

تعیین یکنواختی پخش آبپاش‌ها در آبیاری بارانی دورانی با استفاده از شبیه‌بالتیک

علی اصغر میرزایی^۱، سیدعلی اشرف صدرالدینی^۲

دریافت ۱۳۹۰/۹/۱۸ پذیرش ۱۳۹۲/۷/۲۳

چکیده

امروزه شبیه‌های شبیه‌سازی مناسبی برای آبیاری بارانی به وجود آمده و ابزار مفیدی را برای پیش‌بینی فراسنج‌های عملیاتی، نظیر ضریب یکنواختی برای هر ترکیب فشار کارکرد و شرایط مختلف اقلیمی در اختیار می‌گذارند. بالتیک رایجترین انگاره‌ای است که در شبیه‌هایی استفاده می‌شود. در این مقاله اصول بالتیک و مراحل آزمایشی و محاسباتی را که برای واسنجی و تأیید شبیه‌بالتیک برای تعیین یکنواختی پخش آبپاش‌ها در سامانه‌ی آبیاری بارانی دورانی (CU) مورد نیازند ارائه می‌گردند. سپس با آزمایش‌های کاربرد آب و تعیین ضرایب یکنواختی برای سرعت‌های مختلف باد در منطقه، و دو فشارکارکرد برای دو نوع آبپاش، بالاترین ضرایب یکنواختی تحت شرایط متفاوت کاربردی شبیه‌سازی می‌شوند. آزمایش‌ها در مزرعه‌ای در نزدیکی روستای یانیق استان آذربایجان شرقی انجام شدند. نتیجه کاربردی این تحقیق نشان داد که در مرحله طراحی سامانه‌ی آبیاری، با داشتن سرعت باد، نتایج شبیه‌سازی برای تعیین شبیه‌آبپاش مناسب، با قطر پاشنده، فشار کارکرد و فواصل آبپاش در یک موقعیت خاص که دارای بیشترین ضریب یکنواختی است می‌توان به کار گرفت.

واژه‌های کلیدی: آبیاری بارانی، شبیه‌های شبیه‌ساز- شبیه‌بالتیک- ضریب یکنواختی

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری وزهکشی دانشگاه تبریز

۲- دانشیار گروه مهندسی آب دانشگاه تبریز

*- نویسنده مسئول مقاله: alisadradini@yahoo.com

مقدمه

آبیاری بارانی به عنوان روشی شناخته می‌شود که دارای بازدهی بالایی است، اما در اقلیم‌های خشک یا در صورت وجود باد، تلفات تبخیر و بادبردگی افزایش یافته و بازدهی آبیاری را کاهش می‌دهد. تلفات آب آبیاری عموماً وابسته به سرعت باد، نیازهای تبخیری و نوع آبیاری است. همچنین، وجود باد بر یکنواختی توزیع آب سامانه‌ی آبیاری تاثیر می‌گذارد (Perry et al., 2002). برای این که در آبیاری بارانی به یک بازدهی زیاد و بازدهی محصول مناسب برسیم، باید یکنواختی توزیع آب در مزرعه بالا باشد. یکنواختی را می‌توان از ارزیابی‌های مزرعه به دست آورد، ولی در شرایطی مانند باد شدید ممکن است این کار غیر عملی باشد (Omary & Sumner, 2001). یکنواختی به تعدادی عامل چون نوع آبیاری، ارتفاع نصب آبیاری و توزیع اندازه قطرات آب، آرایش سامانه و فشار کارکرد و شرایط محیطی آن بستگی دارد (Keller and Bliesner, 1990). فاصله نامناسب آبیاریها، افت بار و توزیع غیر یکنواخت فشار در طول لوله‌های فرعی، اختلاف ارتفاع ناشی از پستی و بلندی زمین، و عوامل محیطی، مانند وجود باد از مهمترین علتهای غیریکنواختی به شمار می‌روند (Montero et al, 2001). یکنواختی در جهت حرکت لوله‌های فرعی بسیار بالا فرض می‌شود، زیرا حرکت پیوسته دستگاه باعث تجمع اجزای الگوی پخش آبیاری در مسیر حرکت دستگاه می‌گردد (Heerman and Hein, 1968). یکنواختی آب پخش شده به وسیله‌ی سامانه آبیاری بارانی دورانی در کل زمین به وسیله‌ی اوانس و همکاران (۱۹۹۵) با استفاده از شبیه‌سازی رایانه‌ای و دستگاه مختصات قطبی بررسی شد. اگر چه ضریب یکنواختی می‌تواند برای تعیین درجه‌ی یکنواختی پخش آب و مقایسه‌ی سامانه‌های مختلف به کار رود، اما نمی‌توان از آن به منظور پیش‌بینی توزیع آب پخش شده بهره برد؛ اغلب برای این منظور از توابع توزیع‌های آماری استفاده می‌شود. سالوادور (۲۰۰۳)، تولسا (۲۰۰۳) و بورت و همکاران (۱۹۹۷) از جمله محققینی بودند که در مورد شبیه‌سازی بالستیک تحقیق کردند. فوکو (۱۹۸۰) معادلات اساسی و روش شبیه‌سازی با استفاده از شبیه‌سازی بالستیک برای

