

Research Paper

مقاله پژوهشی

Modeling and Forecasting the Average Water Consumption of Each Urban Household Unit Affected by the COVID-19 Pandemic: A Case Study of Mazandaran Province

مدل سازی و پیش بینی متوسط مصرف آب هر واحد خانگی شهری متأثر از همه گیری کووید-۱۹: مطالعه موردی استان مازندران

Masoumeh Shirozhan^{1*}, Robabeh Kazemi² and Mohammad Ali Ramezani²

معصومه شیروازن^{۱*}، ربابه کاظمی^۲ و محمدعلی رمضانی^۳

1- Ph.D. in Statistics, Planning and Budgeting Expert, Water and Wastewater Company of Mazandaran Province, Sari, Iran.

۱- دکترای آمار، کارشناس برنامه ریزی و بودجه، شرکت آب و فاضلاب استان مازندران، ساری، ایران.

2- B.Sc. of Information Technology, Planning and Budgeting Expert, Water and Wastewater Company of Mazandaran Province, Sari, Iran.

۲- کارشناسی فناوری اطلاعات، کارشناس برنامه ریزی و بودجه، شرکت آب و فاضلاب استان مازندران، ساری، ایران.

3- Head of Planning and Programming Department, Water and Wastewater Company of Mazandaran Province, Sari, Iran.

۳- رئیس گروه طرح و برنامه، شرکت آب و فاضلاب استان مازندران، ساری، ایران.

*Corresponding Author, Email: ms.shirozhan@gmail.com

*نویسنده مسئول، ایمیل: ms.shirozhan@gmail.com

Received: 25/10/2024

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۰۴

Revised: 26/12/2024

تاریخ اصلاح: ۱۴۰۳/۱۰/۰۶

Accepted: 29/01/2025

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۱۰

© IWWA

© انجمن آب و فاضلاب ایران

Abstract

چکیده

Modeling and forecasting water consumption have long been a key focus of research. While various time series models have been developed to fit average water consumption data, the COVID-19 pandemic with its profound impact on lifestyles and consumption patterns has introduced new challenges for accurate modeling. This study investigates the pandemic's effect on modeling the average water consumption per household unit. It is demonstrated that the COVID-19 intervention represents a significant structural break in water consumption data, and failing to account for it introduces bias and forecasting error. Utilizing an intervention time series analysis for the periods before and after the pandemic, this research studies the average water consumption in the urban sector of Mazandaran province and provides a three-year forecast. The predictions were generated using a segmented regression model with a seasonal trend, based on an inverse-Gaussian distribution. The model's efficiency and adequacy were rigorously validated through residual analysis. The results from the proposed model indicate that, after an initial surge and a peak during the epidemic, average water consumption is expected to return to a pre-existing downward trend, which is projected to continue in the coming years.

مدل سازی و پیش بینی حجم مصرف آب از دیرباز مورد توجه و مطالعه محققین قرار گرفته است. تاکنون مدل های سری زمانی مختلفی برای برازش متوسط مصرف آب معرفی شده است. همه گیری کووید-۱۹ و تأثیر آن بر سبک زندگی و تغییر الگوی مصرف، در مدل سازی متوسط مصرف آب نیز مؤثر است. از این رو در این مقاله، تأثیر همه گیری بر مدل سازی متوسط مصرف آب هر واحد خانگی بررسی شده است. طرح مداخله ای کووید-۱۹ در مدل سازی مصرف آب تأثیر معناداری دارد و حذف اثر همه گیری، باعث ایجاد اربیبی و خطای پیش بینی می شود؛ با در نظر گرفتن دو برهه پیش و پس از همه گیری در سری زمانی مداخله ای، متوسط مصرف آب در استان مازندران، بخش شهری مطالعه شده و مقادیر سه سال آتی آن پیش بینی شده است. مقادیر متوسط مصرف آب با استفاده از مدل رگرسیون قطعه ای با روند فصلی براساس توزیع معکوس گوسین پیش بینی و کارایی و کفایت مدل نیز براساس آنالیز باقی مانده های مدل بررسی می شود. طبق مدل پیشنهادی، متوسط مصرف آب خانگی، پس از یک دوره هیجانی و اوج گیری در دوران همه گیری، به روال نزولی باز می شود و در سال های آتی دوباره روند نزولی آن مشاهده می شود.

Keywords: Water Units, Forecasting, Segmented Regression, Per Capita Consumption, Intervention Plan.

کلمات کلیدی: آحاد آب، پیش بینی، رگرسیون قطعه ای، سرانه مصرف، طرح مداخله ای.

قابل توجهی را در رفتار خانوارها در مصرف آب ایجاد کرده است که در مناطق جنوب و شرق انگلیس در بالاترین حد خود قرار دارد (Abu-Bakar et al., 2021). نتایج بیانگر این است که درک تأثیر الگوی رفتاری تقاضای آب در زمان همه‌گیری و قرنطینه، می‌تواند دقت پیش‌بینی تقاضا را بهبود بخشد.

در پژوهش دیگری مصرف آب پیش و پس از همه‌گیری در ۱۴ ساختمان مسکن اجتماعی واقع در جیون‌ویل در جنوب برزیل مقایسه شد (Cominato et al., 2021). داده‌های تله‌متری از هر آپارتمان در طول همه‌گیری به‌صورت ساعتی جمع‌آوری شده و برای بررسی حجم مصرف آب در طی همه‌گیری، از آزمون ویلکاکسون-من-ویتنی و مدل خطی تعمیم یافته (GLM)^۱ با اثرات مختلط استفاده شد. نتایج مؤید آن بود که همه‌گیری کووید-۱۹ بر مصرف روزانه آب تأثیرگذار بوده و منجر به افزایش اندک و درعین حال قابل توجه تقاضا در سه ماهه اول دوره همه‌گیری شده است.

رضازاده و همکاران (۱۴۰۱)، بررسی مکانی تأثیر شیوع کووید-۱۹ بر مصرف آب را انجام دادند. آن‌ها دوره پیش از شیوع کووید-۱۹ از ابتدای سال ۱۳۹۵ تا بهمن ۱۳۹۸ و دوره پس از شیوع از اسفند سال ۱۳۹۸ تا بهمن سال ۱۳۹۹ در شهر شبستر از استان آذربایجان شرقی را در نظر گرفتند. مراجع دیگر در این زمینه عبارتند از: (Kalbusch et Yunus et al., 2020; Bhowmick et al., 2020; Nemat and Tran, 2022; al., 2020; محمدزاده و مخدومی، ۱۴۰۱).

