فصلنامه علمی پژوهش‌های اقتصادی ایران/ سال بیست‌وپنجم/ شماره ۸۴/ پاییز ۱۳۹۹/ مقاله پژوهشی/ صفحات ۱۱۴-۶۹

# بررسی الگوی مصرف آب خانوارهای روستایی و شهری ایران با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی

**ندا بیات**[۱]

**علی‌اصغر سالم**[۲]

تاریخ ارسال: ۱۳۹۷/۰۸/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۵/۰۱

**چکیده**

*وضعیت بحرانی آب و رشد تقاضای آن در ایران، تخریب و بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب‌های زیرزمینی و تداوم خشکسالی در سال‌های گذشته، مدیریت تقاضای آب را در تمامی بخش‌های مصرف از جمله بخش خانگی به یک دغدغه مهم در سیاست‌های کشور تبدیل کرده است. بدون شناسایی عوامل تاثیرگذار و اهمیت آن‌ها در الگوی مصرف آب خانگی، برنامه‌ریزی و اجرای سیاست‌های کارآمد امکان‌پذیر نیست. در همین راستا، این پژوهش درصدد شناسایی عوامل اقتصادی-اجتماعی موثر بر تقاضای آب و تعیین درجه اهمیت آن‌ها در الگوی مصرف آب خانوار برآمده است. با توجه به عدم امکان تصریح روابط ریاضی دقیق میان این عوامل و مصرف آب در این پژوهش از الگوریتم جنگل تصادفی برای شناسایی عوامل موثر استفاده شده است. همچنین با هدف کارایی بیشتر به دلیل تفاوت‌های موجود در سبک زندگی و فرهنگی خانوارهای روستایی و شهری، این دو گروه به تفکیک مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در نهایت ۱۷ عامل موثر در سه سطح متفاوت تاثیرگذاری شناسایی شدند که از این میان متغیرهای درآمد خانوار، مساحت خانه و سن سرپرست واستفاده از کولرهای آبی مهم‌ترین متغیرهای کمی و کیفی اثرگذار بر مصرف خانوارهای شهری و روستایی شناسایی شدند. سایر عوامل نیز به ترتیب اثرگذاری رتبه‌بندی شدند.*

**واژگان کلیدی**: الگوی مصرف آب، الگوریتم جنگل تصادفی، عوامل اقتصادی- اجتماعی.

**طبقه‌بندی JEL**: *L95، Q25، C31، C38، C67*

---

۱- استادیار دانشکده اقتصاد، دانشگاه آزاد اسلامی قزوین، قزوین، ایران (نویسنده مسئول). پست‌الکترونیکی: nedabbayat@gmail.com

۲- دانشیار دانشکده اقتصاد، دانشگاه علامه طباطبائی، تهران، ایران. پست‌الکترونیکی: salem207@yahoo.com

## ۱- مقدمه

منابع آب جهان حدود ۴/۵ میلیارد سال پیش به وجود آمد و حدود ۷۱ درصد زمین را شامل می‌شود. از این حجم عظیم فقط ۳/۵ درصد آن به صورت آب‌های شیرین و یا یخ‌زده و مابقی آن به صورت آب‌های شور مانند آب اقیانوس‌ها است. بیش از دو سوم از این آب‌های شیرین برف و یخ دائمی در قطب‌ها و سرزمین‌های کوهستانی بوده و غیرقابل بهره‌برداری هستند. حال آنکه بخشی از آب‌هایی که برای تامین نیازهای اقتصادی و از آن مهم‌تر برای فعالیت‌های اکوسیستم طبیعی مورد استفاده قرار می‌گیرد از مقدار آب‌های شیرین باقیمانده تامین می‌شود. بنابراین با وجود آنکه ۷۱ درصد زمین را آب تشکیل داده، بخش اندکی از آن برای انجام امور می‌تواند مورد استفاده قرار بگیرد[1] (ادیب‌پور، ۱۳۹۳).

رشد جمعیت، توسعه کشاورزی و صنعت و بالا رفتن سطح رفاه و ارتقای کیفیت زندگی بشر، توزیع نامتوازن منابع سطحی و زیرزمینی، افزایش آلودگی هوا به دلیل فعالیت‌های صنعتی، فرهنگ نادرست استفاده از منابع موجود، کمبودها و نارسایی‌هایی‌های قوانین بین‌المللی، بهره‌برداری بی‌رویه از آب‌های سطحی و زیرزمینی، تغییر الگوی مصرف انسان‌ها و نبود سازوکار اقتصادی تخصیص از یک طرف و ثابت بودن حجم منابع آب از طرف دیگر، سبب ایجاد بحران فزاینده آب و فاصله گرفتن هر چه بیشتر عرضه و تقاضای آن از یکدیگر شده است (پژویان و حسینی، ۱۳۸۲). ایران نیز از این قاعده مستثنا نبوده و به ویژه با خشکسالی‌های پیاپی در مقایسه با سایر کشورها با بحران جدی‌تری در زمینه تامین منابع آب مواجه است. قطعی آب در فصول تابستان در بیشتر نقاط کشور مبین همین مساله است. میزان بارش در ایران علاوه بر اینکه نسبت به متوسط جهانی پایین‌تر است، توزیع مکانی ناهمگن نیز دارد به طوری که فقط یک درصد از مساحت ایران بارشی بیش از ۱۰۰۰ میلی‌لیتر دارد و ۲۸ درصد سطح کشور از بارش سالانه کمتر از ۱۰۰ میلی‌لیتر برخوردار است. علاوه بر این، ۷۰ درصد از بارش کل کشور نیز تبخیر می‌شود. با توجه به این بحران و کمبود آب، راهکاری که به نظر می‌رسد، اجرای طرح توسعه استحصال آب است، اما این طرح به خاطر هزینه‌های سنگین و کمبود منابع مالی، امکان اجرای چندانی ندارد. بنابراین می‌توان گفت محدودیت منابع قابل استحصال در کشور، هزینه سنگین طرح‌های جدید توسعه منابع آب و آثار مخرب زیست

1- https://phys.org

محیطی و اجتماعی از دلایلی هستند که بر لزوم مدیریت تقاضا به عنوان تکمیل‌کننده مدیریت تولید تاثیر دارند (فلاحی و همکاران، ۱۳۹۱).

با توجه به مطالب ارائه شده می‌توان نتیجه گرفت که بحران آب و مدیریت تقاضای آن در تمامی بخش‌های مصرفی از جمله بخش خانگی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و از آنجا که اجرای سیاست‌های مناسب و کارا در این راستا نیازمند شناخت دقیق‌تر الگوی مصرف و عوامل و متغیرهای موثر بر مصرف افراد و خانوارها است، این مطالعه سعی در بررسی الگوی مصرف آب دارد. تاکنون مطالعات متعددی در کشور بر تقاضای آب انجام شده است، اما در بیشتر موارد به تعیین کشش قیمتی و درآمدی آب پرداخته شده و سایر عوامل تاثیرگذار به ندرت در این مطالعات مورد بحث قرار گرفته‌اند. به همین دلیل این مطالعه با هدف پرکردن این شکاف به بررسی الگوی مخارج مصرفی آب خانوارهای روستایی و شهری ایران و شناسایی مهم‌ترین عوامل موثر بر مصرف آب خانوارها با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی[1] پرداخته است. این عوامل از ناحیه‌ای به ناحیه دیگر، از جامعه و خانواری به جامعه و خانوار دیگر تغییر می‌کنند و به همین دلیل رابطه جامع و کاملی برای تقاضای آب شناخته نشده است و روابط صریح و موجود ریاضی نیز قادر نیستند این نیاز را به صورت کامل پاسخگو باشند (تابش و دینی، ۱۳۸۹).

این مطالعه با استفاده از الگوریتم غیرخطی جنگل تصادفی درصدد شناسایی و رتبه‌بندی عوامل موثر بر مصرف آب خانگی برآمده است که با توجه به عمده روش‌های به‌کار گرفته شده در مطالعات موجود، نوآوری محسوب می‌شود. دست‌یابی به این اطلاعات می‌تواند کمک بسیاری به سیاست‌گذاران و مسئولان در جهت برنامه‌ریزی، اجرای سیاست‌ها و اعمال محدودیت‌ها در راستای بهینه‌سازی مصرف آب کند، چراکه به دلیل تفاوت درجه اهمیت این عوامل، برخورد یکسان با این عوامل نه تنها می‌تواند از کارایی سیاست‌ها بکاهد، بلکه می‌تواند به بی‌اثر کردن آن‌ها نیز بینجامد. علاوه بر این، بخش‌های خانگی به تفکیک خانوارهای شهری و روستایی نیز مورد بررسی قرار گرفته‌اندکه اطلاعات ارزشمندی را به تفکیک در رابطه با الگوی مصرف این دو گروه در اختیار قرار می‌دهند و به نوبه خود می‌توانند در جهت‌دهی الگوی مصرف آن‌ها مفید واقع شود.

1- Random Forest Algorithm

ساختار این پژوهش از این قرار است که پس از مقدمه به مبانی نظری مرتبط با عوامل تاثیرگذار بر مصرف آب پرداخته شده است. در بخش سوم مروری بر پیشینه پژوهش شرح داده و در بخش چهارم روش تحقیق بیان شده است. در بخش پنجم و ششم به ترتیب داده‌های پژوهش و نتایج شبیه‌سازی الگوریتم جنگل تصادفی مورد بحث قرار گرفته‌اند. در نهایت در بخش هفتم جمع‌بندی و نتیجه‌گیری کلی ارائه شده است.

## ۲- مبانی نظری

امروزه مدل‌سازی تقاضای آب به دلیل ضرورت درک دقیق‌تر بهای بازاری و غیربازاری آن از اهمیت ویژه برخوردار است. به همین دلیل هر چه مدل‌سازی مصرف آب کامل‌تر و بهتر انجام شود و عوامل موثر بر تقاضای آن دقیق‌تر شناسایی شوند، سیاست‌گذاری‌ها و تخصیص منابع بهبود و منافع حاصل از آن‌ها ارتقاء می‌یابند. تا به امروز تلاش‌های زیادی از طرف اقتصاددانان برای مدل‌سازی تقاضای آب انجام شده است (رینادِ[1]،۲۰۱۵). نقطه شروع مدل‌سازی تقاضای آب را می‌توان رگرسیون لگاریتمی تقاضای آب بر قیمت آن توسط لئونارد متکالف[2] در سال ۱۹۲۶ دانست (متکالف، ۱۹۲۶). چند دهه بعد، مطالعات در این زمینه ادامه داشت و مقالات متعددی منتشر شدند که به تخمین تابع تقاضای مناسب آب پرداختند (هوی و لیناویور[3]، ۱۹۶۷). پس از این تحقیقات اولیه، مدل‌سازی تقاضای آب در درجه اول و به طور خاص بر تقاضای خانوارها و یا مصرف آب خانگی تمرکز پیدا کرد (گاردنر[4]، ۲۰۱۰).

اساسا تابع تقاضای آب بر مفروضات اقتصاد نئوکلاسیک به ویژه نظریه رفتار مصرف‌کننده، بنا نهاده شده است. طبق مفروضات نظریه رفتار مصرف‌کننده، هر فرد تابع مطلوبیت پیوسته‌ای از مصرف کالاهای مختلف دارد که شکل تبعی آن براساس ترجیحات مصرف‌کننده تعیین می‌شود. تقاضای کالا علاوه بر ترجیحات فرد مصرف‌کننده به عواملی از قبیل درآمد فرد، قیمت کالا، دسترسی به کالای جانشین و مکمل و قیمت آن‌ها و سایر عوامل بستگی دارد. در بیشتر تحقیقات انجام شده در رابطه با تقاضای آب، آن را کالایی

1- Reynaud
2- Metcalf
3- Howe and Linaweaver
4- Gardner

جدایی‌پذیر از سایر کالاها فرض کرده‌اند که منجر به عدم وابستگی قیمت آب به سایر کالاهای مصرفی می‌شود (اربئوس و همکاران[1]، ۲۰۰۳). این جدایی‌پذیری با سه دلیل زیر توجیه‌پذیر است:

- عمده مصارف داخلی آب مانند مصارف شخصی و بهداشتی، هیچ جایگزین دیگری ندارند.
- عادات رفتاری خانوارها اغلب ثابت بوده و یا اینکه حداقل در کوتاه‌مدت تغییر نمی‌کند.
- کالاهای مکمل آب که با مصرف آن در ارتباطند مانند ماشین ظرف‌شویی، لباس‌شویی، تجهیزات بهداشتی و... معمولا کالاهای بادوام هستند و به خاطر واکنش به تغییرات قیمتی در مصرف آن‌ها تغییری ایجاد نمی‌شود.

تحت فرض جدایی‌پذیری آب می‌توان تابع تقاضای مارشالی آب را در حالت کلی به شکل $Q = f(I, P, Z)$ نمایش داد که $Q$ مصرف سرانه آب یا مصرف آب هر خانوار را نشان می‌دهد. $P$ و $I$ به ترتیب قیمت هر واحد آب و درآمد خانوار هستند. $Z$ برداری از متغیرهای برون‌زا است که بر مصرف آب موثرند؛ از جمله شرایط آب و هوایی (درجه حرارت، میزان بارندگی)، مشخصات اقتصادی اجتماعی خانوارها (درآمد، ترکیب جنسیتی خانوار، سن سرپرست، تعداد کودکان، نوجوان و بزرگسالان، میزان تحصیلات و ...)، ویژگی‌های ساختاری خانه‌ها، نوع نگرش خانوارها و... که در ادامه به توضیح هر یک از این عوامل پرداخته شده است (ریناد، ۲۰۱۵).

در تقاضای مارشالی آب، فرض بر این است که آب یک کالای همگن است در حالی که در واقعیت آب مورد استفاده خانوارها یک کالای مرکب است و از مصرف مستقیم آب؛ یعنی آب آشامیدنی که سهم کوچکی از کل مصرف آب را شامل می‌شود و مصارف غیر مستقیم آب به عنوان مکمل فعالیت‌های مختلف خانوار مانند شست‌وشو، پخت‌وپز، باغبانی، بهداشت و... تشکیل شده است. بنابراین، آب در برخی از موارد جانشین ندارد و کالای ضروری به حساب می‌آید و در برخی دیگر جانشین دارد و کالای عادی محسوب می‌شود (گادوین و همکاران[2]، ۲۰۰۱).

1- Arbues et al .
2- Gaudin et al.

اغلب مطالعات انجام شده در زمینه بررسی تقاضای آب با یکی از دو رویکرد بالا به پایین[1] و یا پایین به بالا[2] انجام شده‌اند. رویکردهای بالا به پایین به بررسی‌های کلی در سطح منطقه‌ای یا ملی در بازه‌های زمانی بلندمدت می‌پردازند و در مقابل رویکردهای پایین به بالا در مقیاس‌های کوچک و در بازه‌های زمانی کوتاه‌مدت انجام می‌شوند و سپس نتایج آن‌ها به سطوح ملی و کلان تعمیم داده می‌شوند. به طور مثال، تقاضای آب در سطح افراد و خانوارها برآورده شده و نتایج به‌دست آمده به کل تقاضای آب در بخش خانگی تعمیم داده می‌شود (سو و هام[3]، ۲۰۱۶).

در این پژوهش با رویکرد پایین به بالا به بررسی الگوی مصرف آب خانوارها و شناسایی عوامل تعیین‌کننده در تابع مخارج آب خانوارها پرداخته شده است. مصرف آب خانوارها را می‌توان به دو گروه اصلی مصرف درون خانه[4] و مصرف بیرون خانه[5] تقسیم‌بندی کرد. مصارف درونی آب شامل مواردی از قبیل بهداشت فردی، آشپزی، شستن لباس‌ها و ظروف و مانند آن‌ها و مصارف بیرونی، شامل مواردی همچون آبیاری باغچه، شستن اتومبیل، حیاط، استخر و مانند آن‌ها است. نقش مصرف درونی به دلیل داشتن ضرورت بیشتر در الگوی مصرف خانوارها پررنگ‌تر از مصارف بیرونی است (سجادی‌فر و خیابانی، ۱۳۸۹). عوامل موثر بر هر یک از انواع مصارف بیرونی و درونی آب خانوارها با یکدیگر متفاوت هستند. در این قسمت برخی از مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار بر مصرف آب خانگی براساس ادبیات نظری موجود، مورد بررسی قرار گرفته است.

- قیمت: طبق قانون تقاضا انتظار بر این است که میان قیمت و مقدار تقاضا رابطه معکوس برقرار باشد، اما در بیشتر مطالعاتی که بر تقاضای آب انجام شده است، کشش قیمتی آب، بسیار ناچیز محاسبه شده است و یا آب را کالای بی‌کشش نسبت به قیمت برآورد کرده‌اند (ورثینگتون و هافمن[6]، ۲۰۰۸). در یک بررسی جامع روی ۱۲۴ مطالعه انجام شده بین سال های ۱۹۶۳ تا ۱۹۹۳، ۹۰ درصد کشش‌های برآورد شده میان ۰ تا ۰/۷۵ درصد برآورد شده‌اند

1- Top-Down
2- Bottom-Up
3- Suh and Ham
4- Indoor
5- Outdoor
6- Worthington and Hoffman

و اغلب بی‌کشش بودن تقاضای آب را تایید کرده‌اند (اولمستد[1]، ۲۰۰۷). آب به عنوان یک کالای مرکب در مصارف بدون جانشین کامل، کالای ضروری و در مصارف دارای جانشین، کالای عادی به حساب می‌آید. اکثر تحقیقاتی که کشش قیمتی آب را ناچیز و نزدیک به صفر در نظر گرفته‌اند، آب را کالای ضروری دانسته‌اند (ریناد، ۲۰۱۵).

