

مدیریت تقاضای آب با استفاده از الگوریتم بهینه سازی گرم شب تاب پویا: مطالعه موردی رودخانه هیرمند

زهرا غفاری مقدم^{۱*}، محمود هاشمی تبار^۲، ابراهیم مرادی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۱۵ صص: ۸۵-۹۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۳/۱۹

چکیده

مدیریت و تامین آب همواره یکی از دغدغه های اصلی سیاستگذاران و برنامه ریزان در بخش کشاورزی و شرب بوده است. پیش بینی تقاضای آب تاثیر به سزایی در برنامه ریزی بهتر منابع آب در مناطق خشک و نیمه خشک که با محدودیت آب روبه رو هستند دارد. الگوریتم گرم شب تاب یک تکنیک بهینه سازی موثر بر مبنای هوش ازدحامی است که به طور موفقیت آمیزی در مسائل پیش بینی استفاده می شود. در این پژوهش الگوریتم گرم شب تاب پویا برای تخمین میزان تقاضای آب از رودخانه هیرمند در منطقه سیستان به کار برده شده و با چهار الگوریتم مختلف گرم شب تاب برای سالهای ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۶ مقایسه گردید. در این مطالعه ابتدا از یک پارامتر پویا جهت جلوگیری از تعدیل پارامتر تصادفی سازی به طور دستی استفاده شده است و سپس از سه مدل خطی، نمایی و هیبرید جهت تخمین و پیش بینی تقاضای آب و برای حذف اثر مختلف واحد داده ها از روش نرمال سازی استفاده شده است. از داده های سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۳ جهت آموزش و یاد گیری 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 گرم شب تاب می توانند جوابهای احتمالی بدست دهند اما روش الگوریتم گرم شب تاب پویا کارایی بهتری نسبت به چهار مدل دیگر دارد. و دقت پیش بینی آن بالای ۹۷٪/۹۸ می باشد. به طوریکه در مدل هیبرید مقدار خطای نسبی در الگوریتم گرم شب تاب پویا در سال ۹۴، ۳/۲ درصد، در سال ۹۵، ۱/۷ درصد و در سال ۹۶، ۱ درصد می باشد. و مقادیر پیش بینی شده تقاضای آب در این الگوریتم به مقادیر تقاضای واقعی نزدیکتر است و خطای کمتری نسبت به سایر الگوریتم ها دارد. میزان پیش بینی شده تقاضای آب در مدل هیبرید در الگوریتم NDFA به ترتیب ۳۴۳، ۳۲۴ و ۳۰۵ میلیون متر مکعب در سالهای ۱۳۹۷ تا ۱۳۹۹ می باشد نتایج ارزیابی ریسک برای سه سناریو زیاد، کم و متوسط نشان می دهد که در سطح جریان کم میزان ریسک بالا و در سطح جریان متوسط و بالا میزان ریسک پایین است و سیستم قدرت تحمل بهتری برای ریسک کمبود آب دارد.

واژه های کلیدی: هوش ازدحامی، پارامتر پویا، الگوریتم گرم شب تاب، بهینه سازی، پیش بینی.

^۱ دانشجوی دکتری اقتصاد کشاورزی دانشگاه سیستان و بلوچستان. زاهدان- ایران

^۲ استادیار گروه اقتصاد کشاورزی دانشگاه سیستان و بلوچستان. زاهدان. ایران

^۳ استادیار گروه اقتصاد کشاورزی دانشگاه سیستان و بلوچستان. زاهدان. ایران

* نویسنده مسول مقاله: ghafari_m_gh@yahoo.com

مقدمه

آب یکی از منابع مهم و حیاطی برای بشر می‌باشد. با توسعه صنعتی و اقتصادی جوامع، رشد جمعیت، گسترش شهرنشینی، تغییر الگوی مصرف و بالا رفتن سطح رفاه و بهداشت مصرف آب در جوامع بشری بطور چشمگیری افزایش یافته است. تخصیص مطلوب و معقول منابع آب، کلیدی برای استفاده پایدار از این منابع می‌باشد. برآورد دقیق تقاضای آب اولین قدم برای تخصیص بهینه منابع آبی است که هدف اصلی آن تعیین تقاضای آب در آینده براساس میزان مصرف آن در گذشته و تغییرات محیطی می‌باشد (قاسمی ورجانی، ۲۰۱۸). انواع روشهای پیش بینی تقاضای آب عبارتند از ۱- روش‌های سری زمانی که محققانی نظیر میدمنت و همکاران (۲۰۱۸) از روش باکس جنکینس برای تخمین تقاضای آب استفاده کردند. بوگادیس و همکاران (۲۰۰۵) از مدل‌های ARIMA جهت پیش‌بینی تقاضای آب استفاده نمودند. ۲- روش رگرسیون چند متغیره که می‌توان به اسچلیچ و هیلنبرند (۲۰۰۹)، اسلامیان و همکاران (۲۰۱۶) و برنتن و همکاران (۲۰۱۷) اشاره نمود. ۳- روش ناپارامتری شامل شبکه‌های عصبی و سیستم‌های منطق فازی که می‌توان به مطالعه الزهرانی و ابو مونار (۲۰۱۵) نیز اشاره کرد (کاظمی و همکاران، ۲۰۱۷).

در اغلب این روشها به دلیل رفتارهای تصادفی مصرف کنندگان انتخاب پارامترهای وزنی با مشکل همراه است. جهت رفع این مشکل، در چند سال گذشته الگوریتم‌های هوش مصنوعی برای تخمین تقاضای آب به کار گرفته شده است. که شامل الگوریتم خفاش^۱ (BA) سیو و همکاران (۲۰۱۷)، الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات^۲ (PSO)، یوفاک ساین (۲۰۱۸)، کلونی مورچگان^۳ (ACO)، بین و همکاران (۲۰۱۸)، کلونی زنبور مصنوعی^۴ (AB) سیو و همکاران (۲۰۱۷)، الگوریتم کرم شب تاب^۵ (FA) وانگ و همکاران (۲۰۱۸) و غیره.

بای و همکاران (۲۰۱۴) الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات (PSO) را برای تخمین تقاضای آب شهری پیشنهاد نمودند. الیوبریا و همکاران (۲۰۱۷) مدل جستجو هارمونی^۶ (HS) را برای تخمین تقاضای آب در کوتاه مدت

به کار بردند. پولیدو-کالوو و گاتیرز-استرادا (۲۰۰۹) مدل هیبریدی که در بر گیرنده دو روش فازی و الگوریتم ژنتیک بود برای بهبود تخمین تقاضای آب کشاورزی پیشنهاد نمود و نتایج نشان داد که نتایج مدل هیبرید نسبت به مدل الگوریتم ژنتیک کارا تر می‌باشد. وانگ و همکاران (۲۰۱۸) الگوریتم کرم شب تاب پویا جدید^۷ (NDFa) را برای پیش بینی تقاضای ماهانه شهر ناچانگ چین استفاده نموده و نشان دادند که مدل ارائه شده با دقت ۳۳ درصد قادر به پیش‌بینی میزان تقاضای ماهانه است. از طرفی آنها براساس مقادیر جمعیت، تولید ناخالص صنعتی و تولید ناخالص کشاورزی به پیش‌بینی میزان تقاضای سالانه آب شهر ناچانگ در سال‌های ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۰ پرداختند و پیشنهاد دادند که برای افزایش دقت در برآورد می‌توان عوامل دیگری چون بهای آب، آب و هوا و محیط زیست را نیز به پارامترهای فوق افزود. گائو و همکاران (۲۰۱۹) از الگوریتم بهینه سازی بهبود یافته نهنگ جهت پیش بینی تقاضای منابع آب در استان شانکسی چین استفاده نمودند. نتایج مطالعه آنها نشان داد کارایی الگوریتم پیشنهادی آنها نسبت به سایر الگوریتم‌ها در جهت پیش بینی تقاضای منابع آب بهتر می‌باشد. و دقت پیش بینی بالای ۹۹/۶۸ درصد می‌باشد. زارعی و همکاران (۲۰۱۹) از یک الگوریتم ترکیبی که شامل الگوریتم خفاش و الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات برای تخصیص بهینه مابع آب بین مصرف کنندگان استفاده نمودند. نتایج آنها حاکی از مناسب بودن الگوریتم ترکیبی نسبت به هر یک از الگوریتم‌های خفاش و ازدحام ذرات می‌باشد. استرام و همکاران (۲۰۱۸) از الگوریتم بهینه سازی میمون عنکبوتی جهت بهینه سازی نیاز آبیاری در سیستم‌های دو مخزنه استفاده کردند. بر اساس نتایج آسیب پذیری سیستم در این الگو در حدود ۱۲ تا ۲۴ درصد نسبت به الگوریتم ژنتیک و ازدحام ذرات کاهش می‌باشد. ژانگ و همکاران (۲۰۱۹) از یک الگوریتم دو گانه مبنی بر الگوریتم بهینه سای علوفه باکتریایی و الگوریتم کرم شب تاب تقاضای آب را پیش بینی نمودند و نتایج آن را با هر یک از الگوریتم‌های علوفه باکتریایی و شب تاب مقایسه نمودند و نتایج حاکی از آن بود که

⁵ Firefly Algorithm

⁶ Harmony Search

⁷ New Dynamim Firefly Algorithm

¹ Bat Algorithm

² Particle Swarm Optimization

³ Ant Colony Algorithm

⁴ Artificial Bee Colony

هیرمند به عنوان یک رودخانه مرزی که طی سالهای متمادی تحت تاثیر خشکسالی قرار گرفته است، می باشد تا بتوان با داشتن این مقدار برنامه ریزی مناسب در استفاده از منابع آب موجود انجام داد.