آبیاریها ارائه کرد. پلایان و همکاران (۲۰۰۶) یکنواختی آبیاری بارانی را با شبیه‌سازی بالستیک به دست آوردند. حسن نیا (۲۰۱۰) شبیه‌سازی کاربردی آب را در سامانه‌ی آبیاری بارانی دورانی را با استفاده از شبیه‌سازی بالستیک حل کرد. روابط مختلفی برای محاسبه‌ی ضریب یکنواختی^۱ ارائه شده‌اند، که تمام آنها را می‌توان به دو دسته‌ی غیر وزنی و وزن دار مکانی (وزنی) تقسیم نمود. ضریب‌های غیر وزنی بطور مستقیم از مشاهده‌ها و داده‌های مزرعه‌ای مانند ظرف‌های جمع‌آوری آب واقعی یا شبیه‌سازی محاسبه می‌شوند، اما ضریب‌های یکنواختی وزنی هم از داده‌های مشاهده‌ای یا شبیه‌سازی و هم از مساحت‌های اختصاص یافته برای هر داده تعیین می‌شوند. در سامانه‌های آبیاری بارانی، که آبیاریها مساحت‌های مساوی را پوشش می‌دهند معمولاً ضریب یکنواختی غیر وزنی به کار می‌رود اما در سامانه‌هایی مانند آبیاری بارانی دورانی، که آبیاریها مساحت‌های متفاوتی را تحت پوشش دارند اغلب ضریب‌های یکنواختی وزنی ترجیح داده می‌شوند (Heermann and Hein, 1968). ضریب یکنواختی از ۰ تا ۱ متغیر است. هم بازدهی پخش آب و هم ضریب یکنواختی از عمق آب آبیاری متأثرند. نزدیک بودن فاصله آبیاریها یا افشانها روی لوله‌های فرعی، و در نتیجه بالا بودن درجه‌ی هم‌پوشانی، همیشه منجر به افزایش ضریب یکنواختی نخواهد شد، بلکه ممکن نتیجه برعکس باشد (Montero et al, 2003).

بالستیک

منظور از بالستیک همان حرکت پرتابی است که عبارت است از حرکتی دو بعدی در هوا، که مسیر متحرک در آن منطبق بر صفحه‌ای قائم (عمود بر سطح افق) باشد. حرکت هر قطره‌ی خروجی از یک آبیاری از لحظه‌ی خروج تا رسیدن به سطح زمین یک حرکت پرتابی است. در شرایط بدون باد، و برای یک آبیاری معین، فاصله‌ی افقی مابین نقطه برخورد قطره با زمین و پاشنده‌ی آبیاری تابعی از قطر قطره است. انگاره‌ی بالستیک برای تعیین مسیر هر قطره تحت بردار سرعت اولیه و بردار باد استفاده می‌شود (Vories et al., 1987)

¹ - coefficient of uniformity

استفاده از شبیه‌سازی بالستیک برای دو نوع آبپاش مورد استفاده تحت فراسنجهای متفاوت طراحی است.

مواد و روشها

زمایشها در زمینی در ۲۵ کیلومتری جاده‌ی هشترود-مراغه، و در نزدیکی روستای یانیق، استان آذربایجان شرقی، انجام شدند. منطقه در ۲۴° ۳۷ عرض جغرافیایی و ۱۶° ۴۶ طول جغرافیایی واقع شده و دارای آب و هوای معتدل و سرد می‌باشد. در این منطقه سامانه‌ی آبیاری بارانی سنتی کار گذاشته شده است. آزمایشها با استفاده از ۲ نوع آبپاش ARAS1 و AQUA انجام شدند. هر دو آبپاش با پاشنده‌های ۲/۴ و ۴/۵ و با ارتفاع پاشنده ۱.۵ m قرار داده شدند. ترکیب آبپاش و قطر پاشنده اصلی در ۲ فشار کارکرد ۲۰۰ kpa و ۳۰۰ kpa امتحان شدند. ابتدا بایستی یک گروه آزمایشی برای تعیین ضریب یکنواختی و تعیین الگوی پخش شعاعی آب باید در مزرعه انجام شود.

