مدل‌سازی و پیش‌بینی متوسط تولید آب به ازای آحاد خانگی در بخش شهری

مسعود باقرزاده کریمی[1]، فاطمه انصاری[1] و معصومه شیراوژن [2]

[(1)] دفتر برنامه‌ریزی و بودجه، شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور

[(2)] دفتر برنامه‌ریزی و بودجه، شرکت آب و فاضلاب استان مازندران

چکیده

هدف این مقاله، بررسی تاثیر اپیدمی کووید-19 بر مدل‌سازی متوسط حجم تولید آب به ازای آحاد خانگی می‌باشد. طرح مداخله‌گر غیرقابل کنترل اپیدمی در مدل‌سازی متوسط حجم تولید آب هر واحد خانگی و تغییر الگوی مصرف آب تاثیر معنادار دارد و حذف اثر همه‌گیری در مدل‌سازی باعث ایجاد اریبی و خطای پیش‌بینی می‌گردد. از این‌روی، با در نظر گرفتن دو دوره زمانی پیش و پس از همه‌گیری کووید-19 بر اساس سری زمانی مداخله‌ای و مدل جمعی تعمیم‌یافته مداخله‌ای متوسط حجم تولید آب هر واحد خانگی در بخش شهری در سطح کشور، مطالعه و مقادیر سه سال آتی متوسط تولید آب را پیش‌بینی می‌نماییم و کارایی و کفایت مدل نیز بر اساس آنالیز باقمیانده‌های مدل بررسی می‌گردد. طبق مدل‌سازی پیشنهادی، متوسط حجم تولید آب به ازای آحاد خانگی، پس از گذر از یک دوره هیجانی در طی 2 سال، به روال نزولی باز می‌گردد و انتظار می‌رود دوباره روند نزولی متوسط تولید آب خانگی به ازای هر واحد خانگی را در سال‌های آتی شاهد باشیم.

واژه‌های کلیدی: آحاد آب، پیش‌بینی، مدل جمعی تعمیم‌یافته مداخله‌ای، سرانه حجم تولید آب، طرح مداخله‌ای.

۱. مقدمه

رشد جمعیت، بهبود استانداردهای اقتصادی و تغییر سبک زندگی، منجر به افزایش حجم تقاضای آب برای کاربری‌های شهری شده که این موضوع به عنوان یک چالش پیش روی سیاست‌گذاران قرار دارد. از این‌روی، پیش‌بینی تقاضای آب برای سال‌های آتی، بر اساس داده‌های حجم تولید و مصرف آب به صورت دوره‌های زمانی پیشین، به منظور تعیین دسترسی به آب در آینده و نحوه تأثیرگذاری بر مصرف آب بسیار مهم است. توجه به این موضوع نیز ضروری است که پیش‌بینی تقاضای آب بر اساس احتمالات با استفاده از یک پایه علمی و اطلاعات پیشین برای برآورد در دسترس بودن آب در آینده انجام می‌شود. با این حال، نتایج احتمالی تنها نشانه‌ای از تقاضای مورد انتظار برای آب است و هر پیش‌بینی با محدوده‌ای از خطا همراه است. هدف اصلی پیش‌بینی، محدود کردن

شکاف بین واقعیت تولید و مصرف آب و پیش‌بینی حجم تولید و مصرف در آینده است و ارائه بالاترین دقت و کمترین میزان خطای پیش‌بینی که تصمیم‌گیرندگان را قادر می‌سازد تا چاره‌ای برای تامین نیاز آبی اندیشیده و راه‌حل‌های جایگزینی را ابداع نمایند (ممون و بوتلر 2021). بنابراین دقت پیش‌بینی‌ها در مهار بحران و تنش آبی، نقش غیرقابل انکاری را ایفا می‌کند. برای انتخاب راهبرد صحیح مدیریت مصرف آب لازم است ابتدا عوامل تاثیرگذار بر میزان مصرف آب مورد بررسی قرار گیرد تا راهبرد مدیریتی متناسب با آن انتخاب شود.

