Study and Modeling of the Effective Factors on Tehran's Drinking Water Consumption

Nabipoor. M., (Ms.),
Tehran Province Water & Sewage Company

Abstract

Tehran's annual drinking water consumption is 2.5 times higher than that of the last 24 years (1976-1999), while the population has increased only 1.5 fold. Due to Tehran's special geographic conditions and, in case such increasing trend continues, there remains no alternative but transferring water from long distances which cost a lot.

Therefore study and modeling of the factors, which affect consumption, in order to control and design optimal consumption pattern will be of special importance.

In this paper, distribution of maximum and minimum temperature is presented as the "Temperature Indicator " Then Tehran's water consumption modeled by analysis of variance and determining effective factors.

بررسی و مدل‌بندی عوامل مؤثر بر مصرف آب شرب تهران بزرگ

(دریافت : ۷۹/۷/۲۸ پذیرش : ۸۰/۷/۱۷)

مجید نبی‌پور*

چکیده

مصرف سالیانه آب شرب در شهر تهران در طی ۲۴ سال گذشته بیش از ۲/۵ برابر افزایش یافته است و این در حالی است که جمعیت در طی همین دوره ۱/۵ برابر شده است و در صورت ادامه این روند و با توجه به موقعیت جغرافیایی شهر تهران می‌بایست آب از راه‌های بسیار دور به این شهر انتقال یابد که به هزینه‌های هنگفت سرمایه‌گذاری نیاز دارد. لذا بررسی و مدل‌بندی عوامل مؤثر بر مصرف جهت کنترل و طراحی الگوی مصرف بهینه از اهمیتی ویژه برخوردار است. در این مقاله ابتدا ساختمان احتمالی دمای ماکزیمم و می‌نیمم بررسی شده سپس ترکیبی خطی از دمای ماکزیمم و می‌نیمم به عنوان شاخص دما ارائه می‌شود. در ادامه، مدل آنالیز واریانس برای مصرف روزانه آب شرب تهران بزرگ با توجه به شاخص طراحی شده برای دما و دیگر عوامل مؤثر بر مصرف آب شرب تهران بزرگ ارائه و مقدار اثر هر عامل تعیین می‌شود.

مقدمه

در تمام سازمان‌ها، ارگان‌ها و شرکت‌ها به هر نحوی که اعداد، ارقام و یا اطلاعاتی ثبت شوند آمار کاربرد دارد. در ثبت اعداد، ارقام و یا اطلاعات تجربه نهفته است و هنر علم آمار استخراج این تجربه است به عبارت دیگر آمار، ابزاری جهت بررسی و ارائه روش بهبود می‌باشد.

از ابتدای شروع به کار شرکت آب و فاضلاب استان تهران، به صورت پراکنده، کارشناسان این شرکت از دما و رشد جمعیت به عنوان عوامل اصلی مؤثر در مصرف آب شرب تهران بزرگ یاد می‌کردند، اما هیچ یک به صورت مدون و دقیق بر روی این مسئله کار نکرده و صرفاً به عنوان مطالبی گفتاری در شرکت مطرح بود. از طرف دیگر در دانشگاه‌ها تابع تقاضای آب به طرق دیگر مورد ارزیابی قرار می‌گرفت. لذا با توجه به رشته تحصیلی، از دیدگاه آماری بر این مسئله توجه و گامی هر چند کوچک برداشته شد.

در این بررسی، اطلاعات مصرف آب شرب تهران بزرگ در فصل تابستان طی سال‌های ۷۸-۱۳۷۶ (تعداد نمونه ۲۷۹ روز) با روش‌های آنالیز چند متغیره و آنالیز واریانس مورد بررسی قرار گرفته و در خاتمه عامل اصلی جهت کنترل مصرف معرفی می‌گردد.

نکته قابل ذکر این که در نمودارها، آمار مصرف در تمام فصول برای سال‌های ۷۸-۱۳۷۵ مورد بررسی قرار گرفته است و تمامی اطلاعات هواشناسی، جمعیتی و مصرف از معاونت آبرسانی تهران بزرگ در شرکت آب و فاضلاب استان تهران اخذ شده است.

اثر دما بر مصرف روزانه

در طی سال، دما نقش اصلی را در تغییرات مصرف ایفا می‌نماید به طوری که مصرف در فصل تابستان بیشتر از مصرف در فصل زمستان است. طبق بررسی‌های به عمل آمده منحنی رشد مصرف در فاصله حرارتی ۲۴ تا ۳۸ درجه سانتی‌گراد از شیب عمده‌ای برخوردار است و در دو سوی این فاصله حرارتی روند رشد بطئی است.

اندازه درجه حرارت هوا با دو شاخص دمای می‌نیمم و ماکزیمم مشخص می‌شود. این دو شاخص همبسته‌اند به عبارت دیگر وقتی دمای ماکزیمم ۳۶ درجه سانتی‌گراد است دمای می‌نیمم نمی‌تواند ۵ درجه سانتی‌گراد باشد. بالا و پایین بودن دمای ماکزیمم موجب بالا و پایین بودن

* کارشناس ارشد آمار، شرکت آب و فاضلاب تهران

دمای می‌نیمم می‌شود و بالعکس. به عبارت دیگر اطلاعاتی مشترک در هر دو شاخص تکرار می‌شوند. این همبستگی مانع ورود هر دو به طور همزمان در مدل آنالیز واریانس می‌باشد. بنابراین در ابتدا به معرفی توزیع توأم و حاشیه‌ای این دو شاخص می‌پردازیم و سپس تلفیقی از این دو به عنوان شاخص دما معرفی می‌شود. توزیع توأم دمای می‌نیمم و ماکزیمم در فصل تابستان در جدول ۱ معرفی شده است.

اکنون فرض کنید M دمای ماکزیمم، m دمای می‌نیمم و C مصرف روزانه آب شرب تهران بزرگ باشد. توزیع‌های حاشیه‌ای برای دمای ماکزیمم و می‌نیمم به طریق زیر محاسبه می‌شوند:

$$P(M=M_i)=\sum_j P(M=M_i, m=m_j)$$

$$P(m=m_j)=\sum_i P(M=M_i, m=m_j)$$

اوج مصرف در شهر تهران عموماً در دمای ۳۹ درجه سانتی‌گراد و بیشتر اتفاق می‌افتد و در چنین مواقعی انتقال آب از مخازن سدها و چاه‌ها افزایش می‌یابد، لذا جهت مدیریت توزیع، پیش‌بینی دما از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در مثال ذیل سعی بر این است تا پیش‌بینی دما توسط سازمان هواشناسی با توجه به تجارب قبلی مورد ارزیابی قرار گیرد[۹،۸ و ۱۳].

