مبانی کمّی، برآورد مقدار سپتاژ با استفاده از اطلاعات سازمان‌های مرتبط و بررسی‌های میدانی انجام گرفته به عنوان مبنای طرح قرار گرفت. در خصوص مبانی کیفی نیز به مطالعات کتابخانه‌ای، نمونه‌های مشابه در داخل کشور و انجام آزمایشات لازم استناد شد. پس از آن استاندارد و ضابطه مربوط به دفع و تصفیه سپتاژ و نیز فرآیند تصفیه بررسی شده و بهترین راهکار پیشنهاد شده است.

جدول ۱- چگونگی دفع سپتاژ در برخی شهرهای ایران (شرکت مهندسی مشاور پارس آب تدبیر، ۱۳۹۷)

نام شهر	شبکه جمع‌آوری فاضلاب	تصفیه‌خانه فاضلاب	نوع سپتاژ	محل تخلیه سپتاژ	سازمان‌های متولی تانکرهای حمل سپتاژ	ساماندهی وضعیت تانکرها
تهران	دارد	دارد	خانگی و صنعتی	سپتاژ خانگی به کشاورزان فروخته و سپتاژ صنعتی در بیابان دفع می‌شود	بخش خصوصی	انجام نشده است
شاهرود	دارد	ندارد	خانگی و صنعتی	تخلیه در بیابان	بخش خصوصی	انجام نشده است
گرگان	دارد	دارد	خانگی و صنعتی	تصفیه‌خانه فاضلاب (در مرحله مطالعات)	بخش خصوصی	در دست انجام
رشت	دارد	دارد	خانگی و صنعتی	تخلیه در بیابان	بخش خصوصی	انجام نشده است
بابل	دارد	دارد	خانگی و صنعتی	تخلیه در بیابان و رودخانه	بخش خصوصی	انجام نشده است
بیرجند	دارد	دارد	خانگی و صنعتی	تخلیه در آب‌بندهای خارج شهر	بخش خصوصی	انجام نشده است
ساوه	دارد	دارد	خانگی و صنعتی	سپتاژ خانگی به کشاورزان فروخته و سپتاژ صنعتی در بیابان دفع می‌شود	بخش خصوصی	انجام نشده است

مواد و روش

در مورد فرآیند دفع سپتاژ شهر مشهد ابتدا باید مطالعه‌ای در خصوص مبانی کمی آن انجام گیرد تا بتوان برآورد نسبتاً قابل قبولی از میزان سپتاژ تولیدی داشته و آن را مبنای محاسبات بعدی قرار داد. همچنین با توجه به اینکه حجم سپتاژ تخلیه شده توسط تانکرهای حمل سپتاژ در ساعات مختلف شبانه روز یکسان نیست، می‌بایست دبی پیک آن را مشخص کرد. یادآوری می‌گردد که با توسعه شبکه جمع‌آوری فاضلاب شهری و احداث تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، از حجم سپتاژ تولیدی کاسته می‌شود.

فاضلاب‌های خانگی، صنعتی و سطحی در بعضی از پارامترهای کیفی تا حدود زیادی با هم متفاوتند. همچنین فاضلاب تصفیه شده برای اهداف متفاوتی ممکن است استفاده شود که هرکدام از این گزینه‌ها مشخصات و استانداردهای خاص خود را می‌طلبد؛ بنابراین باید کاربرد نهایی استفاده از پساب، استانداردهای مورد نیاز و نیز مبانی کیفی سپتاژ اولیه مشخص بوده تا بتوان با انتخاب فرآیند مناسب تصفیه، مشخصات کیفی سپتاژ را حتی‌الامکان به استاندارد مورد نظر نزدیک کرد.

• مبانی کمی

با دو رویکرد اصلی اقدام به برآورد مقدار سپتاژ شده است که شامل ۱- اخذ اطلاعات از سازمان‌های مرتبط؛ در این راستا از ستاد خاک و نخاله شهرداری، اتحادیه صنف اتوبار و خدمات شهری، سازمان حفاظت محیط‌زیست خراسان، مرکز بهداشت استان خراسان و فرمانداری مشهد استعلام شده است. ۲- با توجه به نقصان اطلاعات دریافتی از سازمان‌ها، اقدام به مطالعات میدانی شده و به منظور حصول نتایج قابل اتکا و دقیق، برنامه شمارش حامل‌های سپتاژ در محل تصفیه‌خانه اولنگ آغاز و نهایتاً با پایش انجام گرفته برآورد مقادیر با بهره‌جویی از اطلاعات به‌دست‌آمده محقق گردیده است. همچنین تعیین ضریب حداکثر جریان در خصوص سپتاژ با شمارش تعداد تانکر در واحد زمان انجام شد. نتایج حاصل مطابق جدول (۲) می‌باشد.

جدول ۲- جمع‌بندی نهایی تعداد تانکر و حجم سپتاژ روزانه شهر مشهد در سال ۱۳۹۹

ظرفیت تانکر	تعداد تانکر	متوسط درصد تانکرها	متوسط تعداد تخلیه روزانه	حجم سپتاژ (مترمکعب)
۴۵۰۰	۶۵	۵۹	۳/۵	۱۰۲۲
۸۰۰۰	۱۶	۱۵	۳	۳۸۴
۹۰۰۰	۱۱	۱۰	۲/۵	۲۴۷
۱۰۰۰۰	۷	۷	۴/۵	۳۱۵
۱۲۰۰۰	۴	۴	۳/۵۲	۱۵۶
۱۵۰۰۰	۶	۵	۵/۵	۴۹۵
مجموع	۱۰۹	۱۰۰	-	۲۶۲۰

• مبانی کیفی

برخی از فاکتورهایی که می‌تواند تا حدودی نشان‌دهنده خواص فاضلاب خانگی باشد شامل رنگ و بوی فاضلاب، درجه اسیدی، دمای فاضلاب، مواد خارجی موجود در آن و نیز وزن مخصوص فاضلاب است.

خواص فاضلاب‌های صنعتی و پساب کارخانه‌ها بستگی به نوع فراورده کارخانه دارد که مهم‌ترین تفاوت آن با فاضلاب خانگی عبارت‌اند از: امکان وجود مواد و ترکیب‌های شیمیایی سمی بیشتر، خاصیت خورندگی و درجه اسیدی بیشتر و امکان وجود مواد زنده کمتر.

فاضلاب‌های سطحی نیز ناشی از بارندگی و ذوب یخ‌ها و برف‌های نقاط بلند بوده که به علت جریان در سطح زمین و تماس با آلودگی‌های روی زمین و سطح خیابان‌ها و پشت‌بام‌ها، مقداری مواد آلی و معدنی، پس‌مانده ذرات گیاهی و حیوانی، مواد نفتی و دوده وارد آن‌ها شده که دارای درجه آلودگی و مواد آلی زیاد و حتی بیش از فاضلاب‌های خانگی است.

برای نشان دادن درجه آلودگی فاضلاب معمولاً بجای اندازه مقدار مواد آلی، مقدار اکسیژن لازم برای اکسیداسیون مواد نامبرده را اندازه‌گیری می‌کنند. مهم‌ترین روش‌های تعیین درجه آلودگی فاضلاب عبارت‌اند از: تعیین مقدار BOD، تعیین مقدار COD، تعیین TOC، تعیین مقدار مواد معلق (SS) و تعیین اکسیژن محلول (DO) (منزوی، ۱۳۹۰).

