بررسی یکنواختی توزیع آب جهت طراحی بهینه سیستم آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک

امید شیخ اسماعیلی[1]*

کارشناس ارشد آبیاری و زهکشی، شرکت مهندسی مشاور آبخوان زاگرس؛ os1355@yahoo.com

چکیده

این تحقیق با هدف تعیین مقادیر بهینه پارامترهای مهم طراحی نظیر فشار آب، آرایش و فواصل آبپاشها تحت شرایط متفاوت جوی به لحاظ سرعت باد در سیستم آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک انجام گردید. آزمایشها بر اساس دستورالعمل استاندارد ایزو (7749/2) و به روش استقرار آبپاش منفرد در منطقه جنوب شرقی استان خوزستان انجام پذیرفت. نتایج تحقیق نشان داد که ضریب یکنواختی با افزایش سرعت باد و فشار آب (از 45 به 50 متر) کاهش می یابد. بررسی ها نشان داد که برای کسب یکنواختی توزیع قابل قبول در شرایط وزش بادهای با سرعت بیش از 2 متر بر ثانیه می بایست حداکثر فواصل آبپاشها به ابعاد 25×25 متر با آرایش مربعی انتخاب گردد، در شرایطی که سرعت باد از 15 کیلومتر بر ساعت تجاوز کند مقدار ضریب یکنواختی از 80 درصد کمتر خواهد شد. لذا آبیاری بارانی هنگام وزش بادهای شدید و با سرعت بیش از 15 کیلومتر بر ساعت توصیه نمی شود.

واژه های کلیدی: آبپاش، آبیاری بارانی، باد، فشار آب، ضریب یکنواختی

مقدمه

براساس شاخص فالکن مارک، کشور ایران در آستانه قرار گرفتن در بحران آبی قرار دارد. همچنین بر اساس شاخص سازمان ملل، ایران هم اکنون در وضعیت بحران شدید آبی قرار دارد و بر اساس شاخص مؤسسه بین المللی مدیریت آب نیز، ایران در وضعیت بحران شدید آبی قرار دارد. بنابه گزارش این مؤسسه بین المللی، ایران برای حفظ وضع موجود خود تا سال 2025 باید بتواند 112 درصد به منابع آب قابل استحصال خود بیفزاید که این مقدار با توجه به امکانات و منابع آب موجود غیرممکن به نظر می رسد. لذا وضعیت موجود آب کشور می بایست جزو دغدغه ها و نگرانی های کارشناسان و مدیران بوده و برای حل این معضل لازم است با اتخاذ تصمیمات اصولی و کارساز مانع از گسترش این بحران شد (احسانی، 1382).

محدودیت منابع آبی با کیفیت مناسب و نیز تشدید این محدودیت به علت خشکسالی علاوه بر بازدهی پایین آبیاری و تداوم افزایش تقاضا، سبب گردیده اند تا محققان به دنبال راهکارهای مناسب برای حداکثر استفاده از منابع آبی موجود و افزایش بهره وری گردند. به طور کلی در کشورهایی که با بحران کم آبی مواجه اند لازم است با تغییر سیاستها و انجام سرمایه گذاری های لازم جهت افزایش راندمان آبیاری به سمت سیستم های آبیاری تحت فشار و تغییر الگوی کشت روی آورند. در این راستا، با بکارگیری روز افزون انواع سیستم های آبیاری بارانی در کشور، تحقیق و بررسی روی آنها بیش از پیش ضروری به نظر می رسد.

عدم طراحی صحیح و اصولی به دلیل نداشتن روابط و پارامترهای مورد نیاز طراحی، با توجه به عدم سابقه و کاربرد سیستم های آبیاری بارانی یا انجام پروژه های

1- نویسنده مسئول، آدرس: اهواز، فاز یک گروه ملی (بین کوی مجاهد و محلاتی)، خیابان ششم، پلاک 140، کد پستی 61388-35515.

* دریافت: 84/12/10 و پذیرش: 85/9/1

تحقیقاتی در ایران باعث شده تا طراحی ها به صورت کلیشه ای از نمودارها و جداولی صورت گیرد که برای سایر سیستم ها و مناطق مشابه بدست آمده اند. این امر باعث شده است تا اولاً نتوان برنامه ریزی دقیق و واقعی در منابع آب کشور انجام داد. ثانیاً، تعیین مقادیر پارامترهای طراحی با حدس و گمان صورت گیرد که منجر به افزایش هزینه های سرمایه گذاری، بروز مشکلات و هزینه های اضافی در بهره برداری و نگهداری و بالاخره کاهش بازدهی اقتصادی طرحها در طول عمر مفید می گردد (شیخ اسماعیلی، 1382).

به منظور استفاده بهینه از آب قابل دسترس، توزیع یکنواخت تر آب ضروری است. توزیع یکنواخت تر آب علاوه بر صرفه جوئی در مصرف آب، نهایتاً سبب افزایش کمی و کیفی محصول خواهد شد. ضمن آنکه توزیع یکنواخت آب به طور صد در صد عملی نیست زیرا عواملی در توزیع آب دخالت دارند که نمی توان تأثیر همه آنها را از بین برد.

محققین بررسی های زیادی را در زمینه یکنواختی توزیع آب در سیستمهای آبیاری بارانی تحت شرایط مختلف آزمایشگاهی و صحرایی انجام داده اند و این مطالعات نتایج نزدیک به هم داشته اند. به طوری که کاربرد حداقل ضریب یکنواختی 80 درصد به عنوان معیار طراحی سیستم های آبیاری بارانی توسط اکثر محققین نظیر Christiansen (1942)، Keller و Bliesner (1990) توصیه شده است.

ضریب یکنواختی Christiansen (1942) از رابطه آماری زیر محاسبه می گردد.

$$CU = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^{n} \left| X_i - \overline{X} \right|}{n.\overline{X}}\right) \times 100 \quad (1)$$

CU = ضریب یکنواختی Christiansen (درصد)، X_i = عمق یا حجم آب اندازه گیری شده در هر ظرف (میلی متر یا میلی لیتر)، $\overline{X}$ = متوسط عمق یا حجم آب اندازه گیری شده در ظرفها (میلی متر یا میلی لیتر)، n = تعداد کل ظرفهای آب اندازه گیری شده در آزمایش.

