

Prediction of monthly consumption of drinking water in the Sistan region under climate change impact

Zahra Ghaffari Moghadam^{1*}, Ali Sardarshahraki²

1. *Corresponding Author*, Assistant Professor, Department of Agricultural Economics, Agriculture Institute, Research Institute of Zabol, Zabol, Iran

2. Associate Professor of Agricultural Economics, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:

Received: 22 July 2022

Revised: 11 March 2023

Accepted: 19 April 2023

Keywords:

Meta-heuristic algorithm, prediction, Water consumption, Climate.

ABSTRACT

Water scarcity has become a problem of concern for many cities in the world. Predicting water demand helps policymakers and water suppliers maintain the balance between the supply and demand of urban water resources, thereby preventing water wastage and shortage. Forecasting Urban Water Consumption (UWC) has a significant impact on efficient urban water management in cities in arid regions when considering the implications of climate change. In this research, five firefly algorithms were used to estimate the consumption of drinking water in the Sistan region for the years 2006-2020 and were compared. The data from 2006 to 2015 were used for training and learning and finding the optimal weight of the model, and the remaining data from 2016 to 2020 were used to test the model. The results of the model showed that 5 different FA models can get possible answers. In the exponential and hybrid models, the relative error in the NDFA algorithm is 0.19, which has the lowest relative error among other algorithms, and in the linear model, the VSSFA algorithm has the lowest relative error with a relative error of 0.196. Therefore, the exponential model and NDFA method have better performance than other models and algorithms. And its prediction accuracy is above 81%. After ensuring the accuracy of the algorithm, the consumption of drinking water was predicted for the years 2023, 2024, and 2025. The results showed that the peak consumption is in July and August and the total consumption in 1402, 1403, and 1404 is equal to 7293, 7558, and 7674 thousand cubic meters, respectively.

Cite this article: Ghaffari Moghadam, Z., & SardarShahraki, A. (2023). Prediction of monthly consumption of drinking water in the Sistan region under climate change impact. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 12(37). 75-100. DOI: 10.22111/jneh.2023.42994.1912



© Zahra Ghaffari Moghadam

Publisher: University of Sistan and Baluchestan

DOI: 10.22111/jneh.2023.42994.1912

* Corresponding Author Email: zahraghafari@uoz.ac.ir



مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره ۱۲، شماره ۳۷، مهر ۱۴۰۲

اثر گذاری تغییرات آب و هوایی در پیش بینی مصرف ماهانه آب شرب منطقه سیستان

با استفاده از الگوریتم کرم شب تاب

زهرا غفاری مقدم^{*۱} ID، علی سردار شهرکی

۱. استادیار گروه اقتصاد کشاورزی، پژوهشکده کشاورزی، پژوهشگاه زابل، زابل (نویسنده مسئول)

۲. دانشیار اقتصاد کشاورزی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	کمبود آب به یک معضل نگران کننده برای بسیاری از شهرهای جهان تبدیل شده است. پیش بینی تقاضای آب به سیاست گذاران و تامین کنندگان آب کمک می کند تا تعادل بین عرضه و تقاضای منابع آب شهری را حفظ کنند و در نتیجه از هدر رفت و کمبود آب جلوگیری شود. پیش بینی مصرف آب شهری تأثیر قابل توجهی در مدیریت کارآمد آب شهری در شهرهای مناطق خشک دارد به ویژه زمانی که پیامدهای تغییرات آب و هوایی در نظر گرفته شوند. در این پژوهش از پنج الگوریتم کرم شب تاب برای تخمین میزان مصرف آب شرب در منطقه سیستان برای سال های ۱۳۸۵-۱۳۹۹ استفاده شده و با هم مقایسه شدند. از داده های سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۴ جهت آموزش و یاد گیری و یافتن وزن بهینه مدل استفاده شد و از باقیمانده داده ها از سال ۱۳۹۴ تا ۱۳۹۶ جهت آزمون مدل استفاده شد. نتایج مدل نشان داد ۵ مدل مختلف الگوریتم کرم شب تاب می توانند جواب های احتمالی بدست دهند در مدل نمایی و هیبرید میانگین خطای نسبی در الگوریتم (New dynamic firefly algorithm) NDFA 19/0 می باشد که کمترین میزان خطای نسبی را در بین دیگر الگوریتم ها دارد و در مدل خطی نیز الگوریتم VSSFA (Variable Step Size Firefly Algorithm) با میانگین خطای نسبی ۰/۱۹۶ کمترین میزان خطای نسبی را دارد. بنابراین مدل نمایی و روش NDFA کارایی بهتری نسبت به دیگر مدل ها و الگوریتم ها دارد. و دقت پیش بینی آن بالای ۸۱٪ می باشد. پس از اطمینان از دقت الگوریتم میزان مصرف آب شرب برای سال های ۱۴۰۲، ۱۴۰۳ و ۱۴۰۴ پیش بینی شد. نتایج حاصل نشان داد اوج مصرف در ماه های تیر و مرداد می باشد و کل مصرف در سال ۱۴۰۲، ۱۴۰۳ و ۱۴۰۴ به ترتیب برابر ۷۲۹۳، ۷۵۵۸ و ۷۶۷۴ هزار متر مکعب می باشد.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۳۱	
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۱/۱۲/۲۰	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۱/۳۰	
واژه های کلیدی:	
الگوریتم فرا ابتکاری، پیش بینی، مصرف آب، پارامترهای اقلیمی.	

استناد: غفاری مقدم، زهرا، سردار شهرکی، علی. (۱۴۰۲). اثر گذاری تغییرات آب و هوایی در پیش بینی مصرف ماهانه آب شرب منطقه سیستان با

استفاده از الگوریتم کرم شب تاب. مخاطرات محیط طبیعی، ۱۲(۳۷): ۱۰۰-۷۵. DOI: 10.22111/jneh.2023.42994.1912



© زهرا غفاری مقدم^{*}، علی سردار شهرکی.

ناشر: دانشگاه سیستان و بلوچستان

مقدمه

امروزه بسیاری از کشورها با چالش‌های همزمان متعددی در مدیریت و دسترسی به آب آشامیدنی مواجه هستند. محققان برنامه توسعه ملل متحد^۱ (۲۰۱۳)، فرگوسن^۲ و همکاران (۲۰۱۳)، حسین^۳ و همکاران (۲۰۱۸) و بسیاری از محققان دیگر، تأثیر گرمایش جهانی و تغییرات آب و هوایی مرتبط، مانند افزایش فراوانی و شدت خشکسالی و سیل را به عنوان یکی از مهم‌ترین تأثیرات بر محیط آبی ما شناسایی کرده‌اند، که موجب فشار قابل توجهی بر زیرساخت‌های آبی می‌شود. همچنین گزارش شده است که گرم شدن کره زمین باعث ایجاد عدم قطعیت‌های قابل توجهی در پیش‌بینی‌های برنامه‌ریزی بلندمدت تقاضای آب در مناطق شهری می‌شود (اوربیچ^۴ و رائوچ^۵، ۲۰۱۴). نوسانات روزانه و هفتگی دمای هوا و میزان بارندگی به شدت با تغییرات مصرف آب همراه است به طوری که مصرف آب، رابطه منفی با میزان بارندگی و رابطه مثبت با دمای هوا دارد (چانگ^۶ و همکاران، ۲۰۱۴، دی‌سوزا^۷ و همکاران، ۲۰۱۶، پرندواش^۸ و چانگ^۹، ۲۰۱۶). با نگرانی‌های ذکر شده در مورد تأثیر تغییرات آب و هوایی نیاز به یک برنامه‌ریزی و مدیریت پیشرفته آب جهت تضمین تامین نیاز آب شهری برای رضایت مصرف‌کننده احساس می‌شود (ژانگ^{۱۰} و همکاران، ۲۰۱۹).

نخستین گام برای مدیریت منابع آبی برآورد دقیق تقاضای آب می‌باشد که هدف اصلی آن تعیین تقاضای آب در آینده بر اساس میزان مصرف آن در گذشته و تغییرات محیطی می‌باشد. به طور قابل توجهی عوامل متعددی از جمله عوامل جمعیت شناختی (جمعیت و تعداد مصرف کنندگان)، اقلیمی (بارش و دما)، محیطی (تابش خورشید و رطوبت) و اجتماعی-اقتصادی (قیمت آب، اندازه خانوار و درآمد مالی) بر تقاضای آب شهری تأثیر می‌گذارند (قاسمی ورجانی و فرتاج، ۱۳۹۷، فلفلانی^{۱۱} و کراچیان^{۱۲}، ۲۰۱۶).

مطالعات گذشته مانند تیان^{۱۳} و همکاران (۲۰۱۶)، پرندواش و چانگ، ۲۰۱۶، برنتان^{۱۴} و همکاران (۲۰۱۷)، زبیدی و همکاران (۲۰۱۸) ثابت کرده‌اند که مصرف آب تحت تأثیر متغیرهای آب و هوا در طول سال است. همچنین شرافتی^{۱۵} و همکاران (۲۰۲۱) با استفاده از مدل شبیه‌ساز و مدل برنامه‌ریزی ژنتیکی تقاضای آب در آینده را بر اساس عمق بارندگی و حداکثر دما پیش‌بینی نمودند. هاک^{۱۶} و همکاران (۲۰۱۸) بسیاری از متغیرهای پیش‌بینی‌کننده از جمله عمق بارندگی، تعداد روزهای بارانی، میانگین و حداکثر دما، تبخیر کل، تابش خورشیدی و

¹ UNDP
² Ferguson
³ Hossain
⁴ Urich
⁵ Rauch
⁶ Chang
⁷ De Souza
⁸ parndvash
⁹ Chang
¹⁰ Zhang
¹¹ Felfelani
¹² Kerachian
¹³ Tian
¹⁴ Brentan
¹⁵ Sharafati
¹⁶ Haque

قیمت آب را برای پیش‌بینی تقاضای آب در مناطق شهری ارزیابی کردند. آن‌ها دریافته‌اند که عمق بارندگی و دما قوی‌ترین پیش‌بینی‌کننده‌های تقاضای آب هستند. رسی‌فقیهی^۱ و همکاران (۲۰۲۰) از مدل بیزی برای ارزیابی تأثیر تغییر آب و هوا بر تقاضای بلندمدت آب مسکونی در مونترال، کانادا استفاده کردند. آن‌ها دریافته‌اند که دما و بارندگی روزانه به طور قابل توجهی بر تقاضای آب تأثیر می‌گذارد. تحقیقات روند افزایش قابل توجهی را در تقاضای آب در آینده شناسایی کرده است.

برای برآورد تقاضای منابع آب، روش‌هایی مانند روش سهمیه‌ای سری زمانی، تحلیل رگرسیون، پیش‌بینی خاکستری و شبکه عصبی مصنوعی ارائه شده است. در اغلب این روش‌ها به دلیل رفتارهای تصادفی مصرف‌کنندگان انتخاب پارامترهای وزنی با مشکل همراه است که برای رفع این مشکل در چند سال اخیر الگوریتم‌های هوش مصنوعی برای پیش‌بینی و تخمین تقاضای آب به کار رفته است. به طوریکه الگوریتم‌های کلونی مورچگان (داریگو^۲ و دی‌کارو^۳، ۱۹۹۹) و ازدحام ذرات (کیندی^۴ و ابرهارت^۵، ۱۹۹۵) در زمان خود مسائل بهینه‌سازی زیادی را حل کرده‌اند. از نسل دوم الگوریتم‌های بهینه‌سازی که مربوط به دهه گذشته می‌باشد می‌توان به الگوریتم‌های رقابت استعماری (آتش‌پز^۶ و لوکاس^۷، ۲۰۰۷) الگوریتم جستجوی گرانشی (راشدی^۸ و همکاران، ۲۰۰۹) الگوریتم جستجوی فاخته (رجیبیون^۹، ۲۰۱۱) اشاره نمود. از الگوریتم‌هایی که در سال‌های اخیر ارائه شدند می‌توان به الگوریتم‌های بهینه‌سازی شبکه عصبی (سعداله^{۱۰} و همکاران، ۲۰۱۸) الگوریتم کرم خاکی (وانگ^{۱۱} و همکاران، ۲۰۱۸) و کرم شب‌تاب^{۱۲} (وانگ^{۱۳}، ۲۰۱۸)، الگوریتم‌های ماهی بادبانی (شادروان^{۱۴} و همکاران، ۲۰۱۹)، پروانه شهریار (وانگ^{۱۵} و همکاران، ۲۰۱۹)، الگوریتم قوش هاوک (حیدری و همکاران، ۲۰۱۹) و تیرانداز خلاقانه (پیجارسکی^{۱۶} و کاکجکو^{۱۷}، ۲۰۱۹) و الگوریتم نسبت طلایی در گیاهان (نعمت‌الهی و همکاران، ۲۰۲۰) اشاره نمود. در بین روشهای ارائه شده روشی که بتواند تمامی مسائل را در تمامی انواع آن حل کند وجود ندارد و هر روش فرآینتکاری دارای کمبودهایی می‌باشد. از مطالعاتی که در زمینه پیش‌بینی و تخمین تقاضای آب با استفاده از الگوریتم‌های فرآینتکاری انجام شده است که می‌توان به مطالعات زیر اشاره نمود: قاسمی ورجانی و فرتاج (۱۳۹۷) با استفاده از شبکه عصبی تولید ماهانه آب شرب شهرستان کرج را پیش‌بینی نمودند. نتایج مطالعه حاکی از دقت بالای این روش جهت پیش‌بینی داده‌های آزمون می‌باشد. غفاری مقدم و همکاران (۱۳۹۹) از الگوریتم کرم شب‌تاب پویا برای تخمین میزان تقاضای آب از رودخانه هیرمند در منطقه سیستان استفاده کردند و با چهار الگوریتم مختلف کرم شب‌تاب برای سال‌های ۱۳۸۵ تا

