



دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد هجدهم، شماره چهارم، ۱۳۹۰

<http://jwfst.gau.ac.ir>

## تخمین یکنواختی توزیع آب در آبیاری بارانی با استفاده از روش بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک

\* ابوطالب هزارجریبی<sup>۱</sup>، امیراحمد دهقانی<sup>۲</sup>، موسی حسام<sup>۳</sup> و حسین شریفان<sup>۴</sup>

استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۸۹/۱/۱۸؛ تاریخ پذیرش: ۹۰/۷/۱۹

### چکیده

اندازه‌گیری ضریب یکنواختی توزیع آب (cu) در آبیاری بارانی ثابت از روی نتایج یک آب‌پاش منفرد با توجه به لحاظ هم‌پوشانی آب‌پاش‌های مجاور و در مقادیر مختلف فشار کارکرد (P)، ارتفاع پایه آب‌پاش (RH)، فاصله آب‌پاش‌ها روی لوله‌های جانبی ( $S_L$ ) و فاصله لوله‌های جانبی از یکدیگر ( $S_m$ )، کاری وقت‌گیر می‌باشد. تعیین بهترین ترکیب از پارامترهای فوق که بالاترین ضریب cu را حاصل نماید، همواره سئوالی بی‌جواب برای کاربران بوده است. در این پژوهش، مقادیر ضریب CU آب‌پاش مدل zb 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 ( $S_L \times S_m$ ) شامل  $9 \times 12$ ،  $9 \times 15$ ،  $12 \times 12$ ،  $15 \times 12$ ،  $12 \times 18$ ،  $15 \times 15$  و  $15 \times 18$  متر با داده‌های مشاهده‌ای در ایستگاه تحقیقات پنبه هاشم‌آباد گرگان اندازه‌گیری شدند. سپس به روش الگوریتم ژنتیک، برنامه‌ای در محیط برنامه‌نویسی نرم‌افزار Matlab تهیه و روابط مختلف برای تخمین مقدار cu با استفاده از پارامترهای ذکر شده مورد بررسی قرار گرفتند. با توجه به نتایج  $R^2$ ، RMSE و انحراف معیار نسبت مقادیر تخمین زده شده به اندازه‌گیری شده حاصل از محاسبات الگوریتم ژنتیک، معادله

\*مسئول مکاتبه: aboh10@yahoo.com

تخمین ضریب یکنواختی استخراج گردید.  $CU = 112.79 P^{0.1454} RH^{0.283} S_l^{-0.0973} S_m^{-0.138}$  (RMSE=۳/۵۷،  $R^2=0/92$ ) به‌عنوان مدل‌نهایی

**واژه‌های کلیدی:** ضریب یکنواختی، توزیع آب، آبیاری بارانی، الگوریتم ژنتیک

### مقدمه

با توجه به پایین بودن راندمان آبیاری در کشور، تأمین نیاز آبی کامل بخش کشاورزی به منابع آبی بیشتری نیاز دارد که برای شرایط اقلیمی ایران افزایش منابع آبی مشکل بوده و باید ارتقاء بهره‌وری آب را به‌عنوان مهم‌ترین راه مقابله با کم آبی در نظر گرفت. در این راستا گسترش سیستم‌های آبیاری بارانی به لحاظ توانمندی زیاد در توزیع آب با راندمان قابل توجه، راه‌کاری مطمئن برای استفاده بهینه از منابع آب می‌باشد. با هدف توسعه کمی، کیفیت کار یا عملکرد این‌گونه طرح‌ها نیز باید مورد توجه قرار گیرد. خوش‌بختانه همراه با توسعه روش‌های آبیاری بارانی در سال‌های اخیر در کشور تولید و ساخت وسایل و ابزار مختلف آن نیز رونق یافته است. یکی از این وسایلی که با تنوع تولید روبرو بوده و علاوه بر آن، شرکت‌های داخلی مشابه انواع خارجی را تولید می‌کنند، آب‌پاش است. با توجه به عدم ارائه مشخصات فنی و هیدرولیکی این آب‌پاشها لازم است تا با تغییرات ساده‌ای چون ایجاد تغییر فشار در سیستم، تغییر ارتفاع پایه‌های آب‌پاش، تنظیم فاصله آب‌پاش‌ها روی لوله جانبی و همچنین فاصله لوله‌های جانبی از هم (آرایش شبکه)، یکنواختی توزیع آب و عملکرد سیستم آبیاری بارانی را بهبود بخشید.

روابط مختلفی جهت اندازه‌گیری ضریب یکنواختی توزیع آب در سیستم آبیاری بارانی ثابت (که در آن آب‌پاش‌ها در زمان آبیاری تغییر مکان نمی‌دهند) شامل: ضریب یکنواختی به‌روش هاوایی (علی‌زاده، ۲۰۰۶)، ضریب یکنواختی کریستیانسن (ووریس و برنوٹ، ۱۹۸۶)، ضریب یکنواختی مریام و کلر (۱۹۷۸)، ضریب یکنواختی کارملی (۱۹۹۷) و ضریب یکنواختی هارت و رینولدز (۱۹۶۵) ارائه شده است، ولی دابوس (۱۹۶۲) به‌روش آماری نشان داد که ضریب یکنواختی توزیع آب کریستیانسن ( $CU^1$ ) در مقایسه با دیگر روابط برای اندازه‌گیری مقدار  $CU$  از اعتبار بیشتری برخوردار می‌باشد. ضمن این‌که سولومون (۱۹۷۹) و هیرمان (۱۹۸۳) نیز بر عمومی بودن و معمول

بودن کاربرد ضریب یکنواختی کریستیانسن تأکید نموده‌اند. براین اساس ضریب یکنواختی کریستیانسن در بسیاری از مطالعات (همچنین در این مطالعه) مبنای ارزیابی یکنواختی توزیع آب قرار می‌گیرد.

