

## تخمین یکنواختی توزیع آب در آبیاری بارانی با استفاده از الگوریتم ازدحام جمعیت (PSO)

حسن گلیج<sup>۱\*</sup>، حسن ترابی پوده<sup>۲</sup>، رامین منصوری<sup>۳</sup>، مجتبی صادقی<sup>۴</sup>

### چکیده

تعیین ضریب یکنواختی توزیع آب  $cu$  در آبیاری بارانی کلاسیک ثابت از روی نتایج یک آب پاش منفرد با توجه به لحاظ هم پوشانی آب پاش های مجاور و در مقادیر مختلف فشار کارکرد ( $P$ ) ارتفاع پایه آب پاش ( $RH$ ) فاصله ی آب پاش ها روی لوله های جانبی ( $SL$ ) و فاصله ی لوله های جانبی از یکدیگر ( $Sm$ ) کاری وقت گیر است. تعیین بهترین ترکیب از پارامترهای فوق که بالاترین ضریب  $cu$  را حاصل نماید، همواره پرسشی بی پاسخ برای کاربران بوده است. در این پژوهش، مقادیر ضریب  $cu$  آب پاش مدل  $zb$  ساخت ایران در ۳ تیمار مختلف فشار کارکرد آب پاش (۲/۵، ۳ و ۳/۵ اتمسفر)، ۲ تیمار ارتفاع پایه ی آب پاش (۶۰ و ۱۰۰ سانتی متر) و ۷ تیمار آرایش شبکه ی آب پاش ها ( $Sl \times Sm$ ) شامل ۹×۱۲، ۹×۱۵، ۱۲×۱۲، ۱۵×۱۲، ۱۲×۱۸، ۱۵×۱۵، ۱۵×۱۸ متر با داده های مشاهده ای در ایستگاه تحقیقات پنبه ی هاشم آباد گرگان اندازه گیری شدند. سپس با کاربرد روش الگوریتم PSO، برنامه ای در محیط برنامه نویسی Matlab تهیه و روابط مختلف برای تخمین مقدار  $cu$  با استفاده از پارامترهای ذکر شده بررسی گردیدند. با توجه به نتایج، RMSE و انحراف معیار نسبت مقادیر تخمین زده شده به اندازه گیری شده حاصل از محاسبات الگوریتم PSO معادله ای به عنوان مدل نهایی تخمین ضریب یکنواختی استخراج گردید.

**کلمات کلیدی:** آبیاری بارانی، الگوریتم ازدحام جمعیت توزیع آب، ضریب یکنواختی.

<sup>۱</sup> دانش آموخته ی دکتری سازه های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان،

Email: hassan\_goleij37@yahoo.com تلفن: ۰۹۱۱۶۷۸۲۵۸

<sup>۲</sup> دانشیار گروه سازه های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان

<sup>۳</sup> دانش آموخته ی دکتری سازه های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان

<sup>۴</sup> دانش آموخته ی کارشناسی ارشد، منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل

## مقدمه

بر اساس شاخص فالکن مارک، کشور ایران در آستانه‌ی قرار گرفتن در بحران آبی واقع شده است. همچنین، بر اساس شاخص سازمان ملل، ایران هم اکنون در بحران شدید آبی قرار گرفته، و بر اساس شاخص موسسه بین المللی مدیریت آب نیز، ایران در وضعیت بحران شدید آبی واقع است (شیخ اسماعیلی، ۱۳۸۲). بنا به گزارش این موسسه بین المللی، ایران برای حفظ منابع خود تا سال ۲۰۲۵ باید بتواند ۱۱۲ درصد به منابع آب قابل استحصال خود بیفزاید. که این مقدار با توجه به امکانات و منابع موجود غیر ممکن به نظر می‌رسد. لذا وضعیت موجود آب کشور باید جزء دغدغه‌ها و نگرانی‌های کارشناسان و مدیران بوده و برای حل این معضل لازم است با اتخاذ تصمیمات اصولی و کارساز مانع گسترش این بحران شد. محدودیت منابع آبی با کیفیت مناسب و نیز تشدید این محدودیت به علت خشکسالی، علاوه بر بازدهی پایین آبیاری و تداوم افزایش تقاضا سبب گردیده‌اند تا محققان به دنبال راهکارهای مناسب برای حداکثر استفاده منابع آبی موجود و افزایش بهره‌وری گردند. به طور کلی، در کشورهایی که با کمبود آب مواجه اند، لازم است با تغییر سیاست‌ها و انجام سرمایه‌گذاری‌های لازم جهت افزایش بازده آبیاری به سمت سامانه‌های آبیاری تحت فشار و تغییر الگوی کشت روی آورند. در این راستا با به کارگیری روزافزون انواع سامانه‌های آبیاری بارانی در کشور و بررسی آن پیش از پیش‌ضروری به نظر می‌رسد. روابط مختلفی جهت اندازه‌گیری ضریب یکنواختی توزیع آب در سامانه آبیاری بارانی ثابت، که در آن آب‌پاش‌ها در زمان آبیاری تغییر مکان نمی‌دهند شامل: ضریب یکنواختی به روش هاوائی (علی زاده، ۲۰۰۶)، ضریب یکنواختی کریستیانسن (ووریس و برنوت، ۱۹۸۶)، ضریب یکنواختی مریام و کلر (۱۹۷۸) ضریب یکنواختی کارملی (۱۹۹۷)، و ضریب یکنواختی هارت و رینولدز (۱۹۶۵) ارائه شده‌اند، ولی دابوس (۱۹۶۲) با کاربرد آماری نشان داد که ضریب یکنواختی توزیع آب کریستیانسن (cu) در مقایسه با دیگر روابط برای اندازه‌گیری مقدار cu از اعتبار بیشتری برخوردار است. باوی و همکاران (۲۰۰۶) به منظور بررسی اثر مقادیر مختلف فشار کارکرد، فواصل و آرایش آب‌پاش‌ها بر یکنواختی توزیع آب در آبیاری بارانی نشان دادند که با افزایش فشار

