

## مطالعه اثر سرعت باد، فشار کارکرد آبیاری و شیب زمین بر یکنواختی توزیع رطوبت خاک در روش آبیاری بارانی

\*علی اصغر منتظر

استادیار گروه مهندسی آبیاری و زهکشی پردیس ابوریحان دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۸۶/۶/۱۲؛ تاریخ پذیرش: ۸۷/۱/۲۸

### چکیده

این تحقیق به منظور مطالعه اثر سرعت باد، فشار کارکرد آبیاری و شیب زمین بر یکنواختی توزیع رطوبت خاک در اراضی مجهز به سیستم آبیاری بارانی ثابت انجام گردید. بدین منظور، ۶ پلات با ابعاد ۲۵×۳۰ متر با شیب زمین متفاوت ۱۳/۴-۱/۳ درصد در شبکه آبیاری بارانی بیل سوار مغان انتخاب شد. برای هر پلات، آزمایش‌های ارزیابی یکنواختی توزیع آب و رطوبت خاک در ۳ تکرار انجام گردید. در آزمایش‌های مربوط به هر پلات، عمق آب آبیاری و رطوبت خاک در هر آزمایش به ترتیب در ۱۲۱ و ۱۰۰ نقطه اندازه‌گیری شد. در طول انجام آزمایش‌ها، شدت جریان و فشار کارکرد آبیاری، سرعت باد، رطوبت نسبی و دمای هوا پایش گردید. با توجه به بازه تغییرات سرعت باد، فشار کارکرد آبیاری و شیب زمین، مقدار ضریب یکنواختی درصد رطوبت خاک در آزمایش‌های انجام شده بین ۶۴ تا ۸۸ درصد متغیر بود. براساس نتایج به‌دست آمده، رابطه‌ای بین ضریب یکنواختی توزیع رطوبت خاک با دو پارامتر شیب بستر و ضریب یکنواختی توزیع آب استخراج شد. آنالیز حساسیت این رابطه نشان داد، ضریب یکنواختی توزیع رطوبت خاک نسبت به پارامتر یکنواختی توزیع آب در مقایسه با پارامتر شیب بستر از حساسیت بیشتری برخوردار است. ضریب یکنواختی توزیع آب نیز به صورت تابعی از دو عدد بدون بعد سرعت باد و فشار کارکرد نرمالیزه آبیاری بیان گردید. براساس یافته‌های این تحقیق، وابستگی ضریب یکنواختی توزیع آب به پارامتر سرعت باد در مقایسه با فشار کارکرد سیستم بیشتر بوده و از این رو می‌توان نتیجه گرفت که تأثیر سرعت باد در غیریکنواختی توزیع رطوبت خاک به مراتب بیشتر از شیب زمین و فشار کارکرد آبیاری است. البته بهبود مدیریت فشار کارکرد سیستم در مناطق بادخیز تأثیر نسبتاً بیشتری بر بهبود وضعیت پخش آب نسبت به مناطق با سرعت باد پایین دارد. نتایج این تحقیق موید برتری مقدار ضریب یکنواختی توزیع رطوبت خاک نسبت به مقدار ضریب یکنواختی توزیع آب در سطح مزرعه می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری بارانی، سرعت باد، شیب زمین، فشار آبیاری، رطوبت خاک، یکنواختی پخش آب

### مقدمه

عوامل مختلف مربوط به سیستم، محیط و مدیریت است. شناخت آثار این عوامل و ارائه برنامه‌ها و راهکارهایی به‌منظور بهبود کارایی و ارتقای یکنواختی پخش آب در این سیستم‌ها از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد. با توجه به وابستگی میزان تولید و عملکرد محصول با مقدار

یکنواختی پخش آب در روش‌های آبیاری بارانی که به نوعی بیانگر عملکرد این سیستم‌ها نیز می‌باشد، متأثر از

و یکنواختی توزیع رطوبت خاک (عمق توسعه ریشه)، بررسی ارتباط توزیع آب در سطح و زیر سطح خاک نیز اهمیت ویژه‌ای دارد. از این‌رو، زمینه اصلی تحقیقات آبیاری بارانی بیشتر بر روی مطالعه اثر پارامترهای مختلف از قبیل فشار کارکرد سیستم و سرعت باد بر یکنواختی توزیع آب در سطح خاک و یا اثر یکنواختی توزیع آب در سطح خاک بر یکنواختی توزیع رطوبت خاک متمرکز بوده و می‌باشد. در زیر به برخی از نتایج فعالیت‌های پژوهشی انجام شده در این رابطه اشاره می‌شود.

مطالعات انجام شده نشان می‌دهد در بسیاری از موارد مقدار ضریب یکنواختی پخش آب در روش‌های آبیاری بارانی از مقادیر مورد انتظار کمتر است (والین و همکاران، ۲۰۰۳). مطالعه میربهرسی و عصاره (۲۰۰۶) بر روی تعدادی از طرح‌های الگویی روش‌های آبیاری بارانی در استان خوزستان نشان داد که از ۲۵ طرح الگوی مورد مطالعه، تنها یک طرح از کارآیی مناسبی برخوردار بود. نامناسب بودن فشار کارکرد و توزیع غیریکنواخت آن، فواصل نامناسب آبیاری، طول نامناسب لوله‌های جانبی و عدم مدیریت و نگهداری صحیح سیستم عمده‌ترین دلایل ناکارآمدی این سیستم‌ها عنوان گردید. کیانی (۱۹۹۹) در مطالعه‌ای سامانه‌های آبیاری بارانی منطقه گرگان و گنبد را ارزیابی نموده و علل اصلی پایین بودن یکنواختی توزیع آب و راندمان آبیاری را فاصله زیاد آبیاری، کم بودن مقدار فشار و دور آبیاری زیاد برشمرد. دروتا و همکاران (۲۰۰۱) در دانشگاه فلوریدا نشان دادند که پخش یکنواخت آب به‌عنوان یک شرط اساسی و لازم برای ماکزیمم کردن راندمان کاربرد، مصرف بهینه و ذخیره آب می‌باشد. لی (۱۹۹۸) بررسی‌هایی را بر روی روش‌های آبیاری بارانی در کشور چین انجام داد. این بررسی نشان داد میزان تولید محصول با افزایش یکنواختی پخش آب افزایش می‌یابد. نتایج این تحقیق نشان داد، توزیع رطوبت در خاک یکنواختی بیشتری نسبت به مقدار اندازه‌گیری شده یکنواختی پخش آب در روی سطح خاک دارد. این نتیجه در یافته‌های تحقیقاتی استرن و برسلر

