

شست و شوی اولیه آلاینده‌ها توسط رواناب‌های سطحی

امیر تائبی**

پژمان رازی*

(دریافت ۸۳/۳/۳۱ پذیرش ۸۳/۹/۲۸)

چکیده

یکی از عوامل آلوده‌کننده منابع آب، رواناب‌های آلوده شهری است. بارآلاینده در بخش اولیه رواناب‌های سطحی شدید است که به این پدیده شست و شوی اولیه گفته می‌شود. در صورت وجود شست و شوی اولیه تنها کنترل بخش اولیه رواناب‌های سطحی برای حذف آلاینده‌ها کافی است. طی ده رخداد بارندگی از رواناب سطحی تولید شده در حوزه سی‌وسه پل شهر اصفهان به صورت لحظه‌ای نمونه‌برداری شد و در نهایت مشخص گردید که غلظت جامدات، جامدات معلق و مواد آلی شیمیایی از حدود مجاز بیشتر است و هم‌چنین شست و شوی اولیه در مورد جامدات کل، جامدات معلق و مواد آلی شیمیایی از دیگر آلاینده‌ها شدیدتر است. با استفاده از روش‌های آماری عوامل مؤثر در تشدید شست و شوی اولیه مشخص گردید.

واژه‌های کلیدی: آلودگی رواناب‌های سطحی، پدیده شست و شوی اولیه آلاینده‌ها، منحنی نرمال شده

The Firstflush of Pollutants in Surface Runoff

Razi, P., (M.Sc.) and Taebi, A., (Ph.D), Dept. of Civil Eng., Isfahan Univ. of Technology

Abstract

One of the factors impacting quality of water resources is pollution due to urban storm runoff during first stage of storm runoff and is commonly called "firstflush". At this stage the pollution load is rather high. However, if this pollution is properly controlled and managed, the size of the required treatment facilities will be considerably reduced. The surface runoff pollution in the city of Isfahan is high and necessitates the implementation of some control system. For this purpose, ten rainfall events were studied during fall and winter between 1999 and 2000. The data were gathered through grab sampling from Sio-se-pol bridge watershed. Statistical methods were used for analyzing data. The pollution load distribution vs. runoff volume was investigated.

The results indicate that total solids (TS), suspended solids (SS), organic compounds and lead concentration exceeded discharge standards. TS, SS and organic compounds were more significant during the firstflush. SPSS (a statistical software package) analyses showed that there is a correlation between TS in the firstflush and runoff flow rate.

Statistical analysis of the results indicated that rainfall depth and duration increase SS washoff during first stage of runoff. Also it was found SS washoff increases with increasing average discharge during firstflush.

The results also indicated a correlation exists between the SS in the firstflush and the rainfall depth, event maximum intensity, average intensity, rainfall compounds and rainfall characteristics. Finally, an equation was suggested to predict pollution loading of runoff during firstflush.

* کارشناس ارشد مهندسی محیط زیست
** دانشیار دانشگاه صنعتی اصفهان
**

$$\frac{\sum_{i=1}^j C_i Q_i \Delta t_i}{\sum_{i=1}^N C_i Q_i \Delta t_i} = f \left(\frac{\sum_{i=1}^j Q_i \Delta t_i}{\sum_{i=1}^N Q_i \Delta t_i} \right) = f \left(\frac{\sum_{i=1}^j V_i}{\sum_{i=1}^N V_i} \right) \quad (1)$$

در این رابطه N برابر تعداد نمونه‌ها، j متغیر از ۱ تا N، V_i حجم رواناب در فاصله زمانی Δt_i ، C_i و Q_i به ترتیب غلظت آلاینده و دبی جریان در زمان t_i است. رابطه ۱ نسبت جرم تجمعی به جرم کل را به صورت تابعی از نسبت حجم تجمعی به حجم کل نشان می‌دهد [۳].

برازش منحنی نرمال شده، معمولاً به وسیله تابع نمایی انجام می‌شود (رابطه ۲).

