



## مدیریت آب و آبیاری

دوره ۴ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۳

صفحه‌های ۱۷-۱

# ارزیابی خصوصیات عملکردی آبیاری‌های اسپری مجهز به پدهای انحراف مختلف

حبیب صیادی<sup>۱</sup>، امیرحسین ناظمی<sup>۲\*</sup>، علی‌اشرف صدرالدینی<sup>۳</sup>، رضا دلیر حسن‌نیا<sup>۴</sup>

۱. دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
۲. استاد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
۳. دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
۴. استادیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۹/۱۰

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۱/۰۸/۲۱

### چکیده

تنوع آبیاری‌های قابل استفاده در سیستم‌های آبیاری بارانی سنتریپوت و لینی در سال‌های اخیر به‌طور چشمگیری افزایش یافته است. در تحقیق حاضر یک نوع آبیاری اسپری با پد ثابت (D3000) و دو نوع آبیاری اسپری با پد متحرک (R3000 و S3000) با پیکربندی‌های مختلف (فشار کارکرد، اندازه نازل و شکل پد انحراف) برای ارزیابی روابط دبی - فشار، قطر پخش، پروفیل بارش و شدت پخش متوسط طی آزمایش‌ها در محیط سرپوشیده مقایسه شدند. همچنین با استفاده از داده‌های میدانی الگوی توزیع آبیاری R3000 در سرعت‌ها و جهت‌های مختلف باد، تأثیر باد بر تغییر قطر پخش آبیاری ارزیابی شد. روابط تجربی برای تخمین قطر پخش آبیاری در وضعیت بدون باد و نیز رابطه تجربی برای انتخاب اندازه نازل در طراحی هیدرولیکی سیستم بیان شد. با مقایسه مقادیر تخمینی قطر پخش در وضعیت بدون باد با مقادیر مشاهداتی که در توسعه روابط استفاده نشده بود، مقادیر  $R^2$  و  $RMSE$  صحت‌سنجی به‌ترتیب در محدوده  $0/88 - 0/68$  و  $0/83 - 1/64$  متر قرار گرفت که نشان از دقت مناسب روابط دارد. همچنین ضریب تجربی  $C$  به‌عنوان تابعی از سرعت باد برای تخمین قطر پخش تحت تأثیر باد معرفی شد. مقایسه مقادیر تخمینی قطر پخش با استفاده از ضریب  $C$  با مقادیر مشاهداتی در وضعیت مزرعه‌ای با  $R^2$  برابر  $0/66$  و  $RMSE$  برابر  $1/27$  متر دقت بیشتری نسبت به رابطه کینساید [۱۳] نشان داد.

**کلیدواژه‌ها:** باد، پروفیل بارش، روابط دبی - فشار، شدت پخش، قطر پخش.

## مقدمه

نظر حرکت نیز انواع مختلفی دارند: پدهای ثابت<sup>۲</sup> که در هنگام برخورد با جریان آب خروجی از نازل حرکت نمی‌کنند؛ پدهای آونگی<sup>۳</sup> که حرکتی آونگی در هنگام برخورد با جریان آب خروجی از نازل دارند؛ و پدهای گردان<sup>۴</sup> یا چرخان<sup>۵</sup> که در هنگام برخورد با جریان آب خروجی از نازل در یک دایره<sup>۳۶۰</sup> درجه‌ای و با سرعت‌های متفاوت می‌چرخند [۱].

مهم‌ترین اصل در انتخاب آبپاش برای یک سیستم آبیاری بارانی دستیابی به یکنواختی پخش بهینه است. یکنواختی پخش در سیستم‌های سنتریوت به‌عنوان یکی از اساسی‌ترین شاخص‌های عملکرد سیستم آبیاری که تأثیر بسزایی در مصرف آب و انرژی و نیز تولید گیاهی دارد، به‌الگوی توزیع آب حاصل از آبپاش، فواصل نصب آبپاش‌ها بر روی لاترال، ارتفاع از سطح زمین یا پوشش گیاهی، توپوگرافی زمین و سرعت حرکت دستگاه بستگی دارد. الگوی توزیع آب حاصل از آبپاش نیز وابسته به نوع و پیکربندی آبپاش، فشار کارکرد، اندازه نازل و شرایط باد در مزرعه است [۱۱، ۱۷، ۲۱].

نوع پد در آبپاش‌های اسپری تأثیر فراوانی بر توزیع اندازه قطرات و نیز الگوی پخش آب حاصل از آبپاش دارد [۵، ۹، ۱۳، ۲۰]. نتایج تحقیقات نشان داده است که شکل پد انحرافی در آبپاش‌های اسپری در مقایسه با فشار کارکرد تأثیر بیشتری بر توزیع اندازه قطرات حاصل از آبپاش دارد. به‌طور معمول برای اندازه معین نازل و در فشار کارکرد ثابت با افزایش تعداد شیارهای پد، اندازه قطرات کاهش می‌یابد [۵، ۱۴، ۱۵]. پد انحرافی در آبپاش‌های اسپری موجب کاهش سرعت آب می‌شود، به‌نحوی که سرعت

سیستم سنتریوت یکی از روش‌های بسیار انعطاف‌پذیر آبیاری بارانی در پخش آب است که در دهه‌های اخیر به‌دلیل برخورداری از پتانسیل مناسب برای پخش آب با بازده زیاد و یکنواختی مناسب، داشتن درجه بالای اتوماسیون و نیاز به نیروی کارگری بسیار کمتر از سایر روش‌های آبیاری، امکان پوشش مناطق وسیع و توانایی سیستم برای پخش اقتصادی آب و مواد مغذی یا کود قابل‌حل در آب در دامنه وسیعی از وضعیت‌های خاک، گیاه و توپوگرافی گسترش چشمگیری در جهان داشته است [۱].

تنوع آبپاش‌های قابل استفاده در سیستم‌های سنتریوت در سال‌های اخیر به‌طور چشمگیری افزایش یافته است و در حال حاضر آبپاش‌های مختلفی از آبپاش‌های سستی ضربه‌ای دارای یک یا دو نازل با انواع مختلفی از نازل‌ها، تا آبپاش‌های اسپری مجهز به پدهای انحرافی متنوع که اندازه قطرات و الگوی توزیع آب را در گستره وسیعی از شدت پخش و فشار کارکرد تحت تأثیر قرار می‌دهند، موجودند [۱۴].

سازوکار پخش آب در آبپاش‌های اسپری بدین صورت است که جت آب پس از خروج از نازل با برخورد به پد انحرافی<sup>۱</sup> تحت تأثیر شکل پد و تعداد یا اندازه شیارهای موجود بر آن به‌صورت اسپری پخش می‌شود [۱۸]. انواع گوناگون اسپری‌ها، دارای پدهای متفاوتی هستند. آبپاش‌های اسپری کم‌فشار با پدهای مسطح، مقعر یا محدب که الگوی اسپری و جت آب را به‌صورت افقی، روبه‌بالا یا روبه‌پایین هدایت می‌کنند، کاربرد دارند. همچنین پدهای آبپاش‌های اسپری در شکل و عمق شیار و نیز در اندازه قطره‌های تولیدی با یکدیگر متفاوتند. پدها از

2. Stationary or Fixed Pad  
3. Oscillating Pad  
4. Rotating Pad  
5. Spinning Pad

1. Deflection-Plate or Pad

## مواد و روش‌ها

آزمایش‌ها برای تعیین روابط دبی - فشار، شعاع پخش و پروفیل بارش در وضعیت‌های مختلف فنی و هیدرولیکی آبیاش‌های اسپری در محل آزمایشگاه آبیاری دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز انجام یافت. همه مراحل آزمایش‌ها براساس استانداردهای بین‌المللی ISO 8026 و ASAE S398.1 صورت گرفت [۴، ۱۰]. از یک نوع آبیاش اسپری با پد ثابت با عنوان D3000 و دو نوع آبیاش با پد متحرک با عنوان R3000 (Rotator) و S3000 (Spinner) همکاری ساخت شرکت نلسون<sup>۱</sup> برای آزمایش‌ها استفاده شد. پد انحراف آبیاش R3000 در برخورد با جت‌آب با سرعتی بین ۱ تا ۱۰ دور در دقیقه می‌چرخد، در حالی که در آبیاش‌های S3000 پد انحراف در برخورد با جت‌آب با سرعتی بین ۱۰۰ تا ۶۰۰ دور در دقیقه می‌چرخد و سرعت چرخش در هر دو نوع به فشار کارکرد و اندازه نازل وابسته است.