مثال ۱- توسط سازمان هواشناسی پیش‌بینی دما برای ۲۴ ساعت آینده $m = ۲۶$ و $M = ۳۷$ اعلام شده است و طبق تجربه، پیش‌بینی دمای ماکزیمم از ثبات بیشتری برخوردار بوده و پیش‌بینی دمای می‌نیمم دارای نوسان است. با توجه به این نکته ، متوسط شرطی دمای می‌نیمم در ۲۴ ساعت آینده چقدر خواهد بود؟

$$E(m/M=۳۷)=\sum_j m_j P(m=m_j/M=۳۷)=۲۵/۲۴$$

نزدیکی میانگین شرطی دمای می‌نیمم با پیش‌بینی، نشان‌دهنده احتمال بالای وقوع پیش‌بینی می‌باشد. اکنون فرض کنید دمای می‌نیمم ۲۶ درجه سانتی‌گراد است آن گاه میانگین شرطی دمای ماکزیمم چقدر خواهد بود؟

$$E(M/m=۲۶)=\sum_i M_i P(M=M_i/m=۲۶)=۳۶/۷۲$$

میانگین‌های به دست آمده نشان‌گر دقت پیش‌بینی اعلام شده توسط سازمان هواشناسی می‌باشد. دیدگاه دیگر در این مورد، اهمیت و ثبات شاخص دمای ماکزیمم است زیرا مشکلات توزیع و مصرف با توجه به دمای ماکزیمم اتفاق می‌افتند. لذا با توجه به نوسان دمای می‌نیمم و پیش‌بینی ۲۶ درجه سانتی‌گراد، فرض بر تغییرات دمای می‌نیمم حداکثر یک درجه (بالاتر یا پایین‌تر) خواهد بود، آنگاه :

$$E(M/m=\{۲۷،۲۶،۲۵\})=\sum_i M_i P(M=M_i|m=\{۲۷،۲۶،۲۵\})=۳۷/۱۱$$

و جالب این که این پیش‌بینی دقیقاً در ۲۴ ساعت آینده اتفاق افتاده است.

فرض کنید بخواهیم مدلی بر اساس دمای ماکزیمم برای مصرف روزانه آب شرب تهران بزرگ ارائه نماییم در این صورت مدل کلی آنالیز واریانس به صورت زیر خواهد بود [۶،۳و۷] :

$$y_{ijk}=\mu+\beta_M+e_{ijk}$$

$$\mu=\bar{\bar{y}},\ \beta_M=\bar{y}_{i..}-\bar{\bar{y}},\ e_{ijk}=y_{ijk}-\bar{y}_{i..}$$

مصرف روزانه آب شرب تهران بزرگ برابر با مجموع میانگین مصرف روزانه، اثر دمای ماکزیمم وخطا می‌باشد. جدول آنالیز واریانس برای مدل فوق به صورت زیر خواهد بود:

منابع	SS	d.f	M.S	F	Sig of F
دمای ماکزیمم	۲/۰۰۳	۱۶	۰/۱۲۵	۱۰/۲۹۳	۰/۰۰۰
خطا	۳/۱۸۶	۲۶۲	۰/۰۱۲		
کل	۵/۱۸۹	۲۷۸			

R^2 (دمای ماکزیمم) = ۰/۳۸۶

چنانچه ملاحظه می‌شود دمای ماکزیمم بر مصرف روزانه آب شرب تهران بزرگ مؤثر است و میزان این تأثیر ۳۸/۶٪ می‌باشد. به طورکلی دمای ماکزیمم(نمودار۱) را در سه رده می‌توان بررسی کرد :

رده اول : ۵ تا ۲۴ درجه که مصرف در این رده شیبی ملایم دارد.

رده دوم: ۲۵ تا ۳۷ درجه که مصرف در این رده شیبی تند دارد.

رده سوم : ۳۸ درجه و بیشتر که مصرف در این رده شیبی نه چندان تند دارد.

آیا دمای می‌نیمم نیز همچون دمای ماکزیمم در مصرف روزانه آب شرب تهران بزرگ موثر است؟

جدول ۱- توزیع توأم دمای می‌نیمم و ماکزیمم در فصل تابستان.

ماکزیمم / می‌نیمم	۱٤	۱۵	۱٦	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲٤	۲۵	۲٦	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰	۳۱	جمع
۲٦	۲																		۲
۲۷				۲															۲
۲۸		۲	٤		۲														۸
۲۹				۱															۱
۳۰		۲		۲		۱	۳		۲										۱۰
۳۱		۲				۳	۱	۲	۲										۱۰
۳۲			۲				۳	۲	۳	۱									۱۱
۳۳					۳	٤	۱	۱	۵	۳	۱								۱۸
۳٤							۲	۲	٤	٤	۲	۱	۱						۱٦
۳۵							۱	۵	۳	۱۰	۷	۱٤	۵	۱					٤٦
۳٦								۱	٤	۱	۷	٤	۱۰	۵					۳۲
۳۷								۲	۲	٦	۵	٤	۸	۱۰	۳	۱			٤۱
۳۸								۱	۱	۲	۱	۸	۵	۱۰	٦				۳٤
۳۹											۲	۵	۱	٦	٤	۳			۲۱
٤۰										۱		۱	۱	۳	۱	٤	۲		۱۳
٤۱												۳	۱		۲	۵		۱	۱۲
٤۲														۱		۱			۲
جمع	۲	٦	٦	۵	۵	۸	۱۱	۱٦	۲٦	۲۸	۲۵	٤۰	۳۲	۳٦	۱۹	۱۱	۲	۱	۲۷۹

فرض کنید مدل آنالیز واریانس به صورت زیر باشد:

$$y_{ijk} = \mu + \beta_m + e_{ijk}$$

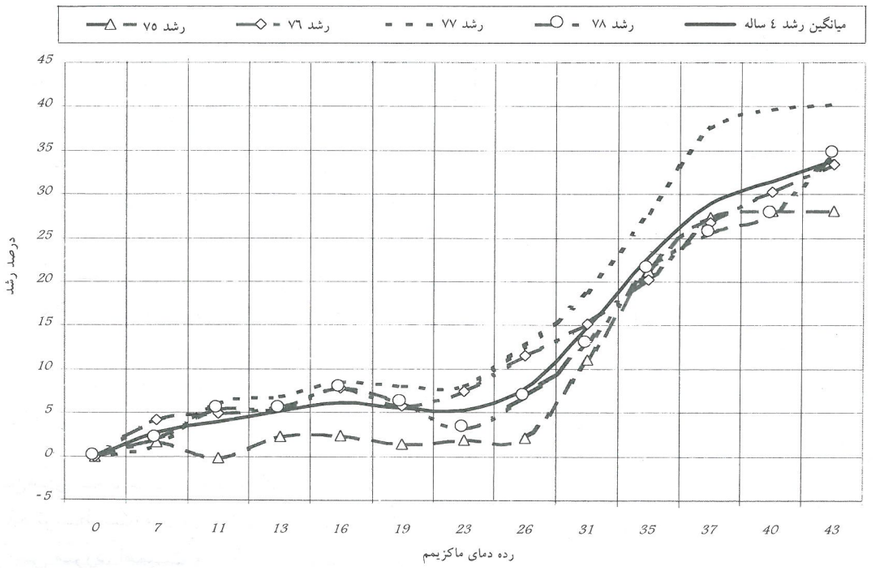
$$\mu = \bar{\bar{y}}, \beta_m = \bar{y}_{i..} - \bar{\bar{y}}, e_{ijk} = y_{ijk} - \bar{y}_{i..}$$