(۱۹۸۳)، و لی و راثو (۲۰۰۰) نیز مورد تأیید قرار گرفته است. هارت (۱۹۷۲) همبستگی یکنواختی توزیع آب در سطح و زیرسطح خاک را در اثر فرآیند آبیاری بارانی با استفاده از نتایج شبیه‌سازی یک مدل ساده انتقال جریان مورد مطالعه قرار داد. نتایج این تحقیق نیز نشان داد که یکنواختی توزیع رطوبت زیر سطح خاک همواره بیشتر از یکنواختی توزیع آب در سطح خاک است. همبستگی عملکرد محصول و توزیع رطوبت خاک با استفاده از توزیع‌های مختلف احتمالاتی نیز توسط وریک و گاردنر (۱۹۸۳) مورد ارزیابی قرار گرفت. یافته‌های این تحقیق نشان داد که نتایج وابستگی زیادی به توزیع احتمالاتی ندارد. مدلی برای تعیین توزیع مکانی رطوبت خاک در مزرعه مجهز به سیستم آبیاری بارانی عقب‌به‌ای براساس مشاهدات و ارزیابی‌های مزرعه‌ای توسط ایونس و همکاران (۱۹۹۵) توسعه داده شد. سینروس و همکاران (۱۹۹۹) عملکرد سیستم‌های آبیاری بارانی اجرا شده در اراضی با شیب بیشتر از ۱۲ درصد را در کشور اکوادور مورد ارزیابی قرار دادند. آنها توصیه کردند که در شرایط بادخیز و اراضی شیب‌دار، سعی شود لوله‌های رایزر به‌صورت عمودی نصب گردیده و حداکثر فاصله بین آبیاری‌ها ۱۲ × ۱۲ متر در نظر گرفته شوند. در آزمایش‌های انجام شده در این تحقیق، حداکثر مقدار ضریب یکنواختی توزیع آب ۶۸ درصد گزارش گردید.

سرعت باد یکی از مهمترین پارامترهای محیطی است که نقش تعیین‌کننده‌ای در طراحی و شیوه بهره‌برداری سیستم آبیاری بارانی دارد. هارت و همکاران (۱۹۷۹) در مطالعه‌ای اثر باد را بر روی راندمان توزیع آب در سیستم‌های بارانی مورد مطالعه قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که هر چه سرعت باد افزایش یابد، یکنواختی توزیع آب کمتر می‌شود. تعدادی از محققین معتقدند باد مهمترین پارامتر اقلیمی مؤثر بر عملکرد سیستم‌های آبیاری بارانی است (کلر و بلیسنر، ۱۹۹۰؛ کین ساید و همکاران، ۱۹۹۶؛ سگینر، ۱۹۸۷؛ دچیمی و همکاران، ۲۰۰۳). معیارهای طراحی سیستم‌های بارانی در

در سطح کشور و از طرفی عدم شناخت کافی از اثر توامان این پارامترها بر چگونگی توزیع آب و عملکرد این سیستم‌ها لزوم انجام تحقیقات کاربردی در این زمینه ضروری به نظر می‌رسد. این تحقیق با هدف بررسی مزرعه‌ای اثر این سه پارامتر بر یکنواختی توزیع رطوبت خاک در سیستم‌های آبیاری بارانی ثابت با آبیاش متحرک تعریف و اجرا گردید.

### مواد و روش‌ها

موقعیت پلات‌های آزمایشی: پلات‌های آزمایشی از شبکه آبیاری بارانی بیل‌سوار در جلگه حاصل‌خیز مغان واقع در استان اردبیل انتخاب گردید. اراضی کشاورزی این منطقه تا قبل از سال ۱۳۸۴ به‌علت عدم امکان آبیاری از کانال اصلی مغان، به‌صورت دیم و با عملکرد بسیار پائین مورد بهره‌برداری قرار می‌گرفت. از اردیبهشت ۱۳۸۴ پس از اتمام مراحل اجرایی شبکه آبیاری بارانی بیل‌سوار، آب موردنیاز اراضی شبکه که وسعت آن ۳۲۰۰ هکتار می‌باشد، از کانال اصلی شبکه اصلی مغان و توسط یک ایستگاه پمپاژ مرکزی (ایستگاه مرکزی شماره ۸ مغان) با ظرفیت  $3 \text{ m}^3/\text{s}$  تأمین گردید. آب مورد نیاز اراضی طرح پس از پمپاژ در یک مخزن به حجم ۲۰۰۰۰ مترمکعب ذخیره شده و سپس از طریق سه رشته کانال و توسط ۲۱ ایستگاه پمپاژ ثانویه در سطح ۲۱ واحد زراعی توزیع می‌شود. سیستم توزیع آب از نوع کلاسیک ثابت با آبیاش متحرک بوده که فاصله استقرار آبیاش‌ها  $25 \times 30$  متر و آرایش آنها از نوع مستطیلی است. آبیاش‌ها از نوع VYR-155 با سه نازل به قطر روزنه  $11 \times 6/3 \times 3/2$  میلی‌متر بودند. فشار و شدت پخش متوسط آبیاش به ترتیب معادل ۴ بار و  $6/2$  میلی‌متر بر ساعت بود. براساس نتایج آزمایش‌های انجام گرفته بر روی نمونه‌های خاک پلات‌های آزمایشی، بافت لایه سطحی خاک لوم رسی سیلتی با جرم مخصوص ظاهری  $1/4$  گرم بر سانتی‌مترمکعب، رطوبت حجمی خاک در حد اشباع و ظرفیت زراعی به ترتیب ۴۸ و ۳۷ درصد و نفوذپذیری

مناطق بادخیز توسط کلر و بلیسنر (۱۹۹۰) و سگینر و همکاران (۱۹۹۱) ارائه شد. تارجوئلو و همکاران (۱۹۹۹) مطالعه‌ای را در مورد فاکتورهای مؤثر بر آب‌کابردی و تلفات بادبردگی در سیستم‌های کلاسیک ثابت و سنتریپوت در یک منطقه خشک در اسپانیا انجام دادند. آنها مدلی را به‌منظور برآورد مقدار افت ناشی از تبخیر و بادبردگی ارائه نمودند. در این مدل اثرات نوع آبیاش، ترکیب نازل، کمبود فشار بخار و سرعت باد مدنظر قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد که ضریب یکنواختی توزیع آب با سرعت باد تا ۲۰ کیلومتر بر ساعت به‌صورت خطی کاهش یافته و از آن به بعد با شدت بیشتری کاهش می‌یابد. شیخ اسماعیلی (۲۰۰۶) به مطالعه تلفات تبخیر و باد در سیستم آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبیاش متحرک پرداخت. نتایج این تحقیق نشان داد که با افزایش سرعت باد از ۱۵ کیلومتر بر ساعت و کمبود فشار بخار اشباع محیط از حدود ۶ کیلوپاسکال میزان تلفات تبخیر و بادبردگی از ۱۸ درصد تجاوز کرد. تارجوئلو و همکاران (۲۰۰۰) با مطالعه اثر فشار آب، نوع آبیاش، ارتفاع ریزر و شرایط مختلف جوی (دما و رطوبت نسبی هوا)؛ تلفات تبخیر و بادبردگی آب در سیستم‌های بارانی را مورد بررسی قرار دادند. آنها بدین‌منظور یک مدل خطی نیز توسعه داده و نتایج مدل را با نتایج مشاهده‌ای مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که دقت مدل در برآورد میزان تلفات تبخیر و بادبردگی مطلوب بوده و می‌تواند در ارائه گزینه‌های مدیریتی به‌منظور کاهش سهم تلفات مزبور در سیستم‌های بارانی کارآیی مناسبی داشته باشد.

