ارزیابی عملکرد سیستم آبیاری بارانی عقربه‌ای در کرج

تیمور سهرابی و رضا اصیل منش*

چکیده

طراحی و اجرای یک سیستم آبیاری ممکن است به درستی و یا به‌طور نامناسب انجام پذیرد بنابراین مطالعه و ارزیابی سیستم آبیاری برای مدیریت روشن می‌سازد که آیا بهره‌برداری از سیستم کنونی را ادامه دهد یا آنرا بهبود بخشد. هدف اصلی این مطالعه تعیین عوامل ارزیابی سیستم آبیاری بارانی از نوع عقربه‌ای بود که معمولاً در عملکرد سیستم آبیاری موثر هستند. سپس براساس نتایج حاصله، راه حلی برای بهبود مصرف آب آبیاری و مسایل طراحی ارائه گردید. برای نیل به اهداف مذکور مشخصات خاک، گیاه و پارامترهای طراحی تعیین شد. ابتدا برای آبیاری ذرت، در زمینی با خاک لوم سیلتی در مزرعه ۵۰۰ هکتاری وزارت کشاورزی (درشمال شرقی مشکین آباد کرج) سیستم آبیاری بارانی عقربه‌ای طراحی گردید و با وضعیت موجود این سیستم مورد ارزیابی قرار گرفت. برای ارزیابی در چهار ردیف شعاعی، قوطیهای نمونه‌برداری به فواصل ۶ متری قرار داده شد. سپس کلیه عوامل ارزیابی نظیر بازده کاربرد پتانسیل، بازده کاربرد واقعی و توزیع یکنواختی با تجزیه و تحلیل داده‌های صحرایی، محاسبه شد. متوسط عوامل ارزیابی مذکور در طول فصل زراعی برای سیستم آبیاری بارانی سنترپیوت به ترتیب ۷۹، ۷۵/۸ و ۸۴ درصد تعیین گردید. تجزیه و تحلیل عوامل ارزیابی نشان داد که سیستم آبیاری از کارایی مناسبی برخوردار نیست. ضمناً مقادیر نسبتاً کم توزیع یکنواختی و بازده کاربرد پتانسیل به علت ناسازگاری شرایط کارکرد و طراحی سیستم بوده است. اختلاف بین بازده‌های کاربرد واقعی و پتانسیل، مبین مشکلات مدیریتی در بهره‌برداری از سیستم را می‌باشد.

واژه‌های کلیدی – *عملکرد، ارزیابی، آبیاری، عقربه‌ای، سنترپیوت*

مقدمه

به طورکلی تحلیل هر سیستم آبیاری راکه بر پایهٔ اندازه‌گیری در شرایط واقعی مزرعه و در حین کار طبیعی سیستم استوار باشد ارزیابی می‌نامند(۷). ارزیابی از آن جهت مهم است که برای مدیریت روشن می‌سازد که آیا بهره‌برداری از سیستم کنونی را ادامه دهد و یا این‌که آن را اصلاح نماید. بهبود مدیریت کاربرد آب در مزرعه باعث صرفه جوئی در آب ، نیروی کار و حفاظت از خاک شده ودر نتیجه موجب افزایش محصول می‌شود.

در سال ۱۹۸۴ دیکل و همکاران (۳) دو سیستم آبیاری سنترپیوت و شیاری را مقایسه و ارزیابی نموده و در مورد رواناب سطحی تولید شده در دو سیستم تحقیق نمودند. سازمان خواربار جهانی (FAO) براساس تحقیقات انجام گرفته روشی را جهت ارزیابی و طراحی آبیاری با سنترپیوت ارائه نمود که هدف آن طراحی و ارزیابی جهت رسیدن به یک بازده مناسب بود (۸). دیکل و همکاران (۴) در سال ۱۹۷۲ روشی را

* به ترتیب استادیار و دانشجوی سابق کارشناسی ارشد گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-06]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1377.2.2.1.7]

