

مدل سازی بررسی تاثیر پاندمی کووید-19 در پیش بینی متوسط تولید

آب به ازای آحاد خانگی در بخش شهری

مسعود باقرزاده کریمی¹، فاطمه انصاری²، معصومه شیروازن³ و سحر طیبیان⁴

1. مدیر کل دفتر برنامه ریزی و بودجه- شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور
2. کارشناس دفتر برنامه ریزی و بودجه- شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور
3. کارشناس دفتر برنامه ریزی و بودجه- شرکت آب و فاضلاب استان مازندران
4. دانشیار گروه کشاورزی و منابع طبیعی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

چکیده

در این مقاله، تاثیر پاندمی کووید-19 بر مدل سازی متوسط حجم تولید آب به ازای آحاد خانگی بررسی شده است. طرح مداخله گر غیرقابل کنترل پاندمی در مدل سازی متوسط حجم تولید آب هر واحد خانگی و تغییر الگوی مصرف آب، تاثیر معنادار دارد و حذف اثر همه گیری در مدل سازی باعث خطای پیش بینی می شود. با در نظر داشت دو دوره ی زمانی پیش و پس از پاندمی کووید-19 بر اساس سری زمانی مداخله ای و مدل جمعی تعمیم یافته ی مداخله ای متوسط حجم تولید آب هر واحد خانگی، در بخش شهری در سطح کشور، مطالعه و مقادیر سه سال آتی متوسط تولید آب پیش بینی شد. کار آمدی و کفایت مدل نیز بر اساس آنالیز باقی مانده های مدل بررسی شد. طبق مدل پیشنهادی، متوسط حجم تولید آب به ازای آحاد خانگی، پس از گذر از یک دوره ی هیجانی 2 سال، به روال نزولی بازگشت. انتظار می رود متوسط تولید آب خانگی به ازای هر واحد خانگی در سال های آتی روند نزولی داشته باشد.

کلمات کلیدی: آحاد آب، مدل جمعی تعمیم یافته ی مداخله ای، سرانه ی حجم تولید آب، طرح مداخله ای

1. سرآغاز

رشد جمعیت، بهبود استانداردهای اقتصادی و تغییر سبک زندگی، افزایش حجم تقاضای آب در کاربری های شهری را به همراه دارد. پیش بینی تقاضای آب در سال های آتی، بر اساس داده های حجم تولید و مصرف آب در دوره های زمانی پیشین، به منظور تعیین حجم نیاز به آب در آینده و نحوه ی تأثیرگذاری بر آن بسیار مهم است. به طور کلی پیش بینی تقاضای آب بر اساس احتمالات با استفاده از یک پایه ی علمی و اطلاعات پیشین برای برآورد در دسترس بودن آب در آینده انجام می شود. با این حال، نتایج احتمالی، تنها نشانه ای از تقاضای مورد انتظار برای آب است و هر پیش بینی با محدوده ای از خطا همراه است. هدف اصلی پیش بینی، محدود کردن شکاف بین واقعیت تولید و مصرف آب و پیش بینی حجم تولید و مصرف در آینده با بیش ترین دقت و کم ترین خطا است و تصمیم گیرندگان را قادر می سازد تا چاره ای برای تامین نیاز آبی در آینده اندیشیده و برنامه ها و راه حل های مناسب را به کار گیرند [6]. دقت پیش بینی ها در مهار بحران و تنش آبی، نقش غیرقابل انکاری دارد. برای انتخاب راهبرد صحیح مدیریت مصرف آب، لازم است ابتدا عامل های تاثیرگذار بر میزان مصرف آب بررسی شود تا راهبرد مدیریتی متناسب با آن انتخاب شود.

متعاقب پاندمی کووید-19 بررسی این عامل در افزایش میزان و الگوی مصرف آب در خانواده ها، مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفت [1, 3, 5, 7, 8, 10, 12].

