نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۲، جلد ۱۳، خرداد - تیر ۱۳۹۸، ص. ۲۷۰-۲۵۹

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 2, Vol. 13, Jan.-Jul. 2019, p. 259-270

مدلسازی تقاضای آب خانگی شهر مشهد بر اساس مدل رگرسیون فازی

امین علیزاده*[۱]، مجید فروزش[۲]، حسین انصاری[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۱/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۴/۱۳

چکیده

تأمین آب شرب و بهداشتی شهر مشهد در آینده با چالش‌ها و تهدیدهای جدی روبه‌رو است. در حال حاضر جمعیت این شهر بیش از ۳ میلیون نفر و جمعیت زائر آن بالغ بر ۲۵ میلیون نفر در سال برآورد شده است. پیش‌بینی می‌شود، جمعیت شهر مشهد و به تبع آن شهر نشینی در محدوده‌ی این شهر همچنان افزایش یابد. همچنین با توجه اینکه شهر مشهد به همراه شهرهای گلبهار، چناران و قوچان در محدوده مطالعاتی مشهد قرار دارند، به دلایل مختلفی همچون توسعه افسار گسیخته این شهرها، محدوده‌ی مطالعاتی مشهد در دراز مدت دچار کمیابی فیزیکی آب می‌گردد. لذا به منظور تامین پایداری آب و در نهایت مدیریت پایدار آب، تخمین تقاضای آب در دراز مدت اهمیت خواهد یافت. به همین منظور در این تحقیق ابتدا مولفه‌های موثر بر تقاضای آب شهر مشهد شناسایی شده سپس بر اساس روش استون-گری، مطلوبترین تابع تقاضای آب شهری استخراج شده است. همچنین لازم به ذکر است که، جهت بررسی عدم قطعیت‌های اقتصادی و اجتماعی در مدل مذکور، از نتایج تحقیقات گذشته و کسب نظر خبرگان استفاده شده است؛ سپس با کمک مدل رگرسیون خطی فازی، عدم قطعیت‌های موثر بر مولفه‌های مزبور تعیین شده است. در نهایت تابع تقاضای آب خانگی شهر مشهد برای سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۶ کالیبره و برای برآورد تقاضای آب از ۱۳۹۷ تا ۱۴۴۹ (۲۰۷۰ میلادی) مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد، تابع تقاضای آب شهر مشهد به شدت تحت تاثیر، فاصله زمانی دو صورت حساب و ترکیب خانوار است. بنابراین می‌توان جهت مدیریت تقاضا این دو فاکتور مورد توجه ویژه قرار گیرد. در انتها دقت مدل بر اساس معیار $\bar{R}^2$ معادل ۰/۹۲۱ بدست آمده است که بیانگر عملکرد مناسب این مدل در پیش-بینی میزان تقاضای آب بخش خانگی است.

واژه‌های کلیدی: تقاضای آب، شهر مشهد، استون-گری، رگرسیون خطی فازی

مقدمه

براساس مطالعات انجام شده پایداری منابع تأمین آب شهر مشهد با چالش‌های زیادی روبرو است. از علل بروز این ناپایداری، می‌توان به برداشت بیش از حجم تغذیه آبخوان محدوده مطالعاتی در دشت مشهد اشاره نمود. در نتیجه این اضافه برداشت، سطح آب زیرزمینی در سال بیش از یک متر افت می‌کند و به تبع آن میزان آبدهی قنوات، چشمه‌ها و چاه‌ها کمتر و کیفیت آب نیز نامناسب تر می‌گردد. از طرفی بزرگترین منبع تامین کننده آب شهر مشهد یعنی سد دوستی، به دلیل کاهش آورد رودخانه هریرود ناشی از ساخت سلما در کشور افغانستان پایداری تامین آب شهر مشهد را مختل نموده است (آب منطقه‌ای خراسان رضوی، ۱۳۹۵). همچنین حجم آب ذخیره شده در پشت سدهای داخل محدوده مطالعاتی مشهد (کارده و طرق) به دلیل خشکسالی‌های پی در پی و توسعه بدون برنامه کشاورزی به شدت کاهش یافته است.

این وضعیت در کنار پیش‌بینی‌های نتایج تغییر اقلیم نحوه تامین آب را برای کلان شهر مذهبی مشهد پیچیده‌تر می‌نماید. در این راستا دستگاه‌های متولی، عمدتاً بر اساس داده‌های تاریخی و پیش‌بینی‌های معین گزینه‌های مختلف تامین آب را پیشنهاد داده و با یک مدل ساده تامین اعتبار از محل اعتبارات دولتی طی مدت زمان نسبتا طولانی به اجرا درمی آورند. به هر حال جهت تامین آب شرب مطمئن، ابتدا روند تقاضاهای گذشته و شرایط تغییر روند تقاضاها مورد بررسی قرار می‌گیرد. سپس منابع تامین آب بر اساس سطح تقاضا بررسی خواهند شد. این مطالعه از نوع کاربردی جهت ارائه روشی برای سنجش هرچه دقیق‌تر کمیت تقاضای آب برای شهر مشهد در افق ۱۴۷۰ می‌باشد. به همین جهت در ابتدا براساس مدل اقتصادی استون-گری تابع تقاضای آب تعریف شده است. سپس بر اساس روش رگرسیون فازی، ورودی‌های غیر فازی، ضرایب و خروجی‌های

۱- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۲- دانشجوی دکتری آبیاری زهکشی دانشگاه فردوسی مشهد
۳- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(* - نویسنده مسئول: (Email: alizadeh@um.ac.ir

فازی در مدل تقاضای آب تدقیق می‌گردد.

تاکنون از مدل‌های مختلف همچون سریهای زمانی، اقتصادسنجی، منطق فازی، شبکه‌های عصبی، برنامه‌ریزی ژنتیک، الگوریتم جامعه پرندگان و ... برای پیش‌بینی تقاضای آب استفاده شده است (سجادیفر و خیابانی، ۱۳۸۹). به عنوان مثال یو و همکاران (۲۰۰۴) مدل شبکه عصبی چند لایه را برای پیش بینی تقاضای آب شهر هانگزو چین بر اساس فاکتورهایی مانند نسبت به کارگیری آب در صنعت، جمعیت و رشد اقتصادی به کار بردند که نتایج، نشان دهنده دقت و صحت بسیار خوب این مدل ها بوده است. با توجه به اینکه در این تحقیق از شاخص‌های اقتصادی و اجتماعی مختلف و همچنین کسب نظر خبرگان، جهت انتخاب ورودی‌های مدل تقاضای آب استفاده شده است؛ و مدل‌های ارائه شده دارای داده‌های غیر قطعی و پارامترهای فازی هستند، بنابراین در طراحی مدل تقاضای آب در بخش خانگی، از مدل رگرسیون خطی فازی برای پیش‌بینی تقاضای آب استفاده خواهد شد. مدل رگرسیون خطی فازی توسط تاناکا معرفی شده است (Tanaka et al., 1982a ;Tanaka et al., 1982b). این مدل برای کاربردهای متنوعی از جمله پیش‌بینی‌های مربوط به بازاریابی، انرژی و فروش به کار رفته است (Heshmati & Kandel, 1985). در سال ۲۰۰۴ ال‌کاندری و همکاران یک مدل رگرسیون خطی فازی برای پیش‌بینی تقاضای برق در فصول زمستان و تابستان توسعه داده‌اند. در سال ۲۰۰۸، تقی‌زاده و همکاران، پیش‌بینی تقاضای انرژی بخش حمل و نقل ایران را با استفاده از رگرسیون خطی فازی چندلایه مدلسازی نمودند. در تحقیق مذکور ورودی‌های مدل، جمعیت، تولید ناخالص داخلی، تعداد خودرو و میزان مصرف انرژی بخش حمل و نقل در سال قبل و خروجی، مصرف انرژی در بخش حمل و نقل است. از داده‌های مربوط به سالهای ۱۹۹۳ تا ۲۰۰۵ برای مدل‌سازی و بررسی اعتبار مدل استفاده شده و تقاضای انرژی بخش حمل و نقل در ایران طی سال های ۲۰۰۶ تا ۲۰۲۰ پیش‌بینی شده است.

