

## 12190-NWWCE

# تصفیه فاضلاب خاکستری با روش هوادهی به منظور تأمین آب مورد نیاز فضای سبز مطالعه، طراحی و اجرا: دانشگاه کاشان

محمد عزیزی\*<sup>۱</sup>، سید شهاب‌الدین بنی طباء<sup>۲</sup>، محمد جواد غفارزاده<sup>۳</sup>

۱- کارشناس مسئول کنترل پروژه‌های عمرانی دانشگاه کاشان

۲- کارشناس مسئول اجرایی پروژه‌های عمرانی دانشگاه کاشان

۳- کارشناس مسئول تأسیسات دانشگاه کاشان

m.azizi@staff.kashanu.ac.ir

### خلاصه

حفظ منابع محدود آب در برابر آلودگی‌های زیست‌محیطی همواره مورد اهمیت بوده است. استفاده مجدد از پساب خروجی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب در بخش‌هایی همچون کشاورزی، نقش مهمی در حفظ منابع آب دارد. مطالعه پیش رو که منجر به طراحی اجرایی و موفقیت‌آمیز در زمینه بازیافت روزانه ۳۰ مترمکعب فاضلاب خاکستری شده است، به ارزیابی عملکرد سیستم هوادهی در کاهش آلاینده‌ها و استانداردسازی پساب خروجی جهت استفاده در مصارف کشاورزی می‌پردازد. با انجام نمونه‌گیری از پساب یک مجموعه ورزشی در زمان قبل و بعد از احداث تصفیه‌خانه، آزمایشات بر روی کیفیت پساب صورت پذیرفت. با مطالعه نتایج آزمایشات، از روش هوادهی با هدف تأمین اکسیژن مورد نیاز به منظور کاهش میزان آلاینده‌ها در یکی از واحدهای تصفیه‌خانه استفاده شد. مطالعات نشان داد که با استفاده از این روش مقدار اکسیژن مورد نیاز شیمیایی و بیوشیمیایی و همچنین مجموع مواد جامد محلول به میزان کاملاً استاندارد جهت استفاده در زمینه فضای سبز رسیده‌اند.