برتری روش NDA نسبت به سایر روشها این است که پارامتر تصادفی سازی بر خلاف سایر الگوریتم های کرم شب تاب، در این روش ثابت نیست و در طی فرایند جستجو می توانند تغییر کنند. که مقایسه این الگوریتم با سایر الگوریتم های کرم شب تاب در مطالعه آورده شده است و نتایج نیز حاکی از برتری این الگوریتم نسبت به سایر الگوریتم ها می باشد. و همچنین این روش برای اولین بار جهت تخمین تقاضای آب رودخانه هیرمند به کار برده شده است

مواد و روشها

الگوریتم های فراابتکاری یکی از روش های 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 نمی گیرند و بیشتر موارد، جواب های قابل قبولی ارائه می دهند. الگوریتم کرم شب تاب یکی از الگوریتم های فراابتکاری با رویکرد گروهی و دسته جمعی است که از رفتار نورافشانی کرم های شب تاب برای حل مسایل بهینه سازی استفاده می نماید. در الگوریتم کرم شب تاب هر راه حل مسئله به صورت یک کرم شب تاب در نظر گرفته می شود و کرم های شب تاب بر حسب شایستگی می توانند از خود نور تولید و سایر کرم های شب تاب را به سمت خود جذب نمایند (تقوی و خامنه، ۲۰۱۷). الگوریتم کرم شب تاب در سال ۲۰۰۷ توسط آقای یانگ در دانشگاه کمبریج ارائه شده است. الگوریتم کرم شب تاب مانند PSO یک الگوریتم جستجوی تصادفی بر مبنای جمعیت است. هر کرم شب تاب در جمعیت معرف یک جواب دلخواه است. FA رفتار جفت گیری کرم شب تاب را شبیه سازی می کند. و یک کرم شب تاب توسط کرم شب تاب روشنتر (بر نورتر) دیگری جذب می شود. پس می تواند آن به سمت موقعیت جدید دیگری حرکت کند و جواب بالقوه پیدا شود.

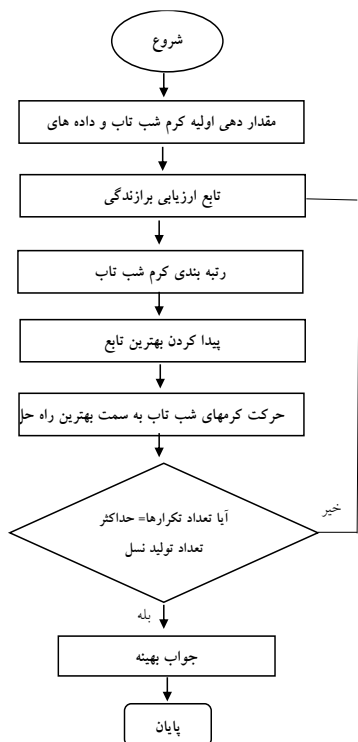
اگر $X_i = (X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{iD})$ قرار دهیم که i امین کرم ابریشم در جمعیت، $i = 1, 2, \dots, N$ که n جمعیت و D اندازه بعد می باشد. برای هر دو کرم ابریشم که $i \neq j$ است

الگوریتم ترکیبی دارای دقت بالاتری نسبت به دو الگوریتم دیگر می باشد.

از جمله مطالعات انجام شده داخلی می توان به مطالعه تابش و همکاران (۲۰۰۸) و تابش و دینی (۲۰۱۰) اشاره نمود، آنها با استفاده از شبکه عصبی میزان مصرف آب شرب شهر تهران برآورد نمودند و عملکرد شبکه عصبی را مناسب گزارش نمودند. قاسمی ورجانی (۲۰۱۸) با استفاده از مقادیر تولید آب شهر کرج مدل شبکه عصبی ترکیبی برای پیش بینی تولید ماهانه این شهر توسعه دادند. کرد (۱۳۹۷) با استفاده از الگوریتم فرا ابتکاری رقابت استعماری به تخصیص بهینه ی منابع آب سد گلستان پرداخت نتایج حاصل از مدلسازی نشان داد که شبکه عصبی ترکیبی قادر است داده های آزمون را با دقت بالا پیش بینی نماید. موعاری و بنی حبیب (۱۳۹۳) از الگوریتم کرم شب تاب برای بهینه سازی بهره برداری از مخزن برای تامین آب کشاورزی استفاده نمودند. آنها عملکرد الگوریتم کرم شب تاب را با الگوریتم ژنتیک و مجموعه ذرات مقایسه نمودند نتایج حاکی از عملکرد بهتر الگوریتم کرم شب تاب نسبت به دو روش دیگر بود. نوری و همکاران (۱۳۹۸) با استفاده از الگوریتم فرا ابتکاری کرم شب تاب منابع آب چاه نیمه ی سیستان را تحت سناریوی توسعه کشاورزی تخصیص دادند. نتایج نشان داد حجم آب تخصیصی به بخش کشاورزی در طی دوره مورد بررسی کاهش چشم گیری خواهد داشت.

الگوریتم کرم شب تاب یک روش بهینه سازی جدیدی است که رفتار جفت گیری کرم شب تاب را شبیه سازی می کند. و در سالهای اخیر توجهات زیادی را به خود جلب کرد است.

در این مطالعه روش NDA برای تخمین میزان تقاضای آب از رودخانه هیرمند در منطقه سیستان به کار برده شده است. و سپس عملکرد این روش با چهار الگوریتم مختلف کرم شب تاب مقایسه شده است. در این الگوریتم، ابتدا الگوریتم مورد نظر بر مبنای داده های سری زمانی میزان مصرف آب در سال های گذشته، آموزش داده شد. پس از آموزش، مدل برای سال های ۹۴، ۹۵ و ۹۶ آزمون شد پس از آزمون مدل و اطمینان از دقت آن در پیش بینی، به برآورد مقدار تقاضای آب در سه سال آتی پرداخته شد. لذا هدف از این مطالعه معرفی مدلی قابل اطمینان به منظور پیش بینی میزان تقاضای آب از رودخانه



شکل ۱- فلوجارت الگوریتم کرم شب تاب

الگوریتم کرم شب تاب پویا

الگوریتم کرم شب تاب یک روش بهینه سازی هوش جمعی جدید می باشد که کارایی این روش به پارامتر کنترلش وابسته است. استراتژی های مختلفی برای تعدیل پارامتر α (پارامتر تصادفی سازی) وجود دارد که در این مطالعه چهار روش مورد بررسی قرار گرفته است و در نهایت الگوریتم NDFFA با این چهار الگوریتم مقایسه شد. ۱- الگوریتم FA استاندارد که توسط یانگ معرفی شده است در این الگوریتم α و β_0 به ترتیب ۰/۵ و ۱ می باشند (یانگ، ۲۰۰۸).

۲- الگوریتم MFA^۱ که الگوریتم کرم ابریشم ممیتیک نامیده می شود و توسط فیستر و همکاران ارائه شده است در این روش پارامتر تصادفی سازی به طور خودکار همراه با افزایش تولید نسل تعدیل می شود. 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 می آید. (فیستر و همکاران، ۲۰۱۲)

$$\alpha(t+1) = \left(\frac{1}{9000}\right)^{\frac{1}{t}} \alpha(t) \quad (۴)$$

$$\beta = \beta_{min} + (\beta_0 - \beta_{min}) e^{-\gamma r_{ij}^2} \quad (۵)$$

جذابیت آنها توسط رابطه زیر محاسبه می شود (یانگ و همکاران ۲۰۱۰ و وانگ و همکاران ۲۰۱۸).

$$\beta(r_{ij}) = \beta_0 e^{-\gamma r_{ij}^2} \quad (۱)$$

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 می شود (یانگ و همکاران ۲۰۱۰ و وانگ و همکاران ۲۰۱۸).

$$r_{ij} = \|X_i - X_j\| = \sqrt{\sum_{d=1}^D (X_{id} - X_{jd})^2} \quad (۲)$$

برای دو کرم ابریشم با روشنایی متفاوت، کرم ابریشم با روشنایی کمتر به سمت کرم با روشنایی بیشتر حرکت می کند. در FA استاندارد این حرکت به صورت زیر تعریف می شود (یانگ و همکاران ۲۰۱۰ و وانگ و همکاران ۲۰۱۸).