چهار فشار کارکرد شامل ۰/۷ بار (۱۰ Psi)، ۱ بار (Psi) ۱۵، ۱/۴ بار (۲۰ Psi) و ۲/۴ بار (۳۵ Psi) در ترکیب با ۲۰ اندازه مختلف نازل از ۱/۹۸ تا ۸/۷۳ میلی‌متر در آزمایش‌های روابط دبی - فشار به کار گرفته شد که از این بین، پنج اندازه نازل شامل ۲/۳۸، ۳/۹۷، ۴/۷۶، ۷/۱۴ و ۸/۷۳ میلی‌متر برای سایر آزمایش‌ها (اندازه‌گیری شعاع پخش و پروفیل بارش) استفاده شد. فشار کارکرد آبیاش‌ها با استفاده از تنظیم‌کننده‌های فشار ساخت شرکت نلسون یا سنینگر<sup>۲</sup> در مقادیر مورد نظر تنظیم شد. هر آبیاش با پدهای مختلفی تجهیز شد که مشخصات آنها در جدول ۱ ارائه شده است [۳].

پرتاب قطرات در خروج از پد کمتر از سرعت جت‌آب در خروج از نازل است [۱۲].

اندازه قطرات حاصل از آبیاش پد ثابت (D3000) کوچک‌تر از قطرات آبیاش پد گردان (R3000) گزارش شده است. الگوی توزیع آب حاصل از آبیاش پد گردان به صورت مخروطی و بسیار شبیه به الگوی توزیع آبیاش‌های ضربه‌ای است که در آن حداکثر پخش آب در نزدیکی آبیاش به وقوع می‌پیوندد، درحالی که به دلیل محدود بودن دامنه توزیع اندازه قطرات حاصل از آبیاش‌های اسپری با پد ثابت، الگوی توزیع آب حاصل از این آبیاش‌ها به صورت حلقه‌ای به عرض حدود یک متر است [۷].

نتایج تحقیقات نشان داده است که قطر پخش و شدت پخش متوسط در آبیاش اسپری پد ثابت (D3000) مجهز به پد آبی رنگ دارای ۳۶ شیار با افزایش اندازه نازل در فشار ثابت افزایش می‌یابد [۹]. تأثیر باد بر تلفات تبخیر و بادبردگی در آبیاش‌های اسپری پد ثابت کمتر از آبیاش‌های پد گردان گزارش شده است [۷]. همچنین در اکثر منابع، ضرایب یکنواختی پخش برای آبیاش‌های پد ثابت در فشار کارکرد و اندازه نازل یکسان کمتر از یکنواختی پخش حاصل از آبیاش‌های پد گردان گزارش شده است [۶، ۷، ۱۸].

در مطالعه حاضر، خصوصیات عملکردی آبیاش‌های اسپری سیستم آبیاری بارانی سنتریپوت (عقره‌ای) مجهز به پدهای انحراف مختلف از جمله روابط دبی - فشار، قطر و شدت پخش و پروفیل بارش در شرایط مختلف فنی و هیدرولیکی آبیاش (اندازه نازل و فشار کارکرد) با اجرای آزمایش‌های داخل آزمایشگاهی بررسی و ارزیابی شده است. همچنین تأثیر باد بر عرض الگوی پخش آبیاش در جهت‌های مختلف با استفاده از داده‌های میدانی تجزیه و تحلیل شده است.

1. Nelson  
2. Senninger

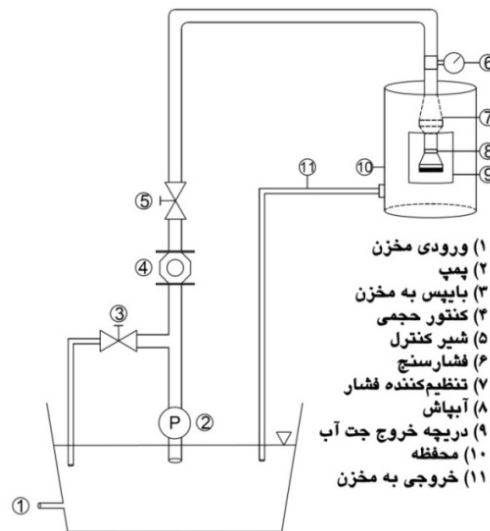
حجمی، حجم آب پخش شده در هر آزمایش اندازه‌گیری و دبی پخش با در نظر گرفتن مدت آزمایش محاسبه شد. ظروف جمع‌آوری آب با قطر داخلی ۱۳ سانتی‌متر با فواصل ۰/۴ متر از هم جای داده شدند و اولین ظرف با فاصله ۱ متر از آبپاش در محدودهٔ پروفیل بارش آبپاش قرار گرفت. برای استخراج روابط تجربی بین پیکربندی‌های مختلف آبپاش‌ها و قطر پخش از داده‌های ارائه‌شدهٔ کارخانهٔ سازنده استفاده شده است. این داده‌ها در تارنمای شرکت نلسون به نشانی [www.nelsonirrigaion.com](http://www.nelsonirrigaion.com) موجود است.

نمای شماتیکی از سیستم تجهیز شده برای اجرای آزمایش‌ها در شکل ۱ نمایش داده شده است. براساس استانداردهای به‌کاررفته، آبپاش داخل محفظه‌ای قرار گرفت که دریچهٔ آن، پخش آب به‌صورت قطاعی از دایره را ممکن می‌کرد. ارتفاع نازل در فاصلهٔ ۱۵۰ سانتی‌متری از زمین تنظیم شد. فشار ورودی به تنظیم‌کنندهٔ فشار که با استفاده از شیرهای کنترل و بای‌پس به مخزن تنظیم می‌شود توسط یک فشارسنج ۱۰-۰ بار در هر آزمایش اندازه‌گیری و ثبت شد. مدت هر آزمایش ۳۰ دقیقه در نظر گرفته شد و با استفاده از یک کنتور

جدول ۱. مشخصات پدهای مختلف استفاده‌شده

نوع آبپاش	نوع پد	تعداد شیار	شکل یا زاویهٔ پرتابه	دامنهٔ فشار پیشنهادی (بار)	دامنهٔ اندازهٔ نازل پیشنهادی (mm)
D3000	سبز	۳۰	مقعر	۰/۴۱ - ۲/۸	۱/۷۸ - ۹/۹۲
	آبی	۳۶	مقعر	۰/۴۱ - ۲/۸	۱/۷۸ - ۹/۹۲
	سیاه ۱	۳۶	صاف	۰/۴۱ - ۲/۸	۱/۷۸ - ۹/۹۲
	سیاه ۲*	۳۳	صاف	-	-
R3000	سبز	۴	۴ تا ۸ درجه	۱/۴ - ۳/۴	۲/۷۸ - ۹/۹۲
	قرمز	۶	۶ تا ۱۲ درجه	۱ - ۲	۲/۷۸ - ۹/۹۲
	نارنجی	۸ (چندگانه)**	مختلف	۱ - ۲	۲/۷۸ - ۹/۹۲
	قهوه‌ای	۸ (چندگانه)**	مختلف	۱ - ۲	۲/۷۸ - ۹/۹۲
S3000	قرمز	۶	۶ تا ۱۲ درجه	۰/۷ - ۱/۴	۲/۷۸ - ۹/۹۲
	زرد	۸	مختلف	۰/۷ - ۱/۴	۲/۷۸ - ۹/۹۲

\* این پد جزء پدهای ارائه‌شدهٔ شرکت Nelson نیست، ولی در آبپاش D3000 قابلیت استفاده دارد.  
\*\* شیارها به شکل‌های مختلف و با زوایای پرتاب متفاوت



شکل ۱. نمای شماتیک سیستم تحت آزمایش

میانگین‌گیری، سرعت و جهت مربوط به هر آزمایش تعیین شد. حداقل و حداکثر سرعت متوسط باد در طول آزمایش‌های میدانی به ترتیب ۰/۶۸ و ۷/۴ متر بر ثانیه بود [۲].

### توابع عملکرد آماری

دقت روابط تجربی ارائه‌شده برای تخمین پارامترهای مختلف در تحقیق حاضر، با استفاده از نمایه‌های آماری شامل مجموع مربعات خطا (SSE) و مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) سنجیده شد. این نمایه‌ها را می‌توان با استفاده از روابط ۱ و ۲ محاسبه کرد:

$$SSE = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (2)$$

که در آنها  $y_i$ : مقادیر مشاهداتی؛  $\hat{y}_i$ : مقادیر حاصل از روابط تجربی ۱۰، ۱۱، ۱۳، ۱۶؛ و  $n$ : تعداد مشاهدات است. همچنین عملکرد کلی روابط با استفاده از ضریب نکویی برازش ( $R^2$ ) بررسی شد (رابطه ۳).

