عملكرد سيستم جريان سطحي براي تصفيه تكميلي پساب تصفيه‌خانه فاضلاب

امير تائبي*[۱] و حميد قدوسي[۲]

[۱]استاد دانشكده مهندسي عمران - دانشگاه صنعتي اصفهان

[۲]دانش آموخته كارشناسی ارشد دانشكده مهندسي عمران - دانشگاه صنعتي اصفهان

(تاريخ دريافت ۸۴/۱۲/۱۶ ، تاريخ دريافت روايت اصلاح شده ۸۵/۸/۲۷ ، تاريخ تصويب ۸۵/۹/۱۱)

چكيده

عملكرد سيستم جريان سطحي[۱] (OF)، كه يكي از سيستم‌هاي تصفيه طبيعي زمين است، براي تصفيه تكميلي پساب تصفيه‌خانه‌هاي فاضلاب شهري و صنعتي ارزيابي و مقايسه شدند. سه پايلوت در تصفيه‌خانه فاضلاب شاهين‌شهر- اصفهان به مدت هشت ماه براي تصفيه تكميلي سه پساب: تصفيه اوليه، تصفيه ثانويه لجن فعال و تصفيه لاگوني فاضلاب نساجي، با سه آهنگ كاربرد[۲] (AR) ۰/۱۵، ۰/۲۵ و ۰/۳۵ متر مكعب در متر عرض پايلوت در ساعت $(m^3/m.h)$ مورد بهره‌برداري قرار گرفتند. بعد از سه ماه دوره خوگيري با عملكرد نسبتاً ناپايدار، عملكرد نسبتاً پايدار سيستم به مدت پنج ماه ارزيابي عبارت است از: ميانگين حذف اكسيژن‌خواهي بيوشيميايي پنج روزه كل[۳] ($TBOD_5$)، اكسيژن‌خواهي شيميايي[۴] (COD)، مواد معلق كل[۵] (TSS)، نيتروژن كل (TN)، فسفر كل (TP) و كدورت براي پساب تصفيه اوليه به ترتيب ۷۴/۵، ۵۴/۸، ۶۶/۲، ۳۹/۴، ۳۵/۶ و ۶۷/۷ درصد؛ براي پساب تصفيه ثانويه به ترتيب ۵۲/۹، ۵۲/۹، ۶۶/۵، ۴۴/۶، ۳۹/۸، ۵۰/۱ درصد؛ و براي پساب تصفيه لاگوني فاضلاب نساجي به ترتيب ۶۵/۷، ۵۸/۷، ۷۰/۳، ۴۱/۷، ۴۱/۳ و ۵۴/۹ درصد . مدل اسميت و شرودر [۱۲] به خوبي به داده‌هاي $TBOD_5$ برازش شد. براي تمام پارامترها، مدل مرتبه يك استاندارد از برازش ضعيف، ليكن مدل مرتبه يك اصلاح شده از برازش رضايت‌بخشي برخوردار است. روبهم رفته نتيجه‌گيري مي‌شود كه سيستم جريان سطحي مي‌تواند پساب تصفيه‌خانه‌هاي فاضلاب را با شرايط استاندارد تخليه پساب در منابع آب منطبق سازد و لذا گزينه‌ايست اقتصادي با كاربري آسان براي تصفيه تكميلي فاضلابها.

واژه هاي كليدي: تصفيه تكميلي - جريان سطحي - تصفيه اوليه - لجن فعال - فاضلاب نساجي

مقدمه

كنترل كيفيت منابع آب امري حياتي براي تمام كشورهاست. فاضلابها و پساب تصفيه‌خانه‌ها در صورتي كه از استاندارد لازم براي تخليه در منابع آب پذيرنده برخوردار نباشند، باعث تنزل كيفيت منابع آب مي‌شوند. معمولاً پساب تصفيه اوليه و حتي در بسياري از موارد پساب تصفيه ثانويه از استاندارد لازم براي تخليه در منابع آب برخوردار نيستند و لذا نياز به تصفيه بيشتري دارند كه اصطلاحاً آن را تصفيه تكميلي (تصفيه پيشرفته) نامند.

در حال حاضر معمولاً اجراي تصفيه تكميلي فاضلابها با فرايندهاي فيزيكي و شيميايي، به دليل هزينه‌هاي بالاي احداث و بهره‌برداري و كمبود متخصص بهره‌بردار، مقدور نيست. با توجه به ارزاني نسبي قيمت زمين در بيرون از شهرهاي كشور و نيز بهره‌برداري آسان و كم هزينه، فرآيندهاي تصفيه طبيعي مي‌توانند گزينه‌هاي مناسبي براي تصفيه تكميلي پساب تصفيه‌خانه‌ها باشند.

سيستم‌هاي تصفيه طبيعي را تالابهاي مصنوعي، تصفيه زميني، تصفيه آبي و لاگونها تشكيل مي‌دهند.

سيستم OF به عنوان يك گزينه تصفيه زميني با مزايايي همچون هزينه‌هاي احداث و بهره‌برداري كم، بهره‌برداري آسان، زمان ماند كوتاه و نياز به انرژي كم، از پتانسيل لازم براي تصفيه تكميلي پساب تصفيه‌خانه‌هاي شهري و صنعتي برخوردار است. در سيستم OF، پوشش گياهي روي سطح زمين شيبدار و نسبتاً نفوذناپذير مانع از ايجاد جريان كانالي و فرسايش خاك مي‌شود. در اين سيستم، جريان ورودي كه در بالاي سطح شيبدار تخليه مي‌شود در طول مسير حركت به پايين تحت تأثير فرايندهاي مختلف فيزيكي، شيميايي و بيولوژيكي قرار گرفته و تصفيه مي‌شود [۱ تا ۶]. پساب تصفيه شده در پايين سطح شيبدار جمع‌آوري مي‌شود.