مدل سری‌های زمانی منقطع (ITS)^۲ برای ارزیابی تأثیر مداخله در داده‌ها شامل مؤلفه‌های پیش و پس از مداخله، به‌کار برده می‌شود. روش ITS، امکان ارزیابی آماری تأثیر یک مداخله برحسب تأثیرات آنی، گذرا یا بلندمدت را فراهم می‌آورد که مدل‌های کلاسیک مانند مدل‌های خودبازگشتی میانگین متحرک (ARMA) و حافظه طولانی کوتاه‌مدت (LSTM) قابلیت مدل‌سازی طرح‌های مداخله‌ای را ندارند. نقاط تغییر در روش ITS، نقاط خاصی هستند که در آن مقادیر سری زمانی تغییری نسبت به الگوی قبل، به‌دلایلی مانند پیشامد یا بلاای واقعی، تغییر سیاست یا مداخله آزمایشی را نشان می‌دهد. در آنالیز ITS، روش رگرسیون قطعه‌ای (SR)^۳ یا به اختصار ITS-SR، برای برآورد اثر مداخله‌ای با اقبال گسترده‌ای روبرو شده است (Bernal et al., Penfold and Zhang, 2013; 2017). مدل SR، یکی از روش‌های تحلیل رگرسیونی است که در آن متغیر مستقل در فواصلی تقسیم و برای هر فاصله یک خط رگرسیونی جداگانه برازش داده می‌شود.

در پژوهشی دیگر با استفاده از مدل ITS، تأثیر بیمه یکپارچه بر هزینه بستری مستقیم بیماران با بیماری‌های مهلک شامل سرانه

تنش و بحران آبی موجود در کشور ایران، محدودیت منابع آبی، کاهش بارندگی‌ها، افزایش جمعیت شهری و بهبود استانداردهای اقتصادی و سبک زندگی، لزوم برنامه‌ریزی‌های صحیح و کارآمد در کاهش مصرف آب و ترغیب به صرفه‌جویی در مصرف این مایه حیاتی را روشن می‌نماید. پیش‌بینی حجم مصرف آب، تصمیم‌گیرندگان را قادر می‌سازد تا چاره‌ای برای تأمین نیاز آبی اندیشیده و راه‌حل‌های جایگزین را ابداع نمایند. از سوی دیگر، هر پیش‌بینی آماری همراه با محدوده‌ای از خطای مورد پذیرش است. هدف اصلی پیش‌بینی، محدود نمودن شکاف بین واقعیت حجم مصرف آب و پیش‌بینی آن در آینده است؛ به‌طوری‌که بتوان به کم‌ترین میزان خطا و بیش‌ترین دقت دست‌یافت. بنابراین دقت پیش‌بینی‌ها در مهار بحران و تنش آبی، نقش غیرقابل‌انکاری را ایفا می‌کند. برای انتخاب راهبرد صحیح مدیریت مصرف آب، لازم است ابتدا عوامل مؤثر بر میزان مصرف آب مورد بررسی قرارگیرد تا راهبرد مدیریتی متناسب با آن انتخاب شود.

در پژوهشی با استفاده از تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۰ شامل مصرف سالانه و ماهانه آب، جمعیت، درآمد و عوامل آب و هوایی، مانند میانگین بارش و دما، مدلی برای پیش‌بینی تقاضای آب برای سال‌های ۲۰۲۱ تا ۲۰۳۰ در کشور اردن ارائه شد (Alnsour and Ijam, 2023). این مطالعه نشان‌داد که افزایش جمعیت، سطح بالای زندگی اجتماعی و نوسانات دما و بارندگی، منجر به افزایش سطح تقاضای آب شده است.

در سال‌های اخیر، یکی دیگر از عوامل فزاینده مصرف آب، شیوع کووید-۱۹ و ضرورت رعایت پروتکل‌های بهداشتی و وابستگی آن به منبع حیاتی آب است. متعاقب همه‌گیری کووید-۱۹، بررسی این عامل در افزایش حجم و تغییر الگوی مصرف آب در خانواده‌ها، مورد توجه بسیاری از محققین واقع شده است (Sivakumar, 2021). سبزی‌دهخرفانی و همکاران (۱۴۰۲)، با در نظر گرفتن تأثیر همه‌گیری کووید-۱۹ رویکرد جدیدی برای برآورد الگوی مصرف آب خانگی با استفاده از داده‌های جغرافیایی معرفی نمودند؛ به‌طوری‌که داده‌های مصرف آب برای دو سال قبل و یک سال پس از شیوع همه‌گیری، برای شناسایی الگوی مصرف آب در بازه‌های زمانی سالانه و دو ماهه بررسی شد. نتایج نشان‌داد که بیش‌ترین افزایش مصرف، متأثر از همه‌گیری در ماه‌های می تا ژوئن رخ داده است؛ درحالی‌که این تأثیر در طول قرنطینه خانگی به‌صورت کاهشی بوده است.

طی مطالعه‌ای مشخص شد که قرنطینه خانگی تغییرات

$$E(X|T, Y) = F^{-1}(\beta_0 + \beta_1 T + \beta_2 Y + \beta_3 TY), \quad (1)$$

که X : متغیر پاسخ؛ $E(X|T, Y)$: میانگین متغیر پاسخ، β_0 : پارامتر عرض از مبدا مدل پیش از مداخله، $\beta_0 + \beta_1$: عرض از مبدا مدل در فاز پس از مداخله، β_2 : شیب مدل قبل از مداخله $\beta_2 + \beta_3$: شیب مدل پس از مداخله، X : متغیر پاسخ، $(\cdot)^{-1} F$: تابع ربط، T : متغیر زمان و Y : متغیر مداخله‌ای است که در زمان شروع آزمایش برابر با یک و پیش از آن برابر با صفر در نظر گرفته می‌شود.

