مجله دانش آب و خاک/ جلد 20/1 شماره 3 / سال 1389

مدل دینامیکی الگوی توزیع آب توسط سیستم آبیاری سنترپیوت

رضا دلیر حسن‌نیا[1]، علی اشرف صدرالدینی[2*]، امیرحسین ناظمی[2] و داود فرسادی‌زاده[3]

تاریخ دریافت: 87/11/29 تاریخ پذیرش : 88/6/7

1- دانشجوی سابق دکترا، گروه مهندسی آب، دانشگاه تبریز

2 - دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه تبریز

* مسئول مکاتبه E-mail: alisadraddini@yahoo.com

چکیده

برای ارزیابی سیستم‌های آبیاری سنترپیوت اطلاع از نحوه پخش آب توسط سیستم ضروری است. یک مدل جدید و برنامه رایانه‌ای جهت محاسبه عمق آب پخش شده و ضریب یکنواختی آن برای سیستم آبیاری سنترپیوت تهیه شد. این مدل از الگوی توزیع آب اسپری نازل منفرد به عنوان ورودی استفاده نموده و الگوی توزیع آب سراسری سیستم را پیش بینی می-نماید. بدین منظور دو شبکه مربعی استاتیکی و دینامیکی در نظر گرفته شد. شبکه استاتیکی از تقسیم کل زمین تحت پوشش به قطعات مربعی و تشکیل یک شبکه ساکن منطبق بر کل زمین حاصل گردید. شبکه دینامیکی از انطباق یک شبکه متشکل از اجزای مربعی بر روی الگوی توزیع اسپری نازل منفرد به دست آمد و همراه آن بر روی سیستم سنترپیوت حرکت نمود. با منظور نمودن حرکت شبکه دینامیکی روی شبکه استاتیکی و شدت پخش آب هرجزء از شبکه دینامیکی بر روی اجزای شبکه استاتیکی برای تمام اسپری نازل‌ها و مد نظر قرار دادن هم پوشانی بین اسپری نازل‌ها، مقادیر آب جمع شده در اجزای شبکه استاتیک تعیین گردید. خروجی‌های مدل، عمق آب دریافت شده در سراسر شبکه زمین تحت آبیاری و ضریب یکنواختی پخش آب بودند. به منظور صحت سنجی و ارزیابی دقت مدل آزمایش های میدانی در شرایط واقعی انجام گردید سپس مدل برای همان شرایط اجرا شد. مقایسه نتایج مدل با مشاهدات حاصل از آزمایش ها دقت خوب مدل را در پیش بینی عمق آب پخش شده و ضریب یکنواختی در شرایط مختلف نشان داد.

واژه های کلیدی: اسپری نازل، الگوی توزیع، سنترپیوت، شبکه استاتیکی، شبکه دینامیکی، ضریب یکنواختی.

A Dynamic Model for Water Distribution Pattern of Center Pivot Irrigation System

R Delirhasannia[1], AA Sadraddini[2*], AH Nazemi[2] and D Farsadizadeh[2]

Received: 17 February 2009 Accepted: 29August 2009
[1]Former Ph.D Student, Dept. of Water Enging., University of Tabriz, Iran
[2] Assoc. Professor, Dept. of Water Enging., University of Tabriz, Iran
[*]Corresponding author: E-mail: alisadraddini@yahoo.com

Abstract

In order to evaluate performance of the center pivot irrigation systems, an understanding of water application characteristics of these systems is necessary. A new model and its computer program are developed to calculate applied water depth and coefficient of application uniformity of center pivot systems. The model uses water distribution pattern of stationary single spray nozzle as an input and simulates center pivot overall water distribution pattern. For this purpose, two static and dynamic square grids are considered. The static grid is obtained by dividing irrigated field to square components. The dynamic grid is resulted from adapting a grid with square components on water distribution pattern of single spray nozzle and is moved with moving spray nozzle on the center pivot lateral. Dynamic grid is moved over static grid. Water depths received in the field are determined in static grid components via considering water applications rates in dynamic components. Distribution patterns are overlapped in areas covered by adjacent spray nozzles. The model outputs are water depths received in the field in all components of the static grid and water application uniformity coefficient. In order to evaluate and validate the model performance, several experiments were conducted in the field and the model was run for the same conditions. The results showed high accuracy of the model in simulating water distribution patterns of the center pivot irrigation systems.

Key words: Center pivot, Distribution pattern, Dynamic grid, Spray nozzle, Static grid, Uniformity coefficient.

مقدمه

آب ماده‌ای با ارزش و حیاتی است و تلاش برای مصرف بهتر و کاهش تلفات آن از مهم‌ترین وظایف مصرف کنندگان می‌باشد. در بسیاری از کشورها بخش کشاورزی بزرگترین مصرف کننده آب است (پری و پاکنی 2001). یکی از راه‌های کاهش تلفات آب در این بخش بالا بردن راندمان در سیستم‌های آبیاری است (پری و همکاران 2002). سیستم آبیاری سنترپیوت یکی

از روش‌های متداول در آبیاری بارانی است که به دلیل داشتن مزایای فراوان، استفاده از آن در دنیا هر روز گسترده‌تر می‌شود (اوانس و همکاران 1993، فاسی و همکاران 2001 و کلار و همکاران 2005). برای ارزیابی سیستم آبیاری سنترپیوت اطلاع از نحوه توزیع آب ضروری است (برموند و مول 1995). مدل سازی سیستم‌های سنترپیوت به طراحی بهتر یا اصلاح سیستم‌های موجود و در نتیجه بالا بردن راندمان آبیاری کمک می‌کند.

ارزیابی عملکرد و مدل سازی توزیع آب توسط سنترپیوت از دهه 1960 موضوع تحقیقات متعددی بوده است (برموند و مول 1995). بیتینجر ولانگنبا (1962) برای دستیابی به پخش منظم آب دستگاه سنترپیوت تلاش کردند تا با استفاده از الگوی توزیع آب آبپاش ثابت، ریزش آب در زیر دستگاه را شبیه سازی کنند. آنها پروفیل بارش آبپاش ثابت را مثلثی یا بیضی فرض نمودند و با حرکت دادن آن با سرعتی برابر سرعت حرکت دستگاه، عمق آب جمع شده را در نقاطی که آبپاش از روی آن عبور می‌کند محاسبه کردند. در روش آنان حرکت دستگاه پیوسته و مسیر حرکت آبپاش خط مستقیم یا دایره‌ای بود (برموند و مول 1995).

در سال 1968 هییرمن و هین روش دو محقق قبلی را با در نظر گرفتن همپوشانی آبپاش‌های واقع در کنار هم تکمیل‌تر نمودند. در روش این دو محقق الگوهای توزیع آبپاش‌ها مثلثی یا بیضی باقی ماند و حرکت دستگاه پیوسته فرض شد. آنان رابطه‌ای برای محاسبه ضریب یکنواختی پخش آب معرفی نمودند که بنام خودشان معروف است. تلاش‌های آنان در نهایت منجر به تهیه و معرفی نرم افزاری جهت طراحی سیستم های سنترپیوت بنام *CPED*[1] گردید.

برموند و مول (1995) مدلی برای شبیه سازی بارش زیر دستگاه سنترپیوت و ارزیابی یکنواختی پخش آب توسط آن ارائه دادند که ورودی آن پروفیل بارش آب حاصل از آزمایش‌های عملی بود. سپس بین پروفیل‌ها هم پوشانی انجام شده و با توجه به سرعت حرکت دستگاه عمق‌های آب پخش شده در هر نقطه مشخص گردید. همچنین پارامترهای بارش آب مانند میانگین وزنی عمق بارش و ضریب یکنواختی پخش آب محاسبه شد. دو محقق مذکور به منظور تعیین پروفیل‌های بارش خارج از نتایج آزمایش های عملی، بین پروفیل های بارش اندازه گیری شده در سایت آزمایشی میان یابی خطی انجام دادند. همچنین برای محاسبه ضریب یکنواختی پخش آب رابطه دیگری معرفی نمودند.