کلمات کلیدی: هوادهی، زمان ماند، فاضلاب خاکستری، پساب، مواد جامد معلق

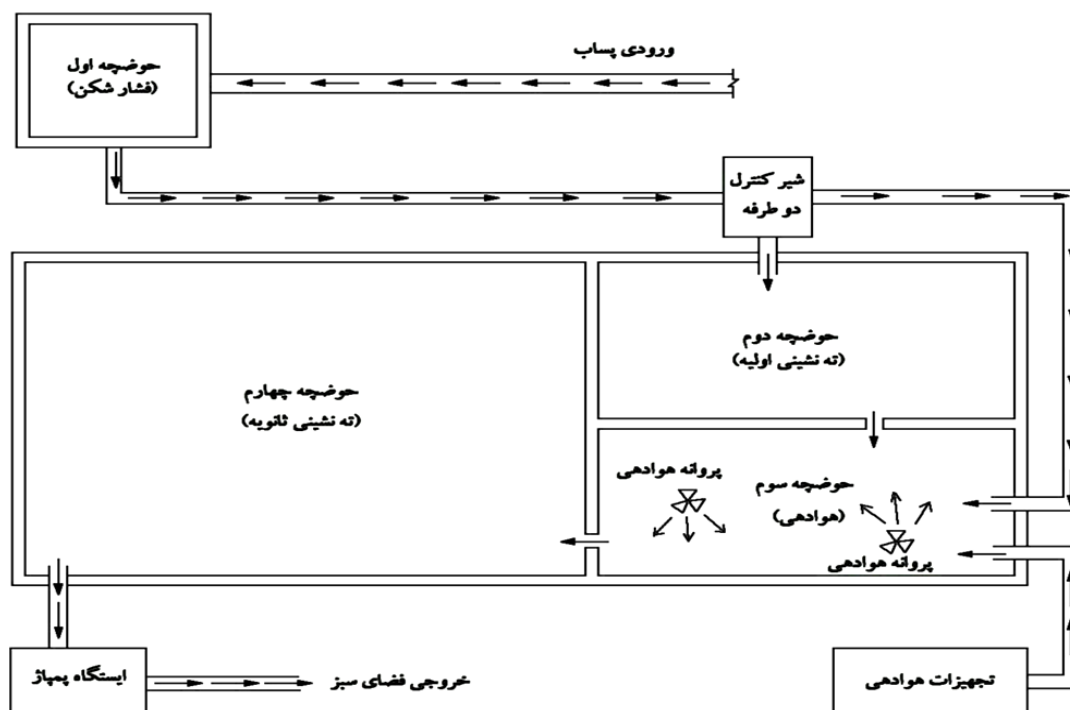
## ۱. مقدمه

کشور ایران در منطقه‌ای خشک و کم آب واقع شده است که با توجه به رشد جمعیت و منابع محدود آب، باید راهکارهای مناسبی برای استفاده بهینه از منابع آب در نظر بگیرد. با توجه به اینکه بخش اعظم کشور را مناطق کم آب دربر گرفته و جمعیت قابل توجهی در این مناطق زندگی می‌کنند که محدوده مورد مطالعه این تحقیق نیز در همین منطقه قرار گرفته است، روش‌های نوین استفاده صحیح و حتی استفاده مجدد، می‌تواند برای توسعه مناطق فوق مفید باشد. بر خلاف روش‌های کوتاه‌مدت، استفاده مجدد از آب خاکستری بخش مهمی از مشکل جوامع را حل می‌کند و در آینده‌های دور به عنوان روشی ضروری و غیرقابل تغییر باقی خواهد ماند. آب خاکستری، مجموعه‌ای از فاضلاب‌های ظرف‌شویی، دستشویی و حمام می‌باشد و می‌تواند با ایجاد ساز و کاری جدید، برای آبیاری فضاهای سبز مجتمع‌ها (و یا حتی استفاده‌های خاص در داخل منزل همچون آب سرویس بهداشتی و غیره) مورد استفاده قرار گیرد. استفاده مجدد از آب خاکستری باعث کاهش مصرف آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌شود. آب خاکستری، ۵۰ تا ۸۰ درصد فاضلاب شهری را تشکیل می‌دهد. در روش تصفیه فاضلاب‌های خاکستری حوضچه هوادهی که مهم‌ترین بخش این روش تصفیه‌ای به شمار می‌روند، یک تقویت‌کننده بیولوژیک می‌باشد که در آن مواد زائد موجود در فاضلاب در اثر فعالیت ارگانیسم‌های میکروسکوپی به موادی با آلاینده‌گی کمتر یا بدون آلاینده‌گی و مواد جامد دیگر نظیر ارگانیسم‌های میکروسکوپی که بیشتر شامل سلول‌های باکتریایی است تبدیل می‌شود [۱]. در این تحقیق با

توجه به پارامترهای مختلف در امر هوادهی به تحقیق در زمینه کاهش مقدار  $BOD^1$  و میزان  $COD^2$  و همچنین میزان استاندارد TDS در پساب خروجی پرداخته شده است. BOD اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی است و اشاره به میزان اکسیژنی دارد که باید در اختیار باکتری‌های هوازی قرار بگیرد تا آن‌ها بتوانند مواد آلی موجود در فاضلاب را که قابل تجزیه بیولوژیکی هستند تجزیه و تثبیت نمایند [۲]. به‌طور کلی BOD یک آلوده کننده نیست و بیانگر میزان و شدت آلودگی بوده و هر چه این مقدار بالاتر باشد نشانگر فاضلابی با مواد آلی بیشتر بوده و در نتیجه تصفیه آن مشکل تر است. همچنین COD یا اکسیژن مورد نیاز شیمیایی است و به مقدار اکسیژنی اشاره می‌کند که به صورت شیمیایی برای اکسیداسیون مواد آلی موجود در فاضلاب مصرف می‌شود [۳]. TDS مواد جامدی که متشکل از ذرات کلوییدی و مواد محلول در فاضلاب می‌باشد. به‌طور کلی TDS یکی از پارامترهای بیان کننده شدت آلودگی به شما می‌رود و هر چه این مقدار بالاتر باشد نشانگر فاضلابی با مواد آلی می‌باشد [۴].

