

## مدل سازی قطر قطره‌های پخش شده از آبیاش‌های ضربه‌ای آبیاری بارانی

وحدت احمدی<sup>۱</sup>، رضا دلیر حسن‌نیا<sup>۲</sup>، امیر حسین ناظمی<sup>۳</sup> و علی اشرف صدرالدینی<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۳/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۰/۲۲

## چکیده

قطر قطره‌های تولید شده از آبیاش‌ها از عوامل موثر بر شعاع پخش، تلفات تبخیر و بادبردگی، کوبش خاک بوده و در کل نشان دهنده کیفیت آبیاش می‌باشد. تعیین اندازه مناسب قطره‌ها به انتخاب صحیح آبیاش برای منظوره‌های فنی و طراحی کمک می‌کند. در این تحقیق به منظور مدل‌سازی اندازه متوسط قطره‌های تولید شده توسط آبیاش ضربه‌ای از روش هوشمند برنامه‌ریزی بیان ژن بهره برده شد. داده‌های ورودی مدل شامل قطر نازل، فشار کارکرد و فاصله از آبیاش و خروجی مدل اندازه متوسط قطره‌های فرود آمده در فاصله معین نسبت به آبیاش بود. آزمایش‌های این تحقیق در ۲۲ ترکیب اندازه نازل و فشار کارکرد انجام و داده‌های ورودی مدل تهیه گردید. در هر آزمایش ۹ تا ۱۴ گام اندازه‌گیری نسبت به آبیاش و با فواصل ۱/۵ متری از هم در نظر گرفته شد. با کاربرد روش عکاسی دیجیتالی و تحلیل عکس‌های حاصل به تعیین قطر قطره‌ها و سایر مشخصات هندسی و حرکتی آنها اقدام گردید. شعاع پخش آبیاش‌ها نیز در کلیه آزمایش‌ها ثبت شد. سپس با دسته‌بندی داده‌های قطر نازل، فشار کارکرد آبیاش، فاصله نقاط اندازه‌گیری نسبت به آبیاش از یک طرف و اندازه متوسط قطره‌های تولید شده از طرف دیگر و کاربرد روش برنامه‌ریزی بیان ژن مدلی جهت پیش‌بینی اندازه متوسط قطره‌های پخش شده در فواصل مختلف نسبت به آبیاش استخراج گردید. مقایسه نتایج حاصل از مدل‌سازی و داده‌های مشاهداتی نشان داد که مدل پیشنهادی با مقادیر  $R^2=0/91$  و میلی‌متر  $RMSE=0/402$  دارای دقت بالایی در پیش‌بینی قطر قطره‌ها می‌باشد. علاوه بر این تأثیرات توأم فشار و قطر نازل بر قطر قطره‌های تولید شده مورد بررسی قرار داده شد.

واژه‌های کلیدی: برنامه‌ریزی بیان ژن، شعاع پخش، فشار کارکرد، قطر نازل.

<sup>۱</sup> - کارشناسی ارشد مهندسی آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز\_ آذربایجان، اهر، خیابان اندیشه،

۰۹۱۴۴۰۱۴۷۴۲ vahdatahmadifar@yahoo.com (نویسنده مسئول)

<sup>۲</sup> - استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران، ۰۴۱۳۳۳۹۲۷۷۲ delearhasannia@yahoo.com

<sup>۳</sup> - استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران، ۰۴۱۳۳۳۵۶۰۰۷ ahnazemi@tabrizu.ac.ir

<sup>۴</sup> - استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران، ۰۴۱۳۳۳۹۲۷۹۲ sadraddini@tabrizu.ac.ir

است که از این میان می‌توان به مدل تجربی لی و همکاران (۱۹۹۴) برای برازش منحنی توزیع قطره‌های آب اشاره نمود. پس از آن کینساید و همکاران (۱۹۹۶) به منظور به‌دست آوردن پارامترهای رابطه لی و همکاران روابطی را پیشنهاد نمودند و ضرایب لازم برای به دست آوردن این پارامترها را برای هفت نوع آبپاش ارائه کردند. دی بوئر و مونس (۲۰۰۱) نیز به منظور تعیین انرژی جنبشی قطره‌های تولید شده از آبپاش اسپری‌هایی با پد انحراف چرخان روشی جهت تعیین اندازه متوسط قطرات ( $D_{50}$ ) ابداع نمودند. همچنین پلایان و همکاران (۲۰۰۶) برای دو نوع دیگر از آبپاش‌ها ضرایب گفته شده در بالا را به دست آوردند.

چنانچه اشاره شد پیش‌بینی اندازه قطره‌های تولید شده از آبپاش‌ها در سایر علوم و دیگر سیالات نیز مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است. به عنوان نمونه کیم و همکاران (۲۰۰۳) مدلی برای پیش‌بینی اندازه قطره‌های سوخت مایع پخش شده از سوخت پاش موتورهای احتراقی ارائه دادند و با نتایج حاصل از آزمایش‌های انجام گرفته مقایسه کردند. کولار و فرزانه (۲۰۰۷) مدلی جهت شبیه‌سازی حرکت و تشکیل قطره‌های پخش شده در محیط دو فاز آب و هوا، در طول مسیر حرکت ارائه نمودند. رن و همکاران (۲۰۰۹) به بررسی پخش آب از اسپری‌های آتش نشانی بر اساس هندسه نازل و نوع شکل‌گیری جت آب و قطره‌های تشکیل شده از آن با توجه به شرایط فیزیکی پرداختند و مدلی با عنوان مدل تولید ذرات ریز آبپاش<sup>۱</sup> معرفی نمودند. در انجام پژوهش حاضر اهداف زیر مد نظر بوده است: ۱- بررسی شعاع پخش برای چند نوع آبپاش ضربه‌ای با اندازه‌های نازل و فشارهای کارکرد مختلف ۲- تعیین اندازه قطره‌های تولید شده در ترکیبات مختلف نازل- فشار کارکرد و در فواصل مختلف از آبپاش ۳- ارائه مدلی برای برآورد