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 غیرخطی افزایش می‌یابد (افزایش فشار از ۳۵ متر به ۴۰ متر، ضریب یکنواختی توزیع آب را در مقایسه با افزایش فشار کارکرد از ۴۰ 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. فوکویی و همکاران (۱۹۸۰) نشان دادند که حداکثر ضریب یکنواختی توزیع آب در آرایش مثلثی و در فواصل کمتر آب‌پاش‌ها از هم حاصل می‌گردد. آهانکو (۲۰۱۰) میانگین ضریب یکنواختی توزیع آب یک آب‌پاش جدید را در شرایط مختلف برابر ۸۶ درصد به دست آورد.

اسی (۲۰۰۹) میانگین ضریب یکنواختی توزیع آب را در فواصل ۱۲ در ۱۲ و ۱۸ در ۱۸ متر به ترتیب برابر ۹۱ درصد و ۸۷ درصد به دست آورد. مونتر و همکاران (۲۰۰۳) نتیجه گرفتند که فشار کارکرد، اصلی‌ترین عامل سیستمی 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. تحقیقات مشابهی نیز در این ارتباط توسط دکس و همکاران (۲۰۰۶)، و نسب و همکاران (۲۰۰۷) انجام گردید.

اندازه‌گیری مقدار  $CU$  با استفاده از نتایج یک آب‌پاش منفرد با توجه به هم‌پوشانی نمودن آب‌پاش‌های مجاور صورت می‌گیرد که گاهی همراه با استفاده از نرم‌افزارهای خاصی است، به دلیل تخصصی بودن از عهده زارعین و کاربران خارج بوده و کار وقت‌گیری خواهد بود. ضمن این‌که مقدار  $CU$  حاصل از هر آب‌پاشی در مقادیر مختلف فشار کارکرد آب‌پاش ( $P$ )، ارتفاع پایه آب‌پاش ( $R_H$ )، فاصله آب‌پاش‌ها روی لوله‌های جانبی ( $S_L$ ) و فاصله لوله‌های جانبی از یکدیگر ( $S_m$ ) تغییر می‌یابد. بنابراین ضروری است در وضعیت‌های مختلف از پارامترهای ذکر شده که تعداد آزمایشات را نیز به تعداد بسیار زیاد افزایش می‌دهد، مقدار  $CU$  اندازه‌گیری شود تا شرایط متناسب برای حصول حداکثر  $CU$  از هر آب‌پاش جهت استفاده 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 پایه آب‌پاش،  $S_1$  و  $S_m$  تخمین بزند، ضروری به نظر می‌رسد. امروزه استفاده از روش‌های نوین هوشمند به منظور پیش‌بینی و بهینه‌سازی مورد توجه محققان قرار گرفته است. از میان الگوریتم‌های هوشمند، روش جستجوی ژنتیکی که ایده آن از سیستم تکامل طبیعی موجودات زنده (ژن و کروموزوم) برگرفته شده، به‌عنوان روش نوین بهینه‌سازی مدل‌های غیر خطی بسیار مناسب بوده و کاربردهای فراوانی دارد (هاوپوت و هاوپوت، ۱۹۹۸؛ جن و چنگ، ۲۰۰۷). روش جستجوی ژنتیک تلاشی برای شبیه‌سازی و به‌کارگیری برخی خصوصیات و توانایی‌های تکامل در بهینه‌سازی می‌باشد. الگوریتم جستجوی ژنتیکی روشی است که به‌صورت موازی و چند جانبه از نقاط مختلفی از فضا حل، جستجو را آغاز می‌کند. این روش در سال ۱۹۷۵ میلادی توسط جان هولند (گولدرگ، ۲۰۰۷) معرفی شد و بعد از آن به‌طور وسیع در مسائل مهندسی، بویژه در مسائل بهینه‌سازی شبکه‌های لوله، سازه‌های ساختمانی، واسنجی مدل‌های بارش- روان‌آب و آب‌های زیرزمینی مورد استفاده قرار گرفت (دهقانی و همکاران، ۲۰۰۷؛ هارونی و همکاران، ۱۹۹۶)، ولی تا کنون پژوهش مشابهی در راستا تخمین یک‌نواختی توزیع آب در روش‌های مختلف آبیاری با استفاده از شبیه‌سازی روش الگوریتم ژنتیک مشاهده نشد و این پژوهش اولین پژوهشی است که در این خصوص صورت می‌پذیرد.

بنابراین هدف از انجام این پژوهش، تعیین بهترین رابطه غیرخطی تخمین ضریب یک‌نواختی توزیع آب در آبیاری بارانی برای آب‌پاش مدل zB ساخت داخل کشور از روی پارامترهای مؤثر بر آن (شامل فشارهای کاکرد ۲۵، ۳۰ و ۳۵ متر، ارتفاع پایه آب‌پاش ۶۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری، و فواصل مختلفی از آب‌پاش‌ها)، با استفاده از الگوریتم ژنتیک است.