بررسی عامل کووید-19 در افزایش حجم مصرف آب و تغییر الگوی مصرف آب در خانواده‌ها، مورد توجه بسیاری از محققین در سرتاسر جهان واقع شده است. به عنوان مثال بومیک و همکاران (2020)، یونس و همکاران (2020)، کالبوش و همکاران (2020)، ابوبکر و همکاران (2021)، سیواکومار (2021)، نعمتی و ترن (2022) و محمدزاده و مخدومی (2022) را ببینید.

۲. بررسی حجم تولید آب در بخش شهری

متوسط تولید آب آحاد خانگی در سطح کشور، طی سال‌های 1395 الی 1402 به صورت ماهانه مورد بررسی قرار گرفته است. تولید آب در بخش شهری در سال‌های 1395 تا 1402 برحسب میلیارد مترمکعب، در جدول 1 ارائه شده است.

جدول 1. حجم تولید و رشد حجم تولید آب در بخش شهری از سال 1395 الی 1402

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

با توجه به افزایش جمعیت کشور، روند صعودی در میزان تولید آب مورد نیاز کشور نیز منطقی و قابل توجیه می‌باشد. در این میان، روند رشد حجم تولید آب در بخش شهری به ترتیب در سال‌های 1395 تا 1402 حائز اهمیت می‌باشد. رشد چشم‌گیر حجم تولید آب در سال 1399 که به دلیل آغاز اپیدمی کووید-19 در سطح کشور و ارتقاء ناگهانی سطح استانداردهای بهداشتی و رعایت پروتکل‌ها می‌باشد، نیز بر روی مدل‌سازی‌های آماری تاثیرگذار بوده و در صورت عدم استقرار مولفه اپیدمی، منجر به کاهش دقت در مدل‌سازی و ایجاد اریبی در نتایج می‌گردد. در ادامه به بررسی تاثیرگذاری اپیدمی بر روی سرانه تولید آب و با ارائه مدل‌سازی خطی جمعی تعمیم‌یافته مداخله‌ای مقادیر آتی سری زمانی مورد نظر را پیش‌بینی می‌نماییم.

با توجه به هدررفت آب تولیدی، لذا سالانه درصدی از کل آب تولیدی به مصرف عموم می‌رسد که حجم آب مصرفی نیز به کاربری‌های مختلف شامل مسکونی، تجاری، صنعتی و غیره اختصاص می‌یابد. در جدول زیر، درصد

آب بدون درآمد، درصد مصرف آب خانگی از کل مصرف آب و حجم فروش آب خانگی طی سال‌های 1395 الی 1402 ارائه شده است.

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

سال	آب بدون درآمد	حجم مصرف آب خانگی به کل مصرف	حجم فروش آب خانگی
	درصد	درصد	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

طی سال‌های 1395 الی 1402، سرانه تولید آب هر واحد خانگی و سرانه مصرف آب هر واحد خانگی در جدول 3 خلاصه شده است.

جدول 3. سرانه تولید و مصرف آب هر واحد خانگی در بخش شهری در سال‌های 1395 تا 1402

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

به منظور بررسی تاثیر اپیدمی کووید-19 بر متوسط تولید آب هر آحاد خانگی، داده‌های متوسط تولید آب به ازای آحاد خانگی را به دو بخش پیش از اپیدمی و پس از آن تقسیم می‌نماییم. برخی آماره‌های توصیفی مشاهدات کامل (هر دو بخش پیش و پس از اپیدمی)، مشاهدات پیش از اپیدمی و مشاهدات پس از اپیدمی در جدول 4 خلاصه شده است. با توجه به جدول 4 و رعایت شدید پروتکل‌های بهداشتی و اعمال قرنطینه خانگی، متوسط تولید آب در دوره پس از اپیدمی کووید-19 نسبت به پیش از آن افزایش معناداری را نشان می‌دهد. بنابراین، رویکرد بررسی فرضیه تغییر الگوی مصرف آب خانوار و متعاقبا سرانه تولید آب به ازای آحاد خانگی در کشور متاثر از همه‌گیری کووید-19 حائز اهمیت می‌باشد.