Pair (1968)، عوامل مؤثر بر یکنواختی توزیع آب را به شرح زیر دسته بندی نمود :

الف- عوامل مربوط به آبپاشها نظیر فشار آب، سرعت چرخش، اندازه و نوع نازل.

ب- عوامل مربوط به سیستم آبیاری نظیر تغییرات فشار آب در لوله ها، آرایش و فواصل آبپاشها.

ج- عوامل مربوط به مدیریت نظیر مدت آبیاری و عمود بودن پایه آبپاشها.

د- عوامل مربوط به اقلیم نظیر باد.

علیرغم این دسته بندی باید گفت که تأثیر عوامل مذکور بر یکنواختی توزیع آب منفک از یکدیگر نبوده و دارای اثرات متقابلی نیز بر یکنواختی توزیع آب هستند.

یکنواختی پخش آب در سیستم آبیاری بارانی عمدتاً بستگی به این دارد که با توجه به فاصله آبپاشها و اثر باد، مناسب ترین مقدار فشار آب و اندازه نازل برای آبپاشها انتخاب گردد. Christiansen (1942) گزارش داد که برای هر اندازه نازل آبپاش یک دامنه مطلوب فشار آب جهت توزیع یکنواخت آب وجود دارد. به طوری که افزایش بیش از حد بار فشاری باعث ریزتر و پودری شدن قطرات آب می شود (4). در مناطق بادخیز، قطرات ریز آب به راحتی تحت تأثیر باد قرار گرفته و باعث کاهش یکنواختی توزیع آب می گردند. از طرف دیگر کم بودن فشار آب نیز منجر به توزیع غیر یکنواخت آب خواهد شد زیرا همپوشانی آبپاشها به خوبی صورت نگرفته و بخش اعظم آب در فاصله کمی دورتر از آبپاشها می ریزد.

معیار اصلی برای انتخاب فواصل آبپاشها در شرایط مختلف باد و فشار آب، یکنواختی توزیع آب است. طبق نظر Seginer (1975) در مناطق بادخیز با کاهش فواصل آبپاشها می توان یکنواختی توزیع آب را افزایش داد. به نظر وی آبیاری بارانی برای مناطقی که سرعت متوسط باد بیش از 15 کیلومتر بر ساعت دارند قابل توصیه نیست.

Keller (1983) برای انتخاب فواصل آبپاشهای با فشار آب متوسط و مناطقی که بادهای آرام تا متوسط دارند، به عنوان یک قاعده کلی توصیه نمود که آبپاشها در آرایش های مربعی، مثلثی و مستطیلی به ترتیب با فواصل 50 ، 62 و 67 ×40 درصد از قطر پاشش قرار گیرند تا بتوان به یکنواختی توزیع مناسبی دست یافت.

Solomon از مؤسسه فن آوری کشاورزی کالیفرنیا (1990) برای تعیین نسبت فواصل آبپاشها به قطر پاشش جدول 1 را توصیه نمود.

Phocaides از FAO (2000) جهت کسب یکنواختی توزیع قابل قبول در شرایط وزش بادهای آرام تا متوسط توصیه نمود که فواصل آبپاشها در جهت لوله اصلی با آرایش های مربعی و مستطیلی از 65 درصد قطر پاشش تجاوز نکند. همچنین در شرایط وزش بادهای شدید می بایست لوله های فرعی را عمود بر جهت باد و با فاصله کمتر از 50 درصد قطر پاشش در نظر گرفت. قابل ذکر است که Phocaides از FAO (2000) کاربرد آبیاری بارانی را هنگام وزش بادهای با سرعت بیش از 3/5 متر بر ثانیه توصیه نمی کند.

Tarjuelo (1992) برای انجام آزمایشها در شرایط وزش باد از یک تونل باد مصنوعی استفاده کرد و آزمایش های بدون باد را در شرایط آرام مزرعه انجام داد که به نتایج زیر منجر گردید.

1- رابطه سرعت باد- ضریب یکنواختی از نوع معادلات درجه دوم بوده و ضریب یکنواختی با افزایش سرعت باد کاهش می یابد. همچنین با افزایش فواصل آبپاشها، شدت تغییرات ضریب یکنواختی نسبت به سرعت باد افزایش پیدا می کند. به عبارت دیگر، شیب منحنی های سرعت باد- ضریب یکنواختی با افزایش فاصله آبپاشها بیشتر می گردد. نحوه آرایش آبپاشها نیز بر شیب این منحنی ها مؤثر است به طوری که روابط سرعت باد- ضریب یکنواختی در بعضی از آرایشها و اندازه نازلها خطی می گردد.

2- ضرایب یکنواختی در حالت آرایش مربعی بیشتر از آرایش مستطیلی است.

3- حتی الامکان سیستم آبیاری بارانی را با شدت پاشش کم (7-5 میلی متر بر ساعت) طراحی کنید. همچنین بهتر است که آبیاری بارانی در شب انجام شود زیرا سرعت باد در شب کمتر است.

تحقیق حاضر جهت دستیابی به اهداف زیر و بررسی عوامل موثر بر یکنواختی توزیع آب نظیر پارامترهای جوی و عوامل مربوط به هیدرولیک جریان در سیستم آبیاری بارانی در منطقه جنوب شرقی استان خوزستان به انجام رسید:

1- بررسی اثرات عامل هیدرولیکی جریان شامل فشار آب بر یکنواختی توزیع آب.

2- بررسی اثرات عوامل سیستم آبیاری بارانی شامل آرایش و فواصل آبپاشها بر یکنواختی توزیع آب.

3- بررسی اثرات عامل اقلیمی شامل باد بر یکنواختی توزیع آب.

4- بررسی اثرات متقابل عوامل سیستم آبیاری بارانی، هیدرولیک جریان و اقلیمی بر یکنواختی توزیع آب.

5- دستیابی به روابطی جهت تعیین ضریب یکنواختی و انتخاب حالت بهینه آرایش و فواصل آبپاشها در شرایط متفاوت جوی به لحاظ سرعت باد.

6- ارائه راهکارهای علمی- کاربردی جهت افزایش یکنواختی توزیع و بازده کاربرد آب در مزرعه.

مواد و روشها

به طور معمول در بهره برداری از سیستم آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک از آبپاشهای سه نازله (11+6/3+3/2 میلی متر) با حداقل فشار آب 45 متر استفاده می شود. همچنین فواصل آبپاشها به ابعاد 30 × 25 متر انتخاب شده و لوله های اصلی و فرعی در زیر زمین قرار می گیرند(شیخ اسماعیلی، 1382).