$$X_{id}(t+1) = X_{id}(t) + \beta_0 e^{-\gamma r_{ij}^2} (X_{jd}(t) - X_{id}(t)) + \alpha(\text{rand} - \frac{1}{2}) \quad (۳)$$

Rand عدد تصادفی بین ۰ و ۱ است و α بین ۰ و ۱ است و پارامتر تصادفی سازی نامیده می شود. شبه کد و فلوجارت الگوریتم کرم شب تاب استاندارد به صورت زیر است:

Firefly Algorithm

- 1 Objective function $f(x)$, $\{X_1(t), X_2(t), \dots, X_N(t)\}$ and set $t=0$;
- 2 Evaluate the fitness values of all N initial fireflies;
- 3 $F_{es}=N$;
- 4 while $t \leq G_{max}$ & $F_{Es} \leq do$
- 5 for $i=1$ to N do
- 6 for $j=1$ to N do
- 7 if $f(X_j(t)) < f(X_i(t))$ then
- 8 move $X_i(t)$ toward $X_j(t)$ according to Eq.3;
- 9 compute the fitness value of $X_i(t)$;
- 10 $F_{Es}++$;
- 12 end if
- 13 end for j
- 14 end for i
- 15 $t++$;
- 16 output the best solution;

¹ Memetic Firefly Algorithm

کاهش α را تعدیل کند. نرخ کاهش k ممکن است روی کارایی پارامتر مدل تاثیر بگذارد. مقدار پارامتر k بر اساس مطالعات تجربی انجام شده 0.2 در نظر گرفته شده است (وانگ و همکاران، ۲۰۱۷). در اغلب مطالعات اخیر α در دامنه 0 و 1 محدود می شد به طوری که $\alpha(0)$ با 0.5 شروع می شود. بنابراین در NDFa مقدار اولیه $\alpha(0)$ ، β_0 ، γ ، 0.5 ، 1 و $\frac{1}{F^2}$ می باشد. Γ فاصله دامنه جستجو هست. در این الگوریتم ها FEs تعداد ارزیابی های برازنده است و maxFEs حداکثر تعداد ارزیابی های برازنده، G_{max} حداکثر تعداد تولید نسل (یا حداکثر تعداد تکرار) و t نشان دهنده شاخص تولید نسل می باشد. مقدار پارامتر N و $\max EFS$ به ترتیب 25 و $1.0E+05$ می باشد

نرمال سازی داده ها

برای حذف اثر مختلف واحد داده ها از روش نرمال سازی استفاده شده است. بنابراین کل آب استفاده شده، جمعیت و سطح زیر کشت با استفاده از رابطه زیر نرمال سازی شده اند:

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

در اینجا W^* مقدار نرمال شده، W مقداری که می خواهیم نرمال کنیم، W_{\min} کمترین مقدار و W_{\max} بیشترین مقدار برای متغیر مربوطه می باشد وانگ و همکاران (۲۰۱۸).

تابع ارزیابی برازندگی

در این الگوریتم داده ها به دو بخش داده های آموزش و آزمون تقسیم می شوند. داده ها از سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۳ برای بهینه سازی فاکتور وزنی مدل های تخمینی استفاده شده است و مدل آموزش می شود و باقیمانده داده ها که برای آموزش گوریتم کرم شب تاب قبل از پیش بینی به کار می روند شامل جمعیت و سطح زیر کشت می باشد. جهت ارزیابی کیفیت فاکتورهای وزنی بدست آمده، جمع مربعات خطا (SEE) برای ساختن تابع ارزیابی برازندگی به کار می رود وانگ و همکاران (۲۰۱۸).

۳- الگوریتم VSSFA: VSSFA که توسط یو و همکاران پیشنهاد شد آنها اشاره کردند به اینکه یک α بزرگ می تواند یک جستجو فضایی جدیدی را ایجاد کند و یک α کوچک برای جستجو محدود به یک محل (موضعی) مفید هستند. که در این مطالعه مدل پویا برای تعدیل فاکتور تصادفی سازی طراحی شده است. در این الگوریتم هر دو مقدار β_0 و γ ، 1 می باشد. مقدار پارامتر آلفا از رابطه زیر محاسبه می شود (یو و همکاران ۲۰۱۵)

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

۴- چنگ و همکاران (۲۰۱۴) یک FA تطبیقی^۲ (APFA) را معرفی کردند و یک فاصله سازگار بر مبنای ضریب جذابیت برای ابدیت کردن γ تعریف کردند. در APFA، $\alpha(0)$ و β_0 به ترتیب 0.5 و 1 می باشد. در این روش نیز مقدار آلفا و بتا با استفاده از روابط زیر بدست می آید:

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

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

در اینجا rand_1 و rand_2 دو عدد تصادفی هستند و مقدار $\beta_0 = 1$ می باشد (وانگ و همکاران ۲۰۱۷ و چنگ و همکاران ۲۰۱۴).

الگوریتم NDFa: در الگوریتم FA استاندارد شرط همگرا بودن FA این است که (وانگ و همکاران 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 می تواند به طور خودکار با استفاده از رابطه زیر تعدیل شود (وانگ و همکاران ۲۰۱۸):

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

بنابراین در NDFa فاکتور تصادفی سازی α به طور پویا در طی فرایند جستجو تعدیل می شود. در اینجا k بین 0 و 1 است و نرخ افزایشی نام دارد که می تواند سرعت

² Adaptive control Parameters Firefly Algorithm

¹ variable Step Size Firefly Algorithm

مختلف جریان ۳) تعیین میزان آب در دسترس برای سطوح مختلف (لی و همکاران، ۲۰۱۶).

جهت طبقه بندی سطوح مختلف جریان از روش تحلیل فراوانی استفاده شده است. P را به عنوان فراوانی برای تقسیم سطوح مختلف جریان تعریف شده است. اگر $P < 0.25\%$ باشد، متناظر می شود با سطح جریان زیاد، و اگر $0.25\% < P < 0.75\%$ سطح جریان متوسط و $P > 0.75\%$ سطح جریان کم را نشان می دهد برای این منظور داده های ماهانه جریان ورودی آب به صورت نزولی مرتب کرده و به صورت $\{x_1, x_2, \dots, x_m, \dots, x_n\}$ بیان می شود. و فراوانی را با استفاده از رابطه $P = (m/(n+1)) * 100\%$ محاسبه می شود. که در اینجا m تعداد بزرگتر و یا مساوی با x_m می باشد. سپس سطوح مختلف جریان بر اساس P تقسیم می شود و سپس تعداد سالهای متناظر با سطوح مختلف جریان محاسبه می شود. احتمال وقوع هر سطح جریان با تقسیم تعداد سالهای هر جریان به تعداد کل سالها بدست می آید (لی و همکاران، ۲۰۱۶). با استفاده از نتایج شبیه سازی تصادفی و پیش بینی تقاضای آب می توان ریسک کمبود تقاضای آب را ارزیابی نمود. شاخصهای ارزیابی بسیاری می توان برای ارزیابی ریسک کمبود آب انتخاب نمود. اطمینان پذیری و آسیب پذیری شاخصهایی هستند که به طور مشترک در توضیح رفتار سیستم منابع آب استفاده می شود که در این مطالعه نیز برای ارزیابی ریسک کمبود تقاضای آب استفاده شده است (لی و همکاران، ۲۰۱۶).

اطمینان پذیری / ریسک: اطمینان پذیری یا قابلیت اطمینان با این مفهوم تعریف می شود که با چه احتمالی آب اختصاص یافته به مصرف کننده نیاز آن را تامین می کند. یا سیستم تا چه حد در حالت مطمئن و عدم شکست کار خواهد کرد و به صورت زیر بیان می شود (گائو و همکاران، ۲۰۱۲ و هاشمیتو، ۱۹۸۲).

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

معیارهای ارزیابی عملکرد

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

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

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

جهت تخمین و پیش بینی تقاضای آب از مدل‌های رگرسیونی خطی و نمایی (آساره و همکاران، ۲۰۱۰) و هیبرید که مدلی بین دو مدل خطی و نمایی است (وانگ و همکاران ۲۰۱۸) استفاده شد.

$$Y_l = X_1 \cdot W_1 + X_2 \cdot W_2 + X_3 \quad (15)$$

$$Y_e = X_1 \cdot W_1^{X_2} + X_3 \cdot W_2^{X_4} + X_5 \quad (16)$$

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

$$Y_h = X_1 \cdot (X_2 \cdot W_1 + X_3 \cdot W_2 + X_4) + (1 - X_1) \cdot (X_5 \cdot W_1^{X_6} + X_7 \cdot W_2^{X_8} + X_9) \quad (17)$$

در اینجا W_1 و W_2 به ترتیب جمعیت و سطح زیر کشت می باشد و X_i وزن متناظر با هر یک از آنها می باشد.