به‌طورکلی در بحث مبانی کیفی، رویکردهای قابل‌طرح عبارت‌اند از: استناد به مطالعات کتابخانه‌ای، نمونه‌های مشابه در داخل کشور و نتایج آزمایشات انجام شده (Metcalf و Eddy، USEPA:۲۰۰۳ ، ۱۹۸۴). دقیق‌ترین راه در راستای برآورد شرایط کیفی، انجام آزمایش‌های دوره‌ای است. جدیدترین آزمایشات توسط آزمایشگاه مشرق زمین مشهد انجام شده که نتایج آن در بخش‌های انتهایی ارائه خواهد شد (جدول ۱۰).

• ضوابط و استانداردهای موجود برای سپتاژ

دفع سپتاژ در کشورهای پیشرفته عمدتاً تابع ضوابط و استانداردهایی سخت است؛ اما در بسیاری از کشورهای درحال‌توسعه و ازجمله ایران هنوز استاندارد مناسبی جهت تصفیه و دفع سپتاژ تهیه نشده است. در ادامه خلاصه‌ای از مهم‌ترین استانداردهای موجود ارائه شده است. به‌طورکلی سپتاژ معمولاً شرایطی بینابین فاضلاب و لجن دارد و می‌توان برای طرح تصفیه آن از استانداردهای پساب و لجن استفاده نمود که در ادامه برخی از آنها بررسی می‌شود.

- آیین‌نامه دفع سپتاژ در منچستر آمریکا:

در آیین‌نامه این موارد در نظر گرفته شده است:

- کلیه سپتاژهای تولیدی باید در تصفیه‌خانه فاضلاب تصفیه شود.
- قبل از انتقال سپتاژ به تصفیه‌خانه فاضلاب، هماهنگی با رئیس تصفیه‌خانه لازم و ضروری است.
- فقط سپتاژ حاصل از منابع خانگی شهرهای بزرگ آمریکا مجاز به حمل و دفع است.
- جهت حمل‌ونقل هر تانکر سپتاژ به محل دفع باید ۱۰ دلار دستمزد پرداخت شود (Klingel و همکاران، ۲۰۰۲؛ Eliot و همکاران ۲۰۰۳).

- آیین‌نامه اوهایو آمریکا جهت دفع سپتاژ در زمین:

۱- انتخاب محل دفع سپتاژ به‌گونه‌ای باشد که از عدم تماس افراد با سپتاژ اطمینان حاصل شود.

۲- میزان عوامل بیماری‌زا موجود در سپتاژ تا حد استاندارد کاهش یابد.

۳- روش‌های مدیریتی جهت دفع سپتاژ اعمال گردد.

۴- مکان مورد استفاده و میزان مواد مغذی موردنیاز محصولاتی که قرار است از سپتاژ به‌عنوان کود استفاده نمایند، مشخص شود (EPA، ۲۰۱۲).

• روش‌های متداول تصفیه سپتاژ در دنیا

به‌طورکلی به دلیل ماهیت متغیر سپتاژ، روش‌های مختلفی برای تصفیه آن در دنیا موردبحث و بررسی قرار گرفته است و در هر منطقه به فراخور کمیت و کیفیت سپتاژ تولیدی و چگونگی امکانات دفع و استفاده مجدد از آن روش‌های مختلفی به کار گرفته شده است. به‌طور مثال در کشورهای صنعتی فرآیندهای تصفیه فاضلاب و لجن به‌طور گسترده‌ای جهت تصفیه سپتاژ به کار می‌رود. متداول‌ترین فنّاوری‌های تصفیه در این کشورها عبارت‌اند از: هوادهی گسترده، هضم بی‌هوازی، تغلیظ‌کننده‌های مکانیکی، سانتریفوژ، فیلتر پرس، فیلتر مکشی، خشک‌کردن در درجه حرارت زیاد، پاستوریزاسیون و غیره؛ اما تمامی فناوری‌های فوق برای کشورهای درحال‌توسعه قابل کاربرد نیست. چون اغلب آن‌ها خیلی گران هستند و هزینه‌های راهبری و نگهداری بالایی دارند. درجه بالای مکانیزاسیون این روش‌ها نیاز به سرمایه‌گذاری

بالا و هزینه‌های بالای نگهداری و بهره‌برداری داشته، به‌علاوه نیاز به کادر ماهر جهت راهبری باعث می‌شود که در کشورهای درحال‌توسعه استفاده از این سامانه‌ها با محدودیت زیادی مواجه باشد. در کشورهای درحال‌توسعه چنین امکاناتی فقط در شهرهای بزرگ ممکن است قابل حصول باشد. به همین جهت در کشورهای درحال‌توسعه از روش‌های ساده و طبیعی جهت تصفیه سپتاژ و دفع آن استفاده می‌شود. در این کشورها انتخاب روش‌های تصفیه سپتاژ با توجه به موارد هزینه کم، سادگی راهبری و سادگی فرآیند صورت می‌گیرد.

• بررسی فرآیندهای تصفیه سپتاژ

تفاوت اصلی سپتاژ و فاضلاب در غلظت آلاینده‌ها و نوع آن‌ها است. غلظت آلاینده‌های موجود در سپتاژ نزدیک به شرایط لجن تصفیه‌خانه فاضلاب است. به همین دلیل فرآیندهای تصفیه سپتاژ شباهت زیادی به فرآیندهای تصفیه لجن دارند. این فرآیندها عمدتاً شامل استفاده از ظرفیت‌های موجود (تصفیه‌خانه‌های فاضلاب)، استفاده از ظرفیت طبیعی محیط (نی‌زارها و نظایر آن)، کاهش حجم، تثبیت و امثال آن است. فرآیندهای تصفیه سپتاژ عمدتاً در شرایط شهری محدود بوده و فرآیندهای قابل‌قبول در این زمینه مشابه فرآیندهای تصفیه لجن هستند. اهم این موارد شامل تثبیت‌های هوازی، بی‌هوازی، کمپوست‌سازی، سوزاندن، تثبیت قلیایی و دفن است. در جدول (۳) نمونه‌هایی از روش‌های تصفیه سپتاژ در کشورهای در حال توسعه آورده شده است (شرکت مهندسین مشاور پارس آب تدبیر، ۱۳۹۷).

