فصلنامه آینده‌پژوهی مدیریت
سال سی و سوم/ شماره ۱۳۰ / پاییز ۱۴۰۱

ارائه الگوریتم فرا ابتکاری جدید جهت حل مساله انتخاب ویژگی

مهدی خادم
دانشجوی دکتری مدیریت صنعتی، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و اقتصاد، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی،تهران، ایران

عباس طلوعی اشلقی (مسئول مکاتبات)
استاد، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و اقتصاد، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی،تهران، ایران

کیامرث فتحی هفشجانی
استادیار،گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و اقتصاد، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی،تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰٤/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱٤۰۱/۱۰/۰۹

چکیده

با توجه به افزایش حجم داده ها و اطلاعات در سالهای اخیر مساله انتخاب مناسبترین ویژگی جهت تصمیم گیری اهمت فراوانی یافته است. روشهای کلاسیک انتخاب ویژگی نمی توانند بر روی داده های بزرگ به درستی عمل نمایند. از آنجا که مسئله انتخاب ویژگی یک مساله سخت و پیچیده است، استفاده از الگوریتم‌های فرا ابتکاری جهت حل این مساله مناسب به نظر می‌رسد. در این مقاله الگوریتم فرا ابتکاری جدیدی با الهام از کوچ عشایر جهت حل مساله انتخاب ویژگی ارائه شده است. این الگوریتم به افتخار ایل قشقایی نامگذاری شده است. در این الگوریتم ترکیبی تابع تناسبی مبتنی بر الگوریتم انتخاب ویژگی و براساس کمینه‌سازی تعداد ویژگی‌ها و میزان خطای داده‌ها با استفاده از نتایج شبکه عصبی طراحی شد. سپس الگوریتم فرا ابتکاری قشقایی بر روی این تابع تناسب پیاده سازی شد و نتایج با الگوریتم های فرا ابتکاری مشهور ژنتیک و ازدحام ذرات مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج آزمون فرض نشان داد که الگوریتم بهینه سازی قشقایی جهت حل مساله انتخاب ویژگی توسط الگوریتم ژنتیک و ازدحام ذرات مغلوب نمی‌گردد و به لحاظ همگرایی به جواب بهینه به خوبی آنها عمل می‌کند.

کلمات کلیدی: مساله انتخاب ویژگی، الگوریتم فرا ابتکاری، الگوریتم ژنتیک، الگوریتم ازدحام ذرات، الگوریتم قشقایی

مقدمه

در دهه‌های اخیر با پیشرفت سریع رایانه و افزایش حجم اطلاعات و داده با مفاهیمی مانند داده بزرگ و ابعاد زیاد مواجه شده‌ایم. افزایش ابعاد موجب افزایش هزینه محاسباتی سیستم شده و موجب کاهش دقت طبقه بندی می‌شود.[۱] یک راهکار مهم جهت غلبه بر این مشکل استفاده از تکنیک های انتخاب ویژگی است که هدف آن انتخاب مناسبترین ویژگی‌ها از بین مجموعه ویژگیهای اولیه، برای افزایش عملکرد الگوریتمهای یادگیری است. انتخاب ویژگی فرآیندی است که زیر مجموعه‌ای از ویژگی‌ها را براساس معیارهای بهینه سازی انتخاب می‌کند. انتخاب ویژگی در حل مسایل مختلفی از جمله مساله طبقه بندی[۲] ، پیش‌بینی ورشکستگی بانک[۳] ، دسته بندی متن[٤]، خوشه بندی[٥]، بخش بندی تصویر[٦, ۷] ، پزشکی [۸, ۹]، سیستم‌های قدرت[۱۰]، تشخیص الگو[۱۱]، پیش بینی بازار سهام[۱۲]، تشخیص گفتار[۷]، بازاریابی [۱۳]، کاهش ابعاد [۱٤]، تشخیص بدافزار تلفن همراه[۱٥] و تشخیص چهره[۱٦] کاربرد دارد. روشهای مختلفی برای حل مساله انتخاب ویژگی ارائه شده است که از آن جمله می‌توان به روش فیلتر، پیچشی و ترکیبی اشاره نمود. در روش فیلتر با استفاده از معیارهای آماری برای هر ویژگی یک اعتبار محاسبه می‌شود. در روش پیچشی برای ارزیابی مجموعه ویژگیها از یک طبقه بندی استفاده می شود و مجموعه ویژگی که کمترین خطا و بهترین دقت را داشته باشد به عنوان بهترین مجموعه ویژگی انتخاب می‌گردد. روش‌های ترکیبی تلاش می‌کنند با ترکیب دو روش فیلتر و پیچشی از مزیت هر دو روش بهره ببرند. [۱۷]فرایند انتخاب ویژگی شامل سه مرحله روش جستجو، ارزیابی زیر مجوعه و معیار توقف می باشد.[۲] مسئله انتخاب ویژگی، یکی از پیچیده‌ترین مسائل در بازشناسی الگو است و یک مسئله NP-Hard می‌باشد و به همین دلیل برای حل مساله انتخاب ویژگی از روشهای فراابتکاری نیز استفاده شده است. مطالعات نشان داده است که در مجموعه‌های بزرگ، استفاده از روشهای فراابتکاری اثربخش تر از سایر روشها می باشد. با توجه به اینکه روشهای قطعی حل مساله انتخاب ویژگی علی الخصوص در انتخاب بهترین مجموعه ویژگی ها غالبا در بهینه محلی گرفتار شده و با توجه به پیچیده شدن مساله نیازمند زمان محاسباتی بالا بوده و غالبا در ارائه پاسخ صحیح ناکام بوده اند در سالهای اخیر محققان از الگوریتم های فرا ابتکاری جهت حل مساله انتخاب ویژگی استفاده نموده اند. با توجه به پیچیده شدن مسائل و در حال تغییر دنیای واقعی از سال ۲۰۰۰ به بعد شاهد ارائه الگوریتم های فرا ابتکاری جدید جهت حل مسائل مختلف هستیم. همچنین با توجه به نظریه NFL[1] که توسط ولپرت و مکریدی[2] در سال ۱۹۹۷ ارائه گردیده هیچ الگوریتم فرا ابتکاری نیست که جهت حل همه مسائل مناسب باشد. به همین علت ما در این مقاله با الهام گرفتن از نحوه همکاری های هوشمندانه کوچ عشایر الگوریتم فرا ابتکاری جدیدی را توسعه داده ایم. الگوریتمهای فراابتکاری الگوریتم‌هایی هستند که با الهام از فرایندهای طبیعی، فیزیکی، بیولوژیکی ارائه شده‌اند. جهت حل مساله انتخاب ویژگی با استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری، هر جواب ممکن از مساله به صورت رشته‌ای از صفر و یک ها تعریف می‌شود. طول رشته مساوی تعداد کل ویژگیها بوده و مقدار صفر برای هر بیت نشان دهنده عدم انتخاب و مقدار یک بیانگر انتخاب ویژگی مربوطه می‌باشد. الگوریتمهای فرا ابتکاری از تابع شایستگی برای ارزیابی و جستجو استفاده نموده و به علت هوش جمعی، قادر به کشف جواب می‌باشند.[37]

[1] No Free Lunch
[2] Wolpert and Macready

جدول ۱ خلاصه‌ای از الگوریتم‌های فرا ابتکاری استفاده شده جهت حل مساله انتخاب ویژگی را نمایش می‌دهد.