عمری و سومنر (2001) مدلی برای محاسبه عمق پخش آب و ضریب یکنواختی پخش آب حاصل از اسپری-های کوچک متصل بر دستگاه آبیاری سنترپیوت معرفی نمودند. آنها در ادامه مطالعات خود که توسط عمری و همکاران (1997) انجام یافت، برای بررسی الگوی توزیع اسپری‌های متحرک تلاش کردند و آن را با استفاده از الگوی توزیع همان اسپری نازل در حالت ثابت به دست آوردند. الگوی اسپری نازل ثابت با انجام آزمایشات به دست آمد. محدوده خیس شده اسپری نازل منفرد و مسیر تحت پوشش آن حین حرکت دستگاه سنترپیوت به ترتیب به صورت دو شبکه جداگانه از نقاط پخش و دریافت آب در نظر گرفته شد. در این مدل شبکه اسپری نازل منفرد حرکت داده شد و شبکه مسیر تحت پوشش ثابت باقی ماند. با توجه به شدت بارش آب در هر جزء از شبکه متحرک و زمان گذر آن از روی اجزای شبکه ثابت، عمق آب جمع شده در اجزای شبکه ثابت مشخص گردید. در نقاط همپوشان نیز بین الگوهای توزیع آب هم پوشانی در نظر گرفته شد. پس از شبیه سازی پخش آب توسط تمام

[1] Center pivot evaluation and design

اسپری نازل‌های متصل بر لترال ضریب یکنواختی پخش آب[1] (CU) محاسبه شد (عمری و سومنر 2001). این مدل در مقایسه با مدل‌های قبلی دارای مزایایی بود. از جمله الگوی توزیع آب به جای یک شکل یا پروفیل ساده به صورت شبکه‌ای از نقاط پخش آب در نظر گرفته شد. محققان مذکور در مدل خود ساده سازی هایی انجام دادند که مهم ترین آنها فرض نمودن حرکت آبپاش بر روی لترال سنترپیوت به صورت خط مستقیم همانند سیستم حرکت خطی[2] بود (عمری و سومنر 2001). با این فرض هر جزء از شبکه متحرک بارش خود را تنها بر روی یک جزء از شبکه ثابت انجام داده و محاسبات ساده‌تر می‌شود.

غیر از روش عمری و سومنر (2001)، در سایر مدل‌ها و روش های ذکر شده از پروفیل دو بعدی بارش آب جهت هم پوشانی و شبیه سازی پخش آب در سیستم-های سنترپیوت استفاده شده است. این امر ممکن است باعث خطاهای قابل توجهی گردد زیرا اولاً الگوی توزیع آب آبپاش یا اسپری نازل دارای شکل هندسی دقیقی مانند مثلثی یا بیضوی نیست ثانیاً در شرایط واقعی باد همواره شکل متقارن توزیع آب را برهم زده و از حالت تقارن خارج می‌سازد. بنابراین پروفیل دو بعدی بارش نمی‌تواند بیانگر خصوصیات الگوی توزیع آب باشد.

همپوشانی شانه به شانه پروفیل‌های بارش تنها پخش شعاعی آب در طول لترال سنترپیوت را شبیه سازی می-کند و نمی‌تواند توصیف مناسبی از الگوی توزیع آب در کل زمین تحت آبیاری باشد. از طرفی در نظر گرفتن یک شکل ثابت برای کل زمان آبیاری باعث ایجاد خطا در شبیه سازی پخش آب می‌شود. زیرا در مدت زمان چرخش دستگاه، الگوی توزیع آب با تغییر شرایط باد دچار تغییر است. بکار بردن الگوی توزیع آب سه بعدی (شامل طول، عرض و عمق آب) و وابسته به شرایط باد می‌تواند ایرادات فوق را مرتفع سازد. همچنین فرض حرکت خطی برای سنترپیوت تفاوت زیادی با حرکت واقعی دایره‌ای آن دارد و ممکن است شبیه سازی عمق آب رسیده به زمین را با خطا همراه سازد.

هدف از انجام پژوهش حاضر ارائه مدلی است که در جهت تکمیل تلاش های انجام یافته در این زمینه دارای خصوصیات زیر باشد: 1- االگوی توزیع آب اسپری نازل ها را به صورت سه بعدی (شبکه منظمی از نقاط پخش آب) در نظر بگیرد و آنها را منطبق بر مسیر حرکت دستگاه حرکت دهد. 2- مسیرهای واقعی دایره‌ای را برای اسپری نازل‌ها در نظر بگیرد. 3- اثر باد بر الگو را لحاظ کند. 4- در مدت زمان چرخش دستگاه الگوهای توزیع آب را با تغییر شرایط باد تغییر داده و الگوهای متناظر را جایگزین نماید. و در نهایت عمق آب پخش شده از سیستم آبیاری سنترپیوت در سراسر محدوده تحت آبیاری را شبیه سازی و ضریب یکنواختی پخش آب را برای کل زمین تحت پوشش محاسبه نماید.

مواد و روش ها

توصیف مدل

شبکه‌بندی و حرکت الگوی توزیع اسپری نازل منفرد

در مدل تهیه شده در پژوهش حاضر الگوی توزیع آب اسپری نازل منفرد و مستقر در یک محل برای محاسبه الگوی توزیع آب پخش شده توسط همان نوع اسپری نازل اما متصل بر سیستم آبیاری سنترپیوت در حال حرکت مورد استفاده قرار گرفت. به منظور مدل سازی، کل زمین تحت پوشش سیستم سنترپیوت به قطعات مربعی شکل تقسیم شده و یک شبکه ساکن با اجزای مربعی شکل حاصل گردید. این شبکه، شبکه استاتیکی نامیده شد. عملکرد اسپری نازل بر روی منطقه تحت پوشش با الگوی توزیع آب بیان می‌شود و مقادیر آب پخش شده در هر

1- Coefficient of uniformity
2- Linear moving system

نقطه از این الگو مشخص است. با انطباق یک شبکه متشکل از اجزای مربعی روی الگوی توزیع، مقادیر آب وارد شده و شدت پخش آب به هر جزء قابل تعیین می‌باشد:

$$i = \frac{I}{T} \qquad [1]$$

در این رابطه i شدت متوسط پخش آب (میلی‌متر بر ثانیه)، I عمق آب جمع شده (میلی‌متر) که می‌تواند با انجام آزمایش به دست آید و T زمان جمع آوری آب یا مدت زمان آزمایش (ثانیه) است. فرض می‌شود که این شبکه به همراه حرکت اسپری نازل بر روی سنترپیوت حرکت می‌کند در حالی که نسبت به اسپری نازل ثابت می‌ماند. شبکه مذکور شبکه دینامیکی نامیده شد. مسیر حرکت اسپری نازل دایره‌ای است که مرکز آن منطبق بر مرکز دستگاه سنترپیوت می‌باشد و شعاع آن برابر فاصله اسپری نازل از نقطه مرکز (پیوت) است. حرکت شبکه دینامیکی طوری در نظر گرفته شد که اضلاع اجزاء مربعی آن همواره موازی اضلاع اجزاء شبکه استاتیکی باقی بمانند (شکل‌های 1و2). در مدل تهیه شده در این تحقیق اندازه اجزای مربعی هر دو شبکه استاتیکی و دینامیکی مساوی در نظر گرفته شدند. هنگام عبور شبکه دینامیکی از روی شبکه استاتیکی، آب پخش شده از هر جزء به تعدادی از اجزاء شبکه استاتیکی که در مسیر قرار دارند وارد می‌شود. عمق آب جمع شده در هر جزء از شبکه استاتیکی برابر مجموع آب‌های دریافتی از اجزای عبوری شبکه دینامیکی می‌باشد. اگر زمان گذر هر جزء شبکه دینامیکی از روی یک جزء شبکه استاتیکی یا فرصت پاشش t_s ثانیه باشد، عمق آب دریافت شده در هر جزء از شبکه استاتیکی برابر خواهد بود با:

$$d = t_s.i \qquad [2]$$

d (میلی متر) عمق آب دریافت شده می‌باشد.