با توجه به مصرف روزانه آب شرب تهران (خطا + اثر دمای می‌نیمم + میانگین مصرف روزانه) جدول آنالیز واریانس به صورت زیر خواهد بود:

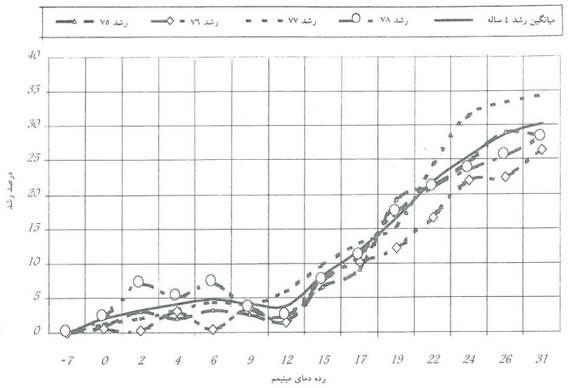
منابع	SS	d.f	M.S	F	Sig of F
دمای می‌نیمم	۱/۷۳۵	۱۷	۰/۱۰۲	۷/۷۰۸	۰ ۰/۰۰۰
خطا	۳/٤۵۵	۲٦۱	۰/۰۱۳۳		
کل	۵/۱۸۹	۲۷۸			

R^2 (دمای می‌نیمم) = ۰/۳۳٤

آنچه که از جدول فوق پیداست تأثیر دمای می‌نیمم بر مصرف روزانه آب شرب تهران بزرگ است و میزان این اثر ۳۳/٤٪ می‌باشد. در نمودار ۲، مشخص است که میانگین چهارساله نسبت به نمودار ۱ ناهموارتر می‌باشد.



نمودار ۱- مقایسه رشد مصرف به تفکیک دمای ماکزیمم با میانگین رشد چهار ساله طی سال‌های ۷۸-۱۳۷۵.



نمودار ۲- مقایسه رشد مصرف به تفکیک دمای می‌نیمم با میانگین رشد چهار ساله طی سال‌های ۷۸-۱۳۷۵.

از طرف دیگر همبستگی دمای می‌نیمم و ماکزیمم $\rho(M,m) = ۰/۸۳٦٦$ بالاست و این امر نشان‌دهنده این است که این دو متغیر تقریباً یکسان هستند و اطلاعات یکی در دیگری تکرار شده است و نمی‌بایست به صورت دو متغیر جداگانه در مدل کلی مد نظر قرار گیرند. لذا می‌بایست ترکیبی از دمای می‌نیمم و ماکزیمم در نظر گرفت به طوری که گویای اطلاعات موجود در دمای می‌نیمم و ماکزیمم باشد و ضمن مؤثر بودن در مصرف، همبستگی بالایی با مصرف روزانه آب شرب تهران بزرگ داشته و واریانس بزرگی نیز داشته باشد.

برای این منظور شاخص‌های گوناگونی معرفی شده و سرانجام یکی به عنوان بهترین شاخص انتخاب می‌شود [۲و٤].

۱-۱- اولین و ساده‌ترین ترکیبی که به نظر می‌رسد میانگین دمای ماکزیمم و می‌نیمم می‌باشد یعنی:

$$T_1 = \frac{1}{2}M + \frac{1}{2}m$$

$$\text{var}(T_1) = ۱۰/۲۰۲۱, \quad \rho(T_1, C) = ۰/۵۹۷۷$$

با توجه به مدل زیر :

$$y_{ijk} = \mu + \beta_{T_1} + e_{ijk}$$

$$\mu = \bar{\bar{y}}, \beta_{T_1} = \bar{y}_{i..} - \bar{\bar{y}}, e_{ijk} = y_{ijk} - \bar{y}_{i..}$$

مصرف روزانه آب شرب تهران برابر با مجموع میانگین مصرف روزانه، اثر T_1 و خطا می‌باشد. جدول آنالیز واریانس به صورت زیر خواهد بود:

منابع	SS	d.f	M.S	F	Sig of F
T_1	۲/۰۹۷	۱٦	۰/۱۳۱	۱۱/۱۰۵	۰/۰۰۰
خطا	۳/۰۹۲	۲٦۲	۰/۰۱۲		
کل	۵/۱۸۹	۲۷۸			

$R^2(T_1) = ۰/٤۰٤$

شاخص T_1 در مصرف روزانه آب شرب مؤثر بوده و میزان این اثر ٤۰/٤٪ می‌باشد.

۱-۲- فرض کنید:

$$T_2 = K_1 M + K_2 m$$

می‌خواهیم K_1 و K_2 را چنان محاسبه کنیم که :

اولاً : $K_1 + K_2 = 1$

ثانیاً : T_2 بیشترین واریانس را داشته باشد بنابراین :

$$T_2 = m$$

$$\text{Var}(T_2) = ۱۱/۹۹, \quad \rho(T_2, C) = ۰/۵۵۵۳$$

در اینجا مدل آنالیز واریانس به صورت زیر خواهد بود:

$$y_{ijk} = \mu + \beta_{T_2} + e_{ijk}$$

$$\mu = \bar{\bar{y}}, \beta_{T_2} = \bar{y}_{i..} - \bar{\bar{y}}, e_{ijk} = y_{ijk} - \bar{y}_{i..}$$

مصرف روزانه آب شرب تهران (خطا + اثر T_2 + میانگین مصرف روزانه) با توجه به مدل فوق دارای جدول آنالیز واریانس به صورت زیر خواهد بود :

منابع	SS	d.f	M.S	F	Sig of F
T_2	۱/۷۳۵	۱۷	۰/۱۰۲	۷/۷۰۸	۰/۰۰۰
خطا	۳/٤۵۵	۲٦۱	۰/۰۱۳۳		
کل	۵/۱۹۰	۲۷۸			

$R^2(T_2) = ۰/۳۳٤$

T_2 در مصرف روزانه مؤثر است و میزان این تأثیر ۳۳/٤٪ است.

۱-۳- فرض کنید :

$$T_3 = K_1 M + K_2 m$$

می‌خواهیم K_1 و K_2 را چنان انتخاب کنیم که :
اولاً $K_1^2 + K_2^2 = 1$ (ترکیب خطی استاندارد SLC)
ثانیاً T_3 بیشترین واریانس را داشته باشد بنابراین :

$$T_3 = ۰/۷۲۱۳M + ۰/۶۹m$$

$$Var(T_3) = ۲۰/۵۳۹ \quad و \quad \rho(T_3, C) = ۰/۵۹۶۱$$

در اینجا مدل آنالیز واریانس همانند موارد قبل با اثر T_3 خواهد بود لذا :

$$y_{ijk} = \mu + \beta_{T_3} + e_{ijk}$$
$$\mu = \bar{y}, \beta_{T_3} = \bar{y}_{i..} - \bar{y}, e_{ijk} = y_{ijk} - \bar{y}_{i..}$$

خطا + اثر T_3 + میانگین مصرف روزانه = مصرف روزانه آب شرب تهران بزرگ

منابع	SS	d.f	M.S	F	Sig of F
T_3	۲/۰۹٤	۲۳	۰/۰۹۱	۷/۵۲۹	۰/۰۰۰
خطا	۳/۰۹۵	۲۵۵	۰/۰۱۲		
کل	۵/۱۸۹	۲۷۸			

$$R^2(T_3) = ۰/٤۰٤$$

شاخص T_3 در مدل آنالیز واریانس مؤثر بوده و میزان این تأثیر ٤۰/٤٪ می‌باشد.

