



دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی گران

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و یکم، شماره دوم، ۱۳۹۳
<http://jwsc.gau.ac.ir>

گزارش کوتاه علمی

تعیین پارامترهای هواشناسی مؤثر بر میزان مصرف آب شرب با استفاده از الگوریتم خوشه‌بندی فازی (مطالعه موردی: شهر گرگان)

مهری عبدی‌دهکردی^۱، * مهدی مفتاح‌هلقی^۲ و مهدی کاهه^۳

^۱دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی منابع آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،

^۲دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،

^۳دانش‌آموخته دکتری گروه سازه‌های آبی، دانشگاه شهید چمران اهواز

تاریخ دریافت: ۹۱/۹/۱؛ تاریخ پذیرش: ۹۲/۷/۲

چکیده

امروزه برآورد میزان مصرف آب یکی از مهم‌ترین و کاربردی‌ترین مباحث به‌شمار می‌رود، پیچیدگی و تأثیر عوامل و پارامترهای مختلف بر میزان مصرف آب سبب شده است تا روش‌های تحلیلی و ریاضی در این زمینه از کارایی لازم برخوردار نباشند. مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که پارامترهای هواشناسی به‌عنوان مهم‌ترین گروه در زمینه برآورد کوتاه‌مدت میزان مصرف آب در نظر گرفته شده‌اند. در این مطالعه با استفاده از الگوریتم خوشه‌بندی فازی ارتباط غیرخطی بین پارامترهای اقلیمی به‌عنوان متغیرهای ورودی و میزان مصرف آب شهری به‌عنوان متغیر خروجی مورد بررسی قرار گرفت و با نتایج به‌دست آمده از برقرار نمودن رابطه خطی میان متغیرهای نام‌برده مقایسه شد. برای این منظور از داده‌های اندازه‌گیری شده روزانه پارامترهای هواشناسی ایستگاه سینوپتیک هاشم‌آباد و میزان آب توزیع شده در شبکه شهر در طی ماه‌های فروردین تا تیر سال ۱۳۹۱، استفاده شده است. در نهایت با بهره‌گیری از روش‌های رگرسیون خطی و غیرخطی رابطه‌ای برای برآورد کوتاه‌مدت میزان مصرف آب براساس پارامترهای اقلیمی ارائه گردید. نتایج نشان داد میزان مصرف آب شهری با میانگین دمای هوا همبستگی بهتری را نشان می‌دهد و در نظر گرفتن حداکثر دمای هوا نیز باعث افزایش دقت برآوردها

* مسئول مکاتبه: meftah_20@yahoo.com

می‌شود. بنابراین می‌توان حداکثر و میانگین دمای هوا را مؤثرترین پارامترهای برآورد میزان مصرف آب دانست. همچنین نتایج نشان داد در نظر گرفتن یک معادله درجه دو بین متغیرهای ورودی و خروجی، با داشتن ضریب ناش- ساتکلیف $0/71$ و ریشه میانگین مربعات خطا $43/35$ لیتر در ثانیه، میزان مصرف آب را با دقت و اطمینان بیشتری نسبت به سایر معادله‌ها برآورد می‌نماید.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم خوشه‌بندی فازی، پارامترهای هواشناسی، مصرف آب

مقدمه

میزان مصرف آب پدیده‌ای بسیار پیچیده است که تابعی غیرخطی از عوامل مختلف می‌باشد، این عوامل از ناحیه‌ای به ناحیه دیگر متفاوت بوده و در طی زمان تغییر می‌نمایند به همین دلیل تاکنون رابطه‌ای کامل و جامع برای برآورد میزان مصرف آب ارایه نشده است. فرمول‌های موجود یا دقیق نیستند و یا این‌که از زاویه‌ای خاص، مثلاً از نظر اقتصادی میزان مصرف آب را مورد بررسی قرار می‌دهند و از سایر عوامل موجود صرف‌نظر می‌شود. همچنین فرمول‌ها و رابطه‌های موجود، بیش‌تر میزان مصرف را در اروپا و آمریکا محاسبه می‌کنند و مطابق با شرایط منطقه‌ای، اجتماعی و اقتصادی آن‌جا واسنجی شده‌اند، بنابراین با شرایط شهرهای ایران تطابق ندارند (تابش و همکاران، ۲۰۰۷).