برای بررسی تغییرات شعاع پخش آبیاش در اثر باد از داده‌های میدانی ارائه‌شده توسط [۲] استفاده شد. برای توسعه مدل هوشمند مبتنی بر شبکه‌های عصبی مصنوعی (ISSP) به منظور شبیه‌سازی تغییرات الگوی توزیع در اثر باد، الگوی توزیع حاصل از آبیاش در سرعت‌ها و جهت‌های مختلف باد ثبت شد. در تحقیق مذکور شبکه‌ای متشکل از ۲۱ × ۲۱ ظرف جمع‌آوری آب با فاصله ۱/۲۵ × ۱/۲۵ متر از هم زیر یک آبیاش R3000 با فشار کارکرد ۱/۴ بار (۲۰ Psi) و اندازه نازل ۴/۷۶ میلی‌متر مجهز به پد انحراف قرمز رنگ قرار گرفته است. ارتفاع آبیاش از سطح زمین در مقدار ۱/۸ متر تنظیم شد. از یک ایستگاه هواشناسی دیجیتالی برای اندازه‌گیری سرعت و جهت باد استفاده شد. این ایستگاه که از یک بادسنج، حسگر حرارتی و رطوبتی و یک صفحه نمایشگر تشکیل شده است، در فاصله تقریبی ۲۰ متری از شبکه ظروف جمع‌آوری آب نصب و داده‌های مربوط به سرعت و جهت باد در طول مدت آزمایش (یک ساعت) در هر دقیقه ثبت شد و با

### شدت پخش متوسط

شدت پخش متوسط را که عبارت است از شدت جریان در واحد سطح خیس شده الگوی پخش، می توان براساس شدت جریان در واحد طول لاترال و عرض الگوی پخش آبپاش محاسبه کرد. رابطه ۷ برای محاسبه شدت پخش متوسط به شکل زیر ارائه شده است [۱۳]:

$$R_a = 0.26 Q X_p / W \quad (7)$$

که در آن  $R_a$ : شدت پخش متوسط (mm/h);  $Q$ : ظرفیت ناخالص سیستم (mm/day);  $X_p$ : فاصله آبپاش از مرکز سیستم (پیوت) (m); و  $W$ : قطر پخش آبپاش (m) است.

### روابط تعیین اندازه نازل

یکی از مراحل مهم در طراحی هیدرولیکی سیستم های آبیاری بارانی و از جمله سیستم سنتریپوت، تعیین اندازه مناسب نازل با در نظر گرفتن دبی مورد نیاز و فشار کارکرد است. رابطه ۸ با استفاده از داده های دبی - فشار ارائه شده توسط شرکت نلسون برای محاسبه اندازه نازل بیان شده است [۱۳]:

$$d_n = 30.22 q_n^{0.495} / P^{0.248} \quad (8)$$

محققان دیگری نیز رابطه ۱۳ را با تفاوت جزئی برای داده های شرکت نلسون استخراج کرده اند. این محققان همچنین با استفاده از داده های مشاهده ای و بدون استفاده از تنظیم کننده فشار رابطه ۹ را برای تعیین اندازه نازل بیان کرده اند [۹]:

$$d_n = 31.96 q_n^{0.4928} / P^{0.2625} \quad (9)$$

### نتایج و بحث

#### روابط دبی - فشار

دبی آبپاش برای ۸۰ حالت مختلف اندازه گیری و با مقادیر اعلام شده سازنده مقایسه شد (شکل ۲).

$$R^2 = 1 - \frac{SSE}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (3)$$

که در آن  $\bar{y}$ : میانگین مقادیر مشاهداتی است.

### روابط تجربی برای تخمین قطر پخش در وضعیت بدون باد

قطر پخش حاصل از آبپاش، از پارامترهای مهم در تعیین فواصل آبپاش ها بر روی لاترال و نیز یکنواختی پخش حاصل از آن است. رابطه ۴ برای تخمین قطر پخش در وضعیت بدون باد یا سرعت های متوسط باد پیشنهاد شده است [۱۳]:

$$W = a(H^c M)^b \quad (4)$$

که در آن  $W$ : قطر پخش (m);  $H$ : ارتفاع نصب آبپاش (m); و  $a$ ,  $b$  و  $c$ : ضرایب رگرسیونی هستند که برای پیکربندی های مختلف آبپاش ها محاسبه شده است.  $M$  نیز به عنوان پارامتر مومنتوم آبپاش از رابطه ۵ محاسبه می شود:

$$M = q_n P^{0.5} \quad (5)$$

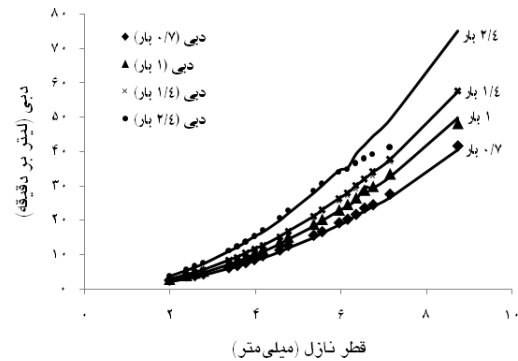
که در آن  $q_n$ : دبی آبپاش (L/s); و  $P$ : فشار کارکرد (kPa) است.

با توجه به اینکه دبی آبپاش تابعی از اندازه نازل و فشار کارکرد است، می توان قطر پخش آبپاش در وضعیت بدون باد را تابعی از اندازه نازل، فشار کارکرد و ارتفاع نصب در نظر گرفت. از این رو در تحقیق حاضر رابطه ۶ برای تخمین قطر پخش در وضعیت بدون باد در نظر گرفته شد:

$$W = a D^b P^c H^d \quad (6)$$

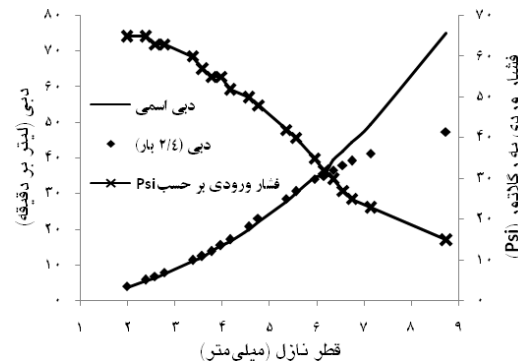
که در آن  $D$ : قطر نازل (mm) است و  $a$ ,  $b$ ,  $c$  و  $d$ : ضرایب رگرسیونی هستند که برای تعیین آنها با استفاده از نرم افزار NCSS تحلیل آماری بر روی داده های قطر پخش آبپاش در وضعیت های مختلف انجام یافت.

مشخص است که فشار ورودی به تنظیم‌کننده برای نازل‌های بزرگ‌تر از ۵/۹۵ میلی‌متر کمتر از فشار اسمی تنظیم‌کننده است که این عامل موجب کاهش عملکرد و دبی خروجی از آن شده است. این مورد ممکن است ناشی از مشخصات پمپ استفاده‌شده و ممکن نبودن تأمین فشار لازم باشد.



شکل ۲. مقادیر اندازه‌گیری شده (نقاط) و اعلام‌شده از سوی کارخانه (خطوط) برای دبی نازل‌های مختلف

**تأثیر پیکربندی آبیاش بر شعاع پخش**  
با توجه به عملکرد تنظیم‌کننده فشار ۲/۴ بار و عدم تطابق مقدار دبی حاصل از آن در نازل‌های بزرگ‌تر از ۶ میلی‌متر با مقادیر اعلام‌شده سازنده، برای اجرای آزمایش‌های مربوط به شعاع پخش و پروفیل بارش، برای سه فشار کارکرد ۰/۷، ۱ و ۱/۴ بار از پنج اندازه نازل (۳/۹۷، ۴/۷۶، ۷/۱۴ و ۸/۷۳ میلی‌متری) استفاده شد و برای رگلاتور فشار ۲/۴ بار، اندازه‌های ۷/۱۴ و ۸/۷۳ آزمایش نشد. شعاع پخش آبیاش‌های D3000 و R3000 هر کدام برای ۷۲ ترکیب مختلف و شعاع پخش آبیاش S3000 برای ۳۶ ترکیب مختلف اندازه‌گیری شد. با توجه به نتایج مشخص شد که فشار کارکرد، اندازه نازل و نوع پد انحراف می‌توانند شعاع پخش حاصل از آبیاش را تحت تأثیر قرار دهند.