بررسی نتایج تحقیقات بیانگر آن است که سرعت باد، فشار کارکرد آبیاش و شیب بستر مزرعه از جمله مهمترین عوامل مؤثر بر یکنواختی توزیع رطوبت خاک می‌باشند. نظر به روند توسعه سیستم‌های آبیاری بارانی ثابت با آبیاش متحرک در اراضی شیب‌دار و تپه‌ای و تبدیل اراضی دیم به کشت آبی مجهز به این روش‌ها (که در مواردی این اراضی در مناطق با سرعت بادهای شدید قرار دارند)

متوسط خاک ۵/۲۱ میلی متر بر ساعت بود. لازم به ذکر است که اراضی تپه‌ای با شیب بستر متفاوت، عمومی ترین مشخصه اراضی کشاورزی منطقه به‌شمار می‌آید.

**اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای:** به‌منظور انجام این تحقیق، ۶ پلات (I-VI) با ابعاد ۲۵×۳۰ متر در سه زیر واحد U<sub>1</sub>، U<sub>2</sub> و U<sub>3</sub> از شبکه آبیاری موردنظر انتخاب شد. شیب بستر پلات‌های I تا VI به‌ترتیب ۱۳/۴، ۶/۶۷، ۲/۲، ۱/۳، ۶/۳، ۸/۴ درصد بود. کلیه شرایط مربوط به سیستم آبیاری و نوع خاک در پلات‌ها مشابه بودند. در کلیه آزمایش‌ها، سعی شد شروع آبیاری در رطوبت اولیه ثابتی از خاک انجام گردید. بدین‌منظور از چند روز قبل از هر آبیاری، رطوبت خاک مورد پایش قرار گرفت. آبیاری در کلیه پلات‌ها زمانی انجام گرفت که ضریب یکنواختی توزیع رطوبت خاک قبل از آبیاری بیش‌تر از ۹۷ درصد و مقدار میانگین رطوبت در پلات‌ها معادل ۳/۸ درصد بود. به تعبیر دیگر، فرض رطوبت اولیه ثابت در این تحقیق، یکنواختی توزیع رطوبت خاک در حد ۹۷ درصد می‌باشد.

برای هر پلات، آزمایش ارزیابی یکنواختی توزیع آب و همچنین پایش رطوبت خاک در ۳ تکرار (در روزها و ساعات مختلف) انجام شد. بدین ترتیب، با توجه به تغییرات سرعت باد طی یک روز و در روزهای متفاوت سرعت باد در منطقه، آزمایش در طیف گسترده‌ای از سرعت باد صورت پذیرفت. زمان انجام هر آزمایش ۲ ساعت در نظر گرفته شد که طی دو مرحله یک ساعته صورت پذیرفت. در هر یک از این مراحل، دو آبپاش گوشه‌های شبکه مستطیلی واقع بر روی یک لوله فرعی، آبیاری نموده و در پایان عمق آب در لیوان جمع‌آوری آب اندازه‌گیری شد. شکل ۱ محدوده شبکه اندازه‌گیری عمق آب و نقاط پایش رطوبت را در یکی از پلات‌های آزمایشی نمایش می‌دهد. به‌طورکلی در هر آزمایش در هر پلات، عمق آب توزیع شده در ۱۲۱ نقطه و رطوبت خاک در ۱۰۰ نقطه اندازه‌گیری و پایش شد. در هر آزمایش دبی آبپاش‌ها به روش حجمی و فشار کارکرد آبپاش‌ها توسط لوله پیتو اندازه‌گیری گردید. تغییرات سرعت باد نیز با

دقت یک دقیقه توسط یک بادسنج دیجیتالی در طول زمان انجام آزمایش‌ها اندازه‌گیری و ثبت شد. برای اندازه‌گیری رطوبت نسبی و دمای هوا به‌ترتیب از رطوبت‌سنج عقربه‌ای و دماسنج جیوه‌ای استفاده شد. رطوبت خاک در نقاط موردنظر به‌روش مستقیم (نمونه‌برداری پس از گذشت ۲۴ ساعت از زمان آبیاری و خشک نمودن در گرمخانه) در عمق ۱۰ سانتی‌متری اندازه‌گیری شد. آزمایش‌ها براساس روش ارائه شده مریام و کلر (۱۹۷۸) انجام شد و استانداردهای ASAE (۱۹۹۴) نیز مدنظر قرار گرفت. در این استانداردها، نحوه انجام ارزیابی یکنواختی توزیع آب، چیدمان قوطی‌های جمع‌آوری آب و زمان انجام آزمایش مشخص و توصیه‌هایی در کلیه این موارد شده است. آزمایش‌ها در طول ماه‌های مرداد و شهریور سال ۱۳۸۵ که جزو ماه‌های پر باد منطقه می‌باشد، انجام شد.

**شاخص‌های ارزیابی:** به‌منظور ارزیابی یکنواختی توزیع آب و رطوبت خاک در پلات‌های مورد مطالعه از دو شاخص ضریب یکنواختی توزیع کریستیان سن (CU) و یکنواختی توزیع (DU) استفاده گردید (رابطه‌های ۱ و ۲):

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

$$DU = 100 \times \frac{x_{iq}}{\bar{x}} \quad (2)$$

این رابطه‌ها  $x_i$ ،  $\bar{x}$ ،  $x_{iq}$  و  $n$  به‌ترتیب عمق آب تجمع یافته (یا رطوبت خاک) در نقطه شماره  $i$  از شبکه اندازه‌گیری، عمق متوسط آب تجمع یافته (یا رطوبت خاک) در نقاط شبکه اندازه‌گیری، متوسط عمق آب (یا رطوبت خاک) در یک چهارم نقاط شبکه اندازه‌گیری که کمترین آب را دریافت کرده‌اند و تعداد نقاط در شبکه اندازه‌گیری می‌باشد.