## مواد و روش‌ها

این طرح در ایستگاه تحقیقات کشاورزی هاشم‌آباد شهر گرگان وابسته به موسسه تحقیقات پنبه کشور در حدود ۱۱ کیلومتری شمال غربی گرگان اجرا شد. این محل در عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۵۱ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۱۶ دقیقه شرقی واقع است. در این پژوهش از یک موتورپمپ لیستر گازوئیلی جهت تأمین فشار استفاده گردید. به لوله رانش پمپ یاد شده یک لوله فرعی به طول ۸۴ متر از جنس آلومینیوم به قطر ۳ اینچ متصل شد. بر روی این لوله که انتها آن با یک

درپوش انتهایی مسدود شده بود، آبپاش مدل zb ساخت داخل کشور به فاصله ۴۸ متری انتها لوله بر روی پایه آبپاش مورد نظر نصب گردید. برای تنظیم و کنترل فشار از دو فشارسنج یکی بر روی لوله رانش پمپ و دیگری بر روی آبپاش استفاده شد. فشار کارکرد آبپاش از طریق شیر فلکه‌ای که بر روی لوله رانش پمپ قرار داشت، تنظیم گردید. در ضمن آب مازاد بر نیاز یک آبپاش و در حال جریان در لوله فرعی از طریق آبپاش‌هایی که در انتها لوله فرعی و در فاصله ۳۵ متری از آبپاش تحت مطالعه قرار داده شده بودند، خارج می‌شد. در نتیجه آب خروجی از آبپاش‌های انتهایی هیچ‌گونه هم‌پوشانی با محدوده پاشش آبپاش تحت مطالعه ایجاد نمی‌کرد. در این پروژه برای تعیین شدت پاشش از لیوان‌های آلومینیومی لبه تیز به قطر  $10/68$  سانتی‌متر و در یک شبکه مربعی شکل به ابعاد  $2 \times 2$  متر در اطراف آبپاش تحت مطالعه استفاده گردید. باید توجه داشت که در زمان جمع‌آوری آب در داخل لیوان‌ها، سطح لیوان‌ها در طی آزمایش کاملاً افقی باشد. با توجه به حداکثر شعاع پاشش آبپاش در تیمارهای فشار موردنظر تعداد  $256$  قوطی در یک سطح مربعی شکل تا فاصله ۱۶ متری در اطراف آبپاش چیده شد. بنابراین، لیوان‌های جمع‌کننده آب در ۱۶ ردیف به موازات لوله فرعی قرار گرفتند به گونه‌ای که فاصله لیوان‌ها بر روی ردیف‌ها و همچنین فاصله ردیف‌ها از هم ۲ متر در نظر گرفته شد. به این ترتیب هر لیوان در مرکز یک شبکه  $2 \times 2$  متری قرار گرفت. برای تعیین حجم آب داخل لیوان‌ها از یک استوانه مدرج استفاده گردید. دبی آبپاش نیز به طریق حجمی و زمان تعیین شد. از هنگام روشن شدن موتور تا ثابت شدن دبی و تنظیم فشار آبپاش از طریق شیر فلکه لوله رانش، سطلی بر روی آبپاش قرار داده شده و به محض ثابت شدن فشار، سطل از روی آبپاش برداشته و به مدت تقریبی ۱ تا  $1/5$  ساعت آزمایش ادامه یافت. در صورت افزایش سرعت باد از مرز ۲ متر در ثانیه، آزمایش متوقف می‌گردید. با توجه به نزدیکی محل آزمایش به ایستگاه هواشناسی هاشم آبادگران ( $200$  متری) از آمار باد این ایستگاه استفاده گردید. در این پروژه فشار نازل در نقطه‌ای که جت آب در نازل اصلی (نازل بزرگ‌تر) فشرده می‌شود از طریق یک فشارسنج همراه با یک لوله پیتو اندازه‌گیری شد. بعد از ۱ تا  $1/5$  ساعت پاشش آب در داخل لیوان‌ها، پمپ خاموش و حجم آب داخل هر لیوان قرائت گردید. سپس حجم آب داخل هر لیوان با توجه به قطر لبه بالایی لیوان به عمق معادل تبدیل شد و در نهایت با فرض یکسان بودن آبپاش‌ها و لوله‌های فرعی و مشابه‌سازی عمق آب داخل لیوان‌ها در حالت‌های مختلف از  $S_1$  و  $S_m$ ، ضریب یک‌نواختی توزیع آب کریستیانسن برای تیمارهای مختلف ارتفاع پایه آبپاش و فشار کارکرد آبپاش اندازه‌گیری گردید. لازم به ذکر است که

برای منظور نمودن اثر تبخیر بر عمق آب داخل لیوان‌ها تعداد ۷ لیوان حاوی ۵، ۱۰، ۳۰، ۵۰ و ۶۰ میلی‌متر آب در هر نوبت آزمایش در مجاورت طرح قرار داده شد و در صورت تبخیر، مقدار آب تبخیر شده با توجه به عمق آب باقی‌مانده در این لیوان‌ها و لیوان‌های تحت آزمایش به لیوان‌های تحت آزمایش اضافه گردید.