کارکرد، ضریب یکنواختی توزیع کریستیانسن به صورت غیر خطی افزایش می‌یابد (افزایش فشار از ۳۵ متر به ۴۰ متر ضریب یکنواختی توزیع آب را در مقایسه با افزایش فشار کارکرد از ۴۰ متر به ۴۵ متر بیشتر افزایش می‌دهد). همچنین، با افزایش نسبت فواصل آب‌پاش‌ها به قطر پراکنش، ضریب یکنواختی کاهش یافته و آرایش مربعی و مستطیلی به ترتیب حداکثر و حداقل ضریب یکنواختی توزیع آب را به همراه داشته‌اند. اسی (۲۰۰۹) میانگین ضریب یکنواختی توزیع آب را در شرایط بدون باد به دست آورد. مونترو و همکاران (۲۰۰۳) نتیجه گرفتند که فشار کارکرد اصلی‌ترین عامل سامانه‌ای موثر بر توزیع آب در آبیاری بارانی است. کلر و بلیسنر (۱۹۹۰) دریافتند در فشار کم به دلیل ریزش بیشتر آب در فواصل نزدیک به آب‌پاش و در فشار بالا به دلیل تولید قطرات ریزتر و حساس‌تر به باد، ضریب یکنواختی کاهش می‌یابد. اندازه‌گیری مقدار cu با استفاده از نتایج یک آب‌پاش منفرد با توجه به هم‌پوشانی آب‌پاش‌های مجاور صورت می‌گیرد که گاهی همراه با استفاده از نرم‌افزارهای خاصی است، به دلیل تخصصی بودن کار وقت‌گیری خواهد بود. ضمن این که مقدار cu حاصل از هر آب‌پاشی در مقادیر مختلف فشار کارکرد آب‌پاش (P) ارتفاع پایه‌ی آب‌پاش (RH) فاصله‌ی آب‌پاش‌ها روی لوله‌های جانبی (SL) و فاصله لوله‌های جانبی از یکدیگر (Sm) تغییر می‌یابد. بنابراین ضروری است در وضعیت‌های مختلف از فراسنج‌های ذکر شده که شمار آزمایش‌ها را نیز به تعداد بسیار زیاد افزایش می‌دهد، مقدار cu تعیین تا شرایط متناسب برای حصول حداکثر cu از هر آب‌پاش جهت استفاده‌ی زارعین توصیه گردد. جهت پرهیز از مشکل فوق، استفاده از روشی که بتواند مقادیر cu را با دقتی قابل قبول و با کار عملی و محاسباتی کمتر و در زمانی کوتاه‌تر در شرایط مختلفی از فشار کارکرد، ارتفاع پایه‌ی آب‌پاش SL و Sm تخمین بزند، ضروری به نظر می‌رسد. امروزه استفاده از روش‌های نوین هوشمند به منظور پیش‌بینی و بهینه‌سازی توجه محققان را جلب نموده‌اند. از میان الگوریتم‌های هوشمند الگوریتم PSO<sup>۱</sup> یک الگوریتم جستجوی اجتماعی است که از روی رفتار اجتماعی دسته‌های پرندگان توسعه یافته است. در ابتدا این الگوریتم به منظور کشف الگوهای حاکم بر پرواز

<sup>1</sup> particle swarm optimization

رابطه‌ی تخمین ضریب یکنواختی توزیع آب در آبیاری بارانی برای آب‌پاش شبیه  $z_b$  ساخت داخل کشور از روی فراسنج‌های مؤثر بر آن (شامل فشارهای کارکرد ۲۵، ۳۰، ۳۵ متر، ارتفاع پایه‌ی آب‌پاش ۶۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری و فواصل مختلفی از آب‌پاش‌ها) با استفاده از الگوریتم هجوم ذرات است.

