

## بهبود منحنی‌های شدت - مدت - فراوانی همگام با الگوریتم‌های رایانه‌ای ژنتیک و توده‌ریزه‌ها در حوزه آبخیز دریاچه ارومیه

عماد فهیم<sup>۱</sup>، رضا قضاوی<sup>۲\*</sup>، هدی قاسمیه<sup>۳</sup>، ابراهیم امیدوار<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۹/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۳۰

### چکیده

نوترین داده‌های منحنی‌های شدت - زمان - فراوانی در ایران از ۶۶ ایستگاه سازمان هواشناسی به دست آمده است که در سال ۱۳۷۴ نگاشته شده است و آگاه به اینکه برای به دست آوردن فیزیکی این داده‌ها به بهره‌بری از باران‌سنج‌ها نیاز داریم، نمی‌توان دورافتاده‌ترین پهنه‌ها را با این ابزار نگریست و گاهی با همین ابزارها هم دچار نادرستی‌های فراوان خواهیم بود. بدین روی برای کاهش این نادرستی‌ها از ساختارهای شدت - زمان - فراوانی سود می‌جوییم. تاکنون ساختارهای بسیاری برای به دست آوردن داده‌های مورد نیاز نمودارهای شدت - زمان - فراوانی بیان شده است که نمی‌توان آن را در همه پهنه‌ها به کار برد، مگر آنکه نرخهای پهنه‌ای آن‌ها ارزیابی شده باشد. در این پژوهش، نرخ‌های این ساختارها همگام با الگوریتم‌های رایانه‌ای در پهنه آبخیز دریاچه ارومیه بررسی و بهینه‌سازی شد. آنگاه بهره‌وری دو الگوریتم رایانه‌ای توده‌ریزه‌ها و زادشناسی با یکدیگر سنجش شده و سرانجام با الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه، کارایی دگرگونی‌های اقلیمی بر نمودارهای شدت - زمان - فراوانی در این سرزمین بررسی شد. براینکه این پژوهش نشان داد که نرخ‌های ساختار آبخضر در همه ایستگاه‌های پهنه دریاچه ارومیه، مگر کمپ مهاباد با نزدیکی خوبی درست است. می‌شود گفت میانگین نرخ‌های پهنه‌ای بهینه‌سازی‌شده با نرخهای به‌دست‌آمده برآزش ۱۰۰ درصدی دارند.

**کلیدواژه‌ها:** بهینه‌سازی، ایستگاه‌های هواشناسی، ساختار، الگوهای بارشی، نرخ‌های پهنه‌ای.

۱. دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران.
  ۲. استاد، گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران، Ghazavi@kashanu.ac.ir
  ۳. دانشیار، گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران.
  ۴. دانشیار، گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران.
- \* این مقاله برگرفته از رساله دکتری دانشگاه کاشان است.

## مقدمه

می‌دانیم کشور ایران در کمربند خشک و نیمه‌خشک جهان است (متکان و همکاران، ۲۰۱۱). بارندگی سالانه در برابر میانگین جهانی پایین بوده و دشواری‌های آبی در بخش بزرگی از کشور یک نگرانی است. افزایش روزافزون شمار مردمی و بالا رفتن رده بهداشت مردمی و سرانه کارکرد آب، گسترش چشمگیر بخش‌های گوناگون کشاورزی و کارگاهی و همچنین کارکردهای نابخردانه و کاهش سرچشمه‌های آبی در دسترس، دشواری‌های آبی را در کشور ایران فراوان ساخته است (متکان و همکاران، ۲۰۱۱). بدین روی یک پایش همه‌جانبه بارش و رواناب و ارزیابی سیلاب نیازی سزاوار است.

منحنی‌های شدت، زمان، فراوانی ابزار سودمندی است برای پایش بارندگی و دانستن بسیاری از داده‌های پیش‌بینی شده سازه‌ای که می‌تواند راهکاری آسوده در برآورد برایندها باشد (یابین<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۹).

برآورد اندازه، چینش و فراوانی سازه‌های هیدرولیکی نیازمند داشتن داده‌های پی‌درپی ایستگاه‌های باران‌سنجی است که از روی آن می‌توان سیلاب بیشترین<sup>۲</sup> را به دست آورد (هانگشیانگ<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۲۰). چنانچه خواندن داده‌های بارش در پهنه‌های دور از دسترس باشد، می‌توان برای آن پهنه‌ها و پهنه‌های کناری دارای آمار، میانگینی به دست آورد ولی داشتن منحنی‌های IDF<sup>۴</sup> که از روی داده‌های باران‌سنجی ایستگاه‌های گوناگون بیرون کشیده می‌شود، گامی بلند در پیش‌بینی شدت بارش در پهنه‌های گوناگون است.

چنان‌که می‌دانیم به دست آوردن منحنی IDF در پهنه‌های بدون آمار با میان‌یابی داده‌ای می‌تواند در بسیاری زمان‌ها دارای نادرستی باشد؛ بنابراین کاربرد ساختارهای منحنی IDF پیشنهاد می‌شود (دپوآلا<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۱۴).

پهنه‌هایی را که دارای داده‌های بارشی ساعتی نگاشته شده

نیستند، می‌شود از ویژگی‌های مقیاس زمانی بارش برآورد کرد و از روی داده‌های روزانه بارش، منحنی‌های IDF را برای زمان‌های کوتاه ساخت.

هرچند که می‌شود گفت به دست آوردن ساختارهای IDF نیز در پهنه‌های دورافتاده کاری دشوار است، چراکه باید نرخ‌های ساختارهای آنجا را داشته باشیم. البته الگوریتم‌های رایانه‌ای گام بزرگی برای بهینه‌سازی نرخ‌های این ساختارهاست که در این پژوهش کوشش بر این شده که در پهنه آبخیز دریاچه ارومیه این ضرایب را بهینه سازیم.

میل‌هات<sup>۶</sup> و همکاران (۲۰۰۷) با ارزیابی دگرگونی‌های زمانی منحنی IDF و پردازش همبستگی فضایی سری‌های شبیه‌سازی شده برای جنوب کوکب<sup>۷</sup> با به کار بردن از الگوی آب‌وهوایی کانادایی (CRCM)<sup>۸</sup> نشان دادند برای یک زمان ویژه، پیوستگی‌های فضایی در آب‌وهوای آینده کاهش می‌یابد و برایندها نشان‌دهنده بارش‌های تند سالانه است که می‌تواند از آمیختگی بیشتر سامانه‌های آب‌وهوایی پیدا شود.

تایسون<sup>۹</sup> و همکاران (۲۰۰۸) در پژوهشی به نام بهبود ریزینی<sup>۱۰</sup> منحنی IDF با جداسازی زمان بلند و کوتاه همراه با الگوریتم زادشناسی چندکاره<sup>۱۱</sup> (MOGA) و تابع توزیع تجمعی<sup>۱۲</sup> (CDF) برای بهبود ریزینی منحنی IDF سود بردند. واکاوی این منحنی‌ها با استفاده از خطای میانگین مربعی مساوی انجام شد و برای جداسازی زمان از شیوه‌ای به نام COMBI<sup>۱۳</sup> به کار گرفته شد که برایندها نشان داد این شیوه در سنجش با دیگر شیوه‌ها برآزش بهتری را دارد.