۲. حجم تولید آب در بخش شهری

متوسط تولید آب آحاد خانگی در سطح کشور، طی سال‌های 1395 الی 1402 به صورت ماهانه بررسی شد. تولید آب در بخش شهری در سال‌های 1395 تا 1402، در جدول 1 ارائه شده است.

جدول 1. حجم تولید آب و رشد آن در بخش شهری از سال 1395 الی 1402 (ارقام برحسب میلیارد مترمکعب)

سال	1395	1396	1397	1398	1399	1400	1401	1402
حجم تولید آب	6090	6216	6321	6459	6762	6952	7026	7106
درصد رشد	-	2/07	1/69	2/18	4/69	2/81	1/06	1/14

در این سال‌ها هم‌زمان با افزایش جمعیت کشور، روند صعودی در میزان تولید آب مورد نیاز، منطقی و قابل توجیه است. رشد چشم‌گیر حجم تولید آب در سال 1399 با آغاز پاندمی کووید-19 در کشور و ارتقای ناگهانی سطح رفتارهای بهداشتی، بر مدل‌سازی‌های آماری تاثیر گذاشت. عدم لحاظ مولفه‌ی پاندمی، در مدل‌سازی‌های برآورد نیاز آبی، کاهش دقت آن‌ها را به همراه داشت. تاثیرگذاری این پاندمی بر سرانه‌ی تولید آب با ارایه‌ی مدل‌سازی خطی جمع‌ی تعمیم یافته مداخله‌ای مقادیر آبی سری زمانی مورد نظر پیش‌بینی شد.

آب تولیدی در کاربری‌های مسکونی، عمومی، تجاری، صنعتی و مانند آن، با لحاظ بخش از آن به عنوان هدررفت به مصرف می‌رسد. در جدول زیر، سهم آب بدون درآمد، مصرف آب خانگی و حجم فروش آب خانگی طی سال‌های 1395 الی 1402 و سرانه‌ی تولید و مصرف آب هر واحد خانگی طی سال‌های 1395 الی 1402 در جدول 3 خلاصه شده است.

جدول 2. شاخص‌های تاثیرگذار صنعت در بخش آب از سال 1395 الی 1402

سال	آب بدون درآمد (درصد)	حجم مصرف آب خانگی به کل مصرف (درصد)	حجم فروش آب خانگی (میلیارد مترمکعب)
1395	25/5	76/62	3476
1396	24/6	77/19	3618
1397	24/8	75/99	3612
1398	24/4	76/59	3740
1399	26/6	82/94	4117
1400	27/3	80/55	4071
1401	29/4	81/59	4047
1402	28/7	81/18	4113

جدول 3. سرانه‌ی تولید و مصرف آب هر واحد خانگی در بخش شهری در سال‌های 1395 تا 1402 (ارقام برحسب میلیارد مترمکعب)

سال	1395	1396	1397	1398	1399	1400	1401	1402
سرانه‌ی تولید آب	805	801	783	794	806	809	805	794
سرانه‌ی مصرف آب	459	466	455	460	491	476	463	460

به منظور بررسی تاثیر پاندمی کووید-19 بر متوسط تولید آب هر آحاد خانگی، داده‌های متوسط تولید آب، به ازای آحاد خانگی، به دو بخش پیش از پاندمی و پس از آن تقسیم شد. مطابق داده‌های این جدول، با رعایت شدید پروتکل‌های بهداشتی و اعمال قرنطینه‌ی خانگی، متوسط تولید آب در دوره‌ی پس از بروز پاندمی کووید-19 نسبت به پیش از آن، افزایش معناداری را نشان می‌دهد.

جدول 4. آمارهای توصیفی مشاهده‌های متوسط تولید آب هر واحد خانگی (ارقام برحسب میلیارد مترمکعب)

مشاهده‌ها	کمینه	بیشینه	میانگین	چارک اول	میان	چارک سوم	انحراف استاندارد
کامل	691	1212	854	754	825	910	121/3
پیش از همه‌گیری	721	928	806	747	788	871	66/6
پس از همه‌گیری	691	1212	997	894	1019	1081	136/2

جای تردید نیست که عدم توازن میان بیلان آبی کشور و تقاضا برای آب، لزوم برنامه‌ریزی در مصرف بهینه‌ی آب و ترغیب به صرفه‌جویی در مصرف آن را ضروری ساخته است.