## مقدمه

منابع آب در دنیا با افزایش جمعیت و تغییرات اقلیمی رو به محدودیت گذاشته است و نیاز به استفاده از روش‌های آبیاری با راندمان بالا برای مصرف بهتر آب در کشاورزی بیشتر احساس می‌شود. آبیاری بارانی یکی از روش‌های متداول آبیاری است که مزایای مختلف آن باعث استقبال روزافزون بهره برداران و گسترش استفاده این سیستم‌ها شده است. بر این اساس پرداختن به موضوع افزایش راندمان و بهبود عملکرد سیستم‌های آبیاری بارانی در زمینه‌های مختلف مورد توجه محققان قرار گرفته است. آبپاش به عنوان وسیله پخش آب نقش کلیدی در عملکرد سیستم‌های آبیاری بارانی دارد و اندازه قطره‌های تولید شده توسط آبپاش‌ها کاربرد زیادی در طراحی، ارزیابی و شبیه‌سازی این سیستم‌ها دارند. فشار و قطر نازل بر روی عوامل مختلفی تاثیر دارند که عبارتند از اندازه قطره‌های آب، قطر پراکنش، انرژی برخورد آب به خاک و شدت پخش آب (رحیم زادگان، ۱۳۷۵). اندازه قطره‌های آب نقش مهمی در میزان تلفات بادبردگی و تبخیر، کوبش خاک و آسیب به محصول و خاک دارد. آگاهی از اندازه قطره‌های تولید شده از آبپاش‌ها برای انتخاب آبپاشی متناسب با نیازهای طراحی و دارای کمترین آسیب به خاک و محصول از اهمیت زیادی برخوردار است. هر ترکیب نازل- فشار کارکرد جمعیتی از قطره‌هایی با اندازه‌های متفاوت تولید می‌کند و با توجه به تنوع بسیار زیاد اندازه نازل‌ها و فشارهای کارکرد آبپاش‌ها و نیاز به ابزارها و تحلیل دقیق، انجام آزمایش و سنجش اندازه قطره‌ها مقدور نمی‌باشد. بنابراین استفاده از مدل‌ها و روش‌های برآورد کننده توزیع اندازه یا متوسط اندازه قطره‌ها می‌تواند راهکاری برای رفع این مسئله باشد. با این‌که در زمینه پیش‌بینی اندازه قطره‌های تولید شده از آبپاش‌های مورد استفاده در سایر علوم از جمله مکانیک (سوخت پاش‌ها) و آتش نشانی و ... پژوهش‌های متعددی وجود دارد، اما در خصوص آبپاش‌های آبیاری بارانی مطالعات محدودی انجام شده

<sup>۱</sup> - Sprinkler atomization model (SAM)

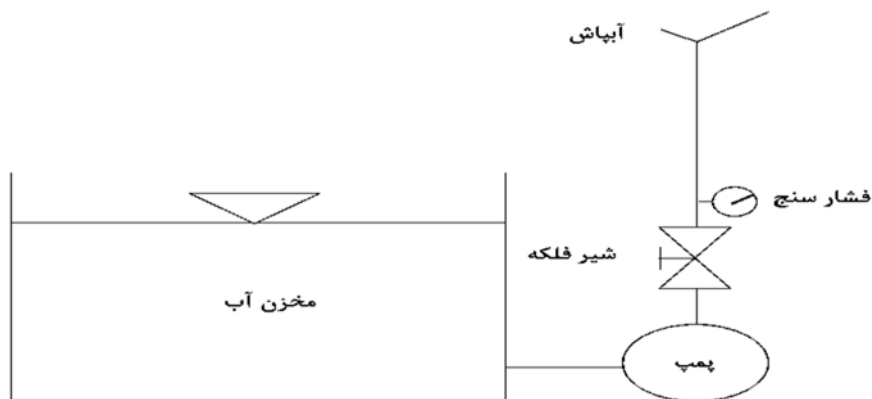
اتصالات مربوطه، رایزر آبپاش و آبپاش بود. آب مورد نیاز از مخزنی با ابعاد  $۱/۵ \times ۱/۷۵ \times ۰/۷۵$  متر وارد پمپ سانتریفیوژ شده و با تامین فشار مناسب به طرف آبپاش نصب شده بر روی رایزر هدایت می‌گردید. جهت تنظیم فشار مورد نظر در حالت‌های مختلف آزمایش از شیر کنترل تعبیه شده در مدار پمپ به آبپاش استفاده شد. به منظور تعیین فشار کاربردی، یک مانومتر دقیق پس شیر کنترل نصب گردید. آب تحت فشار پس از خروج از نازل آبپاش به صورت جت آب در هوا پخش و در ادامه به صورت قطره‌هایی با اندازه‌های مختلف توزیع می‌گردد. با استفاده از روش عکاسی دیجیتالی، اندازه این قطره‌ها در طول شعاع پخش مشخص گردید. شکل ۱ نحوه استقرار تجهیزات جهت انجام آزمایش‌ها را نشان می‌دهد.

اندازه متوسط قطره‌های تولید شده توسط آبپاش‌های آبیاری بارانی.

## مواد و روش‌ها

### آزمایش‌های انجام یافته

آزمایش‌های مربوط به شعاع پخش آب توسط آبپاش‌ها و اندازه‌گیری قطره‌های تولید شده در آزمایشگاه هیدرولیک و محوطه ساختمان شماره ۲ دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز واقع در کیلومتر ۱۲ جاده تبریز- باسمنج با عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ۱ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۳ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۵۵۷ متر از سطح دریا در شرایط بدون باد انجام گرفت. تجهیزات آزمایش استقرار یافته شامل پمپ آب، مخزن ذخیره آب، شیر یک‌طرفه، شیر کنترل جریان و فشار، فشارسنج، لوله‌های رابط و



شکل (۱): تجهیزات استقرار یافته جهت انجام آزمایش‌ها

در مجموعه آزمایش‌ها از ۵ نوع آبپاش ضربه‌ای با شش نوع نازل در اندازه‌های مختلف و برای هر یک از نازل‌ها ۴ فشار کاری مختلف بین ۱۵ تا ۳۰ متر و در کل ۲۲ ترکیب نازل- فشار کارکرد در نظر گرفته شد. با راه اندازی پمپ و کارکرد آبپاش آزمایش‌های اندازه‌گیری قطر پراکنش و اندازه قطره‌های تولید شده به انجام رسید. مشخصات آبپاش‌ها، قطر نازل‌های مورد استفاده و فشارهای کارکرد در جدول (۱) نشان داده شده است.