1 Rasifaghihi
 2 Darigo
 3 Di caro
 4 Kennedy
 5 Eberhart
 6 Atashpaz
 7 Lucas
 8 Rashedi
 9 Rajabioun
 10 Sadollah
 11 Wang
 12 Firefly Algorithm
 13 Wang
 14 Shadravan
 15 Wang
 16 Pijarski
 17 kaccjko

۱۳۹۶ مقایسه کردند نتایج مدل نشان داد الگوریتم کرم شب تاب پویا کارایی بهتری نسبت به چهار مدل دیگر دارد؛ و دقت پیش بینی آن بالای ۹۷٪/۹۸ می باشد. برنتان و همکاران (۲۰۱۷) به پیش بینی میزان تقاضای ساعتی آب شرب شهر فرانکا برزیل با استفاده از ماشین بردار پشتیبان پرداختند و نشان دادند که ماشین بردار پشتیبان دقت بالایی در برآورد تقاضای ساعتی آب شرب دارد. ونگ و همکاران (۲۰۱۸) الگوریتم کرم شب تاب پویا جدید^۱ را برای پیش بینی تقاضای ماهانه شهر ناچانگ چین استفاده نموده و نشان دادند که مدل ارائه شده با دقت ۳۳ درصد قادر به پیش بینی میزان تقاضای ماهانه است. از طرفی آن ها براساس مقادیر جمعیت، تولید ناخالص صنعتی و تولید ناخالص کشاورزی به پیش بینی میزان تقاضای سالانه آب شهر ناچانگ در سال های ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۰ پرداختند و پیشنهاد دادند که برای افزایش دقت در برآورد می توان عوامل دیگری چون بهای آب، پارامترهای آب و هوا و محیط زیست را نیز به پارامترهای فوق افزود. ژانگ^۲ و همکاران (۲۰۱۹) از یک الگوریتم جفت بر مبنای الگوریتم بهینه سازی غذای باکتریایی^۳ و بهینه سازی ازدحام کرم های درخشان^۴ برای برآورد تقاضای منابع آب در مطالعه خود استفاده نمودند. نتایج شبیه سازی نشان داد که الگوریتم جفت بالاتری را در مقایسه با الگوریتم بهینه سازی غذای باکتریایی و بهینه سازی ازدحام کرم های درخشان در پیش بینی به دست می آورد.

موسوی میرکلانی و همکاران (۲۰۲۲) مصرف آب شهری را با دو روش شبکه های بیزی و مدل برنامه ریزی ژنی پیش بینی نمودند. نتایج نشان داد مدل شبکه بیزی عملکرد دقیق و مطلوب تری نسبت به مدل برنامه ریزی ژنی دارد. آریا آذر و همکاران (۲۰۲۲) با استفاده از دو الگوریتم تکاملی جدید، الگوریتم بهینه سازی نهنگ^۵ و الگوریتم کرم شب تاب میزان برداشت از آب های زیرزمینی را در آبخوان مرودشت تخمین زدند. نتایج نشان داد که الگوریتم کرم شب تاب در محاسبه بهینه تامین آب پیوسته کارآمدتر است به طوری که حدود ۶۱ درصد از نیازهای آبی در بدترین سناریو برای منابع آب سطحی برآورده کرده است

تنها منبع تامین آب شرب منطقه سیستان، مخازن چاه نیمه می باشد که وابسته به جریان ورودی رودخانه هیرمند می باشد که در سال های اخیر به دلیل جلوگیری از ورود آب توسط دولت افغانستان به رودخانه هیرمند، این منطقه دچار بحران شدید خشکسالی شده است. گرچه در گذشته دغدغه تامین آب کشاورزی وجود داشت اما اینک تامین آب آشامیدنی مردم شهرستان های زابل، هیرمند، زهک، هامون، نیمروز و زاهدان معضل اصلی پیش رو است. بنابراین لازم است با توجه به تغییرات آب و هوایی بلندمدت، مصرف سرانه آب شرب در منطقه سیستان با استفاده از توسعه مدلی قابل اطمینان پیش بینی شود تا بتوان با داشتن این مقدار، برنامه ریزی مناسب در استفاده از منابع آب موجود در زمان حال و آینده انجام داد.

این مطالعه یکی از اولین تلاش ها برای بررسی کامل تأثیر تغییر اقلیم بر تقاضای آب شهری بوده است. نقاط قوت کلیدی این مطالعه استفاده از داده ها در یک دوره پایه طولانی، ۱۳۸۵-۱۳۹۹، و استفاده از عوامل آب و هوایی، گسترش دانش در مورد اینکه چگونه تغییرات آب و هوا باعث افزایش تقاضای آب شهری می شود، است

1 New dynamic Firefly Algorithm

2 Zhang

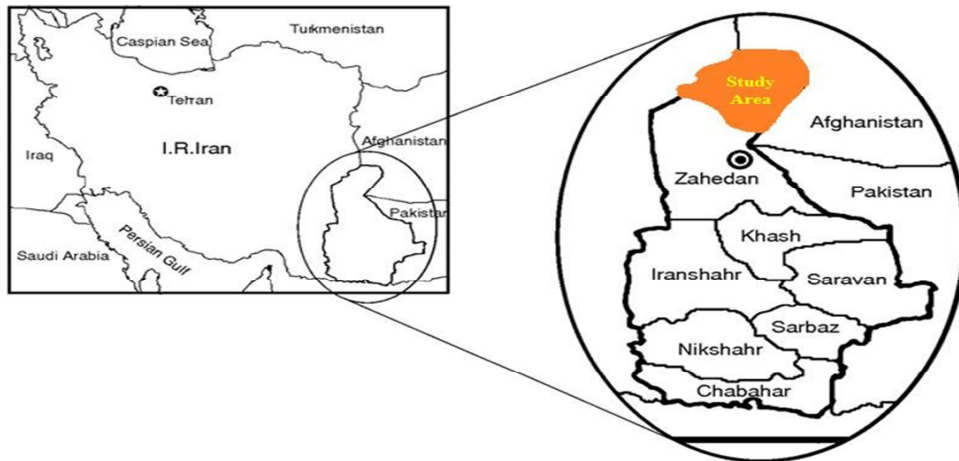
3 Bacteria Foraging Swarm Optimization

4 Glowworm swarm optimization

5 Whale Optimization Algorithm

منطقه مورد مطالعه

منطقه سیستان در شرق ایران و در شمال استان سیستان و بلوچستان با وسعت ۲۵۴۵/۵۱۲ کیلومتر مربع و طول جغرافیایی ۶۱ درجه و ۳۱ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۵۵ دقیقه شمالی، نسبت به نیم روز گرینویچ با ارتفاع ۴۷۸ متر از سطح دریا قرار دارد. سیستان در انتهای یک حوضه وسیع و بسته‌ی داخلی قرار دارد که یکی از بزرگترین مناطق بیابانی دنیاست. این منطقه با مساحتی بیش از ۸۰۰۰ کیلومتر مربع از رسوبات رودخانه هیرمند در طول هزاران سال به وجود آمده است. اقلیم منطقه سیستان براساس طبقه‌بندی کوپن اصلاح شده، اقلیمی صحرائی با آب و هوای خیلی گرم و خشک بیابانی با تابستانهای تابستانهای طولانی و زمستان ملایم قلمداد شده است (رودری و همکاران، ۱۳۹۸).



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه سیستان

متوسط بارندگی سالانه در سیستان بسیار ناچیز و بین ۵۰ تا ۵۵ میلیمتر است که در حدود ۷ درصد متوسط بارندگی در جهان است. میزان تبخیر سالانه آن بسیار بالا و در حدود ۴۸۰۰ میلیمتر گزارش شده است. متوسط حداکثر درجه حرارت در این منطقه ۵ درجه سانتی‌گراد و متوسط حداقل درجه حرارت ۸/۵ درجه سانتی‌گراد است. مهم‌ترین عامل مشخصه آب و هوایی سیستان بادهای ۱۲۰ روزه سیستان است که از اواسط خرداد ماه شروع و تا اوایل مهرماه ادامه دارد و جهت بادهای از شمال غربی به جنوب شرقی است و سرعت آن گاه تا بالای ۱۰۰ کیلومتر در ساعت نیز میرسد. انتقال ماسه، تشدید فرسایش و افزایش میزان تبخیر از عواقب بادهای ۱۲۰ روزه می‌باشد (غفاری مقدم، ۱۴۰۰).

داده‌ها و روش‌ها

الگوریتم‌های فراابتکاری یکی از روش‌های حل موثر مسایل پیچیده به شمار می‌روند که نیازی به محاسبه گرادیان تابع هدف ندارند و پیش فرض خاصی نظیر خطی بودن یا پیوسته بودن را در نظر نمی‌گیرند و بیشتر موارد، جواب‌های قابل قبولی ارائه می‌دهند. الگوریتم کرم شبتاب یکی از الگوریتم‌های فراابتکاری با رویکرد گروهی و دسته

جمعی است که از رفتار نورافشانی کرم‌های شب‌تاب برای حل مسایل بهینه‌سازی استفاده می‌نماید. در الگوریتم کرم شب‌تاب هر راه‌حل مسئله به صورت یک کرم شب‌تاب در نظر گرفته می‌شود و کرم‌های شب‌تاب بر حسب شایستگی می‌توانند از خود نور تولید و سایر کرم‌های شب‌تاب را به سمت خود جذب نمایند (الله یاری خامنه و تقوی، ۱۳۹۴). الگوریتم کرم شب‌تاب در سال ۲۰۰۷ توسط آقای یانگ در دانشگاه کمبریج ارائه شده است. این الگوریتم مانند الگوریتم ازدحام ذرات یک الگوریتم جستجوی تصادفی بر مبنای جمعیت است. هر کرم شب‌تاب در جمعیت معرف یک جواب دلخواه است. الگوریتم کرم شب‌تاب رفتار جفت‌گیری کرم شب‌تاب را شبیه‌سازی می‌کند و یک کرم شب‌تاب توسط کرم شب‌تاب روشنتر (پر نورتر) دیگری جذب می‌شود و می‌تواند به سمت موقعیت جدید دیگری حرکت کند و جواب بالقوه پیدا شود. الگوریتم FA^1 برای اولین بار توسط یانگ^۲ در سال ۲۰۰۸ ارائه شد که رفتار متحرک کرم شب‌تاب را شبیه‌سازی می‌کند. از زمانی که FA مطرح شد، محققان انواع بسیاری از FA را توسعه دادند و آن‌ها را برای حل بسیاری از مسائل با موفقیت در بسیاری از زمینه‌ها از جمله طراحی سازه (گندمی^۳ و همکاران، ۲۰۱۳)، پیش‌بینی سهام (کازم^۴، ۲۰۱۳)، برنامه‌ریزی تولید (مارچلوا^۵ و همکاران، ۲۰۱۴)، منابع آب (وانگ و همکاران، ۲۰۱۸) و غیره به کار بردند.

برای ایجاد مدل جستجو یانگ سه فرض را پیشنهاد داد:

۱- یک کرم شب‌تاب توسط کرم شب‌تاب روشنتر دیگری جذب می‌شود.

۲- جذابیت هر کرم متناسب با شدت روشنایی آن کرم است.

۳- شدت روشنایی هر کرم مشخص کننده نمایی از تابع هدف مسئله می‌باشد.

این فروض به این معنا هستند که روشنایی کرم شب‌تاب بهترین معیار برازندگی است.

اگر $x_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iD})$ قرار دهیم که X_i ، i امین کرم ابریشم در جمعیت، $i = 1, 2, \dots, N$ که n جمعیت و D اندازه بعد باشد. برای هر دو کرم ابریشم که $i \neq j$ است جذابیت آن‌ها توسط رابطه زیر محاسبه می‌شود (یانگ و همکاران، ۲۰۱۰، وانگ و همکاران، ۲۰۱۸).

$$\beta(r_{ij}) = \beta_0 e^{-\gamma r_{ij}^2} \quad (1)$$

در اینجا β_0 میزان جذابیت برای $r = 0$ است و γ ضریبی برای جذب روشنایی و r_{ij} فاصله بین X_i و X_j هست و به صورت زیر محاسبه می‌شود (یانگ و همکاران، ۲۰۱۰، وانگ و همکاران، ۲۰۱۸).

$$r_{ij} = \|X_i - X_j\| = \sqrt{\sum_{d=1}^D (X_{id} - X_{jd})^2} \quad (2)$$

برای دو کرم ابریشم با روشنایی متفاوت، کرم ابریشم با روشنایی کمتر به سمت کرم با روشنایی بیشتر حرکت می‌کند. در الگوریتم کرم شب‌تاب استاندارد این حرکت به صورت زیر تعریف می‌شود (یانگ و همکاران، ۲۰۱۰، وانگ و همکاران، ۲۰۱۸).

1 Firefly algorithm
2 Yang
3 Gandomi
4 Kazem
5 Marichelvam

$$X_{id}(t+1) = X_{id}(t) + \beta_0 e^{-\gamma r_{ij}^2} (X_{jd}(t) - X_{id}(t)) + \alpha(\text{rand} - \frac{1}{2}) \quad (3)$$

Rand عدد تصادفی بین ۰ و ۱ است و α بین ۰ و ۱ است و پارامتر تصادفی‌سازی نامیده می‌شود.