تجربيات حاصل از چندين سيستم OF منجر به اصلاح روشهاي طراحي شده است. اسكات و فولتون [۷] ارتباط عملكرد تصفيه با سيستم OF را با طول سطح

* نويسنده مسئول : تلفن : ۰۳۱۱ – ۳۹۱۳۸۳۰ , فاكس : ۰۳۱۱ – ۳۹۱۲۷۰۰ Email: amirth@cc.iut.ac.ir

شيبدار و مارتال و همكارانش [٨، ٩] و جنكينز و همكارانش [١٠] رابطه راندمان حذف آلاينده‌ها را با زمان ماند مورد مطالعه قرار دادند. اسميت و شرودر [١٢،١١] و ويترو و بلدسو [١٣] راندمان حذف آلاينده‌ها را تابعي از AR و طول سطح شيبدار تشخيص دادند.

چون عملكرد سيستم OF، همچون ديگر سيستم‌هاي تصفيه طبيعي بستگي به مشخصات خاك، فاضلاب، پوشش گياهي و اقليمي دارد، براي استفاده از مدلهاي طراحي فوق‌الذكر در هر محل، بايد آنها را با داده‌هاي حاصل از بهره‌برداري يك سيستم OF واقعي يا پايلوتي كاليبره نمود. عملكرد سيستم OF در چندين تحقيق مورد مطالعه قرار گرفته است [١۴ تا ١٩]. سيستم‌هاي OF مطالعه شده در اين تحقيقات توانستند تا بيش از ٩٠% از غلظت‌هاي BOD و TSS، تا ٩٠% از غلظت نيتروژن و تا ٧٧% از غلظت فسفر فاضلاب ورودي‌شان را كاهش دهند.

مواد و روشها

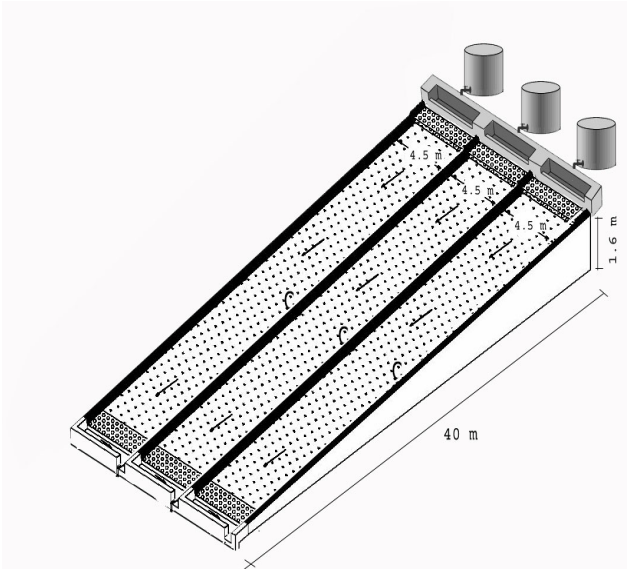
در محوطه تصفيه‌خانه فاضلاب شاهين‌شهر واقع در شمال شهر اصفهان، سه پايلوت مطالعاتي (شكل ١) با ابعاد هر پايلوت ۴/۵ متر در ۴٠ متر و شيب ۴% ساخته شدند. پايلوت‌ها با پشته خاك به ارتفاع ٠/٣ متر و عرض ٠/۵ متر از همديگر جدا شدند. هر پايلوت براي تصفيه تكميلي يك نوع خاص پساب تصفيه‌خانه شاهين‌شهر اختصاص داده شد. سه پساب مورد استفاده عبارتند از : پساب تصفيه اوليه، پساب تصفيه ثانويه لجن فعال و پساب تصفيه لاگوني فاضلاب نساجي.

تصفيه‌خانه فاضلاب شاهين‌شهر از سيستم تصفيه ثانويه لجن فعال برخوردار است. در ضمن در اين تصفيه‌خانه، سيستم تصفيه لاگوني نيز وجود دارد كه شامل سه بركه سري بيهوازي، اختياري و هوازي است. سيستم لاگوني براي تصفيه اوليه فاضلاب‌هاي چندين كارخانه نساجي مورد استفاده قرار مي‌گيرد. پساب سيستم لاگوني براي تصفيه بيشتر وارد سيستم لجن فعال مي‌شود.

در ابتدا خاك سطح پايلوت‌ها به طور مكانيكي فشرده شد تا نفوذپذيري آن كاهش يابد. خاك سيستم OF شامل ٢۶% رس،۶٨/٣% سيلت و ۵/٧% ماسه بود كه اين خاك طبق طبقه‌بندي دپارتمان كشاورزي آمريكا در طبقه خاك سيلت لوم[۶] قرار دارد. مقادير نفوذپذيري خاك قبل و بعد از فشردگي به ترتيب ٠/۶۵ و ٠/١٨cm/h بود. مقادير نفوذپذيري كمتر از ٠/۵cm/h براي طراحي سيستم‌هاي OF توصيه شده است [١٩]. يك لايه ١۵ سانتيمتري خاك شل روي خاك فشرده پاشيده شده تا رشد پوشش گياهي را بهبود بخشد.

