

شبیه‌سازی الگوی توزیع آبیاری منفرد سیستم آبیاری سنتریپوت با استفاده از توزیع‌های احتمالاتی گاما و نرمال

احمد فعالیان^{۱*}، علی اشرف صدرالدینی^۲، احمد فاخری فرد^۳ و امیرحسین ناظمی^۴

چکیده

در این پژوهش یک مدل نیمه تجربی در دو حالت با کاربرد توابع توزیع گاما و نرمال برای شبیه‌سازی الگوی توزیع آبیاری سیستم آبیاری سنتریپوت بسط داده شد. آبیاری اسپریر با پد چرخان و زاویه پخش 360° با نام تجاری نلسون R3000 که یک آبیاری بسیار متداول در سیستم‌های سنتریپوت می‌باشد، مورد استفاده قرار گرفت. آزمایشات متعدد میدانی بر اساس استانداردهای ASAE-S398.1 و ISO-8026 برای تعیین الگوی توزیع آب در شرایط بدون باد و حالت وجود باد به انجام رسید. در مجموع نتایج تعداد ۱۸ آزمایش که از دقت و صحت آنها اطمینان حاصل شده بود برای صحت سنجی مدل مورد استفاده قرار گرفت. حداقل و حداکثر سرعت باد در شرایط مزرعه‌ای به ترتیب برابر $0/57$ و $7/41$ متر در ثانیه ثبت و قابلیت خوب مدل با کاربرد هر دو تابع در شبیه‌سازی الگوی توزیع آبیاری در محدوده سرعت‌های باد مذکور مشخص شد. متوسط ضریب تعیین (R^2) بین ارقام حاصل از کاربرد توابع توزیع گاما و نرمال با ارقام مشاهداتی به ترتیب برابر $0/86$ و $0/80$ و متوسط جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) مربوط به هر کدام به ترتیب برابر $0/35$ و $0/44$ حاصل گردید. لذا دقت مدل در حالت کاربرد تابع توزیع گاما بیشتر از حالت کاربرد توزیع نرمال ارزیابی شد. بیشترین مقدار ضریب تعیین بین ارقام مشاهداتی و ارقام حاصل از مدل برابر $0/96$ و با کاربرد تابع توزیع گاما و کمترین مقدار آن برابر $0/72$ با کاربرد توزیع نرمال حاصل گردید.

واژه‌های کلیدی: الگوی توزیع آبیاری منفرد، توزیع‌های احتمالاتی، سیستم سنتریپوت، شبیه‌سازی

مقدمه

در سه دهه گذشته به دلیل افزایش هزینه‌های انرژی و کارگری استفاده از سیستم‌های کم فشار و تمام اتوماتیک سنتریپوت توسعه یافته است. برای تعیین الگوی توزیع این سیستم‌ها معمولاً از همپوشانی الگوهای توزیع آبیاری منفرد در ترکیب با مشخصه‌های حرکتی دستگاه استفاده می‌شود. الگوی توزیع هر آبیاری منفرد در شرایط استقرار در یک موضع ثابت اندازه‌گیری می‌شود. لذا در طول ۲۵ سال اخیر مطالعات متعددی برای مدل‌سازی توزیع آب توسط آبیاری‌های بارانی در شرایط کنترل شده و نیز شرایط واقعی مزرعه انجام شده است (صیادی و فعالیان، ۱۳۸۷). گرانیور و همکاران (۲۰۰۳) با توجه به الزامات و محدودیت‌های خاص روش‌های بکار رفته، مدل‌های پیش‌بینی الگوی توزیع را به سه گروه

۱- دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی

مشهد

(*- نویسنده مسئول (Email: ahad.faalian@yahoo.com)

۲، ۳ و ۴- به ترتیب استادیار و دانشیاران گروه مهندسی آب دانشگاه تبریز

آبیاش‌های منفرد ارائه نمودند. این مدل، با فرض یک الگوی بیضی شکل به عنوان شکل پایه الگوی توزیع، از توابع شکل برای نمایش توزیع آب در طول ۴ بخش اصلی الگوی توزیع استفاده می‌نماید.

تارجلو و همکاران (۱۹۹۹, I, II) برای تعیین الگوی توزیع آب توسط آبیاش‌های با قطر پخش متوسط آزمایشاتی را در شرایط بدون باد انجام دادند. سپس برای ارزیابی اثر باد بر روی الگوی توزیع آبیاش، آزمایشات مزرعه‌ای در سرعت‌ها و جهت‌های مختلف باد را مورد تحلیل قرار دادند.

مول و له‌گات (۲۰۰۰, I, II) الگوی توزیع آبیاش ضربه‌ای دو ناله را با استفاده از یک مدل نیمه تجربی و با کاربرد یک رابطه ترکیبی از سه تابع توزیع احتمالاتی بنا شبیه‌سازی نمودند. قطرات پخش شده به صورت ترکیبی از سه جمعیت قطرات ریز، متوسط و درشت در نظر گرفته شده بود که هر تابع توزیع احتمال بنا به یکی از این جمعیت‌ها مربوط بود. مدل پیشنهادی این محققین از دقت خوبی برای شبیه‌سازی الگوی توزیع آبیاش ضربه‌ای برخوردار بود.

در پژوهش حاضر مدل نیمه تجربی پیشنهادی مول و له‌گات (۲۰۰۰) بر پایه کاربرد دو تابع توزیع احتمال گاما و نرمال برای شبیه‌سازی الگوی توزیع آبیاش اسپریر ۳۶۰ درجه که نوع پیشرفته‌ای از آبیاش‌های مخصوص سیستم سنتریپوت می‌باشد، استفاده شده است. هدف از این تحقیق، پیش‌بینی الگوی توزیع آبیاش در سرعت‌ها و جهت‌های مختلف باد است.

مواد و روش‌ها

برای تهیه اطلاعات ورودی مدل‌ها آزمایشات مربوط به تعیین الگوی توزیع آبیاش در ایستگاه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز واقع در کیلومتر دوازده جاده تبریز- باسمنج در منطقه‌ای به عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ۱ دقیقه و طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۳ دقیقه و ارتفاع ۱۵۶۷ متر از سطح دریا انجام شد.

آبیاش در ارتفاع ۱/۸ متری سطح زمین مطابق با شرایط واقعی کارکرد سیستم‌های سنتریپوت در مزرعه نصب گردید. با در نظر گرفتن معیارهای ذکر شده در دو استاندارد معتبر ASAE-S398.1 و ISO-8026، شبکه ظروف جمع‌آوری آب به صورت مربعی با اضلاع ۱/۲۵ متر مستقر شد. هر ظرف در وسط یکی از این مربع‌ها (پیکسل‌ها) قرار گرفت. بطوریکه عمق آب در هر ظرف نشان‌دهنده متوسط عمق آب رسیده به پیکسل نظیر خود در نظر گرفته شد. شبکه ظروف جمع‌آوری آب و محل قرارگیری آبیاش در شکل ۱ نشان داده شده است. مطابق استاندارد مزبور برای جمع‌آوری آب از ظروف پلاستیکی با قطر دهانه ۱۲ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر استفاده شد. با استفاده از پایه‌های چوبی و حلقه‌های نگهدارنده فلزی، ظروف جمع‌آوری آب در ارتفاع استاندارد ۳۰ سانتی‌متری زمین تعبیه

سازی و تقریب‌سازی برخی پدیده‌های آیرودینامیکی اشاره نمود (هان و همکاران، ۱۹۹۴).

مدل‌های آماری

منحنی‌ها یا نقشه‌های توزیع آب توسط آبیاش که در شرایط مختلف بهره‌برداری به دست می‌آیند با قوانین توزیع‌های احتمالاتی مطابقت دارند (سولومون و بزدرک، ۱۹۸۰ و الیوت و همکاران، ۱۹۸۰). در تمامی این روش‌ها منحنی‌های توزیع احتمالاتی توزیع مکانی پخش آب در شرایط مختلف تعیین شده و سپس به یکی از توابع احتمالاتی و میانگین و انحراف از معیار آن نسبت داده می‌شود (گرانیر و همکاران، ۲۰۰۳).

الیوت و همکاران (۱۹۸۰) توابع توزیع نرمال، یکنواخت و بتا را با هدف سنجیدن یکنواختی پخش آب توسط دستگاه آبیاری سنتریپوت با هم مقایسه کردند. این محققان بیش از ۲۰۰۰ الگوی آبیاش ثابت همپوشانی شده را که در شرایط وجود باد به دست آمده و سپس همپوشانی شده بودند با هم مقایسه کرده و بدین صورت نتیجه‌گیری کردند که برای سیستم آبیاری سنتریپوت تابع توزیع نرمال در کل بهتر از تابع توزیع یکنواخت و بتا تطابق دارد.

مدل‌های نیمه تجربی

در این مدل‌ها فرض بر این است که پروفیل آب پخش شده بر روی خاک، دارای شکل انعطاف‌پذیر و متغیر است. در شرایط بدون باد، شکل این توزیع تنها به خصوصیات تجهیزات و شرایط هیدرولیکی جریان وابسته است. این شکل را می‌توان از توزیع شعاعی اندازه‌گیری شده در شرایط کنترل شده بدون باد استنتاج نمود. در صورت وجود باد، شکل این توزیع بهم می‌ریزد و هدف مدل نیمه تجربی ایجاد ارتباط بین سرعت و جهت باد و تغییر الگوی توزیع آبیاش می‌باشد. نقشه‌های توزیع مکانی اندازه‌گیری شده در شرایط مزرعه‌ای برای کالیبره نمودن این مدل‌ها بکار می‌رود (گرانیر و همکاران، ۲۰۰۳).