محاسبه‌ی ضریب یکنواختی:

برای این منظور تعداد ۱۶ آبپاش در آرایش مستطیلی و ۱۸ آبپاش در آرایش مثلثی استفاده شد. فواصل آبپاشها به تعدادی سلولهای با نظم ۵×۵ متر تقسیم شدند که در هر سلول یک قوطی جمع‌آوری آب طوری قرار می‌گرفت که قطرات خروجی از آبپاش در آن ریزش کنند. در این آزمایشها از قوطیهای پلاستیکی به قطر داخلی ۱۵۵mm استفاده شده است. بعد از یک ساعت از کار آبپاشها، عمق آب در قوطیها با استفاده از استوانه‌ی مدرج اندازه‌گیری شد. آزمایش را در سرعتهای مختلف باد در منطقه، که با کاربرد بادسنج دیجیتالی تعیین گردید. و فشارهای متفاوتی به شبکه‌ی آبیاری اعمال گردیدند. شکل‌های ۱ و ۲ نحوه‌ی قرارگیری آبپاشها و شبکه بندی فاصله آنها را در محاسبه‌ی ضریب یکنواختی برای آرایش نشان می‌دهند.

بعد از تعیین عمق آب در هر سلول، ضریب یکنواختی می‌تواند برطبق رابطه (۳) محاسبه شود.

$$CU = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n (z - m)}{nm}\right) 100 \quad (3)$$

که در آن Z متوسط عمق آب جمع شده در قوطیها، m عمق آب در هر قوطی، و n تعداد کل قوطیها است.

(Seginer et al., 1991). روش بالستیک به تعیین اولیه‌ی توزیع اندازه‌ی قطرات برای یک آبپاش معین، و شرایط کارکرد نیاز دارد؛ از این رو، توابع تجربی و ریاضی متعددی برای بیان توزیع اندازه‌ی قطرات خروجی از آبپاشها پیشنهاد شده‌اند که در این شبیه‌سازی از رابطه‌ی ۱ استفاده می‌شود (Li et al., 1994).

$$P_v = (1 - e^{-0.693(D/D50)^n}) 100 \quad (1)$$

که در آن P_v درصد کل بدهی آبپاش در قطراتی با قطر کمتر از D (قطر پاشنده آبپاش) و n توانی بی بعد است. به منظور اصلاح کجی منطقه‌ی آب، مدور ایجاد شده به وسیله‌ی باد، ضریب کجی (C) نیز باید تصحیح شود (Tarjuelo et al., 1994).

$$C' = C(1 + k_1 \sin \alpha + k_2 \cos \beta) \quad (2)$$

α: زاویه مابین v و u: زاویه ما بین v و w می‌باشد.

(W) سرعت قطره نسبت به زمین

(u) بردار باد

(v) سرعت قطره در هوا

K₁ شکل توزیع آب را از حالت متقارن بودن در آورده، و K₂ منطقه‌ی مرطوب شده را جا به جا می‌کند. برای بالا بردن توانایی پیش‌بینی شبیه‌سازی مقادیر K₁ و K₂ وابسته به باد در نظر گرفته می‌شوند. از مدل بالستیک برای شبیه‌سازی فاصله‌ی برخورد قطره‌های مختلف قطره از یک شبیه‌سازی معین، ارتفاع پاشنده، و فشار کارکرد در غیاب باد استفاده می‌شود. درصد آب آبیاری جمع شده در هر فاصله برخورد می‌تواند برای تخمین درصد آب آبیاری خارج گردیده در قطراتی با قطر معین استفاده شود. وقتی که مختصات برخورد هر قطر قطره با کسری از بدهی آبپاش، که در آن قطر قطره خارج می‌شود، ترکیب گردد، الگوی کاربرد آب می‌تواند شبیه‌سازی شود. مشکل اصلی در عمومیت دادن به شبیه‌سازی بالستیک این است که واسنجی شبیه‌سازی به فراسنجهای زیادی مانند نوع آبپاش، نوع پاشنده و قطر آن، فشار کارکرد، ارتفاع پاشنده و سرعت باد نیاز دارد. در نتیجه کار آزمایشی زیادی برای اجرای شبیه‌سازی بالستیک در یک موقعیت خاص لازم است. در این مقاله، هدف تعیین بالاترین یکنواختی پخش آبپاشها برای آبیاری بارانی دورانی با

یکنواختی حاصله از آزمایشها را نشان می‌دهد که در آن RMSE مجذور میانگین مربعات خطا، و r ضریب همبستگی می‌باشد.