جدول 4. آماره‌های توصیفی مشاهدات متوسط تولید آب هر واحد خانگی

مشاهدات	مینیمم	ماکزیمم	میانگین	چارک اول	میانه	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

تنش آبی و بحران آب موجود در کشور ایران، لزوم برنامه‌ریزی در کاهش مصرف آب و ترغیب به صرفه‌جویی در مصرف این مایه حیاتی را روشن می‌سازد. هم‌چنین، با توجه به محدود بودن منابع آبی، تغییرات جوی و کاهش بارندگی‌ها و افزایش مصرف آب به دلیل رشد جمعیت شهری لزوم برنامه‌ریزی‌های صحیح و کارآمد را به خوبی آشکار می‌سازد. در سال‌های اخیر، یکی دیگر از عوامل فزاینده مصرف آب، شیوع کووید-19 و ضرورت رعایت پروتکل‌های بهداشتی می‌باشد. مدل‌سازی مناسب و دقیق متوسط تولید آب به ازای آحاد خانگی، در برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری در حیطه صنعت آب و فاضلاب کاربرد دارد. بنابراین، در این مقاله، به مدل‌سازی حجم تولید آب به ازای آحاد خانگی، می‌پردازیم.

۲. مدل‌سازی GAM برای طرح‌های مداخله‌ای

در مطالعات پدیده‌های واقعی و تجربی، یک رویداد غیرمنتظره تحت عنوان مداخله، منجر به ایجاد تغییرات عمده در یک فرایند می‌شود که می‌توان از آن به عنوان فرصتی برای بررسی ماهیت و پویایی فرایند استفاده نمود. به منظور برآورد اثر مداخله، لازم است فرضیاتی را در مورد نتایجی که در غیاب مداخله رخ می‌دهد، بررسی نماییم. تحلیل سری زمانی منقطع (ITSA) یک طرح شبه‌تجربی است که برای ارزیابی اثربخشی یک مداخله استفاده می‌شود. در روش ITSA، میزان و ثبات تغییر در یک نتیجه پس از مداخله برآورد می‌شود و امکان ارزیابی آماری تاثیر یک مداخله بر حسب تاثیرات آنی، گذرا یا بلند مدت را فراهم می‌آورد. نقاط تغییر نقاط خاصی در زمان هستند که در آن مقادیر سری زمانی ممکن است تغییری نسبت به الگوی قبل، به دلایلی مانند یک پیشامد واقعی، تغییر سیاست یا مداخله آزمایشی نشان دهند. در تحلیل ITSA، به منظور بررسی تاثیرات فوری یا تدریجی طرح‌های مداخله‌ای، مشاهدات در دو بخش قبل و بعد از مداخله بررسی می‌شود. در انتخاب روش مناسب برای مدل‌سازی اثر مداخله، به معیارهایی از قبیل دانش طراحی مطالعه مناسب برای داده‌ها، ساختار داده‌ها، در دسترس بودن یک گروه مقایسه (کنترل)، وجود همبستگی بین مشاهدات، وجود روند فصلی و سایر الگوها در داده‌ها توجه می‌شود.

متغیر پاسخ Y_t را در نظر بگیرید، به طوری‌که در دوره 1 تا τ_0 در معرض مداخله قرار نگرفته و در دوره $\tau_0 + 1$ تا T در معرض مداخله قرار گرفته است. فرض کنید که $Y_t(0)$ و $Y_t(1)$ به ترتیب نتیجه پیشامد را بدون مداخله و با مداخله نشان می‌دهد، در مدل کلی ITSA، متغیر پاسخ Y_t به صورت زیر ارائه می‌شود

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

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

یکی از مدل‌های پرکاربرد در ITSA، آنالیز رگرسیون قطعه بندی شده (SR) (وگنر و همکاران، (2002)) می‌باشد که در آن سطوح و روندهای جداگانه در هر بخش قبل و بعد از مداخله برآورد می‌شوند. در آنالیز SR پیشامد مورد بررسی، قبل و بعد از مداخله به‌طور متفاوتی برازش می‌یابد. تغییر در سطح پیشامد پس از مداخله ممکن است یک مداخله ناگهانی باشد و تغییر در روند نشان‌دهنده تغییر در تکامل این پیشامد است. مدل SR به صورت کلی زیر نشان داده می‌شود

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

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 قبل از وقوع مداخله مقدار صفر و پس از آن به ترتیب مقادیر صفر تا $T - \tau_0 - 1$ را شامل می‌شود. به عبارت دیگر

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

در آنالیز ITSA، روش رگرسیون قطعه‌ای SR برای برآورد اثر مداخله‌گر با اقبال گسترده‌ای روبرو شده است (پنفولد و ژانگ (2013) و برنال و همکاران (2017) را ببینید).

