عملكرد سيستم جريان سطحي براي تصفيه تكميلي پساب تصفيه‌خانه فاضلاب

امير تائبي*[1] و حميد قدوسي[2]

[1]استاد دانشكده مهندسي عمران - دانشگاه صنعتي اصفهان

[2]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[1] (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[2] (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[3] ($TBOD_5$)، اكسيژن‌خواهي شيميايي[4] (COD)، مواد معلق كل[5] (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 : ۳۹۱۳۸۳۰ – ۰۳۱۱ ، فاكس : ۳۹۱۲۷۰۰ – ۰۳۱۱ Email: amirth@cc.iut.ac.ir

شيبدار و مارتال و همكارانش [۸، ۹] و جنكينز و همكارانش [۱۰] رابطه راندمان حذف آلاينده‌ها را با زمان مانـد مـورد مطالعه قـرار دادنـد. اسـميت و شـرودر [۱۲،۱۱] و ويتـرو و بلدسو [۱۳] راندمان حذف آلاينده‌ها را تابعي از AR و طول سطح شيبدار تشخيص دادند.

چـون عملكـرد سيسـتم OF، همچـون ديگـر سيستم‌هاي تصفيه طبيعـي بسـتگي بـه مشخصـات خـاك، فاضلاب، پوشـش گيـاهي و اقليمـي دارد، بـراي اسـتفاده از مدلهاي طراحـي فـوق‌الـذكر در هـر محـل، بايـد آنهـا را بـا داده‌هاي حاصل از بهره‌برداري يـك سيسـتم OF واقعـي يـا پـايلوتي كـاليبره نمـود. عملكـرد سيسـتم OF در چنـدين تحقيـق مـورد مطالعـه قـرار گرفتـه اسـت [۱۴ تـا ۱۹]. سيستم‌هاي OF مطالعه شده در اين تحقيقات توانسـتند تـا بيش از ۹۰% از غلظت‌هاي BOD و TSS، تا ۹۰% از غلظـت نيتروژن و تـا ۷۷% از غلظـت فسـفر فاضـلاب وروديشـان را كاهش دهند.

مواد و روشها

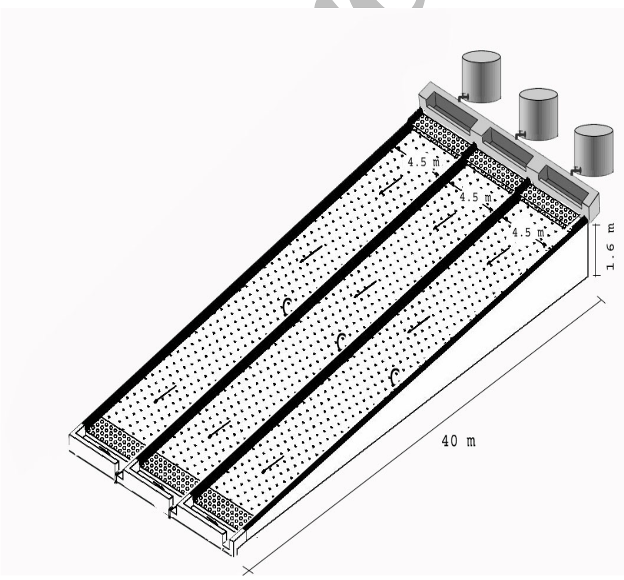
در محوطه تصفيه‌خانه فاضلاب شاهين‌شـهر واقـع در شمال شهر اصفهان، سه پايلوت مطالعـاتي (شـكل ۱) بـا ابعاد هر پـايلوت ۴/۵ متـر در ۴۰ متـر و شـيب ۴% سـاخته شدند. پايلوت‌ها با پشته خاك به ارتفـاع ۰/۳ متـر و عـرض ۰/۵ متر از همديگر جـدا شـدند. هـر پـايلوت بـراي تصـفيه تكميلي يك نـوع خـاص پسـاب تصـفيه‌خانـه شـاهين‌شـهر اختصاص داده شد. سه پسـاب مـورد اسـتفاده عبارتنـد از : پساب تصفيه اوليه، پساب تصفيه ثانويه لجن فعال و پسـاب تصفيه لاگوني فاضلاب نساجي.