نتایج حاصل از محاسبه‌ی ضریب یکنواختی برای دو قطر پاشنده تحت دو فشار و سرعت‌های مختلف باد در جدول ۱ آورده شده‌اند. این جدول میانگین سرعت باد و ضریب

جدول ۱- فراسنج‌های آزمایش‌های کاربرد آب برای دونوع آبیاش

ARAS1					AQUA				
D(mm)	P(kpa)	U(m/s)	CU (%)	RMSE	r	U(m/s)	CU (%)	RMSE	r
	۲۰۰	۸۵	۷۸.۱	۵۴	۰.۶۲	۲	۸۱.۷	۸۳	۰.۳
		۳.۲	۷۸.۳	۵۲	۰.۸۲	۲.۲	۸۰.۹	۸۸	۰.۶۶
		۵.۱	۷۰.۲	۸۸	۰.۷۹	۳	۷۷.۵	۹۷	۰.۶۸
۴	۳۰۰	۱	۸۹.۷	۶۷	۰.۷۷	۱.۴	۸۴.۷	۶۱	۰.۶۶
		۱.۴	۸۳.۷	۷۷	۰.۶	۲.۶	۷۰.۴	۱	۰.۶۹
		۲.۶	۸۴.۳	۷	۰.۵۴	۸	۶۳.۵	۱.۶۳	۰.۶
	۲۰۰	۱	۸۳.۵	۶۳	۰.۴۵	۱	۸۳.۴	۷	۰.۳۸
۴.۵		۱.۸	۸۸.۴	۳۸	۰.۷	۲.۲	۹۰	۸۸	۰.۴
		۷.۲	۶۷.۳	۱.۵	۰.۸۱	۳.۴	۶۸	۱.۱	۰.۶۶
	۳۰۰	۱.۴	۸۹	۵۱	۰.۷	۱.۲	۹۲.۵	۵۷	۰.۳۳
		۱.۷	۹۱.۷	۶۶	۰.۸	۲	۸۷.۲	۶۴	۰.۷
		۲.۸	۸۰.۶	۶۸	۰.۸۶	۶.۳	۶۹	۱.۰۱	۰.۶۹

شبیه‌سازی شده به وسیله‌ی شبیه در شرایط بدون باد بدهد، بدست آورد. تنظیم فراسنج‌های توزیع اندازه‌ی قطرات برای هر ترکیب اندازه‌ی پاشنده و فشار کارکرد انجام گردید. نتایج شبیه‌سازی در دسته‌های کاهشی r /RMSE طبقه‌بندی شدند.

r : ضریب همبستگی مابین بارش شعاعی شبیه‌سازی شده و مشاهده شده

RMSE: مجذور میانگین مربعات خطا

هر جا که r /RMSE بیشترین اندازه را داشته باشد، مقادیر D_{50} و n بهینه می‌باشند. بررسیها نشان دادند که ضریب یکنواختی شبیه‌سازی شده وابستگی بسیار زیادی به مقدار n دارد، در نتیجه، آبیاری با مقدار D_{50} بهینه و شمار قوطی‌هایی که تعدادشان کمتر از مقدار بهینه است، شبیه‌سازی شدند. این روش تا زمانی که هر فراسنج پیدا شده تخمین دقیقی را از ضریب یکنواختی با مقادیر مناسب r و RMSE نشان می‌داد تکرار می‌شد. در هر آزمایشی که برای واسنجی شبیه‌سازی انجام گرفت، شبیه‌سازیها با استفاده از مقادیر ثابت $k1$ از (0) تا $6/4$ با

تعیین الگوی پخش آب

آزمایش‌ها در مورد یک آبیاش منفرد در یک سامانه‌ی ثابت انجام شد و اندازه‌ی بارش در طول ۲ دوره در فواصل $0/5m$ آبیاش با نمو $0/5m$ ثبت گردید. نتایج در این ۴ دوره برای تهیه‌ی الگوی پخش شعاعی آب میانگین‌گیری، و آزمایشها برای آبیاش منفرد در ۱ ساعت و تحت شرایط باد کم انجام گرفت. در کل ۸ آزمایش اجرا گردید. (۲ آبیاش $2 \times$ قطر پاشنده $2 \times$ فشار کارکرد). برای آن‌که شکل توزیع آب، حاصل از ترکیب‌های متفاوت آبیاش، قطر پاشنده اصلی، فشار کارکرد، و سرعت باد مشخص شود آزمایشها در مکانهای مختلف تکرار شدند. در جدول ۱، فراسنج‌های آزمایش‌های کاربرد آب برای دو نوع آبیاش و تحت فشار و سرعت‌های مختلف باد آورده شده‌اند.

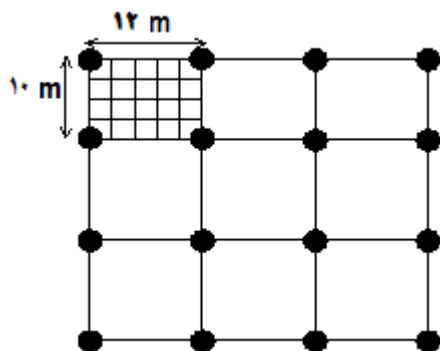
واسنجی شبیه

برای واسنجی شبیه ابتدا می‌بایست فراسنج‌های D_{50} و n را، به گونه‌ای که بهترین انطباق را مابین الگوی کاربرد شعاعی آب به دست آمده از آبیاش منفرد و نتایج