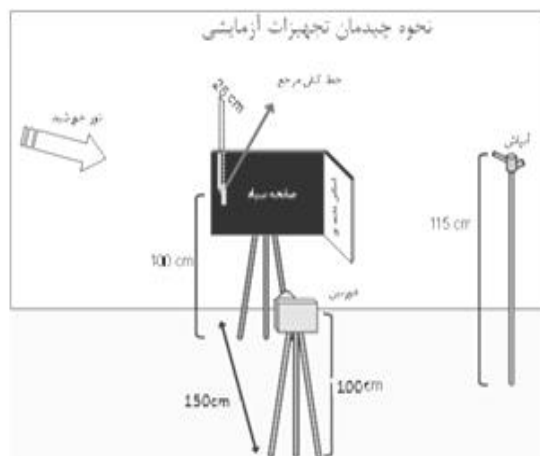
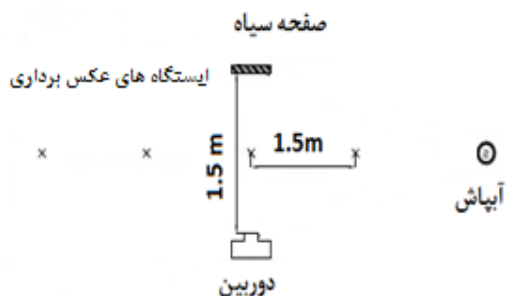
جدول (۱): قطر نازل، فشار کارکرد و انواع آبیاش‌های مورد استفاده در آزمایش‌ها

| نوع آبیاش | قطر نازل های مورد استفاده (میلی‌متر) | فشار کارکرد آزمایش شده (متر) |
|-----------|--------------------------------------|------------------------------|
| VYR 35    | ۴/۴                                  | ۲۹، ۲۶، ۲۳، ۱۹               |
| AQUA      | ۵/۱                                  | ۲۹، ۲۶، ۲۳، ۱۹               |
| LANCER    | ۶/۳                                  | ۲۵، ۲۳، ۱۹، ۱۵               |
| ZM 6088   | ۷                                    | ۲۵، ۲۳، ۱۹، ۱۵               |
| ZM 6088   | ۸                                    | ۲۳، ۱۹، ۱۷/۵، ۱۵             |
| ژاله ۵    | ۹                                    | ۲۰، ۱۷                       |

تعیین و دوربین و صفحه پس زمینه سیاه رنگ به طور متوالی در آنها همانند شکل (۲) مستقر گردید. جهت تهیه عکس‌ها دوربین عکاسی SONY-DSC-F828 بکار گرفته شد. مطابق شکل (۲) یک صفحه پس زمینه با پوشش سیاه و مات به ابعاد ۶۰×۴۰ سانتی‌متر در فاصله یک و نیم متری از دوربین به عنوان پس زمینه قرار گرفت تا قطره‌ها در عکس‌های حاصل از وضوح کافی برای اندازه‌گیری برخوردار باشند. دوربین به خط کش اشل نصب شده بر روی صفحه فوکوس شد. این اشل یک قطعه ۱۰ سانتی‌متری از یک خط کش بود که توسط دسته‌ای ۲۵ سانتی‌متری به صفحه سیاه متصل شده بود تا به عنوان مرجعی برای اندازه‌گیری طول‌های مورد نظر ظاهر شده در داخل تصاویر به کار رود.

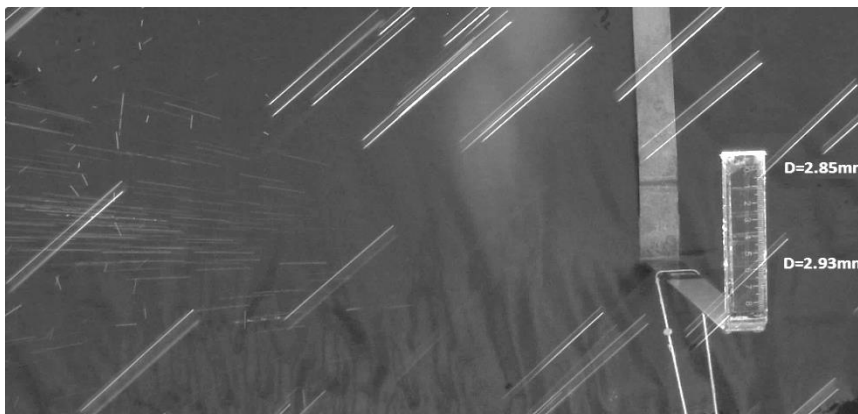
### تعیین مشخصات قطره‌ها با روش عکس برداری

سالوادور و همکاران (۲۰۰۹) روش مفیدی را بر پایه عکاسی دیجیتالی ارائه و تایید اعتبار نمودند که امکان اندازه‌گیری دقیق قطر، سرعت و زاویه قطره‌ها را فراهم می‌آورد. پس از معرفی این روش محققان دیگری از جمله باوتیستا کاپتیلو (۲۰۰۹)، عالی‌نژاد (۱۳۹۰) و سانچر بوریلو و همکاران (۲۰۱۳)، صیادی و همکاران (۲۰۱۴) نیز از همین روش در اندازه‌گیری مشخصات قطره‌ها به منظورهای مختلف در پژوهش‌های خود استفاده نمودند. در تحقیق حاضر نیز به منظور اندازه‌گیری مشخصات قطره‌ها از این روش استفاده گردید. بدین منظور در امتداد مسیر پخش آب ایستگاه‌های عکس‌برداری با فواصل یک و نیم متری



شکل (۲): شمای کلی و نحوه قرارگیری تجهیزات مورد استفاده در روش عکاسی و فواصل استقرار دوربین

قسمت پایینی صفحه قائم استفاده شد. با استفاده از این روش قطره‌های عکس‌برداری شده به صورت استوانه‌های شفاف مانند شکل (۳) مشاهده می‌شوند که می‌توان از روی آن‌ها مشخصات لازم را استخراج نمود.



شکل (۳): ظهور قطرات در عکس‌ها با مشخصات قابل اندازه‌گیری

برای پیش‌بینی اندازه متوسط قطره‌ها بر اساس قطر نازل، فشار کارکرد و فاصله از آبپاش استخراج گردید. با استفاده از این مدل در آبپاشی با قطر نازل و فشار کارکرد معین می‌توان با تغییر دادن پارامتر فاصله از محل استقرار آبپاش تا دورترین نقطه تحت پوشش توسط آبپاش (شعاع پخش) اندازه قطره‌های رسیده به هر نقطه را تعیین نمود. سپس با توجه به جمعیت نسبی قطره‌ها و میانگین‌گیری وزنی از اندازه‌های حاصل شده، متوسط اندازه قطره‌های تولید شده را محاسبه نمود.