از آنجا که سهم مصارف ضروری آب اغلب در مخارج خانوار کوچک است، قیمت نمی‌تواند تاثیر قابل توجهی بر مصرف آن بگذارد (داگنو[2]، ۲۰۱۲). در موارد دیگر که آب به کالای عادی نزدیک‌تر است، کشش قیمتی آب مخالف صفر است و احتمالا قیمت بر تقاضای آب تاثیر بیشتری دارد و میزان مصرف خانوار از این کالا نسبت به قیمت آن واکنش نشان خواهد داد و در نتیجه قیمت‌ها در مدیریت تقاضای آن می‌توانند نقش بازی کنند (ریناد، ۲۰۱۵ و داگنو، ۲۰۱۲).

از آنجا که تفکیک انواع تقاضای آب بسیار دشوار است، کشش برای مقدار کل تقاضای آب خانوار در تابع تقاضای مارشالی برآورد می‌شود. کشش قیمتی در سطوح مختلف قیمت می‌تواند متغیر باشد (ریناد، ۲۰۱۵).

– درآمد: یکی از عوامل جمعیت‌شناختی تاثیرگذار بر میزان مصرف آب خانگی، درآمد است که البته نحوه تاثیرگذاری آن کاملا روشن نیست. در بیشتر تحقیقات انجام شده، رابطه میان درآمد خانوارها و مصرف آب مستقیم بیان شده است (باومن و همکاران[3]، ۱۹۹۸؛ کالیس[4]، ۱۹۹۹ و دالهوسین و همکاران[5]، ۲۰۰۳). هزینه مصرف داخلی آب خانگی معمولا سهم کوچک و به نسبت ثابتی از درآمد قابل تصرف خانوارها را به خود اختصاص می‌دهد و خانوارها با درآمدهای مختلف تفاوت چندانی با یکدیگر در مورد مصارف درونی آب خانگی ندارند، بلکه عمده تفاوت میان خانوارها با سطوح درآمدی مختلف در مصارف بیرونی آب ظاهر می‌شود.

تحقیقات انجام شده در برخی از کشورها نشان می‌دهند در دهه‌های اخیر مصرف آب درونی خانوارهای ثروتمند به دلیل استفاده از لوازم کم مصرف، کاهش یافته است (رمزی

1- Olmstead et al.
2- Dagnew
3- Baumann et al.
4- Kallis
5- Dalhuisen et al.

و همکاران[1]، ۲۰۱۷)، اما مرکز تحقیقات آب در استرالیا[2] (۲۰۰۲)، تحقیقات داگنو (۲۰۱۲) و لو و کوگلان[3](۲۰۰۳) و بسیاری از مطالعات دیگر بیان کرده‌اند که میان سطح درآمد خانوارها و مصارف بیرونی[4] آب ارتباط قوی وجود دارد و هر چه درآمد خانوارها افزایش یابد، مصارف بیرونی آب خانوارها به دلیل استفاده از استخرهای خانگی، مقیاس بزرگ‌تر خانه‌ها و زیباسازی محل سکونت افزایش خواهد یافت. دلیل دیگر در رابطه با درآمد این است که با افزایش درآمد سهم مخارج آب خانوارها از مخارج کل آن کاهش یافته و سبب می‌شود توجه آن‌ها به سیاست‌های قیمتی آب کم شود؛ بنابراین، مصرف آب افزایش می‌یابد (داگنو، ۲۰۱۲).

– ویژگی‌های خانوار: مشخصات خانوارها دارای ابعاد مختلف است که می‌تواند بر میزان مصرف آب آن‌ها تاثیر بگذارد. این ویژگی‌ها را می‌توان در قالب اندازه خانواده، ترکیب سنی و جنسیتی، سطح تحصیلات، اشتغال، نوع نگرش نسبت به مسائل محیط زیست و... تقسیم بندی و مطالعه کرد. در ادامه به توضیح برخی از مهم‌ترین ویژگی‌های تاثیرگذار بر میزان مصرف خانوارها می‌پردازیم.

– اندازه خانوار: میان بعد خانوار و مصرف رابطه مستقیم وجود دارد (آربئوس و همکاران[5]، ۲۰۰۳ و هافمن و همکاران[6]، ۲۰۰۶).تحقیقات انجام شده در این زمینه بیان می‌کنند که میان مصرف درونی آب و تعداد اعضای خانوار همبستگی وجود دارد و هر چه تعداد اعضای خانوار افزایش یابد میزان مصرف آب برای امور بهداشتی، لباس‌شویی و ظرف‌شویی افزایش می‌یابد (ونتز و گوبر[7]، ۲۰۰۷)، این در حالی است که رابطه میان بعد خانوار و مصرف سرانه آب معکوس است. این امر ناشی از صرفه حاصل از مقیاس در اقتصاد است که در کاراآیی بیشتر مصرف آب برای لوازم خانگی مانند ماشین ظرف‌شویی و لباس‌شویی و همچنین آب مصرفی برای پخت و پز و... در خانوارها با تعداد اعضای بیشتر در مقایسه با خانواده‌های کوچک‌تر و فردی ایجاد می‌شود (ادواردز و مارتین[8]، ۱۹۹۵؛ آربئوس و

1- Ramsey et al.
2- Australian Research Centre for Water in Society
3- Loh and Coghlan
4- Outdoor use
5- Arbúes et al.
6- Hoffmann et al.
7- Wentz and Gober
8- Edwards and Martin

همکاران[1]، ۲۰۱۰ و وائل و همکاران[2]، ۲۰۱۶) و در واقع به دلیل وجود استقلال نسبی این قبیل مصارف آب با بعد خانوار است (کشاورزی و همکاران[3]، ۲۰۰۶).

– ترکیب جنسیتی: هر چه تعداد زنان از مردان در خانواده بیشتر باشد، مصرف آب و همچنین مصرف سرانه آن افزایش می‌یابد و در مقابل هر چه تعداد مردان افزایش یابد، مصرف سرانه کاهش می‌یابد. تمامی گروه‌های سنی مردان از کودکی تا کهنسالی در این کاهش موثرند، اما در رابطه با زنان تنها بزرگسالان منجر به افزایش مصرف سرانه آب می‌شوند. این پدیده به خاطر این است که زنان در خانوارها زمان بیشتری را در منزل سپری می‌کنند و اغلب مسئولیت اصلی اموری همچون شست‌وشو لباس و ظروف و پخت و پز سایر اعضای خانواده را برعهده دارند ( وائل و همکاران، ۲۰۱۶).

– توزیع سنی: توزیع سنی اعضای خانوار بر میزان مصرف آب تاثیرگذار است (وائیلا و همکاران، ۲۰۱۶ و لیمان[4]، ۱۹۹۲). تحقیقات انجام شده در این زمینه نتایج مختلفی را در رابطه با تاثیر این عامل به ثبت رسانده‌اند. برخی از تحقیقات بر این نظرند که افراد مسن کمتر از افراد جوان آب مصرف می‌کنند؛ از جمله: ناگس و توماس[5] (۲۰۰۰) در تحقیقات خود به این نتیجه رسیدند که مصرف آب در جوامع با میانگین سنی بالاتر در مقایسه با جوامع با میانگین سنی پایینتر، کمتر است. ماتیز و اسپینرا[6] (۲۰۰۲) نیز این مشاهدات را تایید کردند. در مقابل مطالعاتی نیز وجود دارندکه به عکس این نتایج دست یافته‌اند و بیان می‌کنند که افراد مسن‌تر در مقایسه با افراد جوان مصرف آب بیشتری دارند و ۳ دلیل عمده برای این ادعا بیان می‌کنند که عبارتند از: ۱- سپری کردن زمان بیشتر افراد مسن در منزل و پرداختن به امور باغبانی و آبیاری، ۲- مصرف بیشتر آب توسط افراد بزرگسال برای امور شست‌وشو و بهداشتی در مقایسه با کودکان و ۳- استفاده مکرر و بیشتر از حمام توسط افراد مسن به دلایل توصیه‌های پزشکی و سلامتی (اشلیخ و هیلنبرند[7]، ۲۰۰۹).

1- Arbués et al.
2- Wa’el et al.
3- Keshavarzi et al.
4- Lyman
5- Nauges and Thomas
6- MartÌnez-EspiÒeira
7- Schleich and Hillenbrand

- تحصیلات: تحصیلات افراد اعضای خانواده به‌ویژه سرپرست خانواده بر مصرف آب آن‌ها تاثیر دارد. تحقیقات نشان داده‌اند که افزایش تحصیلات پدر خانواده در اکثر موارد بر درآمد خانوار تاثیر مثبت دارد و به دلیل افزایش درآمد منجر به افزایش مصرف نیز می‌شود. در رابطه با تحصیلات مادر خانوار نیز این گونه بیان شده که ارتباط قوی میان تحصیلات مادر خانواده و رعایت امور بهداشتی و نظافتی دیده می‌شود که می‌تواند بر مصرف آب تاثیرگذار باشد (ساندیفورد و همکاران[1]، ۱۹۹۰ و کشاورزی و همکاران، ۲۰۰۶). در مقابل مطالعاتی نیز وجود دارند که بیان می‌کنند افزایش میزان تحصیلات بر مصرف آب تاثیر منفی دارد؛ چراکه افراد با تحصیلات بیشتر به دلیل برخورداری از درآمد کافی قادرند لوازم کاراتری را به لحاظ صرفه‌جویی در آب خریداری کنند که نقش مهمی در کاهش مصرف آن دارند. علاوه بر این، نگرش‌های حفظ محیط زیست و منابع آب نیز در میان افراد با تحصیلات بالاتر بیشتر بوده و باعث کاهش مصرف آب این افراد می‌شود (یورگنسون و همکاران[2]، ۲۰۰۹).

- وضعیت مالکیت خانه: نتایج تحقیقات در این باره نشان داده است که نوع مالکیت خانه‌ها بر میزان مصرف آب خانگی تاثیر دارد. یکی از دلایل این امر می‌تواند این باشد که مالکان رفتارهای صرفه‌جویانه بیشتری در مقایسه با مستاجران دارند؛ چراکه قبوض آب و برق را آن‌ها پرداخت می‌کنند. دلیل دیگر نیز این است که مالکان به دلیل امکان سکونت بلندمدت در خانه‌هایشان، تجهیزات و لوازم آبی کاراتری را در خانه نصب می‌کنند که باعث صرفه‌جویی در مصرف آب می‌شوند (بیلینگز و دی[3]، ۱۹۸۹).

- شرایط آب و هوایی و اقلیمی: آب و هوا یکی از محرک‌های مورد توجه محققان در مطالعات مربوط به تقاضای آب است که می‌تواند به واسطه تغییرات دما و میزان بارندگی بر تکرار یا میزان فعالیت‌های مربوط به مصرف آب مانند آبیاری باغچه، استفاده از استخر و انجام امور بهداشتی شخصی مانند حمام تاثیر بگذارد (رینا و رومانو[4]، ۲۰۱۸ و رومانو و همکاران[5]، ۲۰۱۴). به منظور وارد کردن تاثیر شرایط آب و هوایی در الگوی مصرف

1- Sandiford et al.
2- Jorgensen et al.
3- Billings and Day
4- Reynaud and Romano
5- Romano et al.

آب از شـــاخص‌های مختلفی از جمله متوســـط میزان بارندگی، تعداد روزهای بارانی و متوسـط دمای هوا، میزان تبخیر آب، شـدت تابش نور خورشـید اسـتفاده می‌شـود (رینـاد، ۲۰۱۵). بیشترین تاثیر شرایط آب و هوایی در فصل‌های تابستان و بهار به خاطر مصارف بیرونی آب از جمله آبیاری چمن و محوطه و استفاده از کولر آبی و استخر دیده می‌شود (لیمان، ۱۹۹۲ و مارتینز و اســپینرا[1]، ۲۰۰۰). در زمســتان نیز با افزایش درجه برودت، تقاضـــای آب به دلیل جلوگیری از یخ زدن آب در لوله‌ها افزایش می‌یابد (کاظمی و همکاران، ۱۳۹۶). اشـــلیخ و هیلنبرند (۲۰۰۹) بیان کردند که با افزایش روزهای بارانی میزان تقاضای آب کاهش می‌یابد.

– مشخصات خانه‌های مسکونی خانوارها: ویژگی‌های خانه‌های مسکونی با میزان مصرف آب خانگی در ارتباط است. برخی از تحقیقات انجام شده وجود رابطه معنادار میان افزایش مصـرف آب خانوار و مسـاحت خانه، تعداد اتاق‌ها و حیاط و فضـای سـبز، وجود اسـتخر و شـیوه‌های محوطه‌سـازی را گزارش کرده‌اند (رینـاد[2]، ۲۰۱۵؛ کاواناغ و همکاران[3]، ۲۰۰۲ و ونتز و گوبر[4]، ۲۰۰۷).

ناگس و توماس[5] (۲۰۰۰) با بررسـی ۱۱۶ گروه اجتماعی در فرانسـه به این نتیجه رسـید که در صورت یکسان بودن سایر شرایط هر چقدر که سن بنا بالاتر می‌رود، میزان مصرف آب نیز افزایش می‌یابد و نوع مصـــالح به‌کار رفته و تاثیر آن در دمای خانه، اســـتفاده از تجهیزات مدرن‌تر و کم مصـرف آبی، مسـاحت خانه، آپارتمانی یا ویلایی بودن آن، وجود باغچه، تعداد حمام‌ها، ســـرویس‌های بهداشـــتی و آشـــپزخانه، وجود لوازم خانگی مانند دستگاه‌های ظرف‌شویی و لباس‌شویی در میزان مصرف آب تاثیر دارند. علاوه بر این، نتایج تحقیقات نشـــان می‌دهد که نوع مالکیت بر مشـــخصـــات خانه‌ها تاثیر دارد و چنانچه افراد ساکن در خانه مالک آن باشند به دلیل داشتن اختیار در تغییرات لوله‌کشی و تسهیلات آبی خانه و یا استفاده از منابع آب خصوصی مصرف آب افزایش می‌یابد (داگنو[6]، ۲۰۱۶).

1- MartÌnez-EspiÒeira
2- Reynaud
3- Cavanagh et al.
4- Wentz and Gober
5 - Nauges and Thomas
6- Dagnew

- سیاست‌های غیرقیمتی: این سیاست‌ها به تمامی برنامه‌هایی اطلاق می‌شوند که پایه غیربازاری دارند و به منظور افزایش بهره‌وری در مصرف یا صرفه‌جویی آب طرح‌ریزی می‌شوند و می‌توان آن‌ها را در ۳ گروه عمده آموزش‌های عمومی، پیشرفت‌های فنی و محدودیت‌های مصرف آب طیقه‌بندی کرد. مطالعات انجام شده روی سیاست‌های غیرقیمتی بر مصرف آب خانگی نشان می‌دهد که برنامه‌های آموزش همگانی بر مصرف آب خانگی اثرات محدود دارند به ویژه در کوتاه‌مدت این اثرات کمتر نیز می‌شوند و برای اثرگذاری قابل توجه، برنامه‌ریزی و اجرای دوره‌های آموزشی خاص و متعدد مورد نیاز است. در رابطه با پیشرفت‌های فنی در لوازم‌ها و اسباب‌آلات مورد استفاده در خانه‌ها مانند توالت، سردوش‌ها و حمام‌ها، ماشین‌های لباس‌شویی و ظرف‌شویی و... تحقیقات نشان داده که با افزایش کارایی و مقاوم‌سازی این تجهیزات، مصرف آب کاهش می‌یابد (میکلسون و همکاران[1]، ۱۹۹۹).

میلوک و ناگس[2] (۲۰۱۰) با انجام مطالعه‌ای برای ۱۰ کشور عضور OECD به این نتیجه رسیدند که به‌کارگیری تجهیزات کاراتر آبی به شدت متاثر از نوع مالکیت خانه‌ها است. همچنین نگرش‌های زیست محیطی و عوامل رفتاری خانوارها نیز اثر بسیار زیادی بر میزان استفاده از این تجهیزات و مصرف آب آن‌ها دارد. به همین دلیل طبقه‌بندی خانوارها در گروه‌های همگن با فاکتورهای رفتاری و نگرش‌های یکسان می‌تواند در طراحی هر چه موفق سیاست‌های غیرقیمتی مفید باشد. در رابطه با گروه سوم سیاست‌های غیرقیمتی؛ یعنی محدودیت‌های مربوط به مصرف آب تحقیقات کارسیا والیناس[3] نشان داد که محدودیت‌های اعمال شده در طول خشکسالی در اسپانیا تاثیر بسیار زیادی بر تقاضای آب داشته است. برخی از تحقیقات که به مقایسه اثرگذاری محدودیت‌های داوطلبانه و اجباری پرداخته‌اند به این نتیجه رسیده‌اند که کارایی محدودیت‌های اجباری بر صرفه‌جویی در مصارف بیرونی حدود ۳۰ درصد بیشتر از محدودیت‌های داوطلبانه بوده است (ریناد، ۲۰۱۵).