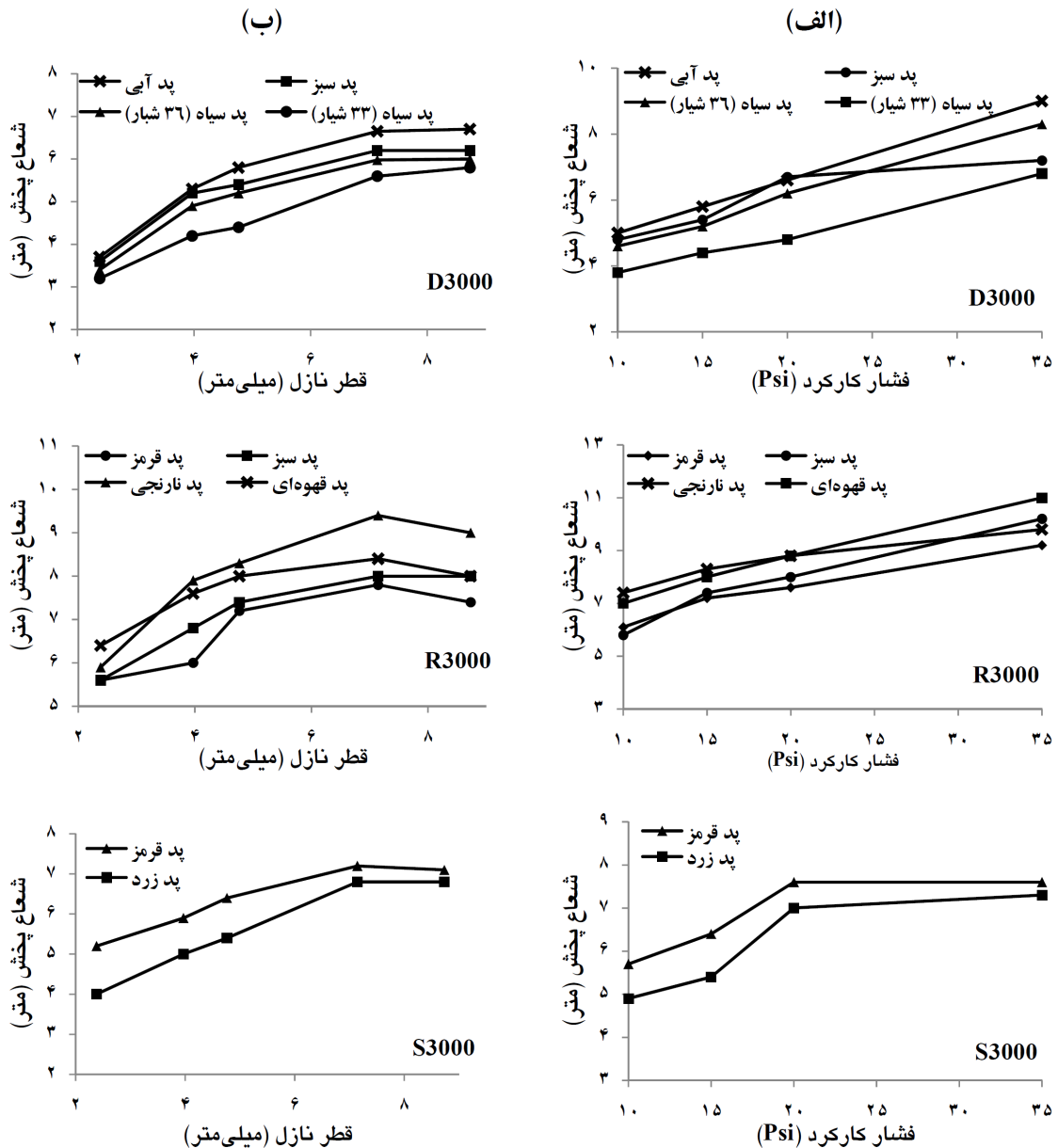
شکل ۳. عملکرد رگلاتور فشار ۳۵ Psi (۲/۴ بار) در فشارهای ورودی و نازل‌های مختلف

شکل ۴ (الف) شعاع پخش آبیاش‌ها را برای اندازه ثابت نازل (۴/۷۶ میلی‌متری) و در فشارهای مختلف نمایش می‌دهد. افزایش فشار برای هر سه نوع آبیاش و پدهای مختلف موجب افزایش شعاع پخش شده، ولی مقدار افزایش برای آبیاش‌ها و پدهای مختلف، متفاوت بوده است؛ به طوری که برای مثال شعاع پخش آبیاش D3000 با پد سبز و آبیاش R3000 با پد نارنجی با افزایش فشار از ۲۰ به ۳۵ Psi افزایش چندانی نداشته است. تأثیر افزایش قطر نازل بر شعاع پخش در فشار کارکرد ثابت نیز در شکل ۴ (ب) نمایش داده شده است. با توجه به نتایج،

همان‌گونه که در شکل ۲ مشخص است، تطابق بسیار خوبی بین مقادیر اندازه‌گیری شده و مقادیر اعلام‌شده کارخانه در فشارهای ۰/۷، ۱ و ۱/۴ بار وجود دارد، ولی برای فشار ۲/۴ بار و نازل‌های بزرگ‌تر از ۵/۹۵ میلی‌متر، مقادیر دبی اندازه‌گیری شده کمتر از مقادیر اعلام‌شده کارخانه است. شکل ۳ فشار ورودی به تنظیم‌کننده فشار ۲/۴ بار (۳۵ Psi) را برای اندازه‌های مختلف نازل نمایش می‌دهد. برای اینکه تنظیم‌کننده فشار عملکرد مناسبی داشته باشد، به اعمال فشاری در حدود ۰/۳ بار (۵ Psi) بیش از فشار اسمی تنظیم‌کننده نیاز است [۳]. با توجه به شکل ۳

انحراف باشد، به نحوی که شیرها از آب پر و لبریز می‌شوند و عملکرد واقعی خود را نشان نمی‌دهند. نازل‌های قطور به دلیل تولید قطرات بسیار درشت به ندرت در سیستم‌های ستترپیوت استفاده می‌شوند.

افزایش قطر نازل تا ۸ میلی‌متر می‌تواند موجب افزایش شعاع پخش شود، ولی شعاع پخش در نازل‌های بزرگ‌تر از ۸ میلی‌متر افزایش نیافته و در بسیاری از موارد حتی کاهش یافته است. این نتایج که در تطابق با نتایج حاصل از منبع [۱۳] است، ممکن است به دلیل بار بیش از حد بر روی پد



شکل ۴. شعاع پخش آبی‌پاش‌های مختلف؛ (الف) نازل ۴/۷۶ میلی‌متر در فشارهای متفاوت، (ب) فشار ۱ بار (۱۵ Psi) و نازل‌های متفاوت

### مدیریت آب و آبیاری

دوره ۴ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۳



مسئله ممکن است ناشی از این باشد که شکل شیارها تأثیر بیشتری نسبت به تعداد آنها بر شعاع پخش دارد، به طوری که در هر دو مورد یادشده، شعاع پخش پدهایی بیشتر بوده است که شیارهای آن از عمق بیشتری برخوردار بوده‌اند.

### تأثیر نوع پد انحراف بر پروفیل بارش آبیاش

پروفیل بارش حاصل از آبیاش‌های بررسی شده، مجهز به پدهای انحراف مختلف در فشار کارکرد  $1/4$  بار ( $20 \text{ Psi}$ ) و اندازه نازل  $4/76$  میلی‌متری در شکل ۵ نمایش داده شده است. همچنین جدول ۲ حاوی اطلاعاتی درخصوص این پروفیل‌های بارش، شامل حداکثر و متوسط شدت بارش و نیز انحراف از معیار مقادیر بارش است.