یکنواختی کاربرد آب را می‌توان به‌صورت تابعی از سرعت باد و فشار کارکرد آبپاش‌ها نشان داد. به‌منظور استخراج رابطه بی بعد این همبستگی، مقادیر نرمالیزه

نتایج نشان می‌دهد که در بازه زمانی انجام آزمایش، پارامترهای رطوبت نسبی و سرعت باد تغییرات زیادی داشته، ولی در درجه حرارت هوا تغییرات شدیدی به‌وقوع نپیوسته است. بررسی تغییرات سرعت باد بیانگر آن است که مقدار کمی سرعت باد در طول بازه زمانی آزمایش بین ۰/۱ و ۱۰/۳۶ متر بر ثانیه متغیر بوده است. مقایسه انحراف معیار و ماکزیمم سرعت باد در طول هر آزمایش نشان می‌دهد که تغییرات سرعت باد نه تنها در آبیاری‌های مختلف بلکه در طول زمان انجام هر آزمایش نیز قابل توجه می‌باشد. در این رابطه بیشترین و کمترین مقدار انحراف معیار به آزمایش شماره ۱ پلات II (۱/۹۵ متر بر ثانیه) و آزمایش شماره ۱ پلات I (۰/۵۱ متر بر ثانیه) مربوط می‌شود. در این دو آزمایش، سرعت متوسط باد در طول انجام آزمایش به ترتیب معادل ۶/۲ و ۲/۱ متر بر ثانیه است.

پارامتر سرعت باد ( $W_s^*$ ) و فشار کارکرد آبیاش ( $P_a^*$ ) مورد استفاده قرار گرفت. مقدار نرمالیزه این دو پارامتر با استفاده از رابطه‌های زیر تعیین شد:

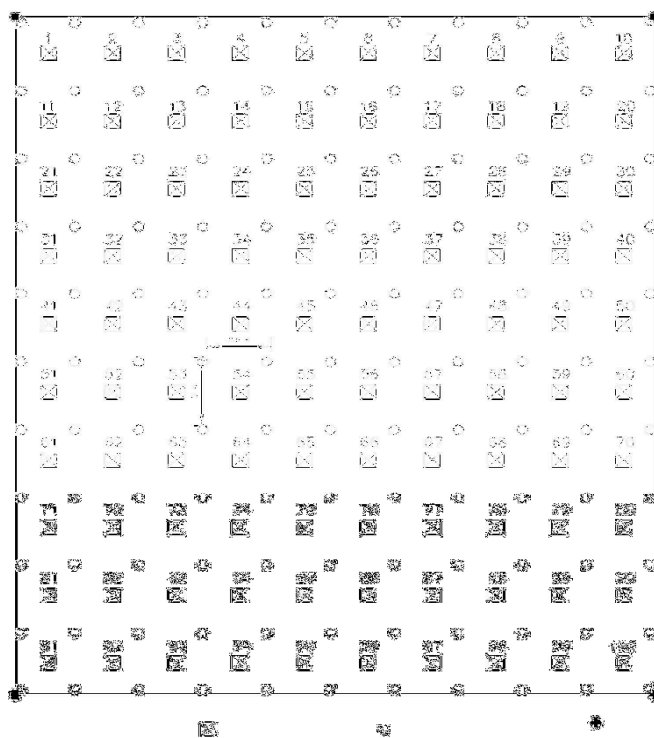
$$W_s^* = \frac{W_s}{W} \quad (3)$$

$$P_a^* = \frac{P_a}{P_a} \quad (4)$$

که در آن  $W_s$  مقدار متوسط سرعت باد در طول آزمایش،  $\bar{W}$  مقدار متوسط سرعت باد در طول فصل انجام آزمایش،  $P_a$  فشار متوسط کارکرد آبیاش در طول آزمایش و  $\bar{P}_a$  فشار کارکرد استاندارد آبیاش است.

## نتایج و بحث

تغییرات پارامترهای اقلیمی و فشار کارکرد آبیاش در طول انجام آزمایش: در جدول ۱ مقدار میانگین پارامترهای سرعت باد، رطوبت نسبی و درجه حرارت هوا در طول انجام هر آزمایش ارائه شده است.



شکل ۱- شبکه لیوان‌های اندازه‌گیری عمق آب و نقاط پایش رطوبت در پلات‌ها.

در شکل ۲ مقدار نرمالیزه دو پارامتر فشارکارکرد ( $P_a^*$ ) و دبی آبپاش‌ها در طول انجام هر یک از آزمایش‌های مربوط به پلات‌ها نشان داده شده است. مقدار نرمالیزه دبی آبپاش در هر آزمایش معادل نسبت مقدار میانگین دبی آبپاش در طول انجام آزمایش به مقدار دبی اسمی آبپاش در نظر گرفته شد. نتایج نشان می‌دهد که فشار و دبی آبپاش در آزمایش شماره ۲ پلات IV بیشترین مقدار (فشار و دبی به ترتیب حدود ۳۰ و ۹ درصد نسبت به حالت کارکرد استاندارد افزایش داشته‌اند) و در آزمایش شماره ۳ پلات I کمترین مقدار (فشار و دبی نسبت به حالت کارکرد استاندارد به ترتیب ۸ و ۴ درصد کاهش داشته‌اند) را داشته‌اند.

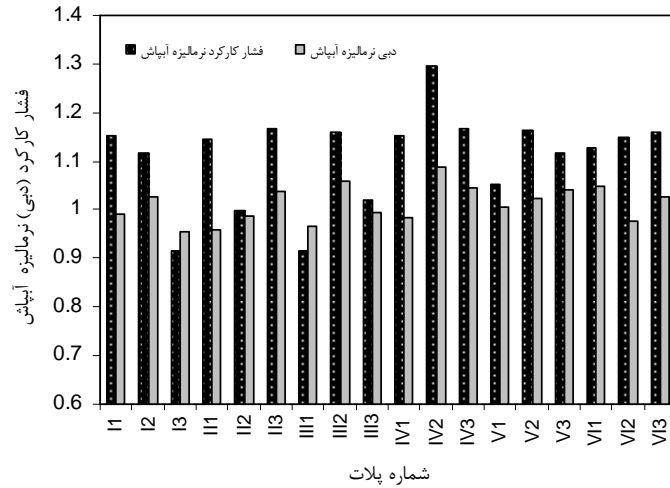
**یکنواختی توزیع آب در سطح خاک:** شکل ۳ مقادیر محاسبه شده هر یک از شاخص‌های ارزیابی توزیع کاربرد آب ( $CU_{(w)}$ ) و  $DU_{(w)}$  را برای آزمایش‌های مختلف نشان می‌دهد. بررسی مقادیر شاخص‌ها نشان می‌دهد که وضعیت یکنواختی توزیع آب در هر پلات و در هر آزمایش متفاوت است. بخش عمده این تفاوت‌ها را می‌توان به دلیل تغییرات سرعت باد و فشار کارکرد آبپاش‌ها در طول آزمایش دانست. یکنواخت‌ترین و غیریکنواخت‌ترین وضعیت توزیع آب به ترتیب به آزمایش I<sub>1</sub> و II<sub>1</sub> (اندیس نشان‌دهنده شماره آزمایش در پلات موردنظر می‌باشد) مربوط می‌شود. مقادیر شاخص‌های  $CU_{(w)}$  و  $DU_{(w)}$  در I<sub>1</sub> به ترتیب معادل ۸۴ و ۷۶ درصد و در II<sub>1</sub> به ترتیب معادل ۵۲ و ۴۰ درصد برآورد گردید. همان‌طور که قبلاً هم اشاره شد مقدار متوسط سرعت باد و تغییرات آن در طول زمان انجام آزمایش به ترتیب در آزمایش I<sub>1</sub> و II<sub>1</sub> کمترین و بیشترین بوده است. نتایج حاکی از آن است که مقدار متوسط و انحراف از معیار سرعت باد در طول زمان آزمایش II<sub>1</sub> حدود ۳ برابر مقدار این دو پارامتر در آزمایش I<sub>1</sub> بوده است. همچنین مقدار فشار کارکرد متوسط آبپاش در آزمایش موردنظر، در پلات II، ۵۰ کیلوپاسکال نسبت به پلات I کمتر بوده است. بدین ترتیب می‌توان عوامل اصلی تفاوت در وضعیت توزیع آب را تغییرات در مقدار و یکنواختی توزیع سرعت (و جهت باد) و فشار کارکرد آبپاش‌ها