٤-۱: فرض کنید :

$$T_4 = K_1M + K_2m$$

می‌خواهیم K_1 و K_2 را چنان انتخاب کنیم که :
اولاً $K_1 + K_2 = ۱$
ثانیاً T_4 بیشترین همبستگی را با مصرف روزانه آب شرب تهران بزرگ داشته باشد بنابراین :

$$T_4 = ۰/۶۸۵M + ۰/۳۱۵m$$

$$Var(T_4) = ۱۰/۰۹۸ \quad و \quad \rho(T_4, C) = ۰/۵۹۹۹$$

مدل آنالیز واریانس با اثر T_4 به صورت زیر خواهد بود:

$$y_{ijk} = \mu + \beta_{T_4} + e_{ijk}$$
$$\mu = \bar{y}, \beta_{T_4} = \bar{y}_{i..} - \bar{y}, e_{ijk} = y_{ijk} - \bar{y}_{i..}$$

خطا + اثر T_4 + میانگین مصرف روزانه = مصرف روزانه آب شرب تهران بزرگ

منابع	SS	d.f	M.S	F	Sig of F
T_4	۱/۹۹٦	۱۵	۰/۱۳۳	۱۰/۹۵۸	۰/۰۰۰
خطا	۳/۱۹۳	۲٦۳	۰/۰۱۲		
کل	۵/۱۸۹	۲۷۸			

$$R^2(T_4) = ۰/۳۸۵$$

شاخص T_4 در مدل آنالیز واریانس بر مصرف روزانه مؤثر است و میزان این اثر ۳۸/۵ درصد است.

۱-۵- فرض کنید :

$$T_5 = K_1M + K_2m$$

می‌خواهیم K_2 و K_1 را چنان محاسبه کنیم که :
اولاً: $K_1^2 + K_2^2 = ۱$ (ترکیب خطی استاندارد SLC)
ثانیاً: T_5 بیشترین همبستگی را با مصرف روزانه داشته باشد بنابراین :

$$T_5 = ۰/۸۹۵M + ۰/۴۴۶m$$

$$Var(T_5) = ۱۸/۱۷۸۵ \quad و \quad \rho(T_5, C) = ۰/۶۰۰۲$$

مدل آنالیز واریانس با اثر T_5 به صورت زیر در نظر گرفته می‌شود :

$$y_{ijk} = \mu + \beta_{T_5} + e_{ijk}$$
$$\mu = \bar{y}, \beta_{T_5} = \bar{y}_{i..} - \bar{y}, e_{ijk} = y_{ijk} - \bar{y}_{i..}$$

خطا + اثر T_5 + میانگین مصرف روزانه = مصرف روزانه آب شرب تهران بزرگ

منابع	SS	d.f	M.S	F	Sig of F
T_5	۲/۰۵۸	۲۰	۰/۱۰۳	۸/٤۸	۰/۰۰۰
خطا	۳/۱۳۱	۲۵۸	۰/۰۱۲		
کل	۵/۱۸۹	۲۷۸			

$$R^2(T_5) = ۰/۳۹۷$$

شاخص T_5 بر مصرف روزانه مؤثر بوده و میزان این اثر ۳۹/۷٪ می‌باشد.

۱-٦- همبستگی خطی بین دمای ماکزیمم و می‌نیمم ۰/۸۳٦٦ می‌باشد لذا می‌خواهیم میزان وابستگی دمای ماکزیمم را از دمای می‌نیمم جدا کرده و مقدار باقی‌مانده را که مستقل از دمای ماکزیمم خواهد بود به دمای ماکزیمم اضافه کنیم این مقدار باقی‌مانده حاوی اطلاعاتی از دمای می‌نیمم خواهد بود که در اطلاعات دمای ماکزیمم موجود نیست. برای این منظور رگرسیون خطی دمای می‌نیمم بر حسب دمای ماکزیمم را در نظر می‌گیریم [۵و۱٤].

$$m_i = \beta_1 + \beta_2 M_i + e_{m_i}$$
$$m_i = ۸/۱۵۳۶ + ۰/۸۹۸M + e_{m_i}$$
$$R^2(\text{مدل}) = ۰/۷۰ \quad و \quad \rho(e_m, M) = ۰$$

بنابراین شاخصی به صورت زیر تعریف می‌کنیم.

$$T_6 = M + e_m$$

$$Var(T_6) = ۱۴/۰۰۵۱ \quad و \quad \rho(C, T_6) = ۰/۵۶۶۱$$

مدل آنالیز واریانس با اثر T_6 به صورت زیر خواهد بود:

$$y_{ijk} = \mu + \beta_{T_6} + e_{ijk}$$
$$\mu = \bar{y}, \beta_{T_6} = \bar{y}_{i..} - \bar{y}, e_{ijk} = y_{ijk} - \bar{y}_{i..}$$

خطا + اثر T_6 + میانگین مصرف روزانه = مصرف روزانه آب شرب تهران بزرگ

منابع	SS	d.f	M.S	F	Sig of F
T_6	۱/۸۳٦	۱۸	۰/۱۰۳	۸/۰۸۹	۰/۰۰۰
خطا	۳/۳۵۳	۲٦۰	۰/۰۱۳		
کل	۵/۱۸۹	۲۷۸			

$$R^2(T_6) = ۰/۳۵٤$$

شاخص T_6 در مصرف روزانه آب شرب تهران بزرگ مؤثر بوده و میزان این اثر ۳۵/٤٪ می‌باشد. بهترین شاخص دما در میان شاخص‌های معرفی شده کدام است؟ برای معرفی بهترین شاخص، مطلوبیت به صورت زیر تعریف می‌شود [۱]:

$$\text{مطلوبیت} = ۳\times \frac{\rho(C,.)}{\text{Max } \rho(C,.)} + ۲\times \frac{R^2(.)}{\text{Max } R^2(.)} + \frac{Var(.)}{\text{Max var}(.)}$$