#### برنامه‌ریزی بیان ژن

برنامه‌ریزی ژنتیک اولین بار توسط کوزا (۱۹۹۲) بر اساس تئوری داروین و از تعمیم الگوریتم ژنتیک ارائه شد. ایجاد ترکیب‌های مختلف از جمعیت و انتخاب بهترین نسل‌ها به منظور تولید فرزندان اصلاح شده و اصلاح هر چه بیشتر نسل‌های بعدی به منظور رسیدن به بهترین نتیجه، اساس این روش می‌باشد.

برای اندازه‌گیری مشخصات قطره‌ها از نرم‌افزار دیجی مایزر  $4/1/1/0$  استفاده شد. در ابزار اندازه‌گیری طول در این نرم‌افزار قطر قطره‌ها بر اساس تعداد پیکسل‌ها اندازه گرفته شد، با توجه به این که دوربین به خط‌کش شاخص فوکوس شده بود، قطره‌هایی دارای وضوح کامل و در نزدیکی شاخص انتخاب گردیدند. با اندازه‌گیری تعداد پیکسل‌های متعلق به یک سانتی‌متر خط‌کش شاخص در هر عکس و ایجاد تناسب بین تعداد پیکسل‌های هر سانتی‌متر شاخص و قطر قطره‌ها، اندازه قطره‌ها بر حسب میلی‌متر به دست آمد. انجام محاسبات مربوط به تناسب‌بندی و تبدیل اندازه قطره‌ها از پیکسل به میلی‌متر در نرم‌افزار اکسل<sup>۲</sup> انجام شد. فشار کارکرد، قطر نازل و فاصله ایستگاه اندازه‌گیری نسبت به آبپاش از آزمایش‌ها و اندازه متوسط قطره‌های متناظر با هر حالت آزمایشی، با تحلیل عکس‌ها حاصل گردید. سپس با دسته‌بندی داده‌ها و استفاده از روش برنامه‌ریزی بیان ژن، مدلی

<sup>۱</sup>- Digimizer ver 4.1.1.0, MedCalc Software

<sup>۲</sup>- Excel

- مجموعه ترمینال‌ها (متغیرهای مسئله، اعداد ثابت تصادفی)
  - مجموعه عملگرهای ریاضی مورد استفاده در فرمول‌ها
  - انتخاب معیار خطای برازش (RMSE, MSE, ...)، برای سنجش برازش فرمول‌ها
  - تعیین پارامترهای کنترل کننده اجرای برنامه (اندازه جمعیت، احتمال مربوط به به کارگیری عمل‌های ژنتیکی و جزئیات دیگر مربوط به اجرای برنامه)
  - معیار پایان و ارائه نتایج اجرای برنامه (مثل، تعداد تولید جمعیت جدید، تعیین یک مقدار مشخص برای برازش فرمول‌ها که اگر میزان برازش برابر یا بیشتر از آن مقدار شد، اجرا متوقف شود). در شکل ۴ طرح کلی گام‌های مقدماتی برنامه‌ریزی ژنتیک نشان داده شده است.
- برنامه‌ریزی ژنتیک فرآیند فوق را به صورت خودکار انجام می‌دهد و به صورت برنامه رایانه‌ای قابل ارائه است. در این روش در ابتدای فرآیند هیچ گونه رابطه تابعی در نظر گرفته نشده و این روش قادر به بهینه سازی ساختار مدل و مولفه‌های آن می باشد. برنامه‌ریزی ژنتیک بر خلاف الگوریتم ژنتیک روی ساختار درختی فرمول‌ها به جای سلسله ارقام دودویی عمل می‌کند. ساختارهای درختی از مجموعه توابع (عملگرهای ریاضی مورد استفاده در فرمول‌ها) و ترمینال‌ها (متغیرهای مسئله و اعداد ثابت) ایجاد می‌شوند. تحقیقات گذشته نشان می‌دهد که در استفاده از محاسبات نرم (مثل برنامه‌ریزی ژنتیک و شبکه‌های عصبی و ...) بر بعضی از مشکلات مدل‌های فیزیکی غلبه شده و این روش‌ها می‌توانند یک راه مؤثر و کارآمد برای مدل کردن فرآیندهای فیزیکی در حالت فقدان داده‌های کافی یا پیچیده بودن فرآیند محاسبات باشند (کوزا، ۱۹۹۲). قبل از مراحل اجرایی برنامه‌ریزی ژنتیک گام‌های مقدماتی زیر باید توسط کاربر تعیین شوند:



شکل (۴): طرح کلی گام‌های مقدماتی برنامه‌ریزی ژنتیک (اقتباس از کوزا، ۱۹۹۲)

اجرای گام به گام برنامه‌ریزی بیان ژن به صورت زیر است:

- ✓ تولید یک جمعیت اولیه از فرمول‌ها که این فرمول‌ها از ترکیب تصادفی مجموعه توابع (عملگرهای ریاضی مورد استفاده در فرمول‌ها) و ترمینال‌ها (متغیرهای مسئله و اعداد ثابت) ایجاد می‌شوند.
- ✓ هر یک از افراد جمعیت مذکور با استفاده از توابع برازش مورد ارزیابی قرار می‌گیرند.

برنامه‌ریزی بیان ژن توسط فریرا در سال ۱۹۹۹ ابداع شد. در این برنامه کروموزوم‌های خطی و ساده با طول ثابت مشابه با آنچه که در الگوریتم ژنتیک استفاده می‌شوند، ساختارهای شاخه‌ای با اندازه‌ها و اشکال متفاوت مشابه با نمودار درختی در برنامه‌ریزی ژنتیک ترکیب می‌شوند. در طول تولید مثل، تنها ژنوم که اندکی اصلاح شده برای نسل بعد عبور داده می‌شود و در نتیجه نیازی به ساختارهای نسبتاً سنگین برای تکثیر شدن و جهش نیست (فریرا، ۲۰۰۱). فرآیند

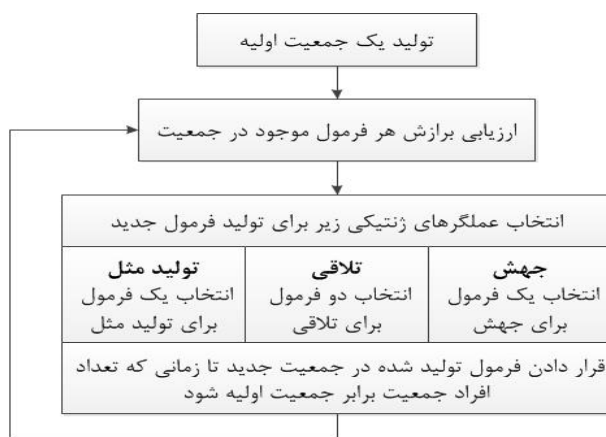
ج) از عملگر ژنتیکی انتخاب شده برای تولید فرزند (فرمول جدید) استفاده می‌شود.