ردیف	عنوان مقاله	نویسندگان	سال ارائه	مرجع
1	انتخاب مجموعه ویژگی با استفاده از الگوریتم ژنتیک	یانگ و هناوار	۱۹۹۸	[۱۹]
2	انتخاب ویژگی با استفاده از روش جستجوی ممنوعه	ژانگ و سان	۲۰۰۲	[۲۰]
3	انتخاب زیر مجموعه ویژگی مبتنی بر الگوریتم تکامل تفاضلی	خوشابا	۲۰۰۸	[۲۱]
4	انتخاب مجموعه ویژگی با استفاده از الگوریتم هارمونی	دیائو و شن	۲۰۱۱	[۲۲]
5	انتخاب ویژگی بر اساس رویکرد الگوریتم کرم شب تاب	باناتی و باجاج	۲۰۱۱	[۲۳]
6	الگوریتم خفاش باینری جهت حل مساله انتخاب ویژگی	ناکامورا و پریرا	2012	[۲٤]
7	یک الگوریتم انتخاب ویژگی جدید با استفاده از الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات برای داده های سرطان	ساهو و میشرا	۲۰۱۲	[۲۵]
8	انتخاب ویژگی داده ها بر اساس الگوریتم کلونی زنبور مصنوعی	شیزارو ، پدرینی	۲۰۱۳	[۲٦]
9	الگوریتم فاخته باینری برای انتخاب ویژگی	رودریگز و یانگ	۲۰۱۳	[۲۷]
10	انتخاب مجموعه ویژگی با استفاده از الگوریتم رقابت استعماری اصلاح شده	موسوی راد و ابراهیم پور	۲۰۱۳	[۲۸]
11	یک روش بسته بندی برای انتخاب ویژگی های مبتنی بر الگوریتم خفاش	رودریگز ، پیرا و ماکامورا	۲۰۱٤	[۲۹]
12	انتخاب زیر مجموعه ویژگیها با استفاده از الگوریتم جستجوی گرانشی باینری بهبود یافته	ارشادی و نظام آبادی پور	۲۰۱٤	[۳۰]
13	یک الگوریتم مورچه پیشرفته برای انتخاب زیر مجموعه ویژگی ها	کاشف و نظام آبادی پور	۲۰۱۵	[۳۱]
14	انتخاب زیر مجموعه ویژگی با رویکرد بهینه سازی گرگ خاکستری	اماری، زاوبا و گروسان	۲۰۱۵	[۳۲]
15	انتخاب ویژگی با استفاده از الگوریتم جمعیت مورچگان	نظام آبادی پور	2015	[۱۸]
۱٦	انتخاب ویژگی ها با استفاده از الگوریتم بهینه سازی جنگل	قائمی، فیضی درخشی	۲۰۱٦	[۳۳]
۱۷	الگوریتم بهینه سازی نهنگ برای انتخاب ویژگی	مفرجا و میرجلیلی	۲۰۱۸	[۳٤]
۱۸	انتخاب ویژگی ها و الگوریتم دسته میگو پیشرفته برای خوشه بندی اسناد متنی	ابولیگا	۲۰۱۹	[۳۵]

مساله تحقیق:

۱- ارائه یک الگوریتم فرا ابتکاری جدید باعملکرد بهتر نسبت به سایر الگوریتمها در یافتن جواب بهینه در برخی مسائل با الهام از نحوه کوچ ایل عشایر قشقایی و آزمون آن با بهره گیری از ۱۱ تابع نمونه استاندارد معروف بهینه سازی و انجام آزمون فرض آماری مقایسه میانگین پاسخ با الگوریتم ژنتیک[1]، ازدحام ذرات[2]

۲- حل مساله انتخاب ویژگی جهت انتخاب ویژگی های مناسب در داده های حجم بالا با الگوریتم فرا ابتکاری عشایر قشقایی با استفاده از پنج مجموعه داده (دیتاست) معروف نرم افزار متلب چربی بدن[3] ، قیمت گذاری خانه[4]، حلقه های پوسته صدف[5]، انرژی ساختمان[6] و مجموعه داده شیمی[7] مقایسه نتایج با الگوریتم ژنتیک و الگوریتم ازدحام ذرات

متدولوژی و روش شناسی تحقیق:

۱- بررسی ادبیات موضوع مساله انتخاب ویژگی

۲- بررسی الگوریتمهای فرا ابتکاری ارائه شده جهت حل مساله انتخاب ویژگی

۳- طراحی الگوریتمهای فرا ابتکاری جدید با با الهام از نحوه کوچ ایل عشایر قشقایی

٤- آزمون مقایسه نتایج الگوریتم فرا ابتکاری عشایر قشقایی با بهره گیری از ۱۱ تابع نمونه استاندارد معروف بهینه سازی و انجام آزمون فرض آماری مقایسه میانگین پاسخ با الگوریتم ژنتیک، ازدحام ذرات .بررسی های آماری و مقایسه میانگین تابع هدف از نرم افزار SPSS و برای تنظیم پارامترها از روش تاگوچی از نرم فزار (Minitab) صورت پذیرفت.

[1] Genetic Algorithm(GA)

[2] Particle Swarm Optimization(PSO)

[3] Body fat dataset

[4] House pricing dataset

[5] Abalone shell rings dataset

[6] Building energy dataset

[7] Chemical dataset

۵- حل مساله انتخاب ویژگی جهت انتخاب ویژگی های مناسب در داده های حجم بالا با الگوریتم فرا ابتکاری عشایر قشقایی با استفاده از پنج مجموعه داده (دیتاست) معروف نرم افزار متلب[1] ، شامل دیتاست چربی بدن[2] ، قیمت گذاری خانه[3]، حلقه های پوسته صدف[4]، انرژی ساختمان[5] و مجموعه داده شیمی[6] مقایسه نتایج با الگوریتم ژنتیک و الگوریتم ازدحام ذرات

جدول شماره یک توابع نمونه استاندارد به همراه مشخصات آنها را نمایش می دهد.