در دهه‌های اخیر پژوهش‌های متنوعی در زمینه پیش‌بینی میزان مصرف آب در دوره‌های زمانی کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت صورت گرفته است که از آن جمله می‌توان به مطالعه ونگ (۱۹۷۲)، یانگ (۱۹۷۳) و ویلسی و پرت (۱۹۷۴) اشاره نمود. آن‌ها در مطالعات خود با استفاده از سری‌های زمانی به پیش‌بینی بلندمدت مصرف آب براساس پارامترهایی مانند جمعیت، بارندگی، تبخیر، دما و... پرداخته‌اند. مایدمنت و پارزن (۱۹۸۴) کارایی سری‌های زمانی در برآورد میان‌مدت مصرف آب را مورد ارزیابی قرار دادند؛ استارک و همکاران (۲۰۰۰)، جو و همکاران (۲۰۰۲) و تابش و همکاران (۲۰۰۷) با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی و براساس پارامترهایی مانند حداقل و حداکثر دما، بارش روزهای قبل، میزان مصرف در روز قبل، سرعت باد در فصل بهار و میزان رطوبت در فصل زمستان، به مدل‌سازی مصرف روزانه آب پرداختند. تابش و دینی (۲۰۰۹) میزان مصرف آب شهر تهران را با استفاده از نظام استنتاج فازی و نرو فازی برآورد نمودند؛ همچنین تابش و دینی (۲۰۱۰) با کاربرد روش شبکه‌های عصبی مصنوعی و در نظر گرفتن پارامترهای هواشناسی و میزان مصرف در

روزهای قبل به عنوان ورودی‌های مدل، به برآورد میزان مصرف آب در شهر تهران پرداختند و دریافتند میانگین درجه حرارت روزانه و درصد رطوبت نسبی مؤثرترین پارامترهای هواشناسی در برآورد مصرف آب می‌باشند.

در این مطالعه توانایی روش الگوریتم خوشه‌بندی فازی در تعیین پارامترهای اقلیمی مؤثر در میزان مصرف آب شهری در شهر گرگان مورد ارزیابی قرار گرفته و با نتایج به دست آمده از کاربرد روش همبستگی خطی مقایسه شده است. پس از تعیین پارامترهای اقلیمی مؤثر، رابطه‌ای برای برآورد کوتاه‌مدت میزان مصرف آب براساس روش‌های رگرسیونی ارائه شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: به منظور انجام این پژوهش از آمار و اطلاعات مربوط به برخی از پارامترهای اقلیمی مانند میزان تبخیر، میانگین رطوبت نسبی، حداکثر دمای هوا و میانگین دمای هوا در ایستگاه سینوپتیک هاشم‌آباد شهرستان گرگان، که در طی سال‌های آماری ۸۹-۱۳۷۱ به صورت روزانه برداشت شده‌اند و داده‌های روزانه مربوط به میزان آب توزیع شده در شبکه شهر در طی ماه‌های فروردین تا تیر سال ۱۳۹۱، استفاده شد.

الگوریتم خوشه‌بندی فازی: یکی از روش‌های بسیار کارآمد خوشه‌بندی، روش C- میانگین می‌باشد. هدف این روش، افراز یک مجموعه معلوم از داده‌ها به تعداد معینی خوشه می‌باشد به طوری که این افراز دو ویژگی مهم داشته باشد اولاً، خوشه‌های آن همگن باشند یعنی داده‌هایی که به یک خوشه مشخص تعلق دارند باید تا حد ممکن مشابه باشند ثانیاً، خوشه‌های مختلف نسبت به یکدیگر نامتجانس باشند یعنی داده‌های متعلق به خوشه‌های مختلف تا حد ممکن با یکدیگر تفاوت داشته باشند. در الگوریتم خوشه‌بندی C میانگین فازی تابع هدف به صورت زیر می‌باشد:

$$J_m = \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^c \mu_{ik}^{m'} d_{ik}^2 = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m \mu_{ik}^{m'} \|x_k - v_i\|^2 \quad (1)$$

