



دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز
فصلنامه آلودگی‌های محیطی و توسعه پایدار شهری

دوره ۱، شماره ۴، پیاپی ۴
زمستان ۱۴۰۳، صفحات ۳۲-۱۷

"مقاله پژوهشی"

پهنه‌بندی نوسانات کیفی فاضلاب در شبکه جمع‌آوری شهر بیرجند

هومن بهمن‌پور^{۱*}، فرخنده احراری^۲

^۱ گروه مهندسی ایمنی، بهداشت و محیط زیست (HSE)، واحد شاهرود، دانشگاه آزاد اسلامی، شاهرود، ایران

^۲ کارشناس ارشد مهندسی شیمی، واحد شاهرود، دانشگاه آزاد اسلامی، شاهرود، ایران

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: h.bahmanpour@srbiau.ac.ir

(دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۱۱/۱۹، پذیرش نهایی: ۱۴۰۴/۰۱/۰۷)

چکیده

هدف از این تحقیق، بررسی وضعیت کیفی شبکه فاضلاب شهر بیرجند و ترسیم مدل پهنه‌بندی مربوط به آن بوده است. در طی سه دوره نمونه‌برداری، ۱۰ پارامتر کیفی در ۱۹ نقطه از شبکه فاضلاب شهری اندازه‌گیری شد. پس از تحلیل آماری داده‌ها به منظور استفاده از روش‌های درون‌یابی، تحلیل واریوگرام با استفاده از نرم‌افزار GS+ انجام شد و با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS 10.1 و جعبه ابزار Geostatistical Analyst پهنه‌بندی مناسب با استفاده از روش Cross Validation انجام گرفت. به منظور انتخاب روش مناسب بین داده‌های برآورد شده در شبکه فاضلاب با مقادیر واقعی آن‌ها از دو روش آماری تحلیل حساسیت انجام پذیرفت. همبستگی میان داده‌ها به روش اسپیرمن صورت گرفت که در کلیه موارد دقت روش بیزین کریجینگ را در پهنه‌بندی بالاتر از سایر روش‌ها برآورد نمود. نتایج نشان داد دو پارامتر نیتريت و هدایت الکتریکی روند کاهشی و سایر پارامترها روند افزایشی داشته‌اند. نتایج پهنه‌بندی با استفاده از روش کریجینگ بیزین در شبکه فاضلاب حاکی از بالا بودن غلظت BOD و COD در منطقه شمال شهر، بالا بودن میزان EC، افزایش نیتريت، کاهش نیتريت، بالا بودن TDS و pH در انتهای شبکه فاضلاب بود. براساس نتایج بالا بودن غلظت BOD و COD در شبکه فاضلاب رو مشخص می‌شود که تجزیه مواد آلی به کندی انجام شده و به منظور تسریع بخشیدن در تجزیه بیولوژیکی اعمال راهکارهای مدیریتی به ویژه اصلاحات در سیستم هیدرولیکی در شبکه فاضلاب شهر بیرجند بسیار ضروری و مهم می‌باشد تا از این طریق بتوان فرآیند تصفیه را زودتر آغاز کرد.

واژه‌های کلیدی: شبکه فاضلاب، درون‌یابی، پهنه‌بندی فاضلاب، شهر بیرجند

مقدمه

یکی از مهمترین زیرساخت‌های شهری، شبکه‌های فاضلاب هستند که بی‌توجهی نسبت به وضعیت آن‌ها باعث ایجاد حوادث، خسارت‌های غیرقابل جبران و یا مشکلات بهداشتی و محیط زیستی متعددی می‌شود. در سه دهه اخیر، بحث جمع‌آوری و انتقال صحیح فاضلاب شهری از اجزای مهم برنامه‌ریزی و عمران مناطق شهری بوده است. از طرفی با توجه به سرعت رشد مناطق شهری، وجود بافت‌های قدیمی در شهرها، عدم کفایت شبکه زهکشی و جمع‌آوری رواناب سطحی و نبود طرح‌های جامع کنترل سیلاب شهری در اغلب شهرهای ایران، مشکلات مربوطه را دوچندان کرده است (۱ و ۲). این در حالی است که جنبه تغییرات کیفیت فاضلاب جاری در شبکه و فعل و انفعالات بیولوژیکی که در فاضلاب و در طول مدت زمان انتقال آن بوقوع می‌پیوندد، به ندرت مورد توجه طراحان بوده است (۳). بر این اساس لازم است تا به منظور دستیابی به یکپارچگی هر چه بیش‌تر در مدیریت تاسیسات فاضلاب شهری و به حداقل رساندن مشکلات تصفیه‌خانه‌ها در زمان بهره‌برداری از آن‌ها، در مرحله طراحی علاوه بر جنبه‌های هیدرولیکی، به جنبه‌های فرایندی و تغییرات کیفیتی به وقوع پیوسته در فاضلاب جاری در شبکه تا زمان رسیدن آن به تصفیه‌خانه نیز توجه ویژه‌ای نمود (۴). این امر بدان معناست که تغییرات بیولوژیکی و کیفیتی به وقوع پیوسته در فاضلاب در حال انتقال می‌باید به صورت یکپارچه و در تعامل با فرایندهای تصفیه‌خانه فاضلاب مورد بررسی قرار گیرد. این یکپارچگی مدیریت بین شبکه و تصفیه‌خانه منجر به ایجاد سیستمی کارآمد با حداقل مشکلات بهره‌برداری در

تصفیه‌خانه‌های فاضلاب خواهد شد (۵ و ۳). در مدت زمان حرکت فاضلاب‌های خانگی، از محل تخلیه تا محل تصفیه‌خانه، تغییراتی در ویژگی‌های آن‌ها حاصل می‌شود و فرایندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی طبیعی درون سیستم انتقال رخ می‌دهد (۶).

شبکه‌های انتقال آب یا فاضلاب با افزایش سن، معمولاً فرسوده و تخریب می‌شود. عامل‌های موثر بر روند آسیب‌پذیری را می‌توان به سه دسته اصلی فیزیکی، عملیاتی و عوامل محیط زیستی تقسیم نمود (۷). توسعه شهرنشینی باعث افزایش خطر بالازدگی فاضلاب و آلودگی بیشتر در سامانه‌های گردآوری رواناب سطحی می‌شود. همچنین، شبکه فاضلاب به علت مدفون بودن اجزا در زیر زمین، نسبت به تغییرپذیری‌های زمینی گذرا، رانش، زلزله و تغییر شکل دایمی زمین آسیب‌پذیر است (۸). سامانه‌های فاضلاب و رواناب سطحی، در سراسر جهان دارای مسئله‌هایی مانند ظرفیت نامناسب، شکست‌های ساختاری و خرابی لوله‌ها هستند که منجر به آسیب‌های ساختاری همچون نشت فاضلاب، اختلال‌های ترافیکی، فرسایش خیابان، آلودگی آب‌های محلی و ... می‌شوند (۹). عملکرد نامناسب سامانه‌های فاضلاب می‌تواند به شدت به روی تاب‌آوری جامعه تاثیرگذار باشد (۱۰). هدف اصلی مهندسی طراحی تاسیسات جمع‌آوری و دفع فاضلاب، رساندن فاضلاب خام تازه به محل تصفیه‌خانه است، در غیر این صورت علاوه بر مشکل بو، مساله تصفیه بیولوژیکی فاضلاب نیز با دشواری‌های فراوانی روبرو خواهد شد (۳). ترکیب فاضلاب خانگی و شهری به طور قابل توجهی به

مکان و زمان بستگی دارد. دلیل این امر تا حدی به علت نوسانات در میزان مواد تخلیه شده می‌باشد (۱۱). شبکه‌ها و تاسیسات فاضلاب از جمله تاسیسات زیربنایی هر منطقه محسوب می‌شوند که با صرف هزینه‌های سنگین طراحی، اجرا و بهره‌برداری می‌شوند. بنابراین؛ یکی از عوامل اصلی موثر در رابطه با افزایش راندمان تاسیسات شهری، انجام بررسی‌های کمی و کیفی صحیح و تخصصی است. همواره پارامترهای کیفیت فاضلاب، همواره یکی از موارد مهم در طراحی تصفیه‌خانه‌ها بوده است. حداقل نمودن بار آلودگی فاضلاب ورودی به تصفیه‌خانه‌ها و به عبارت بهتر تصفیه فاضلاب در کلکتورها نه تنها منجر به کاهش قابل توجهی از مشکلات بهره‌برداری تصفیه‌خانه‌ها خواهد شد، بلکه مجریان را از صرف هزینه‌های سنگین در ساخت این نوع از تصفیه‌خانه‌ها نیز بی‌نیاز خواهد کرد (۱۲).