جدول ۳- نمونه‌هایی از روش‌های تصفیه سپتاژ در کشورهای درحال‌توسعه (شرکت مهندسی مشاور پارس آب تدبیر، ۱۳۹۷)

نام شهر یا کشور	ملاحظات
	آسیا
اندونزی	در حدود ۱۰ واحد تصفیه سپتاژ در این کشور موجود است (طرح‌های برکه و در بعضی موارد تانك‌های ایمهاف نیز به‌عنوان واحدهای تصفیه سپتاژ استفاده شده است.) ۲ واحد تصفیه فاضلاب در جاکارتا شامل هوادهی گسترده متعاقب برکه‌های اختیاری و زلال‌سازی است.
تایلند	طرح‌های کم‌هزینه (هاضم‌ها + بسترهای لجن‌خشک‌کن + برکه‌ها) در شهرهای بزرگ، واحدهایی با فنّاوری پیشرفته (تصفیه فیزیکی ـ شیمیایی متعاقب لجن فعال)
ویتنام	بسترهای لجن‌خشک‌کن + فروش بیوسالید نیزارهای مصنوعی طراحی‌شده
لائوس	واحدهای تصفیه کم‌هزینه
جمهوری چین	هاضم بی‌هوازی و دیگر واحدهای جانبی
	آفریقا
گینه	۲ طرح در آکرا + یك طرح در کوماسی + یك واحد کوچک‌تر تصفیه سپتاژ (همگی برکه)
بنین	یك طرح برکه
مالی	۲ واحد تصفیه سپتاژ (برکه و نی‌زاز مصنوعی)
بورکینافاسو	تصفیه مشترك در برکه
تانزانیا	تصفیه مشترك همراه با فاضلاب در برکه
آفریقای جنوبی	تصفیه مشترك همراه با فاضلاب در واحدهای لجن فعال

• روش‌های دفع سپتاژ

با توجه به تنوع آب‌وهوا و خصوصیات منطقه، روش‌های متفاوتی برای دفع سپتاژ در زمین وجود دارد ولی به‌هرحال روش انتخابی باید به‌گونه‌ای باشد که قابلیت انعطاف بالایی داشته باشد. در طراحی محل دفع سپتاژ نیز نیاز به ملاحظاتی در سطح تخصصی و کارشناسی است. لازم به ذکر است که تجهیزات و امکانات مورد نیاز دفع سپتاژ در زمین، مشابه آن‌هایی است که در دفع فضولات حیوانی (کود کشاورزی) بکار برده می‌شوند (منزوی، ۱۳۹۰).

• فرآیندهای پیشنهادی تصفیه سپتاژ شهر مشهد

در طرح پیشنهادی تصفیه سپتاژ شهر مشهد پروژه به دو قسمت پیش‌تصفیه و تصفیه تکمیلی تقسیم می‌شود. بخش پیش‌تصفیه در سایت تصفیه‌خانه فاضلاب اولنگ و شامل ایستگاه دریافت سپتاژ، تله ماسه‌گیر، آشغال‌گیر، دانه‌گیر و لاگون بی‌هوازی است. بخش پیش‌تصفیه راندمان تقریبی ۵۰ درصد در حذف پارامترهای BOD و COD داشته و راندمان حذف TSS آن حدود ۷۰ درصد است. عملکرد بخش پیش‌تصفیه عمدتاً به دلیل وجود لاگون بی‌هوازی است که به‌صورت هم‌زمان عملکرد

ته‌نشینی و تصفیه را تحقق می‌بخشد.
در خصوص بخش تصفیه تکمیلی با توجه به شرایط کیفی ذکر شده (در قسمت نتایج کیفی) و غلظت بالای آلاینده‌ها، می‌بایست فرآیندهای مناسبی جهت کاهش غلظت پارامترها در نظر گرفته شود.

• فرآیندهای تصفیه بخش مایع

برای تصفیه بخش مایع، فرآیندهای زیر با توجه به استانداردهای ذکر شده انتخاب شده است.
۱- صاف‌سازی پساب جهت انتقال به ورودی تصفیه‌خانه فاضلاب.
۲- فرآیند تصفیه مستقل با رویکرد حصول استاندارد مناسب جهت استفاده از پساب در کشاورزی.
۳- فرآیند تصفیه مستقل با رویکرد حصول استاندارد مناسب جهت تخلیه پساب به آب‌های سطحی.
دو فرآیند اول در مشهد قابل استفاده نیستند و برای سپتاژ شهر مشهد فرآیند سوم بدلیل شرایط خاص طرح پیشنهاد می‌شود.

- فرآیند تصفیه مستقل با رویکرد حصول استاندارد مناسب جهت تخلیه پساب به آب‌های سطحی:

تصفیه در این بخش به ترتیب شامل ۴ واحد بیولوژیک، فیلتراسیون، تزریق ازن و کربن فعال است. مشخصات پیشنهادی برای هر یک از این واحدها در ادامه ارائه می‌شود.

۱- واحد بیولوژیک: به‌منظور حصول کیفیت پساب جهت تخلیه به منابع آب سطحی می‌بایست علاوه بر کاهش پارامترهای BOD و COD تا حد قابل‌توجه، نوترینت‌ها (نیتروژن و فسفر) نیز تا حد استاندارد کاهش یابند. مرحله اول تصفیه در این بخش مشابه انعقاد و لخته‌سازی و ته‌نشینی خواهد بود. مشخصات واحد بیولوژیک در جدول (۴) ارائه شده است.

۲- واحد فیلتراسیون: پس از خروج پساب از تانک ته‌نشینی ثانویه واحدهای تصفیه پیشرفته جهت حصول استاندارد آب سطحی در نظر گرفته شده است. از آنجا که کدورت و مواد معلق موجود در پساب عمل تصفیه را با مشکل روبرو می‌سازد لذا می‌بایست تا حد امکان مواد معلق را کاهش داد. برای این منظور از فیلتراسیون تحت‌فشار استفاده می‌شود. پساب به‌وسیله‌ی پمپاژ وارد فیلتر شنی می‌گردد؛ و پس از کاهش کدورت وارد ادامه‌ی مراحل تصفیه می‌شود. فیلترها پس از مدتی استفاده نیاز به شستشوی معکوس با جریان آب‌وهوا دارند. شستشوی معکوس معمولاً تابع زمان یا کیفیت پساب خروجی است. زهاب حاصل از شستشوی معکوس فیلترها همراه با سوپرناتانت سایر واحدها به‌صورت مجتمع به ابتدای تصفیه‌خانه برمی‌گردد. مشخصات واحد فیلتراسیون در جدول (۵) ارائه شده است.

جدول ۴- مشخصات واحد بیولوژیک

پارامتر	واحد	مقدار
بخش هوادهی		
تعداد تانک	-	۲
ابعاد تانک هوادهی	متر × متر × متر	۵ × ۱۰ × ۱۰
MLSS	میلی‌گرم بر لیتر	۳۵۰۰
نرخ لجن برگشتی	درصد	۸۰
میزان هوای موردنیاز	مترمکعب بر دقیقه	۱۰۰
میزان لجن مازاد	کیلوگرم بر روز	۳۱۰
F/M	-	۰/۱۳
زمان‌ماند سلولی (SRT)	روز	۱۲
بخش آنوکسیک		
تعداد تانک	-	۲
ابعاد تانک آنوکسیک	متر × متر × متر	۵ × ۱۰ × ۴۰
مقدار متانول تزریقی	کیلوگرم بر روز	۳۴۰۰
انرژی اختلاط	وات به ازای هر مترمکعب	۱۰
کل انرژی اختلاط موردنیاز	کیلووات	۴۰
SDNR	گرم نیترات بر گرم VSS بر روز	۰/۱۳
هوادهی دوم		
تعداد تانک	-	۲
ابعاد	متر × متر × متر	۲ × ۵ × ۱۰
میزان هوای موردنیاز	مترمکعب بر دقیقه	۲۰
تعداد تانک ته‌نشینی ثانویه	-	۲
قطر هر تانک ته‌نشینی	متر	۱۰
عمق آب در تانک ته‌نشینی	متر	۴
کل هوای موردنیاز	مترمکعب بر دقیقه	۱۲۰