جستجو نمود که به‌منظور بهبود عملکرد سیستم‌ها می‌بایست در برنامه‌ریزی آبیاری مدنظر قرار گیرد.

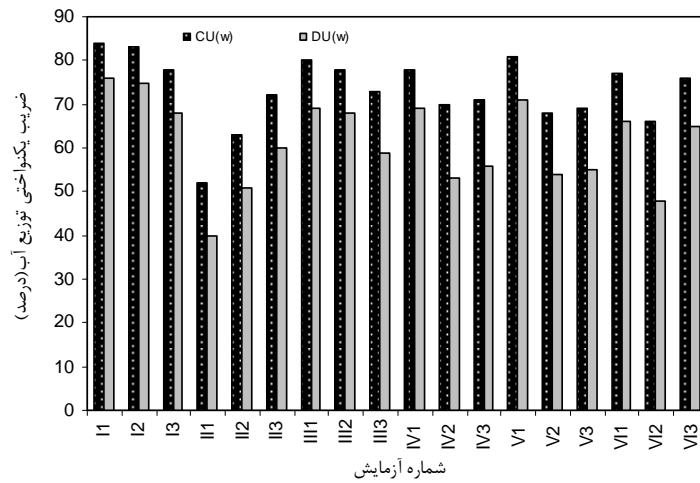
با توجه به مقادیر شاخص‌های ارزیابی وضعیت توزیع آب در سطح پلات‌های مورد مطالعه، بهترین رابطه برازش شده بین این دو شاخص به صورت زیر استخراج گردید:

$$CU_{(w)} = 0.7804DU_{(w)} + 25.458 \quad (r^2 = 0.947) \quad (5)$$

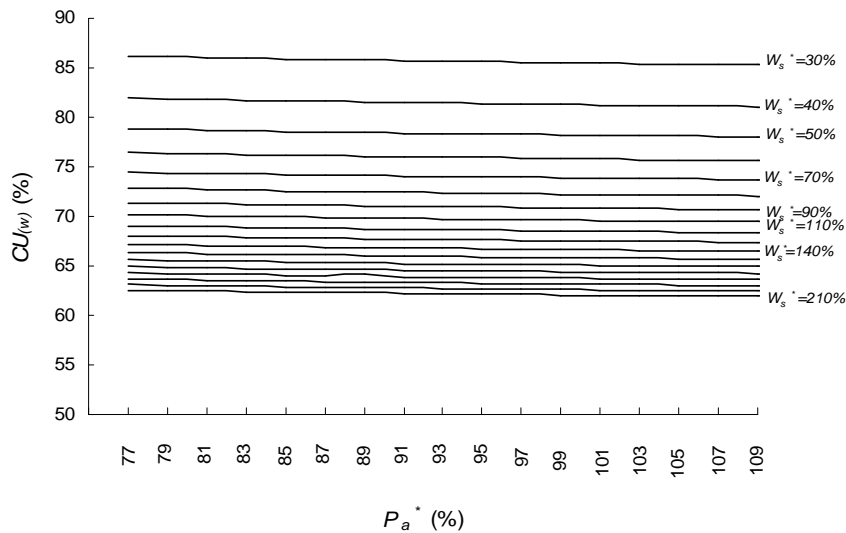
با توجه به مقادیر نرمالیزه دو پارامتر فشار کارکرد آبپاش و سرعت باد و مقادیر ضریب یکنواختی توزیع آب در سطح پلات‌ها ( $CU_{(w)}$ )، رابطه برآورد این ضریب در پلات‌های آزمایشی تعیین و با استفاده از آن شکل ۴ استخراج گردید. با استفاده از این شکل مقدار یکنواختی توزیع آب به ازای مقادیر مختلف فشار کارکرد نرمالیزه آبپاش و سرعت باد نرمالیزه به دست می‌آید. در این شکل، هر یک از منحنی‌ها مربوط به یک مقدار سرعت باد نرمالیزه می‌باشد. با استفاده از این شکل، می‌توان در شرایط مختلف و به ازای هر سرعت باد در زمان آبیاری، مقدار فشار لازم سیستم و آبپاش را برای دستیابی به یک مقدار معین یکنواختی پخش آب به سهولت مشخص نمود. بررسی این شکل نشان می‌دهد که تغییرات یکنواختی توزیع آب در سیستم‌های آبیاری بارانی با سرعت باد رابطه معکوس دارد. به تعبیر دیگر مقدار یکنواختی توزیع آب با افزایش سرعت باد، کاهش می‌یابد. مقدار این کاهش با افزایش مقدار سرعت باد کمتر می‌شود. نتایج بیانگر آن است که شاخص یکنواختی توزیع آب نسبت به تغییرات پارامتر سرعت باد (نرمالیزه) در مقایسه با تغییرات پارامتر فشار کارکرد آبپاش (نرمالیزه) از حساسیت بسیار بیشتری برخوردار است. به‌عنوان مثال، در سرعت‌های پایین باد ( $W_s^* = 30-40\%$ ) با افزایش ۱۰ درصد در مقدار سرعت باد، مقدار ضریب یکنواختی توزیع آب بیش از ۴/۵ درصد کاهش می‌یابد. این درحالی است که با تغییر ۳۰ درصد در مقدار فشار کارکرد آبپاش در همین سرعت باد، مقدار این ضریب کمتر از یک درصد تغییر خواهد داشت. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که سرعت باد نقش تعیین‌کننده‌تری در یکنواختی توزیع آب نسبت به فشار سیستم دارد.



شکل ۲- مقدار نرمالیزه فشار و دبی کارکرد آبپاش‌ها در طول انجام آزمایش‌ها.