بطورکلی محیط داخلی یک فاضلاب‌رو به چهار زیرمجموعه و یا فاز تقسیم‌بندی گردیده که شامل فاز سیال، فاز بیوفیلم، فاز رسوبات و فاز اتمسفری یا فضای خالی داخل آن می‌گردد (۱۳). این سیستم که عملیات انتقال جرم بین فازهای مختلف آن انجام می‌پذیرد، سیستمی پویا و در عین حال پیچیده است. به طور کلی تجزیه مواد آلی موجود در فاضلاب جاری در کلکتورها تحت شرایط هوازی و یا بی‌هوازی صورت می‌پذیرد که شرایط حاکم بر این عمل بستگی به نوع الکترون گیرنده‌های موجود در فاضلاب دارد (۱۴). این الکترون گیرنده‌ها عموماً شامل اکسیژن برای تنفس باکتری‌های هوازی، نترات برای انجام عمل نیتریفیکاسیون، مواد آلی در عمل تخمیر، سولفات برای احیا به سولفید و دی اکسید

کربن برای متان‌زایی می‌باشند (۱۵). در شرایط هوازی مواد آلی قابل تجزیه بیولوژیکی موجود در فاضلاب توسط باکتری‌های هتروتروف تجزیه شده و مقدار بیومس (جرم بیولوژیکی) افزایش می‌یابد (۱۳ و ۱۱). این تجزیه بیولوژیکی با اعمال مدیریت مناسب می‌تواند مقدمه‌ای موثر در کاهش BOD ورودی به تصفیه‌خانه به شمار آید. در شرایط بی‌هوازی به دلیل فقدان اکسیژن لازم برای میکروارگانیسم‌ها، غلظت BOD در حین انتقال به تصفیه‌خانه افزایش یافته که به موجب آن غلظت سولفید فاضلاب به دلیل حاکم شدن شرایط بی‌هوازی و احیای سولفات به سولفید نیز افزایش خواهد یافت (۱۶). از جمله نخستین تحقیقات صورت گرفته در این زمینه می‌توان به مطالعه جاکوبسن و همکاران در سال ۱۹۹۹ اشاره نمود که تحقیقی را بر روی "تغییرات کیفیت فاضلاب در طول حمل و نقل در شبکه‌های فاضلاب و مفهوم مدل هوازی و بی‌هوازی برای تحولات میکروبی کربن و گوگرد" انجام دادند و با استفاده از نتایج حاصل یک مدل مفهومی، رابطه میان تحولات هوازی بین رسوبات ته‌نشین شده و نرخ مصرف اکسیژن را مشخص نمودند (۱۷). زوگ نیز در سال ۱۹۹۸ بر روی "شیب‌سازی COD در شبکه‌های فاضلاب" پژوهشی انجام داد. در این تحقیق با مدل‌سازی کیفی رابطه بین مواد آلاینده، مواد جامد معلق (TSS) و اکسیژن‌خواهی شیمیایی (COD) در شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب به دست آمد (۱۸). گکلو و دورسان نیز اقدام به مدل‌سازی فاضلاب در شبکه شهری در آفریقای جنوبی نمودند (۱۹). در ایران در منطقه مورد نظر تاکنون هیچ گونه تحقیقی در ارتباط با فاضلاب شهری بیرجند صورت نگرفته

است. در صورتیکه در سایر شهرهای کشور بررسی‌هایی صورت گرفته است. در تحقیقی که کمالی و همکاران در سال ۱۴۰۰ انجام دادند، تاب‌آوری جامع در شبکه جمع‌آوری فاضلاب شهر تربت حیدریه را بررسی کردند (۲۰). امیدی ارجنکی و همکاران نیز در سال ۱۴۰۰ در تحقیقی دانشگاهی، اقدام به بررسی عملکرد و تعیین ابعاد بهینه شبکه جمع‌آوری رواناب سطحی با استفاده از مدل SWMM کردند (۲۱). همچنین، عباسی و همکاران در سال ۱۴۰۲ نیز اقدام به آسیب‌شناسی بهره‌برداری از شبکه جمع‌آوری فاضلاب با رویکرد تیوری استخوان ماهی نمودند. هدف آنها از این مطالعه، استفاده ترکیبی از روش‌های تصمیم‌گیری طوفان فکری، SWOT و استخوان ماهی جهت تجزیه و تحلیل علل اصلی حوادث و ریسک‌های مترتب به شبکه فاضلاب بود. نتایج نشان داد که راهبردهای پیشنهادی باید در وضعیت ضعف از منظر عوامل داخلی با امتیاز ۲/۲ و تهدید از منظر عوامل خارجی با امتیاز ۱/۷۴۵ به صورت راهبردهای تدافعی تعریف شود. از طرفی نتایج ریسک‌های بهره‌برداری از شبکه فاضلاب حاکی از بالا بودن اهمیت ریسک‌های فنی با میانگین امتیاز ۷/۸ بوده که بر این اساس راهبردهای تدافعی مبتنی بر شرایط ریسک تعریف شد. این راهبردها از برخورد ضعف‌های درونی با تهدیدهای بیرونی حاصل می‌شوند. برای به حداقل رساندن زیان‌های ناشی از تهدیدها و نقاط ضعف، می‌توان به مهم‌ترین راهبردهای تدافعی پیشنهادی از جمله وجود برنامه جامع بهره‌برداری و نگهداری از شبکه فاضلاب، انجام به موقع تعمیرات و ضرورت

بکارگیری روش‌های نوسازی و جایگزینی اشاره نمود (۲۲).

بدیهی است که ارتقای کیفی و کمی عملکرد یک سیستم در گروی پایش منظم و دوره‌ای آن می‌باشد. از طریق سنجش پارامترهای موثر می‌توان سطح تغییرات و نوسانات مربوط به فاضلاب و نیز میزان انحراف از استانداردهای مصوب را تعیین نمود.

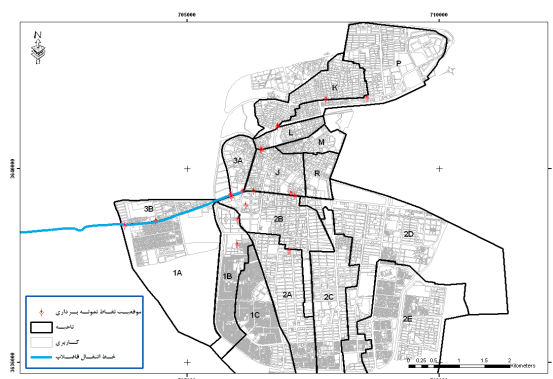
هدف از انجام این تحقیق، پهنه‌بندی شبکه جمع‌آوری فاضلاب شهری در بیرجند در استان خراسان جنوبی براساس نوسانات کیفی و دوره‌ای فاضلاب بوده است. سوال اصلی تحقیق آن بوده است که فاضلاب شهری در طول شبکه جمع‌آوری و در بازه زمانی مطالعاتی چه تغییراتی داشته است. لازم به ذکر است که تاکنون هیچ نوع مطالعه‌ای در خصوص بررسی کیفی فاضلاب شهری بیرجند صورت نگرفته است.

مواد و روش‌ها

- معرفی منطقه مورد مطالعه

با توجه به آلودگی‌های زیست محیطی ناشی از دفع غیراصولی فاضلاب، اجرای شبکه فاضلاب شهر بیرجند (مرکز استان خراسان جنوبی) از سال ۱۳۷۴ شروع گردید. در حال حاضر قریب ۳۵۹ کیلومتر لوله‌گذاری فاضلاب اجرا شده است که ۹۰ درصد آن را لوله‌های پلی‌اتیلن و پی. وی. سی و ۱۰ درصد نیز که عمدتاً اقطار بالا و کلکتور اصلی شبکه را شامل می‌شود، لوله‌های آریست سیمان و بتنی می‌باشند. همچنین در شبکه فاضلاب بیرجند قریب ۷۰۰۰ منهول وجود دارد که فاضلاب شهری را بصورت ثقلی توسط یک خط کلکتور اصلی بتنی با اقطار ۱۰۰۰ و ۹۰۰ میلی‌متر به طول قریب ۹ کیلومتر به

است که براساس نظر کارشناسان و با توجه به شناخت از کانون های آلودگی و بحرانی شبکه فاضلاب شهر بیرجند صورت گرفت. نمونه ها به آزمایشگاه معتمد فاضلاب شرکت آب و فاضلاب خراسان جنوبی انتقال یافتند. پارامترهای کیفی اصلی شامل: اکسیژن خواهی بیوشیمیایی (BOD)، اکسیژن خواهی شیمیایی (COD)، اکسیژن محلول (DO)، دما، pH، هدایت الکتریکی (EC)، کل مواد جامد نامحلول (TDS)، نیتрат، نیتريت و سولفات براساس استاندارد متد مورد سنجش قرار گرفتند. اکسیژن محلول (DO) نیز به شکل درجا (On site) اندازه گیری شد. شکل (۲) موقعیت مکانی نقاط نمونه برداری شده را در شبکه فاضلاب مورد بهره برداری شهر بیرجند نشان می دهد.