زمان گذر از روی اجزای شبکه استاتیکی دریافت کننده آب مساوی و ثابت نیست. مثلاً ممکن است مسیر عبوری یک جزء مربعی از شبکه دینامیکی نزدیک به یکی از گوشه‌های جزء مربعی شبکه استاتیکی باشد که زمان گذر آن کمتر از حالتی است که مسیر عبوری در نزدیکی قطر مربع قرار داشته باشد. همچنین هر جز متحرک معمولا آب پخش شده را به بیش از یک جزء ثابت وارد می‌نماید که این نکات در مدل لحاظ گردیده‌اند.

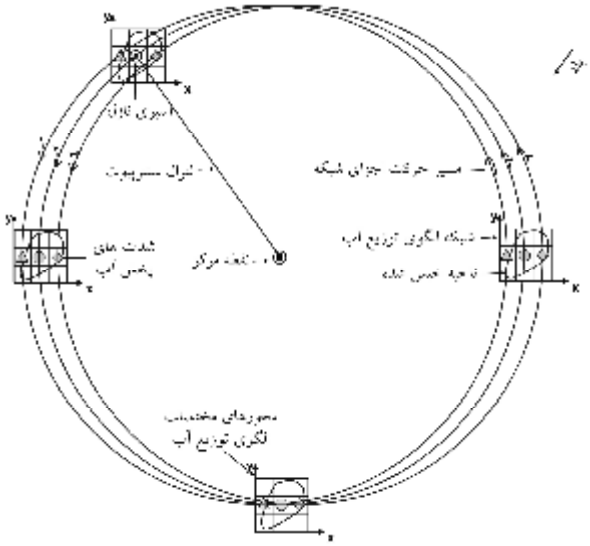
یکی از مفروضات مدل آن است که در شرایط ارتفاع نصب و فشار آب مساوی، الگوهای توزیع حاصل از اسپری نازل‌ها مشابه روی لترال سنتر پیوت، نظیر یکدیگر بوده و تاثیر پذیری آنها از جهت و سرعت باد یکسان است. به عبارت دیگر از تغییرات مکانی سرعت باد صرف نظر می‌شود. بر مبنای چنین فرضی توسعه الگوی توزیع حاصل از آبپاش منفرد به الگوی سراسری سیستم سنترپیوت قابل توجیه است.

چنانچه توضیح داده شد شدت پخش آب از یک جزء شبکه دینامیکی بر اساس الگوی توزیع اسپری نازل منفرد تعیین می‌شود. اگر مسیر حرکت جزء مذکور نیز مشخص گردد، می‌توان مقدار آب دریافتی اجزای شبکه استاتیکی تحت پوشش این جزء را معین نمود. اجزای شبکه دینامیکی دارای مسیرهای حرکت دایره‌ای شکل جداگانه‌ای هستند که مراکز آنها بر هم منطبق نمی‌باشد ولی شعاع آنها یکسان و برابر فاصله اسپری نازل از نقطه مرکز (پیوت) است. فاصله مرکز مسیر هر جزء متحرک از نقطه مرکز برابر فاصله مرکز آن جزء از اسپری نازل می‌باشد و محل آن به لحاظ هندسی قابل شناسائی است. مسیر حرکت سه جزء شبکه دینامیک به صورت شماتیک در شکل 1 نشان داده شده است. مسیرهای دایره‌ای همدیگر را در نقاطی قطع می‌کنند. جابجایی‌ها و برخورد مسیرها

در مدل پیش بینی شده و عمق آب دریافت شده در نقاط تقاطع به صورت تجمعی محاسبه می‌شود.

نحوه تقسیم آب

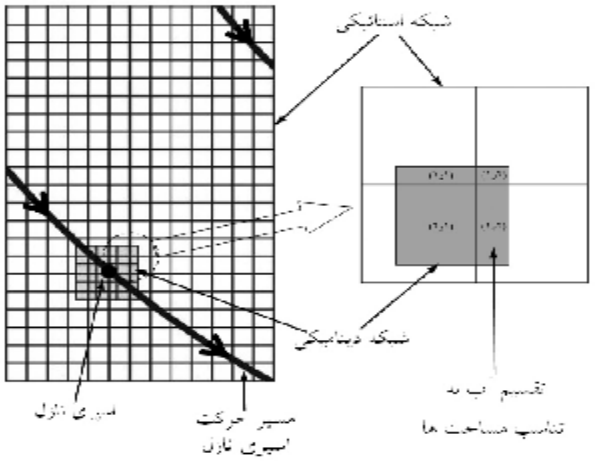
در صورتی که یکی از اضلاع هر دو شبکه رو به طرف یکی از جهت های اصلی جغرافیایی مثلاً شمال باشد و اگر مبدا شروع حرکت لترال سنترپیوت در موقعیت زاویه صفر درجه مثلثاتی در نظر گرفته شود، در نقاطی که لترال زوایای 0 ، 90 ، 180 و 270 درجه با مبدا ایجاد می‌کند شبکه دینامیکی در تطابق کامل با شبکه استاتیکی قرار می‌گیرد و هر مربع از شبکه دینامیکی بطور کامل یک مربع از شبکه استاتیکی را تحت پوشش قرار می‌دهد. این حالت بدین معنی است که کل آب پخش شده از یک مربع شبکه دینامیکی بر روی تنها یک مربع از شبکه استاتیکی پخش می‌شود.



شکل 1- شبکه دینامیک و مسیر حرکت شماتیک اجزای الگوی توزیع اسپری نازل منفرد

ولی به دلیل حرکت شبکه دینامیکی در یک مسیر دایره‌ای، با ادامه حرکت و با تغییر زاویه حرکت از تطابق کامل با شبکه استاتیکی انحراف پیدا نموده وآب پخش شده از هر جزء شبکه دینامیکی بین چهار جزء از شبکه استاتیکی تقسیم می‌شود. در روش بکار رفته در مدل حاضر با توجه به موقعیت شبکه دینامیکی در هر لحظه، آب پخش شده از هر جزء دینامیکی به تناسب مساحت تحت پوشش هر کدام از اجزای مربعی شبکه استاتیکی تقسیم می‌شود. در شکل 2 نحوه تقسیم آب شبکه دینامیکی بر روی شبکه استاتیکی به صورت شماتیک نشان داده شده است.

واحد زمان در مدل یک ثانیه می‌باشد. یعنی در فرصت یک ثانیه‌ای هر جزء از شبکه دینامیکی به تناسب مساحت‌ها بر اجزای استاتیکی تحت پوشش در آن لحظه آب پخش می‌کند. سپس با معلوم بودن سرعت چرخش دستگاه و موقعیت هر جزء، کل شبکه دینامیکی به مدت یک ثانیه حرکت و در موقعیتی جدید جریان خود را به نسبت جدید مساحت‌ها پخش می‌کند. عمق آب جدید وارد شده با آب جمع شده در گام قبلی جمع می‌شود و برای هر جزء استاتیکی در حافظه مدل ثبت می‌گردد.