آبپاشی را انتخاب کنیم که بیشترین یکنواختی را بدهد. وقتی که مقدار مطلق اختلاف CU کوچکتر یا مساوی خطای معیار تخمین CU در ارزیابی (۲/۰۸ درصد) باشد، نمی‌توانیم نتیجه بگیریم که اجرای کدام بهتر است؛ این حالت مشخص شده به صورت بی‌تفاوتی^۱ شبیه‌سازی آمده، که بیانگر این است که اختلاف معنی‌دار نمی‌باشد. از نتایج مشخص می‌شود که در منطقه‌ی مذکور در سرعت‌های باد زیاد آبپاش AQUR عملکرد بهتری داشته است. در فواصل کم و فشارهای زیاد، در حالی که سرعت باد کم باشد عملکرد آبپاش‌های ARAS1 بهتر است. برای سرعت‌های زیاد باد، بهتر است از آرایش مستطیلی و آبپاش AQUR استفاده شود.



شکل ۱- نمایی از قرار گرفتن قوطی‌های آزمایش جهت تعیین یکنواختی.



شکل ۲- نمای کلی از شبکه بندی آبپاشها برای محاسبه‌ی ضریب یکنواختی در آرایش مستطیلی

نمو ۰/۲) و مقادیر k2 از (۰ تا ۰/۸۵ با نمو ۰/۳) انجام شدند. نتایج شبیه‌سازیها با نتایج عمق آب جمع شده در قوطی‌ها و ضریب یکنواختی مطابقت داده شده، با مقادیر کاهش $r/ RMSE$ طبقه‌بندی گردیده و K1 و K2 از ۱۰٪ بالای صورت که در آن تفاوت ضریب یکنواختی آنها کمتر از ۱٪ است انتخاب گردیدند. CU_e : اختلاف مطلق ما بین CU شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای می‌باشد. در نتیجه مقادیر D_{50} و n و k_1 و k_2 در شبیه‌سازی شدند. هدف از واسنجی نگهداشتن مقادیر پایین RMSE و مقادیر بالای r برای پیش‌بینی دقیق ضریب یکنواختی است. شکل ۳ مقادیر ضریب یکنواختی آزمایشی (CU_e) را در برابر CU واسنجی شده (CU_c) نشان می‌دهد. یک وایازی خطی با $R^2 = ۰.۹۶۷$ ایجاد شد، و همان‌طور که در شکل مشخص است یکنواختی با خطای معیار وایازی ۱.۴۸٪ پیش‌بینی می‌شود.

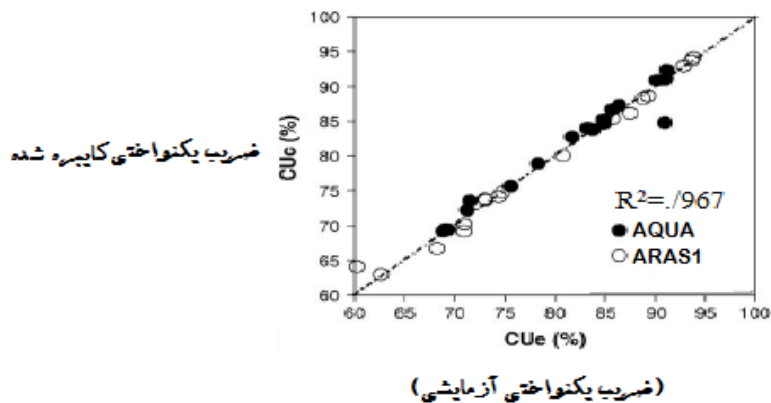
صحت سنجی شبیه:

بعد از انجام واسنجی شبیه، و جهت کسب اطمینان از نتایج آن، عملیات صحت سنجی انجام گرفت. اولین مرحله در تأیید شبیه مقایسه‌ی مقادیر شبیه‌سازی شده و آزمایشی است. شکل ۴ مقادیر ضریب یکنواختی آزمایشی (CU_e) را در برابر ضریب یکنواختی شبیه‌سازی شده (CU_v) نشان می‌دهد یک وایازی خطی با $R^2 = ۰.۸۴۵$ ایجاد شد. همان‌طور که مشخص است یکنواختی با خطای معیار وایازی ۲/۰۸٪ به خوبی پیش‌بینی می‌شود.