تقاضای آب نیز مانند سایر مدل‌های اقتصادی تقاضا بر حسب ماهیت اسکان، ترکیب خانوار، شغل ساکنان، درآمد خانوار و قیمت آب، به طور چشمگیری تغییر می کند. با این حال تقاضای آب، تقاضا برای یک کالای نهایی مصرفی تلقی می‌شود. به همین منظور در تحقیق پیش رو از تابع مطلوبیت استون–گری است برای تعیین مدل تقاضای نیز استفاده شده است. دارمارانتا و هریس (۲۰۱۰) جهت برآورد تابع تقاضای آب با استفاده از روش تابع مطلوبت استون–گری نشان دادند که این روش نسبت به روش تابع کاب–داگلاس[1] دو برتری دارد: ۱– ثابت نبودن کشش قیمتی در این تابع و ۲– این تابع فرض می‌کند که مصرف آب دو بخش دارد که شامل یک بخش مصرفی ثابت و یکی بخش آبی که اسراف شده و هدر می‌رود. نتایج تحقیق نشان دهنده این بود که نسبت بخشی از آب به تغییرات قیمت در سریلانکا حساس نمی‌باشد. با این حال نتیجه این تحقیق نشان داده ابزار قیمتی برای کشورهای توسعه یافته نسبت به کشورهای در حال توسعه بسیار موثرتر است.

همانطور که گفته شد، در مدل‌های تقاضای آب عوامل زیادی بر مصرف آب موثر است. به عنوان مثال ساندرز (۱۹۶۹) عوامل اقتصادی و جغرافیایی، اندازه ناحیه و جمعیت شهری و درآمد را از عوامل موثر بر تقاضای آب می‌داند. همینطور داگنیو (۲۰۱۲) بیان می‌کند که بنا بر فرض صورت گرفته عوامل موثر بر تقاضای آب و منابع آبی در شهر، درآمد خانوارها، موقعیت تحصیلی سرپرست خانوارها، اعضای خانوارها، جنسیت افراد، مالکیت منزل مسکونی و آب بها می‌باشد. نتایج تحقیق نشان دهنده این بود که هزینه‌های ماهیانه، مالکیت منزل مسکونی و موقعیت تحصیلی سرپرست خانوارها از لحاظ آماری موثر و معنادار می‌باشد. همینطو پارکر و ویبی (۲۰۱۳) به بررسی عوامل موثر بر تابع تقاضای آب در انگلیس پرداختند و روش‌هایی برای برآورد و پیش‌بینی تقاضای آب در دوره کوتاه مدت (روزانه و فصلی) و بلندمدت (سال و دهه) ارائه دادند. همچنین در این مقاله به بحث راجع به اوج مصرف آب توسط خانوارها با استفاده از معیارهای اندازه‌گیری مبتنی بر مطالعات و تکنیک های آماری برای پیش‌بینی تقاضا در بلند مدت پرداخته شد. نتایج نشان داد توجه بیشتر به روابط بین متغیر های آب و هوا و تقاضای مصرفی خانواده می‌باشد.

در این مقاله، ضمن آشنایی مختصر با روش رگرسیون خطی فازی، به طراحی تابع مطلوبیت تقاضای آب بر اساس روش استون‌گری پرداخته شده است. در بخش بعدی، عدم قطعیت‌های موثر بر تقاضای آب برآورد شده و در بخش نتیجه‌گیری میزان تقاضای آب مشهد در افق ۱۴۷۰ ارائه شده است.

منطقه مورد مطالعه

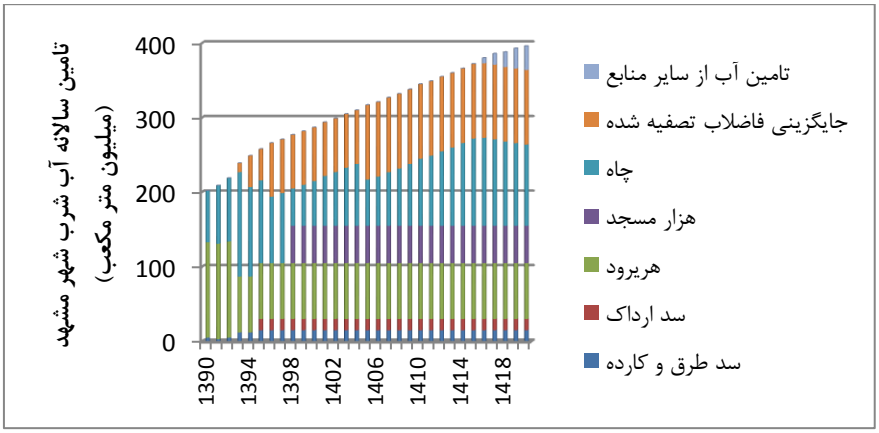
وضعیت فعلی تامین آب شهر مشهد

در حال حاضر آب شرب شهر مشهد از منابع داخلی و خارج دشت مشهد تأمین می‌شود. حدود ۸۵ درصد از منابع داخلی توسط چاههای عمیق که تعدادی از آنها در محدوده شهر و مابقی در خارج محدوده فعلی قرار دارند، تامین می‌شوند. تعداد ۵ حلقه چاه آهکی در منطقه پایین‌دست سد کارده نیز جزء چاه‌های خارج شهر محسوب می‌شوند. علاوه بر آن دو سد کارده و طرق و همچنین یک دهنه چشمه آهکی در اندرخ که زیردست سد کارده می باشد تأمین کننده آب شرب مشهد می‌باشند (آب منطقه‌ای استان خراسان رضوی، ۱۳۹۵). از مجموعه فوق سدهای طرق و کارده سالانه حدود ۲۰ میلیون متر مکعب تأمین می‌نماید. شکل (۱) نمودار سالانه تامین آب شرب دشت

1- Cobb–Douglas

مشهد را برای سال ۱۳۹۴ نمایش داده است. همچنین آب تخصیص یافته از سد دوستی جهت شرب، ۱۵۵ میلیون مترمکعب در سال است که ۱۵۰ میلیون متر مکعب آن برای شهر مشهد و روستاهای در مسیر خط انتقال می‌باشد. بر اساس آمار و اطلاعات آب منطقه‌ای خراسان رضوی (۱۳۹۳) پیش‌بینی میزان تامین آب شرب در دشت مشهد به شرح شکل (۱) است.

طبق برنامه تعریف شده جهت تامین آب به دشت مشهد و بخصوص شهر مشهد علاوه بر منابع آب زیرزمینی در حال زوال که مطالعات چگونگی افت آن انجام شده است، چهار پروژه بزرگ و گران قیمت دیگر به شرح ذیل تعریف شده است:



شکل۱- پیش‌بینی تأمین و تخصیص آب شرب دشت مشهد تا افق طرح ۱۴۲۰ با احتساب سد دوستی (شرکت آب و فاضلاب مشهد، ۱۳۹۴)

جدول ۱- شرح مختصری از گزینه‌های محتمل تأمین آب مشهد (قندهاری و همکاران، ۱۳۹۵)

	عنوان گزینه	شرح/ وضعیت	حجم تأمین سالانه (MCM)	زمان احتمالی بهره‌برداری
۱	آب زیرزمینی	برداشت از آبخوان محدودهٔ مطالعاتی مشهد که در حال حاضر تحت تنش است. نیازمند کاهش برداشت برای احیاء آبخوان	۶۰۰	درحال بهره‌برداری
۲	سد دوستی	دچار تنش در بهره‌برداری با افغان‌ها	۱۵۰	درحال بهره‌برداری
۳	جایگزینی پساب	درصد زیادی از آب استفاده شده در مشهد هنوز جمع‌آوری یا تصفیه نمی‌شود. پساب تصفیه شده در رودخانهٔ رها شده (و جایگزین برداشت از آب زیرزمینی نشده است)	اکنون 34 درصد در آینده قابل توسعه تا ۷۰٪ مصارف شهری (تابع توسعهٔ شهری)	درحال بهره‌برداری بدون تخصیص صحیح تا ۱۴۲۰ به‌تدریج افزایش می‌یابد.
۴	هزار مسجد	استفاده از رودهای منطقهٔ کلات و منابع سازندی امکان افزایش تعارضات با ترکمنستان	56/8	۷ تا ۱۲ سال آتی
۵	دریای عمان	انتقال با مسافت زیاد	۲۲۰ – ۱۵۷	تقریباً ۱۴۳۰
۶	تاجیکستان (مسیرهای مختلف)	کاهش قدرت سیاسی ایران در منطقه به‌لحاظ وابستگی شدید به آب‌های خارج از مرز	۱۰۰۰	۱۴۱۰ تا ۱۴۳۰