1- Michelsen et al.
2- Millock and Nauges
3- Garcia-Valinas

- محرک‌های رفتاری و نگرشی: نگرش‌ها و دغدغه‌های محیط زیستی احتمال انجام اعمال صرفه‌جویانه را در خانوارها افزایش می‌دهد (گرافتون و همکاران[1]، ۲۰۱۱). مطالعات معدودی در این رابطه انجام شده است. دومن و ساوری[2] (۲۰۰۶) به بررسی تاثیر نگرش حفظ منابع آب بر مصرف آب خانگی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که رابطه معنادار قوی میان نگرش افراد و میزان مصرف آن وجود دارد.

- مصارف نهایی: این واژه مربوط به مکان‌هایی در خانه‌ها است که در آن‌ها آب مصرف می‌شود. مانند توالت‌ها و سرویس‌های بهداشتی، حمام‌ها، ماشین‌های لباس‌شویی و ظرف‌شویی، کولرهای آبی و... . بررسی رفتارهای مصرف‌کنندگان خانگی در این مکان‌ها می‌تواند اطلاعات خوبی را در اختیار سیاست‌گذاران قرار دهد تا در انجام مداخلات موثر در جهت تغییر رفتارهای مصرف‌کنندگان برای دستیابی به هدف کاهش مصرف، موثر عمل کنند. اطلاعات دقیق در این زمینه به دشواری به دست می‌آیند و اغلب در گزارش‌های غیرفنی و موردی و مشاوره‌ای به ثبت می‌رسند. با توجه به تحقیقات انجام شده در این زمینه می‌توان به این نتیجه رسید که در هر جامعه و کشوری میزان مصارف نهایی خانگی آب متفاوت است. به طور مثال، ۲۵ درصد از کل آب خانگی مصرف شده در خانوارهای انگلیسی مربوط به بخش حمام است (شان و همکاران[3]، ۲۰۱۵) در حالی که در خانوارهای هلند سهم این بخش حدود ۴۰ درصد بوده و ۲۸ درصد به بخش شست‌وشوی توالت و ۱۲ درصد نیز به ماشین‌های لباس‌شویی تعلق داشته است (آمارنامه آب آشامیدنی هلند[4]، ۲۰۱۲). تحلیل داده‌های آمریکای شمالی نیز نشان می‌دهد که حدود ۵۸/۷ درصد از مصرف آب خانوارها به مصارف بیرونی مانند آبیاری و استخرها تعلق دارد و در مصارف درونی نیز سه فعالیت عمده که در مجموع ۲۶/۷ درصد از کل مصرف آب را به خود اختصاص می‌دهند، عبارتند از شست‌وشوی توالت، ماشین لباس‌شویی و حمام (می‌یر و همکاران[5]، ۱۹۹۹). این داده‌ها و مطالعات انجام شده نشان می‌دهند که نمی‌توان الگوی یکسانی را در رابطه با مصارف نهایی برای تمامی خانوارها در جوامع مختلف تعریف کرد و میزان تاثیر

1- Grafton et al.
2- Domene and Sauri
3- Shan et al.
4- Dutch Drinking Water Statistics
5- Mayer et al.

هر یک از این موارد را بر میزان مصـرف آب خانگی به عوامل مختلف از جمله منطقه سـکونت، آب و هوا، نوع پوشـش‌های گیاهی، سـاختار خانه‌ها و خانوارها، نوع فرهنگ جامعه و خانوار و نوع محدودیت‌های قانونی اعمال شده و... بستگی دارد (شان و همکاران، ۲۰۱۵).

در ادامه به تاثیر برخی از مهم‌ترین موارد مصارف نهایی بر میزان آب خانگی پرداخته شده است:

- شست وشوی سرویس بهداشتی: در رابطه با میزان آب مصرفی برای شست‌وشوی سرویس بهداشتی‌ها، بعد خانوار مهم‌ترین عامل تاثیرگذار بر آن است. علاوه بر این، توزیع سنی و تعداد افراد بزرگ‌سال در خانه و همچنین تعداد افراد شاغل خارج از خانه نیز از اهمیت برخوردارند. مساحت خانه نیز می‌تواند در میزان مصرف آب مورد نیاز برای شست‌وشوی توالت‌ها موثر باشد، چرا که تعداد توالت‌ها با توجه به مساحت خانه‌ها می‌تواند متفاوت باشد و تحقیقات نشان می‌دهند که میزان استفاده از آب برای شست‌وشوی توالت‌ها با افزایش مساحت خانه‌ها افزایش می‌یابد، چراکه احتمالا تعداد توالت‌ها افزایش می‌یابند. سن بنا نیز می‌تواند در میزان آب مصرفی در این مورد موثر باشد؛ چراکه هر چه بنا نوساز باشد با به‌کارگیری تسهیلات کاراتر و کم‌مصرف‌تر میزان صرفه‌جویی در آب افزایش یافته می‌یابد.

- حمام: آب مصرفی برای حمام نیز با تعداد اعضای خانوار و ترکیب سنی آن رابطه معنادار دارد. با افزایش تعداد اعضای خانوار میزان آب مصرفی افزایش می‌یابد. افزایش تعداد افراد جوان و کم سن و سال نیز می‌تواند در میزان آب مصرفی برا حمام موثر باشد؛ چراکه افراد جوان، کودکان و نوجوانان زمان بیشتری را در حمام سپری و آب بیشتری را مصرف می‌کنند. همچنین هر چقدر تعداد افراد شاغل یا درآمد خانوارها افزایش یابد، میزان آب مصرفی در حمام نیز افزایش می‌یابد.

- ماشین ظرف‌شویی: استفاده از ماشین ظرف‌شویی ارتباط بسیار قوی با تعداد اعضای خانواده و افراد شاغل در خارج از خانه دارد. همچنین میزان درآمد خانوار و نوع نگرش و دیدگاه‌های صرفه‌جویانه آن‌ها با میزان مصرف آب از طریق ماشین ظرف‌شویی رابطه دارد. در مقابل به نظر می‌رسد تغییر تعداد نوجوان‌ها و کودکان تاثیر محسوسی در رابطه با مصرف ماشین‌های ظرف‌شویی ندارند.

- ماشین لباس‌شویی: تعداد اعضای خانوار رابطه مستقیم با میزان مصرف آب در ماشین‌های لباس‌شویی دارد. برعکس ماشین‌های ظرف‌شویی تعداد نوجوان‌های خانوار باعث افزایش میزان آب مصرفی توسط ماشین‌های لباس‌شویی می‌شوند. همچنین تعداد افراد شاغل خارج از خانه و میزان درآمد خانوار نیز بر میزان مصرف آب در این مورد اثر مثبت دارد (وائیل و همکاران[1]، ۲۰۱۶ و می‌یر و همکاران[2]، ۱۹۹۹).

- کولرهای آبی: میزان مصرف کولرهای آبی بیشتر از همه عوامل تحت تاثیر عامل آب و هوا بوده و با افزایش دمای هوا میزان استفاده از کولرهای آبی و به تبع آن میزان استفاده آب مصرفی آن‌ها افزایش می‌یابد. همچنین مساحت خانه‌ها با میزان آب مصرفی کولرها رابطه مستقیم دارد؛ چراکه بزرگی خانه‌ها و تعدد اتاق‌ها بر میزان استفاده از کولر اثر دارد. علاوه بر این، تعداد اعضای خانوارها نیز به واسطه استفاده بیشتر از کولر تاثیر مثبت بر میزان مصرف آب از این طریق دارد. پیشرفت‌های فنی باعث کارایی بیشتر کولرهای آبی و کم مصرف شدن آن‌ها می‌شود. افزایش تعداد افراد شاغل در خارج از خانه به دلیل گذراندن زمان زیادی از روز در خارج از خانه باعث کاهش مقدار مصرف آب درکولرهای آبی می‌شود (راثنایاکا و همکاران[3]، ۲۰۱۵ و قدمی و همکاران[4]، ۲۰۱۸).

- دسترسی به آب لوله‌کشی: ساندیفورد و همکاران (۱۹۹۰) به بررسی تاثیر فاصله از منبع تامین آب بر مصرف خانگی در مناطق روستایی کشورهای در حال توسعه پرداختند و به این نتیجه رسیدند که کاهش فاصله از منبع آب از ۱۰۰۰ به ۱۰ متر منجر به افزایش ۲۰ درصدی مصرف سرانه شده است. همچنین تفاوت عمده‌ای در میزان آب مصرفی خانوارهایی که به آب لوله‌کشی دسترسی دارند با خانوارهایی که به آب لوله‌کشی دسترسی ندارند، وجود دارد به طوری که مطالعاتی که روی کشورهای کنیا، تانزانیا و اوگاندا انجام شد، نشان داد که به طور متوسط خانوارهایی که به لوله‌کشی دسترسی ، سه برابر بیشتر از خانوارهای بدون لوله‌کشی، آب مصرف می‌کنند (کشاورزی و همکاران، ۲۰۰۶).

1- Wa'el et al.
2- Mayer et al.
3- Rathnayaka et al.
4- Ghadami et al.

## ۳- پیشینه پژوهش

اغلب مطالعات داخلی انجام شده در رابطه با تقاضای آب به بررسی عوامل قیمتی و درآمد خانوارها تمرکز داشته‌اند و تعداد تحقیقاتی که به عوامل اقتصادی- اجتماعی نیز توجه داشته وآن‌ها را نیز در مدل‌سازی تابع تقاضای آب وارد کرده باشند، بسیار اندک است. در این قسمت به برخی از مطالعات انجام شده در این زمینه اشاره می‌شود.

آگته و بیلینگز[1] (۱۹۸۰) با استفاده از داده‌های پنل مصرف آب در شهر آریزونا در بازه زمانی ۱۹۷۴ تا ۱۹۸۰ و تکنیک OLS به بررسی تابع تقاضای خانوارها پرداختند و به این نتیجه رسیدند که کشش قیمتی در بلندمدت بیشتر از کشش قیمتی در کوتاه‌مدت است. در رابطه با کشش درآمدی نیز همین‌طور بوده و مقدار بلندمدت آن بیشتر از مقدار کوتاه‌مدت آن بوده است. علاوه بر این، کشش‌های به دست آمده در مدل خطی بزرگ‌تر از مقدار کشش‌های محاسبه شده در مدل لگاریتمی بوده‌اند.

چیکون و همکاران[2] (۱۹۸۶) با داده‌های مقطعی مصارف ماهانه خانوارهای شهر ایلینویز در سال ۱۹۸۳ به برآورد تابع تقاضای آب پرداختند و از سه روش OLS، 2SLS و 3SLSبرای تخمین استفاده کردند. نتایج روش‌های 3SLS و OLS با یکدیگر منطبق و نسبت به 2SLS کاراتر بودند. کشش درآمدی در این بخش بین ۰/۱ تا ۰/۱۴ و کشش قیمتی نیز بین ۰/۲۲ تا ۰/۴۲ به دست آمد.

استیون و همکاران[3] (۱۹۹۲) با استفاده از داده‌های مقطعی مصارف آب خانوارهای شهر ماساچوست در سال ۱۹۸۸ به بررسی تاثیر انواع ساختارهای تعرفه قیمتی در تقاضای مصرف‌کنندگان پرداختند و سه نوع ساختار تعرفه بلوکی افزایشی، کاهشی و یکنواخت را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که کشش درآمدی و قیمتی در هر یک از این ساختارهای تعرفه‌ای به نسبت ثابت بوده و در واقع انواع تعرفه‌های قیمتی تاثیری بر کشش‌ها نداشته است.

هویت و هانمن[4] (۱۹۹۵) با استفاده از داده‌های پنل و در بازه زمانی ۱۹۸۱ تا ۱۹۸۵ در شهر دنتون و تگزاس به تخمین تابع تقاضای خانوارها پرداختند. ساختار قیمتی در این

1- Agthe and Billings
2- Chicoine et al.
3- Stevens et al.
4- Hewitt and Hanemman

مطالعه تعرفه بلوکی افزایشی در نظر گرفته شد و همچنین متغیرهای آب و هوا، تعداد حمام، مساحت خانه، قیمت، درآمد و فاصله زمانی میان صورت حساب‌ها و مساحت چمن و باغچه نیز به عنوان متغیرهای مستقل در تابع تقاضا وارد شدند. نتایج نشان داد که مقدار مصرف در فصل تابستان به شکل قابل ملاحظه و معناداری افزایش داشته است.

پینت[1] (۱۹۹۹) با استفاده از داده‌های پنل به بررسی تابع تقاضای خانوارهای شهر آلاباما پرداخت. علاوه بر قیمت، متغیرهای بعد خانوار، مساحت و محوطه خانه، درجه حرارت و میزان رطوبت را نیز در مدل‌سازی وارد و از دو روش OLS و MLE برای برآورد استفاده کرد. دستاورد تخمین این بود که روش‌های MLE نتایج قابل قبول‌تری داشته است. همچنین کشش قیمتی در تابستان در بازه ۰/۲ تا ۰/۴۷ و در زمستان در بازه ۰/۳۲ تا ۱/۲۴ قرار گرفته و تخمین کشش قیمتی در زمستان شدیدتر بوده است.

گائودین و همکاران[2] (۲۰۰۱) به بررسی مصرف سرانه ماهانه آب در شهر تگزاس پرداختند و قیمت متوسط، درآمد متوسط سرانه، شرایط آب و هوایی و متوسط رطوبت سالانه را مورد بررسی قرار دادند و از دو روش OLS و GLS برای تخمین بهره گرفتند. کشش درآمدی بین ۰/۱۱ تا ۰/۱۹ به دست آمد و کشش قیمتی در حالت کلی ۰/۱۹ تا ۰/۴۷ بود و در فصل تابستان کمتر از فصل زمستان محاسبه شده است. علاوه بر این، نتایج نشان داد که حدود ۷۵ درصد از کل تقاضای آب به تغییرات قیمتی حساس نیست.

هافمن و همکاران[3] (۲۰۰۶) با داده‌های فصلی خانوارها در بازه زمانی ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۴ به بررسی تابع تقاضای خانوار پرداختند و قیمت نهایی آب، درآمد خانوار، تعداد روزهای بارانی و گرم در هر فصل و متغیر مجازی مربوط به فصل تابستان را در مدل‌سازی وارد کردند. نتایج نشان داد که کشش قیمتی بلندمدت بزرگ‌تر از کشش قیمتی در کوتاه‌مدت بوده است. همچنین کشش درآمدی و قیمتی در خانوارهایی که مالک خانه‌های خود بودند، بیشتر محاسبه شد. فصل تابستان و تعداد روزهای بارانی نیز در میزان مصرف بسیار موثر بودند.

اشلیخ و هیلنبرند (۲۰۰۹) از دو مدل لگاریتمی و نیمه‌لگاریتمی برای برآورد تابع تقاضای آب در کشور آلمان استفاده کردند و متغیرهای درآمد خانوار، قیمت آب، بعد

1- Pint
2- Gaudin et al.
3- Huffman et al.

خانوار و ترکیب سنی خانوار به عنوان متغیرهای مستقل در مدل وارد کردند. نتایج نشان داد که کشش قیمتی ۰/۲۴ بوده و کشش درآمدی نیز بزرگ‌تر از صفر است.

جانسون و شولز[1] (۲۰۰۶) به بررسی تاثیر درآمد بر مصرف آب خانوارها با استفاده از داده‌های پنل در بازه زمانی ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۳ پرداختند و به این نتیجه رسیدند که آب برای گروه‌های کم‌درآمد نسبت به گروه‌های پردرآمد کالای ضروری‌تری بوده و کشش قیمتی آن در گروه‌های کم‌درآمد ۰/۲۳ و در گروه‌های پردرآمد ۰/۹۹ محاسبه شد.

داگنو (۲۰۱۲) به مطالعه عوامل موثر بر تقاضای آب جنوب غرب اتیوپی پرداخت و عواملی از قبیل درآمد خانوار، سطح تحصیلات، بعد خانوار، ترکیب جنسیتی، نوع مالکیت خانه و قیمت را در مدل‌سازی وارد کرد. نتایج حاکی از این بود که مخارج ماهیانه، نوع مالکیت خانه و سطح تحصیلات بیشترین تاثیر را بر تقاضای آب داشتند.

رومانو و همکاران[2] (۲۰۱۴) مطالعه تقاضای خانگی آب در کشور ایتالیا را مورد بررسی قرار دادند. هدف از این مطالعه تعیین عوامل موثر بر تقاضای آب در این کشور بود و تحقیقات نشان داد که تعرفه‌های موجود اثر منفی بر مصرف خانوارها داشته‌اند و مهم‌ترین عوامل موثر بر مصرف آب در کشور شناخته شدند. درآمد خانوارها نیز رابطه مثبت با میزان مصرف داشت. میزان بارندگی و رطوبت تاثیر منفی بر مصرف آب داشتند در حالی که درجه حرارت هوا روی مصرف بی‌تاثیر بود.