د) فرزند (فرمول جدید) تولید شده در یک جمعیت جدید وارد می‌شود.

ه) مدل مورد نظر با استفاده از تابع برازش مورد ارزیابی واقع می‌شود.

گام سوم تا نیل به حداکثر تعداد تولید، تکرار خواهد شد. شکل کلی گام‌های اجرایی برنامه‌ریزی بیان ژن در شکل ۵ ارائه و پارامترهای مورد استفاده در این تحقیق نیز در جدول (۲) نشان داده شده‌اند.

✓ تولید یک جمعیت جدید از فرمول‌ها، که مراحل زیر برای تولید یک جمعیت جدید دنبال می‌شود:  
 الف) یکی از عملگرهای ژنتیکی تلاقی، جهش و تولید مثل انتخاب می‌شود (این سه عملگر ژنتیکی، مهمترین عملگرهای ژنتیکی مورد استفاده در برنامه‌ریزی بیان ژن می‌باشند. عملگرهای دیگری مثل اصلاح ساختار و... نیز با احتمال کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرند).  
 ب) تعداد مناسبی از افراد جمعیت حاضر انتخاب می‌شوند (انتخاب فرد یا افرادی از جمعیت مذکور به صورت احتمالاتی می‌باشد که در این انتخاب احتمالاتی منفردهای با برازش بهتر به منفردهای نامرغوب ترجیح داده می‌شوند و این بدان معنی نیست که حتماً منفردهای نامرغوب حذف می‌شوند).



شکل (۵): مروری بر شکل کلی گام‌های اجرایی برنامه‌ریزی بیان ژن

جدول (۲): پارامترها و مقادیر مورد استفاده در برنامه‌ریزی بیان ژن

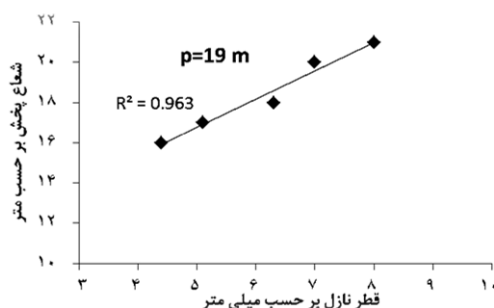
| پارامتر               | مقدار  |
|-----------------------|--|
| توابع مورد استفاده    | + , - , × , / , √ , Ln(x) , e <sup>x</sup> , Power |
| کروموزوم‌ها           | ۳۰   |
| تعداد ژن‌ها           | ۳  |
| عملگر ریاضی بین ژن‌ها | جمع (+)  |
| سرعت جهش              | ۰/۰۴۴  |
| سرعت وارونگی          | ۰/۱  |
| سرعت تلاقی با یک نقطه | ۰/۳  |
| سرعت تلاقی با دو نقطه | ۰/۳  |
| سرعت تلاقی ژن         | ۰/۱  |
| سرعت جابه جایی        | ۰/۱  |

RMSE و بالا بودن ضریب  $R^2$  می‌تواند نشان دهنده میزان دقت مدل باشد.

## نتایج و بحث

### بررسی شعاع پخش آبیاش‌ها

تعدادی از انواع آبیاش با اندازه‌های مختلف قطر نازل و با فشارهای بهره‌برداری متفاوت مورد آزمایش قرار داده شدند. با توجه به تعداد آزمایشات فقط نتیجه دو آزمایش نمونه نشان داده شده است. قسمت راست شکل (۶) افزایش شعاع پخش به ازای افزایش قطر نازل‌های متفاوت در فشار ثابت ۱۹ متر را نشان می‌دهد، قسمت چپ شکل نشان دهنده افزایش شعاع پخش آبیاش به ازای قطر نازل ۵/۱ میلی‌متر در فشارهای متفاوت است. برای هر کدام از نازل‌ها درصد تغییرات شعاع پخش به ازای میزان تغییرات فشار لحاظ شده در آزمایش‌ها اندازه معین گردید و نتایج حاصل از آن‌ها در جدول (۳) نشان داده شده است.



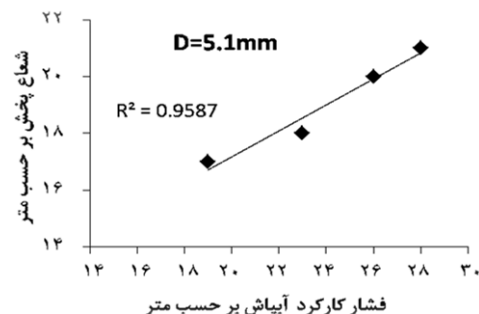
پس از مدل‌سازی و حصول نتایج، به منظور ارزیابی عملکرد مدل مورد استفاده و بررسی دقت خروجی‌ها بر پایه محاسبه جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب تعیین  $R^2$  مورد ارزیابی قرار گرفت. روابط محاسبه دو آماره فوق در روابط ۱ و ۲ آمده است.

$$R^2 = 1 - \left( \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - y_i)^2}{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \right) \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - X_i)^2}{N}} \quad (2)$$

که در آنها:

$X_i$ : اندازه قطره مشاهده شده،  $y_i$ : اندازه قطره پیش‌بینی شده،  $N$ : تعداد مشاهدات و  $\bar{x}$ : مقادیر میانگین مشاهداتی می‌باشد. کوچک بودن مقادیر



شکل (۶): قسمت راست: شعاع پخش آبیاش در مقابل تغییرات قطر نازل در فشار ۱۹ متر، قسمت چپ: شعاع پخش آبیاش در مقابل تغییرات فشار در نازل ۵/۱ میلی‌متر

افزایش یابد اثر تغییرات فشار بر شعاع پخش زیادتر می‌شود به طوری که در نازل ۴/۴ میلی‌متری به ازای افزایش ۱۰ متر فشار کارکرد شعاع پخش ۱۹ درصد افزایش پیدا می‌کند، در حالی که برای نازل ۸ میلی‌متری افزایش ۸ متر فشار باعث افزایش ۳۵ درصدی شعاع پخش می‌شود.

