



# بررسی اثرات آرایش و فواصل آبپاش‌ها بر یکنواختی توزیع آب در سیستم آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آب‌پاش متحرک

امید شیخ اسماعیلی

کارشناس ارشد آبیاری و زهکشی و رئیس هیئت مدیره شرکت اقتصاد هوشمند

سعید برومند نسب

دانشیار گروه آبیاری دانشگاه شهید چمران اهواز

حبیب موسوی جهرمی

استادیار گروه آبیاری دانشگاه شهید چمران اهواز

## چکیده

دانستن عوامل مؤثر بر یکنواختی توزیع آب در آبیاری بارانی اهمیت زیادی در افزایش بازده کاربرد آب به منظور ارائه راهکارهایی جهت توسعه و بهره‌برداری بهینه از منابع آبی موجود دارد. این تحقیق با هدف یافتن مقادیر بهینه پارامترهای طراحی نظیر آرایش و فواصل آبپاش‌ها صورت گرفت. آزمایش‌ها در شرایط مختلف جوی با سیستم آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک به روش استقرار آبپاش منفرد و بر اساس دستورالعمل استاندارد ایزو (۷۷۴۹/۲) در منطقه جنوب شرقی استان خوزستان انجام پذیرفت. در این بررسی مشخص گردید که بیشترین مقدار ضریب یکنواختی در سیستم آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک با آرایش مربعی بدست می‌آید. همچنین ضریب یکنواختی با افزایش سرعت باد در همه حالت‌های آرایش و فواصل آبپاش‌ها به طور خطی کاهش می‌یابد. نتایج نشان داد که برای کسب یکنواختی توزیع قابل قبول در شرایط وزش بادهای با سرعت بیش از ۲ متر بر ثانیه می‌بایست حداکثر فواصل آبپاش‌ها به ابعاد ۲۵×۲۵ متر انتخاب گردد.

واژه‌های کلیدی: آبپاش، آبیاری بارانی، آرایش و فواصل آبپاش‌ها، باد، یکنواختی توزیع آب

## مقدمه

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 بهره‌وری گردند. در این راستا، با توجه به اولویت سیستم‌های آبیاری تحت فشار و لزوم سرمایه‌گذاری اولیه بسیار زیاد لازم است بررسی‌های دقیقی از نظر فنی، اقتصادی و فرهنگی در مورد انواع سیستم‌های آبیاری تحت فشار در هر منطقه صورت گیرد.

عدم صراحتی صحیح و اصولی به دلیل نداشتن روابط و پارامترهای مورد نیاز طراحی، با توجه به عدم سابقه و کاربرد سیستم‌های آبیاری بارانی یا انجام پروژه‌های تحقیقاتی در ایران باعث شده تا طراحی‌ها به صورت کلیشه‌ای از نمودارها و جداولی صورت گیرد که برای سایر سیستم‌ها و مناطق مشابه بدست آمده‌اند. این امر باعث شده است تا اولاً نتوان برنامه‌ریزی دقیق و واقعی در منابع آب کشور انجام داد. ثانیاً، تعیین مقادیر پارامترهای طراحی با حدس و گمان صورت گیرد که منجر به افزایش هزینه‌های سرمایه‌گذاری، بروز مشکلات و هزینه‌های اضافی در بهره‌برداری و نگهداری و بالاخره کاهش بازدهی اقتصادی طرح‌ها در طول عمر مفید می‌گردد [۲].

به منظور استفاده بهینه از آب قابل دسترس، توزیع یکنواخت تر آب ضروری است. توزیع یکنواخت تر آب علاوه بر صرفه‌جویی در مصرف آب، نهایتاً سبب افزایش کمی و کیفی عملکرد محصول خواهد شد. ضمن آنکه توزیع یکنواخت آب به طور صد در صد عملی نیست زیرا عواملی در توزیع آب دخالت دارند که نمی‌توان تأثیر همه آنها را از بین برد. کاربرد حداقل ضریب یکنواختی ۸۰ درصد به عنوان معیار طراحی سیستم‌های آبیاری بارانی توسط اکثر محققین نظیر کریستیانسن (۱۹۴۲)، کلا و بلیسنر (۱۹۹۰) توصیه شده است. ضریب یکنواختی کریستیانسن (۱۹۴۲) از معادله آماری زیر محاسبه می‌گردد [۴]:

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

$CU$  = ضریب یکنواختی کریستیانسن (درصد)،

$X_i$  = عمق یا حجم آب اندازه‌گیری شده در هر ظرف (میلی متر یا میلی لیتر)،

$\bar{X}$  = متوسط عمق یا حجم آب اندازه‌گیری شده در ظرف‌ها (میلی متر یا میلی لیتر)،

$n$  = تعداد کل ظرف‌های آب اندازه‌گیری شده در آزمایش.

پیر (۱۹۶۸)، عوامل مؤثر بر یکنواختی توزیع آب را به شرح زیر دسته‌بندی نمود [۱۱]:

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

ب- عوامل مربوط به سیستم آبیاری نظیر تغییرات فشار آب در لوله‌ها، 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 دسته‌بندی باید گفت که تأثیر عوامل مذکور بر یکنواختی توزیع آب منفک از یکدیگر نبوده و دارای اثرات متقابل نیز بر یکنواختی توزیع آب هستند.

معیار اصلی برای انتخاب فواصل آبپاش‌ها در شرایط مختلف باد و فشار آب، یکنواختی توزیع آب است. فرای و گری (۱۹۷۱) و وزارت کشاورزی امریکا برای تعیین فواصل آبپاش‌ها جدول ۱ را با توجه به سرعت باد و قطر پاشش آبپاش ارائه نمودند [۵].