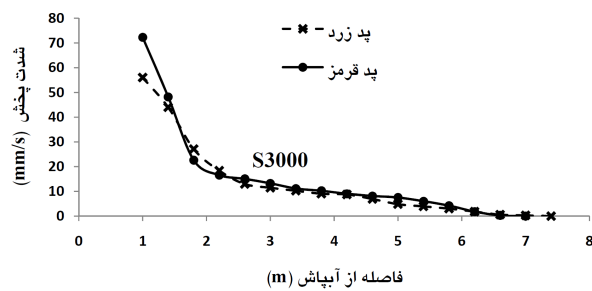
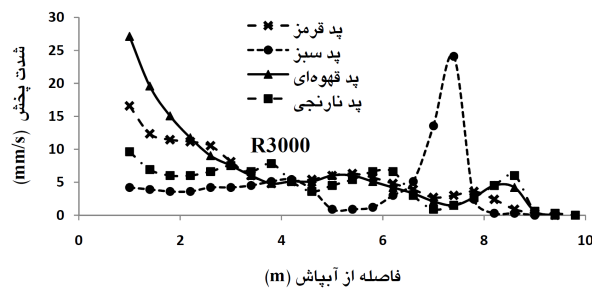
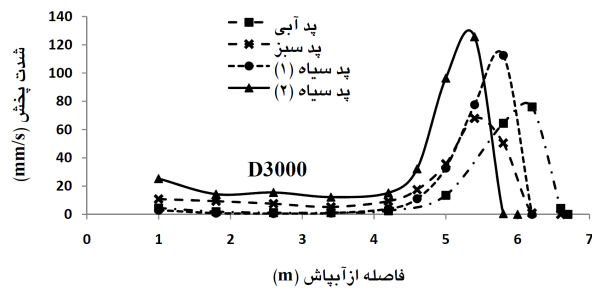
با توجه به شکل ۵ و جدول ۲ مشخص می‌شود که آبیاش D3000 در بین آبیاش‌های بررسی شده بیشترین شدت پخش را دارد و پروفیل بارش این نوع آبیاش به گونه‌ای است که بیشترین شدت پخش در ۱ تا ۲ متری انتهای پروفیل پدید می‌آید. همچنین پدهای مختلف آبیاش D3000 موجب تغییر در حداکثر و متوسط شدت پخش شده است، ولی شکل کلی پروفیل بارش در هر چهار پد مشابه است. در خصوص آبیاش S3000 نیز مشخص است که پروفیل بارش حاصل از دو نوع پد (قرمز و زرد) تفاوت چندانی ندارند. در این نوع آبیاش بیشترین شدت پخش در اطراف آبیاش به وقوع می‌پیوندد و با فاصله گرفتن از آبیاش از مقدار آن کاسته می‌شود.

بیشترین تأثیر ناشی از تغییر پد انحراف بر شکل پروفیل بارش در آبیاش R3000 مشاهده می‌شود. پد سبزرنگ (چهارشیاره) در آبیاش R3000 پروفیل بارشی مشابه آبیاش D3000 ایجاد کرده است که در آن حداکثر شدت پخش در انتهای پروفیل بارش ایجاد شده است. در دیگر پدهای آبیاش R3000 حداکثر شدت پخش در نزدیکی آبیاش مشاهده می‌شود. کمترین شدت پخش و نیز یکنواخت‌ترین پروفیل بارش بین سه نوع آبیاش بررسی شده مربوط به پد نارنجی آبیاش R3000 است.

نوع و شکل پد انحراف نیز تأثیر زیادی بر شعاع پخش داشته است. شعاع پخش آبیاش D3000 با پد ثابت در دامنه  $2/8$  تا ۹ متر و آبیاش S3000 در محدوده  $4/6$  تا  $7/6$  قرار گرفته است، درحالی که آبیاش‌های با پدهای گردان مقادیر بیشتری نشان داده‌اند، به طوری که این دامنه برای آبیاش R3000 بین  $4/1$  تا ۱۱ متر است. برای یک آبیاش معین نیز تغییر پد انحراف موجب تغییر شعاع پخش شده است. برای آبیاش D3000 بزرگ‌ترین شعاع پخش مربوط به پدهای انحراف آبی و سبز است که هر دو پد از نوع مقعرند و زاویه پرتاب آنها بزرگ‌تر از پدهای صاف است.

سرعت چرخش پد انحراف نیز بر خصوصیات بارش حاصل از آبیاش مؤثر بوده است. پد قرمز که به طور مشترک برای آبیاش R3000 و S3000 کاربرد دارد در هر مورد خصوصیات بارش متفاوتی نشان داده است. در آبیاش R3000 با پد قرمز شش جت آب (مشابه آبیاش‌های ضربه‌ای) تشکیل می‌شود، درحالی که سرعت چرخش پد در آبیاش S3000 موجب می‌شود آب در خروج از پد قطرات مجزا تبدیل شود. افزایش فشار در آبیاش‌های S3000 که با افزایش سرعت چرخش پد انحراف همراه است، در فشار بیش از  $1/4$  بار ( $20 \text{ Psi}$ ) موجب ریز شدن بیش از حد قطرات و در نهایت عملکرد نامناسب آبیاش شده است. از این رو کارخانه سازنده استفاده از این نوع آبیاش را برای فشارهای بیش از  $1/4$  بار توصیه نمی‌کند.

با توجه به نتایج تحقیقات [۵، ۱۴، ۱۵] مبنی بر ریزتر شدن قطرات با افزایش تعداد شیارها و در نظر گرفتن این نکته که قطرات ریزتر در فواصل نزدیک‌تری از آبیاش فرود می‌آیند، باید در آبیاش D3000 شعاع پخش پد سبز (مقعر ۳۰ شیار) بیشتر از پد آبی (مقعر ۳۶ شیار)، و شعاع پخش پد سیاه ۲ (صاف ۳۳ شیار) بیشتر از پد سیاه ۱ (صاف ۳۶ شیار) حاصل می‌شد. ولی با توجه به شکل‌های ۴ (الف) و (ب) مشخص است که در هر دو مورد افزایش تعداد شیارها با افزایش شعاع پخش همراه بوده است. این



شکل ۵. پروفیل بارش آبیاش‌های مختلف در فشار کارکرد ۱/۴ بار و اندازه نازل ۴/۷۶ میلی‌متر

جدول ۲. مشخصات پروفیل‌های بارش حاصل از آبیاش‌های مختلف در فشار ۱/۴ بار و اندازه نازل ۴/۷۶ میلی‌متر

نام آبیاش	نوع پد	حداکثر شدت پخش (mm/h)	متوسط شدت پخش (mm/h)	انحراف از معیار (mm/h)
D3000	پد آبی	۷۶/۱	۱۷/۰	۲۸/۵
	پد سبز	۶۸/۰	۱۹/۵	۲۲/۲
	پد سیاه ۱	۱۱۲/۶	۲۴/۳	۳۹/۴
	پد سیاه ۲	۱۲۵/۷	۳۳/۷	۴۲/۴
R3000	پد قرمز	۱۶/۶	۶/۰	۴/۲
	پد سبز	۲۴/۱	۴/۵	۵/۳
	پد نارنجی	۹/۶	۴/۷	۲/۷
	پد قهوه‌ای	۲۷/۱	۶/۹	۶/۴
S3000	پد قرمز	۷۲/۳	۱۵/۴	۱۹/۰
	پد زرد	۵۶/۱	۱۲/۹	۱۵/۸

ارزیابی خصوصیات عملکردی آبیاش‌های اسپری مجهز به پدهای انحراف مختلف

۰/۹۶ قرار گرفته است نمایش می‌دهد. با توجه به اینکه پد سیاه ۳۳ شماره آبیاش D3000 جزو پدهای استاندارد عرضه شده شرکت نلسون نیست و داده‌های قطر پخش برای آن ارائه نشده است، محاسبه ضرایب تجربی این پد میسر نبود. برای صحت‌سنجی رابطه ۶، داده‌های مشاهداتی حاصل از تحقیق حاضر که در توسعه رابطه استفاده نشده بود، به کار گرفته شد که نتایج در جدول ۴ آورده شده است. با توجه به جدول ۴ مقادیر خطا و نکویی برازش برای حالت‌های مختلف نشان‌دهنده دقت پذیرفتنی روابط ارائه شده است.

نتایج بررسی شعاع پخش و پروفیل بارش آبیاش‌های مطالعه شده نشان می‌دهد که شاخص‌های مختلفی از خصوصیات پد انحراف شامل اندازه پد، تعداد شیارها، شکل و عمق شیارها، زاویه نسبت به افق، سرعت چرخش و ... در ترکیب با شرایط کارکرد آبیاش (فشار، اندازه نازل و ارتفاع نصب) ممکن است خصوصیات پاشش حاصل از آبیاش را تحت تأثیر قرار دهد.