وضعیت فعلی تقاضای آب شهر مشهد

با توجه اینکه شهر مشهد به همراه شهرهای گلبهار، چناران و قوچان در محدوده مطالعاتی مشهد قرار دارند، این محدوده، به لحاظ اجتماعی، اقتصادی و سیاسی با رشد چشمگیری همراه است و هم اینک پاسخگوی تقاضای آب بیشتر نیست (کمبود آب رخ داده است). توسعه افسار گسیخته شهرها در محدوده‌ی مطالعاتی مشهد در دراز مدت این محدوده را دچار کمیابی فیزیکی آب می‌نماید. در حقیقت کمبود آب، عدم تعادل میان عرضه و تقاضای آب در یک نقطه مصرف و رخدادی موقتی است که با استحصال آب بیشتر از درون حوضه رفع می‌گردد. در حالی که، کمیابی آب در محدوده یک حوضه آبریز تعریف شده و ناشی از گذر مصارف آب از ظرفیت تجدیدپذیری منابع آب (قابل تخصیص) آن حوضه می‌باشد. کمیابی آب تنها از

طریق کاهش مصارف (کاهش یا باز توزیع جمعیت، تغییر الگوی مصرف و یا افزایش بهره‌وری آب) و نیز انتقال آب بین حوضه‌ای قابل رفع می‌باشد.

میزان تقاضای آب برای سال ۱۴۲۰ در محدوده مطالعاتی بر اساس روند فعلی توسعه و با توجه به اطلاعات جمع‌آوری شده از دستگاه‌های اجرایی در جدول (۲) ارائه شده است. همانطورکه در این جدول مشاهده می‌گردد با فرض ثبات میزان مصرف آب، میزان تقاضا در افق ۱۴۲۰ در حدود ۱۵۶۵ میلیون متر مکعب خواهد بود و با فرض افزایش ۵٪ مصرف آب به‌دلیل گرم شدن هوا و تحت تاثیر تغییر اقلیم، این میزان ۱۶۱۵ میلیون متر مکعب پیش بینی می‌گردد. این میزان تقاضا به معنی بروز کمیابی آب در این محدوده مطالعاتی خواهد بود.

جدول ۲- میزان تقاضای آب محدوده مطالعاتی مشهد در افق ۱۴۲۰ (میلیون متر مکعب) (داوری و همکاران، ۱۳۹۳)

نوع تقاضا	مصرف آب مشابه با شرایط موجود	با فرض افزایش ۵٪ مصرف آب به دلیل گرم شدن هوا	با فرض افزایش ۱۰٪ مصرف آب به دلیل گرم شدن هوا
نیاز آبی سکونت‌گاه‌های واقع در محدوده مطالعاتی مشهد (به جز شهر مشهد)	۱۳۶	۱۳۶	۱۳۶
نیاز آبی شهر مشهد (به جز فضای سبز)	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰
کشاورزی (با فرض سطح زیر کشت ثابت)	۹۱۸	۹۶۴	۱۱۱۴
فضای سبز	۶۴	۶۸	۶۸
صنعت (برآورد غیر مستند)	۴۷	۴۷	۴۷
جمع کل	۱۵۶۵	۱۶۱۵	۱۷۶۵

روش تحقیق

در ابتدا تقاضا و شرایط آن از دیدگاه تئوریک مورد بررسی قرار می‌گیرد، سپس تابع مطلوبیت تقاضای آب به روش استون-گری استخراج می‌گردد و در انتها عدم قطعیت‌های موثر بر مولفه‌های آن مورد بررسی قرار می‌گیرد.

بررسی تقاضای آب و شرایط تئوریک آن

تقاضای آب شهری شامل تقاضا برای کاربردهای خانگی، صنعتی، تجاری و عمومی است. تقاضای آب بر حسب ماهیت اسکان، ترکیب خانوار، شغل ساکنان، درآمد خانوار و قیمت آب، به طور چشم‌گیری تغییر می‌کند. تقاضای آب نمایانگر دو رفتار متفاوت اقتصادی است: ۱- آب به عنوان کالای نهایی که مستقیماً به وسیله مصرف کننده نهایی مصرف می‌شود ۲- آب به عنوان یک نهاده تولید (سجادیفر و خیابانی، ۱۳۸۹). با این حال در این تحقیق تقاضای آب، تقاضا برای یک کالای نهایی مصرفی در نظر گرفته شده است. متغیرهای ورودی تاثیرگذار بر تقاضای نهایی آب را به شرح زیر می‌توان در نظر گرفته است:

- ✓ **قیمت آب:** مطابق با ادبیات اقتصادی یکی از عوامل تاثیرگذار بر میزان تقاضا، قیمت است که آب نیز از این قاعده مستثنی نیست. بدین معنا که با تغییر قیمت آب میزان تقاضا برای آن تغییر می‌یابد. هرچند که آب کالایی ضروری و بدون جانشین است؛ اما ضریب کشش مخالف صفر باشد، قیمت‌ها در مدیریت تقاضا نقش مهمی ایفا خواهند نمود(شرزه‌ای و کلاهی، ۱۳۷۵).
- ✓ **کشش تقاضای آب:** کشش تقاضا در واقع عکس العمل مشتریان نسبت به تغییر قیمت است. با این حال این موضوع به کشش تقاضای آب به عنوان یک پارامتر جدا در محاسبات مورد توجه قرار می‌گیرد (خوش اخلاق، ۱۳۸۶).
- ✓ **درآمد مصرف کنندگان:** از عوامل اثرگذار دیگری بر تقاضای آب، درآمد مصرف‌کنندگان است. به طور معمول انتظار بر آن است که با افزایش درآمد مصرف کننده، تقاضا برای آب با افزایش مواجه شود، اما با توجه به این که آب کالای ضروری است، افزایش درآمد تا سطح مشخصی می‌تواند تقاضای آب را تحت تاثیر قرار دهد (پژویان و حسینی، ۱۳۸۲).
- ✓ **متغیرهای جوی:** به دلیل شرایط و تغییرات بارندگی و دمای هوا جوی، تقاضای آب از یک الگوی چرخشی فصلی پیروی می‌کند (تابش و همکاران، ۱۳۸۸).
- ✓ **ترکیب خانوار:** شرایط جمعیتی نظیر بُعد و ترکیب سنی خانوار بر مصرف کالاها از جمله آب مؤثر است (صبوحی و نوبخت، ۱۳۸۷).
- ✓ **فاصله زمانی دو صورت حساب:** خانوارهایی که به صورت پیاپی و با فاصله زمانی کمتر صورت حساب خود را دریافت می کنند، ساختار تعرفه و رابطه بین صورت حساب دریافتی و میزان مصرف خود را بهتر درک نموده و نسبت به آن واکنش بیشتر ی نشان می دهندو هر چه تعداد صورت حسابهای دریافتی بیشتر باشد، مصرف آب نیز کمتر خواهد بود (سجادیفر و خیابانی، ۱۳۸۹).

- **تقاضای فصلی:** در بسیاری از تحقیقات نشان داده شده است که تقاضای فصل تابستان بسیار پرکشش تر از تقاضای فصل زمستان است (سجادیفر و خیابانی، ۱۳۸۹).