شکل 2 – نحوه تقسیم آب شبکه دینامیکی به تناسب مساحت‌های تحت پوشش شبکه استاتیکی

با گذشت زمان و در گام‌های زمانی بعدی این روند تکرار می‌شود تا جزء دینامیکی جریان خود را بر جزء استاتیکی معین وارد کرده و از روی آن عبور کند. سپس

نوبت به اجزای بعدی می‌رسد تا در صورت پخش آب بر جزء مورد نظر تاثیر خود را برجای گذاشته و با ثبت عمق آب پخش شده از روی آن عبور کنند. در نهایت کل شبکه دینامیکی یک اسپری نازل اثر گذاری خود را بر محدوده مشخصی انجام داده و کاملاً از روی آن عبور می‌کند و عمق آب جمع شده در هرکدام از اجزای خیس شده شبکه استاتیکی محاسبه و ثبت می‌شود.

تغییرات الگوی توزیع منفرد با تغییرات شرایط باد

در شرایط فشار و ارتفاع نصب ثابت، تنها سرعت و جهت باد تعیین کننده نحوه حمل ذرات آب و توزیع آنها در محدوده خیس شده می‌باشند. با تغییر سرعت یا جهت باد الگوی توزیع آب اسپری نازل نیز تغییر می‌کند. وارد نمودن یک الگوی توزیع ثابت برای کل زمان کارکرد دستگاه سنترپیوت باعث می‌شود عمق‌های آب محاسبه شده با مقادیر واقعی اختلاف زیادی داشته باشند. زیرا بعید است سرعت یا جهت باد در چندین ساعت متوالی بدون تغییر باقی بماند. برای جلوگیری از ایجاد این خطا مدل طوری طراحی شده است که امکان وارد نمودن الگوی‌های توزیع متناظر با شرایط باد متفاوت در زمان‌های مختلف کارکرد دستگاه وجود داشته باشد.

همپوشانی الگوها

با چرخش کامل سیستم سنترپیوت و اثرگذاری یک اسپری نازل بر روی شبکه استاتیکی یک حلقه خیس شده در زمین تحت پوشش سیستم آبیاری تشکیل می‌شود. سپس نوبت به اسپری نازل‌های بعدی می‌رسد تا محاسبات پخش آب برای آنها نیز تکرار شود. با توجه به قطر پخش آب و فاصله اسپری نازل‌ها بر روی لترال سنترپیوت، بین الگوهای توزیع آب تداخل ایجاد می‌شود و برخی از اجزای مربعی شبکه استاتیکی از بیش از یک اسپری نازل آب دریافت می‌کنند. همپوشانی و تاثیر چندین اسپری نازل بر روی یک نقطه در مدل لحاظ شده است و در نقاطی که بیش از یک اسپری نازل آب دریافت می‌کنند عمق آب به مقدار قبلی اضافه و ثبت می‌شود. برای نقاطی از شبکه نیز که خارج از پوشش سیستم قرار گرفته و آب دریافت نکرده‌اند عمق آب آبیاری صفر منظور می‌شود.

محاسبه ضریب یکنواختی

با مشخص شدن عمق آب جمع شده در اجزای مربعی شبکه استاتیکی، می‌توان ضریب یکنواختی پخش آب را محاسبه نمود. از آنجا که مساحت تمامی اجزای مربعی برابر است، هرکدام از عمق‌های آب ارزش یکسانی دارند. بنابراین از روابط غیر وزنی محاسبه ضریب یکنواختی پخش آب استفاده می‌شود. در این میان می توان از رابطه ارائه شده توسط کریستین‌سن (1942) استفاده نمود:

$$CUc = 100 \times \left[1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^{n} |x_i - \bar{x}|}{n\bar{x}} \right) \right] \qquad [3]$$

در این رابطه CU_C ضریب یکنواختی کریستین سن، x_i عمق آب جمع آوری شده در ظرف i ام، $\bar{x}$ میانگین عمق‌های آب جمع آوری شده و n تعداد داده‌ها یا تعداد ظرف‌های جمع آوری آب می‌باشد. اما برای تعیین ضریب یکنواختی پخش آب در طول دستگاه، مانند ردیف ظروف آب قرار گرفته در امتداد اسپن‌ها[1]، مطابق استاندارد *ASAE S436.1* از رابطه وزن دار هییرمن و هین (1968) استفاده می شود زیرا ارزش عمق های آب جمع شده در ظروف مختلف یکسان نبوده و بستگی به فاصله آنها از نقطه مرکز دارد:

1 Span

$$CU_H = 100 \times \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^{n} |x_i - \bar{x}_w| S_i}{\sum_{i=1}^{n} |x_i S_i|} \right] \qquad [4]$$

در این رابطه در این رابطه CU_H ضریب یکنواختی هیبرمن و هین، S_i فاصله ظرف i ام از نقطه مرکز، x_i میزان آب جمع شده در ظرف i ام، n تعداد داده‌ها یا تعداد ظرف‌های جمع آوری آب و $\bar{x}_w$ میانگین وزنی میزان آب های جمع آوری شده توسط ظروف بوده و با رابطه 5 حساب می شود:

$$\bar{x}_w = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i S_i}{\sum_{i=1}^{n} S_i} \qquad [5]$$

تغییر آرایش اسپری نازل‌ها

ضریب یکنواختی به دست آمده نتیجه نحوه آرایش اسپری نازل‌ها بر روی لترال سنترپیوت می‌باشد. تغییر فواصل اسپری نازل‌ها باعث افزایش یا کاهش ضریب یکنواختی پخش آب می‌شود. مدل حاضر طوری طراحی شده است که امکان تغییر آرایش اسپری نازل‌ها فراهم باشد. با انجام سعی و خطا و تکرار در تغییر دادن آرایش اسپری نازل‌ها می‌توان به بیشترین ضریب یکنواختی پخش آب دست یافت و آرایش متناظر با آن را به عنوان بهترین آرایش معرفی نمود. همچنین می‌توان با روش‌های بهینه سازی مانند الگوریتم ژنتیک روند تغییر آرایش اسپری نازل‌ها را به صورت خودکار در یک برنامه رایانه‌ای انجام داد.

برنامه رایانه‌ای

با در نظر گرفتن تمامی خصوصیات و وظایف مدل، یک برنامه رایانه‌ای در محیط نرم افزار *MATLAB* برای مدل فوق تهیه شد. به دلیل قابلیت‌های منحصر بفردی که نرم افزار*MATLAB* در عملیات و محاسبات ماتریس‌ها دارد، شبکه‌های استاتیکی و دینامیکی به صورت ماتریس های مربعی وارد برنامه شدند که درایه‌های آن نماینده اجزای مربعی شبکه‌ها بود. کلیه درایه‌های شبکه استاتیکی در شروع برابر صفر هستند چون هنوز تحت آبیاری قرار نگرفته‌اند. اما درایه‌های شبکه دینامیکی غیر از گوشه‌ها اعدادی غیر صفر هستند زیرا برابر شدت پخش آب در نقاط مختلف شبکه می‌باشند. پس از اجرای مدل، درایه‌های شبکه استاتیکی در نقاطی غیر از گوشه‌ها به اعدادی غیر صفر و برابر عمق آب جمع شده تبدیل می‌شوند. به دلیل اینکه الگوی توزیع آب اسپری نازل منفرد و ناحیه تحت پوشش سیستم سنترپیوت دایره‌ای شکل است، در ماتریس‌های مربعی تعریف شده درایه‌های واقع در گوشه‌های ماتریس نماینده اجزای بدون دریافت آب می‌باشند و میزان شدت پخش و آب دریافتی آنها برابر صفر می‌باشد. مدل برای محاسبه ضریب یکنواختی پخش آب درایه‌های برابر صفر واقع در بیرون از ناحیه تحت آبیاری را وارد محاسبات نمی‌کند.