ارزیابی ریسک کمبود تقاضای آب

جهت ارزیابی ریسک ابتدا جریان ورودی آب رودخانه با استفاده از روشهای شبیه سازی برای سه سطح جریان کم، زیاد و متوسط شبیه سازی شد. برای به دست آوردن احتمال نوع جریان آب (جریان آب کم، متوسط و زیاد) لازم است سه مرحله دنبال شود: (۱) طبقه بندی سطوح مختلف جریان (۲) تعیین احتمال وقوع (OP) برای سطوح

جدول ۱- طبقه بندی فاکتورهای شاخص های ارزیابی ریسک

| درجه ریسک | آسیب پذیری | ریسک کمبود آب |
|-----------------|-----------------|---------------------------|
| ≤ 0.200 | ≤ 0.200 | سطح ریسک پایین (I) |
| $0.400 - 0.201$ | $0.201 - 0.400$ | سطح ریسک پایین متوسط (II) |
| $0.401 - 0.600$ | $0.401 - 0.600$ | سطح ریسک متوسط (III) |
| $0.601 - 0.800$ | $0.601 - 0.800$ | سطح ریسک بالای متوسط (IV) |
| ≥ 0.800 | ≥ 0.800 | سطح ریسک بالا (V) |

ماخذ: ران و همکاران (۲۰۰۵)

بلوچستان و خراسان جنوبی واقع شده است (وزارت نیرو، ۱۳۹۰). از مراکز عمده جمعیتی در این حوزه شهرهای زابل و زاهدان می باشد. سیستان در انتهای یک حوزه وسیع و بسته ی داخلی قرار دارد که یکی از بزرگترین مناطق بیابانی دنیاست. منبع اصلی تامین آب منطقه سیستان (آب شرب و آب مورد نیاز برای کشاورزی) و تامین کننده بخش عظیمی از آب شرب شهر زاهدان رودخانه هیرمند می باشد (سردار شهرکی، ۱۳۹۵). موقعیت حوزه آبریز هیرمند در تقسیمات کشوری به همراه مرز محدوده های مطالعاتی در شکل ۲ نشان داده شده است.

در این مطالعه سعی بر آن است مقدار تقاضای آب از رودخانه هیرمند پیش بینی شود. نیاز آبی منطقه سیستان از رودخانه هیرمند تامین می شود. آب این رودخانه جهت مصارف شرب منطقه سیستان و شهرستان زاهدان، کشاورزی و محیط زیست می باشد. سهم زیادی از آب رودخانه هیرمند در سالهای اخیر جهت مصارف کشاورزی استفاده شده است، و بخش محیط زیست کمترین سهم را از آب رودخانه هیرمند داشته است. در این مطالعه با توجه به اینکه آمار مرتبط با بخش محیط زیست در دسترس نبود لذا تقاضای آب برای دو بخش شرب و کشاورزی تخمین زده شد. که بخش شرب آن شامل آب شرب منطقه سیستان و آب شرب شهرستان زاهدان می باشد. با توجه به اینکه دو عامل جمعیت و سطح زیر کشت به ترتیب تاثیر به سزایی در میزان مصرف آب شرب و کشاورزی دارند لذا از این دو فاکتور جهت تخمین تقاضای آب استفاده شده است. نیاز شرب بر اساس تابع جمعیت، سطح زیر کشت و نیاز آبی بخش کشاورزی در منطقه سیستان در جداول ۲ آورده شده است. الگوریتم هایی که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته اند در محیط برنامه نویسی Octave(4.4.1) کد نویسی و اجرا شده اند.

$$\alpha = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (1 - Z_t) \quad (18)$$

ریسک برابر است با:

$$\beta = 1 - \alpha \quad (19)$$

در اینجا α اطمینان پذیری برای سیستم منابع آب و β ریسک را نشان می دهد. Z_t یک متغیر صفر و یک است که مقدار یک می گیرد اگر سیستم تقاضای مصرف کننده را تامین نکند در غیر این صورت مقدار آن صفر است. تعداد کل گامها با t نشان داده می شود.

آسیب پذیری: این شاخص معیاری است برای تعیین خسارتهای احتمالی وارده بر سیستم ناشی از یک رویداد شکست برای یک سیستم منابع آب آسیب پذیری به صورت زیر تعریف می شود (هاشمیتو و همکاران، ۱۹۸۲):

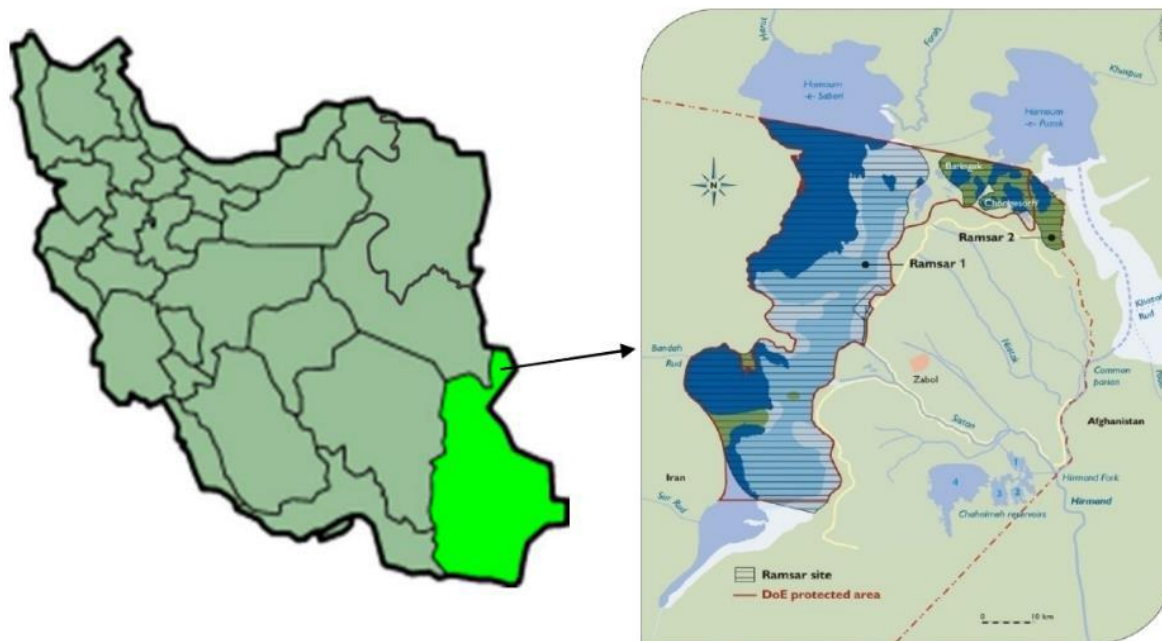
$$x = \frac{1}{T_s} \sum_{t=1}^T \frac{Z_t(D_t - WA_t)}{D_t} \quad (20)$$

در اینجا T_s تعداد کل شکستها در طی زمان، D_t و WA_t به ترتیب تقاضای آب و آبی که در زمان t به آن تخصیص داده شده است. در این مطالعه دو شاخص ذکر شده ارزیابی شد و سطح ریسک برای کمبود تقاضای آب تخمین زده شد. فاکتورهای شاخص های ارزیابی در جدول (۱) طبقه بندی شده است (ران و همکاران، ۲۰۰۵).

حوزه آبریز هیرمند با مساحت ۳۳۷۳۱ کیلومتر مربع در بخش میانی مرزهای شرقی ایران واقع شده است. این رودخانه از موه های بابا یغما از سلسله کوه های هندوکش در افغانستان سرچشمه می گیرد و بعد از طی مسافت ۱۰۵۰ کیلومتری به دریاچه هامون در سیستان ایران می رسد. این رودخانه در محدوده استان های سیستان و

جدول ۲- جمعیت، آب شرب، سطح زیر کشت و نیاز آبی بخش کشاورزی منطقه سیستان

| سال | سطح زیر کشت (هکتار) | نیاز آبی بخش کشاورزی (میلیون متر مکعب) | جمعیت کل (نفر) | آب شرب (میلیون متر مکعب) |
|------|---------------------|--|----------------|--------------------------|
| ۱۳۸۵ | ۵۵۵۶۶ | ۲۸۲/۳ | ۱۰۸۲۲۳۹ | ۳۰/۲۶ |
| ۱۳۸۶ | ۵۷۸۷۲ | ۲۳۹/۹ | ۱۰۷۷۹۰۲ | ۳۰/۳۲ |
| ۱۳۸۷ | ۴۴۲۶۲ | ۲۲۴/۸ | ۱۰۷۳۵۹۲ | ۳۶/۸۸ |
| ۱۳۸۸ | ۴۱۲۶۳ | ۲۰۹/۶ | ۱۰۶۹۳۱۰ | ۴۲/۳۴ |
| ۱۳۸۹ | ۵۶۶۵۲ | ۲۸۷/۷ | ۱۰۶۵۰۵۲ | ۴۳/۸۵ |
| ۱۳۹۰ | ۴۹۰۰۰ | ۲۴۸/۹ | ۱۰۶۰۸۲۱ | ۳۹/۸۶ |
| ۱۳۹۱ | ۵۵۲۳۶ | ۲۸۰/۶ | ۱۰۶۱۵۸۵ | ۳۸/۱۸ |
| ۱۳۹۲ | ۶۵۲۳۱ | ۳۳۱/۳ | ۱۰۶۲۳۶۳ | ۳۵/۶۱ |
| ۱۳۹۳ | ۶۴۵۲۳ | ۳۲۷/۷ | ۱۰۶۳۱۵۷ | ۳۰/۲۶ |
| ۱۳۹۴ | ۷۵۳۶۵ | ۳۸۲/۸ | ۱۰۶۳۹۶۷ | ۳۰/۳۲ |
| ۱۳۹۵ | ۶۷۲۳۱ | ۳۴۱/۵ | ۱۰۶۴۷۹۲ | ۳۶/۸۸ |
| ۱۳۹۷ | ۶۴۸۵۰ | ۳۹۲/۴ | ۱۰۶۵۶۳۱ | ۴۲/۳۴ |