الگوریتم کرم شب‌تاب یک روش بهینه‌سازی هوش جمعی جدید می‌باشد که کارایی این روش به پارامتر کنترلش وابسته است. در الگوریتم کرم شب‌تاب، پارامترها نقش بسیار مهمی دارند و چگونگی تنظیم آن‌ها دشوار است. در این مطالعه ۵ مدل الگوریتم کرم شب‌تاب برای پیش‌بینی تقاضای آب شرب استفاده شده است و مورد مقایسه قرار گرفتند.

۱- الگوریتم FA: الگوریتم کرم شب‌تاب استاندارد که توسط یانگ معرفی شده است در این الگوریتم α و β_0 به ترتیب ۰/۵ و ۱ می‌باشند (یانگ^۱، ۲۰۰۸)

۲- الگوریتم MFA^۲: این الگوریتم، الگوریتم کرم شب‌تاب ممیتیک نامیده می‌شود و توسط فیستر^۳ و همکاران ارائه شده است در این روش پارامتر تصادفی‌سازی به طور خودکار همراه با افزایش تولید نسل تعدیل می‌شود.

در این الگوریتم $\alpha(0)$ ، γ ، β_0 و β_{min} به ترتیب ۰/۵، ۱، ۱ و ۰/۲ هستند. در این روش مقدار پارامتر آلفا و بتا با استفاده از روابط زیر بدست می‌آید (فیستر و همکاران، ۲۰۱۲).

$$\alpha(t+1) = \left(\frac{1}{9000}\right)^t \alpha(t) \quad (4)$$

$$\beta = \beta_{min} + (\beta_0 - \beta_{min}) e^{-\gamma r_{ij}^2} \quad (5)$$

۱- الگوریتم VSSFA^۴: این الگوریتم توسط یو^۵ و همکاران پیشنهاد شد. آن‌ها اشاره کردند به اینکه یک α بزرگ می‌تواند یک جستجو فضایی جدیدی را ایجاد کند و یک α کوچک برای جستجو محدود به یک محل (موضعی) مفید است. در این الگوریتم هر دو مقدار β_0 و γ برابر با ۱ می‌باشد. مقدار پارامتر آلفا از رابطه زیر محاسبه می‌شود (یو و همکاران، ۲۰۱۵).

$$\alpha(t) = \frac{0.4}{1 + e^{-\frac{t - G_{max}}{200}}} \quad (6)$$

۲- الگوریتم ApFA^۶: چییونگ^۷ و همکاران (۲۰۱۴) یک FA تطبیقی (ApFA) را معرفی کردند و یک فاصله سازگار بر مبنای ضریب جذابیت برای ابدیت کردن γ تعریف کردند. در ApFA، β_0 و $\alpha(0)$ به ترتیب ۰/۵ و ۱ می‌باشد. در این روش نیز مقدار آلفا و بتا با استفاده از روابط زیر بدست می‌آید:

$$\alpha(t+1) = \left(1 - \frac{t}{G_{max}}\right) \alpha(t) \quad (7)$$

$$\beta_0(t+1) = \begin{cases} \text{rand}_1 & \text{if } \text{rand}_2 < 0.5 \\ \beta_0 & \text{else} \end{cases} \quad (8)$$

1 Yang

2 Memetic Firefly Algorithm

3 Fister

4 Variable Step Size Firefly Algorithm

5 Yu

6 Adaptive control Parameters Firefly Algorithm

7 Cheung

در اینجا $rand_1$ و $rand_2$ دو عدد تصادفی هستند و مقدار $\beta_0 = 1$ می‌باشد (وانگ و همکاران، ۲۰۱۶، چنگ و همکاران، ۲۰۱۴)

۳- الگوریتم^۱ N DFA: در الگوریتم FA استاندارد شرط همگرا بودن FA این است که (وانگ، ۲۰۱۸):

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \alpha = 0 \quad (9)$$

طبق این شرط، یک استراتژی پارامتر پویای جدید طراحی شده است. در مقایسه با FA استاندارد فاکتور تصادفی سازی در اینجا ثابت نیست و می‌تواند به طور خودکار با استفاده از رابطه زیر تعدیل شود:

$$\alpha(t+1) = \alpha(t) \cdot \exp\left(-k \cdot \frac{t}{G_{\max}}\right) \quad (10)$$

بنابراین در N DFA فاکتور تصادفی سازی α به طور پویا در طی فرایند جستجو تعدیل می‌شود. در اینجا k بین ۰ و ۱ است و نرخ افزایشی نام دارد که می‌تواند سرعت کاهش α را تعدیل کند. نرخ کاهشی k ممکن است روی کارایی پارامتر مدل تأثیر بگذارد. مقدار پارامتر k بر اساس مطالعات تجربی انجام شده ۰/۲ در نظر گرفته شده است (وانگ و همکاران، ۲۰۱۷، وانگ و همکاران، ۲۰۱۸). در اغلب مطالعات اخیر α در دامنه ۰ و ۱ محدود می‌شد به طوریکه $\alpha(0)$ با 0.5 شروع می‌شود. بنابراین در N DFA مقدار اولیه $\alpha(0)$ ، β_0 ، γ ، به ترتیب ۰/۵، ۱ و $\frac{1}{F^2}$ می‌باشد. Γ فاصله دامنه جستجو هست.

در این الگوریتم‌ها FEs تعداد ارزیابی‌های برازنده است و maxFEs حداکثر تعداد ارزیابی‌های برازنده، G_{\max} حداکثر تعداد تولید نسل (یا حداکثر تعداد تکرار) و t نشان‌دهنده شاخص تولید نسل می‌باشد. مقدار پارامتر N و max EFs به ترتیب ۲۵ و $1.0E+05$ می‌باشد.

نرمال سازی داده‌ها:

برای حذف اثر مختلف واحد داده‌ها از روش نرمال سازی استفاده شده است. برای این منظور از رابطه ۱۱ جهت نرمال سازی داده‌ها استفاده شد:

$$W^* = \frac{W - W_{\min}}{W_{\max} - W_{\min}} \quad (11)$$

در اینجا W^* مقدار نرمال شده، W مقدار متغیر مربوطه، W_{\min} کمترین مقدار و W_{\max} بیشترین مقدار برای متغیر مربوطه می‌باشد (وانگ و همکاران، ۲۰۱۸).

تابع ارزیابی برازندگی:

در این الگوریتم داده‌ها به دو بخش داده‌های آموزش و آزمون تقسیم می‌شوند. داده‌ها از سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۴ برای بهینه‌سازی فاکتور وزنی مدل‌های تخمینی استفاده شده است و مدل آموزش داده می‌شود و باقیمانده داده‌ها ۱۳۹۵-۱۳۹۹ برای آزمون مدل به کار می‌رود. جهت ارزیابی کیفیت فاکتورهای وزنی بدست آمده، جمع مربعات خطا (SSE^2) برای ساختن تابع ارزیابی برازندگی به کار می‌رود (وانگ و همکاران، ۲۰۱۸).

1 New Dynamin Firefly Algorithm

2 Sum of Squared Errors

$$f(x) = \sum_{i=1}^m (Y_{pre} - Y_{act})^2 \quad (12)$$

معیارهای ارزیابی عملکرد:

در این تحقیق جهت ارزیابی دقت مدل از دو شاخص خطای نسبی و میانگین خطای نسبی استفاده شده است.

$$MRE = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{Y_{pre(i)} - Y_{act(i)}}{Y_{act(i)}} \quad (13)$$

$$RE = \left| \frac{Y_{pre} - Y_{act}}{Y_{act}} \right| \quad (14)$$

و همچنین از سه مدل برای پیش‌بینی مصرف آب شرب استفاده شده است با در نظر گرفتن پیشنهاد آساره^۱ و همکاران (۲۰۱۰) دو فرم خطی و نمایی و مدل هیبرید طبق پیشنهاد وانگ و همکاران (۲۰۱۸) معرفی شده است. رابطه ۱۵، ۱۶ و ۱۷ به ترتیب نمایانگر مدل خطی، نمایی و هیبرید است و مدل هیبرید در واقع مدلی بین دو مدل خطی و نمایی می‌باشد.

$$Y_l = X_1 \cdot W_1 + X_2 \cdot W_2 + X_3 \cdot W_3 + X_4 \cdot W_4 + X_5 \cdot W_5 + X_6 \cdot W_6 + X_7 \cdot W_7 + X_8 \cdot W_8 + X_9 \quad (15)$$

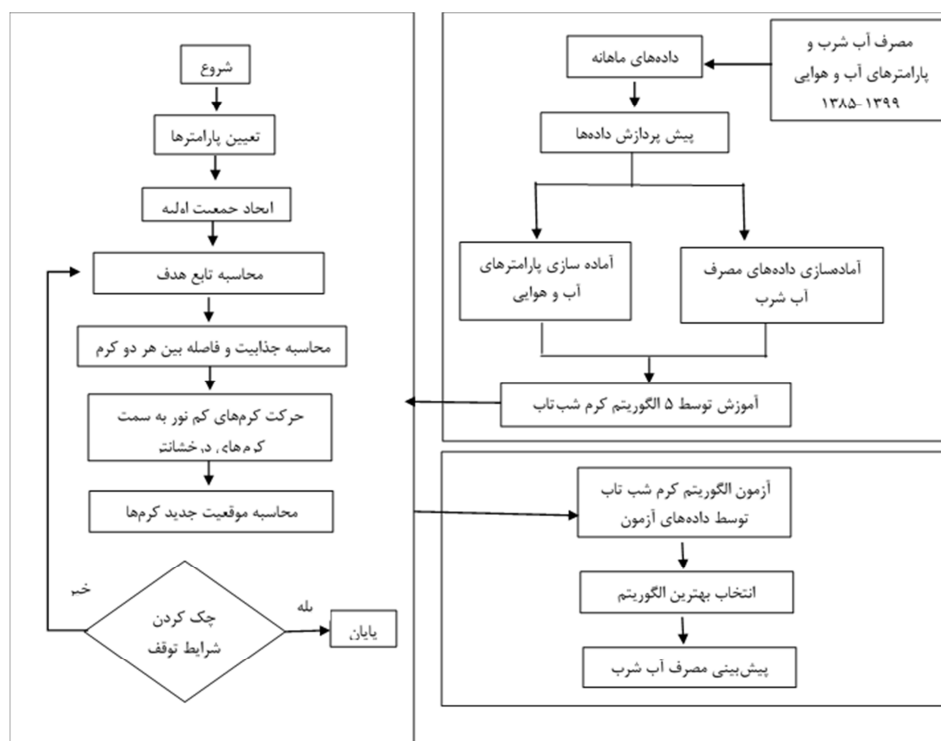
$$(16)$$

$$Y_e = X_1 \cdot W_1^{X_2} + X_3 \cdot W_2^{X_4} + X_5 \cdot W_3^{X_6} + X_7 \cdot W_4^{X_8} + X_9 \cdot W_5^{X_{10}} + X_{11} \cdot W_6^{X_{12}} + X_{13} \cdot W_7^{X_{14}} + X_{15} \cdot W_8^{X_{16}} + X_{17}$$

$$Y_h = X_1 \cdot Y_l + (1 - X_1) \cdot Y_e \quad (17)$$

در اینجا W_1 تا W_8 به ترتیب متغیرهای آب و هوایی شامل حداکثر دما، حداقل دما، میانگین دما، بارندگی، میانگین رطوبت، حداکثر سرعت باد، ساعت آفتابی و تبخیر می‌باشد و X_i وزن متناظر با هر یک از آن‌ها می‌باشد. بعد از اینکه بهترین مدل و بهترین الگوریتم جهت پیش‌بینی مصرف آب شرب تعیین شد پیش‌بینی میزان مصرف آب در سه سال آتی ۱۴۰۲، ۱۴۰۳ و ۱۴۰۴ با استفاده از الگوریتم و مدل منتخب انجام می‌شود. در شکل ۲ فلوجارت روش‌شناسی پژوهش نشان داده شده است.

¹ Assareh



شکل ۲: فلوجارت روش شناسی پژوهش

در این مطالعه از داده‌های تاریخی ماهانه اندازه‌گیری مصرف آب شهری (هزار متر مکعب) در منطقه سیستان (شامل ۵ شهرستان زابل، زهک، هیرمند، نیمروز و هامون) استفاده گردید که این آمار از اداره آب و فاضلاب شهرستان زابل دریافت شده است. پارامترهای اقلیمی مورد نیاز نیز شامل حداکثر دما (درجه سانتی‌گراد)، حداقل دما (درجه سانتی‌گراد)، میانگین دما (درجه سانتی‌گراد)، بارندگی (میلی‌متر)، ساعات آفتابی، تبخیر، حداکثر سرعت باد و میانگین رطوبت می‌باشد که برای دوره ۱۳۸۵-۱۳۹۹ از سازمان هواشناسی کشور برای ایستگاه‌های سینوپتیک زابل و زهک دریافت گردید. این طیف از عوامل اقلیمی توسط چندین محقق مورد استفاده قرار گرفته است (فنتا مکونن^۱ و دایسی^۲، ۲۰۱۸، کادیلای^۳ و همکاران، ۲۰۱۵، عثمان^۴ و همکاران، ۲۰۱۷).