برنامه به دو گروه داده به عنوان ورودی نیاز دارد. گروه اول، داده‌های مربوط به الگوی توزیع اسپری نازل منفرد و شامل ماتریس حجم‌های آب‌های جمع شده در ظروف، مدت زمان انجام آزمایش، فاصله بین ظرف‌های جمع آوری، قطر دهانه ظروف می‌باشد. گروه دوم داده‌های ورودی اطلاعات مربوط به سیستم آبیاری و شامل آرایش اسپری نازل‌ها روی لترال (فاصله اسپری نازل‌ها از نقطه مرکز)، طول دستگاه، درصد زمان سنج تابلو برق اصلی یا زمان لازم برای یک دور چرخش دستگاه، زاویه چرخش یا قطاع تحت آبیاری، جهت چرخش، زمان‌های تغییر الگوی‌های توزیع آب می‌باشد. خروجی‌های مدل ماتریس عمق‌های آب دریافت شده در سراسر نقاط زمین تحت آبیاری و ضریب یکنواختی پخش

آب است. داده‌های ورودی در داخل یک فایل ذخیره می‌شوند تا در صورت لزوم در استفاده‌های آتی به کار روند.

تشکیل پایگاه داده

برای اجرای مدل در شرایط مختلف باد یک پایگاه داده تشکیل و نتایج تمامی آزمایش‌های انجام یافته جهت تعیین الگوی توزیع آب اسپری نازل منفرد در ارتفاع‌ها و فشارهای مختلف و همچنین سرعت‌ها و جهت‌های مختلف باد در آن ثبت و ذخیره شد تا در صورت لزوم به عنوان ورودی در اختیار مدل قرار گیرد. در این پایگاه داده حجم‌های آب دریافت شده در نقاط مختلف ناحیه خیس شده به صورت ماتریس مربعی وارد شده و بر مبنای نوع اسپری نازل و سرعت و جهت باد مرتب شد.

مدل پیش‌بینی الگوی توزیع آب اسپری نازل منفرد

مسلم است که به دلیل کثرت ترکیبات سرعت و جهت باد، امکان انجام آزمایش برای تمامی حالات ممکن و ثبت آن در پایگاه داده وجود ندارد. بنابراین اگر برای سرعت و جهت معینی از باد در پایگاه داده ماتریس متناظری وجود نداشته باشد تعیین ورودی مدل با مشکل مواجه می‌شود. وارد نمودن ماتریسی شبیه به شرایط موجود نیز ممکن است باعث ایجاد خطا گردد. برای رفع این مشکل می‌توان با استفاده از روش‌های متداول موجود اقدام به مدل سازی الگوی توزیع آب اسپری نازل‌های مورد استفاده در مدل نمود. در پژوهش حاضر، مدلی برای پیش بینی الگوی توزیع آب اسپری نازل منفرد در سرعت‌ها و جهت‌های مختلف باد برای اسپری نازل‌های تحت آزمایش طراحی و تهیه شد که شرح آن در مقاله دیگری در حال آماده سازی است.

تلفات بادبردگی و تبخیر

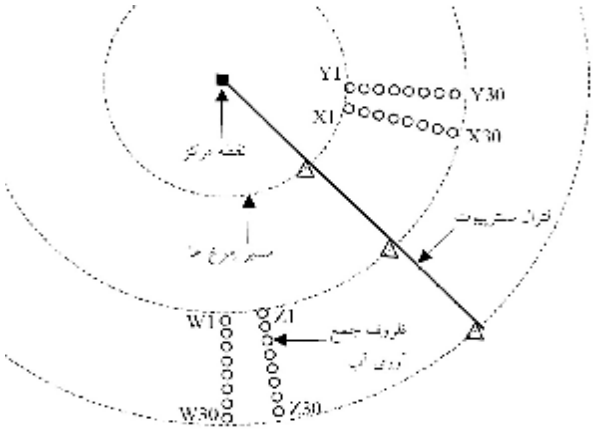
تلفات بادبردگی و تبخیر یکی از منابع تلفات آبی در آبیاری بارانی است. به دلیل این که مدل حاضر از الگوی توزیع آب اسپری نازل منفرد به عنوان ورودی استفاده می کند، نیازی به محاسبه تلفات تبخیر و بادبردگی نیست زیرا عمق‌های آب رسیده به سطح زمین که به صورت یک ماتریس وارد مدل می‌شوند قسمتی از آب پخش شده از نازل‌ها هستند که هر نوع تلفات مربوط به قبل از رسیدن ذرات آب بر سطح زمین به طور طبیعی از مقادیر آنها کسر شده است. زمانی که همین عمق‌ها در مدل بکار گرفته می‌شود در حقیقت تلفات بادبردگی و تبخیر در الگوی سراسری لحاظ می‌شود.

آزمایش‌ها

هدف از انجام آزمایش‌های عملی این بود که ماتریس شبکه دینامیکی الگوی توزیع آب اسپری نازل منفرد تعیین و به عنوان ورودی در اختیار مدل قرار گیرد. از طرف دیگر همان نوع اسپری نازل و با مشخصات آزمایشی مشابه بر روی دستگاه سنترپیوت نصب شده و دستگاه همزمان با انجام آزمایش اسپری نازل منفرد راه اندازی شود تا عمق‌های آب جمع شده در اثر عبور دستگاه از ناحیه تحت آزمایش اندازه گیری و ثبت شود. سپس برنامه رایانه‌ای اجرا و در ماتریس شبکه استاتیکی زمین تحت آبیاری عمق‌های آب شبیه سازی شده در نقاط تحت آزمایش با عمق‌های واقعی مقایسه و دقت مدل ارزیابی گردد. آزمایش‌های عملی پژوهش حاضر در اراضی تحقیقاتی آبیاری تحت فشار دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز انجام شد. این اراضی مجهز به یک دستگاه آبیاری سنترپیوت و فضای مناسب برای انجام آزمایش می‌باشد. دو نوع اسپری نازل نلسون *R3000* با صفحه[1] قرمز از

1 Nelson R3000

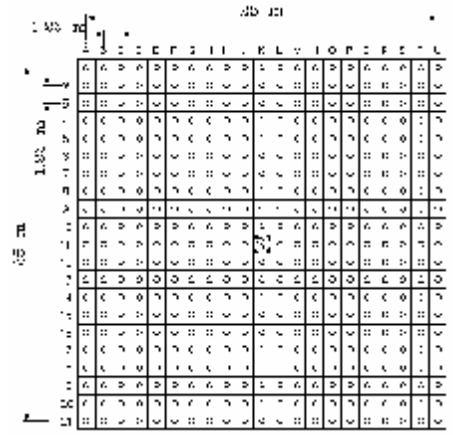
گروه اسپری نازل‌های با صفحه چرخان و سنینگر *LDN*[1] با صفحه سیاه از گروه اسپری نازل‌های با صفحه ثابت برای انجام آزمایش‌ها انتخاب شدند. قطر نازل مورد استفاده در اسپری نازل نلسون *R3000* برابر 24:128 اینچ (4/76 میلی متر) و در اسپری نازل سنینگر *LDN* برابر 22:64 اینچ (8/73 میلی متر) بود. به منظور تعیین عمق آب دریافت شده در نقاط مورد نظر از ردیف‌های ظروف جمع آوری آب استفاده شد. در انجام آزمایش‌های مربوط به سنترپیوت معیارها و ضوابط اشاره شده در استاندارد *ASAE S436.1* رعایت گردید. مطابق این استاندارد لازم است ظروف جمع آوری آب به صورت زوج ردیف در زیر دستگاه قرار گیرند. با هدف ارزیابی صحت پیش بینی‌های انجام یافته توسط مدل در موقعیت‌ها و جهت‌های مختلف قرارگیری دستگاه در زمین، زوج ردیف‌های ظروف در دو بخش جنوبی و شرقی زمین قرار داده شدند (شکل 3). در هر بخش دو ردیف از ظروف جمع آوری آب شامل 30 ظرف در هر ردیف (60 ظرف برای هر اسپن) به فاصله 1/25 متر از همدیگر و به طول کلی 38/75 متر در زیر اسپن‌ها قرار گرفت و هر ردیف با حروف X، Y، Z و W نام‌گذاری گردید. که زاویه بین ردیف‌های X و Y برابر 3/8 درجه و زاویه بین ردیف‌های W و Z برابر 5/8 درجه بود. برای تعیین موقعیت دقیق ردیف‌های ظروف و زاویه بین آنها زمین تحت پوشش نقشه برداری گردید و برخی ابعاد و طول ها با متر اندازه گیری شد. در شکل 3 موقعیت و مشخصات ردیف‌های ظروف جمع آوری آب نشان داده شده است.



