ارزیابی پارامترهای موثر بر مصرف آب شرب شهری با استفاده از تکنیک تست گاما

حسین انصاری[1] نرگس صالح‌نیا[2]

(دریافت ۹۰/۲/۵ آخرین اصلاحات دریافتی ۹۱/۸/٤ پذیرش ۹۱/۸/۲۰)

چکیده

افزایش جمعیت و تغییر ساختار جمعیتی طی دهه‌های اخیر در کشور، اهمیت نیاز به تغییر در شیوه‌های مدیریت تقاضای آب شرب شهری و پیش‌بینی تقاضاهای جدید از طریق تحلیل عوامل موثر بر مصرف آب را بیشتر کرده است. لذا ارزیابی خصوصیات فیزیکی و رفتاری مشترکان آب شرب شهری تحت شرایط مختلف مصرف از اهمیت بالایی برخوردار است. در همین راستا، تحقیق حاضر با هدف بررسی اثر خصوصیات فیزیکی و رفتاری مشترکان شهری و با مدنظر قرار دادن تأثیر شرایط اقلیمی در دوره‌های زمانی مختلف برای شهر نیشابور در خراسان رضوی انجام شد. از آنجا که پارامترهای تاثیر گذار بر مصارف آب شهری معرفی شده در تحقیقات مختلف قبلی بسیار متفاوت بود، لذا در این تحقیق سعی شده تا با مدنظر قرار دادن تقریباً تمام عوامل موثر با هم (۲۷ متغیر ورودی)، از توانمندی‌های تست گاما برای ارزیابی اثرات مذکور در یک فضای ناپارامتریک استفاده شود. در ابتدا به‌کمک تست گاما مقدار نزدیک‌ترین همسایگی و تعداد داده‌های مورد نیاز برای مدل‌سازی تعیین شد. سپس با استفاده از روشهای مختلف تعبیه‌سازی، متغیرهای تاثیرگذار و ترکیبات مختلف این متغیرها که بر میزان مصرف آب شرب موثر بودند، انتخاب شدند. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که متغیرهای زیادی از جمله متغیرهای مرتبط با عرصه و اعیان، وسایل و تجهیزات کم و پرمصرف، پارامترهای اقلیمی، خصوصیات سیستم توزیع و مشخصات مشترکان، پارامترهای اقتصادی و شرایط مصرف در دوره‌های قبل بر مصرف دو ماهه، سالانه و مصرف بلند مدت مشترکان آب شرب موثر است. همچنین مصرف متوسط بلند مدت مشترکان شهر نیشابور تقریباً برخلاف نتایج دیگر مطالعات ارائه شده به وضعیت فشار آب شبکه حساس بود، هرچند که رضایت‌مندی مشترکان از خدمات رسانی شرکت آب و فاضلاب نیز تا حدودی مصرف طولانی مدت آنها را تحت تاثیر خود داشت. بنابراین، تفاوتهای کمّی و کیفی مشاهده شده در عوامل تاثیرگذار بر مصرف آب شرب، در بازه‌های زمانی مختلف و تعدد این عوامل، نیاز به نگاه ویژه‌تر و دقیق‌تر به مصرف آب مشترکان و بازنگری سیاست‌های مدیریتی در بخش تامین و تقاضای آب شرب شهری کشور را ضروری می‌نماید.

واژه‌های کلیدی: مصرف آب خانگی، تست گاما، پارامترهای موثر در مصرف، مدیریت تقاضا

Evaluating Efficient Parameters on Municipal Drinking Water Using GAMA Test Technique

H. Ansari[1] *N. Salehnia*[2]

(Received Apr. 25, 2011 Revised Oc. 25, 2012 Accepted Nov. 10, 2012)

Abstract

In recent decades, population increasing and its structural changings have doubled municipal water demand management importance and forecast. Proper planning and management is subject to the most important information about households. So, considering the physical and behavioural characteristics of consumers is necessary in different conditions. In this research, classifying influential characteristics and interaction of Neyshabour households in Razavi Khorasan on municipal water consumptions during different periods presented. Many influential parameters has considered in recent investigations then, Gamma Test abilities used for nearly all 27 variables, in a non-parametric space. Results showed that house age, landscape, cooler capacity, high-consumption appliances, number of connections, number of people in each connection, land area,

۱- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد (نویسنده مسئول)
۸۷۵۵۶۱۶ (۰۵۱۱) Ansary@um.ac.ir
۲- دانشجوی دکترای اقتصاد، دانشکده علوم اداری و اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد

1. Assoc. Prof. of Water Eng., College of Agriculture, Ferdowsi University, Mashhad (Corresponding Author) (+98 511) 8755616
Ansary@um.ac.ir
2. Ph.D. Student of Economy, Faculty of Administrative and Economics Sciences, Ferdowsi University, Mashhad

commercial and residential arena, advantage of zone, booster pump, water pressure during the year and summer, maximum temperature, rainfall, average price of drinking water and one- lag consumption were the most important parameters affecting on two-months consumption. Yearly water consumption influenced by house age, landscape, seizin type, high-consumption appliance capacity, land area, residential area, booster pump, metering change, water pressure during the year and summer time, minimum and average temperature, and average price of drinking water. Despite previous studies, long run average consumption for consumers is sensitive to water pressure. However, consumer satisfaction about water and wastewater corporation services has affected their long run consumption. Therefore, qualitative and quantitative differences in influential affecting water consumption must devise in management policies for municipal water demand and supply.

Keywords: Drinking Water Consumption, Gamma Test, Influential Factors on Consumption, Demand Management.

۱- مقدمه

خاورمیانه از جمله مناطقی است که به‌شدت با مشکل محدودیت منابع آب شیرین مواجه است و بسیاری از کارشناسان پیش‌بینی می‌کنند که در آینده درگیری‌های فراوانی بر سر تصاحب منابع آب شیرین منطقه صورت خواهد گرفت. همچنین گفته می‌شود که آب در آینده در این منطقه همچون نفت مورد معامله قرار می‌گیرد [۱]. آب شرب در اغلب مناطق دنیا و از جمله ایران به‌دلیل آلودگی آبها، رشد جمعیت و افزایش مصرف سرانه و خشکسالی هر روز کمیاب‌تر می‌شود. از طرف دیگر غیر قابل جانشین بودن آب مشکل کمیابی آن را بارزتر می‌نماید. در این شرایط تلاش انسان برای استفاده بهینه این نهاده ضروری‌تر به‌نظر می‌رسد و باید در دستور کار اغلب کشورها و به‌خصوص کشورهای خشک و نیمه‌خشک و از جمله ایران قرار گیرد [۲ و ۳].

با توجه به مسائل فوق، باید یکی از اهداف بلند مدت مدیریت راهبردی آب کشور، برقراری تعادل بین تقاضای آب و منابع موجود آب با کمترین هزینه و در راستای توسعه پایدار باشد که این امر محقق نخواهد شد مگر با شناخت دقیق عوامل مؤثر بر مصرف آب، پیش‌بینی مصرف و مدیریت تقاضا متناسب با عوامل تأثیرگذار بر مصرف. از آنجا که آب به‌عنوان یک منبع اقتصادی دارای کاربردهای مختلف در صنعت، کشاورزی و شرب است، کمیابی آن باعث شده که برآورد تقاضاهای همزمان کلیه کاربران عملاً در برخی نقاط دنیا غیر ممکن گردد. بنابراین نیاز است تا در مورد اقتصادی کردن و صرفه‌جویی در مصرف آب مطالعات زیادی انجام گیرد.