جهت اندازه‌گیری میزان ذخیره سطحی خاک، هنگامی که میزان پاشش آب از سنترپیوت بیشتر از ظرفیت نفوذپذیری خاک بوده، ابداع نموده و با توجه به تغییرات شیب، اعدادی را برای این منظور ارائه دادند. هیرمن و هین (۶) گزارش نمودند که برای سیستم آبیاری بارانی عقربه‌ای موقعی که S (طول بال) بزرگتر از ۲۰۰ متر است مسیرحرکت را می‌توان خط مستقیم فرض نمود. از ارزیابی سیستم‌های آبیاری چهار هدف زیر حاصل می‌گردد (۵):

۱) تعیین بازده واقعی سیستم در زمان بهره‌برداری.

۲) پاسخ به این پرسش که سیستم مزبور با چه پتانسیلی می‌تواند مورد بهره‌برداری قرار گیرد.

۳) کسب اطلاعاتی که مهندسین و متخصصین این امور را در طراحی سیستم‌های دیگر یاری کند.

۴) گردآوری داده‌هایی که مقایسه روشها، سیستم ها و شیوه‌های مختلف راهبری را براساس تحلیلها ممکن سازد.

تشخیص این که بهره‌برداری از یک سیستم آبیاری به چه خوبی انجام می‌گیرد (بازده کاربرد واقعی)، یا می‌توانست مورد استفاده واقع گردد (بازده کاربرد پتانسیل)، فقط به وسیلهٔ اندازه‌گیریهای عملکرد آنها در مزرعه قابل دستیابی می‌باشد.

به هر حال، ممکن است از مشاهده بعضی از خصوصیات عملکرد سیستم‌ها، تقریبهای نسبتاً معقولی به‌دست آید و راهنماییهایی را برای تصحیح بعضی از مراحل فراهم آورد.

هدف اصلی از این تحقیق برآورد عوامل عملکرد (AELQ ، PELQ ، CU ، DU) سیستم آبیاری بارانی عقربه‌ای است تا بتوان سیستم را از نظر مدیریتی و طراحی مورد ارزیابی قرار داد.

مفاهیم مورد استفاده درارزیابی سیستم های آبیاری

برای تعیین بازده‌های بالقوه سیستم و بازده واقعی که تحت مدیریت موجود قابل حصول می‌باشد، اندازه‌گیری عوامل ارزیابی سیستم‌های آبیاری و راهبری آنها مورد نیاز است. برای انجام این اندازه‌گیریها و تفسیر آنها باید تعاریف دقیقی صورت گیرد. برای این که مقایسه‌ها دارای مبنای یکسانی باشند، سه پارامتر عملکرد آبیاری (بازده کاربرد پتانسیل، بازده کاربرد واقعی و یکنواختی توزیع) براساس عمق متوسط آب نفوذ کرده یا ذخیره شده در یک چهارم سطحی که کمترین مقدار آب را دریافت می‌نماید تعیین شده است (۵). مفهوم یک چهارم کمترین عمقها[1] به وسیله اداره حفاظت خاک وزارت کشاورزی امریکا[2] ارائه گردیده است و به عنوان استاندارد برای مقایسه گزینه ها توصیه می‌شود (۱).

معمولاً طراحی اقتصادی سیستم‌های آبیاری توصیه می‌کند که کمتر از ۱۰۰ درصد سطح مزرعه به حد کافی آبیاری گردد. جایی که متوسط یک چهارم کمترین عمقها مساوی با عمق آب کاربردی مطلوب باشد تقریباً ۸۷/۵ درصد مزرعه به حدکافی آبیاری می‌شود. به عبارتی سطح کفایت ۸۷/۵ درصد است (۱). افزایش سطح کفایت آبیاری موجب نفوذ عمقی قابل توجهی می‌شود.