(۲)

$$F(X) = X^b \Leftrightarrow \ln(F(X)) = b \cdot \ln(X)$$

این روش نخستین بار توسط فیلیپ و رانشت مورد استفاده قرار گرفت. با استفاده از این برازش، آنالیز منحنی نرمال شده ساده می‌شود [۴].

طی سال‌های گذشته تعاریف مختلفی از شست و شوی اولیه به عمل آمده است که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

تعریف اداره محیط زیست شهر آستین آمریکا

طبق تعریف این اداره، آلودگی منتقل شده در ۰/۵ اینچ (۱۲/۷ میلی‌متر) ارتفاع اولیه رواناب، مبین شست و شوی اولیه است. طی تحقیقاتی که بر روی هفت ایستگاه نمونه‌برداری در ایالت تگزاس صورت گرفت، ۱۶ تا ۳۰ رخداد بارندگی مورد بررسی قرار گرفت [۵].

تعریف بر مبنای اوج اولیه غلظت

بر مبنای این تعریف شست و شوی اولیه در محدوده اوج اولیه غلظت رخ می‌دهد. از این تعریف برای طراحی مخازن ته‌نشینی استفاده می‌شود [۶].

تعریف U.S. EPA

اداره محیط زیست آمریکا (USEPA) روشی را برای تعیین شست و شوی اولیه در فاضلابروهای مرکب

یکی از منابع غیر نقطه‌ای^۱ آلوده کننده رودخانه‌ها رواناب‌های آلوده سطحی است. طی سال‌های اخیر اثرات مخرب رواناب‌های آلوده سطحی بر منابع آب پذیرنده مورد توجه محققین و دانش پژوهان بوده است. به دلیل قابلیت نفوذپذیری کم سطوح شهری، آب باران در هر رخداد بارندگی، به سرعت جاری شده، آلاینده‌ها را از روی سطوح می‌شوید و به منابع آب پذیرنده تخلیه می‌کند. این آلودگی در اکثر مواقع بیش از حد مجاز بوده به طوری که باعث آلودگی منابع آبی می‌شود و زندگی موجودات زنده و انسان را به مخاطره می‌اندازد. استفاده از تجهیزات کنترل آلودگی و بسترهای نفوذپذیر برای حذف بار آلاینده رواناب‌های سطحی در نقاطی از دنیا رایج شده است.

شست و شوی اولیه آلاینده‌ها در رواناب‌های سطحی

معمولاً بار آلودگی در بخش اولیه رواناب‌های سطحی، بالاست. به این پدیده، شست و شوی اولیه^۲ گفته می‌شود. در صورت وقوع این پدیده می‌توان با کنترل بخش اولیه رواناب، قسمت عمده بار آلاینده را حذف نمود. با بررسی تغییرات بار آلاینده در برابر حجم رواناب به سهولت می‌توان وقوع شست و شوی اولیه را مورد بررسی قرار داد. تغییرات بار آلاینده در برابر حجم رواناب توسط یک منحنی نمایش داده می‌شود و به آن، منحنی نرمال شده^۳ گفته می‌شود [۳]. پس از نمونه‌برداری و اندازه‌گیری پارامترهای مختلف آلودگی می‌توان منحنی نرمال شده را برای هر یک از آلاینده‌ها ترسیم نمود و به بررسی شست و شوی اولیه پرداخت. اساس هر منحنی نرمال شده توسط رابطه ۱ تعریف می‌شود [۳].

¹ NonPoint Sources

¹⁻ Firstflush

²⁻ Normalized Curve

تعریف گوپتا و سائول

طبق تعریف گوپتا و سائول شست و شوی اولیه زمانی رخ می‌دهد که اختلاف دو منحنی جرم تجمعی به جرم کل و جرم تجمعی به حجم کل حداکثر است [۹].