۳. مدل سازی GAM برای طرح‌های مداخله‌ای

در مطالعه‌ی پدیده‌های واقعی و تجربی، یک رویداد غیرمنتظره (مداخله)، تغییرات عمده در یک فرایند می‌تواند ایجاد کند و از آن، به عنوان فرصتی برای بررسی ماهیت و پویایی فرایند استفاده می‌شود. به منظور برآورد اثر مداخله، لازم است فرضیه‌هایی را پیرامون نتایجی که در غیاب مداخله رخ می‌دهد، بررسی شود. تحلیل سری زمانی منقطع^۱ (ITSA) یک طرح شبه‌تجربی است که از آن برای ارزیابی اثربخشی یک مداخله استفاده می‌شود. در روش ITSA، میزان و ثبات تغییر در نتیجه، پس از مداخله برآورد و تحلیل آماری مداخله بر حسب تاثیرات آنی، گذرا یا بلند مدت ارزیابی می‌شود. نقاط تغییر نقاط خاصی در زمان هستند که در آن‌ها مقادیر سری زمانی به دلایلی مانند یک پیشامد واقعی، تغییر سیاست یا مداخله آزمایشی تغییری نسبت به الگوی قبل، دارند. در تحلیل ITSA، به منظور بررسی تاثیر فوری و یا تدریجی طرح‌های مداخله‌ای، مشاهده‌ها در دو بخش پیش و پس از مداخله بررسی می‌شود. در انتخاب روش مناسب برای مدل سازی اثر مداخله، به معیارهایی از قبیل دانش طراحی مطالعه مناسب برای داده‌ها، ساختار داده‌ها، در دسترس بودن یک گروه مقایسه (کنترل)، وجود همبستگی بین مشاهده‌ها، وجود روند فصلی و سایر الگوها در داده‌ها، توجه می‌شود.

در تحلیل ITSA، متغیر پاسخ Y_t در دوره‌ی زمانی 1 تا τ_0 در معرض مداخله قرار نگرفته و در دوره زمانی $\tau_0 + 1$ تا T در معرض مداخله قرار گرفته است. $Y_t(0)$ و $Y_t(1)$ به ترتیب نتیجه‌ی پیشامد را بدون مداخله و با مداخله نشان می‌دهد، در مدل کلی ITSA، متغیر پاسخ Y_t به صورت رابطه‌ی (1) ارائه می‌شود:

رابطه‌ی (1)

$$Y_t = \begin{cases} Y_t(0), & t = 1, \dots, \tau_0, \\ Y_t(1), & t = \tau_0 + 1, \dots, T \end{cases}$$

اثر مداخله در زمان t به صورت $Y_t(1) - Y_t(0)$ تعریف می‌شود.

¹ Interrupted Times Series Analysis (ITSA)

یکی از مدل‌های پرکاربرد در ITSA، آنالیز رگرسیون قطعه بندی شده² (SR) است [11]. که در آن سطوح و روندهای جداگانه در پیش و پس از مداخله برآورد می‌شود. در آنالیز SR پیشامد مورد بررسی، پیش و پس از مداخله به‌طور متفاوتی برآزش می‌یابد. تغییر در سطح پیشامد پس از مداخله ممکن است یک مداخله ناگهانی باشد و تغییر در روند، نشان دهنده‌ی تغییر در تکامل این پیشامد است. مدل SR به صورت کلی رابطه‌ی (2) است.