تصفيه‌خانه فاضلاب شاهين‌شهر از سيستم تصفيه ثانويـه لجـن فعـال برخـوردار اسـت. در ضـمن در ايـن تصفيه‌خانه، سيستم تصفيه لاگوني نيز وجود دارد كه شامل سه بركه سري بيهوازي، اختياري و هـوازي اسـت. سيسـتم لاگوني براي تصـفيه اوليـه فاضـلاب‌هـاي چنـدين كارخانـه نساجي مورد استفاده قرار مي‌گيرد. پساب سيسـتم لاگـوني براي تصفيه بيشتر وارد سيستم لجن فعال مي‌شود.

در ابتدا خاك سطح پايلوت‌ها بـه طـور مكـانيكي فشرده شد تا نفوذپذيري آن كاهش يابد. خاك سيستم OF شامل ۲۶% رس،۶۸/۳% سيلت و ۵/۷% ماسـه بـود كـه ايـن خاك طبق طبقه‌بندي دپارتمان كشاورزي آمريكا در طبقـه خاك سيلت لوم[۶] قرار دارد. مقادير نفوذپذيري خاك قبـل و بعد از فشردگي به ترتيـب ۰/۶۵ و ۰/۱۸cm/h بـود. مقـادير نفوذپذيري كمتر از ۰/۵cm/h براي طراحي سيستم‌هاي OF توصيه شده است [۱۹]. يك لايه ۱۵ سانتيمتري خاك شـل روي خاك فشرده پاشيده شده تـا رشـد پوشـش گيـاهي را بهبود بخشد.

براي پوشش گياهي، مخلوطي از پنج علف شـامل علف‌هاي باغي[۷]، دانه قنـاري نـي ماننـد[۸] ، بـره غـول‌اسـا[۹] ، مرتعي[۱۰] و چچم[۱۱] مورد استفاده قرار گرفت. اين علف‌هـا در گستره وسيعي از شرايط اقليمي رشد مي‌كنند و معمـولاً در فضاي سبز شهر اصفهان مصرف مي‌شوند. كشت مخلوطي از علف‌ها باعث افزايش بازدهي سيستم OF مي‌شود [۵]. بعـد از كشت بذر علف‌ها، آبياري هـر پـايلوت بـا پسـابي صـورت گرفت كه پايلوت بـه تصـفيه آن اختصـاص داده شـده بـود. كودهاي نيتروژن و فسفر در اوايل دوره كشت به كـار رفـت. بعد از حدود دو ماه از زمان شـروع كشـت، پوشـش گيـاهي روي پايلوت‌ها كامل و يكنواخت شد. ارتفاع پوشش گيـاهي بين ۵ تا ۱۵cm نگهداشته شد. علف‌هاي چيده شده از روي پايلوت‌ها جمع‌آوري و خارج شدند.

در سراسر ضلع بـالايي هـر پـايلوت، سـرريز نـوع كانـالي بـراي توزيـع يكنواخـت جريـان ورودي روي سـطح شيبدار سيستم OF تعبيه شد. دلي ورودي بـه سـرريز نـوع كانالي هر پايلوت توسط يك مخزن مرتفع با سطح آب ثابت به حجم ۲۰۰ ليتر كنترل شد. سطح آب در مخـزن توسـط يك شير شناور كنترل مي‌شد. در انتهاي سطح شـيبدار هـر پايلوت، كانالي براي جمع‌آوري پساب تصفيه‌شده تعبيه شـد (شكل ۱).



شكل ۱ : شماتيک سه پايلوت سيستم OF .

پايلوت‌ها در دو فاز زماني، اول به مدت سه ماه (شهريور تا آبان) براي ايجاد پوشش گياهي و خوگيري بيولوژيكي و دوم به مدت پنج ماه (آذر تا فروردين) براي ارزيابي سيستم OF، مورد بهره‌برداري قرار گرفتند. دماي روزانه در فاز اول (دوره خوگيري يا ناپايدار) بين ۱۰ تا ۲۵ $^{\circ}c$ با ميانگين ۲۰ $^{\circ}c$، و در فاز دوم (دوره ارزيابي يا پايدار) بين ۲ تا ۱۵ $^{\circ}c$ با ميانگين ۱۰ $^{\circ}c$ بود.

