

EXTENDED ABSTRACT

Analysis of Pollution due to Ni and Zn in Urban Runoff Using by Probability Distribution Functions (Case Study: Hamedan)

A. Toranjian¹ and S. Marofi^{2*}

1- Ph.D. Student of Water Sciences Engineering Department, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University of Hamedan, Iran.

2*- Corresponding Author, Professor of Water Sciences Engineering Department, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University of Hamedan, Iran. (*smarofi@yahoo.com*).

Accepted: 27 June 2017

Revised: 3 February 2018

Received: 6 February 2018

Keywords: Goodness of fit test, Instantaneous concentration, Mean concentration, Ni, Zn.

DOI: 10.22055/jise.2018.22563.1613.

Introduction

Urban storm water has often been known as a major source of pollution influencing the surface water quality in urban areas (Fu et al., 2009). The urban storm water and its economic, social and environmental adverse effects can be predicted and controlled like other natural phenomena to minimize both the induced damages and partial rehabilitation of that for water demand. If first flush happens during the precipitation, in order to prevent the pollution entering to the vital resource, control of the initial part of runoff is sufficient. In this situation, a large amount of the equipment and costs of pollution control will diminish. The prediction of an event occurrence in the future depends on the accurate analysis of the relevant variable in the past. Because the runoff quality data is random and dependent on spatial and temporal variables, the analysis of such information requires using the statistical calculations. One of the most used statistical methods based on the probability is the frequency of the occurrence or the number of times that a given parameter takes place in a specified time interval. Ni and Zn are two elements of the heavy metal group with harmful effects in unallowable concentration on human health. In Hamedan, the urban storm water, alongside the route and after getting out of the catchment outlet, has been used to irrigate the agricultural crops and vegetables. The runoff enters the surface water and penetrates to the groundwater resources. Moreover, the high ability of Ni and Zn absorption in some agricultural plants and vegetables adversely influences the humans and animals. Therefore, the evaluation of the concentrations of these two elements is so necessary.

Methodology

The study area is Hamedan, with the size of about 7200 ha that is located in the west of Iran, approximately between 34° and 52° North latitude and 48° and 35° East longitude. In this research, the quantitative amounts of runoff and sampling from the outlet points of three main urban catchments (S1, S2, S3 respectively Khezr, Moradbeyg-Divin and Abasabad subcatchment) during seven precipitation events were recorded. During the precipitation and after that, the sampling has been conducted starting from the time of runoff output in 30-minute intervals, followed by the 1-hour intervals after passing the flow peak discharge through the river using polyethylene containers. Analytical procedures were based on standard methods (APHA, 2005). In order to calculate the values of the elements such as Ni and Zn, the apparatus Varian SpectrAA 400 Atomic Absorption

was applied. The obtained data have been sorted; then, for each event, the EMC was calculated. EMC is the weighted average of the instantaneous pollution concentration over the whole period of runoff in a single rainfall event, which is the ratio of total pollution load and total runoff. Fitting forty-five distribution functions on event mean concentrations (EMC) and instantaneous concentration series (ICS) of Ni and Zn carried out by method of moments (MOM), moment of linear (MOL), maximum likelihood estimation (MLE) and least square error (LSE). For evaluation and ranking of the functions, the goodness of fit Kolmogorov–Smirnov and Anderson–Darling tests were used.

Results and discussion

The results of evaluating distribution functions on Zn data showed that the frechet, Error and Uniform function were the best distributions for fitting event mean concentration of station S1, S2 and S3, respectively. In addition, Log-Normal, Dagum and Generalized Pareto functions were the best function of Instantaneous concentration series of Zn. The results obtained from assessment of these functions on event mean concentration of Ni using the Kolmogorov–Smirnov and Anderson–Darling goodness-of-fit tests showed that the Wakeby is the suitable distribution in S1 and S3, and Generalized extreme value function is the best distribution in S2. These results for Instantaneous concentration series of Ni showed, the Wakeby, Johnson SB and Uniform were the best functions in S1, S2 and S3, respectively.

Conclusions

Based on results presented here, it can be concluded that:

1. The probability distribution functions have been considered as the suitable tools to analyze the frequency of the heavy metal pollution in runoff due to the precipitation in urban catchments.
2. The goodness of fit tests do not presents the identical results for function rating. Therefore, it is necessary to utilize several tests to select the best probability distribution function.
3. The suitable distribution functions fitted for the studied data are different from each other, so using a unique function for all data results in the large errors.
4. The investigation of the pollution distribution of Zn in urban storm water indicated that the best probability distribution function for analyzing the frequency of EMC and ICS data are Wakeby and Generalized extreme value, respectively.
5. The best probability distribution functions to analyze the frequency of the Ni data in runoff obtained for the city of Hamadan are Wakeby and Johnson SB for the EMC and ICS data, respectively.

Acknowledgement

The authors would like to thank Ms. Rouhi and Mr. Panahi for their help with gathering the data.

References

- 1- Fu, G., Khu, S.T. and Butler, D., 2009. Optimal distribution and control of storage tank to mitigate the impact of new developments on receiving water quality. *Journal of Environmental Engineering*, 136(3), pp.335-342.
- 2- APHA (American Public Health Association), 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23th ed., APHA-AWWA-WEF, Washington, DC.



© 2020 by the authors. Licensee SCU, Ahvaz, Iran. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license) (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



تحلیل آلودگی ناشی از نیکل و روی موجود در رواناب شهری با استفاده از توابع توزیع احتمال (مطالعه موردی: شهر همدان)

امین ترنجیان^۱ و صفر معروفی^{۲*}

۱- دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، ایران.