رابطه‌ی (2)

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 M_t + \lambda_1 I_t + \lambda_2 TI_t + \varepsilon_t, \quad t = 1, \dots, T,$$

که در آن M_t ، متغیر روند با مقادیر صفر تا $T - 1$ ، متغیر نشانگر $I_t = \begin{cases} 0, & t = 1, \dots, \tau_0, \\ 1, & t = \tau_0 + 1, \dots, T \end{cases}$ و متغیر TI_t به صورت شماره‌گذاری دنباله‌ای دوره‌های زمانی مداخله می‌باشد که در زمان‌های پیش از وقوع مداخله، مقدار آن صفر و پس از آن به ترتیب مقادیر صفر تا $T - \tau_0 - 1$ را شامل می‌شود. به عبارت دیگر:

$$Y_t = \begin{cases} Y_t(0) = \beta_0 + \beta_1 M_t + \varepsilon_t, & t = 1, \dots, \tau_0 \\ Y_t(1) = (\beta_0 + \lambda_1) + \beta_1 M_t + \lambda_2 TI_t + \varepsilon_t, & t = \tau_0 + 1, \dots, T \end{cases}$$

در آنالیز ITSA، روش رگرسیون قطعه‌ای SR برای برآورد اثر مداخله‌گر، با اقبال گسترده‌ای روبرو شده است [2، 9]. مدل‌های جمعی تعمیم یافته³ (GAM)، یک روش مبتنی بر رگرسیون ناپارامتریک است که برای برآزش روندهای غیرخطی کاربرد دارد. مدل‌های GAM جایگزینی برای مدل‌های رگرسیون‌های غیرخطی، فارغ از نیاز به تعیین شکل رابطه‌ی غیرخطی پیشنهاد شده است [5]. این مدل‌ها برای توصیف روندها در داده‌های طولی در طرح‌های تک موضوعی مانند طرح تحقیقاتی که در آن یک فرد یا نمونه‌های بسیار کوچک در طول یک دوره‌ی پایه تجزیه و تحلیل می‌شوند و پس از آن یک عامل مداخله‌ای می‌تواند نتیجه را تغییر دهد مناسب هستند. مدل GAM رابطه‌ی غیرخطی بین زمان و مشاهده‌ها را ارائه می‌دهد که به راحتی با استفاده از مدل‌های خطی قابل تشخیص نیست. برای توصیف روند تغییر در داده‌های طولی کاربرد دارند. مدل‌های GAM برای ارزیابی مداخلات و تأثیر طرح‌های مداخله‌ای کاربرد دارند. در این مقاله، با استفاده از مدل GAM برای بررسی برآورد تأثیر یک مداخله در ITSA مربوط به متوسط تولید آب به ازای هر آحاد خانگی استفاده شد.

رابطه‌ی کلی مدل‌های GAM به شکل رابطه‌ی (3) است.

رابطه‌ی (3)

$$Y_t = \beta_0 + \sum f_j(X_t) + \varepsilon_t, \quad t = 1, \dots, T,$$

که در آن $f_j(X_t)$ هموارسازی اسپلاین برای متغیر توضیحی X_t است. مدل GAM مداخله‌ای برای بررسی تأثیر عامل مداخله‌ای در برآزش مشاهده‌ها، به صورت رابطه‌ی (4) تعریف می‌شود.

رابطه‌ی (4)

$$Y_t = \beta_0 + s_1(M_t) + \lambda_1 I_t + s_2(TI_t) + \varepsilon_t, \quad t = 1, \dots, T,$$

² Super Resolution (SR)

³ Generalized Additive Model (GAM)

به طوری که $S_1(\cdot)$ و $S_2(\cdot)$ توابع هموارسازی برای هر متغیر توضیحی است. با این مدل، مشاهده‌های مربوط به متوسط تولید آب به ازای آحاد خانگی و تاثیر عامل مداخله‌ای پاندمی کووید-19 بررسی می‌شود.