آرونا و دابرت[3] (۲۰۰۸) به بررسی عوامل تعیین‌کننده مصرف آب خانگی در بخش روستایی پرداختند. نتایج حاکی از این بود که تقاضای آب در بخش روستایی نسبت به قیمت بدون کشش بوده و عواملی از جمله بعد و ترکیب خانوار، دسترسی به منابع آب، درآمد و زمان لازم برای تهیه آب موثرتر ازعامل قیمت بوده‌اند. اهمیت این عوامل در فصول مختلف نیز متفاوت بوده است.

گرافتون و همکاران[4] (۲۰۱۱) در این مطالعه به بررسی اهمیت عوامل قیمتی و غیرقیمتی بر مصرف و هم‌افزایی رفتارهای صرفه‌جویانه خانوارها و قیمت‌گذاری آب در کشورهای مختلف پرداختند. نتایج نشان داد که قیمت آب مهم‌ترین عامل تاثیرگذار بر مصرف آن

1- Jansen and Schulz
2- Romano et al.
3- Arouna and Debbert
4- Grafton et al.

بوده است و عواملی مانند ویژگی‌های خانوار، شرایط آب‌وهوایی در درجه اهمیت بعدی قرار داشتند. از این میان دستگاه‌های مصرفی خانگی فلاش‌تانک‌های دوگانه تاثیر بسیار زیاد (منفی) بر مصرف آب داشتند. شرایط آب و هوایی نیز روی برخی از رفتارهای صرفه‌جویانه مصرف‌کنندگان تاثیرگذار بوده است.

آهو و همکاران[1] (۲۰۱۶) به بررسی تاثیر ۲۰ عامل بر تابع تقاضای آب خانگی در نیجریه پرداختند. از میان این عوامل پنج عامل سطح تحصیلات، جنسیت، نوع آشپزخانه، تعداد اتومبیل و دسترسی به منابع آب بر روی مصرف آب تاثیر مثبت داشتند و بعد خانوار و تعداد کودکان زیر ۶ سال بر مصرف تاثیر منفی داشتند.

بیلال[2] (۲۰۱۸) به بررسی تابع تقاضای آب در جلال‌آباد افغانستان پرداخت و متغیرهای درآمد خانوار، بعد خانوار، تحصیلات سرپرست خانوار، قیمت آب و دسترسی به منابع آب را در مدل وارد کرد. نتایج نشان داد که موثرترین عوامل، دسترسی به منابع آب و سپس درآمد خانوارها بوده است.

پژویان و حسینی (۱۳۸۲) با استفاده از تابع مطلوبیت استون‌گری[3] و داده‌های سری زمانی ۱۳۶۱ تا ۱۳۷۹ به بررسی و برآورد تابع تقاضای آب خانگی برای شهر تهران پرداختند و به این نتیجه رسیدند که کشش قیمتی بسیار کم و حدود ۰/۰۸ درصد بوده است و آب یک کالای کم کشش محسوب می‌شود. همچنین کشش درآمدی نیز کمتر از ۰/۱۳ محاسبه شد که دلالت بر ضروری بودن کالای آب دارد.

خوش‌اخلاق و شهرکی ( ۱۳۸۶) به بررسی تقاضای آب خانگی با استفاده از تابع استون‌گری در شهر زاهدان پرداختند و کشش قیمت آب را ۰/۰۶ و کشش درآمدی را ۰/۰۶۲ به دست آوردند که مبین این بود که آب کالای کم کشش و ضروری است.

دینانی و اکبری ( ۱۳۷۹) به بررسی تقاضای آب شرب در شهر کرمان پرداختند و علاوه بر برآورد کشش قیمتی و درآمدی به بررسی تاثیر بعد خانوار، زیربنای واحد مسکونی و وجود باغچه در تقاضای خانوار نیز پرداختند. نتایج نشان داد آب یک کالای ضروری و کم کشش است و زیربنای واحد مسکونی تاثیر مثبت و معناداری بر مصرف آب دارد.

1- Aho et al.
2- Bilal
3- Stongery Utility Function

همچنین وجود باغچه بر سرانه مصرف آب بی‌تاثیر بود و بعد خانوار نیز به دلیل صرفه‌های حاصل از مقیاس باعث کاهش سرانه مصرف آب شد.

تابش و دینی (۱۳۸۹) با استفاده از روش شبکه‌های عصبی به برآورد تقاضای روزانه آب شهری تهران پرداختند و پارامترهای هواشناسی با ۳ ایستگاه هواشناسی به روش تیسن[1] وزن‌دهی شده و از میانگین وزنی آن‌ها، داده‌های ورودی مدل به دست آمد. پارامترهای منتخب شامل دمای متوسط روزانه، رطوبت نسبی، مصرف روزانه یک روز قبل تا مصرف روزانه یک هفته قبل و مصرف روزانه یک سال قبل بودند. تحقیقات نشان داد که مدل شبکه عصبی از قابلیت بالایی برای مدل‌سازی تقاضای روزانه آب شهری برخوردار است.

فلاحی و همکاران (۱۳۹۱) به بررسی تقاضای آب با استفاده از تابع مطلوبیت استون‌گری پرداختند و از طریق روش اقتصادسنجی مدل اثرات تصادفی برآورد شد. داده‌ها به صورت پنل و سالانه و به ۲۶۶ خانوار شهر نیشابور طی دوره‌های زمانی ۱۳۸۲ تا ۱۳۸۶ تعلق داشتند. قیمت متوسط درآمد سرانه، شاخص قیمت کالاها و خدمات مصرفی و متوسط درجه حرارت هوا در تابع تقاضا وارد شدند. نتایج نشان داد که آب کم کشش بوده و نسبت به کالاهای دیگر مکمل است. دمای هوا در مدل برآورد شده معنی‌دار نبود. با فرض ثبات قیمت، درآمد رابطه مستقیم با مصرف سرانه آب داشت و در صورت افزایش قیمت، مصرف سرانه کاهش می‌یافت.

سجادی‌فرد و خیابانی (۱۳۸۹) تقاضای کوتاه‌مدت و بلندمدت آب را در شهر اراک با استفاده از تابع استون‌گری در فصل‌های مختلف و کل سال برآورد کردند و متغیرهای قیمت نهایی آب، درآمد سالانه مصرف‌کننده، شاخص قیمت کالاها، خدمات مصرفی متوسط، درجه حرارت و متوسط میزان بارندگی به عنوان متغیرهای توضیحی تابع تقاضای آب خانگی تخمین زده شدند. در مجموع کم‌کشش بودن تقاضای آب نسبت به درآمد، قیمت و همچنین مکمل بودن آن با سایر کالاها تایید شد. کشش‌ها در فصل تابستان (جانشین مصارف بیرونی) تقریبا دو برابر کشش در فصل زمستان (جانشین مصارف درونی)محاسبه شدند. کشش تقاضای بلندمدت از کوتاه‌مدت نیز بیشتر بود.

جمالی و زمانی (۱۳۹۴) به بررسی عوامل موثر بر الگوی مصرف آب و بهینه‌سازی آن در بخش خانگی و روستایی شهرستان بوشهر پرداختند. روش انجام تحقیق، توصیفی-

1- Thiessen

تحلیلی بوده است و روی جامعه آماری ۶۹۶۴ مشترک آب انجام شد. نتایج نشان داد که مهم‌ترین عوامل موثر بر آب از نظر مشترکین بخش‌های تبلیغات، اطلاع‌رسانی آموزش به جداسازی آب شرب و بهداشتی، اصلاح تعرفه‌ها و قیمت آب است.

تابش و همکاران (۱۳۹۳) به پیش‌بینی تقاضای سرانه آب در شهر نیشابور با دو رویکرد بازه‌ای و نقطه‌ای پرداختند و بعد از تخمین تابع تقاضای آب با تعیین سناریوهای محتمل مقادیر متغیرهای مستقل برای آینده را پیش‌بینی کردند و نتایج بر ضروری بودن آب تاثیر داشت. درصد تغییرات تقاضای آب برای حالتی که هدفمندی یارانه‌ها اجرا نشود، بین ۴۰ تا ۵۷ درصد در بازه زمانی ۱۳۹۰ تا ۱۴۱۰ پیش‌بینی شد. برای حالتی که طرح هدفمندی اجرا شود مقادیر تقاضا کاهش می‌یابد.

اسماعیل‌نیا بالاگتابی و همکاران (۱۳۹۷) با برآورد تقاضای آب خانگی به تعیین کمترین مصرف منطقه ورامین پرداختند و برای این منظو از داده‌های سری زمانی سالانه بین سال‌های ۱۳۶۱ تا ۱۳۹۴ و تابع مطلوبیت استون‌گری و روش خودرگرسیونی با وقفه‌های توزیعی استفاده شد. متغیرهای پژوهش شامل میانگین درآمد خانوار، میانگین درجه حرارت، حجم مصرف سرانه آب و نسبت شاخص قیمت مصرف‌کننده به شاخص قیمت آب بودند. نتایج نشان داد که آب یک کالای ضروری است و نسبت شاخص قیمت مصرف‌کننده به شاخص قیمت آب تاثیر مثبت بر حجم آب سرانه دارد و کمترین مصرف شهروند ورامینی ۱۵۲ لیتر در روز است.

## ٤- روش‌شناسی پژوهش

در در دو دهه گذشته مطالعات بسیار زیادی در حوزه یادگیری ماشین[1] روی موضوع یادگیری تجمیعی[2] تمرکز داشته‌اند. این نوع از یادگیری مربوط به روش‌هایی است که در آن چندین مدل از یادگیری به طور همزمان جهت آموزش الگوی خاصی آموزش داده شده و در نهایت از میانگین آن‌ها جهت پیش‌بینی، تخمین، طبقه‌بندی یا رگرسیون استفاده می‌شود. یکی از مزایای یادگیری تجمیعی نسبت به یادگیری انفرادی، کاهش خطای

1- Machine Learning
2- Ensemble Learning

یادگیری بیش‌برازش[1] اســـت (منـدس-موریرا[2]، ۲۰۱۲). در واقع زمانی که مجموعه‌ای از چندین مدل آموزش داده شـــده همزمان به‌کار رفته و میانگین آن‌ها به عنوان نتیجه نهایی گزارش داده می‌شود، همانند رای‌گیری چندین خبره عمل کرده و از حساسیت مدل نهایی نسبت به ترتیب ارائه داده‌ها و یا گیرکردن در بهینه‌های محلی به صورت قابل چشمگیری کاســـته شـــده و در نهایت مدل تجمیعی حاصـــل از خاصـــیت پایداری[3] بهره خواهد برد. جنگل‌های تصـــادفی[4] به عنوان یک مدل یادگیری تجمعی بر پایه مدل آموزشـــی درخت تصمیم[5] هستند (کوئینلان[6]، ۱۹۸۶).

جهت درک دقیق‌تر و راحت‌تر جنگل‌های تصادفی در این قسمت ابتدا درخت تصمیم توضیح داده می‌شود. در تصمیم‌گیری برای قضاوت درخصوص یک رویداد، زمانی که چندین عامل به طور همزمان در وقوع و یا شـــدت آن نقش دارند، عموما انســـان‌ها بر پایه تجربه عمل کرده و تلاش می‌کنند براساس پاسخ سوالاتی در مورد میزان کمیت یا کفیت عوامل موثر در خصـــوص آن رویداد خاص قضـــاوت کنند. در چنین مواقعی یک درخت تصمیم بر پایه سوالاتی که در مورد این عوامل مطرح است، ایجاد شده و در نهایت تصمیم موردنظر اتخاذ می‌شود. در چنین تصمیم‌گیری‌هایی معیارها می‌توانند کیفی و کمی باشند و حتی به صـورت وجود یا عدم وجود مورد خاصـی باشـند. در مورد موضـوع این پژوهش؛ یعنی آب برای مثال میزان مصـرف آب در یک خانوار تحت تاثیر عوامل متعددی همچون، تعداد اعضـای خانواده، مسـاحت خانه، وضـعیت اشـتغال سـرپرسـت، وجود یا عدم وجود وسـایل مصـرفی آب مانند کولر، لباس‌شـویی و ظرف‌شـویی، درآمد و سـطح تحصـیلات و سایر عوامل است. از مزایای درخت‌های تصمیم می‌توان به این موضوع اشاره کرد که این مدل‌ها قادر هستند بدون عددی‌سازی متغیرهای غیرعددی[7]، اقدام به آموزش مستقیم کنند.

1- Overfitting
2- Mendes-Moreira et al.
3- Robustness
4- Random Forest
5- Decision Tree
6- Quinlan

۷- متغیرهای غیرعددی ((Categorical Variable (Data) بر وجود ویژگی‌های کیفی دلالت دارند و برخلاف سایر متغیرهای عددی اعمال ریاضی از جمله جمع و تفریق و ... برروی آن‌ها قابل انجام نیست. به طور مثال، متغیرهایی از قبیل وجود یا عدم وجود ماشین ظرفشویی. کولر آبی، وضعیت مالکیت خانه و مانند آن‌ها.

همچنین این درختان می‌توانند علاوه بر طبقه‌بندی الگوها برای مقاصد پیش‌بینی و برآورد مقدار یک تابع نیز به‌کار روند (روکاچ[1]، ۲۰۱۰).

در مرحله آموزش در درختان تصمیم، سعی می‌شود که با ارائه نمونه‌های مختلف و متفاوت آموزش عمیقی به درختان تصمیم القا شود و این درختان بر پایه سوالاتی که در هر گره درخت (از ریشه درخت تا سطح برگ‌های آن) پرسیده می‌شود، رشد کرده و تجربه کسب می‌کند. در نهایت قادر خواهند بود داده‌ها را به دسته‌هایی افراز کنند و با کمک این دسته‌ها در مرحله پرس‌وجو درخصوص یک داده جدید ناشناخته قضاوت کرده و برآوردی داشته باشد. بنابراین، سوالاتی که در هر گره پرسیده می‌شود، نقش اساسی در کارایی درختان تصمیم دارند. عموما این سوالات به نحوی انتخاب می‌شوند که بیشترین تفاوت میان دسته‌های افراز شده به‌وجود آید و بیشترین شباهت بین اعضای یک دسته رخ دهد (کوئینلان، ۱۹۸۶ و ونگ و همکاران[2]، ۱۹۸۴). یکی از روش‌های محبوب برای انتخاب موثر این سوال و همچنین تعیین متغیرهای تاثیرگذار، استفاده از مفهوم آنتروپی[3] و بیشترین اطلاعات[4] به‌دست آمده است. در این روش سعی بر آن است که انتخاب متغیر موثر و طرح سوال در هر نود به صورت حریصانه در جهت کاهش میزان آنتروپی در دسته‌های افراز شده صورت گیرد. با وجود تمام روش‌ها و ایده‌های بهبود عملکرد مدل درختان تصمیم، میزان برازش این مدل‌ها وابسته به درخت رشد یافته در هر لحظه است. این خود می‌تواند عاملی برای بیش برازش درخت بوده و از تعمیم‌پذیری آن برای تمام نمونه داده‌ها جلوگیری کند. همچنین از آنجایی که یادگیری فقط بر پایه یک درخت تصمیم بنا نهاده شده است در صورت وجود نویز در نمونه‌های آموزشی، احتمال به‌وجود آمدن خطا در یادگیری افزایش می‌یابد.

در راستای کاهش خطای تصمیم‌گیری در درختان تصمیم بر پایه یادگیری تجمعی، ایده جنگل تصادفی در سال ۱۹۹۵ مطرح شد (هو[5]، ۱۹۹۵) یک جنگل تصادفی مشتمل از چند درخت تصمیم است که هرکدام به صورت تصادفی و بر پایه انتخاب زیرمجموعه‌ای

1- Rokach
2- Wang et al.
3- Entropy
4- Maximum Information Gained
5- Ho

از متغیرهای موثر که به صورت تصادفی انتخاب می‌شوند، رشد کرده و مستقل از سایر درخت‌ها با کمک نمونه‌های ورودی آموزش می‌بینند. تفاوت درختان در یک جنگل تصادفی، اساسا در زیرمجموعه انتخاب شده از متغیرها است و نحوه رشد و آموزش آن‌ها یکسان است. در نهایت در مرحله تست و تصمیم‌گیری درخصوص یک داده جدید ناشناخته، تصمیم‌گیری نهایی در یک جنگل تصادفی بر پایه میانگین نتیجه انجام می‌شود به همین دلیل حساسیت جنگل‌های تصادفی به وجود نویز در داده‌ها و همچنین آموزش یک‌طرفه کمتر بوده و قادر هستند از بیش‌برازش در مدل با احتمال بسیار زیادی جلوگیری کنند. این مزایای جنگل‌های تصادفی، آن‌ها را به ابزار قدرتمند و محبوبی برای امور پیش‌بینی، تخمین و انتخاب متغیرهای موثر در مقدار یک تابع ناشناخته تبدیل کرده است (یه[1]، ۲۰۱۴). در ادامه جزییات دقیقی از نحوه ساخت، آموزش و رشد درختان تصمیم و جنگل‌های تصادفی آورده شده است.