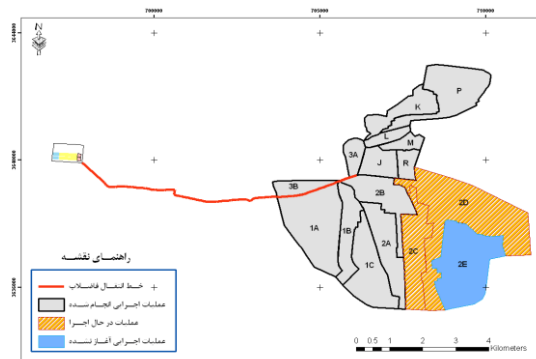
شکل (۲): موقعیت نقاط نمونه برداری در محدوده شبکه

فاضلاب بیرجند

- روش شناسی

جهت پهنه بندی کیفی و همچنین بررسی وضعیت کیفی شبکه فاضلاب، پیش از ورود به نرم افزار، بررسی و اطمینان از صحت داده ها صورت گرفت. در اصل، در دو موضوع نرمال بودن سری زمانی داده ها و نداشتن پرت داده با استفاده از نرم افزار Minitab 17 مورد سنجش قرار گرفتند. به منظور

تصفیه خانه فاضلاب شهر منتقل می نماید (۲۳). تصفیه خانه فاضلاب شهر بیرجند در شمال غرب این شهر در زمینی به مساحت ۶۰ هکتار و در فاصله ۹ کیلومتری شهر به روش برکه تثبیت از نوع بی هوازی - هوازی طراحی و اجرا شده است. این تصفیه خانه در دو مدول موازی و مشابه طی سه مرحله بی هوازی، اختیاری و تکمیلی فاضلاب را تصفیه می نماید و پس از خروجی نیز جهت مصارف کشاورزی استفاده می گردد. به منظور مدیریت بهتر شبکه جمع آوری فاضلاب، ۱۶ ناحیه در مطالعات طراحی شبکه فاضلاب از ابتداء تعریف و بر همین اساس شبکه جمع آوری طراحی و به مرحله اجرا رسید (۲۴). شکل (۱) ناحیه بندی شبکه فاضلاب بیرجند را با توجه به وضعیت اجرایی آن نشان می دهد.



شکل (۱): وضعیت اجرایی شبکه فاضلاب در نواحی مختلف

در این مطالعه به منظور بررسی اثرات پارامترهای کیفی موجود در شبکه فاضلاب سه دوره نمونه برداری در بهمن ۱۳۹۲، اردیبهشت ۱۳۹۸ و مرداد ۱۴۰۱ در نوزده نقطه از شبکه فاضلاب مورد بهره برداری، انجام گرفت. انتخاب نقاط نمونه برداری بر مبنای ترکیبی از شاخص های مکانی و فنی بوده

تحلیل نرمال بودن از آزمون^۱ PPCC که ارایه دهنده قیاس گرافیکی از نتایج است (۲۵)، استفاده شد که نرمال بودن کلیه داده‌ها را تصدیق نمود. همچنین با توجه به نمونه‌برداری‌های انجام شده در سطح شبکه فاضلاب و برآوردهای مختلف، وجود داده‌های پرت محرز بوده که با استفاده از آزمون گرابس^۲ این سنجش انجام پذیرفت. در این تحلیل شناسایی داده‌های پرت تنها به منظور بررسی تغییرات زیاد داده‌ها در پهنه‌بندی انجام گردید. با توجه به نرمال نبودن برخی از غلظت‌ها در دوره‌های نمونه‌برداری از توابع Box-Cox در روش‌های زمین آماری برای نرمال کردن داده‌های مورد استفاده در پهنه‌بندی استفاده شد (۲۶). همچنین با توجه به وجود داده‌های پرت براساس آزمون در برخی از دوره‌های نمونه‌برداری پس از بررسی موقعیت مکانی نسبت به حذف یا قرار داشتن داده مورد نظر، تصمیم‌گیری شد که در تمام موارد داده‌های پرت جهت پهنه‌بندی مناسب تشخیص داده شدند. به منظور بررسی همبستگی بین غلظت پارامترهای کیفی اندازه‌گیری شده در شبکه فاضلاب بیرجند در هر دوره نمونه‌برداری، با توجه به ناپارامتریک بودن داده‌های کیفی و براساس فرض‌های آماری روش اسپیرمن به عنوان روش مناسب انتخاب گردید. به منظور پهنه‌بندی پارامترهای کیفی در شبکه فاضلاب شهر بیرجند با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS 10.1 و جعبه ابزار Geo-statistic Analyst ابتدا داده‌های مکانی را به صورت یک لایه اطلاعاتی به مدل معرفی کرده سپس جهت استفاده از روش‌های زمین آماری تحلیل واریوگرام را با استفاده از نرم‌افزار Gs+ انجام و در

نهایت پس از انتخاب واریوگرام مناسب پهنه‌بندی انجام گردید (۲۷). در ادامه، ارزیابی انواع مختلف واریوگرام (واریانس فاصله بین نقاط در یک ساختار فضایی طبیعی که وابستگی بین نقاط را نشان می‌دهد)، براساس شاخص‌های آماری ضریب تبیین و میزان انحراف خطا (RSS) برآورد شده است (۲۸ و ۲۹). در نهایت، به منظور بررسی دقیق و انتخاب یک روش مناسب جهت پهنه‌بندی پارامترهای کیفی اندازه‌گیری شده در شبکه فاضلاب شهر بیرجند، از روش Cross Validation برای ارزیابی چهار روش به کار برده شده استفاده گردید.

نتایج و بحث

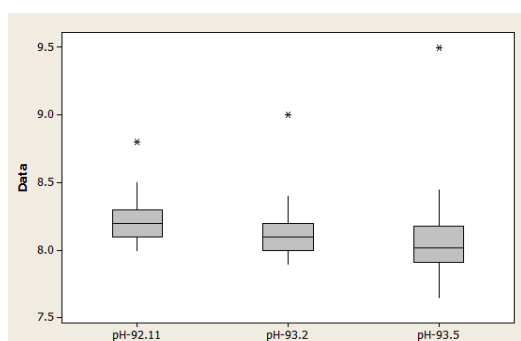
به منظور بررسی داده‌های ثبت شده از سوی آزمایشگاه آب و فاضلاب در خصوص کیفیت پارامترهای اندازه‌گیری شده، ابتدا تحلیل آماری داده‌ها با توجه به خصوصیات آماری مطابق جدول (۱) انجام شد و سپس به منظور بررسی داده‌ها نمودار جعبه‌ای داده‌ها به منظور شناسایی داده‌های مشکوک ترسیم گردید که نتایج نهایی حاکی از صحت داده‌های ثبت شده در هر سه دوره نمونه‌برداری می‌باشد (شکل‌های (۳) تا (۱۰)).

^۱ Probability plot correlation coefficient

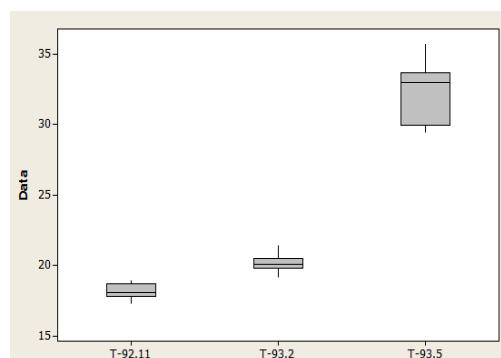
^۲ Grubbs' Test

جدول (۱): تحلیل آماری برخی از متغیرهای مورد آزمایش

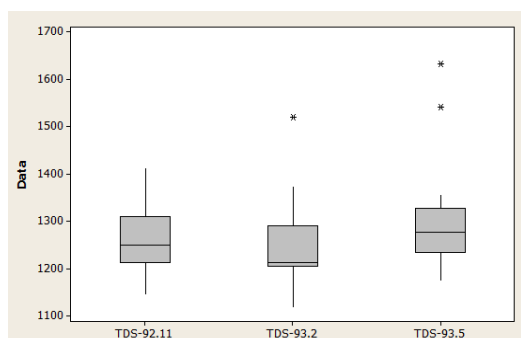
زمان نمونه برداری	بهمن ۱۳۹۲			اردیبهشت ۱۳۹۸			مرداد ۱۴۰۱		
پارامترهای کیفی پارامتر آماری	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	TDS (mg/l)	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	TDS (mg/l)	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	EC ($\mu\text{S/cm}$)
تعداد نمونه	۱۹	۱۹	۱۹	۱۹	۱۹	۱۹	۱۹	۱۹	۱۹
حداقل	۳۲۸	۶۹۰	۱۱۴۷	۳۲۰	۶۷۲	۱۱۲۰	۳۱۴	۶۱۲	۲۷۱۰
حداکثر	۷۸۱	۱۴۲۱	۱۴۱۲	۷۹۰	۱۴۷۳	۱۵۲۰	۸۱۳	۱۵۲۸	۳۷۷۰
میانگین	۵۴۳	۱۰۲۵	۱۲۶۳	۵۹۴/۱	۱۰۴۶/۱	۱۲۵۲/۲	۵۷۰/۵	۱۰۸۱/۲	۲۹۹۶/۸
میانه	۵۱۰	۹۲۰	۱۲۵۰	۵۰۱	۹۰۱	۱۲۱۴	۵۲۰	۹۵۵	۲۹۲۰
واریانس	۲۶۹۷/۵	۶۶۱۵۵/۶	۵۶۷۲/۸	۲۵۱۸۷/۱۶	۶۹۸۳۱/۱۶	۷۷۵۳/۹۲	۳۱۶۰۸/۶۰	۹۲۴۲۸/۰۶	۶۸۶۶۲/۸۱
انحراف معیار	۱۶۴/۲۵	۲۵۷/۲۱	۷۵/۳۲	۱۵۸/۷۰	۲۶۴/۲۶	۸۸/۰۶	۱۷۷/۷۹	۳۰۴/۰۲	۲۶۰/۰۴
ضریب تغییرات	۰/۳۰	۰/۲۵	۰/۰۶	۰/۲۹	۰/۲۵	۰/۰۷	۰/۳۱	۰/۲۸	۰/۰۹