## مواد و روش‌ها

### اطلاعات صحرائی استفاده شده

داده‌های استفاده شده در این مقاله مربوط به تحقیقات هزارجریبی و همکاران (۱۳۹۰) از طرحی که در ایستگاه تحقیقات کشاورزی هاشم‌آباد شهر گرگان وابسته به موسسه‌ی تحقیقات پنبه کشور در حدود ۱۱ کیلومتری شمال غربی گرگان اجرا شده است. این محل در عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۵۱ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۱۶ دقیقه شرقی واقع است. آب-پاش مدل  $z_b$  ساخت داخل کشور به فاصله ۴۸ متری انتها لوله بر روی پایه آب‌پاش مورد نظر نصب گردید.

در این پژوهش، مقادیر ضریب  $cu$  آب‌پاش شبیه  $z_b$  ساخت ایران در ۳ تیمار مختلف فشار کارکرد آب‌پاش (۲/۵، ۳ و ۳/۵ اتمسفر)، ۲ تیمار ارتفاع پایه آب‌پاش (۶۰ و ۱۰۰ سانتی متر) و ۷ تیمار آرایش شبکه آب‌پاش‌ها ( $S_i \times S_m$ ) شامل  $9 \times 12$ ،  $9 \times 15$ ،  $12 \times 12$ ،  $12 \times 15$ ،  $15 \times 12$ ،  $15 \times 15$  و  $15 \times 18$  متر با داده‌های مشاهده‌ای در ایستگاه تحقیقات پنبه هاشم‌آباد گرگان اندازه‌گیری شدند. جهت تعیین ضریب یکنواختی کریستیانسن (ووریس و برنوت، ۱۹۸۶) نیز از رابطه‌ی ۱ به شکل زیر استفاده شد:

$$CU = \left(1 - \sum_{i=1}^n \frac{|X_i - \bar{X}|}{n \cdot \bar{X}}\right) \times 100 \quad (1)$$

در رابطه‌ی فوق  $X_i$  عمق آب معادل جمع‌شده در هر لیوان،  $\bar{X}$  میانگین عمق آب معادل جمع شده در لیوان‌ها و  $n$  تعداد کل لیوان‌ها است.

### الگوریتم PSO

عملکرد یک الگوریتم PSO نیز به این گونه است، که دسته‌ای از ذرات (به عنوان متغیرهای مسئله بهینه‌سازی) در محیط جستجو پخش می‌شوند. واضح

همزمان پرندگان، تغییر ناگهانی مسیر آن‌ها و تغییر شکل بهینه‌ی دسته به کار گرفته شد. در PSO، ذرات<sup>۱</sup> در فضای جستجو جاری می‌شوند. تغییر مکان ذرات در فضای جستجو تحت تأثیر تجربه و دانش خودشان و همسایگان‌شان است. بنابراین موقعیت دیگر توده<sup>۲</sup> ذرات بر چگونگی جستجوی یک ذره اثر می‌گذارد. نتیجه‌ی شبیه‌سازی این رفتار اجتماعی فرایند جستجویی است که ذرات به سمت نواحی موفق میل می‌کنند. ذرات از یکدیگر می‌آموزند و بر مبنای دانش به دست آمده به سمت بهترین همسایگان خود می‌روند اساس کار PSO بر این اصل استوار است که در هر لحظه هر ذره مکان خود را در فضای جستجو با توجه به بهترین مکانی که تاکنون در آن قرار گرفته است و بهترین مکانی که در کل همسایگی‌اش وجود دارد، تنظیم می‌کند. الگوریتم PSO اولین بار توسط کندی و ابرهات (۱۹۹۵) ارائه شد. کومار و ردی (۲۰۰۷)، نیز در زمینه‌ی علوم آب، و به خصوص بهره‌برداری مخزن با استفاده از الگوریتم هجوم ذرات (PSO) و با بهره‌گیری از روش وزن‌دهی و تبدیل مسئله چندهدفه به تک‌هدفه، و همچنین فرآیندهای تکاملی نظیر نخبه‌گرایی و جهش در فرآیند جستجوی تک‌هدفه، مسئله بهره‌برداری مخزن با اهداف کشاورزی و برقایی را بررسی کردند. شوریان و موسوی (۱۳۸۵)، در مطالعه‌ی خود با استفاده از الگوریتم هجوم ذرات PSO، برای برنامه‌ریزی بهینه‌ی تخصیص منابع آب در سطح حوضه آبخیز سیروان با اهداف انتقال آب استفاده کردند. یونگ و کارنی (۲۰۰۶)، برای بهینه‌کردن طول یک شبکه لوله و جایگزین‌گردن وسایل هیدرولیکی در آن به منظور تنظیم و کاهش و واکنش‌های زودگذر از PSO استفاده نمودند. کمینه‌کردن بیشترین ارتفاع، حداکثر کردن کمترین ارتفاع و مینیمم کردن تفاضل بین بیشترین و کمترین ارتفاع در سامانه به عنوان سه تابع هدف در نظر گرفته شده است. با توجه به منابع ذکر شده تاکنون پژوهش مشابهی در راستای تخمین یکنواختی توزیع آب در روش‌های مختلف آبیاری با استفاده از شبیه‌سازی روش الگوریتم هجوم ذرات (PSO) مشاهده نشده و پژوهش حاضر اولین تحقیقی است که در این خصوص صورت می‌پذیرد. بنابراین، هدف از انجام این پژوهش، تعیین بهترین