شکل 3- موقعیت قرارگیری ردیف‌های ظروف جمع آوری آب سیستم سنترپیوت

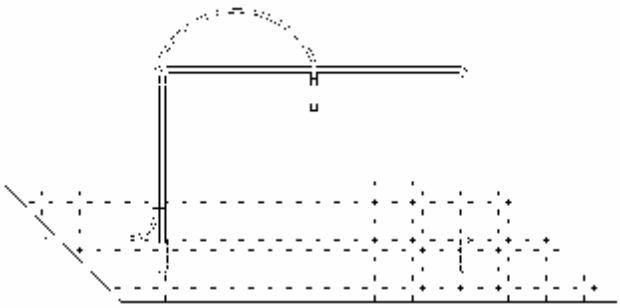
چنانچه در شکل 3 نیز مشخص است ردیف‌های X و Yدر زیر اسپن دوم و ردیف‌های W و Z در زیر اسپن سوم قرار گرفتند تا از این لحاظ نیز تفاوتی بین حالت‌های آزمایش وجود داشته باشد. در هر آزمایش 10 عدد اسپری نازل در آرایش‌های مشخص بر روی یکی از اسپن های دوم یا سوم نصب شده و دستگاه در فاصله مناسبی از ردیف ظروف به صورت آماده به کار متوقف گردید. برای انجام آزمایش‌های مربوط به اسپری نازل منفرد قطعه زمینی در کنار سنترپیوت به ابعاد تقریبی 50×50 متر انتخاب و شبکه‌ای از ظروف جمع آوری آب به ابعاد 25×25 متر و با فاصله ظروف 1/25×1/25 متر (21×21 ردیف) از همدیگر مطابق شکل 4 احداث گردید.

1- Senninger LDN



شکل 4- آرایش و ابعاد شبکه ظروف جمع آوری آب اسپری نازل منفرد

به منظور تعیین ماتریس الگوی توزیع آب اسپری نازل منفرد به عنوان ورودی مدل، یک عدد اسپری نازل از همان نوع نصب شده بر روی دستگاه و در ارتفاعی مشابه با آن توسط چهارچوبی فلزی مطابق شکل 5 در مرکز شبکه ظروف قرار گرفت.



شکل 5- نحوه قرارگیری اسپری نازل در مرکز شبکه

در آماده سازی تجهیزات و انجام آزمایش‌های مربوط به اسپری نازل منفرد ضوابط و معیارهای استاندارد *ASAE S330.1* مد نظر قرار گرفت. ثبت سرعت و جهت باد در محل و در حین انجام آزمایش از اهمیت زیادی برخوردار است. در کلیه آزمایش‌های انجام یافته در پژوهش حاضر با نصب یک ایستگاه هواشناسی پرتابل در محل انجام آزمایش‌ها سرعت و جهت باد، دمای هوا و رطوبت نسبی هوا در فواصل زمانی ده دقیقه‌ای اندازه گیری و ثبت شد. تنظیم کننده‌های فشار برای ایجاد یکنواختی مطلوب پخش آب در تمام اسپری نازل‌ها بکار می‌روند. با کمک فشارشکن‌ها یا تنظیم کننده‌های فشار می‌توان به مشکل تغییرات بار فشاری ناشی از سطوح شیب‌دار و افت اصطکاکی فایق آمد (کلار و همکاران 2005). پری و پاکنی (2001) و فاسی و همکاران (2001) در تحقیقات خود برای تمام اسپری نازل‌ها از تنظیم کننده‌های فشار استفاده نمودند. در تحقیق حاضر نیز جهت اطمینان از ثابت ماندن فشار در ورودی اسپری نازل و حذف آثار تغییرات فشار بر روی الگوی توزیع آب برای هر دو نوع اسپری نازل از تنظیم کننده‌های فشار 103 کیلو پاسکال(15 psi[1]) و 138 کیلوپاسکال (20 psi) مخصوص سنترپیوت استفاده گردید. فشار تولیدی توسط پمپ سیستم سنترپیوت مورد استفاده در آزمایش‌ها به اندازه‌ای بود که فشار موجود در انتهای دستگاه به بیش از 220 کیلوپاسکال می‌رسید ولی با نصب تنظیم کننده-های فشار برای تمامی اسپری نازل‌های مورد آزمایش فشار کارکرد در 138 و یا 103 کیلوپاسکال ثابت شد. صحت کارکرد تنظیم کننده‌های فشار نیز با اندازه‌گیری-های عملی توسط فشار سنج تایید شد. در فشارهای 103 و 138 کیلوپاسکال دبی اسپری نازل نلسون به ترتیب برابر 0/24 و 0/28 لیتر در ثانیه و دبی اسپری نازل سنینگر به ترتیب برابر 0/77 و 0/90 لیتر در ثانیه اندازه گیری شد. به منظور ارزیابی دقت مدل در ارتفاع های مختلف استقرار اسپری نازل ها، کلیه آزمایش ها در دو ارتفاع 180 و 225 سانتی متر از سطح زمین تکرار شدند.

1- Pound per square inch

در هر آزمایش ابتدا سیستم سنترپیوت راه اندازی و به محض وارد شدن اولین قطرات آب در ظروف جمع آوری آب، پمپ تامین کننده جریان آب اسپری نازل منفرد راه اندازی شد تا هر دو آزمایش هم‌زمان شروع شوند. همچنین سرعت حرکت دستگاه طوری تنظیم شد که هر دو آزمایش در زمان واحدی نیز خاتمه یابند دلیل این هم‌زمانی حصول اطمینان از یکسان بودن سرعت و جهت باد در طول آزمایش‌های متناظر بود. لحظه خاتمه آزمایش سنترپیوت زمانی است که دستگاه از روی ردیف‌های ظروف عبور کرده و هیچکدام از ظرف‌ها آبی دریافت نمی‌کردند. به دلیل قرارگیری راس زاویه تشکیل شده بین دستگاه و امتداد ردیف ظروف در نقطه مرکز، ظرف‌های نزدیک به مرکز زودتر از سایر ظروف از اسپری نازل‌ها آب دریافت کردند. همچنین به دلیل افزایش سرعت حرکت دستگاه از مرکز به طرف انتهای دستگاه، زمان عبور کامل دستگاه و اثرگذاری اسپری نازل‌ها بر روی ظروف واقع در انتهای اسپن‌ها کوتاه‌تر از ظروف قرار گرفته در ابتدای اسپن‌ها بود. بنابراین در انجام آزمایش‌های هم‌زمانی شروع و خاتمه آزمایش اسپری نازل منفرد با نقطه وسط اسپن‌ها (منطبق بر وسط ردیف ظروف) تنظیم شد. پس از خاتمه آزمایش‌ها بلافاصله حجم آب جمع شده در ظروف توسط استوانه مدرج اندازه‌گیری و در فرم‌های مخصوص درج شد. سایر داده‌های ورودی مدل نیز در تمامی آزمایش‌ها ثبت گردید.