آزمایش های این تحقیق در قطعه زمینی مسطح و عاری از پوشش گیاهی به ابعاد 70×70 متر مربع از یک مزرعه دارای سیستم آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک سه نازله (11+6/3+3/2 میلی متر) انجام پذیرفت. دبی و قطر پاشش آبپاش در شرایط بدون باد با فشار آب 45 متر به ترتیب برابر با 3/28 لیتر بر ثانیه و 54 متر و با فشار آب 50 متر به ترتیب برابر با 3/47 لیتر بر ثانیه و 60 متر در مزرعه اندازه گیری شد. سرعت چرخش آبپاش نیز 0/7 دور در دقیقه بود. این مزرعه در منطقه جنوب شرقی استان خوزستان واقع در 5 کیلومتری شهرستان بهبهان با موقعیت جغرافیایی به طول شرقی ″ 37 ′ 17 °50 و عرض شمالی ″ 45 ′ 30 °30 قرار دارد. تجهیزات و ادوات هواشناسی شامل بادسنج در ارتفاع 1/65 متری و جعبه اسکرین دارای دماسنج های خشک و تر در فاصله 50 متری از محل آبپاش نصب گردیدند که در شکل 1 نشان داده شده اند.

آزمایش ها براساس دستورالعمل های استاندارد ISO 7749/1 (1986) ، ISO 7749/2 (1990) و ASAE S398.1 (2001) به روش استقرار آبپاش منفرد و به تعداد 40 مورد در دو حالت فشار آب 45 و 50 متر انجام پذیرفت. آبپاش در ارتفاع 1/65 متری نصب شد. برای اندازه گیری حجم آب ظروف از استوانه های مدرج استفاده گردید. سرعت باد در طی یک ساعت زمان آزمایش مطابق توصیه دستورالعمل های مذکور قرائت و ثبت می گردید. همچنین جهت باد غالب در آرایش های مختلف عمود بر لوله های فرعی در نظر گرفته شد.

عامل جوی شامل سرعت باد، پارامتر هیدرولیکی جریان شامل فشار آب در دو حالت 45 و 50 متر و پارامترهای مهم سیستم آبیاری بارانی نظیر آرایش و فواصل آبپاشها به عنوان تیمارهای مورد آزمایش در نظر گرفته شدند. بدین ترتیب هر تیمار از ترکیب یکی از سه آرایش مربعی، مستطیلی و مثلثی در حالتهای شش گانه فواصل آبپاشها شامل 21×21 ، 21×24 ، 21×30 ، 24×24 ، 24×30 و 30×30 متر انتخاب گردید. آزمایش ها به طور تصادفی در طی ساعت های مختلف شبانه روز انجام می گرفت تا بتوان با پوشش کلیه مقادیر شایع سرعت باد به روابط جامع و کاملی برای تعیین ضریب یکنواختی دست یافت. مقادیر اندازه گیری سرعت باد در بازه 6/8-0 متر بر ثانیه قرار گرفت.

ضرایب یکنواختی با استفاده از رابطه 1 و ایجاد همپوشانی از طریق مشابه سازی الگوی توزیع آبپاش

منفرد مانند شکل 2 برای کلیه تیمارها در آرایشها و فواصل مختلف آبپاشها محاسبه گردید.

نتایج و بحث

در این تحقیق اثرات فشار آب, آرایش و فواصل آبپاشها بر یکنواختی توزیع آب با استفاده از آنالیز واریانس در محیط نرم افزار آماریSPSS 11.5 بررسی گردید. این تحقیق که دارای مخلوطی از فاکتورهای درون موردی شامل آرایش و فواصل آبپاشها و بین موردی شامل فشار آب بوده اصطلاحاً در قالب طرح مخلوط یا کرت چند بخشی[1] انجام گرفته است. همچنین برای دستیابی به یک رابطه منطقی جهت محاسبه ضریب یکنواختی در شرایط مختلف وزش باد از نرم افزارExcel 2003 استفاده شد. مقادیر ضریب یکنواختی بدست آمده در شرایط مختلف نظیر فشار آب، باد، آرایش و فواصل آبپاشها در جدول 2 نشان داده شده اند.

روابط و نمودارهای ارائه شده در تحقیق حاضر با استفاده از کلیه مقادیر اندازه گیری شده ضریب یکنواختی در آزمایشهای صحرایی حاصل شده اند. همچنین متوسط مقادیر ضریب یکنواختی در سه بازه سرعت باد شامل باد آرام (2-0 متر بر ثانیه)، متوسط (4-2 متر بر ثانیه)، و شدید (>4 متر بر ثانیه) در جدول 2 نشان داده شده است.

1-3- اثرات فشار آب بر یکنواختی توزیع آب

اثرات یگانه فشار آب بر یکنواختی توزیع آب با استفاده از آنالیز واریانس در محیط نرم افزار آماری SPSS 11.5 بررسی شد. نتایج آنالیز واریانس نشان داد که اثرات یگانه تغییرات فشار آب از 45 به 50 متر به عنوان یک فاکتور بین موردی در سطح احتمال 5 درصد تأثیر معنی داری بر میزان ضریب یکنواختی ندارد. به عبارت دیگر، اختلاف فشار آب 5 متر به تنهایی تأثیر معنی داری بر یکنواختی توزیع آب در سیستم آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک ندارد.

2-3- اثرات آرایش آبپاشها بر یکنواختی توزیع آب

بررسی اثرات یگانه آرایش آبپاشها بر یکنواختی توزیع آب با استفاده از آنالیز واریانس درون موردی نشان داد که اثرات یگانه آرایش آبپاشها در سطح احتمال 5 درصد تأثیر معنی داری بر ضریب یکنواختی دارد. به عبارت دیگر، تأثیر آرایش آبپاشها بر یکنواختی توزیع آب حائز اهمیت است.

بر اساس جدول 2 می توان نتیجه گرفت که آرایش مربعی و مثلثی به ترتیب دارای بیشترین و کمترین مقادیر ضرایب یکنواختی هستند. در آرایش مربعی میزان همپوشانی آبپاشها در جهت های طولی و عرضی یکسان است در صورتی که در آرایش های مستطیلی و مثلثی میزان تداخل آب آبپاشها در جهت های مختلف متفاوت است. لازم به ذکر است که آرایش مثلثی به علت مشکلاتی که در مدیریت بهره برداری از سیستمهای آبیاری بارانی نیمه متحرک به وجود می آورد، نظیر جابجا کردن آبپاشها و لوله ها توصیه نمی شود.