در تاریخ ادبیات اقتصادی، در نظر گرفتن آب به‌صورت یک کالای اقتصادی به اوایل قرن بیستم برمی‌گردد. در دهه ۱۹۹۰ به‌خصوص بعد از کنفرانس بین‌المللی در زمینه آب و محیط زیست در دوبلین این نگاه به اوج رسید. در گزارشهای این کنفرانس که به «بیانیه‌های دوبلین» مشهور است، عنوان شد که: «آب در کلیه مصارف رقیبش دارای ارزش اقتصادی است و باید به‌صورت یک کالای اقتصادی در نظر گرفته شود. همچنین مدیریت و اداره آب به‌عنوان یک کالای اقتصادی، روشی مهم به‌منظور دستیابی به مصرف کارا و برابر آب و تشویق یا ترغیب به ذخیره و حفاظت از منابع آبی می‌باشد» [۴]. اما چالشهای زیادی در مورد مدیریت و برنامه‌ریزی مناسب برای استفاده صحیح از منابع آبی موجود به‌ویژه در بخش آب شرب خانگی در سراسر دنیا وجود دارد. به‌عنوان مثال، دان‌وارد و تیلور در مقاله خود به این مطلب اشاره دارند که پیش‌بینی تقاضای شرب خانگی و تعیین عوامل مؤثر بر مصرف آب، در توسعه برنامه‌ریزی‌های مربوط به خانوارهای کشورهای اروپایی از اهمیت قابل ملاحظه‌ای برخوردار است. زیرا قسمت عمده‌ای از آب مصرفی این خانوارها از منابع آبی با کیفیت بالا تأمین می‌شود و موازنه آن با میزان تقاضا در بیشتر مناطق منفی است [۵]. اما باید به این مسئله نیز توجه کرد که طبق نظر گلیک و همکاران، پیش‌بینی تقاضای آب بخش خانگی به‌دلیل فقدان داده‌های تجربی مرتبط با مصرف آب، امر بسیار دشواری است [۶]. به‌علاوه، پیش‌بینی میزان تقاضای آب مشترکان جدیدی که به شبکه آبرسانی متصل می‌شوند نیز از جمله چالشها است. ممون و باتلر به بررسی و مطالعه عوامل تعیین‌کننده و نیز روشهای پیش‌بینی تقاضا و مصرف آب شرب پرداخته‌اند [۷]. نتایج آنها حاکی از آن است که طیف وسیعی از متغیرهای اقتصادی- اجتماعی و جمعیتی- اجتماعی وجود دارند که بر میزان تقاضای آب تأثیرگذارند که از جمله مهم‌ترین آنها می‌توان به بعد خانوار و یا سن افراد اشاره کرد. برخی دیگر از محققان از جمله ونولیت و همکاران، نیز وجود امور زیربنایی متمرکز یا خدمات عام‌المنفعه آبرسانی از جانب شرکتهای خدمات عمومی را در میزان مصرف و به تبع آن تقاضا مؤثر دانسته‌اند [۸]. به‌علاوه تابش و دینی در سال ۱۳۸۹ اظهار داشتند که پیچیدگی و تأثیر عوامل و پارامترهای مختلف بر میزان تقاضای آب در سیستم‌های آبرسانی شهری، سبب شده است که روشهای تحلیلی و ریاضی کارایی لازم را در این زمینه نداشته باشند. آنها روش شبکه‌های عصبی مصنوعی را برای برآورد تقاضای روزانه آب شهری تهران به‌کار بردند. نتایج ارائه شده توسط این محققان نشان داد که مدل‌های مبتنی بر شبکه‌های عصبی در مقایسه با

مدل‌های نروفازی و روشهای سری زمانی از قابلیت بالایی برای مدل‌سازی تقاضای روزانه آب شهری برخوردارند [۹]. همچنین مطالعات دیگری در مورد پیش‌بینی کوتاه مدت و بلندمدت تقاضای آب شرب به‌کمک فناوریهای کلاسیک و غیرکلاسیک انجام گرفته است که در این زمینه می‌توان به پژوهش‌های تابش و همکاران اشاره کرد [۱۴-۱۰].

یکی دیگر از مسائلی که در تعیین عوامل مؤثر بر مصرف آب شرب باید به آن توجه کرد، ناهمگنی میزان دسترسی به آب در مناطق شهری و روستایی است. به‌عنوان مثال در کشور کامبوج دستیابی به آب شرب در مناطق شهری دو برابر میزان آن در مناطق روستایی است، اما در مقایسه با کشورهایی مانند تایلند، ویتنام و مالزی هنوز هم بسیار پایین است [۱۵ و ۱۶]. مطالعات و پژوهشهای انجام گرفته از جانب محققان و صاحب‌نظران بیانگر تأثیرگذاری طیف وسیعی از عوامل و متغیرهای مستقل بر میزان تقاضای آب خانوارها است. به‌عنوان مثال آگته و بیلینگز به قیمت آب، تعداد اتاق خواب، عمر آپارتمان، تجهیزات ذخیره کننده آب درون منزل، استخر شنا و یا خالی از سکنه بودن بنا؛ بردلی به وضعیت اقتصاد، اشتغال، نوع مالکیت، بعد خانوار؛ دی و هوو به تغییرات فناوری، اقتصادی-اجتماعی، وجود باغچه، چگونگی استفاده از آب، خصوصیات جمعیتی و کاربری ارضی؛ دی لوردز فرناندز نتو و همکاران به قیمت آب، درجه حرارت و بارندگی؛ دارگا رائو به فاصله محل از شهر، نوع کاربری ارضی، تراکم جمعیت و نوع خاک منطقه؛ کو و همکاران به اشتغال و جمعیت؛ مارتینز اسپینیرا به وجود توریسم، تعداد روزهای بارانی، تعداد افراد خانوار، متوسط درجه حرارت ماهانه، تعداد صورت حساب‌های آبی، متوسط قیمت و متوسط درجه حرارت ماهانه؛ رنزتی به بعد خانوار، مساحت خانه، تعداد وسایل و تجهیزات استفاده از آب و درآمد خانوار؛ وایت‌کمب به ارزش بنا، عمربنا، مساحت بنا، درجه‌حرارت، بارندگی، قیمت آب و قیمت فاضلاب، پریرا و همکاران به متغیرهای اقلیمی مانند: روزهای هفته، تبخیر و تعرق، درجه حرارت و رطوبت خاک، لارگو و همکاران به کیفیت آب از قبیل طعم، بو و رنگ، وجود آب در زمان‌های مختلف، سطح درآمد خانوار، قیمت آب، خصوصیات خانوار، فناوریهای آبرسانی و نوع مالکیت؛ موسوی و همکاران به درآمد مصرف‌کننده، قیمت، بعد متوسط، سن خانوار، متوسط سواد خانوار، مساحت زیربنای منزل، مساحت حیاط، مساحت باغچه، تعداد حمام، سرویس‌های بهداشتی، وسائل استفاده کننده از آب، تعداد طبقات منزل و نحوه مالکیت؛ سایم و همکاران به درآمد خانوار، وجود باغچه، روش زندگی و اعتقاد به ذخیره‌سازی آب و کوستاس و کریسوستوموس به قیمت آب، درآمد خانوار و متغیرهای اقلیمی، به‌عنوان متغیرهای مستقلی یاد کرده‌اند که بر تقاضای آب خانوارها تأثیر گذارند [۱۷ تا ۳۰].

همان‌طور که عنوان شد یکی از راهکارهای دستیابی به تخصیص کارآمد منابع کمیاب آبی و نیز یکی از کلیدهای پایه‌ای مدیریت تقاضا آن است که عوامل مؤثر بر مصرف آب به‌طور دقیق شناسایی شود. بر این اساس تحقیق حاضر با توجه به تنوع بسیار زیاد عوامل تأثیر گذار بر مصرف آب شرب شهری و تغییر آن به تناسب فرهنگ‌ها و مناطق اقلیمی، انجام شد. اهداف اصلی و اساسی این تحقیق شناخت دقیق عوامل مؤثر بر مصرف آب شرب خانگی بود که عملاً در یک مدل ساده خطی قابل ارزیابی نبوده و به‌کمک یک مدل غیرخطی ناپارامتریک، ارزیابی هریک از پارامترها به‌صورت مجزا و به‌صورت ترکیبی امکان‌پذیر شد. انتظار می‌رود نتایج تحقیق حاضر با توجه به عوامل تأثیرگذار بر مصرف آب شرب برای اعمال مدیریت صحیح در بخش تقاضای آب در کشور مفید واقع شده و به مصرف بهینه آب نیز کمک نماید. مسلماً نتایج این تحقیق علاوه بر این برای تعیین توابع تقاضای مصرف آب، تعیین کشش‌های قیمتی و درآمدی و نیز تبیین سیاست‌های تعرفه‌ای و قیمت‌گذاری نیز مناسب است.

۲- مواد و روشها

۲-۱- تست گاما

تست گاما الگوریتمی برای تخمین واریانس خطای مرتبط با یک خروجی معین است. این واریانس را نباید با واریانس خروجی اشتباه گرفت. از این تست به‌منظور نمایش چگونگی تغییر آماره گاما و سایر نتایج حاصل از آن در حین استفاده از داده‌های بیشتر استفاده می‌شود. اگر از داده‌های کافی برای محاسبه آماره گاما استفاده شود، این آماره به‌سمت واریانس خطای واقعی برای خروجی‌ای که آماره گاما برای آن محاسبه شده، مجانب می‌شود. همان‌طور که استفانسون و همکاران و نیز کمپ بیان کرده‌اند، به‌کمک تست گاما می‌توان با کمک روشهای غیرپارامتریک، قبل از ساخت مدل، به‌سرعت به ارزیابی میانگین حداقل مربعات خطایی پرداخت که از یک مدل هموار به‌دست آمده است [۳۱ و ۳۲]. با بررسی این تخمین برای انتخابهای مختلف از بین ورودیهای مدل، می‌توان نشان داد که چگونه بهینه‌ترین انتخاب ممکن از بین ورودی‌ها برای مدل‌سازی یک خروجی هدف قابل انجام است.