سگینر و همکاران (۱۹۹۱) با استفاده از آبیاش‌هایی با توزیع دایره‌ای کامل، توزیع آب را تحت سرعت‌های مختلف باد مورد بررسی قرار دادند و الگوهای میان‌یابی شده توزیع را با در نظر گرفتن تلفات تبخیر و باد بردگی محاسبه نمودند. در این تحقیق مشخص شد که مقدار جابجایی مرکز ثقل ناحیه خیس شده و افزایش سطح تحت پوشش آبیاری متناسب با سرعت باد می‌باشد. مدل ارائه شده توسط این محققین برای سرعت‌های باد کمتر از ۸ متر بر ثانیه قابل استفاده می‌باشد.

هان و همکاران (۱۹۹۴) مدلی جهت شبه‌سازی منحنی‌های توزیع آب در چهار جهت اصلی باد (۰، ۹۰، ۱۸۰ و ۲۷۰ درجه) برای

آزمایش کنترل شده در شرایط بدون باد در سالن سرپوشیده شرکت احسان تحقیق - مجری پروژه‌های اجرایی تحقیقات مهندسی جهاد کشاورزی استان آذربایجان شرقی - انجام گردید. در آزمایشات مزرعه‌ای داده‌های مربوط به سرعت و جهت باد در ارتفاع دو متری، رطوبت نسبی هوا و دمای هوا در طول آزمایشات برداشت شد.

برای اینکار از یک ایستگاه پرتابل هواشناسی با صفحه نمایشگر دیجیتال استفاده شد. این دستگاه امکان ثبت ثانیه‌ای داده‌ها و قابلیت اتصال به کامپیوتر را دارد. در این پژوهش پارامترهای اقلیمی در فواصل زمانی یک دقیقه اندازه‌گیری شده و میانگین ارقام مذکور در هر ۱۰ دقیقه ثبت می‌گردید. با محاسبه میانگین برداری، برای هر یک ساعت آزمایش، یک عدد ثابت برای سرعت باد و یک عدد نیز برای جهت باد به دست آمد.

تابع توزیع احتمال مناسب برای شبیه‌سازی الگوی توزیع آبیاش

به منظور انتخاب مناسب‌ترین توابع توزیع احتمال برای استفاده در پژوهش حاضر، تحقیقات و تجربیات صورت گرفته توسط محققین مختلف گذشته بررسی شده و با لحاظ نمودن انعطاف‌پذیری و قابلیت تطابق با پروفیل بارش حاصل از آبیاش اسپریر، دو تابع توزیع گامای دو پارامتری و توزیع نرمال که از شناخته‌شده‌ترین توزیع‌های احتمالاتی می‌باشند برای استفاده در این پژوهش مشخص گردیدند. توابع توزیع مذکور بطور جداگانه در ساختار مدل نیمه تجربی مورد نظر برای شبیه‌سازی الگوی توزیع آبیاش مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج حاصله با مقادیر مشاهداتی مورد مقایسه قرار گرفته و دقت هر دو تابع توزیع مورد ارزیابی قرار گرفت.

توزیع گامای دو پارامتری

توزیع گامای دو پارامتری حالت خاصی از توزیع پیرسون نوع ۳ می‌باشد. تابع دانسیته احتمال توزیع گامای دو پارامتری به صورت زیر نوشته می‌شود (سونگ، ۲۰۰۴):

$$f(x) = \frac{1}{a^\beta \Gamma(\beta)} x^{\beta-1} e^{-\frac{x}{a}} \quad (1)$$

که در آن a پارامتر شکل و β پارامتر مقیاس بوده و هر دو مقادیر مثبت می‌باشند. تابع توزیع x به صورت معادله زیر به دست می‌آید:

$$F(x) = \frac{1}{a^\beta \Gamma(\beta)} \int_0^x x^{\beta-1} e^{-\frac{x}{a}} dx \quad (2)$$

که در آن تابع گاما (Γ) توسط معادله زیر تعریف می‌شود:

$$\Gamma(y+1) = \int_0^\infty t^y e^{-t} dt, \quad y+1 > 0 \quad (3)$$

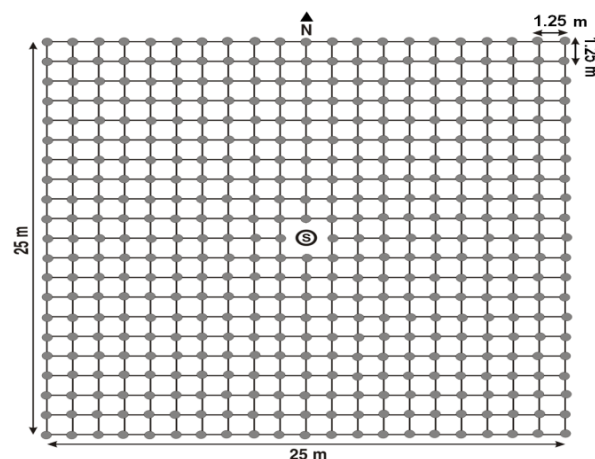
این تابع دارای خواص زیر است:

شدند. در مجموع قطعه‌زمینی مربعی شکل به ابعاد ۲۵ متر برای انجام آزمایشات در نظر گرفته شد. ابعاد زمین به اندازه کافی بزرگ بود که حتی در سرعت‌های باد در حد ۷ متر در ثانیه نیز الگوی حاصله در داخل شبکه قرار می‌گرفت. در هر آزمایش از بین ۴۴۰ ظرف موجود در شبکه حدود ۱۵۰ ظرف آب دریافت می‌نمودند. (در کل تعداد ظروف باید برابر ۴۴۱ ظرف باشد ولی بر طبق استاندارد که زیر آبیاش نباید ظرف قرار بگیرد، لذا تعداد ظروف شبکه برابر ۴۴۰ عدد می‌باشد).

زمان کارکرد آبیاش طبق استانداردهای فوق‌الذکر در هر بار آزمایش به مدت یک ساعت بود و سپس با خاموش نمودن پمپ، آزمایش متوقف شده و مقادیر آب جمع‌شده در ظروف قرائت می‌شدند. برای جلوگیری از تلفات تبخیر از ظروف، قرائت مقادیر آب جمع شده در ظروف در سریعترین زمان ممکن صورت می‌گرفت.

آبیاش نوع اسپری با پد چرخان و تولید کارخانه نلسون آمریکا با مارک تجاری Nelson R3000 برای انجام آزمایشات این پژوهش انتخاب شد. این نوع آبیاش که دارای زاویه پخش ۳۶۰ درجه بوده و جت خروجی از نازل با برخورد به پد چرخان در شش جهت پخش می‌گردد، یکی از متداول‌ترین انواع آبیاش در سیستم‌های نوین سنتزیوت می‌باشد. فشار کارکرد توصیه شده این آبیاش در محدوده ۳/۴-۱ بار (۵۰-۱۵ Psi) و قطر پخش آن ۲۲/۶-۱۵/۲ متر (۷۴-۵۰ فوت) می‌باشد. با استفاده از یک دستگاه تنظیم کننده فشار، در تمام آزمایشات فشار کارکرد آبیاش برابر ۲۰ Psi (طبق توصیه کارخانه سازنده آبیاش) برقرار شد.

برای شبیه‌سازی الگوی توزیع آبیاش با استفاده از توزیع‌های احتمالاتی، حداقل یک آزمایش در شرایط کنترل شده بدون باد و تعدادی آزمایش در شرایط مزرعه‌ای و وجود باد (به نحوی که پوشش دهنده سرعت‌های غالب باد منطقه باشد)، لازم است.



شکل ۱- شبکه ظروف جمع آوری آب و محل قرارگیری آبیاش

انجام شده در شرایط بدون باد برآورد می‌گردد. در واقع الگوی توزیع نظیر شرایط بدون باد با تابع توزیع احتمال مورد نظر برآزش داده می‌شود.