3-3- اثرات فواصل آبپاشها بر یکنواختی توزیع آب

بررسی اثرات یگانه فواصل آبپاشها بر یکنواختی توزیع آب از ترکیب فواصل 21 ،24 و30 متر و انتخاب حالتهای شش گانه فواصل آبپاشها شامل 21×21 ، 24×21 ، 30×21 ، 24×24 ، 30×24 و30×30 متر با استفاده از آنالیز واریانس درون موردی در محیط نرم افزاریSPSS 11.5 انجام شد. نتایج آنالیز واریانس نشان داد که اثرات یگانه فواصل آبپاشها در سطح احتمال 5 درصد تأثیر معنی داری بر ضریب یکنواختی داشته و تأثیر فواصل آبپاشها بر یکنواختی توزیع آب بسیار حائز اهمیت است. از جدول 2 و مقایسه مقادیر میانگین کل ضریب یکنواختی در هر حالت از فواصل آبپاشها می توان نتیجه گرفت که برای کسب ضریب یکنواختی بیش از 80 درصد می بایست فواصل آبپاشها را برابر یا کمتر از ابعاد 24×24 متر در نظر گرفت. همچنین ضریب یکنواختی با کاهش فواصل آبپاشها افزایش داشته است که علت آن همپوشانی بیشتر آبپاشها در فواصل کمتر است.

4-3- اثرات متقابل آرایش و فواصل آبپاشها بر یکنواختی توزیع آب

با بررسی جدول 2 و مقایسه مقادیر میانگین کل ضریب یکنواختی در هر حالت از فواصل آبپاشها می توان نتیجه گرفت که مقادیر ضریب یکنواختی با کاهش فواصل آبپاشها افزایش می یابد. این قضیه در همه حالتهای آرایش آبپاشها صادق است. همچنین بررسی مقادیر میانگین کل ضریب یکنواختی در هر حالت از آرایش آبپاشها در جدول 2 نشان داد حداکثر فواصل آبپاشها که بتواند ضریب یکنواختی بیش از 80 درصد را ایجاد کند با ابعاد 24×24 متر و آرایش مربعی بدست می آید. در این حالت، نسبت فواصل آبپاشها به قطر پاشش 0/44 است و با نظر کلر(1983) که مقدار 0/5 را برای آرایش مربعی پیشنهاد نموده نزدیک است.

5-3- اثرات باد بر یکنواختی توزیع آب

برای دستیابی به یک رابطه منطقی بین ضریب یکنواختی و سرعت باد با استفاده از نرم افزارExcel 2003 انواع نمودارها و معادلات مورد بررسی قرار گرفت و

1- Split Plot

مشخص گردید بیشترین همبستگی با استفاده از معادله خطی حاصل می شود که در رابطه 2 و شکل 3 نشان داد شده است. در رابطه 2، ضریب یکنواختی (CU) بر حسب درصد و سرعت باد (W) بر حسب متر بر ثانیه است.

$$CU = -2.82\,W + 87.32 \quad (R^2 = 0.84) \quad (2)$$

بررسی رابطه 2 و شکل 3 نشان می دهند که ضریب یکنواختی با افزایش سرعت باد به طور خطی کاهش می یابد. به طوری که ضریب یکنواختی به ازای افزایش یک متر بر ثانیه به سرعت باد به میزان 2/82 درصد کاهش می یابد.

Phocaides از FAO (2000) کاربرد آبیاری بارانی را هنگام وزش بادهای با سرعت بیش از 3/5 متر بر ثانیه توصیه نمی کند. مطابق رابطه 2 ، میزان ضریب یکنواختی در شرایط وزش بادهای با سرعت بیش از 3/5 متر بر ثانیه از 77/5 درصد کمتر می شود. همچنین رابطه2 نشان می دهد که ضریب یکنواختی در شرایط وزش بادهای با سرعت بیش از 4/2 متر بر ثانیه (15 کیلومتر بر ساعت) از 75/5 درصد کمتر خواهد شد. لذا بنا بر نظر اکثر محققین نظیر Seginer (1975) توصیه می شود در شرایط وزش بادهای با سرعت بیش از 15 کیلومتر بر ساعت از انجام آبیاری بارانی اجتناب نمود.

3-6- اثرات متقابل باد و فشار آب بر یکنواختی توزیع آب

روابط بین ضریب یکنواختی و سرعت باد در دو حالت فشار آب 45 و 50 متر به طور جداگانه و با استفاده از کلیه مقادیر اندازه گیری شده ضریب یکنواختی مطابق شکل 4 مورد بررسی قرار گرفت که در روابط 3 و 4 نشان داده شده است.

الف- فشار آب 45 متر :

$$CU = -2.55 * W + 86.67 \quad (R^2 = 0.99) \quad (3)$$

ب- فشار آب 50 متر :

$$CU = -3.87 * W + 89.21 \quad (R^2 = 0.73) \quad (4)$$

بررسی روابط 3 ، 4 و شکل 4 نشان می دهند که ضریب یکنواختی با افزایش سرعت باد در هر دو حالت فشار آب 45 و 50 متر به طور خطی کاهش می یابد. نمودارهای شکل 4 بیانگر آن است که در شرایط وزش بادهای با سرعت کمتر از 2 متر بر ثانیه می توان مقدار ضریب یکنواختی را با افزایش فشار آب از 45 به 50 متر افزایش داد. لکن افزایش فشار آب در شرایط وزش بادهای با سرعت بیش از 2 متر بر ثانیه باعث کاهش ضریب یکنواختی می گردد. استدلال این پدیده آن است که افزایش فشار آب در شرایط بدون باد باعث افزایش قطر پاشش و همپوشانی بیشتر آبپاشها می شود که منجر به افزایش یکنواختی توزیع آب خواهد شد.

از طرف دیگر، موثرترین عامل بر میزان ضریب یکنواختی در سرعتهای زیاد باد، قطر ذرات آب است. افزایش فشار آب در شرایط وزش بادهای با سرعت بیش از 2 متر بر ثانیه باعث کاهش قطر ذرات آب می شود. بدین ترتیب، تعداد بیشتری از ذرات آب تحت تاثیر باد قرار گرفته و به راحتی جابجا می گردند که باعث توزیع غیریکنواخت تر آب در مزرعه می گردد.