که در آن، m' : یک عدد حقیقی بزرگ‌تر از ۱ است که در بیش‌تر موارد برای آن عدد ۲ انتخاب می‌شود. اگر در رابطه بالا m' را برابر ۱ قرار دهیم تابع هدف خوشه‌بندی C میانگین غیرفازی به دست می‌آید. x_k نمونه k ام و v_i نماینده یا مرکز خوشه i ام و n تعداد نمونه‌ها می‌باشد؛ U_{ik} میزان تعلق

نمونه i ام در خوشه k را نشان می‌دهد. علامت $\|*\|$ میزان تشابه (فاصله) نمونه با مرکز خوشه می‌باشد که می‌توان از هر تابعی که بیانگر تشابه نمونه و مرکز خوشه باشد استفاده کرد. از روی U_{ik} می‌توان یک ماتریس U تعریف کرد که دارای C سطر و n ستون باشد و مؤلفه‌های آن هر مقداری بین ۰ تا ۱ را می‌توانند انتخاب کنند. اگر تمامی مؤلفه‌های این ماتریس ۰ و یا ۱ باشند الگوریتم مشابه C میانگین غیرفازی خواهد بود. مجموع مؤلفه‌های هر یک از ستون‌ها باید برابر ۱ باشد معنای این شرط آن است که مجموع تعلق هر نمونه به C خوشه باید برابر ۱ باشد (کوره‌پزان‌دزفولی، ۲۰۰۸).
 بزدرک (۱۹۸۱) الگوریتم زیر را برای حل مسایل خوشه‌بندی C - میانگین فازی براساس بهینه‌سازی تکراری ارایه نموده است:

ابتدا مقدار C را مشخص کرده ($2 \leq C \leq n$) و ماتریس افراز اولیه، U^0 حدس زده می‌شود؛ یک مقدار برای m' انتخاب می‌شود؛ هر گام از این الگوریتم با یک I مشخص می‌گردد سپس مرکز خوشه‌ها $\{V_i^{(r)}\}$ در هر تکرار محاسبه شده و از روی خوشه‌های محاسبه شده ماتریس تعلق تعیین می‌گردد اگر $\|\tilde{U}^{(r+1)} - \tilde{U}^{(r)}\| \leq \varepsilon_L$ باشد آن‌گاه محاسبه‌ها به پایان می‌رسد در غیر این صورت الگوریتم از گام دوم به بعد تکرار می‌شود (کوره‌پزان‌دزفولی، ۲۰۰۸ به نقل از بزدرک، ۱۹۸۱).

در این مطالعه مقادیر پارامترهای هواشناسی در یک دوره آماری ۱۱ ساله آینده با استفاده از مدل مارکف سالانه درجه ۱ برآورد گردید؛ سپس رابطه خطی و غیرخطی بین پارامترهای اقلیمی و میزان مصرف آب مورد بررسی قرار گرفت؛ برای در نظر گرفتن رابطه خطی میان پارامترهای هواشناسی و میزان مصرف آب از روش همبستگی خطی نرم‌افزار SAS استفاده گردید و به این ترتیب مدل‌های مختلفی که در هر یک از آن‌ها ترکیبات متفاوتی از پارامترهای اقلیمی به‌عنوان متغیرهای ورودی و میزان آب مصرفی به‌عنوان متغیر خروجی در نظر گرفته می‌شد، حاصل گردید؛ همچنین به‌منظور بررسی رابطه غیرخطی میان متغیرهای نام‌برده روش الگوریتم خوشه‌بندی فازی مورد استفاده قرار گرفت و خروجی‌های متناظر با هر یک از مدل‌های ارایه شده با استفاده از برنامه نوشته شده در نرم‌افزار MATLAB 7.10 تعیین شدند. ۷۵ درصد داده‌ها برای واسنجی مدل‌های نام‌برده مورد استفاده قرار گرفت و صحت‌سنجی و تعیین خطای هر یک از مدل‌ها براساس ۲۵ درصد باقی‌مانده داده‌ها انجام شد. با استفاده از شاخص‌های آماری مختلف مانند ریشه میانگین مربعات خطا، میانگین خطای اریبی و ضریب ناش- ساتکلیف مقادیر برآورد شده با مقادیر اندازه‌گیری شده مقایسه گردید

