

بهینه کردن جاذب همراه با نانوذره بتن متخلخل در کاهش بار آلودگی رواناب شهری با استفاده از روش تاگوچی

عماد کهریزی، طاهر رجائی و مهدی صدیقی

دوره ۶، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۹، صفحات ۲۴۵ - ۲۵۶

Vol. 6(3), Autumn 2020, 245 – 256

DOI: 10.22034/jewe.2020.231947.1362

**Optimizing Adsorbent with Porous Concrete
Nanoparticles to Reduce the Pollution Load of
Urban Runoff Using Taguchi Method**

Kahrizi E., Rajaei T. and Sedighi M.



www.jewe.ir

OPEN ACCESS

ارجاع به این مقاله:

کهریزی ع.، رجائی ط. و صدیقی م. (۱۳۹۹). بهینه کردن جاذب همراه با نانوذره بتن متخلخل در کاهش بار آلودگی رواناب شهری با استفاده از روش تاگوچی. محیط زیست و مهندسی آب، دوره ۶، شماره ۳، صفحات: ۲۴۵-۲۵۶.

Citing this paper: Kahrizi E., Rajaei T. and Sedighi M. (2020). Optimizing adsorbent with porous concrete nanoparticles to reduce the pollution load of urban runoff using Taguchi method. Environ. Water Eng., 6(3), 245–256. DOI: 10.22034/jewe.2020.231947.1362.

بهینه کردن جاذب همراه با نانوذره بتن متخلخل در کاهش بار آلودگی رواناب شهری با استفاده از روش تاگوچی

عماد کهریزی^۱، طاهر رجائی^۲، مهدی صدیقی^۳

^۱ دانشجوی دکتری، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه قم، قم، ایران

^۲ دانشیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه قم، قم، ایران

^{۳*} استادیار، گروه مهندسی شیمی، دانشگاه قم، قم، ایران

*نویسنده مسئول: emad.kahrizi@gmail.com

مقاله اصلی

تاریخ دریافت: [۱۳۹۹/۰۲/۳۱]

تاریخ بازنگری: [۱۳۹۹/۰۵/۲۵]

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۹/۰۵/۲۶]

چکیده

تأمین آب به‌عنوان ماده حیاتی بشر، در خیلی از کشورها به‌صورت بحران درآمده است. ایران با توجه به اقلیم خشک و نیمه‌خشک آن از آب‌های شیرین بهره کمی برده است؛ بنابراین با توجه به نیاز مبرم به آب و همچنین کمبود منابع آب، جهت تأمین نیاز آبی در کشاورزی و فضای سبز باید در جهت بازچرخانی و استفاده مجدد از آب‌های روان، برنامه‌های مدیریتی لازم را اعمال کرد. امروزه استفاده از روسازی متخلخل در معابر شهری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد و می‌توان از این نوع بتن در کاهش آلودگی‌های آب استفاده کرد. به‌دلیل مفید بودن جاذب‌های مختلف در کاهش آلودگی، در مقاله حاضر تأثیر جایگزینی جاذب‌های پومیس، اسکریا، زئولیت و تراورتن با درصدهای حجمی ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰٪ و نانوذرات سولفید فلزی با ۱، ۲، ۳ و ۴٪ با سنگ‌دانه بتن متخلخل، بر پارامترهای کیفی در رواناب با روش تاگوچی بررسی شده است. آزمایش‌های مربوط به خواص فیزیکی در آزمایشگاه تکنولوژی بتن و آزمایش‌های مربوط به پارامترهای کیفی در آزمایشگاه شیمی انجام شد. در این پژوهش از سه پارامتر افزودنی، درصد حجمی افزودنی و نانوذرات سولفید فلزی استفاده شده است. در نهایت با استفاده از نرم‌افزار مینی‌تب و اکسل، پارامترها و تأثیر هر یک از آن‌ها در کاهش آلودگی بررسی شد. یافته‌های پژوهش نشان داد که بیش‌ترین تأثیر بر کاهش آلاینده‌گی را به‌ترتیب درصد افزودنی، نوع افزودنی و میزان نانوذره دارد. در نهایت؛ اگر یک طرح اختلاط پیشنهاد شود که بیش‌ترین حذف آلاینده‌گی را داشته باشد؛ می‌توان ۷۵٪ کسر حجمی و یک درصد نانوذره را معرفی کرد.

واژه‌های کلیدی: آلودگی آب؛ بتن متخلخل؛ رواناب؛ روش تاگوچی؛ نانوذره.

۱- مقدمه

ایران در منطقه‌ای خشک و نیمه‌خشک واقع شده و علاوه بر کم بودن بارش سالانه، با پراکنش زمانی و مکانی ناهمگون و نامناسب آن روبه‌رو است. این عوامل به‌طور کلی، پتانسیل کم‌آبی ایران را افزایش می‌دهند. (Gholhaki et al. 2008). رشد روزافزون جمعیت، همچنین گسترش فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی برای تأمین مواد غذایی و خشک‌سالی‌های پی‌درپی در سال‌های اخیر، موجب شده است تا منابع آب‌های شیرین سطحی در اکثر کشورهای واقع در مناطق خشک به اوج بهره‌برداری خود برسد و در نتیجه، فشار بیش از اندازه به منابع آب وارد آید. یکی از راه‌کارهای اصلی برای مقابله با بحران آب، استفاده بهینه از آب‌های نامتعارف موجود، در بخش‌های متنوع مصرف می‌باشد (Ghafourian et al. 2012).

در سال‌های اخیر، با توجه به تغییر اقلیم جهانی، استفاده از آب‌های غیرمتعارف، از جمله فاضلاب‌های تصفیه‌شده، در تولید محصولات کشاورزی به‌عنوان یک منبع مطمئن، اجتناب‌ناپذیر است (Rezvani Moghadam et al. 2010). فاضلاب‌ها دربردارنده عوامل بیماری‌زا هستند که از نظر آلودگی محیط، به‌ویژه منابع آب و خاک، فوق‌العاده اهمیت دارند. استفاده از پساب برای آبیاری در کشاورزی، بسیار آسان‌تر و کم‌هزینه‌تر از شیرین کردن آب‌شور دریاها است (Abedi Kopai et al. 2001a; Alizadeh et al. 2010). در بسیاری از کشورهای در حال توسعه، فاضلاب‌ها نه‌تنها به‌درستی تصفیه نشده، بلکه همانند گذشته غالب به درون نزدیک‌ترین آبراهه، رودخانه یا برکه تخلیه می‌شوند (Javani 2013). برای رساندن کیفیت پساب خروجی به حد استاندارد، یکی از راه‌کارها استفاده از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب مجهز به سیستم‌های مدرن امروزی می‌باشد؛ که لازمه آن صرف هزینه‌های بسیار زیاد جهت خرید، نصب تجهیزات و بهره‌برداری از این تجهیزات می‌باشد. در ضمن، می‌توان از بتن متخلخل به‌عنوان بستری مناسب برای رشد بیوفیلیم و تصفیه فاضلاب استفاده کرد. همچنین می‌توان بتن متخلخل جاذب را در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب به‌عنوان بستری برای رشد میکروارگانیسم‌ها و تصفیه پساب به‌کار برد تا

بتوان دوباره از پساب در کشاورزی استفاده کرد (Ministry of Energy 2003).