۶. فرمول

۷. ضرب

۸ Mailhot

۹ KwbeK

۱۰ Canadian Regional Climate Model

۱۱ Taesoon

۱۲. دقت

۱۳ Multi-objective genetic algorithm

۱۴. تابع توزیع تجمعی Cumulative Distribution Function

۱۵. شگرد جداسازی زمان

۱ Yabin

۲ Hongxiang

۴ Intensity-Duration-Frequency

۵ De Paola

۲. سیلاب طرح

را در ۸۰ مکان ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که توزیع مقدار شدید تعمیم‌یافته بهترین تناسب را با شدت بارندگی برای زمان‌های مختلف در ۶۲٪ از ایستگاه‌ها داشت.

قهرمان و آبخضر (۲۰۰۴) برای ویرایش ساختارهای IDF بارندگی در ایران به بررسی پرداختند. برایندهای به‌دست‌آمده دگرگونی‌های بیشتری را نسبت به پژوهش‌های پیشین در ایران نشان داد که می‌تواند وابسته به دگرگونی پارامترهای تابع‌های توزیع احتمال سری زمانی شدت‌های بارندگی به سبب افزایش درازای دوره آماری باشد. همچنین ساختارهایی برای برآورد شمارشی باران ساعتی ده‌ساله برای ایران از روی پارامترهایی چون میانگین باران سالانه و میانگین بیشترین بارش روزانه نمایان کردند. نشان داده شد که در هنگام گزینش گستره شایسته‌ای برای ایستگاه، ریزینی ساختار سزاوار خواهد بود. همچنین نشان داده شد که ساختارهای پیشین برای برآورد باران ساعتی ده‌ساله در ایران دیگر کارایی ندارد.

آقاجانی و کرمی (۲۰۱۵) برای بیرون آوردن منحنی‌های IDF از داده‌های روزانه، بارش رگبارهای بومی را همراه آمار بیشترین بارش روزانه در بازه سال‌های ۱۹۵۱-۲۰۱۰ در ایستگاه هواشناسی مشهد که با دو روش بل و قهرمان انجام گرفته، بررسی کردند و سپس نرخ‌های ساختار رگبار را بر اساس دوام و دوره بازگشت در ساختارهای گوناگون مانند شرم، برهانو و... به دست آوردند، برایندها نشان می‌دهد که شیوه شرم بازده نزدیک‌تری با پهنه دلخواه دارد.

صفوی و همکاران (۲۰۱۹) در پژوهشی با استفاده از تئوری فراکتال که بر پایه شیوه‌ای سامان‌یافته در بی‌سامان‌یست، دگرگونی‌های منحنی IDF را در ایستگاه سینوپتیک اصفهان بررسی کردند؛ برایندها این‌گونه بود که در دوره کنونی و پیش‌بینی‌شده چون افزایش پدیده دگرگونی اقلیم و زیست‌بومی را داریم، هرچند میانگین بارش‌ها کاهش یافته، منحنی‌های IDF به‌سوی بالا جابه‌جا شده‌اند که این افزایش از داده‌های کهن به بیش از ۵۲٪ نیز می‌رسد.

### مواد و روش‌ها

پهنه آبخیز دریاچه ارومیه در شمال باختر (شمال غرب) ایران است و با بخش شمال کوه‌های زاگرس و دامنه‌های جنوب

دیمار و ویور<sup>۱</sup> (۲۰۱۳) منحنی‌های IDF را برای بارش با داده‌های بیشترین سالانه در سه ایستگاه بارندگی در رواندا آفریقای مرکزی بازسازی کرده‌اند که چنین داده‌هایی تا به آن زمان در آن کشور نبوده است. برایندها نشان داد در پهنه‌های این ایستگاه‌ها چون بارندگی شدت و بلندی منحنی IDF بالایی دارد، هراس زمین‌لغزش همواره بوده است.

محمد سیفول‌و همکاران (۲۰۲۰)، در پژوهشی به نام شناسایی روند بارندگی و گسترش منحنی IDF برای استان کلانتان مالزی با به کار بردن الگوی CCSM3<sup>۲</sup> در ۱۶ ایستگاه استان کلانتان بر اساس ویژگی‌های بارش و با به کار بردن راهکار کوانتیل<sup>۳</sup> دیدند که فقط چهار ایستگاه آن بیشترین اندازه بارندگی سالانه نشان را می‌دهد و بهترین کارکرد جابه‌جایی برای درست کردن ناهماهنگی داده‌های CCSM3<sup>۲</sup>، چندجمله‌ای درجه دوم است.

سعادلوجندی<sup>۴</sup> (۲۰۲۰) با استفاده از داده‌های بارندگی از دو باران‌سنج ثبت‌شده در پهنه آبریز نمان در غرب عربستان سعودی و با استفاده از داده‌های بارندگی ۱۳ ساله مقادیر سری بارش حداکثر سالانه استخراج‌شده را برای محاسبات منحنی IDF استفاده کرد. باران‌سنج که مجهز به سیفون بوده منحنی‌های IDF را با شدت بارندگی بیشتری تولید می‌کند. پژوهش نشان می‌دهد که مقدار عددی باران‌سنج در زیرپهنه می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر منحنی‌های IDF و ویژگی‌های سیل طراحی داشته باشد.

محمدنور<sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۲۱) با تکیه بر پردازش‌های سنجش از دور و بهترین برازش توابع توزیع احتمال، مجموع بارندگی برای زمان‌های مختلف برای تولید منحنی‌های IDF را به دست آورده و دقت منحنی‌های IDF شبکه‌بندی‌شده با مقایسه منحنی‌های IDF مشاهده‌شده در مقابل تخمین زده‌شده