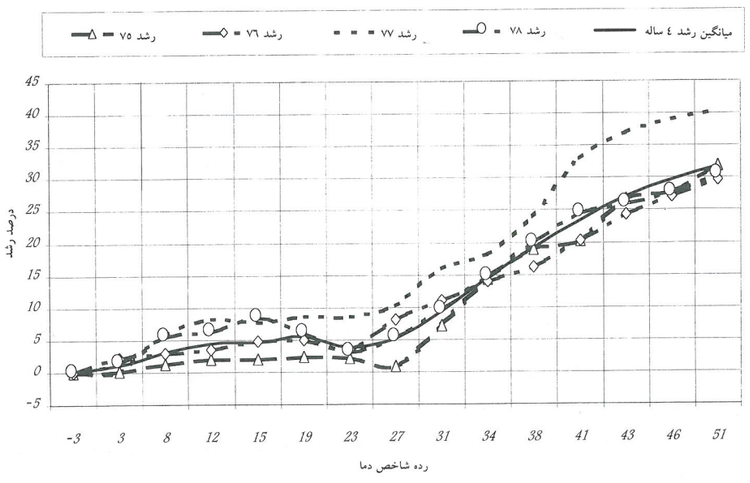
در این معیار همبستگی شاخص دما با مصرف، مهمترین فاکتور انتخابی بوده سپس میزان اثر شاخص دما در مدل آنالیز واریانس و سرانجام بزرگی واریانس شاخص دما در نظر بوده است. در جدول زیر خلاصه‌ای از اطلاعات هر شاخص و مطلوبیت مربوطه جهت انتخاب بهترین شاخص ارائه شده است :

شاخص	$\rho(C,.)$	$R^2(.)$	Var(.)	مطلوبیت
T_1	۰/۵۹۷۷	۰/٤۰٤	۱۰/۲۰۲۱	۵/٤۷٤٤
T_2	۰/۵۵۵۳	۰/۳۳٤	۱۱/۹۹۳	۵/۰۱۳
T_3	۰/۵۹٦۱	۰/٤۰٤	۲۰/۵۳۹	۵/۹٦۹۷
T_4	۰/۵۹۹۹	۰/۳۸۵	۱۰/۰۹۸	۵/۳۸٦۷
T_5	۰/٦۰۰۲	۰/۳۹۷	۱۸/۱۷۸۵	۵/۸٤۰۷
T_6	۰/۵٦٦۱	۰/۳۵٤	۱٤/۰۰۵۱	۵/۲۵۵۳
Max	۰/٦۰۰۲	۰/٤۰٤	۲۰/۵۳۹	۵/۹٦۹۷

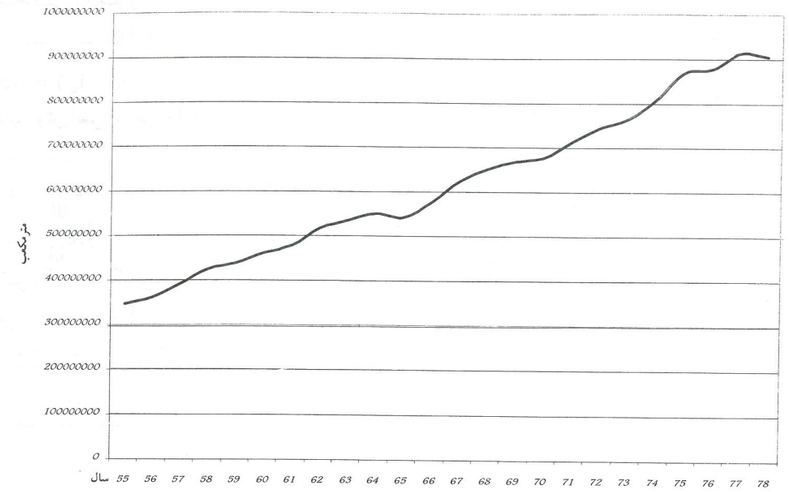
T_3 به عنوان شاخص برتر از این کلاس انتخاب می‌شود و قابل توجه است که T_3 مؤلفه اصلی دمای ماکزیمم و می‌نیمم است. در نمودار ۳ مقایسه رشد مصرف به تفکیک شاخص دما (T_3) ارائه شده که مشاهده می‌شود به نسبت تغییرات در نمودارهای ۱ و ۲ هموارتر می‌باشد.

اثر رشد سالیانه بر مصرف روزانه

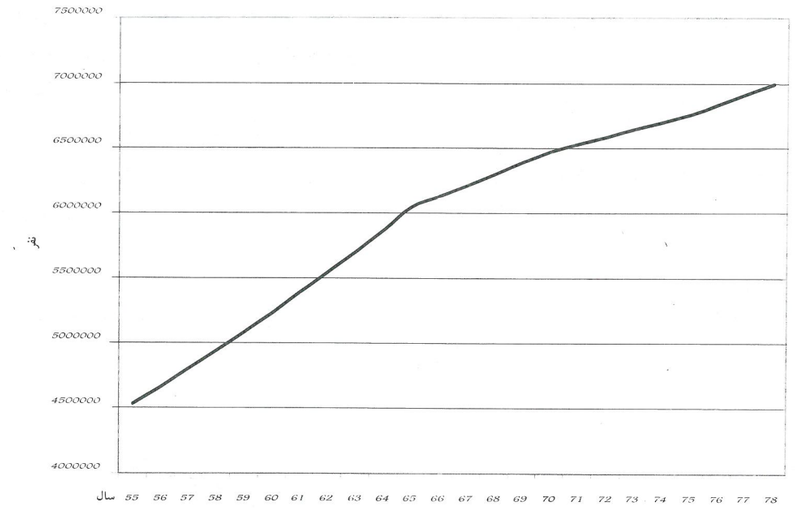
با بررسی افزایش آب خام ورودی به تهران بزرگ از سال ۵۵ تا ۷۸ (نمودار ٤)، ملاحظه می‌گردد که حجم آن در طی ۲٤ سال بیش از ۲/۵ افزایش یافته است.



نمودار ۳- مقایسه رشد مصرف به تفکیک شاخص دما با میانگین رشد چهارساله طی سال‌های ۷۸-۱۳۷۵.



نمودار ٤- روند افزایش آب خام فرستاده شده از سال ۵۵ تا سال ۷۸.



نمودار ۵- روند رشد جمعیت از سال ۵۵ تا سال ۷۸.

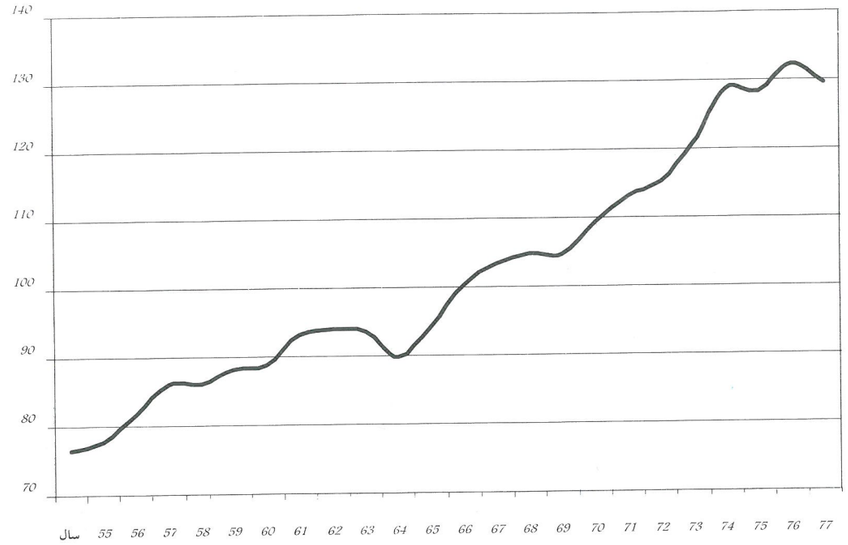
در صورتی که جمعیت در این دوره حدود ۱/۵ برابر شده است (نمودار ۵).