بتن متخلخل، به‌دلیل داشتن مزایای فراوان از جمله، اقتصادی و زیست‌محیطی بودن، کم‌وزن بودن، مقاوم در برابر یخ‌زدگی و ضریب نفوذپذیری زیاد، در روسازی معابر مورد استقبال قرار گرفته است. (Javani 2013) در مطالعه‌ای نشان دادند که نشت سپتیک‌های مناطق مسکونی-توریستی واقع در سواحل جزیره ساحلی هاتراس در ایالات‌متحده که با درجه ضعیفی تصفیه می‌شدند، منجر به افزایش غلظت آلودگی‌ها در آبراهه‌ها شده است. در این مطالعه نیز از شاخص BOD، برای تعیین آلودگی نه نقطه از پنج کانال این شهر استفاده شده است. (Mallin et al. 2012) در پژوهشی تأثیر آب‌وهوا بر آلودگی خروجی فاضلاب‌رو در مجرای ویژه سیلاب در دو ایستگاه در شهر تولوز فرانسه را بررسی کردند و از شاخص BOD برای تعیین آلودگی خروجی دو ایستگاه نمونه‌برداری در شرایط آب و هوای تر و خشک استفاده نمودند. (Deffontis et al. 2013) در مطالعه‌های خود از روش تاگ‌وچی برای بهینه‌سازی طرح اختلاط بتن متخلخل استفاده کردند. بر اساس نتایج حاصل از این مطالعه، مقاومت نمونه‌های بتن متخلخل بستگی به نسبت تخلخل نمونه‌ها دارد و مقاومت فشاری و مقاومت خمشی با نفوذپذیری رابطه معکوس دارند. et al. (2015) Joshaghani در مطالعه‌ای بررسی استفاده از طرح اختلاط بهینه بتن متخلخل حاوی ژئوپلیمر خاکستر، به‌منظور حذف کلیفرم مدفوع و فسفر آب را انجام دادند. بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش، با استفاده از بتن متخلخل ساخته‌شده از طرح اختلاط بهینه، مقدار کلیفرم مدفوعی به مقدار ۵۴ تا ۱۰۰٪ و مقدار فسفر آب ۲۵ تا ۸۵٪ کاهش یافت. Jo et al. (2015) در پژوهشی، کیفیت رواناب در حوضه‌های شهری طی فصل‌های باران موسمی و غیرموسمی در جنوب شبه‌جزیره مالزی را با یکدیگر مقایسه کردند. آنان نمونه‌های رواناب و داده‌های نرخ جریان را از ۳۸ رخداده در سه سایت مختلف به‌دست آوردند. نمونه‌های مختلف از نظر TSS، BOD₅، COD، روغن و گاز، N-، N-NO₃ و NH₃ و فسفر کل مورد آزمایش قرار گرفتند و متوسط

ترتیب برای طرح اختلاط چهارم، 1400 kg/m^3 سنگ درشت‌دانه و 420 kg/m^3 ماسه ریزدانه به ۳۶، ۴۰، ۵۷ و ۸۱٪ می‌رسد. (Abedi Kopai et al. (2015b) عوامل محیطی و هیدرولیکی بر میزان حذف فسفر پساب کشاورزی توسط سنگ آهک را بررسی نمودند. بر اساس نتایج این پژوهش، درصد حذف فسفر از پساب در آزمایش‌های انجام شده توسط سنگ آهک نشان داد که این ماده معدنی، توانایی مناسبی را برای حذف فسفر (تا ۷۵٪) دارد. (Zadjan et al. (2016) عملکرد بتن متخلخل همراه با مواد افزودنی همچون پوکه معدنی و پرلیت به‌عنوان بستر و گیاه و تیور را بر روی پساب شهری بررسی نمودند. نتایج آنان نشان داد که ترکیب بتن به‌عنوان بستری متخلخل با قابلیت جذب عناصر و همچنین گیاه و تیور به‌عنوان یک گیاه توانا در گیاه پالایی عملکرد قابل توجهی را داشته است. (Azad et al. (2019) اثر جاذب ورمکولیت و کوارتز در کاهش آلودگی رواناب شهری را بررسی کردند. نتایج تحقیق آنان نشان داد که هر دو ماده افزودنی، تأثیر مثبتی بر بتن متخلخل در بهبود کیفیت رواناب شهری دارد. همچنین نتایج نشان داد که نفوذپذیری در نمونه کوارتز خوب بوده است.

هدف از پژوهش حاضر، استفاده از درصد‌های مختلف افزودنی‌های پومیس، زئولیت، اسکریا و تراورتن همراه با نانوذره سولفید فلزی به‌عنوان جایگزین سنگ‌دانه بتن متخلخل و حذف متناظر سنگ‌دانه و استفاده از روش تاگوچی به‌منظور افزایش کارایی و عملکردی این نوع بتن در خواص فیزیکی و نفوذپذیری و همچنین کاهش بار آلودگی رواناب بود. همچنین، تأثیر بتن متخلخل جاذب در کاهش بار آلودگی پساب تصفیه‌خانه فاضلاب نیز بررسی شد. از این‌رو، با مشخص شدن بهترین نمونه حاوی افزودنی از نظر پارامترهای فیزیکی، نفوذپذیری و کیفی که بیش‌ترین تأثیر در کاهش آلودگی را دارد، می‌توان از آن به‌عنوان روش نوین در سطح معابر شهری و تصفیه‌خانه‌ها استفاده کرد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مشخصات مصالح

سنگ‌دانه‌های درشت مصرفی در این پژوهش، از نوع شن رودخانه‌ای دارای حداکثر اندازه ۲۵ mm است. همچنین

غلظت هر رخداده برای هر سایت مختلف در هر کنترل رخداده رواناب تهیه شد. (Chow et al. (2016) در پژوهشی، تصفیه فاضلاب با استفاده از ذرات بتن هوادار اتوکلاو شده در صافی‌های هوادهی بیولوژیکی را بررسی نمودند. در این پژوهش، ذرات بتن هوادار اتوکلاو شده به‌عنوان حامل‌های بیوفیلتر در صافی‌های بیولوژیکی برای حل مشکلات دفع زباله‌های ساختمانی مورد استفاده قرار گرفت. (Bao et al. (2016) در مطالعه‌ای بهبود عملکرد بتن متخلخل به‌منظور حذف فلزات سنگین رواناب را بررسی کردند. در این پژوهش برای بهبود عملکرد کیفی بتن متخلخل از خاکستر بادی استفاده شده است. نتایج مطالعات آنان نشان داد که مقدار بالای کربن و گوگرد موجود در خاکستر بادی، باعث حذف بیش‌تر سرب، کادمیوم و روی شده است و کیفیت رواناب بهبود یافته است. (Holmes et al. (2017) نقش بتن متخلخل متشکل از خاکستر زغال سنگ و سیمان حاوی سولفامینات کلسیم، در تصفیه رواناب را بررسی کردند. نتایج حاصل از این پژوهش، نشان‌دهنده کاهش نیتروژن و فسفر موجود در رواناب بود.