سپس مشاهدات مزرعه‌ای برای ارزیابی میزان جابجایی مرکز ثقل الگوی توزیع آبپاش بکار گرفته می‌شود. این مدل برای انواع مختلف آبپاش‌ها قابل کاربرد است. منطقه تحت آبیاری در مختصات (O, r, θ) قرار می‌گیرد. O مرکز ثقل الگوی توزیع آب است که در شرایط بدون باد بر محل قرارگیری آبپاش منطبق می‌باشد، $ds = drd\theta$ برابر المان سطحی واقع در نقطه (r, θ) که میزان $f(r, \theta)drd\theta$ از کل آب پخش شده را دریافت می‌کند. $f(r, \theta)$ مقدار نظیر تابع دانسیته احتمال توزیع گاما در نقطه (r, θ) می‌باشد. تابع دانسیته احتمال توزیع گامای دو پارامتری به صورت زیر است:

$$f(x, a, \beta) = \frac{1}{a^\beta \Gamma(\beta)} x^{\beta-1} e^{-\frac{x}{a}} \quad (10)$$

که در آن $x, a, \beta > 0$ بوده و بقیه پارامترهای موجود در عبارت فوق قبلاً توضیح داده شده اند. در شرایط بدون باد، تابع توزیع احتمال مستقل از زاویه θ می‌باشد؛ به عبارت دیگر در شرایط کنترل شده بدون باد تابع توزیع احتمال در تمام جهات پخش یکسان می‌باشد. زیرا در این حالت بهم خورگی ناشی از باد، در پروفیل پخش آب وجود ندارد. بنابراین بدیهی است که:

$$g(r) = \int_0^{2\pi} f(r, \theta) d\theta \quad (11)$$

پس $g(r)dr$ برابر است با: مقدار کل آب رسیده به حلقه‌ای به شعاع r و ضخامت dr .

بر اساس پیشنهاد مول و له‌گات (۲۰۰۰) می‌توان $g(r)$ را با استفاده از ترکیبی از n تابع توزیع گاما (که عملاً n برابر ۱، ۲، و یا ۳ می‌باشد) مدل‌سازی نمود. این تابع به صورت $G(x, a, \beta) = G(r/p, a, \beta)$ بیان می‌گردد:

$$g(r) = \sum_{k=1}^n \tau_k G(r/p, a_k, \beta_k) \quad (12)$$

که در آن:

τ_k : کسری از کل حجم آب پخش شده به روی زمین

r : فاصله نقطه مورد نظر از آبپاش

p : حداکثر شعاع پخش آب توسط آبپاش در هر آزمایش و

a, β : پارامترهای تابع توزیع گاما می‌باشند.

در معادله $g(r)$ هر کدام از k ها مربوط به یک جامعه از قطرات - ریز، متوسط و درشت- می‌باشد. در آبپاش‌هایی که پروفیل پخش آنها دوقله می‌باشد، ممکن است $k=2$ یا $k=3$ باشد. در این نوع آبپاش‌ها که بیشتر شامل آبپاش‌های ضربه‌ای دو ناله می‌شود، هر سه جامعه قطرات اعم از ریز و متوسط و درشت ایجاد می‌گردد.

$$\Gamma(y+1) = y\Gamma(y), y > 0 \quad (4)$$

$$\Gamma(y) = \Gamma(y+1)/y, y < 1 \quad (5)$$

$$\Gamma(n) = (n-1)! \quad \text{n یک عدد صحیح و مثبت است} \quad (6)$$

مقادیر ویژه گاما شامل $\Gamma(1) = \Gamma(2) = 1$ و $\Gamma(1/2) = \sqrt{\pi}$ می‌باشد.

توزیع نرمال

از آنجایی که بسیاری از پارامترهای آماری تقریباً بطور نرمال توزیع شده‌اند، توزیع نرمال اغلب برای استنتاج آماری استفاده می‌شود. طبق نظر کلر و بلیسنر (۱۹۹۰) اگر ضریب یکنواختی کریستیانسن CU بیشتر از ۷۰٪ باشد ($CU > 70\%$)، نحوه توزیع آب و پخش آن در سطح زمین از توزیع نرمال پیروی می‌کند. با توجه به اینکه کیفیت قابل قبول برای آبیاری بارانی در شرایط حصول $CU > 70\%$ می‌باشد، به علاوه همچنانکه در قسمت بررسی منابع اشاره شد، در مراجع متعددی از تابع توزیع نرمال برای تعیین الگوی توزیع آبپاش استفاده شده است؛ لذا استفاده از توزیع نرمال برای مقایسه با تابع توزیع گامای دو پارامتری منطقی به نظر می‌رسد. تابع دانسیته احتمال متغیر x که به صورت نرمال توزیع شده باشد به صورت زیر است (مونت گومری و رانجر، ۲۰۰۲):

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2\sigma^2}(x-\mu)^2} \quad (7)$$

که در آن μ و σ پارامترهای توزیع هستند. متغیر x مقادیری از $-\infty$ تا $+\infty$ را می‌تواند اختیار کند. متغیر نرمال استاندارد u ، متغیری نرمال با میانگین معادل صفر و انحراف استاندارد معادل یک می‌باشد. تابع دانسیته احتمال u به صورت زیر است:

$$f(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{u^2}{2}} \quad (8)$$

همچنین توزیع تجمعی $F(u)$ که مساحت زیر تابع دانسیته احتمال است به صورت زیر مشخص می‌گردد:

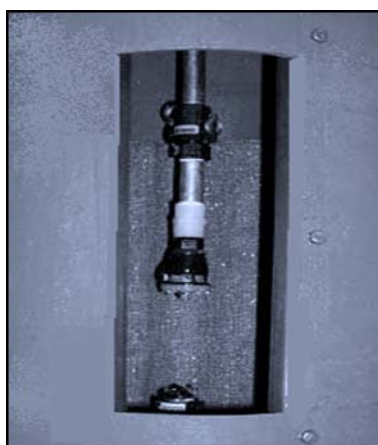
$$F(u) = \int_{-\infty}^u \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt \quad (9)$$

تئوری مراحل شبیه‌سازی

در این بخش مراحل شبیه‌سازی تنها برای تابع توزیع گامای دوپارامتری بحث شده است، بدیهی است که تمام مراحل برای توزیع نرمال نیز یکسان می‌باشد. همچنانکه قبلاً نیز اشاره شد، روند کار در این روش نیمه تجربی به این صورت است که پارامترهای تابع توزیع احتمال گاما (یا توزیع نرمال و یا هر تابع توزیع دیگری که برای شبیه‌سازی انتخاب شود) با استفاده از داده‌های مربوط به آزمایش

کرده و از پایین به صورت بای پس^۱ دوباره به مخزن برگردانده شد. دی بوئر و مونس (۲۰۰۱) نیز در تحقیق خود برای بررسی اندازه و انرژی جنبشی قطرات آب حاصل از نوعی آبیاش با صفحه چرخان از همین روش استفاده نمودند.

شکل (۲) تصویر سیستم ایجاد شده برای انجام آزمایش در شرایط کنترل شده بدون باد را نشان می‌دهد. پس از آماده شدن سیستم فوق و اطمینان از عدم تغییرات شرایط پخش در تکرارهای مختلف، داده‌های مربوط به آزمایش کنترل شده در شرایط بدون باد ثبت گردید. این داده‌ها برای استخراج پارامترهای توابع توزیع گاما و نرمال و برازش با آنها بکار گرفته شد.



(شکل ۲) - سیستم ایجاد شده برای پخش آب در شرایط بدون باد

محاسبه حجم آب رسیده به زمین

همانطور که اشاره شد، از ظروف استاندارد پلاستیکی به قطر دهانه ۱۲ سانتی‌متر برای جمع‌آوری آب پخش شده از آبیاش استفاده گردید. لذا در رابطه (۱۴) پارامتر ρ یعنی شعاع دهانه ظروف جمع‌آوری آب برابر 0.06 متر قرار داده شد. با توجه به اینکه شبکه ظروف جمع‌آوری آب متشکل از مربعاتی به اضلاع 0.725 متر بود، بنابراین می‌توان گفت که هر ظرف جمع‌آوری مقدار 0.723 درصد از یک مربع مذکور را پوشش می‌دهد. این عدد از رابطه (۱۵) به دست آمد.

$$S_e = \frac{A_{circle}}{A_{square}} = \frac{\pi \rho^2}{L^2} = \frac{\pi \times (0.06)^2}{(1.25)^2} = 0.723 \% \quad (15)$$

اگر حجم آب جمع شده در ظرفی به مختصات x, y را با V_{xy} نشان دهیم، حجم کل آب رسیده به سطح زمین با عبارت زیر برابر می‌باشد:

پروفیل پخش این نوع آبیاش‌ها را می‌توان با اعمال ضرایب وزنی به دو یا سه تابع احتمالاتی تجزیه کرد. کل حجم آب رسیده به سطح A برابر است با:

$$F(A) = \iint_A f(r, \theta) dr d\theta \quad (13)$$

سطح A عبارت است از مساحت دیسک D با شعاع ρ که به اندازه کافی در مقایسه با P (حداکثر شعاع پخش آبیاش) کوچک است. در مختصات قطبی ρ شعاع دهانه ظروف جمع‌آوری کننده آب است. رابطه زیر تقریبی برای برآورد حجم آب رسیده به حلقه D نسبت به حجم کل آب خروجی از آبیاش ارائه می‌کند. در این رابطه C حلقه‌ای است به مرکز مبدأ مختصات O (محل قرارگیری آبیاش) و محاط بین دوایری به شعاع $R-\rho$ و $R+\rho$ (مول و له‌گات، ۲۰۰۰):

$$F(D) = \iint_D f(r, \theta) dr d\theta = \frac{\iint_D dr d\theta}{\iint_C dr d\theta} \iint_C f(r, \theta) dr d\theta \quad (14)$$

$$\approx \frac{\pi \rho^2}{\pi (R + \rho)^2 - \pi [\max(R - \rho, 0)]^2} \int_{\max(R - \rho, 0)}^{R + \rho} g(r) dr$$

رابطه فوق به این معنی است که حجم آب وارد شده به حلقه D یا ظرف جمع‌آوری آب برابر است با نسبت مساحت حلقه D به مساحت حلقه C ضربدر حجم آب وارد شده به حلقه C . این تقریب شده در معادله فوق برای شرایط بدون باد صحیح است. این تقریب برای آبیاش‌های با دور کامل (۳۶۰ درجه) صادق است. در این حالت مرکز ثقل الگوی توزیع آب پخش شده در اطراف آبیاش بر مبدأ مختصات منطبق است.