شکل ۲- تقسیمات سیاسی منطقه سیستان و موقعیت حوزه آبریز هیرمند (وزارت نیرو، ۱۳۹۰)

نتایج و بحث

اولین مرحله در توسعه الگوریتم کرم شب تاب به منظور پیش‌بینی مقدار تقاضای آب، پیش پردازش داده‌ها می‌باشد. در واقع در این مرحله داده‌های موجود به دو بخش تقسیم می‌شوند بخش اول داده‌های آموزش هستند که به منظور یادگیری الگوریتم می‌باشد و بخش بعدی داده‌های آزمون می‌باشند که به منظور بررسی دقت الگوریتم در پیش‌بینی به کار گرفته می‌شوند. از داده‌های سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۳ به عنوان داده‌های آموزش و از داده‌های ۱۳۹۴ تا ۱۳۹۶ به عنوان داده‌های آزمون استفاده شده است. از داده‌های مقدار مصرف آب در بخش شرب و کشاورزی در سال‌های گذشته، جمعیت و سطح زیر کشت به عنوان ورودی الگوریتم استفاده شده است.

مقادیر شاخص ارزیابی مربوط به تخمین سه مدل خطی، نمایی و هیبرید در جداول (۲) تا (۴) آورده شده است. در اینجا MRE میانگین خطای نسبی را نشان می‌دهد. همانطور که نتایج نشان می‌دهد بهترین خطا در بین این سه مدل ۰/۳۹ درصد و بدترین خطا ۱۹ درصد می‌باشد و به این معنی می‌باشد که صحت پیش‌بینی بین ۹۹/۶۱ و ۸۱ درصد می‌باشد.

جدول ۳- مقادیر شاخص ارزیابی مربوط به اجرای انواع الگوریتم کرم شب تاب برای مدل خطی (درصد)

| انحراف معیار | بدترین MRE | میانگین MRE | بهترین MRE | الگوریتم |
|--------------|------------|-------------|------------|----------|
| ۲/۲۴ | ۶/۷ | ۳/۲ | ۰/۷۹ | FA |
| ۰/۰۵ | ۲/۱ | ۲/۰۶ | ۲/۰۳ | NDFA |
| ۰/۰۳ | ۱۰ | ۵/۳ | ۰/۹ | MFA |
| ۰/۰۱ | ۵/۷ | ۲/۴ | ۲ | APFA |
| ۰/۰۱ | ۳/۹۶ | ۱/۵۸ | ۰/۳۹ | VSSFA |

جدول ۴- مقادیر شاخص ارزیابی مربوط به اجرای انواع الگوریتم کرم شب تاب برای مدل نمایی (درصد)

| انحراف معیار | بدترین MRE | میانگین MRE | بهترین MRE | الگوریتم |
|--------------|------------|-------------|------------|----------|
| ۰/۰۰۱ | ۲/۶ | ۲/۳ | ۲/۳ | FA |
| ۰/۰۰۲ | ۲/۷ | ۲/۵ | ۲/۳ | NDFA |
| ۰/۰۸ | ۱۹ | ۷/۳ | ۲ | MFA |
| ۰/۰۲ | ۷/۷ | ۳/۳ | ۲ | APFA |
| ۰/۰۰۱ | ۲/۶۵ | ۲/۳۷ | ۲/۲۵ | VSSFA |

جداول (۵) تا (۷) آورده شده است. نتایج بدست آمده نشان می دهد برای هر سه سال مورد بررسی مدل هیبرید کمترین خطای نسبی در بین همه الگوریتم ها نسبت به دو مدل دیگر دارد. و به عبارتی بهترین دقت پیش بینی را نشان می دهد. برای هر سه مدل خطی، نمایی و هیبرید از بین الگوریتم های مورد بررسی الگوریتم NDFA خطای نسبی کمتری را نشان می دهد و نشان می دهد نسبت به سایر الگوریتم ها دقت پیش بینی بالاتری دارد. به طوریکه در مدل هیبرید مقدار خطای نسبی در الگوریتم کرم شب تاب پویا در سال ۹۴، ۳/۲ درصد، در سال ۹۵ ۱/۷ درصد و در سال ۹۶ ۱ درصد می باشد. مقادیر پیش بینی شده مقدار تقاضای آب در این الگوریتم به مقادیر تقاضای واقعی نزدیکتر است و خطای کمتری نسبت به سایر الگوریتم ها دارد بنابراین الگوریتم کرم شب تاب پویا در بین سایر الگوریتم های کرم شب تاب نتایج بهتری را ارائه می دهد و الگوریتم مناسبتری جهت پیش بینی مقدار تقاضای آب در سالهای آبی می باشد. نتایج بدست آمده این مطالعه مطابق با نتایج وانگ و همکاران (۲۰۱۸)، وانگ و همکاران (۲۰۱۷)، چیکارا و همکاران (۲۰۱۸)، متسوشیتا (۲۰۱۵) می باشد. آنها نیز در مطالعات خود نشان دادند که الگوریتم کرم شب تاب در حالت پویا نسبت به سایر الگوریتم های آورده شده در مطالعاتشان کارایی و دقت بالاتری دارد.

همانطور که گفته شد هدف از این مطالعه معرفی مدلی قابل اطمینان جهت پیش بینی مقدار تقاضای آب رودخانه هیرمند می باشد بر اساس نتایج جداول (۵) تا (۷) نتیجه گرفته شد که الگوریتم NDFA در

جدول ۵- مقادیر شاخص ارزیابی مربوط به اجرای انواع الگوریتم کرم شب تاب برای مدل هیبرید (درصد)

| الگوریتم | بهترین MRE | میانگین MRE | بدترین MRE | انحراف معیار |
|----------|------------|-------------|------------|--------------|
| FA | ۱/۶ | ۲/۳ | ۳ | ۰/۰۰۴ |
| NDFA | ۲/۰۳ | ۲/۰۲ | ۲ | ۰/۰۰۰۱۴ |
| MFA | ۱/۳ | ۲/۹۷ | ۷/۵ | ۰/۰۲ |
| APFA | ۲ | ۲/۰۵ | ۲/۲۷ | ۰/۰۰۰۸ |
| VSSFA | ۰/۵۵ | ۲/۱ | ۳/۰۸ | ۰/۰۰۷ |

برای مدل خطی و هیبرید میانگین MRE بدست آمده برای الگوریتم NDFA نسبت به دیگر الگوریتم ها بهتر است. برای مدل نمایی الگوریتم FA میانگین MRE بهتری نسبت به دیگر الگوریتم ها دارد. بر طبق نتایج بدست آمده از میانگین MRE کارایی سه مدل تخمین زده به این صورت است که ابتدا مدل هیبرید، خطی و سپس نمایی کارایی بیشتری دارند. برای هر ۵ الگوریتم کرم شب تاب میانگین MRE در مدل هیبرید نسبت به سایر مدلها بهتر است و نشان می دهد که با ترکیبی از دو مدل خطی و نمایی می توان به پیش بینی دقیق تر رسید. همچنین الگوریتم NDFA در بین سایر الگوریتم ها میانگین خطای نسبی کمتری دارد و دقت پیش بینی با این الگوریتم ۹۷/۱۹۸ می باشد و از دقت پیش بینی بالاتری برخوردار می باشد. که با نتایج مطالعه زینلی و همکاران (۱۳۹۴) و موغاری و بنی حبیب (۱۳۹۴) مطابق می باشد آنها در مطالعه خود نیز به این نتیجه رسیدند که الگوریتم کرم شب تاب از کارایی بیشتری نسبت به سایر الگوریتم ها برخوردار است.