براساس نظر دان و اوریت، تست گاما ابزار تحلیلی غیرخطی است که کمّی‌سازی را از ورای یک رابطه هموار و از طریق مجموعه داده‌های ورودی-خروجی عددی امکان‌پذیر می‌سازد [۳۳]. لذا این تست عموماً نیازمند داده‌های بیشتری نسبت به تحلیل پارامتریک است که با آن فرض می‌شود مدل دارای شکل خاصی است. این تست تا حدودی مشابه با رگرسیون خطی حداقل مربعات معمولی

است اما آن را می‌توان برای هرگونه مجموعه داده‌ای که دارای تابع غیرخطی و هموار می‌باشد نیز به‌کار برد.

در زیر به برخی از مفاهیم و اصطلاحات برای فهم بیشتر این تست، اشاره شده است:

۱- مدل داده‌ای هموار: تابعی دیفرانسیل‌پذیر از ورودی‌های $x= (x_1, \ldots, x_m)$ به ازای هر خروجی است. فرض می‌شود که داده‌ها را بتوان به‌واسطه یک مدل ناشناخته از f نشان داد، به طوری که

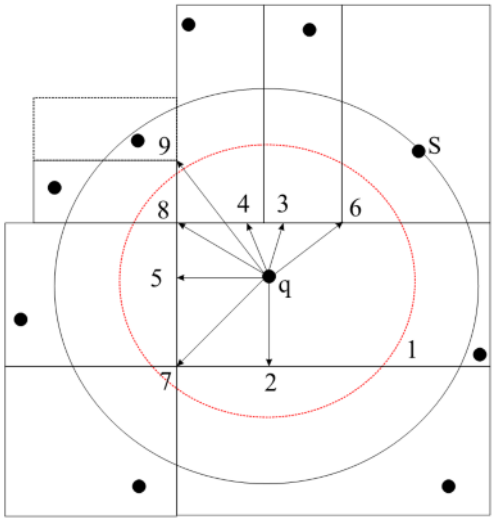
$$y= f(x_1,\ldots, x_m) + r \qquad (۱)$$

که r متغیر تصادفی و نمایانگر نوفه دارای توزیعی با میانگین صفر بوده و واریانس آن نیز کراندار است.

۲- همسایگی نزدیک: اگر مجموعه نقاط داده‌ای مفروض به‌صورت M وجود داشته باشد، به‌طوری که هریک از این نقاط دارای m مشخصه باشد، یکی از موارد مطلوب، دستیابی به نزدیک‌ترین مجموعه به یک نقطه موردنظر است. هریک از مشخصات را می‌توان بر مبنای برخی مقیاسهای قابل کمی شدن اندازه‌گیری نمود و ممکن است ماتریس‌های زیادی هم وجود داشته باشند که به‌کمک آن بتوان اندازه یک وجه مشخصه را تعیین نمود.

تعیین و دستیابی به pامین نزدیک‌ترین همسایگی برای هر یک از ورودی‌های موجود در مجموعه داده‌ها در آزمون گاما می‌تواند بسیار زمان‌بر باشد. از این رو نیاز به استفاده از الگوریتمی در جهت صرفه‌جویی در زمان است که در مطالعه حاضر از الگوریتم درخت k-بعدی استفاده شد. یک درخت k-بعدی (حالت تعمیم یافته درخت دودویی) عبارت از ساختاری داده‌ای برای ذخیره مجموعه محدودی از نقاط موجودی در یک فضای k- بعدی است. هر درخت k- بعدی دارای دو جزء است: الف) ایجاد یک ساختار داده‌ای درخت k- بعدی و ب) الگوریتم جستجوگری که به‌دنبال دستیابی به همسایگان نزدیک از یک درخت k- بعدی است.

یک ساختار درختی به‌گونه‌ای ایجاد می‌شود که منجر به بررسی سریع همسایگی‌های نزدیک گردد. انجام محاسبات ساختار درختی کار ساده‌ای نیست، لذا برای تعیین همسایگی نزدیک به این روش از الگوریتم ارائه شده در نرم افزار گاما استفاده شده است [۳۴]. در این قسمت به‌طور گرافیکی (برطبق ساختار درختی) به بررسی الگوریتم جستجوی نزدیک‌ترین مقادیر تقریبی همسایگی‌ها پرداخته شد. اگر نقطه‌ی جستجو q باشد، می‌توان سلول برگ را به‌گونه‌ای درنظر گرفت که با کمک یک توارث ساده در طول درخت، نقطه موردنظر حاوی نقطه‌ی جستجو در زمان O(logM) باشد. سپس به شمارش و احتساب سلول‌های برگ با یک ترتیب فزاینده بر حسب فاصله آنها از نقطه جستجو پرداخته می‌شود که به این عمل جستجوی تقدمی می‌گویند. مادامی که یک سلول مدنظر قرار می‌گیرد، فاصله آن از q باید محاسبه شود. در ادامه باید نزدیک‌ترین نقطه مشاهده شده در هر لحظه نسبت به سایر نقاط را در نظر داشت؛ به‌عنوان مثال، همانگونه که در شکل ۱ ملاحظه می‌شود، سلول‌های این گونه زیرتقسیم‌ها را می‌توان به‌خوبی مشاهده کرد. هر سلولی با توجه به فاصله آن از نقطه جستجو شماره‌گذاری شده است. اگر s بیانگر نزدیک‌ترین نقطه مشاهده شده تاکنون باشد، به‌محض اینکه فاصله از q تا سلول برگی فعلی افزایش یابد (که با دایره خط‌چین قرمز مشخص است)، به این معناست که جستجو خاتمه یافته و s می‌تواند به‌عنوان نزدیک‌ترین همسایگی تقریبی جهت q درنظر گرفته شود. دلیل این امر آن است که هر نقطه‌ای که در سلول متعاقب بعدی واقع شده نمی‌تواند به‌قدر کافی نزدیک به q باشد که p را به‌عنوان نزدیک‌ترین همسایگی نقض نماید. در شکل ۱، جستجو پیش از ملاحظه نقطه ۹ به اتمام می‌رسد. در اینجا نمی‌توان s را نزدیک‌ترین همسایگی واقعی دانست زیرا نقطه متعلق به سلول شماره ۹، هرگز مورد بررسی قرار نگرفته است. مجدداً یادآوری می‌شود که این الگوریتم در قالب برنامه‌ای که به زبان C^{++} نوشته شده و در نرم افزار گاما موجود است، قابلیت اجرا داشته و در این تحقیق نیز از آن استفاده شده است.



شکل ۱- الگوریتم مربوط به درخت جستجوی چند بعدی

۳- انتخاب تعداد ورودی (تست M): روشی برای تعیین این امر است که آیا آماره گاما مقدار Var(r) را به‌طور معتبری برآورد می‌کند یا خیر. این معیار به‌کمک محاسبه آماره گاما برای زیرمجموعه‌ای از داده‌های موجود، حاصل می‌آید. به این وسیله در محاسبات پیاپی از آماره گاما، مقدار M را به‌طور تدریجی افزایش داده تا اینکه یا کلیه داده‌ها مورد استفاده قرار گیرند و یا آماره گاما به مقدار ثابتی همگرا شود. این تابع خاص، شرط باقی‌ماندن نمونه داده‌های موردنظر در فضای ورودی‌ها را در یک مجموعه بسته

کراندار مانند C تضمین می‌نماید (با این شرط، نمونه موردنظر در فاصله [۱ و ۰] مقید می‌شود).

۴- تعبیه‌سازی: انتخاب مقادیر گذشته یک سری زمانی مورد استفاده برای پیش‌بینی مقادیر جاری است.

۵- میانگین مربعات خطا (MSE): اگر y(i) (i: 1……M) مجموعه‌ای از مقادیر خروجی باشد و $y^*(i)$ مجموعه‌ای از پیش‌بینی‌های انجام گرفته برای y(i) باشد در این صورت میانگین مربعات خطای پیش‌بینی‌ها به‌صورت زیر خواهد بود

$$\mathrm{MSError}=\frac{1}{M}\sum_{i=1}^{M}\left(y^*(i)-y(i)\right)^2 \qquad (۲)$$

۶- خطای استاندارد (SE): عبارت از خطای استاندارد یک خط رگرسیونی بوده و به‌صورت زیر محاسبه می‌شود

$$\mathrm{SE}(\Gamma)=\sqrt{\frac{1}{n-2}\sum_{i=1}^{p_{\max}}\left(\Gamma(i)-\bar{\Gamma}\right)^2} \qquad (۳)$$

که i عبارت از i امین مقدار نقطه‌ای از رگرسیون گاما و $y^*(i)$ نیز میانگین آنهاست.