## ۲. روش انجام کار

با انجام مطالعات به منظور اطلاع دقیق از حجم و شدت آلودگی پساب خروجی مجموعه ورزشی در طول شبانه روز و همچنین ارزیابی منطقه با هدف جانمایی صحیح محل احداث تصفیه‌خانه، در مرحله اجرا تعداد چهار حوضچه به ترتیب با حجم‌های ۱۸،۷، ۲۲، و ۵۵ مترمکعب احداث گردید (شکل ۱) در طراحی این تصفیه‌خانه، نقش حوضچه اول ایجاد آرامش و تثبیت دبی ورودی در نظر گرفته شد. با قرار دادن شیر کنترل دبی در ورودی حوضچه دوم، شرایط ته‌نشینی اولیه به مدت ۸ الی ۱۰ ساعت در این قسمت فراهم گردید. سپس با قرار دادن سیستم هوادهی در حوضچه سوم، روند کاهش آلاینده‌ها و آماده سازی پساب جهت ته‌نشینی در حوضچه چهارم فراهم شد (شکل ۲). برای انتقال پساب از ساختمان‌های مختلف مجموعه ورزشی از شیب ثقلی زمین بهره برده شد (شکل ۲). با جمع آوری پساب‌های خاکستری مجموعه ورزشی که شامل پساب شیردوش‌ها، شست و شوی استخر، بک واش استخر بزرگ سالان و کودکان و تمامی روشویی‌ها می‌باشد، شرایط لازم به منظور جمع آوری پساب فراهم شد، سپس نمونه برداری‌ها در فاز مطالعات به صورت ترکیبی و با رعایت شرایط نمونه برداری انجام پذیرفت.