به‌طور کلی، اگر فرض شود X_t سری زمانی از پیشامد مدنظر در زمان t و τ زمان مداخله باشد، آن‌گاه مدل ITS-SR به‌صورت رابطه (۲) تعریف می‌شود.

$$X_t = \beta_0 + \beta_1 T + \beta_2 Y_t + \beta_3 (TY_t) + \varepsilon_t, \quad (2) \\ t = 1, 2, 3, \dots, T$$

که پارامترهای $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ مشابه رابطه (۱) و ε_t نوفه‌های سفید گوسین با واریانس ثابت σ^2 در نظر گرفته می‌شود. با در نظر گرفتن زمان مداخله τ ، متغیر Y_t به‌صورت $Y_t = \begin{cases} 0 & t < \tau \\ 1 & t \geq \tau \end{cases}$ تعریف می‌شود. عبارت چهارم شامل TY_t را می‌توان به‌عنوان اثر متقابل زمان و متغیر مداخله‌ای نیز تفسیر نمود.

۲-۲- مشاهدات متوسط مصرف آب هر واحد خانگی در

حوزه شهری - مطالعه موردی استان مازندران

استان مازندران یکی از استان‌های مبتلا به تنش آبی است و برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری در زمینه مدیریت منابع آبی، کاهش مصرف آب و جلوگیری از هدررفت آب در این استان از اهمیت به‌سزایی برخوردار است. در پیش‌بینی‌ها و مطالعه نیاز آبی استان مازندران، نمی‌توان از جمعیت غیردائم و توریست چشم‌پوشی نمود. جمعیت شهری استان مازندران در حدود ۲/۱ میلیون نفر است که جمعیت شناور حدود ۱/۲۵ میلیون نفر (معادل ۶۰ درصد از کل جمعیت شهری استان) در ایام تعطیلات به ساکنین استان مازندران افزوده می‌شود و باعث ایجاد پیک مصرف در ماه‌های تابستان و تعطیلات می‌شود. از این‌رو، پیش‌بینی متوسط مصرف آب در استان مازندران، در تصمیمات صنعت آب و فاضلاب مؤثر و کاربردی است. طبق اطلاعات سال ۱۴۰۲، حدود ۸۹٪ از حجم مصرف آب شهری در استان مازندران به بخش خانگی اختصاص می‌یابد. متوسط مصرف آب هر واحد خانگی در استان مازندران، طی سال‌های ۱۳۹۶ الی ۱۴۰۲ به‌صورت ماهانه بررسی شده است. بر اساس سامانه مدیریت اطلاعات (MIS) شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور، اطلاعات آخرین وضعیت آحاد آب خانگی موجود

هزینه کل بستری، هزینه پرداختی و نسبت بازپرداخت از ژانویه ۲۰۱۴ تا دسامبر ۲۰۱۸ بررسی شدند (Niu et al., 2022). تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی منقطع نشان‌داد که سرانه کل هزینه بستری و سرانه هزینه‌های پرداختی افزایش یافته، اما پس از یکپارچه‌سازی، روند کاهشی تدریجی را نشان‌داد و نسبت بازپرداخت اندکی افزایش یافت که تأثیر محدودی بر کاهش بار مالی بیماران داشته است.

در مدل‌سازی طرح‌های مداخله‌ای، تاکنون مطالعه و تحقیقی در زمینه بررسی تأثیر طرح مداخله غیرقابل کنترل کووید-۱۹ بر مصرف آب ارائه نشده است و هم‌چنین در مدل‌سازی‌های ITS از توزیع گوسین استفاده می‌شود؛ درحالی‌که در این مقاله از توزیع معکوس گوسین، مطابق با ماهیت مشاهدات با مقادیر مثبت، استفاده شده است.

در بخش ۲، مدل سری زمانی ITS-SR و اطلاعات کلی متوسط مصرف آب هر واحد خانگی ارائه شده است. در بخش ۳ با استفاده از مدل مداخله‌ای مدنظر و روند فصلی، متوسط مصرف آب هر واحد خانگی مدل‌سازی و در بخش ۴، با استفاده از آنالیز باقی‌مانده‌های مدل، کفایت مدل در برازش متوسط مصرف آب بررسی شده است. در نهایت در بخش ۵، پس از پالایش و تأیید مدل ITS-SR، مقادیر آتی متوسط مصرف آب به ازای هر واحد خانگی در استان مازندران پیش‌بینی شده است.

۲- مواد و روش‌ها

در مطالعات پدیده‌های واقعی، یک رویداد غیرمنتظره منجر به ایجاد تغییرات عمده در فرآیند می‌شود که می‌توان از آن به‌عنوان فرصتی برای بررسی ماهیت و پویایی فرآیند استفاده نمود. مدل مداخله‌ای به یک طرح کلی برای بررسی اثرگذاری رویکردی خاص بر روند متغیر پاسخ اطلاق می‌شود. مداخله می‌تواند به‌عنوان یک دستورالعمل تحت کنترل مانند اعمال قرنطینه خانگی در زمان همه‌گیری کووید-۱۹ و یا یک رویداد غیرمنتظره مانند شیوع ناگهانی همه‌گیری کووید-۱۹ در نظر گرفته شود. رویکرد کلی در مطالعات مداخله‌ای بر اساس دو دسته از داده‌ها تحت‌عنوان پیش و پس از مداخله معطوف می‌شود و به استنباط‌های آماری در این زمینه می‌انجامد.

۲-۱- معرفی مدل سری زمانی مداخله‌ای با روش رگرسیون

قطعه‌ای

مدل کلی ITS-SR که توسط Wagner et al. (2002) معرفی شده است به‌صورت رابطه (۱) ارائه می‌شود.

(واحد) در بخش شهری، حجم مصرف آب خانگی (میلیون مترمکعب) و متوسط مصرف آب خانگی در شبانه‌روز (لیتر بر واحد) در بخش شهری به صورت ماهانه، جمع‌آوری و در جدول ۱ خلاصه شده است.