تعریف برتراند-کراجوسکی

برتراند-کراجوسکی، در سال ۱۹۹۸ تعریف دقیقی را از شست و شوی اولیه ارائه نمودند. طبق این تعریف در صورتی شست و شوی اولیه رخ می‌دهد که حداقل ۸۰٪ از کل بار

(CSOs^۱) ارائه داده است. طبق این تعریف شست و شوی اولیه برای حوزه‌های کوچک با شیب زیاد و ضریب نفوذپذیری کم، بیشتر اتفاق می‌افتد. در این روش، حجمی از رواناب که غلظت آلاینده در آن از غلظت متوسط (C_b) بیشتر باشد به عنوان حجم شست و شوی اولیه شناخته شده و در محاسبات مربوط به تعیین حجم مخازن ته‌نشینی به کار می‌رود [۷].

تعریف جیگر

بر اساس این تعریف زمانی شست و شوی اولیه رخ می‌دهد که حداکثر فاصله منحنی نرمال شده از خط نیمساز بیشتر از ۰/۲ باشد [۸].

3-Combined Sewer Overflows



شکل ۱- نمایش قسمتی از کانال اصلی جمع‌کننده رواناب‌های سطحی منطقه مورد مطالعه (F8 - محل دفع رواناب به رودخانه)

عبارت است از درصد بار آلاینده انتقال یافته در ۲۰٪ حجم اولیه رواناب (FF₂₀). طی این تحقیق دلتیک اثر عواملی مثل شرایط آب و هوایی، خصوصیات بارندگی و مقادیر کمی و کیفی رواناب مورد بررسی قرار گرفت و مشخص شد که پایین بودن مقدار رسوبات روی سطوح و بالا بودن حجم رواناب در میلجاکواک یوگسلاوی، شست و شوی اولیه رسوبات را شدت می‌بخشد. اما در شهر لاند سوئد شدت بارندگی و زمان وقوع آن، عوامل مؤثر در شست و شوی اولیه هستند. در مورد pH و دما اثری از شست و شوی اولیه وجود نداشت. بررسی‌ها نشان داد که بالا بودن حجم رواناب در دو ایستگاه نمونه‌برداری باعث تشدید در

آلاینده توسط ۳۰٪ حجم اولیه رواناب منتقل شود. نسبت ۳۰ به ۸۰ کاملاً اختیاری است. استار و آرناس [۱۰] نسبت ۲۰ به ۸۰ و وانیلیستا و یوسف [۱۱] نسبت ۲۵ به ۵۰ را برای تعیین شست و شوی اولیه پیشنهاد نمودند.

طی تحقیقاتی که توسط دلتیک در سال ۱۹۹۸ در دو منطقه واقع در یوگسلاوی و سوئد صورت گرفت، نمونه‌برداری لحظه‌ای به منظور تعیین غلظت آلاینده و دبی جریان در فواصل زمانی ۱۰ ثانیه از رواناب به عمل آمد و با استفاده از روش‌های آماری ضرایب هم‌بستگی بین عوامل مؤثر و شست و شوی اولیه به دست آمد. طبق پیشنهاد دلتیک، شست و شوی اولیه

منتهی می گردد (شکل ۱). حدود ۲۷۳ هکتار از این مساحت در بالا دست میدان آزادی و ۱۵۲/۴۲ هکتار آن حد فاصل میدان آزادی تا سی و سه پل می باشد. طول مسیر کانال حد فاصل میدان آزادی تا سی و سه پل ۲۳۰۵ متر می باشد. رودخانه زاینده رود و تالاب گاوخونی به عنوان منابع آب پذیرنده، در نظر گرفته می شود. جدول ۱ مشخصات این حوزه را نشان می دهد.

جدول ۱- مشخصات حوزه سی و سه پل شهر اصفهان [۱]

۲۳۳/۹۸	هکتار	وسعت ناحیه نفوذناپذیر
۴۲۵/۴۲	هکتار	وسعت کل
۵۵	درصد	ضریب نفوذناپذیری
۱۱۸	میلی متر	ارتفاع متوسط بارندگی سالانه
۶۲۰۰	متر	طول آبراهه اصلی
۰/۰۰۶	متر/متر	شیب آبراهه در مخرج

نمونه برداری ترکیبی: در این روش، نمونه برداری لحظه ای، در فواصل زمانی معین از رواناب به عمل می آید؛ سپس نمونه ها در یک ظرف ریخته شده و از این ظرف غلظت آلاینده اندازه گیری می شود.