<sup>1</sup> particle

<sup>2</sup> swarm

$$v_{j,g}^{(t+1)} = wv_{j,g} + c_1 \cdot \text{Rand}() (Pbest_{j,g} - x_{j,g}^{(t)}) + c_2 \cdot \text{rand}() (gbest_{j,g} - x_{j,g}^{(t)}) \quad (4)$$

$$v_{\min} \leq v_{j,g}^{(t)} \leq v_{\max} \quad (5)$$

$$x_{j,g}^{(t+1)} = x_{j,g}^{(t)} + v_{j,g}^{(t+1)} \quad \begin{matrix} j = 1, 2, \dots, r \\ g = 1, 2, \dots, m \end{matrix}$$

در روابط (۴) و (۵)، مقدار  $x$  بیانگر موقعیت ذره،  $r$  تعداد ذرات گروه و  $m$  تعداد اعضای تشکیل دهنده ذره و توابع  $\text{Rand}()$  و  $\text{rand}()$  تولید کننده یک مقدار تصادفی بین صفر و یک هستند. در روابط ذکر شده باید به این نکته توجه داشت که بزرگ بودن  $v_{\max}$  ممکن است باعث شود که ذرات از روی نقطه کمینه عبور کنند، و کوچک بودن آن نیز باعث می شود که ذره، حول موقعیت خود به چرخش در آمده و قادر به جستجو در فضای آزمون نشود. مقدار  $v_{\max}$  معمولاً بین ۱۰٪ تا ۲۰٪ محدوده متغیرها انتخاب می شود. از طرف دیگر، انتخاب مناسب  $w$  باعث تکرار کمتر الگوریتم برای رسیدن به نقطه بهینه گردد. در الگوریتم PSO، معمولاً ضریب  $w$  از مقدار ۰/۹ تا مقدار ۰/۴ در طول اجرای الگوریتم و بر اساس رابطه زیر کاهش می یابد:

$$w = w_{\max} - \frac{w_{\max} - w_{\min}}{\text{iter}_{\max}} * \text{iter} \quad (6)$$

که  $\text{iter}_{\max}$  حداکثر تعداد تکرارها و  $\text{iter}$  شماره تکرار جاری است. انتخاب مناسب  $c_1$  و  $c_2$  در اجرای این الگوریتم برای رسیدن به نقطه بهینه بسیار حائز اهمیت است. در بسیاری از الگوریتمها، مقادیر  $c_1$  و  $c_2$  به گونه ای انتخاب می شوند که  $c_1 + c_2 \leq 4$  باشد. در این مقاله برای رسیدن به یک رابطه غیرخطی، که بتوان با استفاده از آن ضریب یکنواختی را به فراسنج های ذکر شده ربط داد، باید از تابع هدف مجموع مربعات خطا به صورت زیر استفاده کرد:

$$\phi(s) = \sum_{i=1}^n (CU_i(m) - CU_i(s))^2 \quad (7)$$

در رابطه ی فوق  $m$  و  $s$  به ترتیب نمایه ای برای مقادیر اندازه گیری شده و تخمین زده شده هستند. در این پژوهش از کل داده ها اندازه گیری شده، ۷۰ درصد به طور

است که بعضی از ذرات، موقعیت بهتری را نسبت به ذرات دیگر خواهند داشت. در نتیجه، بر طبق رفتار ذرات هجومی بقیه ذرات سعی می کنند موقعیت خود را به موقعیت ذرات برتر برسانند؛ در عین حال که موقعیت ذرات برتر نیز در حال تغییر می باشد. شایان ذکر است که تغییر موقعیت هر ذره بر اساس تجربه خود ذره در حرکات قبلی، و تجربه ی ذرات همسایه صورت می گیرد. در واقع هر ذره از برتری یا عدم برتری خود نسبت به ذرات همسایه، و همچنین نسبت به کل گروه آگاه است. برای شبیه سازی این رفتار، فراسنج های زیر تعریف می شود:

الف)  $Pbest$ : این فراسنج، بیانگر بهترین موقعیتی است که هر ذره در طول اجرای الگوریتم می تواند کسب کرده باشد.