جدول ۱- آحاد آب خانگی، حجم مصرف آب خانگی و متوسط مصرف در بخش شهری استان مازندران سال‌های ۱۳۹۶ الی ۱۴۰۲

سال	آحاد آب خانگی (واحد)	حجم مصرف آب خانگی (میلیون مترمکعب)	متوسط مصرف هر واحد خانگی (لیتر بر واحد در شبانه‌روز)
۱۳۹۶	۸۰۸۴۵۵	۱۲۹/۱۱	۴۳۸
۱۳۹۷	۸۴۶۸۷۶	۱۳۱/۸۱	۴۲۶
۱۳۹۸	۸۷۰۶۱۶	۱۳۸/۲۰	۴۳۵
۱۳۹۹	۸۹۳۷۶۳	۱۴۷/۸۶	۴۵۴
۱۴۰۰	۹۱۷۰۵۳	۱۵۳/۰۳	۴۵۷
۱۴۰۱	۹۴۰۶۳۲	۱۵۱/۷۳	۴۴۲
۱۴۰۲	۱۰۰۷۹۷۶	۱۶۰/۵۸	۴۳۶

۱۴۰۲، شامل ۸۴ مشاهده در نظر گرفته شده است. برخی آمارهای توصیفی مشاهدات کامل X (هر دو بخش پیش و پس از همه‌گیری)، مشاهدات پیش از همه‌گیری X_1 و مشاهدات پس از همه‌گیری X_2 در جدول ۲ ارائه شده است. طبق جدول ۲، در استان مازندران، میانگین و میانه مصرف آب در دوره پس از همه‌گیری کووید-۱۹ نسبت به پیش از آن افزایشی است که براساس رعایت شدید پروتکل‌های بهداشتی و اعمال قرنطینه خانگی، موجه است. مقادیر انحراف استاندارد نیز پراکندگی مشاهدات پس از شیوع کووید-۱۹ را نشان می‌دهد. بنابراین، رویکرد بررسی فرضیه تغییر الگوی مصرف آب و مدل‌سازی طرح مداخله‌ای حائز اهمیت است.

با توجه به سرایت بالای ویروس کووید-۱۹ و لزوم رعایت بهداشت فردی، سطح استانداردهای بهداشتی نیز افزایش یافته است. با افزایش سطح پروتکل‌های بهداشتی و تغییر سبک زندگی، مصرف آب نیز افزایش پیدا کرده است. لذا تأثیر همه‌گیری کووید-۱۹ بر متوسط مصرف آب هر واحد خانگی بررسی می‌شود؛ به طوری که همه‌گیری کووید-۱۹ به‌عنوان یک طرح مداخله‌ای غیرقابل کنترل در نظر گرفته شده است.

به‌منظور بررسی تأثیر همه‌گیری کووید-۱۹، داده‌های متوسط مصرف آب خانگی به دو بخش پیش از همه‌گیری کووید-۱۹ و پس از آن تقسیم می‌شود. داده‌های ماهانه از فروردین ۱۳۹۶ الی اسفند

جدول ۲- آماره‌های توصیفی مشاهدات متوسط مصرف آب هر واحد خانگی در بخش شهری استان مازندران طی سال‌های ۱۳۹۶ الی ۱۴۰۲

مشاهدات	مینیمم	ماکزیمم	میانگین	چارک اول	میانه	چارک سوم	انحراف استاندارد
کامل	۴۰۱	۵۴۴	۴۴۹/۸	۴۳۰/۵	۴۴۸	۴۶۳/۲	۲۹/۴۳
پیش از همه‌گیری	۴۰۱	۴۹۷	۴۴۳/۱	۴۲۵/۵	۴۳۶/۵	۴۶۳/۲	۲۵/۶۷
پس از همه‌گیری	۴۰۴	۵۴۴	۴۵۹/۹	۴۳۴/۵	۴۵۰/۵	۴۶۵/۸	۳۱/۲۹

۳- نتایج و بحث

آبی برازش مدل GLM از متغیر زمان بدون در نظر گرفتن عامل مداخله‌ای شیوع کووید-۱۹ و خط قرمز برازش مدل ITS-SR بر روی دو بخش پیش و پس از همه‌گیری را نشان می‌دهد. خط قرمز دو مدل SR مجزا در دو برهه زمانی پیش و پس از همه‌گیری را برازش داده است، درحالی‌که خط آبی برای تمامی مشاهدات، یک مدل رگرسیونی ثابت را برازش می‌دهد.

طبق شکل ۱، خط آبی، بیانگر روند صعودی با شیب بسیار ملایم در متوسط مصرف آب خانگی است که متأثر از مقادیر دورافتاده ناشی از همه‌گیری است و تحلیل اشتباهی را نشان می‌دهد؛ در صورتی‌که در واقعیت رفتار مصرف در خانوار اصلاح شده است. برخلاف مدل نامناسب GLM با رنگ آبی، متوسط مصرف آب طی سال‌های ۱۳۹۶ تا ابتدای سال ۱۳۹۹

در این بخش، با استفاده از رویکرد مدل‌سازی ITS-SR، مشاهدات متوسط مصرف آب هر واحد خانگی بررسی می‌شود، به طوری‌که در گام اول مدل ساده ITS-SR و در گام دوم، مؤلفه هارمونیک نیز در مدل‌سازی لحاظ می‌شود.

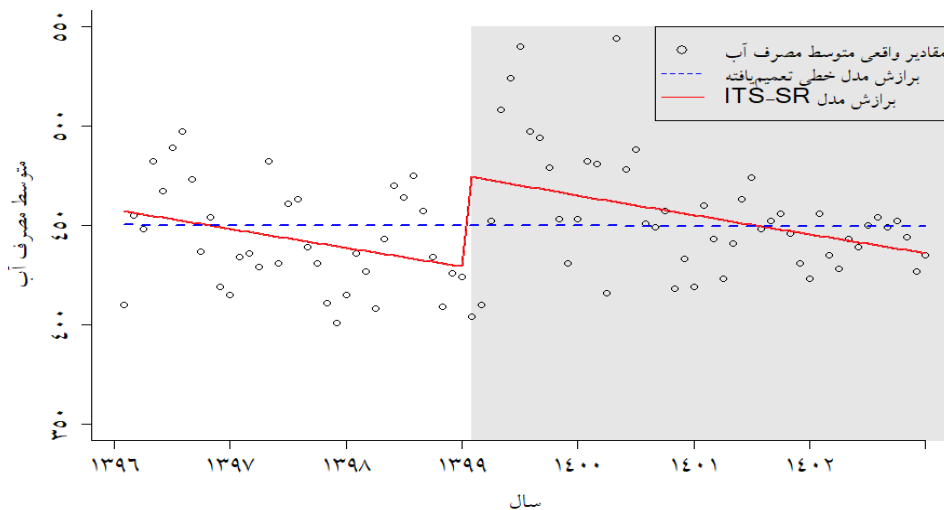
۳-۱- مدل‌سازی آماری سری زمانی متوسط مصرف آب هر واحد خانگی متأثر از همه‌گیری کووید-۱۹

روند متوسط مصرف آب خانگی در استان مازندران در شکل ۱ نمایش داده شده است، به طوری‌که دوره پس از شیوع کووید-۱۹ با رنگ طوسی مشخص شده است. دایره‌های مشکی مقادیر واقعی، خط

میان مشترکین خانگی استان مازندران است. هم‌چنین پی-مقدار آزمون من-کندال فصلی برای مشاهدات کامل برابر با ۰/۶۸ است که بیانگر عدم وجود روند معنادار در مشاهدات است؛ در صورتی که با تقسیم مشاهدات به دو برهه پیش و پس از همه‌گیری، پی-مقدار آزمون به ترتیب برابر با ۰/۰۳۴ و ۰/۰۲۸ است که بیانگر وجود روند در مشاهدات است.