۱-کمبود رطوبت خاک[3]

کمبود رطوبت خاک عبارت است از مقدار خشکی خاک منطقه ریشه در زمان معین و این کمبود رطوبت برابر با مقدار آبی است که باید در موقع آبیاری جبران شود . میزان خشکی خاک قبل از هر آبیاری بستگی به نوع خاک، گیاه و مرحله رشد آن دارد. تشخیص زمان آبیاری بستگی کامل به خشکی خاک یا SMD دارد و تشخیص SMD در شرایط مختلف نیازمند تجربه و آگاهی فراوان است.

۲-کمبود رطوبتی مجاز[4]

کمبود رطوبتی مجاز عبارتست از مقدار خشکی خاک که به نظر طراح و یامدیر سیستم آبیاری، گیاه قادر به تحمل آن است، تاحدی که به گیاه تنشی وارد نشده و از محصول کاسته نمی‌گردد (۱). ارتباط SMD و MAD اساساً به واسطه تاثیری که

1- Low - Quarter (LQ)
2- USDA, SCS
3- Soil Moisture Deficit (SMD)
4- Management Allowed Deficit (MAD)

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-06]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1377.2.2.1.7]

احتمالاً بر گیاه دارند معنی و مفهوم می‌یابد. کمبود رطوبت‌مجاز را می‌توان به درصدی از کل رطوبت قابل استفاده موجوددر منطقه ریشه ویا عمق آبی که ریشه قدرت جذب آن را در زمان بین دو آبیاری دارد نشان داد. کمبود رطوبت مجاز بستگی‌به ارزش تجارتی و خصوصیات ریشه گیاه دارد.

۳- یکنواختی توزیع آب[1]

شاخصی است که مشکلات توزیع آب را در آبیاری نشان می‌دهد و از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$DU = \frac{\text{متوسط یک چهارم حداقل عمقهای آب نفوذ یافته}}{\text{متوسط عمق آب نفوذی}} \times ۱۰۰$$

در صورتی که آبیاری کافی انجام شده باشد، مقدار کم DU نشانه تلفات آب به شکل فرونشت عمیق است. گرچه مقدار کم DU نسبی است اما مقدار کمتر از ۶۷ درصد عموماً قابل قبول نیست (۴).

۴- بازده واقعی آبیاری[2]

شاخصی است که نشان می‌دهد چگونه یک سیستم مورد بهره برداری قرار می‌گیرد و مطابق تعریف برابر است با(۱):

$$AELQ = \frac{\text{میانگین یک‌چهارم حداقل عمقهای آب نفوذ یافته وذخیره‌شده درمنطقه ریشه}}{\text{متوسط عمق‌ناخالص‌ابیاری}} \times ۱۰۰$$

زمانی که صورت کسر از SMD بیشتر شود AELQ را می‌توان به شکل زیر نوشت:

$$AELQ = \frac{SMD}{\text{میانگین عمق ناخالص آب ابیاری}} \times ۱۰۰$$

به عبارت دیگر میانگین یک چهارم کمترین عمق آب ذخیره شده در منطقه ریشه همان میانگین یک چهارم کمترین مقدار تخمین یا اندازه گیری شده است.

موقعی که به آبشویی نیاز باشد، یک چهارم کمترین عمق آب نفوذی مطلوب، برابر مجموع SMD و عمق آب آبشویی مورد نیاز می‌باشد. جایی که حداکثر تولید از واحد آب مدنظر باشد(به جای حداکثر تولید به ازای واحد سطح) ممکن است یک چهارم کمترین عمق آب نفوذی مطلوب، کمتر از SMD باشد.

گرچه اندازه یکنواختی نیز در AELQ نهفته است اما به این معنی نیست که محدوده سطح آبیاری به طور کامل آبیاری می‌شود، بلکه نشانه این است که مقدار آب دریافتی آن منطقه بیشتر از صفر است. پایین بودن اندازه AELQ اشاره به مشکل مدیریت و طرز کاربرد سیستم دارد(۷). زمانی که بخشی از اراضی و یا تمامی آن عمداً تحت پوشش آبیاری کمتر از نیاز قرارگیرد عوامل دیگری نیز باید مورد توجه قرارگیرد.