براي پوشش گياهي، مخلوطي از پنج علف شامل علف‌هاي باغي[٧]، دانه قناري نيماند[٨] ، بره غول‌اسا[٩] ، مرتعي[١٠] و چچم[١١] مورد استفاده قرار گرفت. اين علف‌ها در گستره وسيعي از شرايط اقليمي رشد مي‌كنند و معمولاً در فضاي سبز شهر اصفهان مصرف مي‌شوند. كشت مخلوطي از علف‌ها باعث افزايش بازدهي سيستم OF مي‌شود [۵]. بعد از كشت بذر علف‌ها، آبياري هر پايلوت با پسابي صورت گرفت كه پايلوت به تصفيه آن اختصاص داده شده بود. كودهاي نيتروژن و فسفر در اوايل دوره كشت به كار رفت. بعد از حدود دو ماه از زمان شروع كشت، پوشش گياهي روي پايلوت‌ها كامل و يكنواخت شد. ارتفاع پوشش گياهي بين ۵ تا ١۵cm نگهداشته شد. علف‌هاي چيده شده از روي پايلوت‌ها جمع‌آوري و خارج شدند.

در سراسر ضلع بالايي هر پايلوت، سرريز نوع كانالي براي توزيع يكنواخت جريان ورودي روي سطح شيبدار سيستم OF تعبيه شد. دلي ورودي به سرريز نوع كانالي هر پايلوت توسط يك مخزن مرتفع با سطح آب ثابت به حجم ٢٠٠ ليتر كنترل شد. سطح آب در مخزن توسط يك شير شناور كنترل مي‌شد. در انتهاي سطح شيبدار هر پايلوت، كانالي براي جمع‌آوري پساب تصفيه‌شده تعبيه شد (شكل ١).



شكل ١ : شماتيک سه پايلوت سيستم OF .

پایلوت‌ها در دو فاز زماني، اول به مدت سه ماه (شهریور تا آبان) براي ایجاد پوشش گیاهي و خوگیري بیولوژیکي و دوم به مدت پنج ماه (آذر تا فروردین) براي ارزیابي سیستم OF، مورد بهره‌برداري قرار گرفتند. دماي روزانه در فاز اول (دوره خوگیري یا ناپایدار) بین ۱۰ تا ۲۵ $^{\circ}c$ با میانگین ۲۰ $^{\circ}c$، و در فاز دوم (دوره ارزیابي یا پایدار) بین ۲ تا ۱۵ $^{\circ}c$ با میانگین ۱۰ $^{\circ}c$ بود.

در دوره ارزیابي (فاز دوم)، سیستم‌هاي OF با سه AR (بر مبناي دبي جریان ورودي به ازاء واحد عرض سطح شیبدار) ۰/۱۵، ۰/۲۵ و ۰/۳۵ $m^3/m.h$ و فقط در طول روز به مدت هفت ساعت و ۵ روز در هفته مورد بهره‌برداري قرار گرفتند. شرایط بهره‌برداري پایلوت‌ها در جدول (۱) آمده است. طراحي و بهره‌برداري پایلوت‌هاي سیستم OF در محدوده توصیه شده توسط آژانس محیط‌زیست آمریکا [۵] صورت گرفت. در مدت مطالعه، تعداد محدودي بارندگي چند ساعته (معمولاً ۲ تا ۳ ساعت) رخ داد و در این روزها سیستم‌هاي OF مورد بهره‌برداري قرار نگرفتند. رخدادهاي بارندگي، به دلیل تعداد کم و نیز کوتاهي مدت بارش آنها، تغییر قابل ملاحظه‌اي روي عملکرد سیستم نداشتند.

زمان ماند (زمان جریان روي سطح شیبدار) با اندازه‌گیري زمان توقف خروجي سیستم از لحظه قطع جریان ورودي به آن به‌دست آمد. زمان‌هاي ماند هر سیستم OF براي آهنگ کاربرد ۰/۱۵، ۰/۲۵ و ۰/۳۵$m^3/m.h$ به ترتیب ۸۵، ۶۵ و ۳۵ دقیقه بودند. با توجه به این زمان‌هاي ماند کم، میزان تبخیر و تعرق آب در سیستم‌هاي OF نسبتاً ناچیز بود. در جدول (۱) مقادیر بارگذاري هیدرولیکي[۱۲] (HLR) و بارگذاري آلي[۱۳] (OLR) از روابط زیر به‌دست آمدند:

$$HLR = \frac{AR}{L} \quad (۱)$$

$$OLR = HLR \times C \quad (۲)$$

که در آنها، HLR بر حسب $m^3/m^2.h$، AR بر حسب $m^3/m.h$، L طول سطح شیبدار بر حسب m، OLR بر حسب $kg/m^3.h$ و C غلظت مواد آلي (معمولاً غلظت BOD یا COD) بر حسب kg/m^3 است.

هر روز سه نمونه اتفاقي از پساب خروجي هر پایلوت و یك نمونه اتفاقي از پساب ورودي به آن گرفته شد. سه نمونه روزانه پساب خروجي هر پایلوت معمولاً بعد از ۵، ۶ و ۷ ساعت از شروع بهره‌برداري، گرفته مي‌شدند. نمونه‌ها در آزمایشگاه براي تعیین مقدار غلظت‌هاي $TBOD_5$، TCOD، TSS، TN، TP و کدورت مورد تجزیه قرار مي‌گرفتند. تجزیه شیمیایي نمونه‌ها طبق دستورالعمل روش‌هاي استاندارد [۲۰] صورت گرفت.

یافته‌ها و بحث

جدول (۲) مشخصات سه پساب مورد استفاده در پایلوت‌هاي OF را در دوره پایداري نشان مي‌دهد. از جدول (۲) ملاحظه مي‌شود که غلظت مواد مغذي در پساب تصفیه لاگوني فاضلاب نساجي در مقایسه با پساب‌هاي تصفیه اولیه و تصفیه ثانویه کمتر، ولي غلظت مواد آلي آن بیشتر است. به طور کلي، بزرگي نسبت BOD به COD نشان دهنده آن است که فرآیندهاي بیولوژیکي براي حذف مواد آلي مؤثر خواهد بود. بر عکس، در شرایط کوچك بودن این نسبت، روش‌هاي غیربیولوژیکي براي حذف مواد آلي باید مورد بررسي قرار گیرند. میانگین مقادیر نسبت BOD به COD براي پساب‌هاي تصفیه اولیه، تصفیه ثانویه و تصفیه لاگوني فاضلاب نساجي تصفیه‌خانه شاهین‌شهر به ترتیب ۰/۳۵، ۰/۳۹ و ۰/۲ بودند (جدول ۲).