جدول ۱- انتخاب فواصل آبپاش‌ها نسبت به سرعت باد

وزارت کشاورزی آمریکا		سرعت باد (کیلومتر بر ساعت)	فرای و گری	
$S_L/D_W$	$S_m/D_W$		$S_L/D_W$	$S_m/D_W$
۰/۵۰	۰/۶۵	۰	۰/۴۰	۰/۶۵
۰/۵۰	۰/۵۰	۸/۰	۰/۳۰	۰/۶۰
۰/۳۵	۰/۵۰	۱۱/۳	۰/۳۰	۰/۵۰
		۱۶/۱	۰/۳۰	۰/۵۰
		۱۷/۷	۰/۳۰	۰/۵۰

$S_m$ : فاصله آبپاش‌های لوله اصلی،  $S_L$ : فاصله آبپاش‌های لوله‌های فرعی،  $D_W$ : قطر پاشش آبپاش

کلر (۱۹۸۳) برای انتخاب فواصل آبیاش‌های با فشار آب متوسط و مناطقی که بادهای آرام تا متوسط دارند، به عنوان یک توصیه نمود که آبیاش‌ها در آرایش‌های مربعی، مثلثی و مستطیلی به ترتیب با فواصل ۵۰، ۶۲ و  $۶۷ \times ۴۰$  درصد از قطر پاشش قرار گیرند تا بتوان به یکنواختی توزیع مناسبی دست یافت. به نظر وی آبیاری بارانی برای مناطقی که سرعت متوسط باد بیش از ۱۵ کیلومتر بر ساعت دارند قابل توصیه نیست [۸].  
مؤسسه فن‌آوری کشاورزی کالیفرنیا (۱۹۹۰) برای تعیین نسبت فواصل آبیاش‌ها به قطر پاشش جدول زیر را توصیه نمود [۱۴].

جدول ۲- انتخاب نسبت فواصل آبیاش‌ها به قطر پاشش

نسبت فواصل آبیاش‌ها به قطر پاشش (درصد)	سرعت باد (کیلومتر بر ساعت)
۶۰-۶۵	۰-۷
۵۰	۷-۱۴
۳۰-۵۰	۱۴<

فائو (۲۰۰۰) جهت کسب یکنواختی توزیع قابل قبول در شرایط وزش بادهای آرام تا متوسط توصیه نمود که فواصل آبیاش‌ها در جهت لوله اصلی با آرایش‌های مربعی و مستطیلی از ۶۵ درصد قطر پاشش تجاوز نکند. همچنین در شرایط وزش بادهای شدید می‌بایست لوله‌های فرعی را عمود بر جهت باد و با فاصله کمتر از ۵۰ درصد قطر پاشش در نظر گرفت. قابل ذکر است که فائو (۲۰۰۰) کاربرد آبیاری بارانی را هنگام وزش بادهای با سرعت بیش از  $\frac{۳}{۵}$  متر بر ثانیه توصیه نمی‌کند [۱۲].  
مهمترین عامل اقلیمی که بر توزیع یکنواخت آب از آبیاش‌ها اثر می‌گذارد باد است. باد را دشمن آبیاری بارانی می‌دانند زیرا از یک طرف باعث کاهش یکنواختی توزیع آب یا افزایش تلفات نفوذ عمقی می‌گردد و از طرف دیگر، مهمترین عاملی است که منجر به تلفات تبخیر و باد می‌گردد [۸].

طبق نظر سگینر (۱۹۷۵) در مناطق بادخیز با کاهش فواصل آبیاش‌ها می‌توان یکنواختی توزیع آب را افزایش داد. [۱۳].  
تارجونلو (۱۹۹۲) برای انجام آزمایش‌ها در شرایط وزش باد از یک تونل باد مصنوعی استفاده کرد و آزمایش‌های بدون باد را در شرایط آرام مزرعه انجام داد که به نتایج زیر منجر گردید [۱۵].

۱- رابطه سرعت باد- ضریب یکنواختی از نوع معادلات درجه دوم بوده و با افزایش سرعت باد ضریب یکنواختی کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش فواصل آبیاش‌ها، شدت تغییرات ضریب یکنواختی نسبت به سرعت باد افزایش می‌یابد. به عبارت دیگر، شیب منحنی‌های سرعت باد- ضریب یکنواختی با افزایش فاصله آبیاش‌ها بیشتر می‌گردد. نحوه آرایش آبیاش‌ها نیز بر شیب این منحنی‌ها مؤثر است به طوریکه روابط سرعت باد- ضریب یکنواختی در بعضی از آرایشها و اندازه نازلها خطی می‌گردد.

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

۳- حتی الامکان سیستم آبیاری بارانی را با شدت پاشش کم (۷-۵ 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 در سیستم آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبیاش متحرک در منطقه جنوب شرقی استان خوزستان به انجام رسید:

۱- بررسی اثرات باد، آرایش و فواصل آبیاش‌ها بر یکنواختی توزیع آب

۲- دستیابی به روابطی جهت تعیین ضریب یکنواختی و انتخاب حالت بهینه آرایش و فواصل آبیاش‌ها در شرایط مختلف وزش باد

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

## ۲- مواد و روشها

## ۲-۱- معرفی سیستم آبیاری

بررسی‌های انجام شده در استان خوزستان نشان می‌دهند که سیستم آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبیاش متحرک در مقایسه با سایر سیستم‌های آبیاری بارانی از تطابق نسبتاً مناسبی با شرایط مزرعه به لحاظ بافت خاک، شیب زمین، الگوی کشت و بهره‌برداری و نگهداری داشته و مشخصات هیدرولیکی لوله‌ها و آبیاش‌ها در طرح‌های اجرا شده قابل قبول بوده است [۱].