جدول ۵- مشخصات واحد فیلتراسیون

پارامتر	واحد	مقدار
تعداد فیلتر	-	۱ دستگاه اصلی ۲ دستگاه جانبی
بار سطحی فیلتر	مترمکعب بر مترمربع روز	۱۲۰
قطر هر فیلتر	متر	۳
نوع فیلتر	-	تند ماسه‌ای تحت‌فشار

۳- واحد تزریق ازن: به‌منظور حصول کیفیت پساب قابل تخلیه

به منابع آب سطحی لازم است COD خروجی تصفیه‌خانه حداکثر در حدود ۶۰ میلی‌گرم در لیتر باشد. بخش قابل‌تجزیه بیولوژیک در فرآیند تصفیه بیولوژیک مصرف شده است. لیکن بخش غیرقابل تجزیه بیولوژیک تنها در ته‌نشینی و فیلتراسیون کاهش یافته است. لذا پارامتر مواد غیرقابل تجزیه بیولوژیکی در سپتاژ دست‌نخورده باقی‌مانده است. به‌منظور حذف این بخش از آلاینده لازم است از اکسیداسیون پیشرفته استفاده شود. یکی از روش‌های اکسیداسیون پیشرفته استفاده از فرآیند ازن زنی است. همچنین گفتنی است که پساب پس از اکسیداسیون ازن و طی زمان تماس مناسب نیاز به گندزدایی نخواهد داشت. مشخصات واحد ازن زنی در جدول (۶) ارائه گردیده است.

جدول ۶- مشخصات واحد تزریق ازن

پارامتر	واحد	مقدار
حجم تانک تماس ازن	مترمکعب	۲۵۰
زمان تماس ازن زنی	ساعت	۲
مقدار ازن تزریقی	کیلوگرم بر ساعت	۲۰

۴- واحد کربن فعال: پساب خروجی از واحد اکسیداسیون پیشرفته کماکان ممکن است دارای مواد آلی، ترکیبات سخت تجزیه‌پذیر، فلزات سنگین و نظایر آن باشد. برای کنترل این پارامترها از فیلتر کربن فعال استفاده می‌شود. سازوکار این فیلترها به‌صورت تحت‌فشار بوده و جریان از یک توده کربن فعال گرانولی عبور داده می‌شود. در این فیلتر بخش باقی‌مانده مواد آلی حذف می‌شود. ظرفیت گرانول‌های موجود در فیلتر پس از مدتی استفاده پر خواهد شد. پس‌ازآن لازم است کربن فعال موجود در فیلتر تخلیه و احیا شود. در هر نوبت از احیا بخشی از کربن فعال از دست خواهد رفت که لازم است با کربن فعال جدید جایگزین شود. مشخصات واحد کربن فعال در جدول (۷) ارائه شده است.

جدول ۷- مشخصات واحد کربن فعال

پارامتر	واحد	مقدار
تعداد فیلتر	-	۲+۲
جرم کربن فعال موجود در هر فیلتر	کیلوگرم	۱۶۰۰
قطر هر فیلتر	متر	۲

• فرآیندهای تصفیه لجن

لجن اولیه برای گزینه‌های مختلف بخش مایع (فرآیندهای تصفیه بخش مایع) مشترک است و همچنین مقدار لجن ثانویه در سه گزینه بخش مایع بسیار نزدیک به هم بوده است (۲۹۰ و ۳۰۰ و ۳۱۰ کیلوگرم در روز). به همین منظور مقایسه گزینه‌های گوناگون در بخش لجن مستقل از نوع فرآیند انجام می‌شود.

سپتاژ دارای مواد مغذی ارزشمندی است که می‌توانند در مصارف کشاورزی استفاده شوند. لیکن همین مواد مغذی قابلیت آلوده کردن محیط و بروز مشکلات زیست‌محیطی و مخاطرات بهداشتی را دارند. لذا باید فرآیندهایی مبنای عملکرد قرار گیرند که قادر به کاهش آلاینده‌ها و از بین بردن زمینه آلودگی محیط‌زیست باشند. گزینه‌های زیر به‌منظور مدیریت لجن برای شهر مشهد و با توجه به امکانات موجود پیشنهاد می‌شود.

۱- استفاده از تأسیسات موجود تصفیه‌خانه التیمور
۲- استفاده از روش Zero Waste (فاقد پسماند)
۳- احداث هاضم هوازی و تأسیسات مرتبط
۴- احداث هاضم بی‌هوازی و تأسیسات مرتبط
۵- کمپوست‌سازی
۶- سوزاندن لجن

با توجه به بررسی‌های انجام شده در این تحقیق از میان گزینه‌های پیشنهادی کمپوست سازی پیشنهاد می‌شود. لذا در ادامه شرح این گزینه ارائه می‌شود.

- کمپوست‌سازی:

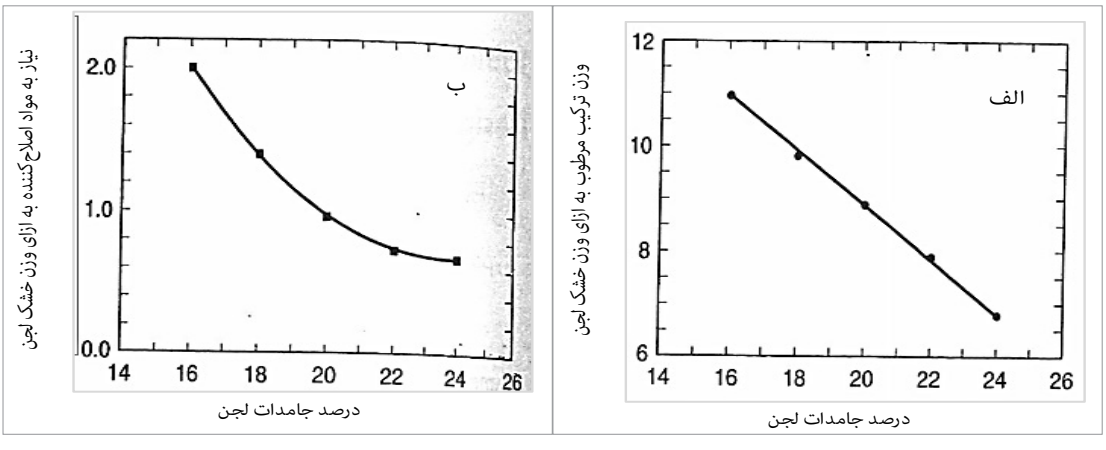
کمپوست‌سازی یکی از روش‌های مدیریت مواد زائد جامد و بخصوص لجن است. کمپوست‌سازی قادر است در شرایط گوناگون لجن کلاس A^2 یا B^3 را تأمین نماید. تفاوت این دو مورد در میزان حرارت و زمان کمپوست‌شدن است. در این روش میکروبیولوژی بسیار پیچیده‌ای وجود دارد که باعث می‌شود توده لجن وارد فاز حرارت دوست شود و در اثر فعل و انفعالات بیولوژیکی حرارت قابل‌توجهی تولید شود. این حرارت باعث تخریب پاتوژن‌ها و تخم انگل‌ها می‌شود. در فرآیند کمپوست‌سازی لازم است از بی‌هوازی شدن توده جلوگیری شود. درواقع باید بخشی از توده بی‌هوازی شده و بخش دیگر هوازی باشد. برای این منظور می‌توان از روش‌های گوناگون استفاده نمود. تفاوت عمده‌ی روش‌ها در روش هوارسانی است. در روش استاتیکی توده ساکن بوده و هوا توسط کمپرسور به درون توده دمیده می‌شود. روش دوم شیاری نام دارد. در روش کمپوست‌سازی ویندرو مواد جامد (لجن) آبگیری می‌شوند و توسط عوامل جانبی حجیم می‌شوند. توده‌ی حجیم شده به مدت ۲۱ تا ۲۸ روز انباشته شده و در این مدت ۵ بار زیرورو می‌شود. با توجه به غلظت ۳ درصدی لجن نیازی به عملیات تغلیظ نیست (شرکت مهندسی متکاف و ادی، ۱۳۹۲). مشخصات سیستم آبگیری لجن به شرح جدول (۸) است.