<sup>۱</sup>Demaree and Vyver

<sup>۲</sup>Muhammad Saiful

<sup>۳</sup>Kelantan

<sup>۴</sup>Community Climate System Model

<sup>۵</sup>Quantile

<sup>۶</sup>AbdullahSaad Al-Wagdany

<sup>۷</sup>MuhammadNoor

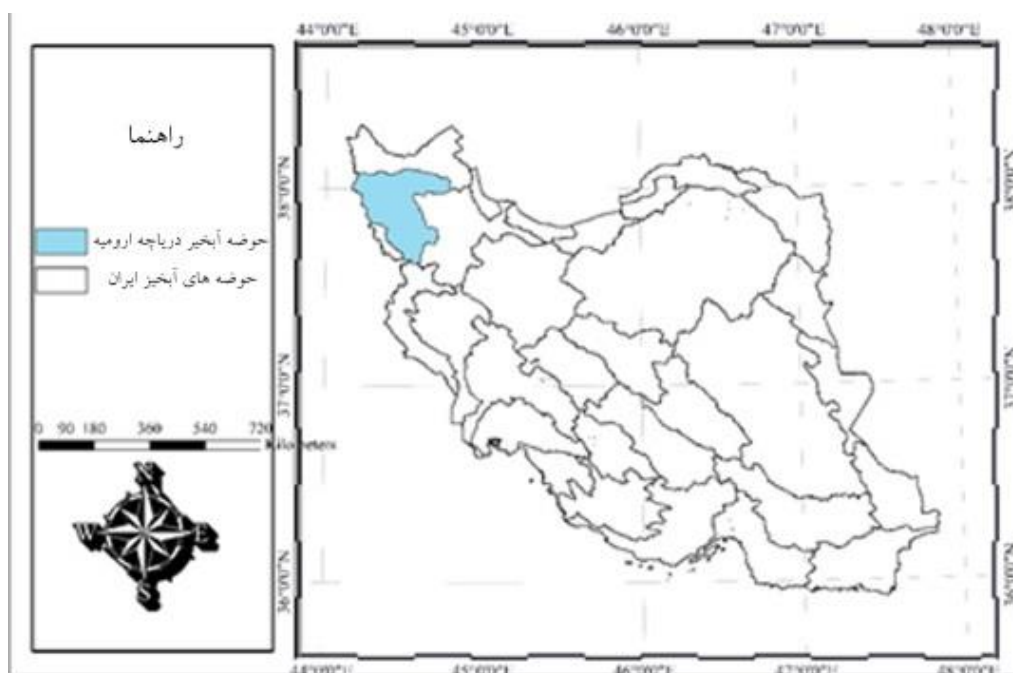
کوه سبلان، و نیز دامنه‌های شمالی، باختری و جنوبی کوه سهند در میان شده است (برجی، ۲۰۱۵). این پهنه که همه رودخانه‌های در آن به‌سوی دریاچه ارومیه روان است، در بخش‌بندی‌های سازمان پژوهش‌های سرچشمه منابع آب<sup>۱</sup> بخش آزادی از پهنه آبریز میانی بوده و یکی از ۳۰ پهنه با کد دوشماره‌ای است.

این سرزمین با دارا بودن ۱۵/۳٪ از پهنه کشور، ۷٪ از همه سرچشمه‌های آب کشور را داراست.

گسترده‌گی آن نزدیک ۵۱۸۰۱ کیلومترمربع بین مختصات ۴۴-۱۴ تا ۵۳-۴۷ طول شرقی و ۳۵-۴۰ تا ۳۸-۳۰ عرض شمالی است و درگیر با پهنه آبریز ارس، سفیدرود، زاب، سیروان و کشورهای ترکیه و عراق از سوی باختر است. در شکل (۱) پهنه پژوهش‌شده در برابر سراسر کشور نشان داده شده است.

---

۱. سازمان تحقیقات و مدیریت منابع آب



شکل (۱): جایگاه بهنهٔ آبخیز دریاچهٔ ارومیه در کشور ایران

ساختارهای نخستین منحنی‌های IDF:

ساختار (۱) ... تالبوت<sup>۱</sup>

$$i = \frac{a}{d + b}$$

ساختار (۲) ... برنارد<sup>۲</sup>

$$i = \frac{a}{d^e}$$

ساختار (۳) ... کیمیجاما<sup>۳</sup>

$$i = \frac{a}{d^e + b}$$

در ساختارهای بالا  $i$  شدت بارش (میلی‌متر بر ساعت)،  $d$  پایستگی بارش (دقیقه) و  $a, b, e$  نرخ‌های ماندگار بومی هستند که به سامه‌های هیدرولوژیکی وابسته است.

در ایران نخستین بررسی ساختارهای IDF بارندگی برای ۳۴ ایستگاه باران‌سنجی وابسته به سازمان هواشناسی انجام پذیرفت (قهرمان و سپاس‌خواه، ۱۹۹۰). ساختار پیشنهادی بل را پذیرفته شد و نرخ‌های آن را برای سامه‌های بومی ویرایش شد.

در بسیاری از پرسمان‌های هیدرولوژیکی، سه ویژگی زمان، شدت و فراوانی بارندگی پیوستگی تنگاتنگی با یکدیگر دارند (چف<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۲۳). آمیختگی این ویژگی‌ها همواره به شیوهٔ نمودارهایی به نام منحنی‌های IDF بیان می‌شود. منحنی IDF منحنی است (شکل ۲) که در یک‌سوی نمودار آن شدت بارش و در دیگر سو تداوم بارش نشان داده شده و نقاط به هم پیوسته شدهٔ میانی نیز شمار بارش‌ها را نشان می‌دهد. به‌ازای هر فراوانی رخداد، یک منحنی شدت در برابر زمان بارندگی کشیده می‌شود. این منحنی‌ها بسته به جایگاه ایستگاه‌ها گوناگون‌اند. بنابراین برای رسم آن باید از منحنی‌های شدت - زمان - فراوانی همان پهنه بهره برده شود. شماری از این منحنی‌ها برای ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک کشور به دست سازمان هواشناسی آماده‌سازی و چاپ شده است.

۱. Talbot equation

۲. Bernard equation

۳. Kimijama equation

بیشترین سالانه در تداوم‌های از پیش‌گزینه‌شده، برآزش داده شد. سپس از روی پخش گمانه‌ای برآزش داده‌شده به داده‌های بیشترین سالانه در تداوم‌های داشته اندازه بارش در همان تداوم به دیگر دوره بازگشت‌ها برآورد شد. این روند برای تمامی تداوم‌ها انجام شده و در پایان به داده‌های بارش در تداوم‌های گوناگون که دوره بازگشت یکسانی دارند، یک منحنی که توانی است برآزش داده‌شده، برای آماده‌سازی تابع‌های (توابع) تندی - زمان بارندگی یک ایستگاه باران‌سنجی، نخست نیاز است رگبارها گزینش شده و تندی‌های بیشترین هر رگبار در زمان‌های کوتاه آماده شود. رگبارهایی که بررسی می‌شوند، رگبارهای تکی هستند. در این پژوهش بارندگی‌های کوتاه‌زمان ماهانه با ریزینی زمانی ۱۵ دقیقه‌ای، از زمان آغاز تا پایان هر رگبار بیرون کشیده شده، سپس با پوشش زمانی ۱۵ دقیقه‌ای، شمار بارندگی‌های ۳۰، ۴۵، ۶۰ و ... دقیقه‌ای تا زمان پایان رگبار برآورد می‌گردد و در پایان، بارندگی بیشترین سالانه از بین رگبارهای گزیده‌شده برای بازه‌های زمانی گوناگون آماده می‌شود. بعد از به دست آوردن بارندگی‌های بیشترین، این داده‌ها را با نظر به برش‌های زمانی، باید به تندی بارندگی بر سنجش میلی‌متر بر ساعت برگرداند.

بررسی بارش در ۲۷ ایستگاه مراکند، پل نوایی، رازی، پل دشت، قلعه جوق، بدوی، سیه‌چشمه، قره‌باغ، سلماس، چهریق علیا، کمپ ارومیه، بیبکران، گل‌مانخانه، بابارود، موش آباد، مرز سرو، نقده، اشنویه، کمپ مهاباد، پل میان‌دوآب، داش‌بند، شاهین‌دژ، ساری‌قمیش، آلاسقل، پیرانشهر، قره ضیاءالدین انجام شد و منحنی‌های IDF از داده‌های بارش بیرون کشیده شد. در شکل (۳) مکان ایستگاه‌ها در پهنه پژوهش آمده است.