۵- بازده‌پتانسیل آبیاری[3]

این شاخص بیانگر آن است که سیستم موجود در شرایط بهره‌برداری مناسب چگونه عمل می‌کند. بازده پتانسیل در واقع حالت خاصی از بازده آبیاری است وقتی که عمق حداقل نفوذ یافته معادل عمق مطلوب آبیاری باشد(۱). پایین بودن اندازه PELQ معمولاً به طراحی و یا کارآیی ضعیف سیستم مربوط می‌شود و در صورتی که طراحی صحیح انجام شود، اما مقدار PELQ پائین باشد باید نوع سیستم آبیاری را تغییر داد(۱). معمولاً مقدار اختلاف بین اندازه‌های PELQ و AELQ از نشانه‌های کم‌توانی راهبری و مدیریت سیستم است. در صورتی که میانگین کمترین ربع عمق نفوذ آب در معادله به‌کار برده شود بازده پتانسیل از فرمول زیر محاسبه می‌شود.

$$PELQ = \frac{\text{میانگین کمترین ربع عمق نفوذ زمانی که برابر MADباشد}}{\text{میانگین عمق آب آبیاری پس از این که MAD جبران شده باشد}} \times ۱۰۰$$

1- Distribution Uniformity (DU)
2- Application Efficiency of Low Quarter (AELQ)
3- Potential Application Efficiency of Low Quarter (PELQ)

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-06]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1377.2.2.1.7]

جدول ۱- مشخصات خاک مزرعه ۵۰۰ هکتاری مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر مشکین‌آباد کرج

رطوبت در نقطه پژمردگی PWP (درصد وزنی)	رطوبت ظرفیت زراعی FC (درصد وزنی)	تخلخل n (٪)	وزن مخصوص ظاهری (gr/cm³)	بافت خاک	عمق خاک (cm)
۱۰	۲۳/۵	۴۹	۱/۳۶	لوم‌سیلتی	۰ - ۲۵
۱۰	۲۱/۱	۴۷	۱/۴۵	لومی	۲۵ - ۵۰
۷/۵	۱۸	۴۰	۱/۴۹	لوم شنی	۵۰ - ۷۵

اندازه PELQ در شرایطی برابر AELQ در تمامی زمین زراعی است که کمترین ربع عمق نفوذ آب برای جبران SMD کافی باشد (وقتی که SMD=MAD است).

سنجش بین اندازه‌های PELQ تنها مقایسه معنی داری است که برای بهبود یک روش یا سیستم آبیاری بانوع دیگر آن می‌توان انجام داد(۱). البته برای انجام چنین مقایسه ای کاربرد مقدار یکسان آب آبیاری برای جبران MAD الزامی می‌باشد. مقایسه های اقتصادی باید هزینه های آبیاری، تولید محصول و همچنین عملکرد مورد انتظار را در بر گیرد.

مواد و روشها

سیستم تحت ارزیابی در مزرعهٔ ۵۰۰ هکتاری موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر در شمال شرقی مشکین‌آباد کرج واقع است که زمینی به وسعت ۲۹/۷ هکتار را آبیاری می‌کند. وسایلی از قبیل ۲۲۰ عدد قوطی نمونه‌برداری آب، دو عدد فشار سنج (۶۸۹/۴kPa-۰) با لوله پیتوت (برای اندازه گیری فشار در سر نازلها)، دو عدد سیلندر مدرج با ظرفیتهای ۱۵۰ و ۲۵۰ میلی لیتری (برای اندازه‌گیری حجم آب جمع آوری شده در قوطیها)، یک عدد متر نواری، یک عدد مته نمونه‌برداری خاک، وسایل نقشه‌برداری (برای تعیین شیب زمین)، بادسنج سیار(برای اندازه گیری سرعت و جهت باد) و میخهای چوبی (برای علامت گذاری محل قوطیها) مورد استفاده قرار گرفت.