ب)  $Gbest$ : این متغیر بهترین موقعیتی را که ذرات در طول اجرای الگوریتم کسب کرده اند، نشان می دهد.

ج) فراسنج شناخت فردی ( $c_1$ ): این کمیت باعث می شود که ذره به سمت بهترین نقطه ای که خود و همسایگانش پیدا کرده اند، حرکت کند. این ضریب، به عنوان ضریب تحریک به کار می رود.

د) فراسنج شناخت اجتماعی ( $c_2$ ): این ضریب که با عنوان ضریب تحریک نیز به کار می رود، باعث می شود که ذره به سمت بهترین نقطه ای که ذرات تا به حال کسب کرده اند حرکت کند.

ه) ضریب لختی ( $w$ ): این ضریب، باعث ایجاد تعادل در جستجوی محلی و جستجوی کلی در الگوریتم می شود.

و) لغزش ( $v$ ): این فراسنج، تغییر موقعیت ذره در محیط جستجو را نشان می دهد.

اکنون فرض کنید ذره  $g$  دارای بعد  $g$  باشد که به صورت زیر بیان شود:

$$X_j = [X_{j,1} \quad X_{j,2} \quad \dots \quad X_{j,g}] \quad (8)$$

و هر ذره دارای یک  $Pbest$  و تمام ذرات دارای یک  $Gbest$  به صورت زیر هستند:

$$Pbest_j = [pbest_{j,1} \quad pbest_{j,2} \quad \dots \quad pbest_{j,g}] \quad (9)$$

آن گاه تغییر موقعیت ذره بر اساس مقدار لغزش نیز به صورت زیر است:

## نتایج و بحث

ضریب یکنواختی توزیع آب کریستیانسن با استفاده از اطلاعات حاصل از آزمایش‌های صحرایی برای کلیه تیمارهای فشار و ارتفاع پایه‌ی آبپاش و آرایش شبکه آب-پاش‌ها تعیین گردید (جدول ۱).

جدول ۱- ضریب یکنواختی توزیع آب کریستیانسن (درصد) در تیمارهای مختلف فشار، ارتفاع پایه آبپاش و فواصل آبپاش.

فشار (اتمسفر)	ارتفاع پایه آبپاش (سانتی‌متر)	فواصل آبپاش بر حسب متر (S <sub>m</sub> × S <sub>l</sub> )						
		۹×۱۲	۹×۱۵	۱۲×۱۲	۱۵×۱۲	۱۲×۱۸	۱۵×۱۵	۱۵×۱۸
۳/۵	۶۰	۸۷/۵	۸۶/۲	۹۱/۰	۸۵/۸	۸۵/۰	۸۲/۵	۸۰/۲
	۱۰۰	۹۱/۱	۸۶/۵	۹۱/۶	۸۵/۸	۸۶/۳	۸۳/۵	۷۹/۵
۳	۶۰	۹۰/۲	۸۷/۶	۸۷/۵	۸۶/۱	۸۴/۹	۸۴/۱	۸۱/۲
	۱۰۰	۹۲/۲	۸۹/۶	۸۹/۹	۸۷/۱	۸۶/۷	۸۴/۶	۸۴/۸
۲/۵	۶۰	۸۵/۳	۸۲/۹	۸۵/۸	۸۱/۱	۷۴/۵	۷۹/۵	۷۳/۷
	۱۰۰	۸۶/۰	۸۴/۷	۸۶/۴	۸۳/۵	۸۲/۶	۸۰/۷	۷۷

پس از سعی و خطا در الگوریتم ازدحام جمعیت برای رسیدن به کمترین مقدار معادله‌ی (۱) مقدار تکرار برابر ۳۰۰، تعداد جمعیت اولیه برابر ۲۰۰، پارامتر شناخت فردی (c<sub>1</sub>) برابر ۲/۵، فراسنج شناخت جمعی (c<sub>2</sub>) برابر ۰/۲، و مقادیر بیشینه و کمینه ضریب لختی به ترتیب برابر با ۰/۹ و ۰/۴ در نظر گرفته شدند. با توجه به نتایج به دست آمده از الگوریتم نتیجه نهایی معادله به صورت زیر است:

(۱۲)

$$CU = 112.703P^{0.15} RH^{0.041} S_l^{-0.1478} S_m^{-0.093}$$

برای بررسی دقت معادله‌ی (۱۲) داده‌های به دست آمده از این معادله نسبت به خط ۴۵ درجه مقابل داده‌های اندازه‌گیری شده رسم گردید شکل (۱). برای رسم این نمودار از ۷۰ درصد داده‌ها استفاده شد و از ۳۰ درصد باقیمانده داده‌ها برای صحت‌سنجی رابطه‌ی (۱۲) استفاده شد: با توجه به شکل (۱) مشخص است که داده‌های تخمین‌زده شده به وسیله‌ی معادله‌ی (۱۲) پراکندگی خوبی نسبت به خط ۴۵ درجه از خود نشان می‌دهند که حاکی از آن است که معادله به دست آمده به وسیله‌ی الگوریتم ازدحام جمعیت از دقت خوبی برخوردار است.