ساختار بل برای تناوب ۲ تا ۱۰۰ سال و تداوم ۵ تا ۱۲۰ دقیقه بر پایه داده‌های سازمان آب و هواشناسی آمریکا به دست آمد:

ساختار (۴)

$$R_t^T = [0.21 \ln(T) + 0.52] \cdot [0.54t^{0.25} - 0.5] \cdot R_{60}^{10}$$

$R_t^T$ : بارندگی به میلی‌متر در تناوب T و تداوم t

نادرستی استاندارد بین ۵ تا ۷٪ است و این ساختار برای دیگر جای جهان مانند استرالیا، آفریقای جنوبی، هاوایی، آلاسکا و پورتوریکو نیز پیشنهاد می‌شود. در این پژوهش بنیاد کار بر ساختار آقای آبخضر است که همان ساختار بل را پذیرفته است.

ساختار (۵)

$$R_t^T = At^B[\alpha_1 + \alpha_2 \ln(T - \alpha_3)] R_{60}^{10}$$

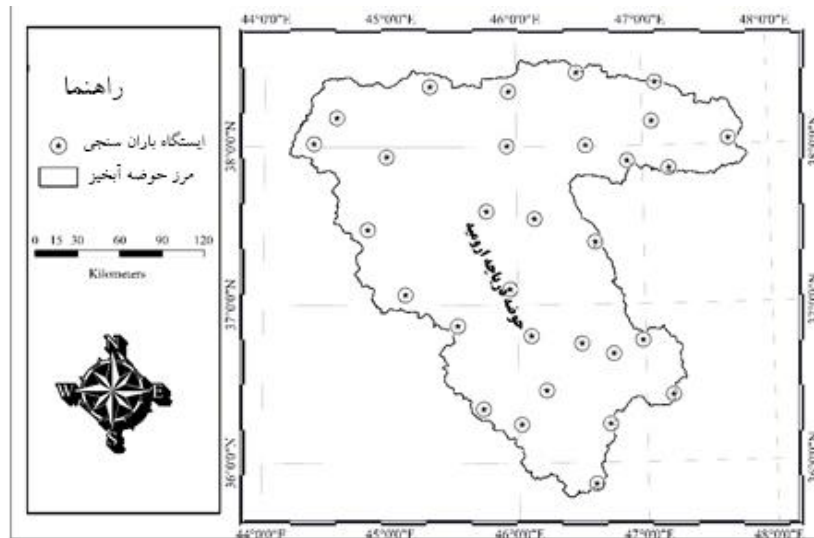
که  $R_t^T$  بارندگی به میلی‌متر با چرخه بازگشت T و بازه زمانی t است. A و B نرخ‌های بومی زمان بارندگی هستند که به آن چینش برای زمان بارندگی کمتر و یا برابر یک ساعت، برابر ۰/۱۲۹۹ و ۰/۴۹۵۲ است.  $\alpha_1$  و  $\alpha_2$  و  $\alpha_3$  هم نرخ زمان بارندگی هستند که برای بارش‌های کمتر یا برابر دو ساعت به همان چینش برابر ۰/۴۶۰۸ و ۰/۲۳۴۹ و ۰/۶۲ است.  $R_{60}^{10}$  هم شمار بارندگی با چرخه برگشت ۱۰ سال و زمان ۶۰ دقیقه است.

با الگوریتم‌های رایانه‌ای این نرخ‌های بومی برای پهنه آبریز دریاچه ارومیه بهینه شد.

به دست آوردن منحنی‌های شدت - زمان - فراوانی:

در این پژوهش نخست با نظر به داده‌های شدت بارش گرفته‌شده (زمان رگبار و شمار رگبار)، از سازمان آب منطقه‌ای استان آذربایجان غربی، روش گزینش تابع (تابع) شدت - زمان بارندگی آماده می‌گردد. سپس روش‌های برآزش تابع تندی - زمان برای سال‌های برگشت گوناگون بیان شده است. سپس به روشی فراگیر برای بیرون کشیدن منحنی‌های IDF داده‌های بیشترین سالانه بارش در تداوم‌های ۳۰، ۴۵، ۶۰ و ... دقیقه‌ای از آمارهای گرفته‌شده از سازمان آب و هواشناسی به دست آمد. سپس با به کار بردن توزیع احتمال گامبل داده‌های بارش

۲. رگباری است که از زمان آغاز بارش تا پایان آن، با یک نزدیکی زمانی، بارندگی بریده نشده باشد.



شکل (۳): مکان ایستگاه‌ها در پهنة دریاچه ارومیه

نمودارهای به دست آمده در ساختار آبخضر همراه با چرخه بازگشت‌ها و تداوم‌های گوناگون دارای نرخ‌های بومی بسیاری در ۲۷ ایستگاه هواشناسی شد؛ ۲۷ در ۱۹۸ در ۵۵ (۲۹۴۰۰۰) که ریزینی پذیرفتنی‌ای را در الگوریتم‌های رایانه‌ای به ما می‌دهد. در چرخه‌های الگوریتم‌ها نرخ‌های بهینه‌سازی شده که به شیوه زیر است:

### تابع هدف<sup>۱</sup>

در نرم‌افزار متلب در گام نخست، نیازمند تابع هدف برای ساختار بررسی‌شونده هستیم تا بتوانیم بر پایه آن الگوریتم‌های رایانه‌ای را به کار ببریم. این تابع بیانگر هدف و خواسته ما از بیان پرسمان است و شناسه‌ای از چگونگی کارکرد است. اینجا هدف مینیم‌سازی است، شایسته‌ترین تن (فرد) آن است که اندازه تابع هدفش اندک‌ترین باشد. شکل (۴) تابع هدف برای ساختار آبخضر را نشان می‌دهد.

function Z=Abkhazar (R, T, t,  $\alpha^1$ ,  $\alpha^2$ ,  $\alpha^3$ )

```
u=A*t . ^ B ( $\alpha^1 + \alpha^2*\ln(T_ - \alpha^3)$ )*1
yhat=u;
y=R
z=sqrt (mean ( (y-yhat) . ^2))
```

end

شکل (۴): تابع هدف برای ساختار آبخضر عکس گرفته شده از نرم‌افزار متلب

yhat بارندگی به دست آورده شده و y بارندگی دیده شده در ایستگاه است.  
**الگوریتم زادشناسی<sup>۲</sup>(GA)**  
 الگوریتم ژنتیک برگرفته از دانش ژنتیک و نگره فرگشت<sup>۳</sup> داروین است و بر پایه ماندن برترین‌ها یا انتخاب طبیعی استوار است. یک کاربرد رومانند الگوریتم ژنتیک، بهینه‌سازی است (کوین و همکاران، ۲۰۲۳). الگوریتم ژنتیک ابزار سودمندی در بازشناسی الگو، گزینش ویژگی، دانش نگاره‌ای یا درک تصویر و یادگیری ماشینی است (کارلوس<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۲۳). در الگوریتم‌های ژنتیکی، روند فرگشت ژنتیکی جانوران زنده شبیه‌سازی می‌شود. الگوریتم‌های ژنتیکی را می‌توان یک روش بهینه‌سازی پیشامدی برداری دانست که اندک‌اندک به سوی نقطه بهینه پیش می‌رود. درباره ویژگی‌های الگوریتم ژنتیک در سنجش با دیگر روش‌های بهینه‌سازی می‌توان گفت که الگوریتمیست که بدون داشتن هیچ‌گونه داده‌ای از تابع آن و هیچ‌گونه چهارچوبی از متغیرهای آن برای هرگونه پرسمانی پذیرفتنی است و دارای کارایی بالایی در یافتن بهینه پایانی (GO) است. توانایی این روش در پاسخ پرسمان‌های پیچیده