این امر نشان دهنده تأثیر عوامل دیگری غیر از متغیر (رشد جمعیت + مهاجرت) است و از این رو دو متغیر اندازه‌پذیر دیگر شناسایی شده‌اند.

مصرف سرانه

مصرف سرانه[1] در سال ۵۵ حدود ۷٦/٤ مترمکعب در سال برای هر نفر بوده، در حالی این رقم در سال ۷۸ به حدود ۱۲۹/٦ مترمکعب رسیده است (نمودار ٦).

[1] آمار مصرف سرانه از معاونت آب‌رسانی تهران بزرگ در شرکت آب و فاضلاب استان تهران اخذ شده است.



نمودار ٦- روند افزایش سرانه مصرف از سال ۵۵ تا سال ۷۸.

که افزایشی معادل ۷۰ درصد نشان می‌دهد. دلایل افزایش فوق عبارت است از ارتقاء سطح بهداشت عمومی، بالا رفتن سطح رفاه زندگی، افزایش مصارف غیر ضروری، افزایش آب هدر رفته و ...

تعداد افراد خانوار

به همراه کنترل و تبلیغات جمعیتی، تعداد افراد خانوار کاهش می‌یابد. با کاهش تعداد افراد خانوار در جمعیتی ثابت، تعداد خانوار در آن جمعیت افزایش می‌یابد و با افزایش واحدهای تشکیل دهنده یک اجتماع، مصرف نیز افزایش می‌یابد. به عنوان مثال عینی مصرف در روزهای عاشورا و تاسوعا به شدت کاهش می‌یابد چرا که در این روزها واحدهایی بزرگتر از خانوار در اجتماع تشکیل می‌شوند و موجب کاهش مصرف می‌شوند.

نکته حائز اهمیت این که متغیر رشد سالیانه تنها دلیل افزایش مصرف در طی سالیان گذشته است در حالی که دما به همراه عوامل موثر دیگر منجر به تغییرات مصرف در طی سال می‌شود. فرض کنید مصرف روزانه با y_{jkl} نشان داده می‌شود و فرض کنید اثر رشد سالیانه بر مصرف‌روزانه‌به‌صورت طی زیر باشد (رشد سالیانه =G).

$$y_{jkl} = \mu + \beta_G + e_{jkl}$$

$$\mu = \bar{\bar{y}}, \beta_G = \bar{y}_{..l} - \bar{\bar{y}}, e_{jkl} = y_{jkl} - \bar{y}_{..l}$$

مصرف روزانه آب شرب تهران بزرگ برابر با مجموع میانگین مصرف روزانه، اثر رشد سالیانه و خطا بوده، در این صورت با محاسبه مجموع توان دوم انحرافات مقادیر زیر محاسبه می‌شوند :

منابع	SS	d.f	M.S	F	Sig of F
رشد سالیانه	۱/۸۱٤	۲	۰/۹۰۷	۷٤/۱۵۳	۰/۰۰۰
خطا	۳/۳۷٦	۲۷٦	۰/۰۱۲		
کل	۵/۱۸۹	۲۷۸			

R^2 (G) = ۰/۳٤۹

فرض $H_0 : \beta_G = 0$ برابر فرض $H_1 : \beta_G = 0$ رد می‌شود به عبارت دیگر رشد سالیانه بر مصرف روزانه موثر است و میزان این اثر ۳٤/۹٪ می‌باشد.

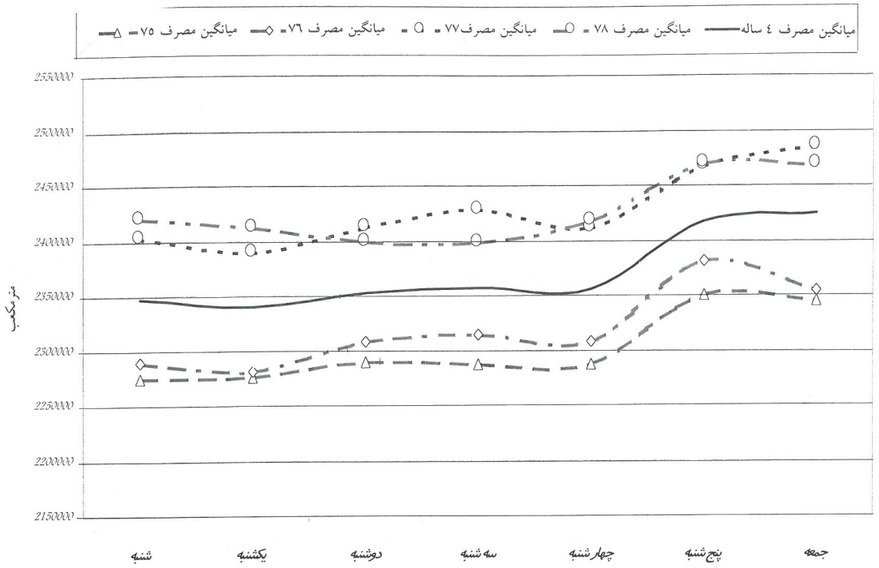
اثر روزهای هفته

یکی دیگر از دلایل تغییرات مصرف، روزهای هفته می‌باشد. بدین صورت که مصرف روزهای پنج‌شنبه و جمعه بیشتر از روزهای دیگر هفته است (نمودار ۷).

بنابراین این سؤال مطرح است که : آیا روزهای هفته بر مصرف روزانه تأثیر دارند. به عبارت دیگر آیا مصرف روزانه در روزهای پنج‌شنبه و جمعه با دیگر روزهای هفته متفاوت است. فرض کنید مصرف روزانه را با y_{jkn} و روزهای هفته را با D نمایش دهیم آنگاه :

$$y_{jkn} = \mu + \beta_D + e_{jkn}$$

$$\mu = \bar{\bar{y}}, \beta_D = \bar{y}_{n} - \bar{\bar{y}}, e_{jkn} = y_{jkn} - \bar{y}_{n}$$



نمودار شماره ۷- مقایسه تأثیر روزهای هفته بر مصرف.