*۲- نویسنده مسئول، استاد گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، ایران. smarofi@yahoo.com

پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۱۷

بازنگری: ۱۳۹۶/۱۱/۱۴

دریافت: ۱۳۹۶/۴/۶

چکیده

آلودگی ناشی از عناصر سمی در رواناب‌های شهری حاصل از باران و ورود آن‌ها به منابع آب‌های سطحی، موجب خسارت‌های زیست محیطی شدیدی می‌شود. از این رو شناسایی آلاینده‌های مزبور و تحلیل آماری آن‌ها با هدف ارائه راه‌کارهای مدیریتی، امری ضروری است. در این مطالعه بررسی داده‌های آلودگی عناصر نیکل و روی موجود در رواناب شهری همدان، از طریق بررسی تعداد چهل و پنج تابع توزیع احتمال پیوسته و برازش آن‌ها انجام گرفت. برای این منظور ابتدا نمونه‌برداری در سه ایستگاه خروجی رواناب شهری مربوط به هفت رخداد بارش انجام شد. سپس با استفاده از چهار روش گشتاورها (MOM)، گشتاورهای خطی (MOL)، حداکثر درست‌نمایی (MLE) و حداقل مربعات (LSE) نسبت به برازش توابع مختلف توزیع بر مقادیر میانگین غلظت آلودگی نیکل و روی و همچنین سری غلظت‌های لحظه‌ای آلودگی نیکل و روی اقدام گردید. به منظور ارزیابی و مقایسه توابع مختلف توزیع، از آزمون‌های نکویی برازش کولموگروف-اسمیرنوف و اندرسون-دارلینگ استفاده شد. نتایج نشان داد که از میان توزیع‌های مختلف، توزیع ویک‌بای، بهترین تابع برای برازش مقادیر میانگین غلظت آلودگی هر دو عنصر نیکل و روی است. همچنین دو تابع جانسون اس‌بی و مقادیر حدی تعمیم یافته، به ترتیب به‌عنوان مناسب‌ترین توزیع برای برازش سری غلظت‌های لحظه‌ای آلودگی نیکل و روی به‌دست آمد.

کلید واژه‌ها: آزمون نکویی برازش، روی، غلظت لحظه‌ای، میانگین غلظت، نیکل.

مقدمه

نیکل بیست و سومین عنصر فراوان در پوسته زمین است. فاضلاب صنعتی و احتراق سوخت‌های فسیلی اصلی‌ترین منبع واردکننده این آلاینده به منابع آبی است. وجود نیکل در غلظت‌های بیش از ۰/۵ میلی‌گرم در لیتر برای برخی از گیاهان مسموم‌کننده است. غلظت روی در آب‌های طبیعی بسیار کم است. ولی ورود فاضلاب‌های صنعتی و رواناب شهری که به علت خوردگی لاستیک‌های اتومبیل‌ها دارای مقادیر زیادی از روی هستند، به‌عنوان منابع اصلی ورود روی به منابع آب شناخته می‌شوند. سمیت روی در مقادیر بسیار زیاد، گزارش شده اما در برخی موارد برای گیاهان در حالت اسیدی ایجاد سمیت می‌نماید (Mohamadi, 2010).

رواناب شهری و تأثیرات نامطلوب اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی آن مانند سایر پدیده‌های طبیعی به کمک برنامه‌ریزی و مدیریت صحیح قابل پیش‌بینی و کنترل است، به‌طوری‌که هم خسارت‌های آن را به حداقل رسانیده و هم با احیای بخشی از آن نیاز آبی را تأمین نمود (Parvinnia et al., 2008). در هر رخداد بارش، غلظت آلاینده‌ها در زمان خروج رواناب از حوضه ثابت نیست

رواناب شهری اغلب به‌عنوان منبع اصلی آلودگی اثرگذار روی کیفیت آب سطحی مناطق شهری شناخته می‌شود (Fu et al., 2013, Qin et al., 2009). Houghtalen و Akan (2003) آلوده‌کننده‌های موجود در رواناب شهری ناشی از منابع مختلف بوده باعث ورود بسیاری از آلاینده‌های میکروبی و شیمیایی به منابع آب سطحی و زیرزمینی و در نتیجه باعث ایجاد سمیت و اثرات نامطلوب زیست‌محیطی روی اکوسیستم آبی، محصولات کشاورزی و مصرف‌کنندگان از این منابع می‌گردد (Shanbezadeh et al., 2009, Prabu, 2013). یکی از مهمترین آلاینده‌ها، فلزات سنگین هستند. اگر چه تعدادی از این فلزات در غلظت‌های کم به‌عنوان ریزمغذی در زنجیره غذایی عمل می‌کنند، اما تجمع آن‌ها در غلظت‌های بالا در گیاهان و منابع آب باعث ایجاد سمیت و آثار نامطلوب زیست‌محیطی و در نتیجه به خطر افتادن اکوسیستم آبی منابع مذکور و مصرف‌کنندگان از این منابع می‌شود (Kane et al., 2012).

مختلف به دریاچه زریوار در زمان بارش و دبی پایه بررسی کردند. مقدار زیاد آورد فسفات و نیترات به دریاچه بیانگر ضرورت توجه بیشتر به مدیریت منابع آب و خاک حوضه آبریز دریاچه است. (2015) Sadeghi, et al. تغییرات زمانی و مکانی غلظت رسوبات معلق را با برخی آلاینده‌های رودخانه زاینده‌رود مورد بررسی قرار دادند. رواناب شهر همدان در طی مسیر و پس از خارج شدن از خروجی حوضه جهت آبیاری مزارع کشاورزی و سزبجات مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین با توجه به ورود رواناب به آب‌های سطحی و نفوذ در منابع آب زیرزمینی منطقه، شناخت توزیع بار آلودگی و کیفیت رواناب شهری همدان امری ضروری است.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری و آماده‌سازی داده‌ها

در این مطالعه نمونه‌برداری و اندازه‌گیری دبی جریان در سه ایستگاه و در طی هفت رخداد بارش (۲۸ مهر ۱۳۹۳ تا ۲۲ اردیبهشت ۱۳۹۴) انجام شد. ایستگاه شماره ۱ رودخانه خضر در خارج محدوده شهر، ایستگاه شماره ۲ در انتهای روستای گراچقا و پس از محل اتصال رودخانه‌های دره‌مرادیگ، دیوین و خضر و ایستگاه شماره ۳ رودخانه عباس‌آباد در خارج از حوضه شهری است (شکل ۱).