۲. ژنتیک

۳Genetic Algorithm

۴. نظریه تکامل

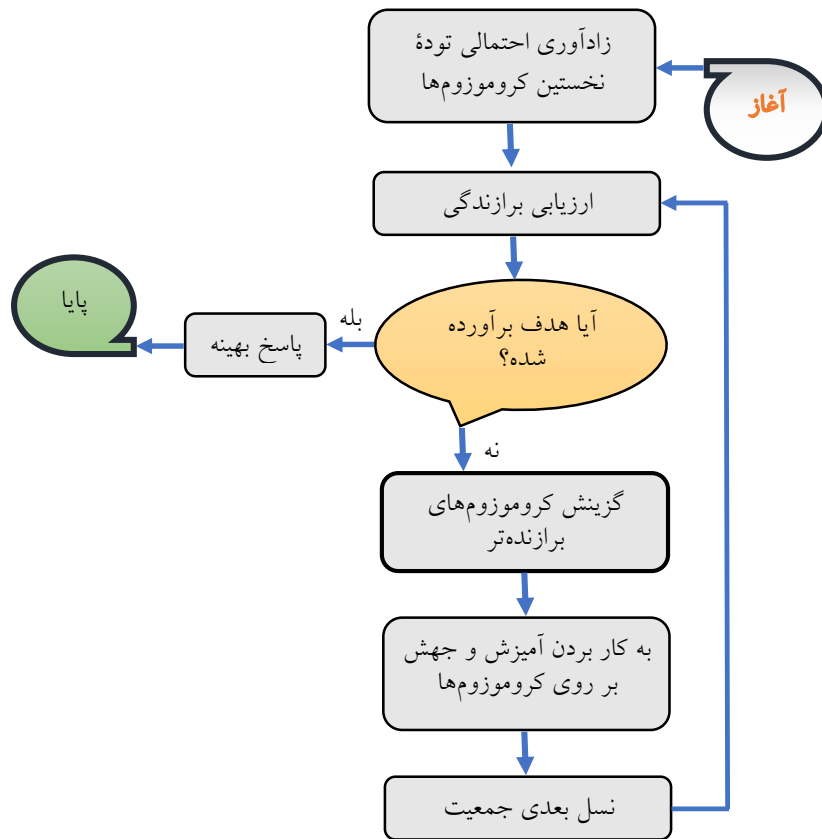
۵Qin

۶Carlos

۷Global Optimum

۱. تابع هدف

بهینه‌سازی است که روش‌های کهنه یا انجام‌پذیر نیستند و یا دریافتن بهینه پایانی پذیرفتنی نیستند. نشان می‌دهد.



شکل (۵): نمودار روند پیشروی الگوریتم‌های زادشناسی

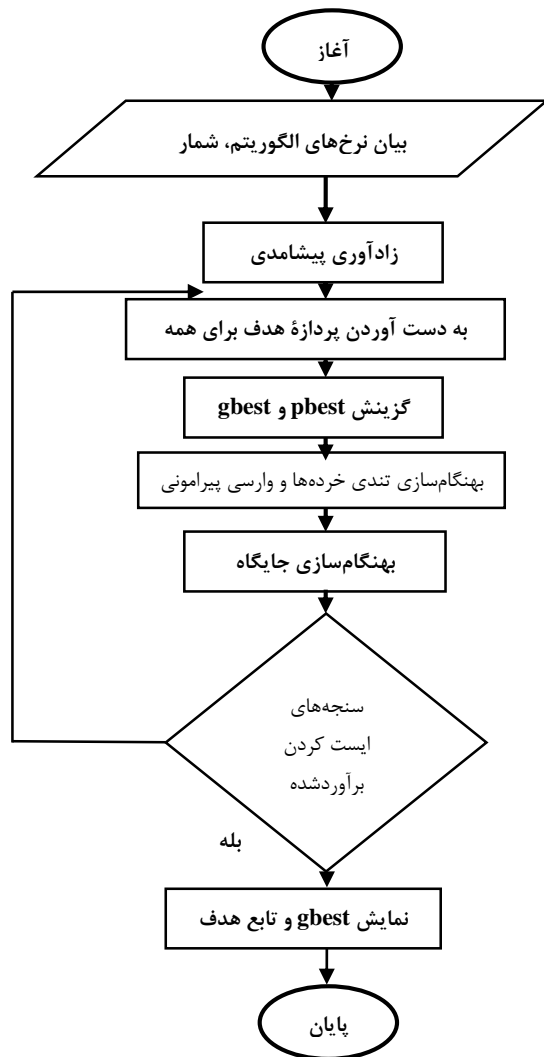
سال ۱۹۹۵ به کار برده شد. این روش برگرفته از پرواز هم‌زمان پرندگان، شنای ماهیان و زندگی هم‌بودین آن‌هاست که با پیوندهایی ساده آمیخته شده است (کندی، ۱۹۹۵). کندی در سال ۱۹۹۸ گفت که در PSO هر خرده (ذره)، نماینده یک پیشامد شدنی است که در جای جای سخن پیش می‌رود. دگرش جایگاه هر خرده در هر جای جست‌وجو همگام با کارآزمایی و دانش خود و همسایگانش است (کندی، ۱۹۹۵). بنابراین جایگاه خرده‌ریزه‌های دیگر گروه روی چگونگی جست‌وجوی یک ذره اثر می‌گذارند. براینند الگوسازی این رفتار هم‌بودین فرایند جست‌وجویی است که در آن خرده‌ریزه‌ها به‌سوی جایگاه‌های شایسته گذار می‌کنند.

در الگوریتم زادشناسی در نخستین گام (Selection) یا گزینش بر پایه شایستگی دو کروموزوم به نام زاینده را داریم، سپس آمیزش یا (Crossover) که با یک شماره به‌شیوه پیشامدی آمیخته می‌شود، وانگاه (Mutation) یا جهش را داریم که گونه‌گونی را در برخی فرزندان به کار می‌برد، پس از آن (Accepting) یا پذیرش را داریم که فرزندان او را در توده نو جای می‌دهد، سپس جایگزینی (Replace) را داریم که توده نو جای کهنه را می‌گیرد، سپس (Test) یا آزمایش را داریم و در پایان اگر برآیندی نبود (Loop) یا دوره تا به سرانجام رساندن کار بسامد داده می‌شود.

### الگوریتم توده‌ریزه‌ها (توده‌ریزه‌ها)

الگوریتم PSO نخستین بار به دست ابرهات و کندی در





شکل (۷): نمودار گردش الگوریتم توده‌ریزه‌ها

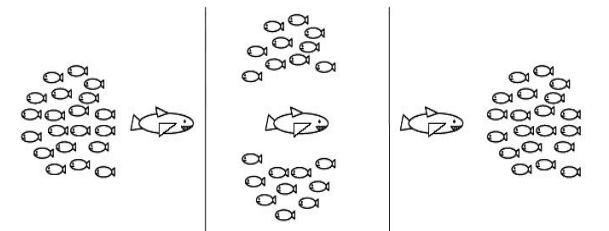
پس از بهینه‌سازی نرخ‌ها برای دریافت درصد درستی کار با الگوی SMADA برای پنج ایستگاه نمونه‌شماری از بارش‌های روزانه با تندی میلی‌متر در ساعت و دوره بازگشت ۲ تا ۲۰۰ سال به دست آمد. سپس با نگرش به نرخ‌های بهینه‌سازی شده و ساختار آبخضر منحنی‌های IDF نگاشته شد.