دستگاه سیستم آبیاری بارانی عقربه‌ای دارای ۶ برج و ۷ دهانه[1] بوده که طول لوله جانبی آن ۳۰۷/۸ متر، فاصله از محور تا برج آخر ۲۹۱متر، طول بال معلق ۱۶ متر، سطح آبیاری شده ۲۹/۷ هکتار و حداکثر سرعت برج آخر ۱/۷۲ متر در دقیقه بود. ظرفیت سیستم ۴۵ لیتر بر ثانیه و فشارکارکرد آن ۲۴۱/۳kPa بود.

شیب زمین زیر پوشش این سیستم ۰/۹۸ درصد است. بافت خاک لایه سطحی آن (۵۰-۰ سانتیمتر) عموماً لوم‌سیلتی و در عمق ۵۰ تا ۱۰۰ سانتیمتر دارای شن و سنگریزه زیاد و عملاً غیرقابل زراعت بود، ولی این لایه به عنوان یک زهکش طبیعی عمل می‌نماید. خصوصیات فیزیکی خاک مزرعهٔ تحت پوشش آبیاری بارانی در جدول ۱ نشان داده شده است.

نفوذپذیری خاک به روش استوانه مضاعف اندازه‌گیری شد. خاک منطقه مورد مطالعه براساس روش SCS در دو گروه نفوذپذیری ۱ و ۱/۵ قرار می‌گیرد که معادلات آنهابه شرح زیر است:

$$D = ۱/۷۸۱T^{۰/۷۸۵} + ۷/۰ \quad \text{(گروه نفوذ ۱)}$$

$$D = ۲/۲۸۴T^{۰/۷۹۹} + ۷/۰ \quad \text{(گروه نفوذ ۲)}$$

در این معادلات T مدت زمان نفوذ (دقیقه) و D عمق آب نفوذ یافته (mm) می‌باشد. برای تعیین نیاز آبی ذرت دانه‌ای زیر پوشش سیستم آبیاری بارانی، ابتدا میزان تبخیر و تعرق پتانسیل ماهیانه با استفاده از روش پنمن FAO تعیین شد و سپس

1- Span

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-06]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1377.2.2.1.7]

ضریب گیاهی ذرت برای ماههای دوره کشت از روش FAO برداشت شد. این ارقام مبنای برنامه‌ریزی آبیاری قرار گرفت.

برای تعیین عوامل ارزیابی، چهار ردیف شعاعی از محل محور تا انتهای بازوی سیستم به فواصل ۶ متری میخکوبی و در کنار هر یک از میخهای چوبی یک عدد قوطی نمونه‌برداری آب نصب شد. اختلاف ارتفاع مزرعه بین ابتدا و انتهای ردیفهای شعاعی به ترتیب ۰/۱۶، ۲/۰، ۲/۱۳ و ۳/۱۳ متر اندازه گیری گردید.

اندازه‌های (عمق و حجم) آب جمع آوری شده در قوطیهای مستقر در تمامی فصل در ردیفهای شعاعی، در جداول ۲ الی ۵ برای یک دوره نشان داده شده‌است. با قراردادن دو قوطی نمونه برداری آب در یک محل مشخص، مقادیر تبخیر در طول آزمایش اندازه‌گیری شد که برای برآورد تلفات تبخیر مورد استفاده قرار گرفت. ضمناً رطوبت خاک در هر آزمایش، قبل و بعد از شروع آبیاری تعیین گردید.

تعیین عوامل ارزیابی با استفاده از داده‌های مزرعه‌ای

هر چه نمونه ها از نقطهٔ محور فاصلهٔ بیشتری داشته باشند محل نمونه برداری نشان دهندهٔ بخش وسیع‌تری از اراضی می باشد، بنابراین اندازه‌گیری آب جمع آوری شده در قوطیها را باید وزنی کرد. برای وزنی کردن حجم نمونه‌ها، هر یک از آنها در ضریبی که مربوط به فاصله یا شماره محل آن است ضرب شدند. با توجه به نحوهٔ آرایش، نمونه ها از محل محور از یک تا ۵۱ شماره‌گذاری شد.