روند نزولی داشته و به محض شیوع کووید-۱۹ پیک مصرف و قطع روند رخ می‌دهد. پس از کنترل رفتار هیجانی ناشی از همه‌گیری، روند متوسط مصرف آب دوباره به تعادل رسیده و رفتار نزولی را نشان می‌دهد؛ به طوری که دو مدل مجزا بر روی مشاهدات برازش می‌شود. مدل ITS-SR، گویای اثربخشی سیاست‌های کاهش مصرف و فرهنگ‌سازی صرفه‌جویی آب در

سرانه مصرف آب آحاد خانگی - لیتر بر واحد



شکل ۱- مسیر نمونه‌ای متوسط مصرف آب خانگی در بخش شهری استان مازندران از سال ۱۳۹۶ الی ۱۴۰۲

مشاهدات واقعی را مشخص می‌کند.

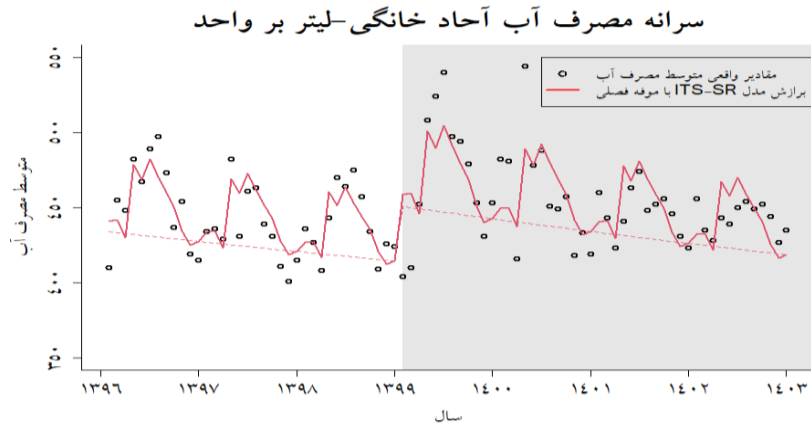
۳-۲- مدل ITS-SR با در نظر گرفتن روند فصلی مشاهدات سری زمانی

مشاهدات سری زمانی ماهانه طبق انتظار، روند تکراری از قبیل روند ماهانه یا فصلی را شامل می‌شود. بنابراین، یکی از مؤلفه‌های مهم در مدل‌سازی مصرف آب، بررسی روند فصلی در مشاهدات است. به منظور مدل‌سازی روند فصلی، در مدل ITS-SR مؤلفه هارمونیک نیز لحاظ می‌شود. با در نظر گرفتن بازه ۱۲ ماهه، عبارت $\varphi_1 \sin\left(\frac{2\pi t}{12}\right) + \varphi_2 \cos\left(\frac{2\pi t}{12}\right)$ به مدل پایه افزوده می‌شود، به طوری که φ_1 و φ_2 پارامترهای مؤلفه هارمونیک هستند. مؤلفه هارمونیک در مدل ITS-SR با استفاده از دستور "harmonic(.)" در بسته آماری "tsModel" در نرم‌افزار "R" تعریف می‌شود. از سوی دیگر، مشاهدات مربوط به متوسط مصرف، تنها مقادیر مثبت را شامل می‌شود، در حالی که توزیع گوسین، بازه اعداد حقیقی مثبت و منفی را در بر می‌گیرد و در برازش متوسط مصرف آب کارایی مناسبی ندارد. توزیع معکوس گوسین با دامنه اعداد حقیقی مثبت، جایگزین مناسبی برای توزیع گوسین است. در شکل ۲، مقادیر متوسط مصرف آب (دایره مشکی) و مقادیر حاصل از مدل‌سازی ITS-SR (منحنی قرمز) بر اساس توزیع معکوس گوسین با الگوی فصلی، نشان داده شده است که به وضوح عملکرد دقیق مدل ITS-SR با روند فصلی در برازش

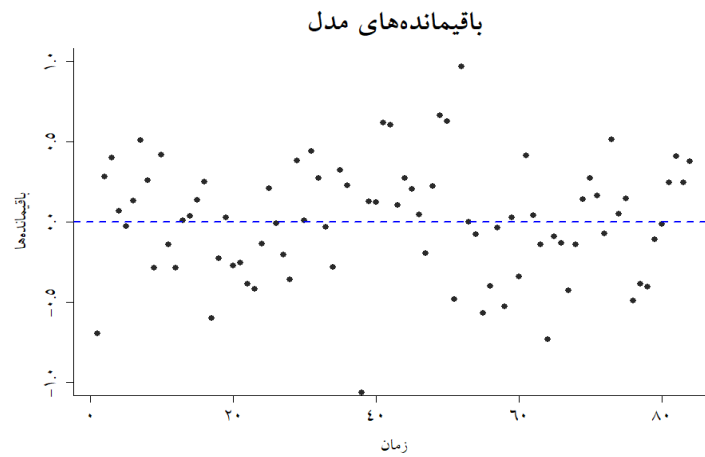
۴- بررسی کفایت مدل ITS-SR فصلی در برازش متوسط مصرف آب خانگی

پس از انتخاب مدل مناسب، لازم است که کارایی و کفایت مدل در برازش داده‌ها نیز بررسی و از لحاظ آماری مورد تأیید قرار گیرد. لذا، با در نظر گرفتن باقی‌مانده‌های مدل $(\hat{\epsilon}_t)$ به صورت تفاضل مقادیر واقعی و مقادیر پیش‌بینی متوسط مصرف با استفاده از مدل ITS-SR فصلی، کارایی مدل بررسی می‌شود. شکل ۳، مقادیر باقی‌مانده‌های مدل ITS-SR فصلی را نشان می‌دهد که با پراکندگی کمی اطراف مقدار صفر پخش شده است.