فرض کنید $X_1, X_2, X_3, \dots, X_T$ داده‌ها یا نمونه‌های آموزشی به‌دست آمده از N مشاهده مختلف باشند. هر داده $X_i$ به صورت یک بردار m-تایی $(x_i^1, x_i^2, \dots, x_i^m)$ شامل متغیرهای مستقل عددی و غیرعددی است. برای مثال، تعداد نوجوان و یا تعداد کودک در خانواده، سن و میزان تحصیلات سرپرست، وجود یا عدم وجود وسایلی همچون لباس‌شویی، کولر آبی و ظرف‌شویی. هر داده $X_i$ دارای یک مقدار مشخص $y_t$ به عنوان مقدار وابسته یا تابع است که در اینجا همان مخارج آب است. به عبارت دیگر، رابطه (۱) را داریم:

$$y_i = f(x_i^1, x_i^2, \dots, x_i^m). \qquad (۱)$$

اگر تابع f تعریف مشخص بر پایه m متغیر مستقل داشته باشد، آنگاه به راحتی مقدار یک نمونه داده شده $X_i$ محاسبه خواهد شد. همچنین میزان اهمیت و تاثیر هرکدام از متغیرهای مستقل در تعیین مقدار تابع آشکار خواهد شد، اما از آنجایی که تعیین تابع f کاری مشکل و گاه غیرممکن است، این مساله با عنوان «مساله تخمین توابع» در ادبیات مطرح است که اگر تابع f به صورت دو مقداری و یا حتی چند مقداری باشد، این مساله

1- Yeh and Lin

«مساله طبقه‌بندی» نامیده می‌شود. در مساله مورد بحث در این مقاله از آنجایی که بیشتر متغیرهای دخیل در میزان مخارج آب به صورت غیرعددی استخراج شده‌اند از نظر نویسندگان ارائه یک تعریف دقیق ریاضی برای چنین تابعی غیرممکن است، اما می‌توان بر پایه یادگیری رفتار تابع $f$ هم مساله تخمین و هم مساله تعیین میزان اهمیت متغیرهای مستقل را حل کرد. در ادامه روش انجام کار با کمک درخت‌های تصمیم و جنگل‌های تصادفی آورده شده است.

الگوریتم اصلی رشد درخت تصمیم با عنوان ID3 جهت انتخاب سوالات اساسی در سال ۱۹۸۳ ارائه شد (کوئینلان[1]، ۱۹۸۳). این روش بر پایه الگوریتم‌های تقسیم و غلبه حریصانه[2] و با رشد درخت از سمت بالا به پایین و بدون عقب‌گرد است. منظور از حریصانه بدون عقب‌گرد، یعنی انتخاب معیار و سوالی که بتواند بیشترین تفاوت را در میان اعضای یک مجموعه نمونه‌های آموزشی ایجاد کند، بدون آنکه در ادامه الگوریتم و در سطوح پایین‌تر درخت بخواهد برگردد و آن سوال یا معیار را تغییر دهد. فرض کنید $C$ زیرمجموعه‌ای غیرتهی از داده‌های مشاهده شده باشد. در واقع هر نمونه آموزشی $i$ام به شکل $(X_i, y_i)$ است. اگر $C$ شامل تنها یک عضو باشد، آنگاه می‌توان آن را در برگ درخت تصمیم با مقدار $y_i$ قرار داد. در غیر این‌صورت به ازای هر سوال یا تست ممکن (در مساله مورد بحث در این مقاله به ازای هر متغیر محتمل تاثیرگذار در میزان مصرف آب) و حالات ممکن برای جواب آن، $C$ می‌تواند به زیرمجموعه‌هایی افراز شود. فرض کنید $Q$ یک سوال ممکن است و می‌تواند $r$ حالت متفاوت $q_1, q_2, \dots, q_r$ باشد و بر این اساس، مجموعه $C$ به ترتیب به دسته‌های $C_1, C_2, \dots, C_r$ افراز شود. برای مثال، اگر $Q$ وجود یا عدم وجود کولر آبی را نشان دهد آنگاه $C$ به دو دسته متفاوت، نمونه‌هایی که شامل کولر آبی هستند و نمونه‌هایی که فاقد آن هستند، افراز خواهد شد. همینطور اگر $Q$ متغیر سطح تحصیلات سرپرست یک نمونه را نشان دهد، $C$ می‌تواند با یک سطح‌بندی از پیش‌تعیین شده به ۸ سطح بیسواد، سواد ابتدایی، سواد راهنمایی، دیپلم، کاردانی، کارشناسی، کارشناسی ارشد و دکتری طبقه‌بندی شود. همچنین برای متغیرهای پیوسته نیز می‌توان با در نظر گرفتن بازه‌های مختلف برای آن‌ها، مجموعه $C$ را به سطوح مختلفی

1- Quinlan
2- Greedy Divide and Conquer Algorithms

افراز کرد. اگر این متغیر سهم بالایی در مصرف آب داشته باشد باید بتواند تفکیک خوبی را بین اعضای هر دسته برقرار کند. بنابراین، باید بتوان با معیار مناسبی میزان شباهت اعضای یک کلاس در هر افراز را سنجید. این مطلب در مباحث طبقه‌بندی به معنای، در یک کلاس قرار گرفتن اعضای $C_j$ و همینطور اعضای $\overline{C_j}$ به ازای $q_i$ است و در مباحث مربوط به رگرسیون با مفهوم واریانس $C_i$ و $\overline{C_j}$ در ارتباط است. واضح است که اگر مقادیر $y_j$ که در یک کلاس حضور دارند، همگی یکسان باشند، آنگاه مقدار واریانس آن‌ها برابر صفر بوده و دیگر نیاز به افراز بیشتری وجود ندارد. در غیر این‌صورت، می‌توان یک مقدار آستانه جهت افراز کردن و یا نکردن یک مجموعه در نظر گرفت. اگر مقدار واریانس یک از آن مقدار آستانه کوچک‌تر بود از افراز بیشتر آن مجموعه صرفنظر کرده و آن مجموعه به عنوان یک برگ در درخت تصمیم پذیرفته می‌شود و میانگین $y_j$ اعضای آن مجموعه به عنوان مقدار آن برگ در نظر گرفته می‌شود. برای مثال، برای مجموعه $C$ شامل $n$ عضو می‌توان مشخصه‌هایی مطابق با رابطه‌های (۲)، (۳) و (۴) محاسبه کرد.

$$\text{Average: } \bar{y} = \frac{\sum_{y \in C} y}{n} \qquad (۲)$$

$$\text{Standard Deviation: } SD(C) = \sqrt{\frac{\sum_{y \in C} (y - \bar{y})^2}{n}} \qquad (۳)$$

$$\text{Coefficient of Deviation: } CV(C) = \frac{SD(C)}{\bar{y}} \qquad (۴)$$

از مقدار میانگین برای تعیین مقدار برگ در درخت تصمیم، از مقدار انحراف معیار $SD(C)$ برای تصمیم جهت متوقف کردن افرازبندی یا ادامه آن و از مقدارضریب انحراف $CV(C)$ برای ساخت درخت تصمیم یا همان شاخه‌بندی استفاده می‌شود. همچنین محاسبات انحراف معیار را می‌توان برای یک متغیر $Q$ و مقادیر خروجی $y$ به صورت همزمان با کمک رابطه (۵) محاسبه کرد.

$$\text{Standard Deviation: } SD(Y,Q) = \sum_{q\in Q} Pr(q)SD(y|q) \qquad (۵)$$

در رابطه (۵)، $Pr(q)$ نشان‌دهنده احتمال آن است که پاسخ سوال $Q$ برابر $q$ باشد (مانند احتمال وجود کولر آبی در یک خانه که می‌توان به سادگی با کمک داده‌های نمونه آموزشی در مجموعه $C$ آن را محاسبه کرد) و $SD(y|q)$ انحراف معیار مقادیر خروجی $y$ به شرط آن‌که پاسخ سوال $Q$ برابر $q$ باشد. برای مثال، انحراف معیار مخارج مصرف آب در مواقعی که کولر آبی وجود داشته است. ایده اصلی انتخاب سوال یا متغیر مهم در رشد درخت تصمیم، انتخاب متغیری است که بتواند بیشترین کاهش برای انحراف متغیر $C$ را نتیجه دهد. این مطلب در تئوری اطلاعات با عنوان آنتروپی مطرح است و به طور کلی هدف از آن همان‌گونه که بیان شد، کاهش حریصانه در میزان واریانس مجموعه‌های افراز شده است (آرنت[1]، ۲۰۱۲).

الگوریتم کلی کار در ساخت یک درخت تصمیم به این صورت است که ابتدا یک زیرمجموعه تصادفی مانند $C$ از نمونه‌های آموزشی انتخاب می‌شود و با روشی که گفته شد، درختی بر پایه آن ساخته می‌شود. سپس سایر نمونه‌های آموزشی که در $C$ نبوده‌اند با کمک این درخت ارزیابی می‌شوند در صورت آنکه درخت فعلی بتواند ارزیابی خوبی برای آن‌ها داشته باشد، الگوریتم به اتمام می‌رسد و در غیر این صورت با اضافه کردن نمونه‌هایی که درخت ارزیابی خوبی برای آن‌ها نداشته است، تلاش می‌شود که درخت را با کمک سوالات بیشتر و از طریق ادامه برگ‌های آن رشد داد. چنین نمونه‌های آموزشی که در $C$ حضور نداشته و به نوعی از آن‌ها برای ارزیابی کیفیت درخت ساخته شده و همچنین رشد آن استفاده می‌شود، داده‌های خارج از مجموعه یا OOB[2] گفته می‌شود. این داده‌ها شامل اطلاعاتی هستند که می‌توان از آن‌ها برای تخمین میزان اهمیت متغیرهای موثر در خروجی استفاده کرد.

جنگل تصادفی شامل چندین درخت تصادفی است که هر کدام از آن‌ها بر پایه زیرمجموعه‌های متفاوت اولیه‌ای از نمونه‌های آموزشی ساخته می‌شوند. در واقع از آنجایی

1- Arndt
2- Out-Of-Bag (OOB)

که وجود نویز در داده‌های آموزشی و یا بیش‌برازش در مرحله آموزش می‌تواند موجب آموزش نادرست یک درخت تصمیم شود، جنگل تصادفی به جای ایده رشد زیاد یک درخت سعی می‌کند که از داده‌های OOB استفاده کرده و درختان بیشتری را تولید کند. همچنین در بعضی از نسخه‌های جنگل تصادفی به‌ویژه زمانی که تعداد متغیرهای موثر محتمل در تعیین خروجی زیاد باشند، هر درخت تصمیم برپایه یک زیرمجموعه کوچک‌تر از کل متغیرها ساخته می‌شود. هر درخت تصادفی می‌تواند با توجه به نمونه‌های تستی که روی آن اعمال می‌شود، خطایی را داشته باشد. جنگل تصادفی با کمک میانگین وزنی این خطاها، خروجی درختان برای یک نمونه داده تست را ارزیابی کند. این روش به دلیل استفاده از ایده میانگین‌گیری از خبره‌ها متحمل خطای کمتری بوده و حساسیت کمتری نیز به داده‌های نویزی و مساله یادگیری بیش‌برازش دارد (کوئینلان[1]، ۱۹۸۶).

برای تعیین میزان اهمیت متغیرها با کمک جنگل تصادفی از این اصل استفاده می‌شود که اگر متغیری تاثیر زیادی در تعیین مقدار خروجی ندارد با تغییر تصادفی (جایگشت) مقادیر آن نباید تاثیر چندانی در میزان خروجی نهایی در جنگل به‌وجود آید. بر پایه این اصل، جهت تعیین متغیرهای موثر، ابتدا با کمک داده‌های OOB روی یکی از درختان تصادفی از ریشه تا برگ حرکت کرده و تعداد نمونه‌هایی که خروجی آن‌ها مورد قبول (کمتر از یک حد آستانه) ارزیابی شده، شمارش شود. سپس با تغییر تصادفی مقادیر یک متغیر، دوباره تعداد ارزیابی‌های مورد قبول همان داده‌های OOB شمارش شود. در نهایت اگر این دو مقدار شمارش شده تفاوت چندانی با یکدیگر نداشته باشند، نشان‌دهنده اهمیت کم آن متغیر و در غیر این صورت؛ یعنی در حالتی که تغییر تصادفی در تعداد ارزیابی‌های داده‌های OOB تاثیرگذار باشد، نشان از اهمیت بالای آن متغیر خواهد بود. این کار برای تمام درخت‌های تصمیم جنگل و داده‌های OOB مخصوص هر درخت اجرا شده و در نهایت از میانگین آن‌ها جهت میزان اهمیت متغیرها استفاده می‌شود. برای درک بهتر، به طور مثال در رابطه با الگوی مصرف آب در این پژوهش ۱۷ متغیر به عنوان متغیرهای تاثیرگذار تعیین شده‌اند. حال برای تعیین درجه اهمیت یکی از متغیرها (به طور مثال $X_1$) مقادیر آن به صورت تصادفی تغییر داده شده‌اند؛ اگر با تغییرات تصادفی مقادیر $X_1$، مقادیر مخارج مصرفی آب تغییر چندانی نکند به این معنا است که اثر متغیر $X_1$ روی مخارج

1- Quinlan

مصرفی آب خانوار زیاد نبوده و یا این‌که وابستگی مخارج مصرفی آب به متغیر مورد نظر کم است. به عبارت دیگر، متغیر $X_1$ از اهمیت کمتری در تعیین و پیش‌بینی مخارج مصرفی برخوردار است که تغییرات در آن موجب تغییرات قابل توجهی در خروجی مخارج مصرف نمی‌شود. در مقابل هرچه درجه اهمیت که از میانگین میزان خطاهای پیش‌بینی در صورت تغییرات تصادفی مقادیر متغیرها به‌دست می‌آید، بزرگتر باشد؛ یعنی وابستگی خروجی مخارج مصرفی تاثیر بیشتری از آن متغیر می‌پذیرد.

## ۵- داده‌ها و روش پژوهش

در این پژوهش از اطلاعات موجود در نشریه سالانه «نتایج آمارگیری هزینه و درآمد خانوارهای شهری و روستایی» در سال ۱۳۹۵ استفاده شده است. این نشریات برمبنای پردازش پرسشنامه‌هایی مختص آمارگیری یادشده، توسط مرکز آمار تهیه می‌شوند. قسمت اول پرسشنامه شامل پرسش‌هایی درباره خصوصیات اجتماعی اعضای خانوار است که شامل اطلاعاتی از جمله تعداد اعضای خانوار، جنس، سن، وضعیت تحصیل، مدرک تحصیل، وضعیت فعالیت و وضعیت تاهل می‌شود. در قسمت دوم پرسشنامه سوالاتی درخصوص مشخصات محل سکونت و تسهیلات و لوازم عمده زندگی از خانوارها پرسیده می‌شود. قسمت سوم پرسشنامه مورد استفاده برای جمع‌آوری داده‌های بودجه خانوار که مفصل‌ترین قسمت آن نیز هست در ارتباط با هزینه‌های خانوار است که در کل ۱۴ بخش را دربر می‌گیرد[1]. در قسمت چهارم نیز وضعیت درآمدی خانوار بحث می‌شود که اساسا به دلیل اینکه این قسمت توسط خانوارها کم اظهاری می‌شود، عملا مورد استفاده علمی واقع نمی‌شود و به همین دلیل در بیشتر مطالعات انجام شده که از داده‌های هزینه و درآمد خانوار استفاده می‌کنند از اطلاعات مربوط به مخارج کل خانوار به عنوان نزدیک‌ترین شاخص به

---

۱- این بخش‌ها به ترتیب شامل: ۰۱- هزینه‌های خوراکی، ۰۲- هزینه‌های نوشیدنی‌ها و مواد دخانی، ۰۳- هزینه‌های پوشاک و کفش، ۰۴- هزینه‌های مسکن، آب و فاضلاب، سوخت و روشنایی، ۰۵- هزینه‌های مبلمان و لوازم خانگی و نگهداری آن‌ها، ۰۶- هزینه‌های بهداشتی و درمانی، ۰۷- هزینه‌های حمل و نقل، ۰۸- هزینه‌های ارتباطات، ۰۹- هزینه‌های خدمات فرهنگی و تفریحات، ۱۰- هزینه‌های آموزش و تحصیل، ۱۱- هزینه‌های غذاهای آمده، هتل و رستوران، ۱۲- هزینه‌های کالاها و خدمات متفرقه، ۱۳- هزینه‌های تهیه و فروش کالاهای با دوام منزل و سایر هزینه‌های خانوار و ۱۴- هزینه‌های سرمایه‌گذاری خانوار هستند.

درآمد کل آن استفاده می‌شود. در این پژوهش نیز این‌گونه عمل شده است و مخارج کل به عنوان شاخصی از درآمد کل خانوارها لحاظ شده است.