استخراج تابع تقاضای آب

فرآیند رفتار مصرف‌کننده در تئوری‌های اقتصاد خرد، از یک مدل مطلوبیت نشات می‌گیرد. در واقع مطلوبیت افراد شکل تقاضای آنها را طراحی می‌کند. از این رو خیلی دور از ذهن به نظر نمی‌آید که یکی از راه‌های تخمین تقاضا، از طریق تابع مطلوبیت باشد (سجادیفر و خیابانی، ۱۳۸۹). در این خصوص توابع مطلوبیت متعددی از سوی اندیشمندان اقتصادی ارایه شده است، از جمله تابع مطلوبیت اکانم و تابع مطلوبیت کلاین-روبین و چند تابع دیگر نظیر سیستم تقاضای تقریبا ایده‌آل (AIDS) است. تابع اکانم بیشتر جهت برآورد ضرایب تابع تقاضای غیراساسی مناسب است، هرچند که در برآورد تابع تقاضای کالاهای اساسی نیز در مواردی مورد استفاده قرار گرفته است. سایر توابع نیز برای تخمین تابع تقاضای آب مناسب نیستند، بنابراین از تابع مطلوبیت استون-گری به دلایل تطبیق نتایج آن با رفتار واقعی مصرف‌کننده، توجیه نظری تابع تقاضا، در نظر گرفتن یک مقدار حداقل از هر کالا برای ادامه زندگی، کاربرد تابع یاد شده در چند مورد مشابه، امکان در نظر گرفتن متغیرهایی که می‌توانند بر تقاضای آب اثر داشته باشند و تطبیق نتایج آن با خصوصیت آب به عنوان یک کالای مصرفی ضروری استفاده خواهد شد. در این تابع فرض بر آن است، تا زمانی که حداقل نیازهای مصرفی تامین نشود، فرد مصرف-کننده از مصرف بیشتر رضایت خاطر به دست نمی‌آورد. در تابع مطلوبیت استون-گری فرض بر آن است که تا زمانی که حداقل نیازهای مصرفی کالایی تامین نشده فرد مصرف‌کننده از مصرف بیشتر کالا رضایت خاطر به دست نمی‌آورد (سجادیفر و خیابانی، ۱۳۸۹). در همین راستا تابع مطلوبیت کلاین-روبین به صورت رابطه (۲) معرفی می‌شود.

$$U = \prod_{i=1}^{n} (Q_i - S_i)^{\beta_i} \quad i = 1,2,3,...,n \qquad (۲)$$

که $0 < \beta_i < 1$ و $D_i > S_i$ و $\sum_{i=1}^{n} \beta_i = 1$ می‌باشد. در تابع مطلوبیت اشاره شده در رابطه‌ی فوق، Q_i میزان مصرف کالای i، S_i حداقل مصرف ضروری کالای i، β_i نیز سهم نهایی کالای i می‌باشند. با لگاریتم‌گیری از طرفین تابع مطلوبیت کلاین- روبین و با فرض این که مصرف کننده با سبدی از دو کالا، شامل آب (D_i) و سایر کالاها و خدمات (D_{oth}) که کالای ترکیبی فرض می‌شود، روبرو است، تابع مطلوبیت استون- گری به صورت رابطه (۳) معرفی می‌شود:

$$\ln U = U' = \beta_1 \ln(D_w - C_W) + \beta_2 \ln(D_{oth} - C_{oth}) \qquad (۳)$$

که در آن U' سطح مطلوبیت مصرف کننده، C_W، حداقل میزان مصرف آب، C_{oth}، حداقل میزان مصرف سایر کالاها، D_w، میزان مصرف آب ، D_{oth} میزان مصرف سایر کالاها، β_1 و β_2 نیز سهم‌های نهایی آب و کالای ترکیبی می‌باشند. با فرض این که روابط (۴) برقرار باشد:

$$\begin{aligned} \theta_0 &= C_w(1-\beta_1) \\ \theta_1 &= \beta_1 \\ \theta_2 &= -\beta_1 C_{oth} \end{aligned} \qquad (۴)$$

با حداکثر کردن تابع مطلوبیت نسبت به قید بودجه $I = P_w.D_W + P_{oth}.D_{oth}$ و با استفاده از روش لاگرانژ، تابع تقاضای آب به صورت رابطه (۵) استخراج می‌شود:

$$D_W = \theta_0 + \theta_1\left(\frac{I}{P_W}\right) + \theta_2\left(\frac{P_{oth}}{P_w}\right) \qquad (۵)$$

که در آن D_w مقدار تقاضای آب خانگی، I بودجه یا درآمد اسمی مصرف کننده، P_W شاخص قیمت آب خانگی و P_{Oth} نیز شاخص ترکیبی است. در تابع استون-گری تقاضای مصرف‌کننده از هر کالا بیشتر از حداقل لازم برای معیشت است، یعنی $D_i > C_i$ بنابراین، شرط $I > \sum P_i C_i$ همواره برقرار باشد. همچنین شرط کافی برای حداکثر کردن تابع مطلوبیت نیز باید برقرار گردد. از جمله نکات جالب توجه تابع تقاضای حاصل از تابع مطلوبیت استون-گری این است که می‌توان متغیر ضروری دیگری را که احتمال می‌رود در روند تابع تقاضا و شکل گیری آن نقش داشته باشد وارد تابع کرد. بنابراین، الگوی اقتصادسنجی تقاضای آب خانگی به صورت زیر تصریح می شود:

$$Q_w = \theta_0 + \theta_1\left(\frac{I}{P_w}\right) + \theta_2\left(\frac{P_{oth}}{P_w}\right) + \theta_3 W + \theta_4 R + \theta_5 P + \theta_6 d + \theta_7 \varepsilon + \theta_8 T \qquad (۶)$$

در این رابطه w متوسط درجه حرارت و R متوسط میزان بارندگی در منطقه، P ترکیب خانوار، d تقاضای فصلی و ε کشش قیمتی تقاضا، ϑ_0 عرض از مبدا و ϑ_1، ϑ_2، ϑ_3، ϑ_4 ، ϑ_5، ϑ_6، ϑ_7 و ϑ_8 ضرایب مدل می‌باشد. فرضیات مدل:

$$\begin{Bmatrix} \theta_4 < 0 & \theta_3 > 0 & \theta_5 > 0 & \theta_7 \\ 0 < \theta_1 < 1 & \theta_0 > 0 & 0 < \theta_6 < 1 & 0 < \theta_8 < 1 \end{Bmatrix}$$

یعنی اینکه تقاضای آب نسبت به تغییرات درآمد، ترکیب خانوار، تقاضای فصلی، فاصله زمانی دو صورت حساب و درجه حرارت واکنش مثبت و نسبت به قیمت سایر کالاها، کشش تقاضای آب و میزان بارندگی واکنش منفی نشان می‌دهد.

رگرسیون خطی فازی جهت برآورد ضرایب تابع تقاضای آب

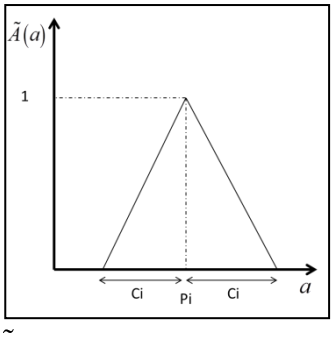
معمولا شکل کلی معادله رگرسیون خطی کلاسیک به صورت رابطه (۷) می‌باشد که در آنها y متغیر خروجی، $x_1, x_2, ..., x_n$ و $a_0, a_1, ..., a_n$ ضرایب معادله به حساب می‌آیند.

$$y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + ... + a_n x_n \quad (۷)$$

در رگرسیون خطی کلاسیک به ازای هر سری از متغیرهای ورودی، تنها یک مقدار مشخص برای متغیر خروجی محاسبه می‌گردد در حالی که رگرسیون فازی بازه‌ای از مقادیر ممکن را برای متغیر خروجی تخمین می‌زند. این مقادیر به وسیله یک توزیع مکانی که به صورت تابع عضویت نشان داده می‌شود مشخص می‌گردند. بنابراین بر خلاف رگرسیون کلاسیک که مبتنی بر تئوری احتمال می‌باشد، رگرسیون فازی بر اساس تئوری امکان و تئوری مجموعه‌های فازی پایه‌گذاری شده است. رگرسیون خطی فازی برای محاسبه رابطه تابعی بین متغیرهای مستقل و متغیر وابسته در یک محیط فازی استفاده می‌شود. این مدل برای کاربردهای متنوعی از جمله پیش-بینی‌های مربوط به انرژی به کار رفته است. در این مدل ورودیها و خروجی‌ها، داده‌های غیرفازی هستند. مدل پایه به صورت یک تابع خطی به صورت (۸) در نظر گرفته می‌شود:

$$\tilde{y} = f(x, \tilde{A}) = \tilde{A}_0 + \tilde{A}_1 X_1 + \tilde{A}_2 X_2 + ... + \tilde{A}_n X_n \quad (۸)$$

در اینجا $\tilde{A}_i \ (i = 0,1,2,...,n)$ ضرایب فازی به صورت (p_i, c_i) هستند به نحوی که p_i پارامتر مرکز و C_i پارامتر پهنای تابع عضویت است. مقدار پارامتر مرکز بر میزان فازی بودن دلالت میکند. تابع عضویت مربوط به ضریب فازی $\tilde{A}_i$ در شکل (۲) نشان داده شده است.