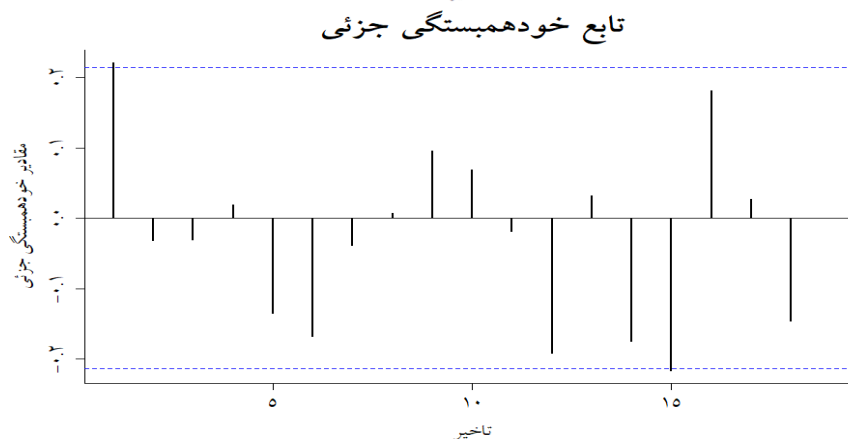
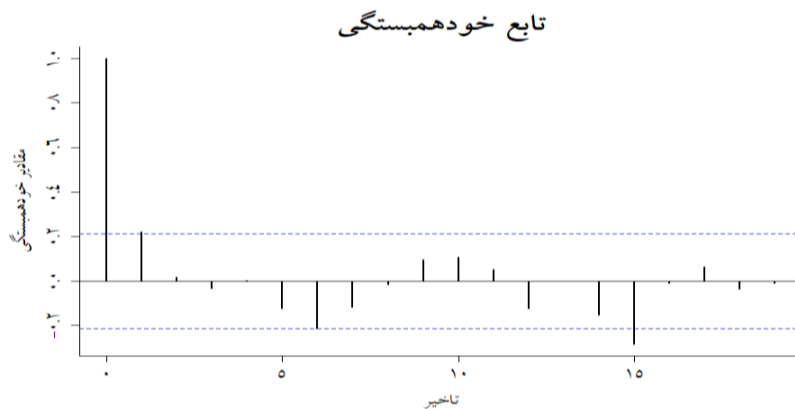
تابع خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی باقی‌مانده‌های مدل ITS-SR فصلی در شکل ۴ نشان داده شده است که بیانگر تصادفی بودن و کفایت مدل بر اساس آنالیز باقی‌مانده‌ها است. پی-مقدار آزمون لیانگ-باکس برای بررسی عدم همبستگی باقی‌مانده‌های مدل برابر با ۰/۶۴ محاسبه شده است که در سطح معناداری ۵ درصد، عدم همبستگی (تصادفی بودن) باقی‌مانده‌های مدل را تأیید می‌نماید.



شکل ۲- متوسط مصرف آب خانگی و مقادیر پیش بینی با روند فصلی در بخش شهری استان مازندران سال‌های ۱۳۹۶ الی ۱۴۰۲



شکل ۳- نمودار مقادیر باقی مانده‌های مدل ITS-SR در برابر زمان



شکل ۴- تابع خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی باقی مانده‌های مدل ITS-SR فصلی

روند فصلی،
 - مدل سوم (T, Y) براساس متغیر زمان و مداخله‌ای و بدون در نظر گرفتن روند فصلی،
 - مدل چهارم (روند فصلی، T) بر اساس متغیر زمان و روند فصلی بدون در نظر گرفتن متغیر مداخله‌ای،
 - مدل پنجم (روند فصلی، Y) براساس متغیر مداخله‌ای و روند فصلی بدون در نظر گرفتن متغیر زمان،
 - مدل ششم (T, Y, TY) براساس متغیر زمان، متغیر مداخله‌ای و روند فصلی،
 - مدل هفتم (T, Y, TY) براساس متغیر زمان، متغیر مداخله‌ای و اثر متقابل زمان و مداخله و بدون روند فصلی،
 - مدل هشتم (روند فصلی، T, Y, TY) براساس متغیر زمان، متغیر مداخله، اثر متقابل و روند فصلی، نتایج در جدول ۳ خلاصه شده است.

براساس معیار MAPE و RMSE مدل هشتم با سه متغیر زمان، مداخله‌ای (شیوع همه‌گیری) و اثر متقابل به همراه روند فصلی در مدل نهایی ITS-SR که کم‌ترین مقدار معیار را شامل می‌شود به‌عنوان مدل نهایی پیشنهاد می‌شود و هم‌چنین برای پیش‌بینی از این مدل استفاده خواهد شد. در شکل ۵، مسیر نمونه‌ای متوسط مصرف آب خانگی در حوزه شهری مازندران و هم‌چنین مقادیر پیش‌بینی بر اساس مدل هشتم ITS-SR فصلی، برای سال‌های ۱۴۰۳ تا پایان سال ۱۴۰۵ نشان داده شده است؛ به‌طوری‌که مقادیر واقعی با دایره‌های مشکی، مقادیر پیش‌بینی و روند آن با خط قرمز و مقادیر آبی بر اساس مدل پیشنهادی (مدل هشتم) با خط آبی مشخص شده است.

مقادیر پیش‌بینی برای سال‌های ۱۴۰۳ الی ۱۴۰۵ براساس مدل ITS-SR فصلی در جدول ۴ خلاصه شده است. هم‌چنین، متوسط مصرف آب سالانه برای سال‌های الی ۱۴۰۵ به ترتیب ۴۴۱، ۴۳۵ و ۴۲۹ پیش‌بینی می‌شود. براساس مدل ITS-SR فصلی، به‌طور میانگین متوسط مصرف آب کاهش می‌یابد و می‌توان به کاهش تأثیر شیوع همه‌گیری و اعتدال رفتار هیجانی پس از همه‌گیری در مصرف آب امیدوار بود.