در دوره ارزيابي (فاز دوم)، سيستم‌هاي OF با سه AR (بر مبناي دبي جريان ورودي به ازاء واحد عرض سطح شيبدار) 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. شرايط بهره‌برداري پايلوت‌ها در جدول (۱) آمده است. طراحي و بهره‌برداري پايلوت‌هاي سيستم OF در محدوده توصيه شده توسط آژانس محيط‌زيست آمريكا [۵] صورت گرفت. در مدت مطالعه، تعداد محدودي بارندگي چند ساعته (معمولاً ۲ تا ۳ ساعت) رخ داد و در اين روزها سيستم‌هاي OF مورد بهره‌برداري قرار نگرفتند. رخدادهاي بارندگي، به دليل تعداد كم و نيز كوتاهي مدت بارش آنها، تغيير قابل ملاحظه‌اي روي عملكرد سيستم نداشتند.

زمان ماند (زمان جريان روي سطح شيبدار) با اندازه‌گيري زمان توقف خروجي سيستم از لحظه قطع جريان ورودي به آن به‌دست آمد. زمان‌هاي ماند هر سيستم OF براي آهنگ كاربرد ۰/۱۵، ۰/۲۵ و ۰/۳۵$m^3/m.h$ به ترتيب ۸۵، ۶۵ و ۳۵ دقيقه بودند. با توجه به اين زمان‌هاي ماند كم، ميزان تبخير و تعرق آب در سيستم‌هاي OF نسبتاً ناچيز بود. در جدول (۱) مقادير بارگذاري هيدروليكي[۱۲] (HLR) و بارگذاري آلي[۱۳] (OLR) از روابط زير به‌دست آمدند:

$$HLR = \frac{AR}{L} \tag{1}$$

$$OLR = HLR \times C \tag{2}$$

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

هر روز سه نمونه اتفاقي از پساب خروجي هر پايلوت و يك نمونه اتفاقي از پساب ورودي به آن گرفته شد. سه نمونه روزانه پساب خروجي هر پايلوت معمولاً بعد از ۵، ۶ و ۷ ساعت از شروع بهره‌برداري، گرفته مي‌شدند. نمونه‌ها در آزمايشگاه براي تعيين مقدار غلظت‌هاي $TBOD_5$، TCOD، TSS، TN، TP و كدورت مورد تجزيه قرار مي‌گرفتند. تجزيه شيميايي نمونه‌ها طبق دستورالعمل روش‌هاي استاندارد [۲۰] صورت گرفت.

يافته‌ها و بحث

جدول (۲) مشخصات سه پساب مورد استفاده در پايلوت‌هاي OF را در دوره پايداري نشان مي‌دهد. از جدول (۲) ملاحظه مي‌شود كه غلظت مواد مغذي در پساب تصفيه لاگوني فاضلاب نساجي در مقايسه با پساب‌هاي تصفيه اوليه و تصفيه ثانويه كمتر، ولي غلظت مواد آلي آن بيشتر است. به طور كلي، بزرگي نسبت BOD به COD نشان دهنده آن است كه فرآيندهاي بيولوژيكي براي حذف مواد آلي مؤثر خواهد بود. بر عكس، در شرايط كوچك بودن اين نسبت، روش‌هاي غيربيولوژيكي براي حذف مواد آلي بايد مورد بررسي قرار گيرند. ميانگين مقادير نسبت BOD به COD براي پساب‌هاي تصفيه اوليه، تصفيه ثانويه و تصفيه لاگوني فاضلاب نساجي تصفيه‌خانه شاهين‌شهر به ترتيب ۰/۳۵، ۰/۳۹ و ۰/۲ بودند (جدول ۲).

عملكرد كلي سيستم جريان سطحي در تصفيه فاضلاب‌هاي مختلف در هر دو فاز خوگيري و پايداري در جدول (۳) خلاصه شده است. از اين جدول ملاحظه مي‌شود كه عملكرد سيستم در فاز خوگيري كمتر از فاز پايدار است. كاهش عملكرد سيستم در دروه خوگيري عمدتاً به علت نقص در پوشش گياهي است، زيرا در اين مدت پوشش گياهي به تدريج رشد و توسعه مي‌يابد.

براي ارزيابي عملكرد سيستم از داده‌هاي فاز دوم (فاز پايدار) استفاده شده است. خلاصه آماري مشخصات پساب پايلوت‌ها در آهنگ‌هاي كاربرد مختلف، در فاز دوم بهره‌برداري، در جدول (۴) آمده است. عملكرد سيستم پايلوت‌ها در مدت بهره‌برداري آنها در فاز دوم در شكل (۲) نشان داده شده است. اين شكل پايداري نسبي در عملكرد سيستم را در فاز دوم نشان مي‌دهد.