(Kim et al. (2017) در پژوهشی نشان دادند که بتن متخلخل ساخته شده از سنگ‌دانه‌هایی با اندازه یکسان دارای نفوذپذیری بالایی می‌باشد ولی مقاومت آن کافی نیست. اضافه کردن مقدار کمی ماسه (تقریباً هفت درصد وزن کل سنگ‌دانه‌ها) به مخلوط، مقاومت بتن را افزایش داده و در عین حال نفوذپذیری آن حفظ می‌شود. (Khodadoost et al. (2015) بررسی بهبود کیفیت پساب شهری با استفاده از بتن متخلخل به‌منظور کاربرد در آبیاری را بررسی نمودند. بدین‌منظور، یک طرح اختلاط پایه انتخاب گردید و با توجه به افزایش سطح ویژه بتن برای رشد بیوفیلم، در سه مرحله و در هر مرحله ۱۰٪ وزن درشت‌دانه، ریزدانه به طرح اختلاط پایه افزوده شد. براساس نتایج حاصل از این پژوهش، با افزوده شدن ریزدانه، درصد‌های حذف پارامترهای کیفی افزایش می‌یابد. به‌طور میانگین، درصد‌های حذف BOD، COD، TSS و تعداد کل کلیفرم‌ها برای طرح اختلاط اول (1400 kg/m^3) سنگ درشت‌دانه و بدون ریزدانه به ترتیب ۲۵، ۳۳، ۴۵ و ۳۷٪ می‌باشد که این اعداد با همین

سنگ‌دانه‌های ریز ماسه مصرفی ترکیبی از ماسه طبیعی شکسته شده است که دارای اندازه‌ای در حدود mm ۶/۳۵ بوده و دانه‌بندی آن‌ها در محدوده ASTM C33 قرار دارد. در این پژوهش، جهت انجام آزمایش‌های مربوط به دانه‌بندی و سایر آزمایش‌ها بر روی نمونه‌های بتن، تهیه شده با طرح اختلاط‌های مختلف، از آزمایشگاه

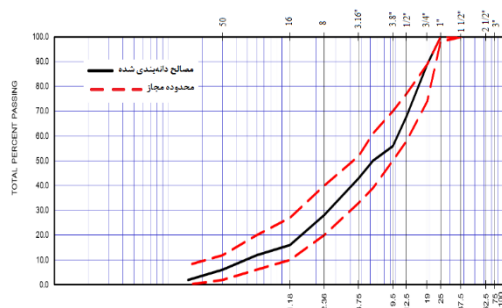
شرکت به‌آزمای بتن گستر استفاده شده است. مصالح سنگی درشت‌دانه (نخودی و بادامی) و ریزدانه مورد استفاده جهت ساخت و تهیه نمونه‌های بتنی در این پژوهش از شرکت بتن گستر تهیه شده است. در جدول (۱) دانه‌بندی مورد استفاده برای سنگ‌دانه‌ها و در شکل (۱) منحنی اختلاط مصالح نشان داده شده است.

جدول ۱- دانه بندی مصالح سنگی

Table 1 Granulation of stone materials

Type	Sieve number	Percentage of weight left on the sieve	Weight left on the sieve (gr)	Percentage of passage
Coarse chickpea grains	3/4	0	0	100
	1/2	22	2088	87
	3/8	83	5798	17
	1/4	96	1233	4
	3/16	99.7	350	0.3
	Pan	100	31	0
			9500	Toatl
Coarse almond grains	1	0	0	0
	3/4	35	5355	65
	1/2	84	7503	16
	3/8	97	1985	3
	3/16	99.4	366	0.6
	Pan	100	91	0
			15300	Total
Fine-grained sanding	3/4	0	0	100
	1/2	0	0	100
	3/8	0	0	100
	3/16	2	40	98
	8	16.1	281	84
	16	35	379	65
	30	66	620	34
	50	85.1	381	15
	100	96	2.9	4
	Pan	100	80	0
	100	2000	Total	

و نشریه ۱۰۱ سازمان برنامه و بودجه نشان می‌دهد. مقدار رطوبت سنگ‌دانه‌های ریز و درشت با استفاده از روش آزمایش ارائه شده در استاندارد ASTM C566، مقدار رطوبت جذب شده سنگ‌دانه درشت مطابق روش ارائه شده در استاندارد ASTM C127 و همچنین استاندارد ASTM C128 برای سنگ‌دانه ریز تعیین گردید. نتایج آزمایش‌ها جهت تعیین میزان رطوبت کلی جذب شده توسط سنگ‌دانه‌ها برای سنگ‌دانه‌های بادامی و نخودی شکل به ترتیب به میزان ۰/۸ و ۱/۱٪ و برای ماسه، ۱/۸٪ به‌دست آمد که نشان داد مقادیر رطوبت‌های جذب شده



شكل ١- منحنى اختلاط مصالح
Fig. 1 Material mixing curve

قسمت قرمز رنگ نمودار شکل (۱)، محدوده مجاز منحنی دانه‌بندی را طبق آخرین ویرایش استاندارد ملی ۳۰۲

پارامترها برای کاهش انحراف و تنوع در شاخصه‌های جواب است (Montgomery et al. 2007). عوامل اغتشاش (عوامل بیرونی و یا عوامل نامطلوب تولیدی و غیره) عوامل نامطلوب موجب انحراف هستند که کنترل آن‌ها یا هزینه‌بر است و یا غیرقابل کنترل هستند. این عوامل، اغلب در طراحی آزمایش‌های کلاسیک نادیده گرفته می‌شوند (Montgomery et al. 2007). روش تاگوچی نسبت به روش‌های متداول و رایج مهندسی کیفیت، کاملاً متفاوت است. روش‌شناسی تاگوچی بر طراحی کیفیت در هنگام طراحی محصولات و فرآیند تأکید دارد. درحالی‌که روش‌های متداول بر مبنای بازرسی و کنترل کیفیت در حین فرآیند تولید و یا بعد از تولید محصول است. تاگوچی دو روش متفاوت برای انجام و کامل کردن تحلیل آزمایش‌ها پیشنهاد می‌کند (Taguchi et al. 1987).

جدول ۲- طرح اختلاط بتن متخلخل با مقدار سنگ‌دانه و سیمان برابر ۱۳۳۰ و 340 kg/m^3 و نسبت آب به سیمان ۰/۳۸

Table 2 Porous concrete mix design with aggregate and cement content equal to 1330 and 340 kg/m^3 and water to cement ratio of 0.38

Sample name	Volume percentage	Symbol	Percentage of nanoparticles
Witness	0	C	0
Pumice	25	Pu-25	1
Pumice	50	Pu-50	2
Pumice	75	Pu-75	3
Pumice	100	Pu-100	4
Scorpion	25	s-25	2
Scorpion	50	s-50	1
Scorpion	75	s-75	4
Scorpion	100	s-100	3
Zeolite	25	Z-25	3
Zeolite	50	Z-50	4
Zeolite	75	Z-75	1
Zeolite	100	Z-100	2
Travertine	25	T-25	4
Travertine	50	T-50	3
Travertine	75	T-75	2
Travertine	100	T-100	1

توجه: عدد بعد خط تیره، نشان‌دهنده درصد جایگزینی جاذب با سنگ‌دانه است.