بررسی شیب نمودارهای شکل 4 بیانگر این نکته است که میزان تغییرات ضریب یکنواختی در حالت فشار آب 50 متر بیشتر است. به عبارت دیگر، با افزایش سرعت باد در حالت فشار آب 50 متر مقادیر ضریب یکنواختی با شدت بیشتری نسبت به فشار آب 45 متر کاهش پیدا می کنند. لذا می توان نتیجه گرفت که یکنواختی توزیع آب در فشار آب 50 متر نسبت به تغییرات سرعت باد حساس تر است.

بر اساس نتایج این تحقیق، عامل کاهش ضریب یکنواختی در فشار آب زیاد (50 متر) را می توان تأثیر منفی باد بر قطرات ریز آب و عملکرد آبپاش دانست که در نهایت منجر به بر هم زدن الگوی توزیع آب می شود. بنابراین توصیه می شود از فشار آب 45 متر در طراحی و بهره برداری از سیستم کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک استفاده شود و تنها در شرایط بدون باد یا زمان جوانه زنی بذور از فشار آب 50 متر استفاده گردد. افزایش فشار آب از 45 به 50 متر به راحتی با کاهش تعداد آبپاشهای در حال کار امکان پذیر است. همچنین مطابق رابطه 3 در حالت فشار آب 45 متر میزان ضریب یکنواختی در شرایط وزش بادهای با سرعت بیش از 4/2 متر بر ثانیه از 76 درصد کمتر خواهد شد.

3-7- اثرات متقابل باد و فواصل آبپاشها بر یکنواختی توزیع آب

بررسی جدول 2 و شکل 5 نشان می دهند که ضریب یکنواختی با افزایش سرعت باد در همه حالتهای فواصل آبپاشها به طور خطی کاهش می یابد. به عبارت دیگر، ضریب یکنواختی با افزایش نسبت فواصل آبپاشها به قطر پاشش کاهش یافته است.

بررسی معادلات نمودارهای سرعت باد- ضریب یکنواختی در شکل 5 بیانگر آن است که در شرایط وزش بادهای آرام با سرعت کمتر از 1/94 متر بر ثانیه (7 کیلومتر بر ساعت) می توان ضریب یکنواختی بیش از 80 درصد را با انتخاب حداکثر فواصل آبپاشها به ابعاد 30×24 متر بدست آورد.

معادله نمودار فواصل آبپاشها با ابعاد 30×24 متر در شکل 5 به صورت زیر است از :

$$CU = -2.94\ W + 85.7 \quad (R^2 = 0.71) \quad (5)$$

مطابق شکل 5 ، در صورتی که سرعت باد از 1/94 متر بر ثانیه بالاتر رفته و به 3/53 متر بر ثانیه برسد، آنگاه حداکثر فواصل آبپاشها که بتواند ضریب یکنواختی بیش از 80 درصد را ایجاد کند با آرایش مربعی و ابعاد 24×24 متر است. معادله نمودار 24×24 متر به صورت زیر است از :

$$CU = -1.84\ W + 86.5 \quad (R^2 = 0.67) \quad (6)$$

بر اساس نظر Phocaides از FAO (2000) مبنی بر عدم آبیاری هنگام وزش بادهای با سرعت بیش از 3/5 متر بر ثانیه می توان ابعاد 24×24 متر را حداکثر فواصل آبپاشها در شرایط وزش بادهای با سرعت آرام تا متوسط دانست و آن را برای مناطق نسبتاً بادخیز توصیه کرد. مقایسه نمودارهای شکل 5 نشان می دهد که شیب نمودار فواصل آبپاشها با ابعاد 24×24 متر در مقایسه با سایر ابعاد کمتر است. به عبارت دیگر، در حالتی که فواصل آبپاشها به ابعاد 24×24 متر انتخاب گردد وزش باد تأثیر کمتری بر یکنواختی توزیع آب خواهد گذاشت و سیستم آبیاری بارانی نسبت به تغییرات سرعت باد حساسیت کمتری دارد.

از سیستم های آبیاری بارانی که با فشار آب بیش از 4/5 اتمسفر کار می کنند به دلیل قدرت زیاد جت آب خروجی از نازل بزرگتر و مقاومت در برابر باد بر حسب ضرورت می توان در مناطق بادخیز استفاده کرد. در شرایط وزش بادهای شدید می بایست فواصل آبپاشها را به ابعاد 21×21 متر انتخاب کرد. معادله نمودار فواصل آبپاشها به ابعاد 21×21 متر به صورت زیر است از :

$$CU = -2.8\ W + 93 \quad (R^2 = 0.84) \quad (7)$$

روابط 3 الی 7 نشان می دهند ضریب یکنواختی با افزایش سرعت باد در همه آرایشها و فواصل آبپاشها کاهش می یابد. با در نظر گرفتن ضریب یکنواختی 80 درصد به عنوان معیار طراحی فواصل آبپاشها در شرایط مختلف وزش باد می توان جدول 3 را توصیه نمود.

جدول 4 با ساده تر کردن نسبت فواصل آبپاشها به قطر پاشش از جدول 3 بدست آمد.

به لحاظ سهولت عملیات اجرایی و تصحیح ابعاد زمین از نظر قطعه بندی ها توصیه می شود که از جدول 5 جهت انتخاب فواصل آبپاشها استفاده گردد.

نتایج مندرج در جدول 4 در سه بازه سرعت باد با نظرات Keller (1983)، Solomon از مؤسسه فن آوری کشاورزی کالیفرنیا (1990) و Phocaides از FAO (2000) مورد بحث و بررسی قرار گرفت. لازم به ذکر است که آزمایشهای اکثر محققین با سیستمهای کلاسیک ثابت و آبپاشهای یک و دو نازله با فشار آب کمتر از 4/2 اتمسفر انجام شده که نتیجه آن انتخاب فواصل آبپاشها در دامنه 12 تا 18 متر است.