**نتایج**

برایندهای بهینه‌سازی نرخ‌های ساختار آبخضر با هر دو الگوریتم با پیش‌بینی بسیار نزدیکی یکسان به دست آمده است. شکل (۸) که به روش نیمه‌لگاریتمی کشیده شده است، همگرایی الگوریتم‌های PSO و زادشناسی در رسیدن به کمینه تابع هدف را نشان می‌دهد. در این شکل نشان داده

خرده‌ریزه‌ها در گروه از یکدیگر می‌آموزند و بر مبنای دانش به دست آمده به سوی بهترین همسایگان خود می‌روند. بنای کار PSO بر این استوار است که در هر آن هر خرده جای خود را در فضای جست‌وجو با نظر به بهترین جایی که تاکنون در آن بوده و بهترین جایی که در سراسر همسایگی‌اش است، هماهنگ می‌کند (ژین و همکاران، ۲۰۲۲).

همانند دسته‌های ماهی، رفتارهای پیچیده‌ای به هنگام جنبش دیده می‌شوند. هرکدام از هموندان گروه، به داده‌های اندکی دسترسی دارند و نیز از جایگاه اندکی از همسایگان‌شان خبر دارند. برای یک نمونه یک دسته ماهی‌ها همان‌گونه که در شکل (۶) دیده می‌شود، می‌توانند هراس شکارچی را برانند. نخست گروه به دو دسته بخش می‌شود و سپس از نوساخته می‌شود. ولی در هر سوی، نزدیکی و فشردگی سراسر گروه، از نگاه همه ماهی‌ها واریسی می‌شود.



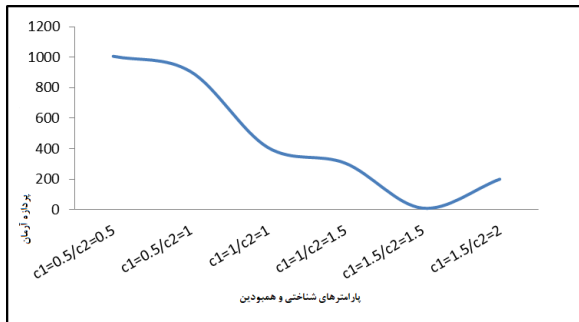
شکل (۶): گروهی از ماهی‌ها که هراس یک شکارچی را پشت سر می‌گذارند.

ساختار (۶) جنبش و شتاب خرده‌ریزه‌ها را به شیوایی بیان می‌کند:

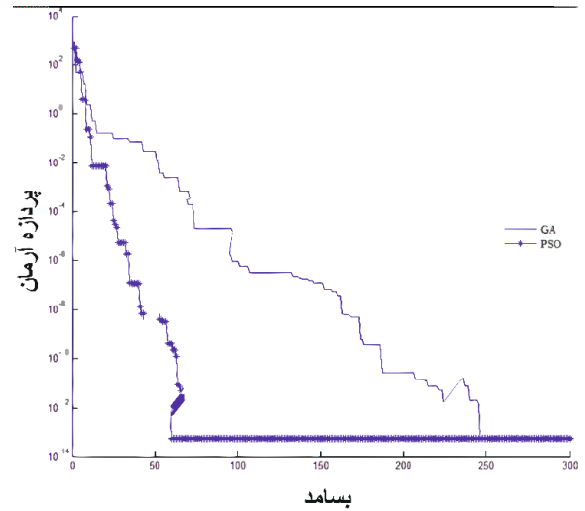
ساختار (۶)

$$V_i^{k+1} = WV_i^k + C_1r_1.(pbest_i - X_i^k) + C_2r_2.(gbest - X_i^k)$$
 که در آن Pbest بهترین جایگاهی است که تاکنون خرده‌ریزه در رسیدن به آن کامیاب شده است. gbest بهترین جایگاهی است که تاکنون همراه توده خرده‌ریزه‌ها به دست آمده است.  $V_i^k$  تندی هر نماینده در بسامد K ام، W پارامتر وزنی، C1 و C2 فاکتور سنگینی، r1 و r2 شمار پیشامدی بین ۰ و ۱،  $X_i^k$  جایگاه هر خرده i در بسامد K ام، pbest برابر Pbest در خرده i و gbest نیز gbest در گروه است. شکل (۷) روند پیشرفت الگوریتم PSO را نشان می‌دهد.

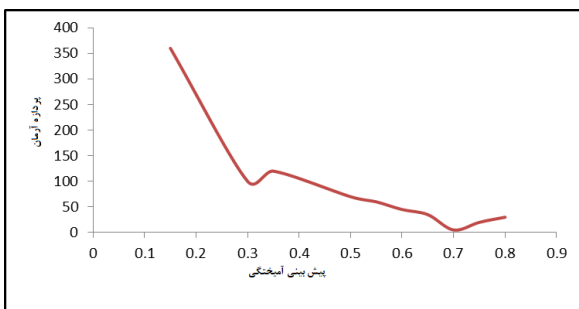
می‌شود که الگوریتم توده‌ریزه‌ها در بسامد پایین‌تری به همگرایی بیشتری رسیده و تابع هدف صفر می‌شود.



شکل (۹): آنالیز حساسیت پارامترهای یادگیری عمومی و فردی پارامترهای شناختی و همودین



شکل (۸): همگرایی الگوریتم‌های PSO و زادشناسی در رسیدن به کمینه تابع هدف



شکل (۱۰): آنالیز حساسیت احتمالات همبستگی

### آنالیز حساسیت

برای انجام آنالیز حساسیت الگوهای PSO و GA آمیزش‌های گوناگون از هر پارامتر اندیشیده شد. در این واکاوی با شمارش‌های گوناگونی برای C1 و C2 (پارامترهای شناختی و هم‌بودین)، Wmin و Wmax و پیشامد آمیزش پس از ۱۰ بار انجام الگو، بهترین شمارش‌های این پارامترها با نظر به اندک‌ترین اندازه تابع هدف با چینش ۱/۵، ۱/۵ و ۰/۱ و ۰/۵ و

جدول‌های (۱) و (۲) نگاشتن نرخ‌های ساختار آبخضر در ۵ ایستگاه نمونه با دو الگوریتم را نشان می‌دهد.