عملکرد کلي سیستم جریان سطحي در تصفیه فاضلاب‌هاي مختلف در هر دو فاز خوگیري و پایداري در جدول (۳) خلاصه شده است. از این جدول ملاحظه مي‌شود که عملکرد سیستم در فاز خوگیري کمتر از فاز پایدار است. کاهش عملکرد سیستم در دروه خوگیري عمدتاً به علت نقص در پوشش گیاهي است، زیرا در این مدت پوشش گیاهي به تدریج رشد و توسعه مي‌یابد.

براي ارزیابي عملکرد سیستم از داده‌هاي فاز دوم (فاز پایدار) استفاده شده است. خلاصه آماري مشخصات پساب پایلوت‌ها در آهنگ‌هاي کاربرد مختلف، در فاز دوم بهره‌برداري، در جدول (۴) آمده است. عملکرد سیستم پایلوت‌ها در مدت بهره‌برداري آنها در فاز دوم در شکل (۲) نشان داده شده است. این شکل پایداري نسبي در عملکرد سیستم را در فاز دوم نشان مي‌دهد.

جدول ١ : شرايط بهره برداری از پايلوت ها.

Influent	Application			Hydraulic loading rate, cm d^{-1}	Organic loading rate, kg BOD_5 ha^{-1} d^{-1}
	Period, h d^{-1}	Frequency, d wk^{-1}	Rate, m^3 m^{-1} h^{-1}		
Primary effluent	7	5	0.15	2.63	39.0
	7	5	0.25	4.38	65.1
	7	5	0.35	6.13	91.1
Activated sludge secondary effluent	7	5	0.15	2.63	13.1
	7	5	0.25	4.38	21.9
	7	5	0.35	6.13	30.6
Lagoon effluent of textile wastewater	7	5	0.15	2.63	47.3
	7	5	0.25	4.38	78.8
	7	5	0.35	6.13	110.3

1. Based on 35 measurements for ARs of 0.15 and 0.25 m^3 m^{-1} h^{-1} and 30 measurements for ARs of 0.35 $m^3 m^{-1}$ h^{-1}.

جدول ٢ : ميانگين, انحراف معيار و گسترده كيفيت فاضلابهای ورودی به سيستم OF در فاز دوم بهره برداری.

Influent	Statistical parameter	$TBOD_5$, mg L^{-1}	TCOD, mg L^{-1}	TSS, mg L^{-1}	TN, mg L^{-1}	TP, mg L^{-1}	Turbidity, NTU
Primary effluent	Mean	149.0	428.0	125.0	82.3	20.4	56.9
	Std. dev.	17.0	52.3	20.0	9.7	5.5	8.9
	Range	115-172	332-503	95-159	68-99	10-32	36-72
Activated sludge secondary effluent	Mean	50.3	130.3	100.3	35.0	10.2	35.3
	Std. dev.	10.1	17.5	14.4	4.6	2.8	8.7
	Range	37-75	115-185	67-132	27-45	6-15	28-65
Lagoon effluent of textile wastewater	Mean	180.4	899.7	140.0	25.1	7.7	38.4
	Std. dev.	19.5	141.6	16.7	3.4	0.7	7.4
	Range	150-213	740-1209	105-161	19-31	6.5-9.1	26-49

1. Based on 100 measurements.

جدول ٣ : مقاومت عملكرد كلی سيستم OF در فازهای اول (خو گيری) و دوم (پايداری) .

Type of influent	$TBOD_5$, %	TCOD, %	TSS, %	TN, %	TP, %	Turbidity, %
Acclimation phase						
Primary effluent	49.2	36.5	60.7	19	18.1	32.1
Secondary effluent	48.8	29.8	54.7	30.2	24.3	46.2
Lagoon effluent	57	57.2	64	26.8	17.2	31
Second phase						
Primary effluent	74.5	54.8	66.2	39.4	35.8	67.7
Secondary effluent	52.9	52.9	66.5	44.4	39.8	50.1
Lagoon effluent	65.7	58.7	70.3	41.7	41.3	54.9

خلاصه آماري راندمان حذف آلاينده‌ها توسط پايلوتها، در فاز دوم، براي فاضلابهاي ورودي مختلف و نرخ‌هاي كاربرد مختلف، در جدول (٥) آمده است. از جدول (٥) ملاحظه مي‌شود كه راندمان حذف TCOD از پساب لاگوني فاضلاب نساجي توسط سيستم OF در همه آهنگ‌هاي كاربرد بيش از ٥٢% بوده است. اين عملكرد نسبتاً خوب سيستم OF در مورد چنين فاضلابي كه از نسبت BOD به COD كوچكتري برخوردار است، گوياي آن است كه در سيستم OF علاوه بر فرايندهاي بيولوژيك، فرايندهاي غيربيولوژيكي هم در كاهش بار آلي فاضلاب موثر است.

گرچه سيستم OF در فاز دوم، براي انواع فاضلابهاي ورودي، قادر به كاهش بيش از ٥٠% از TCOD

جدول ۴ : میانگین, انحراف معیار و گسترده کیفیت پساب سیستم OF در فاز دوم بهره برداری.