معمولاً در این سیستم آبیاری بارانی از آبیاش‌های سه نازله ( $11+6/3+3/2$  میلیمتر) استفاده می‌گردد و لوله‌های اصلی و فرعی در زمین مدفون می‌گردند. بنابر تجارب بدست آمده بهتر است از حداقل فشار آب ۴۵ متر برای جلوگیری از کوبیدگی خاک، کسب یکنواختی توزیع مناسب و صرفه‌جویی در هزینه‌های انرژی استفاده گردد. فواصل آبیاش‌ها نیز به طور معمول به ابعاد  $25 \times 30$  متر انتخاب می‌گردد.

به طور کلی در خصوص مزایا و معایب این سیستم آبیاری بارانی می‌توان گفت که در اکثر زمین‌ها با شکل منظم و نامنظم یا شیب زیاد و خاک‌های با بافت سبک تا نسبتاً سنگین (با نفوذپذیری بیش از ۸ میلیمتر بر ساعت) قابلیت تطبیق مناسبی دارد. از لحاظ نوع کشت امکان آبیاری اکثر محصولات پاکوتاه و پابند وجود دارد. کشاورزان با سرقت لوازم و قطعات مواجه نیستند. از طرف دیگر، در مزارعی که بافت خاک سنگین دارند جابجایی آبیاش‌ها در زمین خیس شده دشوار است. وجود انشعابات متعدد شیر خودکار در مزرعه باعث بروز مشکلاتی در عملیات زراعی می‌شود. هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه در آن نسبت به سایر سیستم‌های آبیاری بارانی به غیر از سیستم کاملاً ثابت بیشتر است، لکن هزینه‌های سالیانه و مشکلات بهره‌برداری و نگهداری در آن کمتر است [۱].

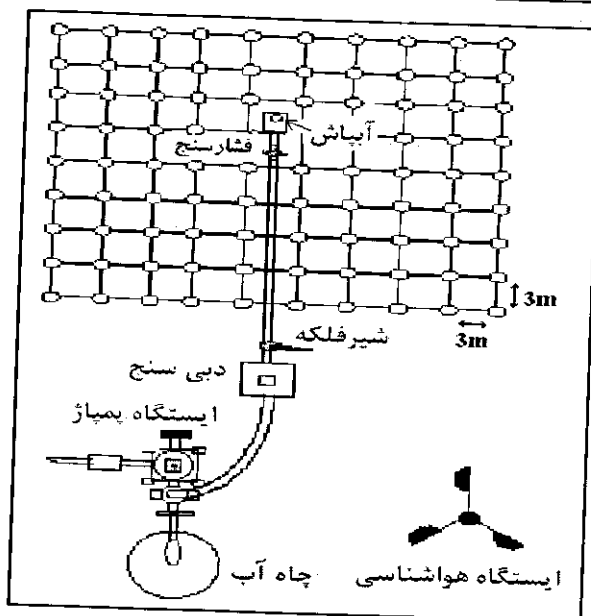
## ۲-۲- شرح انجام آزمایش‌ها

آزمایش‌های طرح در قطعه زمینی مسطح و عاری از پوشش گیاهی به ابعاد  $70 \times 70$  متر مربع از یک مزرعه دارای سیستم آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبیاش متحرک سه نازله ( $11+6/3+3/2$  میلی متر) انجام پذیرفت. این مزرعه در منطقه جنوب شرقی استان خوزستان واقع در ۵ کیلومتری شهرستان بهبهان با موقعیت جغرافیایی به طول شرقی  $37^\circ 17'$  و عرض شمالی  $45^\circ 30'$  قرار دارد.

تجهیزات و ادوات هواشناسی شامل بادسنج و جعبه اسکرین دارای دماسنج‌های خشک و تر در فاصله ۵۰ متری از محل آبیاش نصب گردیدند که در شکل ۱ نشان داده شده‌اند.

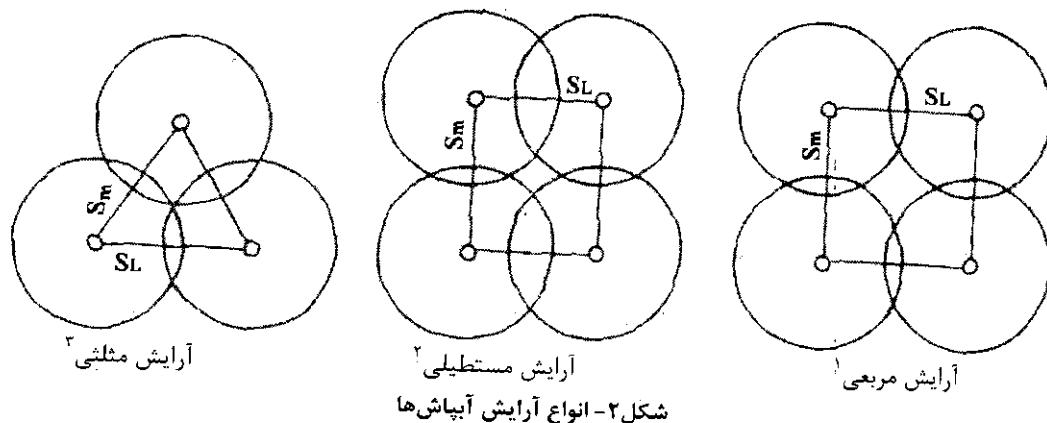
آزمایش‌ها بر اساس دستورالعمل‌های استاندارد ایزو<sup>۱</sup> و جامعه مهندسان کشاورزی امریکا<sup>۲</sup> به روش استقرار آبیاش منفرد و به تعداد ۴۰ مورد با فشار آب ۴۵ متر انجام پذیرفت. برای اندازه‌گیری حجم آب ظروف از استوانه‌های مدرج استفاده شد. سرعت باد در طی یک ساعت زمان آزمایش مطابق توصیه دستورالعمل‌های مذکور قرائت و ثبت می‌گردید.