نمونه برداری لحظه ای: نمونه ها در فواصل زمانی مشخص از رواناب تهیه شده سپس نمونه ها برای اندازه گیری پارامترهای مختلف آلودگی به آزمایشگاه انتقال می یابند. نمونه برداری ممکن است به روش دستی و یا توسط دستگاه خودکار صورت گیرد.

بحث و نتیجه گیری

برای بررسی شست و شوی اولیه آلاینده ها در حوزه مورد مطالعه طی ده رخداد بارندگی در پاییز و زمستان سال های ۱۳۷۸ و ۱۳۷۹، از رواناب سطحی تولید شده در حوزه سی و سه پل

شست و شوی اولیه هدایت الکتریکی خواهد شد [۱۲].

هدف از این تحقیق بررسی آلودگی رواناب های سطحی حوزه سی و سه پل شهر اصفهان و امکان وقوع پدیده شست و شوی اولیه و شناخت عوامل مؤثر بر آن می باشد.

منطقه مورد مطالعه

این حوزه آبریز از جنوب به ترمینال صفا از شرق به خیابان شیخ صدوق و از غرب به خیابان توحید

مواد و روش ها

برای اندازه گیری غلظت متوسط آلاینده ها، داده های مربوط به دبی جریان و غلظت آلاینده مورد نیاز است. غلظت میانگین آلاینده طی تک رخداد با استفاده از رابطه ۳ اندازه گیری می شود

(۳)

$$EMC = \frac{\sum_{i=1}^n C_i Q_i t_i}{\sum_{i=1}^n Q_i t_i}$$

که در آن t_i فاصله زمانی نمونه برداری، Q_i دبی جریان عبوری و C_i غلظت آلاینده در فاصله زمانی t_i است. برای نمونه برداری از رواناب های سطحی سه روش وجود دارد:

نمونه برداری تصادفی: در این روش، نمونه های اتفاقی از رواناب تهیه شده به آزمایشگاه انتقال می یابد.

-	۶/۵-۸/۵	pH
---	---------	----

جدول ۴- مقادیر FF₂₀ مربوط به TS، TSS و COD طی ده رخداد بارندگی (%)

تاریخ	پارامتر آلاینده	۷۸/۹/۲۲	۷۸/۱۱/۷	۷۸/۱۱/۲۴	۷۸/۱۲/۷	۷۹/۸/۱۵	۷۹/۹/۱۱	۷۹/۹/۱۹	۷۹/۱۱/۹	۷۹/۱۱/۲۴	۷۹/۱۲/۲۰
	TS	۲۳	۲۴	۲۶	۱۹	۳۶	۲۸	۳۰	۲۳	۲۵	۳۲
	TSS	۲۴	۴۰	۴۵	۲۳	۲۹	۲۲	۳۵	۱۸	۲۷	۲۳
	COD	۲۷	۲۱	۲۳	۲۰	۳۶	۳۳	۳۵	۲۱	۲۶	۳۳