شکل ۲- تابع عضویت ضریب فازی $\tilde{A}_i$

حال رابطه (۹) را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$\tilde{y} = (p_0, c_0) + (p_1, c_1) x_1 + (p_2, c_2) x_2 + ... + (p_n, c_n) x_n \quad (۹)$$

آنگاه تابع عضویت متغیر فازی به صورت خروجی $\tilde{y}$ در رابطه (۱۰) ارائه می‌شود:

$$\mu_{\tilde{y}}(y) = \begin{cases} \max(\min\left[\mu_{\tilde{A}_i}(a_i)\right]) \{a \mid y = f(x,a)\} \neq \varnothing \\ o \qquad otherwise \end{cases} \quad (۱۰)$$

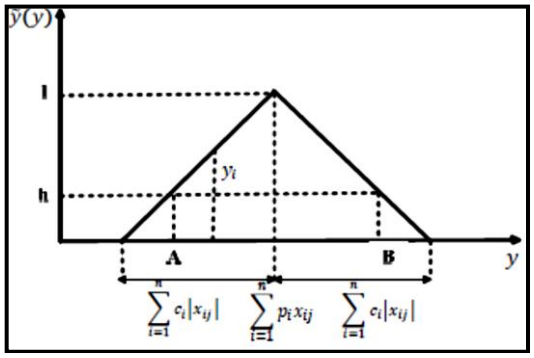
از رابطه (۹) و (۱۰) داریم:

$$\mu_{\tilde{y}}(y) = \begin{cases} 1 & x_i = 0, \quad y = 0 \\ 1 - \dfrac{\left| y - p_0 - \sum_{i=1}^{n} p_i x_i \right|}{c_0 + \sum_{i=1}^{n} c_i |x_i|} & x_i \neq 0 \\ 0 & x_i = 0, \quad y \neq 0 \end{cases} \quad (۱۱)$$

می‌خواهیم ضرایب $\tilde{A}_i \ (p_i, c_i)$ که پارامتر پهنای تابع عضویت مربوط به مجموعه داده‌ها min گردد. معادله (۱۲) تابع هدف را نشان می‌دهد:

$$Minmize: \quad mc_0 + \sum_{j=1}^{m} \sum_{i=1}^{n} c_i \left| x_{ij} \right| \quad (۱۲)$$

مدل رگرسیون فازی با هدف تعیین مقدار بهینه $\tilde{A}^*$ می‌باشد به گونه‌ای که درجه عضویت متغیر خروجی فازی برای تمام داده‌ها از یک مقدار معین مانند h که توسط کاربر تعیین می‌گردد بزرگتر باشد. به بیان دیگر رابطه $\mu_{\tilde{y}}(y_i) \geq h$ برای مقادیر $j = 1,2,...,m$ صادق باشد. شکل (۳) تابع عضویت خروجی فازی را نشان می‌دهد. خروجی فازی بین دو مقدار A و B باشد.



شکل۳- تابع عضویت متغیر خروجی مدل رگرسیون

توضیحات بالا منجر به مدل برنامه ریزی خطی زیر می‌شود:

$$Minmize: \quad mc_0 + \sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n} c_i \left| x_{ij} \right|$$

$$\begin{aligned} & p_0 + \sum_{i=1}^{n} p_i x_{ij} - (1-h)\left[c_0 + \sum_{i=1}^{n} c_i x_i \right] \le y_i \\ & p_0 + \sum_{i=1}^{n} p_i x_{ij} - (1-h)\left[c_0 + \sum_{i=1}^{n} c_i x_i \right] \ge y_j \end{aligned} \qquad (۱۳)$$

$$j = 1, 2, ..., m$$

$$c_i \ge 0 \quad p_i \ge 0$$

مدل بالا برای حالتی است که ضرایب فازی، ورودی و خروجی مشاهده غیر فازی باشند. برای حالتی که ضرایب فازی، ورودی داده ها غیر فازی و خروجی مشاهده‌ای فازی باشد نیز فرض می‌شود که داده‌های مشاهداتی مربوط به متغیر وابسته به صورت اعداد فازی باشند. لازم به ذکر است که در این مدل نیز داده‌های مشاهداتی مربوط به متغیر مستقل همچنان به صورت اعداد معمولی در نظر گرفته می‌شوند. به بیان دیگر تعداد زوج داده مشاهداتی به صورت $(x_{ij}, \tilde{Y}_j)$ برای برازش این نوع مدل رگرسیون مورد نیاز می‌باشد. بنابراین در این جا نیز هدف یافتن ضرایب معادله (۱۱) است با این تفاوت که در این متغیر وابسته مشاهداتی به صورت $\tilde{y}_j = (y_j, e_j)$ می‌باشد. لذا ضرایب فازی باید به گونه‌ای تعیین گردد که پهنای خروجی فازی برای تمام مجموعه‌ها داده‌های مینیمم گردد. پس از حل رابطه (۱۴) مدل برنامه‌ریزی خطی، مرکز و پهنای ضرایب فازی به دست می‌آید:

$$Minmize: \quad mc_0 + \sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n} c_i \left| x_{ij} \right|$$

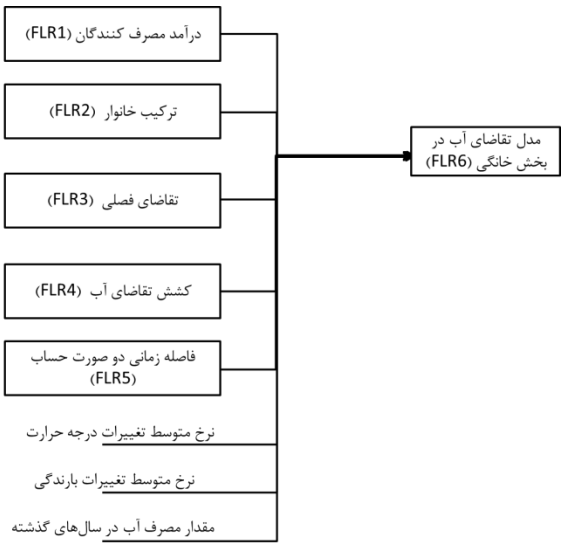
$$\begin{aligned} & p_0 + \sum_{i=1}^{n} p_i x_{ij} - (1-h)\left[c_0 + \sum_{i=1}^{n} c_i x_i \right] \le y_i - (1-h)e_g \\ & p_0 + \sum_{i=1}^{n} p_i x_{ij} - (1-h)\left[c_0 + \sum_{i=1}^{n} c_i x_i \right] \ge y_j + (1-h)e_g \end{aligned} \qquad (۱۴)$$

$$j = 1, 2, ..., m$$

$$c_i \ge 0 \quad p_i \ge 0$$

یافته‌های تحقیق

همانگونه که ذکر شد ورودی‌های مدل‌های مختلف با توجه به بررسی تحقیقات انجام شده قبلی و نظر خبرگان انتخاب شده است. همچنین از داده‌های سالهای ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۴ برای طراحی مدل مناسب پیش‌بینی استفاده شده است. قابل ذکر است از داده‌های مربوط به سالهای ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۴ به عنوان داده‌های تست استفاده شده است. برای بررسی اعتبار مدلهای طراحی شده، شاخص درصد میانگین قدرمطلق خطا برای داده‌های تست مورد بررسی و مدل مناسب با توجه به این شاخص توسعه داده شده است. مدل پیش‌بینی تقاضای آب در بخش خانگی با توجه به شاخصهای اقتصادی و اجتماعی و با استفاده از مدل رگرسیون خطی فازی سلسله مراتبی طراحی شده است. شکل (۴) ساختار این مدل رگرسیون خطی فازی سلسله مراتبی را نشان می‌دهد.