روش استاندارد: در این روش، نتیجه یک موقعیت آزمایش و یا میانگین نتیجه به‌دست‌آمده از تکرار یک موقعیت آزمایش به‌واسطه اثر عمده و آنالیز واریانس پردازش می‌شود (Taguchi et al. 1987).

توسط سنگ‌دانه‌ها هم‌خوانی خوبی با مقادیر مجاز در استانداردهای فوق داشته است.

۲-۲- طرح اختلاط بتن متخلخل

در این پژوهش، برای تهیه نمونه‌های بتنی از سیمان تیپ دو کارخانه سیمان خاش مطابق با استاندارد ۱۵۰ استفاده شد. طبق استاندارد ACI211 مقدار سنگ‌دانه و عیار سیمان به ترتیب برابر با 1330 و 340 kg/m^3 و نسبت آب به سیمان برابر ۰/۳۸، در نظر گرفته شد. برای ساخت نمونه‌های بتن متخلخل، از سبک‌دانه‌های پومیس، اسکریا، زئولیت و تراورتن با درصدهای حجمی ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰٪ استفاده شد و همچنین از نانوذرات سولفید فلزی با ۱، ۲، ۳ و ۴٪ به‌عنوان جایگزین سنگ‌دانه استفاده گردید. انتخاب این جاذب‌ها، به‌دلیل مفید بودن آن‌ها در کاهش آلودگی و صرفه اقتصادی جهت جایگزینی با سنگ‌دانه‌های بتن می‌باشد. همچنین وجود این چنین جاذب‌ها سبب افزایش کارایی نسبت به بتن متخلخل معمولی می‌شود. در جدول (۲)، طرح اختلاط نمونه‌های بتن متخلخل حاصل از طراحی تاگوچی نشان داده شده است. نمونه‌های بتن متخلخل در آزمایشگاه تکنولوژی بتن ایران ساخته شدند. به‌منظور انجام آزمایش‌های مربوط به تخلخل، از نمونه‌های مکعبی با ابعاد $100 \times 100 \times 100 \text{ mm}$ و برای دقیق بودن آزمایش مقاومت فشاری از نمونه‌های مکعبی با ابعاد $150 \times 150 \times 150 \text{ mm}$ استفاده شد. برای جداسازی راحت بتن سخت شده از قالب، سطح داخلی قالب‌ها به‌وسیله روغن چرب گردید. مقادیر مصالح مصرفی در بتن مطابق طرح‌های اختلاط وزن گردید و سپس مصالح مصرفی در دستگاه مخلوط‌کن مکانیکی مخلوط شدند. پس از اختلاط کامل، بتن به داخل قالب‌ها ریخته شد و در سه لایه با کوبه استاندارد و هر لایه با ۲۵ ضربه، متراکم گردید. همچنین، سطح قالب به کمک ماله بنایی صاف گردید. پس از ۲۴ h، نمونه‌ها از داخل قالب بیرون آورده شدند و برای عمل‌آوری به حوضچه آب منتقل گردیدند. برای اندازه‌گیری درصد تخلخل نمونه‌ها، از استاندارد ASTM c1745/1754M استفاده شد.

۲-۳- طراحی آزمایش‌ها به روش تاگوچی

روش تاگوچی یکی از قدرتمندترین روش‌های آماری بهبود کیفیت است. هدف این روش، بهینه‌سازی تنظیمات

متخلخل شامل روانی، مقاومت، نفوذپذیری و تخلخل و غیره را تغییر دهد، ثانیاً افزایش یا کاهش این پارامترها می‌تواند در نتایج آزمایش‌های کیفی آب تأثیرگذار باشند. همچنین استفاده از نانوذره در سال‌های اخیر جهت بهبود خواص بتن، چشم‌انداز جدیدی را در تکنولوژی بتن ایجاد نموده است.

۴-۲- شاخص‌های مهم کیفیت آب

هدایت الکتریکی (EC) و کل مواد جامد محلول در آب (TDS) نمونه‌های ورودی و خروجی در آزمایش بررسی روند تغییر میزان EC و TDS پس از انجام آزمایش‌های مربوط به رواناب و فاضلاب توسط دستگاه هدایت‌سنج رومیزی HI-2030 HANNA تعیین شد. ابتدا دستگاه با محلول واسنجی $1413 \mu\text{mho/cm}$ واسنجی شد. سپس میله الکترود سنجش درون نمونه‌ها قرار می‌گرفت و عدد مربوط به EC و TDS قرائت می‌شد. کدورت آب، شاخصی است که نشان‌دهنده میزان از دست دادن شفافیت آب به واسطه وجود ذرات معلق در آن است. هر چه میزان ذرات جامد معلق در آب بیش‌تر باشد، آب کدرتر شده و میزان کدورتی آن بالاتر به حساب می‌آید. متداول‌ترین واحد اندازه‌گیری کدورتی آب، NTU است. حداکثر حد مجاز برای میزان کدورتی آب آشامیدنی، ۵ NTU و در شرایط ایده‌آل، کم‌تر از ۱ NTU است. به‌منظور تعیین میزان کدورت نمونه‌های ورودی و خروجی از دستگاه کدورت‌سنج HACH 2100Q استفاده شد. ابتدا دستگاه توسط پنج محلول از یک تا ۴۰۰ NTU واسنجی شد. هر یک از نمونه‌ها بعد از تکان دادن داخل ظرف مخصوص ریخته شد و پس از تمیز کردن ظرف با دستمال مخصوص، درون دستگاه گذاشته شدند و عدد موردنظر قرائت می‌شد.