مدل‌های جمعی تعمیم‌یافته (GAM)، یک روش مبتنی بر رگرسیون ناپارامتریک می‌باشد که در برازش روندهای غیرخطی مفید کاربرد دارد. مدل‌های GAM به‌عنوان جایگزینی برای مدل‌های رگرسیون‌های غیرخطی، فارغ از نیاز به تعیین شکل رابطه غیرخطی پیشنهاد شده است (به هستی و تیبشیرانی (1990) مراجعه شود). مدل‌های GAM می‌توانند برای توصیف روندها در داده‌های طولی در طرح‌های تک موضوعی (طرح تحقیقاتی که در آن یک فرد یا نمونه‌های بسیار کوچک در طول یک دوره پایه مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند و پس از آن یک عامل مداخله‌ای می‌تواند نتیجه را تغییر دهد) مفید باشند. این دوره به دلیل حذف مداخله می‌تواند با بازگشت به حالت اولیه همراه شود. مدل GAM رابطه غیرخطی بین زمان و مشاهدات را ارائه می‌نماید که به راحتی با استفاده از مدل های خطی قابل تشخیص نمی‌باشد. مدل‌های GAM برای توصیف روند در داده‌های طولی کاربرد دارند، به طوری‌که تغییر در طول زمان غیرخطی است اما ماهیت دقیق آن همچنان مشخص نیست. لذا مدل‌های GAM برای ارزیابی مداخلات و تأثیر طرح‌های مداخله‌ای کارایی دارد. بنابراین در این مقاله، با استفاده از مدل

GAM به بررسی برآورد تأثیر یک مداخله در ITSA مربوط به متوسط تولید آب به ازای هر آحاد خانگی می‌پردازیم.

رابطه کلی مدل‌های GAM به صورت زیر ارائه می‌گردد

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

که در آن $f_j(X_t)$ هموارسازی اسپلاین برای متغیر توضیحی X_t است. به منظور بررسی تأثیر عامل مداخله‌ای در برازش مشاهدات مورد بررسی، مدل GAM مداخله‌ای به صورت زیر تعریف می‌نماییم

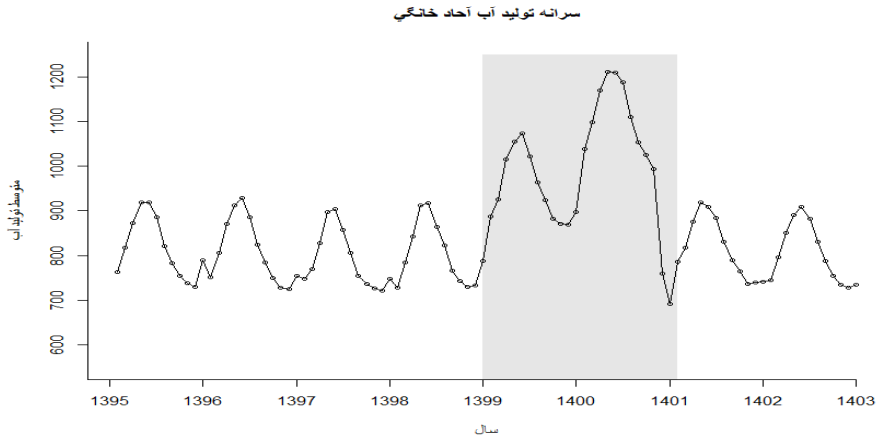
$$Y_t = \beta_0 + s_1(M_t) + \lambda_1 I_t + s_2(TI_t) + \varepsilon_t, \qquad t = 1, \dots, T,$$

به طوری‌که $s_1(.)$ و $s_2(.)$ توابع هموارسازی برای هر متغیر توضیحی می‌باشند. با استفاده از مدل فوق، مشاهدات مربوط به متوسط تولید آب به ازای آحاد خانگی و تاثیر عامل مداخله‌ای اپیدمی کووید-19 را بررسی می‌نماییم.