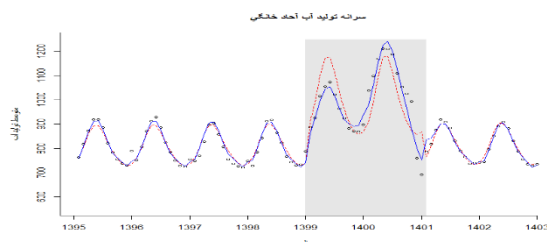
۴. مدل سازی متوسط تولید آب خانگی تأثیر پاندمی کووید-19 بر اساس مدل GAM مداخله‌ای

پس از بروز اولیه کووید-19 در ووهان چین در دسامبر سال 2019، در ایران نیز رییس وقت مرکز روابط عمومی وزارت بهداشت در تاریخ ۳۰ بهمن ۱۳۹۸ اعلام کرد که نتایج آزمایش اولیه‌ی دو مورد مشکوک به کرونا در قم مثبت گزارش شده است. رهبر معظم انقلاب نیز ۲۲ اسفند ۱۳۹۸ فرمان تشکیل قرارگاه بهداشتی و درمانی مقابله با کرونا را صادر کردند و ستاد ملی مبارزه با کرونا به ریاست رییس جمهور در ۲۴ اسفندماه 1398 تشکیل شد. در تاریخ ۳ اسفند ۱۳۹۸ وضعیت شیوع در ایران از حالت سفید خارج و وارد وضعیت زرد شد و بدین ترتیب، پاندمی کووید-19 در ایران نیز آغاز شد و متعاقب آن رعایت بهداشت فردی الزامی شده و سطح استانداردهای بهداشتی نیز افزایش یافت. پس از گذشت دو سال و با تزریق دوزهای سه‌گانه واکسن کووید-19، از شدت ابتلا کاسته شده و قرنطینه‌های خانگی و پروتکل‌های شدید بهداشتی، به آهستگی کاهش یافت.

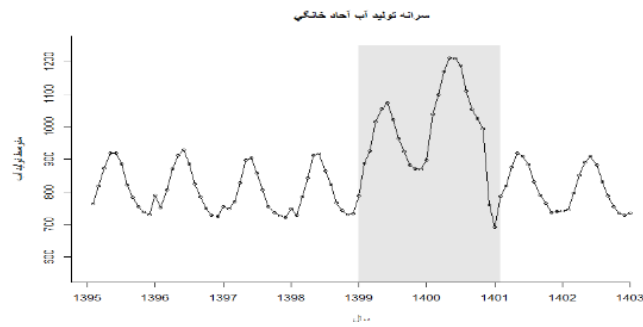
در این مطالعه تاثیر همه‌گیری کووید-19 بر متوسط تولید آب به ازای هر واحد خانگی بررسی و همه‌گیری کووید-19 به عنوان یک طرح مداخله‌ای غیرقابل کنترل در نظر گرفته شده است. با بازگشت وضعیت کشور به روال عادی، تاثیر دوره حاد پاندمی کووید-19 در دوره 24 ماهه‌ی فروردین سال 1399 تا اسفند 1400 بر روی افزایش تولید آب به ازای آحاد خانگی بررسی شده است.

روند متوسط تولید آب به ازای هر آحاد خانگی در سطح کشور طی سال‌های 1395 تا 1402 در شکل 1 آمده است، در این شکل میزان متوسط مصرف، دوره‌ی شیوع شدید کووید-19 (فروردین 1399 تا اسفند 1401) با رنگ طوسی مشخص شده است و به وضوح اوج‌گیری در تولید آب در این دو سال را نشان می‌دهد. پس از این دوره، دوباره رفتار خانوارها به روال عادی بازگشت و متوسط تولید آب به ازای هر آحاد خانگی کاهش یافت. در صورت عدم اعمال رفتار هیجانی دو ساله در مدل سازی‌ها، نتایج با نوعی سوء‌گیری مواجه می‌شوند و به اشتباه مقادیر نادرست بر روی مدل سازی تاثیر معناداری خواهد داشت.

یکی از مولفه‌های مهم در مدل سازی مشاهده‌های تولید آب، بررسی روند فصلی است. دو مدل GAM مداخله‌ای و SR به همراه مولفه‌ی فصلی بر مشاهده‌ها متوسط تولید آب برازش داده شد (شکل 2). در این شکل برازش مدل GAM مداخله‌ای با خط ممتد و برازش مدل SR با خط چین مشخص شده است.