برای اندازه‌گیری مقدار TSS، ابتدا کاغذ صافی شماره ۴۴ در کوره $105-103^\circ\text{C}$ خشک و سپس در خشکانه گذاشته شد تا به دمای ثابت برسد. نمونه‌هایی که حجمشان با استوانه مدرج اندازه‌گیری شده را از کاغذ صافی عبور داده و با آب حاصل از صافی محتوای نمونه شسته شد. سپس کاغذ صافی حاوی مواد معلق نیز در همان درجه حرارت به مدت ۱ h در گرم‌خانه قرار داده شد تا خشک شود. پس از قرار دادن نمونه در خشکانه و ثابت

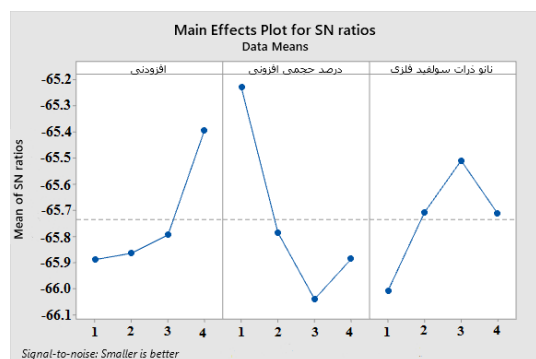
روش دوم که تاگوچی شدیداً برای آزمایش‌ها همراه با تکرار توصیه می‌کند استفاده از نسبت سیگنال به نویز برای مراحل یکسان در تحلیل است. این تحلیل با استفاده از تغییرات نتایج، بهترین و قوی‌ترین شرایط کاری را تعیین می‌کند. این نسبت، پراکندگی حول یک مقدار مشخصه را بیان می‌کند؛ هر چه نسبت فوق بیش‌تر باشد پراکندگی کم‌تر خواهد بود (Zandieh et al. 2002). در طراحی آزمایش‌ها به روش تاگوچی به‌منظور این که تعداد بهینه آزمایش‌ها مشخص گردند، ابتدا باید تعداد فاکتورها و همچنین سطوح مسئله مورد بررسی مشخص شوند. سپس طبق روش تاگوچی و نرم‌افزار مینی‌تب و آرایه‌های متعامد، تعداد آزمایش‌های بهینه مشخص می‌گردند. طراحی کلیه آزمایش‌ها شامل $5^4=625$ آزمایش می‌باشد؛ اما با توجه به هزینه و وقت این نوع طرح آزمایشی مقرون به‌صرفه نیست. از طرفی از لحاظ آماری نیازی نیست که همه ترکیبات سطوح عوامل مورد آزمایش قرار گیرد (Ranjit et al. 1990). به همین جهت از طرح‌های تکرار کسری که در نرم‌افزار مینی‌تب لحاظ شده است کمک گرفته شد. پس از این که فاکتورها و سطوح مشخص شد، نرم‌افزار تعداد بهینه ۱۶ آزمایش را به‌دست داد. مینی‌تب نرم‌افزاری توانمند می‌باشد که در زمینه‌های زیادی می‌توان از آن استفاده نمود. با توجه به هدف این پژوهش که ارائه معادله‌هایی برای ضریب پخش می‌باشد و با توجه به این که رابطه بین پارامترهای موجود برای پیشنهاد رابطه مفهومی یک رابطه خطی است، بنابراین از آنالیز رگرسیون خطی^۱ در مینی‌تب استفاده شده است. برای انجام این تحلیل و ارائه رابطه، ضرایب پخش طولی و عرضی به‌عنوان متغیر وابسته و سرعت برشی، سرعت متوسط، عمق و عرض به‌عنوان متغیرهای مستقل در نرم‌افزار لحاظ شدند. در این پژوهش از سه پارامتر افزودنی، درصد حجمی افزودنی و نانو ذرات سولفید فلزی استفاده شده است. دلیل انتخاب این پارامترها این است که نوع افزودنی و درصد آن اولاً می‌تواند خواص بتن

¹ Analyze Regression Linear

درصد حذف، مربوط به نوع افزودنی یک یعنی پومیس و درصد افزودنی سه یعنی ۷۵٪ و درصد نانوذره ۱٪ می‌باشد که در شکل (۲) نشان داده شده است. به‌طور کلی روند خاصی در کاهش این پارامتر برای نمونه‌های مختلف مشاهده نمی‌شود و حتی در بعضی از نمونه‌ها افزایش EC نیز مشاهده می‌شود که شاید دلیل آن را بتوان این‌گونه تفسیر کرد که هنگام عبور آب از بتن، مقداری از آهک موجود در سیمان، در آب حل شده و باعث افزایش EC شده است. در نهایت، نتایج حاصل نشان دهنده تأثیر درصد حجمی افزودنی در رتبه اول با دلتا ۰/۸۱، تأثیر نانوذره در رتبه دوم با دلتای ۰/۶ و افزودنی در رتبه سوم با دلتای ۰/۵ بر پارامتر EC می‌باشد. با توجه به جدول (۳)، تغییرات به‌وجود آمده در میزان TDS نمونه‌ها مشابه تغییرات EC می‌باشد.

جدول ۳- نتایج آزمون تاگوچی برای EC و TDS
Table 3 Taguchi test results for EC and TDS

	Level	additive	Additive volume percentage	Metal sulfide nanoparticles
EC	1	-65.89	-65.23	-66.01
	2	-65.86	-65.79	-65.71
	3	-65.79	-66.04	-65.51
	4	-65.39	-65.89	-65.71
	Delta	0.5	0.81	0.6
	Rank	3	1	2
TDS	1	-61.44	-60.82	-61.26
	2	-61.31	-61.12	-61.29
	3	-61.00	-61.34	-61.09
	4	-60.92	-61.38	-61.03
	Delta	0.52	0.56	0.27
	Rank	2	1	3



شکل ۲- نتایج سیگنال به نویز برای EC
Fig. 2 Signal to noise results for EC

شدن دما، وزن صافی و رسوب اندازه‌گیری و سپس COD و BOD اندازه‌گیری گردید.

در نهایت با استفاده از نرم‌افزار مینی‌تب و اکسل، پارامترها و تأثیر هر یک از آن‌ها در کاهش آلودگی بررسی شد. طراحی تاگوچی یک فرآیند بهینه‌سازی است که در آن تابع هدف به‌صورت نسبت سیگنال به نویز (S/N) است. نسبت سیگنال به نویز، باید بیش‌ترین مقدار باشد تا در همه مسائل نقطه بهینه به‌دست آید. در واقع یکی از مزیت‌های روش سیگنال به نویز، امکان تعیین سطوح بهینه و میزان تأثیرگذاری هر پارامتر است. در نمودار تحلیل سیگنال به نویز، سطحی که دارای بالاترین مقدار متوسط سیگنال به نویز می‌باشد، معادل بهترین سطح برای فاکتور مربوطه است. در واقع نسبت سیگنال به نویزی که بیش‌ترین مقدار را دارد بیان‌گر نقطه بهینه می‌باشد؛ چرا که باید نویزها و نواقص به حداقل ممکن برسند و وقتی نویز حداقل ممکن شود، نسبت باید حداکثر گردد (Zandieh et al. 2002).

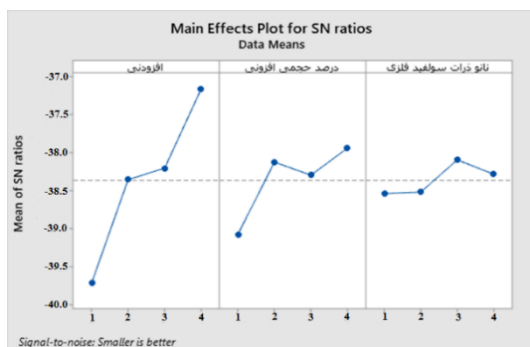
در این پژوهش، هرچه میزان آلودگی خروجی کم‌تر باشد بهتر است که در تنظیمات نرم‌افزار با کوچک‌تر-بهرتر وارد گردد. مسائلی که درصدد بهینه‌سازی هزینه‌ها هستند، در واقع به‌دنبال کمینه‌سازی هزینه‌ها می‌باشند. هدف در طراحی، حداقل کردن آلودگی می‌باشد و به همین خاطر در این مسئله از نوع کوچک‌تر-بهرتر استفاده شده است. پس از به‌دست آمدن مقادیر سیگنال به نویز، مشاهده می‌شود که سطوح بهینه و تأثیرگذار در فاکتورهای مورد بررسی، دارای کم‌ترین آلودگی در هر فاکتور می‌باشند و این نشان‌دهنده صحت آزمایش‌ها است.