(رضایی پزند، ۲۰۰۱). در نهایت با بهره‌گیری از روش‌های رگرسیونی رابطه‌ای برای برآورد میزان مصرف آب شهری براساس پارامترهای اقلیمی ارایه گردید.

نتایج

با در اختیار داشتن مقادیر پارامترهای هواشناسی در طی دوره آماری ۸۹-۱۳۷۱ و با کاربرد مدل مارکف سالانه درجه ۱ مقادیر این پارامترها در طی سال‌های ۱۴۰۰-۱۳۹۰ برآورد گردید؛ در جدول ۱ متوسط مقادیر برآورد شده با میانگین درازمدت مقادیر این پارامترها مقایسه شده است.

جدول ۱- مقایسه متوسط مقادیر برآورد شده پارامترهای هواشناسی با مقادیر میانگین درازمدت آن‌ها.

پارامترهای اقلیمی				
میزان تبخیر (میلی‌متر)	میانگین رطوبت نسبی (درصد)	میانگین دما هوا (درجه سانتی‌گراد)	حداکثر دما هوا (درجه سانتی‌گراد)	
۳/۶	۷۰/۱	۱۸/۰	۳۱/۴	میانگین مقادیر درازمدت
۳/۶	۶۸/۲	۱۷/۹	۳۰/۹	میانگین مقادیر برآورد شده

نتایج نشان می‌دهد مطابق پیش‌بینی‌های زنجیره مارکف سالانه، در طی ۱۰ سال آینده تغییر محسوسی در میانگین مقادیر این پارامترها نسبت به مقادیر میانگین درازمدت این پارامترها مشاهده نمی‌شود. نتایج مربوط به کاربرد روش‌های همبستگی خطی و غیرخطی در تعیین مهم‌ترین پارامترهای هواشناسی مؤثر در برآورد میزان مصرف آب نشان می‌دهد که پارامترهای حداکثر دمای هوا و میانگین دمای هوا مهم‌ترین متغیرهای ورودی در برآورد میزان مصرف آب می‌باشند. در روش همبستگی خطی مبنای انتخاب مدل برتر شاخص آماری ضریب مالو می‌باشد؛ این ضریب یک شاخص آماری قوی بوده و هر مدل رگرسیونی که دارای ضریب مالو کم‌تری باشد به‌عنوان مدل برتر انتخاب می‌شود (سلطانی، ۲۰۰۸). همچنین در روش همبستگی غیرخطی معیار انتخاب مهم‌ترین پارامترهای ورودی شاخص آماری ضریب ناش- ساتکلیف می‌باشد، مقدار این شاخص از منفی بی‌نهایت تا یک متغیر بوده و هرچه مقدار این شاخص به عدد یک نزدیک‌تر باشد مدل موردنظر از دقت و کارایی بیشتری برخوردار است. پس از تعیین مؤثرترین متغیرهای مستقل ورودی به‌منظور ارایه رابطه‌ای برای برآورد میزان مصرف آب، با کاربرد نرم‌افزار SPSS معادلات خطی و غیرخطی بر متغیرهای مستقل و وابسته برازش داده شد؛ در جدول ۲ فرم این معادلات و مقادیر شاخص‌های آماری ارایه شده است.

جدول ۲- مقادیر شاخص‌های آماری در معادلات خطی و غیرخطی.