به‌منظور بررسی دقت پیش‌بینی مدل ارائه شده، مشاهدات متوسط مصرف آب هر واحد خانگی به دو بخش آموزش و آزمون تقسیم می‌شود؛ به‌طوری‌که ۷۲ مشاهده اول برای برآورد پارامترهای مدل و ۱۲ مشاهده آخر برای پیش‌بینی مدل در نظر گرفته و برای هر دو بخش، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)^۴ محاسبه می‌شود. مقادیر RMSE درون نمونه (شامل ۷۲ مشاهده اول) و RMSE خارج از نمونه (شامل ۱۲ مشاهده آخر) برابر با ۶/۶۱ و ۷/۳۸ است. مقادیر RMSE بین صفر تا بی‌نهایت متغیر است و مقادیر کوچک‌تر RMSE بیانگر مدل مناسب‌تر است. با در نظر گرفتن بخش آموزش، ضریب نش-ساتکلیف^۵ نیز برابر با ۰/۷۶۷۸ به‌دست آمده است که مقدار بهینه این شاخص برابر با یک است و مقادیر بالاتر از ۰/۵ گویای کفایت مدل در پیش‌بینی مشاهدات است. از این‌رو، طبق ضریب نش-ساتکلیف کارایی مدل تأیید می‌شود.

۵- پیش‌بینی متوسط مصرف آب خانگی براساس

مدل ITS-SR

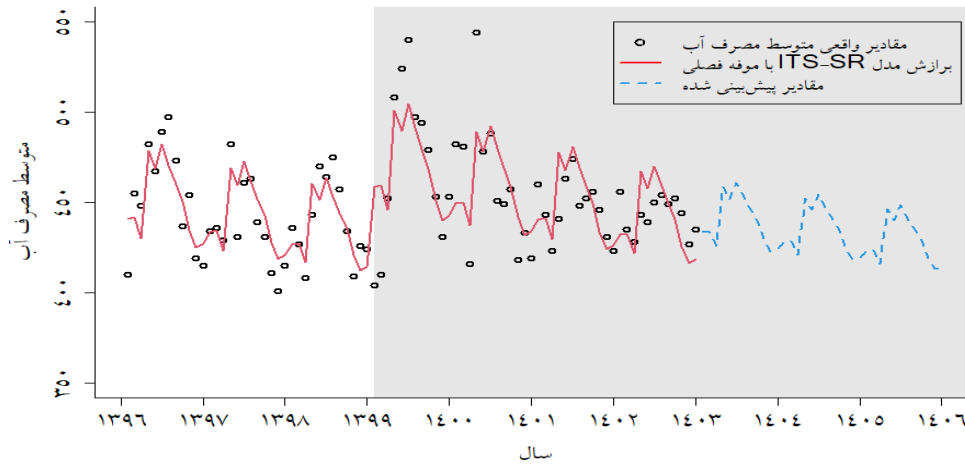
هدف اصلی برازش مدل بر روی سری زمانی، به‌کارگیری آن برای پیش‌بینی‌هایی از آینده فرآیند است که در ارائه برنامه‌های راهبردی نقش مؤثری ایفا می‌نماید. در این بخش، با تکیه بر مدل ITS-SR فصلی، پیش‌بینی‌هایی از آینده سری زمانی متوسط مصرف آب هر واحد خانگی در استان مازندران ارائه شده است. میانگین درصد مطلق خطا (MAPE)^۶ یک معیار ارزیابی میزان دقت پیش‌بینی است؛ به‌طوری‌که مقادیر کوچک MAPE بیانگر دقت بالاتر مدل پیشنهادی است. با در نظر گرفتن توزیع مثبت معکوس گوسین، لزوم به‌کارگیری هر یک از متغیرها در مدل مدنظر بررسی می‌شود و مدل با کم‌ترین مقدار MAPE و RMSE، به‌عنوان مدل نهایی برای پیش‌بینی متوسط مصرف آب خانگی در نظر گرفته می‌شود.

- مدل اول (T) براساس متغیر زمان، بدون در نظر گرفتن متغیر مداخله‌ای و روند فصلی،
 - مدل دوم (Y) براساس متغیر مداخله‌ای بدون متغیر زمان و

جدول ۳- مقادیر MAPE و RMSE برای مدل اول تا هشتم

شماره مدل	MAPE	RMSE	شماره مدل	MAPE	RMSE
اول	۴/۹۴	۹/۷۳	پنجم	۳/۵۷	۸/۳۴
دوم	۴/۹۱	۹/۶۵	ششم	۳/۱۳	۷/۶۱
سوم	۴/۵۷	۹/۱۴	هفتم	۴/۵۶	۹/۵۰
چهارم	۳/۶۹	۸/۲۷	هشتم	۳/۰۹	۶/۱۱

سرانه مصرف آب آحاد خانگی - لیتر بر واحد



شکل ۵- متوسط مصرف آب خانگی و مقادیر پیش‌بینی با روند فصلی و مقادیر آتی در بخش شهری استان مازندران طی سال‌های ۱۳۹۶ الی ۱۴۰۲

جدول ۴- مقادیر پیش‌بینی متوسط مصرف آب هر واحد خانگی در مازندران سال‌های ۱۴۰۳ الی ۱۴۰۵ براساس مدل ITS-SR

سال ۱۴۰۳	مقدار پیش‌بینی	سال ۱۴۰۴	مقدار پیش‌بینی	سال ۱۴۰۵	مقدار پیش‌بینی
فروردین	۴۳۳	فروردین	۴۲۸	فروردین	۴۲۳
اردیبهشت	۴۳۴	اردیبهشت	۴۲۹	اردیبهشت	۴۲۳
خرداد	۴۲۶	خرداد	۴۲۱	خرداد	۴۱۶
تیر	۴۵۹	تیر	۴۵۲	تیر	۴۴۶
مرداد	۴۵۲	مرداد	۴۴۶	مرداد	۴۴۰
شهریور	۴۶۱	شهریور	۴۵۵	شهریور	۴۴۸
مهر	۴۵۳	مهر	۴۴۷	مهر	۴۴۱
آبان	۴۴۶	آبان	۴۴۱	آبان	۴۳۲
آذر	۴۴۰	آذر	۴۳۴	آذر	۴۲۹
دی	۴۲۹	دی	۴۲۴	دی	۴۱۹
بهمن	۴۲۳	بهمن	۴۱۸	بهمن	۴۱۳
اسفند	۴۲۴	اسفند	۴۱۹	اسفند	۴۱۵

۶- نتیجه‌گیری

آتی در این زمینه، می‌توان به مدل‌های سری زمانی خطای ضربی که تنها مقادیر مثبت را شامل می‌شوند و مقایسه با مدل‌های موجود اشاره نمود. مدل‌های کلاسیک به صورت مجموع عبارت خطای فرآیند و متغیر مستقل تعریف می‌شود، درحالی‌که مدل خطای ضربی، به صورت حاصل ضرب دو عبارت خطای فرآیند و متغیر مستقل معرفی می‌شود.