نمونه‌برداری در طول بارش و پس از آن، در فاصله‌های زمانی ۳۰ و ۶۰ دقیقه‌ای انجام شد. نمونه‌ها پس از عبور از کاغذ صافی واتمن و کاهش pH به کمتر از ۲ (با استفاده از اسید نیتریک)، در دمای ۴ نگهداری گردید (Federation and American Public Health Association, 2005). برای اندازه‌گیری نیکل و روی از دستگاه جذب اتمی Varian SpectraAA 400 استفاده شد. پس از اندازه‌گیری، داده‌ها در دو دسته که شامل: میانگین‌های غلظت رخدادها (Event mean concentration) (EMC) و سری غلظت‌های لحظه‌ای کلیه رخدادها (Instantaneous concentration series) (ICS) محاسبه و مرتب شدند. EMC میانگین وزنی غلظت‌های لحظه‌ای آلودگی رواناب در یک رخداد بارش است که به صورت نسبت کل بار آلودگی بر حجم کل رواناب براساس رابطه (۱) بیان می‌گردد (Zhou et al., 2013).

$$EMC = \frac{M}{V} = \frac{\int_0^t C_t Q_t dt}{\int_0^t Q_t dt} = \frac{\sum Q_t C_t \Delta t}{\sum Q_t \Delta t} \quad (1)$$

که در آن EMC میانگین غلظت رخداد (میلی‌گرم بر لیتر)، M کل بار آلودگی در یک رخداد (میلی‌گرم)، V حجم کل رواناب در یک رخداد (لیتر)، C_t غلظت آلودگی در زمان t (میلی‌گرم بر لیتر)، Q_t دبی جریان در زمان t (لیتر در دقیقه) و Dt فاصله زمانی (دقیقه) است.

(Chiew and McMahon, 1999). بنابراین برای برآورد بار آلودگی رواناب‌های سطحی، شناخت ماهیت پارامترهای آلودگی و نحوه توزیع بار آن‌ها در بخش‌های مختلف رواناب امری ضروری است (Parvinnia et al., 2008). پیش‌بینی وقوع یک پدیده در آینده به تجزیه و تحلیل درست داده‌های آن متغیر در گذشته بستگی دارد (Malekinezhad, 2013). با توجه به این‌که داده‌های کیفی رواناب به صورت تصادفی و وابسته به متغیرهای زمانی و مکانی هستند، لذا تحلیل این اطلاعات نیازمند استفاده از محاسبات آماری است. یکی از روش‌های آماری که بر پایه احتمالات بوده و کاربرد زیادی دارد، فراوانی وقوع یا تعداد دفعاتی است که یک پارامتر مشخص در مدت زمان معین اتفاق می‌افتد (Alizadeh, 2016). برای بررسی توزیع احتمال داده‌های کیفی رواناب، مقادیر اندازه‌گیری شده با توابع توزیع تتوری پیوسته برازش داده می‌شوند، سپس بهترین تابعی که با این مقادیر تطابق دارد، به عنوان بهترین تابع توزیع احتمال انتخاب می‌گردد. با استفاده از این تابع می‌توان به ازای هر احتمال مورد نظر، مقدار غلظت متوسط هر آلاینده را برآورد نمود (Adams and Fabian, 2000).

Cole et al. (1984) برتری توزیع لوگ نرمال دو پارامتری را برای آلاینده‌های رواناب بیان نمودند. Naslas et al. (1994) میزان نیترات و آمونیوم را در رواناب سطحی حوضه تاهو آمریکا مورد بررسی قرار دادند. اگرچه تحقیقات گذشته برتری نسبی توزیع لوگ نرمال را برای آلاینده‌های رواناب شهری بیان نموده است، ولی ممکن است این توزیع برای تحلیل فراوانی همه آلاینده‌ها مناسب نباشد، لذا پیشنهاد می‌شود توزیع‌های دیگر نیز مورد بررسی قرار گیرند (Van Buren et al., 1997).

Adams و Chen (2007) و روش‌ها و فرایندهای اصلی توسعه مدل‌های کیفی رواناب شهری را بر مبنای نتایج تتوری توزیع احتمال ارائه نمودند. Freni et al. (2010) جمع‌آوری رواناب شهری را به منظور کاهش بار کل جامدات معلق با استفاده از روش‌های عددی و شبیه‌سازی درازمدت ارزیابی نمودند. آن‌ها در این تحقیق توزیع فراوانی کیفیت و بار آلودگی رواناب شهری را برای تعیین خطرپذیری سیستم-زهکشی مورد بررسی قرار دادند. Ocampo-Duque et al. (2013) کیفیت آب رودخانه کاوکا در کلمبیا را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها با مقایسه توزیع‌های پارامتریک و ناپارامتریک و استفاده از سیستم استنتاج فازی، کیفیت آب رودخانه را در ایستگاه‌های مورد نظر تحلیل نمودند. Shahbazi et al. (2005) با بررسی غلظت مهم‌ترین پارامترهای آلاینده در رواناب شهر اصفهان، بهترین توابع توزیع احتمال را برای هر آلاینده تعیین نمودند. براساس نتایج بیان شده، پارامتر BOD₅ از توزیع گاما و پارامتر نیترات از توزیع لوگ نرمال دو پارامتری تبعیت می‌کردند. Ebrahimi Mohammadi et al. (2012) میزان بار ورودی نیترات و فسفات و رسوبات معلق را در ورودی‌های

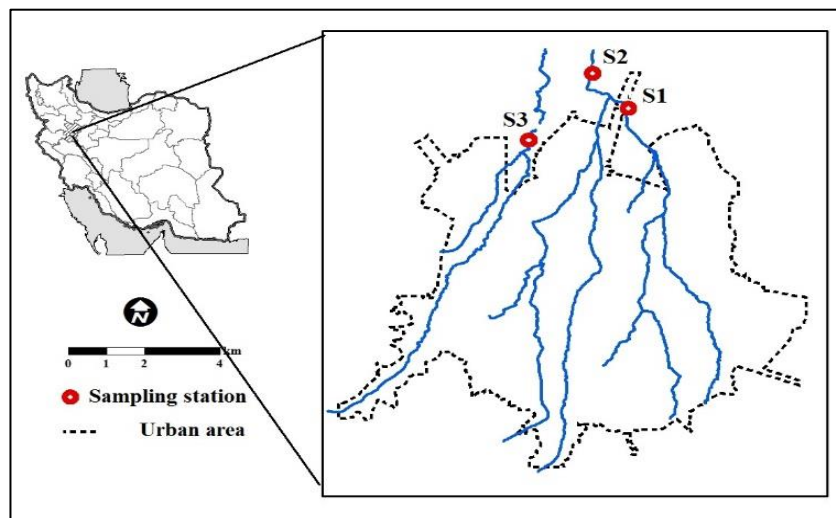


Fig. 1- Location of sampling stations from the outflow runoff of Hamadan basin urban
 شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری از رواناب خروجی حوضه شهر همدان