نتایج و بحث

آزمایش‌های پژوهش حاضر برای دو نوع اسپری نازل، در دو ارتفاع استقرار، دو فشار کارکرد و دو اسپن متفاوت و در نتیجه در شانزده حالت مختلف انجام گرفت که در بسیاری از حالات به منظور تهیه داده‌های بیشتر، آزمایش‌ها در شرایط مختلف باد تکرار شدند. پس از انجام آزمایش‌ها و ثبت داده های حاصل، برنامه رایانه‌ای مدل برای شرایط متناظر با هر آزمایش اجرا شد. بدین منظور ماتریس الگوی توزیع آب اسپری نازل منفرد که از آزمایش‌های همزمان با سنترپیوت حاصل شده بود به عنوان ورودی وارد مدل گردید. مشخصات سیستم آبیاری از جمله زمان لازم برای یک دور چرخش دستگاه (تاثیر پذیر از درصد زمان سنج و سرعت دستگاه) و آرایش اسپری نازل‌ها نیز برای مدل تعریف شد. سپس مدل اجرا شد و در خروجی آن یعنی ماتریس سراسری شبکه استاتیکی زمین، درایه های متناظر با ظروف جمع آوری آب مشخص گردید. در نهایت مقادیر عمق آب واقعی و شبیه سازی شده با مدل در این نقاط و ضریب یکنواختی پخش آب حاصل از آزمایش‌ها و شبیه سازی شده با مدل با یکدیگر مقایسه شد. در جدول 1 جمع بندی کلیه آزمایش‌های انجام یافته، نتایج آزمایش‌ها و شبیه سازی‌های مدل و مقایسه آنها ارائه شده است.

در جدول 1 تمامی 12 مقدار خطای مطلق میانگین و خطای جذر میانگین مربعات ناچیز بوده و نتایج نشان دهنده دقت بالای مدل در شبیه‌سازی عمق آب دریافت شده و ضریب یکنواختی پخش آب در نقاط مختلف زمین می‌باشد. در شکل 6 نتایج مشاهدات و شبیه سازی مدل برای یکی از حالات آزمایش‌های انجام یافته نشان داده شده است. این نتایج مربوط به ظروف جمع آوری آب واقع در ردیف Z می‌باشد که موقعیت آن در شکل 3 نشان داده شده است.

جدول 1- جمع بندی آزمایش‌ها و مقایسه مشاهدات با نتایج مدل

نوع اسپری نازل	تنظیم کننده فشار (کیلو پاسکال)	شماره اسپن	ارتفاع استقرار (سانتی متر)	تعداد آزمایش	میانگین ضریب CU_H (درصد)*		میانگین ضریب CU_C (درصد)*		میانگین عمق آب دریافت شده (میلی متر)**	
					مشاهدات	شبیه سازی شده	مشاهدات	شبیه سازی شده	مشاهدات	شبیه سازی شده
نلسون R3000	138	3	180	3	81/6	81/2	83/9	83/5	9/95	9/44
نلسون R3000	138	3	225	2	84/1	85/6	87/2	89/1	7/82	8/45
نلسون R3000	138	2	180	3	81/3	80/5	81/6	80/8	12/77	12/94
نلسون R3000	138	2	225	2	83/2	83/6	85/5	84/3	8/45	7/83
نلسون R3000	103	3	180	1	79/7	82/7	82/8	83/7	9/69	9/88
نلسون R3000	103	3	225	2	82/2	84/7	86/3	88/2	7/29	5/67
نلسون R3000	103	2	180	2	78/6	78/2	79/4	78/5	11/53	13/24
نلسون R3000	103	2	225	2	81/1	82/6	84/2	85/6	8/08	9/81
خطای مطلق میانگین[1]						1/312		1/175		0/897
خطای جذر میانگین مربعات[2]						1/020		0/015		0/116
سنینگر LDN	138	3	180	2	77/3	76/7	77/6	77/2	26/10	27/29
سنینگر LDN	138	3	225	3	79/4	79/6	84/1	82/7	21/81	20/13
سنینگر LDN	138	2	180	2	76/4	77/4	77/6	78/3	20/06	19/65
سنینگر LDN	138	2	225	2	77/9	80/2	79/3	81/4	25/77	26/38
سنینگر LDN	103	3	180	3	70/5	71/1	71/6	73/4	23/71	22/93
سنینگر LDN	103	3	225	1	73/9	74/3	76/2	77/5	20/24	22/46
سنینگر LDN	103	2	180	2	73/3	71/8	73/7	72/2	19/35	20/30
سنینگر LDN	103	2	225	2	74/1	74/9	76/8	75/6	26/95	27/24
خطای مطلق میانگین						0/925		1/301		1/016
خطای جذر میانگین مربعات						0/015		0/018		0/051

* میانگین ضریب یکنواختی، متوسط تمام آزمایشات تکرار شده در هر حالت و برای زوج ردیف ظروف می باشد.

** میانگین عمق آب دریافت شده، متوسط تمام آزمایشات تکرار شده در هر حالت و برای زوج ردیف ظروف می باشد.

شکل 6- مقایسه مشاهدات و نتایج حاصل از مدل برای اسپری نازل نلسون R3000، ارتفاع استقرار 180 سانتی متر، تنظیم کننده فشار 138 کیلو پاسکال و ردیف ظروف جمع آوری Z در زیر اسپن سوم

[1] MAE
[2] RMSE

از شکل 6 نیز پیش بینی دقیق مدل از عمق آب دریافت شده در نقاط مختلف قابل استنتاج است. در پژوهش حاضر اسپن‌های غیر آزمایشی داری نوع دیگری از اسپری نازل‌ها بودند. به منظور جلوگیری از اثر اسپن های مجاور بر روی آزمایش‌ها، خروجی‌های ابتدا و انتهای اسپن های آزمایشی و چندین خروجی از اسپن‌های مجاور مسدود شده بود. بنابراین دو سوی پروفیل پخش آب در شکل 6 به حالت نزولی است. عمق‌های آب جمع آوری شده و شبیه سازی شده در ظروف واقع در فاصله 3 متری ابتدا و انتهای اسپن های مورد آزمایش، در محاسبات یکنواختی پخش آب بکار گرفته نشد.

نتیجه گیری و پیشنهادها

هدف اصلی انجام پژوهش حاضر طراحی، توسعه و صحت سنجی یک مدل در زمینه شبیه سازی الگوی توزیع آب توسط سیستم‌های آبیاری سنترپیوت و محاسبه ضریب یکنواختی آن بود تا به منظور طراحی دقیق‌تر این سیستم‌ها مورد استفاده قرار گیرد. مقایسه نتایج حاصل از انجام آزمایش‌های متعدد در شرایط مختلف با مقادیر شبیه سازی شده توسط مدل نشان داد مدل حاضر دارای دقت بالایی بوده و هدف تحقیق را برآورده نمود. بنابراین استفاده از آن به عنوان یک مدل مطمئن در زمینه مدل سازی سیستم های آبیاری سنترپیوت توصیه می‌شود.

مدل حاضر توانایی پیش بینی عمق آب دریافت شده و بررسی یکنواختی پخش آب را هم در طول لترال و هم در امتداد مسیر حرکت دایره‌ای دستگاه دارد. زیرا در ماتریس سراسری حاصل، امکان هرگونه محاسبه و ارزیابی بر روی درایه ها در هر جهتی وجود دارد که مزیت مهم مدل می‌باشد.