مقدار مصرف واقعی آب و بهترین تقاضای آب تخمین زده شده برای سه مدل خطی، نمایی و هیبرید در

جدول ۶- مقادیر واقعی و پیش بینی شده مقدار تقاضای آب برای مدل خطی

| سال | FA | | VSSFA | | APFA | | MFA | | NDFA | |
|------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| | مقادیر پیش بینی خطای نسبی شده (درصد) | مقادیر پیش بینی خطای نسبی شده (درصد) | مقادیر پیش بینی خطای نسبی شده (درصد) | مقادیر پیش بینی خطای نسبی شده (درصد) | مقادیر پیش بینی خطای نسبی شده (درصد) | مقادیر پیش بینی خطای نسبی شده (درصد) | مقادیر پیش بینی خطای نسبی شده (درصد) | مقادیر پیش بینی خطای نسبی شده (درصد) | مقادیر پیش بینی خطای نسبی شده (درصد) | مقادیر پیش بینی خطای نسبی شده (درصد) |
| ۱۳۹۴ | ۴۲۶/۶۸ | ۴۱۱/۴۱ | ۴۱۹/۶۰ | ۲/۱۱ | ۴۱۷/۴ | ۳/۳۳ | ۴۰۸/۸ | ۷/۳ | ۴۱۲/۵ | ۳/۳ |
| ۱۳۹۵ | ۳۸۱/۳۸ | ۳۷۶/۵۵ | ۳۷۹/۴۸ | ۱/۳۱ | ۳۷۷/۷۳ | ۲/۱ | ۳۷۴/۹ | ۴/۷ | ۳۷۴/۷۶ | ۱/۷۱ |
| ۱۳۹۶ | ۳۶۷/۶۰ | ۳۶۶/۴ | ۳۶۷/۷۶ | ۱/۳۰ | ۳۶۶/۱۵ | ۱/۴۳ | ۳۶۵/۰۵ | ۳/۹۵ | ۳۶۳/۷۳ | ۱ |

جدول ۷- مقادیر واقعی و پیش بینی شده مقدار تقاضای آب برای مدل نمایی

| NDFA | | MFA | | APFA | | VSSFA | | FA | |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| مقادیر | مقادیر | مقادیر | مقادیر | مقادیر | مقادیر | مقادیر | مقادیر | مقادیر | مقادیر |
| خطای | خطای | خطای | خطای | خطای | خطای | خطای | خطای | خطای | خطای |
| نسبی | نسبی | نسبی | نسبی | نسبی | نسبی | نسبی | نسبی | نسبی | نسبی |
| (درصد) | (درصد) | (درصد) | (درصد) | (درصد) | (درصد) | (درصد) | (درصد) | (درصد) | (درصد) |
| (میلیون متر مکعب) | (میلیون متر مکعب) | (میلیون متر مکعب) | (میلیون متر مکعب) | (میلیون متر مکعب) | (میلیون متر مکعب) | (میلیون متر مکعب) | (میلیون متر مکعب) | (میلیون متر مکعب) | (میلیون متر مکعب) |
| ۴/۲۶ | ۴۰۸/۶ | ۱۰/۷ | ۳۸۱/۱۲ | ۵/۴ | ۴۰۳/۴۰ | ۸/۵ | ۴۰۹/۱۶ | ۴ | ۴۰۹/۶۵ |
| ۲ | ۳۷۳/۶۶ | ۶/۶ | ۳۵۶/۲۴ | ۲/۸۲ | ۳۷۰/۶ | ۱/۹۲ | ۳۷۳/۹۳ | ۱/۹۳ | ۳۷۴/۰۱ |
| ۱/۱۶ | ۳۶۳/۲۰ | ۵/۱۵ | ۳۴۸/۹ | ۲/۹۴ | ۳۶۰/۷ | ۱/۲۱ | ۳۶۳/۳۲ | ۱/۱۳ | ۳۶۳/۴۰ |

جدول ۸- مقادیر واقعی و پیش بینی شده مقدار تقاضای آب برای مدل هیبرید

| NDFA | | MFA | | APFA | | VSSFA | | FA | |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| مقادیر | مقادیر | مقادیر | مقادیر | مقادیر | مقادیر | مقادیر | مقادیر | مقادیر | مقادیر |
| خطای | خطای | خطای | خطای | خطای | خطای | خطای | خطای | خطای | خطای |
| نسبی | نسبی | نسبی | نسبی | نسبی | نسبی | نسبی | نسبی | نسبی | نسبی |
| (درصد) | (درصد) | (درصد) | (درصد) | (درصد) | (درصد) | (درصد) | (درصد) | (درصد) | (درصد) |
| (میلیون متر مکعب) | (میلیون متر مکعب) | (میلیون متر مکعب) | (میلیون متر مکعب) | (میلیون متر مکعب) | (میلیون متر مکعب) | (میلیون متر مکعب) | (میلیون متر مکعب) | (میلیون متر مکعب) | (میلیون متر مکعب) |
| ۳/۱۲ | ۴۱۲/۵۵ | ۴/۳۱ | ۴۰۸/۲۷ | ۳/۱۹ | ۴۱۲/۳۷ | ۳/۳۶ | ۴۱۲/۲ | ۳/۶۲ | ۴۱۱/۱۹ |
| ۱/۷ | ۳۷۴/۷۵ | ۲/۷ | ۳۷۱ | ۱/۷۲ | ۳۷۴/۶۸ | ۱/۸۲ | ۳۷۴/۳۵ | ۱/۹۶ | ۳۷۳/۹ |
| ۱ | ۳۶۳/۷۳ | ۲/۰۳ | ۳۶۰/۱۳ | ۱/۰۲ | ۳۶۳/۷ | ۱/۱۵ | ۳۶۳/۴ | ۱/۲۵ | ۳۶۳ |

دهد مقدار پیش بینی تقاضای آب در الگوریتم NDFA در مدل خطی برای سالهای ۹۷، ۹۸ و ۹۹ به ترتیب ۳۳۶، ۳۱۴ و ۲۹۴ میلیون متر مکعب در مدل نمایی به ترتیب ۳۳۲، ۳۱۷ و ۳۰۳ میلیون متر مکعب و در مدل هیبرید نیز به ترتیب ۳۴۳، ۳۲۴ و ۳۰۵ میلیون متر مکعب می باشد با توجه به نتایج مقدار پیش بینی تقاضای آب در طی سه سال آتی به تدریج کاهش می یابد. که این کاهش تقاضای ناشی از کاهش میزان جمعیت در منطقه سیستان در اثر مهاجرت به علت خشکسالی و کاهش میزان سطح زیر کشت در بخش کشاورزی که آن هم ناشی از خشکسالی های پی در پی در این منطقه می باشد. برای هر ۵ الگوریتم مقادیر پیش بینی شده تقاضای آب مشابه می باشد.

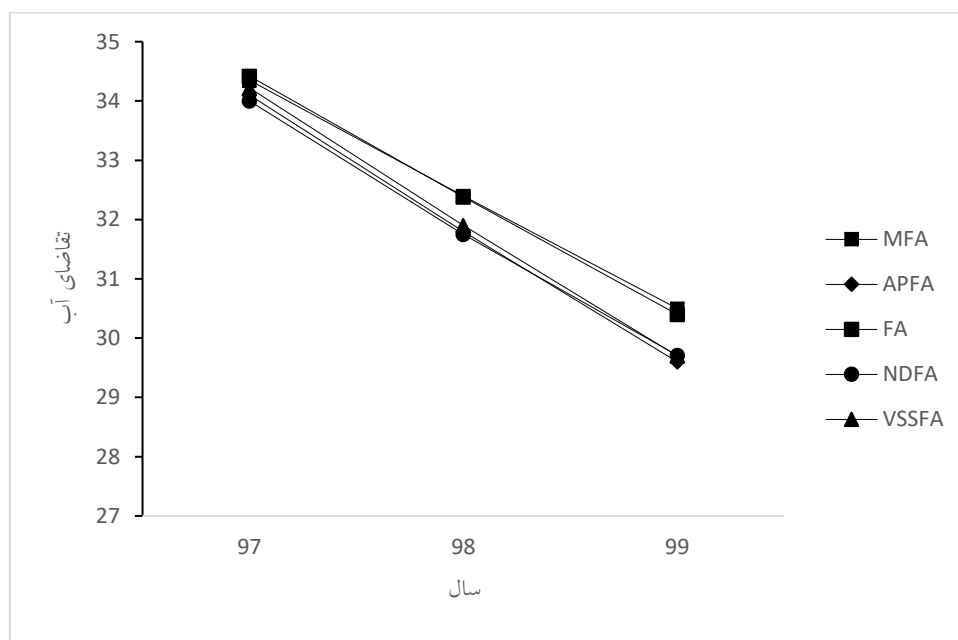
ارزیابی ریسک کمبود تقاضای آب

در این مطالعه ریسک کمبود آب در سه سال پیش بینی شده تحت سطوح جریان مختلف به منظور درک شرایط کمبود آب ارزیابی شد. مقادیر جریان وردی آب