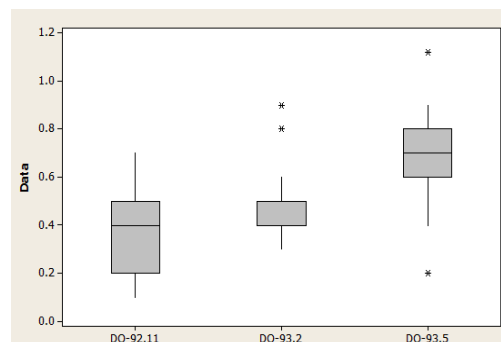
شکل (۴): نمودار جعبه‌ای pH



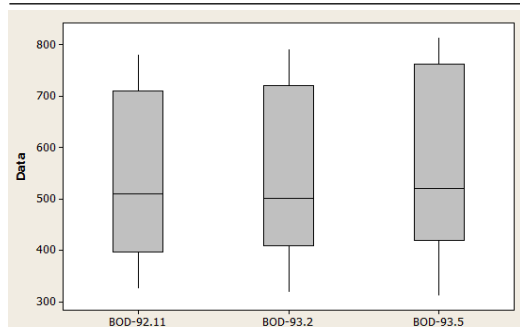
شکل (۳): نمودار جعبه‌ای دما



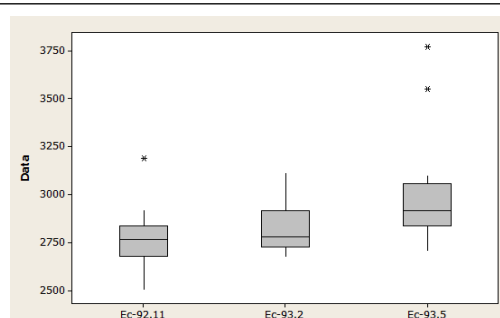
شکل (۶): نمودار جعبه‌ای TDS



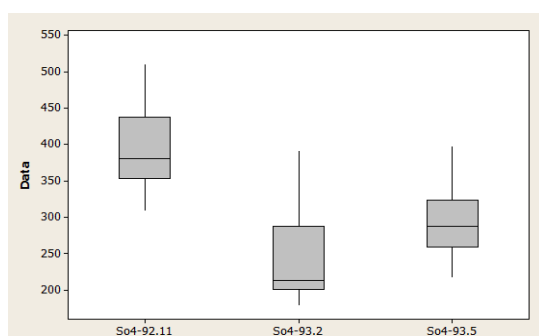
شکل (۵): نمودار جعبه‌ای DO



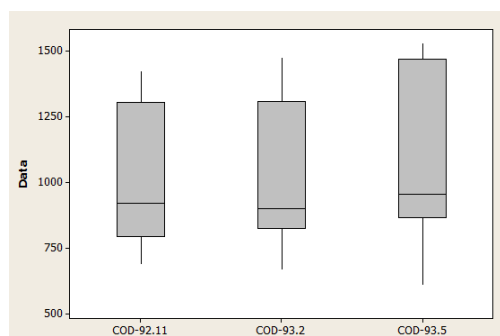
شکل (۸): نمودار جعبه‌ای BOD



شکل (۷): نمودار جعبه‌ای EC



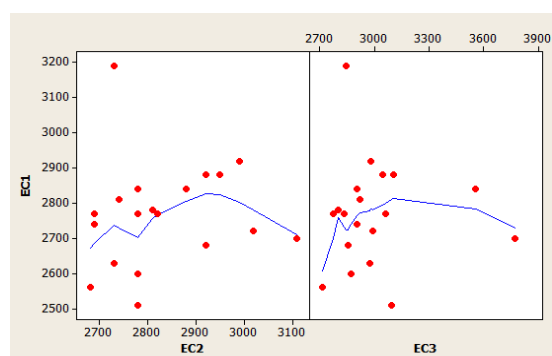
شکل (۱۰): نمودار جعبه‌ای سولفات



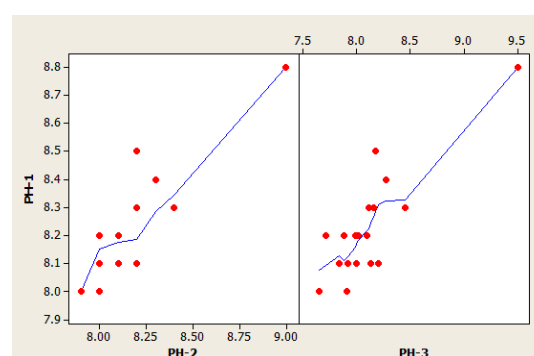
شکل (۹): نمودار جعبه‌ای COD

ماتریس، روند تغییرات کیفیت ارائه شد (شکل‌های (۱۱) تا (۲۰)). بر این اساس، روند تغییرات EC و نیتريت تا حدی کاهشی و سایر پارامترها در سه دوره نمونه‌برداری روند افزایشی داشته است.

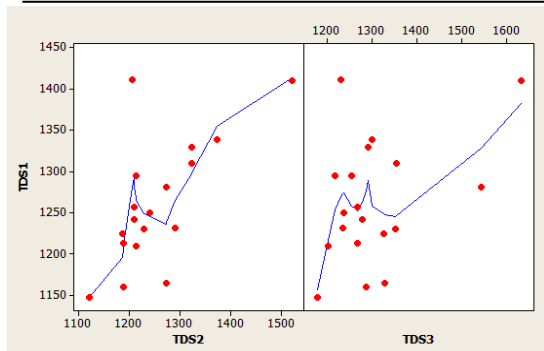
- بررسی تغییرات در بازه زمانی مورد مطالعه
مفهوم روند به معنای تغییرات کیفی یک پارامتر در طول زمان است. بنابراین؛ با توجه به سه دوره نمونه‌برداری روند افزایش، کاهشی یا عدم تغییر پارامترها مورد سنجش قرار گرفت و با استفاده از



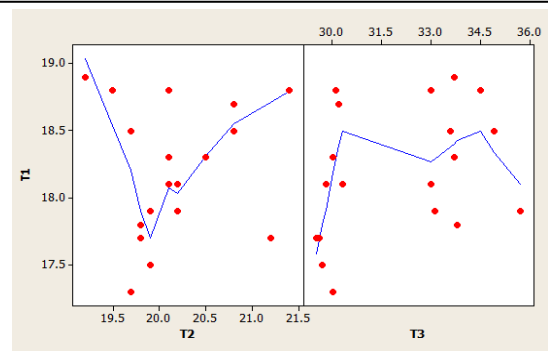
شکل (۱۲): تغییرات EC در سه دوره نمونه‌برداری



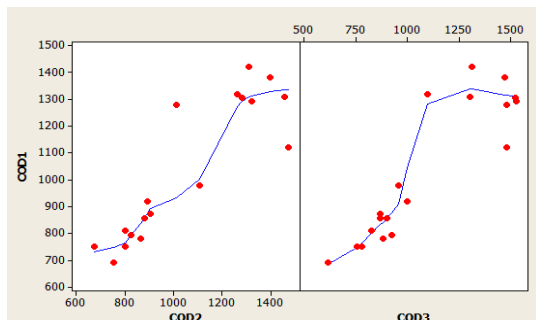
شکل (۱۱): تغییرات pH در سه دوره نمونه‌برداری



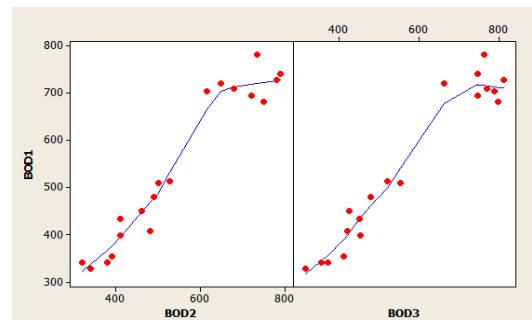
شکل (۱۴): تغییرات TDS در سه دوره نمونه برداری



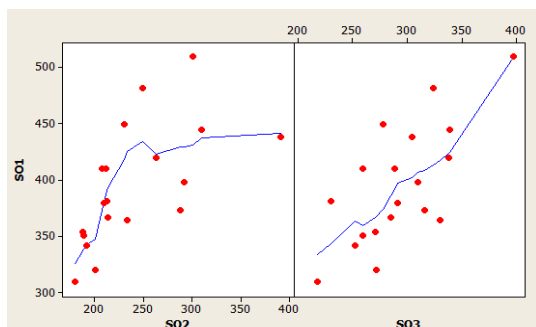
شکل (۱۳): تغییرات دما در سه دوره نمونه برداری