جدول ۸- مشخصات واحد آبگیری لجن (انجام شده در تحقیق حاضر)

پارامتر	واحد	مقدار
تعداد دستگاه	-	۲+۱
عرض بلت	متر	۱٫۵
درصد جامدات کیک	٪	۲۲
تعداد روزهای کاری در هفته	روز	۷
ساعت کاری در روز	ساعت	۸
اشل مصرف پلیمر	گرم به ازای کیلوگرم ماده خشک	۲ - ۵
مصرف پلیمر سالیانه	کیلوگرم در سال	۵۹۰۰
درصد به دام افتادن جامدات	٪	۹۵
جرم کیک تولیدی روزانه	کیلوگرم در روز	۳۸۵۰
حجم کیک تولیدی روزانه	مترمکعب در روز	۱۷/۵

برای انجام عمل کمپوست‌سازی باید لجن آبگیری شده با مواد حجیم کننده ترکیب شود. این عمل هم به‌منظور تأمین یک منبع کربنی و هم افزایش حجم و درنتیجه راندمان بهتر هوادهی است. در عمل حجیم‌سازی باید رطوبت نهایی حداکثر ۶۰ درصد باشد و میزان مواد حجیم کننده نیز تابع درصد خشکی لجن آبگیری شده است. مقدار رطوبت توده و مواد حجیم کننده طبق نمودارهای (۱) برآورد می‌شود.

به‌منظور حجیم کردن توده کمپوست می‌توان از خاک‌اره، ورقه‌های کوچک چوب (چیپس)، برگ‌ها و مواد زائد فضای سبز، تایرهای خردشده و ضایعات چوبی استفاده کرد. این مواد را پس از طی دوره زمانی موردنظر می‌توان به‌وسیله‌ی غربال‌گری از لجن آبگیری شده جدا نمود و مجدداً مورد استفاده قرار داد. مشخصات کمپوست پروژه حاضر در جدول (۹) ارائه شده است.



شکل ۱- تأثیر درصد جامدات لجن بر ترکیب کمپوست و مقدار مواد اصلاح کننده (مربوط به رطوبت و عامل حجیم کننده در کمپوست) الف) مقدار ترکیب در مقابل درصد جامدات لجن ب) نیاز به مواد اصلاح‌کننده در مقابل درصد جامدات لجن (Metcalf و Eddy، ۲۰۰۳؛ USEPA، ۱۹۸۴)

جدول ۹- مشخصات کمپوست در پروژه حاضر

پارامتر	واحد	مقدار
نوع کمپوست	-	ویندرو در سالن مسقف
تعداد بلوک‌های کمپوست	-	۳۰
زمان نگهداری لجن	روز	۳۰
ابعاد هر بلوک	متر × متر × متر	۵×۳×۱/۵
جرم لجن آبگیری شده	کیلوگرم بر روز	۳۸۵۰
نسبت جرم ماده حجیم کننده	کیلوگرم بر کیلوگرم	۰/۹
جرم ماده حجیم‌کننده روزانه	تن در روز	۳/۵
حجم کلی توده روزانه	مترمکعب	۲۲/۵
نرخ بازآوری ماده حجیم‌کننده	درصد	۹۵

توده کمپوست بایستی در طول مدت ذخیره‌سازی حداقل ۵ بار هوادهی گردد. این عمل با به هم زدن توده انجام می‌شود. می‌توان برای به هم زدن توده از دستگاه‌های کمپوست ترنر استفاده نمود. این دستگاه‌ها به یک تراکتور متصل شده و عمل اختلاط توده لجن را انجام می‌دهند.

نتایج و بحث

• تحلیل نتایج کمی

جمع‌بندی کلی صورت گرفته در خصوص برآورد روزانه مقدار سپتاژ شهر مشهد در تصفیه‌خانه فاضلاب اولنگ در سال ۱۳۹۹ در جدول (۲) آورده شده است. طبق اعلام تصفیه‌خانه فاضلاب اولنگ تعداد تانکرهای ورودی در بعضی ماه‌ها حداکثر ۱۷۰ تانکر در روز است؛ اما در آمارگیری انجام شده در ایام تابستان سال ۱۳۹۹ تا ۳۰۰ تانکر نیز گزارش شده است (ایرنا، ۱۴۰۲).

با توجه به تحقیقات میدانی، برآوردها و ارزیابی‌های صورت گرفته، مقدار متوسط ۳۰۰۰ مترمکعب در روز مبنای عملکرد در طرح جاری قرار خواهد گرفت. همچنین بررسی آمار و اطلاعات جمع‌آوری شده نشان می‌دهد که بارگیری و تخلیه سپتاژ در طول شبانه‌روز یکنواخت نمی‌باشد؛ بیشینه تخلیه تانکرها بین ساعات ۱۰ تا ۱۳ و ۱۶ تا ۱۹ بوده و دبی حداکثر ساعتی آن در حدود ۱۷۳ مترمکعب در ساعت است.

• تحلیل نتایج کیفی

میزان مواد معلق موجود در سپتاژ حدود ۱۵۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر گزارش شده است که حدود ۷۱ برابر غلظت فاضلاب خانگی (۲۱۰ میلی‌گرم در لیتر) است. غلظت سایر ناخالصی‌های موجود در سپتاژ نیز چندین برابر غلظت آن‌ها در فاضلاب است. به‌طوری‌که محتوای مواد آلی سپتاژ با غلظت‌هایی حدود ۷۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر برحسب BOD و ۱۵۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر برحسب COD، به ترتیب ۳۷ برابر و ۳۵ برابر غلظت آن در فاضلاب است. غلظت عناصر غذایی گیاهی (نیتروژن و فسفر) نیز در سپتاژ نسبت به فاضلاب خام بسیار بالا بوده و حدود ۱۷ برابر برای نیتروژن و ۳۶ برابر برای فسفر مشاهده می‌گردد. بر اساس بررسی پارامترهای کیفی مذکور و مقادیر آن‌ها، نتایجی استنتاج می‌گردد که اهم آن‌ها عبارت‌اند از (شرکت مهندسین مشاور پارس آب تدبیر ۱۳۹۷):

۱- سپتاژ تولیدی در نقاط مختلف دنیا دارای کیفیتی مشابه نیست بلکه غالب پارامترهای کیفی دامنه وسیعی از تغییرات را نشان می‌دهند.