جدول ۵- ضرایب هم‌بستگی خطی مربوط به FF₂₀ و مشخصات بارندگی

COD		TSS		TS		مشخصات بارندگی
*ρ	R	ρ	R	ρ	R	
۰/۴۵	۰/۲۷	۰/۰۰	۰/۹۰	۰/۲۹	۰/۳۷	ارتفاع بارندگی (P)
۰/۱۸	۰/۴۶	۰/۰۳	۰/۶۸	۰/۱۱	۰/۵۴	کل زمان بارندگی (T _r)
۰/۴۳	۰/۲۸	۰/۰۱	۰/۷۵	۰/۴۱	۰/۲۹	حداکثر شدت بارندگی (I _m)
۰/۶۳	۰/۱۷	۰/۰۰	۰/۸۳	۰/۴۲	۰/۲۹	متوسط شدت بارندگی (I)
۰/۳۸	۰/۳۱	۰/۰۰	۰/۸۵	۰/۱۵	۰/۴۹	حجم رواناب (V)
۰/۱۵	۰/۴۹	۰/۱۶	۰/۴۸	۰/۲۰	۰/۴۴	متوسط دبی رواناب (Q)
۰/۲۱	۰/۴۳	۰/۶۹	۰/۱۵	۰/۰۷	۰/۵۹	جرم آلاینده (M)
۰/۲۴	۰/۴۱	۰/۵۶	۰/۲۱	۰/۰۹	۰/۵۷	غلظت متوسط آلاینده طی تک رخداد (EMC)

* سطح معنی‌دار بودن ضریب هم‌بستگی.

جدول ۶- ضرایب هم‌بستگی رتبه‌ای اسپیرمن مربوط به FF₂₀ و مشخصات بارندگی

COD		TSS		TS		مشخصات بارندگی
ρ_r	Rr	ρ_r	Rr	ρ_r	Rr	
۰/۴۰	۰/۳۰	۰/۰۰	۰/۹۲	۰/۳۰	۰/۳۷	P
۰/۴۱	۰/۳۰	۰/۰۱	۰/۷۸	۰/۲۰	۰/۴۴	Tr
۰/۳۴	۰/۳۴	۰/۰۰	۰/۸۳	۰/۳۱	۰/۳۶	Im
۰/۴۲	۰/۲۹	۰/۰۰	۰/۸۸	۰/۳۸	۰/۳۲	I
۰/۳۴	۰/۳۴	۰/۰۰	۰/۸۵	۰/۱۷	۰/۴۷	V
۰/۰۶	۰/۶۲	۰/۱۱	۰/۵۴	۰/۰۲	۰/۷۰	Q
۰/۰۷	۰/۶۰	۰/۱۳	۰/۵۲	۰/۴۶	۰/۲۷	M
۰/۹۵	۰/۰۲	۰/۵۰	-۰/۲۴	۰/۷۱	۰/۱۳	EMC

آلاینده در رواناب‌های سطحی حوزه سی و سه پل شهر اصفهان نتیجه گرفته می‌شود که آلودگی، بیشتر ناشی از جامدات، جامدات معلق و مواد آلی می‌باشد. جامدات معلق در سیستم‌های انتقال و ذخیره آب، رسوب به جای می‌گذارند و آلودگی حاصل از آن زندگی آبزیان را مختل می‌کند. هم‌چنین بالا بودن مقدار مواد آلی باعث کاهش اکسیژن محلول در آب شده و حیات موجودات آبی را به خطر می‌اندازد. بنابراین تخلیه مستقیم رواناب‌های سطحی حاصل از این حوزه به رودخانه، اثرات زیست محیطی نامطلوبی روی زندگی آبزیان خواهد گذاشت؛ پس اتخاذ تدابیر مؤثر در جهت کاهش آلودگی رواناب‌های سطحی تا حد مجاز، قبل از تخلیه به رودخانه زاینده‌رود لازم به نظر می‌رسد.

- با توجه به غلظت بالای آلاینده‌ها در رخدادهای مورخ ۷۹/۰۸/۱۵ (جدول ۲)، اثر اولین بارندگی پاییزی با توجه به بالا بودن روزهای بدون بارش، به خوبی مشهود است.

- برای مقایسه کیفیت رواناب‌های سطحی حاصل از چند ایستگاه نمونه‌برداری، نمونه‌برداری اتفاقی روش مناسبی است؛ اما به دلیل عبور زودگذر رواناب‌های سطحی هنگام بارندگی، نمی‌توان تغییرات بار آلودگی را با استفاده از این روش نشان داد. با استفاده از روش نمونه برداری ترکیبی می‌توان غلظت متوسط آلاینده‌ها (EMC) را

بررسی شست و شوی اولیه در حوزه مورد مطالعه به دلیل جامع و کامل بودن روش برتراند- کراجوسکی در تعریف شست و شوی اولیه، از این تعریف برای بررسی شست و شوی اولیه در منطقه مورد مطالعه استفاده شد. با داشتن مقادیر لحظه‌ای مربوط به پارامترهای آلاینده، منحنی‌های نرمال شده ترسیم شده است (شکل ۲).