برای انجام آزمایش کنترل شده در شرایط بدون باد سیستم انتقال آب از مخزن تا ورودی آبیاش، ارتفاع استقرار و فشار کارکرد آبیاش، ارتفاع قرارگیری ظروف جمع‌آوری آب، زمان کارکرد آبیاش و نحوه داده‌برداری همگی دقیقاً مانند شرایط مزرعه‌ای تنظیم و اجرا شد. با توجه به اینکه آبیاش انتخابی برای این پژوهش از دقت ساخت بسیار بالایی برخوردار است، لذا در شرایط کنترل شده بدون باد، الگوی توزیع حاصله یک الگوی کاملاً متقارن نسبت به مرکز یا محل قرارگیری آبیاش می‌باشد. یعنی برای تعیین الگوی توزیع کل سطح تحت پوشش آبیاش کافی است که الگوی توزیع مربوط به قطاع کوچکی از سطح دایره تحت پوشش در داخل سالن (تحت شرایط بدون باد) مورد بررسی قرار داده شود.

بنابراین آبیاش توسط یک جعبه فلزی بشکه مانند با قطر حدود شصت سانتی‌متر محاط شده و با برش یک ناحیه از بشکه به صورت شکاف سراسری قائم، اجازه خروج آب داده شد. اندازه شکاف روی بدنه بشکه طوری در نظر گرفته شد که در هر لحظه جت خروجی از یک شیار پد در حد فضای باز شکاف آب را به خارج از محدوده بشکه پخش نماید. بقیه آب خروجی از آبیاش به دیواره داخلی بشکه برخورد

تغییرات شعاع پخش در اثر باد و انتقال مبدأ به مختصات جدید قطبی

در شرایط بدون باد الگوی توزیع حالت دایره‌ای داشته و شعاع پخش در جهات مختلف یکسان است. اما در اثر باد الگوی توزیع آبیاش علاوه بر جابجایی، تقارن خود را نیز از دست داده و حالت بیضی‌گون (یا تخم مرغی شکل) به خود می‌گیرد. لذا شعاع پخش آبیاش در جهات مختلف متفاوت بوده و با تغییرات زاویه پخش تغییر می‌کند. برای تعریف تابع توزیع احتمالاتی در شرایط وجود باد تعیین میزان و جهت جابجایی مرکز ثقل الگوی توزیع لازم می‌باشد. لذا مبدأ مختصات به محل (x_b, y_b) منتقل شده و مختصات ظروف جمع‌آوری آب در محوره‌های جدید به صورت قطبی پیاده می‌شود. محل مبدأ مختصات جدید از روابط زیر محاسبه می‌گردد:

$$x_b = \delta v \cos(\alpha) \quad (23)$$

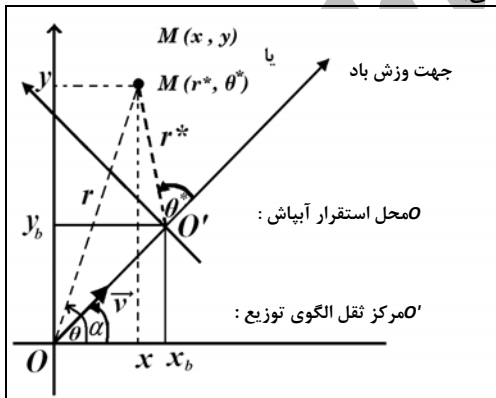
$$y_b = \delta v \sin(\alpha) \quad (24)$$

در روابط فوق v سرعت باد و α جهت باد نسبت به محور x ها می‌باشد. در صفحه مختصات جدید محل قرارگیری ظروف جمع‌آوری آب با مختصات قطبی به صورت زیر بیان می‌شود.

$$r^* = \sqrt{(x - x_b)^2 + (y - y_b)^2} \quad (25)$$

$$\theta^* = \text{sgn}(\text{sgn}(y - y_b) + 0.5) Ar \cos\left(\frac{x - x_b}{r^*}\right) - \alpha \quad (26)$$

نحوه این انتقال در شکل (۳) نشان داده شده است. همچنانکه در شکل مشاهده می‌شود، انتقال مبدأ مختصات به اندازه OO' می‌باشد که در راستای زاویه تأثیر باد انجام می‌گیرد. در مختصات قطبی جدید محور OO' جایگزین محور x می‌گردد و زاویه آن با محور x ها برابر α می‌باشد.



(شکل ۳) - انتقال محوره‌های مختصات شبکه ظروف جمع‌آوری آب

در الگوی توزیع حاصله در شرایط باد، حداکثر شعاع پخش آب توسط آبیاش در امتداد بردار سرعت باد و حداقل مقدار آن در امتداد خلاف جهت باد خواهد بود. شعاع پخش آب توسط آبیاش در شرایط مزرعه‌ای، در جهت‌های مختلف تابعی از سرعت باد و θ^* می‌باشد.

$$V = \sum_x \sum_y \frac{V_{xy}}{S_e} \quad (16)$$

لذا کسری از کل آب پخش شده که به ظرف مستقر شده در مختصات x, y می‌رسد، عبارت است از:

$$F_{xy} = \frac{V_{xy}}{V} \quad (17)$$

اگر در شرایط بدون باد مبدأ مختصات یا همان مرکز ثقل الگوی توزیع آبیاش در محل قرارگیری آبیاش فرض شود، بدیهی است که این نقطه تحت تأثیر باد جابجا خواهد شد؛ میزان جابجایی مرکز ثقل الگوی توزیع در دو راستای افقی و قائم از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$x_b = \left(\sum_x \sum_y F_{xy} x \right) / \left(\sum_x \sum_y F_{xy} \right) \quad (18)$$

$$y_b = \left(\sum_x \sum_y F_{xy} y \right) / \left(\sum_x \sum_y F_{xy} \right) \quad (19)$$

مرکز ثقل الگوی توزیع در راستای تأثیر باد جابجا می‌گردد. لذا با در اختیار داشتن x_b و y_b می‌توان زاویه تأثیر باد نسبت به محور x را تعیین نمود. این زاویه با عنوان α نامیده شده و از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\alpha = \text{sgn}(\text{sgn}(y_b) + 0.5) Ar \cos\left(\frac{x_b}{\sqrt{x_b^2 + y_b^2}}\right) \quad (20)$$

که در آن :

$$z > 0 \rightarrow \text{sgn}(z) = +1 ; z = 0 \rightarrow \text{sgn}(z) = 0 ;$$

$$z < 0 \rightarrow \text{sgn}(z) = -1$$

در صورتیکه داده‌های مربوط به بردار سرعت باد در حین انجام آزمایش با دقت فوق‌العاده زیادی ثبت شود و هج خطا و تقریبی در ثبت داده‌ها وارد نگردد، برآیند داده‌های ثبت شده بایستی برابر این زاویه باشد. هرچند در عمل رسیدن به این میزان دقت در داده‌برداری ممکن نمی‌باشد. قدر مطلق میزان جابجایی مرکز ثقل در اثر باد با عبارت $|OO'|$ نشان داده شده و از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$|OO'| = \sqrt{(x_b^2 + y_b^2)} \quad (21)$$

برای تخمین اندازه جابجایی مرکز ثقل الگوی توزیع آبیاش به ازای همه مقادیر پیوسته سرعت باد، بین مقادیر $|OO'|$ مربوط به آزمایشات مختلف انجام شده و سرعت‌های باد یک رابطه خطی به صورت زیر فرض شد.

$$|OO'| = \delta v \quad (22)$$

که در آن v مقدار بردار برآیند سرعت باد و δ شیب تغییرات OO' نسبت به سرعت باد یا همان ضریب زاویه خط رگرسیون به ابعاد $(m/(m/s^{-1}))$ می‌باشد. جداول و نمودارهای مربوط به این محاسبات در قسمت نتایج و بحث آورده شده است.

صفحه مختصات جدید با r^* و θ^* مشخص شد، محاسبه می‌گردد. رابطه (۲۸) بجز در مواردی که نمای e عدد صحیح می‌باشد به صورت صریح قابل حل نبوده و به روش‌های عددی بایستی حل گردد.

نرم افزارهایی نظیر MATLAB امکانات مناسبی برای حل این گونه توابع فراهم آورده‌اند که در تحقیق حاضر نیز از این نرم‌افزار استفاده گردید. در مورد تابع توزیع تجمعی نرمال نیز رابطه (۲۸) با تغییر تابع دانسیته احتمال نرمال با تابع دانسیته احتمال گامای دو پارامتری (عبارت داخل انتگرال) بکار گرفته می‌شود. بدیهه است که مقادیر حاصل از شبیه‌سازی دقیقاً برابر مقادیر مشاهداتی نظیر نبوده و دارای مقداری خطا است.