۷- V-ratio: یکی دیگر از معیارهای مهمی که می‌توان با استفاده از این آزمون به‌دست آورد V-ratio است. این معیار بدون بعد بوده و دارای مقادیری بین بازه ۰ تا ۱ است. هرچه این معیار به صفر نزدیک‌تر باشد نمایانگر دقت بالای مدل برای یافتن خروجی‌های مطلوب از ورودی‌هاست. در واقع اگر مقدار V-ratio از یک کم شود، مقدار ضریب تعیین را نشان می‌دهد. بنابراین

$$V_{\mathrm{ratio}}=\frac{\Gamma}{\sigma^2(y)} \qquad (۴)$$

که در رابطه بالا $\sigma^2(y)$ واریانس خروجی y است.

آماره گاما: اغلب به‌صورت "مقدار گاما" خوانده می شود و به‌صورت عرض از مبدا عمودی خط رگرسیونی برازش شده و بیانگر بهترین تخمین از واریانس r است. تست گاما حتی با اینکه تابع f ناشناخته است، واریانس r را به‌طور مستقیم از داده‌ها تخمین می‌زند؛ این تخمین به‌کمک رابطه زیر امکان‌پذیر است

$$\delta_M(k)=\frac{1}{M}\sum_{i=1}^{M}\left|x_{N[i,k]}-x_i\right|^2 \qquad (۵)$$

که $1\le k\le p$ و $|-|$ نیز بیانگر فاصله اقلیدسی، N[i,k] نیز شاخصی از k امین نزدیک‌ترین همسایگی به xi و p نیز شماره همسایگی نزدیک بوده که به پیشنهاد ایوانز و جونز، معمولاً معادل ۱۰ می‌باشد [۳۴]. تابع گامای مطابق با مقادیر خروجی نیز به‌صورت زیر می‌باشد

$$\gamma_M(k)=\frac{1}{2M}\sum_{i=1}^{M}\left(y_{N[i,k]}-y_i\right)^2 \qquad (1\le k\le p) \quad (۶)$$

در رابطه ۶، $y_{N[I,k]}$ مقدار y برای k امین و نزدیک‌ترین همسایگی از x_i در رابطه ۵ است. لذا در نهایت می‌توان خط رگرسیونی زیر را از نقاط $(\delta_M(k),\gamma_M(k))(1\le k\le p)$ برازش نمود:

$$\gamma=A\delta+\Gamma \qquad (۷)$$

این الگوریتم به ارائه نقاط مختصات (δ,γ) می‌پردازد که می‌توان آنها را با استفاده از یک نمودار دوبعدی پراکنده نشان داد. در این نمودار دوبعدی مقادیر ورودی بر روی محور افقی و مقادیر خروجی بر روی محور عمودی به نام دلتا قرار می‌گیرند. به‌هرحال، نویز داده‌ها منجر به ایجاد نقاط گامای متفاوت برای مقدار دلتای مفروضی می‌شود. اگر نمودار هیستوگرام حاصله بیانگر تجمع بیشتر نقاط نزدیک به مبدا باشد مبنی بر آن است که ورودی‌های مشابه منجر به ایجاد خروجی‌های مشابهی شده است که این مسئله ابزار مفیدی را برای نمایش الگوهایی از طریق داده‌های ورودی-خروجی عددی به‌دست می‌دهد.

بنابراین نمایش گرافیکی و به‌طور مشخص خط رگرسیونی دو شاخص را نشان می‌دهد. اول، این مسئله قابل توجه است که عرض از مبدا عمودی Γ (یا گاما) از محور y، تخمینی از حداقل میانگین مجذور خطا را ایجاد نموده که با استفاده از یک روش مدل‌سازی برای توابع هموار ناشناخته از متغیرهای پیوسته قابل دستیابی است. دوم، گرادیانت A نیز بیانگر شاخصی از پیچیدگی مدل است که گرادیانت بیشتر به معنی وجود مدلی با پیچیدگی بیشتر است [۳۵].

لذا به‌طور خلاصه، دامنه کاربرد این تست و قابلیتهای آن برای تجزیه و تحلیل داده‌ها با هدف تولید تابعی یکنواخت و حتی‌الامکان بهینه از ورودی‌ها به خروجی‌ها تنها با به‌کارگیری داده‌های فراهم شده موجود می‌باشد. هم ورودی‌ها و هم خروجی‌ها باید متغیرهای حقیقی و پیوسته از تعدادی دامنه کراندار باشند. همچنین اگر متغیرهای ورودی و یا خروجی صرفاً مقادیر طبقه بندی شده مانند صفر و یک اخذ کنند، دقت مدل کمتر خواهد بود.

۲-۲- موقعیت منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه شهر نیشابور در استان خراسان رضوی بوده که در عرض جغرافیایی حداقل ۳۵ درجه و ۳۵ دقیقه و حداکثر ۳۶ درجه و ۵۲ دقیقه و طول جغرافیایی حداقل ۵۸ درجه و ۸ دقیقه و حداکثر ۵۹ درجه و ۲۰ دقیقه از نصف‌النهار گرینویچ با ارتفاع متوسط ۱۱۹۳ متر واقع است [۳۶]. از آنجا که شهر نیشابور جزو شهرهای واقع در مناطق خشک کشور است لذا الگوی مصرف ماهانه مشترکان خانگی در این شهر ۲۰ متر مکعب در ماه (۱۴۵

لیتر در شبانه روز برای هر نفر) تعیین شده است. نتایج بررسی‌ها نشان داده که به‌طور متوسط، سرانه مصرف در شهر نیشابور ۱۳۵ لیتر در شبانه روز است و تغییرات خاصی در میزان سرانه مصرف در سالهای آماری مورد نظر دیده نمی‌شود. علاوه بر این، مقادیر سرانه مصرف از دوره اول تا دوره سوم سیر صعودی و از دوره چهارم تا دوره ششم سیر نزولی دارد. مقایسه نتایج به‌دست آمده با الگوی مصرف شهر نیشابور (۱۴۵ لیتر) نشان می‌دهد که متوسط سرانه مصرف در این شهر در اکثر دوره‌های دو ماهه کمتر از الگوی مصرف بوده و تنها در دوره اوج مصرف (دوره دو ماهه سوم و چهارم) اندکی بیش از الگوی مصرف است [۳۷].

۲-۳- داده‌ها و اطلاعات تحقیق

داده‌ها و اطلاعات مربوط به انجام این تحقیق از ۴۴۸۹۸ مشترک برای ۶ دوره ۲ ماهه سالهای ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۳ (از دوره ۱ سال ۸۰ تا دوره ۶ سال ۸۳ که معادل ۲۴ دوره می‌باشد)، از بانک اطلاعات امور مشترکان آب و فاضلاب خراسان رضوی، بانک اطلاعات سازمان هواشناسی کشور و بانک اطلاعات مربوط به مطالعات آب به‌حساب نیامده شهر نیشابور (که توسط مهندسین مشاور پارس کنسولت برای حدود ۱۰۰۰۰ مشترک شهر نیشابور که به‌طور تصادفی انتخاب شده، تهیه شده است) استخراج شد [۳۸]. لازم به‌ذکر است که به‌دلیل نقص اطلاعات و نیز عدم تطابق داده‌های ثبت شده در بانک اطلاعات آب و فاضلاب و بانک اطلاعات شرکت پارس کنسولت، در نهایت اطلاعات ۲۲۹۲ مشترک منتخب که دارای اطلاعات کاملی بودند، مورد استفاده قرار گرفت. این اطلاعات شامل مقادیر متغیرهای مستقل ارائه شده در جدول ۱ است. لازم به‌ذکر است پارامترهای ورودی تنها بر اساس نظرات کارشناسی، بررسی و ارزیابی تحقیقات و مطالعات مشابه و نیز اطلاعات موجود در بانک‌های اطلاعاتی در دسترس، انتخاب شده‌اند. مسلماً برخی از این ورودی‌ها در مطالعه مورد نظر، ممکن است تأثیر بر خروجی نداشته باشند که در طی انجام تحقیق مشخص خواهند شد.