آبپاشهای دو نازله در شرایط وزش بادهای آرام همپوشانی بهتری ایجاد می کنند به خصوص آنکه اندازه نازلهای آنها تفاوت چندانی با هم نداشته باشند. لکن در شرایط وزش بادهای شدید توصیه شده که از آبپاشهای تک نازله استفاده شود زیرا مقاومت لازم در برابر نیروی پاشش باد با تشکیل یک جت قوی آب ایجاد می گردد. این عمل در آبپاشهای سه نازله (11+6/3+3/2) با استفاده از نازل 11 میلی متری انجام می شود زیرا اندازه آن تقریباً دو برابر دیگر نازلها بوده و بخش اعظم آب از آن خارج می شود. نتایج تحقیقات Solomon از مؤسسه فن آوری کشاورزی کالیفرنیا (1990) نشان داد که تشکیل جت قوی آب در شرایط وزش بادهای با سرعت بیش از 15 کیلومتر بر ساعت می تواند باعث بهبود یکنواختی توزیع آب گردد.

الف- سرعت باد 7-0 کیلومتر بر ساعت

نظرات محققین در این بازه بسیار نزدیک به هم است. آنها حداکثر نسبت فواصل آبپاشها به قطر پاشش را در جهت لوله های فرعی 0/4 و در جهت لوله اصلی 0/65 پیشنهاد نمودند که مبین آرایش مستطیلی بوده و جنبه اقتصادی مد نظر است. این مقادیر در جدول 4 به ترتیب 0/45 و 0/55 است که متمایل به آرایش مربعی می باشد. همچنین توصیه Keller (1983) با آرایش مربعی مقدار 0/5 است. نتایج تحقیق حاضر نشان می دهد فواصل آبپاشها را که در اکثر نقاط ایران بدون توجه به سرعت باد در هر منطقه 30×25 متر در نظر می گیرند تنها برای مناطق بدون باد یا وزش بادهای با سرعت کمتر از 7 کیلومتر بر ساعت قابل توصیه است.

ب- سرعت باد 14-7 کیلومتر بر ساعت

اکثر محققین نظیر Keller (1983) و Solomon از مؤسسه فن آوری کشاورزی کالیفرنیا (1990) توصیه نمودند از آرایش مربعی و مقدار 0/5 جهت انتخاب نسبت فواصل آبپاشها به قطر پاشش استفاده گردد که به مقدار 0/45 در جدول 4 نزدیک است.

ج- سرعت باد بیش از 14 کیلومتر بر ساعت

مقادیر پیشنهادی Solomon از مؤسسه فن آوری کشاورزی کالیفرنیا (1990) برای انتخاب نسبت فواصل آبپاشها به قطر پاشش در جهت لوله های اصلی و فرعی به ترتیب حدود 0/3 و 0/5 است. ضمن آنکه Phocaides از FAO (2000) آرایش مربعی با مقدار 0/5 را توصیه نمود. جدول 4 مقدار 0/4 را نشان می دهد که مانند حالتهای قبلی بیانگر آرایش مربعی است.

پیشنهادات

از نتایج این تحقیق می توان جهت طراحی صحیح و اصولی سیستم آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک استفاده نمود. در اینجا خلاصه نتایج به همراه پیشنهاداتی مفید ارائه می گردد:

1- در سیستم کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک با افزایش فشار آب در دامنه 45 تا 50 متر در همه آرایشها و فواصل آبپاشها میزان ضریب یکنواختی به علت تأثیرات منفی باد در فشارهای بالاتر کاهش می یابد. بر اساس این مطالعه، عامل کاهش ضریب یکنواختی در فشار زیاد (50 متر) را می توان تأثیر شدید باد بر عملکرد آبپاش و الگوی توزیع آب دانست. لذا توصیه می گردد از فشار آب 45 متر در طراحی و بهره برداری سیستم کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک استفاده شود و تنها در شرایط بدون باد یا زمان جوانه زنی بذور از فشار آب 50 متر استفاده گردد. افزایش فشار آب از 45 به 50 متر به راحتی با کاهش تعداد آبپاشهای در حال کار امکان پذیر است.

2- آرایش مربعی به علت یکنواخت بودن میزان تداخل آبپاشها در جهات مختلف و مناسب بودن نسبت فواصل آبپاشها به قطر پاشش نسبت به آرایشهای مثلثی و مستطیلی دارای ضریب یکنواختی بالاتری است. این موضوع در تمام حالات فشار آب، سرعت باد و فواصل آبپاشها صادق است.

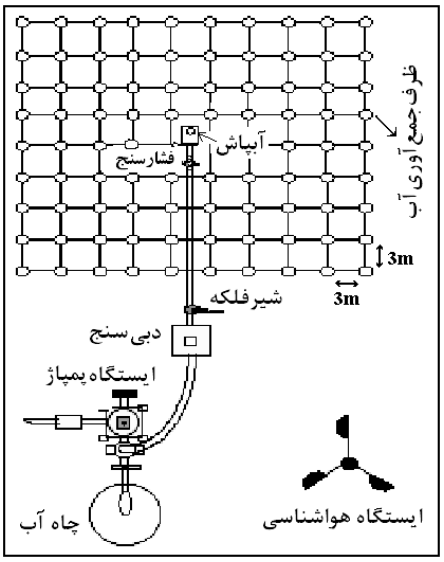
3- جدول 5 برای انتخاب فواصل آبپاشها در شرایط مختلف وزش باد در سیستم آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک قابل توصیه است. مطابق جدول 4 ، اگر نسبت فواصل آبپاشها به قطر پاشش اندکی کمتر از دامنه توصیه شده توسط Keller (1983) باشد مقدار ضریب یکنواختی حدود 80 درصد خواهد بود که مورد قبول اکثر محققان و طراحان سیستمهای آبیاری بارانی می باشد. نتایج این بررسی نشان داد حداکثر فواصل آبپاشها که بتواند ضریب یکنواختی بیش از 80 درصد را در سیستم آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک ایجاد کند 25×25 متر با آرایش مربعی بوده و کاربرد آن برای مناطق نسبتاً بادخیز توصیه می گردد.

4- مطابق رابطه 3 ، میزان ضریب یکنواختی در شرایط وزش بادهای با سرعت بیش از 15 کیلومتر بر ساعت از 76 درصد کمتر خواهد شد. لذا حتی الامکان در شرایط وزش بادهای با سرعت بیش از 15 کیلومتر بر ساعت آبیاری بارانی انجام نگیرد و در شرایط ضروری، آرایش مربعی با نسبت فواصل آبپاشها به قطر پاشش 0/4 با فشار آب کم استفاده گردد.