۳. مدل‌سازی متوسط تولید آب خانگی با توجه به تأثیر اپیدمی کووید-۱۹ 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 اولیه دو مورد مشکوک ابتلا به کرونا در قم مثبت گزارش شده است. رهبر معظم انقلاب نیز ۲۲ اسفند ۱۳۹۸ خطاب به رئیس ستاد کل نیروهای مسلح فرمان تشکیل قرارگاه بهداشتی و درمانی مقابله با کرونا را صادر کردند و ستاد ملی مبارزه با کرونا به ریاست رییس جمهور وقت از ٢٤ اسفند تشکیل شد. در تاریخ ۳ اسفند ۱۳۹۸ وضعیت در ایران از سفید خارج و وارد وضعیت زرد شد و بدین ترتیب، اپیدمی کووید-19 در ایران نیز آغاز گردید. با توجه به سرایت بالای این ویروس، رعایت بهداشت فردی الزامی شده و سطح استانداردهای بهداشتی نیز افزایش یافته است. با افزایش سطح پروتکل‌های بهداشتی و تغییر سبک زندگی، مصرف آب نیز با روند افزایشی مواجه می‌گردد. پس از دو سال متوالی 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 به بررسی تاثیر همه‌گیری کووید-19 بر متوسط تولید آب به ازای هر واحد خانگی می‌پردازیم، به طوری‌که همه‌گیری کووید-19 را به عنوان یک طرح مداخله‌ای غیرقابل کنترل در نظر می‌گیریم. با توجه به بازگشت وضعیت کشور به روال عادی، به بررسی تاثیر دوره حاد اپیدمی کووید-19 در دوره 24 ماهه فروردین سال 1399 تا اسفند 1400 بر روی افزایش تولید آب به ازای آحاد خانگی می‌پردازیم.

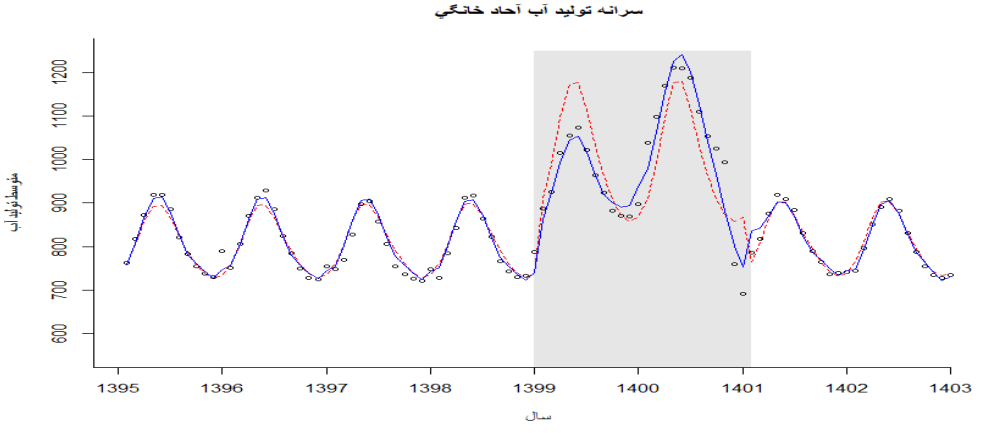
روند متوسط تولید آب به ازای هر آحاد خانگی در سطح کشور طی سال‌های 1395 تا 1402 به صورت ماهانه در نمودار 1 نمایش داده شده است، به طوری‌که در آن، دوره شیوع شدید کووید-19 در فروردین سال 1399 تا اسفند 1401 با رنگ طوسی مشخص شده است. به وضوح اوج‌گیری در تولید آب در این دو سال مشاهده می‌گردد. اما لازم به ذکر است که پس از این دوره، دوباره رفتار خانوارها به روال عادی بازگشته و با کاهش متوسط تولید آب به ازای هر آحاد خانگی روبرو هستیم. بنابراین در صورت عدم اعمال رفتار هیجانی دو ساله در مدل‌سازی‌ها، نتایج با نوعی سوءگیری مواجه می‌شوند و به اشتباه مقادیر پرت بر روی مدل‌سازی تاثیر معناداری



خواهد داشت.