1. ISO 7749/1(1986) and ISO 7749/2(1990)  
2. ASAE S398.1(2001)



شکل ۱- شمای کلی تجهیزات و سیستم آبیاری انجام آزمایش‌ها به روش آبیاش منفرد

سه عامل مؤثر بر یکنواختی توزیع آب شامل باد، آرایش و فواصل آبیاش‌ها برای انتخاب تیمارهای مورد آزمایش در نظر گرفته شدند. بدین ترتیب که هر تیمار از ترکیب یکی از سه آرایش مربعی، مستطیلی و مثلثی در حالت‌های شش گانه فواصل آبیاش‌ها شامل  $21 \times 21$ ،  $21 \times 24$ ،  $21 \times 30$ ،  $24 \times 24$ ،  $24 \times 30$  و  $30 \times 30$  متر انتخاب گردید. علاوه بر آن، سرعت باد در بازه  $0.6/18$  متر بر ثانیه قرار گرفت. بدین صورت که آزمایش‌ها به طور تصادفی در طی ساعت‌های مختلف شبانه روز انجام می‌گرفت تا بتوان با پوشش کلیه مقادیر شایع سرعت باد به روابط جامع و کاملی برای تعیین ضریب یکنواختی دست یافت. ضرایب یکنواختی با استفاده از رابطه ۱ و ایجاد همپوشانی از طریق مشابه‌سازی الگوی توزیع آبیاش منفرد مانند شکل ۲ برای کلیه تیمارها در آرایش‌ها و فواصل مختلف آبیاش‌ها محاسبه گردید.



شکل ۲- انواع آرایش آبیاش‌ها

1. Square Layout
2. Rectangular Layout
3. Triangular Layout

## ۳- نتایج و بحث

در این تحقیق رابطه بین یکنواختی توزیع آب و عوامل مربوط به سیستم آبیاری بارانی شامل آرایش و فواصل آبیاش‌ها با استفاده از آنالیز واریانس درون موردی در محیط نرم‌افزاری SPSS 11.5 بررسی گردید. آنالیز واریانس درون موردی بر این اساس استوار است که میانگین یک گروه از مقادیر اندازه‌گیری شده ضریب یکنواختی تحت یک وضعیت خاص فشار آب (۴۵ متر) می‌تواند برآوردی از سطح عملکرد آزمایش‌های انجام گرفته در آن گروه فشار آب باشد. در عین حالیکه ممکن است ضریب یکنواختی بدست آمده از هر آزمایش با میانگین مقدار ضریب یکنواختی گروه فشار آب مورد نظر فاصله هم داشته باشد. همچنین برای دستیابی به یک رابطه منطقی جهت محاسبه ضریب یکنواختی در شرایط مختلف وزش باد از نرم افزار Excel 2003 استفاده شد. لازم به ذکر است که روابط و نمودارهای ارائه شده در تحقیق حاضر با استفاده از کلیه مقادیر اندازه‌گیری شده ضریب یکنواختی در آزمایش‌های صحرائی حاصل شده‌اند. همچنین متوسط مقادیر ضریب یکنواختی در سه بازه سرعت باد شامل باد آرام (۲-۰ متر بر ثانیه)، متوسط (۴-۲ متر بر ثانیه)، و شدید (< ۴ متر بر ثانیه) در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳- مقادیر ضریب یکنواختی (درصد)

آرایش و فواصل آبیاشها (متر)									سرعت باد (متر بر ثانیه)
آرایش مربعی	آرایش مستطیلی			آرایش مثلثی					
۲۱×۲۱	۲۴×۲۴	۳۰×۳۰	۲۱×۲۴	۲۱×۳۰	۲۴×۳۰	۲۱×۲۱	۲۴×۲۴	۳۰×۳۰	
۹/۷	۸۵/۲	۸۰/۷	۸۸/۴	۸۷/۷	۸۴/۱	۹۳/۳	۸۶/۹	۷۶/۸	۰-۲
۸۳/۴	۸۱/۸	۷۱/۶	۸۱/۸	۷۸/۰	۷۶/۲	۸۱/۲	۷۸/۸	۷۰/۹	۲-۴
۷۹/۴	۷۸/۵	۶۴/۹	۷۸/۰	۷۰/۸	۷۰/۰	۷۶/۳	۷۵/۶	۶۴/۰	< ۴
نسبت فواصل آبیاشها به قطر پاشش									
۰/۳۹×۰/۳۹	۰/۴۴×۰/۴۴	۰/۵۶×۰/۵۶	۰/۳۹×۰/۴۴	۰/۳۹×۰/۵۶	۰/۴۴×۰/۵۶	۰/۳۹×۰/۳۹	۰/۴۴×۰/۴۴	۰/۵۶×۰/۵۶	میانگین کل در هر حالت از فواصل آبیاشها
۸۴/۸	۸۱/۸	۷۲/۴	۸۲/۷	۷۸/۸	۷۶/۸	۸۳/۶	۸۰/۵	۷۰/۶	میانگین کل در هر حالت از آرایش آبیاشها
				۷۹/۴			۷۸/۲		

\* قطر پاشش آبیاش ۵۴ متر است.