از آنجا که پارامترهای مورد استفاده در جدول ۱، همزمان برای ارزیابی اثر آنها بر مصرف آب شرب دو ماهه، سالانه و متوسط دوره‌آماری استفاده شده است و همچنین ماخذ استخراج این داده‌ها در زمان انجام تحقیق ثابت بوده و تغییر زمانی خاصی ندارد، لذا مقدار برخی از پارامترها مانند عمر بنا (که مشخصاً براساس پروانه ساختمان و سال بعد از ساخت برآورد شده)، نحوهٔ تصرف بنا و مشخصات شیرفلکه‌های خراب برای بررسی اثر آنها در ارزیابی‌ها ثابت فرض شده است. همچنین، برخی از ورودی‌های مورد استفاده، ورودی‌های ترکیبی هستند، از جمله این موارد می‌توان به رضایت‌مندی مشترک (که عوامل زیادی در این رضایت‌مندی تأثیرگذار است) اشاره کرد. رضایت مشترکان از حاصل جمع رضایت‌مندی آنها در ارتباط با نحوهٔ خدمات‌دهی شرکت آب و فاضلاب، فصل توزیع صورت حساب، رضایت از برخورد ماموران و رضایت از آب بها برآورد شده است که در متن پرسشنامه جمع‌آوری اطلاعات از مشترکان وارد شده و نظر آنها گرفته شده است. لازم به‌ذکر است که دامنه تغییر اعداد برای هر مورد از موارد

جدول ۱- متغیرهای اولیه مورد نظر موثر بر مصرف آب شرب خانگی

شماره ورودی	توضیح	شماره ورودی	توضیح
ورودی ۱	عمر بنا	ورودی ۱۴	بوستر پمپ بعد از کنتور
ورودی ۲	نحوهٔ تصرف بنا*	ورودی ۱۵	تعویض کنتور***
ورودی ۳	مساحت فضای سبز (مترمربع)	ورودی ۱۶	شیر یکطرفه خراب
ورودی ۴	ظرفیت کولرها	ورودی ۱۷	شیرفلکه‌های خراب بر هر انشعاب
ورودی ۵	ظرفیت بقیه وسایل پرمصرف	ورودی ۱۸	وضعیت فشار آب در کل فصول
ورودی ۶	تعداد افراد بر هر انشعاب	ورودی ۱۹	وضعیت فشار در فصل تابستان
ورودی ۷	تعداد واحد متصل به هر انشعاب	ورودی ۲۰	درجه حرارت می‌نیموم
ورودی ۸	تعداد خانوار متصل به هر انشعاب	ورودی ۲۱	درجه حرارت ماکزیمم
ورودی ۹	مساحت زمین تحت پوشش هر انشعاب	ورودی ۲۲	درجه حرارت متوسط هوا
ورودی ۱۰	مساحت اعیان خانگی تحت پوشش به هر انشعاب	ورودی ۲۳	بارندگی
ورودی ۱۱	مساحت اعیان تجاری تحت پوشش به هر انشعاب	ورودی ۲۴	مصرف آب در دوره قبل
ورودی ۱۲	امتیاز محل انشعاب**	ورودی ۲۵	هزینه پرداختی در دوره قبل ****
ورودی ۱۳	رضایت‌مندی مشترک	ورودی ۲۶	متوسط قیمت در طول سال

* مالک، سازمانی، موقوفه، رهن، اجاره، مجانی.

** با توجه به منطقه شهری براساس قیمت متوسط هر متر مربع عرصه به متوسط قیمت عرصه شهر.

***کنتور نو بوده و یا جدیداً تعویض شده و یا قدیمی است.

**** یک دوره قبل.

مرتبط با رضایت‌مندی از عدد صفر برای عدم رضایت تا عدد ۳ برای رضایت کامل متغیر است که پس از اخذ نظر مشترکان و ضرب اعداد فوق الذکر، عدد نهایی مربوط به رضایت مشترکان حاصل شده است. علاوه بر این، کلیه ورودی‌های مورد نظر در جدول ۱ به‌صورت نرمال استاندارد درآمده‌اند. نرمال‌سازی ورودی‌ها به‌دلیل تفاوت جدی مقادیر عددی پارامترهای مذکور انجام شده، تفاوتی که در اثر متفاوت بودن مقیاس و واحد اندازه‌گیری هر ورودی ایجاد شده است. لذا برای اینکه شانس برابری به هریک از پارامترهای مشارکت کننده در مصرف آب در ارزیابی‌های اولیه داده شود، استفاده از روش نرمال‌سازی استاندارد بسیار مفید خواهد بود. این روش نرمال‌سازی که در این مقاله هم استفاده شد، به نحوی است که میانگین هر پارامتر ورودی به صفر و انحراف معیار آن به ۰/۵ محدود می‌شود. ضمناً کلیه پارامترهای ورودی و پارامتر خروجی در مقیاس زمانی ماهانه، دو ماهه، یک‌ساله و دوره آماری تعیین شد و مورد استفاده قرار گرفت. البته باید یاد آور شد که در زمانی که متوسط مصارف دور آماری مورد تحلیل قرار می‌گیرد، ورودی‌هایی مانند متوسط قیمت، هزینه دوره قبل و حتی پارامترهای اقلیمی جایگاهی ندارند. لازم به ذکر است که در نهایت برای انتخاب عوامل مؤثر و تشخیص این عوامل از عوامل غیر مؤثر از چهار آماره گاما، خطای استاندارد V Ratio و ضریب تعیین (R^2) استفاده شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- انتخاب نزدیک‌ترین همسایگی

یکی از اقدامات مهم در تست گاما تعیین نزدیک‌ترین همسایگی برای هر نقطه در فضای مجموعه داده ورودی است. برای این کار می‌توان از درخت Kd (درخت K بعدی) استفاده کرد که برای نقاط واقع در فضای R، یک ساختار درختی ایجاد شده که امکان جستجوی سریع نزدیک‌ترین همسایگی‌ها را ممکن می‌سازد [۳۲]. در مجموعه داده ارائه شده، پس از ساخت درخت Kd برای هر نقطه از مجموعه ورودی، نزدیک‌ترین داده‌های ثبت شده برای هر رکورد در بانک تعیین می‌شود. لذا در ابتدا مصارف دوره‌های دو ماهه نمونه اولیه (۲۲۹۲ مشترک با ۶ دوره مصرف دو ماهه) در یک مجموعه قرار گرفت و به‌صورت تصادفی یک نمونه ۵۰۰۰ تایی انتخاب شد. ضمناً مصارف متوسط سالانه برای دوره آماری ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۳ مربوط به نمونه اولیه در یک مجموعه قرار داده شد که منجر به تولید ۶۸۷۶ رکورد (۲۲۹۲ مشترک با سه سال داده برای مصرف شرب، ۶۸۷۶=۳×۲۲۹۲) شد و نهایتاً نیز به‌طور تصادفی، نمونه ۲۴۰۰ رکوردی در طول دوره آماری از بین ۶۸۷۶ رکورد انتخاب شد. برای داده‌های مربوط به دوره‌های دو ماهه، نزدیک‌ترین همسایگی‌ها به شرح شکل ۲ است. همان‌طور که مشخص شده، بهترین همسایگی برای دوره‌های دو ماهه معادل ۱۵ است، جایی که نمودار خطای استاندارد به سمت هموار شدن پیش می‌رود. سپس مشابه حالت فوق، مقدار نزدیک‌ترین همسایگی برای مقادیر ورودی سالانه (نمونه ۲۴۰۰ تایی) و مقادیر متوسط سالانه در دوره آماری تعیین شد. همان‌طور که در شکلهای ۳ و ۴ مشخص شده، نزدیک‌ترین همسایگی برای داده‌های سالانه و متوسط سالانه در دوره آماری نیز معادل ۲۰ قرار گرفته شد.