شکل 1. نمودار متوسط تولید آب به ازای آحاد خانگی در سال 1395 تا 1402 شامل دوره‌ی پاندمی کووید-19 با رنگ طوسی



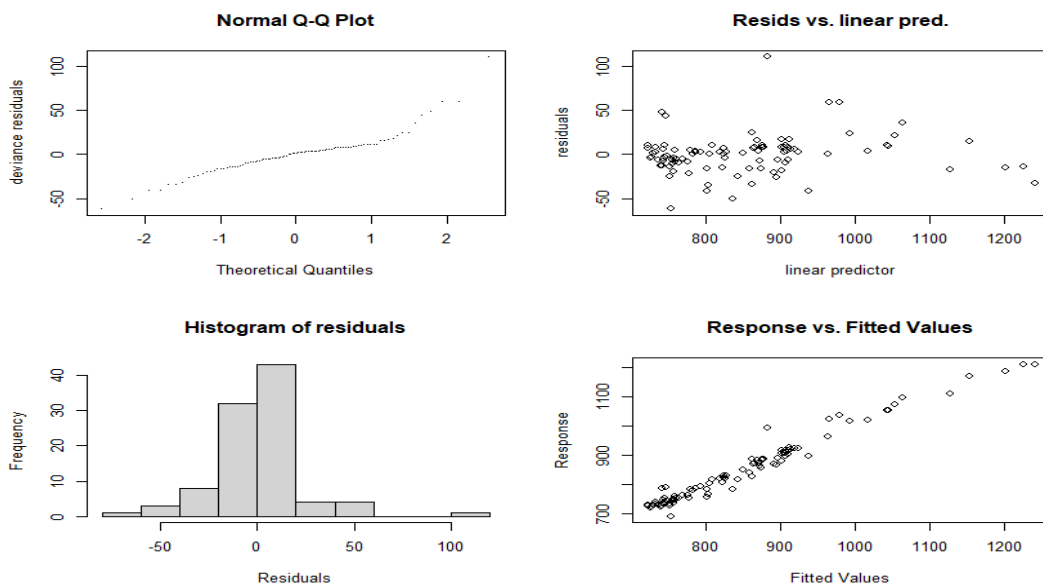
شکل 2. نمودار مدل سازی متوسط تولید آب به ازای آزاد خانگی در بخش شهری بر اساس دو مدل SR و GAM

برای اندازه‌گیری دقت پیش‌بینی در مدل سازی‌های GAM مداخله‌ای و SR و آماری، از میانگین درصد مطلق خطا⁴ (MAPE) استفاده شد. این معیار برحسب میانگین درصد مطلق اختلاف بین مقادیر پیش‌بینی شده و مقادیر واقعی تعریف می‌شود. مقادیر کوچک MAPE بیانگر دقت بالاتر مدل است. مقدار MAPE برای مدل GAM مداخله‌ای 0/017 و برای مدل SR، 0/064 محاسبه شد.

5. بررسی کفایت مدل GAM مداخله‌ای در برازش متوسط تولید آب به ازای آزاد خانگی

پس از انتخاب مدل مناسب، لازم است که کارآمدی و کفایت آن در برازش داده‌ها بررسی و از لحاظ آماری تأیید شود. در ادامه با در نظر گرفتن باقی‌مانده‌های مدل که به صورت تفاضل مقادیر واقعی و مقادیر پیش‌بینی تعریف می‌شود، کارآمدی مدل GAM بررسی شد. با استناد بر داده‌های شکل 3، کفایت مدل GAM مداخله‌ای در برازش متوسط تولید آب تأیید شد.