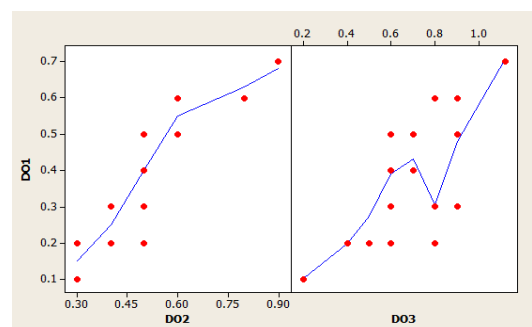
شکل (۱۶): تغییرات COD در سه دوره نمونه برداری



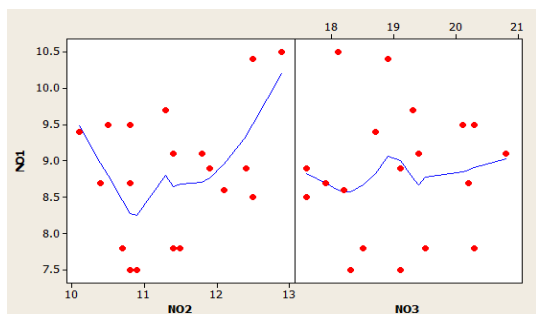
شکل (۱۵): تغییرات BOD در سه دوره نمونه برداری



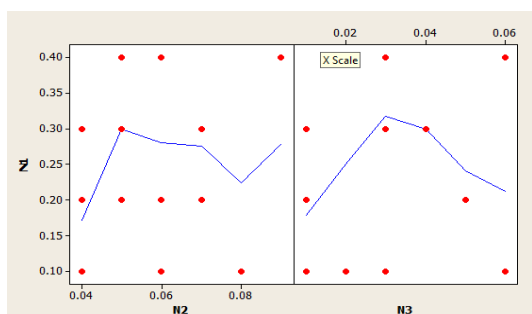
شکل (۱۸): تغییرات سولفات در سه دوره نمونه برداری



شکل (۱۷): تغییرات DO در سه دوره نمونه برداری



شکل (۲۰): تغییرات نیترات در سه دوره نمونه برداری



شکل (۱۹): تغییرات نیتريت در سه دوره نمونه برداری

فاضلاب نشان می دهند و مدل برگزیده نیز نشان داده شده است. خصوصیات هر یک از واریوگرام ها نیز در اشکال بیان شده است.

- ارزیابی واریوگرام

شکل های (۲۱) تا (۳۶) انواع مختلف تحلیل واریوگرام را در سه دوره نمونه برداری کیفی از شبکه

ارائه مدل پهنه‌بندی شبکه جمع‌آوری فاضلاب شهری بیرجند

بهم‌پور و احاراری

Model	Nugget Co	Sill Co + C	Range Parameter Ao	Effective Range	Proportion C/(Co+C)	r ²	RSS
☛ Spherical	16350.0000	43910.0000	8783.0000	8783.0000	0.628	0.283	7.174E+08
☛ Exponential	16300.0000	63700.0000	8860.0000	26580.0000	0.744	0.282	7.184E+08
☛ Linear	16799.8544	34526.2981	4089.9719	4089.9719	0.513	0.284	1.198E+11
☛ Linear to sill	17000.0000	54390.0000	8768.0000	8768.0000	0.687	0.284	7.164E+08
☛ Gaussian	19900.0000	70720.0000	6651.0000	11519.8699	0.719	0.275	7.249E+08

شکل (۲۲): تحلیل واریوگرام BOD در مرحله دوم نمونه‌برداری

Model	Nugget Co	Sill Co + C	Range Parameter Ao	Effective Range	Proportion C/(Co+C)	r ²	RSS
☛ Spherical	37800.0000	140800.0000	9110.0000	9110.0000	0.732	0.451	4.686E+09
☛ Exponential	36700.0000	215400.0000	9110.0000	27330.0000	0.830	0.441	4.777E+09
☛ Linear	38038.9761	104270.5771	4089.9719	4089.9719	0.635	0.464	1.522E+13
☛ Linear to sill	38500.0000	178900.0000	8757.0000	8757.0000	0.785	0.464	4.576E+09
☛ Gaussian	48500.0000	308000.0000	7719.0000	13369.7002	0.843	0.522	4.083E+09

شکل (۲۴): تحلیل واریوگرام COD در مرحله اول نمونه‌برداری

Model	Nugget Co	Sill Co + C	Range Parameter Ao	Effective Range	Proportion C/(Co+C)	r ²	RSS
☛ Spherical	65200.0000	174300.0000	9110.0000	9110.0000	0.626	0.237	1.339E+10
☛ Exponential	65800.0000	247700.0000	9110.0000	27330.0000	0.734	0.225	1.359E+10
☛ Linear	66075.9071	135449.4541	4089.9719	4089.9719	0.512	0.248	3.370E+13
☛ Linear to sill	66700.0000	213400.0000	8761.0000	8761.0000	0.687	0.248	1.319E+10
☛ Gaussian	75400.0000	361800.0000	7677.0000	13296.9540	0.792	0.321	1.191E+10

شکل (۲۶): تحلیل واریوگرام COD در مرحله سوم نمونه‌برداری

Model	Nugget Co	Sill Co + C	Range Parameter Ao	Effective Range	Proportion C/(Co+C)	r ²	RSS
☛ Spherical	0.00090	0.03920	3838.0000	3838.0000	0.977	0.778	3.989E-04
☛ Exponential	0.00460	0.11090	8928.0000	26784.0000	0.959	0.749	4.512E-04
☛ Linear	0.00641	0.04465	4089.9719	4089.9719	0.856	0.735	5.934E-03
☛ Linear to sill	0.00660	0.08770	8736.0000	8736.0000	0.925	0.735	4.771E-04
☛ Gaussian	0.00560	0.04040	1962.0000	3398.2837	0.861	0.816	3.309E-04

شکل (۲۸): تحلیل واریوگرام DO در مرحله دوم نمونه‌برداری

Model	Nugget Co	Sill Co + C	Range Parameter Ao	Effective Range	Proportion C/(Co+C)	r ²	RSS
☛ Spherical	17040.0000	34090.0000	9110.0000	9110.0000	0.500	0.007	1.989E+09
☛ Exponential	19030.0000	38070.0000	9110.0000	27330.0000	0.500	0.008	1.949E+09
☛ Linear	21115.9000	24503.0761	4089.9719	4089.9719	0.138	0.005	3.009E+09
☛ Linear to sill	18500.0000	37010.0000	9110.0000	9110.0000	0.500	0.005	1.972E+09
☛ Gaussian	21400.0000	42810.0000	9110.0000	15778.9829	0.500	0.000	1.978E+09

شکل (۳۰): تحلیل واریوگرام EC در مرحله اول نمونه‌برداری

Model	Nugget Co	Sill Co + C	Range Parameter Ao	Effective Range	Proportion C/(Co+C)	r ²	RSS
☛ Spherical	100.00000	66900.0000	201.0000	201.0000	0.999	0.000	2.173E+10
☛ Exponential	55500.0000	111100.0000	9110.0000	27330.0000	0.500	0.096	2.381E+10
☛ Linear	66885.5091	66885.5091	4089.9719	4089.9719	0.000	0.098	2.173E+10
☛ Linear to sill	5400.00000	66900.0000	201.0000	201.0000	0.919	0.000	2.173E+10
☛ Gaussian	62500.0000	125100.0000	9110.0000	15778.9829	0.500	0.101	2.297E+10

شکل (۳۲): تحلیل واریوگرام EC در مرحله سوم نمونه‌برداری

Model	Nugget Co	Sill Co + C	Range Parameter Ao	Effective Range	Proportion C/(Co+C)	r ²	RSS
☛ Spherical	0.00620	0.19240	9110.0000	9110.0000	0.968	0.423	0.0173
☛ Exponential	0.00400	0.32800	9110.0000	27330.0000	0.968	0.422	0.0173
☛ Linear	0.00670	0.12586	4089.9719	4089.9719	0.947	0.428	0.0701
☛ Linear to sill	0.00750	0.26100	8785.0000	8785.0000	0.971	0.428	0.0171
☛ Gaussian	0.02900	0.59900	8969.0000	15534.7637	0.952	0.421	0.0174

شکل (۳۴): تحلیل واریوگرام pH در مرحله دوم نمونه‌برداری

Model	Nugget Co	Sill Co + C	Range Parameter Ao	Effective Range	Proportion C/(Co+C)	r ²	RSS
☛ Spherical	19360.0000	42730.0000	8714.0000	8714.0000	0.547	0.238	6.588E+08
☛ Exponential	19400.0000	60440.0000	9086.0000	27258.0000	0.679	0.237	6.592E+08
☛ Linear	19767.9661	34867.7951	4089.9719	4089.9719	0.433	0.238	9.575E+10
☛ Linear to sill	19900.0000	51850.0000	8763.0000	8763.0000	0.616	0.238	6.582E+08
☛ Gaussian	22400.0000	65750.0000	6660.0000	11535.4584	0.659	0.229	6.864E+08