۳- یافته‌ها و بحث

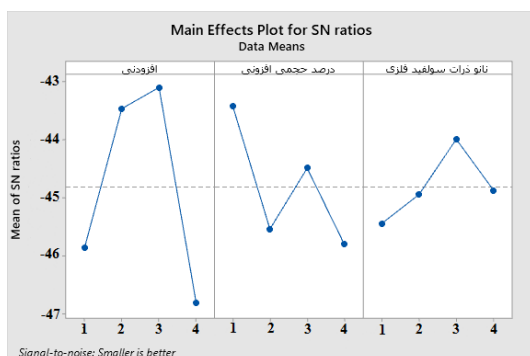
در جدول (۳) مقادیر تأثیر هر سطح از افزودنی‌ها در میزان کاهش آلودگی و نتایج به‌دست‌آمده از آزمایش EC و TDS برای نمونه‌های بتن متخلخل و درصد حذف این پارامترها ارائه شده است. در ادامه منظور از درصد حجمی ۱، ۲، ۳ و ۴ به ترتیب ۲۵٪، ۵۰٪، ۷۵٪ و ۱۰۰٪ و همچنین منظور از مواد افزودنی ۱، ۲، ۳ و ۴ به ترتیب پومیس، اسکریا، زئولیت و تراورتن است. بر اساس جدول (۳) بیش‌ترین

¹ Signal/Noise

مطلوب جاذبها می‌باشد. نتایج جدول (۴) نشان می‌دهد که تأثیر افزودنی در رتبه یک، درصد افزودنی در رتبه دو و در نهایت نانوذره در رتبه سوم قرار دارد. همچنین از شکل (۵) چنین برداشت می‌شود که افزودنی تراورتن با مقدار ۴۶/۸۳- و با کسر حجمی ۱۰۰٪ و ۱٪ نانوذره بیش‌ترین تأثیر در حذف NTU را دارد.



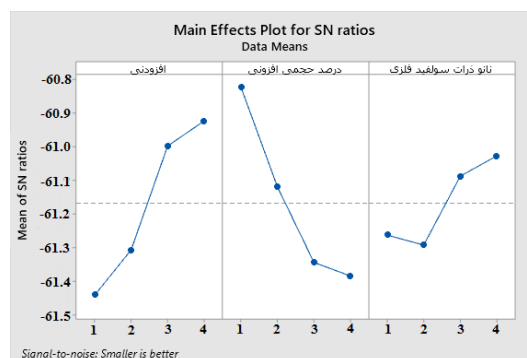
شکل ۴- نتایج سیگنال به نویز برای TSS
Fig. 4 Signal to noise results for TSS



شکل ۵- نتایج سیگنال به نویز برای NTU
Fig. 5 Signal to noise results for NTU

مقادیر پارامترهای COD و BOD برای نمونه‌های بتن متخلخل و درصد حذف آن در جدول (۵) نشان داده شده است. بر اساس این جدول، مقدار COD اولیه برابر ۵۹ mg/l است. مقدار COD نمونه شاهد برابر با ۵۹ mg/l می‌باشد که ۱۷٪ نسبت به مقدار اولیه کاهش یافته است. همان‌طور که مشاهده می‌شود با جایگزینی جاذب با سنگ‌دانه بتن متخلخل، مقدار درصد حذف COD افزایش قابل توجهی داشته است. درصد حذف COD برای تمامی جاذبها بالای ۲۹٪ است که نشان‌دهنده عملکرد مطلوب جاذبهای انتخابی در حذف این پارامتر می‌باشد.

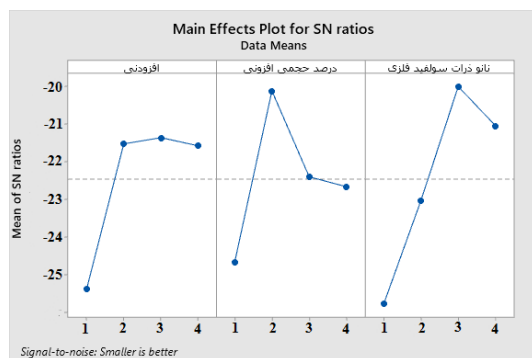
همان‌طور که در جدول (۳) مشاهده می‌شود درصد حجمی با دلتای ۰/۵۶ بیش‌ترین تأثیر بر TDS را دارد و به‌ترتیب نوع افزودنی و سپس نانوذره بر روی این پارامتر تأثیرگذار می‌باشد همچنین بهترین طرح اختلاط برای بیش‌ترین درصد حذف TDS این نمونه، با توجه به شکل (۳)، پومیس به درصد حجمی ۱۰۰٪ و ۲٪ نانوذره است.



شکل ۳- نتایج سیگنال به نویز برای TDS
Fig. 3 Signal to noise results for TDS

مقادیر پارامترهای TSS و NTU (کدورت) برای نمونه‌های بتن متخلخل و درصد حذف آن‌ها در جدول (۴) ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود با جایگزینی جاذبها در نمونه بتن متخلخل، درصد حذف TSS نسبت به نمونه شاهد افزایش یافته است که نشان‌دهنده عملکرد خوب جاذبها می‌باشد. گونه‌های حاوی افزودنی پومیس، با مقدار ۳۹/۷۲- بیش‌ترین درصد حذف TSS را دارند. با توجه به جدول (۴)، نوع افزودنی دارای رتبه یک در تأثیرگذاری درصد حذف TSS می‌باشد و پس از آن به‌ترتیب، درصد افزودنی و میزان نانوذره تأثیر دارد. با توجه به شکل (۴) مشاهده می‌شود که پومیس در کسر حجمی ۲۵٪ و ۱٪ نانوذره، بیش‌ترین درصد حذف TDS را در پی دارد.