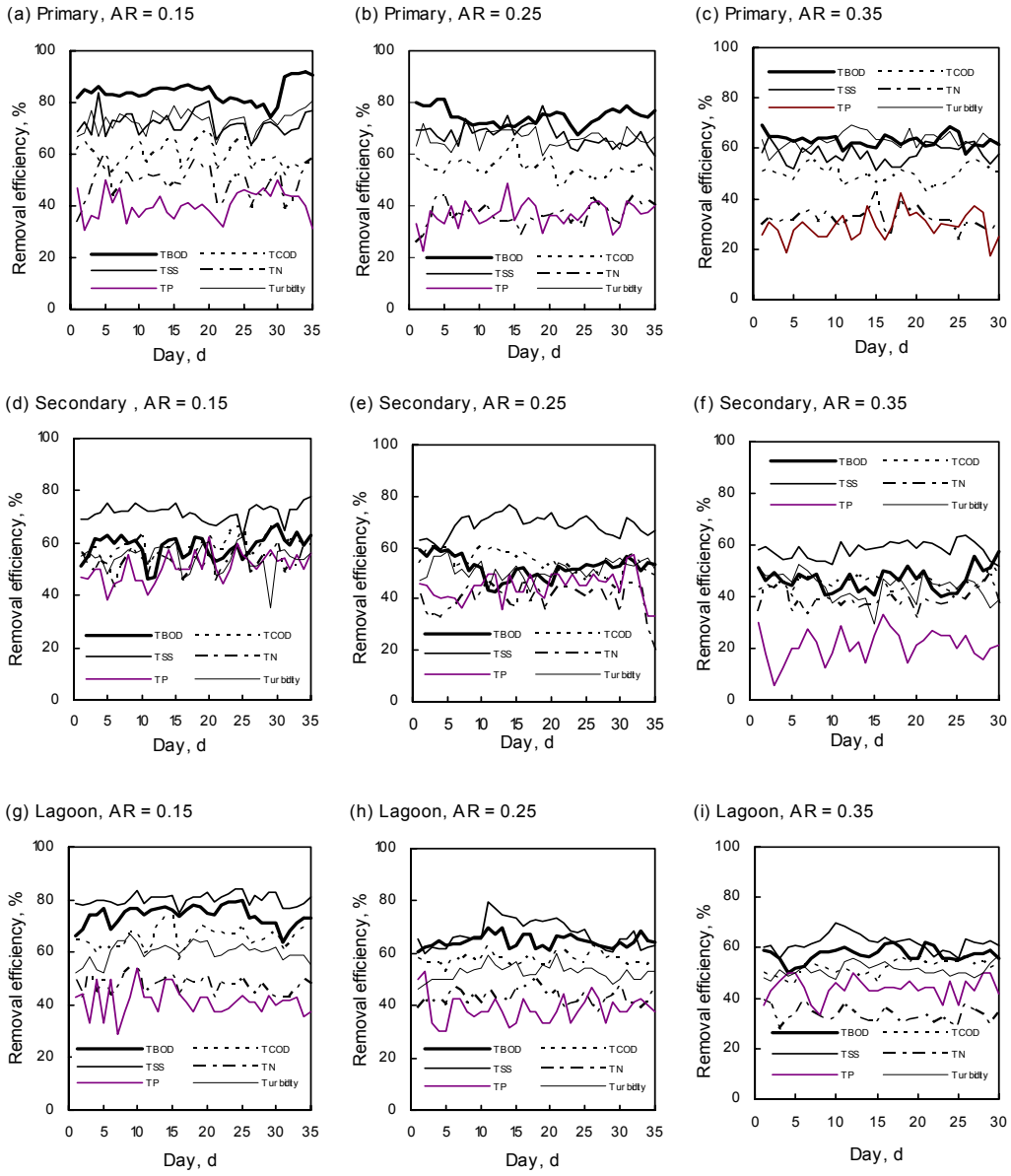
Type of influent	AR, $m^3 m^{-1} h^{-1}$	Statistical parameter	$TBOD_5$, mg L^{-1}	TCOD, mg L^{-1}	TSS, mg L^{-1}	TN, mg L^{-1}	TP, mg L^{-1}	Turbidity, NTU
Primary effluent	0.15	Mean	24.1	174.9	35.3	41.2	11.5	14.1
		Std. dev.	7.8	29.9	8.9	6.7	3.0	3.4
		Range	13-44	120-236	21-57	30-56	6-17	8-21
	0.25	Mean	38.2	194.2	41.0	54.2	12.6	19.4
		Std. dev.	5.2	33.3	9.5	8.6	3.3	2.6
		Range	30-54	139-253	27-57	39-67	7-18	15-26
	0.35	Mean	53.9	215.0	51.9	55.4	15.7	22.4
		Std. dev.	7.6	36.1	8.5	6.7	5.1	4.2
		Range	40-69	146-285	37-64	40-65	6-26	15-33
Activated sludge secondary effluent	0.15	Mean	20.1	52.6	28.4	16.3	5.1	14.6
		Std. dev.	4.0	4.9	3.8	2.5	1.5	2.8
		Range	14-29	44-65	22-39	12-21	3-8	11-21
	0.25	Mean	24.5	62.7	32.6	20.6	5.4	18.4
		Std. dev.	5.5	16.6	7.0	3.8	1.7	5.1
		Range	17-38	45-109	23-50	14-28	3-9	14-33
	0.35	Mean	26.5	70.1	40.4	21.6	8.2	20.0
		Std. dev.	5.3	7.8	8.0	2.8	2.4	5.1
		Range	19-40	59-91	28-59	16-27	4-12	14-34
Lagoon effluent of textile wastewater	0.15	Mean	45.8	313.6	27.0	13.5	4.4	15.1
		Std. dev.	5.7	60.9	3.9	1.9	0.7	2.6
		Range	35-56	205-433	21-38	10-17	3-6	11-21
	0.25	Mean	63.9	371.4	44.2	13.9	5.0	17.6
		Std. dev.	7.9	45.8	6.3	1.6	0.8	3.3
		Range	51-87	289-478	31-56	11-17	4-7	12-24
	0.35	Mean	77.8	434.3	55.3	16.5	4.2	19.2
		Std. dev.	8.7	58.9	7.1	3.0	0.7	3.7
		Range	58-95	358-557	43-67	12-23	3-5	12-25

1.Based on 35 measurements for ARs of 0.15 and 0.25 $m^3 m^{-1} h^{-1}$ and 30 measurements for ARs of 0.35 $m^3 m^{-1} h^{-1}$.