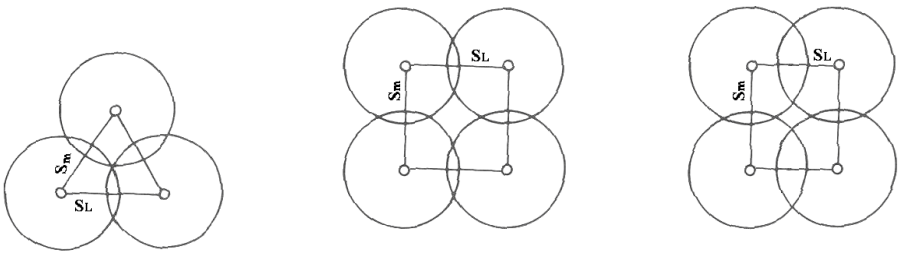
5- برای تحقیقات آتی پیشنهاد می گردد یکنواختی توزیع آب با استفاده از آبپاش های دو نازله نظیر نلسون(F70) و رین برد(RainBird 880A) به همراه مقایسه آنها با آبپاش های سه نازله در شرایط مختلف وزش باد انجام پذیرد.

جدول 1- انتخاب نسبت فواصل آبپاشها به قطر پاشش

سرعت باد (کیلومتر بر ساعت)	نسبت فواصل آبپاشها به قطر پاشش (درصد)
0 - 7	60-65
7 - 14	50
14 <	30-50