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

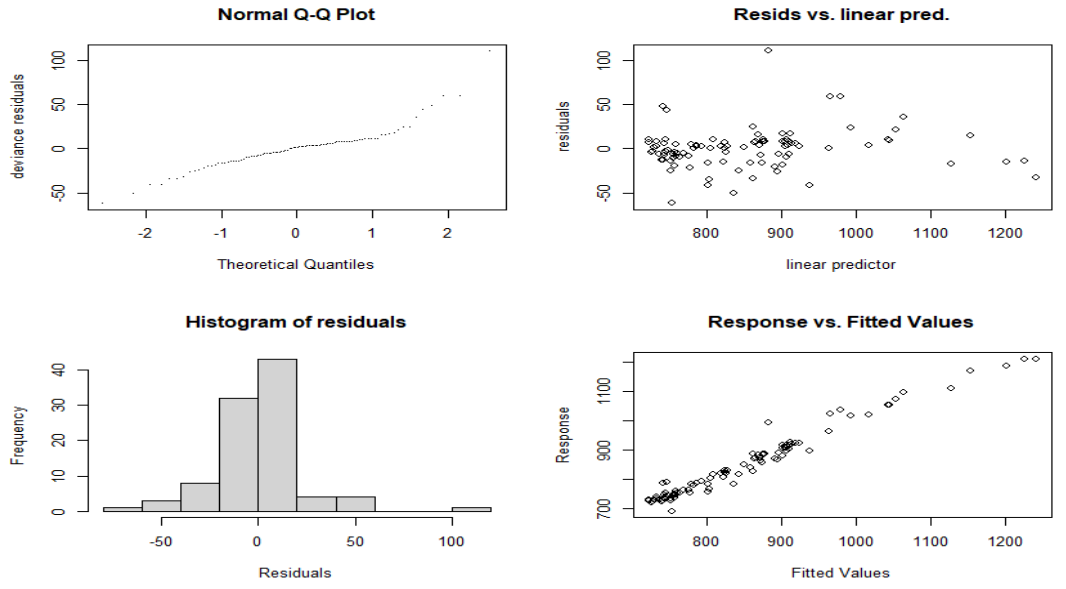
مشاهداتی که به صورت سری زمانی ماهانه جمع‌آوری می‌شوند، طبق انتظار روند تکراری در طی ماه‌ها از قبیل روند ماهانه یا فصلی را شامل می‌شوند. بنابراین، یکی از مولفه‌های مهم در مدل‌سازی مشاهدات تولید آب، بررسی وجود روند فصلی در مشاهدات است. دو مدل GAM مداخله‌ای و SR به همراه مولفه فصلی را بر روی مشاهدات مربوط به متوسط تولید آب برازش می‌دهیم. نتایج در نمودار 2 نشان داده شده است، به طوری‌که برازش مدل GAM مداخله‌ای با خط آبی رنگ و برازش مدل SR با خط‌چین قرمز رنگ مشخص شده است.



یکی از معیارهای ارزیابی برای اندازه‌گیری دقت پیش‌بینی در مدل‌سازی‌های آماری، میانگین درصد مطلق خطا (MAPE) می‌باشد. معیار MAPE به عنوان میانگین درصد مطلق اختلاف بین مقادیر پیش‌بینی شده و مقادیر واقعی تعریف می شود، به طوری‌که، مقادیر کوچک MAPE بیانگر دقت بالاتر مدل پیشنهادی می‌باشد. به منظور مقایسه دو روش مدل‌سازی GAM مداخله‌ای و SR در برازش مشاهدات متوسط تولید آب، از معیار MAPE استفاده می‌نماییم، به طوری‌که برای مدل GAM مداخله‌ای مقدار 0/017 و برای مدل SR، مقدار 0/064 محاسبه شده است. با تکیه بر معیار MAPE به برتری مدل GAM مداخله‌ای نسبت به مدل SR در برازش متوسط تولید آب دست می‌یابیم.