در این پژوهش مقادیر CU در ۳ تیمار مختلف فشار کارکرد آبپاش (۲/۵، ۳ و ۳/۵ اتمسفر)، ۲ تیمار ارتفاع پایه آبپاش (۶۰ و ۱۰۰ سانتی‌متر) و ۷ تیمار آرایش شبکه آبپاش‌ها ( $S_m \times S_l$ ) شامل  $9 \times 12$ ،  $9 \times 15$ ،  $12 \times 12$ ،  $12 \times 18$ ،  $15 \times 15$ ،  $15 \times 18$  و  $18 \times 15$  متر اندازه‌گیری گردید. جهت اندازه‌گیری ضریب یکنواختی کریستیانسن (ووریس و برنوت، ۱۹۸۶) نیز رابطه ۱ به شکل زیر مورد استفاده قرار گرفت.

$$CU = 1 - \sum_{i=1}^n \frac{|x_i - \bar{x}|}{n \bar{x}} \quad (1)$$

در رابطه فوق  $x_i$  عمق آب معادل جمع شده در هر لیوان،  $\bar{x}$  میانگین عمق آب معادل جمع شده در لیوان‌ها و  $n$  تعداد کل لیوان‌ها است.

روش الگوریتم ژنتیک: مراحل تکثیر، جهش و تبادل ژنی بر روی جمعیت اولیه تولید شده صورت می‌گیرد. به این منظور ابتدا تعداد پاسخ در محدوده تغییر پارامترها حدس زده می‌شود و با تبدیل این اعداد به زنجیره‌ای از اعداد (به‌عنوان مثال در سیستم دودویی)، مقادیر تابع هدف (اختلاف مقادیر اندازه‌گیری شده و تخمین زده شده ضریب یکنواختی توزیع آب) به‌ازای این مقدار پاسخ به‌دست می‌آید؛ آنگاه پس از انتخاب زنجیره‌های با تابع هدف کمینه و با برگزیدن درصد احتمال ترکیب مناسب، مکان‌هایی از تابع زنجیره‌ها برای رد و بدل کردن اطلاعات انتخاب می‌شود. در این پژوهش از ترکیب نقطه‌ای برای ترکیب زنجیره‌های صفر و یک استفاده شده است. مجدداً تابع هدف به‌ازای جمعیت جدید محاسبه شده و این روال آنقدر تکرار می‌شود تا تمامی جواب‌ها به سمت نقطه بهینه تخمین برای پارامترهای ضریب یکنواختی معرفی می‌گردد. عامل تعیین‌کننده در برازش و ارزیابی کروموزوم‌ها، تابع برازش است که براساس میزان تطابق با ضریب یکنواختی اندازه‌گیری شده تعریف می‌گردد. در ادامه مراحل مهم در روش الگوریتم ژنتیک در برنامه توسعه یافته بیان می‌شود.

الف- کدبندی: الگوریتم ژنتیک به کار رفته در این مطالعه بر اساس یک سیستم دودویی شامل (۰ و ۱) می باشد. به طوری که پارامترهای مدل به مبنای ۰ و ۱ انتقال یافته، به عبارت دیگر رمزدار می شوند. چنانچه محدوده تغییرات هر پارامتر (a,b) باشد و میزان دقت اعداد ( $\Delta ni$ ) برابر با ۰/۰۰۰۱ باشد می توان از رابطه (۲) تعداد ژن ها (ni) را محاسبه نمود.

$$\psi^{ni} \geq \left( \frac{b_i - a_i}{\Delta n_i} + 1 \right) \quad a_i \leq x_i \leq b_i \quad (2)$$

در رابطه فوق i شماره تعداد پارامترها و x پارامتری است که بهینه خواهد شد.

ب- تشکیل جامعه: به منظور تشکیل جامعه، پس از تعیین طول رشته یا ژن های مربوط به هر پارامتر، لازم است طول کروموزوم جامعه به صورت  $n_i = \sum_{i=1}^m n_i$  تعیین شود (در رابطه فوق m حداکثر مقدار i می باشد).

ج- تابع ارزش: معیار انتخاب کروموزوم ها برای جامعه جدید از جامعه اولیه، تابع ارزش می باشد. به این منظور در این مطالعه از تابع مجموع مربعات خطا به صورت زیر استفاده شده است. در رابطه (۳)  $CU_i(m)$  مقادیر اندازه گیری شده و  $CU_i(s)$  مقادیر تخمین زده شده ضریب یک نواختی توزیع آب توسط رابطه پیشنهادی است.

$$\phi(s) = \sum_{i=1}^n (CU_i(m) - CU_i(s))^2 \quad (3)$$

در رابطه فوق m و s به ترتیب اندیسی برای مقادیر اندازه گیری شده و تخمین زده شده می باشند.

د- مرحله ترکیب: به منظور تعیین مقادیر بهینه، دو کروموزوم از مجموعه قبل انتخاب و کروموزوم های جدید تشکیل می گردند. در این پژوهش عمل دورگه شدن با یک موقعیت برش در نظر گرفته شده است.

ه- مرحله جهش: به منظور افزایش امکان دستیابی به نقاط بهینه مطلق، باید تنوع در جامعه افزایش یابد. نحوه تغییر ژن ها بستگی به فضا تعریف شده الگوریتم دارد. از آنجایی که در این پژوهش از سیستم دودویی استفاده شده است، بنابراین در صورتی که ژن حاوی مقدار صفر باشد به یک تبدیل می گردد و برعکس. انتخاب ژن ها در مجموعه براساس میزان جهش انجام می شود و مقدار بهینه آن

بستگی به نوع تابع و اندازه جامعه دارد. به‌منظور توزیع یکنواخت در انتخاب ژن‌ها، ابتدا کروموزوم مربوطه و سپس ژن مورد نظر به‌صورت تصادفی انتخاب می‌شوند.