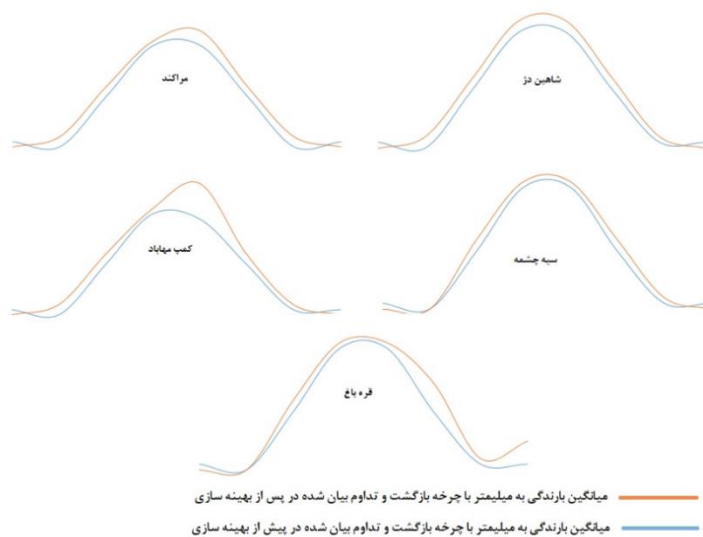
جدول (۱): نگاشتن نرخ‌های ساختار آبخضر در ۵ ایستگاه نمونه با الگوریتم زادشناسی

$\alpha_3$	$\alpha_2$	$\alpha_1$	B	A	نرخ‌های ایستگاه‌ها
۰/۶۲	۰/۲۳۳۹	۰/۴۶۰۷	۰/۴۹۵۰	۰/۱۲۸۹	مراکند
۰/۶۲	۰/۲۳۲۷	۰/۴۵۹۸	۰/۴۹۴۲	۰/۱۲۷۳	شاهین‌دژ
۰/۶۱	۰/۲۱۴۹	۰/۴۴۱۸	۰/۴۹۲۲	۰/۱۲۳۸	کمپ مهاباد
۰/۶۲	۰/۲۳۵۸	۰/۴۶۲۸	۰/۴۹۷۳	۰/۱۲۹۹	سیه چشمه
۰/۶۲	۰/۲۳۵۲	۰/۴۶۰۵	۰/۴۹۶۹	۰/۱۲۹۰	قره‌باغ

جدول (۲): نگاشتن نرخ‌های ساختار آبخضر در ۵ ایستگاه نمونه با الگوریتم PSO

$\alpha_3$	$\alpha_2$	$\alpha_1$	B	A	نرخ‌های ایستگاه‌ها
۰/۶۲	۰/۲۳۴۰	۰/۴۶۰۵	۰/۴۹۵۱	۰/۱۲۸۸	مراکند
۰/۶۲	۰/۲۳۲۶	۰/۴۵۹۷	۰/۴۹۴۱	۰/۱۲۷۳	شاهین‌دژ
۰/۶۱	۰/۲۱۴۹	۰/۴۴۱۷	۰/۴۹۲۱	۰/۱۲۳۹	کمپ مهاباد
۰/۶۲	۰/۲۳۵۸	۰/۴۶۲۸	۰/۴۹۷۳	۰/۱۲۹۹	سیه چشمه
۰/۶۲	۰/۲۳۵۲	۰/۴۶۰۵	۰/۴۹۶۹	۰/۱۲۹۱	قره‌باغ

اگر میانگین تندی بارش و تداوم را در منحنی IDF به‌شیوه نمودار انتگرالی در نظر داشته باشیم، سنجش تابع دو منحنی IDF در پیش و پس از بهینه‌سازی نرخ‌های در پنج



شکل (۱۱): سنجیدن تابع انتگرالی دو منحنی IDF در پیش و پس از بهینه‌سازی نرخ‌های در پنج ایستگاه نمونه

ذره در کنار دیگر ذرات همجوار خود و قرار دادن آن در چرخه‌های متمادی، دارای راندمان بهتری در بهینه‌سازی است و تابع هدف در آن به صفر نزدیک‌تر است. البته آنالیز حساسیت نشان داد تفاوت بین دو الگوریتم کارشده بسیار اندک است و می‌شود از هر دو شیوه بهره برد.

با توجه به دگرگونی هوا بوم در آینده شاید دور یا حتی شاید نزدیک، نرخ‌های بومی دگرگونی‌های بسیار خواهد یافت. بنابراین نیاز به پایش دوباره نرخ‌هاست، چراکه اقلیم بر بارش اثر گذاشته و پوشش گیاهی و نوع فرسایش خاک را دگرگونش می‌دهد و این نرخ‌های بومی و جغرافیایی و ژئومورفولوژی را متأثر می‌کند و چون اقلیم با نگرش به اینکه زمین به سوی گرمایش پیش می‌رود، نرخ‌های بومی بارش کاهش خواهد یافت و این‌گونه گمان می‌رود تابع‌ها و ساختارهای گوناگون تالوت، بل، آبخضر و... جوابگوی پیش‌بینی نباشد.

## بحث و نتیجه‌گیری

بررسی‌ها نشان داد که نرخ‌های ساختار آبخضر در همه ایستگاه‌های پهنة دریاچه ارومیه، مگر کمپ مهاباد با نزدیکی خوبی درست است و در ایستگاه سیه‌چشمه بهترین برآزش را دارد. گونه‌گونی آن‌ها با نزدیکی اعشار هزارم و ده‌هزارم است. همچنین نمودارهای IDF در پیش و پس از بهینه‌سازی گونه‌گونی اندکی دارد و دارای برآزش پذیرفتنی است. سنجش منحنی‌های انتگرالی پارامترهای IDF این را می‌رساند که برایندهای این پژوهش با ساختار آفای آبخضر و همچنان آقای بل نزدیکی خوبی دارد.

همچنان همبستگی شایسته‌ای با پهنة پژوهشی آفاجانی و کرمی که بر پایه ساختارهای شرمین و برنا هوست دیده می‌شود. چون  $t$  و  $T$  در ساختار بل در هر پهنة می‌تواند یک وابستگی بومی داشته باشد، این وابستگی در ساختار آبخضر در نرخ‌های بومی آورده شده است.