برای بررسی تغییرات بلند مدت (روند) پارامترهای آب و هوایی مورد نظر از آزمون ناپارامتریک من-کندال استفاده گردید. این آزمون بر مبنای مقایسه فرض صفر و یک بوده و در نهایت در مورد پذیرش یا رد فرض صفر تصمیم‌گیری می‌نمایند. فرض صفراین آزمون مبتنی بر تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری داده‌ها است و پذیرش فرض یک (رد فرض صفر) دال بر وجود روند در سری داده‌ها می‌باشد. در صورت مثبت بودن آماره‌ی روند سری داده‌ها صعودی و در صورت منفی بودن آن، روند نزولی در نظر گرفته می‌شود.

1 Fenta Mekonnen

2 Disse

3 Kadiyala

4 Osman

نتایج و بحث

تحلیل روند سالانه و فصلی پارامترهای آب و هوایی مورد بررسی و میزان مصرف شرب با استفاده از آزمون من-کندال برای یک دوره آماری ۱۵ ساله بررسی شد که نتایج آن در ادامه آورده شده است. نتایج آزمون من-کندال برای پارامتر دما نشان می‌دهد که روند تغییرات دما در طی دوره مورد بررسی روند افزایشی و معنی‌داری داشته است که گویای گرم شده اقلیم منطقه است. بر اساس داده‌های هواشناسی متوسط بارندگی ماهانه زابل در طول دوره ۱۳۸۵-۱۳۹۹، ۰/۲ میلی متر است. روند تغییرات بارندگی در سال‌های مورد بررسی کاهشی و معنی دار بوده است.

با توجه به ارقام ایستگاه سینوپتیک زابل مقدار تبخیر بر حسب ماه‌های سال متفاوت بوده و در ماه‌های خرداد تا شهریور بیشترین مقدار تبخیر با متوسط ۱۰۸۴/۸۶ میلی‌متر در خرداد و کمترین میزان تبخیر در دی ماه با متوسط ۴۰/۳ میلی‌متر ثبت شده است. روند تغییرات میزان تبخیر در طی سال‌های مورد بررسی افزایشی و مثبت بوده است که هر ساله میزان تبخیر ۰/۱۷ میلی‌متر افزایش داشته است. نتایج مربوط به سرعت باد، ساعت آفتابی نیز حاکی از وجود روند مثبت و افزایشی در تغییرات این پارامترها در دوره مورد بررسی می‌باشد روند تغییرات میزان مصرف آب شرب در طی سال‌های مورد بررسی نیز حاکی از وجود روند افزایشی و معنی دار می‌باشد به طوریکه میزان مصرف آب شرب هر سال به طور متوسط ۲۱۷۹۴ متر مکعب افزایش داشته است که علت آن می‌تواند تغییرات آب و هوایی در طی دوره مورد بررسی باشد. در شکل‌های ۳ تا ۸ نتایج آزمون من-کندال به صورت نموداری آورده شده است.

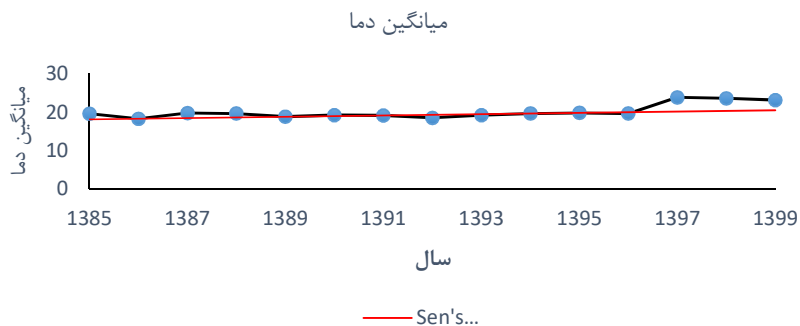
در جدول ۱ مقادیر آماره Z و شیب سن آزمون من - کندال برای پارامترهای اقلیمی به صورت فصلی آورده شده است. نتایج نشان می‌دهد که روند تغییرات دما در هر چهار فصل روند افزایشی و میزان بارندگی نیز در هر چهار فصل روند کاهشی داشته است. رطوبت برای همه فصول به جز فصل بهار روند کاهشی و سرعت باد نیز در همه فصول به جز زمستان روند افزایشی داشته است. میزان تبخیر نیز در فصل تابستان روند افزایشی در سایر فصول روند کاهشی داشته است ساعات آفتابی نیز در همه فصول به جز فصل پاییز روند کاهشی داشته است. مقدار مصرف شرب در همه فصول روند افزایشی و معنی دار داشته است که در فصل تابستان روند تغییرات بیشتر بوده است

جدول ۱: مقادیر آماره‌های Z و شیب سن آزمون من-کندال در تحلیل روند پارامترهای اقلیمی منطقه سیستان

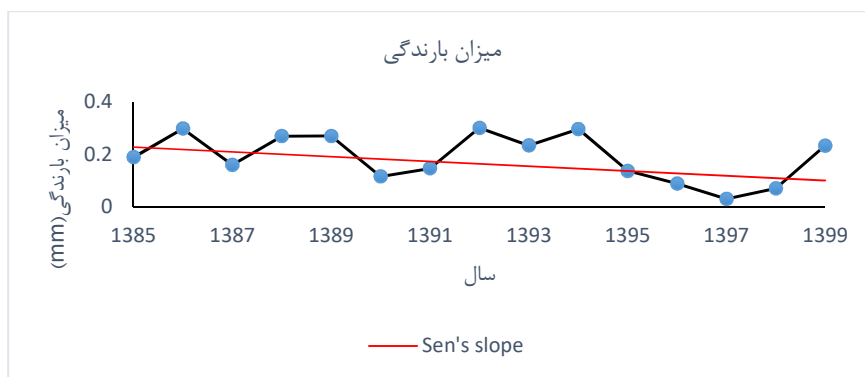
سالانه	دما	بارندگی	رطوبت	سرعت باد	تبخیر	ساعت آفتابی	مصرف شرب
سالانه	۲/۲۷*	-۱/۷۸*	-۰/۶۹	۰/۶۹	۱/۲۹	۰/۴	۴/۰۵
شیب سن	۰/۱۷	-۰/۰۰۹	-۰/۱۴	-۰/۱۲	۰/۱۷	۰/۰۰۴	۲۱۷۹۴/۶
بهار	۱/۸۸*	-۰/۳۹	۱/۶۸*	۰/۲۹	-۰/۳۰	-۰/۲۹	۳/۹۵**
شیب سن	۰/۲۳	-۰/۰۰۶	۰/۶۳	۰/۰۹	-۰/۰۳	-۰/۰۰۷	۱۹۶۵۷/۵
تابستان	۱/۲۸	-۰/۸۶	-۰/۳۹	۱/۰۸	۰/۰۹۸	-۰/۰۹۸	۴/۱۵**
شیب سن	۰/۰۹	-۰/۰۰۰۱	-۰/۰۱۶	۰/۲۵	۰/۰۱۹	-۰/۰۰۵	۲۵۳۹۱/۲۴
پاییز	۲/۷۶**	-۱/۷۳	-۰/۴۹	۱/۴۸	-۰/۷۹	۰/۵۹	۳/۹۵**
شیب سن	۰/۱۵	-۰/۰۰۶	-۰/۲۴	۰/۲۳	-۰/۰۴۱	۰/۰۳۱	۲۲۰۴۴
زمستان	۱۹/۷۹**	-۰/۸۹	-۰/۹۸	-۰/۳۰	-۰/۵۴	-۰/۷۹	۴/۰۵**
شیب سن	۰/۲۶	-۰/۰۱۲	-۰/۳۹	-۰/۰۱۲	-۰/۱۱۴	-۰/۰۱۵	۱۸۹۸۵/۸

** معنی داری در سطح ۱ درصد

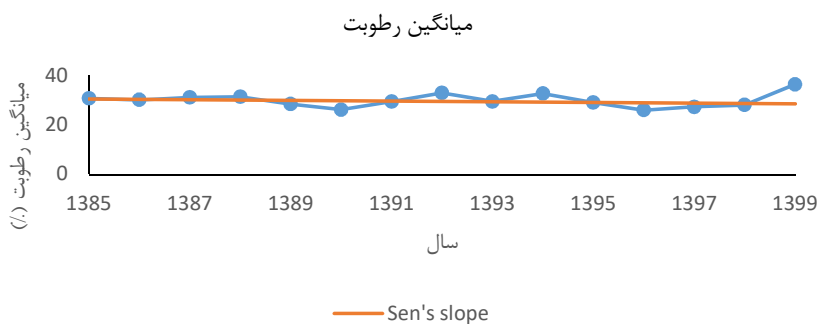
* معنی داری در سطح ۵ درصد



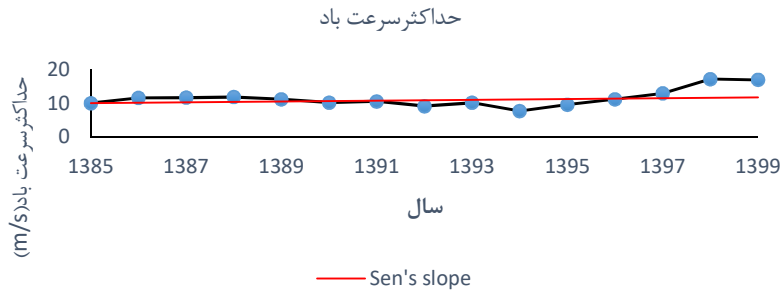
شکل ۳: روند سالانه میانگین دما طی یک دوره ۱۵ ساله منطقه سیستان



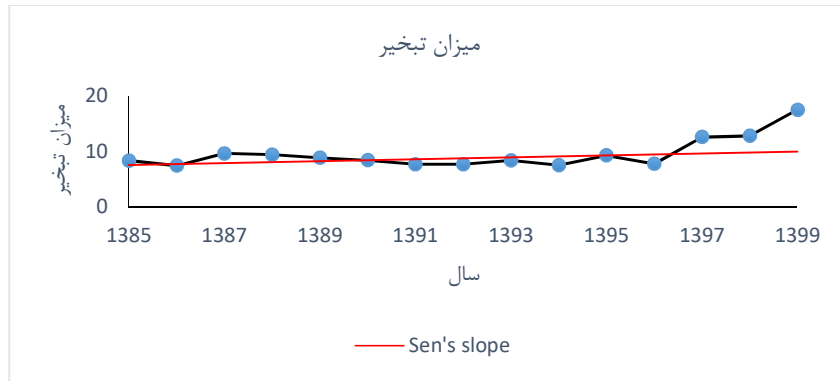
شکل ۴: روند سالانه میانگین بارندگی طی یک دوره ۱۵ ساله منطقه سیستان



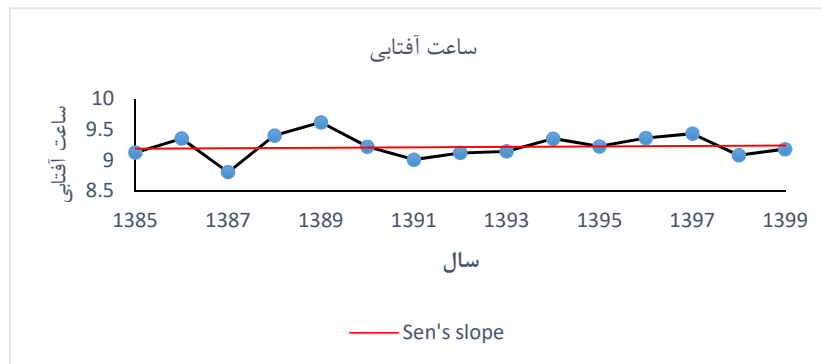
شکل ۵: روند سالانه میانگین رطوبت طی یک دوره ۱۵ ساله منطقه سیستان



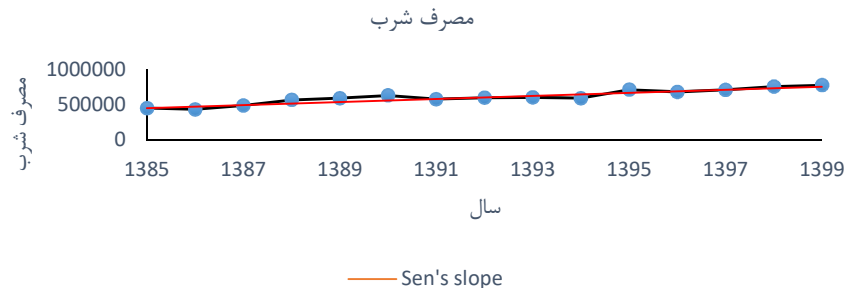
شکل ۶: روند سالانه حداکثر سرعت باد طی یک دوره ۱۵ ساله منطقه سیستان



شکل ۷: روند سالانه میانگین تبخیر طی یک دوره ۱۵ ساله منطقه سیستان



شکل ۸: روند سالانه میانگین ساعت آفتابی طی یک دوره ۱۵ ساله منطقه سیستان



شکل ۹: روند سالانه میانگین مصرف آب شرب طی یک دوره ۱۵ ساله منطقه سیستان

اولین مرحله در توسعه الگوریتم کرم شب‌تاب جهت پیش‌بینی مقدار تقاضای ماهانه آب شرب منطقه سیستان پیش‌پردازش داده‌ها می‌باشد. در این مرحله داده‌ها به دو بخش تقسیم می‌شوند. بخش اول داده‌های آموزش که به منظور یادگیری الگوریتم استفاده می‌شود و بخش دوم داده‌های آزمون می‌باشد که جهت بررسی دقت الگوریتم در پیش‌بینی به کار گرفته می‌شود. از داده‌های سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۴ به عنوان داده‌های آموزش و از داده‌های سال‌های ۱۳۹۵ تا ۱۳۹۹ به عنوان داده‌های آزمون استفاده شده است. شاخص‌های آماری مربوط به داده‌های آموزش و آزمون در جدول ۲ ارائه گردیده است. همانطور که مشاهده می‌شود شاخص‌های آماری داده‌های آموزش و آزمون در بازه مشابه قرار دارند.