در این پژوهش از کل داده‌ها، ۸۰ درصد برای مرحله واسنجی و ۲۰ درصد بقیه برای مرحله آزمون مدل مورد استفاده قرار گرفته است. مقادیر حداقل و حداکثر داده‌ها در بخش واسنجی قرار گرفته و مقادیر نزدیک به حداکثر و حداقل داده‌ها نیز در بخش آزمون مدل گنجانده شده است. معادلات زیر به‌منظور تخمین ضریب یک‌نواختی کیستیانسن از روی فشار کارکرد آب‌پاش، ارتفاع پایه آب‌پاش، فاصله آب‌پاش‌ها روی لوله‌های جانبی و فاصله لوله‌های جانبی از یکدیگر مورد بررسی قرار گرفتند:

$$CU = k_1 P^{k_2} RH^{k_3} S_1^{k_4} S_m^{k_5} \quad (4)$$

$$CU = k_1 + aP^{k_2} + bRH^{k_3} + cS_1^{k_4} + dS_m^{k_5} \quad (5)$$

$$CU = k_1 + aP^{k_2} + b(RH^{k_3} S_1^{k_4} S_m^{k_5}) \quad (6)$$

$$CU = k_1 + aP^{k_2} + bRH^{k_3} + c(S_1^{k_4} S_m^{k_5}) \quad (7)$$

که در آن، P فشار بر حسب اتمسفر،  $R_H$  ارتفاع پایه آب‌پاش بر حسب سانتی‌متر،  $S_1$  و  $S_m$  به‌ترتیب فاصله آب‌پاش‌ها روی لوله‌های جانبی و فاصله لوله‌های جانبی از یکدیگر است.  $k_1, k_2, k_3, k_4, k_5, a, b, c, d$  اعداد ثابتی هستند که به‌کمک الگوریتم ژنتیک بهینه خواهند شد.

به‌منظور تعیین بهترین رابطه غیرخطی تخمین ضریب یک‌نواختی از روی پارامترهای مؤثر بر آن، روابط غیرخطی ارائه شده در فوق مورد بررسی قرار می‌گیرند. در این پژوهش برنامه‌ای در محیط برنامه‌نویسی نرم‌افزار Matlab برای شبیه‌سازی روش الگوریتم ژنتیک تهیه شده و روابط غیرخطی مختلفی مورد بررسی قرار می‌گیرند. سپس با محاسبه مقادیر ضریب تبیین ( $R^2$ )، میانگین خطا و جذر میانگین مربعات خط  $RMSE^1$  بین داده‌های تخمین زده شده و اندازه‌گیری شده، بهترین رابطه تعیین ضریب یک‌نواختی توزیع آب با استفاده از پارامترهای فشار کارکرد آب‌پاش، ارتفاع پایه آب‌پاش، فاصله آب‌پاش‌ها روی لوله‌های جانبی و فاصله لوله‌های جانبی از یکدیگر تعیین می‌گردد. هرچه مقدار  $R^2$  به عدد ۱، مقادیر  $RMSE$  و انحراف معیار نسبت مقادیر محاسباتی به مشاهداتی به صفر و میانگین نسبت مقادیر تخمین زده شده به اندازه‌گیری شده به عدد ۱ نزدیک‌تر باشند، دقت تخمین رابطه بالاتر خواهد بود.

1- Root Mean Square Error



نتایج و بحث

مقدار ضریب یکنواختی توزیع آب کریستیانسن با استفاده از اطلاعات حاصل از آزمایش‌های صحرائی برای کلیه تیمارهای فشار و ارتفاع پایه آبپاش و آرایش شبکه آبپاش‌ها اندازه‌گیری گردید (جدول ۱).

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

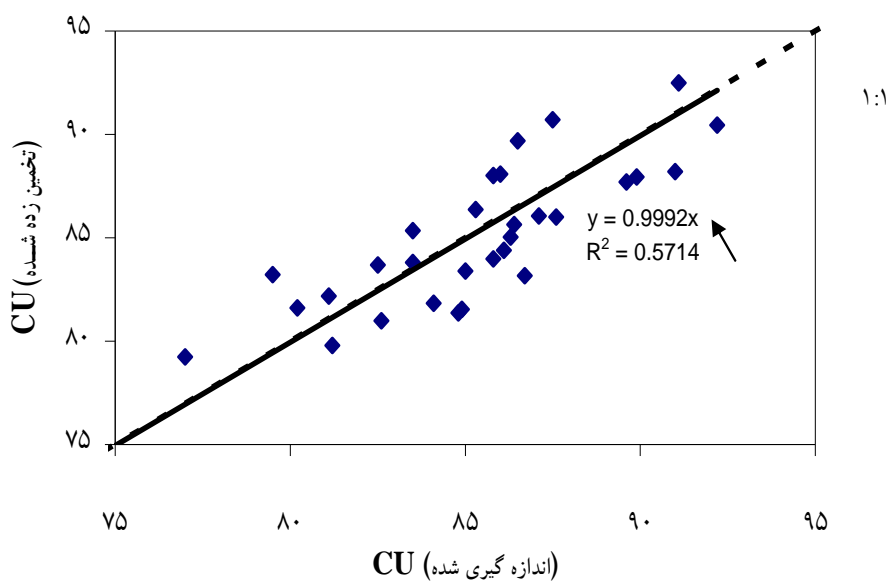
فواصل آبپاش بر حسب متر (S <sub>m</sub> × S <sub>l</sub> )							ارتفاع پایه آبپاش	فشار
۹×۱۲	۹×۱۵	۱۲×۱۲	۱۵×۱۲	۱۲×۱۸	۱۵×۱۵	۱۵×۱۸	(سانتی‌متر)	(اتمسفر)
۸۷/۵	۸۶/۲	۹۱/۰	۸۵/۸	۸۵/۰	۸۲/۵	۸۰/۲	۶۰	۳/۵
۹۱/۱	۸۶/۵	۹۱/۶	۸۵/۸	۸۶/۳	۸۳/۵	۷۹/۵	۱۰۰	
۹۰/۲	۸۷/۶	۸۷/۵	۸۶/۱	۸۴/۹	۸۴/۱	۸۱/۲	۶۰	۳
۹۲/۲	۸۹/۶	۸۹/۹	۸۷/۱	۸۶/۷	۸۴/۶	۸۴/۸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