بر اساس جدول (۴)، مقدار کدورت اولیه برابر ۳۴۲ NTU می‌باشد. نمونه شاهد، با کدورت ۲۸۶ NTU مقدار ۳۷/۱۶٪ نسبت به مقدار اولیه کاهش کدورت داشته است. همان‌طور که مشاهده می‌شود با جایگزینی جاذبها در نمونه‌های بتن متخلخل، میزان حذف کدورت نسبت به نمونه شاهد، افزایش چشم‌گیری داشته است که نشان‌دهنده عملکرد خوب و



شکل ۷- نتایج سیگنال به نویز برای NTU
Fig. 7 Signal to noise results for BOD

جدول ۵- نتایج آزمون تاگوچی برای COD و BOD
Table 5 Taguchi test results for COD and BOD

	Level	additive	Additive volume percentage	Metal sulfide nanoparticles
COD	1	-30.16	-28.91	-30.14
	2	-26.5	-27.62	-30.26
	3	-28.01	-27.97	-26.52
	4	-29.06	-29.22	-26.82
	Delta	3.66	1.6	3.75
BOD	Rank	2	3	1
	1	-25.40	-24.68	-25.78
	2	-21.53	-20.12	-23.03
	3	-21.36	-22.40	-20.00
	4	-21.58	-22.67	-21.05
	Delta	4.04	4.56	5.78
	Rank	3	2	1

بعد از انجام آزمایش تاگوچی بر روی تک‌تک متغیرهای پژوهش و مشخص کردن تأثیر هر پارامتر در کاهش آلاینده‌گی نوبت به آن است که در نتیجه‌گیری پژوهش آزمون تاگوچی را بر روی همه متغیرها مشخص کرد و در نهایت بتوان بیان کرد که هر فاکتور چه تأثیری بر کاهش آلاینده‌گی آب‌های روان دارد.

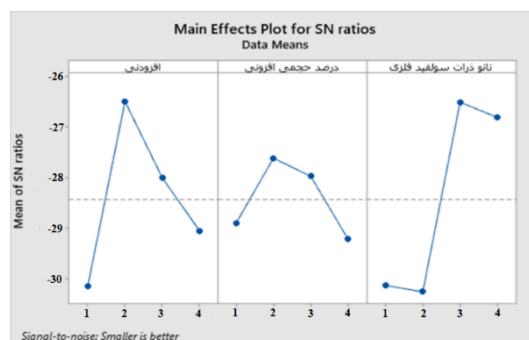
جدول ۶- نتایج آزمون تاگوچی برای کاهش آلودگی
Table 6 Taguchi test results for Reduce pollution

	Level	additive	Additive volume percentage	Metal sulfide nanoparticles
	1	-59.48	-58.82	-59.53
	2	-59.41	-59.32	-59.30
	3	-59.28	-59.56	-59.10
	4	-58.99	-59.46	-59.24
	Delta	0.49	0.74	0.43
	Rank	2	1	3

جدول ۴- نتایج آزمون تاگوچی برای NTU
Table 4 Taguchi test results for TSS and NTU

	Level	Additive	Additive volume percentage	Metal sulfide nanoparticles
TSS	1	-39.72	-38.08	-38.54
	2	-38.36	-38.13	-38.52
	3	-38.21	-38.30	-38.10
	4	-37.16	-37.94	-38.29
	Delta	2.56	1.14	1.450.44
NTU	Rank	1	2	3
	1	-45.86	-43.41	-45.45
	2	-43.47	-45.54	-44.95
	3	-43.10	-44.49	-43.99
	4	-46.83	-45.81	-44.78
	Delta	3.73	2.39	1.45
	Rank	1	2	3

همچنین در این حالت، جدول (۵) نشان می‌دهد که نانوذره دارای رتبه یک در کاهش COD، سپس نوع افزودنی و در نهایت درصد حجمی افزودنی، رتبه سوم را دارد. همچنین از شکل (۶) می‌توان دریافت که پومیس با درصد حجمی ۱۰۰ و ۲٪ نانوذره، بیش‌ترین تأثیر در حذف COD را دارند. بر اساس جدول (۵)، مقدار BOD اولیه برابر ۴۰ mg/l است. درصد حذف نمونه شاهد نسبت به مقدار اولیه ۲۲/۵٪ می‌باشد. همان‌طور که در جدول مشاهده می‌شود جاذب‌های مصرفی، تأثیر بسیار خوبی بر عملکرد حذف پارامتر BOD داشته‌اند که در جدول (۵) مشخص است با توجه به دلتای آن‌ها نانوذره، رتبه یک تأثیرگذاری در کاهش BOD و بعد از آن درصد افزودنی و در نهایت نوع افزودنی تأثیر در کاهش BOD را دارد. همچنین با توجه به شکل (۷) درصد اختلاط بهینه برای این پارامتر پومیس با درصد حجمی ۲۵٪ و نانوذره ۱٪ می‌باشد.



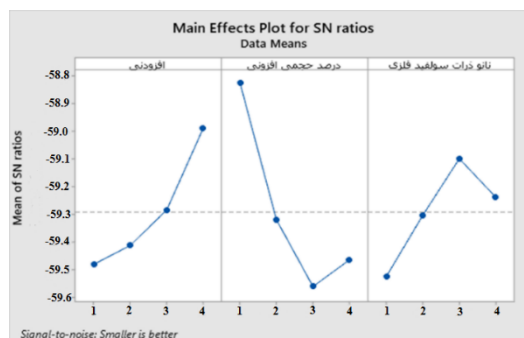
شکل ۶- نتایج سیگنال به نویز برای COD
Fig. 6 Signal to noise results for COD

آلاینده‌گی را داشته باشد پومیس با ۷۵٪ کسر حجمی و ۱٪ نانوذره است.

۴- نتیجه‌گیری

با در نظر گرفتن هدف این طرح که انتخاب بهترین طرح اختلاط برای داشتن بیش‌ترین حذف آلاینده‌گی از آب‌های روان است، بعد از انجام آزمایش تاگوچی بر روی تک تک متغیرهای پژوهش و مشخص کردن تأثیر هر پارامتر در کاهش آلاینده‌گی، نتایج زیر به‌دست آمد.

- ۱- با توجه به نتایج، مشخص است که درصد افزودنی بیش‌ترین تأثیر بر کاهش آلاینده‌گی را با دلتای ۰/۷۴ دارد. پس از آن نوع افزودنی با مقدار دلتای ۰/۴۹، تأثیر خود را مشخص کرده و در نهایت میزان نانوذره در رتبه آخر است.
- ۲- با افزایش درصد افزودنی، مواد جامد رواناب افزایش می‌یابد ولی در نهایت باعث کاهش آلودگی رواناب می‌شود.
- ۳- مناسب‌ترین طرح اختلاط برای داشتن بیش‌ترین حذف آلاینده‌گی از رواناب‌ها، اختلاط پومیس با ۷۵٪ کسر حجمی و ۱٪ نانوذره است.