٤. بررسی کفایت مدل GAM مداخله‌ای در برازش متوسط تولید آب به ازای آحاد خانگی

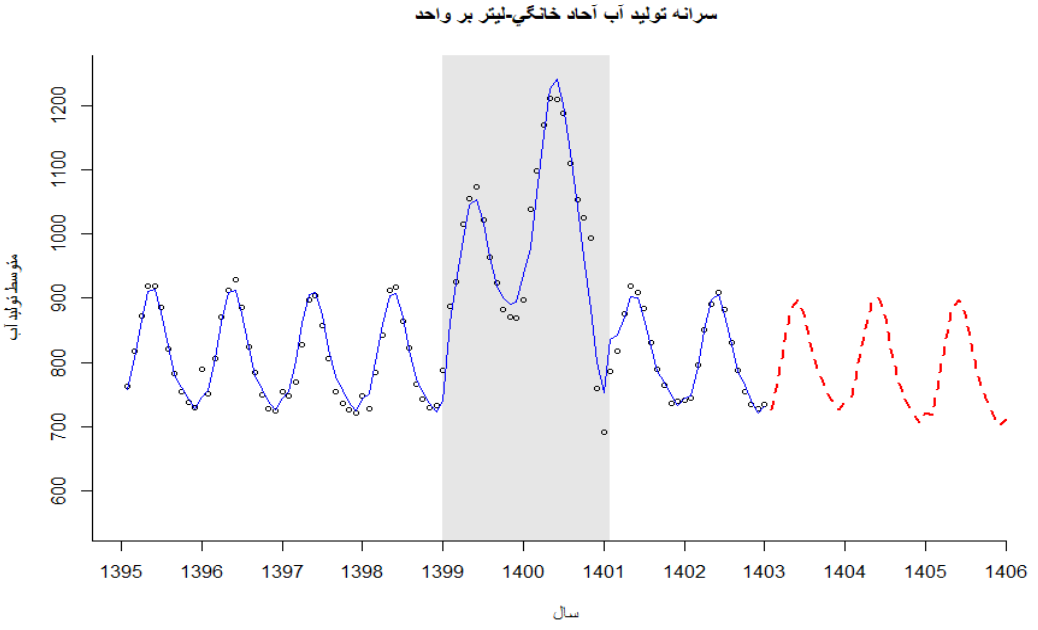
در مدل‌سازی‌های آماری، پس از انتخاب مدل مناسب، لازم است که کارایی و کفایت مدل در برازش داده‌ها نیز بررسی و از لحاظ آماری مورد تائید قرار گیرد. لذا، در ادامه با در نظر گرفتن باقیمانده‌های مدل که به صورت تفاضل مقادیر واقعی و مقادیر پیش‌بینی تعریف می‌شود، کارایی مدل را بررسی می‌نماییم. با استناد بر نمودار 3، کفایت مدل GAM مداخله‌ای در برازش متوسط تولید آب تائید می‌گردد.



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

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

هدف اصلی از برازش مدل بر روی سری‌های زمانی، به‌کارگیری آن‌ها برای ارائه پیش‌بینی‌هایی از آینده فرایند می‌باشد. پیش‌بینی‌ها در ارائه برنامه‌های راهبردی نقش موثری ایفا می‌نمایند. در این بخش نیز، با تکیه بر مدل‌سازی GAM مداخله‌ای، پیش‌بینی‌هایی از آینده سری زمانی متوسط تولید آب آحاد خانگی ارائه می‌نماییم.



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

در نمودار 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، به طوری‌که، مقادیر واقعی با دایره‌های مشکی، مقادیر برازش‌شده بر اساس مدل GAM مداخله‌ای با خط آبی و مقادیر پیش‌بینی سال‌های آتی بر اساس مدل GAM مداخله‌ای با خط‌چین قرمز 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 اپیدمی کووید-19 در افزایش سرانه تولید آب، به طور میانگین شاهد کاهش متوسط تولید آب به ازای آحاد خانگی می‌باشیم. از این‌روی، می‌توان به کاهش تاثیر شیوع همه‌گیری و اعتدال رفتار هیجانی پس از همه‌گیری در مصرف آب امیدوار بود.

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

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

فهرست منابع

[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 Gasparrini 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.