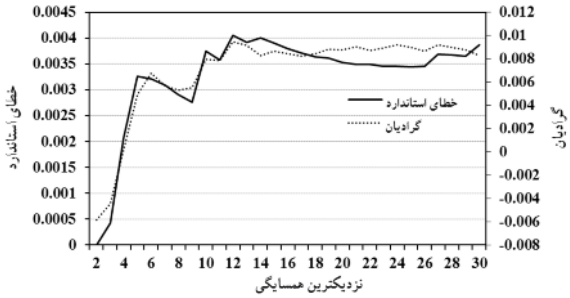
۳-۲- انتخاب تعداد ورودی مناسب برای مدل‌سازی

برای تعیین تعداد ورودی‌های مناسب از M تست استفاده شد. این تست اثرات تغییر تعداد ورودی بر تغییرات مقدار آماره گاما را نشان می‌دهد. زمانی که آماره گاما به واریانس نویز واقعی موجود بر روی خروجی مجانب شد، می‌توان تعداد مناسب داده‌های ورودی را تعیین کرد. در این بخش، مشابه حالت قبل، مقدار M برای سه حالت مختلف یعنی داده‌های مربوط به دوره‌های دو ماهه، مصارف سالانه و متوسط دوره آماری تعیین شد. این نتایج نشان می‌دهد که ۳۵۰۰ ورودی برای بررسی عوامل مؤثر بر مصرف آب شرب خانگی برای دوره دو ماهه، ۱۴۰۰ ورودی برای مصارف سالانه و ۱۹۰۰ورودی برای متوسط دوره آماری مناسب است (شکلهای ۵ تا ۷). همان‌طور که در شکلهای مذکور مشخص شده، در نقاط انتخابی هم آماره گاما و هم خطای استاندارد به‌صورت مجانب درآمده است. از این مرحله به بعد، برای تعیین ورودی‌های مناسب و نیز مدل‌سازی از نزدیک‌ترین همسایگی‌ها و تعداد داده‌های ورودی محاسبه شده، استفاده شد.

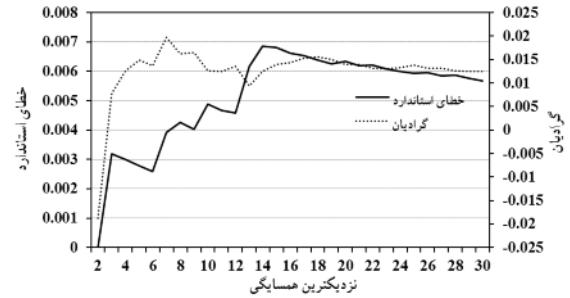
۳-۳- تعیین پارامترهای موثر بر مصرف آب شرب

همانطور که قبلاً عنوان شد تست گاما امکان شناسایی متغیرهای ورودی مؤثرتر بر خروجی را به‌دست می‌دهد. در این تحقیق بعد از انجام تست گاما متغیرها در دو گروه متغیرهای مؤثر و غیرمؤثر

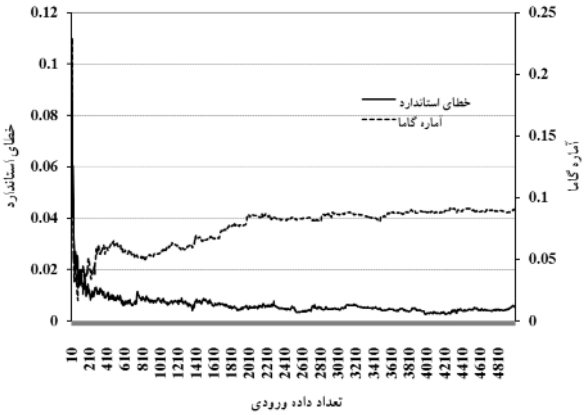
شکل ۲- مقادیر نزدیکترین همسایگی برای مصارف آب شرب



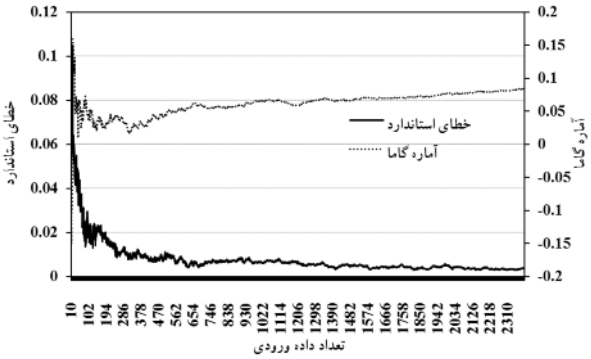
شکل ۳- مقادیر نزدیکترین همسایگی برای مصرف سالانه



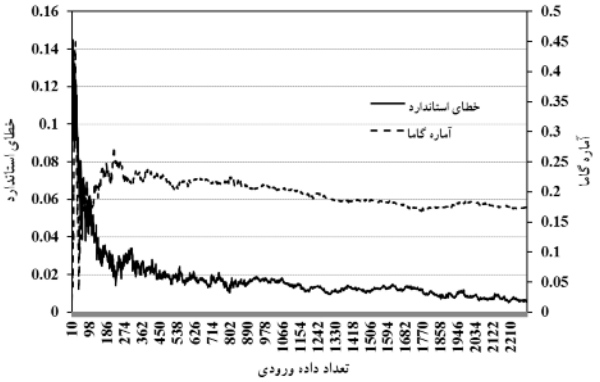
شکل ۴- مقادیر نزدیکترین همسایگی برای متوسط مصرف دوره آماری



شکل ۵- تعداد داده‌های ورودی مربوط به مصارف دو ماهه



شکل ۶- تعداد داده‌های ورودی مربوط به مصرف سالانه



شکل ۷- تعداد داده‌های ورودی مربوط به متوسط مصرف دوره آماری

تقسیم بندی شدند. لازم به‌ذکر است که با توجه به تعداد زیاد پارامترهای ورودی (۲۷ ورودی) امکان انجام تست گاما برای کلیه ترکیب‌های ممکن[1] (تعداد ترکیب‌های ممکن معادل ۱۳۴۲۱۷۷۲۷) عملاً میسر نبوده و لذا برای تعیین بهترین ترکیب‌ها در زمان کوتاه و ممکن از سه روش میانبر شناسایی مناسب‌ترین پارامترهای ورودی مدل یعنی ژنتیک الگوریتم، Hill Climbing و Sequential Embedding ارائه شده در نرم افزار WinGamma استفاده شد.

بررسی‌های فوق نشان می‌دهد که ترکیب‌های متفاوتی از پارامترهای ورودی را می‌توان انتخاب کرد که میزان مصرف آب مشترکان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. مسلماً این ترکیب‌ها مقدار آماره گامای متقاوتی را در روش ژنیک الگوریتم به‌دست می‌دهند که از بین آنها مناسب‌ترین ترکیب با کمترین مقدار آماره گاما، V Ratio و خطای استاندارد انتخاب شد.

علاوه بر بررسی‌های بالا، دیگر روشهای تعریف مدل نیز مورد ارزیابی و بررسی قرار گرفت، اما از آنجا که ارائه نتایج انجام محاسبات فوق در حجم مقاله میسر نبود، لذا نتایج نهایی مربوط به انجام تست گاما برای مدل‌هایی که کمترین مقادیر آماره گاما و خطای استاندارد را دارند، در جدول ۲ ارائه شده است.

بررسی نتایج مربوط به پارامترهای مؤثر بر مصرف آب شرب در دوره‌های دو ماهه نشان می‌دهند که متغیرهای ورودی عمر بنا، فضای سبز، ظرفیت کولر، ظرفیت وسایل پرمصرف، تعداد واحد و تعداد افراد هر واحد در هر انشعاب، مساحت زمین، مساحت اعیان مسکونی و تجاری، امتیاز محل انشعاب، بوستر پمپ، وضعیت فشار در کل سال و در تابستان، درجه‌حرارت بیشینه، بارندگی، متوسط قیمت آب شرب و مصرف دوره قبل جزو پارامترهای مهم مؤثر بر مصرف دو ماهه بوده‌اند. بررسی دقیق نتایج نشان می‌دهد که از بین پارامترهای ورودی مؤثر بر مصرف، قیمت آب شرب،

1 Full Embedding

مصرف دوره قبل، درجه حرارت بیشینه، تعداد افراد و عمر بنا جزو مهم‌ترین پارامترهای تاثیرگذار بر مصارف دو ماهه مشترکان است (جدول ۲).

همان‌طور که نتایج نشان می‌دهند متغیرهای ورودی عمر بنا، فضای سبز، نحوهٔ تصرف، ظرفیت وسایل پرمصرف، مساحت زمین، مساحت مسکونی، بوستر پمپ، تعویض کنتور، وضعیت فشار در کل سال و در تابستان، درجه حرارت‌های کمینه و متوسط و متوسط قیمت آب شرب جزو پارامترهای مهم مؤثر بر مصرف آب شرب سالانه است. آنچه که در نتایج خروجی به وضوح مشخص بود، این است که پارامترهای فضای سبز، ظرفیت وسایل پرمصرف، درجه حرارت‌های کمینه و متوسط و متوسط قیمت آب شرب جزو مهم‌ترین پارامترهای تاثیرگذار است (جدول ۲).