شکل 1- شمای کلی تجهیزات و سیستم آبیاری انجام آزمایشها به روش آبپاش منفرد

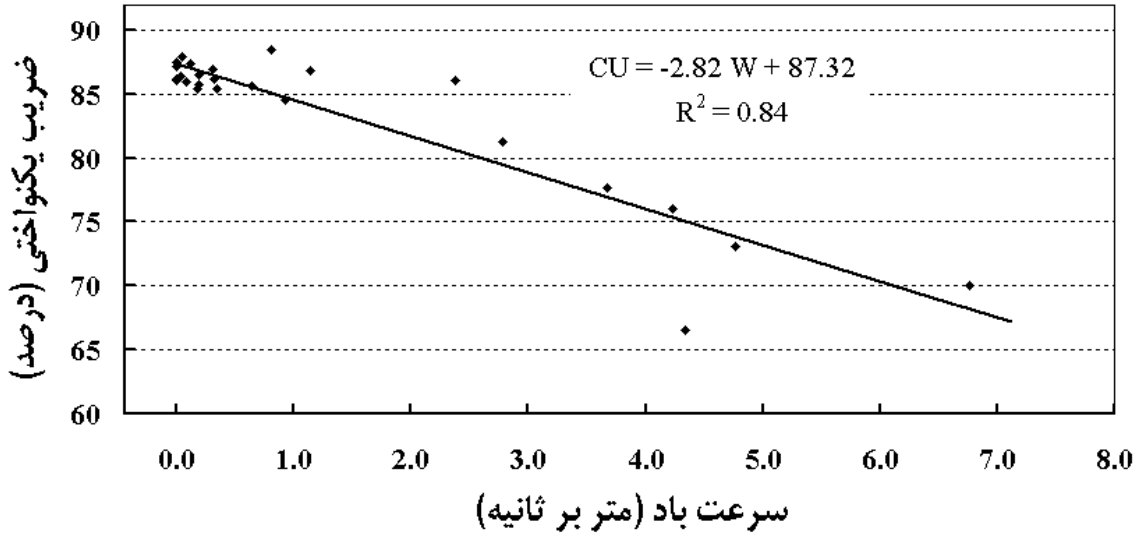


آرایش مثلثی　　آرایش مربعی　　آرایش مستطیلی

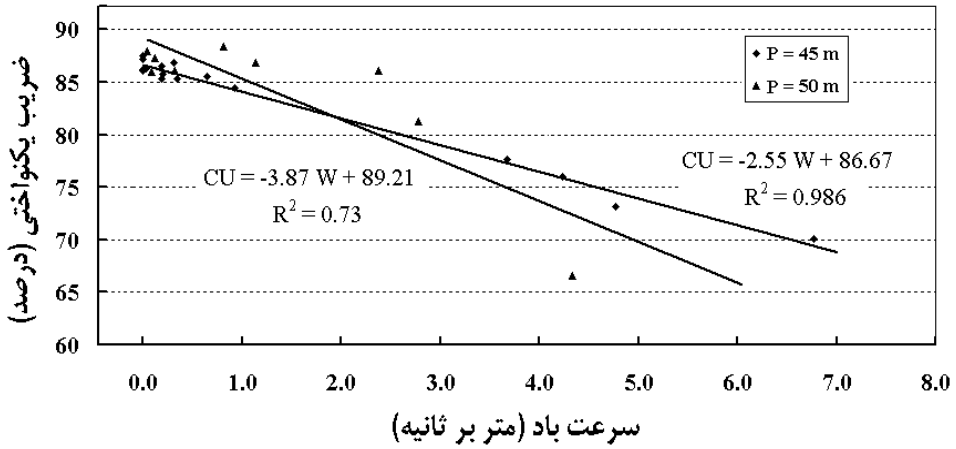
شکل2- انواع آرایش آبپاشها

جدول2- مقادیر ضریب یکنواختی در شرایط مختلف

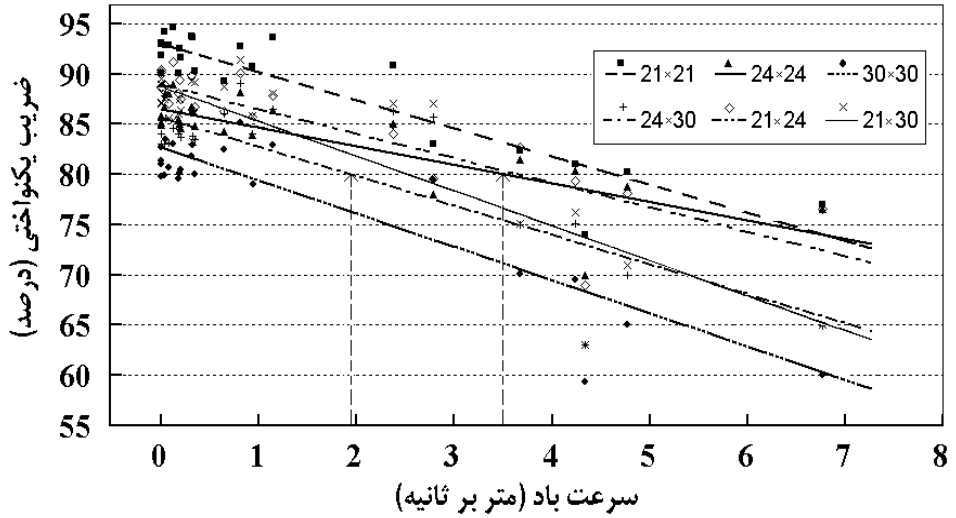
سرعت باد (متر بر ثانیه)	فشار آب (متر)	آرایش و فواصل آبپاشها (متر)								
		آرایشی مثلثی			آراضی مستطیلی			آرایشی مربعی		
		30×30	24×24	21×21	24×30	21×30	21×24	30×30	24×24	21×21
0-2	45	76/8	86/9	93/3	84/1	87/7	88/4	80/7	85/2	91/7
	50	79/9	87/1	91/8	85/5	86/9	88/6	83/0	87/6	93/4
2-4	45	70/9	78/8	81/2	76/2	78/0	81/8	71/6	81/8	83/4
	50	73/3	78/3	80/4	78/3	79/0	77/5	74/5	77/7	82/6
4<	45	64/0	75/6	76/3	70/0	70/8	78/0	64/9	78/5	79/4
	50	59/0	70/9	71/0	63/0	63/0	69/0	59/4	70/0	74/0
میانگین در هر حالت از فشار آب	45	70/6	80/5	83/6	76/8	78/8	82/7	72/4	81/8	84/8
	50	70/8	78/8	81/1	75/6	76/3	78/3	72/3	78/4	83/3
نسبت فواصل آبپاشها به قطر پا شش	54 متر	0/56×0/56	0/44×0/44	0/39×0/39	0/44×0/56	0/39×0/56	0/39×0/44	0/56×0/56	0/44×0/44	0/39×0/39
نسبت فواصل آبپاشها به قطر پا شش	60 متر	0/50×0/50	0/40×0/40	0/35×0/35	0/40×0/50	0/35×0/50	0/35×0/40	0/50×0/50	0/40×0/40	0/35×0/35
میانگین برای هر حالت فواصل آبپاشها		70/7	79/6	82/3	76/2	77/6	80/5	72/3	80/1	84/1
میانگین برای هر حالت آرایش آبپاشها			77/5			78/1			78/9	



شکل3- نمودار تغییرات ضریب یکنواختی نسبت به سرعت باد



شکل 4- نمودار اثرات متقابل باد و فشار آب بر ضریب یکنواختی



شکل 5- نمودار اثرات متقابل باد و فواصل آبپاشها بر ضریب یکنواختی

جدول3- انتخاب فواصل آبپاشها نسبت به سرعت باد

سرعت باد (کیلومتر بر ساعت)	فواصل آبپاشها (متر)	$\frac{SL}{Dw} \times \frac{Sm}{Dw}$
۰-۷	۲۴ × ۳۰	۰/۴۴ ×۰/۵۶
۷-۱۴	۲۴ × ۲۴	۰/۴۴ ×۰/۴۴
۱۴<	۲۱ × ۲۱	۰/۳۹ ×۰/۳۹

جدول4- انتخاب نسبت فواصل آبپاشها به قطر پاشش با توجه به سرعت باد

سرعت باد (کیلومتر بر ساعت)	$\frac{SL}{Dw} \times \frac{Sm}{Dw}$
۰-۷	۰/۴۵ ×۰/۵۵
۷-۱۴	۰/۴۵ ×۰/۴۵
۱۴<	۰/۴۰ ×۰/۴۰

جدول 5- انتخاب فواصل آبپاشها با توجه به سرعت باد

سرعت باد (کیلومتر بر ساعت)	فواصل آبپاشها (متر)
۰-۷	۲۵ × ۳۰
۷-۱۴	۲۵ × ۲۵
۱۴<	۲۱ × ۲۱

فهرست منابع:

1. احسانی، م. خالدی، ه. 1382. شناخت و ارتقای بهره وری آب کشاورزی به منظور تأمین امنیت آبی و غذایی کشور. مجموعه مقالات یازدهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران.
2. شیخ اسماعیلی، الف. 1382. بررسی یکنواختی توزیع آب و تلفات تبخیر و باد در سیستم آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک A-D-5 . پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده کشاورزی. دانشگاه شهید چمران اهواز.
3. American Society of Agricultural Engineers, Standards - ASAE, S398.1 . 2001. Procedure for Sprinkler Testing and Performance Reporting.
4. Christiansen, J.E. 1942. Irrigation by sprinkling. California Agric. Exp. Stn. Bull. 670. University of California, Berkeley.
5. ISO-7749/1. 1986. part 1. Design and operational requirements. Agricultural Irrigation Equipment-Rotating Sprinklers.
6. ISO-7749/2. 1990. part 2. Uniformity of distribution and test methods. Agricultural Irrigation Equipment-Rotating Sprinklers.
7. Keller, J. 1983. USDA-SCS, national engineering handbook section 15. Irrigation, Sprinkler Irrigation.
8. Keller, J. and Bliesner, R.D. 1990. Sprinkler and trickle irrigation. AVI Book. Van Nostrand Reinhold. New York, USA

9. Montero, J.; Tarjuelo, J.M. and Ortega, J.F. 2000. Heterogeneity analysis of the irrigation in fields with medium size sprinklers. Cigr Journal. Vol. II. pp. 1130-1140.
10. Pair, C.H. 1968. Water distribution under sprinkler Irrigation. Trans. ASAE. 11(5): pp. 648-651.
11. Phocaides, A. 2000. Technical handbook on pressurized irrigation techniques. Food and Agriculture Organization of the United Nations -FAO. pp. 101.
12. Seginer, I. and Kostrinsky, M. 1975. Wind sprinkler patterns and system design. Journal of Irrigation and Drainage Division. ASCE. 101(TR4): pp. 251-264.
13. Solomon, K.H. 1990. Sprinkler irrigation uniformity. Irrigation Notes, Publication of California Agriculture Technology Institute (CATI). No. 900803: pp. 3-4.
14. Tarjuelo, J. 1992. Working condition of sprinkler to optimize application of water. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 118(6): pp. 895-913.