جدول ۲: شاخص‌های آماری متغیرهای مورد استفاده در پیش‌بینی مقدار مصرف آب شرب سیستان

متغیر	نوع داده	حداکثر	حداقل	میانگین	انحراف معیار
حداکثر دما	داده آموزش	۳۸/۸	۸/۱	۲۷/۵	۸/۵
	داده آزمون	۴۴/۳	۱۵/۸	۳۰/۵	۸/۹
کمینه دما	داده آموزش	۲۲/۵	-۴/۲	۱۱/۵	۷/۶۴
	داده آزمون	۳۰/۳	-۰/۷	۱۴/۴	۹/۳
میانگین دما	داده آموزش	۳۰/۶	۲/۸	۱۹/۵	۸/۰۳
	داده آزمون	۳۷/۳	۸/۰۸	۲۲/۴	۹/۰۵
بارندگی	داده آموزش	۱/۹۶	۰	۰/۲۴	۰/۴۴
	داده آزمون	۰/۹	۰	۰/۱۱	۰/۲۲
میانگین رطوبت	داده آموزش	۶۱/۵	۱۲/۸	۲۹/۸	۱۴/۰۵
	داده آزمون	۵۹/۹	۱۲/۳	۲۹/۲	۱۲/۲۲
پیشینه سرعت باد	داده آموزش	۱۶/۱	۵/۵	۱۰/۵	۲/۱۷
	داده آزمون	۲۶/۶	۷	۱۳/۷	۵/۱۷
ساعت آفتابی	داده آموزش	۱۲/۳	۴/۶	۹/۲۴	۱/۵۴
	داده آزمون	۱۱/۹	۵/۶	۹/۳	۱/۶۳
تبخیر	داده آموزش	۱۶/۴	۰	۸/۶	۴/۶۳
	داده آزمون	۲۷/۴۴	۰	۱۰/۶	۷/۵۷

در این مطالعه برای دستیابی به پاسخ بهینه و مناسب در الگوریتم کرم شب‌تاب نیاز به تنظیم پارامترهایی مانند اندازه جمعیت، تعداد تکرار، میزان جهش، ضریب جذب نور و جذابیت کرم شب‌تاب است. مقادیر بهینه پارامترهای اولیه الگوریتم کرم شب‌تاب بر اساس تجربه، از تکرارهای متعدد اجرای الگوریتم و به صورت آزمون و خطا به دست آمده است. با تغییر این پارامترها و مقایسه نتایج پاسخ‌های بهینه توابع هدف در هر حالت، بهترین مقادیر برای این پارامترها برآورد شد و نتایج آن در جدول ۲ ارائه شد.

جدول ۳: پارامترهای مختلف الگوریتم بهینه‌سازی کرم شب‌تاب

پارامتر	مقدار
تعداد جمعیت	۲۵
تعداد تکرار	۱۰۰۰
ضریب جذب نور	۱
جذابیت کرم شب‌تاب	۱
میزان جهش	۰/۵

در جداول ۴ تا ۶ عملکرد الگوریتم‌های پیشنهادی برای سه مدل خطی، نمایی و هیبرید به طور مجزا ارایه شده است. عملکرد الگوریتم‌ها با استفاده از میانگین خطای نسبی ارزیابی شد. همانطور که نتایج نشان می‌دهد بهترین خطا ۱۴ درصد و بدترین خطا ۳۲ درصد، که نشان می‌دهد صحت پیش‌بینی بین ۸۶ و ۶۸ درصد می‌باشد. بر اساس نتایج جدول ۵ و ۶ در مدل‌های نمایی و هیبرید میانگین خطای نسبی بدست آمده در الگوریتم NDFA برابر با ۰/۱۹ می‌باشد که میزان خطا نسبت به سایر الگوریتم‌ها کمتر است و همچنین بر اساس نتایج جدول ۴ در مدل خطی الگوریتم VSSFA میانگین خطای نسبی بهتری نسبت به دیگر الگوریتم‌ها دارد. طبق نتایج بدست آمده از میانگین خطای نسبی کارایی سه مدل تخمین زده به این صورت است که ابتدا مدل نمایی، هیبرید و سپس خطی کارایی بیشتری دارند. بنابراین در بین ۵ الگوریتم کرم شب‌تاب، میانگین خطای نسبی در مدل نمایی نسبت به سایر مدل‌ها بهتر است و می‌توان با استفاده از این مدل، به پیش‌بینی دقیق‌تر رسید. در بین الگوریتم‌های مورد بررسی الگوریتم NDFA در بین سایر الگوریتم‌ها میانگین خطای نسبی کمتری دارد و دقت پیش‌بینی با این الگوریتم ۸۱ درصد می‌باشد و از دقت پیش‌بینی بالاتری برخوردار می‌باشد. بنابراین در بین الگوریتم‌ها، الگوریتم NDFA و در بین مدل‌ها، مدل نمایی کارایی بهتری در پیش‌بینی میزان مصرف آب دارد.

جدول ۴: مقادیر شاخص ارزیابی مربوط به اجرای انواع الگوریتم کرم شب‌تاب برای مدل خطی

الگوریتم	بدترین خطای نسبی	میانگین خطای نسبی	بهترین خطای نسبی	انحراف معیار
FA	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۱۹۴	۰/۰۰۱۷
NDFA	۰/۲۸	۰/۲۶	۰/۲۵	۰/۰۱۳
MFA	۰/۲۰۹	۰/۲۰۸	۰/۲۰	۰/۰۰۲
APFA	۰/۳۵	۰/۳۲	۰/۳۰	۰/۰۲۲
VSSFA	۰/۲۲	۰/۱۹۶	۰/۱۹۳	۰/۰۱۹

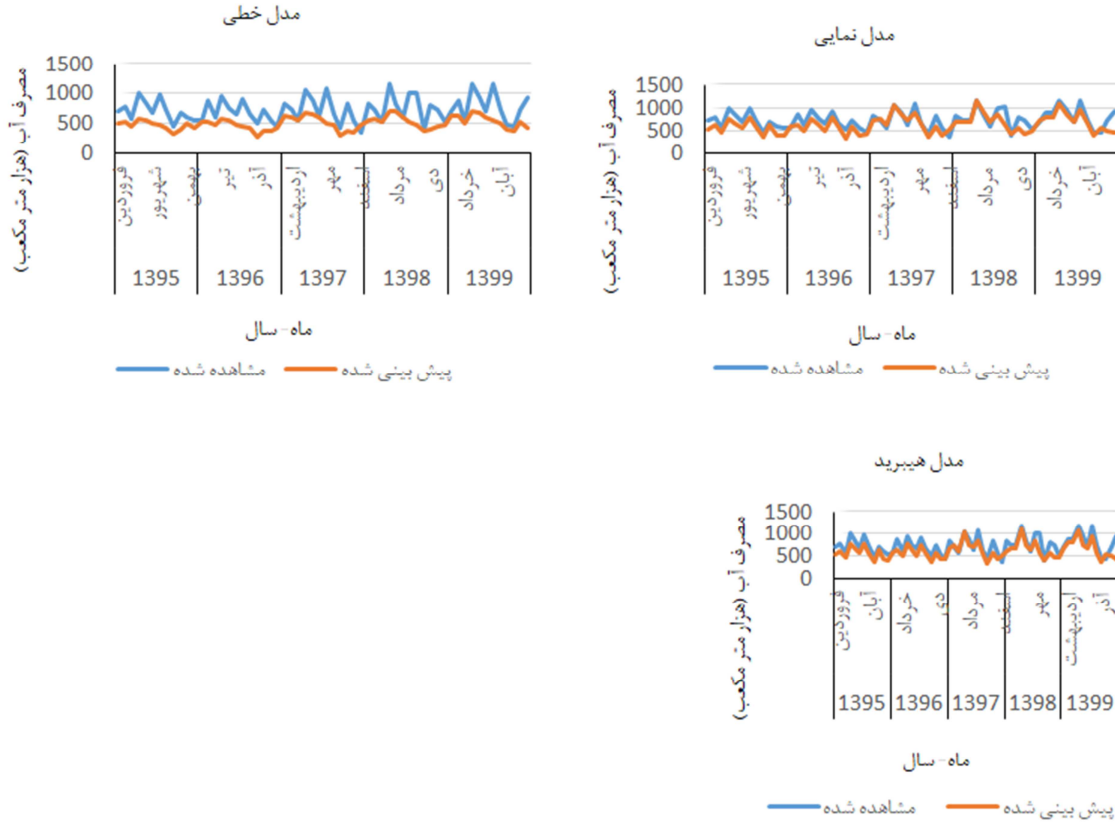
جدول ۵: مقادیر شاخص ارزیابی مربوط به اجرای انواع الگوریتم کرم شب تاب برای مدل نمایی

الگوریتم	بدترین خطای نسبی	میانگین خطای نسبی	بهترین خطای نسبی	انحراف معیار
FA	۰/۲۴	۰/۲	۰/۱۶	۰/۰۳
NDFA	۰/۲۴	۰/۱۹	۰/۱۵	۰/۰۳
MFA	۰/۲۳	۰/۱۹	۰/۱۶	۰/۰۲
APFA	۰/۲۹	۰/۲۳	۰/۱۷	۰/۰۵
VSSFA	۰/۲۶	۰/۲۱	۰/۱۶	۰/۰۳

جدول ۶: مقادیر شاخص ارزیابی مربوط به اجرای انواع الگوریتم کرم شب تاب برای مدل هیبرید

الگوریتم	بدترین خطای نسبی	میانگین خطای نسبی	بهترین خطای نسبی	انحراف معیار
FA	۰/۲۸	۰/۲۴	۰/۲۰	۰/۰۲
NDFA	۰/۲۳	۰/۱۹	۰/۱۵	۰/۰۳
MFA	۰/۲۸	۰/۲۳	۰/۱۸	۰/۰۳
APFA	۰/۳	۰/۲۲	۰/۱۴	۰/۰۴۵
VSSFA	۰/۲۴	۰/۲۱	۰/۱۸	۰/۰۲

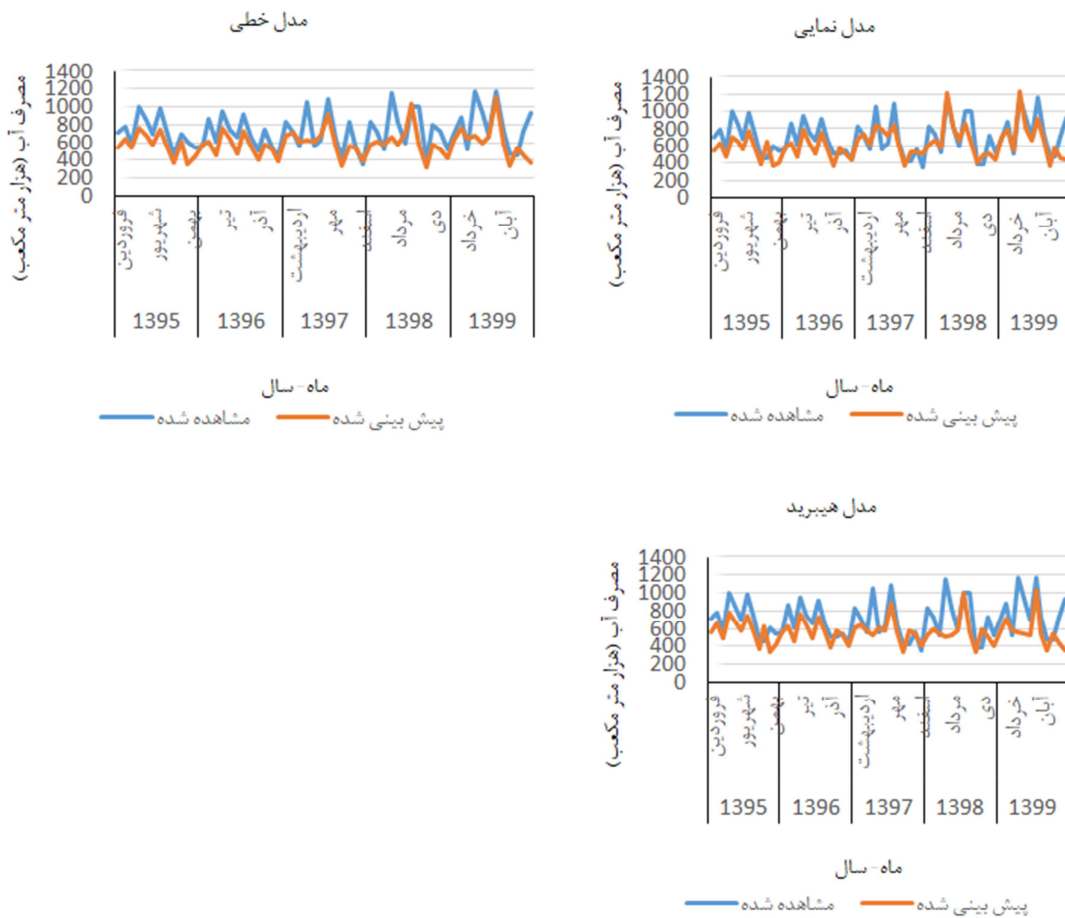
در شکل‌های ۹ تا ۱۴ مقادیر واقعی مصرف و مقادیر پیش‌بینی شده آب شرب منطقه سیستان توسط ۵ الگوریتم کرم‌شب‌تاب به صورت سری زمانی از فروردین سال ۱۳۸۵ تا اسفند سال ۱۳۹۴ که مربوط به داده‌های آزمون می‌باشد، نمایش داده شده است. خط آبی مربوط به مقادیر مشاهده شده و خط نارنجی مربوط به مقادیر پیش‌بینی شده می‌باشد. همانطور که مشاهده می‌شود در الگوریتم NDFA برای مدل نمایی این دو خط تقریباً منطبق بر یکدیگر می‌باشد که این امر به علت دقت این الگوریتم در پیش‌بینی داده‌های آزمون می‌باشد. و نشان می‌دهد مقادیر پیش‌بینی شده به مقادیر واقعی نزدیک است. در شکل ۱۰ نتایج مربوط به الگوریتم NDFA مشاهده می‌شود با توجه به نتایج مصرف پیش‌بینی شده از نظر روند کلی از سری زمانی مصرف واقعی تبعیت میکند و در مدل نمایی علاوه بر اینکه از روند کلی مصرف واقعی تبعیت می‌کند و نقاط حداقل و حداکثر به خوبی پیش‌بینی شده است و دو نمودار تقریباً بر یکدیگر منطبق هستند در دو مدل خطی و هیبرید نمودار مصرف پیش‌بینی دارای ۰/۲۶ و ۰/۱۹ درصد خطا نسبت به نمودار مصرف واقعی است. با توجه به شکل ۱۱ در الگوریتم VSSFA مصرف پیش‌بینی شده از روند سری زمانی مصرف واقعی تبعیت می‌کند اما نسبت به یکدیگر دارای ۲۱ درصد خطا هستند و تنها در مدل خطی دو نمودار تقریباً منطبق بر یکدیگرند و این مدل توانسته است مقادیر مصرف را به خوبی پیش‌بینی کند. همچنین در شکل‌های ۱۲ و ۱۳ هر چند این الگوریتم‌ها به خوبی توانسته‌اند روند کلی مصرف آب را پیش‌بینی نمایند اما نتوانسته‌اند نقاط حداکثر و حداقل مصرف را به خوبی پیش‌بینی کنند به طوری که در الگوریتم FA این میزان خطا و تفاوت بین مصرف پیش‌بینی شده و مصرف واقعی بالاترین مقدار را دارد. و در شکل ۱۴ در الگوریتم APFA در مدل خطی مصرف پیش‌بینی شده از سری زمانی مصرف واقعی تبعیت نکرده و مدل مناسبی برای پیش‌بینی مصرف آب نمی‌باشد و این الگوریتم در بین سایر الگوریتم‌ها دارای بیشترین میزان خطای نسبی نیز می‌باشد