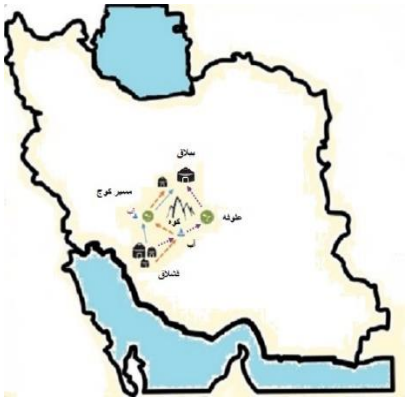
جدول ۱ - توابع نمونه استاندارد به همراه مشخصات آنها

نام تابع	فرمول تابع	دامنه تابع	نقطه بهینه (کمینه تابع)	مقدار تابع در نقطه کمینه
F1 Sphere	$f(x)=\sum_{i=1}^{n} x_i^2$	$x_i \in [-5.12,5.12]$	$x_i^* = (0,0,\ldots,0)$	$f(x^*)=0$
F2 Rastrigin	$f(x) = 10d + \sum_{i=1}^{d}[x_i^2 - 10\cos(2\pi x_i)]$	$x_i \in [-5.12,5.12]$	$x_i^* = (0,0,\ldots,0)$	$f(x^*)=0$
F3 Rosenbrock	$f(x)=\sum_{i=1}^{d-1}[100(x_{i+1}-x_i^2)^2 - (x_i-1)^2]$	$x_i \in [-2.048,2.048]$	$x_i^* = (1,1,\ldots,1)$	$f(x^*)=0$
F4 Griewank	$f(x)=\sum_{i=1}^{d}\frac{x_i^2}{4000} - \prod_{i=1}^{d}\cos\left(\frac{x_i}{\sqrt{i}}\right) + 1$	$x_i \in [-600,600]$	$x_i^* = (0,0,\ldots,0)$	$f(x^*)=0$
F5 Ackley	$f(x) = -a\exp\left(-b\sqrt{\frac{1}{d}\sum_{i=1}^{d}x_i^2}\right) - \exp\left(\frac{1}{d}\sum_{i=1}^{d}\cos(cx_i)\right) + a$	$x_i \in [-32.768,32.768]$	$x_i^* = (0,0,\ldots,0)$	$f(x^*)=0$
F6 EggHolder	$f(x) = -(x_2 + 47)\sin\left(\sqrt{\left\lvert x_2 + \frac{x_1}{2} + 47\right\rvert}\right) - x_1\sin\left(\sqrt{\lvert x_1 - (x_2+47)\rvert}\right)$	$x_i \in [-5.12,5.12]$	$x_i^* = (512.404.231$	$f(x^*) = -959.6407$
F7 Michalewicz	$f(x) = -\sum_{i=1}^{d}\sin(x_i)\sin^{2m}\left(\frac{ix_i^2}{\pi}\right)$	$x_i \in [0,\pi]$	$d = 2; x_i^* = (2.20,1.57)$	$f(x^*) = -1.8013$
F8 Six-Hump Camel	$f(x) = \left(4 - 2.1x_1^2 + \frac{x_1^4}{3}\right)x_1^2 + x_1x_2 + (-4 + 4x_2^2)x_2^2$	$-5 \le x_i \le 5, i = 1,2$	$x_i^* = (0.0898, -0.7126), (0.0898, -0.7126)$	$f(x^*) = 0$
F9 Levy	$f(x) = \sin^2(\pi w_1) + \sum_{i=1}^{d-1}(w_i-1)^2[1+10\sin^2(\pi w_i+1)] + (w_d-1)^2[1+\sin^2(2\pi w_d)]; where\ w_i = 1 + (x_i - 1)/4$	$x_i \in [-10,10]$	$x_i^* = (1,1,\ldots,1)$	$f(x^*) = 0$
F10 Rotated Hyper-Ellipsoid	$f(x)=\sum_{i=1}^{d}\sum_{j=1}^{i}x_j^2$	$x_i \in [-65.536,65.536]$	$x_i^* = (0,0,\ldots,0)$	$f(x^*) = 0$
F11 Shubert	$f(x) = \prod_{i=1}^{d}\sum_{j=1}^{5}\cos(j+1)x_i + j))$	$x_i = [-10,10]$	18 global minima	$f(x^*) = -186.7309$

الگوریتم فرا ابتکاری عشایر قشقایی(QA)

یک الگوریتم بهینه‌سازی فرا ابتکاری، یک روش سطح بالاتر ابتکاری است که می‌تواند به ویژه با اطلاعات اندک و با تغییرهایی کم جهت جستجو کردن و یافتن راه حل بهینه برای مسائل مختلف بهینه‌سازی به کار رود. استفاده از الگوریتم‌های فرا ابتکاری، به طور قابل ملاحظه‌ای توانایی یافتن جواب‌های با کیفیت بالا را برای حل مسائل بهینه سازی سخت افزایش می‌دهد. ویژگی مشترک این الگوریتم‌ها، استفاده از مکانیزم‌های خروج از بهینه محلی است.[۳۶]

الگوریتم فرا ابتکاری عشایر قشقایی، یک الگوریتم فرا ابتکاری جمعیت محور است که در این مقاله معرفی شده است. هوش جمعی نحوه کوچ عشایر مولفه‌ها و ظرافت‌های زندگی و کوچ عشایر که حاصل تجربه گروهی، پشتکار و همکاری دسته جمعی اعضای ایل و دستیابی به راه حل های مطلوب که از نسلی به نسل دیگر به صورت شهودی و سیستماتیک انتقال می‌یابد، ایده طراحی یک الگوریتم فرا ابتکاری قشقایی بوده است. نام این الگوریتم، به افتخار ایل قشقایی از عشایر معروف جنوب غرب سرزمین ایران الگوریتم قشقایی انتخاب شده است(شکل۲).



شکل ۱- کوچ عشایرقشقایی

روش طراحی الگوریتم فرا ابتکاری عشایر قشقایی

۳-۱ ایجاد جمعیت اولیه

فرض کنیم ایل n تا عضو دارد، هرکدام یک نقطه شروع کوچ (از ییلاق به قشلاق و بالعکس) دارند. نقطه شروع کوچ هر کدام از اعضای ایل یک نقطه تصادفی در فضای شدنی مسئله می‌باشد.