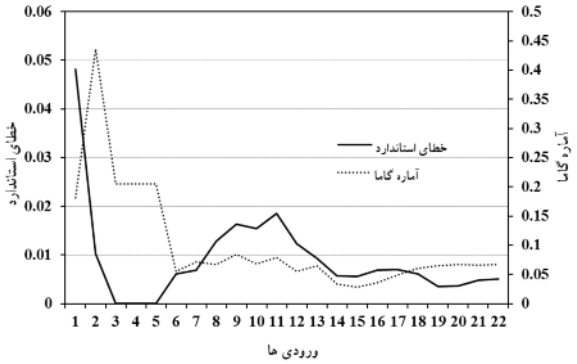
همچنین بررسی نتایج ارائه شده در جدول ۲ نشان می‌دهد که مصرف متوسط بلند مدت مشترکان شهر نیشابور بیشتر به وضعیت فشار آب شبکه حساس است، هرچند که بررسی جزئی‌تر نتایج نشان از تأثیرگذاری رضایت‌مندی مشترکان نیز دارد. نگاه کلی به نتایج خروجی تست گاما نشان می‌دهد که فشار آب در شبکه توزیع آب جزو پارامترهایی هستند که هم بر مصارف کوتاه مدت و هم مصارف بلند مدت مشترکان تأثیر گذارند. علاوه بر این مقادیر پارامترهای عملکرد ارائه شده برای تست گاما در جدول ۲ (خطای استاندارد، V Ratio و ضریب تعیین)، نشان می‌دهد که این تست به‌خوبی توانسته پارامترهای تأثیرگذار بر مصرف آب شرب از غیرشرب را تمیز دهد. علاوه بر بررسی‌های بالا، برای ارزیابی دقیق‌تر میزان تأثیر هر یک از پارامترهای ورودی بر خروجی (مصرف آب شرب)، از تعریف مدل به‌روش تعبیه‌سازی فزاینده[1] (در این روش در شروع ارزیابی، اولین متغیر به‌عنوان تنها ورودی در نرم‌افزار WinGamma بوده و سپس با اضافه کردن یک به یک متغیرهای ورودی به متغیرهای قبلی، کلیه ورودی‌ها در ارزیابی دخالت داده می‌شود) استفاده شد. نتایج حاصل از تحلیل داده‌ها در روش تعبیه‌سازی فزاینده برای مصارف سالانه در شکل ۸ ارائه شده است. نتایج ارزیابی‌های مذکور برای مصارف بلند مدت مشترکان نیز نشان می‌دهد که تعداد زیادی از ورودی‌ها که عمدتاً ورودی‌های مربوط به شرایط مصرف در خانوار یعنی عمر بنا، مصارف مربوط به کولر، رضایتمندی مشترکان، وضعیت کنتور و غیره بوده، از درجه اهمیت پایینی برخوردارند. لذا مصارف بلندمدت تنها با تأکید بر وضعیت فشار شبکه و اتصالات نادرست یک انشعاب قابل بررسی است، یعنی بیشتر مشخصات شبکه توزیع آب شرب بر مصارف بلند مدت تأثیرگذار است. البته باید یاد آور شد که حذف پارامترهای دیگر باعث کاهش دقت مدل خواهد شد. در مورد مصارف کوتاه مدت، شرایط متفاوتی تجربه شد، نتایج نشان دادند که مصرف مشترکان تا حد زیادی به شرایط اقلیمی به‌ویژه درجه حرارت متوسط ماهانه و بارندگی و نیز قیمت متوسط سالانه وابسته است، البته در شرایطی که فقط این پارامترها مدنظر قرار گرفتند V Ratio نسبتاً بالا بود. اما زمانی که به پارامترهای مورد نظر فقط مصرف دو ماهه قبل اضافه شود، مقدار V Ratio به‌شدت کاهش می‌یابد ولی آماره گاما تغییر چندانی نمی‌کند و داده‌های آماره گاما توزیع مناسبی خواهد داشت. نتایج حاصل از تعبیه‌سازی فزاینده برای مصرف سالانه شرایط متفاوتی را مورد تأکید قرار داد. در مصارف سالانه به نوعی ترکیب عوامل مؤثر بر مصارف کوتاه مدت و بلند مدت تأثیر گذار بودند و تقریباً می‌توان این ادعا را داشت که هم خصوصیات شبکه توزیع آب را باید مدنظر قرار داد و هم خصوصیات مصرف کننده و سطح و سطوح درآمدی هر یک از مشترکان را، البته اگر بتوان سطح عرصه و اعیان خانوار و تجهیزات موجود را به عنوان جانشین درآمد مورد تأیید قرار داد. بررسی و ارزیابی پارامترهای مؤثر بر مصارف آب شرب در این تحقیق، نشان از تشابه نتایج این مطالعه با مطالعات دارگا رائو، رنزتی، وایت‌کمب، سایم و همکاران و پریرا و همکاران دارد.

[1] Increasing Embedding

جدول ۲- نتایج خروجی تست گاما

شرح	مصرف در دوره‌های دو ماهه	مصرف سالانه	متوسط کل دوره آماری
*متغیرهای موثر	۱۱۰۱۰۱۱۱۱۱۱۱۰۰۰۱۱۰۱۰۱۱۰۱	۱۱۱۰۱۰۰۱۱۰۰۱۰۱۰۱۱۱۰۱۰۱	۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۱۱۰
آماره گاما	۰/۰۶۰۴	۰/۰۰۰۶	۰/۰۱۶۰
خطای استاندارد	۰/۰۰۳۳	۰/۰۷۱۰	۰/۰۷۳۴
V Ratio	۰/۲۴	۰/۰۱	۰/۰۶
ضریب تعیین (R^2)	۰/۷۶	۰/۹۹	۰/۹۴

* عدد یک نشان دهندهٔ موثر بودن متغیر ورودی جدول ۱ و عدد صفر عدم موثر بودن متغیر ورودی را بیان می‌کند.



شکل ۸- مقادیر آماره گاما و خطای استاندارد به روش تعبیه‌سازی فزاینده برای مصارف سالانه

هرچند که تفاوتی‌هایی در نتایج به‌دلیل نوع توابع مورد استفاده و نوع تجزیه و تحلیل قابل مشاهده است. با توجه به نظرات محققان مانند رایجسا و زیمرمن و ژایووانگ و برتون قیمت آب حتی در محدودهٔ تعیین شده برای بلوک‌های مصرفی موجود می‌تواند به‌عنوان یک عامل کنترلی برای مصارف آب خانگی مدنظر قرار گیرد. این نتایج بر خلاف نتایج رستم‌آباد سفلی است که نشان داد مصرف آب در تهران برای فصلهای زمستان و تابستان بدون کشش است [۳۹، ۴۰ و ۴۱].

۴- نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که تست گاما به‌خوبی به ارزیابی همزمان بیش از ۲۷ پارامتر مؤثر بر مصرف آب شرب شهری پرداخته و امکان انتخاب پارامترهای تاثیر گذارتر را نیز فراهم نموده است. در صورتی که بررسی‌های انجام شده بر روی تحقیقات انجام شده در کشور و در دیگر نقاط دنیا نشان داد که تاکنون این چنین امکانی فراهم نشده بود. به هر حال انجام پایش‌های مورد نظر در تحقیق علاوه بر این که نشان داد برای ارزیابی پارامترهای مؤثر بر مصرف آب شرب باید از مدل‌های ناپارامتریک استفاده کرد، بلکه باید پارامترهای مؤثر بر مصارف آب شرب طولانی مدت و کوتاه مدت مشترکان را نیز به‌صورت مجزا مورد ارزیابی قرار داد. نتایج بررسی‌های انجام شده عوامل مؤثر بر مصرف متفاوتی را در ارزیابی‌های کوتاه مدت و بلند مدت نشان داد. این تغییر در عوامل مؤثر بر مصرف مشترکان شهری قاعدتاً اعمال سیاست‌های مدیریتی متفاوتی را در بخش تقاضای آب شرب شهری در بلند مدت و کوتاه مدت نیاز دارد. بررسی‌ها بر روی مصارف کوتاه مدت مشترکان شهری در نیشابور نشان داد که متغیرهای قیمت آب شرب، مصرف دوره قبل، درجه حرارت بیشینه، تعداد افراد و عمر بنا جزو مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار بر مصارف دو ماهه مشترکان بوده است. نکته جالب توجه در این تحقیق این بود که قیمت آب شرب شهری در کوتاه مدت، مصرف آب مشترکان را تحت تأثیر قرار داد. بررسی‌های صورت گرفته به کمک تست گاما همچنین نشان داد که مصرف آب شرب سالانه مشترکان شهری تا حدود زیادی متأثر از پارامترهای فضای سبز، ظرفیت وسایل پرمصرف، درجه‌حرارت‌های کمینه و متوسط و متوسط قیمت آب شرب بوده است. نکته دیگر قابل توجه نیز این بود که مصرف متوسط بلند مدت مشترکان شهر نیشابور بیشتر به وضعیت فشار آب شبکه حساس بوده، هرچند که بررسی جزئی‌تر نتایج نشان از تأثیرگذاری رضایت‌مندی مشترکان نیز دارد. این نتیجه تقریباً در هیچ یک از مطالعات قبلی انجام شده توسط محققان مدنظر قرار نگرفته ولی از نظر کارشناسی به‌عنوان یک واقعیت ملموس قابل پذیرش است.