شکل (۲۱): تحلیل واریوگرام BOD در مرحله اول نمونه‌برداری

Model	Nugget Co	Sill Co + C	Range Parameter Ao	Effective Range	Proportion C/(Co+C)	r ²	RSS
☛ Spherical	24140.0000	48290.0000	9110.0000	9110.0000	0.500	0.101	9.554E+08
☛ Exponential	26190.0000	56620.0000	9110.0000	27330.0000	0.537	0.098	9.415E+08
☛ Linear	26638.4741	37611.7741	4089.9719	4089.9719	0.292	0.104	6.904E+10
☛ Linear to sill	26220.0000	52450.0000	9110.0000	9110.0000	0.500	0.104	9.353E+08
☛ Gaussian	28300.0000	77700.0000	8233.0000	14259.9743	0.636	0.123	9.150E+08

شکل (۲۳): تحلیل واریوگرام BOD در مرحله سوم نمونه‌برداری

Model	Nugget Co	Sill Co + C	Range Parameter Ao	Effective Range	Proportion C/(Co+C)	r ²	RSS
☛ Spherical	35600.0000	133900.0000	8667.0000	8667.0000	0.734	0.276	9.542E+09
☛ Exponential	35700.0000	209000.0000	9059.0000	27177.0000	0.829	0.277	9.532E+09
☛ Linear	37589.5261	100858.4011	4089.9719	4089.9719	0.627	0.275	1.417E+13
☛ Linear to sill	38200.0000	171900.0000	8763.0000	8763.0000	0.778	0.275	9.556E+09
☛ Gaussian	49500.0000	310000.0000	8306.0000	14386.4140	0.840	0.252	9.855E+09

شکل (۲۵): تحلیل واریوگرام COD در مرحله دوم نمونه‌برداری

Model	Nugget Co	Sill Co + C	Range Parameter Ao	Effective Range	Proportion C/(Co+C)	r ²	RSS
☛ Spherical	0.01710	0.06320	8889.0000	8889.0000	0.729	0.367	1.355E-03
☛ Exponential	0.01690	0.09770	9110.0000	27330.0000	0.827	0.360	1.371E-03
☛ Linear	0.01769	0.04729	4089.9719	4089.9719	0.626	0.370	4.618E-03
☛ Linear to sill	0.01790	0.08060	8752.0000	8752.0000	0.778	0.370	1.349E-03
☛ Gaussian	0.02260	0.16260	8650.0000	14982.2395	0.861	0.388	1.310E-03

شکل (۲۷): تحلیل واریوگرام DO در مرحله اول نمونه‌برداری

Model	Nugget Co	Sill Co + C	Range Parameter Ao	Effective Range	Proportion C/(Co+C)	r ²	RSS
☛ Spherical	0.03330	0.06670	9110.0000	9110.0000	0.501	0.026	2.670E-03
☛ Exponential	0.03720	0.07450	9110.0000	27330.0000	0.501	0.028	2.318E-03
☛ Linear	0.04481	0.04481	4089.9719	4089.9719	0.000	0.000	3.1967E-03
☛ Linear to sill	0.03620	0.07250	9110.0000	9110.0000	0.501	0.031	2.448E-03
☛ Gaussian	0.04190	0.08390	9110.0000	15778.9829	0.501	0.038	2.167E-03

شکل (۲۹): تحلیل واریوگرام DO در مرحله سوم نمونه‌برداری

Model	Nugget Co	Sill Co + C	Range Parameter Ao	Effective Range	Proportion C/(Co+C)	r ²	RSS
☛ Spherical	3550.00000	12000.0000	301.0000	301.0000	0.704	0.002	6.366E+08
☛ Exponential	4110.00000	11970.0000	91.0000	273.0000	0.657	0.002	6.369E+08
☛ Linear	11876.6104	11876.6104	4089.9719	4089.9719	0.000	0.395	6.379E+08
☛ Linear to sill	4860.00000	12000.0000	243.0000	243.0000	0.595	0.002	6.366E+08
☛ Gaussian	11090.0000	22190.0000	9110.0000	15778.9829	0.500	0.464	7.142E+08

شکل (۳۱): تحلیل واریوگرام EC در مرحله دوم نمونه‌برداری

Model	Nugget Co	Sill Co + C	Range Parameter Ao	Effective Range	Proportion C/(Co+C)	r ²	RSS
☛ Spherical	0.01310	0.08820	6977.0000	6977.0000	0.851	0.317	4.467E-03
☛ Exponential	0.01230	0.14460	9075.0000	27225.0000	0.915	0.320	4.448E-03
☛ Linear	0.01388	0.06196	4089.9719	4089.9719	0.776	0.320	0.0131
☛ Linear to sill	0.01420	0.11640	6777.0000	6777.0000	0.876	0.320	4.448E-03
☛ Gaussian	0.02330	0.24560	8940.0000	15484.5342	0.905	0.295	4.607E-03

شکل (۳۳): تحلیل واریوگرام pH در مرحله اول نمونه‌برداری

Model	Nugget Co	Sill Co + C	Range Parameter Ao	Effective Range	Proportion C/(Co+C)	r2	RSS
☒ Spherical	0.00460	0.23020	740.0000	740.0000	0.980	0.349	0.0344
☐ Exponential	0.17830	0.35760	9110.0000	27330.0000	0.501	0.006	0.0543
☐ Linear	0.20886	0.22061	4089.9719	4089.9719	0.053	0.002	0.0532
☐ Linear to sill	0.17340	0.34780	9110.0000	9110.0000	0.501	0.002	0.0567
☐ Gaussian	0.20090	0.40280	9110.0000	15778.9829	0.501	0.005	0.0555

شکل (۳۶): تحلیل واریوگرام دما در مرحله اول نمونه برداری

Model	Nugget Co	Sill Co + C	Range Parameter Ao	Effective Range	Proportion C/(Co+C)	r2	RSS
☐ Spherical	0.02900	0.49200	9110.0000	9110.0000	0.941	0.417	0.108
☒ Exponential	0.02200	0.83400	9110.0000	27330.0000	0.974	0.417	0.108
☐ Linear	0.03213	0.32599	4089.9719	4089.9719	0.901	0.421	0.430
☐ Linear to sill	0.03400	0.65800	8764.0000	8764.0000	0.948	0.421	0.108
☐ Gaussian	0.08700	1.47300	8914.0000	15439.5009	0.941	0.403	0.111

شکل (۳۵): تحلیل واریوگرام pH در مرحله سوم نمونه برداری

- ارزیابی روش های مختلف درونیابی

براساس نتایج همبستگی بین پارامترهای کیفی اندازه گیری شده و درونیابی شده به روش های مختلف درونیابی و مقدار ضریب تبیین بین این دو

مقدار، روش بیزین کریجینگ به عنوان روش مناسب جهت پهنه بندی کیفی در شبکه های فاضلاب انتخاب شد (جداول (۲) و (۳)).

جدول (۲): همبستگی بین مقدار مشاهده شده و برآوردی در درونیابی شبکه فاضلاب در مرحله سوم نمونه برداری

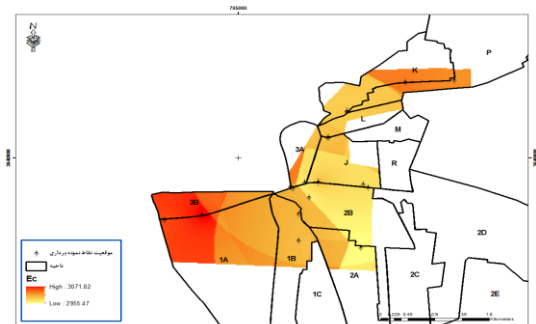
نام پارامتر کیفی	درونیابی IDW	درونیابی RBF	درونیابی Ordinary Kriging	درونیابی Bayesian Kriging
pH	۰/۶۳	۰/۵۹	۰/۶۳	۰/۶۷
T	۰/۷۷	۰/۷۳	۰/۷۵	۰/۷۹
DO	۰/۵۴	۰/۵۴	۰/۵۵	۰/۵۶
TDS	۰/۶۲	۰/۵۸	۰/۶۳	۰/۶۴
EC	۰/۶۴	۰/۶۳	۰/۶۴	۰/۶۵
BOD	۰/۴	۰/۳۸	۰/۴۰	۰/۴۵
COD	۰/۳۷	۰/۳۹	۰/۴۲	۰/۴۷
سولفات	۰/۴	۰/۴۲	۰/۴۱	۰/۴۷
نیتريت	۰/۵۶	۰/۴۹	۰/۵۴	۰/۵۵
نترات	۰/۵۹	۰/۵۶	۰/۵۹	۰/۶۷

جدول (۳): ضریب تبیین بین مقدار مشاهده شده و برآوردی در درونیابی شبکه فاضلاب در مرحله سوم نمونه برداری