پس از سعی و خطا در مدل بهینه الگوریتم ژنتیک، تعداد جمعیت برابر ۲۰۰، درصد احتمال جهش برابر ۰/۰۰۵، درصد احتمال ترکیب برابر ۰/۸۵ و درصد احتمال انتخاب برابر ۰/۷ در نظر گرفته شدند. با توجه به نتایج  $R^2$ ، RMSE و انحراف معیار نسبت مقادیر اندازه‌گیری شده به تخمین زده شده حاصل از محاسبات الگوریتم ژنتیک، معادله زیر به‌عنوان مدل نهایی رابطه ضریب یکنواختی استخراج گردید:

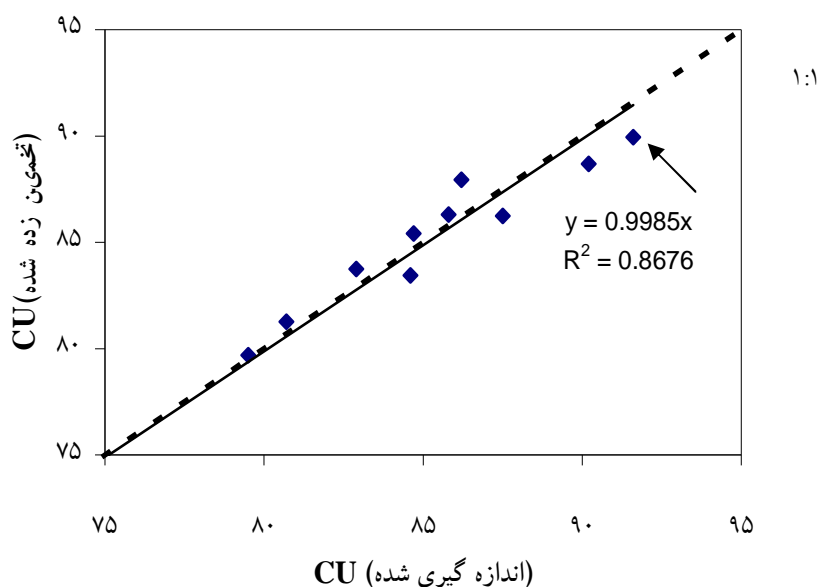
$$CU = 112.79P^{0.1454}RH^{0.0383}S_l^{-0.0973}S_m^{-0.138} \quad (8)$$

در شکل‌های ۱ و ۲، نتایج مقایسه ضریب یکنواختی تخمین زده شده از رابطه (۸) و ضریب یکنواختی اندازه‌گیری شده در مرحله واسنجی و آزمون ارائه شده است. مشاهده می‌شود که خطا این مرحله بسیار کم بوده و مقادیر به‌خوبی حول خط ۴۵ درجه پراکنده شده‌اند (با توجه به ضریب ۰/۹۹۹۲ در معادله  $x$   $y=0/9992$ ). برای سنجش کارایی رابطه از ضریب تعیین،  $R^2$ ، مجذور میانگین مربعات خطا، RMSE، میانگین و انحراف معیار نسبت مقادیر تخمین زده شده به اندازه‌گیری شده استفاده شده است. مقادیر  $R^2$

RMSE میانگین و انحراف معیار نسبت مقادیر محاسباتی به مشاهداتی برای داده‌های آزمون در جدول ۲ ارائه شده اند. بالا بودن مقدار ضریب تبیین ( $R^2 = 0/92$ )، نزدیک بودن به صفر ( $0/014$ ) مقدار انحراف معیار نسبت مقادیر محاسباتی به مشاهداتی به صفر و همچنین نزدیک بودن به یک ( $0/99$ ) میانگین نسبت مقادیر محاسباتی به مشاهداتی به عدد ۱ بیانگر دقت بالای رابطه ۸ در تخمین ضریب یک‌نواختی است.



شکل ۱- تغییرات مقادیر اندازه‌گیری شده و تخمین زده شده توسط رابطه پیشنهادی ۸ برای داده‌های واسنجی.



شکل ۲- تغییرات مقادیر اندازه‌گیری شده و تخمین زده شده با رابطه پیشنهادی ۸ برای داده‌های آزمون.

جدول ۲- مقادیر  $R^2$ ،  $RMSE$ ، میانگین و انحراف معیار نسبت مقادیر اندازه‌گیری شده و تخمین زده شده برای داده‌های آزمون.