تأثیر همه‌گیری کووید-۱۹ بر روی متوسط مصرف آب یکی از چالش‌های برنامه‌ریزی در صنعت آب و فاضلاب است که در این مقاله، متوسط مصرف آب خانگی براساس فرآیند سری زمانی مداخله‌ای برپایه رگرسیون قطعه‌ای، مدل‌سازی و دقت پیش‌بینی مدل بررسی شد. به منظور افزایش دقت مدل، مؤلفه هارمونیک نیز در مدل ITS-SR لحاظ شده و کفایت آن در برازش متوسط مصرف آب با استفاده از آنالیز باقی‌مانده‌های مدل تأیید شد. به منظور بررسی دقت مدل ITS-SR در پیش‌بینی، براساس هشت مدل مختلف و دو معیار MAPE و RMSE، برتری مدل ITS-SR شامل متغیرهای زمان، مداخله‌ای، اثر متقابل و روند فصلی براساس توزیع معکوس گوسین در پیش‌بینی فرآیند تأیید شد. هم‌چنین مقادیر پیش‌بینی برای سال‌های ۱۴۰۳ الی ۱۴۰۵ ارائه شد. به عنوان پیشنهاداتی از مطالعات

۷- پی‌نوشت‌ها

- 1- Generalized Linear Model
- 2- Interrupted time series
- 3- Segmented Regression
- 4- Root Mean Square Error
- 5- Nash-Sutcliffe
- 6- Mean Absolute Percentage Errors

- Penfold, R.B., and Zhang, F., (2013), "Use of interrupted time series analysis in evaluating health care quality improvements", *Academic Pediatrics*, 13(6), 38-44, <https://doi.org/10.1016/j.acap.2013.08.002>.
- Sabzchi-Dehkharghani, H., Majnooni-Heris A., Fakherifard, A., and Yegani, R. (2023), "Estimation of household water consumption pattern in a metropolitan area taking the impact of the COVID-19 pandemic", *International Journal of Environmental Science and Technology*, 20(3), 3161-3176, <https://doi.org/10.1007/s13762-023-04761-8>.
- Sivakumar, B., (2021), "COVID-19 and water", *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 35(3), 531-534, <https://doi.org/10.1007/s00477-020-01837-6>.
- Wagner, A.K., Soumerai, S.B., Zhang, F., and Ross-Degnan, D., (2002), "Segmented regression analysis of interrupted time series studies in medication use research", *Journal of Clinical Pharmacy and Therapeutics*, 27(4), 299-309, <https://doi.org/10.1046/j.1365-2710.2002.00430.x>.
- Yunus, A.P., Masago, Y., and Hijioka, Y., (2020), "COVID-19 and surface water quality: improved lake water quality during the lockdown", *Science of the Total Environment*, 731, 139012, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139012>.



This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC-BY) license.

- رضازاده، م.، نیازمردی، س. و صدری‌کیا، م.، (۱۴۰۱)، "بررسی مکانی تأثیر شیوع ویروس کرونا بر مصرف آب در شهر شبستر"، *تحقیقات منابع آب ایران*، ۱۸(۱)، ۱۲۱-۱۳۲.
- محمدزاده، ح.، و مخدومی، ن.، (۱۴۰۱)، "اثرات COVID-19 بر منابع آب و فاضلاب و پیامدهای محیط‌زیستی آن (مطالعه موردی شهر مشهد)"، *آب و فاضلاب*، ۳۳(۴)، ۹۵-۱۱۴، <https://doi.org/10.22093/wwj.202.327322.3228>.
- Abu-Bakar, H., Williams, L., and Hallett, S.H., (2021), "Quantifying the impact of the COVID-19 lockdown on household water consumption patterns in England", *NPJ Clean Water*, 4(1), 13, <https://doi.org/10.1038/s41545021001038>.
- Alnsour, M.A., and Ijam, A.Z., (2023), "Specifying a cascade water demand forecasting model using time-series analysis: a case of Jordan. Sustain", *Water Resources Management*, 9(1), 37, <https://doi.org/10.1007/s40899-023-00824-3>.
- Bernal, J.L., Cummins, S., and Gasparrini, A., (2017), "Interrupted time series regression for the evaluation of public health interventions: A tutorial", *International Journal of Epidemiology*, 46(1), 348-355, <https://doi.org/10.1093/ije/dyw098>.
- Bhowmick, G.D., Dhar, D., Nath, D., Ghangrekar, M.M., Banerjee, R., Das, S., and Chatterjee, J., (2020), "Coronavirus disease 2019 (COVID-19) outbreak: Some serious consequences with urban and rural water cycle", *NPJ Clean Water*, 3(1), 32, <https://doi.org/10.1038/s41545-020-0079-1>.
- Cominato, C., Sborz, J., Kalbusch, A., and Henning, E., (2022), "Water demand profile before and during COVID-19 pandemic in a Brazilian social housing complex", *Heliyon*, 8(8), <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10307>.
- Kalbusch, A., Henning, E., Brikalski, M.P., Luca, F.V., and Konrath, A.C., (2020), "Impact of coronavirus (COVID-19) spread-prevention actions on urban water consumption", *Resources, Conservation and Recycling*, 163, 105098, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105098>.
- Nemati, M., and Tran, D., (2022), "The impact of COVID-19 on urban water consumption in the United States", *Water*, 14(19), 3096, <https://doi.org/10.3390/w14193096>.
- Niu, L., Song, Q., Liu, Y., and Wang, X., (2022), "Interrupted time series analysis for the impact of integrated medical insurance on direct hospitalization expense of catastrophic illness", *Scientific Reports*, 12(1), 12316, <https://doi.org/10.1038/s41598-022-15569-w>.