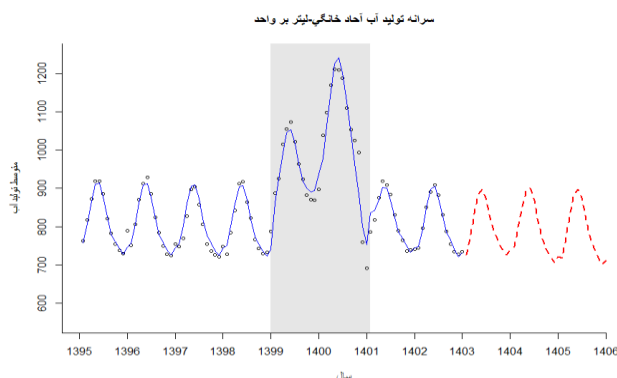
⁴ Mean Absolute Percentage Error (MAPE)



شکل 3. نمودار آنالیز باقی‌مانده‌های مدل GAM در برازش متوسط تولید آب

6. پیش‌بینی متوسط تولید آب به ازای آحاد خانگی بر اساس مدل GAM مداخله‌ای

با تکیه بر مدل سازی GAM مداخله‌ای، پیش‌بینی‌هایی از آینده‌ی سری زمانی متوسط تولید آب آحاد خانگی بررسی شد.



شکل 4. نمودار متوسط تولید آب به ازای آحاد خانگی و پیش‌بینی مقادیر آن در سال‌های 1403 تا 1405

در شکل 4، متوسط تولید آب هر آحاد خانگی و همچنین مقادیر پیش‌بینی بر اساس مدل GAM مداخله‌ای، برای سال‌های 1403 تا پایان سال 1405 نشان داده شده است، در این شکل، مقادیر واقعی با دایره‌های مشکی، مقادیر برازش‌شده بر اساس مدل GAM مداخله‌ای با خط ممتد و مقادیر پیش‌بینی سال‌های آتی بر اساس مدل GAM مداخله‌ای با خط چین مشخص شده است.

همچنین، مقادیر پیش‌بینی متوسط حجم تولید آب مورد نیاز به ازای آحاد خانگی برای سال‌های 1403 تا 1405 بر اساس مدل GAM مداخله‌ای در جدول 5 خلاصه شده است. بر اساس مدل GAM مداخله‌ای، پس از حذف تاثیرگذاری پاندمی کووید-19 در افزایش سرنانه تولید آب، به طور میانگین کاهش متوسط تولید آب به ازای آحاد خانگی رخ خواهد داد. به تعبیر دیگر با کاهش تاثیر شیوع همه‌گیری و اعتدال رفتار هیجانی پس از همه‌گیری، به مصرف کمتر آب می‌توان امیدوار بود.

جدول 5. مقادیر پیش‌بینی متوسط تولید آب به ازای آحاد خانگی طی سال‌های 1403 تا 1405

پیش‌بینی 1405 (لیتر به ازای هر واحد)	پیش‌بینی 1404 (لیتر به ازای هر واحد)	پیش‌بینی 1403 (لیتر به ازای هر واحد)	ماه
726	748	726	فروردین
780	796	775	اردیبهشت
843	852	835	خرداد
894	897	885	تیر
906	902	898	مرداد
876	868	871	شهریور
826	815	825	مهر
779	768	783	آبان
752	742	761	آذر
728	721	742	دی
709	706	727	بهمن
719	722	739	اسفند

۷. سیاست‌های کاربردی و محدودیت‌های تحقیق

رویکرد اصلی مقاله، بررسی تاثیر پاندمی کووید-19 بر صنعت آب و فاضلاب می‌باشد و طرح مداخله غیرقابل کنترل پاندمی بر روی حجم تولید آب مورد نیاز خانوارها و تاثیرگذاری آماری آن در اوج‌گیری نیاز آبی خانوارها مطالعه شده است. پس از گذر از دوره اوج‌گیری کووید-19 در کشور، روند طبیعی در میزان تولید آب مورد نیاز خانوارها مشاهده می‌گردد، به طوری که پس از آن شاهد روند نزولی سالانه در متوسط حجم تولید آب به ازای آحاد خانگی می‌باشیم. از محدودیت‌های اصلی تحقیق، عدم بررسی مصرف آب در خانوارها و هم‌چنین سایر کاربری‌ها از قبیل تجاری و صنعتی می‌باشد. می‌توان به عنوان مباحث کاربردی در مطالعات آتی، به حجم مصرف آب در بخش‌های خانگی و یا کاربری‌های غیرخانگی دو دوره اوج‌گیری پاندمی و پس از آن اشاره نمود.