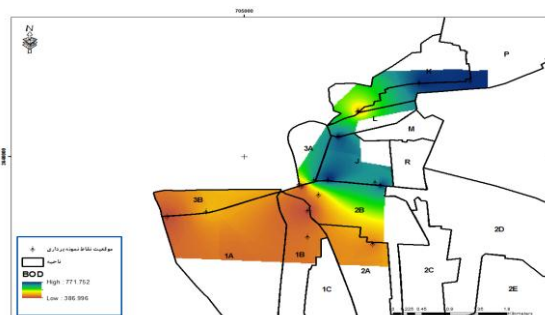
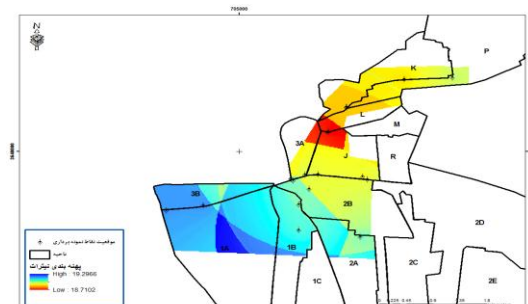
نام پارامتر کیفی	درونیابی IDW	درونیابی RBF	درونیابی Ordinary Kriging	درونیابی Bayesian Kriging
pH	۰/۷۲	۰/۷۵	۰/۸۴	۰/۸۷
T	۰/۹۰	۰/۹۲	۰/۹۴	۰/۹۵
DO	۰/۶۲	۰/۶۶	۰/۶۸	۰/۷۲
TDS	۰/۷۰	۰/۷۰	۰/۷۲	۰/۷۵
EC	۰/۷۱	۰/۷۶	۰/۷۶	۰/۸۰
BOD	۰/۵۷	۰/۵۵	۰/۶۲	۰/۶۳
COD	۰/۵۹	۰/۶۳	۰/۶۶	۰/۷۰
سولفات	۰/۵۱	۰/۵۵	۰/۶۰	۰/۶۱
نیتريت	۰/۶۶	۰/۵۸	۰/۶۷	۰/۷۴
نترات	۰/۷۱	۰/۷۳	۰/۷۶	۰/۸۵

نتایج پهنه‌بندی پارامترهای کیفی در شبکه فاضلاب

با توجه به نتایج استخراجی از ارزیابی واریوگرام‌ها و انتخاب روش بیزین کریجینگ به عنوان روش مناسب جهت درونیابی در شبکه‌های فاضلاب، پهنه‌بندی پارامترهای کیفی در سه مرحله نمونه‌برداری انجام شد (شکل‌های (۳۷) تا (۴۶)).

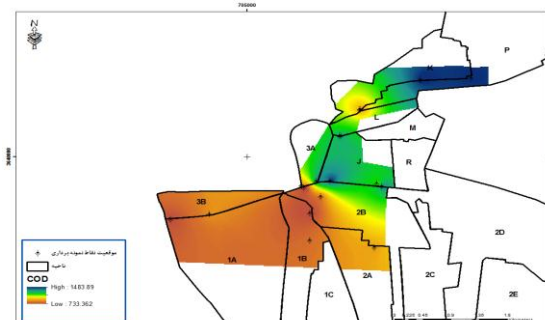
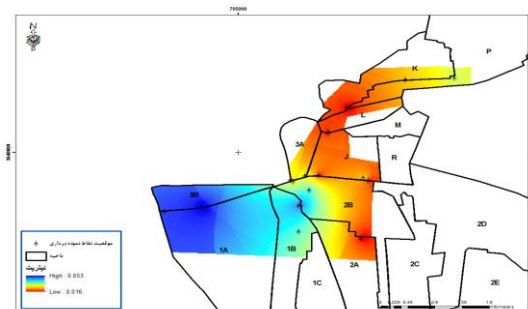


شکل (۴۰): پهنه‌بندی EC پس از سه نوبت نمونه‌برداری با روش درونیابی کریجینگ



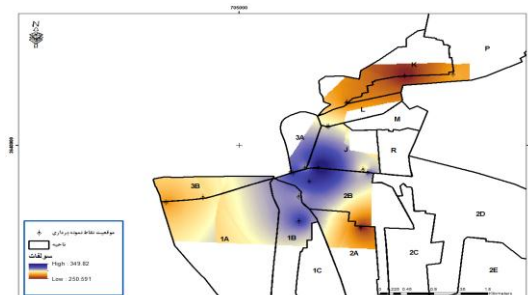
شکل (۳۷): پهنه‌بندی BOD پس از سه نوبت نمونه‌برداری با روش درونیابی کریجینگ

شکل (۴۱): پهنه‌بندی نیترات پس از سه نوبت نمونه‌برداری با روش درونیابی کریجینگ



شکل (۳۸): پهنه‌بندی COD پس از سه نوبت نمونه‌برداری با روش درونیابی کریجینگ

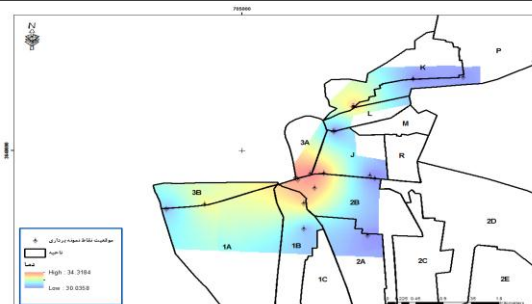
شکل (۴۲): پهنه‌بندی نیتريت پس از سه نوبت نمونه‌برداری با روش درونیابی کریجینگ



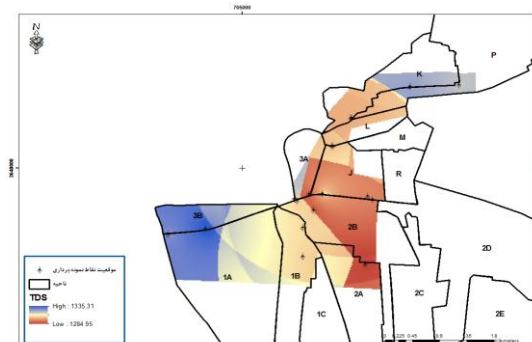
شکل (۳۹): پهنه‌بندی DO پس از سه نوبت نمونه‌برداری با روش درونیابی کریجینگ

شکل (۴۳): پهنه‌بندی سولفات پس از سه نوبت نمونه‌برداری با روش درونیابی کریجینگ

کلیدی را داشته و با توجه به بالا بودن غلظت BOD در تمام شبکه به صورتی که استاندارد لازم برای این غلظت ۲۵۰ میلیگرم در لیتر تعریف شده، نیازمند یک سیستم مدیریتی جهت ایمن سازی شبکه فاضلاب شهر بیرجند می باشد. همچنین با توجه به بالا بودن BOD، غلظت COD نیز بالا می باشد. تحلیل سایر پارامترهای کیفی نشان می دهد که روند انتقال بار آلودگی از نقاط با ارتفاع بیشتر به سمت نقاط با ارتفاع کمتر در جریان می باشد و علاوه بر آن حجم آلودگی و بار آلودگی بسیار زیادی در شبکه های فاضلاب و بخصوص در شبکه های فرعی در جریان است که این موارد می تواند به عنوان یک معضل بزرگ زیستی در سالیان آتی تلقی شود. با توجه به تامین آب شرب این شهر از منابع آب زیرزمینی و احتمال آلودگی آبخوان توسط بخش فرسوده شبکه فاضلاب نیاز مبرم به یک تصمیم مدیریتی صحیح جهت رفع این مشکل وجود دارد. به همین دلیل لازم است تا نسبت به تعویض خطوط فرسوده اقدام فوری صورت گیرد. بدیهی است که شبکه جمع آوری فاضلاب در تصفیه فاضلاب نقش خاصی ایفا نمی کند، با این حال اطمینان از صحت انتقال و عدم انتشار آلودگی به خاک و آب زیرزمینی و همچنین طراحی شبکه به نحوی که فاضلاب جمع آوری شده در کوتاهترین زمان ممکن به محل تصفیه خانه برسد، از ضرورت های مدیریتی می باشد. همانطور که تابش و مدنی در سال ۲۰۰۶ اشاره داشته اند، عملکرد سامانه های جمع آوری و انتقال فاضلاب بر میزان تاب آوری جامعه اثرگذار است (۱۹). نتایج این تحقیق با مطالعه صورت گرفته توسط خوان گارسیا و همکاران در سال ۲۰۱۷



شکل (۴۴): پهنه بندی دما پس از سه نوبت نمونه برداری با روش درون یابی کریجینگ



شکل (۴۵): پهنه بندی TDS پس از سه نوبت نمونه برداری با روش درون یابی کریجینگ



شکل (۴۶): پهنه بندی pH پس از سه نوبت نمونه برداری با روش درون یابی بیزین کریجینگ

نتیجه گیری

نتایج پهنه بندی غلظت پارامترهای مختلف در شبکه فاضلاب حاکی از بالا بودن غلظت BOD و COD در منطقه شمال شهر و بالا بودن غلظت DO، EC، نیترات، نیتريت، TDS و pH در انتهای شبکه فاضلاب بود. بطور کلی سه عامل درجه حرارت، pH و BOD در خوردگی شبکه های فاضلاب نقش