شکل٤- ساختار مدل رگرسیون فازی سلسله مراتبی پیش‌بینی تقاضای بخش آب شهری

ورودیهای این مدل: ۱- درآمد مصرف‌کنندگان، ۲- ترکیب خانوار، ۳- تقاضای فصلی، ۴- کشش تقاضای آب، ۴- فاصله زمانی

دو صورت حساب، ۵- نرخ متوسط تغییرات درجه حرارت، ۶- نرخ متوسط تغییرات بارندگی، ۷- مقدار مصرف آب در سال‌های گذشته. هر کدام از ورودی‌های ۱ تا ۵ نیز با استفاده از مدل رگرسیون خطی فازی پیش‌بینی می‌شوند. قابل ذکر است مدل‌های مختلف با ورودی-های مختلف بررسی و مدلی که داده‌های تست آن خطای کمتری داشت به عنوان مدل مناسب انتخاب شده است. با استفاده از مدل تعدیل جزئی ارائه شده می‌توان تابع تقاضای کوتاه مدت و بلندمدت تقاضای آب را به شرح ذیل استخراج نمود:

$$Q^{*}_{w}=\theta_0+\theta_1\left(\frac{I_t}{P_{wt}}\right)+\theta_2\left(\frac{P_{otht}}{P_{wt}}\right)+\theta_3 W_t+\theta_4 R_t+\theta_5 P+\theta_6 d+\theta_7\varepsilon+\theta_8 T \qquad (۱۵)$$

$$Q_t-Q_{t-1}=\sigma(Q^{*}_{t}-Q_{t-1}) \qquad (۱۶)$$

در این مدل فرض می‌شود که میزان مطلوبیت مصرف (Q^{*}_{t}) دارای تابعی به شکل تابع تقاضای استون- گری است. در رابطه فوق-الذکر $\sigma\left(0\le\sigma\le1\right)$ ضریب تعدیل، Q_t-Q_{t-1} تغییر واقعی و $Q^{*}_{t}-Q_{t-1}$ تغییر مطلوب است. در رابطه (۱۶) تغییر واقعی در مصرف در هر دوره زمانی معین t، معادل کسر σ در مقدار واقعی آن است. با ترکیب روابط (۱۵) و (۱۶) معادله تقاضای کوتاه مدت به صورت زیر حاصل می شود:

$$Q_w=\sigma\theta_0+(1-\sigma)Q_{t-1}+\theta_1\left(\frac{I_t}{P_{wt}}\right)+\theta_2\left(\frac{P_{otht}}{P_{wt}}\right)+\theta_3 W_t+\theta_4 R_t+\theta_5 P+\theta_6 d+\theta_7\varepsilon+\theta_8 T \qquad (۱۷)$$

در این تحقیق ضرایب مدل تقاضای از رابطه (۱۷) و بر اساس رگرسیون فازی محاسبه می‌شود. در این تحقیق معادله رگرسیون خطی فازی تقاضای آب بر اساس رابطه (۱۴) به صورت زیر خواهد بود که هدف آن مینیمم‌سازی پارامتر پهنای تابع عضویت بر اساس شکل (۳) است:

$$\tilde{Q}_w=\sigma\tilde{\theta}_0+(1-\sigma)Q_{t-1}+\tilde{\theta}_1\left(\frac{I_t}{P_{wt}}\right)+\sigma\tilde{\theta}_2\left(\frac{P_{otht}}{P_{wt}}\right)+\theta_3 W_t+\theta_4 R_t+\tilde{\theta}_5 P+\tilde{\theta}_6 d+\tilde{\theta}_7\varepsilon+\tilde{\theta}_8 T \qquad (۱۸)$$

همانطور که گفته شد در این رابطه w متوسط درجه حرارت و R متوسط میزان بارندگی در منطقه، σ ضریب تعدیل $\left(0\le\sigma\le1\right)$ و ϑ عرض از مبدا و ϑ ضرایب مدل می‌باشند.

نتایج و بحث

به منظور محاسبهٔ ضرایب رابطهٔ (۱۸)، یک مدل برنامه‌ریزی خطی مطابق با رابطه (۱۴) ایجاد شد و جواب های بهینهٔ از طریق روش کومار و همکاران (۲۰۱۱) محاسبه گردید. این مقادیر بهینه در جدول (۳) ارائه شدند. در روش کومار و همکاران (۲۰۱۱) اعداد فازی LR به فضای بردار تبدیل شده سپس حل معادلات بهینه‌سازی فازی به آسانی قابل انجام است. مراحل انجام این روش به شرح ذیل می-باشد.

مرحله۱: ابتدا محدودیت‌های نامساوی، تبدیل به محدودیت مساوی می‌گردد.

مرحله۲: مسئله $\begin{cases}\text{Maximize(Minimize)}(\tilde{C}^{T}\otimes\tilde{X})\\ \text{subjiected to:}\\ \tilde{A}\otimes\tilde{X}\le=\ge\end{cases}$ و $\tilde{X}$،

عدد منفی غیر فازی تبدیل به فرم زیر می‌گردد.

$$\begin{cases}\text{Maximize(Minimize)}(\tilde{C}^{T}\otimes\tilde{X})\\ \text{subjiected to:}\\ A\tilde{X}=\tilde{b}\\ \tilde{C}^{T}=\left[\tilde{c}_j\right]_{1\times n},\tilde{X}=\left[\tilde{x}_j\right]_{n\times1},\tilde{A}=\left[\tilde{a}_{ij}\right]_{m\times n},\tilde{B}=\left[\tilde{b}_i\right]_{m\times1}\end{cases}$$

مرحله ۳:

$$\tilde{C}^{T}=\left[\tilde{c}_j\right]_{1\times n},\tilde{X}=\left[\tilde{x}_j\right]_{n\times1},\tilde{A}=\left[\tilde{a}_{ij}\right]_{m\times n},\tilde{B}=\left[\tilde{b}_i\right]_{m\times1}$$

را در مسئله تمام فازی خطی جایگزین نموده، بنابراین مسئله صورت زیر نوشته می‌شود:

$$\begin{cases}\text{Maximize(Minimize)}(\tilde{C}^{T}\otimes\tilde{X})\\ \text{subjiected to:}\\ \sum_{j=1}\tilde{a}_{ij}\otimes\tilde{x}_j=\tilde{b}_i,\forall i=1,2,..,m\end{cases}$$

مرحله ۴: اگر پارامترهای $\tilde{c}_j,\tilde{x}_j,\tilde{a}_{ij},\tilde{b}_i$ به ترتیب با اعداد مثلثی فازی

$$\left(a_{ij},b_{ij},c_{ij}\right),\left(d_i,g_i,h_i\right),\left(x_j,y_j,z_j\right),\left(p_j,q_j,r_j\right)$$

ارائه شوند، بنابراین مسئله تمام فازی به دست آمده در مرحله ۳ را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$\text{Maximize(Minimize)}\left(\sum_{j=1}^{n}\left(p_j,q_j,r_j\right)\otimes\left(x_j,y_j,z_j\right)\right)$$

subjected to:

$$\sum_{j=1}^{n}\left(a_{ij},b_{ij},c_{ij}\right)\otimes\left(x_j,y_j,z_j\right)=\left(d_i,g_i,h_i\right),\quad\forall i=1,2,..,m$$

مرحله۵: فرض کنید $(a_{ij},b_{ij},c_{ij})\odot(x_j,y_j,z_j)=(m_{ij},n_{ij},o_{ij})$. بنابراین مسئله بدست آمده در مرحله4 را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$\text{Maximize(Minimize)}\left(\sum_{j=1}^{n}\left(p_j,q_j,r_j\right)\otimes\left(x_j,y_j,z_j\right)\right)$$

subjected to:

$$\sum_{j=1}^{n}\left(m_{ij},n_{ij},o_{ij}\right)=\left(d_i,g_i,h_i\right),\quad\forall i=1,2,..,m$$

مرحله ۶: با استفاده از عملگرهای ریاضی فازی و استفاده از تابع رتبه‌بندی مسئله را می‌توان به صورت مسئله برنامه‌ریزی خطی قطعی زیر نمایش داد:

$$\text{Maximize(Minimize)}\left(\sum_{j=1}^{n}\left(p_j,q_j,r_j\right)\otimes\left(x_j,y_j,z_j\right)\right)$$

subjected to:

$$\sum_{j=1}^{n}\left(m_{ij}\right)=\left(d_i\right),\quad \forall i=1,2,..,m$$

$$\sum_{j=1}^{n}\left(n_{ij}\right)=\left(g_i\right),\quad \forall i=1,2,..,m$$

$$\sum_{j=1}^{n}\left(o_{ij}\right)=\left(h_i\right),\quad \forall i=1,2,..,m$$

$$y_j-x_j\geq 0,\ z_j-y_j\geq 0,\quad \forall i=1,2,..,m$$

مرحله ۷: جواب بهینه (x_j,y_j,z_j) را با حل مسئله برنامه‌ریزی خطی قطعی بدست آمده در مرحله ۶ می‌توان یافت. جواب بهینه فازی را با قراردادن (x_j,y_j,z_j) در $\tilde{X}_j=(x_j,y_j,z_j)$ بدست می‌آید. مقدار بهینه فازی تابع هدف را با قراردادن $\tilde{X}_j$ در $\sum_{j=1}^{n}\tilde{C}_j\otimes\tilde{X}_j$ قایل محاسبه است. نتایج روش تخمین فازی دارای علائم مبتنی بر نظریات اقتصادی است (کشش منفی قیمت و کشش مثبت). همچنان که در این جدول نمایش داده شده است، کاهش گستره چپ و راست برای عدد میانه به معنی کاهش عدم قطعیت و در نتیجه تاثیر مستقیم فاکتور مذکور در میزان تقاضای آب در بلند مدت خواهد شد. در این میان تقاضای فصلی به عنوان غیر قطعی‌ترین عامل تاثیر مستقیمی بر میزان مصرف آب سالانه نخواهد داشت؛ اما این فاکتور برای کوتاه و میان مدت تاثیر بسزایی در میزان تقاضای آب خواهند داشت.