نتایج نشان می‌دهند اندازه قطر نازل و فشار کارکرد آبیاش به طور مستقیم بر اندازه شعاع پخش تاثیر دارند. در یک فشار ثابت با افزایش قطر نازل شعاع پخش افزایش پیدا می‌کند. مطابق جدول (۳) با افزایش فشار کارکرد در قطر نازل ثابت قطر پراکنش افزایش پیدا می‌کند. بررسی افزایش اندازه نازل به ازای تغییرات فشار نشان می‌دهد هر چه اندازه نازل بیشتر



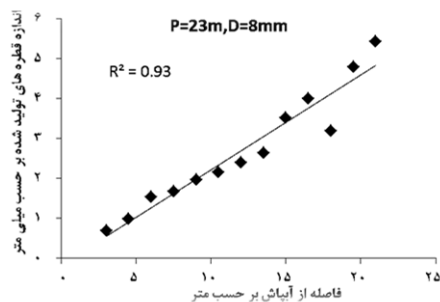
جدول (۳): درصد تغییرات شعاع پخش آبپاش به ازای تغییر فشار در اندازه‌های قطر نازل

| تغییر شعاع پخش (%) | تغییر فشار (m) | قطر نازل (mm) |
|--------------------|----------------|---------------|
| ۱۹                 | ۱۰             | ۴/۴           |
| ۲۴                 | ۱۰             | ۵/۱           |
| ۲۷                 | ۱۰             | ۶/۳           |
| ۳۷                 | ۱۰             | ۷             |
| ۳۵                 | ۸              | ۸             |
| ۱۶                 | ۳              | ۹             |

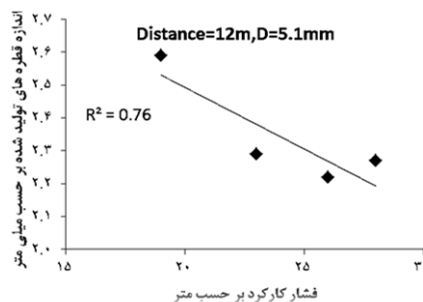
۸ میلی‌متر با فشار ۲۳ متر اندازه متوسط قطره‌ها را در طول شعاع پخش نشان می‌دهد. با بررسی تغییرات اندازه قطرات در فشارهای مختلف در فاصله ثابت از آبپاش و قطر ثابت نازل مشاهده شد که با افزایش فشار کارکرد اندازه قطره‌ها کوچک می‌شود، شکل (۷-۷) برای قطر نازل ۵/۱ میلی‌متری و فاصله ۱۲ متری از محل آبپاش در چهار فشار مختلف اندازه متوسط قطره‌های تولید شده را نشان می‌دهد. همچنین در بررسی اثر اندازه نازل بر قطر قطره‌ها مشاهده شد که با افزایش قطر نازل در فشار و فاصله ثابت اندازه قطر قطره‌ها بیشتر می‌شود. شکل (۷-ج) تغییرات اندازه متوسط قطره‌های تولید شده در نازل‌های مختلف برای فشار ۱۹ متر و فاصله از محل آبپاش ۱۰/۵ متری را نشان می‌دهد، بررسی میزان تغییرات اندازه قطر قطره‌ها نشان می‌دهد که اندازه قطره‌ها با تغییرات فاصله از آبپاش در طول شعاع پخش بیشتر تغییر می‌کند. برای هر کدام از نازل‌ها درصد تغییرات میانگین حسابی قطره‌ها به ازای میزان تغییرات فشار بررسی شد که نتایج حاصل از آن‌ها در جدول (۴) نشان داد شده است. افزایش اندازه قطر نازل با ازای کاهش فشار نشان داد که هر چه اندازه نازل افزایش یابد اثر تغییرات فشار بر افزایش قطر قطره‌ها تولید شده محسوس‌تر است. به طوری که در نازل ۴/۴ میلی‌متری به ازای کاهش ۱۰ متر فشار کارکرد قطر قطره ۸ درصد افزایش پیدا نمود در حالی که در نازل ۸ میلی‌متری کاهش ۸ متری فشار باعث افزایش ۴۲ درصدی قطر قطره گردید.

### بررسی اندازه قطره‌های تولید شده از آبپاش‌ها

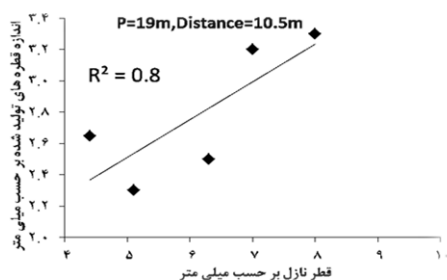
با استفاده از عکس‌برداری، مشخصات هیدرولیکی قطره‌ها پخش شده از آبپاش در مقاطعی با فواصل ۱/۵ متری از هم برای انواع آبپاش‌ها و فشارهای بهره‌برداری تعیین گردید. در این تحقیق قطره‌های تولید شده در طول شعاع پخش با فواصل یک و نیم متر برای آبپاش‌ها با اندازه نازل‌های متفاوت و فشارهای مختلف به روش عکس‌برداری اندازه‌گیری شد. برای هر ایستگاه از چند عکس و در هر یک از عکس‌ها قطراتی که دارای وضوح کامل بودند اندازه‌گیری و بررسی شدند. سپس میانگین اندازه‌های ثبت شده به عنوان متوسط اندازه قطره در ایستگاه مربوطه منظور گردید. در حالت کلی محدوده قطر قطره‌های اندازه‌گیری شده برای تمامی حالت‌های آزمایشی بین ۰/۴ و ۷/۷ میلی‌متر مشاهده شدند. برای مشخص کردن اثر هر یک از پارامترهای قطر نازل، فشار کارکرد و فاصله از آبپاش بر روی اندازه قطره‌ها با ثابت نگه داشتن دو پارامتر و تغییر دادن یکی از پارامترها، اثر آن پارامتر مورد بررسی قرار گرفت. برای بررسی اثر فاصله از محل آبپاش در تمام حالت‌های آزمایشی (فشار و قطرهای مختلف نازل) قطر قطره‌های اندازه‌گیری شده با دور شدن از محل آبپاش افزایش می‌یابد، به طوری که اندازه قطره‌هایی که به آخرین ایستگاه در طول شعاع پخش می‌ریزند بیشترین قطر را دارند با توجه به زیاد بودن تعداد حالات آزمایش برای هر یک از شرایط گفته شده یک نمودار به صورت نمونه آورده شده است. شکل (۷-الف) برای قطر نازل