جدول ۱ : 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 ۲ : 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 ۳ : 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 (۵) آمده است. از جدول (۵) ملاحظه مي‌شود كه راندمان حذف TCOD از پساب لاگوني فاضلاب نساجي توسط سيستم OF در همه آهنگ‌هاي كاربرد بيش از ۵۲% 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 ۵۰% از TCOD

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

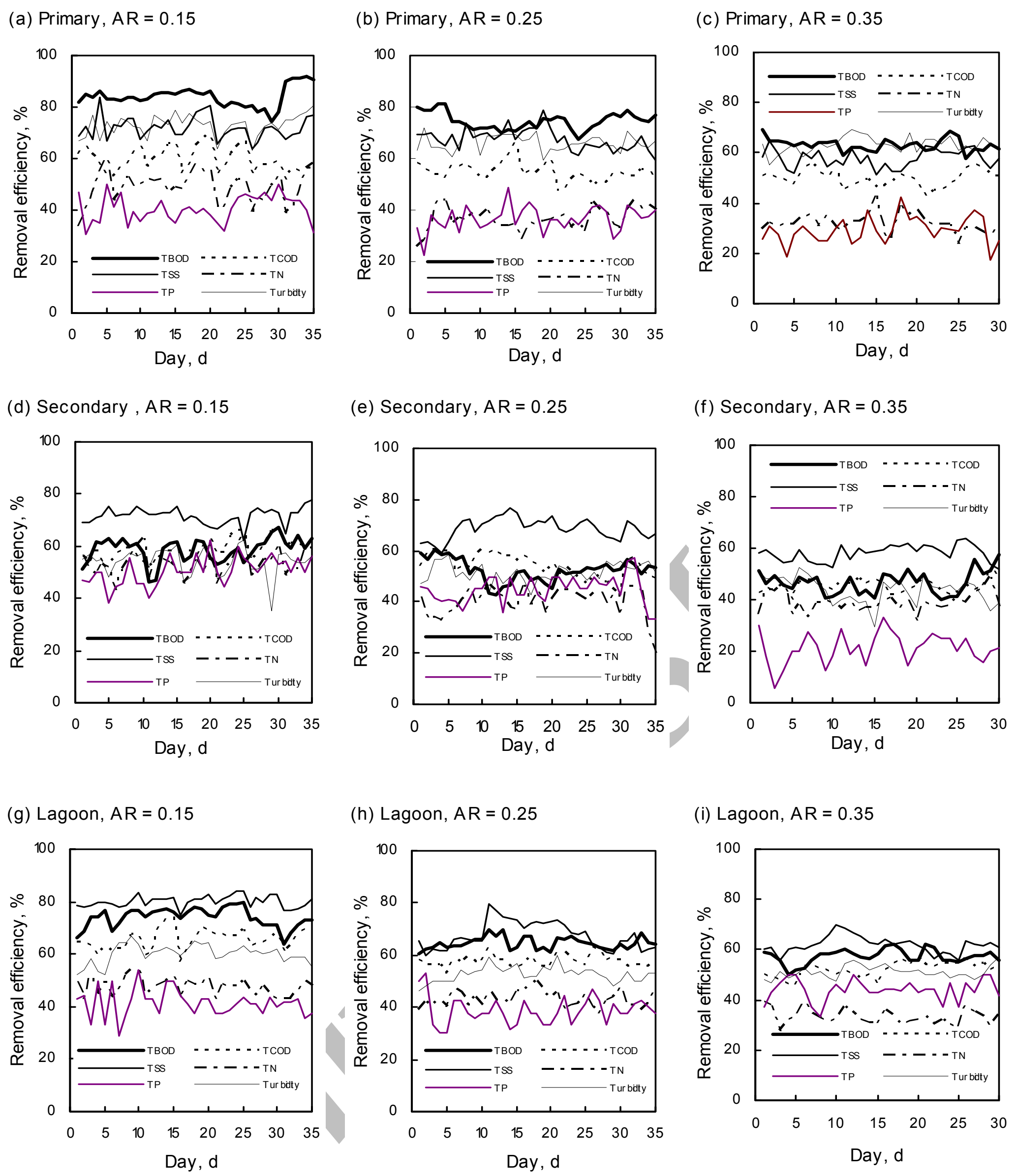
Type of influent	AR, $m^3 m^{-1} h^{-1}$	Statistical parameter	$TBOD_5$, mg L^{-1}	TCOD, mg L^{-1}	TSS, mg L^{-1}	TN, mg L^{-1}	TP, mg L^{-1}	Turbidity, NTU
Primary effluent	0.15	Mean	24.1	174.9	35.3	41.2	11.5	14.1
		Std. dev.	7.8	29.9	8.9	6.7	3.0	3.4
		Range	13-44	120-236	21-57	30-56	6-17	8-21
	0.25	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 $m^3 m^{-1} h^{-1}$.