۳-۲ انتخاب نخبه[7]

معمولاً ایلات دارای سرزمین و قلمرو ایلی خاص خود بوده و تحت رهبری و مدیریت شخصی با سمت ایلخان یا ایل بیگ اداره می‌شوند. بزرگان ایل و ریش سفیدان مجموعه‌ای غنی از تجارب در خصوص بهترین و کم

[1] Matlab Software
[2] Body fat dataset(https://www.mathworks.com/)
[3] House pricing dataset(https://www.mathworks.com/)
[4] Abalone shell rings dataset(https://www.mathworks.com/)
[5] Building energy dataset(https://www.mathworks.com/)
[6] Chemical dataset(https://www.mathworks.com/)

7Elite Selection

خطرترین مسیرهای عبور در حافظه خود دارند و در عبور از مسیرهای کوچ بیشتر به حافظه بلندمدت خود مراجعه می‌کنند. این در حالی است که اعضای جوان‌تر ایل از تجربه و حافظه کوتاه مدت تری برخوردار بوده و به همین دلیل کمتر به حافظه خود مراجعه می‌کنند و بیشتر به موقعیت قبلی خود استناد می‌کنند. در نقطه مقابل افراد ریش سفید ایل کمتر به موقعیت قبلی خود را ملاک حرکت بعدی خود قرار می‌دهند. از این مورد جهت به روز رسانی مکان‌های جدید حرکت الگوریتم الهام گرفته شده است.

۳-۳ نحوه به روز رسانی مکان‌های جدید

در این الگوریتم عضو دارای بهترین تابع هزینه به عنوان ایلخان انتخاب و جهت به روز رسانی محل جدید آن از رابطه (1) استفاده شده است.

$$x_i^{t+1} = C_1 * \frac{fitness(pop(i)) - m_1}{m_2 - m_1} * x_i{}^t + C_2 * \frac{m_2 - fitness(pop(i))}{m_2 - m_1} * rand[varmin, varmax]$$

رابطه (۱)

دیگر اعضای جمعیت طبق رابطه (۲) به روز رسانی شده است. m_1 بهترین راه حل در هر تکرار و m_2 بدترین راه حل می‌باشند.

$$x_i^{t+1} = C_1 * \frac{m_2 - fitness(pop(i))}{m_2 - m_1} * x_i{}^t + C_2 * \frac{fitness(pop(i)) - m_1}{m_2 - m_1} * rand[varmin, varmax]$$

رابطه (۲)

- پارامترهای الگوریتم قشقایی به شرح زیر می باشد:

Varmax	: حداکثر تعداد اعضای ایل
x_i^t	: موقعیت عضو iام ایل در تکرار t
x_i^{t+1}	: موقعیت عضو iام ایل در تکرار t+1
Pop(i)	: عضو i ام جمعیت ایل
$fitness(pop(i))$	: تابع تناسب عضو i جمعیت ایل
Varmin	: حداقل تعداد اعضای ایل
C1, C2	: پارامترهای الگوریتم
m_1	: بهترین راه حل (پاسخ) هر تکرار
m_2	: بدترین راه حل(پاسخ) هر تکرار

۳-۴ مسیر کوچ

مجموعه‌ای از بهترین نقاط طی شده (بهترین جواب‌ها) مسیر کلی حرکت کوچ را تشکیل می‌دهد.

۳-۵ استراتژی پیشگیری از بدتر شدن جواب بهینه

در این الگوریتم یک استراتژی جهت جلوگیری از بدتر شدن جواب بهینه اتخاذ گردید، به این نحو که اگر جواب بهینه الگوریتم در یک تکرار از تکرار قبلی الگوریتم بدتر شد، بدترین جواب تکرار فعلی با نقطه بهینه تکرار قبلی جایگزین می‌گردد و بدین نحو از بدتر شدن جواب جلوگیری خواهد شد.

۳-۶ استراتژی تنوع و تمرکز

استراتژی تنوع و تمرکز در این الگوریتم به این نحو می‌باشد که هرچه توجه به موقعیت قبلی بیشتر باشد تمرکز[1] بیشتری خواهیم داشت و هر چه توجه به موقعیت قبلی کمتر باشد تنوع[2] بیشتری را شاهد خواهیم بود.

۳-۷ شرایط توقف الگوریتم

شرایط متفاوتی را می‌توان برای توقف الگوریتم مانند مدت زمان اجرای مشخص، تعداد تکرار مشخص، عدم بهبود جواب در نظر گرفت.

۳-۸ شبه‌کد الگوریتم قشقایی

جدول۱ شبه‌کد[3] الگوریتم قشقایی را نمایش می‌دهد.

جدول ۲- شبه‌کد الگوریتم بهینه‌سازی قشقایی(QA)

Result: Find The best solution
Objective min or max $f(x), X = (x_1, x_2, \dots, x_d)^T$
Generate initial population, of n members of tribes(or nomads)
Find the best solution g_* in the population in each iteration
While(t<MaxIteration) or (stop criterion) do
For i=۱:n (all n members of each tribe's)
$m_1 \leftarrow$ Best solution(it)
$m_2 \leftarrow$ Worst solution(it)
Update Position
if pop(i) is best solution of each Iteration
then

$$x_i^{t+1} = C_1 * \frac{\mathbf{fitness}(pop(i)) - m_1}{m_2 - m_1} * x_i{}^t + C_2 * \frac{m_2 - fitness(pop(i))}{m_2 - m_1} * rand[varmin, varmax]$$

else

$$x_i^{t+1} = C_1 * \frac{m_2 - fitness(pop(i))}{m_2 - m_1} * x_i{}^t + C_2 * \frac{\mathbf{fitness}(pop(i)) - m_1}{m_2 - m_1} * rand[varmin, varmax]$$

end if
Evaluate new solutions
If new solutions are better, update them in the population
end for
Find the current best solution g_*
end while

تنظیم پارامترها

با توجه به اینکه خروجی الگوریتم های فرا ابتکاری تحت تاثیر پارامترهای ورودی آنها می باشد، به منظور تنظیم پارامترها از روش تاگوچی و نرم افزار Minitab استفاده

1 Centralization,Concenteration,Intensification
2 Diversification
3 Pseudo Code

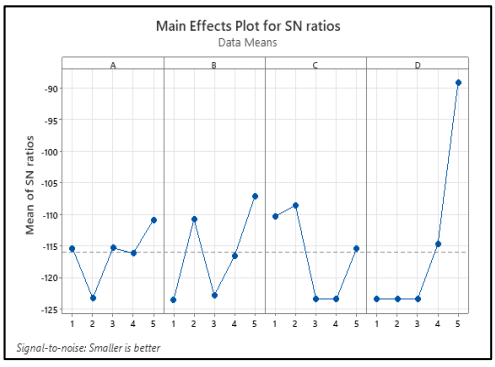
شده است. بر اساس جدول شماره ۳ در پنج سطح برای پارامترهای MaxIt، Npop ، C1 و C2 تنظیم پارامتر الگوریتم فرا ابتکاری عشایر قشقایی انجام شده است.