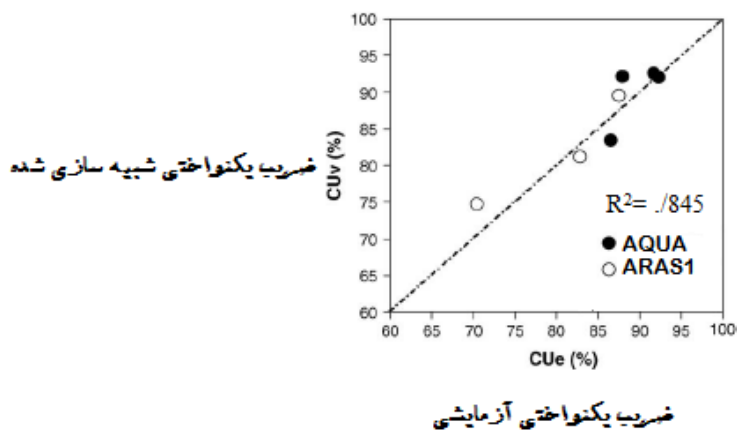
نتایج و بحث

شبیه تأیید شده برای تخمین ضریب یکنواختی در شرایط مختلف استفاده گردید. شبیه‌سازیها شامل ۲ آبپاش، ۲ قطر پاشنده، ۲ فشار کارکرد، در سرعت‌های مختلف باد، نوع آرایش، و ۴ فاصله آبپاش بودند. نتایج شبیه‌سازی، برای آن که اجرای هر آبپاش را تحت شرایط مختلف باد، فشار کارکرد و نوع آرایش مقایسه کنیم، به صورت ترسیمی در شکل‌های ۵ تا ۸ آمده‌اند. در این شکل‌ها u متوسط سرعت باد، p فشار کارکرد و D قطر پاشنده است. جداول، یکنواختی بالای تولیدی آبپاش را تحت هر ترکیب فراسنجی نشان می‌دهند. در مرحله‌ی طراحی، با داشتن سرعت باد و فشار کارکرد می‌توانیم

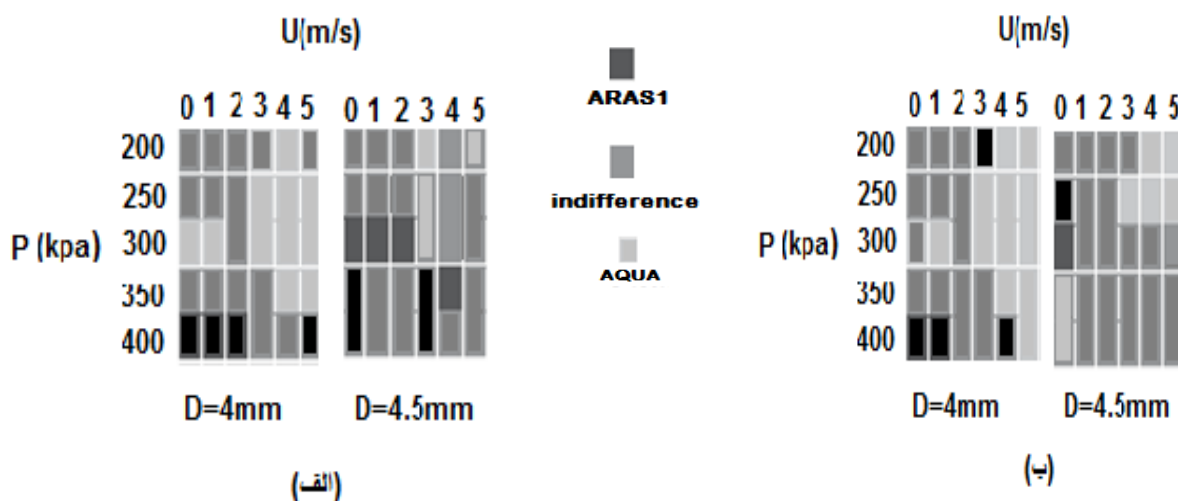
^۱ - indifference



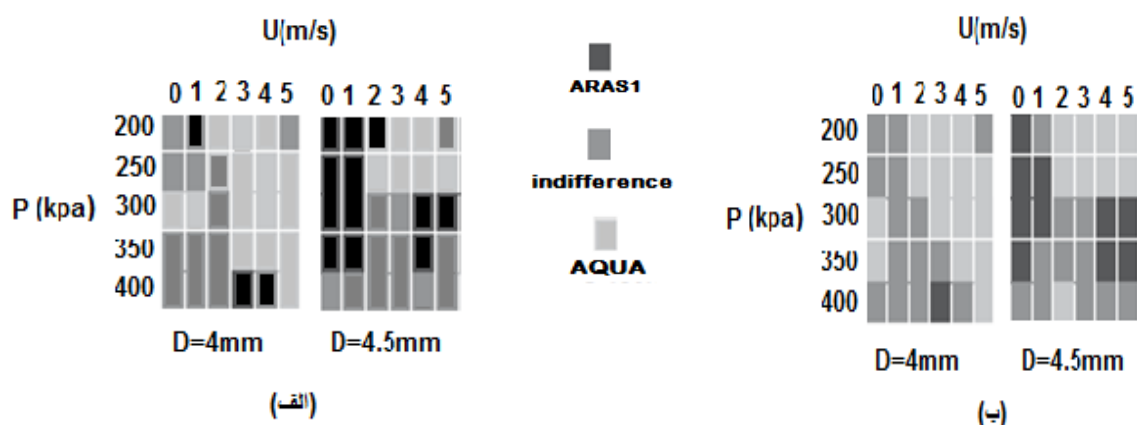
شکل ۳- مقایسه‌ی ضرب یکنواختی آزمایشی (CU_e) با مقادیر واسنجی شده (CU_c).