شکل ۱ - تصفیه‌خانه مجموعه ورزشی

<sup>1</sup> . Biochemical Oxygen Demand

<sup>2</sup> . Chemical Oxygen Demand

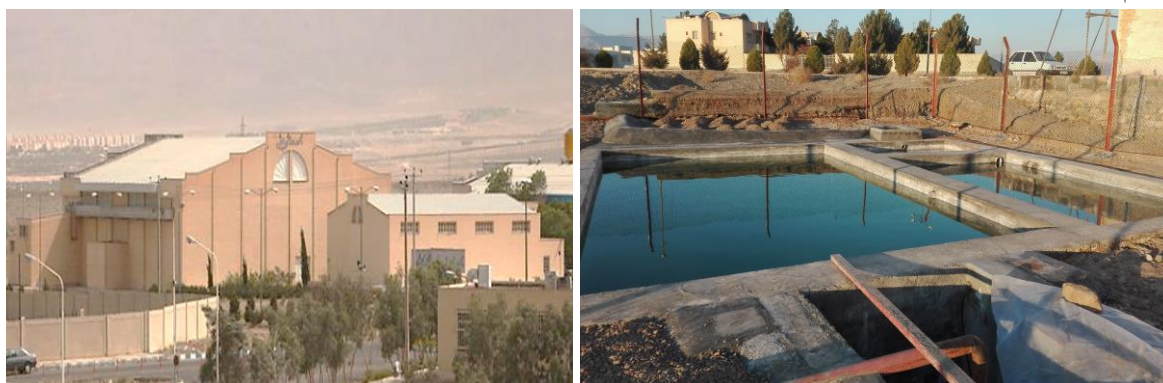


شکل ۲ - از راست: پروانه هوادهی، شیر کنترل ۲ طرفه، خط انتقال پساب به تصفیه خانه

نمونه برداری ها به صورت روزانه در دو مرحله قبل از طراحی (با هدف مطالعه اولیه) و پس از اجرا (از خروجی تمامی حوضچه ها) صورت پذیرفت. به منظور انجام آزمایشات مربوطه ابتدا از دستگاه انکوباتور<sup>۱</sup> جهت انجام آزمایش BOD استفاده گردید. به دلیل وقت گیر بودن آزمایش BOD، از آزمایش BOD<sub>5</sub> که به صورت جهانی به عنوان سنجش تاثیر آلودگی مورد تأیید است استفاده شد. همچنین از دستگاه اسپکتروفتومتری<sup>۲</sup> جهت اندازه گیری اکسیژن مورد نیاز شیمیایی استفاده گردید. در ادامه سعی شده ارقام به دست آمده از آزمایش های روزانه که به صورت هفتگی ماهیانه تدوین شده است در قالب جدولی به نمایش درآید تا روند کاهش مقادیر آلاینده های مورد بحث نمایش داده شود.

### ۳. مطالعه موردی

دانشگاه کاشان واقع در استان اصفهان با بیش از هشت هزار دانشجو، یکی از مراکز آموزشی مهم مرکز کشور به حساب می آید. نیاز به تأمین منابع آب و همچنین موقعیت جغرافیای منطقه که همواره با خطر بی آبی و کم آبی رو به رو بوده است، اهمیت تصفیه پساب تولیدی در طول شبانه روز را برای مصارف کشاورزی بیش از پیش نموده است. از این رو خلاء وجود تصفیه خانه در دانشگاه از دیرباز احساس شده است. بر همین اساس با مطالعه بر روی پساب خروجی مجموعه ورزشی دانشگاه با توجه به اینکه حجم پساب تولیدی در طول شبانه روز از مقدار قابل توجهی برخوردار است (۳۰ مترمکعب) و شدت آلودگی این نوع فاضلاب در مقایسه با فاضلاب قسمت های دیگر همچون سلف و مجموعه خوابگاه ها از آلودگی کمتری برخوردار می باشد، تصمیم گرفته شد تا تصفیه فاضلاب خاکستری مجموعه ورزشی دانشگاه به صورت هوادهی و حوضچه های زمان ماند صورت پذیرد. (شکل ۳)



شکل ۳ - از راست: تصفیه خانه مجموعه ورزشی - ساختمان های مجموعه تربیت بدنی

<sup>۱</sup> . Incubator

<sup>۲</sup> . Spectrophotometric

#### ۴. ارائه نتایج و بحث

بالا رفتن کیفیت پساب خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب بیان‌گر عملکرد مناسب واحد هوادهی در تزریق مناسب هوا به فاضلاب و ایجاد بستری مناسب برای کاهش آلاینده‌ها در پساب خروجی می‌باشد [۵]. زمانی که فاضلاب وارد حوضچه هوادهی می‌شود، میکروارگانیسم‌ها موظف‌اند طی عبور فاضلاب از این مرحله ظرف چند ساعت عمل اکسیداسیون را انجام دهند. در نتیجه مقداری از مواد اکسید شده و مقداری نیز از مواد معلق تثبیت شده و در مرحله بعدی ته‌نشین می‌شوند که این عمل باعث می‌شود با بررسی نتایج بر روی پساب خروجی شاهد کاهش آلاینده‌ها تا حد استاندارد باشیم [۶]. جدول ۱ نتایج به دست آمده از کیفیت پساب قبل از ساخت و راه اندازی تصفیه‌خانه در تیرماه سال ۱۳۹۵ را نشان می‌دهد که در طول یک ماه و با انجام ۱۲ آزمایش صورت پذیرفته است.