با توجه به مصرف روزانه آب شرب تهران (میانگین مصرف روزانه + اثر روزهای هفته + خطا)، جدول آنالیز واریانس مدل فوق به صورت زیر می‌باشد :

منابع	SS	d.f	M.S	F	Sig of F
روزهای هفته	۰/۱۰۳	٦	۰/۰۱۷	۰/۹۱۵	۰/٤٨٤
خطا	٥/۰۸۷	۲۷۲	۰/۰۱۹		
کل	٥/۱۹۰	۲۷۸			

R^2 (D) = ۰/۰۱۹۸

فرض $H_0 : \beta_D = 0$ در برابر فرض $H_1 : \beta_D \neq 0$ پذیرفته می‌شود به عبارت دیگر روزهای هفته به تنهایی در مصرف روزانه مؤثر نیست

اثر تعطیلات بر مصرف روزانه

تعطیلات و توالی آن نقش کلی در کاهش مصرف دارند و هر چه توالی تعطیلات بیشتر باشد شاهد کاهش مصرف بیشتری خواهیم بود (نمودار ۸) .

برای مثال تعطیلی روز دوشنبه باعث کاهش مصرف در همان روز می‌شود. اما تعطیلی روز چهارشنبه موجب کاهش کلی مصرف در طی روزهای چهارشنبه، پنج‌شنبه و جمعه خواهد شد. بنابراین این سؤال مطرح می‌شود که:

" آیا تعطیل بودن یا نبودن در مصرف روزانه آب شرب تهران بزرگ مؤثر است؟ میزان این اثر چه اندازه است؟ "

فرض کنید مصرف روزانه را با y_{jkm} و متغیر تعطیلی را با H نمایش دهیم آنگاه :

$$y_{jkm} = \mu + \beta_H + e_{jkm}$$

$$\mu = \bar{\bar{y}}, \beta_H = \bar{y}_{.m.} - \bar{\bar{y}}, e_{jkm} = y_{ijk} - \bar{y}_{.m.}$$

خطا + اثر تعطیلی + میانگین مصرف روزانه = مصرف روزانه آب شرب تهران بزرگ، در این صورت با محاسبه مجموع توان دوم انحرافات جدول زیر تشکیل می‌شود:

منابع	SS	d.f	M.S	F	Sig of F
تعطیلی	۰/۰۰۷	۱	۰/۰۰۷	۰/۳۷۹	۰/٥۳۹
خطا	٥/۱۸۲	۲۷۷	۰/۰۱۹		
کل	٥/۱۸۹	۲۷۸			

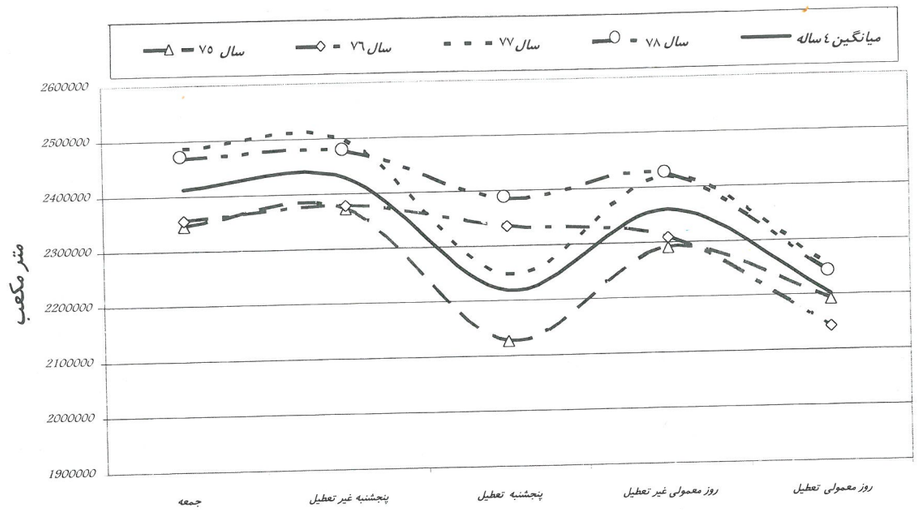
R^2 (H) = ۰/۰۰۱۳٥

فرض $H_0 : \beta_H = 0$ در برابر $H_1 : \beta_H \neq 0$ قبول می‌شود به عبارت دیگر تعطیل بودن یا نبودن به تنهایی در مصرف روزانه مؤثر نیست.

مدل کلی

در قسمت‌های قبلی اثر عواملی همچون دما، رشد سالیانه، تعطیلی و روزهای هفته هر یک به تنهایی مورد بررسی قرار گرفت حال می‌خواهیم اثر این عوامل به صورت جمعی بر مصرف روزانه را بررسی نماییم. فرض کنید : مصرف روزانه y_{ijklmn} و شاخص دما $T=0/721M + 0/691m$ باشد و فرض کنید :

$$y_{ijklmn} = \mu + \beta_T + \beta_G + \beta_H + \beta_D + e_{ijklmn}$$



نمودار ۸- مقایسه تأثیر تعطیلات بر مصرف با میانگین چهار ساله طی سال‌های ۷۸-۱۳۷۵.

$$\mu = \bar{\bar{y}}, \beta_T = \bar{y}_{i.....} - \bar{\bar{y}}, \beta_G = \bar{y}_{...l..} - \bar{\bar{y}},$$

$$\beta_H = \bar{y}_{.....m.} - \bar{\bar{y}}, \beta_D = \bar{y}_{.....n} - \bar{\bar{y}}$$

$$e_{ijklmn} = y_{ijklmn} - y_{i.....} - y_{...l..} - y_{.....m.} - y_{.....n} + 3\bar{\bar{y}}$$

خطا + اثر روزهای هفته + اثر تعطیلی + اثر رشد سالیانه + اثر دما + میانگین مصرف روزانه = مصرف روزانه

منابع	SS	d.f	M.S	F	Sig of F
دما	۲/۲۲٦	۲۲	۰/۱۰۱	۲٤/۰۰۱	۰/۰۰۰
رشد سالیانه	۱/۹٦۸	۲	۰/۹۸٤	۲۳۳/٤۰٦	۰/۰۰۰
تعطیلی	۰/۰۰۲	٦	۰/۰۰۲	۰/٥٤۳	۰/٤٦۲
روزهای هفته	۰/۰۹٦	۱	۰/۰۱٦	۳/۷۸۳	۰/۰۰۱
خطا	۰/۸۹۷	۲٤۷	۰/۰۰٤		
کل	٥/۱۸۹	۲۷۸			

R^2 (مدل) = ۰/۸۲۷

به عبارت دیگر تمام عوامل مورد بررسی به جز متغیر تعطیلی به صورت جمعی در مصرف روزانه مؤثراند و این مدل ۸۲/۷ درصد تغییرات مصرف روزانه را تبیین می‌نماید و تأثیر هر یک از عوامل در تغییرات مصرف روزانه به شرح زیرمی‌باشد :

٤۲/۸٪ = اثر دما بر مصرف روزانه

۳۷/۹٪ = اثر رشد سالیانه بر مصرف روزانه

۱/۹٪ = اثر روزهای هفته بر مصرف روزانه

بحث و نتیجه‌گیری

از عوامل مؤثر بر مصرف، سه عامل دما، روزهای هفته و تعطیلات غیر قابل کنترل می‌باشند و تنها متغیر رشد سالیانه قابل کنترل است. عامل رشد سالیانه ترکیبی از افزایش جمعیت، مهاجرت، تعداد افراد خانوار و سرانه مصرف می‌باشد که دو متغیر، افزایش جمعیت + مهاجرت و تعداد افراد خانوار جزء عوامل برون‌سازمانی می‌باشند. به عبارتی گر چه این متغیرها قابل کنترل می‌باشند اما از حدود امکانی شرکت آب و فاضلاب خارج می‌باشند. بنابراین تنها تغییر قابل کنترل توسط شرکت آب و فاضلاب استان تهران جهت کاهش مصرف، متغیر سرانه مصرف است. با این مختصات دو وظیفه کلی فراروی شرکت است.