۲- سپتاژ فاضلابی است که تا حدی تخلیط شده است. به‌عبارت‌دیگر سپتاژ را نمی‌توان معادل فاضلاب خام قلمداد نمود بلکه با توجه به غلظت و درصد مواد معلق آن، سپتاژ لجن غلیظ شده‌ای است که درجه تغلیظ آن برحسب منشأ، زمان ماندگاری آن، شرایط ماندگاری و فرآیندهای انجام شده بر روی آن متفاوت است. میانگین درصد مواد معلق سپتاژ در کشورهای پیشرفته ۱/۳ تا ۴/۵ درصد و در کشورهای درحال‌توسعه حدود ۱/۵ درصد است. بدیهی است که چنانچه در معیار سنجش، حداقل و حداکثرها منظور گردند دامنه تغییرات به‌مراتب وسیع‌تر می‌شوند.

۳- سپتاژ لجنی است که علاوه بر تغلیظ تا حدی تثبیت نیز شده است. میزان تثبیت مواد آلی سپتاژ برحسب شرایط ماندگاری در سپتیك تانك‌ها و چاه‌های جاذب و زمان‌ماندگاری آن متفاوت است. میزان تثبیت مواد آلی موجود در لجن و سپتاژ را می‌توان با بررسی داده‌های مربوط به‌کل مواد جامد (TS)، کل مواد آلی فرّار (TVS) و یا داده‌هایی نظیر COD، BOD5 و محاسبه نسبت‌های TVS/TS و BOD/COD برآورد نمود. نسبت‌های مذکور به‌طور تقریب میزان مواد آلی قابل‌تجزیه بیولوژیکی را به‌کل مواد آلی نمایش می‌دهند. هر چه این نسبت‌ها کوچک‌تر باشند به این مفهوم است که میزان مواد آلی قابل‌تجزیه باقی‌مانده کمتر بوده و بخش اعظم مواد آلی تجزیه و تثبیت شده‌اند و درنتیجه پتانسیل آلودگی سپتاژ کمتر است. در لجنی که به روش بی‌هوازی و با راندمان بالا تثبیت شده باشد نسبت TVS/TS معمولاً حدود ۳۵ تا ۴۰ درصد است. ارقام مربوط به نسبت TVS/TS سپتاژ کشورهای مختلف درصد مواد آلی فرّار را در سپتاژ کشورهای پیشرفته بین ۵۵ تا ۸۰ درصد و در کشورهای در حال توسعه بین ۴۷ تا ۷۶ درصد نشان می‌دهد و دلالت بر این دارد که سپتاژ در طی دوره ماندگاری در سپتیك تانك‌ها و چاه‌های جاذب (در صورت شرایط مساعد و زمان‌ماندگاری کافی) می‌تواند تا حد بسیار بالایی تثبیت شده باشد (منزوی، ۱۳۹۰). آمار مربوط به نسبت COD/BOD نیز مؤید درجات مختلفی از تثبیت مواد آلی سپتاژ است.

۴- سپتاژ خانگی علیرغم محل تولید آن، حاوی مقادیر محدود از عناصر غذایی گیاهی (نیتروژن و فسفر) است؛ بنابراین کاربرد آن در اراضی کشاورزی و یا مراتع درصورتی‌که با مدیریت صحیح توأم باشد می‌تواند تا حد زیای نیازهای گیاهان زراعی را تأمین ساخته و از مصرف کودهای شیمیایی و اثرات زیست‌محیطی آن بکاهد.

۵- سپتاژ درصورتی‌که از فاضلاب‌های صنعتی ناشی شده باشد می‌تواند علاوه بر ترکیبات متداول حاوی مقادیر قابل‌توجهی از ترکیبات آلی و معدنی و فلزات سنگین باشد. چنین ترکیبات و عناصری می‌توانند بالأخص در طولانی‌مدت اثرات زیست‌محیطی نامطلوبی را به بار آورند.

۶- از آنجا که سپتاژ در طی مرحله نگهداری در سپتیك تانك‌ها و چاه‌های جاذب تغلیظ می‌شود و از طرف دیگر در طی این مدت قسمت عمده عناصر سنگین آن (در صورت موجود بودن) جذب ذرات مواد آلی و معدنی شده و سپس ترسیب می‌گردد؛ لذا غلظت عناصر سنگین در سپتاژ حاصل از فاضلاب‌های صنعتی می‌تواند به‌مراتب بیشتر از غلظت آن‌ها در فاضلاب‌های خام اولیه صنعتی باشد. به همین جهت کاربرد چنین سپتاژهایی در اراضی کشاورزی، مراتع و غیره بایستی با تدابیر مدیریتی خاصی انجام پذیرد. نتایج آخرین آزمایشات انجام شده نیز مطابق جدول (۱۰) می‌باشد؛ این نمونه‌ها در سال ۱۳۹۹ از سپتاژ مشهد برداشت شده و توسط آزمایشگاه مشرق زمین انجام شده است.

داده‌های جدول (۱۰) مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. نتایج حاصل از این بررسی‌ها و تشکیل پارامترهای جانبی از این مقادیر منجر به جدول (۱۱) شد.

جدول ۱۰- نتایج آزمایش‌های کیفی جدید

کد نمونه	ABC	DEF	123	456	789	101112	A123	A456	A789	A101112
BOD (mg/l)	۱۰۰۰	۳۵۰۰	۱۰۸۰	۱۲۴۸	۱۸۰۰	۳۸۱۵	۵۰۰	۱۳۰۰	۱۰۰۰	۱۸۰۰
COD (mg/l)	۳۲۰۰	۳۵۲۰۰	۲۲۰۰	۱۹۷۵	۲۸۰۰	۹۵۰۰	۱۷۲۰	۷۳۰۰	۳۵۲۰	۴۷۰۰
sBOD (mg/l)	۶۵۰	۹۵۰	۲۶۰	۲۰۰	۵۲۰	۷۰۰	۳۰۰	۲۴۰	۱۴۰	۶۲۰
sCOD (mg/l)	۱۰۲۸	۲۶۰۰	۶۱۳	۴۶۰	۸۰۰	۱۰۸۰	۵۷۰	۷۴۰	۳۰۰	۹۰۰
TSS (mg/l)	۲۷۰۰	۱۵۸۰۰	۱۰۰۰	۱۲۰۰	۱۴۳۳	۱۱۹۶۶	۱۳۷۵	۵۱۵۰	۲۱۰۰	۳۰۰۰
VSS (mg/l)	۲۰۰۰	۱۱۲۰۰	۱۰۰	۶۰۰	۶۰۰	۴۲۰۰	۸۰۰	۳۰۵۰	۱۲۷۵	۱۰۰۰
TP (mg/l as P)	۳۴/۶	۶۷/۸۸	۲۸/۱۲	۳۲/۴	۵۵	۱۱۳/۵	۷۷/۴	۷۳/۹۲	۸۲/۶	۳۸/۲
TN (mg/l as N)	۵۲۰/۶۷	۳۷۵	۲۷۸	۲۸۸/۶۸	۶۲۰/۶۷	۴۴۹/۶۷	۴۲۷/۷	۵۲۴/۷	۳۴۲/۲	۲۵۶/۹
TKN (mg/l as N)	۵۲۰	۳۷۴	۲۴۴	۲۸۸	۶۲۰	۴۴۹	۴۲۷	۵۲۴	۳۴۲	۲۵۶/۷
NH4 (mg/l as NH4)	۴۰۰	۲۶۰	۲۲۴	۲۰۶	۴۸۱	۳۲۰	۳۶۷	۳۸۵	۲۷۰	۲۳۰
NO3 (mg/l as NO3)	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۱	۱
چربی و روغن (mg/l)	۱۲۸	۱۳۳۷۰	۱۰۰	۱۱۲	۲۰۰	۵۳۰	۹۰	۵۲۰	۲۰۰	۳۵۰
ته‌نشینی نیم‌ساعته (ml/l)	۸۰	۶۰	۵۰	۴۰	۷۵	۱۲۵	۴۰	۱۲۵	۸۰	۷۰