جدول۳- برآورد تابع تقاضای بنزین با استفاده از روش تخمین رگرسیون خطی فازی

نام متغیر	عدد میانه(p_i)	گستره چپ و راست (c_i)
فاصله زمانی دو صورت حساب	۰/۱۰۸	۰/۰۱۱
درآمد مصرف‌کنندگان	۰/۵۴۱	۰/۰۳۴
ترکیب خانوار	۰/۳۲۰	۰/۰۱۷
تقاضای فصلی	۰/۳۴۵	۰/۱۵۶
کشش قیمتی تقاضای آب	-۰/۲۹۹	۰/۷۰۴
ضریب تعدیل σ	۰/۰۲	۰/۰۰۰۱

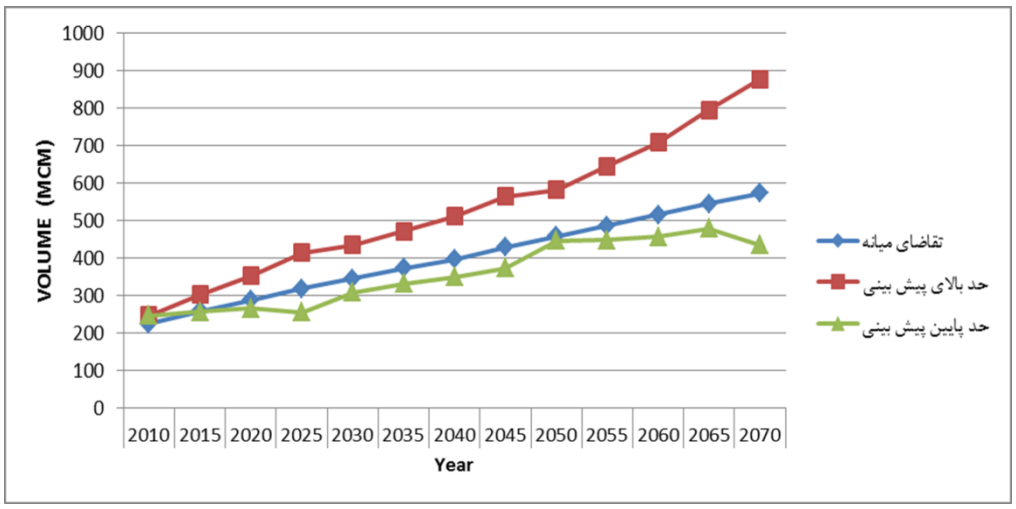
با توجه به دامنه‌ی عددی نتایج پیش‌بینی کننده رگرسیون فازی در جدول (۴) می‌توان تابع تقاضای آب را محاسبه نمود. همانطور که ذکر شده است که از ترکیب روش‌های اقتصادسنجی و فازی به دست آمده است، در نتیجه میزان تقاضای آب برای سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۴۴۹ برآورد و ارائه شده است. نمودار مربوط به داده‌های پیش‌بینی شده در شکل (۴) نمایش داده شده است. همانطور که از نمودار شکل (۴) نیز مشخص است، حد بالا و پایین مقدار پیش بینی‌شده در سال-های ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۶ به مقادیر واقعی نزدیک است؛ به عبارت دیگر، مدل های ارائه شده برای پیش بینی تقاضای آب از دقت کافی برخوردار است. البته اینکه از نظر دقت عملکرد مناسب می‌باشد، موضوعی است که باید بررسی گردد.

هدف از بررسی دقت عملکرد بررسی تطابق روش های اقتصادسنجی و فازی برای کاربرد روش‌های پیش بینی تقاضای آب خواهد بود. جهت بررسی عملکرد مدل از معیار R استفاده می‌گردد؛ اما این معیار دقت برازش داخل نمونه را اندازه گرفته و هیچ تضمینی برای پیش بینی آینده و دقت آن ندارد. برای مقایسهٔ دو یا چند مدل، متغیر های مستقل و وابسته باید یکسان باشند. وقتی تعداد متغیر های مدل اضافه می‌شوند، مقدار این معیار افزایش می‌یابد و می‌تواند گمراه کننده باشد. لذا معیار انتخاب مدل بر اساس $\bar{R}$ است که بر اساس رابطه (۱۹) قابل تخمین است. لازم به ذکر است که همواره $\bar{R}^2\leq R^2$ است. در اینجا، تعداد ضرایب تخمین (K) در محاسبهٔ $\bar{R}^2$ مؤثر است و برخلاف R^2 که با افزایش تعداد ضرایب افزایش می‌یابد، مقدار $\bar{R}^2$ فقط در صورتی افزایش می‌یابد که قدر مطلق مقدار t متغیر اضافه شده بیشتر از یک باشد؛ بنابراین به منظور مقایسه، استفاده از معیار $\bar{R}^2$ بهتر از R^2 است. بر اساس محاسبه انجام شده مقدار $\bar{R}^2$ برابر 0/921 بدست آمده است.

$$\bar{R}^2=1-(1-R^2)\frac{n-1}{n-k} \qquad (۱۹)$$

جدول ٤- نتایج برآورد تقاضای آب از سال ۱۳۸۸ تا ۱٤٥۰ با استفاده از رگرسیون فازی

سال شمسی	سال میلادی	مقادیر موجود و پیش‌بینی شده	حد بالا	حد پایین
۱۳۸۹	2010	-۰/۰۰۰۹	۰/۱۰۱	-۰/۱۰۳
۱۳۹۴	2015	۰/۰۸۰۵	۰/۱۶۸	-۰/۰۰۷۲
۱۳۹۹	2020	۰/۱۵۲	۰/۲۲۶	۰/۰۷۸
۱۴۰۴	2025	۰/۲۵۹	۰/۳۰۵	۰/۱۹۸
۱۴۰۹	2030	۰/۱۸۲	۰/۲۵۷	۰/۱۰۷
۱۴۱۴	2035	۰/۱۸۸	۰/۲۶۸	۰/۱۰۸
۱۴۱۹	2040	۰/۲۰۵	۰/۲۹۰	۰/۱۲۰
۱۴۲۴	2045	۰/۲۲۲	۰/۳۱۴	۰/۱۳۱
۱۴۲۹	2050	۰/۱۴۸	۰/۲۶۹	۰/۰۲۷
۱۴۳۴	2055	۰/۲۰۲	۰/۳۲۵	۰/۰۸۰
۱۴۳۹	2060	۰/۲۴۴	۰/۳۷۳	۰/۱۱۵
۱۴۴۴	2065	۰/۳۳۰	۰/۴۶۲	۰/۱۲۰
۱۴۴۹	2070	۰/۳۸۶	۰/۵۳۱	۰/۲۴۱