$R^2$	$RMSE$	میانگین نسبت مقادیر اندازه‌گیری شده و تخمین زده شده	انحراف معیار نسبت مقادیر اندازه‌گیری شده و تخمین زده شده
۰/۹۲	۳/۵۷	۰/۹۹	۰/۰۱۴

با توجه به حداکثر بودن توان  $P$  در رابطه (۸)، نتایج این پژوهش، نتایج پژوهش مونتر و همکاران (۲۰۰۳) مبنی بر این که فشار کارکرد، اصلی‌ترین عامل سیستمی موثر بر توزیع آب در آبیاری بارانی است را تایید می‌کند. نما کوچک ارتفاع پایه آب‌پاش،  $k_3$ ، در رابطه ۸ بیانگر عدم تاثیر محسوس افزایش ارتفاع پایه آب‌پاش (از ۶۰ به ۱۰۰ سانتی‌متر)، بر یکنواختی توزیع آب است. این نتیجه با نتایج حاصل از آزمایش‌های صحرائی کاملاً تطابق دارد. اضافه بر این‌که به این‌که در عمل، حداقل ارتفاع پایه آب‌پاش به ارتفاع گیاه نیز بستگی دارد. به‌طورکلی در ارتفاع پایه آب‌پاش ۱۰۰ سانتی‌متر، آب به شکل یکنواخت‌تری توزیع گردید، ضمن این‌که حداکثر یکنواختی توزیع آب در آرایش

مربعی ۱۲×۱۲ متر، حاصل شد که مشابه با نتایج حاصل از پژوهش اسی (۲۰۰۹) است. همچنین مقایسه نتایج به دست آمده بیانگر آن است که در فشار کارکرد ۳ اتمسفر، آب با یک‌نواختی بالاتری توزیع می‌گردد. مطابق با نتایج پژوهش کلر و بلیسنر (۱۹۹۰)، در این پژوهش نیز با توجه به کاهش یک‌نواختی توزیع آب در فشارهای بالا و پایین که به ترتیب ناشی از ایجاد ذرات پودری و درشت است، فشار ۳ اتمسفر در پایه آب‌پاش ۱۰۰ سانتی‌متری یک فشار پیشنهادی برای حصول حداکثر یک‌نواختی توزیع آب می‌باشد. اگرچه این نتایج مغایر با نتایج پژوهش باوی و همکاران (۲۰۰۶) است که نشان دادند با افزایش فشار کارکرد، ضریب یک‌نواختی توزیع آب به صورت غیرخطی افزایش می‌یابد، ولی در حصول حداکثر ضریب یک‌نواختی توزیع آب در آرایش مربعی با پژوهش یاد شده دارای تشابه است.

به طور کلی یک‌نواختی توزیع آب با کاهش فواصل آب‌پاش‌ها افزایش می‌یابد ولی به دلیل افزایش تعداد لوله‌ها و آب‌پاش‌های مورد نیاز طرح ضروری است تا در این خصوص تحلیلی اقتصادی صورت گیرد. (در فواصل بیشتر آب‌پاش‌ها هر چند به لوله‌ها و آب‌پاش‌های کمتری نیاز می‌باشد ولی کاهش راندمان آبیاری به دلیل کاهش یک‌نواختی توزیع آب به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک ممکن است از نظر اقتصادی به صرفه نباشد). همچنین هرچند در آرایش ۱۲×۱۲ متر حداکثر یک‌نواختی توزیع آب حاصل گردید، ولی از آنجا که با افزایش فاصله بین آب‌پاش‌ها از حد ۱۲×۱۲ متر یک‌نواختی توزیع آب در حد قابل قبولی باقی می‌ماند (بیشتر از ۸۰ درصد) در اینجا نیز باید از طریق تحلیل اقتصادی به صرفه‌ترین آرایش تعیین گردد. با توجه به اینکه تاکنون هیچ پژوهشی به منظور تخمین یک‌نواختی توزیع آب در روش‌های مختلف آبیاری با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک صورت نگرفته است، بنابراین امکان مقایسه نتایج به دست آمده از این پژوهش با تحقیقات دیگر میسر نشده است. با توجه به این که هر نوع آب‌پاش پروفیل پاشش خاصی دارد که به اندازه نازل و فشار کارکرد بستگی دارد، بنابراین لازم به ذکر است که نتایج این پژوهش تنها برای آب‌پاش مدل zB ساخت داخل کشور قابل استفاده بوده و ضمن امتناع از تعمیم آن به دیگر آب‌پاش‌ها باید برای هر آب‌پاش معادله‌ای جداگانه و مشابه با معادله (۸) به دست آورد. پیشنهاد می‌گردد که فشارهای کمتر از ۲/۵ اتمسفر و بیشتر از ۳/۵ اتمسفر نیز مورد مطالعه قرار گیرند.