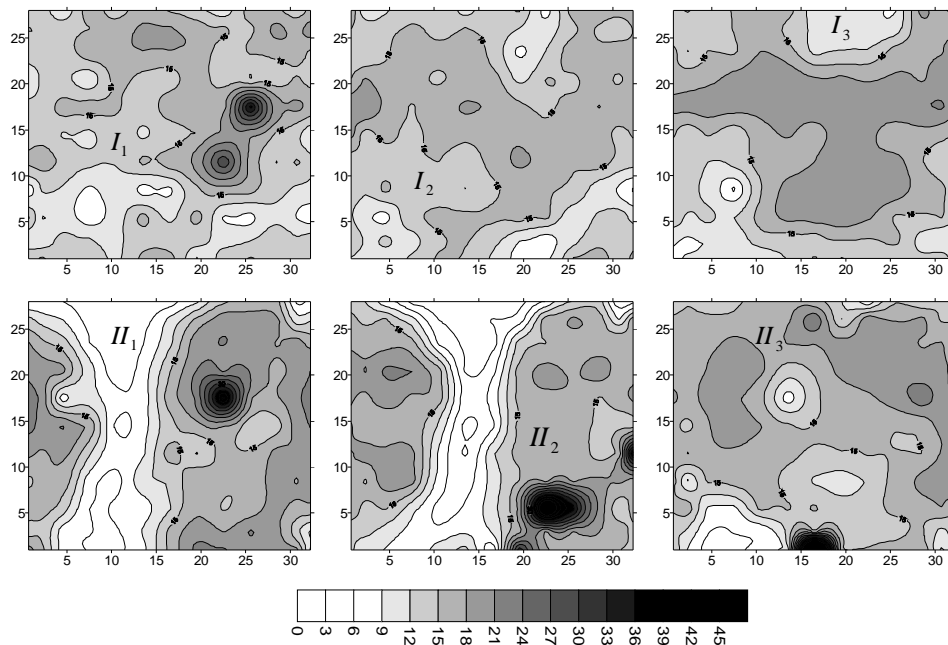
شکل ۳- مقدار ضرایب یکنواختی توزیع آب در هر یک از آزمایش‌ها.



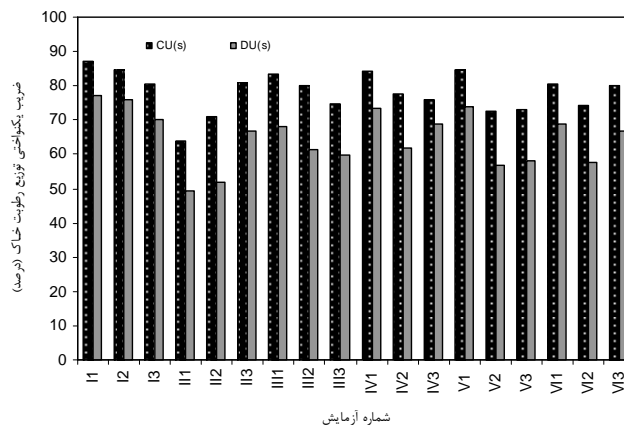
شکل ۴- مقادیر  $CU_{(w)}$  به ازای مقادیر مختلف پارامترهای  $Pa^*$  و  $Ws^*$ .

انجام شده، توزیع رطوبت در عمق ۱۰ سانتی متری خاک مورد ارزیابی قرار گرفت. شکل ۵ منحنی هم رطوبت خاک مربوط به آزمایش‌های پلات‌های I و II را نمایش می‌دهد. در این شکل، منحنی‌های هم رطوبت در هر یک از آزمایش‌های انجام گرفته در پلات‌های مذکور برحسب درصد ارائه شده است. محورهای افقی و عمودی این شکل به ترتیب نشان‌دهنده محور طولی و عرضی ابعاد پلات می‌باشند. در شکل ۶ نیز مقدار شاخص‌های یکنواختی توزیع رطوبت خاک برای هر یک از آزمایش‌ها نشان داده شده است.

یافته‌های این تحقیق نشان می‌دهد که تغییر  $W_s^*$  از ۳۰ درصد به ۴۰ درصد باعث کاهش حدودی ۱۰ درصد در مقدار  $CU$  می‌گردد. این درحالی است که در مناطق بادخیز (مثلاً  $W_s^*$  معادل ۲۱۰ درصد) تغییر  $W_s^*$  از ۲۰۰ درصد به ۲۱۰ درصد باعث کاهش کمتر از ۱ درصد در مقدار  $CU$  می‌شود. از این رو می‌توان نتیجه گرفت که بهبود مدیریت فشار کارکرد سیستم در مناطق بادخیز تأثیرات بیشتری بر یکنواختی پخش آب نسبت به مناطق با سرعت باد پایین دارد (مقایسه از نوع زوجی است).  
یکنواختی توزیع رطوبت خاک: براساس اندازه‌گیری‌های

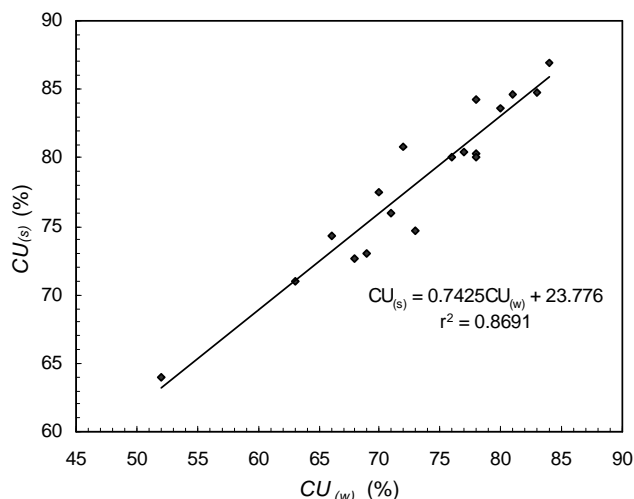


شکل ۵- منحنی هم رطوبت در آزمایش‌های پلات‌های I و II



شکل ۶- مقدار ضرایب یکنواختی توزیع رطوبت خاک در هر یک از آزمایش‌ها.





شکل ۷- رابطه ضریب یکنواختی توزیع رطوبت خاک و کاربرد آب.

برسلر (۱۹۸۳)، لی (۱۹۹۸)، و لی و رائو (۲۰۰۰) نیز مورد تأیید قرار گرفته است. از مقایسه یافته‌های این تحقیق با نتایج کار این محققین که به مطالعه توزیع رطوبت خاک (در سیستم‌های آبیاری بارانی) در عمق توسعه ریشه گیاه (عمق ۴۰ سانتی‌متری) در خاک‌های همگن پرداخته‌اند، می‌توان نتیجه گرفت که مقدار یکنواختی توزیع رطوبت خاک (حاصل از آبیاری بارانی) در منطقه توسعه ریشه یکنواخت‌تر از اعماق سطحی خاک (عمق ۱۰ سانتی‌متری خاک) می‌باشد. بر این اساس و با توجه به کمبود منابع آب در دسترس در مناطق خشک و نیمه‌خشک، شاید در این مناطق نیازی به افزایش آب آبیاری به‌منظور افزایش یکنواختی پخش آب به بیش از ۷۰ درصد وجود نداشته باشد.