جدول ۱- نتایج آزمایشات انجام شده قبل از راه اندازی تصفیه‌خانه - تیر ۱۳۹۵

| ماه | هفته       | تعداد نمونه‌گیری در هفته | میانگین مقادیر ثبت شده خروجی - mg/l |     |     |
|-----|------------|--------------------------|-------------------------------------|-----|-----|
|     |            |                          | TDS                                 | COD | BOD |
| تیر | هفته اول   | ۳                        | ۸۷۲                                 | ۱۹۷ | ۱۲۵ |
|     | هفته دوم   | ۳                        | ۸۸۴                                 | ۲۰۳ | ۱۲۹ |
|     | هفته سوم   | ۳                        | ۹۱۰                                 | ۲۰۷ | ۱۳۲ |
|     | هفته چهارم | ۳                        | ۸۹۵                                 | ۲۱۱ | ۱۲۸ |

همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود نتایج به دست آمده از سه پارامتر مهم در کیفیت پساب خروجی حاکی از شدت بالای آلاینده‌ها در پساب خام می‌باشد. برای مثال شدت BOD اندازه‌گیری شده در این مدت همواره از حد مجاز بالاتر بوده و همین امر برای دیگر آلاینده‌ها نیز صدق می‌کند [۶]. بر همین اساس طراحی تصفیه‌خانه با مطالعه بر روی نتایج به دست آمده از آزمایشات و با در نظر گرفتن حجم فاضلاب و موقعیت جغرافیایی صورت پذیرفت [۷]. قبل از ساخت تصفیه‌خانه و با توجه به نتایج به دست آمده از کیفیت فاضلاب خام، جهت اطلاع دقیق از ابعاد، حجم و همچنین مقدار زمان ماند مورد نیاز جهت بالاتر بردن کیفیت پساب خروجی، پیلوتی تحقیقاتی در محل راه اندازی شد که در آن شرایط کاهش آلاینده‌های مورد بحث از طریق هوادهی و زمان ماند مورد مطالعه قرار گرفت. این کار در طول دو هفته و با انجام ۶ آزمایش در مرداد سال ۱۳۹۵ صورت پذیرفت که نتایج به دست آمده از آن در جدول ۲ به نمایش در آمده است.

جدول ۲- نتایج آزمایشات انجام شده بر روی پیلوت تحقیقاتی در زمان قبل از راه اندازی تصفیه‌خانه- مرداد ۱۳۹۵

| ماه   | هفته     | تعداد نمونه‌گیری در هفته | میانگین مقادیر ورودی - mg/l |     |     | میانگین مقادیر خروجی - mg/l |     |     |
|-------|----------|--------------------------|-----------------------------|-----|-----|-----------------------------|-----|-----|
|       |          |                          | TDS                         | COD | BOD | TDS                         | COD | BOD |
| مرداد | هفته دوم | ۳                        | ۸۷۱                         | ۱۹۴ | ۱۲۹ | ۸۰۲                         | ۱۷۸ | ۱۱۸ |
|       | هفته سوم | ۳                        | ۸۸۵                         | ۲۰۱ | ۱۲۱ | ۸۰۹                         | ۱۸۲ | ۱۱۳ |

همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، نتایج به دست آمده با توجه به کیفیت پساب اولیه، نشان از کاهش شدت آلاینده‌ها در پساب خروجی پیلوت تحقیقاتی می‌باشد. هرچند در این مرحله کیفیت پساب خروجی از پیلوت تحقیقاتی با استانداردهای موجود در این زمینه [۶] فاصله دارد، اما تا حد زیادی باعث شد تا با آگاهی از حجم و شدت آلودگی پساب خروجی اولیه، به طراحی کاربردی و مناسبی در زمینه مدت زمان ماند، حجم حوضچه‌های مورد نیاز و مقدار هوادهی به فاضلاب دست پیدا شود تا در پایان شاهد پساب خروجی در چهارچوب استانداردها باشیم. بر همین اساس با توجه به نتایج موجود، طراحی و ساخت تصفیه‌خانه در مرداد و شهریور سال ۱۳۹۵ انجام شد. نتایج به دست آمده بر روی کیفیت پساب خروجی

تصفیه‌خانه پس از راه اندازی و بستر سازی اولیه لجن فعال در جداول ۳ و ۴ ارائه شده است. در جداول زیر نتایج ۲۱ آزمایش انجام شده بر روی پساب خروجی تصفیه‌خانه از هفته دوم مهر تا پایان آبان ماه ۱۳۹۵ به نمایش در آمده است.