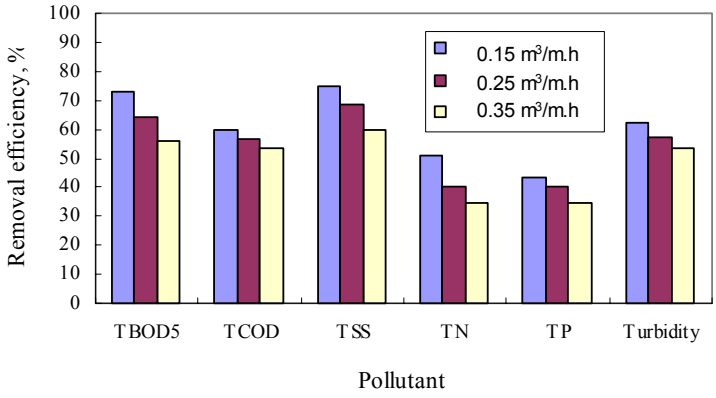
جدول ۵ : راندمان حذف (میانگین و انحراف معیار) آلودگی توسط سیستم OF در هر AR در فاز دوم بهره برداری.

Type of influent	AR, $m^3 m^{-1} h^{-1}$	$TBOD_5$, %	TCOD, %	TSS, %	TN, %	TP, %	Turbidity, %
Primary effluent	0.15	84.0	59.5	71.9	48.7	40.6	72.9
		(4.0)	(4.8)	(4.4)	(6.3)	(5.2)	(4.1)
	0.25	74.5	54.7	67.5	36.5	36.7	66.3
		(3.3)	(3.7)	(4.1)	(4.5)	(4.8)	(3.3)
	0.35	63.3	49.6	57.8	31.8	29.2	63.3
		(2.5)	(3.2)	(3.6)	(4.0)	(5.4)	(3.2)
Activated sludge secondary effluent	0.15	58.7	58.5	71.6	53.3	50.7	54.3
		(4.7)	(4.0)	(3.2)	(5.0)	(5.4)	(5.2)
	0.25	52.4	53.9	68.7	40.1	45.0	51.4
		(4.4)	(4.8)	(4.1)	(5.8)	(5.6)	(3.7)
	0.35	46.7	45.3	58.1	38.9	21.2	43.8
		(4.5)	(2.6)	(3.3)	(3.8)	(6.0)	(5.2)
Lagoon effluent of textile wastewater	0.15	74.0	65.4	80.1	47.6	41.4	60.2
		(3.8)	(4.1)	(2.2)	(3.4)	(5.3)	(3.7)
	0.25	64.6	57.7	67.6	43.2	38.7	52.7
		(2.4)	(2.3)	(5.2)	(3.2)	(5.3)	(2.9)
	0.35	57.4	52.0	62.0	33.1	44.0	51.1
		(2.8)	(3.1)	(3.2)	(3.1)	(4.2)	(2.5)

1. Based on 35 measurements for ARs of 0.15 and 0.25 $m^3 m^{-1} h^{-1}$ and 30 measurements for ARs of 0.35 $m^3 m^{-1} h^{-1}$.



شکل ۲ : نمودارهای راندمان حذف آلودگی در مقابل روزهای بهره برداری از سیستم OF در فاز دوم بهره برداری. واحد AR برحسب m^3/mh است.



شکل ۳ : مقایسه عملکرد کلی سیستم OF در AR های مختلف.

بوده است، لیکن درصد کاهش مواد آلي تجزیه‌پذیر ($TBOD_5$) همواره بیش از درصد کاهش TCOD بوده است، بنابر این احتمالاً COD پارامتر محدوده کننده در امر کاربرد سیستم OF از نظر شرایط استاندارد تخلیه پساب است. از مقایسه عملکرد سیستم OF با سیستم لجن فعال در کاهش TCOD پساب تصفیه اولیه (جدول‌هاي ۲ و ۴) ملاحظه مي‌شود که سیستم لجن فعال مؤثرتر بوده است.

عملکرد سیستم OF در حذف TN، TP، TCOD و در کمترین AR براي پساب تصفیه اولیه، به ترتیب ۴۹، ۴۱ و ۶۰% بود که در مقایسه با عملکرد سیستم لجن فعال (به ترتیب ۵۸، ۵۰ و ۶۹%) از کارایي نسبتاً خوبي برخوردار است. البته این وضعیت براي حذف $TBOD_5$ (۸۴% در مقابل ۶۶%) بهتر و براي حذف TSS (۷۲% در مقابل ۲۰%) بدتر است.

شکل (۳) میانگین حذف آلودگي توسط سیستم OF را براي آهنگ‌هاي کاربرد مختلف (بدون توجه به نوع پساب) نشان مي‌دهد. از شکل (۳) ملاحظه مي‌شود که با افزایش AR، راندمان حذف براي تمام آلاینده‌ها کاهش مي‌یابد، زیرا با افزایش AR بارگذاري آلودگي افزایش و زمان ماند کاهش مي‌یابد. با زمان ماند کمتر، فرایندهاي زوال همچون ته‌نشیني مواد معلق و اکسیداسیون بیولوژیکي مواد آلي کاهش مي‌یابد.