از میان تمامی اطلاعات مربوط به اطلاعات خانوارها در پرسشنامه‌های اشاره شده در این پژوهش ۱۷ مورد از این اطلاعات به عنوان عوامل موثر بر مخارج آب خانوارها با توجه به در دسترس بودن آمار آن‌ها و با توجه به مبانی نظری موجود در این رابطه، انتخاب و مورد بررسی قرار گرفتند. این عوامل عبارت بودند از: درآمد خانوار، قیمت آب، تعداد کودک، تعداد نوجوان، تعداد بزرگسال، میزان تحصیلات سرپرست خانواده، میزان تحصیلات همسر سرپرست، سن سرپرست، مساحت خانه، وجود ماشین لباس‌شویی، وجود ماشین ظرف‌شویی، کولر آبی متحرک، کولر آبی ثابت، دسترسی به آب لوله‌کشی، وضعیت اشتغال سرپرست خانواده، وضعیت اشتغال همسر سرپرست، وضعیت ملکی خانه.

## ٦- نتایج شبیه‌سازی‌ها

در این بخش، نتایج الگوریتم جنگل تصادفی روی مساله برآورد عوامل اقتصادی- اجتماعی موثر بر مخارج مصرف آب خانوارهای روستایی و شهری، ارائه می‌شود. از هر خانوار براساس مبانی نظری موجود، متغیرهای ۱- درآمد خانوار[1]، ۲- قیمت آب[2]، ۳- تعداد کودک، ۴- تعداد نوجوان، ۵- تعداد بزرگسال، ۶- میزان تحصیلات سرپرست خانواده، ۷- میزان تحصیلات همسر سرپرست، ۸- سن سرپرست، ۹- مساحت خانه، ۱۰- وجود یا عدم وجود ماشین لباس‌شویی، ۱۱- وجود یا عدم وجود ماشین ظرف‌شویی، ۱۲- کولر آبی متحرک، ۱۳- کولر آبی ثابت، ۱۴- دسترسی به آب لوله‌کشی، ۱۵- وضعیت اشتغال سرپرست خانواده، ۱۶- وضعیت اشتغال همسر سرپرست، ۱۷- وضعیت ملکی خانهاز آمار مربوط به نمونه‌گیری هزینه و درآمد خانوار سال ۱۳۹۵ جمع‌آوری شده است. در ادامه این ۱۷ متغیر به ترتیب با $X_1$، $X_2$،...، $X_{17}$ نمایش داده می‌شوند. ۹ متغیر اول از نوع داده‌های عددی در نظر گرفته شده و سایر متغیرها ($X_{10}$ تا $X_{17}$) از نوع داده‌های غیرعددی هستند. داده‌ها در دو بخش جداگانه

۱- به دلیل کم‌اظهاری خانوارها در رابطه با حقایق متغیر درآمد، از شاخص مخارج کل، به عنوان نزدیک‌ترین شاخص برای این متغیر استفاده شده است.

۲- از متوسط قیمت برای هرمتر مکعب آب در استان‌ها (در بخش شهری و روستایی) استفاده شده است.

شهری و روستایی در سطح کل کشور گروه‌بندی شده‌اند که تعداد داده‌های شهری برابر ۱۴۱۲۰ و روستایی برابر ۱۲۵۱۸ است. برای این پیاده‌سازی از نرم‌افزار MATLAB استفاده شده که کد آن در ضمیمه آورده شده است. برای اجرا از ۲۰۰ درخت تصمیم استفاده شده است که ابتدا با ۹۰ درصد داده‌ها جنگل تصادفی ساخته شده و سپس برای برآورد میزان برازش آن از ۱۰ درصد باقیمانده جهت تست کیفیت آن استفاده شده است. جهت ارزیابی، از معیارهای میانگین قدرمطلق انحرافات[1]، مربع مجذور میانگین خطا[2]، نسبت میانگین قدرمطلق خطاها[3] و معیار مقایسه $R^2$ استفاده شده است (رابطه‌های (۶)، (۷)، (۸) و (۹)).

جدول (۱) نتایج اجرای الگوریتم را به تفکیک داده‌های شهری و روستایی نشان می‌دهد.

$$\mathrm{MeAD} = \frac{1}{T}\sum_{t=1}^{T}|y_t - \hat{y}_t| \qquad (۶)$$

$$\mathrm{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^{T}(y_t - \hat{y}_t)^2}{T}} \qquad (۷)$$

$$\mathrm{MAPE} = \frac{1}{T}\sum_{t=1}^{T}\left|\frac{y_t - \hat{y}_t}{y_t}\right| \qquad (۸)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{t=1}^{T}(y_t - \hat{y}_t)^2}{\sum_{t=1}^{T}(y_t - \bar{y})^2} \qquad (۹)$$

در روابط (۶) تا (۹) $T$ تعداد نمونه‌های ارزیابی شده با الگوریتم، $y_t$ و $\hat{y}_t$ به ترتیب مقدارهای واقعی مخارج آب و تخمین زده شده توسط الگوریتم برای داده $t$ ام و $\bar{y}$ میانگین مقدارهای واقعی مخارج آب است. مطابق نتایج به‌دست آمده از ارزیابی، الگوریتم

1- Mean Absolute Deviation (MeAD)
2- Root-Mean-Square Error (RMSE)
3- Mean Absolute Percentage Error (MAPE)

یادگیری جنگل تصادفی عملکرد بسیار خوبی را روی هر دو نوع داده شهری و روستایی بر پایه ۱۷ متغیر معرفی شـده، به‌دسـت آورده اسـت به گونه‌ای که میانگین قدر مطلق خطاها برای داده‌های شـهری و روسـتایی به ترتیب برابر ۶۵۸ و ۶۰۳ ریال بوده اسـت؛ یعنی به طور متوسط حدود ۶۶ تومان (کمتر از ۰/۰۵ درصد مخارج آب سالانه خانوارهای شهری)، خطا در میزان پیش‌بینی مخارج آب خانوارهای شهری و ۶۰ تومان (کمتر از ۰/۰۴ درصد مخارج آب سالانه خانوارهای روستایی)، خطا در پیش‌بینی مخارج آب خانوارهای روستایی وجود داشته است. همچنین درصد خطا کمتر از ۶/۵ درصد برای داده‌های شهری و ۶/۲ درصد برای داده‌های روستایی است.

**جدول ۱- نتایج ارزیابی الگوریتم جنگل تصادفی برای داده‌های شهری و روستایی**

| | MeAD | RMSE | MAPE | $R^2$ |
|---|---|---|---|---|
| داده‌های شهری | ۶۵۸/۲۶۳۲ | ۷۴۳۵/۶۰۵۲ | ۰/۰۶۴۹ | ۰/۸۵۱۴ |
| داده‌های روستایی | ۶۰۳/۷۴۱۶ | ۷۱۷۲/۵۴۶۶ | ۰/۰۶۱۶ | ۰/۸۶۲۰ |

ماخذ: یافته‌های پژوهش

در گام نهایی، جهت تعیین میزان اهمیت متغیرهای موثر در مخارج آب، ابتدا یک بار دیگر جنگل تصـادفی با اسـتفاده از تمام داده‌های آموزشـی (به تفکیک داده‌های شـهری و روستایی) آموزش داده می‌شود و سپس همانطور که در بخش پیشین آورده شده با استفاده از درختان تصادفی میزان اهمیت هر متغیر سنجیده می‌شود. به طور کلی، اگر میزان مصرف آب به عنوان تابع خروجی وابستگی کمتری به یک متغیر مستقل داشته باشد، تغییر تصادفی (جایگشـت) مقادیر آن متغیر تاثیر چندانی در میزان مصـرف آب نخواهد داشـت. بنابراین، میزان اهمیت یک متغیر رابطه مسـتقیم با میزان خطا در پیش‌بینی مصـرف آب در نادیده گرفتن (یا انحراف مقادیر)آن متغیر خواهد داشـت. بر پایه این اصـل، برای سـنجش میزان تاثیر یک متغیر در مصرف آب، یک بار با مقادیر واقعی و دقیق داده‌های OOB و بار دیگر با داده‌هایی که مقادیر متغیر مدنظر به صورت تصادفی مقداردهی شده‌اند، اقدام به پیش‌بینی مصـرف آب می‌شـود. در نهایت میزان اختلاف این دو پیش‌بینی نشـان از درجه اهمیت آن متغیر خواهد داشـت. این کار برای تمام درخت‌های تصـمیم جنگل و داده‌های OOB مخصـوص هر درخت اجرا شـده و در نهایت از میانگین آن‌ها برای میزان اهمیت متغیرها

استفاده می‌شود. جدول‌های (۲) و (۳) و نمودارهای (۲) و (۳) این درجه اهمیت‌ها را برای داده‌های شهری و روستایی نشان می‌دهند.

**جدول ۲- میزان اهمیت متغیرها در تعیین مخارج آب**

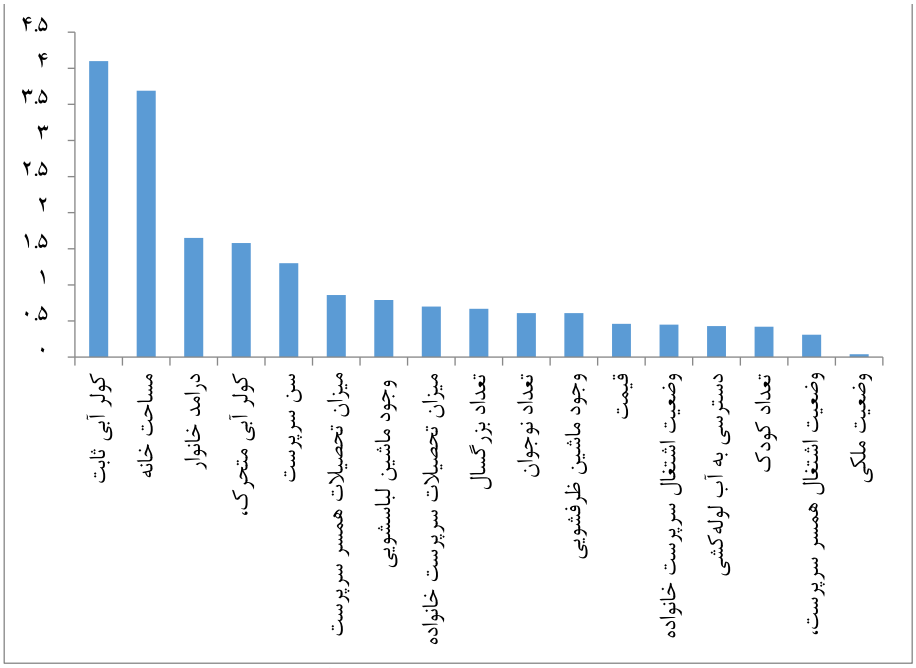
| | عامل | داده‌های شهری | داده‌های روستایی |
|---|---|---|---|
| X1 | درآمد خانوار | ۱/۶۵ | ۱/۰۷ |
| X2 | قیمت | ۰/۴۶ | ۰/۷۰ |
| X3 | تعداد کودک | ۰/۴۲ | ۰/۱۵ |
| X4 | تعداد نوجوان | ۰/۶۱ | ۰/۵۱ |
| X5 | تعداد بزرگسال | ۰/۶۷ | ۰/۵۳ |
| X6 | میزان تحصیلات سرپرست خانواده | ۰/۷ | ۰/۸۵ |
| X7 | میزان تحصیلات همسر سرپرست | ۰/۸۶ | ۱ |
| X8 | سن سرپرست | ۱/۳ | ۱/۱۲ |
| X9 | مساحت خانه | ۳/۶۹ | ۲/۶۶ |
| X10 | وجود ماشین لباس‌شویی | ۰/۷۹ | ۰/۶۴ |
| X11 | ماشین ظرف‌شویی | ۰/۶۱ | ۰/۰۳ |
| X12 | کولر آبی متحرک | ۱/۵۸ | ۲/۳ |
| X13 | کولر آبی ثابت | ۴/۱ | ۳/۱ |
| X14 | دسترسی به آب لوله‌کشی | ۰/۴۳ | ۰/۶ |
| X15 | وضعیت اشتغال سرپرست خانواده | ۰/۴۵ | ۰/۸۷ |
| X16 | وضعیت اشتغال همسر سرپرست | ۰/۳۱ | ۰/۷۲ |
| X17 | وضعیت ملکی | ۰/۰۴ | ۰/۲ |

ماخذ: یافته‌های پژوهش

**جدول ۳- تفکیک عوامل موثر بر مخارج آب مصرفی خانوارهای روستایی و شهری برحسب سطح تاثیر**

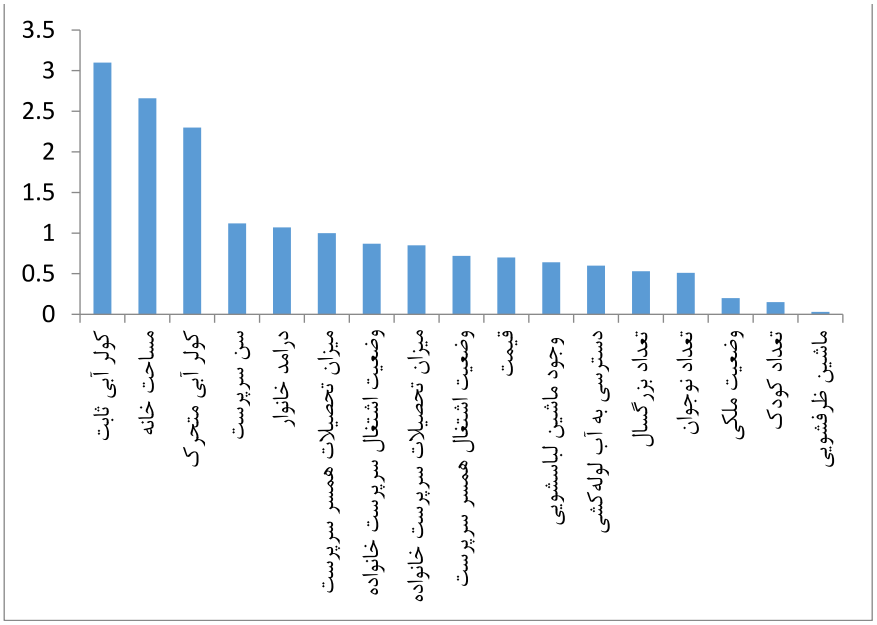
| سطح تاثیرگذاری عوامل | عوامل موثر بر خانوارهای روستایی | عوامل موثر بر خانوارهای شهری |
|---|---|---|
| سطح ۱ | کولر ابی ثابت – مساحت خانه – کولر آبی متحرک - سن سرپرست – درآمد خانوار - میزان تحصیلات همسر سرپرست خانوار | کولر آبی ثابت- مساحت خانه – درآمد خانوار – کولر آبی متحرک - سن سرپرست |
| سطح ۲ | وضعیت اشتغال سرپرست خانواده – میزان تحصیلات سرپرست خانواده – وضعیت استغال همسر سرپرست – قیمت – وجود ماشین لباس‌شویی- دسترسی به آب لوله- کشی – تعداد بزرگسال – تعداد نوجوان | میزان تحصیلات همسر سرپرست – وجود ماشین لباس‌شویی- میزان تحصیلات سرپرست خانوار – تعداد بزرگسال – تعداد نوجوان – ماشین ظرف‌شویی |
| سطح۳ | وضعیت ملکی – تعداد کودک – ماشین ظرف‌شویی | قیمت – وضعیت اشتغال سرپرست خانواده – دسترسی به آب لوله کشی – تعداد کودک- وضعیت اشتغال همسر سرپرست خانوار- وضعیت ملکی |

ماخذ: یافته‌های پژوهش




**نمودار ۲- درجه اهمیت متغیرهای ۱۷گانه در مخارج آب در خانوارهای شهری**

ماخذ: یافته‌های پژوهش




**نمودار ۳- درجه اهمیت عوامل۱۷ گانه در مخارج آب خانوارهای روستایی**

ماخذ: یافته‌های پژوهش

سطح‌بندی متغیرها از نظر اهمیت به معنای رتبه‌بندی میزان تاثیر تغییرات هر یک از عوامل بر تابع مخارج مصرفی آب خانوارها است که نشان‌دهنده تاثیر بر الگوی مصرف آن‌ها است. جهت تسهیل در استفاده از نتایج شبیه‌سازی، عوامل موثر بر مخارج مصرفی آب خانوارها با توجه به درجه اهمیت و بازه اعداد به دست آمده که در قسمت‌های قبل و به ویژه در جدول (۲) به طور کامل شرح داده شدند به سه سطح تاثیرگذاری یک تا سه تفکیک شدند. به ترتیب درجه اهمیت‌های ۱ و بالاتر از ۱ سطح تاثیر اول (سطح زیاد) و بازه بین اعداد (۱-۰/۵) سطح تاثیر دوم (سطح متوسط) و کمتر از ۰/۵ سطح تاثیر سوم (سطح کم) نامیده شدند. با توجه به نتایج شبیه‌سازی از میان ۱۷ متغیر به‌کار گرفته شده در مدل، متغیرهای کولر آبی ثابت، مساحت خانه، درآمد خانوار، کولر آبی متحرک و سن سرپرست خانوار مهم‌ترین متغیرهایی هستند که بیشترین تاثیر را بر مصرف آب خانوارها می‌گذارند. به غیر از میزان تحصیلات همسر سرپرست که عامل بعدی در سطح اول برای خانوارهای روستایی است، سایر متغیرهای این سطح، میان خانوارهای روستایی و شهری