تصادفی برای مرحله ی واسنجی و ۳۰ درصد باقیمانده برای مرحله‌ی اعتبارسنجی استفاده شده است. معادله-های زیر به منظور تخمین ضریب یکنواختی کریستیانسن از روی فشار کارکرد آبپاش، ارتفاع پایه‌ی آبپاش، فاصله‌ی آبپاش‌ها روی لوله‌های جانبی، و فاصله‌ی لوله-های جانبی از یکدیگر بررسی شده‌اند: (هزارجریبی و همکاران، ۱۳۹۰)

(۸)

$$CU = k_1 P^{k_2} RH^{k_3} S_l^{k_4} S_m^{k_5}$$

(۹)

$$CU = k_1 + aP^{k_2} + bRH^{k_3} + cS_l^{k_4} + dS_m^{k_5}$$

(۱۰)

$$CU = k_1 + aP^{k_2} + b(RH^{k_3} S_l^{k_4} S_m^{k_5})$$

(۱۱)

$$CU = k_1 + aP^{k_2} + bRH^{k_3} + c(S_l^{k_4} S_m^{k_5})$$

فشار بر حسب آتمسفر RH ارتفاع پایه‌ی آبپاش بر حسب سانتی‌متر S<sub>m</sub> و S<sub>l</sub> به ترتیب فاصله آبپاش‌ها روی لوله-های جانبی، و فاصله لوله‌های جانبی از یکدیگر است. k<sub>1</sub>، k<sub>2</sub>، k<sub>3</sub>، k<sub>4</sub>، k<sub>5</sub>، a، b، c و d اعداد ثابتی هستند که به کمک الگوریتم PSO بهینه خواهند شد. به منظور تعیین بهترین رابطه ی غیرخطی تخمین ضریب یکنواختی از روی فراسنج‌های مؤثر بر آن، روابط غیرخطی ارائه شده در فوق بررسی شوند. در این پژوهش برنامه‌ای در محیط نرم افزار Matlab برای شبیه‌سازی روش الگوریتم PSO تهیه شده و روابط غیرخطی مختلفی بررسی می‌شوند، سپس با محاسبه‌ی مقادیر ضریب تبیین (R<sup>2</sup>)، میانگین خطا و جذر میانگین مربعات خطا RMSE بین داده‌های تخمین زده و اندازه‌گیری‌شده، بهترین رابطه ی برای ضریب یکنواختی توزیع آب با استفاده از فراسنج‌های فشار کارکرد آبپاش، ارتفاع پایه‌ی آبپاش، فاصله‌ی آبپاش‌ها روی لوله‌های جانبی و فاصله‌ی لوله‌های جانبی از یکدیگر تعیین می‌گردد. هرچه مقدار R<sup>2</sup> به عدد ۱، مقادیر RMSE و انحراف معیار نسبت مقادیر محاسباتی به مشاهداتی به صفر، و میانگین نسبت مقادیر تخمین‌زده به اندازه‌گیری شده به عدد ۱ نزدیک‌تر باشند، دقت تخمین رابطه بالاتر خواهد بود.

## جدول ۲- بررسی آماری برای نشان دادن دقت معادله‌ی

(۱۲) با توجه به داده‌های صحت‌سنجی

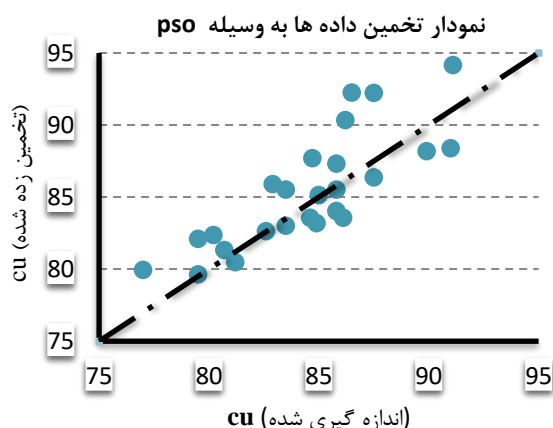
انحراف معیار	میانگین	نسبت	مقادیر	تخمین زده شده به	تخمین زده شده به	MAE	RMSE	R <sup>2</sup>	الگوریتم
نسبت مقادیر	مقادیر	تخمین زده شده به	تخمین زده شده به	اندازه گیری شده	اندازه گیری شده				
۰/۰۰۱	۰/۹۸	۱/۳۷	۲/۵۱۳	۹۱	PSO				

بالا بودن مقدار ضریب تبیین ( $R^2=91$ )، نزدیک بودن مقدار انحراف معیار نسبت مقادیر محاسباتی به مشاهداتی به صفر (۰/۰۰۱) و همچنین نزدیک بودن به یک (۰/۹۸) میانگین نسبت مقادیر محاسباتی به مشاهداتی به عدد ۱ بیانگر دقت بالای رابطه‌ی (۱۲) در تخمین ضریب یکنواختی است.