جدول ۱۱- مقادیر پارامترهای کیفی به‌دست‌آمده از آزمایش‌های جدید

پارامتر	واحد	حداقل	حداکثر	میانگین	ملاحظات
BOD	mg/l	۵۰۰	۳۸۱۵	۱۷۰۴/۳	-
COD	mg/l	۱۷۲۰	۳۵۲۰۰	۷۲۱۱/۵	-
sBOD	mg/l	۱۴۰	۹۵۰	۴۵۸	بخش محلول BOD
sCOD	mg/l	۳۰۰	۲۶۰۰	۹۰۹/۱	بخش محلول COD
TSS	mg/l	۱۰۰۰	۱۵۸۰۰	۴۵۷۲/۴	-
VSS	mg/l	۱۰۰	۱۱۲۰۰	۲۴۸۲/۵	بخش آلی مواد معلق
TP	mg/l	۲۸/۱۲	۱۱۳/۵	۶۰/۳۶۲	-
TN	mg/l as N	۲۵۶/۹	۶۲۰/۶۷	۴۰۸/۴۱۸	-
TKN	mg/l as N	۲۵۶/۷	۶۲۰	۴۰۷/۷۷	-
NH4	mg/l as NH4	۲۰۶	۴۸۱	۳۱۴/۳	-
NO3	mg/l as NO3	۱	۳	۲/۶	-
BOD/COD	-	۰/۱	۰/۶۴	۰/۳۷	-
bCOD	mg/l	۸۰۰	۶۱۰۴	۲۷۱۶/۷	با فرض نسبت ۱/۶ محاسبه شده است
nbCOD	mg/l	۰	۲۹۶۰۰	۴۴۹۴	بخش غیرقابل تجزیه بیولوژیک
bsCOD	mg/l	۲۲۴	۱۵۲۰	۷۲۹	-
nbsCOD	mg/l	۰	۱۰۸۰	۱۷۹/۹	بیانگر نیاز اکسیداسیون پیشرفته
nbpCOD	mg/l	۰	۲۸۵۲۰	۴۳۱۴/۹	بخش عمده مواد غیرقابل تجزیه به‌صورت معلق هستند
sBOD/BOD	-	۰/۱۴	۰/۶۵	۰/۳۱	نسبت حلالیت در پارامتر BOD
sCOD/COD	-	۰/۰۷	۰/۳۳	۰/۲	نسبت حلالیت در پارامتر COD
NH4	mg/l as N	۱۶۰/۲۲	۳۷۴/۱۱	۲۴۴/۴۶	آمونیاک برحسب نیتروژن
نیتروژن آلی	mg/l as N	۷۷/۸۱	۲۵۴/۸۹	۱۶۳/۳۱	بخش آلی نیتروژن
چربی و روغن	mg/l	۹۰	۱۳۳۷۰	۱۵۶۰	-
ته‌نشینی نیم‌ساعته	ml/l	۴۰	۱۲۵	۷۴/۵	بیانگر بخش سوسپانسیون مخلوط

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده و تدقیق شده می‌توان دریافت بخش قابل‌توجهی از بار آلاینده‌ها به‌صورت معلق و کلوئیدی است. در بخش محلول مواد قابل‌تجزیه بیولوژیکی درصد بالاتری از کل آلاینده‌ها را به خود تخصیص داده است.

• بررسی استانداردها

با توجه به رویکرد شرکت آب و فاضلاب مشهد مقرر گردید از جنبه هزینه‌های ارتقاء کیفی سپتاژ سه کیفیت کلی برای پساب ارزیابی اقتصادی شوند که عبارتند از: سطح کیفی برای استفاده از پساب در کشاورزی، کیفیت مناسب برای تخلیه به ورودی تصفیه‌خانه فاضلاب (در حد فاضلاب خام) و کیفیت مناسب برای تخلیه به آب‌های سطحی (تصفیه مستقل). در خصوص لجن تصفیه‌خانه نیز حصول کلاس B و یا کلاس A مدنظر است.

ماحصل تصفیه سپتاژ همراه با فاضلاب شهری می‌تواند ضمن فراهم ساختن امکان استفاده بهینه از ظرفیت تصفیه‌خانه، از آلودگی‌های زیست‌محیطی جلوگیری کرده و منبع درآمدی نیز برای تصفیه‌خانه باشد. مهمترین مزیت استفاده از تصفیه‌خانه فاضلاب این است که امکان مدیریت سپتاژ به صورت یکپارچه را فراهم می‌نماید. معایب این روش نیز عبارتند از:

- هزینه‌های سرمایه‌گذاری و راهبری تصفیه‌خانه فاضلاب، افزایش می‌یابد.
- ممکن است بعضی مشکلات احتمالی مثل بو، جلبک و جانوران موذی داشته باشد.
- با ورود سپتاژ ممکن است تصفیه‌خانه فاضلاب با مشکلاتی روبرو شود.
- اگر افزودن سپتاژ به‌درستی کنترل نشده باشد، دفع لجن و پساب ممکن است با محدودیت مواجه شود.

• نتیجه بررسی فرآیندهای پیشنهادی تصفیه سپتاژ شهر مشهد

با توجه به آنچه در مواد و روش ذکر گردید و نیز با توجه به رویکرد شرکت آب و فاضلاب مشهد؛ در مورد بخش مایع باید سه گزینه استفاده از پساب در کشاورزی، تخلیه به ورودی تصفیه‌خانه فاضلاب (در حد فاضلاب خام) و تخلیه به آب‌های سطحی (تصفیه مستقل) ارزیابی شوند. با توجه به مطالعات انجام شده در این تحقیق گزینه مناسب تخلیه به آب‌های سطحی است که در بخش‌های پیشین به طور مفصل بررسی شد. همچنین در بخش لجن گزینه‌های مورد بحث روش اول استفاده از تأسیسات موجود در تصفیه‌خانه التیمور که با توجه به لزوم پمپاژ لجن به کلی مردود بوده و توجیه فنی و اقتصادی ندارد؛ روش دوم یعنی zero waste (فاقد پسماند) نیز با بررسی انجام شده توسط محقق کفایت لازم را دارا نمی‌باشد؛ بنابراین چهار روش باقیمانده یعنی احداث هاضم هوازی، احداث هاضم بی‌هوازی، کمپوست و سوزاندن لجن نیز مورد ارزیابی قرار گرفته که با توجه به بررسی‌های انجام شده در این تحقیق کمپوست‌سازی به‌عنوان بهترین گزینه پیشنهاد می‌شود.