برای بررسی دقت مدل از شاخص ضریب تعیین (R^2) استفاده شد. کوالسیت (۱۹۸۵) ضریب تعیین R^2 را مطابق رابطه زیر تعریف کرده است:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (F_{xy} - \hat{F}_{xy})^2}{\sum (F_{xy} - \bar{F}_{xy})^2} \quad (29)$$

که در آن:

F_{xy} : حجم نسبی آب پخش شده در ظرف به مختصات (x,y)

\hat{F}_{xy} : مقدار برآوردشده حجم نسبی آب برای ظرف به مختصات (x,y)

\bar{F} : میانگین آب جمع شده در ظروف جمع‌آوری آب

همچنین مقدار خطای برآورد در هر آزمایش از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$RMSE = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum (F_{xy} - \hat{F}_{xy})^2}}{\bar{F}} \quad (30)$$

در این رابطه RMSE جذر میانگین مربعات خطا و n تعداد ظروف دریافت کننده آب می‌باشد. تمامی مراحل فوق در محیط MATLAB به صورت یک بسته نرم افزاری متمرکز گردآوری شد.

نتایج و بحث

جدول ۱ مقادیر استخراج شده برای پارامترهای تابع توزیع گامای دو پارامتری را نشان می‌دهد. در این جدول علاوه بر نتیجه نرم افزار NCSS 2007/GESS در تخمین پارامترهای تابع توزیع، نتایج حاصل از روش عددی بابی و آشکار (۱۹۹۱) و نیز روش عددی وو و همکاران (۲۰۰۵) هم ارائه شده است. هر سه این روش‌ها بر مبنای روش حداکثر درست‌نمایی در تخمین پارامترهای تابع توزیع احتمال توسعه داده شده‌اند. ملاحظه می‌گردد که مقادیر به دست آمده برای α و β (به ترتیب پارامترهای شکل و مقیاس تابع توزیع گامای دو پارامتری) با استفاده از هر دو روش بابی و آشکار (۱۹۹۱) و نیز وو

به این ترتیب که با معلوم بودن شعاع پخش آبپاش در شرایط بدون باد (P_0) و محاسبه θ^* برای هر ظرف، شعاع پخش آب در راستای استقرار آن ظرف از رابطه (۲۷) تعیین می‌شود:

$$P = P_0 \sqrt{[k_x \cos(\theta^*)]^2 + [k_y \sin(\theta^*)]^2} \quad (27)$$

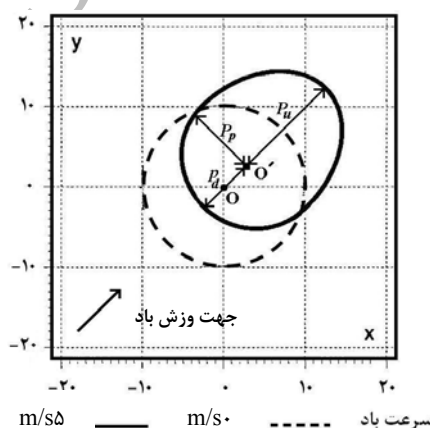
که در آن:

به ازای $\cos(\theta^*) < 0$: $k_x = 1 + \gamma_u v$

و به ازای $\cos(\theta^*) \geq 0$: $k_x = 1 + \gamma_d v$

و به ازای همه مقادیر $\cos(\theta^*)$: $k_y = 1 + \gamma_p v$

پارامترهای γ_u و γ_d و γ_p ضرایب تغییرات شعاع پخش به ترتیب در جهت باد، خلاف و عمود بر جهت باد می‌باشند. این ضرایب بسته به علامتشان باعث کاهش یا افزایش P و در نتیجه انبساط یا انقباض الگوی توزیع آبپاش می‌شوند. این پدیده در شکل (۴) نشان داده شده است.



(شکل ۴) - تصویر شماتیک جابجایی مرکز نقل و تغییر شکل الگوی توزیع آبپاش تحت تأثیر باد (مول و له گات، 2000, I)

مقدار حجم نسبی آب رسیده به ظرف مستقر در فاصله شعاعی r^* که با عبارت \hat{F}_{xy} نشان داده می‌شود با کاربرد تابع توزیع گامای دو پارامتری از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$\hat{F}_{xy} = \frac{\rho^2}{(r+\rho)^2 - [\max(r-\rho, 0)]^2} \int_{\max(r-\rho, 0)}^{r+\rho} g(r) dr = \frac{\rho^2}{(r^*+\rho)^2 - [\max(r^*-\rho, 0)]^2} \int_{\max(r^*-\rho, 0)}^{r^*+\rho} \frac{1}{d^{\beta} \Gamma(\beta)} \left(\frac{r}{\rho}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{r}{\rho}\right)^{\beta}} dr \quad (28)$$

در این رابطه P شعاع پخش آب در راستای ظرفی است که محاسبه \hat{F}_{xy} در مورد آن صورت می‌گیرد. با استفاده از رابطه فوق، مقدار نسبی حجم آب رسیده به ظرف با مختصات معلوم (x,y) که در

همچنان که در این شکل ملاحظه می‌شود، ساختار فیزیکی و مکانیکی منحصر بفرد آبپاش اسپری با پد دارای ۶ شیار متقارن سبب همواری و یکنواختی الگوی توزیع آبپاش گردیده است. شاخص درشتی قطرات از رابطه زیر محاسبه شد.

$$CI = K \frac{P^{1.3}}{D} \quad (31)$$

که در آن:

CI : شاخص درشتی قطرات خروجی از نازل

P : فشار کارکرد آبپاش (کیلو پاسکال)، در این تحقیق برابر ۲۰ psi
یعنی ۱۳۶/۱ کیلوپاسکال برقرار شد.

D : قطر نازل (میلیمتر) برای این آبپاش ۴/۷۵ میلیمتر

K : ضریب تبدیل واحد، برای سیستم متریک برابر ۰/۳۲

با استفاده از رابطه فوق برای آبپاش بکار رفته در این پژوهش، شاخص درشتی قطرات برابر ۴ بدست آمده و نتیجه گرفته شد که جامعه قطرات خروجی از نازل درشت می‌باشند. لذا در رابطه (۱۲) فصل دو مقادیر n و τ_k برابر یک در نظر گرفته شد. به عبارت دیگر با توجه به همگن بودن درشتی قطرات، فقط یک تابع توزیع احتمال برای شبه‌سازی الگوی توزیع بکار گرفته شد.

نحوه استخراج مدل

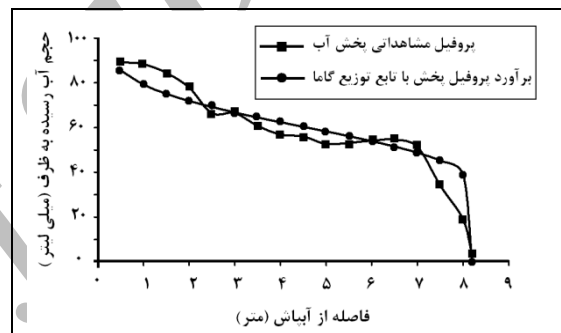
همان‌طور که بیان شد فرض اساسی تحقیق حاضر این است که در شرایط بدون باد جرم آب پخش شده در حلقه‌های دایره ای شکل اطراف آبپاش یکنواخت می‌باشد. دلیل نظری این کار یکنواخت بودن مقادیر آب پخش شده در حلقه‌های دایره ای اطراف آبپاش می‌باشد (مول و له گات، ۲۰۰۰). فرض می‌شود که باد روی مقادیر آب پخش شده در داخل حلقه‌ها تأثیر ندارد، بلکه حالت حلقه تغییر یافته و ضمن جابجایی در راستای تأثیر باد، از شکل دایره‌ای به تخم مرغی تغییر می‌یابد. لذا پس از برازش توابع توزیع احتمال برای شرایط کنترل شده بدون باد، گام بعدی تعیین نحوه جابجایی الگوی توزیع آب و همین‌طور تغییر شکل آن در جهت‌ها و سرعت‌های متفاوت باد است.

برای تخمین اندازه جابجایی مرکز ثقل الگوی توزیع آبپاش به ازای همه مقادیر پیوسته سرعت باد، با استفاده از نرم افزار Curve-Expert و بر اساس معادله (۲۲)، رابطه رگرسیونی به صورت $R = 0.97$ و ضریب همبستگی $|OO^*| = 0.652$ حاصل گردید. شکل (۷) تغییرات جابجایی مرکز ثقل الگوی توزیع آبپاش به ازای تغییرات سرعت باد را نشان می‌دهد. نحوه تغییر پذیری الگوی توزیع از حالت متقارن دایروی به حالت تخم مرغی شکل در قسمت مواد و روش‌ها تشریح شد.

و همکاران (۲۰۰۵) بسیار نزدیک به هم و تقریباً برابر است. پس از برآورد پارامترهای تابع توزیع احتمال گاما، مقادیر مشاهداتی حجم آب رسیده به ظروف با استفاده از حل تابع توزیع تجمعی گاما برآورد گردید. شکل (۵) پروفیل مشاهداتی پخش آب در شرایط بدون باد و مقادیر متناظر برآورد شده با تابع توزیع گاما را نشان می‌دهد.