۵- قدردانی

این طرح با حمایت مالی معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه فردوسی مشهد و در قالب طرح تحقیقاتی مصوب با کد ۱۶۰۷۸ به انجام رسیده است. به این وسیله از حمایتهای بی‌دریغ دانشگاه فردوسی مشهد سپاسگزاری می‌شود.

۶- مراجع

1- Johansson, R. (2000). "Pricing irrigation water: A literature survey." *Policy Research Working Paper*, Translated by Iranian Committee on Irrigation and Drainage (IRNCID), 2003, Vol., 1. (In Persian)

2- Akbari, H., and Mohammadi Dinani, M. (2000). "Estimating the potable water demand in city of Kerman." *J. of Quarterly Iranian Economic Research*, 2(7), 67-78. (In Persian)

3- Shaoliu, L. (2000). *Water pricing towards sustainability of water resources: A case study in Beijing*, Sweden.

4- ICWE. (1992). "The dublin statement on water and sustainable development." *International Conference on Water and the Environment*,World Meteorological Organization, Geneva.

5- Downward, S.R., and Taylor, R. (2007). "An assessment of Spain's programa AGUA and its implications for sustainable water management in the province of Almería." *J. Environ. Manag.*, 82, 277-289.

6- Gleick, P.H., Cain, N.L., Haasz, D., Henges-Jeck, C., Hunt, C., Kiparsky, M., Moench, M., Palaniappan, M., Srinivasan, N., and Wolff, G. (2004). *The world's water 2004-2005, the biennial report on freshwater resources*, Island Press, Washington, D.C.

7- Memon, F.A., and Butler, D. (2006). "Water consumption trends and forecasting techniques." Butler, D., Memon, F.A. (Eds.), *Water demand management*, IWA Publishing, London.

8- Van Vliet, B., Chappells, H., and Shove, E. (2005). *Infrastructures of consumption, environmental innovation in the utility industries*, Earthscan, London.

9- Tabesh, M., and Dini, M. (2010). "Daily urban water demand estimation using artificial neural networks, Case study: Tehran." *J. Water and Wastewater*, 73, 84-95. (In Persian)

10- Tabesh. M., Dini, M., Khoshkholgh , A.J., and Zahraie, B. (2008). "Estimation of Tehran daily water demand using time series analysis." *J. Iran-Water Resources Research*, (2), 57-65. (In Persian)

11- Tabesh, M., Zahraie, B., and Khoshkholgh , A.J. (2004)."Forecasting Tehran daily water demand using time series analysis." *Proceeding of 1st National Congress on Civil Engineering*, Sharif University P.8. (In Persian)

12- Tabesh, M., Goosheh, S., and Yazdanpanah, M.J. (2003). "Short-term water demand estimation using artificial neural networks." *The 4th Iranian Hydraulic Conference*, Shiraz, Iran, 991-998. (In Persian)

13- Tabesh, M., Goosheh, S., and Yazdanpanah, M.J. (2002). "Presenting a relation for daily urban water consumption using artificial neural networks." *Proceeding of 1st National Congress on Civil Engineering*, Sharif University. (In Persian)

14- Tabesh, M., Goosheh, S., and Yazdanpanah, M.J. (2004), "Short-term water demand estimation using artificial neural networks." *Proceedings of the IWA 4th World Water Congress and Exhibition*, Marrakech, Morocco, 19-24.

15- WHO. (2000). *Global water supply and sanitation assessment report*, WHO/UNICEF.

16- WHO. (2003). *Domestic water quality, service level and health*, WHO.

17- Agthe, D., and Billings, B. (2002). "Water price influence on apartment complex water use." *J. Water Resour. Plan. Manag*., 128, 366-369.

18- Bradley, R. (2004). "Forecasting domestic water use in rapidly urbanizing areas in Asia." *J. Environ. Eng*. 130, 465-471.

19- Day, D., and Howe, C. (2003). "Forecasting peak demand: What do we need to know?." *Water Sci. Technol*., 3, 177-184.

20- De Lourdes Fernandes Neto, M., Naghettini, M., Von Sperling, M., and Libanio, M. (2005). "Assessing the relevance of intervening parameters on the per capita water consumption rates in Brazilian urban communities." *Water Sci. Technol*., 5, 8-15.

21- Durga Rao, K. (2005). "Multicriteria spatial decision analysis for forecasting urban water requirements: A case study of Dehradun city, India." *Land sc. Urban Plan*., 71, 163-174.

22- Koo, J., Yu, M., Kim, S., Shim, S., and Koizumi, A. (2005). "Estimating regional water demand in seoul, south Korea, using principal component and cluster analysis." *Water Sci. Technol*., 5, 1-7.

23- Martinez Espineira, R. (2000). *Residential water demand in the Northwest of Spain*, Environment Department. University of York, Heslington, York YO10 5DD, UK.

24- Renzetti, S. (2002). *The economics of water demands*, Kluwer Academic Publishers, Boston.

25- Whitcomb, J.B. (2005). *Florida water rates evaluation of single-family homes*, Prepared for and Funded by Southwest Florida Water Management District, St. Johns River Water Management District.

26- Perera, B.J.C., Muttil, N., and Hasofer, M. (2009). "Climate corrected urban water use and estimation of water savings." 18th *World IMACS / MODSIM Congress*, Cairns, Australia, 13-17.

27- Largo, F.M., Arlene B. I., and Cristina C. D. (1998). *Understanding household water demand for metro cebu*, Philippine Institute for Development Studies.
28- Mousavi, S., Mohammadi, H., and Boostani, F. (2009). "Estimation of water demand function for urban households: A case study in city of Marvdasht."*J. Water and Wastewater*, 74, 90-94. (In Persian)
29- Syme, G., Shao, Q., Po, M., and Campbell, E. (2004). "Predicting and understanding home garden water use." *Land sc. Urban Plan*, 68, 120-128.
30- Kostas, B., and Chrysostomos, S. (2006). "Estimating urban residential water demand determinants and forcasting water demand for athens metropolitan area, 2000-2010." *Panteion University, South-Eastern Europe Journal of Economics*, 1, 47-59.
31- Stefánsson, A., Koncar, N., and Jones, A.J. (1997). "A note on the Gamma test." *Neural Computing and Applications*, 5 (3), 131-133.
32- Kemp, S.E. (2006). "Gamma test analysis tools for non-linear time series." Ph.D Thesis University of Glamorgan Wales UK.
33- Dunn, G., and Everitt, B.S. (2001). *Applied multivariate data analysis*, Published by Oxford University Press US.
34- Evans, D., and Jones, A.J. (2002b). "A proof of the Gamma test." *Proc.Roy. Soc. Lond. Series* A, 458, 2759-2799.
35- Corcoran, J.J., Wilson, I.D., and Ware, J.A. (2003). "Predicting the geo-temporal variations of crime and disorder." *International Journal of Forecasting*, 37 (1), 623-634.
36- Salehnia, N., Ansari, H., Falahi, M. A., and Davari, K. (2009). "Evaluating elasticity of income and price on water demand with Pollak – Wales method." *J. Water and Wastewater*, 34-44. (In Persian)
37- Salehnia, N., Falahi, M. A., Ansari, H., and Davari, K. (2007). "Study of municipal drinking water tariffs and its effect on water consumption pattern, case study: City of Neyshabour." *J. Water and Wastewater*, 63, 50-59. (In Persian)
38- Parsconsult Consulting Engineering Company. (2004). *Plant of unaccounted water in Neyshabour*, Tehran
39- Ruijsa, A., and Zimmermanna, A. (2008). "Demand and distributional effects of water pricing policies." *Ecological Economics*, 6(6), 506-516.
40- Xayavong, V., and Burton, M. (2008). "Estimating urban residential water-demand with increasing block prices: The case of Perth, western Australia." *52nd Annual Conference of the Australian and Resource Economics Society Ridges Lakeside Hotel*, Canberra.
41- Rostam Abadi Sofla, A. (2000). "Estimating the water consumption equation for summer and winter seasons in Tehran." *J. of Plan and Budget*, 5(54), 77-106. (In Persian)