جمع‌بندی

با در نظر گرفتن جمیع جهات خلاصه مبانی کمی و کیفی (که در بخش‌های پیشین به طور کامل بررسی شدند) پیشنهاد شده مناسب طرح احداث تصفیه‌خانه سپتاژ شهر مشهد در جدول (۱۲) ارائه شده است.

جدول ۱۲- مبانی کمی و کیفی پیشنهاد شده برای طرح احداث تصفیه‌خانه سپتاژ شهر مشهد

پارامتر	واحد	مقدار
دبی متوسط روزانه	مترمکعب در روز	۳۰۰۰
دبی حداکثر ساعتی	مترمکعب در ساعت	۱۷۳
BOD	میلی‌گرم بر لیتر	۱۷۰۰
TSS	میلی‌گرم بر لیتر	۴۶۰۰
COD	میلی‌گرم بر لیتر	۷۲۰۰
TKN	میلی‌گرم بر لیتر	۴۰۷
TP	میلی‌گرم بر لیتر	۶۰

با توجه به اخذ نظرات شرکت آب و فاضلاب مشهد به عنوان بهره‌بردار و نیز نتایج مقایسه‌ی فنی و اقتصادی، فرآیند منتخب در بخش مایع علی‌رغم هزینه‌ی بیشتر، تصفیه مستقل با رویکرد حصول استاندارد و تخلیه به آب‌های سطحی است. با در نظر گرفتن موارد فوق می‌توان نتیجه گرفت که تا اینجا اولویت انتخاب فرآیند بخش مایع بر اساس مقایسه فنی صورت گرفته و موارد فنی اهمیت بالاتری داشته است اما در بخش لجن بر اساس مقایسه اقتصادی و آنچه که در جدول (۱۳) مشاهده می‌شود، کمپوست کردن مناسب‌ترین رویکرد در مدیریت لجن تصفیه‌خانه سپتاژ شهر مشهد است. به عبارت دیگر در بخش لجن، انتخاب فرآیند بر اساس مقایسه اقتصادی و هزینه‌های تمام شده است. ضمناً تأکید شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور به لزوم کمپوست‌سازی لجن کل تصفیه‌خانه‌های شهر مشهد می‌باشد. احداث کمپوست در طرح حاضر می‌تواند علاوه بر مدیریت لجن با کارایی و هزینه‌ی بهینه، به‌عنوان نمونه‌ای برای طرح کمپوست لجن تصفیه‌خانه‌های شهر مشهد به‌حساب آید.

جدول ۱۳- هزینه هر مترمکعب سپتاژ تصفیه‌شده در بخش لجن

ردیف	نام گزینه فرآیندی	هزینه هر مترمکعب سپتاژ تصفیه‌شده (ریال)
۱	هاضم هوازی	۱۶۲۳۷
۲	هاضم بی‌هوازی	۱۹۹۰۵
۳	کمپوست	۷۵۲۶
۴	سوزاندن لجن	۱۶۶۹۳

پی‌نوشت‌ها

۱- سپتیک تانک مخزنی است که در آن فاضلاب به کمک فرآیندهایی از قبیل ته نشینی، شناورسازی و بیولوژیکی تصفیه می‌شود.

۲- لجنی که کاربرد آن از نظر عوامل میکروبی هیچ محدودیتی نداشته باشد.

۳- لجنی که عاری از عوامل بیماری‌زا است و در صورت استفاده از نظر بهداشت عمومی و محیط‌زیست مشکلی به‌وجود نخواهد آمد.

منابع

درگاه اینترنتی خبرگذاری جمهوری اسلامی (ایرنا). (۱۴۰۲). وضعیت شبکه جمع‌آوری فاضلاب مشهد، https://www.irna.ir/news/85200607/. تاریخ به‌روزرسانی: ۱۴۰۲/۰۵/۲۵.

درگاه اینترنتی شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور. (۱۴۰۲). وضعیت شبکه جمع‌آوری فاضلاب کشور، https://www.nww.ir/bahrefa. تاریخ به‌روزرسانی: ۱۴۰۲/۰۴/۲۰.

شرکت مهندسی متکاف و ادی. (۱۳۶۱). مهندسی فاضلاب، جلد اول. مترجمان: ابریشم‌چی، احمد، افشار، عباس، و جمشید، بهشید. مرکز نشر دانشگاهی اصفهان. چاپ هشتم. اصفهان، ایران.

شرکت مهندسی مشاور پارس آب تدبیر. (۱۳۹۷). مطالعات مرحله اول طرح تصفیه سپتاژ شهر مشهد. مشهد، ایران.

منزوی، محمد تقی. (۱۳۹۲). فاضلاب شهری. جلد اول.گردآوری فاضلاب. انتشارات دانشگاه تهران. چاپ پانزدهم. تهران، ایران.

منزوی، محمد تقی. (۱۳۹۰). فاضلاب شهری. جلد دوم. تصفیه فاضلاب. انتشارات دانشگاه تهران. چاپ سیزدهم. تهران، ایران.

میثمی، فرهاد، تفضیلی، سید محمد، و اسماعیلیان، حسین. (۱۳۹۸). ساماندهی، انتقال و تصفیه سپتاژ شهری مشهد. دومین همایش ملی مدیریت مصرف آب با رویکرد کاهش هدر رفت و بازیافت. تهران، ایران. https://civilica.com/doc/990447/

مفتاح هلقی، مهدی، دهقانی، امیراحمد، و رودی، حامد. (۱۳۹۵). بررسی کمی و کیفی فاضلاب سپتاژ شهر گرگان. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. https://ganj.irandoc.ac.ir//#/search?keywords

یوسفی، ذبیح‌الله، و سیدی‌راد، مهدی. (۱۳۹۲). بررسی کمی و کیفی فاضلاب سپتاژ شده مازندران و راهکار مدیریتی. مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ۲۳(۱۰۲)، ۶۱-۷۱. http://jmums.mazums.ac.ir/article-1-2391-fa.html

یوسفی، ذبیح‌الله. (۱۴۰۱). سپتاژها، چالش‌ها و راه حل‌ها و بررسی موردی سپتاژ بابلسر. چهارمین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران.دانشگاه قم، قم، ایران. https://civilica.com/doc/1630870

EPA Office of Research and DevelopmentHandbook of Septage. (1994). Guide to Septage Treatment and Disposal, U.S. Environmental Protection Agency Office of Research and Development Office of Science, Planning, and Regulatory Evaluation.

EPA. (2012). Guidelines for Water Reuse. Water Environment Federation. EPA/600/R-12/618.

Eliot. Epslein. (2003). Land Application of Sewage Sludge Biosolids. Boca Raton. First Edition. U.S.A

Klingel, F., Montangero, A., & Strauss, M. (2002). Fecal Sludge Management in Developing Countries, Swiss Federal Institute for Environmental Science and Technology Department for Water and Sanitation in Developing Countries .First edition. Swiss.

Metcalf & Eddy. (2003). Wastewater Engineering: Treatment and Reuse. Forth Edition. McGraw-Hill, New York.

Municipal Environmental Research Laboratory Cincinnati. (1984). SeptageTreatment and Disposal. U.S. Environmental Protection Agency (EPA). U.S.