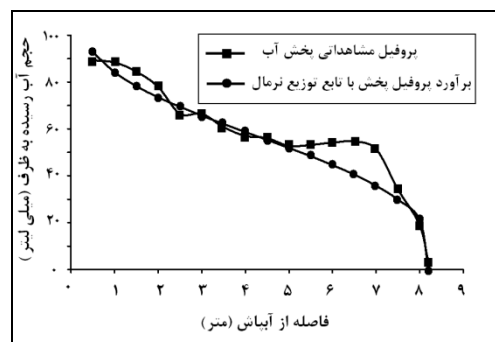
(جدول ۱) - پارامترهای تابع توزیع گامای دو پارامتری برآورد شده

برای داده‌های آزمایشی مربوط به شرایط بدون باد		
روش برآورد پارامترها	β	a
روش بایبی و آشکار (۱۹۹۱)	۲/۹۸۸۲۶۷	۱۹/۰۶۹۷۳
روش وو و همکاران (۲۰۰۵)	۲/۹۸۶۷۲۳	۱۹/۰۷۹۵۹
نرم افزار NCSS 2007/GESS	۲/۹۸۸۲۶۶	۱۹/۰۶۹۷۳



(شکل ۵) - پروفیل مشاهداتی پخش آب توسط آبپاش در شرایط بدون باد و مقادیر برآورد شده با تابع توزیع گاما

برای برآورد پارامترهای تابع توزیع نرمال یعنی میانگین و واریانس داده‌های مشاهداتی در شرایط بدون باد که به ترتیب با μ و σ نشان داده می‌شوند از روش حداکثر درست نمایی استفاده شد. مقادیر عددی این پارامترها برابر $\mu = 56/98$ و $\sigma = 22/89$ بدست آمد. شکل (۶) پروفیل مشاهداتی پخش آب در شرایط بدون باد و مقادیر متناظر برآورد شده با تابع توزیع نرمال را نشان می‌دهد.



(شکل ۶) - پروفیل مشاهداتی پخش آب توسط آبپاش در شرایط بدون باد و مقادیر برآورد شده با تابع توزیع نرمال

$$\gamma_u = 0.0102v^2 - 0.0766v + 0.2315 \quad (34)$$

$$R = 0.8131$$

$$\gamma_d = 0.0155v^2 - 0.114v + 0.1468 \quad (35)$$

$$R = 0.8659$$

$$\gamma_p = 0.0108v^2 - 0.0884v + 0.1822 \quad (36)$$

$$R = 0.8143$$

در روابط فوق v سرعت باد و R ضریب همبستگی می‌باشد. لذا بر

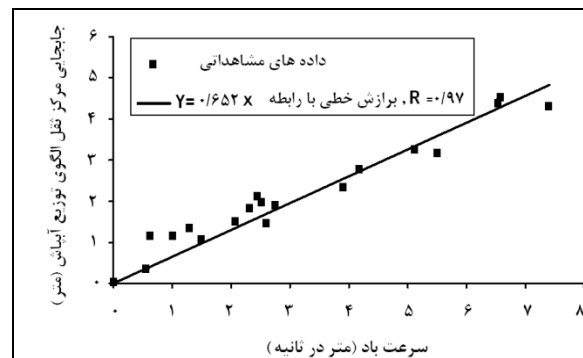
مبنای مقادیر سرعت باد، پارامترهای γ_u و γ_d و γ_p و k_x و k_y تعیین و با توجه به رابطه ۲۷ مقدار شعاع پخش در تمام جهات قابل محاسبه می‌باشد. بر اساس مقادیر P و ضرایب توابع توزیع استخراج شده برای حالت بدون باد، مقدار آب جمع شده در هر ظرف از رابطه ۲۸ برای شرایط وجود باد استخراج می‌گردد. مراحل مذکور برای شبیه‌سازی الگوی توزیع آبپاش در شرایط وجود باد به صورت یک برنامه کامپیوتری در محیط Matlab با عنوان اختصاری SDP گردآوری شد. در شکل‌های (۹) و (۱۰) دو نمونه از الگوهای توزیع حاصل شده از اجرای مدل SDP بر اساس کاربرد توابع توزیع گامای دو پارامتری و نرمال به همراه الگوهای توزیع مشاهداتی نظیر جهت مقایسه ارائه شده است.

مراحل پیشنهادی مول و له گات (۲۰۰۰) جهت بسط مدل شبیه‌سازی الگوی توزیع آبپاش در این تحقیق بکار گرفته شد. تفاوت‌های اساسی مدل بسط داده شده در این تحقیق (SDP) با مدل پیشنهادی مذکور عبارت از موارد زیر است: الف) آبپاش بکار رفته در روش مول و له گات (۲۰۰۰) آبپاش ضربه‌ای دو نازل به‌کار رفته در حالی که در این تحقیق آبپاش اسپریر کم فشار با پد چرخان مورد استفاده قرار گرفت. ب) تابع توزیع مورد استفاده در روش مذکور تابع توزیع بتا می‌باشد ولی در این تحقیق توابع توزیع گامای دو پارامتری و نرمال مورد استفاده واقع شدند.

ج) در روش پیشنهادی مول و له گات (۲۰۰۰) ضرایب تغییرات شعاع پخش آبپاش در جهت‌های مختلف (γ_u و γ_d و γ_p) به صورت میانگین مورد استفاده واقع شده است ولی در این تحقیق بین مقادیر سرعت باد و این پارامترها روابط دقیق ریاضی استخراج شد.

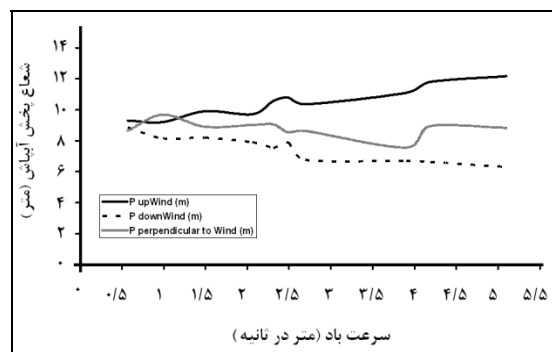
د) فرض تغییر شکل الگوی توزیع دایروی به الگوی بیضوی (تخم مرغی شکل) در اثر باد که توسط مول و له گات (۲۰۰۰) مطرح شده است بر اساس شبیه‌سازی قابل قبول حاصله، با نتایج این تحقیق مطابقت دارد.

جدول (۲) مقادیر ضریب تعیین و جذر میانگین مربعات خطا بین داده‌های حاصل از ۱۸ آزمایش میدانی در سرعت‌ها و جهت‌های مختلف باد و نتایج نظیر حاصل از بکارگیری مدل SDP را نشان می‌دهد.



شکل ۷- جابجایی مرکز ثقل الگوی توزیع آبپاش به ازای تغییرات سرعت باد

برای استخراج پارامترهای γ_u و γ_d و γ_p ابتدا روند تغییرات شعاع‌های پخش در سرعت‌های متفاوت باد در سه جهت متفاوت یعنی جهت باد، خلاف جهت باد و عمود بر جهت باد با توجه به نتایج آزمایشات صحرائی مورد بررسی قرار داده شد (شکل ۸). شعاع پخش در جهت باد با P_u ، در خلاف جهت باد با P_d ، و در راستای عمود بر جهت باد با علامت P_p در شکل ۴ نشان داده شده است. همچنان‌که در شکل ۸ ملاحظه می‌گردد با افزایش سرعت باد، شعاع پخش در راستای باد افزایش و در خلاف جهت آن کاهش می‌یابد. مطابق این شکل، شعاع پخش در راستای عمود بر جهت باد مابین مقادیر P_u و P_d بوده و با شیب نسبتاً کمی به ازای افزایش سرعت باد کاهش می‌یابد. با توجه به مقادیر P_u ، P_d و P_p در الگوهای توزیع مشاهداتی مقادیر k_x و k_y نظیر محاسبه گردید.



شکل ۸- تغییرات شعاع پخش الگوی توزیع آبپاش به ازای تغییرات سرعت باد

سپس به ازای هر سرعت باد معلوم و k_x و k_y نظیر آن مقادیر γ_u و γ_d و γ_p استخراج شد. با توجه به تغییرات غیر خطی این مقادیر به ازای تغییرات سرعت باد، روابط زیر بین مقادیر سرعت باد و پارامترهای مذکور توسط نرم افزار Curve Expert استخراج گردید.