شکل ۱۰: مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده مقدار مصرف آب برای سه مدل خطی، نمایی و هیبرید الگوریتم NDFA برای دوره آزمون (۱۳۹۵-۱۳۹۹)



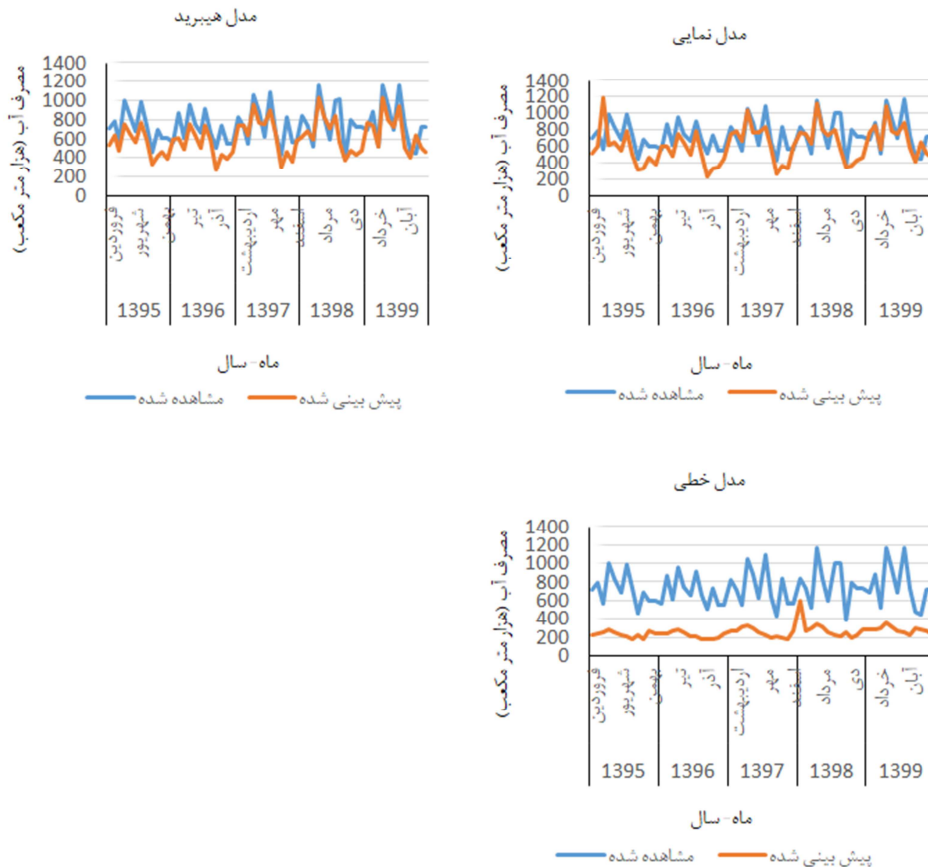
شکل ۱۱: مقادیر مشاهده شده و پیش بینی شده مقدار مصرف آب برای سه مدل خطی، نمایی و هیبرید در الگوریتم VSSFA برای دوره آزمون (۱۳۹۵-۱۳۹۹)



شکل ۱۲: مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده مقدار مصرف آب برای سه مدل خطی، نمایی و هیبرید در الگوریتم MFA برای دوره آزمون (۱۳۹۵-۱۳۹۹)



شکل ۱۳: مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده مقدار مصرف آب برای سه مدل خطی، نمایی و هیبرید در الگوریتم FA برای دوره آزمون (۱۳۹۵-۱۳۹۹)



شکل ۱۴: مقادیر مشاهده شده و پیش بینی شده مقدار مصرف آب برای سه مدل خطی، نمایی و هیبرید در الگوریتم APFA برای دوره آزمون (۱۳۹۵-۱۳۹۹)

نتایج مربوط به مقادیر واقعی و پیش بینی مصرف آب در الگوریتم NDFA و مدل نمایی در طی سالهای آزمون و سلهای پیش بینی شده در جدول ۶ آورده شد. با توجه به نتایج بدست آمده تفاوت بین مقادیر واقعی و پیش بینی شده نسبت در الگوریتم NDFA نسبت به سایر الگوریتمها کمتر بوده است بطوریکه کمترین مقدار تفاوت (۴۶۸) مربوط به سال ۱۳۹۷ و بیشترین مقدار تفاوت (۱۵۲۲) در سال ۱۳۹۶ مشاهده شده است. روند افزایشی مصرف آب شرب طی سالهای آزمون و سالهای آتی نیز مشاهده می شود.

جدول ۷: مقادیر واقعی و پیش بینی شده مصرف سالانه آب در الگوریتم NDFA و مدل نمایی در طی سالهای آزمون و سالهای پیش بینی شده (هزار متر مکعب)

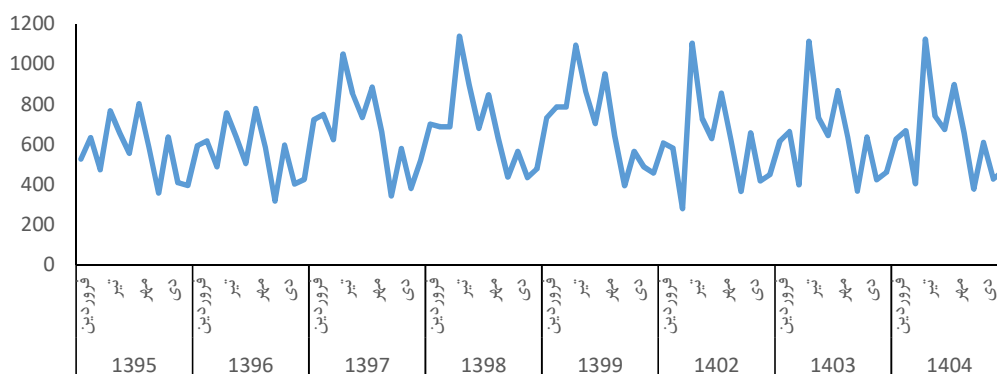
۱۳۹۵	۱۳۹۶	۱۳۹۷	۱۳۹۸	۱۳۹۹	۱۴۰۰	۱۴۰۱	۱۴۰۲	۱۴۰۳	۱۴۰۴
۸۵۹۷/۴۳	۸۲۱۹/۹۴	۸۵۶۸/۴۸	۹۳۲۱	۹۷۲۶/۴	-	-	-	-	-
۶۵۹۸	۶۶۹۷/۹۵	۸۱۰۰/۲	۸۱۸۴	۸۴۶۵/۱۶	۷۲۹۳/۲۶	۷۵۵۷/۹	۷۶۷۴/۵	-	-
۱۴۹۹	۱۵۲۲	۴۶۸	۱۱۳۷	۱۲۶۱	-	-	-	-	-

بر اساس نتایج بدست آمده از داده‌های آزمون مشاهده شد که الگوریتم NDFA در پیش‌بینی داده‌های آموزش و آزمون دارای دقت مناسبی می‌باشد و در نتیجه می‌توان از این مدل به منظور پیش‌بینی مقدار مصرف آب شرب منطقه سیستان در سالهای ۱۴۰۲، ۱۴۰۳ و ۱۴۰۴ استفاده نمود. نتایج مربوط به پیش‌بینی مصرف آب شرب در الگوریتم NDFA و مدل نمایی همراه با سالهای آزمون در شکل ۱۵ و جدول ۸ آورده شده است. همانطور که نتایج نشان می‌دهد در همه سال‌های مورد بررسی مقدار مصرف در ماه‌های انتهایی سال دارای مقدار کمتری نسبت به دیگر ماه‌ها می‌باشد و در ماه‌های بعد مقدار مصرف افزایش می‌یابد همچنین با شروع فصل تابستان میزان مصرف آب افزایش می‌یابد و بیشترین مصرف در ماه تیر می‌باشد که این روند در سال‌های ۱۴۰۲، ۱۴۰۳ و ۱۴۰۴ نیز مشاهده می‌شود

جدول ۸: پیش‌بینی میزان مصرف فصلی آب شرب در سالهای آزمون و سالهای آینده با استفاده از الگوریتم NDFA (هزار متر مکعب)

سال	بهار	تابستان	پاییز	زمستان
۱۳۹۵	۱۵۸۳	۱۹۲۸	۱۶۹۷	۱۳۹۰
۱۳۹۶	۱۶۹۸	۱۸۹۷	۱۶۸۰	۱۴۲۲
۱۳۹۷	۲۰۹۳	۲۶۳۷	۱۸۹۰/۵	۱۴۷۹/۳
۱۳۹۸	۲۰۷۶/۷	۲۷۱۸	۱۹۱۳/۸	۱۴۷۶
۱۳۹۹	۲۳۰۷	۲۶۶۲	۱۹۸۷	۱۵۰۸
۱۴۰۲	۱۴۶۶	۲۴۶۱/۲	۱۸۴۱/۸	۱۵۲۴
۱۴۰۳	۱۶۷۷/۳	۲۴۹۱/۳	۱۸۶۹	۱۵۲۰/۳
۱۴۰۴	۱۶۹۹	۲۵۴۰	۱۹۳۲/۷	۱۵۰۳

هدف اصلی از پیش‌بینی مقدار مصرف آب در سال‌های آتی، برنامه‌ریزی برای تامین این حجم آب شرب از منابع آب موجود می‌باشد. بر اساس نتایج پیش‌بینی در سال‌های آتی بیشترین مصرف آب مربوط به ماه‌های گرم سال می‌باشد که این مقدار در سه ماه تابستان سال ۱۴۰۲ برابر با ۲۴۶۱، در سال ۱۴۰۳ معادل ۲۴۹۱ و در سال ۱۴۰۴ برابر با ۲۵۳۹ هزار مترمکعب می‌باشد که با توجه به کاهش آورد آب رودخانه هیرمند به مخازن چاه نیمه باید به دنبال برنامه‌ریزی مناسب جهت تامین این نیاز آبی از طریق دیگر منابع آبی شامل چاه‌های ژرف و انتقال آب از دریای عمان بود