تداخل مسیرهای حرکت اجزای شبکه دینامیکی حین حرکت آن بر روی شبکه استاتیکی نشان می‌دهد که فرض حصول یکنواختی پخش آب بالا به علت حرکت دستگاه ممکن است تصور صحیحی نباشد. به دیگر سخن اگر در طول لترال سنترپیوت یکنواختی پخش آب ایجاد شود نمی‌توان مطمئن بود که هنگام حرکت دستگاه، در امتداد مسیر دایره‌ای نیز یکنواختی لازم ایجاد گردد. دقیق ترین روش برای ارزیابی سیستم‌های سنترپیوت دخالت دادن تمامی نقاط دریافت آب (کلیه اجزای شبکه استاتیک) در محاسبات یکنواختی پخش آب می‌باشد.

دقت مدل برای هر دو نوع اسپری نازل بالا بود و تفاوتی در اثر تغییر نوع اسپری نازل ایجاد نشد. همچنین تغییر ارتفاع استقرار اسپری نازل، تغییر فشار کارکرد، تغییر اسپن و تغییر محل قرارگیری دستگاه در دقت مدل تاثیری نداشت. در یک آرایش مشابه از اسپری نازل‌ها بر روی سیستم سنترپیوت، با افزایش فشار کارکرد یا افزایش ارتفاع استقرار غالباً یکنواختی پخش آب در هر دو نوع اسپری نازل افزایش یافت. اما نمی‌توان گفت افزایش ارتفاع استقرار یا فشار کارکرد همواره مطلوب است زیرا ممکن است باعث افزایش تلفات بادبردگی و تبخیر شده یا عمق آب آبیاری مورد نیاز را در یک زمان معین تامین ننماید. در شرایط مشابه، یکنواختی پخش آب در اسپری نازل‌های نلسون *R3000* معمولاً بالاتر از اسپری نازل-های سنینگر *LDN* بود. فاسی و همکاران (2001) نیز همین نتیجه را گزارش نموده‌اند. دلیل این امر وجود تفاوت های عمده در الگوی توزیع آب دو اسپری نازل بود که در مقاله دیگری به آن پرداخته خواهد شد. در شرایط مشابه در اسپری نازل‌های سنینگر *LDN* به دلیل بکار بردن نازل بزرگتر و وجود دبی بیشتر عمق آب دریافت شده بیشتر از اسپری نازل‌های نلسون *R3000* بود.

برای هر گروه از اعداد، مقادیر ضریب یکنواختی پخش آب محاسبه شده با رابطه کریستین سن بزرگتر از مقادیر محاسبه شده با رابطه هییرمن و هین (1968) بود.

ممکن است در یک سیستم سنترپیوت استفاده از ترکیب اسپری نازل‌های مختلف با دبی ها و الگوهای توزیع آب متفاوت منجر به یکنواختی پخش آب بالاتری گردد. تکمیل نمودن مدل حاضر جهت قبول چندین الگوی توزیع متفاوت به عنوان ورودی و سپس انجام بهینه سازی خودکار بین ترکیبات مختلف اسپری نازل‌ها جهت رسیدن به بالاترین یکنواختی پخش آب و بهترین آرایش توسط برنامه رایانه‌ای و در نهایت شبیه سازی عمق آب دریافت شده در سراسر زمین تحت آبیاری گام بعدی پژوهش حاضر می باشد که مدل سازی و برنامه رایانه‌ای آن قطعاً دارای پیچیدگی‌های بیشتری است. این مدل در حال حاضر در حال تهیه می‌باشد و مراحل نهایی خود را سپری می‌کند.

پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی به منظور تکمیل‌تر شدن دامنه کاربرد مدل، آزمایش‌های مربوط به انواع اسپری نازل یا آبپاش منفرد در قطرهای نازل، ارتفاع‌ها و فشارهای مختلف انجام و از نتایج آنها در تهیه مدل‌های تعیین الگوی توزیع آب اسپری نازل‌ها یا آبپاش-ها استفاده گردد. از ماتریس خروجی چنین مدل‌هایی می-توان به عنوان ورودی مدل ارائه شده در این تحقیق استفاده نمود.

عموماً در سنترپیوت‌های تولید شده در دنیا فاصله خروجی‌ها از همدیگر بر روی دستگاه در حدود 3 متر می‌باشد. پیشنهاد می‌شود شرکت های تولید کننده سنترپیوت فاصله خروجی ها را کاهش داده و بطور مثال به 1 متر برسانند. در این صورت در تغییر فواصل اسپری نازل‌ها و رسیدن به آرایش مطلوب دامنه عملکرد و انعطاف بیشتری وجود خواهد داشت که نتیجه آن دستیابی به یکنواختی پخش آب بهتر و راندمان آبیاری بالاتر خواهد بود.

در انجام پژوهش حاضر مولفان مقاله تنها اهداف علمی را دنبال نموده اند و مقایسه تجاری هیچ کدام از مارک های اسپری نازل‌های مورد استفاده در آزمایش ها مد نظر نبوده است. مقاله حاضر نمی‌تواند به عنوان منبعی جهت استفاده در انتخاب اسپری نازل‌ها بکار رود.

سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از گزارش نهائی طرح پژوهشی شماره 27/1236/د مورخ 87/2/21 می‌باشد که از محل اعتبارات پژوهشی دانشگاه تبریز اجرا گردیده است. بدین وسیله از حمایت مالی دانشگاه تبریز تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع مورد استفاده

Anonymous, ASAE standards, ANSI/ASAE S330.1, 2003. Procedure for sprinkler distribution testing for research purposes. ASAE, St. Joseph, MI, USA.

Anonymous, ASAE standards, ANSI/ASAE S436.1, 2007. Test procedure for determining the uniformity of center- pivot and lateral move irrigation machines equipped with spray or sprinkler nozzles. ASAE, St. Joseph, MI, USA.

Bittenger MW and Logenbaugh, 1962. Theoretical distribution of water from a moving irrigation sprinkler. Trans ASAE 5(1): 26-30.

Bremond B and Molle B, 1995. Characterization of rainfall under center-pivot: Influence of measuring procedure. J Irrig Drain Engin, ASCE 121(5): 347-353.

Christiansen JE, 1942. Irrigation by sprinkler. Bull. 670, California Agric Experiment Station, Univ of California, Berkley, CA.

Evans RG, Han S, James LG, and Kroeger MW, 1993. CPIM- a computer simulation program for center pivot irrigation systems. ASAE Paper No. 93-3065, ASAE, St Joseph, MI, USA.

Faci JM, Salvador R, Playan E and Sourell H, 2001. Comparison of fixed and rotating spray plate sprinklers. J Irrig Drain Engin, ASCE 127(4): 224-233.

Heermann DF and Hein PR, 1968. Performance characteristic of self-propelled center pivot sprinkler irrigation system. Trans ASAE 11(1): 11-15.

Klar AE, Santana R and Duroha C, 2005. Evaluation center pivot system using new and old spray and pressure regulators. Trans ASAE 47(6): 1526-1529.

Omary M and Sumner H, 2001. Modeling water distribution for irrigation machine with small spray nozzles. J Irrig Drain Engin, ASCE 127(3): 156-160.

Omary M, Camp CR and Sadler EJ, 1997. Center pivot irrigation system modification to provide variable water application depths. Appl Engin Agric ASAE 13(2): 235-239.

Perry C and Pocknee S, 2001. Precision pivot irrigation controls to optimize water application. Pp. 425-432. Proceeding of the Georgia Water Resources Conference. Georgia, USA.

Perry C, Pocknee S, Hansen O, Kvien C, Vellidis G and Hart E, 2002. Development and testing of a variable–rate pivot irrigation control system. Pp. 616-629. Proceeding of ASAE Annual International Conference, Chicago, USA.