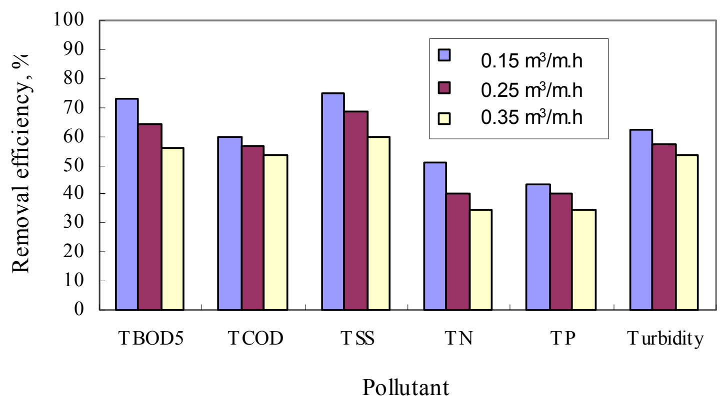
جدول ۵ : راندمان حذف (میانگین و انحراف معیار) آلودگی توسط سیستم OF در هر AR در فاز دوم بهره برداری.

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.

بـوده اسـت، لـیکن درصـد کـاهش مـواد آلـي تجزیـه‌پـذیر ($TBOD_5$) 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 پسـاب اسـت. از مقایسه عملکرد سیستم OF با سیستم لجن فعال در کاهش TCOD پساب تصفیه اولیـه (جـدول‌هـاي ۲ و ۴) ملاحظـه مي‌شود که سیستم لجن فعال مؤثرتر بوده است.

عملکرد سیستم OF در حـذف TP ،TN، TCOD و در کمترین AR براي پساب تصفیه اولیه، بـه ترتیـب ۴۹، ۴۱ و ۶۰% بود که در مقایسه با عملکرد سیستم لجن فعـال (به ترتیب ۵۸، ۵۰ و ۶۹%) از کارایي نسبتاً خوبي برخـوردار اسـت. البتـه ایـن وضـعیت بـراي حـذف $TBOD_5$ (۸۴% در مقابل ۶۶%) بهتر و براي حذف TSS (۷۲% در مقابـل ۲۰%) بدتر است.

شکل (۳) میانگین حذف آلودگي توسط سیسـتم OF را براي آهنگ‌هاي کاربرد مختلف (بدون توجه بـه نـوع پساب) نشان مي‌دهد. از شکل (۳) ملاحظه مي‌شـود کـه بـا افزایش AR، راندمان حذف بـراي تمـام آلاینـده‌هـا کـاهش مي‌یابد، زیرا با افزایش AR بارگذاري آلودگي افزایش و زمان ماند کاهش مي‌یابد. با زمـان مانـد کمتـر، فراینـدهاي 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 ایـن امـر مربـوط بـه تصـفیه کمتري است که پساب اولیه نسبت بـه پسـاب ثانویـه طـي نموده است. زیرا معمولاً تصفیه فاضلاب بـا غلظـت آلـودگي کم،مشکل‌تر و کم‌بازده‌تر نسبت به تصفیه فاضلاب با شـدت آلودگي زیاد، است. مدلي که بـه طـور وسـیع بـراي تصـفیه فاضلاب با سیستم OF مورد پذیرش واقـع شـده[۳]، مـدلي است که توسط اسمیت و شرودر [۱۲] ارائه شده است. ایـن 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 k ،A و n پارامترهـاي مـدل هسـتند. مقـدار پـارامتر A بستگي به مقدار q دارد. در این مدل، فرض بر آن است کـه به دلیـل رهاسـازي مـواد آلـي گیـاهي و خـاك در جریـان سطحي، حد کاهش BOD_5 توسط سیستم OF برابر 5mg/L باشد.