جدول ۳- تنظیم پارامترهای الگوریتم عشایر قشقایی

ردیف	پارامتر	سطح اول	سطح دوم	سطح سوم	سطح چهارم	سطح پنجم
1	MaxIt	50	100	150	200	250
2	Npop	50	100	150	200	250
3	C1	0.1	0.5	1	2	3
4	C2	0.1	0.5	1	2	3

شکل ۳ و ٤ تحلیل نتایج حاصل از اجرای تنظیم پارامترها روش تاگوچی با استفاده از نرم افزار Minitab را نمایش می دهد که با توجه به آن MaxIt=200 ، Npop=۲۵۰، C1= ۰.۵ و C2=۳ بهترین عملکرد را ارائه داده اند.

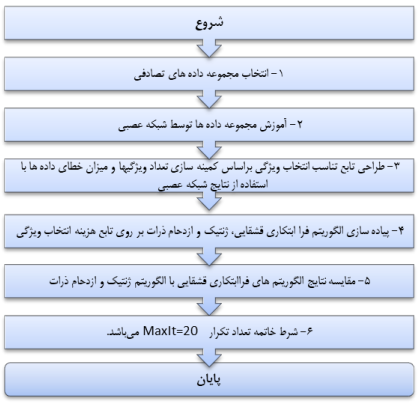
شکل ۲- نمودار میانگین میانگین ها برای هر سطح از پارامترهای الگوریتم عشایر قشقایی



شکل ۳- نمودار میانگین S/N برای هر سطح از پارامترهای الگوریتم عشایر قشقایی

ارائه الگوریتم ترکیبی انتخاب ویژگی و الگوریتم قشقایی(QA)

شکل ۵ گام های روش ارائه شده در این مقاله را نشان می دهد.



شکل ٤- مراحل طراحی و پیاده سازی الگوریتم پیشنهادی جهت حل مساله انتخاب ویژگی

نتایج محاسباتی

جهت انجام آزمایش ها از مجموعه داده تصادفی مطابق با مشخصات جدول٤ استفاده شد. این مجموعه داده ها از مجموعه داده نرم افزار متلب سایت (https://www.mathworks.com/) استفاده شده است.

جدول ٤- مشخصات مجموعه داده های مورد آزمون

مجموعه داده	تعداد ویژگی	تعداد نمونه
Body fat	۱۳	۲۵۲
House pricing	۱۳	۵۰٦
Abalone Rings	۸	٤۱۷۷
Building Energy	۱٤	٤۲۰۸
Chemical	۸	٤۹۸

برای ارزیابی الگوریتم پیشنهادی، الگوریتم ژنتیک و الگوریتم ازدحام ذرات بر روی مساله انتخاب ویژگی با مجموعه داده های مندرج در جدول ۲ پیاده سازی شده است.

الگوریتم قشقایی بر روی مساله انتخاب ویژگی پیاده سازی و با استفاده از مجموعه داده های جدول ۲، ۳۰ بار متوالی اجرا شد و نتایج حاصل با الگوریتم های فرا ابتکاری مشهور ژنتیک و ازدحام ذرات با توجه به فرضیات مندرج در جدول ۳ مورد مقایسه قرار گرفت.

جدول ۵- آزمون فرضیات انجام شده

آزمون فرضیات حل مساله انتخاب ویژگی با الگوریتم فرا ابتکاری قشقایی(تابع محک)	H_0 : الگوریتم ژنتیک بر الگوریتم پیشنهادی(عشایر قشقایی) غلبه می‌کند.	$H_0: \mu > \mu_0$
	H_1 : الگوریتم ژنتیک بر الگوریتم پیشنهادی(عشایر قشقایی) غلبه نمی‌کند.	$H_1: \mu \leq \mu_0$
	H_0 : الگوریتم ازدحام ذرات بر الگوریتم پیشنهادی(عشایر قشقایی) غلبه می‌کند.	$H_0: \mu > \mu_0$
	H_1 : الگوریتم ازدحام ذرات بر الگوریتم پیشنهادی(عشایر قشقایی) غلبه نمی‌کند.	$H_1: \mu \leq \mu_0$
آزمون فرضیات حل مساله انتخاب ویژگی با الگوریتم فرا ابتکاری قشقایی	H_0 : الگوریتم ژنتیک بر الگوریتم قشقایی در حل مساله انتخاب ویژگی غلبه می‌کند.	$H_0: \mu > \mu_0$
	H_1 : الگوریتم ژنتیک بر الگوریتم قشقایی در حل مساله انتخاب ویژگی غلبه نمی‌کند.	$H_1: \mu \leq \mu_0$
	H_0 : الگوریتم ازدحام ذرات بر الگوریتم قشقایی در حل مساله انتخاب ویژگی غلبه می‌کند.	$H_0: \mu > \mu_0$
	H_1 : الگوریتم ازدحام ذرات بر الگوریتم قشقایی در حل مساله انتخاب ویژگی غلبه نمی‌کند.	$H_1: \mu \leq \mu_0$

به دلیل اینکه مقایسات دو نمونه مستقل می‌باشد از آزمون من ویتنی[1] استفاده شد. الگوریتم‌های ژنتیک و ازدحام ذرات جهت مقایسه نتایج تابع هزینه الگوریتم پیشنهادی مورداستفاده قرار گرفت. برای انجام محاسبات از یک رایانه با مشخصات جدول ٤ مورد استفاده قرارگرفت.

جدول ٦- مشخصات رایانه مورد استفاده جهت مقایسه نتایج

System

Processor:	Intel(R) Core(TM) i5-2450M CPU @ 2.50GHz 2.50 GHz
Installed memory (RAM):	6.00 GB (5.85 GB usable)
System type:	64-bit Operating System, x64-based processor
Pen and Touch:	No Pen or Touch Input is available for this Display

در جدول ۷و۸ نتایج اجرای الگوریتم قشقایی در مقایسه با الگوریتم ژنتیک و ازدحام ذرات نمایش داده شده است.