## ۳-۱- اثرات یگانه آرایش آبیاش‌ها بر یکنواختی توزیع آب

بررسی اثرات آرایش آبیاش‌ها بر یکنواختی توزیع آب با استفاده از آنالیز واریانس درون موردی در محیط نرم‌افزاری SPSS 11.5 انجام شد. نتایج آنالیز واریانس نشان داد که اثرات یگانه آرایش آبیاش‌ها در سطح احتمال ۰/۵ درصد تأثیر معنی‌داری بر ضریب یکنواختی دارد. به عبارت دیگر، تأثیر آرایش آبیاش‌ها بر یکنواختی توزیع آب حائز اهمیت است.

بر اساس جدول ۳ می‌توان نتیجه گرفت که آرایش مربعی و مثلثی به ترتیب دارای بیشترین و کمترین مقادیر ضریب یکنواختی هستند. در آرایش مربعی میزان همپوشانی آبیاش‌ها در جهت‌های طولی و عرضی یکسان است در صورتی که در آرایش‌های مستطیلی و مثلثی میزان تداخل آب آبیاش‌ها در جهت‌های مختلف متفاوت است. لازم به ذکر است که آرایش مثلثی به علت مشکلاتی که در مدیریت بهره‌برداری از سیستم‌های آبیاری بارانی نیمه متحرک به وجود می‌آورد، نظیر جابجا کردن آبیاش‌ها و لوله‌ها توصیه نمی‌شود.

## ۳-۲- اثرات یگانه فواصل آبیاش‌ها بر یکنواختی توزیع آب

بررسی اثرات فواصل آبیاش‌ها بر یکنواختی توزیع آب از ترکیب فواصل ۲۱، ۲۴ و ۳۰ متر و انتخاب حالت‌های شش‌گانه فواصل

آبیاش‌ها شامل ۲۱×۲۱، ۲۱×۲۴، ۲۱×۳۰، ۲۴×۲۴، ۲۴×۳۰ و ۳۰×۳۰ متر با استفاده از آنالیز واریانس درون موردی در محیط نرم‌افزاری SPSS 11.5 انجام شد.

نتایج آنالیز واریانس نشان داد که اثرات یگانه فواصل آبیاش‌ها در سطح احتمال ۰/۵ درصد تأثیر معنی‌داری بر ضریب یکنواختی دارد و تأثیر فواصل آبیاش‌ها بر یکنواختی توزیع آب بسیار حائز اهمیت است. از جدول ۳ و مقایسه مقادیر میانگین کل ضریب یکنواختی در هر حالت از فواصل آبیاش‌ها می‌توان نتیجه گرفت که برای کسب ضریب یکنواختی بیش از ۸۰ درصد می‌بایست فواصل آبیاش‌ها را برابر یا کمتر از ابعاد ۲۴×۲۴ متر در نظر گرفت. همچنین ضریب یکنواختی با کاهش فواصل آبیاش‌ها افزایش داشته است که علت آن همپوشانی بیشتر آبیاش‌ها در فواصل کمتر است.

### ۳-۳- اثرات متقابل آرایش و فواصل آبیاش‌ها بر یکنواختی توزیع آب

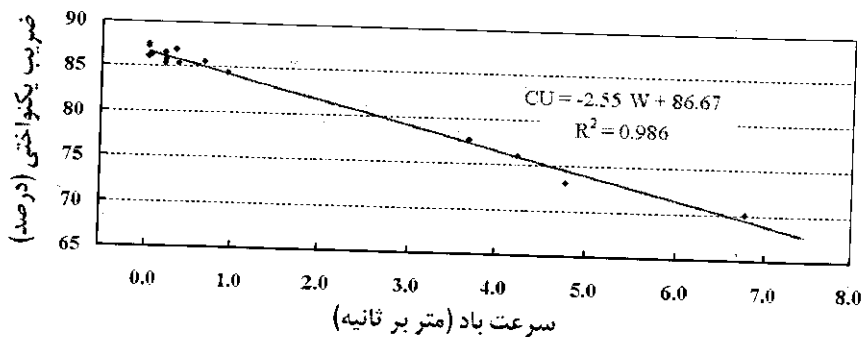
بررسی اثرات متقابل آرایش و فواصل آبیاش‌ها بر یکنواختی توزیع آب از ترکیب سه حالت آرایش مربعی، مستطیلی و مثلثی در حالت‌های شش گانه فواصل آبیاش‌ها با استفاده از آنالیز واریانس درون موردی نشان داد که اثرات متقابل آرایش و فواصل آبیاش‌ها نیز مانند اثرات یگانه آنها در سطح احتمال ۰/۵ درصد تأثیر معنی‌داری بر ضریب یکنواختی دارد.

با بررسی جدول ۳ و مقایسه مقادیر میانگین کل ضریب یکنواختی در هر حالت از فواصل آبیاش‌ها می‌توان نتیجه گرفت که مقادیر ضریب یکنواختی با کاهش فواصل آبیاش‌ها افزایش می‌یابد. این قضیه در همه حالت‌های آرایش آبیاش‌ها صادق است. همچنین در آرایش مثلثی با افزایش فواصل آبیاش‌ها بیشترین کاهش در مقادیر ضریب یکنواختی اتفاق می‌افتد.

با بررسی مقادیر میانگین کل ضریب یکنواختی در هر حالت از آرایش آبیاش‌ها در جدول ۳ مشخص گردید حداکثر فواصل آبیاش‌ها که بتواند ضریب یکنواختی بیش از ۸۰ درصد را ایجاد کند به ابعاد ۲۴×۲۴ متر و آرایش مربعی بدست می‌آید. در این حالت، نسبت فواصل آبیاش‌ها به قطر پاشش ۰/۴۴ است و با نظر کلر (۱۹۸۳) که مقدار ۰/۵ را برای آرایش مربعی پیشنهاد نموده نزدیک است.