#### رابطه یکنواختی توزیع رطوبت خاک با یکنواختی

کاربرد آب و شیب زمین: براساس نتایج این تحقیق و با توجه به ثابت بودن مقدار رطوبت اولیه خاک با ضریب یکنواختی توزیع بیش از ۹۷ درصد در کلیه آزمایش‌ها انجام شده، ضریب یکنواختی رطوبت خاک تابعی از ضریب یکنواختی توزیع عمق آب آبیاری و شیب بستر پلات‌ها در نظر گرفته شد. براساس داده‌های اندازه‌گیری شده بهترین رابطه برآزش شده بین یکنواختی توزیع رطوبت خاک ( $CU_{(s)}$ ) با دو پارامتر یکنواختی توزیع آب

مقادیر شاخص‌های یکنواختی توزیع رطوبت خاک ( $DU_{(s)}$  و  $CU_{(s)}$ ) برای آزمایش I<sub>1</sub> به ترتیب معادل ۸۷ و ۷۷ درصد برآورد شدند. در رابطه با آزمایش II<sub>1</sub> مقادیر شاخص‌های فوق به ترتیب برابر ۶۴ و ۴۷ درصد تعیین گردید. نتایج نشان می‌دهد که یکنواخت‌ترین و غیریکنواخت‌ترین توزیع رطوبت خاک به ترتیب مربوط به آزمایش‌های IV<sub>1</sub> و II<sub>1</sub> می‌باشد.

بررسی وضعیت تغییرات توزیع آب و رطوبت در پلات‌ها بیانگر وجود همبستگی بین ضریب یکنواختی توزیع رطوبت خاک و ضریب یکنواختی توزیع آب آبیاری در سطح خاک است. نتایج در شکل ۷ آمده است. در این شکل، مقدار ضریب یکنواختی توزیع خاک به صورت تابعی از ضریب یکنواختی پخش آب در سطح خاک نمایش داده شده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که مقدار یکنواختی توزیع رطوبت خاک در کلیه آزمایش‌ها از مقدار یکنواختی توزیع آب در سطح پلات‌ها بیشتر بوده است که دلیل اصلی آن را می‌توان در جریانات افقی و فرآیند انتقال آب در زیر سطح خاک و عوامل تأثیرگذار بر آن (حرکت توده‌ای<sup>۱</sup>، پخشیدگی<sup>۲</sup> و انتشار آبی<sup>۳</sup>) جستجو نمود. این نتیجه توسط محققینی چون استرن و

1- Mass flow  
2- Diffusion  
3- Hydrodynamic dispersion

$(CU_w)$  و مقدار شیب بستر پلات ( $S_o$ ) استخراج گردید که به صورت زیر می باشد:

$$CU_{(s)} = 6.293CU_w^{0.582} S_o^{-0.008} \quad (r^2=0.832) \quad (6)$$

کلیه پارامترها در این رابطه برحسب درصد بیان شده اند. آنالیز حساسیت رابطه (6) نشان می دهد، ضریب یکنواختی توزیع رطوبت خاک از حساسیت بیشتری نسبت به پارامتر ضریب یکنواختی توزیع آب (0/582) در مقایسه با پارامتر شیب زمین (0/008) برخوردار است. از این رو شیب زمین تأثیر زیادی در غیریکنواختی توزیع رطوبت خاک در اراضی مجهز به سیستم های آبیاری بارانی ایفا نمی نماید. البته در این رابطه، مزارع با شیب بستر کمتر در بهبود وضعیت توزیع رطوبت خاک مناسب بیشتری دارند. به نظر می رسد جهت باد و زاویه آن نسبت به جهت شیب بستر نیز در وضعیت توزیع رطوبت خاک بی تأثیر نباشد.

همچنین رابطه برازش شده بین ضریب یکنواختی توزیع رطوبت خاک با شیب بستر پلات و دو پارامتر سرعت باد نرمالیزه و فشار کارکرد نرمالیزه آبیاری تعیین گردید که به صورت رابطه (7) می باشد:

$$CU_{(s)} = 104.74W_s^{*0.127} P_a^{*0.064} S_o^{*0.011} \quad (r^2=0.664) \quad (7)$$

در رابطه فوق کلیه پارامترها برحسب درصد بیان شده اند.

### نتیجه گیری

در این مقاله با استفاده از نتایج اندازه گیری های صحرائی در 6 پلات آزمایشی از شبکه آبیاری بیله سوار واقع در جلگه حاصل خیز مغان، به مطالعه اثر باد، فشار کارکرد آبیاری و شیب بستر مزرعه بر یکنواختی توزیع رطوبت خاک در سیستم های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبیاری متحرک پرداخته شد. شیب بستر پلات ها بین 0/013 تا 0/134 متر بر متر متغیر بود. در هر پلات، آزمایش های ارزیابی یکنواختی توزیع آب و همچنین پایش رطوبت در 3 تکرار با شرایط اقلیمی و فشار کارکرد متفاوت انجام گردید. با توجه به بازه تغییرات پارامترهای اقلیمی، فشار کارکرد آبیاری و شیب زمین، مقدار ضریب یکنواختی کریستیان سن (1942) برای توزیع آب در

سطح خاک و توزیع رطوبت خاک در عمق 10 سانتی متر در پلات های آزمایشی به ترتیب بین 84-52 و 88-64 درصد برآورد گردید. براساس نتایج اندازه گیری های انجام شده، رابطه ای بین یکنواختی توزیع رطوبت خاک و دو پارامتر شیب زمین و یکنواختی توزیع آب در سطح پلات ها استخراج شد. آنالیز حساسیت این رابطه نشان داد که ضریب یکنواختی توزیع رطوبت خاک از حساسیت بیشتری نسبت به پارامتر ضریب یکنواختی توزیع آب در مقایسه با پارامتر شیب زمین برخوردار است. ضریب یکنواختی توزیع آب نیز به عنوان تابعی از پارامترهای سرعت باد و فشار کارکرد آبیاری در نظر گرفته شد. براساس یافته های تحقیق، وابستگی ضریب یکنواختی توزیع آب در آبیاری بارانی به پارامتر سرعت باد در مقایسه با فشار کارکرد سیستم بیشتر بوده و از این رو می توان نتیجه گرفت که در این سیستم های آبیاری تأثیر سرعت باد در غیریکنواختی توزیع رطوبت خاک به مراتب بیشتر از شیب بستر مزرعه و فشار کارکرد آبیاری است. بررسی ها نشان می دهد که بهبود مدیریت فشار کارکرد سیستم در مناطق بادخیز تأثیرات نسبتاً بیشتری بر یکنواختی پخش آب نسبت به مناطق با سرعت باد پایین دارد. از این رو، شاید مدیریت فشار سیستم های بارانی در مناطق بادخیز از اهمیت بیشتری نسبت به سایر مناطق برخوردار باشد. همچنین، نتایج این تحقیق مؤید برتری مقدار یکنواختی توزیع رطوبت خاک نسبت به یکنواختی توزیع آب در سطح مزرعه می باشد.