(الف)



(ب)



(ج)

شکل (۷): اندازه قطر قطرات به ازای فواصل مختلف از آبیاش (الف)، تغییرات فشار کارکرد (ب)، تغییرات قطر نازل (ج)

جدول (۴): درصد تغییرات قطر قطره ها با تغییر فشار در اندازه های متفاوت قطر نازل

| تغییر اندازه قطره ها (%) | تغییر فشار (m) | قطر نازل (mm) |
|--------------------------|----------------|---------------|
| ۸                        | -۱۰            | ۴,۴           |
| ۱۱                       | -۱۰            | ۵,۱           |
| ۲۷                       | -۱۰            | ۶,۳           |
| ۳۱                       | -۱۰            | ۷             |
| ۴۲                       | -۸             | ۸             |
| ۲۶                       | -۳             | ۹             |

داده ها در تایید اعتبار مدل مورد نظر بهره برده شد. برای شبیه سازی از عملگرهای مختلفی استفاده شد که مجموعه عملگرهای ریاضی { $\sqrt{\quad}$ ,  $/$ ,  $\times$ ,  $-$ ,  $+$ , Power} بهترین خروجی را حاصل نمودند. پارامترهای لازم جهت تجزیه و تحلیل در این تحقیق که جزو گام های اولیه برنامه ریزی بیان ژن می باشند به صورت جدول (۲) انتخاب شدند. پس از انجام مدل سازی رابطه نهایی به صورت زیر حاصل گردید:

**مدل سازی اندازه قطره های تولید شده از آبیاش**  
با دسته بندی داده های آزمایش شامل قطر نازل، فشار کارکرد آبیاش، فاصله نقاط اندازه گیری نسبت به آبیاش و اندازه قطره های تولید شده و کاربرد روش برنامه ریزی بیان ژن به تهیه مدلی جهت برآورد اندازه متوسط قطره های پخش شده از آبیاش بر اساس قطر نازل و فشار کارکرد آبیاش اقدام گردید. در برنامه ریزی بیان ژن ۷۰ درصد داده های مشاهداتی به منظور تعیین مدل مناسب مورد استفاده قرار گرفت و از بقیه

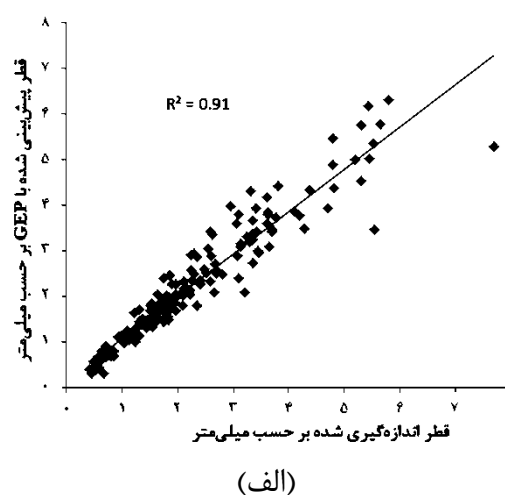
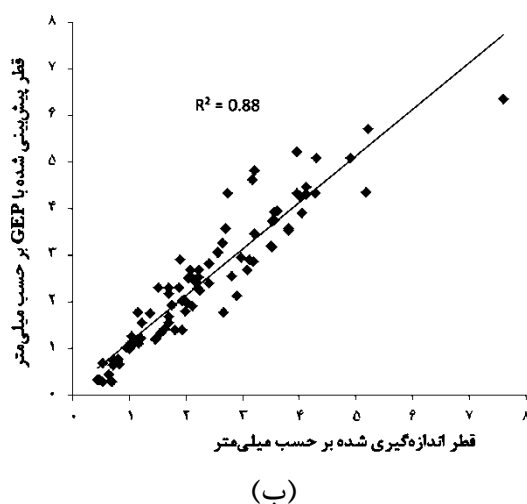
P: فشار کارکرد آبیاری بر حسب متر  
 $D_n$ : اندازه قطر نازل بر حسب میلی‌متر است.  
 شکل (۸) نمودار آزمون و آموزش داده‌های مشاهداتی و پیش‌بینی مدل را نشان می‌دهد. مقایسه بین اندازه قطره‌های مشاهداتی به دست آمده از آزمایش‌ها و اندازه قطره‌های پیش‌بینی شده از مدل نشان داد که مدل ارائه شده توسط برنامه‌ریزی بیان ژن مقادیر ضریب تعیین با دارا بودن  $R^2=0.91$  و جذر میانگین مربعات خطا برابر  $RMSE=0.402$  دقت بالایی را در برآورد اندازه قطره‌های تولید شده دارد.

$$D_d = \left[ \frac{(1.79 \times L)}{(L + D_n)} \right] + \left[ \frac{L^{\left(\frac{3}{2}\right)}}{(2P - L)} \right] + \left[ \frac{L - 2.55}{\left( \left( P^{\frac{1}{3}} \right) + (P - D_n) \right)} \right] \quad (3)$$

که در آن:

$D_d$ : اندازه قطر قطره بر حسب میلی‌متر

L: فاصله از آبیاری بر حسب متر



شکل (۸): مقایسه متوسط اندازه قطره‌های اندازه‌گیری شده از آزمایش‌ها با نتایج حاصل از مدل برنامه‌ریزی ژنتیک الف- داده‌های آموزش ب) داده‌های آزمون

پخش را افزایش داد. همچنین نتایج بررسی تاثیر اندازه نازل و فشار بر متوسط اندازه قطره‌های تولید شده نشان داد که بیشترین تغییرات در متوسط اندازه قطره‌ها به ازای تغییر فشار کارکرد مربوط به نازل‌های بزرگ است، به طوری که کاهشی معادل ۸ متر در فشار در نازل ۸ میلی‌متری اندازه قطره‌ها را ۴۲ درصد افزایش داد این در حالی است کاهش ۱۰ متری فشار در نازل ۴/۴ میلی‌متری ۸ درصد اندازه قطره‌ها را

## نتیجه‌گیری

نتایج بررسی تاثیر اندازه نازل و فشار کارکرد بر شعاع پخش در آبیاری‌های ضربه‌ای نشان داد که بیشترین تغییرات شعاع پخش به ازای تغییر فشار کارکرد مربوط به نازل‌های بزرگ است به طوری که افزایش ۸ متر فشار در نازل ۸ میلی‌متری قطر پخش را ۳۵ درصد افزایش داد این در حالی است افزایش ۱۰ متر در فشار در نازل ۴/۴ میلی‌متری ۱۹ درصد شعاع

تعیین کننده بسیاری از پارامترهای عملکردی آبیاری می‌باشد. مدل پیشنهادی می‌تواند کاربرد موثری در پیش‌بینی عملکرد، ارزیابی و انتخاب صحیح آبیاریها داشته باشد.