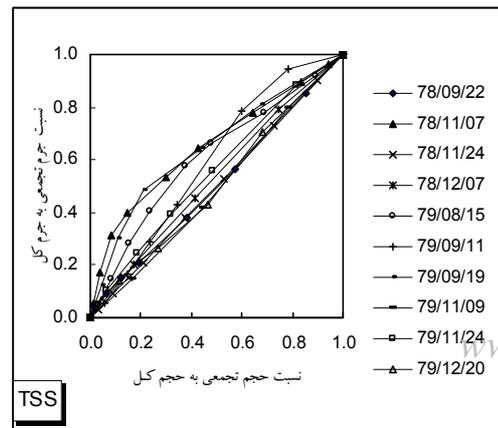
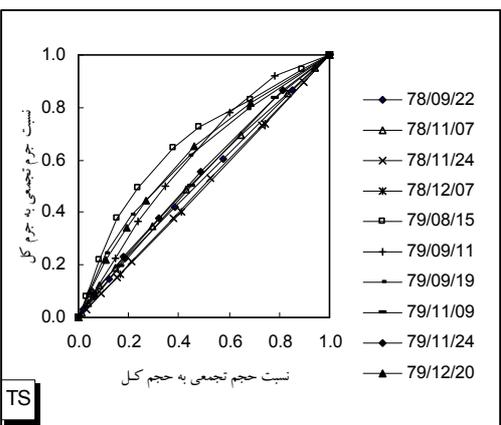
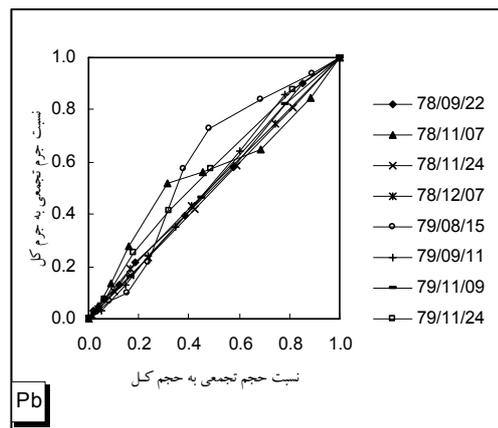
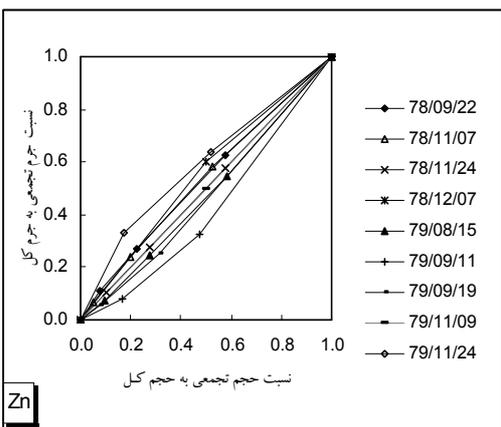
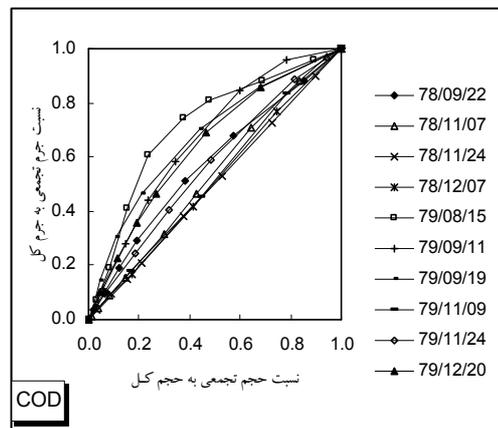
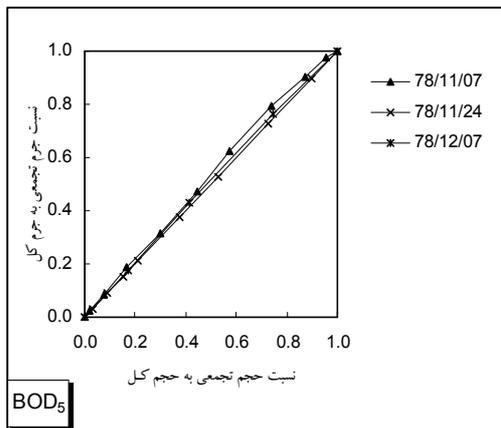
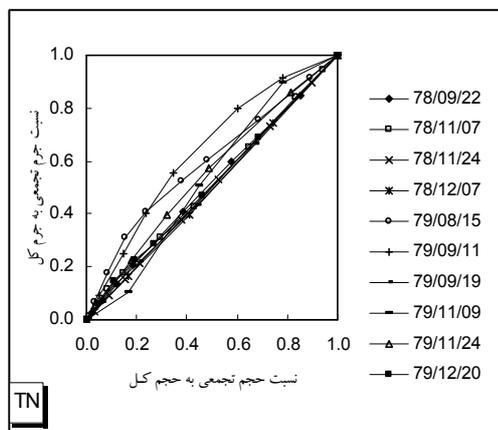
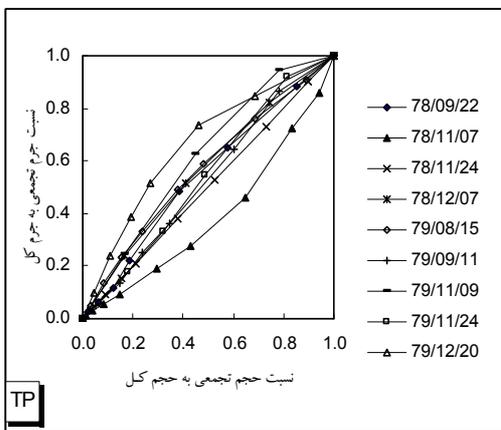
عوامل مؤثر در شست و شوی اولیه آلاینده‌ها برای بررسی عوامل مؤثر بر شست و شوی اولیه آلاینده‌ها در رواناب‌های سطحی مقادیر FF₂₀ مربوط به TS، COD و TSS اندازه‌گیری شده و در جدول ۴ نشان داده شده است. ضریب هم‌بستگی خطی و ضریب هم‌بستگی رتبه‌ای (اسپیرمن) بین FF₂₀ و پارامترهای مربوط به بارندگی و رواناب توسط برنامه نرم‌افزاری SPSS تعیین شده است. جدول‌های ۵ و ۶ خلاصه نتایج را نشان می‌دهد.