با توجه به حداکثر بودن توان P در رابطه‌ی (۱۲)، نتایج این پژوهش، نتایج پژوهش مونتر و همکاران (۲۰۰۳) مبنی بر این که فشار کارکرد، اصلی‌ترین عامل موثر بر توزیع آب در آبیاری بارانی است، تایید می‌کند. نمای کوچک ارتفاع پایه‌ی آب‌پاش،  $k_3$ ، در رابطه‌ی (۱۲) بیانگر عدم تاثیر محسوس افزایش ارتفاع پایه‌ی آب‌پاش (از ۶۰ به ۱۰۰ سانتی‌متر)، بر یکنواختی توزیع آب است. این دستاورد با نتایج حاصل از آزمایش‌های صحرائی کاملاً تطابق دارد. اضافه بر اینکه در عمل، حداقل ارتفاع پایه‌ی آب‌پاش به ارتفاع گیاه نیز بستگی دارد. به طور کلی در ارتفاع پایه‌ی آب‌پاش ۱۰۰ سانتی‌متر آب به شکل یکنواخت‌تری توزیع گردید، ضمن اینکه حداکثر یکنواختی توزیع آب در آرایش مربعی  $12 \times 12$  متر حاصل شد، که مشابه با نتایج حاصل از پژوهش اسی (۲۰۰۹) است. همچنین، مقایسه‌ی نتایج به دست آمده بیانگر آن است که در فشار کارکرد ۳ اتمسفر، آب با یکنواختی بالاتری توزیع می‌گردد.

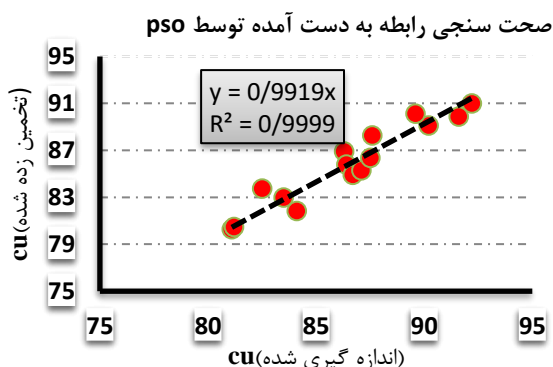
## نتیجه‌گیری

در این مقاله با استفاده از الگوریتم ازدحام جمعیت رابطه‌ی مطابق معادله‌ی (۱۲) استخراج گردید که از دقت خوبی برخوردار است. با توجه به شکل (۱) مشخص



شکل ۱- تغییرات مقادیر تعیین شده و تخمین زده به وسیله‌ی معادله‌ی (۱۲) نسبت به خط ۴۵ درجه.

حال برای بررسی دقیق‌تر این موضوع، ۳۰ درصد داده‌های باقیمانده را برای صحت‌سنجی داده‌های تخمین زده شده توسط مدل به دست آورده و بر روی شکل (۲) به صورت نمودار نمایش می‌دهیم:



شکل ۲- تغییرات مقادیر تعیین شده و تخمین زده شده به وسیله‌ی معادله‌ی (۱۲) برای صحت‌سنجی معادله.

با توجه به شکل (۲) مشخص است که معادله‌ی (۱۲)، ۳۰ درصد داده‌های واقعی را با دقت خوبی تخمین می‌زند که ضریب تبیین ( $R^2$ ) برابر با ۹۱ درصد، بیان‌کننده این موضوع است. همچنین برای نشان دادن دقت معادله‌ی (۱۲) بررسی‌های آماری از قبیل مقدار ضریب تبیین ( $R^2$ )، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین خطای مطلق (MAE) بین داده‌های تخمین زده شده و اندازه‌گیری شده، میانگین نسبت مقادیر تخمین زده به اندازه‌گیری شده و انحراف معیار نسبت مقادیر تخمین زده به اندازه‌گیری شده صورت گرفت.

ژنتیک. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۱۸(۴): ۱۲۹-۱۴۴.

5) 5- Bavi, A, Kashkouli, H, Vaelizade M, and Broumandnasab, S. 2006. Evaluation of the weather and hydraulic parameters on water distribution uniformity in sprinkler irrigation at Omidiyeh region. Conference on Management of irrigation and drainage networks. Shahid Chamran University. Ahvaz: 2-4 May 2006.