(جدول ۲) - مقادیر ضریب تعیین و جذر میانگین مربعات خطا بین مقادیر مشاهداتی و مقادیر شبیه‌سازی شده با مدل

ردیف	مقایسه بین مشاهدات و شبیه‌سازی حاصل از مدل SDP با تابع توزیع نرمال		مقایسه بین مشاهدات و شبیه‌سازی حاصل از مدل SDP با تابع توزیع گاما		سرعت باد (متر در ثانیه)	جهت باد با محور α : x ها (درجه)
	RMSE	R ²	RMSE	R ²		
۱	۰/۳۷	۰/۸۸	۰/۲۲	۰/۹۶	۰/۵۷	-۲۵/۸۴
۲	۰/۴۲	۰/۷۹	۰/۲۷	۰/۸۸	۰/۶۱	۱۶/۹۷
۳	۰/۴۷	۰/۸۷	۰/۳۰	۰/۹	۰/۹۹	۵۵/۹۴
۴	۰/۴۱	۰/۷۶	۰/۲۹	۰/۸۴	۱/۳	۱۶
۵	۰/۵۲	۰/۷۹	۰/۳۵	۰/۹۱	۱/۴۹	-۴۴/۴۶
۶	۰/۴۹	۰/۷۵	۰/۳۴	۰/۸۶	۲/۰۶۶	۵۵/۵۱
۷	۰/۴	۰/۷۲	۰/۳۱	۰/۸۲	۲/۳۱	۶/۴
۸	۰/۴۵	۰/۷۸	۰/۴۱	۰/۸۵	۲/۴۵	-۹/۶۲
۹	۰/۴۸	۰/۸۰	۰/۴۲	۰/۸۶	۲/۴۹	-۱۹/۳۸
۱۰	۰/۴۸	۰/۷۹	۰/۴۲	۰/۸۴	۲/۶۱	-۶۹/۷۱
۱۱	۰/۴۶	۰/۷۶	۰/۴۱	۰/۸۰	۲/۷۵	۸۴/۵۸
۱۲	۰/۵۰	۰/۸۲	۰/۴۴	۰/۸۷	۳/۵۲	-۲۲/۵۸
۱۳	۰/۳۶	۰/۹	۰/۳۳	۰/۹۱	۴/۱۹	-۱۵/۶۴
۱۴	۰/۴۲	۰/۸۲	۰/۳۷	۰/۸۵	۵/۱	-۸/۱
۱۵	۰/۳۸	۰/۸۳	۰/۳۴	۰/۸۵	۵/۴۹	-۴۵/۲۴
۱۶	۰/۳۶	۰/۷۷	۰/۳۱	۰/۸۱	۶/۵۴	۳۲/۳
۱۷	۰/۴۳	۰/۷۹	۰/۳۰	۰/۸۲	۶/۵۵	-۱۴/۶۷
۱۸	۰/۴۸	۰/۷۸	۰/۳۹	۰/۸۵	۷/۴۱	-۳۳/۲
	۰/۴۴	۰/۸۰	۰/۳۵	۰/۸۶	میانگین	

احتمالاتی گامای دو پارامتری و نرمال، شبیه‌سازی الگوی توزیع آبیاش اسپریر منفرد انجام گردید. تمام تجهیزات و نحوه انجام آزمایشات و داده‌برداری‌ها طبق استانداردهای ASAE-S398.1 و ISO-8026 طراحی و اجرا گردید.

برای انجام این پژوهش آبیاش از نوع اسپریر با زاویه چرخش ۳۶۰ درجه و پد چرخان انتخاب شد. آبیاش مذکور که با نام تجاری Nelson R3000 خوانده می‌شود، یکی از رایج‌ترین انواع آبیاش‌های سیستم‌های نوین آبیاری سنتریوت می‌باشد.

بر اساس تجارب حاصل از اندازه‌گیری‌های متعدد و نیز تحقیقات محققین قبلی (از جمله ریچاردز و ودرهید، ۱۹۹۳؛ تارجلو و همکاران، ۱۹۹۹؛ مول و له گات، ۲۰۰۰) الگوی توزیع تقریباً دایره‌ای شکل مربوط به شرایط بدون باد در شرایط مزرعه‌ای با وزش باد حالت بیضوی یا تخم مرغی شکل به خود می‌گیرد. این پدیده با نتایج آزمایشات این پژوهش مطابقت داشت.

استفاده از مدل بسط یافته در این تحقیق برای آبیاش‌های اسپریر ۳۶۰ درجه در شرایط اقلیمی مشابه محل آزمایشات قابل توصیه می‌باشد. برای دستیابی به یک مدل جامع لازم است آزمایشات در سطح وسیعی با لحاظ نمودن شرایط اقلیمی متفاوت و با استفاده از انواع آبیاش‌ها صورت پذیرد. مدل ایجاد شده در این تحقیق (SDP) می‌تواند مهندسين و کارشناسان آبیاری را از آزمایش‌های میدانی برای

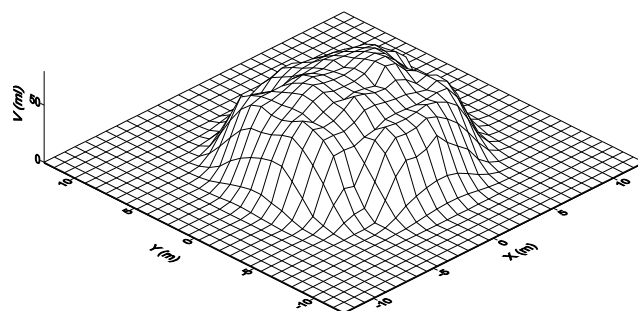
مقایسه نتایج نشان داد که ضریب تعیین بین ارقام مشاهداتی و ارقام شبیه‌سازی شده در حالت کاربرد تابع توزیع گامای دو پارامتری در مدل (SDP) بیشتر از حالت کاربرد توزیع نرمال است. متوسط ضریب تعیین (R^2) در حالت کاربرد توابع توزیع گاما و نرمال با ارقام مشاهداتی به ترتیب برابر ۰/۸۶ و ۰/۸۰ و متوسط جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) مربوط به هر کدام به ترتیب برابر ۰/۳۵ و ۰/۴۴ حاصل گردید. لذا کاربرد هر دو تابع توزیع احتمال منجر به جواب‌های قابل قبولی گردیده است. ولی دقت مدل در حالت کاربرد تابع توزیع گامای دو پارامتری بیشتر است. بهترین تطابق بین مقادیر مشاهداتی در سرعت باد ۰/۵۷ متر در ثانیه و جهت ۲۵/۸۴- درجه مثلثاتی با استفاده از توزیع گامای دو پارامتری با $R^2=0/96$ و $RMSE=0/22$ حاصل شد. همچنین ضعیف‌ترین تطابق بین مقادیر مشاهداتی در سرعت باد ۲/۳۱ متر در ثانیه و جهت ۶/۴ درجه مثلثاتی و با کاربرد توزیع نرمال با $R^2=0/72$ و $RMSE=0/4$ به دست آمد.

۴- نتیجه گیری

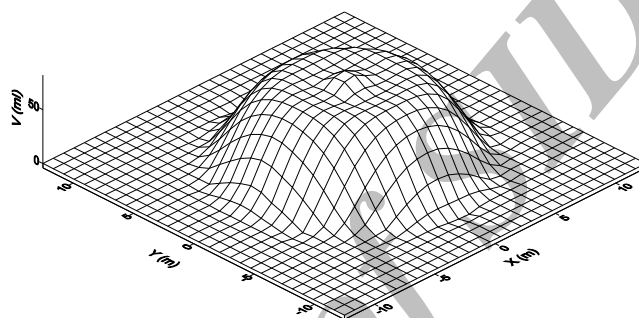
در این پژوهش یک مدل نیمه تجربی بر اساس روش پیشنهادی مول و له گات (۲۰۰۰) بسط داده شد. بر مبنای مشاهدات صحرائی، آزمایش در شرایط کنترل شده بدون باد و نهایتاً بکارگیری توزیع‌های

این مدل از طریق مکاتبه با نویسندگان مقاله قابل دسترسی و استفاده است.

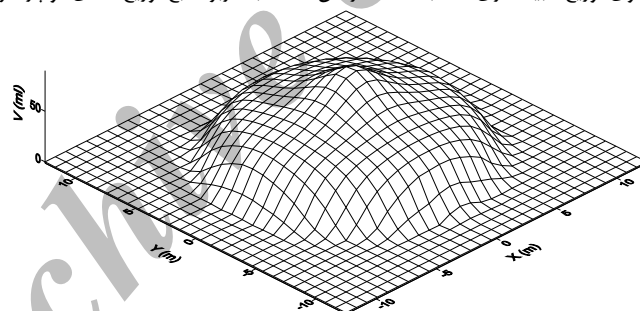
تعیین الگوی توزیع آبیاش منفرد در طراحی سیستم‌های آبیاری سنتریپوت بی نیاز نماید.