جدول ۱- توابع توزیع احتمال پیوسته استفاده شده در مطالعه

Table 1- Probability density functions investigated in this study

| Type | Name functions |
|--------------|---|
| Bounded | Beta, Johnson SB, Kumaraswamy, Pert, Power, Reciprocal, Triangular, Uniform |
| Unbounded | Cauchy, Error, Gumbel Max, Gumbel Min, Hypersecant, Johnson SU, Laplace, Logistic, Normal |
| Non-Negative | Burr, Dagum, Erlang, Exponential, Fatigue Life, Frechet, Gamma, Generalized Gamma, Inverse Gaussian, Levy, Log-Gamma, Log-Logistic, Log-Normal, Nakagami, Pareto, Pareto 2, Pearson 5, Pearson 6, Rayleigh, Rice, Weibull |
| Advanced | Generalized Extreme Value, Generalized Logistic, Generalized Pareto, Log-Pearson 3, Phased Bi-Exponential, Phased Bi-Weibull, Wakeby |

توزیع‌های آماری مورد بررسی

ارزیابی آزمون کولموگروف- اسمیرنوف براساس قدرمطلق بیشترین اختلاف بین فراوانی توزیع تئوری و مقادیر اندازه‌گیری شده انجام می‌شود (Back, 2001). آماره آزمون به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$D = \max \left(F(x_i) - \frac{i-1}{n}, \frac{i}{n} - F(x_i) \right), 1 \leq i \leq n \quad (2)$$

که D آماره توزیع، $F(x_i)$ فراوانی نسبی تجمعی واقعی، i تعداد کلاس‌ها و n تعداد کل دسته‌بندی‌ها می‌باشد (Malekinezhad, 2013). آزمون‌ها در سطح اطمینان ۹۵ درصد ارزیابی شد. پس از انجام آزمون‌ها توابع توزیع براساس آماره هر آزمون از بهترین تا نامناسب‌ترین، مرتب و رتبه‌بندی گردید. سپس مجموع رتبه‌های

در این خصوص روش‌های مختلفی در علم آمار و احتمالات وجود دارد. برای برآورد مناسب متغیرهای احتمالاتی باید توابعی را شناسایی کرد که بهترین برازش را با داده‌های موجود داشته باشد (Malekinezhad, 2013). با توجه به این که داده‌های کیفیت آب، متغیر تصادفی پیوسته هستند، در این تحقیق از چهل و پنج تابع توزیع پیوسته در محیط نرم افزار Easyfit5.5 استفاده شده است (جدول ۱).

آزمون‌های آماری

آزمون نکویی برازش، سازگاری داده‌های تصادفی را با توابع توزیع تجربی مورد سنجش قرار می‌دهد (Sharma and Singh, 2010). در این پژوهش از دو آزمون کولموگروف- اسمیرنوف و اندرسون- دارلینگ استفاده شد. این آزمون‌ها در تحقیقات هیدرولوژی و منابع آب کاربرد زیادی دارند (Caldeira et al., 2013).

تحقیقات Shahbazi et al. (2005) برای برازش آلاینده‌های رواناب شهر اصفهان با استفاده از سه تابع گاما، نمایی و لوگ نرمال و تحقیقات Adams (2000) نشان داد که تابع لوگ نرمال دو پارامتری و گاما بهترین تابع برای برازش میانگین‌های غلظت فلزات سنگین در رواناب شهری است. توزیع ویک‌بای یک توزیع پنج مشخصه‌ای است و بنابراین نسبت به توزیع‌های دیگر که مشخصه‌های کمتری دارند، انعطاف‌پذیری بیشتری با داده‌ها دارد. تعریف معینی برای تابع چگالی ویک‌بای وجود ندارد و به شکل تحلیلی فقط به صورت معکوس معادله (۴) قابل تعریف است (Malekinezhad, 2013).

$$F(x) = \xi + \frac{\alpha}{\beta} \left(1 - (1 - F)^{\beta}\right) - \frac{\gamma}{\delta} \left(1 - (1 - F)^{-\delta}\right) \quad (4)$$

در این معادله، F تابع احتمال وقوع متغیر x ، β و δ مشخصه‌های شکل، α و γ مشخصه‌های مقیاس و ξ مشخصه موقعیت است. تابع جانسون اس‌بی تابعی است که از کران پایین محدود و از کران بالا نامحدود است. تابع چگالی به صورت زیر تعریف می‌شود. در این معادله (۵)، γ و δ مشخصه‌های شکل، λ مشخصه مقیاس و ξ مشخصه موقعیت است (Soukissian, 2013).

$$f(x) = \frac{\delta}{\lambda \sqrt{2\pi z(1-z)}} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\gamma + \delta \ln\left(\frac{z}{1-z}\right)\right)^2\right), \quad z = \frac{x - \xi}{\lambda} \quad (5)$$

نتایج مقادیر بهینه مشخصه‌های موقعیت، مقیاس و شکل توابع توزیع ویک‌بای و جانسون اس‌بی توزیع در جدول (۴) آورده شده است. مشاهدات شکل (۲) نشان می‌دهد منحنی‌های تابع توزیع ویک‌بای برای داده‌های میانگین غلظت نیکل رخدادها دارای شکلی کشیده می‌باشند. منحنی چگالی داده‌های میانگین در ایستگاه ۱ و ۲ نزولی و در ایستگاه ۳ به صعودی است. قله موجود در منحنی چگالی توزیع ویک‌بای در ایستگاه ۲ موجب اختلاف زیاد مشخصه شکل تابع (β) نسبت به ایستگاه‌های مجاور است. منحنی‌های تابع جانسون اس‌بی برای داده‌های سری غلظت‌های لحظه‌ای نیکل در هر سه ایستگاه مقعر و به‌علت پراکندگی داده‌ها شکلی کشیده دارد. همچنین مشخصه‌های موقعیت، مقیاس و شکل تابع توزیع در هر سه ایستگاه تفاوت قابل توجهی ندارند (جدول ۴).

اختصاص یافته به هر تابع محاسبه و تابعی که کمترین رتبه نهایی را به خود اختصاص داده بود، به‌عنوان بهترین تابع توزیع انتخاب گردید.

برآورد مشخصه‌های توابع توزیع

روش‌های برآورد مقادیر مشخصه‌های توابع توزیع در این مطالعه شامل، روش گشتاورها (Method of moments)، گشتاورهای خطی (Moment of linear)، حداکثر درست‌نمایی (Maximum likelihood estimation) و حداقل مربعات (Least square error) است که نرم‌افزار Easyfit5.5 برای هر توزیع، بهترین روش موجود را تعیین نموده و مشخصه‌های تابع توزیع را برآورد می‌نماید.