شکل٥- داده های واقعی و پیش بینی‌شدهٔ بر اساس روش رگرسیون خطی فازی

بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق با استفاده از تابع مطلوبیت استون-گری، تابع تقاضای آب استخراج شد و با استفاده از روش رگرسیون فازی تقاضای آب شهر مشهد مورد برآورد قرار گرفت. بر اساس تئوری‌های اقتصادی، تابع تقاضای استون-گری مناسب‌ترین فرم تبعی برای استخراج توابع تقاضای کالاهای ضروری مثل آب خانگی است. همانطور که ذکر شد، در مطالعه حاضر، از این تابع و مدل تعدیل جزئی برای استخراج توابع تقاضای بلند مدت تقاضای آب در بخش خانگی شهر مشهد استفاده شد. سپس با استفاده از مدل رگرسیون خطی فازی و با در نظر گرفتن شاخص‌های اقتصادی و اجتماعی، مدل‌های مناسب برای پیش‌بینی تقاضای آب در بخش مصرف خانگی برای سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۶ طراحی شده است. سپس تقاضای آب طی سالهای ۱۳۹۷ تا ۱۴۴۹ برآورد شد. پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی، سایر شاخص‌های اجتماعی و عوامل هیدرولیکی مختصات منازل مسکونی، شرایط اجتماعی منطقه نیز مورد توجه قرار گیرد. همچنین می‌توان از این روش تقاضای آب در سایر بخش‌های مصرف را پیش-بینی نمود. همانطور که نتایج نشان داد ضرایب فازی در تابع عضویت نشان داد، تابع تقاضای آب شهر مشهد به شدت تحت تاثیر، فاصله زمانی دو صورت حساب و ترکیب خانوار است. بنابراین می‌توان جهت مدیریت تقاضای آب در شهر مشهد این دو فاکتور مورد توجه ویژه قرار داد.

بر اساس خواص تابع مطلوبیت استون-گری، میزان حداقل مصرف سالانه آب هر مشترک مشهدی در خوشبینانه‌ترین حالت،

۰٫۶۳ متر مکعب به دست آمد، به عبارت دیگر هر مشترک در مشهد به طور روزانه حداقل در حدود 173لیتر آب مصرف می‌کند. بر همین اساس حداکثر مصرف سالانه آب هر مشترک مشهدی در بدبینانه‌ترین حالت، ۰٫۸۹ مترمکعب است که این مقدار برابر ۲۴۶٫۳ لیتر در روز خواهد بود. همچنین منفی بودن عدد کشش قیمتی میانه آب نشان می‌دهد که کاهش تعرفه‌ها نمی‌تواند به عنوان راهکاری انگیزشی در جهت کاهش مصرف آب به کار گرفته شود، لذا بایستی قیمت آب به قیمت واقعی آن نزدیک گردد.

کاهش فاصله دو صورت حساب نیز با عدم قطعیت کم نشان دهنده تاثیر این فاکتور بر کاهش میزان تقاضای آب و تاثیر مستقیم آن بر میزان صرفه‌جویی در مصرف آب خواهد بود. از طرفی تقاضای فصلی به عنوان مهمترین فاکتور و در عین حال غیر قطعی‌ترین فاکتور افزایش مصرف آب در میان مصرف‌کنندگان خواهد بود. این موضوع به صورت همزمانی اعیاد، مراسمات مذهبی و فصول گرم بسیار حائز اهمیت بود که منجر به افزایش تقاضای آب د بازه‌های میان مدت خواهد شد.

منابع

آمار و اطلاعات شرکت آب و فاضلاب شهر مشهد، ۱۳۹۴.

داوری، ک.، عمرانیان خراسانی، ح.، قنبری، ف.، ۱۳۹۳، تدبیر آب مشهد، به سفارش شرکت آب و فاضلاب شهر مشهد، ۱۳۹۳.

پژویان، ج.، حسینی، س ش.، (۱۳۸۲). برآورد تابع تقاضای آب خانگی (مطالعه موردی .۴۷-۶۷ :(شهر تهران). فصلنامه پژوهشهای اقتصادی ایران (۱۶)

تابش، م.، دینی، م.، خوش خلق، ع.ج.، زهرایی، ب.، (۱۳۸۸). برآورد مصرف روزانه آب تهران، تحقیقات منابع آب ایران ۴:(۲). ۶۵-۵۷

خوش اخلاق، ر.، شهرکی، ج.،(۱۳۸۶). برآورد تابع تقاضای آب خانگی در شهر زاهدان.

سجادیفر، س.ح.، خیابانی، ن.، (۱۳۸۹). مدل سازی تقاضای آب خانگی شهر با استفاده از روش مدل عوامل تصادفی، مطالعه موردی: شهر اراک. فصلنامه آب و فاضلاب، ۲۲:(۲۲) .۵۹- ۶۸

صبوحی، م.، نوبخت، م.، (۱۳۸۷). برآورد تابع تقاضای آب شهر پردیس، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، مجله آب و فاضلاب: ۶۹- ۷۴

قندهاری، ا.، داوری، ک.، قهرمان، ب.، ۱۳۹۵، اعتمادپذیری سیاست-های پروژه محور؛ (مطالعه موردی: ارزیابی ریسک برنامه های تامین آب مشهد)، فصلنامه مطالعات راهبردی سیاست گذاری عمومی، دوره ششم / شماره ۲۱ / زمستان ۱۳۹۵

Al-Kandari, A.M., Soliman, S.A., El-Hawary, M.E. (2004). Fuzzy short-term electric load forecasting, Electrical Power and Energy Systems, 26, 111-122.

Dagnew, D. (2012). Factors determining residential water demand in north Western Ethiopia, The case of Merawi, A project paper presented to the faculty of the graduate school of Cornell University in partial fulfillment of the requirements for the Degree of Master of Professional Studies.

Dharmaratna, D., & Harris, E. (2010). Estimating residential water demand using the Stone-Geary functional form: The case of Sri Lanka, paper provided by Monash University, Department of Economics in its series Monash Economics, Working Paper number: 46-10.

Kumar A., Kaur J., Singh P.; A new method for solving fully fuzzy linear programming problems; Applied Mathematical Modelling, Vol. 35, pp. 817-823, 2011.

Parker, J. M., & Wilby, R. L. (2013). Quantifying household water demand: A review of theory and practice in the UK, Water Resour Manage, 27(4): 981–1011.

Saunders,R.J.(1960).Forecasting water demand :An inter and intercommunity Study .West Virginia University .Business and Economic Studies.11(2)

Taghizadeh, MR., Shakouri G, H., Menhaj, MB. & Kazemi, A. (2008). Design of a multi-level fuzzy linear regression model for forecasting transport energy demand, The 13th IIES International Oil & Gas Conference.

Tanaka H, Uejima S, Asai K (1982a). Fuzzy linear regression model. IEEE Tans System Man Cybernetics 12: 903- 907.

Tanaka H, Uejima S, Asai K (1982b). Fuzzy linear regression model. IEEE T. Syst. Man Cyb. 10: 2933–2938.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 2, Vol. 13, Jan.-Jul. 2019, p. 259-270

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۲، جلد ۱۳، خرداد - تیر ۱۳۹۸، ص. ۲۷۰-۲۵۹

Modeling the Urban water Demand in Mashhad Based on Fuzzy Regression Model

A. Alizadeh[1]*, M. Forouzesh[2], H. Ansari [3]
Recived: Feb.09, 2018 Accepted: July.04, 2018

Abstract

Supplying the tap water in Mashhad city is going to face serious challenges and threats in the future. The population of this city is more than 3 million and its pilgrim is estimated at 25 million per year. Urbanization in Mashhad city and around it is growing. The range of this study is including Mashhad city along with Golbahar, Chenaran, and Ghuchan. The excessive development of these cities leads Mashhad city to physical water scarcity in long term. For this purpose, the effective factors on water demand in Mashhad city have been identified. For this purpose the most desirable urban water demand function has been extracted, by using the Stone Gary method. It is worth mentioning that in order to investigate economic and social uncertainties in the model, the results of previous researches and the opinion of experts have been used; then, the effective uncertainties on the elements are determined by using the fuzzy linear regression model. Finally, urban water demand function of the Mashhad city for 2010-2017 is calibrated and used to estimate water demand from 2018 to 2070. The results show that the demand function of Mashhad city is strongly influenced by the time between receipt of the bill and the household composition. So these two factors can be considered for demand management. At the end, the model accuracy is based on the R^2 that is equivalent to 0.921 which indicates the proper performance of this model in predicting urban water demand.

Keywords: water demand, the city of Mashhad, Aston-Gray, fuzzy linear regression

1- Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad
2- Ph.D Student of Irrigation and Drainage Engineering, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad
3- Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad
(*- Correspondimg Author Email: alizadeh@um.ac.ir)