الف- الگوی توزیع مشاهداتی

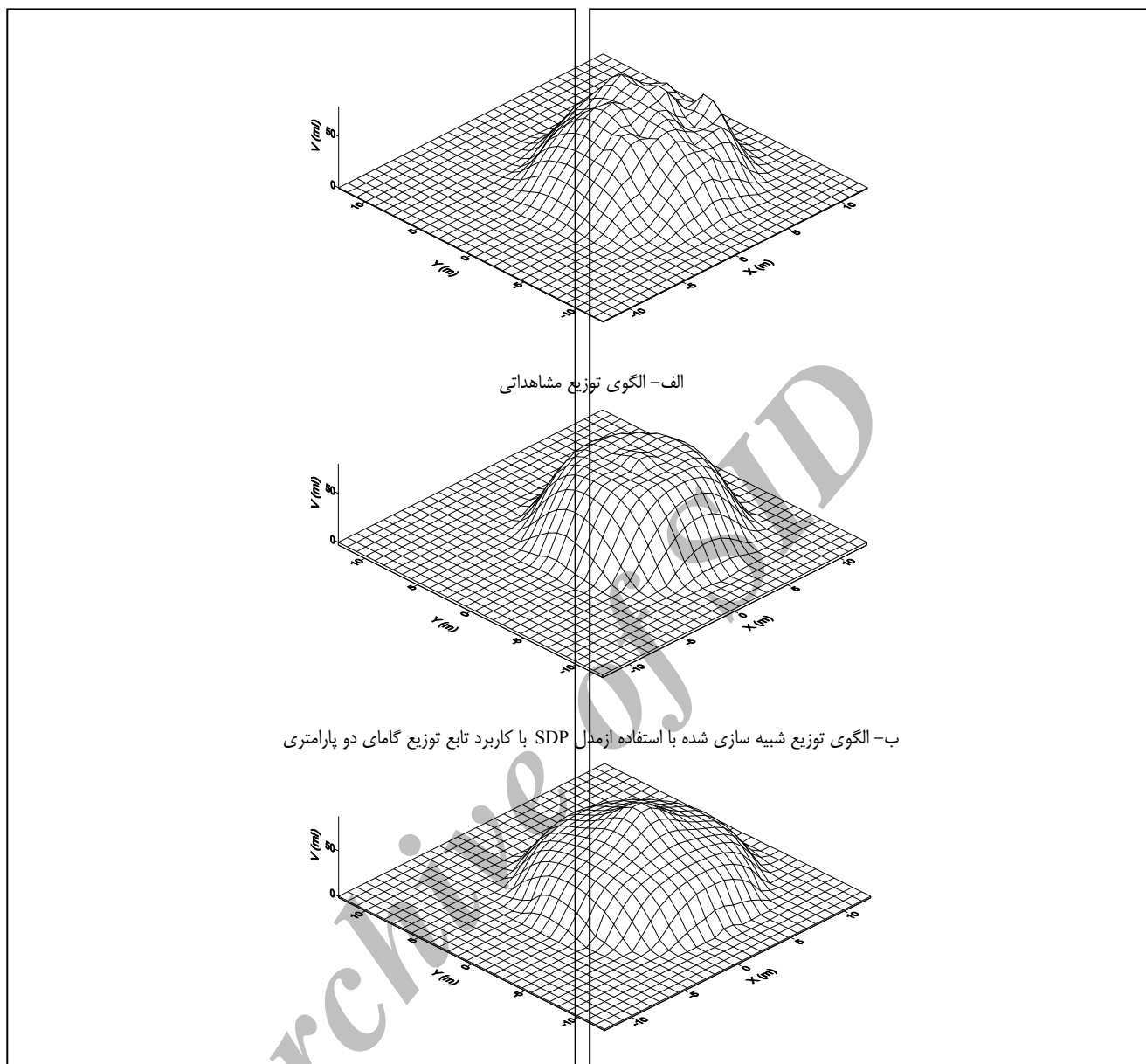


ب- الگوی توزیع شبیه سازی شده با استفاده از مدل SDP با کاربرد تابع توزیع گامای دو پارامتری



ج- الگوی توزیع شبیه سازی شده با استفاده از مدل SDP با کاربرد تابع توزیع نرمال

(شکل ۹)- الگوی توزیع آبیاش در سرعت باد ۰/۵۷ متر در ثانیه و جهت باد ۲۵/۸۴- درجه



(شکل ۱۰) - الگوی توزیع آبیاش در سرعت باد ۴/۱۹ متر در ثانیه و جهت باد ۱۵/۶۴ - درجه

مراجع

- Water Resources Publications, Littleton, Co.
 De Boer, D.W. and Monnens, M.J. (2001). Estimation of dropsize and kinetic energy from a rotating spray-plate sprinkler, Transactions of the ASAE, 44 (6), 1571-1580.
 Elliott, R.L., Nelson, J.D., Loftis, J.C. and Hart, W.E. (1980). Comparison of sprinkler uniformity models, ASCE, J. of Irrig. and Drain., 106(4): 321-330.
 Granier, J., Molle, B. and Deumier, J.M., (2003), IRRIPARC-Part 1: Modeling spatial water distribution under a sprinkler in windy conditions, Utilization of the IRRIPARC methodology in 3 regions.

- صیادی، ح.، و فعالیان، ا. (۱۳۸۷). طراحی و اجرای سیستم‌های آبیاری سنتریوت، چاپ اول، انتشارات جهاد دانشگاهی، تهران.
 ASAE Standard S398.1, 1985 (reaffirmed: 2007), Procedure for sprinkler testing and performance reporting, American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE), St. Joseph, MI 49085-9659, USA.
 Bobee, B. and Ashkar, F. (1991), The Gamma family and derived distributions applied in hydrology,

- 291.
- Seginer, I., Kants, D. and Nir, D. (1991). Simulation of wind-distorted sprinkler patterns, *J. Irrig. And drain. Eng. ASCE*. 117(2): 285-306.
- Solomon, K.H. and Bezdek, J.C. (1980). Characterizing sprinkler distribution patterns with a clustering algorithm, *Trans. ASAE*. 23(4): 899-906.
- Soong, T.T. (2004). Fundamentals of probability and statistics for engineers. State University of New York at Buffalo, Buffalo, New York, USA.
- Tarjuelo, J.M., Montero, J., Valiente, M., Honrubia, F.T. and Ortiz, J. (1999). Irrigation uniformity with medium size sprinklers part I: characterization of water distribution in no-wind conditions, *Trans. ASAE*. 42(3): 665-676.
- Tarjuelo, J.M., Montero, J., Valiente, M., Honrubia, F.T. and Ortiz, J. (1999). Irrigation uniformity with medium size sprinklers part II: influence of wind and other factors on water distribution, *Trans. ASAE*. 42(3): 677-690.
- WU, H., Hayes, M.J., Wilhite, D.A. and Svoboda, M.D. (2005). The effect of the length of record on the standardized precipitation index calculation, *International Journal of Climatology*, 25: 505-520.
- Han, S., Evans, R.G. and Kroeger, M. W. (1994). Sprinkler distribution patterns in windy conditions, *Transactions of the ASAE*, 37 (5), 1481-1489.
- ISO-8026 Standard, (1995), Agricultural irrigation equipment - sprayers - general requirements and test methods, ISO copyright office, Geneva.
- Keller, J. and Bliesner, R.D. (1990). Sprinkle and trickle irrigation, AVI Book, Van Nostrand Reinhold, New York.
- Kvålseth, T. O. 1985, Cautionary note About R^2 , *The Am. Statistician*, 39(11): 279-285.
- Molle, B. and Le Gat, Y. (2000). Model of water application under pivot sprinkler, I: theoretical grounds. *J. Irrig. And drain. Eng. ASCE*. 126(12): 343-347.
- Molle, B. and Le Gat, Y. (2000). Model of water application under pivot sprinkler, II: calibration and results, *J. Irrig. And drain. Eng. ASCE*. 126(12): 348-354.
- Montgomery, D. D., Runger, G. C. (2002). Applied statistics and probability for engineers, third edition. John Wiley & Sons, Inc. Printed in the United States of America. ISBN 0-471-20454-4
- Richards, P. J., and Weatherhead, E. K. (1993). Prediction of raingun application patterns in windy conditions, *J. Agric. Engrg. Res.*, U.K., 54(4):281-

تاریخ دریافت: ۸۷/۱۰/۳

تاریخ پذیرش: ۸۸/۱۲/۱۹

Archive of SID

Simulation of water distribution pattern of single sprinkler of center pivot irrigation system using gamma and normal probability distributions

A. Faalian^{1*}, A.A. Sadraddini², A. Fakhri Fard³, A.H. Nazemi³

Abstract

A semi empirical model has been developed to simulate the distribution pattern of a single sprinkler of center pivot irrigation system using Gamma and Normal distribution functions. A Nelson R-3000 sprayer with rotator pad and water application angle of 360° which is one of the most common types of center pivot sprinklers was selected. Several field experiments according to the *ISO-8026* and *ASAE-S398.1* standards were performed to assess the water distribution pattern in no-wind and windy conditions. Results of eighteen reliable experiments were used to validate the model. Minimum and maximum wind speeds recorded under the field conditions were 0.57 and 7.41 ms⁻¹, respectively. In this range of wind speed variation the model using both distribution functions showed a proper capability to simulate the water distribution pattern. The average values of R^2 and $RMSE$ between observations and simulated values using Gamma distribution function were 0.86 and 0.35 and for Normal distribution function were 0.80 and 0.44, respectively. Then it was finally concluded that the model based on Gamma distribution function was more accurate than the other one with Normal distribution function. The best fitness between simulated values and observations was achieved using Gamma distribution function with $R^2=0.96$ and the weakest obtained using Normal distribution function with $R^2=0.72$.

Keywords: Single Sprinkler Distribution Pattern, Probability Distributions, Center Pivot System, Simulation

1 - PhD Student of Irrigation & Drainage, Department of Water Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
(* - Corresponding author Email: ahad.faalian@yahoo.com)

2 - Assistant Professor, Department of Water Engineering, University of Tabriz, Iran

3 - Associate Professors, Department of Water Engineering, University of Tabriz, Iran