**تخمین قطر پخش در وضعیت بدون باد**

جدول ۳ ضرایب تجربی رابطه ۶ را برای آبیاش‌ها و پدهای انحراف مختلف و نیز نتایج آماری را که براساس آن مقادیر ضریب نکویی برازش ( $R^2$ ) در دامنه ۰/۷۷ تا

جدول ۳. ضرایب رابطه ۶ برای تعیین قطر پخش آبیاش و نتایج تحلیل آماری

نام آبیاش	نوع پد	ضرایب				SSE (m <sup>2</sup> )	RMSE (m)	R <sup>2</sup>	RMSE صحت‌سنجی (m)	R <sup>2</sup> صحت‌سنجی
		a	b	c	d					
D3000	پد آبی	۰/۶۶۷۸	۰/۴۷۸۳	۰/۴۱۲۳	۰/۲۹۹۶	۷۸/۲۴	۱/۰۷۲	۰/۹۲۶۸	۱/۰۶۸	۰/۸۸۳۳
	پد سبز	۱/۷۰۱۸	۰/۳۳۹۷	۰/۲۲۶۱	۰/۳۸۲۵	۲۱/۹۲	۰/۵۶۸	۰/۹۶۳۶	۰/۸۲۸	۰/۸۷۱۹
	پد سیاه ۱	۰/۵۰۲۸	۰/۵۲۳۴	۰/۴۳۵۷	۰/۳۲۲۳	۷۰/۹۴	۱/۰۲۱	۰/۹۳۰۹	۱/۱۳۸	۰/۸۴۳۲
R3000	پد قرمز	۴/۱۴۷۸	۰/۲۳۹۸	۰/۱۶۰۵	۰/۱۹۱۳	۲۳۲/۴۹	۱/۲۶۲	۰/۸۴۲۲	۱/۳۷۹	۰/۶۸۶۵
	پد سبز	۵/۳۷۰۸	۰/۱۶۵۱	۰/۱۶۴۷	۰/۱۷۴۸	۱۱۶/۱۳	۰/۹۶۸	۰/۸۹۵۹	۱/۶۴۳	۰/۷۵۲۲
	پد نارنجی	۴/۶۵۴۰	۰/۲۱۴۳	۰/۱۹۲۷	۰/۱۱۱۴	۷۷/۷۶	۰/۶۷۲	۰/۹۳۰۱	۱/۲۹۵	۰/۷۶۰۸
	پد قهوه‌ای	۳/۶۸۷۳	۰/۱۳۵۶	۰/۲۵۷۴	۰/۱۳۲۷	۶۳/۶۰	۰/۷۰۵	۰/۹۱۱۱	۱/۴۳۵	۰/۷۷۹۵
S3000	پد قرمز	۲/۸۶۳۵	۰/۲۱۰۴	۰/۲۲۸۱	۰/۱۹۶۹	۳۵/۸۸	۰/۸۶۴	۰/۷۷۰۴	۰/۸۹۸	۰/۷۸۵۵
	پد زرد	۲/۴۲۱۱	۰/۲۲۰۵	۰/۲۶۳۱	۰/۲۵۰۳	۲۹/۵۵	۰/۷۸۵	۰/۸۴۸۲	۰/۹۲۸	۰/۸۵۵۷

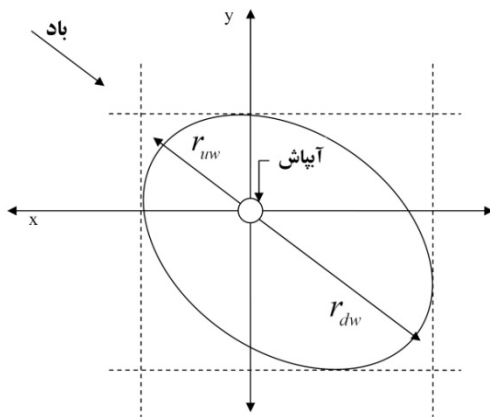
مدیریت آب و آبیاری

دوره ۴ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۳

$$r_{iw} = \frac{W}{2} [1 + a_2 \cdot \exp(b_2 V)] \quad (11)$$

که در آنها  $r_{iw}$  و  $r_{dw}$ : به ترتیب شعاع آبپاش موافق جهت باد و در خلاف جهت باد (m):  $W$ : قطر پخش آبپاش در وضعیت بدون باد (m):  $V$ : سرعت باد (بین ۰/۵ تا ۷ متر بر ثانیه) و  $a_1, a_2, b_1, b_2$ : ضرایب تجربی هستند.

ضرایب رابطه‌های ۱۰ و ۱۱ با استفاده از جعبه ابزار Curve fitting نرم‌افزار MATLAB محاسبه شد. این ضرایب تجربی و نیز نتایج تحلیل آماری در جدول ۴ نشان داده شده است.



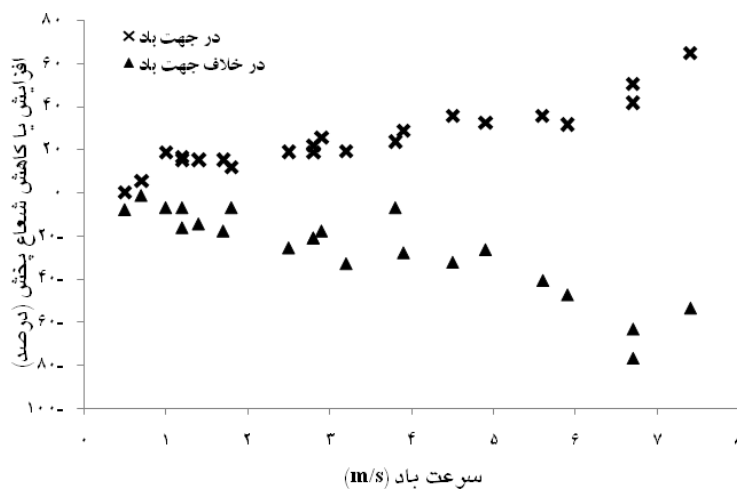
شکل ۶. نمای شماتیک شعاع پخش آبپاش تحت تأثیر باد

### تأثیر باد بر قطر پخش حاصل از آبپاش

در وضعیت مزرعه، باد موجب تغییر شکل الگوی توزیع آبپاش می‌شود و این تغییر شکل با افزایش سرعت باد افزایش می‌یابد. ۲۳ الگوی توزیع آبپاش تحت تأثیر سرعت‌های مختلف باد برای تعیین مقادیر شعاع پخش موافق جهت باد ( $r_{dw}$ ) و خلاف جهت باد ( $r_{iw}$ ) مطابق شکل ۶ بررسی شد. درصد کاهش یا افزایش شعاع پخش برای این ۲۳ حالت در شکل ۷ نشان داده شده است. همان‌گونه که در این شکل مشخص است، شعاع پخش آبپاش در موافق جهت باد افزایش و در خلاف جهت باد کاهش می‌یابد که این نتایج با فرضیه‌های به‌کاررفته برای توسعه مدل‌های نیمه‌تجربی شبیه‌سازی الگوی توزیع آبپاش مطابقت دارند [۸، ۱۶، ۱۹].

با تجزیه و تحلیل‌های آماری روابطی به شکل‌های مختلف برای برازش بر روی داده‌های نمایش داده‌شده در شکل ۷ بررسی شد که در نهایت مشخص شد رابطه‌ای نمایی به شکل روابط ۱۰ و ۱۱ می‌تواند بهترین نتایج را حاصل کند:

$$r_{dw} = \frac{W}{2} [1 + a_1 \cdot \exp(b_1 V)] \quad (10)$$



شکل ۷. تغییرات شعاع پخش آبپاش در جهت باد و در خلاف جهت آن

### مدیریت آب و آبیاری

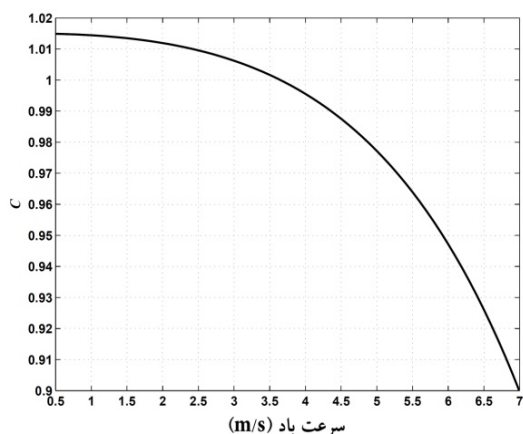
دوره ۴ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۳

جدول ۴. ضرایب تجربی روابط ۱۰ و ۱۱ و نتایج تحلیل آماری

$R^2$	RMSE	SSE	ضرایب		
			b	a	
۰/۹۰۲	۴/۵۸۶	۴۲۰/۵	۰/۲۳۵۳	۰/۱۰۰۶	شعاع در جهت باد ( $r_{dw}$ )
۰/۸۵۱	۷/۸۵۵	۱۲۳۴	۰/۳۳۲۳	-۰/۰۷۰۶	شعاع خلاف جهت باد ( $r_{iw}$ )

مقایسه‌ای انجام یافت. نتایج این مقایسه در شکل‌های ۹ و ۱۰ نمایش داده شده است.