وظایف فنی

کاهش فشار

نوسان فشار در شبکه آبرسانی باعث عدم تعادل جریان هیدرولیکی، افزایش مصرف، آسیب شبکه، هرز رفت آب، حوادث، قطع آب مشترکین و صرف هزینه‌های قابل توجهی جهت تعمیرات می‌گردد. با نصب شیرهای فشار شکن، تغییرات فشار در شبکه‌های آبرسانی تحت کنترل قرار می‌گیرد، لذا موجب کاهش مصرف، توزیع بهینه آب و کاهش حوادث و بالطبع کاهش هزینه‌های مربوطه می‌گردد.

کاهش آب به حساب نیامده

آب به حساب نیامده [۱۰] عبارت است از : "تفاوت مقدار آب تولیدی از آب مصرفی اندازه‌گیری شده اعم از این که بهای آن دریافت شده یا نشده باشد ". آب به حساب نیامده شامل دو بخش فیزیکی و غیر فیزیکی است.

الف- بخش فیزیکی :

- حوادث شبکه و انشعاب

- نشت‌های مرئی تأسیسات (شیرها، مخازن، تلمبه‌خانه‌ها و ...)
- نشت‌های نامرئی تأسیسات

قسمت عمده آب به حساب نیامده فیزیکی، نشت نامرئی است زیرا لوله‌ها، اتصالات شیرها و متعلقات وابسته به شبکه توزیع به تناسب جنس، عمر، نحوه نصب و اجراء و شرایط بهره‌برداری فرسوده شده و نشت حاصله به زمین فرو می‌رود و به سادگی قابل رویت نیست.

ب- بخش غیر فیزیکی

- خطای اندازه‌گیری ابزار دقیق
- خطای بهره‌برداری
- خطای مدیریتی
- خطای انسانی
- انشعابات غیر مجاز

بخش غیر فیزیکی ارتباط مستقیم با عملکرد مدیریت بهره‌برداری و نگهداری و تعمیرات دارد. چنانچه این مدیریت و عوامل انسانی مربوطه از تخصص و تعهد لازم برخوردار باشند مقدار آب به حساب نیامده غیر فیزیکی کمتر از ۳ درصد خواهد بود. طی تحقیقی در کوی بانک سپه واقع در شمال شرقی تهران بیش از ٤[1] درصد آب به حساب نیامده مربوط به تلفات غیر فیزیکی، خصوصاً انشعاب‌های غیر مجاز و مابقی مربوط به تلفات فیزیکی و نشت‌ها بوده است [۱۲].

وظایف فرهنگی

ساخت و تنظیم محیطی که در آن مشترکین محور اصلی هستند، به همراه ارتباطی دو جانبه، نیازمند سازماندهی مناسب و فعال نمودن یک ارتباط مستمر آموزشی و کنترلی است. آموزش منجر به ارتقای آگاهی مشترک و در نهایت ارتقای حس مسئولیت‌پذیری اوست. پس از این مرحله مشترک با توجه به شرایط و محیط زندگی با انتخابی از مجموعه راهکارهای ارائه شده از سوی شرکت در مسیر صحیح مصرف قرار می‌گیرد[۱۲ و ۱۱].

آموزش ⟵ آگاهی ⟵ مسئولیت‌پذیری

طبق بررسی‌های کارشناسان شرکت آب و فاضلاب استان تهران، در سال ۷۸ سرانه مصرف خانگی ۱۷٦/۱٤ لیتر در شبانه‌روز بوده در حالی که استاندارد اعلام شده ۱۵۰لیتر در شبانه‌روز می‌باشد. بنابراین برای رسیدن به حد استاندارد می‌بایست از طریق مشترکین خانگی حدود ۱۵درصد صرفه جویی به عمل آید.

سپاسگزاری

بدین وسیله از زحمات و حمایت جناب آقای مهندس قاسمی، معاونت محترم آبرسانی تهران بزرگ، تشکر و قدردانی می‌شود.

[1] بررسی، ارزیابی و تقلیل آب به حساب نیامده در شبکه- حسین عطایی‌فر- ارائه شده در اولین کنفرانس انسانی

منابع و مراجع:

۱- عمیدی، ع.، مترجم، ۱۳۷٤، " آمار کاربردی "، مرکز نشر دانشگاهی.
۲- طباطبایی، م.م.، مترجم، ۱۳۷٦، " تحلیل چند متغیره "، مرکز نشر دانشگاهی.
۳- شرکت آمار پردازان، ۱۳۷۷، " SPSS راهنمای کاربران "، انتشارات عالی.
٤- ارقامی، ن.ر.، بزرگ نیا، ا.، مترجم، ۱۳۷۰، " آمار چند متغیره کاربردی "، بنیاد فرهنگی رضوی.
۵- نیرومند، ح.، مترجم، ۱۳۷٤، " رگرسیون خطی کاربردی "، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.
٦- ابن شهر آشوب، م.، میکائیلی، ف.، مترجم، ۱۳٦۹، " مفاهیم و روش‌های آماری "، مرکز نشر دانشگاهی.
۷- سرمد، ز.، اسفندیاری، م.، مترجم؛ ۱۳٦۹. " اصول آماری در طرح آزمایش‌ها "، مرکز نشر دانشگاهی.
۸- ایزد دوستدار، ن.، مترجم، ۱۳۷۰، " مقدمه‌ای بر آمار و ریاضی "، مؤسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران.
۹- هاشمی پرست، س. م.، پروانه مسیحا، هـ.، مترجم، ۱۳۷۵، " نخستین درس در احتمال "، چاپخانه دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.
۱۰- امامیان، ر.، " تحلیل ریاضی آب به حساب نیامده "، مجموعه مقالات اولین کنفرانس ایران- آلمان.
۱۱- شفیعی، ع.، " تصریح جایگاه مردم و مشترکین در تدوین سیاست‌های ارتباطی بخش آب و فاضلاب با مردم "، مجموعه مقالات اولین کنفرانس مدیریت آب و فاضلاب در کشورهای آسیایی.
۱۲- عطایی‌فر، ح.، " بررسی، تحلیل، ارزیابی و تقلیل آب به حساب نیامده در شبکه "، مجموعه مقالات اولین کنفرانس مدیریت آب و فاضلاب در کشورهای آسیایی.
13- Alexander, M. Mood, Franklin, A., Graybill, (1974), " *Introduction to the Theory of Statistics* ", McGraw-Hill.
14- Sen, A., Srivastava, M. (1990), " *Regression Analysis, Theory, Methods and Applications*", Springer- Verlag.