در این بررسی اندازه‌گیریها در دو سرعت مختلف حرکت سیستم، ۸۰ و ۴۰ درصد سرعت حداکثر سیستم انجام گرفت. نتایج ارائه شده در این مقاله تنها برای ۸۰ درصد سرعت حداکثر می‌باشد. حداکثر سرعت پیشروی برج آخر این سیستم ۱/۷۳ متر بر ثانیه بود.

نتایج و بحث

اولین نکته مورد بحث در آبیاری سنترپیوت حجم آب جمع آوری شده در قوطیهای نمونه می‌باشد. شکل ۱ توزیع پراکنش آب جمع‌آوری شده در قوطیهای جمع کننده را در سرعت چرخش ۸۰ درصد نشان می‌دهد. با بررسی این نمودار آبپاشهایی که ازکارافتاده‌اند و یا محل فواره‌هایی که قطر آنها نامناسب است مشخص می‌گردد.

همان‌طور که در شکل ۱ و جدول ۲ دیده می‌شود، در زیر آبپاشهای اولیه تقریباً در آزمایشها حجم آب جمع شده بسیار بیشتر از میانگین نمونه‌های برداشت شده می‌باشد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که اندازه روزنه این آبپاشها بزرگ انتخاب شده است و با کوچکتر کردن یک شماره از اندازه روزنه آبپاشها می‌توان به عمق پخش یکنواخت‌تری دست یافت. علاوه بر این با بررسی نمونه‌های جمع آوری شده در زیر آبپاشهای شمارهٔ ۴۰ الی ۵۲ مشخص می‌گردد که مقادیر این نمونه‌ها در بیشتر اندازه‌گیریها کمتر از میانگین بوده و این نشان می‌دهد که اندازه روزنهٔ آبپاشها در نقاط فوق کوچکتر انتخاب شده، بنابراین بهتر است که آبپاشهایی با روزنهٔ یک شماره بزرگتر جایگزین شود.

نتایج یکی از آزمایشهای ارزیابی سیستم آبیاری بارانی عقربه ای در جدول ۶ آمده و نتایج کلی از جداولی که در طول فصل آبیاری تهیه شده به شرح زیر است:

۱- میانگین یکنواختی پخش DU و CU، به‌دست آمده در طول فصل زراعی، به ترتیب تقریباً برابر ۸۴ و ۸۹ درصد بوده و نمایانگر این است که سیستم سنترپیوت از شرایط نسبتاً متوسطی برخوردار است. البته برای گیاهان با ارزش ریالی بیشتر توصیه می‌شود که اندازه‌های DU و CU به ترتیب بزرگتر از ۸۰ و ۸۷ درصد باشد(۲). از طرفی مقادیر DU به‌دست آمده از ردیف یک، در اکثر آزمایشها بیشتر از ردیفهای دیگر بوده است. این پدیده به احتمال زیاد به‌کم بودن اختلاف ارتفاع (۰/۱۷متر) بین ابتدا و انتهای بال مربوط می‌شود. مقادیر DU ردیف چهارم همیشه کمتراز دیگر ردیفها بود، زیرا در ردیف چهارم حداکثر اختلاف ارتفاع بین ابتدا و انتهای بال دستگاه ۳/۲ متر بوده که حدود۲۴/۲ درصد فشار آخرین آبپاش ۱۲۷/۵ kPa می‌باشد، که

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-06]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1377.2.2.1.7]