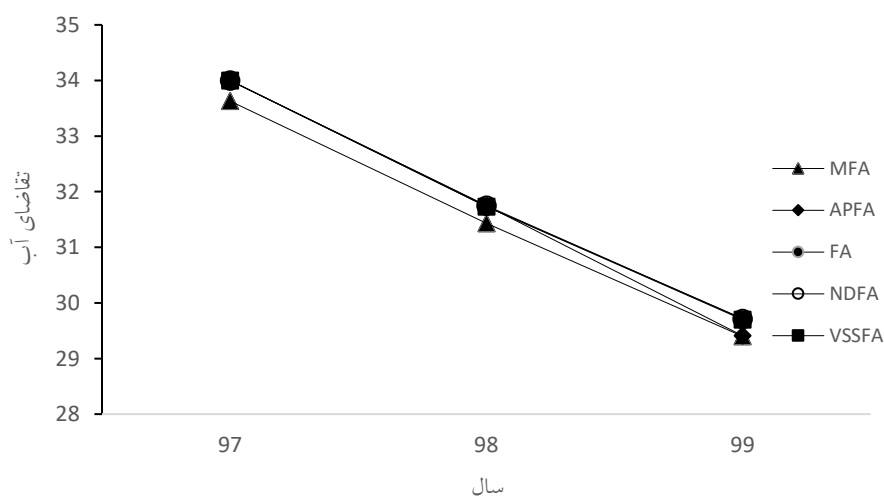
پیش بینی داده های آموزش و آزمون دارای دقت مناسبی می باشد و می توان از این الگوریتم جهت پیش بینی مقدار تقاضای آب رودخانه هیرمند در سه سال آتی استفاده نمود. تا بتوان بر اساس این مقادیر برنامه ریزی مناسب در جهت استفاده از منابع آب موجود انجام داد. برای پیش بینی تقاضای آب در سه سال آینده به نرخ رشد جمعیت و نرخ رشد سطح زیر کشت نیاز است. با توجه به روند کاهشی جمعیت در چند سال اخیر میزان رشد جمعیت در دو منطقه سیستان و زاهدان منفی بوده است. همچنین در بخش کشاورزی با توجه به کاهش آب در دسترس برای کشاورزی میزان سطح زیر کشت در سالهای اخیر کاهش یافته است لذا نرخ رشد سطح زیر کشت هم منفی می باشد و این باعث کاهش میزان تقاضای آب در سه سال آینده می شود. مقدار پیش بینی تقاضای آب برای سالهای ۱۳۹۷، ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ را برای سه مدل خطی، نمایی و هیبرید در شکل های (۱) تا (۳) نشان داده شده است. مقدار پیش بینی برای هر ۵ الگوریتم به طور مجزا انجام شد و نتایج آن با هم مقایسه شد. نتایج نشان می

سال پیش‌بینی شده در سطح جریان کم، میزان ریسک بالا و برای سطح جریان زیاد و متوسط میزان ریسک پایین است و میزان آسیب پذیری برای هر سه سطح جریان در سطح پایین ریسک می باشد. هر چه سطح ریسک کمبود تقاضای آب پایینتر باشد به این معنی است که سیستم قدرت تحمل بهتری برای ریسک کمبود آب دارد.

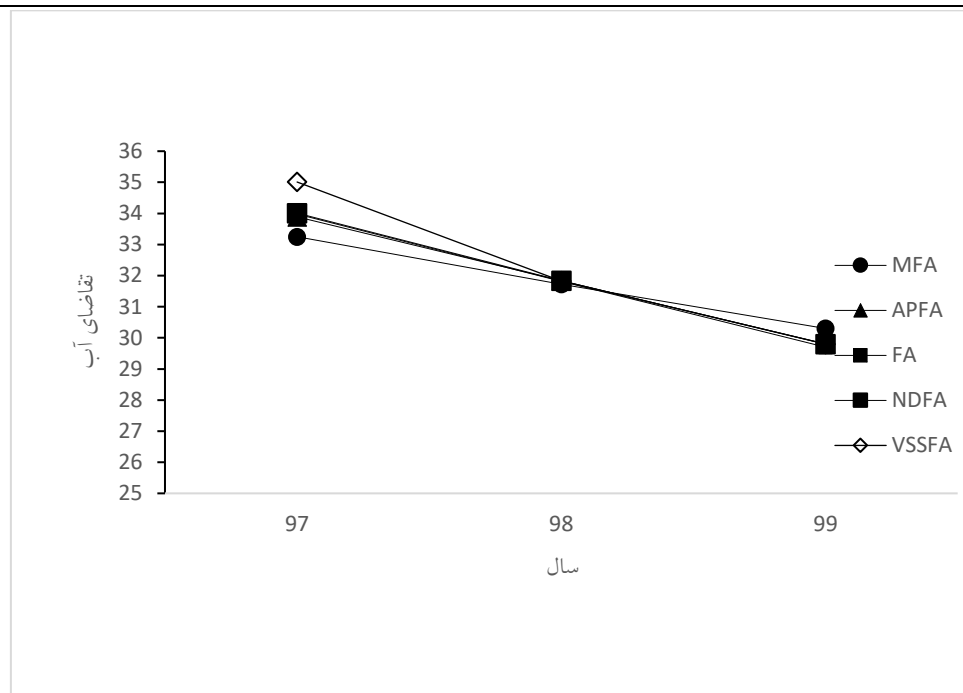
رودخانه هیرمند برای سه سطح جریان کم، متوسط و زیاد با استفاده از روش شبیه سازی مونت کارلو شبیه سازی شد که نتایج آن در جدول (۸) آورده شده است. بنابراین با استفاده از نتایج شبیه سازی و مقادیر پیش بینی شده می توان ریسک کمبود آب را ارزیابی نمود. نتایج ارزیابی ریسک نشان می دهد شاخص آسیب پذیری برای هر سه



شکل ۳- نتایج پیش بینی تقاضای آب برای مدل خطی (میلیون متر مکعب)



نمودار ۲- نتایج پیش بینی تقاضای آب برای مدل نمایی (میلیون متر مکعب)



نمودار ۳- نتایج پیش بینی تقاضای آب برای مدل هیبرید (میلیون متر مکعب)

جدول ۹- ارزیابی ریسک کمبود تقاضای آب در سطوح مختلف جریان برای مدل هیبرید

| سال | مقدار پیش بینی شده (میلیون متر مکعب) | مقدار شبیه سازی شده (میلیون متر مکعب) | ریسک | آسیب پذیری |
|------|--------------------------------------|---------------------------------------|------|------------|
| ۱۳۹۷ | جریان زیاد | ۳۳۶/۲۹ | ۰ | (I) |
| | جریان متوسط | ۳۳۶/۲۹ | ۰ | (I) |
| | جریان کم | ۳۳۶/۲۹ | ۱ | (V) |
| ۱۳۹۸ | جریان زیاد | ۳۱۴/۳ | ۰ | (I) |
| | جریان متوسط | ۳۱۴/۳ | ۰ | (I) |
| | جریان کم | ۳۱۴/۳ | ۱ | (V) |
| ۱۳۹۹ | جریان زیاد | ۲۹۴ | ۰ | (I) |
| | جریان متوسط | ۲۹۴ | ۰ | (I) |
| | جریان کم | ۲۹۴ | ۱ | (V) |

نتیجه گیری

به نتایج پیش بینی در سه سال آینده و خشکسالی های شدید در منطقه سیستان و در صورت ادامه داشتن آن در سالهای آتی و عدم آورد آب رودخانه هیرمند لازم است برنامه ریزی های لازم جهت مصرف بهینه آب اتخاذ شود. با توجه به نتایج مشاهده می گردد که الگوریتم کرم شب تاب پویا در بین سایر الگوریتم ها توانسته است بدون داشتن دانش قبلی از مقدار تقاضای سال جاری و فقط بر اساس دانش موجود از داده های قبل با دقت مناسبی به پیش بینی تقاضا بپردازد. در نتیجه میتوان گفت که این الگوریتم می تواند به عنوان یک ابزار کارآمد در پیش بینی میان مدت میزان تقاضا استفاده نمود تا بر اساس آن بتوان برنامه ریزی صحیح در خصوص استفاده از منابع آب انجام

رودخانه هیرمند در منطقه سیستان به عنوان یک رودخانه مرزی بین کشور افغانستان و ایران می باشد که آب شرب منطقه سیستان و شهرستان زاهدان و بخش کشاورزی منطقه سیستان از طریق رودخانه هیرمند تامین می شود لذا این رودخانه از اهمیت و حساسیت بالایی برخوردار است. رودخانه هیرمند نزدیک به دو دهه است که تحت تاثیر خشکسالی های کشور افغانستان و ایران قرار گرفته است و آورد آب رودخانه به ایران در حال کاهش است. لذا برنامه ریزی مناسب و صحیح جهت استفاده بهینه از منابع آب در این منطقه ضروری به نظر می رسد. با توجه

blind image steganalysis. *Int. J. Mach. Learn. & Cyber.* 9: 821-835

12) Cheng NJ, Ding XM, and Shen HB. 2014. Adaptive firefly algorithm: parameter analysis and its application. *PLoS One.* 9(11). E112634.