نتایج و بحث

غلظت نیکل و روی در رواناب شهری همدان در سه ایستگاه خروجی حوضه اصلی و در هنگام و بعد از خاتمه هفت رخداد بارش اندازه‌گیری شد. داده‌های به‌دست آمده در دو دسته میانگین‌های غلظت رخدادها و سری غلظت‌های لحظه‌ای، محاسبه و مرتب شد. پس از برازش داده‌ها، توابع توزیعی که براساس آزمون‌های کولموگروف-اسمیرنوف و اندرسون-دارلینگ در سطح معنی‌داری ۹۵ درصد مورد تأیید قرار گرفتند، رتبه‌بندی و تابع برتر در هر ایستگاه مشخص گردید. برای انتخاب تابع برتر مشترک در هر سری داده، مجموع رتبه‌های توابع مورد تأیید در هر سه ایستگاه محاسبه و مناسب‌ترین تابع توزیع تعیین شد. در نهایت با انتخاب توابع برتر، مقادیر مشخصه‌های بهینه هر تابع براساس یکی از روش‌های گشتاورها، گشتاورهای خطی، حداکثر درست‌نمایی و برآورد حداقل مربعات محاسبه گردید. در ادامه نتایج مربوط به نیکل و روی به تفکیک آورده شده‌اند.

توابع توزیع احتمال آلودگی نیکل

براساس نتایج جدول (۲)، چولگی داده‌های نیکل همه ایستگاه‌ها بیانگر متقارن بودن و منفی بودن کشیدگی داده‌ها، نشان‌دهنده تمرکز داده‌ها در اطراف میانگین است. نتایج آزمون نکویی برازش برای بررسی آلودگی نیکل رواناب شهری همدان براساس آزمون‌های کولموگروف-اسمیرنوف و اندرسون-دارلینگ نشان می‌دهد توابعی که انعطاف‌پذیری بیشتری دارند، در داده‌هایی که چوله‌تر هستند برازش مناسب‌تری را خواهند داشت (شکل ۲). تابع ویک‌بای بهترین تابع در برازش میانگین‌های غلظت و تابع جانسون اس‌بی بهترین تابع در برازش سری غلظت‌های لحظه‌ای نیکل است (جدول ۳). نتایج

جدول ۲- شاخص های آماری توصیفی غلظت نیکل (میلی گرم در لیتر) رواناب شهر همدان

Table 2- Descriptive statistical indicators of Ni concentration in urban runoff of Hamedan (mg/l)

| Data | Station | Mean | Middle | SD* | Skewness | Kurtosis |
|------|---------|-------|--------|-------|----------|----------|
| | 1 | 0.052 | 0.035 | 0.028 | 0.384 | -2.46 |
| | 2 | 0.039 | 0.028 | 0.024 | 0.473 | -0.93 |
| | 3 | 0.054 | 0.066 | 0.030 | -0.23 | -2.26 |
| | 1 | 0.059 | 0.055 | 0.031 | 0.230 | -1.16 |
| | 2 | 0.047 | 0.042 | 0.028 | 0.114 | -1.10 |
| | 3 | 0.058 | 0.062 | 0.031 | -0.069 | -1.09 |

*Standard division

جدول ۳- نتایج برازش توابع توزیع احتمال آلودگی نیکل

Table 3- The results of fitting probability distribution functions of the Ni pollution

| Data | Station | | | Total stations |
|------|---------|------------------|---------|----------------|
| | 1 | 2 | 3 | |
| EMC | Wakeby | G. Extreme Value | Wakeby | Wakeby |
| ICS | Wakeby | Johnson SB | Uniform | Johnson SB |

جدول ۴- مشخصه های توابع توزیع احتمال آلودگی نیکل

Table 4- Parameters of probability distribution functions for Ni pollution

| Station | EMC | | | | | ICS | | | |
|---------|--------------|----------------|----------------|---------------|----------------|--------------|----------------|----------------|-----------------|
| | Wakeby | | | | | Johnson SB | | | |
| 1 | $\xi=-0.013$ | $\delta=0.000$ | $\gamma=0.000$ | $\beta=0.385$ | $\alpha=0.054$ | $\xi=0.009$ | $\delta=0.618$ | $\gamma=0.217$ | $\lambda=0.113$ |
| 2 | $\xi=0.000$ | $\delta=0.369$ | $\gamma=0.047$ | $\beta=26.63$ | $\alpha=0.142$ | $\xi=-0.002$ | $\delta=0.713$ | $\gamma=0.119$ | $\lambda=0.107$ |
| 3 | $\xi=-0.005$ | $\delta=0.000$ | $\gamma=0.000$ | $\beta=1.340$ | $\alpha=0.140$ | $\xi=-0.004$ | $\delta=0.734$ | $\gamma=0.074$ | $\lambda=0.122$ |