### سپاسگزاری

این مقاله از نتایج طرح تحقیقاتی مصوب دانشگاه تهران به شماره 7305002/1/04 استخراج شده است که بدین وسیله از حمایت های معاونت پژوهشی پردیس ابوریحان دانشگاه تهران تشکر و قدردانی می شود. همچنین از مهندسین مشاور سامان آبراه به منظور همکاری در انجام اندازه گیری های صحرائی و فراهم نمودن برخی از تجهیزات و امکانات تحقیق تشکر می گردد.

## منابع

1. ASAE Standards. 1994. ASAE S330.1, 41 edn. Procedure for sprinkler distribution testing for research purposes. ASAE, St. Joseph, Mich.
2. Christiansen, J.E. 1942. Irrigation by sprinkling. California Agric. Exp. Sta. Bull. 670. University of California, Berkeley.
3. Cisneros, F., Pacheco, E., and Feyen, J. 1999. Quantitative analysis of the performance of sprinkler irrigation in the southern sierra of Ecuador on slopes steeper than 12 %. Proceeding of the inter-American conference on water resources management, II water meeting, 15-18 June, Montevideo-Uruguay.
4. Dechmi, F., Playán, E., Faci, J.M., Tejero, M., and Bercero, A. 2003. Analysis of an irrigation district in northeastern Spain. II. Irrigation evaluation, simulation and scheduling. *Agric Water Manage.* 61:93-109
5. Dorota, Z., Haman, T., and Yeager, H. 2001. Uniformity of water application in sprinkler system. *Food and Agric. Sci.* FS98-2
6. Evans, R.G., Hans, S., and Kroeger, M.W. 1995. Spatial distribution and uniformity evaluations for chemigation with center pivots. *Trans. Of ASAE*, 38(1), 85-92.
7. Hart, W.E. 1972. Surface distribution of nonuniformly applied surface waters. *Trans. of ASAE*, 35 (5): 1465-1472.
8. Hart, W.E., Peri, G., and Skogerboe, G.V. 1979. Irrigation performance: An evaluation uniformity models. *J. of the Irrig. and Drain. Division ASCE*, vol. 105, pp. 275-289.
9. Keller, J., and Bliesner, R.D. 1990. *Sprinkler and trickle irrigation*. Van Nostrand Reinhold, New York, NY, 652 pp.
10. Kincaid, D.C., Solomon, K.H., and Oliphant, J.C. 1996. Drop size distributions for irrigation sprinklers. *Trans. of ASAE* 39:839-845
11. Li, J. 1998. Modeling crop yield as affected by uniformity irrigation system. *Agric. Water Manage.* 38: 135-146.
12. Li, J., and Rao, M. 2000. Sprinkler water distribution as affected by winter wheat canopy. *Irrig. Sci.* 20: 29-35.
13. Merriam, J.L., and Keller, J. 1978. *Farm irrigation system evaluation: a guide for management*. Utah State University, Logan, UT, 271 pp.
14. Seginer, I. 1987. Spatial water distribution in sprinkler irrigation. In: Hillel, D. (Ed.), *Advances in irrigation*, vol. 4. Academic Press, Orlando, 119-168.
15. Seginer, I., Kantz, D., and Nir, D. 1991. The distortion by wind of the distribution patterns. *J. Irrig. Drain. Eng.* 117(2), 285-305.
16. Stern, J., and Bresler, E. 1983. Nonuniform sprinkler irrigation and crop yield. *Irrig. Sci.* 4: 17-29.
17. Tarjuelo, J.M., Montero, J., Honrubia, F.T., Ortiz, J.J., and Ortega, J.F. 1999. Analysis of uniformity of sprinkle irrigation in a semi-arid area. *Agric. Water Manage.*, 40: 315-331.
18. Tarjuelo, J.M., Montero, J., Ortega, J.F., and De Juan, J.A. 2000. Modelling evaporation and drift losses in irrigation with medium size impact under semi-arid conditions. *Agric. Water Manage.* 43: 263-284.
19. Warrick, A.W., and Gardner, W.R. 1983. Crop yield as affected by spatial variations of soil and irrigation. *Water Resour. Res.* 19, 181-186.
20. Valin, M.I., Calejo, M.J., Jorge, J., and Pereira, L.S. 2003. Field evaluation of sprinkler irrigation systems in Alentejo. Causes of problems and issues for improving performances. In: 6<sup>th</sup> Inter-Regional conference environment-water, Albacete, September.

## **Influence of wind speed, nozzle pressure and field bed slope on soil moisture uniformity in sprinkler irrigation system**

**A. Montazar**

Assistant Prof. Dept. of Irrigation and Drainage Engrg. Dept., of College of Abooreyhan, University of Tehran

---

---

### **Abstract**

The aim of the present study is to investigate the effect of wind speed, nozzle pressure and field bed slope on soil moisture uniformity in the solid set sprinkler irrigation system. For this purpose, 6 plots of 25×30 m with bed slope varying from 1.3 to 13.4% were selected in Bileh-Savar sprinkler irrigation network located in Mogan. For each plot, water application uniformity tests as well as moisture monitoring were carried out in three replications on different days and at different hours of the day. In each of the tests, water application depth and soil moisture were measured at 121 and 100 spots in each plot, respectively. Nozzle discharge and operating pressure, wind speed, relative humidity, and air temperature were measured throughout each experiment. Based on computations and with regard to the ranges of parameters variations, soil moisture uniformity varied from 64 to 88%. A relationship between sprinkler water uniformity and field bed slope was developed. The sensitivity analysis of the relationship demonstrated that soil moisture uniformity is more sensitive to sprinkler water uniformity than to field bed slope. The sprinkler water uniformity was also presented as a function of the dimensionless numbers of normalized wind speed and sprinkler nozzle pressure. The findings illustrated that sprinkler water uniformity is more sensitive to variations of wind speed than to variations of nozzle operating pressure. Hence, the effect of wind speed in soil water content uniformity is more than bed slope and nozzle pressure parameters. The results also indicated that soil moisture uniformity is greater than the sprinkler water uniformity.

**Keywords:** Field bed slope; Nozzle pressure; Solid set sprinkler irrigation system; Soil moisture; Sprinkler water uniformity; Wind speed