شکل ۱۵: نتایج پیش‌بینی مصرف آب شرب در الگوریتم NDFA و مدل نمایی

نتیجه‌گیری

برآورد تقاضای آب یک جزء ضروری در برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب است زیرا می‌تواند به شناسایی جایگزین‌های مناسب برای تضمین تعادل بین تقاضا و عرضه آب در آینده کمک کند. این مطالعه با استفاده از داده‌های دوره پایه از سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۹، با استفاده از ۵ الگوریتم کرم شب‌تاب، تأثیر تغییر اقلیم را بر تقاضای ماهانه، بلندمدت آب شهری مورد بررسی قرار داد. با توجه به نتایج پیش‌بینی در سه سال آینده و خشکسالی‌های شدید در منطقه سیستان و در صورت ادامه داشتن آن در سال‌های آتی و عدم آورد آب رودخانه هیرمند لازم است برنامه‌ریزی‌های لازم جهت مصرف بهینه آب اتخاذ شود. نتایج آزمون من-کندال برای بررسی روند تغییرات پارامترهای آب و هوایی و مصرف آب شرب نشان داد که پارامترهای دما، بارندگی و مصرف آب دارای روند معنی‌داری می‌باشد که روند تغییرات دما در طی سال‌های مورد بررسی مثبت، بارندگی دارای روند منفی و مصرف آب دارای روند مثبت می‌باشد. سایر پارامترهای سرعت باد، تبخیر و ساعت آفتابی دارای روند مثبت و رطوبت دارای روند منفی در طی سال‌های مورد آزمون می‌باشد. با توجه به نتایج مشاهده می‌گردد که کمترین میانگین خطای نسبی در بین الگوریتم‌های مورد بررسی ۱۹ درصد بوده که مربوط به الگوریتم NDFA می‌باشد و دقت پیش‌بینی با این الگوریتم ۸۱ درصد می‌باشد بنابراین الگوریتم NDFA در بین سایر الگوریتم‌ها توانسته است بدون داشتن دانش قبلی از مقدار مصرف آب شرب سال جاری و فقط بر اساس دانش موجود از داده‌های قبل با دقت مناسبی به پیش‌بینی تقاضا بپردازد. همچنین طبق نتایج بدست آمده از میانگین خطای نسبی سه مدل تخمین زده کارایی مدل‌های نسبت به سایر مدل‌ها بیشتر است و با استفاده از این مدل می‌توان به پیش‌بینی دقیق‌تر رسید. نتایج مطالعه وانگ (۲۰۱۸) و غفاری مقدم و همکاران (۱۳۹۹) نیز منطبق با نتایج این مطالعه بوده و آنها نیز به این نتیجه رسیدند که الگوریتم NDFA توانسته است با دقت مناسبی تقاضای آب را پیش‌بینی کند. تاپو و همکاران (۲۰۱۸) در مطالعه خود به این نتیجه رسیدند که عملکرد الگوریتم ترکیبی از الگوریتم کرم شب‌تاب و روش فازی بهتر عمل کرده و بهترین نتایج را به دست می‌دهد.

بنابراین می‌توان گفت که این الگوریتم می‌تواند به عنوان یک ابزار کارآمد در پیش‌بینی میزان مصرف آب شرب استفاده نمود تا بر اساس آن بتوان برنامه‌ریزی صحیح در خصوص استفاده از منابع آب انجام داد. بنابراین یافته‌های کنونی به وضوح از ارتباط تغییر آب و هوا بر مصرف آب پشتیبانی می‌کند، که برای سیاست‌گذاران مهم است. با این حال، برای ایجاد درک عمیق‌تر از رابطه بین تغییرات آب و هوا و تقاضای آب شهری در بلندمدت و در مکان‌های مختلف، تحقیقات بیشتری لازم است با این حال، تحقیقات بیشتری برای تعیین اثرات بلندمدت گرمایش جهانی بر تقاضای آب مورد نیاز است.

منابع

- اله‌یاری خامنه پیمان و تقوی افشرد سعید. (۱۳۹۶). بهبود دقت الگوریتم کرم شب‌تاب به وسیله الگوریتم خفاش. پنجمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی برق و کامپیوتر با تاکید بر دانش بومی، تهران
- رودری آرتمیس، حسن پور فرزاد، یعقوب زاده مصطفی، دلاور مجید. (۱۳۹۸). بررسی رابطه خشک سالی هواشناسی و هیدرولوژی در دشت سیستان. علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۶ (پیاپی ۸۵): ۳۳-۴۴.

- قاسمی ورجانی هادی، فرتاج محمدرضا. (۱۳۹۷). پیش‌بینی تولید ماهانه آب شرب به منظور مدیریت بهینه منابع آب با استفاده از شبکه عصبی، مطالعه موردی: شهر کرج. اولین همایش مدل سازی و فناوری‌های جدید در مدیریت آب، ۲۹ و ۳۰ آبان، بیرجند.
- غفاری مقدم زهرا، هاشمی تبار محمود، مرادی ابراهیم. (۱۳۹۹). مدیریت تقاضای آب با استفاده از الگوریتم بهینه سازی کرم شب تاب پویا: مطالعه موردی رودخانه هیرمند. مجله‌ی مهندسی منابع آب، ۱۳(۳)، ۸۵-۹۸.
- غفاری مقدم زهرا. (۱۴۰۰). مدیریت اقتصادی منابع آب در بخش کشاورزی حوضه آبریز هیرمند تحت رویکرد تلفیقی تئوری بازی و بازار آب. رساله دکتری دانشکده اقتصاد مدیریت و حسابداری، دانشگاه سیستان و بلوچستان. استاد راهنما: دکتر ابراهیم مرادی.
- Arya Azar, N., Kayhomayoon, Z., Ghordoyee Milan, S., Zarif Sanayei, H. R., Berndtsson, R., & Nematollahi, Z. (2022). A hybrid approach based on simulation, optimization, and estimation of conjunctive use of surface water and groundwater resources. *Environmental Science and Pollution Research*. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19762-2>
- Atashpaz-Gargari, E., & Lucas, C. (2007, September). Imperialist competitive algorithm: an algorithm for optimization inspired by imperialistic competition. In 2007 IEEE congress on evolutionary computation (pp. 4661-4667). Ieee.
- Assareh, E., Behrang, M. A., Assari, M. R., & Ghanbarzadeh, A. (2010). Application of PSO (particle swarm optimization) and GA (genetic algorithm) techniques on demand estimation of oil in Iran. *Energy*, 35(12), 5223-5229.
- Babel, M. S., & Shinde, V. R. (2011). Identifying prominent explanatory variables for water demand prediction using artificial neural networks: a case study of Bangkok. *Water resources management*, 25(6), 1653-1676.
- Bai, Y., Wang, P., Li, C., Xie, J., & Wang, Y. (2014). A multi-scale relevance vector regression approach for daily urban water demand forecasting. *Journal of Hydrology*, 517, 236-245.
- Bougadis, J., Adamowski, K., & Diduch, R. (2005). Short-term municipal water demand forecasting. *Hydrological Processes: An International Journal*, 19(1), 137-148.
- Brentan, B. M., Luvizotto Jr, E., Herrera, M., Izquierdo, J., & Pérez-García, R. (2017). Hybrid regression model for near real-time urban water demand forecasting. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 309, 532-541.
- Chang, H., Praskievicz, S., & Parandvash, H. (2014). Sensitivity of urban water consumption to weather and climate variability at multiple temporal scales: The case of Portland, Oregon. *International Journal of Geospatial and Environmental Research*, 1(1), 7.
- de Souza, A., Aristone, F., Sabbah, I., da Silva Santos, D. A., de Souza Lima, A. P., & Lima, G. (2015). Climatic variations and consumption of urban water. *Atmospheric and Climate Sciences*, 5(03), 292.
- Dorigo, M., & Di Caro, G. (1999, July). Ant colony optimization: a new meta-heuristic. In Proceedings of the 1999 congress on evolutionary computation-CEC99 (Cat. No. 99TH8406) (Vol. 2, pp. 1470-1477). IEEE.
- Felfelani, F., & Kerachian, R. (2016). Municipal water demand forecasting under peculiar fluctuations in population: a case study of Mashhad, a tourist city. *Hydrological Sciences Journal*, 61(8), 1524-1534.
- Fenta Mekonnen, D., & Disse, M. (2018). Analyzing the future climate change of the Upper Blue Nile River basin using statistical downscaling techniques. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22(4), 2391-2408.
- Ferguson, B. C., Brown, R. R., Frantzeskaki, N., de Haan, F. J., & Deletic, A. (2013). The enabling institutional context for integrated water management: Lessons from Melbourne. *Water Research*, 47(20), 7300-7314.
- Fister Jr, I., Yang, X. S., Fister, I., & Brest, J. (2012). Memetic firefly algorithm for combinatorial optimization. arXiv preprint arXiv:1204.5165.
- Gandomi, A. H., Yang, X. S., & Alavi, A. H. (2011). Mixed variable structural optimization using the firefly algorithm. *Computers & Structures*, 89(23-24), 2325-2336.
- Haque, M. M., Rahman, A., Hagare, D., & Chowdhury, R. K. (2018). A comparative assessment of variable selection methods in urban water demand forecasting. *Water*, 10(4), 419.
- Heidari, A. A., Mirjalili, S., Farris, H., Aljarah, I., Mafarja, M., & Chen, H. (2019). Harris Hawks optimization: Algorithm and applications. *Future generation computer systems*, 97, 849-872.
- Hossain, I., Esha, R., & Alam Imteaz, M. (2018). An attempt to use a non-linear regression modeling technique in long-term seasonal rainfall forecasting for Australian Capital Territory. *Geosciences*, 8(8), 282.
- Kadiyala, M. D. M., Nedumaran, S., Singh, P., Chukka, S., Irshad, M. A., & Bantilan, M. C. S. (2015). An integrated crop model and GIS decision support system for assisting agronomic decision-making under climate change. *Science of the Total Environment*, 521, 123-134.
- Kazem, A., Sharifi, E., Hussain, F. K., Saberi, M., & Hussain, O. K. (2013). Support vector regression with chaos-based firefly algorithm for stock market price forecasting. *Applied soft computing*, 13(2), 947-958.
- Kennedy, J., & Eberhart, R. (1995) Particle Swarm Optimization. Proceedings of the IEEE International Conference on Neural Networks. 4, 1942-1948. <http://dx.doi.org/10.1109/ICNN.1995.488968>
- Marichelvam, M. K., Prabaharan, T., & Yang, X. S. (2013). A discrete firefly algorithm for the multi-objective hybrid flow-shop scheduling problems. *IEEE Transactions on evolutionary computation*, 18(2), 301-305.
- Mousavi-Mirkalaei, P., Roozbahani, A., Banihabib, M. E., & Randhir, T. O. (2022). Forecasting urban water consumption using Bayesian networks and gene expression programming. *Earth Science Informatics*, 15(1), 623-633.
- Nematollahi, A. F., Rahiminejad, A., & Vahidi, B. (2020). A novel meta-heuristic optimization method based on the golden ratio in nature. *Soft Computing*, 24(2), 1117-1151.

- Osman, Y., Abdellatif, M., Al-Ansari, N., Knutsson, S., & Jawad, S. (2017). Climate change and future precipitation in an arid environment of the MIDDLE EAST: CASE study of Iraq. *Journal of Environmental Hydrology*, 25(3).
- Pacchin, E., Gagliardi, F., Alvisi, S., & Franchini, M. (2019). A comparison of short-term water demand forecasting models. *Water resources management*, 33(4), 1481-1497.
- Parandvash, G. H., & Chang, H. (2016). Analysis of long-term climate change on per capita water demand in urban versus suburban areas in the Portland metropolitan area, USA. *Journal of Hydrology*, 538, 574-586.
- Pijarski, P., & Kacejko, P. (2019). A new metaheuristic optimization method: the algorithm of the innovative gunner (AIG). *Engineering Optimization*. A. F. Nematollahi, A. Rahiminejad, and B. Vahidi, "A novel meta-heuristic optimization method based on golden ratio in nature," *Soft Computing*, vol. 24, pp. 1117-1151, 2020.
- Rajabioun, R. (2011). Cuckoo optimization algorithm. *Applied soft computing*, 11(8), 5508-5518.
- Rashedi, E., Nezamabadi-Pour, H., & Saryazdi, S. (2009). GSA: a gravitational search algorithm. *Information sciences*, 179(13), 2232-2248.
- Rasifaghghi, N., Li, S. S., & Haghghat, F. (2020). Forecast of urban water consumption under the impact of climate change. *Sustainable Cities and Society*, 52, 101848.
- Sadollah, A., Sayyaadi, H., & Yadav, A. (2018). A dynamic metaheuristic optimization model inspired by biological nervous systems: Neural network algorithm. *Applied Soft Computing*, 71, 747-782.
- Shadravan, S., Naji, H. R., & Bardsiri, V. K. (2019). The Sailfish Optimizer: A novel nature-inspired metaheuristic algorithm for solving constrained engineering optimization problems. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 80, 20-34.
- Sharafati, A., Asadollah, S. B. H. S., & Hosseinzadeh, M. (2020). The potential of new ensemble machine learning models for effluent quality parameters prediction and related uncertainty. *Process Safety and Environmental Protection*, 140, 68-78.
- Tian, P., Lu, H., Feng, W., Guan, Y., & Xue, Y. (2020). Large decrease in streamflow and sediment load of Qinghai-Tibetan Plateau drove by future climate change: A case study in Lhasa River Basin. *Catena*, 187, 104340.
- Urich, C., & Rauch, W. (2014). Exploring critical pathways for urban water management to identify robust strategies under deep uncertainties. *Water Research*, 66, 374-389.
- Wang, G. G. (2018). Moth search algorithm: a bio-inspired metaheuristic algorithm for global optimization problems. *Memetic Computing*, 10(2), 151-164.
- Wang, G. G., Deb, S., & Coelho, L. D. S. (2018). Earthworm optimization algorithm: a bio-inspired metaheuristic algorithm for global optimization problems. *International journal of bio-inspired computation*, 12(1), 1-22.
- Wang, G. G., Deb, S., & Cui, Z. (2019). Monarch butterfly optimization. *Neural computing and applications*, 31(7), 1995-2014.
- Wang, H., Cui, Z., Wang, W., Zhou, X., Zhao, J., Lv, L., & Sun, H. (2017, November). Firefly algorithm for demand estimation of water resources. In *International Conference on Neural Information Processing* (pp. 11-20). Springer, Cham.
- Wang, H., Wang, W., Cui, Z., Zhou, X., Zhao, J., & Li, Y. (2018). A new dynamic firefly algorithm for demand estimation of water resources. *Information Sciences*, 438, 95-106.
- Xiang, X., & Jia, S. (2019). China's water-energy nexus: Assessment of water-related energy use. *Resources, Conservation and Recycling*, 144, 32-38.
- Yang, X. S., & Algorithms, N. I. M. (2008). Luniver press. Beckington, UK, 242-246.
- Yang, X. S. (2010). *Engineering optimization: an introduction with metaheuristic applications*. John Wiley & Sons
- Yu, S., Zhu, S., Ma, Y., & Mao, D. (2015). A variable step size firefly algorithm for numerical optimization. *Applied Mathematics and Computation*, 263, 214-220.
- Zhang, B., & He, C. (2016). A modified water demand estimation method for drought identification over arid and semiarid regions. *Agricultural and Forest Meteorology*, 230, 58-66.
- Zhang, J., Zhu, Z., Chang, Y., Wu, D., Du, L., & Cui, Z. (2019, June). Demand Estimation of Water Resources Based on Coupling Algorithm. In *2019 Chinese Control And Decision Conference (CCDC)* (pp. 714-719). IEEE.
- Zubaidi, S. L., Dooley, J., Alkhaddar, R. M., Abdellatif, M., Al-Bugharbee, H., & Ortega-Martorell, S. (2018). A Novel Approach for predicting monthly water demand by combining singular spectrum analysis with neural networks. *Journal of Hydrology*, 561, 136-145.