6) 6- Dabbous, B. 1962. A study of sprinkler uniformity evaluation method. Thesis submitted to Utah State University at Logan, Utah, in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science, Utah 84322.

7) 7- Hart, W.E, and Reynolds, W.N. 1965. Analytical design-sprinkler system. Transactions, American Society of Agricultural Engineers. 1:83-89.

8) 8- Jung, B. S., and Karney, B. W. 2006. Hydraulic optimization of transient protection devices using GA and PSO approaches, J. Water Resour. Plann. Manage, 44-52.

9) 9- Karmeli, D. 1997. Estimating sprinkler distribution pattern using ear regression. Transactions American Society of Agricultural Engineers, 21(4): 682-685.

10) 10-Keller, J, and Bliesner, R.D. 1990. Sprinkler and trickle irrigation. Van Nostrand Reinhold, New York, NY, USA. 652 p.

11) 11- Kumar, D. N. and Reddy, M. J. 2007. Ant colony optimization for multi-purpose reservoir operation. Water Resour Manag. 20(6): 279-292.

12) 12- Kennedy, J, and Eberhart R. C. 1995. Particle swarm optimization. Proc. IEEE Int Conf. on Neural Networks. Perth, WA, Australia, p, 1942-1942.

13) 13- Merriam J.I, Keller J. 1978. Farm irrigation system evaluation.3. Logan, Utah: Agricultural and Irrigation Engineering Department, Utah State University. 271 p.

14) 14- Montero J, Tarjuelo J.M, Carrion P. 2003. Sprinkler droplet size

شد که داده‌های تخمین زده شده به وسیله‌ی معادله‌ی (۱۲) پراکنده‌گی خوبی نسبت به خط ۴۵ درجه از خود نشان می‌دهند که حاکی از آن است معادله‌ی به دست آمده به وسیله‌ی الگوریتم ازدحام جمعیت از دقت خوبی برخوردار است. برای صحت‌سنجی معادله‌ی (۱۲)، ۳۰ درصد داده‌های باقیمانده‌ی واقعی به وسیله‌ی معادله به دست آمد و بر روی شکل (۲) نشان داده شد. با توجه به شکل (۲) مشخص گردید که معادله‌ی (۱۲)، ۳۰ درصد داده‌های واقعی را با دقت خوبی تخمین می‌زند، که ضریب تبیین ( $R^2$ ) ۹۱ درصد بیان‌کننده این موضوع است. همچنین، بررسی‌های آماری برای نشان دادن دقت معادله‌ی (۱۲) صورت گرفت از قبیل ضریب تبیین ( $R^2$ )، و جذر میانگین مربعات خطا RMSE، میانگین خطای مطلق MAE بین داده‌های تخمین زده و اندازه‌گیری شده، میانگین نسبت مقادیر تخمین زده به اندازه‌گیری شده و انحراف معیار نسبت مقادیر تخمین زده شده به اندازه‌گیری شده. بالا بودن ضریب تبیین ( $R^2=91$ )، نزدیک بودن به صفر ( $0/001$ ) مقدار انحراف معیار نسبت مقادیر محاسباتی به مشاهداتی به صفر، و همچنین نزدیک بودن به یک ( $0/98$ ) میانگین نسبت مقادیر محاسباتی به مشاهداتی به عدد ۱ نشان داد که رابطه‌ی (۱۲) از دقت بالایی در تخمین ضریب یکنواختی برخوردار است.

## منابع

۱) علیزاده، الف. ۱۳۸۱. طراحی سیستم‌های آبیاری. انتشارات دانشگاه امام رضا (ع). مشهد. ۶۵۶ صفحه.

۲) شیخ اسماعیلی، الف. ۱۳۸۲. بررسی یکنواختی توزیع آب و تلفات تبخیر و باد در سیستم‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آب‌پاش متحرک. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده کشاورزی. دانشگاه شهید چمران اهواز.

۳) شوربان م، و موسوی ج. ۱۳۸۵. برنامه‌ریزی بهینه تخصیص منابع آب در سطح حوضه آبریز با اهداف انتقال آب بین حوضه‌ای. دومین کنفرانس مدیریت منابع آب. دانشگاه صنعتی اصفهان. ۳ بهمن. ۸ صفحه.

۴) هزارجریبی، الف، دهقانی، الف، حسام م، و شریفان، ج. ۱۳۹۰. تخمین یکنواختی توزیع آب در آبیاری بارانی با استفاده از روش بهینه‌سازی الگوریتم

distribution measured with an optical spectrophluviometer. *Irrig. Sci.* 22: 47-56.

15) 15- Osei, F.K.B. 2009. Evaluation of sprinkler irrigation system for improved maize seed production for farmers in Ghana. A Thesis for M.sc.

16) 16- Vories E.D, Bernuth R.D. 1986. Single nozzle sprinkler performance in wind. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.*, 29: 1325-1330.