۳-۴- اثرات باد بر یکنواختی توزیع آب باد از مهمترین عواملی است که بر یکنواختی توزیع آب تأثیر می‌گذارد. برای دستیابی به یک رابطه منطقی بین ضریب یکنواختی و سرعت باد از انواع نمودارها و معادلات در محیط نرم‌افزاری Excel 2003 استفاده شد و مشخص گردید که بیشترین همبستگی با استفاده از معادله خطی مطابق رابطه ۲ و شکل ۳ حاصل می‌شود. در رابطه زیر، ضریب یکنواختی (CU) بر حسب درصد و سرعت باد (W) بر حسب متر بر ثانیه است.

$$CU = -2.55 W + 86.67 \quad (R^2 = 0.986) \quad (2)$$



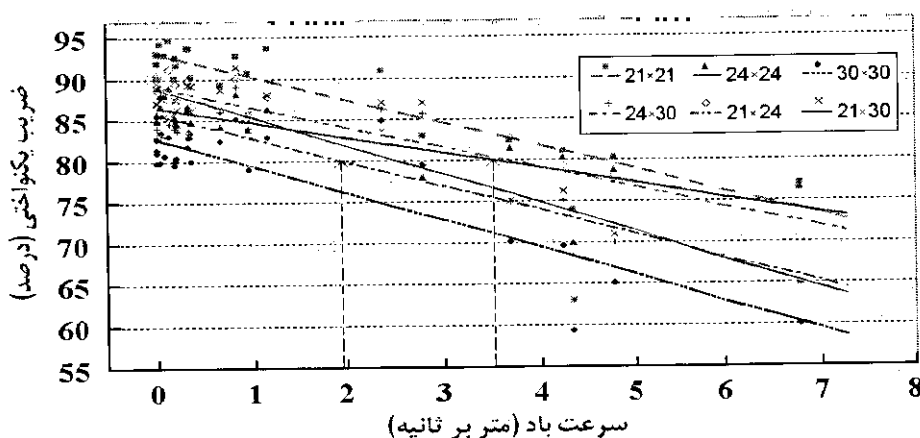
شکل ۳- نمودار تغییرات ضریب یکنواختی نسبت به سرعت باد

بررسی رابطه ۲ و شکل ۳ نشان می‌دهد که ضریب یکنواختی با افزایش سرعت باد به طور خطی کاهش می‌یابد. به طوری که

ضریب یکنواختی با افزایش یک متر بر ثانیه به سرعت باد به میزان  $2/55$  درصد کاهش می‌یابد. همچنین رابطه ۲ نشان می‌دهد که ضریب یکنواختی در شرایط وزش بادهای با سرعت بیش از  $4/2$  متر بر ثانیه از  $76$  درصد کمتر خواهد شد. لذا بنابر نظر محققین در شرایط وزش بادهای با سرعت بیش از  $15$  کیلومتر بر ساعت آبیاری بارانی توصیه نمی‌شود.

### ۳-۵- اثرات متقابل باد و فواصل آبیاش‌ها بر یکنواختی توزیع آب

بررسی جدول ۳ و شکل ۴ نشان می‌دهد که ضریب یکنواختی با افزایش سرعت باد در همه حالت‌های فواصل آبیاش‌ها به طور خطی کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر، ضریب یکنواختی با افزایش نسبت فواصل آبیاش‌ها به قطر پاشش کاهش یافته است. بررسی معادلات نمودارهای سرعت باد- ضریب یکنواختی در شکل ۴ نشان داد که در شرایط وزش بادهای آرام با سرعت کمتر از  $1/94$  متر بر ثانیه ( $7$  کیلومتر بر ساعت) می‌توان ضریب یکنواختی بیش از  $80$  درصد را با انتخاب حداکثر فواصل آبیاش‌ها به ابعاد  $24 \times 30$  متر بدست آورد.



شکل ۴- نمودار اثرات متقابل باد و فواصل آبیاش‌ها بر ضریب یکنواختی

معادله نمودار فواصل آبیاش‌ها با ابعاد  $24 \times 30$  متر در شکل ۴ به صورت زیر است از:

$$CU = -2.94 W + 85.7 \quad (R^2 = 0.71) \quad (3)$$

مطابق شکل ۴، در صورتی که سرعت باد از  $1/94$  متر بر ثانیه بالاتر رفته و به  $3/52$  متر بر ثانیه برسد، آنگاه حداکثر فواصل آبیاش‌ها که بتواند ضریب یکنواختی بیش از  $80$  درصد را ایجاد کند با آرایش مربعی و ابعاد  $24 \times 24$  متر است. معادله نمودار  $24 \times 24$  متر به صورت زیر است از:

$$CU = -1.84 W + 86.5 \quad (R^2 = 0.67) \quad (4)$$

فائو (۱۹۹۰) سرعت باد  $3/5$  متر بر ثانیه را مرز کاربرد آبیاری بارانی قرار داده است. لذا ابعاد  $24 \times 24$  متر را می‌توان حداکثر فواصل آبیاش‌ها در شرایط وزش بادهای با سرعت آرام تا متوسط دانست و کاربرد آن را برای مناطق نسبتاً بادخیز توصیه کرد. مقایسه نمودارهای شکل ۴ نشان می‌دهد که شیب نمودار فواصل آبیاش‌ها در ابعاد  $24 \times 24$  متر در مقایسه با سایر ابعاد کمتر است. به عبارت دیگر، در حالتی که فواصل آبیاش‌ها به ابعاد  $24 \times 24$  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 سیستم‌های آبیاری بارانی که با فشار آب بیش از ۴/۵ اتمسفر کار می‌کنند به دلیل قدرت زیاد جت آب خروجی از نازل بزرگتر و مقاومت در برابر باد بر حسب‌ضرورت می‌توان در مناطق بادخیز استفاده کرد. در این حالت می‌بایست فواصل آبیاش‌ها را به ابعاد ۲۱×۲۱ متر انتخاب کرد. معادله نمودار فواصل آبیاش‌ها به ابعاد ۲۱×۲۱ متر به صورت زیر است از:

$$CU = -2.8 W + 93 \quad (R^2 = 0.84) \quad (5)$$

بنابراین با در نظر گرفتن ضریب یکنواختی ۸۰ درصد به عنوان معیار طراحی فواصل آبیاش‌ها در شرایط مختلف وزش باد می‌توان جدول ۴ را توصیه نمود.

جدول ۴- انتخاب فواصل آبیاش‌ها نسبت به سرعت باد

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

جدول ۵ با ساده تر کردن نسبت فواصل آبیاش‌ها به قطر پاشش از جدول ۳ بدست آمد.

جدول ۵- انتخاب نسبت فواصل آبیاش‌ها به قطر پاشش با توجه به سرعت باد

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

به لحاظ سهولت عملیات اجرایی و تصحیح ابعاد زمین از نظر قطعه بندی ها توصیه می شود که از جدول ۶ جهت انتخاب فواصل آبیاش‌ها استفاده گردد.

جدول ۶- انتخاب فواصل آبیاش‌ها با توجه به سرعت باد

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

نتایج مندرج در جدول ۵ در سه بازه سرعت باد با نظرات کلر (۱۹۸۳)، وزارت کشاورزی امریکا، مؤسسه فن‌آوری کشاورزی کالیفرنیا (۱۹۹۰)، فرای-گرای (۱۹۷۱) و فائو (۲۰۰۰) 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 ۴/۲ اتمسفر انجام شده که نتیجه آن انتخاب فواصل آبپاش‌ها در دامنه ۱۲ تا ۱۸ متر است.

آبپاش‌های دو نازله در شرایط ورزش بادهای آرام همپوشانی بهتری ایجاد می‌کنند به خصوص آنکه اندازه نازل‌های آنها تفاوت چندانی با هم نداشته باشند. لکن در شرایط ورزش بادهای شدید توصیه شده که از آبپاش‌های تک نازله استفاده شود زیرا مقاومت لازم در برابر نیروی پراکنش باد با تشکیل یک جت قوی آب ایجاد می‌گردد. این عمل در آبپاش‌های سه نازله (۳/۲+۶/۳+۱۱) با استفاده از نازل ۱۱ میلیمتری انجام می‌شود زیرا اندازه آن تقریباً دو برابر دیگر نازل‌ها بوده و خروج بخش اعظم آب از آن صورت می‌گیرد. نتایج تحقیقات مؤسسه فن‌آوری کشاورزی کالیفرنیا (۱۹۹۰) نشان داد که تشکیل جت قوی آب در شرایط ورزش بادهای با سرعت بیش از ۱۵ کیلومتر بر ساعت می‌تواند باعث بهبود یکنواختی توزیع آب گردد.

الف- سرعت باد ۷-۰ کیلومتر بر ساعت

نظرات محققین در این بازه بسیار نزدیک به هم است. آنها حداکثر نسبت فواصل آبپاش‌ها به قطر پاشش را در جهت لوله‌های فرعی ۰/۴ و در جهت لوله اصلی ۰/۶۵ پیشنهاد نمودند که مبین آرایش مستطیلی بوده و جنبه اقتصادی مد نظر است. این مقادیر در جدول ۵ به ترتیب ۰/۴۵ و ۰/۵۵ است که متمایل به آرایش مربعی می‌باشد. همچنین توصیه کلر (۱۹۸۳) با آرایش مربعی مقدار ۰/۵ است.

نتایج تحقیق حاضر نشان می‌دهد فواصل آبپاش‌ها را که در اکثر نقاط ایران بدون توجه به سرعت باد در هر منطقه  $۲۵ \times ۳۰$  متر در نظر می‌گیرند تنها برای مناطق بدون باد یا ورزش بادهای با سرعت کمتر از ۷ کیلومتر بر ساعت قابل توصیه است.

ب- سرعت باد ۱۴-۷ کیلومتر بر ساعت

اکثر محققین نظیر کلر (۱۹۸۳)، مؤسسه فن‌آوری کشاورزی کالیفرنیا (۱۹۹۰) و وزارت کشاورزی آمریکا توصیه نمودند از آرایش مربعی و مقدار ۰/۵ جهت انتخاب نسبت فواصل آبپاش‌ها به قطر پاشش استفاده گردد که به مقدار ۰/۴۵ در جدول ۵ نزدیک است.

ج- سرعت باد بیش از ۱۴ کیلومتر بر ساعت

مقادیر پیشنهادی وزارت کشاورزی آمریکا، فرای-گری (۱۹۷۱) و مؤسسه فن‌آوری کشاورزی کالیفرنیا (۱۹۹۰) برای انتخاب نسبت فواصل آبپاش‌ها به قطر پاشش در جهت لوله‌های اصلی و فرعی به ترتیب حدود ۰/۳ و ۰/۵ است. ضمن آنکه فائو (۲۰۰۰) آرایش مربعی با مقدار ۰/۵ را توصیه نمود. جدول ۵ مقدار ۰/۴ را نشان می‌دهد که مانند حالت‌های قبلی بیانگر آرایش مربعی است. بر اساس نظر محققین در صورت ضرورت کاربرد آبیاری بارانی در مناطق بادخیز بهتر است که طراحی لوله‌های اصلی در جهت ورزش باد انجام گیرد. در این حالت می‌توان فواصل آبپاش‌ها را در جهت لوله‌های اصلی ۴۰ تا ۶۰ درصد بیش از فواصل آبپاش‌ها در جهت لوله‌های فرعی در نظر گرفت و به یکنواختی توزیع مناسبی نیز دست یافت.