از جدول (۵)، ملاحظه مي‌شود که کاربرد سیستم OF براي پساب اولیه نسبت به پساب لجن فعال، از راندمان بیشتري برخوردار است. دلیل این امر مربوط به تصفیه کمتري است که پساب اولیه نسبت به پساب ثانویه طي نموده است. زیرا معمولاً تصفیه فاضلاب با غلظت آلودگي کم،مشکل‌تر و کم‌بازده‌تر نسبت به تصفیه فاضلاب با شدت آلودگي زیاد، است. مدلي که به طور وسیع براي تصفیه فاضلاب با سیستم OF مورد پذیرش واقع شده[۳]، مدلي است که توسط اسمیت و شرودر [۱۲] ارائه شده است. این مدل براي حذف BOD_5 از پساب تصفیه اولیه به صورت زیر است :

$$\frac{C-5}{C_\circ} = A\exp(-\frac{k}{q^n}z) \qquad (۳)$$

که در آن $C_\circ$ و C غلظت‌هاي BOD_5 به ترتیب در ورودي و خروجي سیستم OF بر حسب mg/L، q آهنگ کاربرد بر حسب $m^3/m.h$، z طول سطح شیبدار بر حسب m و A، k و n پارامترهاي مدل هستند. مقدار پارامتر A بستگي به مقدار q دارد. در این مدل، فرض بر آن است که به دلیل رهاسازي مواد آلي گیاهي و خاك در جریان سطحي، حد کاهش BOD_5 توسط سیستم OF برابر 5mg/L باشد.

اسمیت و شرودر [۱۲] مقادیر پارامتر A را براي آهنگ‌هاي کاربرد 0.16، 0.25، $0.37m^3/m.h$ به ترتیب 0.38، 0.51 و 0.71 یافتند. با استفاده از این مقادیر A و با رگرسیون معادله (۳) به داده‌هاي BOD_5 مربوط به تصفیه پساب اولیه توسط سیستم OF این تحقیق، مقادیر k و n به ترتیب 0.012 و 0.487 با ضریب تبیین[۱۴] $R^2 = 0.997$ ، به دست آمدند. اسمیت و شرودر [۱۲] مقادیر k و n را به ترتیب 0.043 و 0.136 یافتند. ابرناتي و همکاران [۱۴]، مدل اسمیت و شرودر [۱۲] را به داده‌هاي حاصل از تحقیقاتشان برازش نمودند و ضرایب دیگري مشاهده نمودند. بنابراین، براي حذف TBOD، ساختار مدل اسمیت و شرودر، رضایتبخش است لیکن ضرایب مدل را براي هر شرایط خاص باید به‌دست آورد. مدل مرتبه یك استاندارد جنکینز و همکاران [۱۰] براي حذف آلاینده‌ها توسط سیستم OF، که تابعي از زمان جریان است، به داده‌هاي تمام پارامترهاي این تحقیق برازش شد که به جز کدورت بقیه از ضریب تبیین نسبتاً خوبي برخوردار بودند. مدل مرتبه یك اصلاح شده (معادله ۴) از بردازش بهتري نسبت به مدل مرتبه یك استاندارد برخوردار بود. از برازش مدل معادله (۴) به داده‌هاي این تحقیق، مقادیر R^2 در محدوده 0.71 تا 0.99 و عموماً بیش از ۰/۹۳ بود. این مدل، در مورد داده‌هاي TP مربوط به تصفیه پساب لاگوني فاضلاب نساجي از برازش ضعیفي با $R^2 = 0.33$ برخوردار بود. بنابراین، معادله (۴) را مي‌توان براي پیش‌بیني میزان تغییر در AR (یا طول بستر) براي رسیدن به یك درجه خاص از تصفیه، براي اکثر پارامترها، به کار برد. مقدار ضریب B در معادله (۴) بستگي به نوع فاضلاب ورودي به سیستم دارد و حتي در یك سیستم خاص مقدارش از پارامتري به پارامتر دیگر فرق مي‌کند.

$$\frac{C}{C_\circ} = Be^{-kt} \qquad (۴)$$

که در آن B پارامتر مدل، t زمان جریان بر حسب دقیقه (min)، k ضریب آهنگ واکنش بر حسب min^{-1} است.

نتيجه‌گيري

- از نتايج اين تحقيق، موارد زير را مي‌توان بـراي كاربرد سيستم OF به عنوان واحد تصفيه تكميلـي (پيشـرفته) پساب تصفيه‌خانه‌هاي فاضلاب، نتيجه‌گيري نمود.
- عملكـرد سيسـتم OF در مـدت خـوگيري، ناپايـدار و كم‌بازده‌تر از فاز پايدار آن است. حـدود سـه مـاه طـول مـي‌كشـد تـا سيسـتم OF در متوسـط دمـاي روزانـه $20^{\circ}C$ به پوشش گياهي يكنواخـت و عملكـرد نسـبتاً پايداري برسد.
- عملكرد سيستم OF با تغيير نوع فاضلاب ورودي، تغيير مي‌كند.
- عملكرد سيستم OF با افزايش AR كاهش مي‌يابد.
- پايلوت‌هاي ايـن مطالعـه بـه عنـوان واحـدهاي تصـفيه تكميلي پسابهاي تصفيه‌خانه‌هاي شهري و صنعتي اكثراً از راندمان حذف آلودگي بيش از ٥٠% برخوردار بودند.
- در سيسـتم OF، فرآينـدهاي غيربيولـوژيكي نيـز قابـل ملاحظه هستند. لذا اين نوع سيستم تصـفيه مـي‌توانـد جـايگزين مناسـبي بـراي كـاهش بـار آلـي پسـاب تصفيه‌خانه‌هايي باشد كـه از COD مجـاز بـراي تخليـه برخوردار نيستند.
- تصفيه پساب اوليه توسط سيستم OF بـا $0.15\ m^3/m.h$ ، AR مي‌تواند جايگزيني بـراي سيسـتم تصـفيه ثانويـه لجن فعال باشد.
- مدل كلي ارائه شده توسط اسميت و شرودر [١٢] معتبر است ولـي پارامترهـاي مـدل بايـد تحـت هـر شـرايطي كاليبره شوند. مدل مرتبه يـك اصـلاح شـده مـي‌توانـد تغييرات لازم در AR يـا طـول بسـتر را بـراي عملكـرد بهينه پيش‌بينـي كنـد، لـيكن ضـرائب مـدل بـراي هـر فاضلاب و پارامتري بايـد از بـرازش مـدل بـه داده‌هـاي مربوطه به‌دست آيد.