جدول ۷- مقایسه میانگین نتایج حاصل از ۳۰ بار اجرای الگوریتم قشقایی و الگوریتم ژنتیک بر روی توابع آزمون(تابع هزینه)

ردیف	توابع آزمون	میانگین تابع هزینه		P-Value	حد پذیرش خطا	نتیجه آزمون فرض H_0
		QA	GA			
۱	Sphere	2.01E-290	1.90E-02	۰	α=0.05	رد می‌شود H_0
۲	Rastrigin	۰	1.94E+00	0	α=0.05	رد می‌شود H_0
۳	Rosenbrock	3.98E+00	7.13E+00	0.008	α=0.05	رد می‌شود H_0
٤	Griewank	0	4.53E-02	0	α=0.05	رد می‌شود H_0
٥	Ackley	8.88E-16	2.58E-01	0	α=0.05	رد می‌شود H_0
٦	EggHolder	۰۲E+۸.۲٤-	-7.38E+02	0.156	α=0.05	رد نمی‌شود H_0
۷	Michalewicz	1.51E+00-	1.75E+00-	0	α=0.05	رد می‌شود H_0
۸	Six-Hump Camel	4.77E-01	7.57E-03	0	α=0.05	رد می‌شود H_0
۹	Levy	۰۱E-۳.۸۹	1.07E-01	0	α=0.05	رد می‌شود H_0
۱۰	Rotated Hyper-Ellipsoid	4.65E-55	1.44E+00	0	α=0.05	رد می‌شود H_0
۱۱	Shubert	-1.37 E+02	-1.79E+02	0	α=0.05	رد می‌شود H_0

جدول ۸ – مقایسه میانگین نتایج حاصل از ۳۰ بار اجرای الگوریتم قشقایی و الگوریتم ژنتیک بر روی توابع آزمون(زمان محاسباتی)

ردیف	توابع آزمون	میانگین زمان محاسباتی		P-Value	حد پذیرش خطا	نتیجه آزمون فرض H_0
		QA	GA			
1	Sphere	2.87E-01	1.86E+00	۰	α=0.05	رد می‌شود H_0
2	Rastrigin	2.74E-01	1.83E+00	0	α=0.05	رد می‌شود H_0

[1] Mann-WhitneyTest

ردیف	توابع آزمون	میانگین زمان محاسباتی		P-Value	حد پذیرش خطا	نتیجه آزمون فرض H_0
		QA	GA			
3	Rosenbrock	2.76E-01	1.68E+00	0	α=0.05	رد می‌شود H_0
4	Griewank	2.77E-01	1.70E+00	0	α=0.05	رد می‌شود H_0
5	Ackley	2.80E-01	1.72E+00	0	α=0.05	رد می‌شود H_0
6	EggHolder	2.70E-01	2.50E+00	0	α=0.05	رد می‌شود H_0
7	Michalewicz	2.33E-01	1.78E+00	0	α=0.05	رد می‌شود H_0
8	Six-Hump Camel	2.89E-01	1.62E+00	0	α=0.05	رد می‌شود H_0
9	Levy	3.37E-01	1.57E+00	0	α=0.05	رد می‌شود H_0
10	Rotated Hyper-Ellipsoid	2.86E-01	1.60E+00	0	α=0.05	رد می‌شود H_0
11	Shubert	2.48E-01	1.58E+00	0	α=0.05	رد می‌شود H_0

خلاصه نتایج حاصل از جدول ۷ و ۸ در جدول ۹ آورده شده است:

جدول ۹- جمع بندی مقایسه نتایج حاصل از اجرای الگوریتم قشقایی و الگوریتم ژنتیک بر روی ۱۱ تابع آزمون

نتیجه آزمون فرض H_0		تابع هزینه		زمان محاسباتی	
		H_0 رد می شود	H_0 رد نمی شود	H_0 رد می شود	H_0 رد نمی شود
آزمون فرض غلبه الگوریتم ژنتیک بر الگوریتم قشقایی(QA)	تعداد	10	1	11	0

به این ترتیب می‌توان نتیجه گیری کرد که الگوریتم ژنتیک بر الگوریتم قشقایی نسبت به الگوریتم ژنتیک هم از لحاظ همگرایی به راه حل بهینه و هم به لحاظ زمان محاسباتی غلبه نمی‌کند. به این ترتیب می‌توان نتیجه گیری کرد که الگوریتم ژنتیک بر الگوریتم قشقایی نسبت به الگوریتم ژنتیک هم از لحاظ همگرایی به راه حل بهینه و هم به لحاظ زمان محاسباتی غلبه نمی‌کند.

جدول۱۰- مقایسه میانگین نتایج حاصل از ۳۰ بار اجرای الگوریتم قشقایی و الگوریتم ازدحام ذرات بر روی توابع آزمون(تابع هزینه)

ردیف	توابع	میانگین تابع هزینه		Sig	حد پذیرش خطا	نتیجه آزمون فرض H_0
		QA	PSO			
1	Sphere	2.01E-290	2.34E-07	0	α=0.05	ردمی‌شود H_0
2	Rastrigin	۰	4.41E+00	0	α=0.05	ردمی‌شود H_0
3	Rosenbrock	3.98E+00	2.00E+00	0	α=0.05	ردمی‌شود H_0
4	Griewank	0	2.27E-02	0	α=0.05	ردمی‌شود H_0
5	Ackley	8.88E-16	5.71E-02	0	α=0.05	ردمی‌شود H_0
6	EggHolder	-۰۲E+۸.۲٤	-5.56E+02	0	α=0.05	ردمی‌شود H_0
7	Michalewicz	-1.51E+00	-1.80E+00	0	α=0.05	ردمی‌شود H_0
8	Six-Hump Camel	4.77E-01	4.69E-08	0	α=0.05	ردمی‌شود H_0
9	Levy	۰۱E-۳.۸۹	1.88E-01	0	α=0.05	ردمی‌شود H_0
10	Rotated Hyper-Ellipsoid	4.65E-55	2.68E-06	0	α=0.05	ردمی‌شود H_0
11	Shubert	-1.37E+02	-1.87E+02	0	α=0.05	ردمی‌شود H_0

لازم به توضیح است که nPop=10 و MaxIt=۱۰۰ و nVar=۵ درنظر گرفته شده است.

جدول ۱۱- مقایسه میانگین نتایج حاصل از ۳۰ بار اجرای الگوریتم قشقایی و الگوریتم ازدحام ذرات بر روی توابع آزمون(زمان محاسباتی)

ردیف	توابع	میانگین زمان محاسباتی		Sig	حد پذیرش خطا	نتیجه آزمون فرض H_0
		QA	PSO			
1	Sphere	2.87E-01	2.56E-01	۰	α=0.05	H_0ردمی‌شود
2	Rastrigin	2.74E-01	2.99E-01	0.081	α=0.05	H_0 رد نمی‌شود
3	Rosenbrock	2.76E-01	2.57E-01	0	α=0.05	H_0ردمی‌شود
4	Griewank	2.77E-01	2.53E-01	0	α=0.05	H_0ردمی‌شود
5	Ackley	2.80E-01	2.51E-01	0	α=0.05	H_0ردمی‌شود
6	EggHolder	2.70E-01	2.46E-01	0	α=0.05	H_0ردمی‌شود
7	Michalewicz	2.33E-01	2.51E-01	0	α=0.05	H_0ردمی‌شود
8	Six-Hump Camel	2.89E-01	2.41E-01	0	α=0.05	H_0ردمی‌شود
9	Levy	3.37E-01	2.54E-01	0	α=0.05	H_0ردمی‌شود
10	Rotated Hyper-Ellipsoid	2.86E-01	2.48E-01	0	α=0.05	H_0ردمی‌شود
11	Shubert	2.48E-01	2.28E-02	0.69	α=0.05	H_0 رد نمی‌شود

خلاصه نتایج حاصل از جداول ۱۰ و ۱۱ ، در جدول ۱۲ نمایش داده شده است.