همان‌گونه که از مقادیر  $R^2$  و  $RMSE$  مشخص است دقت روابط ارائه‌شده در تحقیق حاضر برای محاسبه قطر پخش آبیاش تحت تأثیر باد، اندکی بیشتر از رابطه ۴ است. رابطه ۴ با حذف مقادیر مربوط به نازل‌های کوچک‌تر از ۳ میلی‌متر و بزرگ‌تر از ۸ میلی‌متر و نیز چشم‌پوشی از تأثیر باد بر کوچک‌تر شدن قطر پخش استخراج شده است [۱۳]، درحالی‌که روابط ارائه‌شده در تحقیق حاضر برای تمام اندازه‌های نازل و در سرعت‌های مختلف باد از دقت پذیرفتنی برخوردار است.



شکل ۸. مقادیر ضریب  $C$  برای رابطه ۱۳ در سرعت‌های مختلف باد

مجموع شعاع پخش آبیاش موافق جهت باد و خلاف جهت باد به‌عنوان قطر پخش آبیاش تحت تأثیر باد ( $W_w$ ) در نظر گرفته شد:

$$W_w = r_{dw} + r_{iw} \quad (12)$$

با جایگذاری روابط ۱۰ و ۱۱ در رابطه ۱۲ در نهایت می‌توان رابطه ساده‌شده ۱۳ را برای تعیین قطر پخش آبیاش تحت تأثیر باد ارائه کرد:

$$W_w = CW \quad (13)$$

که در آن  $C$ : ضریب تجربی و تابعی از سرعت باد است که از رابطه ۱۴ یا با استفاده از شکل ۸ استخراج می‌شود:

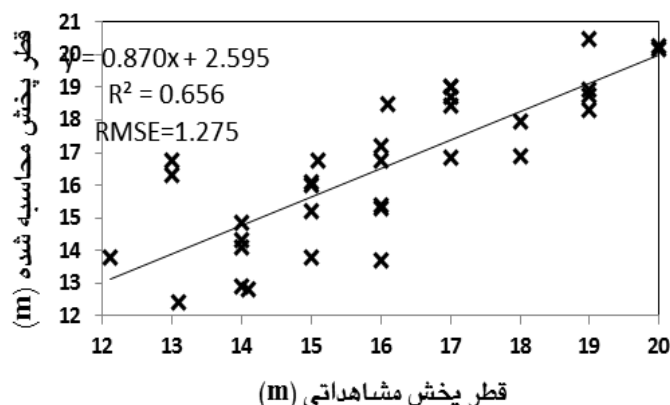
$$(14)$$

$C = 0.0503 \exp(0.2353V) - 0.0353 \exp(0.3323V) + 1$   
با توجه به شکل ۸ مشخص می‌شود که قطر پخش آبیاش در سرعت‌های کمتر از ۳/۵ متر بر ثانیه اندکی (تا ۱/۵ درصد) افزایش می‌یابد و در سرعت‌های بیش از ۳/۵ متر بر ثانیه شروع به کاهش می‌کند. داده‌های قطر پخش مشاهداتی آبیاش‌های R3000 (پد قرمز، سبز، نارنجی و قهوه‌ای) و S3000 (پد قرمز و زرد) در شرایط کارکرد مختلف (اندازه نازل، فشار، ارتفاع نصب و سرعت باد) اندازه‌گیری شده توسط [۱۳] در جدول ۵ آورده شده است. با استفاده از این داده‌ها، بین مقادیر قطر پخش محاسبه‌شده از رابطه ۴ [۱۳] و مقادیر محاسبه‌شده از روابط ۶ و ۱۳

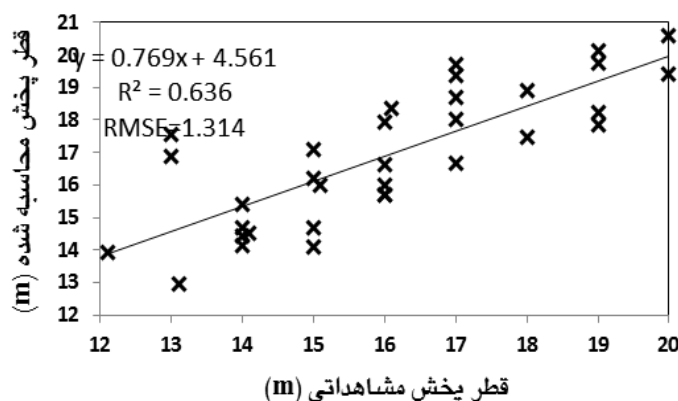
جدول ۵. داده‌های مشاهداتی ارائه شده توسط منبع [۱۳]

سرعت باد (m/s)	قطر پخش اندازه گیری شده (m)	دبی (L/s)	ارتفاع (m)	فشار (kPa)	نازل (mm)	پد	آبپاش
۱/۸	۱۴	۰/۴۳	۲/۵۹	۱۰۳	۶/۳۵		
۳/۱	۱۲/۱	۰/۲۴	۲/۵۹	۱۰۳	۴/۷۶		
۳/۴	۱۴	۰/۲۴	۲/۹۶	۱۰۳	۴/۷۶		
۱/۸	۱۵/۱	۰/۳۵	۲/۹	۲۰۷	۴/۷۶	قرمز	S3000
۱/۸	۱۵	۰/۳۵	۱/۸۳	۲۰۷	۴/۷۶		
۵/۸	۱۳/۱	۰/۲۴	۱/۸۳	۱۰۳	۴/۷۶		
۵/۴	۱۵	۰/۲۴	۲/۹	۱۰۳	۴/۷۶		
۳/۶	۱۴	۰/۴۳	۱/۸۳	۱۰۳	۶/۳۵		
۲/۷	۱۶	۰/۴۳	۲/۹	۱۰۳	۶/۳۵		
۲/۷	۱۵	۰/۴۳	۲/۹	۱۰۳	۶/۳۵		
۳/۱	۱۴	۰/۴۳	۱/۸۳	۱۰۳	۶/۳۵	زرد	
۳/۱	۱۶/۱	۰/۳۵	۱/۲۲	۲۰۷	۴/۷۶		
۲/۷	۱۹	۰/۳۵	۲/۷۴	۲۰۷	۴/۷۶		
۲/۷	۱۷	۰/۵	۱/۲۲	۱۳۸	۶/۳۵	نارنجی	
۲/۷	۲۰	۰/۵	۲/۷۴	۱۳۸	۶/۳۵		
۳/۶	۱۶	۰/۴۳	۱/۲۲	۱۰۳	۶/۳۵		
۳/۶	۱۹	۰/۴۳	۲/۷۴	۱۰۳	۶/۳۵		
۳/۱	۱۵	۰/۴۳	۱/۲۲	۱۰۳	۶/۳۵		
۳/۱	۱۸	۰/۴۳	۲/۷۴	۱۰۳	۶/۳۵		
۱/۳	۱۷	۰,۲۸	۱/۲۲	۱۳۸	۴/۷۶		
۱/۸	۱۹	۰,۲۸	۲/۷۴	۱۳۸	۴/۷۶	قهوه‌ای	
۵/۸	۱۳	۰/۵	۱/۲۲	۱۳۸	۶/۳۵		
۴/۵	۱۷	۰/۵	۲/۷۴	۱۳۸	۶/۳۵		R3000
۱/۳	۱۸	۰/۳۵	۲/۹	۲۰۷	۴/۷۶		
۱/۳	۱۶	۰/۳۵	۱/۸۳	۲۰۷	۴/۷۶		
۴/۵	۱۴/۱	۰/۲۴	۱/۸۳	۱۰۳	۴/۷۶	قرمز	
۵/۸	۱۶	۰/۲۴	۲/۹	۱۰۳	۴/۷۶		
۴/۵	۱۳	۰/۵	۱/۲۲	۱۳۸	۶/۳۵		
۴/۹	۱۷	۰/۵	۲/۷۴	۱۳۸	۶/۳۵		
۲/۲	۱۶	۰/۲۴	۱/۸۳	۱۰۳	۴/۷۶		
۱/۳	۱۹	۰/۲۴	۲/۹	۱۰۳	۴/۷۶	سبز	
۳/۱	۲۰	۰/۳۵	۲/۹	۲۰۷	۴/۷۶		
۳/۱	۱۷	۰/۳۵	۱/۸۳	۲۰۷	۴/۷۶		