- [2] Bahmanpour, H., 2015, Wastewater treatment, Islamic Azad University, Shahrood Branch, pp. 221. (in Persian)
- [3] Gedam, A., Mangulkar, S., Gandhi, B., 2016, Prediction of sewer pipe main condition using the linear regression approach, Journal of Geoscience and Environment Protection, 4, 100.
- [4] Vladeanu, G.J., Matthews, J.C., 2019, Consequence-of-failure model for risk-based asset management of wastewater pipes using AHP, Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice, 10(2), DOI: 10.1061/(ASCE)PS.1949-1204.0000370.
- [5] Guzmán-Fierror, J., Charry, S., González, I., Pena-Heredia, F., Hernandez, N., Luna-Acosta, A., Torres, A., 2020, Bayesian network-based methodology for selecting a cost-effective sewer asset management model, Water Science and Technology, 81, 2422.
- [6] Kabir, G., Balek, N.B.C., Tesfamariam, S., 2018, Sewer structural condition prediction integrating bayesian model averaging with logistic regression, Journal of Performance of Constructed Facilities, 32(3), DOI: 10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.000116.
- [7] Daher, S., Zayed, T., Elmasry, M., Hawari, A., 2018, Determining relative weights of sewer pipelines' components and defects, Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice, 9(1), DOI: 10.1061/(ASCE)PS.1949-1204.00002.
- [8] Diao, K., Sweetapple, C., Farmani, R., Fu, G., Ward, S., Butler, D., 2016, Global resilience analysis of water distribution systems, Water Research, 106, 383.
- [9] Juan-Garcia, P., Butler, D., Comas, J., Darch, G., Sweetapple, C., Thornton, A., Corominas, L., 2017, Resilience theory incorporated into urban wastewater systems management, State of the art, Water Research, 115, 149.
- [10] Mugume, S.N., Gomez, D.E., Fu, G., Farmani, R., Butler, D., 2015, A global analysis approach for investigating structural resilience in urban drainage systems, Water Research, 81, 15.
- [11] Amini, M.R., Haji Kandi, H., 2021, Evaluation of sewage collection network vulnerability by Analytical Hierarchy Process method (Case study: sewerage collection network implemented in a part of District 5 of

مطابقت دارد. چرا که آنان نیز بیان داشتند جلوگیری از این گونه اختلالات عملکردی وابسته به بهره‌برداری و نگهداری این زیرساخت است که با شناخت نقطه‌های بحرانی، می‌توان با انجام بازرسی‌های مبتنی بر وضعیت سامانه، عملکرد آن را به میزان قابل توجهی افزایش داده و تاب‌آوری سامانه را بهبود بخشید (۹). از سوی دیگر، نتایج این تحقیق با مطالعه عباسی و همکاران در سال ۱۴۰۲ نیز همسو است. چرا که آنان نیز بر اهمیت شناخت دقیق نقاط قوت و ضعف و همچنین ریسک‌های شبکه فاضلاب شهری برای مدیریت بحران در مواقع اضطراری تاکید داشتند (۲۲). براساس نتایج نهایی خط شبکه فاضلاب در مرکز شهر به عنوان خط بحرانی از نظر کیفی و زیست محیطی معرفی می‌شود و در صورت عدم برنامه‌ریزی سایر خطوط شبکه نیز از حالت بحران به خطر ارتقاء خواهند یافت. براساس نتایج بدست آمده از روش درون‌یابی و بالا بودن غلظت BOD و COD در شبکه فاضلاب رو مشخص می‌شود که تجزیه مواد آلی به کندی انجام شده و به منظور سرعت بخشیدن در تجزیه بیولوژیکی اعمال راهکارهای هیدرولیکی در شبکه فاضلاب بسیار مهم خواهد بود تا عمل انتقال با سرعت بیشتری انجام شود و در نتیجه فرآیند تصفیه زودتر آغاز شود.

تعارض منافع

نویسندگان هیچ گونه تعارض منافی برای اعلام ندارند.

منابع

- [1] Bizier, P., 2007, Gravity sanitary sewer design and construction (ASCE manuals and reports on engineering practice no. 60 & WEF manual of practice no. FD-5), 2nd Edition, American Society of Civil Engineers (ASCE).

- [21] Omid Arjenaki, M., Zarif Sanayei, H.R., Heidarzadeh, H., 2021, Investigation of performance and determination of optimal dimensions of surface runoff collection network using SWMM model, *Amirkabir Journal of Civil Engineering*, 53, 2561. (in Persian)
- [22] Abbasi, O., Hosseini, S.A., Aqebat Bekheir, H., 2023, Evaluation of the pathology of the operation of the sewer collection network with the fishbone theory approach, *Journal of Resilient City*, 6(2), 35. (in Persian)
- [23] Vaghei, R., 2012, Investigating corrosion in sewage installations and solutions to it, *Water and Wastewater Company of Southern Khorasan Province*. (in Persian)
- [24] Sousa, V., Ferreira, F., Almeida, N., Saldanha, J., Martins, J., Teixeira, A., 2009, A simplified technical decision support tool for the asset management of sewer networks, *Water Asset Management International*, 5(1), 3.
- [25] Zug, M., Girard, R., Phan, L., Rossi, L., Bellefleur, D., 1998, COD modelling in sewer networks, *Water Science and Technology*, 38, 10, 49.
- [26] Bakhshizadeh, F., Jelokhani-Niaraki, M.R., Mahmoudi, S., 2022, Production of potential blockage event map for urban sewer networks using neural network and GIS (Case study: Region 2 of ABFA of Tehran city), *Journal of Water and Wastewater*, 32(6), 115. (in Persian)
- [27] Anderson, M.P., Woessner, W.W., Hunt, R.J., 2015, *Applied groundwater modeling: Simulation of flow and advective transport*, 2nd Edition, Elsevier.
- [28] Herzog, A., 2007, *Transient groundwater modeling in Peri-Urban Kampala, Uganda*. (Master Thesis), Department of Land and Water Resource Engineering, Sweden.
- [29] Pourhaghi, A., Radmanesh, F., Maleki, A., 2015, Simulation of Delfan-Lorestan aquifer and investigation of management scenarios by using MODFLOW model, *Journal of Water and Soil*, 29, 886. (in Persian)
- Tehran Municipality), *Iranian Water Research Journal*, 15(2), 41.
- [12] Ghavami, S.M., Borzooei, Z., Maleki, J., 2020, An effective approach for assessing risk of failure in urban sewer pipelines using a combination of GIS and AHP-DEA, *Process Safety and Environmental Protection*, 133, 275.
- [13] Güçlü, D., Dursun, Ş., 2010, Artificial neural network modeling of a large-scale wastewater treatment plant operation, *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 33, 1051.
- [14] Hekmatian, A., Eshtehardiha, H., 2010, Pretreatment of sewage in sewage treatment plants is a new step towards reducing costs and increasing the efficiency of sewage treatment plants, 3rd National Conference on Operation and Maintenance of Water and Waste Water Systems, Shahid Beheshti University, 23 February, Tehran, Iran. (in Persian)
- [15] Hvitved-Jacobsen, T., Vollertsen, J., Nielsen, A.H., 2001, *Sewer processes - microbial and chemical process engineering of sewer networks*, 1st Edition, CRC Press.
- [16] Liang, L.Y., Thompson, R.G., Young, D.M., 2004, Optimizing the design of sewer networks using genetic algorithms and tabu search, *Engineering, Construction and Architectural Management*, 11(2), 101
- [17] Khani, M.R., Yaghmayian, K., Hojati, M., 2015, *Wastewater engineering: Treatment and reuse (first part)*, (Translation), Authors: Metcalf and Eddy, 2nd Edition, Khaniran Press. (in Persian)
- [18] Ranković, V., Radulović, J., Radojević, I., Ostojić, A., Čomić, L., 2010, Neural network modeling of dissolved oxygen in the Gruža reservoir, Serbia, *Ecological Modeling*, 221, 1239.
- [19] Tabesh, M., Madani, S., 2006, A performance indicator for wastewater collection systems, *Water Practice & Technology*, 1(4), wpt2006079.
- [20] Kamali, B., Ziaei, A.N., Beheshti, A.A., Farmani, R., 2021, Global resilience analysis in urban wastewater collection networks (Case study: Valiasr town, Torbat Heydariyeh), *Journal of Hydraulics*, 16(3), 55. (in Persian)

“Research article”

Zoning of wastewater quality fluctuations in the Birjand city collection network

Hooman Bahmanpour^{1*}, Farkhondeh Ahrari²

¹Department of HSE, Sha. C., Islamic Azad University, Shahrood, Iran

²Department of Chemical Engineering, Sha. C., Islamic Azad University, Shahrood, Iran

*Corresponding author: h.bahmanpour@srbiau.ac.ir

(Received: 7 February 2025, Accepted: 27 March 2025)

Abstract

This research aimed to investigate the quality status of the Birjand city wastewater network and develop a zoning model. Over three sampling periods, 10 quality parameters were measured at 19 points within the urban wastewater network. Following statistical analysis, variogram analysis was conducted using GS+ software to facilitate interpolation methods. Appropriate zoning was then performed using the Cross Validation method with ArcGIS 10.1 software and the Geo-statistical analyst toolbox. To determine the most suitable estimation method, sensitivity analysis was conducted using two statistical approaches. Correlation analysis was performed using the Spearman method, which consistently demonstrated the superiority of the Bayesian Kriging method in zoning accuracy over other methods. The zoning results obtained through Bayesian Kriging indicated high BOD and COD concentrations in the northern region of the city, along with elevated EC levels, increased nitrate, decreased nitrite, and high TDS and pH at the endpoint of the sewage network. The presence of high BOD and COD concentrations suggests slow organic matter decomposition. To accelerate biological decomposition, implementing management solutions, particularly hydraulic system improvements in the sewage network of Birjand, is crucial to initiating the treatment process earlier.

Conflict of interest: None declared.

Key words: Wastewater network, Interpolation, Sewage zoning, Birjand