#### ۴- پیشنهادات

در اینجا خلاصه نتایج تحقیق به همراه پیشنهادهایی جهت طراحی و کاربرد صحیح و اصولی سیستم آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک ارائه می‌گردد:

۱- با افزایش سرعت باد در همه آرایش‌ها و فواصل آبیاش‌ها ضریب یکنواختی کاهش می‌یابد. رابطه ۲ نشان داد که رابطه بین ضریب یکنواختی و سرعت باد خطی است. به طوری که ضریب یکنواختی با افزایش یک متر بر ثانیه به سرعت باد به میزان  $2/55$  درصد کاهش می‌یابد.

رابطه ۲ نشان می‌دهد که ضریب یکنواختی در شرایط وزش بادهای با سرعت بیش از ۱۵ کیلومتر بر ساعت از ۷۶ درصد کمتر خواهد شد. لذا حتی الامکان در شرایط وزش بادهای با سرعت بیش از ۱۵ کیلومتر بر ساعت آبیاری بارانی صورت نگیرد و در شرایط

ضروری از آرایش مربعی با نسبت فواصل آبیاش‌ها به قطر پاشش  $0/4$  و فشار آب کم استفاده گردد. جدول ۶ از دستاوردهای تحقیق حاضر جهت انتخاب فواصل آبیاش‌ها است. جدول مذکور نشان می‌دهد حداکثر فواصل آبیاش‌ها که بتواند ضریب یکنواختی بیش از ۸۰ درصد را در شرایط وزش بادهای با سرعت بیش از ۲ متر بر ثانیه ایجاد کند به ابعاد  $25 \times 25$  متر و آرایش مربعی است.

### منابع و مأخذ:

۱. پورمحسنی، عباسعلی. ۱۳۷۷. بررسی وضعیت و عملکرد آبیاری بارانی در استان خوزستان. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده کشاورزی. دانشگاه شهید چمران اهواز.
۲. شیخ اسماعیلی- امید. ۱۳۸۲. بررسی یکنواختی توزیع آب و تلفات تبخیر و باد در سیستم آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبیاش 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. Fry, A.W. and Gray, A.S. 1971. Sprinkler irrigation handbook. Rainbird Sprinkler Manufacturing Corporation. Glendora, California.
6. ISO-7749/1. 1986. part 1. Design and operational requirements. Agricultural Irrigation Equipment- Rotating Sprinklers.
7. ISO-7749/2. 1990. part 2. Uniformity of distribution and test methods. Agricultural Irrigation Equipment-Rotating Sprinklers.
8. Keller, J. 1983. USDA-SCS, national engineering handbook section 15. Irrigation, Sprinkler Irrigation.
9. Keller, J. and Bliesner, R.D. 1990. Sprinkler and trickle irrigation. AVI Book. Van Nostrand Reinhold. New York, USA
10. 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.
11. Pair, C.H. 1968. Water distribution under sprinkler Irrigation. Trans. ASAE. 11(5): pp. 648-651.
12. Phocaidés, A. 2000. Technical handbook on pressurized irrigation techniques. Food and Agriculture Organization of the United Nations -FAO. pp. 101.
13. Seginer, I. and Kostrinsky, M. 1975. Wind sprinkler patterns and system design. Journal of Irrigation and Drainage Division. ASCE. 101(TR4): pp. 251-264.
14. Solomon, K.H. 1990. Sprinkler irrigation uniformity. Irrigation Notes, Publication of California Agriculture Technology Institute (CATI). No. 900803: pp. 3-4.
15. Tarjuelo, J. 1992. Working condition of sprinkler to optimize application of water. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 118(6): pp. 895-913.



# Analysis of Sprinklers Layout and Spacing Effects on Sprinkler Uniformity in Semi-Portable Sprinkling Irrigation system

**O. Sheikhesmaeili**

*Master of Science (Irrigation & Drainage)*

**S. Broumand-nasab**

*Associate Prof. of Irrigation, respectively, College of Agric., Shahid Chamran Univ., Ahwaz, Iran*

**H. Moosavi-Jahromi**

*Assistant Prof. of Irrigation, respectively, College of Agric., Shahid Chamran Univ., Ahwaz, Iran*

## Abstract

A proper understanding of factors affecting water distribution uniformity in sprinkler irrigation is important for developing water conservation strategies. The purpose of this study was to determine uniformity in semi-portable sprinkler irrigation system under different wind speed. The main factors affecting uniformity (i.e. sprinkler spacing and layout and wind speed) with this system were analyzed. The standard ISO 7749/2 has been taken into account to determine uniformity. The type of field test was conducted under single sprinkler condition in south-east region of khouzeestan province. The investigations showed that higher CU values are attained with square-shaped spacing. Results also showed that uniformity decreased as wind speed increased under all options of sprinklers layout and spacing. The most suitable sprinkler spacing in order to obtain acceptable uniformity (80%) seems to be to locate sprinklers 25×25m when wind speed are higher than 2m/s.

**Keywords:** Sprinkler Irrigation, Sprinklers Layout and Spacing, Uniformity, Wind.