ارزیابی خصوصیات عملکردی آبیاش‌های اسپری مجهز به پدهای انحراف مختلف



شکل ۹. مقایسه مقادیر مشاهداتی و محاسبه‌شده از روابط ۶ و ۱۳



شکل ۱۰. مقایسه مقادیر مشاهداتی و محاسبه‌شده از رابطه ۴

### رابطه تعیین اندازه نازل

در تحقیق حاضر با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری‌شده، رابطه ۱۶ برای تعیین اندازه نازل استخراج شده است:

$$d_n = 28.64q_n^{0.5201} / P^{0.2312} \quad (16)$$

مقادیر  $RMSE$  و  $R^2$  در استخراج رابطه ۱۶ به ترتیب ۰/۰۹۷۳ و ۰/۹۹۷ است. هر سه رابطه ۸، ۹ و ۱۶ تفاوت‌های جزئی در ضرایب تجربی استخراج شده دارند.

### نتیجه‌گیری

قطر پخش آبیاش و روابط دبی - فشار از اهمیت ویژه‌ای در طراحی سیستم آبیاری سنتریوت و ارزیابی توزیع آب

### شدت پخش متوسط با در نظر گرفتن اثر باد

با در نظر گرفتن اثر باد و ضریب  $C$  حاصل از رابطه ۱۴، می‌توان رابطه ۷ را به شکل زیر نمایش داد:

$$R_a = 0.26QX_p / CW \quad (15)$$

با توجه به رابطه ۱۵ و با در نظر گرفتن مقادیر ضریب  $C$  از شکل ۸ می‌توان نتیجه گرفت که افزایش سرعت باد موجب افزایش شدت پخش متوسط تا ۱۰ درصد مقدار اولیه می‌شود. این افزایش شدت پخش متوسط می‌تواند موجب افزایش احتمال ایجاد رواناب سطحی شود که در نتیجه باید در طراحی سیستم آبیاری سنتریوت مدنظر قرار گیرد.

### مدیریت آب و آبیاری

دوره ۴ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۳

م ع (۱۳۸۸) شبیه سازی هوشمند تغییرات الگوی توزیع آب از آبیاش منفرد در اثر باد. مجله آبیاری و زهکشی ایران. ۳(۱): ۲۵-۳۵.

3. Anonymous (2011). Water application solutions for centre pivot irrigation [Online]. Available at [http://www.nelsonirrigation.com/media/resources/PI\\_VOT\\_brochure.pdf](http://www.nelsonirrigation.com/media/resources/PI_VOT_brochure.pdf) (Accessed 13 October 2012). Nelson Irrigation Co., Walla Walla, WA 99362-2271, USA
4. ASAE (1985) Procedure for sprinkler testing and performance reporting. St Joseph, Michigan, ASABE. Standard S398.1.
5. DeBoer DW (2002) Drop and energy characteristics of a rotating spray-plate sprinkler. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 128(3): 137-146.
6. Delirhasannia R, Sadraddini AA, Nazemi AH, Farsadizadeh D and Playán E (2010) Dynamic model for water application using centre pivot irrigation. *Biosystems Engineering*. 105(4): 476-485.
7. Faci JM, Salvador R, Playán E and Sourell H (2001) Comparison of fixed and rotating spray plate sprinklers. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 127(4): 224-233.
8. Granier J, Molle B and Deumier JM (2003) Irriparc-part 1: Modeling spatial water distribution under a sprinkler in windy conditions – utilization of the irriparc methodology in 3 regions. ICID International workshop on improved irrigation technologies and methods: Research, development and testing, Montpellier, France. 14-19.
9. HaiJun Y, HongZhi J and YiChao Q (2010) Characterizing center pivot irrigation with fixed spray plate sprinklers. *Science China, Technological Sciences*. 53(5): 1398-1405.
10. ISO (1995) Agricultural irrigation equipment - sprayers - general requirements and test methods. Lethbridge, Alberta, Canada, ISO. ISO Standard 8026.

برخورد دارند. در تحقیق حاضر رابطه‌ای برای تخمین قطر پخش به صورت تابعی از اندازه نازل، فشار کارکرد و ارتفاع نصب برای سه نوع آبیاش و پدهای انحراف مختلف بیان شد. همچنین تأثیر باد بر تغییر قطر پخش آبیاش و نیز شدت پخش متوسط در وضعیت مزرعه بررسی و ضریب تجربی  $C$  به شکل تابعی از سرعت باد برای تخمین قطر پخش تحت تأثیر باد معرفی شد. با توجه به نتایج، از ضریب  $C$  ارائه شده در تحقیق حاضر می‌توان به عنوان تخمین مناسبی برای تعیین قطر پخش تحت تأثیر باد استفاده کرد، با وجود این به نظر می‌رسد برای افزایش دقت محاسبات، این ضریب باید برای آبیاش‌های مختلف واسنجی شود. این روابط را می‌توان در ترکیب با رابطه تعیین اندازه نازل، برای تخمین شدت پخش متوسط در هر مکانی از لاترال با در نظر گرفتن نوع آبیاش و پد آن، ارتفاع نصب، فواصل آبیاش، فشار کارکرد و سرعت باد به کار گرفت. همچنین مقایسه عملکرد آبیاش‌های مختلف با استفاده از روابط ارائه شده انجام پذیر خواهد بود.

## تشکر و قدردانی

این مقاله مستخرج از گزارش نهایی طرح پژوهشی شماره ۳۹/۹۲۹۷ د مورخ ۹۱/۰۶/۰۸ است که از محل اعتبارات پژوهشی دانشگاه تبریز اجرا شده است. بدین وسیله از حمایت مالی دانشگاه تبریز تشکر و قدردانی می‌شود.

## منابع

۱. صیادی ح. و فعالیان ا (۱۳۸۷) طراحی و اجرای سیستم‌های آبیاری سنتریوت. چاپ اول، انتشارات جهاد دانشگاهی، تهران. ۲۲۰ صفحه.
۲. صیادی ح.، صدرالدینی ع. ا.، فرسادی زاده د. و قربانی



11. Keller J and Bliesner RD (1990) Sprinkle and trickle irrigation. Avi book, Van Nostrand Reinhold, New York. 584 p
12. Kincaid DC (1996) Spraydrop kinetic energy from irrigation sprinklers. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers. 39(3): 847-853.
13. Kincaid DC (2005) Application rates from center pivot irrigation with current sprinkler types. Applied Engineering in Agriculture. 21(4): 605-610.
14. Kincaid DC, Solomon KH and Oliphant JC (1996) Drop size distribution for irrigation sprinklers. Transactions of the ASAE. 39(3): 839-845.
15. Kohl RA and DeBoer DW (1984) Drop size distributions for a low pressure spray type agricultural sprinkler. Transactions of the ASAE. 27(6): 1836-1840.
16. Le Gat Y and Molle B (2000) Model of water application under pivot sprinkler. I: Theoretical grounds. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 126(6): 343-347.
17. Ortiz JN, de Juan JA and Tarjuelo JM (2010) Analysis of water application uniformity from a centre pivot irrigator and its effect on sugar beet (*beta vulgaris* L.) yield. Biosystems Engineering. 105: 367-379.
18. Pláyan E, Garrido S, Faci JM and Galán A (2004) Characterizing pivot sprinklers using an experimental irrigation machine. Agricultural Water Management. 70(3): 177-193.
19. Richards PJ and Weatherhead EK (1993) Prediction of raingun application patterns in windy conditions. Journal of Agricultural Engineering Research. 54(4): 281-291.
20. Sourell H, Faci JM and Playán E (2003) Performance of rotating spray plate sprinklers in indoor experiments. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 129(5): 376-380.
21. Tarjuelo JM, Montero J, Honrubia FT, Ortiz JJ and Ortega JF (1999) Analysis of uniformity of sprinkle irrigation in a semi-arid area. Agricultural Water Management. 40: 315-331.