13) Cui LZ, Li GH, Wang XZ, Lin QZ, Chen JY, Lu N, and Lu J. 2017. A ranking- based adaptive artificial bee colony algorithm for global numerical optimization. *Inf Sci.* 417: 169-185.

14) Cui ZH, Sun B, Wang GG, Xue Y, and Chn JJ. 2017. A novel oriented cuckoo search algorithm to improve DV-hop performance for cyber-physical systems. *Journal parallel Distrib. Comput.* 103:42-52.

15) Dorigo M, Maniezzo V, and Colomi A. 1996. Optimization by a colony of cooperating agents. *IEEE Trans Syst Man Cybern Part B.* 26: 29-41.

16) Eslamian SA, Li SS, and Haghightat F. 2016. A new multiple regression model for predictions of urban water use. *Sustainable Cities and Society.* 27:419-429.

17) Ehteram M, Karami H, Farzin S. 2018a. Reservoir optimization for energy production using a new evolutionary algorithm based on multi-criteria decision-making models. *Water Resour Manag.* 32(7):2539-2560

18) Fister JR, Yang XS, Fister I, and Brest J. 2012. Memetic firefly algorithm for combinatorial optimization. In *bioinspired optimization methods and their applications (BIOMA):1-14.*

19) Ghasemi vajani H. 2018. Expand an Artificial Neural Networks for forecasting karaj monthly drink water demand. *Journal of Science and Engineering Elites.* 3(5):67-82.(In Persian)

20) Guo WQ, Shao DG, and Jiang YF. 2012. Risk evaluation of water shortage in source area of middle route project for south- to North water transfer in china. *Water resource management.* 26(12):3479-3493.

21) Hashimoto T, Stedinger JR, and Loucks DP. 1982. Reliability resiliency and vulnerability criteria for water resources system performance evaluation. *Journal water resources research.* 18(1):14-20.

22) Hosseini-Moghari M, and Banihabib ME. 2014. Optimizing operation of reservoir for agricultural water supply using firefly algorithm. *Journal of Water and soil resources conservation.* 3(4):17-31.(In Persian)

23) Kazemi M, Jalili ghazizadeh MR, and Darabi A. 2017. A review of some of the methods for forecasting urban water demand. 1th national conference on water loss & consumption management, Iran.

24) Li M, Guo P, Singh V, and Yang G. 2016. An Uncertainty- based framework for agricultural water- land resources allocation and risk evaluation. *Agricultural water management.* 177:120-23.

25) Maidment DR, Miaou SP, and Crawford MM. 1985. Transfer function models of daily urban water

داد. به علاوه ارزیابی ریسک کمبود آب بر مبنای نتایج

پیش‌بینی به تصمیم‌گیرنده برای درک شرایط ریسک کمبود آب تحت سناریوهای مختلف کمک می‌کند.

منابع

۱) سردار شهرکی ع، ۱۳۹۵. تخصیص بهینه منابع آب

حوزه هیرمند با کاربرد تئوری بازی و ارزیابی سناریوهای مدیریتی. پایان نامه دکتری. دانشگاه سیستان و بلوچستان

۲) سازمان حفاظت محیط زیست، مطالعه احیاء بخش هایی از تالاب بین المللی هامون (گودی های طبیعی)،

معاونت محیط زیست طبیعی، پژوهشکده تالاب بین المللی هامون، ۱۳۹۴.

۳) وزارت نیرو، گزارش برنامه ریزی منابع آب رودخانه و مخازن چاه نیمه‌های سیستان، جلد دوم، شرکت سهامی

آب منطقه ای استان سیستان و یلوچستان، زابل، ۱۳۹۰.

۴) نوری ص، شهرکی ج، سردار شهرکی ع. ۱۳۹۸.

کاربرد الگوریتم فراابتنکاری کرم شب تاب در تخصیص بهینه‌ی منابع آب چاه نیمه‌ی سیستان تحت سناریوی

توسعه‌ی کشاورزی. مجله‌ی مهندسی منابع آب، ۱۲(۴۳): ۶۳-۷۴.

5) Alah yari khamaneh P. and Taghavi afshrd 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)

6) Al-Zahrani M.A, and Abo-Monaar A. 2015. Urban residential water demand prediction based on artificial neural networks and time series models. *Water Resource Management.* 29(10): 3651-3662.

7) Assareh E, Behrang MA, Assari MR, and Ghanbarzadeh A. 2010. Application of PSO (particle swarm optimization) and GA (genetic algorithm) techniques on demand estimation of oil in iran. *Energy.* 35: 5223-5229. (In Persian)

8) Bai Y, Wang P, Chuan L, Jingjing X and Wang Y. 2014. A multi-scale relevance vector regression approach for daily urban water demand forecasting. *Journal of Hydrology.* 517:236-245.

9) Bougadis J, Adamowski KB, and Diduch R. 2005. Short-term municipal water demand forecasting. *Hydrological Processes.* 19(1):137-148.

10) Brentan BM, Luvizotto Jr, Herrera M, Izquierdo J, and Perez-Garcia R. 2017. Hybrid regression model for near real- time urban water demand forecasting. *Journal Computer Applied Mathematical.* 309: 532-541.

11) Chhikara RR, Sharma P, Singh L. 2018. An improved dynamic discrete firefly algorithm for

- Based on an Ant Colony Optimization Algorithm. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 65(4):3077-3094.
- 42) Zarei A, Mousavi SF, Eshaghi Gordji M, Karami H. 2019. Optimal Reservoir Operation Using Bat and Particle Swarm Algorithm and Game Theory Based on Optimal Water Allocation among Consumers. *Water Resour Manage*. 33: 3071–3093
- 43) Zhang J, Zhu Z, Chang Y, Wu D, Du L, Cui Z. 2019. Demand Estimation of Water Resources based on Coupling Algorithm. *Chinese Control and Decision Conference (CCDC)*, Nanchang, China, 714-719.
- use. *Journal of Water Resources Research*. 21(4):425-432.
- 26) Matsushita H. 2015. Firefly algorithm with dynamically changing connections. *IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC)*, Sendai. 2672-2677.
- 27) Oliveira PJ, Steffan JL, and Cheung P. 2017. Parameter estimation of seasonal ARIMA models for water demand forecasting using the harmony search algorithm. *Procedia Engineering*. 186:177-185.
- 28) Pulido-Calvo I, and Gutierrez-Estrada JC. 2009. Improved irrigation water demand forecasting using a soft-computing hybrid model. *Bio systems engineering*. 102(2):202-218.
- 29) Ruan BQ, Han YP, Wang H, and Jiang RF. 2005. Fuzzy comprehensive assessment of water shortage risk. *Journal Hydraul Eng*. 36(8): 906-912.
- 30) Schleich J, and Hillenbrand T. 2009. Determinants of residential water demand in Germany. *Ecological Economics*. 68(6):756 -1769.
- 31) Tabesh M, and Dini M. 2010. Forecasting Daily Urban Water Demand Using Artificial Neural Networks, A Case Study of Tehran Urban Water. *Journal of Water and Wastewater*. 21(1): 84-95. (In Persian)
- 32) Tabesh M, Dini M, Khoshkholgh AJ, and Zahraie B. 2008. Estimation of Tehran Daily Water Demand Using Time Series Analysis. *Iran-water resources research*. 4(2):57-65. (In Persian)
- 33) Ufuk Sahin A. 2018. A Particle Swarm Optimization Assessment for the Determination of Non-Darcian Flow Parameters in a Confined Aquifer. *Water Resources Management*. 32(2):751-767.
- 34) Wang H, Cui Z, Wang W, Zhou X, Zhao J, and Li Y. 2018. A new dynamic firefly algorithm for demand estimation of water resources. *Information Sciences*. 438: 95-106.
- 35) Wang H, Zhihua C, Wenjun W, Xinyu Z, Zhao J, Lv L, and Sun H. 2017. Firefly algorithm for demand estimation of water resources. Published in *ICONIP*. part IV, Lncs 10637: 11-20.
- 36) Wang H, Zhou X, Sun H, Yu X, Zhao J, Zhang H, and Cui L. 2017. Firefly algorithm with adaptive control parameters. *Soft Comput*. 21(17):5091-5120.
- 37) Wang H, Sun H, Li C, Rahnamayan S, and Pan GS. 2013. Diversity enhanced particle swarm optimization with neighborhood search. *Information Sciences*. 223: 119-135.
- 38) Yang XS. 2008. *Nature-inspired metaheuristic algorithms*, Luniver Press, UK.
- 39) Yang XS. 2010. *Engineering Optimization an introduction with metaheuristic application*. Gohn Wiely and Sons, USA.
- 40) Yu SH, Zhu SL, Ma Y, and Mao DM. 2015. A variable step size firefly algorithm for numerical optimization. *Appl Math Comput*. 263: 214-220.
- 41) Yin Z, Du C, Liu J. 2018. Research on Auto disturbance-Rejection Control of Induction Motors