References

References (in Persian)

- Alah yari Khamaneh P, Taghavi Afshard S (2017) Improve the accuracy of the firefly algorithm by bat algorithm. 5th international conference Electrical Engineering and Computer with emphasis on indigenous knowledge, Moghadas Ardabili of higher education. [In Persian]
- Ghaffari moghadam, Z. (2021). Economic management of water in the agricultural sector in the resources Hirmand Basin by using integration game theory water market approach. The Dissertation of Ph.D. in Agricultural Economics, University of Sistan and Baluchestan. [In Persian]
- Ghaffari moghadam, Z., Moradi, E., Hashemitabar, M., & Sardarshahraki, A. (2020). Management of water demand by using optimal a new dynamic firefly algorithm: case study, River Hirmand. *Water Resource Engineering*. 13(46), 85-98. [In Persian]
- Ghasemi varjani, H., & Fartaj, M.R., (2018). Prediction of monthly production of drinking water to optimally manage water resources using neural network, case study: Karaj city. 1st national conference on modeling and New Technologies in Water Management. [In Persian]
- Rodari, A., Hasanpour, F., Yaghobzadeh, M. & Delavar, M. (2019). Investigation of Relation between Meteorological and Hydrological Drought in Sistan Plain. *Journal of Environmental Science and Technology*, 6(21), 33-44. [In Persian]

References (in English)

- Arya Azar, N., Kayhomayoon, Z., Ghordoyee Milan, S., Zarif Sanayei, H. R., Berndtsson, R., & Nematollahi, Z. (2022). A hybrid approach based on simulation, optimization, and estimation of conjunctive use of surface water and groundwater resources. *Environmental Science and Pollution Research*. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19762-2>
- Atashpaz-Gargari, E., & Lucas, C. (2007, September). Imperialist competitive algorithm: an algorithm for optimization inspired by imperialistic competition. In 2007 IEEE congress on evolutionary computation (pp. 4661-4667). Ieee.
- Assareh, E., Behrang, M. A., Assari, M. R., & Ghanbarzadeh, A. (2010). Application of PSO (particle swarm optimization) and GA (genetic algorithm) techniques on demand estimation of oil in Iran. *Energy*, 35(12), 5223-5229.
- Babel, M. S., & Shinde, V. R. (2011). Identifying prominent explanatory variables for water demand prediction using artificial neural networks: a case study of Bangkok. *Water resources management*, 25(6), 1653-1676.
- Bai, Y., Wang, P., Li, C., Xie, J., & Wang, Y. (2014). A multi-scale relevance vector regression approach for daily urban water demand forecasting. *Journal of Hydrology*, 517, 236-245.
- Bougadis, J., Adamowski, K., & Diduch, R. (2005). Short-term municipal water demand forecasting. *Hydrological Processes: An International Journal*, 19(1), 137-148.
- Brentan, B. M., Luvizotto Jr, E., Herrera, M., Izquierdo, J., & Pérez-García, R. (2017). Hybrid regression model for near real-time urban water demand forecasting. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 309, 532-541.
- Chang, H., Praskievicz, S., & Parandvash, H. (2014). Sensitivity of urban water consumption to weather and climate variability at multiple temporal scales: The case of Portland, Oregon. *International Journal of Geospatial and Environmental Research*, 1(1), 7.
- de Souza, A., Aristone, F., Sabbah, I., da Silva Santos, D. A., de Souza Lima, A. P., & Lima, G. (2015). Climatic variations and consumption of urban water. *Atmospheric and Climate Sciences*, 5(03), 292.
- Dorigo, M., & Di Caro, G. (1999, July). Ant colony optimization: a new meta-heuristic. In Proceedings of the 1999 congress on evolutionary computation-CEC99 (Cat. No. 99TH8406) (Vol. 2, pp. 1470-1477). IEEE.
- Felfelani, F., & Kerachian, R. (2016). Municipal water demand forecasting under peculiar fluctuations in population: a case study of Mashhad, a tourist city. *Hydrological Sciences Journal*, 61(8), 1524-1534.
- Fenta Mekonnen, D., & Disse, M. (2018). Analyzing the future climate change of the Upper Blue Nile River basin using statistical downscaling techniques. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22(4), 2391-2408.
- Ferguson, B. C., Brown, R. R., Frantzeskaki, N., de Haan, F. J., & Deletic, A. (2013). The enabling institutional context for integrated water management: Lessons from Melbourne. *Water Research*, 47(20), 7300-7314.
- Fister Jr, I., Yang, X. S., Fister, I., & Brest, J. (2012). Memetic firefly algorithm for combinatorial optimization. arXiv preprint arXiv:1204.5165.
- Gandomi, A. H., Yang, X. S., & Alavi, A. H. (2011). Mixed variable structural optimization using the firefly algorithm. *Computers & Structures*, 89(23-24), 2325-2336.
- Haque, M. M., Rahman, A., Hagare, D., & Chowdhury, R. K. (2018). A comparative assessment of variable selection methods in urban water demand forecasting. *Water*, 10(4), 419.
- Heidari, A. A., Mirjalili, S., Faris, H., Aljarah, I., Mafarja, M., & Chen, H. (2019). Harris Hawks optimization: Algorithm and applications. *Future generation computer systems*, 97, 849-872.
- Hossain, I., Esha, R., & Alam Imteaz, M. (2018). An attempt to use a non-linear regression modeling technique in long-term seasonal rainfall forecasting for Australian Capital Territory. *Geosciences*, 8(8), 282.
- Kadiyala, M. D. M., Nedumaran, S., Singh, P., Chukka, S., Irshad, M. A., & Bantilan, M. C. S. (2015). An integrated crop model and GIS decision support system for assisting agronomic decision-making under climate change. *Science of the Total Environment*, 521, 123-134.

- Kazem, A., Sharifi, E., Hussain, F. K., Saberi, M., & Hussain, O. K. (2013). Support vector regression with chaos-based firefly algorithm for stock market price forecasting. *Applied soft computing*, 13(2), 947-958.
- Kennedy, J., & Eberhart, R. (1995) Particle Swarm Optimization. Proceedings of the IEEE International Conference on Neural Networks. 4, 1942-1948. <http://dx.doi.org/10.1109/ICNN.1995.488968>
- Marichelvam, M. K., Prabaharan, T., & Yang, X. S. (2013). A discrete firefly algorithm for the multi-objective hybrid flow-shop scheduling problems. *IEEE Transactions on evolutionary computation*, 18(2), 301-305.
- Mousavi-Mirkalaei, P., Roozbahani, A., Banihabib, M. E., & Randhir, T. O. (2022). Forecasting urban water consumption using Bayesian networks and gene expression programming. *Earth Science Informatics*, 15(1), 623-633.
- Nematollahi, A. F., Rahiminejad, A., & Vahidi, B. (2020). A novel meta-heuristic optimization method based on the golden ratio in nature. *Soft Computing*, 24(2), 1117-1151.
- Osman, Y., Abdellatif, M., Al-Ansari, N., Knutsson, S., & Jawad, S. (2017). Climate change and future precipitation in an arid environment of the MIDDLE EAST: CASE study of Iraq. *Journal of Environmental Hydrology*, 25(3).
- Pacchin, E., Gagliardi, F., Alvisi, S., & Franchini, M. (2019). A comparison of short-term water demand forecasting models. *Water resources management*, 33(4), 1481-1497.
- Parandvash, G. H., & Chang, H. (2016). Analysis of long-term climate change on per capita water demand in urban versus suburban areas in the Portland metropolitan area, USA. *Journal of Hydrology*, 538, 574-586.
- Pijarski, P., & Kacejko, P. (2019). A new metaheuristic optimization method: the algorithm of the innovative gunner (AIG). *Engineering Optimization*. A. F. Nematollahi, A. Rahiminejad, and B. Vahidi, "A novel meta-heuristic optimization method based on golden ratio in nature," *Soft Computing*, vol. 24, pp. 1117-1151, 2020.
- Rajabioun, R. (2011). Cuckoo optimization algorithm. *Applied soft computing*, 11(8), 5508-5518.
- Rashedi, E., Nezamabadi-Pour, H., & Saryazdi, S. (2009). GSA: a gravitational search algorithm. *Information sciences*, 179(13), 2232-2248.
- Rasifaghghi, N., Li, S. S., & Haghghat, F. (2020). Forecast of urban water consumption under the impact of climate change. *Sustainable Cities and Society*, 52, 101848.
- Sadollah, A., Sayyaadi, H., & Yadav, A. (2018). A dynamic metaheuristic optimization model inspired by biological nervous systems: Neural network algorithm. *Applied Soft Computing*, 71, 747-782.
- Shadravan, S., Naji, H. R., & Bardsiri, V. K. (2019). The Sailfish Optimizer: A novel nature-inspired metaheuristic algorithm for solving constrained engineering optimization problems. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 80, 20-34.
- Sharafati, A., Asadollah, S. B. H. S., & Hosseinzadeh, M. (2020). The potential of new ensemble machine learning models for effluent quality parameters prediction and related uncertainty. *Process Safety and Environmental Protection*, 140, 68-78.
- Tian, P., Lu, H., Feng, W., Guan, Y., & Xue, Y. (2020). Large decrease in streamflow and sediment load of Qinghai-Tibetan Plateau drove by future climate change: A case study in Lhasa River Basin. *Catena*, 187, 104340.
- Urich, C., & Rauch, W. (2014). Exploring critical pathways for urban water management to identify robust strategies under deep uncertainties. *Water Research*, 66, 374-389.
- Wang, G. G. (2018). Moth search algorithm: a bio-inspired metaheuristic algorithm for global optimization problems. *Memetic Computing*, 10(2), 151-164.
- Wang, G. G., Deb, S., & Coelho, L. D. S. (2018). Earthworm optimization algorithm: a bio-inspired metaheuristic algorithm for global optimization problems. *International journal of bio-inspired computation*, 12(1), 1-22.
- Wang, G. G., Deb, S., & Cui, Z. (2019). Monarch butterfly optimization. *Neural computing and applications*, 31(7), 1995-2014.
- Wang, H., Cui, Z., Wang, W., Zhou, X., Zhao, J., Lv, L., & Sun, H. (2017, November). Firefly algorithm for demand estimation of water resources. In *International Conference on Neural Information Processing* (pp. 11-20). Springer, Cham.
- Wang, H., Wang, W., Cui, Z., Zhou, X., Zhao, J., & Li, Y. (2018). A new dynamic firefly algorithm for demand estimation of water resources. *Information Sciences*, 438, 95-106.
- Xiang, X., & Jia, S. (2019). China's water-energy nexus: Assessment of water-related energy use. *Resources, Conservation and Recycling*, 144, 32-38.
- Yang, X. S., & Algorithms, N. I. M. (2008). Luniver press. Beckington, UK, 242-246.
- Yang, X. S. (2010). *Engineering optimization: an introduction with metaheuristic applications*. John Wiley & Sons
- Yu, S., Zhu, S., Ma, Y., & Mao, D. (2015). A variable step size firefly algorithm for numerical optimization. *Applied Mathematics and Computation*, 263, 214-220.
- Zhang, B., & He, C. (2016). A modified water demand estimation method for drought identification over arid and semiarid regions. *Agricultural and Forest Meteorology*, 230, 58-66.
- Zhang, J., Zhu, Z., Chang, Y., Wu, D., Du, L., & Cui, Z. (2019, June). Demand Estimation of Water Resources Based on Coupling Algorithm. In *2019 Chinese Control And Decision Conference (CCDC)* (pp. 714-719). IEEE.
- Zubaidi, S. L., Dooley, J., Alkhaddar, R. M., Abdellatif, M., Al-Bugharbee, H., & Ortega-Martorell, S. (2018). A Novel Approach for predicting monthly water demand by combining singular spectrum analysis with neural networks. *Journal of Hydrology*, 561, 136-145.