جدول ۱۲- مقایسه نتایج حاصل از اجرای الگوریتم قشقایی و الگوریتم ازدحام ذرات بر روی ۱۱ تابع آزمون

نتیجه آزمون فرض H_0		تابع هزینه		زمان محاسباتی	
		H_0 رد می شود	H_0 رد نمی شود	H_0 رد می شود	H_0 رد نمی شود
آزمون فرض غلبه الگوریتم ازدحام ذرات بر الگوریتم قشقایی(QA)	تعداد	11	۰	۹	۲

بر اساس اطلاعات جدول ۱۲ می‌توان نتیجه گیری کرد که الگوریتم ازدحام ذرات بر الگوریتم قشقایی هم از لحاظ همگرایی به راه حل بهینه و هم به لحاظ زمان محاسباتی برتری ندارد.

جدول ۱۳ میانگین نتایج حاصل از ۳۰ بار اجرای الگوریتم ژنتیک و الگوریتم قشقایی بر روی مساله انتخاب ویژگی را نمایش می‌دهد.

جدول ۱۳- مقایسه میانگین نتایج حاصل از ۳۰ بار اجرای الگوریتم قشقایی و الگوریتم ژنتیک بر روی مساله انتخاب ویژگی

ردیف	مجموعه داده	میانگین تابع تناسب		P-Value	حد پذیرش خطا	نتیجه آزمون فرض
		QA	GA			
1	dataset Body fat	2.08E+01	1.96E+01	۰	α=0.05	H_0 رد می‌شود
2	dataset House pricing	1.04E+01	1.05E+01	۰	α=0.05	H_0 رد می‌شود
3	dataset Abalone Rings	5.40E+00	5.59E+00	۰	α=0.05	H_0 رد می‌شود
4	Building Energy dataset	3.27E-03	3.39E-03	0	α=0.05	H_0 رد می‌شود
5	dataset Chemical	3.37E+00	4.35E+00	۰	α=0.05	H_0 رد می‌شود

جدول14 میانگین نتایج حاصل از ۳۰ بار اجرای الگوریتم قشقایی و الگوریتم ازدحام ذرات بر روی مساله انتخاب ویژگی را نمایش می دهد.

جدول 14- مقایسه میانگین نتایج حاصل از ۳۰ بار اجرای الگوریتم قشقایی و الگوریتم ازدحام ذرات بر روی مساله انتخاب ویژگی

ردیف	مجموعه داده	میانگین تابع تناسب		P-Value	حد پذیرش خطا	نتیجه آزمون فرض
		QA	PSO			
1	dataset Body fat	2.08E+01	2.06E+01	۰	α=0.05	رد می‌شود H_0
2	dataset House pricing	1.04E+01	1.02E+01	۰	α=0.05	رد می‌شود H_0
3	dataset Abalone Rings	5.40E+00	5.37E+00	۰	α=0.05	رد می‌شود H_0
4	Building Energy dataset	3.27E-03	3.15E-03	۰	α=0.05	رد می‌شود H_0
5	dataset Chemical	3.37E+00	3.29E+00	۰	α=0.05	رد می‌شود H_0

به این ترتیب با توجه به نتایج جداول13 و 14 می‌توان نتیجه گیری کرد که الگوریتم‌های ژنتیک و ازدحام ذرات در زمینه حل مساله انتخاب ویژگی از لحاظ همگرایی به راه حل بهینه ارائه شده توسط الگوریتم قشقایی غلبه نمی‌کنند.

جمع بندی و نتیجه گیری

انتخاب ویژگی یکی از روشهای پرکاربرد در مبحث یادگیری ماشینی است که در حل مسائل مختلف علمی از قبیل پزشکی، زیست‌شناسی، تشخیص بیماری، بخش بندی بازار، انتخاب تامین کنندگان، پردازش تصویر و هوش مصنوعی مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. در این مقاله یک الگوریتم فرا ابتکاری جدید جهت حل مساله انتخاب ویژگی به نام الگوریتم قشقایی ارائه گردید. الگوریتم قشقایی با الهام از نحوه کوچ عشایر طراحی شده است. در این الگوریتم ترکیبی تابع تناسبی مبتنی بر الگوریتم انتخاب ویژگی و براساس کمینه‌سازی تعداد ویژگی‌ها و میزان خطای داده‌ها با استفاده از نتایج شبکه عصبی طراحی شد. سپس الگوریتم فرا ابتکاری قشقایی بر روی این تابع تناسب پیاده سازی شد و نتایج با الگوریتم های فرا ابتکاری مشهور ژنتیک و ازدحام ذرات مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج آزمون فرض نشان داد که الگوریتم بهینه سازی قشقایی جهت حل مساله انتخاب ویژگی توسط الگوریتم ژنتیک و ازدحام ذرات مغلوب نمی‌گردد و به لحاظ همگرایی به جواب بهینه به خوبی آنها عمل می‌کند. جهت پژوهش های آتی توصیه می گردد الگوریتم ارائه شده جهت حل سایر مسائل از جمله خوشه بندی نیز مورد استفاده قرار گیرد.

منابع:

۱.Kabir, M.M., M. Shahjahan, and K. Murase, A new hybrid ant colony optimization algorithm for feature selection. Expert Systems with Applications, ۲۰۱۲. ۳۹(۳): p. ۳۷٤۷-۳۷٦۳

۲.Dash, M. and H. Liu, Feature selection for classification. Intelligent data analysis, ۱۹۹۷. ۱(۳): p. ۱۳۱-۱٥٦.

۳.Tsai, C.-F., Feature selection in bankruptcy prediction. Knowledge-Based Systems, ۲۰۰۹. ۲۲(۲): p. ۱۲۰-۱۲۷.

٤.Dasgupta, A., et al. Feature selection methods for text classification. in Proceedings of the ۱۳th ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining. ۲۰۰۷.

٥.Roth, V. and T. Lange. Feature selection in clustering problems. in Advances in neural information processing systems. ۲۰۰٤.

٦.Huang, K. and S. Aviyente, Wavelet feature selection for image classification. IEEE Transactions on Image Processing, ۲۰۰۸. ۱۷(۹): p. ۱۷۰۹-۱۷۲۰.