شکل ۸- نتایج سیگنال به نویز برای کاهش آلودگی
Fig. 8 Signal to noise results for Reduce pollution

با توجه به جدول (۶) مشخص است که درصد افزودنی، بیش‌ترین تأثیر بر کاهش آلاینده‌گی با دلتای ۰/۷۴ را دارد. پس از آن نوع افزودنی با مقدار ۰/۴۹ و در نهایت میزان نانوذره با مقدار ۰/۴۳ در رتبه آخر است. باید در نظر داشت دلیل این‌که نانوذره تأثیر کمی داشته است درصد بسیار پایین آن است؛ شاید در درصدهای بالاتر بتواند عملکرد بهتری داشته باشد. در نهایت با توجه به شکل (۸) اگر یک طرح اختلاط پیشنهاد داده شود که بیش‌ترین حذف

References

- Abedi Kopai J. and Najafi P. (2001). Use of treated wastewater in agricultur. National Committee for Irrigation and Drainage of Iran, 248 pages [In Persian].
- Abedi Kopai J., Javaheri Tehrani M. and Behfarnia K. (2015). Improving the quality of wastewater in urban wastewater using porous concrete for irrigation. J. Water Soil Sci., 19(71), 93-106 [In Persian].
- Alizadeh R., Malakutikhah J. and Koochi K. (2010). Determining the expenditure of wastewater leaving the wastewater treatment plant on wheat yield and quality and some soil characteristics in Sistan region. J. Agri. Sci. Technol. Nat. Resour., 10(4), 59-75 [In Persian].
- Azad A., Mousavi F., Karami H., Farzin S., an Singh V. P. (2019). The effect of vermiculite and quartz in porous concrete on reducing storm-runoff pollution. ISH J. Hydraul. Eng., 1-8.
- Bao T., Chen T., Wille M. L., Chen D., Bian J., Qing C., Wu W. and Frost R. L. (2016). Advanced wastewater treatment with autoclaved aerated concrete particles in biological aerated filters. J. Water Process Eng., 9, 188-194.
- Chow M. F., Yusop Z. and Toe Y. F. (2016). Evaluation of stormwater runoff quality during monsoon and inter-monsoon seasons at tropical urban catchments. Int. J. River Basin Manage., 14(1), 75-82.
- Deffontis S., Breton A., Vialle C., Montréjaud-Vignoles M., Vignoles C. and Sablayrolles C. (2013). Impact of dry weather discharges on annual pollution from a separate storm sewer in Toulouse, France. Sci. Total Environ., 452, 394-403.
- Ghafourian A., Tajrishi M. and Abrishamchi A. (2012). Urban water management in terms of effluent and runoff as new water

- sources) case study of Tehran. J. Water Wastewater, 4(23), 29-43.
- Gholhaki M., Yeganeh B. and Ahmadi Pouya R. (2008). Salt and lip water resources management based on nanofiltration solutions, 3rd Iranian Water Resources Management Conference, Faculty of Civil Engineering, University of Tabriz, 14 october [In Persian].
- Holmes R. R., Hart M. L. and Kevern J. T. (2017). Enhancing the ability of pervious concrete to remove heavy metals from stormwater. J. Sustain. Water Built Environ., 3(2), 04017004.
- Javani H. R. (2013). Study of the reduction of pollutants in treated wastewater in the artificial feeding system. Master's thesis, Agricultural Campus and Natural Resources, University of Tehran [In Persian].
- Jo M., Soto L., Arocho M., St John J. and Hwang S. (2015). Optimum mix design of fly ash geopolymers paste and its use in pervious concrete for removal of fecal coliforms and phosphorus in water. Constr. Build. Mater., 9, 1097-1104.
- Joshaghani A., Ramezani-pour A. A., Ataei O. and Golroo A. (2015). Optimizing pervious concrete pavement mixture design by using the Taguchi method. Constr. Build. Mater., 101, 317-325.
- Khodadoost Gamchi M. and Pashaei Golmarz L. (2015). The effect of porous concrete on public urban thoroughfares in the catchment area of Urmia Lake on the restoration of Lake Urmia. the 4th National Conference on Materials and New Structures, 4 november [In Persian].
- Mallin M. A., and McIver M. R. (2012). Pollutant impacts to Cape Hatteras National Seashore from urban runoff and septic leachate. Marine Pollution Bulletin. 64(7), 1356-1366.
- Ministry of Energy, Office of Water Engineering Standards, (2003). A guide to the operation and maintenance of urban wastewater treatment plants - natural treatment plants and stabilization ponds. Journal 270-A [In Persian].
- Montgomery M., Douglas C. and Nooralsana R. editor (2007). Statistical Quality Control. University of Science and Technology Publications, Seventh Edition. 330-370.
- Ranjit R. (1990). A primer on the taguchi method. Competitive Manufacturing, American.
- Rezvani Moghadam P. and Mirzaei M. (2010). The effect of different rat water ratios with treated wastewater on morphological characteristics, yield and yield components of corn, sorghum and millet. Iran. J. Agri. Res., 7(1), 63-77 [In Persian].
- Taguchi G. and Konishi S., (1987). Taguchi method orthogonal arrays and linear graphs. Tools for Quality Engineering, American.
- Zadjan Ali Choubari F., Navabian M., Dostieh Doust M. and Ismail Varki M. (2016). Study of the effect of environmental and hydraulic factors on the rate of removal of agricultural effluent phosphorus by limestone. Iran. Water Soil Res., 47(1), 65-76. [In Persian].
- Zandieh M. and Akhavan Niaki T. (2002). Optimization of quality through parameter design by Taguchi method. Second National Conference on Industrial Engineering, University of Yazd, Yazd, Iran, 30 May [In Persian].

Optimizing Adsorbent with Porous Concrete Nanoparticles to Reduce the Pollution Load of Urban Runoff Using Taguchi Method

Emad Kahrizi¹, Taher Rajaei^{2*} and Mehdi Sedighi³

¹PhD Scholar, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Qom, Qom, Iran

²Assoc. Professor, Department of Civil Engineering, University of Qom, Qom, Iran

³Assistance. Professor, Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, University of Qom, Qom, Iran

*Corresponding author: emad.kahrizi@gmail.com

Original Paper

Received: May 24, 2020

Revised: August 06, 2020

Accepted: August 10, 2020

Abstract

Water is a vital substance for human and water supply has become a crisis in many arid countries. Due to arid and semi-arid climate of Iran, it has many challenges to supply fresh water. According to the urgent need for water and also the lack of water resources, it is a necessity to implement the water management programs like recycle and reuse of runoffs in order to meet the water needs in agriculture and green space. Nowadays, use of concrete porous pavements in urban paths is increased significantly, and it can be used to reduce water pollution. Due to the usefulness of different adsorbents in reducing pollution, in this study the effect of replacing pumice, scoria, zeolite and travertine adsorbents with volume percentages of 25, 50, 75 and 100% and metal sulfide nanoparticles with 1, 2, 3 and 4% with porous concrete aggregates on qualitative parameters in runoff have been investigated by Taguchi method. Experiments related to physical properties were performed in the concrete technology laboratory as well as tests related to qualitative parameters in the chemistry laboratory. In this study, three parameters of additive, volume percentage of additive and metal sulfide nanoparticles have been used. Finally, using Minitab and Excel software, the parameters and the effect of each of them in reducing pollution were investigated. The results showed that the greatest impact on reduction of pollution was the percentage of additive, type of additive and volume of nanoparticles, respectively. Finally, as a proposed concrete mix design that has the highest effect on pollution elimination, 75% of the volume fraction and 1% of the nanoparticle can be introduced.

Keywords: Nanoparticles; Porous Concrete; Runoff; Taguchi Method; Water Pollution.