C_{NS}	MBE	RMSE	فرم معادله
۰/۵	۳۴/۹۱	۵۷/۵۸	$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2$
۰/۳۸	۳۹/۴	۶۳/۱	$y = b_0 + b_1Ln(x_1) + b_2Ln(x_2)$
۰/۳۸	۴۰/۴	۶۲/۷۵	$y = b_0 x_1^{b_1} x_2^{b_2}$
۰/۲۷	۴۳/۲۷	۶۷/۴۳	$y = b_0 + \frac{b_1}{x_1} + \frac{b_2}{x_2}$
۰/۵۷	۳۲/۲۲	۵۲/۱۴	$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2$
۰/۷۱	۲۶/۹۷	۴۳/۳۵	$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_1^2 + b_3x_2 + b_4x_2^2$
-۰/۶۱	۶۵/۴۹	۱۰۱/۵۳	$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_1^2 + b_3x_1^3 + b_4x_2^2 + b_5x_2 + b_6x_2^2 + b_7x_2^3$

در این رابطه‌ها، $b_0 \dots b_8$ ضرایب ثابت، x_1 : حداکثر دمای هوا، x_2 : میانگین دمای هوا و y : میزان مصرف آب می‌باشند.

نتایج نشان می‌دهد در نظر گرفتن یک معادله درجه ۲ بین متغیرهای ورودی و خروجی به صورت رابطه ۲، با داشتن بیش‌ترین مقدار ضریب ناش - ساتکلیف میزان مصرف آب را با دقت و اطمینان بیش‌تری نسبت به سایر معادله‌ها برآورد می‌نماید.

$$y = 1179/55 + 46/5x_1 - 1/0.1x_1^2 - 83/28x_2 + 2/49x_2^2 \quad (2)$$

نتیجه‌گیری

در این پژوهش سعی شده است تا با در اختیار داشتن مقادیر پارامترهای هواشناسی حداکثر دمای هوا، میانگین دمای هوا، میانگین رطوبت نسبی و میزان تبخیر، ارتباط میان این پارامترها و میزان مصرف آب مورد بررسی قرار گیرد و سپس با تعیین مؤثرترین پارامترها رابطه‌ای به منظور برآورد میزان مصرف آب شهر گرگان ارایه گردد. نتایج کاربرد مدل مارکف سالانه درجه ۱ برای تولید آمار مصنوعی سری‌های زمانی نشان داد که متوسط مقادیر برآورد شده نسبت به میانگین درازمدت این پارامترها تفاوت چندانی ندارد؛ استفاده از نرم‌افزار SAS و الگوریتم خوشه‌بندی فازی برای بررسی ارتباط خطی و غیرخطی بین پارامترهای هواشناسی به‌عنوان متغیرهای ورودی و میزان مصرف آب به‌عنوان متغیر

خروجی، نشان داد پارامترهای حداکثر دمای هوا و میانگین دمای هوا مهم‌ترین متغیرها در برآورد میزان مصرف آب می‌باشند و در نظر گرفتن پارامترهای میانگین رطوبت نسبی و میزان تبخیر به‌عنوان تنها متغیرهای ورودی نتایج مناسبی را به‌دنبال نخواهد داشت. مطالعات سایر پژوهشگران مانند استارک و همکاران (۲۰۰۰)، جو و همکاران (۲۰۰۲)، تابش و دینی (۲۰۰۹)، آداموسکی (۲۰۰۸) و... نیز نشان می‌دهد پارامترهای هواشناسی حداکثر و میانگین درجه حرارت روزانه از جمله پارامترهای مؤثر در برآورد میزان مصرف آب می‌باشند؛ در برازش معادلات خطی و غیرخطی متفاوت بر متغیرهای ورودی و خروجی، نتایج نشان داد که میزان مصرف آب با میانگین دمای هوا همبستگی بهتری را نشان می‌دهد اما در نظر گرفتن حداکثر دمای هوا نیز باعث افزایش دقت برآوردها می‌شود؛ همچنین نتایج نشان داد که معادله درجه ۲ نسبت به سایر معادله‌ها به‌دلیل داشتن ضریب ناش- ساتکلیف بیش‌تر و ریشه میانگین مربعات خطای کم‌تر، با دقت و اطمینان بیش‌تری می‌تواند میزان مصرف آب را برآورد نماید.