مشترک هستند. در واقع می‌توان این‌گونه بیان کرد که ۵ متغیر بیان شده، مهم‌ترین متغیرهای موثر بر مصرف آب خانگی در سطح کشور هستند و سیاست‌گذاران برای رسیدن به هدف تغییر الگوی مصرف باید بر تغییر این متغیرها تمرکز کنند. کولر آبی برخلاف سایر لوازم‌های خانگی آبی به طور معمول و پایدار در خانه‌ها مورد استفاده قرار نمی‌گیرد و بیشتر از همه لوازم‌های خانگی میزان استفاده از آن به شرایط آب و هوایی و مساحت خانه بستگی دارد. با افزایش دمای هوا و افزایش مساحت خانه، میزان استفاده از کولر و به تبع آن مصرف آب افزایش می‌یابد (راثنایاکا و همکاران، ۲۰۱۵) به همین دلیل برخلاف سایر لوازم خانگی تغییرات استفاده از کولر در مخارج آب خانوارها از سایر لوازم خانگی که مصرف متداول‌تری دارند، محسوس‌تر است. همچنین با توجه به داده‌های مربوط به بودجه خانوار ایران، کولر به عنوان یک وسیله خانگی معمول برای تمامی خانوار به حساب نمی‌آید و بسیاری از خانوارها کولر ندارند به همین دلیل استفاده از آن می‌تواند الگوی مصرف خانوار را تغییر دهد در حالی که اگر به عنوان یک وسیله همگانی بود که خانوارها همواره از آن استفاده می‌کردند، نمی‌توانست به عنوان متغیر تاثیرگذار در تغییر مخارج آب خانوار عمل کند. درآمد خانوار نیز به عنوان یکی دیگر از عوامل مهم اثرگذار در مخارج مصرفی خانوارها، رابطه مثبت با مصرف آب دارد. این عامل برای تمامی خانوارها چه در سطح روستایی و چه در سطح شهرها از اهمیت زیادی برخوردار است و تغییراتی که در الگوی مصرف ایجاد می‌کند بیشتر بر مصارف بیرونی آب مانند باغبانی و استخر و... است (دالهوسین و همکاران، ۲۰۰۳ و باومن و همکاران، ۱۹۹۸). جالب این‌که به دلیل تفاوت نوع زندگی روستاییان و شهر نشینان، درآمد در میان خانوارهای شهری در مقایسه با خانوارهای روستایی از اهمیت بیشتری برخوردار است. شاید بتوان این تفاوت را به تاثیر بیشتر درآمد در خانوارهای شهری بر مصارف بیرونی آب به دلیل سبک زندگی آپارتمان‌نشینی در شهرها دانست در حالی که در روستاییان افزایش درآمد احتمالا بیشتر از مصارف بیرونی آب خانگی از طریق کانال‌های افزایش مساحت خانه و یا کاهش حساسیت خانوارهای روستایی به سیاست‌های قیمتی آب اثر می‌گذارد.

مساحت خانه نیز از پراهمیت‌ترین متغیرهای تاثیرگذار بر مخارج مصرفی آب خانوارها است که رابطه مستقیم با میزان مصرف آب دارد. با افزایش مساحت خانه و نوع محوطه‌سازی و فضای سبز مصرف آب نیز افزایش می‌یابد (ونتز و گوبر، ۲۰۰۷). این متغیر در هر دو گروه

خانوارهای شهری و روستایی از درجه اهمیت یکسانی برخوردار است.

سن سرپرست خانواده بر سبک زندگی خانوارها، درآمد خانوار، زمانی که افراد در خانه سپری می‌کنند، می‌تواند تاثیرگذار باشد. رابطه میان توزیع سنی و میزان مصرف آب خانوار، همان طور که در بخش‌های قبل بیان شد در همه جوامع یکسان نیست و ممکن است در برخی خانوارها باعث افزایش مصرف آب خانگی و در بخشی منجر به کاهش آن شود (وائیل و همکاران، ۲۰۱۶ و ناگس و توماس،۲۰۰۰)، اما آنچه از نتایج مشخص است، تغییرات در سن سرپرست بر مصرف آب خانوار تاثیر دارد. حال مسیر این اثرگذاری می‌تواند از طریق تغییرات درآمدی و یا تغییرات در مدت زمان سپری شده در خانه و نوع مصارف آب باشد. سن سرپرست در خانوارهای روستایی از نظر اولویت‌بندی درجه اهمیت در مقایسه با خانوارهای شهری از اهمیت بیشتری برخوردار است. احتمالا این نتیجه به این دلیل باشد که تغییرات سن سرپرست در خانوارهای روستایی به علت ماهیت فیزیکی کسب و کارها و فعالیت‌های اقتصادی اثر بیشتری بر درآمد آن‌ها دارد و از این مسیر تغییرات بیشتری نیز در مصرف آب خانوارها ایجاد می‌کند.

میزان تحصیلات همسر سرپرست خانوار به عنوان آخرین عامل مهم در سطح اول برای خانوارهای روستایی شناسایی شده است. با توجه به این‌که اکثر امور بهداشتی، پخت و پز و... در خانه‌ها توسط زنان انجام می‌شوند، تحصیلات زنان در خانواده‌ها از اهمیت بیشتری در مقایسه با مردان در رابطه با مصرف آب برخوردار است، چراکه میزان تحصیلات آن‌ها از چند مسیر می‌تواند بر میزان مصرف خانوارها تاثیر گذارد. میزان تحصیلات زنان خانوار می‌تواند بر اشتغال زنان و به تبع آن درآمد خانوارها یا انجام امور بهداشتی و نظافتی بیشتر و یا نگرش‌های حفظ محیط زیست تاثیر بگذارد (ساندیفورد و همکاران، ۱۹۹۰). دلیل عدم شناسایی این متغیر برای خانوارهای شهری در این سطح از اهمیت را می‌توان در این دانست که اکثر زنان در خانوارهای شهری از سطوح اولیه دانش و تحصیلات لازم که می‌تواند تاثیر قابل توجهی بر میزان مصرف آب خانواده بگذارد، برخوردارند به همین دلیل این متغیر برای خانوارهای شهری در سطح اهمیت پایین‌تری قرار گرفته است و تغییرات در آن مقدار مصرف خانوار را چندان تغییر نمی‌دهد در حالی که بر عکس میزان تحصیلات همسران در خانوارهای روستایی می‌تواند تغییرات محسوسی را در میزان مصرف آب ایجاد کند.

متغیرهای میزان تحصیلات سرپرست خانوار، تعداد بزرگسال، تعداد نوجوان و وجود ماشین لباس‌شویی از متغیرهای مشترک در سطح دوم اهمیت برای خانوارهای روستایی و شهری هستند.

سطح تحصیلات سرپرست خانوار نیز می‌تواند رابطه‌ای مانند میزان تحصیلات همسر خانوار داشته باشد و از طریق افزایش درآمد، استانداردهای اصول بهداشتی و نگرش‌های محیط زیستی بر مصرف آب تاثیر بگذارد. آنچه واضح است به واسطه نقش جدی‌تر زنان در انجام امور بهداشتی خانواده و پخت و پز خانه، این متغیر در مقایسه با سطح تحصیلات همسر سرپرست از درجه اهمیت پایین‌تری برخوردار است (کشاورزی و همکاران، ۲۰۰۶). با توجه به اثر بیشتری که تحصیلات در میان خانواده‌های روستایی می‌تواند بر درآمد و رعایت اصول بهداشتی داشته باشد، این متغیر در میان متغیرهای سطح دوم خانوارهای روستایی در رده بالاتری قرار گرفته است. علت آن را می‌توان این‌گونه بیان کرد که اکثر سرپرستان خانوارهای شهری از تحصیلات لازم برخوردارند، اما در میان روستاییان تغییرات تحصیلات سرپرست می‌تواند منجر به تغییرات بیشتری در الگوی مصرف شود.

تعداد نوجوانان و تعداد بزرگسالان علاوه بر اثری که از طریق تعداد اعضای خانوار بر مصرف آب خانگی دارند، می‌تواند از طریق توزیع سنی نیز بر مصرف آب خانوار اثرگذار باشد. با افزایش تعداد اعضای خانوار، میزان استفاده از آب مصرفی افزایش می‌یابد (آربئوس و همکاران، ۲۰۰۴)، اما همانطور که بیان شد بر اساس مطالعات انجام شده، اثر توزیع سنی بر مصرف آب خانوارها یکسان نیست (لیمان،۱۹۹۲ و اشلیخ و هیلنبرند، ۲۰۰۹). افزایش تعداد بزرگسالان بر تعداد افراد شاغل در خانوار اثر گذاشته و از طرق مختلف از جمله میزان حضور در خانه، درآمد خانوار، استفاده از لوازم آبی خانگی مانند لباس‌شویی، ظرف‌شویی، کولر و یا رعایت سایر امور بهداشتی می‌تواند تاثیر بگذارد. با افزایش تعداد نوجوانان نیز یکی از اثرات بسیار محتمل، افزایش میزان استفاده از حمام و لباس‌شویی است که با افزایش تعداد نوجوانان افزایش می‌یابد (می‌یر و همکاران، ۱۹۹۹).

سایر متغیرهای شناسایی شده در سطح دوم میان خانوارهای روستایی و شهری متفاوتند. وضعیت اشتغال سرپرست خانوار در میان خانوارهای روستایی از درجه اهمیت بالاتری در مقایسه با خانوارهای شهری برخوردار است. این متغیر برای خانوارهای شهری در سطح اهمیت سوم قرار گرفته است. وضعیت اشتغال سرپرست خانوار بیشترین اثر را از طریق

میزان درآمد بر مصـــرف آب خانوار می‌گذارد. تفاوت ســـطح این متغیر بین خانوارهای شهری و روستایی می‌تواند به این دلیل باشد که میزان درآمد خانوارهای شهری می‌تواند از طرق دیگری غیر از اشـــتغال ســـرپرســـت خانوار که تامین‌کننده میزان مخارج آب باشـــد، حاصل شود، اما درآمد خانوارهای روستایی وابستگی بیشتری با اشتغال آن‌ها دارد.

وضعیت اشتغال همسر سرپرست در خانوارهای روستایی در مقایسه با خانوارهای شهری هم از نظر تاثیری که بر درآمد خانوار دارد و هم از نظر زمانی که همســـر ســـرپرســـت در مقایســـه با ســـایر زنان روســـتایی در خانه ســـپری می‌کند از اهمیت بیشـــتری در مقایســـه با خانوارهای شهری برخوردار است و بنابراین، تاثیر بیشتری بر مصرف آب می‌گذارد.

قیمت به عنوان عامل مهم در تقاضای تمامی کالاها، در مصرف آب خانوارهای روستایی و شهری نیز اهمیت دارد، اما درجه اهمیت آن برای خانوارهای روستایی بیشتر از خانوارهای شـهری اسـت. طبیعی اسـت که خانوارهای شـهری به دلیل برخورداری از سـطح درآمد بالاتر نسـبت به روسـتاییان حسـاسـیت کمتری به تغییرات قیمتی در مقایسـه با خانوارهای روسـتایی داشـته باشـند. قرار گرفتن قیمت در رده‌های پایین‌تر تاثیرگذاری در مقایسـه با سـایر عوامل به کشش کم تقاضای آب و ضروری بودن آن ارتباط دارد (داگنو، ۲۰۱۲).

دسترسی به آب لوله‌کشی نیز متغیری است که بیشتر برای روستاییان موضوعیت دارد و به همین دلیل درجه اهمیت آن برای خانوارهای روستایی در سطح دوم، اما برای خانوارهای شهری در سطح سوم قرار گرفته است. هر چقدر دسترسی خانوارها به لوله‌کشی آب بیشتر باشد، طبیعتا میزان مصرف آب افزایش می‌یابد. این متغیر برای خانوارهای شهری از اهمیت بسیار پایینی برخوردار است، چراکه به ندرت خانوار شهری یافت می‌شود که دسترسی به آب لوله‌کشی نداشته باشد (کشاورزی و همکاران، ۲۰۰۶).

ماشین ظرف‌شویی لوازم خانگی بعدی است که برای خانوارهای شهری در سطح دوم اهمیت قرار گرفته اســـت. با افزایش تعداد شـــاغلان خارج از خانه و افزایش درآمد و نگرش‌های صرفه‌جویانه مصرف آب میزان استفاده از ماشین ظرف‌شویی افزایش می‌یابد. ماشین ظرف‌شویی برای خانوارهای روستایی در سطح اهمیت سوم قرار دارد، زیرا اکثر خانوارهای روســـتایی یا ماشـــین ظرف‌شـــویی ندارند و یا در صـــورت داشـــتن ماشـــین ظرف‌شـــویی به دلایل فرهنگی به ندرت از آن اســـتفاده می‌کنند. به همین دلیل وجود یا عدم وجود این وسـیله تغییر خاصـی در مخارج مصـرف آب خانوارهای روسـتایی ایجاد

نمی‌کند (وائیل و همکاران، ۲۰۱۶).

تعداد کودک و وضعیت ملکی برای هر دو خانوارهای شهری و روستایی در سطح سوم اهمیت قرار دارد. تعداد کودکان تاثیر کمتری بر میزان مصرف آب خانوارها در مقایسه با گروه‌های سنی دیگر اعضای خانوار دارد. براساس مبانی نظری وضعیت ملکی منجر به استفاده از لوازم خانگی آبی کاراتر و کم‌مصرف‌تر می‌شود که با توجه به وضعیت خانه‌ها در کشور و نوع وسایل مورد استفاده خانواده‌ها و عدم فرهنگ‌سازی کافی برای استفاده از لوازم کاراتر درکشور به نظر می‌رسد این متغیر تاثیر چندانی در مخارج مصرفی آب خانوارهای ایرانی ندارد (بیلینگز و دی، ۱۹۸۹).

## ۷- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این پژوهش به شناسایی و رده‌بندی اهمیت عوامل تاثیرگذار بر مخارج آب خانگی پرداخته شده است. تابع مخارج مصرف از عوامل بسیاری متاثر بوده و با توابع صریح ریاضی به طور دقیق قابل بیان نیست. در همین راستا در این پژوهش از الگوریتم غیرخطی جنگل تصادفی برای یادگیری الگوی مصرفی آب استفاده شده است. ۱۷ عامل به عنوان عوامل اساسی تاثیرگذار بر مصرف آب در مدل وارد شدند و در سه سطح تاثیرگذاری یک (زیاد)، دو (متوسط)، سه (کم) طبقه‌بندی شدند. این نتایج ابزارهای مناسبی را در اختیار سیاست‌گذاران قرار می‌دهند تا با توجه به توانایی ایجاد تغییر در الگوی مصرف و مخارج آب خانوارها وارد عمل شوند. با اتکا به نتایج حاصل شده می‌توان دریافت که برای دستیابی به هدف کنترل مصرف آب، مهم‌ترین متغیرهایی که باید به عنوان ابراز بر آن‌ها تمرکز کرد متغیرهای سطح اول جدول هستند و بهتر است تعرفه‌گذاری‌ها براساس این متغیرها انجام شوند. به طور مثال، برای استفاده از تسهیلات مصرف‌کننده آب، بهتر است براساس درجه اهمیت آن‌ها تعرفه‌گذاری انجام شود. مثلا برای کولرهای آبی تعرفه بیشتری تعیین کرد و سیاست‌های تشویقی برای استفاده از انواع دیگر کولرها مانند کولرهای گازی طرح کرد.

با توجه به اهمیت زیادی که مساحت خانه در مصرف آب دارد، بهتر است نرخ‌گذاری‌های آب به مساحت خانه وابستگی داشته باشند و خانه‌هایی که مساحت بیشتر از میانگین مساحت خانه‌های جامعه دارند، شامل نرخ‌های بالاتر شوند. درآمد خانوار نیز به عنوان یکی از مهم‌ترین

عوامل تاثیرگذار می‌تواند به عنوان ابزاری برای سیاست‌گذاری مورد استفاده قرار گیرد و خانوارها با درآمد بالاتر قیمت‌های بیشتری را برای مصرف آب بپردازند.

همچنین با توجه به اهمیت سن سرپرست، توزیع سنی را می‌توان به عنوان یکی از معیارهای سیاست‌گذاری در نظرگرفت و تعرفه‌گذاری‌ها را براساس ساختار سنی خانوارها، تعداد آن‌ها و ترکیب جنسیتی و تعداد کودک و نوجوان انجام شوند. علاوه بر این، با توجه به سطح تاثیرگذاری میزان تحصیلات همسر سرپرست در خانوارها که منجر به افزایش آگاهی و تغییرات نگرشی در رابطه با مسائل بهداشتی و محیط زیستی می‌شود، می‌توان سیاست‌هایی را در راستای فرهنگ‌سازی و افزایش آگاهی خانوارها به ویژه مادران و سرپرستان خانوار اجرا کرد و از این طریق بر الگوی مصرف خانوار تاثیر گذاشت و نحوه بهینه مصرف را همزمان با رعایت سطوح بالاتر استانداردهای بهداشتی آموزش داد.