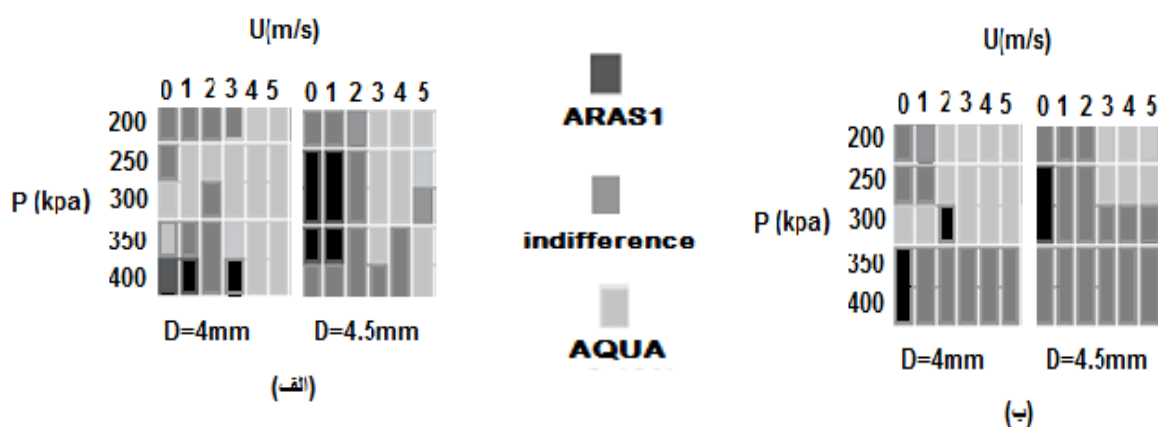
شکل ۴- مقایسه‌ی ضرب یکنواختی آزمایشی (CU_e) با مقادیر شبیه‌سازی شده (CU_v).



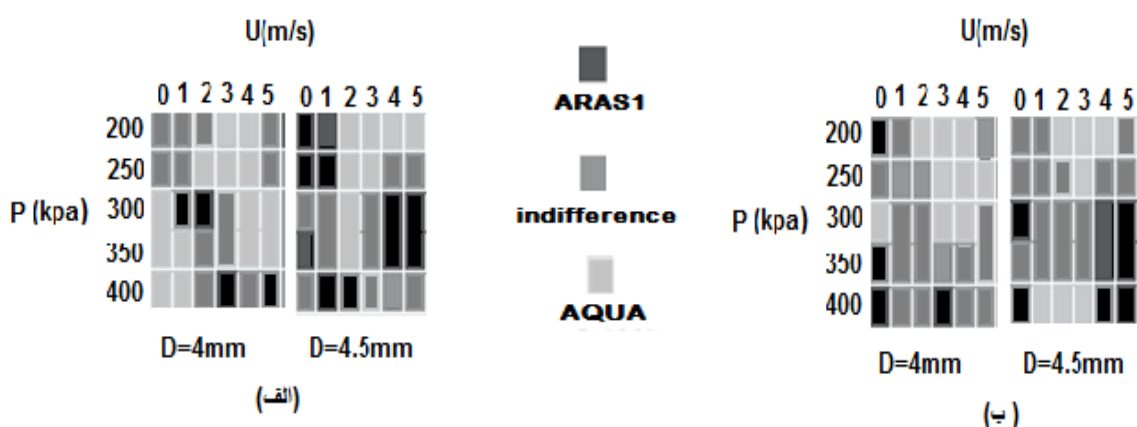
شکل ۵- شبیه‌سازی ضرب یکنواختی (CU) بالای تولیدی برای دو نوع آبپاش با فاصله‌ی ۱۲×۱۲ متر. (الف) آرایش مثلثی (ب) آرایش مستطیلی.



شکل ۶- شبیه سازی ضریب یکنواختی (CU) بالای تولیدی برای دو نوع آبیاش بافاصله‌ی ۱۵×۱۸متر. (الف) آرایش مثلثی (ب) آرایش مستطیلی.



شکل ۷- شبیه سازی ضریب یکنواختی (CU) بالای تولیدی برای دو نوع آبیاش بافاصله‌ی ۱۲×۱۸متر. (الف) آرایش مثلثی (ب) آرایش مستطیلی.



شکل ۸- شبیه سازی ضریب یکنواختی (CU) بالای تولیدی برای دو نوع آبیاش بافاصله‌ی ۲۵×۲۵متر. (الف) آرایش مثلثی (ب) آرایش مستطیلی.