جمع‌بندی و پیشنهادات

- با توجه به تراکم جمعیت در شهر اصفهان و وجود صنایع و کارخانه‌های متعدد در این شهر، آلودگی رواناب‌های سطحی به شدت منابع آب پذیرنده را تهدید می‌کند. با توجه به اندازه‌گیری پارامترهای

تهیه شده و غلظت آلاینده مربوط به هر یک از نمونه‌ها باید اندازه‌گیری شود.

تعیین نمود. بنابراین برای ترسیم منحنی های نرمال شده بایستی از روش نمونه برداری لحظه‌ای استفاده کرد. این روش نسبت به روش‌های قبلی مستلزم صرف هزینه بیشتر خواهد بود؛ زیرا در هر رخداد بارندگی، نمونه‌های متعددی



شکل ۲- منحنی‌های نرمال شده مربوط به آلاینده‌های مختلف

- مقایسه تعاریف مختلف از شست و شوی اولیه نشان می‌دهد که روش برتراند-کراجوسکی به دلیل استفاده آن از منحنی‌های نرمال شده نسبت به روش‌های دیگر برتری دارد.

- طبق تعریف شست و شوی اولیه توسط برتراند-کراجوسکی و بررسی منحنی‌های نرمال شده در منطقه مورد مطالعه، دیده می‌شود که شست و شوی اولیه برای TS، COD و TSS شدیدتر از آلاینده‌های دیگر است. بنابراین با کنترل بخش اولیه رواناب‌های سطحی می‌توان بخش اعظم مواد جامد و مواد آلی را حذف نمود.

- مطابق روش دلتیک می‌توان ارتباط شست و شوی اولیه با مشخصات مختلف بارندگی را مورد بررسی قرار داد.

- در این تحقیق مشخص شد که در مورد جامدات معلق رابطه خطی بین شست و شوی اولیه و ارتفاع بارندگی، طول مدت بارش، حداکثر شدت بارندگی و حجم رواناب وجود دارد. به عبارت دیگر افزایش هر یک از این عوامل، وقوع شست و شوی اولیه جامدات معلق را محتمل می‌کند. در مورد مواد آلی هیچ رابطه‌ای بین شست و شوی اولیه و مشخصات رواناب مشاهده نشد.

قدردانی

از همکاری آزمایشگاه‌های آب و فاضلاب تصفیه‌خانه جنوب اصفهان که در انجام این تحقیق و انجام آزمایش‌های مربوطه همکاری نمودند، صمیمانه تشکر می‌گردد.

منابع

- ۱- مهندسین مشاور طرح و تحقیقات آب و فاضلاب، (۱۳۷۵) "گزارش مطالعات مرحله اول جمع آوری و دفع آبهای سطحی شهر اصفهان"، انتشارات شهرداری اصفهان، ۸ جلد .
- ۲- سازمان حفاظت محیط زیست، (۱۳۸۰). "آیین نامه های اجرایی بند (ج) ماده ۱۰۴ و ماده ۱۳۴ قانون برنامه سوم توسعه"، انتشارات دایره سبز.
- 3- Griffin, D.M., Randall, C.W., and Grizard, T.J., (1980). "Efficient Design of Stormwater Holding Basins Use for Water Quality Protection", Wat. Res., 14, pp. 1549-1554. Elmsford, N.Y.
- 4- Philippe, J.P. and Ranchet, J., (1987). "Pollution of Runoff Water in Urban Areas", Synthesis of data from ten catchments around Paris, LCPC Research Report, No. 142, pp. 76. Paris, France.
- 5- City of Austin, (1990). "The Firstflush of Runoff and its Effects on Control Structure Design", Environmental and Conservation Services Department, pp. 18. Austin, Texas.
- 6- Bertrand-Krajewski, J.L., Chebbo, G., and Saget, A., (1998). "Distribution of Pollutant Mass vs Volume in Stormwater Discharges and the Firstflush Phenomenon", Wat. Res., No. 32(8), pp. 2341-2550.
- 7- U.S. EPA (1993) "Manual for Combined Sewer Overflows Control", EPA/625/R-93/007, pp.95. Cincinnati, OH.
- 8- Geiger, (1984). W.F., "Characteristics of Combined Sewer Runoff", Proceedings of the 3rd International Conference on Urban Storm Drainage, Goteborg, pp. 851-860. Sweden.
- 9- Gupta, K. and Saul, A.J., (1996). "Specific Relationships for the Firstflush Load in Combined Sewer Systems", pp. 1244-1252. Wat. Res., No. 30(5).
- 10- Stahre, P. and Urbonas, B., (1990). "Stormwater Detention", Prentic Hall, Inc., pp. 338. Englewood Cliffs, New Jersey, USA.
- 11- Wanielista, M. and Yousef, Y., (1993). "Stormwater Management", pp. 579. John Wiley and Sons Inc., New York, NY, USA.
- 12- Deletic, A., (1999). "The Firstflush Load of Urban Surface Runoff", Wat. Res., 32(8).