استفاده از ماشین لباس‌شویی برای هر دو خانوارهای روستایی و شهری از سطح اهمیت دوم برخوردار است و با توجه به میزان صرفه‌جویی ماشین‌های لباس‌شویی و ظرف‌شویی در مقایسه با انجام دستی آن‌ها در مصرف آب می‌توان برنامه‌هایی را برای ترغیب خانوارها برای خرید نوع کم مصرف این لوازم در نظر گرفت و یا حمایت‌های مالی از طرف دولت برای خرید این لوازم صورت گیرد.

قیمت با توجه به مبانی نظری از متغیرهای نسبتا کم اهمیت در تغییر رفتار مصرف‌کننده آب است و در اغلب مطالعات تقاضای آب نسبت به قیمت بی‌کشش ذکر شده است، بنابراین با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان به این نتیجه رسید که سیاست‌های مبتنی بر تغییر قیمت هر واحد آب به تنهایی نمی‌توانند از کارایی لازم برخوردار باشد و بهتر است برای کنترل مصرف آب دنبال نشوند.

در رابطه با وضعیت ملکی و نوع اهمیت آن برای افزایش نقش این متغیر می‌توان سیاست‌های تشویقی برای مالکانی که در تجهیز خانه‌هایشان از تسهیلات خانگی آبی کم‌مصرف استفاده می‌کنند، به‌کار گرفت.

## پیوست

برنامه MATLAB مربوط به اجرای جنگل تصادفی بر روی داده‌های مخارج آب

```
Washing Machine=categorical(Washing Machine);
Movale Cooler=categorical(Movable Cooler);
Dishwasher=categorical(Dishwasher);
Residential Water=categorical(Residential Water);
Fixed Cooler=categorical(Fixed Cooler);
HHemployment=categorical(HHemployment);
SHemployment=categorical(SHemployment);
Ownership=categorical(Ownership);

NOV=۱۷;
X=table(Expenditure,Nchild,Nteen,Nadult,HHdegree,SHdegree,HHage,Total Floor Area,…
price,Washing_Machine,Movable_Cooler,Dishwasher,Residential_Water,Fixed_Cooler,…
HHemployment,SHemployment,Ownership,Water Exp);
countLevels = @(x)numel(categories(categorical(x)));

numLevels = varfun(countLevels,X(:,1:end-1),'OutputFormat','uniform');
t = templateTree('NumVariablesToSample','all','PredictorSelection',…
'interaction-curvature','Surrogate','on');
rng(1 RMSE);
Mdl = fitrensemble(X,'Water Exp','Method','bag','NumLearningCycles',200,'Learners',t);

yHat = oobPredict(Mdl);
MeAd =MeAD func(Mdl.Y,yHat)
=RMSE func(Mdl.Y,yHat)
MAPE =MAPE func(Mdl.Y,yHat)
R2 = corr(Mdl.Y,yHat)^2

impOOB = oobPermutedPredictorImportance(Mdl);

figure;
bar(impOOB);
title('Unbiased Predictor Importance Estimates');
xlabel('Predictor variable');
ylabel('Importance');
h = gca;
h.XTickLabel = Mdl.PredictorNames;
set(h,'XTick',1:1:NOV);
h.XTickLabelRotation = 45;
h.TickLabelInterpreter = 'none';

[impGain,predAssociation] = predictorImportance(Mdl);

figure;
plot(1:numel(Mdl.PredictorNames),[impOOB' impGain']);
title('Predictor Importance Estimation Comparison')
xlabel('Predictor variable');
ylabel('Importance');
h = gca;
h.XTickLabel = Mdl.PredictorNames;
h.TickLabelInterpreter = 'none';
legend('OOB permuted','MSE improvement')
gridon

figure;
imagesc(predAssociation);
title('Predictor Association Estimates');
colorbar;
h = gca;
h.XTickLabel = Mdl.PredictorNames;
h.TickLabelInterpreter = 'none';
h.YTickLabel = Mdl.PredictorNames
```

## منابع


اسمعیل‌نیا بالاگتابی، فاطمه، سرلک، احمد و غفاری، هادی (۱۳۹۷). بررسی و تحلیل تقاضای آب شرب با استفاده از تابع مطلوبیت استون گری: مطالعه موردی منطقه ورامین. *تحقیقات اقتصاد کشاورزی*، دوره ۱۰، شماره ۳، ۱۵۰-۱۳۱.

ادیب‌پور، مهدی و شیرآشیانی، رحیمه(۱۳۹۳). برآورد تابع تقاضای آب خانگی استان گلستان. *فصلنامه مدلسازی اقتصادی*، دوره ۲۶، شماره ۲، ۱۰۶-۹۱.

پژویان، جمشید و حسینی، سید شمس‌الدین(۱۳۸۲). برآورد تابع تقاضای آب خانگی (مطالعه موردی شهر تهران). *فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی ایران*، شماره ۱۶، ۶۷-۴۷.

تابش، مسعود، بهبودیان، صادق و بیگی، سهیلا (۱۳۹۳). پیش‌بینی بلند مدت تقاضای آب شرب (مطالعه موردی: شهر نیشابور)، *تحقیقات منابع آب ایران*، دوره ۱۰، شماره ۳، ۲۵-۱۴.

تابش، مسعود و دینی، مهدی (۱۳۸۹). پیش‌بینی تقاضای روزانه آب شهری با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی، مطالعه موردی: شهر تهران. *آب و فاضلاب*، دوره ۲۱، شماره ۱، ۹۵-۸۴.

جمالی، غلامرضا و زمانی، سامان (۱۳۹۴). عوامل موثر بر الگوی مصرف آب و بهینه‌سازی آن در بخش خانگی مناطق روستایی(مطالعه موردی: مناطق روستایی شهرستان بوشهر). *آب و توسعه پایدار*، دوره ۲، شماره ۱، ۸۶-۸۱.

خوش اخلاق، رحمان و شهرکی، جواد (۱۳۸۷). برآورد تابع تقاضای آب خانگی در شهر زاهدان. *پژوهش‌های رشد و توسعه پایدار (پژوهش‌های اقتصادی)*، دوره ۸ شماره ۴، ۱۴۵-۱۲۹.

سجادی‌فر، سید حسین و خیابانی، ناصر (۱۳۹۰). مدلسازی تقاضای آب خانگی با استفاده از روش مدل عوامل تصادفی،مطالعه موردی: شهر اراک. *آب و فاضلاب*، دوره ۲۲، شماره ۳، ۶۸-۵۹.

فلاحی، محمدعلی، انصاری، حسین و مقدس، سعیده (۱۳۹۱). ارزیابی عوامل موثر بر مصرف آب شرب خانوار و پیش‌بینی تقاضای آن: روش داده‌های تابلویی. *آب و فاضلاب*، دوره ۲۳، شماره ۴، ۸۷-۷۸.

کاظمی، محمدجواد، جلیلی قاضی‌زاده، محمدرضا و دارابی، علی (۱۳۹۶). مروری بر برخی از روش‌های پیش‌بینی تقاضای مصرف آب شهری، شرکت آب و فاضلاب کشور. *اولین همایش مدیریت مصرف و هدر رفت آب*.

محمدی دینانی، منصور و اکبری، حسین (۱۳۷۹). تخمین تابع تقاضای آب شرب در شهر کرمان. *پژوهش‌های اقتصادی ایران*، شماره ۷. ۷۸-۶۷.

Agthe, D. E., & Billings, R. B. (1980). Dynamic models of residential water demand. *Water Resources Research*, 16(3), 476-480.

Aho, M. I., Akpen, G. D., & Ivuwe, P. (2016). Determinants of residential per capita water demand of makurdi metropolis. *Nigerian Journal of Technology*, 35(2), 424-431.

Arbués, F., Garcıa-Valiñas, M. Á., & Martınez-Espiñeira, R. (2003). Estimation of residential water demand: a state-of-the-art review. *The Journal of Socio-Economics*, 32(1), 81-102.

Arbués, F., Villanúa, I., & Barberán, R. (2010). Household size and residential water demand: an empirical approach. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 54(1), 61-80.

Arndt, C. (2003). *Information measures: information and its description in science and engineering.* Springer Science & Business Media.

Arouna, A., & Dabbert, S. (2010). Determinants of domestic water use by rural households without access to private improved water sources in Benin: A seemingly unrelated Tobit approach. *Water Resources Managemen*t, 24(7), 1381-1398.

Baumann, D. D., Boland, J., & Hanemann, W. M. (1998). *Urban water demand management and planning* (pp. 1-10). New York: McGraw-Hill.

Bilal, K. K. (2018). Assessment of Domestic Water Consumption Quantity in The Jalalabad City, Afghanistan. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 9(4), 1206-1215.

Billings, R. B., & Day, W. M. (1989). Demand management factors in residential water use: The southern Arizona experience. *Journal-American Water Works Association*, 81(3), 58-64.

Carver, P. H., & Boland, J. J. (1980). Short-and long-run effects of price on municipal water use. *Water Resources Research*, 16(4), 609-616.

Cavanagh, S. M., Hanemann, W. M., & Stavins, R. N. (2002). Muffled price signals: household water demand under increasing-block prices.

Chicoine, D. L., Deller, S. C., & Ramamurthy, G. (1986). Water demand estimation under block rate pricing: a simultaneous equation approach. *Water Resources Research*, 22(6), 859-863.

Dagnew, D. C. (2012). Factors determining residential water demand in north western Ethiopia, the case of Merawi (Doctoral dissertation, Cornell University).

Domene, E., & Saurí, D. (2006). Urbanisation and water consumption: Influencing factors in the metropolitan region of Barcelona. *Urban Studies*, 43(9), 1605-1623.

Dalhuisen, J. M., Florax, R. J., De Groot, H. L., & Nijkamp, P. (2003). Price and income elasticities of residential water demand: a meta-analysis. *Land Economics*, 79(2), 292-308.

Edwards, K., & Martin, L. (1995). A methodology for surveying domestic water consumption. *Water and Environment Journal*, 9(5), 477-488.

Gardner, K. (2010). Residential water demand modelling and behavioural economics (Doctoral dissertation, University of East Anglia).

Gaudin, S., Griffin, R. C., & Sickles, R. C. (2001). Demand specification for municipal water management: evaluation of the Stone-Geary form. *Land Economics*, 77(3), 399-422.

Geudens, P. J. J. G., & Grootveld, J. (2012). Dutch drinking water statistics 2012. Rijswijk: Association of Dutch water companies (VEWIN).

Rathnayaka, K., Malano, H., Maheepala, S., George, B., Nawarathna, B., Arora, M.,

& Roberts, P. (2015). Seasonal demand dynamics of residential water end-uses. *Water*, 7(1), 202-216.

Ghadami, F., Takhtfiroozeh, S., Rajabi, Z., Akbari, H., & Rabbani, D. (2018). Modeling of water consumption per capita in Kashan as an Iranian desert area with a view to Global warming. *Journal of Entomological Research*, 42(1), 143-150.

Grafton, R. Q., Ward, M. B., To, H., & Kompas, T. (2011). Determinants of residential water consumption: Evidence and analysis from a 10-country household survey. *Water Resources Research*, 47(8).

Ho, T. K. (1995, August). Random decision forests. In Proceedings of 3rd international conference on document analysis and recognition (Vol. 1, pp. 278-282). IEEE.

Hoffmann, M., Worthington, A., & Higgs, H. (2006). Urban water demand with fixed volumetric charging in a large municipality: the case of Brisbane, Australia. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 50(3), 347-359.

Hewitt, J. A., & Hanemann, W. M. (1995). A discrete/continuous choice approach to residential water demand under block rate pricing. *Land Economics*, 173-192.

Howe, C. W., & Linaweaver Jr, F. P. (1967). The impact of price on residential water demand and its relation to system design and price structure. *Water Resources Research*, 3(1), 13-32.

Jansen, A., & Schulz, C. E. (2006). Water demand and the urban poor: a study of the factors influencing water consumption among households in Cape Town, South Africa. *South African Journal of Economics,* 74(3), 593-609.

Jorgensen, B., Graymore, M., & O'Toole, K. (2009). Household water use behavior: An integrated model. *Journal of Environmental Management*, 91(1), 227-236.

Kallis, G. (1999). Geography of metropolitan areas and the use of water. Report prepared for the METRON project.

Keshavarzi, A. R., Sharifzadeh, M., Haghighi, A. K., Amin, S., Keshtkar, S., & Bamdad, A. (2006). Rural domestic water consumption behavior: A case study in Ramjerd area, Fars province, IR Iran. *Water Research*, 40(6), 1173-1178.

Loh, M., & Coghlan, P. (2003). *Domestic water use study in Perth, Western Australia, 1998-2001* (pp. 1-235). Perth: Water Corporation.

Lyman, R. A. (1992). Peak and off-peak residential water demand. *Water Resources Research*, 28(9), 2159-2167.

Martínez-Espiñeira, R. (2002). Residential water demand in the Northwest of Spain. *Environmental and Resource Economics*, 21(2), 161-187

Mayer, P. W., DeOreo, W. B., Opitz, E. M., Kiefer, J. C., Davis, W. Y., Dziegielewski, B., & Nelson, J. O. (1999). Residential end uses of water.

Mendes-Moreira, J., Soares, C., Jorge, A. M., & Sousa, J. F. D. (2012). Ensemble approaches for regression: A survey. *Acm Computing Surveys (CSUR)*, 45(1), 1-40.

Metcalf, L. (1926). Effect of water rates and growth in population upon per capita consumption. Journal (American Water Works Association), 15(1), 1-21.

Michelsen, A. M., McGuckin, J. T., & Stumpf, D. (1999). NONPRICE WATER CONSERVATION PROGRAMS AS A DEMAND MANAGEMENT TOOL 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 35(3), 593-602.

Millock, K., & Nauges, C. (2010). Household adoption of water-efficient equipment: the role of socio-economic factors, environmental attitudes and policy. *Environmental and Resource Economics*, 46(4), 539-565.

Nauges, C., & Thomas, A. (2000). Privately operated water utilities, municipal price negotiation, and estimation of residential water demand: The case of France. *Land Economics*, 68-85

Olmstead, S. M., Hanemann, W. M., & Stavins, R. N. (2007). Water demand under

alternative price structures. *Journal of Environmental Economics and Management*, 54(2), 181-198.
Opitz, D., & Maclin, R. (1999). Popular ensemble methods: An empirical study. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 11, 169-198.
Pint, E. M. (1999). Household responses to increased water rates during the California drought. *Land Economics*, 246-266.
Quinlan, J. R. (1983). Learning efficient classification procedures and their application to chess end games. *In Machine learning* (pp. 463-482), Berlin, Heidelberg.
Quinlan, J. R. (1986). Induction of decision trees. *Machine learning*, 1(1), 81-106.
Ramsey, E., Berglund, E. Z., & Goyal, R. (2017). The impact of demographic factors, beliefs, and social influences on residential water consumption and implications for non-price policies in Urban India. *Water*, 9(11), 844.
Reynaud, A., & Romano, G. (2018). Advances in the economic analysis of residential water use: An introduction. *Water*, 10(9), 1162.
Reynaud, A. (2015). Modelling household water demand in Europe. Insights from a cross-country econometric analysis of EU, 28.
Rokach, L. (2010). Ensemble-based classifiers. *Artificial Intelligence Review*, 33(1-2), 1-39.
Romano, G., Salvati, N., & Guerrini, A. (2014). Estimating the determinants of residential water demand in Italy. *Water*, 6(10), 2929-2945.
Schleich, J., & Hillenbrand, T. (2009). Determinants of residential water demand in Germany. *Ecological Economics*, 68(6), 1756-1769.
Shan, Y., Yang, L., Perren, K., & Zhang, Y. (2015). Household water consumption: insight from a survey in Greece and Poland. *Procedia Engineering*, 119, 1409-1418.
Sandiford, P., Gorter, A. C., Orozco, J. G., & Pauw, J. P. (1990). Determinants of domestic water use in rural Nicaragua. *The Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 93(6), 383-389.
Stevens, T. H., Miller, J., & Willis, C. (1992). Effect of Price Structure on Residential Water Demand 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 28(4), 681-685.
Suh, D., & Ham, S. (2016). A water demand forecasting model using BPNN for residential building. *Contemp. Eng. Sci*., 9(1), 1-10.
Wa'el A, H., Memon, F. A., & Savic, D. A. (2016). Assessing and modelling the influence of household characteristics on per capita water consumption. *Water Resources Management*, 30(9), 2931-2955.
Wang, Q. R., & Suen, C. Y. (1984). Analysis and design of a decision tree based on entropy reduction and its application to large character set recognition. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, (4), 406-417.
Worthington, A. C., & Hoffmann, M. (2006). A state of the art review of residential water demand modelling.
Worthington, A. C., & Hoffman, M. (2008). An empirical survey of residential water demand modelling. *Journal of Economic Surveys*, 22(5), 842-871.
Wentz, E. A., & Gober, P. (2007). Determinants of small-area water consumption for the city of Phoenix, Arizona. *Water Resources Management*, 21(11), 1849-1863.
Yeh, C. C., Chi, D. J., & Lin, Y. R. (2014). Going-concern prediction using hybrid random forests and rough set approach. *Information Sciences*, 254, 98-110.