جدول ۳- نتایج آزمایشات انجام شده بر روی پساب پس از راه اندازی تصفیه‌خانه - مهر ۱۳۹۵

| ماه | هفته       | تعداد نمونه گیری در هفته | میانگین مقادیر ورودی - mg/l |     |     | میانگین مقادیر خروجی - mg/l |     |     |
|-----|------------|--------------------------|-----------------------------|-----|-----|-----------------------------|-----|-----|
|     |            |                          | TDS                         | COD | BOD | TDS                         | COD | BOD |
| مهر | هفته دوم   | ۳                        | ۱۲۳                         | ۱۷۶ | ۸۸۳ | ۹۵                          | ۱۲۹ | ۴۱۳ |
|     | هفته سوم   | ۳                        | ۱۲۹                         | ۱۸۳ | ۸۹۰ | ۸۱                          | ۱۲۴ | ۴۰۹ |
|     | هفته چهارم | ۳                        | ۱۲۶                         | ۱۷۲ | ۸۸۶ | ۷۶                          | ۱۱۶ | ۴۱۱ |

همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود نتایج به دست آمده در این بخش از تحقیقات نشان از کاهش آلاینده‌های مورد بحث در حد استانداردهای موجود به منظور کشاورزی غیر متمر دارد. نمونه‌برداری‌ها جهت انجام آزمایشات از هفته دوم مهر صورت پذیرفت تا مقدمات هوادهی به فاضلاب در مدت دو هفته پس از اتمام ساخت تصفیه‌خانه تا انجام بهره برداری رسمی آن صورت پذیرد. به طور مثال حداقل BOD اندازه‌گیری شده در این بخش از تحقیقات به میزان ۱۲۳ میلی گرم بر لیتر بوده که بعد از انجام عملیات تصفیه و در هنگام خروج به ۹۵ میلی گرم بر لیتر رسیده است. همچنین نتایج به دست آمده در مورد دیگر آلاینده‌ها COD و TDS نیز به همین صورت می‌باشد به گونه‌ای که TDS اندازه‌گیری شده در پساب خروجی در حدود قابل توجهی کاهش پیدا کرده است. در جدول ۴ به نمایش نتایج به دست آمده از آزمایشات انجام شده روی پساب خروجی پرداخته شده است.

جدول ۴- نتایج آزمایشات انجام شده بر روی پساب پس از راه اندازی تصفیه‌خانه - آبان ۱۳۹۵

| ماه  | هفته       | تعداد نمونه گیری در هفته | میانگین مقادیر ورودی - mg/l |     |     | میانگین مقادیر خروجی - mg/l |     |     |
|------|------------|--------------------------|-----------------------------|-----|-----|-----------------------------|-----|-----|
|      |            |                          | TDS                         | COD | BOD | TDS                         | COD | BOD |
| آبان | هفته اول   | ۳                        | ۱۲۸                         | ۱۸۵ | ۸۷۲ | ۷۵                          | ۱۱۸ | ۴۵۹ |
|      | هفته دوم   | ۳                        | ۱۲۱                         | ۲۰۳ | ۸۹۲ | ۶۸                          | ۱۱۱ | ۴۳۸ |
|      | هفته سوم   | ۳                        | ۱۲۵                         | ۱۸۹ | ۸۶۵ | ۷۱                          | ۱۱۳ | ۴۱۳ |
|      | هفته چهارم | ۳                        | ۱۲۲                         | ۱۷۷ | ۸۷۴ | ۶۶                          | ۱۰۸ | ۴۱۱ |

با مطالعه نتایج به دست آمده در آبان ماه می‌توان شاهد روند کاهشی تمامی آلاینده‌ها در پساب خروجی نسبت به ماه مهر بود. یکی از دلایل این موضوع را می‌توان مطالعه بر روی تنظیم میزان هوادهی و زمان ماند در حوضچه هوادهی و حوضچه ته نشینی ثانویه دانست که نتیجه آن کاهش میزان آلاینده‌های موجود در پساب خروجی جهت مصارف کشاورزی شده است. شکل ۴ پساب خروجی تصفیه‌خانه را به منظور آبیاری فضای سبز نشان می‌دهد که این موضوع تا حد زیادی می‌تواند به مدیریت و حفظ منابع آب کمک کند.