اسمیت و شرودر [۱۲] مقادیر پـارامتر A را بـراي آهنـگ‌هـاي کـاربرد 0.16، 0.25، $0.37 m^3/m.h$ بـه ترتیـب 0.38، 0.51 و 0.71 یافتند. با استفاده از این مقـادیر A و بـا رگرسیون معادله (۳) به داده‌هاي BOD_5 مربوط بـه تصـفیه پساب اولیه توسط سیستم OF این تحقیق، مقادیر k و n به ترتیب 0.012 و 0.487 با ضریب تبیـین[۱۴] $R^2 = 0.997$ ، به دست آمدند. اسمیت و شرودر [۱۲] مقـادیر k و n را بـه ترتیـب 0.043 و 0.136 یافتنـد. ابرنـاتي و همکـاران [۱۴]، مـدل اسـمیت و شـرودر [۱۲] را بـه داده‌هـاي حاصـل از تحقیقاتشـان بـرازش نمودنـد و ضـرایب دیگـري مشـاهده نمودند. بنابراین، براي حذف TBOD، ساختار مدل اسـمیت و شرودر، رضایتبخش است لیکن ضرایب مـدل را بـراي هـر شرایط خاص باید به‌دست آورد. مدل مرتبه یـك اسـتاندارد جنکینـز و همکـاران [۱۰] بـراي حـذف آلاینـده‌هـا توسـط سیستم OF، که تابعي از زمان جریـان اسـت، بـه داده‌هـاي تمام پارامترهاي این تحقیق برازش شد که به جـز کـدورت بقیه از ضریب تبیین نسـبتاً خـوبي برخـوردار بودنـد. مـدل مرتبه یك اصلاح شده (معادله ۴) از بردازش بهتري نسـبت به مدل مرتبه یك استاندارد برخوردار بـود. از بـرازش مـدل معادله (۴) به داده‌هاي این تحقیق، مقـادیر R^z در محـدوده 0.71 تا 0.99 و عموماً بیش از ۰/۹۳ بود. این مدل، در مورد داده‌هـاي TP مربـوط بـه تصـفیه پسـاب لاگـوني فاضـلاب نساجي از برازش ضعیفي بـا $R^z = 0.33$ برخـوردار بـود. بنابراین، معادله (۴) را مي‌توان براي پیش‌بیني میزان تغییـر در AR (یا طول بستر) براي رسیدن به یك درجه خـاص از تصفیه، براي اکثر پارامترها، به کار برد. مقـدار ضـریب B در معادله (۴) بستگي به نوع فاضلاب ورودي به سیستم دارد و حتي در یك سیستم خاص مقدارش از پارامتري به پـارامتر 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 براي كاربرد سيستم OF به عنوان واحد تصفيه تكميلي (پيشرفته) پساب تصفيه‌خانه‌هاي فاضلاب، نتيجه‌گيري نمود.
- عملكرد سيستم OF در مدت خوگيري، ناپايدار و كم‌بازده‌تر از فاز پايدار آن است. حدود سه ماه طول مي‌كشد تا سيستم OF در متوسط دماي روزانه $20^{\circ}C$ به پوشش گياهي يكنواخت و عملكرد نسبتاً پايداري برسد.
- عملكرد سيستم OF با تغيير نوع فاضلاب ورودي، تغيير مي‌كند.
- عملكرد سيستم OF با افزايش AR كاهش مي‌يابد.
- پايلوت‌هاي اين مطالعه به عنوان واحدهاي تصفيه تكميلي پسابهاي تصفيه‌خانه‌هاي شهري و صنعتي اكثراً از راندمان حذف آلودگي بيش از ٥٠% برخوردار بودند.
- در سيستم OF، فرآيندهاي غيربيولوژيكي نيز قابل ملاحظه هستند. لذا اين نوع سيستم تصفيه مي‌تواند جايگزين مناسبي براي كاهش بار آلي پساب تصفيه‌خانه‌هايي باشد كه از COD مجاز براي تخليه برخوردار نيستند.
- تصفيه پساب اوليه توسط سيستم OF با $0.15\ m^3/m.h$ ، AR مي‌تواند جايگزيني براي سيستم تصفيه ثانويه لجن فعال باشد.
- مدل كلي ارائه شده توسط اسميت و شرودر [۱۲] معتبر است ولي پارامترهاي مدل بايد تحت هر شرايطي كاليبره شوند. مدل مرتبه يك اصلاح شده مي‌تواند تغييرات لازم در AR يا طول بستر را براي عملكرد بهينه پيش‌بيني كند، ليكن ضرائب مدل براي هر فاضلاب و پارامتري بايد از برازش مدل به داده‌هاي مربوطه به‌دست آيد.

تقدير و تشكر

بدين‌وسيله از حمايت‌هاي معاونت پژوهشي دانشگاه 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)