تقدير و تشكر

بدين‌وسيله از حمايت‌هاي معاونت پژوهشـي دانشـگاه صنعتي اصفهان و مديريت و پرسنل تصفيه‌خانه شاهين‌شهر اصفهان تقدير و تشكر به عمل مي‌آيد.

مراجع

1 - Crites, R. and Tchobanoglous, G. (1998). *Small and decentralized wastewater management systems.* McGraw-Hill, New York.

2 - Droste, R. L. (1997). *Theory and practice of water and wastewater treatment.* John Wiley & Sons, New York.

3 - Reed, S. C., Crites, R. W. and Middlebrooks, E. J. (1995). *Natural systems for waste management and treatment.* 2nd Ed., McGraw-Hill, New York.

4 - USEPA. (1981). *Process design manual for land treatment of municipal wastewater*. EPA 625/1-81-031, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH.

5 - USEPA. (1984). *Process design manual for land treatment of municipal wastewater: Supplement on rapid infiltration and overland flow*. U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH.

6 - WPCF. (1990). "Natural systems for wastewater treatment." *Manual of Practice FD-16, Water Pollution Control Federation,* Alexandria, VA.

7 - Scott, T. M. and Fulton, P. M. (1979). "Removal of pollutants in the overland flow (grass filtration) system." *Progress in Water Technology,* Vol. 11 No. 4/5, PP. 301-313.

8 - Martel, C. J., Jenkins, T. F. and Palazzo, A. J. (1980). *Wastewater treatment in cold regions by overland flow.* CRREL Report 80-7, U.S. Army Corps of Engineers Cold Regions Res. Eng. Lab., Hanover, NH.

9 - Martel, C. J., Jenkins, T. F., Diener, G. J. and Butler, P. L. (1982). *Development of a rational design procedure for overland flow systems.* CRREL Report 82-2, U.S. Army Corps of Engineers Cold Regions Res. Eng. Lab., Hanover, NH.

10 - Jenkins, T. F., Leggett, D. C., Parker, L. V. and Oliphant, J. L. (1985). "Toxic organics removal kinetics in overland flow land treatment." *Water Research*, Vol. 19, No. 6, PP.707-718.

11 - Smith, R. G. (1982). "Development of predictive model to describe the removal of organic material with the overland flow process." *Environmental Progress,* Vol. 1, No. 3, PP.195-205.

12 - Smith, R. G. and Schroeder, E. D. (1985). "Field studies of the overland flow process for the treatment of raw and primary treated municipal wastewater." *Journal Water Pollution Control Federation*, Vol. 57, No.7, PP. 785-794.

13 - Witherow, J. L. and Bledsoe, B. E. (1986). "Design model for the overland flow process." *Journal Water Pollution Control Federation,* Vol. 58, No. 5, PP. 381-386.

14 - Abernathy, A. R., Zirschky, J. and Borup, M. B. (1985). "Overland flow wastewater treatment at Easley, SC." *Journal Water Pollution Control Federation*, Vol. 57, No. 4, PP. 291-299.

15 - Overman, A. R. and Wolfe, D. W. (1989). "Overland flow treatment of wastewater at Florida State Prison." *Journal Water Pollution Control Federation,* Vol.58, No. 9, PP. 903-910.

16 - Surampalli, R. Y., Fellow, P. E., Chou, S. C. and Banerji, S. K. (1996). "Performance evaluation of overland flow wastewater treatment system under winter and summer conditions." *Journal of Cold Regions Engineering,* Vol. 10, No. 4, PP. 163-177.

17 - Turner, G., Crawford, D., Watts, R. J. and Zirschky, J. H. (1994). "Phosphorus removal from secondary-treated wastewater using overland flow." *Water, Air, and Soil Pollution,* Vol. 73, PP. 157-167.

18 - Wightman, D., George, D. B., Zirschky, J. H. and Filip, D. S. (1983). "High-rate overland flow." *Water Research,* Vol.17, No. 11, PP. 1679-1690.

19 - Zirschky, J. H., Crawford, D., Norton, L. and Deemer, D. (1989). "Ammonia removal using overland flow." *Journal Water Pollution Control Federation,* Vol. 61, No. 7, PP.1 225-1232.

20 - APHA. (1995). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 19th ed., American Public Health Association, Washington, DC.

واژه‌هاي انگليسي به ترتيب استفاده در متن

1 - Overland Flow (OF)
2 - Application Rate (AR)
3 - Total 5-day Biochemical Oxygen Demand ($TBOD_5$)
4 - Total Chemical Oxygen Demand (TCOD)
5 - Total Suspended Solids (TSS)
6 - Silt Loam
7 - Orchard Grass
8 - Reed Canary
9 - Tall Fescue
10 - Kentucky Bluegrass
11 - Rye Grass
12 - Hydraulic Loading Rate (HLR)
13 - Organic Loading Rate (OLR)
14 - Determination Coefficient (R^2)