بررسی‌ها نشان داد که الگوریتم PSO به دلیل سنجش هر

## منابع

2. Aghajani, N., and karami, H., 2015. Extraction of IDF curves from daily precipitation data of Mashhad synoptic station case study. *Journal of Water and soil sciences* 10, 30-37
3. Borji, H., How Takht Suleiman Lake is formed in the catchment area of Urmia Lake. 2015 "34 th Conference: International Specialized Congress of Science and Earth
4. Demaree, G., and Van de Vyver, H., 2013. Construction of intensity-duration-frequency (IDF) curves for precipitation with annual maxima data in Rwanda, Central Africa. *Journal of Advances in Geosciences* 35, 1-5
5. Dpaola, F., Giugni, M., Elena Topa, M., and Bucchignani, E., 2014. Intensity-Duration-Frequency (IDF) rainfall curves, for data series and climate projection in African cities. *Journal of Earth and Environmental Sciences* 3, 133
6. Eschelf, K., Kenneth, E., CaseyBrown, Y., Dennis, P., AnnaWagner, M., Thomas, R., R.Easterling, Kimberly., J.WangjBaptiste, F., and Eugene, Y., 2023. Incorporating non-stationarity from climate change into rainfall frequency and intensity-duration-frequency (IDF) curves. *Journal of Hydrology* 616, 128757
7. Ghahraman, B., and Sepaskhah, A., 1990. Estimation of the intensity-duration-frequency relationship of rainfall in Iran using ten-year one-hour rain "3 th International Congress of Road and Construction Engineering of Iran, Faculty of Engineering, Shiraz University
8. Ghahreman, Bizhan., and Abkhezr, H., 2004. Modifying the intensity-duration-frequency relationship of rainfall in Iran. *Journal of Water and soil sciences* 8, 1-13
9. Hongxiang, Y., Ning, S., Xiaodong, S., and Mark, S., 2020. Next-Generation Intensity-Duration-Frequency Curves for Climate-Resilient Infrastructure Design: Advances and Opportunities. *Journal of Water and Built Environment* 10, 3389
10. Juan Carlos, F., Neruda, R., and GermanHernandez, P., 2023. A genetic algorithm for multivariate missing data imputation. *Information Sciences* 616, 947-967
11. Kennedy, J., and Eberhart, R., 1995. Particle Swarm Optimization. *Purdue School of Engineering and Technology. Journal of Purdue School of Engineering and Technology* 46202-5160
12. Mailhot, A., Duchesne, S., Caya, D., and Talbot, G., 2007. Assessment of future change in intensity-duration-frequency (IDF) curves for Southern Quebec using the Canadian Regional Climate Model (CRCM). *Journal of Hydrology* 347, 1-2
13. Mottakan, A., Darvishzadeh, R., Hoseini asl, A., Ebrahimi khosefi, M., and Ebrahimi khosefi, Z., 2011. Drought risk zoning of dry areas using knowledge-based methods in GIS environment Case study: Shitoor basin, Yazd. *Journal of Climatology research* 2, 6-5
14. Muhammad Saiful, A., Zulkifli, Y., Fadhillah, Y., Zulfaqar, S., and Nor Eliza, A., 2020. Detecting Rainfall Trend and Development of Future Intensity Duration Frequency (IDF) Curve for the State of Kelantan. *Journal of Water Resources Management* 34, 3165-3182
15. MuhammadNoor, T., Shamsuddin, S., Md, A., and Ashraf, D., 2021. Evaluating intensity-duration-frequency (IDF) curves of satellite-based precipitation datasets in Peninsular Malaysia. *Journal of Atmospheric Research* 248, 105-203
16. Qin, Y., Li, Zh., Ding, J., Zhao, F., and Meng, M., 2023. Automatic optimization model of transmission line based on GIS and genetic algorithm. *Array* 7, 100266
17. Safavi, H., Dadjoo, Sh., and Naimi, G., 2019. Extraction of intensity-duration-frequency (IDF) curves in climate change conditions, case study: Isfahan synoptic station. *Journal of Iran's water resources research* 15, 217-227
18. Taesoon, K., Ju-Young, S., Kewtae, K., and Jun-Haeng, H., 2008. Improving Accuracy of IDF Curves Using Long- and Short-Duration Separation and Multi-Objective Genetic Algorithm. *Journal of World Environmental and Water Resources Congress* 316, 128
19. Xing, Z., Zhu, J., Zhang, Z., Qin, Y., and Jia, L., 2022. Energy consumption optimization of tramway operation based on improved PSO algorithm. *Journal of Energy* 258, 124848
20. Yabin, S., Wendi, D., Kim, D., and Liang, S., 2019. Deriving intensity-duration-frequency (IDF) curves using downscaled in situ rainfall assimilated with remote sensing data. *Journal of the Asia Oceania Geosciences Society* 17

## Optimizing Intensity-Duration-Frequency Curves in Consistency with Genetic and Particle Swarm Algorithms: A Case Study of Urmia Lake's Basin

Emad Fahim<sup>1</sup>, Reza Ghazavi<sup>2</sup>, Hoda Qasemieh<sup>3</sup>, Ebrahim Omidvar<sup>4</sup>

Received: 11/12/2022

Accepted: 19/02/2023

### Extended Abstract

**Introduction:** Collected from sixty-six meteorological stations, the most recent data concerning the intensity-duration-frequency curve in Iran have been recorded in 1374. While rain gauges are required for physically obtaining such data, the collected data may be fraught with inaccuracies, considering the fact that the meteorological data of the extremely remote areas may be impossible to be gauged. Therefore, intensity-duration-frequency formulas are used to reduce the rate of such inaccuracies. While many formulas have so far been developed to be used for obtaining the required data regarding intensity-duration-frequency curves, they could only be applied to those areas whose regional rates have been estimated.

This study sought to identify and optimize such formulas' rates together with the computational algorithms in the Urmia Lake's basin. Then, the efficiency of the mass-fine computational algorithm and the genetic algorithm was measured and compared. Finally, the influence of climate change on intensity-duration-frequency diagrams in the basin was investigated using the nearest neighbor algorithm.

**Materials and Methods:** Considering the precipitation intensity data collected from Western Azerbaijan Province's Regional Water Organization, first, the method for selecting the function of the precipitation's intensity-duration-frequency was determined. Then, the fitting methods for the different return years' functions of the intensity-duration were presented.

As for the extraction of IDF curves, the required data regarding the highest annual precipitation rates in 30-, 45-, and 60-minute durations were obtained from the statistics published by the Iranian Meteorological Organization. Then, the precipitation rate was investigated in twenty-seven meteorological stations of the Urmia Lake, and the intensity-duration-frequency curves were made accordingly. Taking the extracted curves into account, the regional coefficients of Abkhehr's equation were measured and optimized based on the Genetic and Particles Swarm algorithms. Then, to determine the measurement accuracy, the daily precipitation rates were extracted from five sample meteorological stations in terms of 2-200 return years and millimeters per hour unit using the SMADA software. Finally, the IDF curves were made based on the optimized rates and Abkhehr formulas.

**Results:** The average rates of optimizing the coefficients of the Abkhehr formula with both algorithms mentioned above were found to be the same, bearing a very close prediction. Taking into account the average intensity and continuity rates of the IDF curves in terms of an integral diagram, the study undertook to compare the measurement of pre- and post-optimization IDF curves in five sample stations. Generally, the findings of this study indicated the accuracy of the Abkhehr Formula's rates (with an acceptable closeness) in all meteorological stations of the Urmia Lake except for the Mahabad camp. It could therefore be argued that the average optimized regional rate are hundred percent fitted with the obtained rates.

**Discussion and conclusion:** The findings of the study suggested a high accuracy of the Abkhehr formula's coefficients in all Urmia Lake's meteorological stations (with acceptable closeness) except for the Mahabad camp, with the Siyah-Ceshmeh station having the best fitting rate. In this regard, the fitting rate of the coefficients in the above-mentioned stations differed merely at thousandth and ten-thousandth decimal rates. On the other hand, the pre-and post-optimization IDF curves were found to have slight differences, bearing an acceptable fitting. Moreover, the comparison of the integral curves of the IDF parameters indicates the great consistency between the results of this study and the formulas developed by Abkhehr and Bell. Furthermore, a good correlation was found between the results of this study and the research findings of Aghajani and Kerami, which were based on Sherman and Bernahu's formulas. As  $t$  and  $T$  in Bell's formula can have a local dependence in each area, such a dependence has been included in Abkheder's formula based on regional coefficients.

The results also showed that the PSO algorithm performed more efficiently in terms of optimization and its intended function is closer to zero, as it measures each particle with other neighboring particles, putting it in

1. PhD. Student, Department of Nature Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Kashan, Kashan, Iran

2. Professor, Department of Nature Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Kashan, Kashan, Iran, Corresponding Author; Ghazavi@kashanu.ac.ir

3. Associate Professor, Department of Nature Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Kashan, Kashan, Iran

4. Associate Professor, Department of Nature Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Kashan, Kashan, Iran

numerous cycles. However, the sensitivity analysis revealed a very slight difference between the two algorithms used in this study, suggesting that both algorithms could be applied.

**Keywords:** Optimization, Meteorological Stations, Formula, Precipitation Patterns, Regional Coefficients.