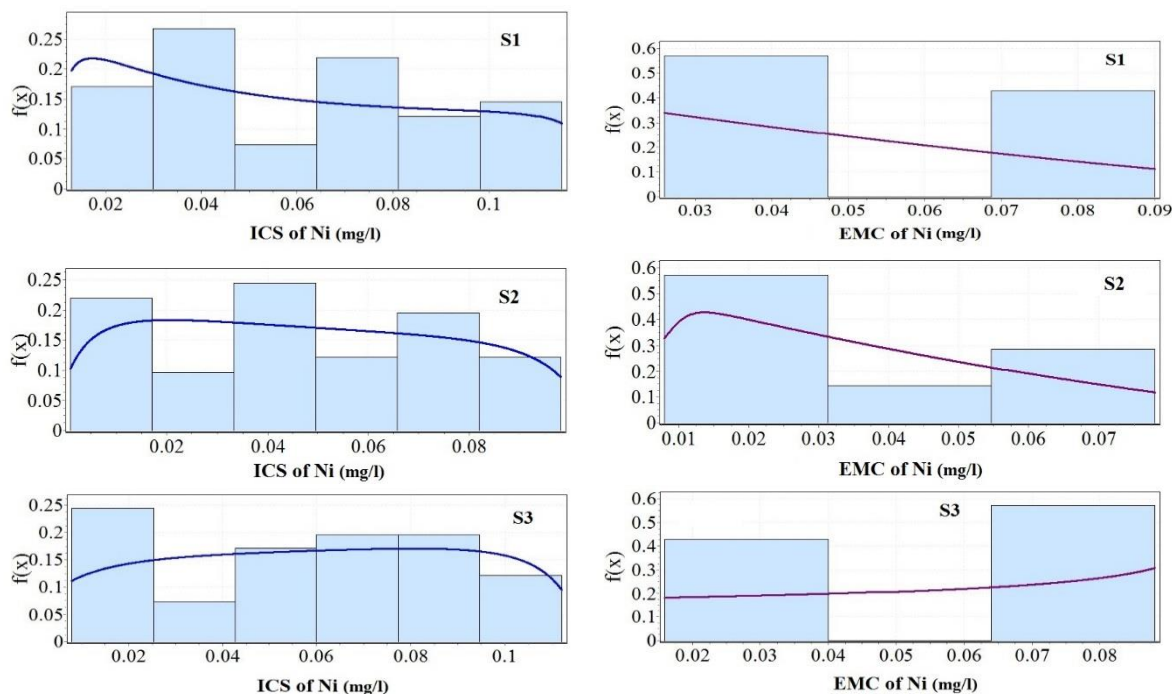


Fig 2- Distribution function curves of Wakeby and Johnson SB for EMC and ICS of Ni respectively

شکل ۲- منحنی های توابع توزیع ویکت بای و جانسون اس بی به ترتیب برای میانگین های غلظت رخدادها

و سری غلظت های لحظه ای نیکل

جدول ۵- شاخص‌های آماری توصیفی غلظت روی (میلی گرم در لیتر) رواناب شهر همدان

Table 5- Descriptive statistical indicators of Zn concentration in urban runoff of Hamedan (mg/l)

| Data | Station | Mean | Middle | SD | Skewness | Kurtosis |
|------|---------|-------|--------|-------|----------|----------|
| | 1 | 0.110 | 0.075 | 0.072 | 1.250 | 0.996 |
| | 2 | 0.078 | 0.076 | 0.041 | 0.017 | -2.20 |
| | 3 | 0.072 | 0.085 | 0.041 | 0.068 | -1.90 |
| | 1 | 0.111 | 0.100 | 0.108 | 3.470 | 15.36 |
| | 2 | 0.086 | 0.081 | 0.062 | 2.670 | 12.05 |
| | 3 | 0.081 | 0.085 | 0.042 | -0.129 | -1.46 |

جدول ۶- نتایج برازش توابع توزیع احتمال آلودگی روی

Table 6- The results of fitting probability distribution functions of the Zn pollution

| Data | Station | | | Total stations |
|------|------------|-------|-----------|------------------|
| | 1 | 2 | 3 | |
| EMC | Frechet | Error | Uniform | Wakeby |
| ICS | Log-Normal | Dagum | G. Pareto | G. Extreme Value |

تابع توزیع مقادیر محدودی تعمیم یافته توسط Jenkinson (1955) ارائه گردید. تابع چگالی این توزیع به صورت مقابل تعریف می‌شود: در این معادله (۶)، μ مشخصه شکل، σ مشخصه مقیاس و ξ مشخصه موقعیت است (Combes and Dussauchoy, 2006).

$$f(x) = \frac{1}{\sigma} \left(1 - \frac{\xi}{\sigma} (x - \mu) \right)^{\frac{1}{\xi} - 1} \exp \left[- \left(1 - \frac{\xi}{\sigma} (x - \mu) \right)^{\frac{1}{\xi}} \right] \quad (6)$$

شدت روند نزولی بافت‌نگار میانگین‌های غلظت روی در ایستگاه یک بیشتر از سایر ایستگاه‌ها است. منحنی‌های توابع چگالی احتمال میانگین‌های غلظت روی در ایستگاه‌های ۲ و ۳ تقریباً مشابه هستند. در شکل (۳) انعطاف‌پذیری تابع ویک‌بای در برازش داده‌های سری غلظت‌های لحظه‌ای روی مشخص است. شکل منحنی تابع ویک‌بای در ایستگاه ۳ با ایستگاه‌های دیگر تفاوت دارد به طوری که قله منحنی برازش شده با قله‌های بافت‌نگار تطابق ندارد. نتایج مشخصه‌های بهینه توابع توزیع برتر آلودگی روی ایستگاه‌ها در جدول (۷) آورده شده است.

توابع توزیع احتمال آلودگی روی

آماره‌های توصیفی غلظت روی جدول (۵) بیانگر آن است که میانگین‌های غلظت رخدادها در ایستگاه ۲ و ۳ متقارن و دارای کشیدگی در اطراف میانگین است. داده‌های سری غلظت لحظه‌ای روی در این دو ایستگاه چولگی زیادی داشته و نامتقارن می‌باشند. بنابراین می‌توان انتظار داشت در این ایستگاه‌ها توابعی که انعطاف‌پذیری بیشتری را داشته باشند، رتبه بالاتری را در نتایج برازش به خود اختصاص دهند. نتایج رتبه‌بندی توابع توزیع در متغیرهای آلودگی روی نشان می‌دهد، توابع ویک‌بای و مقادیر محدودی تعمیم یافته به ترتیب مناسب‌ترین توابع برای مدل‌سازی احتمالاتی میانگین‌های غلظت رخدادها و سری غلظت‌های لحظه‌ای روی برای همه زیرحوضه‌های شهر همدان است (جدول ۶).

Shahbazi et al. (2005) حاکی از برتر بودن توابع لوگ نرمال دو پارامتری و گاما برای برازش میانگین‌های غلظت فلزات سنگین در رواناب شهری حاصل از رخدادهای بارش است. هرچند نتایج برازش توابع در داده‌های آلودگی روی نشان می‌دهد که تابع ویک‌بای و مقادیر محدودی تعمیم یافته در همه ایستگاه‌ها رتبه برتر را به خود اختصاص نداده‌اند ولی به صورت مشترک در بین رده‌های برتر توابع در هر سه ایستگاه بوده و در هر دو آزمون کولموگروف-اسمیرنوف و اندرسون-دارلینگ در سطح معنی‌داری ۹۵ درصد معنی‌دار بودند.