منابع

1. Ahaneku, I.E. 2010. Performance evaluation of portable sprinkler irrigation system in Ilorin, Nigeria. *Indian Journal of Science and Technology*. 3:7.857-853.
2. Alizadeh, A. 2006. Sprinkler irrigation systems. Emam Reza University Press. p: 63-66 (In Persian)
3. 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 omidiye region. Conference on management of irrigation and drainage networks. Shahid Chamran University. Ahvaz: 2-4 May 2006 (In Persian). <http://www.civilica.com/paper.idnc01-096.html>
4. 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.
5. Dehghani, A.A., Suzuki, K., Hashemi, F., and Salmatian, A.S. 2007. Estimation of the discharge coefficient of canal radial gates using artificial neural network. IAHR-International Congress on Water Engineering, Venice, Italy. 1st-6th July 2007. p 221-230.
6. Dukes, M.D., Haley, M.B., and Hanks, S.A. 2006. Sprinkler irrigation and soil moisture uniformity. 27th annual international irrigation show, San Antonio, TX, USA. p: 446-460.
7. Fukui, Y., Nakanishi, K., and Okamura, S. 1980. Computer evaluation of sprinkler irrigation uniformity. *Irrigation Science*. 2:1. 23-32
8. Gen, M., and Cheng, R. 2007. Genetic Algorithms and Engineering Design. John Wiley and Sons. Published Online: 12 NOV. 2007. Print ISBN: 9780471127413, DOI: 10.1002/9780470172254, Pp: 1-41.
9. Goldberg, E.D. 2007. Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning. Goldberg, de Publisher: Addison Wesley. 1-439.
10. Harrouni, K., Ouazar, D., and Walters, A.H.D. 1996. Groundwater Optimization and Parameter Estimation by Genetic Algorithm and Dual Reciprocity Boundary Element Method. *Engineering Analysis with Boundary Elements*, 18: 287-296.
11. Hart, W.E, and Reynolds, W.N. 1965. Analytical design-sprinkler system. *Transactions, American Society of Agricultural Engineers*. 1:83-89.
12. Haupt, R.L., and Haupt, S.E. 1998. Practical Genetic Algorithm, John Wiley and Sons, Inc., New York, Pp: 27-201.
13. Heerman, D.F. 1983. Design and operation of farm irrigation system. *American Society of Agricultural Engineers*. Pp: 591-598.
14. Karmeli., D. 1997. Estimating sprinkler distribution pattern using ear regression. *Transactions American Society of Agricultural Engineers*. 21:4 682-685.

15. Keller, J., and Bliesner, R.D. 1990. Sprinkler and trickle irrigation. Van Nostrand Reinhold, New York, NY, USA. 652 p.
16. Merriam, J.I., and Keller, J. 1978. Farm irrigation system evaluation.3. Logan, Utah: Agricultural and Irrigation Engineering Department, Utah stat University. 271 p.
17. Montero, J., Tarjuelo, J.M., and Carrion, P. 2003. Sprinkler droplet size distribution measured with an optical spectropuviometer. Irrig. Sci. 22: 47-56.
18. Nasab, S.B., Baradarane-Hezave, F., and Behzad, M. 2007. Technical evaluation of sprinkler irrigation systems in Arak. Iran. J., Appl. Sci. 7: 21. 3338-3341.
19. OSEI, F.K.B. 2009. Evaluation of sprinkler irrigation system for improved maize seed production for farmers in Ghana. A Thesis for M.sc. March: <http://dspace.knust.edu.gh/dspace/bitstream/123456789/1939/1/fulltxt.pdf>
20. Solomon, K. 1979. Variability of sprinkler coefficient of uniformity test results. Transactions, ASAE, 22: 1078-1080.
21. Vories, E.D., and R.D., von Bernuth, 1986. Single nozzle sprinkler performance in wind. Trans. Am. Soc. Agric. Eng., 29: 1325-1330.



Gorgan University of Agricultural  
Sciences and Natural Resources

*J. of Water and Soil Conservation, Vol. 18(4), 2011*  
<http://jwfst.gau.ac.ir>

## **Estimation of the water distribution uniformity in sprinkler irrigation by using Genetic Algorithm Method**

**A.Hezarjaribi<sup>1</sup>, A.A. Dehghani<sup>2</sup>, M. Hesam<sup>3</sup> and H. Sharifan<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Assistant Prof., Dept. of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, <sup>2</sup>Assistant Prof., Dept. of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, <sup>3</sup>Assistant Prof., Dept. of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, <sup>4</sup>Assistant Prof., Dept. of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Received: 2010-4-7; Accepted: 2011-10-11

### **Abstract**

With sprinkling irrigation, determining water distribution uniformity of coefficient (cu) from a single sprinkler is time consuming due to overlap vsprinkling by neighboring sprinklers and also different pressure heads (P), riser heads (RH), sprinkler gaps on laterals (Sl) and the distance between laterals (Sm). The best combination of the above parameters for maximum CU, is still unknown for applicators. In this research, CU quantities of zb model sprinkler (made in Iran) were measured at Hashemabad cotton research station of Gorgan under 3 different pressure heads (2.5, 3 and 3.5 atm), 2 riser heads (60 and 100 cm) and 7 sprinkler ( $S_l \times S_m$  including 9×12, 9×15, 12×12, 15×12, 12×18, 15×15, 15×18m) arrangements. Different equations for genetic algorithm using mentioned parameters were evaluated using a written program with Matlab software. Based on  $R^2$ , RMSE and standard deviations obtained between estimated and measured data using genetic algorithm, the equation of  $CU = 112.79P^{0.1454} RH^{0.0383} S_l^{-0.0973} S_m^{-0.138}$  ( $R^2=0.92$ , RMSE=3.57) was selected as a final model.

**Keywords:** Uniformity Coefficient; Water Distribution; Sprinkler Irrigation; Genetic Algorithm

---

\*Corresponding Author; Email: aboh10@yahoo.com