۸. خلاصه و نتیجه‌گیری

پاندمی کووید-19 در سرتاسر جهان منجر به تغییرات ملموسی در سبک‌زندگی و استانداردهای بهداشتی شده است. از این‌روی، نمی‌توان از تاثیر این موضوع بر روی حجم مصرف آب غفلت نمود. در این مقاله، به مدل‌سازی متوسط حجم تولید آب به ازای هر واحد خانگی بر اساس مدل GAM مداخله‌ای پرداخته شده است، به طوری که متوسط حجم تولید آب به دو بازه پیش از پاندمی و پس از آن تقسیم شده است. با تعدیل نمودن رفتار هیجانی دو ساله 1399 تا 1401 در مصرف آب، نتایج بیانگر این است که رفتار خانوارها به روال عادی بازگشته و متوسط تولید آب به ازای هر آحاد خانگی کاهش یافته است. با استفاده از مدل GAM مداخله‌ای، مقادیر آبی متوسط حجم تولید آب به ازای آحاد خانگی برای بازه سال‌های 1403 تا 1405 پیش‌بینی شده است.

۹. منابع مورد استفاده

1. 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(13), 9.

2. Bernal J.L., Cummins S. and Gasparini A. (2017) "**Interrupted time series regression for the evaluation of public health interventions: A tutorial**". International Journal of Epidemiology, **46**, 348-355.
3. 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)**, 1-8.
4. Hastie, T.; Tibshirani, R. "**Generalized Additive Models**"; John Wiley & Sons, Inc.: Hoboken, NJ, USA, 1990.
5. 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.
6. Memon F. and Butler D. (2021) "**Water consumption trends and domestic demand forecasting**". Imperial College of Science, London.
7. Mohammadzadeh H. and Makhdomi N. (2022) "**Effects of COVID-19 on water and wastewater resources and its environmental consequence**". Journal of Water and Wastewater, **33(4)**, 95-114.
8. Nemati M. and Tran D. (2022) "**The Impact of COVID-19 on urban water consumption in the United States**". Water, **14**, 3096.
9. Penfold R.B. and Zhang F. (2013) "**Use of interrupted time series analysis in evaluating health care quality improvements**". Academic Pediatrics, **13**, 38-44.
10. Sivakumar B. (2021) COVID-19 and water. "Stochastic Environmental Research and Risk Assessment", **35**, 531-534.
11. 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**, 299-309.
12. 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**, 139021.

Modeling to investigate the impact of the Covid-19 pandemic on the average forecast of water production per household in the urban sector

Masoud Bagherzadeh Karimi, Fatemeh Ansari, Masoumeh Shirozhan and Sahar Tabibian

Abstract

In this article, the impact of the Covid-19 pandemic on the modeling of the average volume of water production per household has been investigated. The uncontrollable intervention plan of the pandemic has a significant effect on the modeling of the average water production volume of each household unit and the change of the water consumption pattern, and removing the effect of the epidemic in the modeling causes a prediction error. Considering the two time periods before and after the covid-19 pandemic, based on the intervention time series and the generalized intervention model, the average volume of water production of each household unit, in the urban part of the country, has been studied and the values of the next three years of average production Water was predicted. The efficiency and adequacy of the model was also checked based on the analysis of the model residuals. According to the proposed model, the average volume of water production per household returned to a downward trend after passing through an exciting period of 2 years. The average household water production per household unit is expected to decrease in the coming years.

Keywords: Water units, Generalized additive intervention model, Per capita water production volume, Intervention design