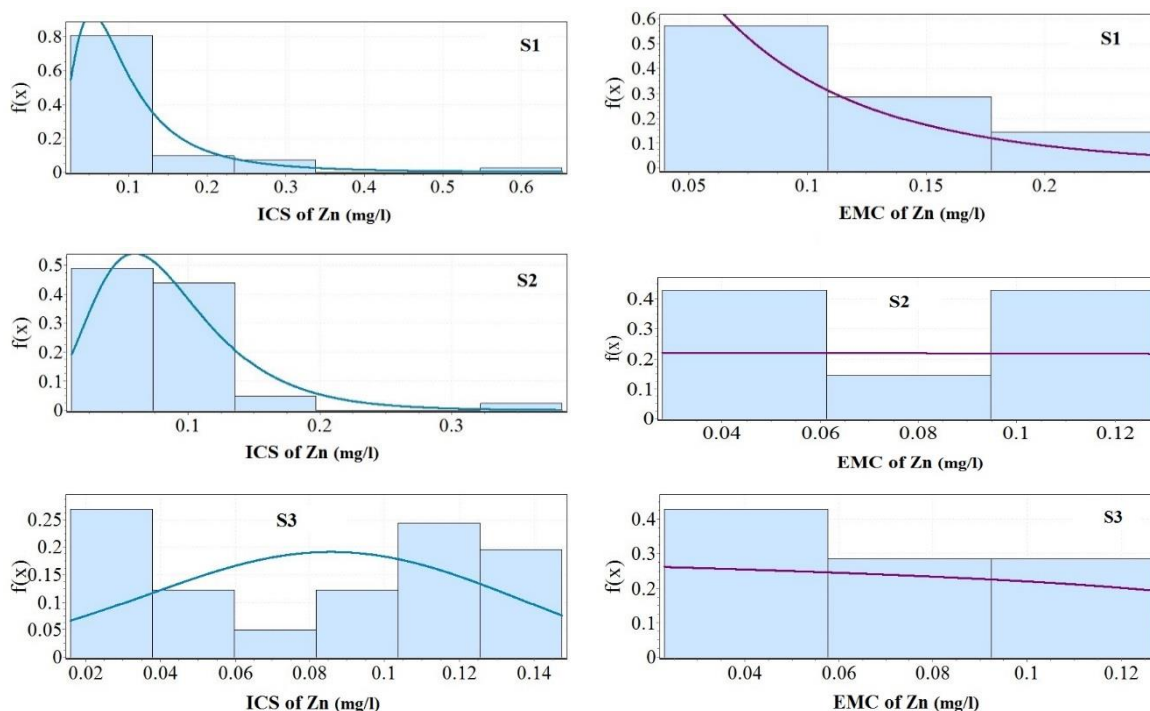


Fig 3- Distribution function curves of Wakeby and G. Extreme Value for EMC and ICS of Zn respectively

شکل ۳- منحنی‌های توابع توزیع ویک‌بای و مقادیر حدی تعمیم یافته به ترتیب برای میانگین‌های غلظت رخدادها و سری غلظت‌های لحظه‌ای روی

جدول ۷- مشخصه‌های توابع توزیع احتمال آلودگی روی

Table 7- Parameters of probability distribution functions for Zn pollution

| Station | EMC | | | | ICS | | | |
|---------|-------------|----------------|----------------|---------------|------------------|-------------|----------------|--------------|
| | Wakeby | | | | G. Extreme Value | | | |
| 1 | $\xi=0.033$ | $\delta=0.141$ | $\gamma=0.066$ | $\beta=0.000$ | $\alpha=0.000$ | $\xi=0.065$ | $\sigma=0.043$ | $\mu=0.332$ |
| 2 | $\xi=0.002$ | $\delta=0.000$ | $\gamma=0.000$ | $\beta=0.991$ | $\alpha=0.150$ | $\xi=0.060$ | $\sigma=0.042$ | $\mu=0.022$ |
| 3 | $\xi=0.002$ | $\delta=0.000$ | $\gamma=0.000$ | $\beta=0.831$ | $\alpha=0.128$ | $\xi=0.067$ | $\sigma=0.045$ | $\mu=-0.351$ |

تعمیم یافته به ترتیب بهترین توابع برای برازش میانگین‌های غلظت و سری غلظت‌های لحظه‌ای در آلودگی روی بود. با مقایسه نتایج می‌توان دریافت، تابع ویک‌بای بیشترین فراوانی را در بین توابع برتر داشته است.

نکته قابل اهمیت در برازش توابع مختلف آن بود که در بیشتر نتایج توزیع نرمال اختلاف زیادی با توابع برتر و در برخی موارد اختلاف معنی‌داری با توزیع داده‌های مشاهداتی نشان می‌دهد. بنابراین تأکید بر استفاده از شاخص‌هایی که محاسبه آن‌ها براساس توزیع نرمال صورت می‌گیرد، موجب توصیف نادرست متغیر مورد بررسی می‌شود. وجود اختلاف در برخی نتایج آزمون‌های کولموگروف- اسمیرنوف و اندرسون- دارلینگ، استفاده محتاطانه از این آزمون‌ها را به صورت تک آزمون نشان داده و استفاده هم‌زمان از هر دو آزمون پیشنهاد می‌شود. یافته‌های این پژوهش نشان داد، با به‌کار بردن روش‌های جدید و

نتیجه‌گیری

در این پژوهش از دو آزمون کولموگروف- اسمیرنوف و اندرسون- دارلینگ در بررسی چهل و پنج تابع توزیع احتمال جهت برازش آلودگی نیکل و روی رواناب ناشی از بارش حوضه شهری همدان استفاده شد. در تحقیقات گذشته فقط بر روی میانگین غلظت رخدادها و استفاده از چند تابع توزیع معین تأکید شده و امکان مقایسه جامع این پژوهش با آن‌ها وجود ندارد. اما به‌صورت موردی نتایج تحقیقات پژوهشگران نشان داده است توابع لوگ نرمال دو پارامتری، نمایی و گاما بهترین نتیجه را در برازش میانگین‌های غلظت آلودگی‌های مختلف در رواناب شهری کسب نموده است. بررسی توابع توزیع در آلودگی نیکل نشان داد، ویک‌بای بهترین تابع برای برازش متغیر میانگین‌های غلظت رخدادها و جانسون اس‌بی مناسبترین تابع برای برازش متغیر سری غلظت‌های لحظه‌ای است. همچنین ویک‌بای و مقادیر حدی

تقدیر و تشکر

نویسندگان از خانم مهندس روحی و آقای مهندس پناهی برای همکاری در جمع‌آوری اطلاعات، تشکر می‌نمایند.

آزمون توزیع‌های مختلفی که در علم آمار و احتمالات استفاده می‌شود، می‌توان توزیع‌هایی را شناسایی نمود که با دقت بیشتر مقادیر متغیرها را برای دوره بازگشت‌های مختلف برآورد نماید.