افزایش داد. در این تحقیق مدلی برای پیش‌بینی اندازه قطره‌های تولید شده از آبیاریهای ضربه‌ای با معلوم بودن قطر نازل و فشار کارکرد آبیاری معرفی شد. با توجه به این که اندازه قطره‌های خروجی از آبیاری

## منابع

- رحیم زادگان، ر. ۱۳۷۵. طراحی سیستم‌های آبیاری بارانی. انتشارات جهاد دانشگاهی دانشگاه صنعتی اصفهان، ص ۲۸۰.
- عالی‌نژاد، م. ۱۳۹۰. مشخصه‌های هیدرو دینامیکی آب خروجی از آبیاری با استفاده از مدل بالستیک و CFD. پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، ص ۱۱۸.
- Bautista-Capetillo, C. F., R. Salvador, J. Burguete, J. Montero, J. M. Tarjuelo, N. Zapata, J. González and E. Playán. 2009. Comparing mythologies for the characterization of water drops emitted by an irrigation sprinkler. *Transactions of the ASABE*, 52(5): 1493-1504.
- DeBoer, D. W. and M. J. Monnens. 2001. Estimation of drop size and kinetic energy from a rotating spray- plate sprinkler. *Transactions of ASAE*, 44: 1571-1580.
- Ferreira, C. 2001. Gene expression programming: a new adaptive algorithm for solving problems. *Complex Systems*, 13(2): 87-129.
- Li, J., H. Kawano and K. Yu. 1994. Droplet size distributions from different shaped sprinkler nozzles. *Transactions of ASAE*, 37(6), 1871- 1878.
- Keller, J. and R. D. Bliesner. 1990. *Sprinkler and trickle irrigation*. Van Nostrand Reinhold, New York, USA. pp. 652.
- Kim W.T., S. K. Mitra, X. Li, L. A. Prociw and T. C. J. Hu. 2003. A predictive model for the initial droplet size and velocity distributions in sprays and comparison with experiments. *Particle and Particle Systems Characterization*, 20: 135 - 149.
- Kincaid, D. C., K. H. Solomon and J. C. Oliphant. 1996. Drop size distribution for irrigation sprinklers. *Transactions of ASAE*, 39: 839-845.
- Kollár, L. E. and M. Farzaneh. 2007. Modeling the evolution of droplet size distribution in two-phase flows. *International Journal of Multiphase Flow*, 33: 1255–1270.
- Koza, J. R. 1992. *Genetic Programming: On the Programming of Computers by Means of Natural Selection*. MIT Press. Cambridge, USA. pp. 813.
- Ren, N., A. Blum, Y. Zheng, C. Do and A. Marshall. 2009. Quantifying the Initial Spray from Fire Sprinklers. *Fire Safety Science*, 9: 503-514.
- Salvador, R., C. Bautista-Capetillo, J. Burguete, N. Zapata and E. Playán. 2009. A photographic methodology for drop characterization in agricultural sprinklers. *Irrigation Science*, 27: 307–317.
- Sanchez Burillo, G., R. Delirhasannia, E. Playán, P. Paniagua, B. Latorre and J. Burguete. 2013. Initial drop velocity in a fixed spray plate sprinkler. *ASCE, Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 139(7): 521–531.
- Sayyadi, H., A. H. Nazemi, A. A. Sadraddini and R. Delirhasannia. 2014. Characterising droplets and precipitation profiles of a fixed spray-plate sprinkler. *Biosystems Engineering*, 119: 13-24.

## Modeling of The Droplets Diameter Emitted from Impact Sprinklers

Vahdat Ahmadifar<sup>1</sup>, Reza Delirhasannia<sup>2</sup>, Amir Hossein Nazemi<sup>3</sup> and Ali Ashraf Sadraddini<sup>4</sup>

### Abstract

Sprinkler droplet diameter is one of the affecting factors on the application radius, wind drift and evaporation losses, soil compaction and generally it is sprinkler quality indicator. Determination of the proper drop diameter helps the efficient sprinkler selection to meet technical and design goals. In this research, the intelligent Gene Expression Programming (GEP) method was applied for modeling of mean drop diameter emitted from impact sprinklers. Model input data were included nozzle diameter, operation pressure and distance from sprinkler; and model output was mean drop diameter landed at the certain distance from sprinkler. For preparing model inputs, experiments were conducted for 22 nozzle size and operation pressure combinations and considering 9 to 14 spatial steps of 1.5 m intervals. Using digital photographic method and analyzing the photos, the drops drop diameter data were obtained under all experimental conditions. In addition, sprinklers application radii were measured in the experiments. Consequently, by classification of nozzle sizes, operation pressures, measuring distances on one hand and mean drop drop diameters on the other hand and application of GEP method, a model was developed to predict mean drop size in the different distances from sprinkler. Comparisons between model results and observation data showed high accuracy of the proposed model with  $R^2=0.91$  and  $RMSE= 0.402$ . In addition the simultaneous effects of pressure and nozzle diameter on drop drop diameter were investigated in this research.

**Keywords:** application radii, Gene Expression Programming, nozzle diameter, operation pressure.

<sup>1</sup> MSc., Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran. Email: vahdatahmadifar@yahoo.com (Corresponding author).

<sup>2</sup> Assistant Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran. Email: delearhasannia@yahoo.com

<sup>3</sup> Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran. Email: ahnazemi@tabrizu.ac.ir

<sup>4</sup> Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran. Email: sadraddini@tabrizu.ac.ir