۷.Rong, J., G. Li, and Y.-P.P. Chen, Acoustic feature selection for automatic emotion recognition from speech. Information processing & management, ۲۰۰۹. :(۳)٤٥p. ۳۱٥-۳۲۸.

۸.Llamedo, M. and J.P. Martínez, Heartbeat classification using feature selection driven by database generalization criteria. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, ۲۰۱۱. ٥۸(۳): p. ٦۱٦-٦۲٥.

۹.Lavanya, D. and D.K.U. Rani, Analysis of feature selection with classification: Breast cancer datasets. Indian Journal of Computer Science and Engineering (IJCSE), ۲۰۱۱. ۲(٥): p. ۷٥٦-۷٦۳.

۱۰.Jensen, C.A., M.A. El-Sharkawi, and R.J. Marks, Power system security assessment using neural networks: feature selection using Fisher

discrimination. IEEE Transactions on power systems, ۲۰۰۱. ۱۶(٤): p. ۷۵۷-۷۶۳.

۱۱.Kittler, J., Mathematical methods of feature selection in pattern recognition. International Journal of Man-Machine Studies, ۱۹۷۵. ۷(۵): p. ٦۰۹-٦۳۸.

۱۲.Huang, C.-L. and C.-Y. Tsai, A hybrid SOFM-SVR with a filter-based feature selection for stock market forecasting. Expert Systems with Applications, ۲۰۰۹. ۳٦(۲): p. ۱۵۲۹-۱۵۳۹.

۱۳.Meiri, R. and J. Zahavi, Using simulated annealing to optimize the feature selection problem in marketing applications. European Journal of Operational Research, ۲۰۰٦. ۱۷۱(۳): p. ۸٤۲-۸۵۸.

۱٤.Mladenić, D. Feature selection for dimensionality reduction. in International Statistical and Optimization Perspectives Workshop "Subspace, Latent Structure and Feature Selection". ۲۰۰۵. Springer.

۱۵.Feizollah, A., et al., A review on feature selection in mobile malware detection. Digital investigation, ۲۰۱۵. ۱۳: p. ۲۲-۳۷.

۱٦.Kanan, H.R., K. Faez, and M. Hosseinzadeh. Face recognition system using ant colony optimization-based selected features. in ۲۰۰۷IEEE Symposium on Computational Intelligence in Security and Defense Applications. ۲۰۰۷. IEEE.

۱۷.Hsu, H.-H., C.-W. Hsieh, and M.-D. Lu, Hybrid feature selection by combining filters and wrappers. Expert Systems with Applications, ۲۰۱۱. ۳۸(۷): p. ۸۱٤٤-۸۱۵۰.

۱۸.Kashef, S., & Nezamabadi-pour, H. (۲۰۱۵). An advanced ACO algorithm for feature subset selection. Neurocomputing, ۱٤۷, ۲۷۱-۲۷۹.

۱۹.Yang, J. and V. Honavar, Feature subset selection using a genetic algorithm, in Feature extraction, construction and selection. ۱۹۹۸, Springer. p. ۱۱۷-۱۳٦.

۲۰.Zhang, H. and G. Sun, Feature selection using tabu search method. Pattern recognition, ۲۰۰۲. ۳۵(۳): p. ۷۰۱-۷۱۱.

۲۱.Khushaba, R.N., A. Al-Ani, and A. Al-Jumaily. Differential evolution based feature subset selection. in ۱۹ ۲۰۰۸th International Conference on Pattern Recognition. ۲۰۰۸. IEEE.

۲۲.Diao, R. and Q. Shen, Feature selection with harmony search. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics), ۲۰۱۲. ٤۲(٦):p. ۱۵۰۹-۱۵۲۳.

۲۳.Banati, H. and M. Bajaj, Fire fly based feature selection approach. International Journal of Computer Science Issues (IJCSI), ۲۰۱۱. ۸(٤): p. ٤۷۳.

۲٤.Nakamura, R.Y., et al. BBA: a binary bat algorithm for feature selection. in ۲۵ ۲۰۱۲th SIBGRAPI conference on graphics, Patterns and Images. ۲۰۱۲. IEEE.

۲۵.Sahu, B. and D. Mishra, A novel feature selection algorithm using particle swarm optimization for cancer microarray data. Procedia Engineering, ۲۰۱۲. ۳۸: p. ۲۷-۳۱.

۲٦.Schiezaro ,M. and H. Pedrini, Data feature selection based on Artificial Bee Colony algorithm. EURASIP Journal on Image and Video Processing, ۲۰۱۳. ۲۰۱۳(۱): p. ٤۷.

۲۷.Rodrigues, D., et al. BCS: A binary cuckoo search algorithm for feature selection. in ۲۰۱۳IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS). ۲۰۱۳. IEEE.

۲۸.Mousavirad, S. and H. Ebrahimpour-Komleh. Feature selection using modified imperialist competitive algorithm. in ICCKE ۲۰۱۳. ۲۰۱۳. IEEE.

۲۹.Rodrigues, D., et al., A wrapper approach for feature selection based on bat algorithm and optimum-path forest. Expert Systems with Applications, ۲۰۱٤. ٤۱(۵): p. ۲۲۵۰-۲۲۵۸.

۳۰.Rashedi, E. and H. Nezamabadi-pour, Feature subset selection using improved binary gravitational search algorithm. Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, ۲۰۱٤. ۲٦(۳): p. ۱۲۱۱-۱۲۲۱.

۳۱.Kashef, S. and H. Nezamabadi-pour, An advanced ACO algorithm for feature subset selection. Neurocomputing, ۲۰۱۵. ۱٤۷: p. ۲۷۱-۲۷۹.

۳۲.Emary, E., et al. Feature subset selection approach by gray-wolf optimization. in Afro-European conference for industrial advancement. ۲۰۱۵. Springer.

۳۳.Ghaemi, M. and M.-R. Feizi-Derakhshi, Feature selection using forest optimization algorithm. Pattern Recognition, ۲۰۱٦. ٦۰: p. ۱۲۱-۱۲۹.

۳٤.Mafarja, M. and S. Mirjalili, Whale optimization approaches for wrapper feature selection. Applied Soft Computing, ۲۰۱۸. ٦۲: p. ٤٤١-٤٥۳

۳٥.Abualigah, L.M.Q., Feature selection and enhanced krill herd algorithm for text document clustering. ۲۰۱۹: Springer.

۳٦.Yang, X-.S., Engineering optimization: an introduction with metaheuristic applications. ۲۰۱۰: John Wiley & Sons.

37. Khadem, M., Toloie Eshlaghy, A., & Fathi Hafshejani, K. (2021). Nature-inspired metaheuristic algorithms: literature review and presenting a novel classification. Journal of Applied Research on Industrial Engineering. https://doi.org/10.22105/jarie.2021.287733.1330