References

- 1- Adams, B.J. and Fabian, P., 2000. *Urban stormwater management planning with analytical probabilistic models*. Wiley.
- 2- Akan, A.O. and Houghtalen, R.J., 2003. *Urban hydrology, hydraulics, and stormwater quality: engineering applications and computer modeling*. John Wiley & Sons.
- 3- Alizadeh, A., 2016. *Principles of applied hydrology*. University of Emam Reza. (In Persian).
- 4- Back, A.J., 2001. Seleção de distribuição de probabilidade para chuvas diárias extremas do estado de Santa Catarina. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 16(2), pp.211-222.
- 5- Caldeira, T.L., Beskow, S., de Mello, C.R., Faria, L.C., de Souza, M.R. and Guedes, H.A., 2015. Modelagem probabilística de eventos de precipitação extrema no estado do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi*, 19(3), pp.197-203.
- 6- Chen, J. and Adams, B.J., 2007. A derived probability distribution approach to stormwater quality modeling. *Advances in Water Resources*, 30(1), pp.80-100.
- 7- Chiew, F.H.S. and McMahon, T.A., 1999. Modelling runoff and diffuse pollution loads in urban areas. *Water Science and Technology*, 39(12), pp.241-248.
- 8- Cole, R.H., Frederick, R.E., Healy, R.P. and Rolan, R.G., 1984. Preliminary findings of the priority pollutant monitoring project of the nationwide urban runoff program. *Journal (Water Pollution Control Federation)*, pp.898-908.
- 9- Combes, C. and Dussauchoy, A., 2006. Generalized extreme value distribution for fitting opening/closing asset prices and returns in stock-exchange. *Operational Research*, 6(1), pp.3-26.
- 10- Ebrahimi Mohammadi, S., Sadeghi, S. and Chapi, K., 2012. Analysis of runoff, suspended sediment and nutrient yield from different tributaries to Zarivar lake in event and base flows. *Journal of Soil and Water Resources Conservation*, 2(1), pp. 61-76. (In Persian).
- 11- Federation, W.E. and American Public Health Association, 2005. Standard methods for the examination of water and wastewater. *American Public Health Association (APHA): Washington, DC, USA*.
- 12- Freni, G., Mannina, G. and Viviani, G., 2010. Urban storm-water quality management: centralized versus source control. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 136(2), pp.268-278.
- 13- Fu, G., Khu, S.T. and Butler, D., 2009. Optimal distribution and control of storage tank to mitigate the impact of new developments on receiving water quality. *Journal of Environmental Engineering*, 136(3), pp.335-342.
- 14- Jenkinson, A.F., 1955. The frequency distribution of the annual maximum (or minimum) values of meteorological elements. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 81(348), pp.158-171.
- 15- Kane, S., Lazo, P. and Vlora, A., 2012. Assessment of heavy metals in some dumps of copper mining and plants in Mirdita Area, Albania. In *Proceedings of the 5th International Scientific Conference on Water, Climate and Environment, Ohrid, Macedonia*.

- 16- Malekinezhad, H., 2013. Identification of the best probabilistic distribution for analyzing minimum flows . *Iranian Journal of Watershed Management Science*, 7(22), pp. 15-28. (In Persian).
- 17- Mohamadi, P., 2010. *A review of standards and practices for the use of wastewater for irrigation*. Iranian National Committee on Irrigation & Drainage. (In Persian).
- 18- Naslas, G.D., Miller, W.W., Blank, R.R. and Gifford, G.F., 1994. Sediment, nitrate, and ammonium in surface runoff from two Tahoe Basin soil types. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 30(3), pp.409-417.
- 19- Ocampo-Duque, W., Osorio, C., Piamba, C., Schuhmacher, M. and Domingo, J.L., 2013. Water quality analysis in rivers with non-parametric probability distributions and fuzzy inference systems: application to the Cauca River, Colombia. *Environment International*, 52, pp.17-28.
- 20- Parvinnia, M., Rakhshandehroo, G. and Monajemi, P., 2008. Investigation of Quality and Reclamation of Urban Storm Runoff in City of Shiraz. *Journal of Water and Wastewater*, 19(2), pp. 46-55. (In Persian).
- 21- Prabu, P.C., 2009. Impact of heavy metal contamination of Akaki River of Ethiopia on soil and metal toxicity on cultivated vegetable crops. *Electronic Journal of Environmental, Agricultural & Food Chemistry*, 8(9).
- 22- Qin, H., Tan, X., Fu, G., Zhang, Y. and Huang, Y., 2013. Frequency analysis of urban runoff quality in an urbanizing catchment of Shenzhen, China. *Journal of Hydrology*, 496, pp.79-88.
- 23- Sadeghi, S., Kiani Harcheghani, M. and Saeidi, P., 2015. Temporal and Spatial Variations of Relationship between Suspended load Concentration and Some Contaminants of the Zayandeh-Rud River. *Journal Management System*, 8(25), pp. 97-108. (In Persian).
- 24- Shahbazi, A., Khorasani, N. and Nosrati, k., 2005. Frequency analysis of the average concentrations of urban pollutants. *Journal of Environmental Science and Technology*, 6(1), pp. 13-22. (In Persian).
- 25- Shanbehzadeh, S., Vahid Dastjerdi, M., Hassanzadeh, A. and Kiyanizadeh, T., 2013. Investigation of Heavy Metals in water and sediment on Massjed soleymanTembi river before and after of wastewater entrance. *Health System Research*, 9(10), 1108-1116. (In Persian).
- 26- Sharma, M.A. and Singh, J.B., 2010. Use of probability distribution in rainfall analysis. *New York Science Journal*, 3(9), pp.40-49.
- 27- Soukissian, T., 2013. Use of multi-parameter distributions for offshore wind speed modeling: the Johnson SB distribution. *Applied Energy*, 111, pp.982-1000.
- 28- Van Buren, M.A., Watt, W.E. and Marsalek, J., 1997. Application of the log-normal and normal distributions to stormwater quality parameters. *Water Research*, 31(1), pp.95-104.
- 29- Zhou, D., Bi, C.J., Chen, Z.L., Yu, Z.J., Wang, J. and Han, J.C., 2013. Phosphorus loads from different urban storm runoff sources in southern China: a case study in Wenzhou City. *Environmental Science and Pollution Research*, 20(11), pp.8227-8236.