- France: Workshop on Improved Irrigation Technologies and Methods: Research, Development and Testing. CIID CEI.
8. Omary, M., and H. Sumner. 2001. Modeling water distribution for irrigation machine with small spray nozzles. *J. Irrig. Drain. Eng. Div. ASCE* 127:156–160.
 9. Playán, E., N. Zapata, J.M. Faci, D. Tolosa, J.L. Lacueva, J. Pelegrín, et al. 2006. Assessing sprinkler irrigation uniformity using a ballistic simulation model. *Agric. Water Manage.* 84:89–100.
 10. Perry, C., S. Pocknee, O. Hansen, C. Kvien, G. Vellidis, and E. Hart. 2002. Development and testing of a variable-rate pivot irrigation control system. *ASAE Ann. Int. Meeting, July 28–31. Chicago, IL, USA, Paper No. 022290.*
 11. Delirhasannia, R., A.A. Sadraddini, A.H. Nazemi, D. Farsadzadeh, and E. Playán. 2010. Dynamic model for water application using centre pivot irrigation. *Journal of biosystems engineering*, 10 5p
 12. Salvador, R. 2003. Estudio de las pérdidas por evaporación y arrastre en los sistemas de riego por aspersión. Diferencias entre riegos diurnos y nocturnos. Unpublished graduation report. Universitat de Lleida, Lleida Spain, 179
 13. Seginer, I., D. Nir, and D. von Bernuth. 1991. Simulation of winddistorted sprinkler patterns. *J. Irrig. Drain. Eng. Div. ASCE* 117 :285–306.
 14. Tolosa, D. 2003. Calibración de un modelo balístico de riego por aspersión para diferentes diámetros de boquilla, presiones e intensidades de viento. Unpublished graduation report
 15. Tarjuelo, J.M., P. Carrión, and M. Valiente. 1994. Simulación de la distribución del riego por aspersión en condiciones de viento. *Inv. Agr.: Prod. Prot. Veg.* 9:255–271.
 16. Vories, E.D., R.D. Von Bernuth, R.H. Mickelson. 1987. Simulating sprinkler performance in wind. *J. Irrig. Drain Eng. Div. ASCE* 113:119–130.

نتیجه‌گیری

برای تحقیق در مورد تعیین یکنواختی آبیاری بارانی، آزمایش‌های مختلفی برای دو نوع آبپاش در مزرعه انجام شد. در ابتدای آزمایش‌های کاربرد آب، ضریب یکنواختی و الگوی پخش آب تعیین و برای شبیه‌سازی ضریب یکنواختی از شبیه‌سازی بالستیک استفاده شد. نتایج واسنجی و اعتبارسنجی نشان دادند که شبیه‌سازی توانایی پیش‌بینی ضریب یکنواختی را با خطای معیار ۲/۰۸ درصد دارد. خروجی شبیه‌سازی شبیه‌سازی اجازه می‌دهد که بهترین شرایط را از نظر یکنواختی برای هر آبپاش مشخص، و شرایطی را فراهم کنیم تا طراح با انتخاب یک ضریب یکنواختی مناسب فراسنج‌هایی را نظیر نوع آبپاش، پاشنده، فشار کارکرد و فواصل آبپاش برای تحقق بیشترین یکنواختی برگزیند. در این تحقیق آبپاش نوع ARSF انتخاب می‌شود.

منابع

1. Anon. 1995. Agricultural irrigation equipment. Rotating sprinklers. Part 1. Design and operational requirements. ISO Standard 7749/1. ISO, Geneva, Switzerland.
2. Burt, C.M., A.J. Clemmens, T.S. Strelkoff, K.H. Solomon, R.D. Bliesner, L.A. Hardy, T.A. Howell, and D.E. Eisenhauer. 1997. Irrigation performance measures: Efficiency and uniformity. *J. Irrig. Drain. Div., ASCE* 123: 423–442.
3. Heermann, D.F., and P.R. Hein. 1968. Performance characteristics of self-propelled center pivot sprinkler irrigation system. *Trans. ASAE* 11:11–15.
4. Keller, J., and R.D. Bliesner, 1990. Sprinkle and trickle irrigation. Van Nostrand Reinhold, New York, NY, 652 p.
5. Li, J., H. Kawano, and K. Yu. 1994. Droplet size distributions from different shaped sprinkler nozzles. *Trans. ASAE* 37:1871–1878.
6. Montero, J., J.M. Tarjuelo, N.P. Carrión. 2001. SIRIAS: a simulation model for sprinkler irrigation: II. Calibration and validation of the model. *Irrig. Sci.* 20: 85–98.
7. Montero, J., A.J. Valero, and J.M. Tarjuelo. 2003. Behavior of several kinds of emitters on water distribution with center pivot equipments. Montpellier,