شکل ۴ - استفاده از پساب خروجی تصفیه‌خانه در آبیاری فضای سبز

## ۵. نتیجه‌گیری

با در نظر داشتن استاندارد تعریف شده از سوی نهادهای مربوطه (سازمان بهداشت و سازمان حفاظت از محیط زیست) در خصوص پساب خروجی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، می‌توان تأثیر فعالیت‌های انجام شده در واحدهای این تصفیه‌خانه بر روی پساب خروجی را مورد ارزیابی قرار داد. یافته‌های حاصل از آزمایشات انجام شده از ابتدای خردادماه تا پایان آبان ماه سال ۱۳۹۵، به‌صورت زیر دسته‌بندی می‌شود:

۱. با اجرای طرح و تصفیه روزانه ۳۰ مترمکعب فاضلاب خاکستری، آب مورد نیاز جهت آبیاری ۱ هکتار از فضای سبز مجموعه تأمین شد.
۲. مقدار آلاینده‌های مورد بحث در پساب خروجی به حد مجاز رسیده است.
۳. بیشترین راندمان تصفیه مربوط به نتایج به دست آمده از هفته آخر آبان ماه می‌باشد که میزان BOD و COD به ترتیب در میزان خروجی به ۶۶ و ۱۰۸ میلی گرم بر لیتر رسیده است. همچنین بیشترین میزان کاهش آلاینده TDS در پساب خروجی مربوط به هفته سوم مهر ماه با میزان ۴۰۹ میلی گرم بر لیتر می‌باشد.
۴. کمترین میزان راندمان تصفیه در خصوص BOD و COD در هفته دوم مهر ماه می‌باشد که میزان خروجی به ترتیب ۹۵ و ۱۲۹ میلی گرم بر لیتر بوده و همچنین برای TDS در هفته اول آبان ماه با ۴۵۹ میلی گرم بر لیتر می‌باشد.

## ۶. مراجع

۱. مسعودیان، م. داودی نژاد، مصطفی. (۱۳۹۳)، شناخت ضرورت‌های آموزش استفاده مجدد از پساب‌ها (در بخش کشاورزی) در ایران. نشریه بازیافت آب، دوره اول، شماره ۱-ص ۲۵-۳۵. انتشارات دانشگاه تهران.
2. Khani, M.R., Mokhtari Azar, A. (2010). Technical calculations in water and wastewater engineering. Tehran, Khanyran. Chapter : 4-5-17-20.
3. Nergis, Y., and Sharif, M. (2010). Chemical Oxygen Demand (COD) fractions characterization of Karachi metropolitan wastewater. *J. of the Chemical Society of Pakistan*, 32(6), 711-716.
۴. کاراندیش، ف. شاه نظری، ع. ابراهیمی، ک. ر. و مختاری آذر، الف. (۱۳۸۹). استفاده مجدد از پساب به عنوان منبعی مطمئن و قابل ملاحظه در کشاورزی. اولین همایش مدیریت منابع آب، دانشگاه ساری، ص: ۲۱۱-۲۱۸.
5. Deblina, G.H., and Gopal, B. (2011). Effect of hydraulic retention time on the treatment of secondary effluent in a subsurface flow constructed wetland. *Ecological Engineering*, 36, 1044



شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور

کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران

دانشگاه تهران، تهران

۲۶ و ۲۷ بهمن ماه ۱۳۹۵



۶. دستورالعمل استاندارد فاضلاب خروجی تصفیه‌خانه‌ها به استناد ماده ۵ آیین‌نامه جلوگیری از آلودگی آب. وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی، معاونت سلامت، مرکز سلامت محیط و کار
۷. خانی، م.ر و مختاری آذر، الف. (۱۳۸۹). محاسبات فنی در مهندسی آب و فاضلاب. تهران: انتشارات خانیان.