منابع

1. Adamowski, J.F. 2008. Peak daily water demand forecast modeling using artificial neural networks. *J. Water Resour. Plan. Manage.* 134: 2. 119-128.
2. Bezdek, J. 1981. *Pattern recognition with fuzzy objective function algorithms.* Plenum, New York. 272p.
3. Joo, C.N., Koo, J.K., and YU, M.J. 2002. Application of short-term water demand prediction model to Seoul. *J. Water Sci. Technol.* 46: 6-7. 255-261.
4. Koorehpazan Dezfuli, A. 2008. *Principles of fuzzy set theory and its applications in the modeling of water engineering problems.* Amirkabir University Jihad Publication Unit. 272p. (In Persian)
5. Maidment, D.R., and Parzen, E. 1984. Cascade model of monthly municipal water use. *J. Water Resour. Res.* 20: 1. 15-23.
6. Rezaee pazhand, H. 2001. *Application of probability and statistics in water resources.* Sokhan Gastar Publication. 456p. (In Persian)
7. Stark, H.L., Stanley, J.S., and Buchanan, I.D. 2000. The application of artificial neural networks to water demand modelling. CSCE 28th annual conference, London, Ont. 7-10 June.
8. Tabesh, M., and Dini, M. 2010. Forecasting daily urban water demand using artificial neural networks, a case study of Tehran urban water. *J. Water Wastewater Cons. Engin.* 21: 1. 84-95. (In Persian)
9. Tabesh, M., and Dini, M. 2009. Fuzzy and neuro-fuzzy models for short-term water demand forecasting in tehran. *Iran. J. Sci. Technol. Trans. B. Engin.* 33: 1. 61-77.

10. Tabesh, M., Goosheh, S., and yazdanpanah, M.J. 2007. Application of artificial neural networks on estimation of short-term urban water demand. J. Fac. Engin. University of Tehran. 41: 1. 11-24. (In Persian)
11. Willsie, R.H., and Pratt, H.L. 1974. Water use relationships and projection corresponding with regional growth. Water Resources Bulletin. 10: 2. 360-371.
12. Wong, S.T. 1972. A model on municipal water demand: a case study of northeastern Illinois. Land Econ. 48: 1. 34-44.
13. Young, R.A. 1973. Price elasticity of demand for municipal water: a case study of Tucson and Arizona. J. Water Resour. Res. 9: 4. 1068-1072.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 21(2), 2014
<http://jwsc.gau.ac.ir>

Short Technical Report

Determining meteorological parameters affecting urban water consumption using fuzzy clustering algorithm (Case study: Gorgan city)

M. Abdi Dehkordi¹, *M. Meftah Halaghi² and M. Kaheh³

¹M.Sc. Graduate, Dept. of Water Resource Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, ²Associate Prof., Dept. of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, ³Ph.D. Graduate, Dept. of Water Structure, Shahid Chamran University of Ahvaz

Received: 11/21/2012; Accepted: 09/24/2013

Abstract

Today, the estimation of water consumption amount is considered as one of the most important and practical issues; the complexity and effect of various factors and parameters on water consumption caused that analytical and mathematical methods not be practical enough in this regard. The conducted studies indicate that meteorological parameters are considered as the most important group in the short-term estimating of water consumption amount. In this study using fuzzy clustering algorithm the nonlinear relationship between climatic parameters as input variables and urban water consumption amount as output variable was investigated and it was compared with the results of linear correlation between mentioned variables. For this purpose the measured data of meteorological parameters of Hashem Abad synoptic station which were collected daily and the amount of water distributed in the city network during Farvardin to Tir of 1391, have been used. Finally, an equation was proposed for short-term estimation of water consumption amount based on climatic parameters using linear and nonlinear regression methods. The results showed that urban water consumption amount indicates a better correlation with temperature mean and considering maximum temperature can increase the accuracy in data estimation. By considering a grade 2 equation among input and output variables the results also showed that by having Nash-Satklif 0.71 and 43/35 Lit/s error's root mean squares, the water consumption amount will be obtained more precisely and certain than other equations.

Keywords: Fuzzy clustering algorithm, Meteorological parameters, Water consumption

* Corresponding Author; Email: meftah_20@yahoo.com