جدول ۲ - حجم آب جمع آوری شده در قوطیهای جمع کننده و نمونه‌های وزنی آنها

تاریخ: ۷۳/۴/۱۶ درجه تنظیم سرعت دستگاه (٪) : ۸۰ شماره ردیف : ۱

قوطی			شماره قطعه
نمونه‌های وزنی = نمونه × شماره محل			
۲۴۹۲	۸۹	۲۸	۷
۱۹۴۳	۶۷	۲۹	۸
۲۰۷۰	۶۹	۳۰	۸
۱۹۶۸/۵	۶۳/۵	۳۱	۸
۱۸۸۸	۵۹	۳۲	۸
۲۸۳۸	۸۶	۳۳	۹
۲۲۱۰	۶۵	۳۴	۹
۲۳۸۰	۶۸	۳۵	۹
۲۴۸۴	۶۹	۳۶	۹
۲۵۵۳	۶۹	۳۷	۱۰
۲۵۲۷	۶۶/۵	۳۸	۱۰
۲۴۵۷	۶۳	۳۹	۱۰
۲۹۲۰	۷۳	۴۰	۱۰
۳۱۹۸	۷۸	۴۱	۱۱
۲۸۱۴	۶۷	۴۲	۱۱
۳۴۶۱/۵	۸۰/۵	۴۳	۱۱
۳۵۶۴	۸۱	۴۴	۱۱
۳۱۷۲/۵	۷۰/۵	۴۵	۱۲
۳۲۶۶	۷۱	۴۶	۱۲
۳۲۹۰	۷۰	۴۷	۱۲
۳۳۶۰	۷۰	۴۸	۱۲
۲۳۵۲	۴۸	۴۹	۱۳
-	-	۵۰	۱۳
-	-	۵۱	۱۳

مجموع تمامی اعداد محل نمونه‌ها: ۱۲۲۵

مجموع $\frac{1}{4}$ پایین ترین اعداد نمونه‌ها : ۴۰۵

قوطی			شماره قطعه
نمونه‌های وزنی = نمونه × شماره محل			
۹۸	۹۸	۱	۱
۲۲۰	۱۱۰	۲	۱
۳۶۶	۱۲۲	۳	۱
۲۷۰	۶۷/۵	۴	۱
۵۸۰	۱۱۶	۵	۲
۴۰۲	۶۷	۶	۲
۵۳۹	۷۷	۷	۲
۶۸۸	۸۶	۸	۲
۷۲۴/۵	۸۰/۵	۹	۳
۸۷۰	۸۷	۱۰	۳
۹۹۰	۹۰	۱۱	۳
۹۶۰	۸۰	۱۲	۳
۹۴۹	۷۳	۱۳	۴
۱۳۳۰	۹۵	۱۴	۴
۱۰۸۰	۷۲	۱۵	۴
۱۲۸۰	۸۰	۱۶	۴
۲۰۰۶	۱۱۸	۱۷	۵
۱۴۲۲	۷۹	۱۸	۵
۱۴۳۴/۵	۷۵/۵	۱۹	۵
۱۵۰۰	۷۵	۲۰	۵
۱۶۱۷	۷۷	۲۱	۶
۱۹۱۴	۸۷	۲۲	۶
۱۷۷۱	۷۷	۲۳	۶
۱۸۸۴	۷۸/۵	۲۴	۶
۲۰۷۵	۸۳	۲۵	۷
۲۰۸۰	۸۰	۲۶	۷
۲۰۷۹	۷۷	۲۷	۷

مجموع تمامی اعداد محل نمونه‌ها: ۹۰۳۴۱

مجموع $\frac{1}{4}$ پایین ترین اعداد نمونه‌ها : ۲۵۷۶۵

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-06]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1377.2.2.1.7]

جدول ۳ - حجم آب جمع آوری شده در قوطیهای جمع کننده و نمونه‌های وزنی آنها

تاریخ: ۷۳/۴/۱۶ درجه تنظیم سرعت دستگاه (٪) : ۸۰ شماره ردیف : ۲

قوطی			شماره
نمونه‌های وزنی = نمونه × شماره محل			قطعه
۲۰۷۲	۷۴	۲۸	۷
۲۲۰۴	۷۶	۲۹	۸
۲۰۷۰	۶۹	۳۰	۸
۲۱۸۵/۵	۷۰/۵	۳۱	۸
۲۴۰۰	۷۵	۳۲	۸
۲۲۴۴	۶۸	۳۳	۹
۱۷۳۴	۵۱	۳۴	۹
۲۵۹۰	۷۴	۳۵	۹
۲۷۰۰	۷۵	۳۶	۹
۲۸۴۹	۷۷	۳۷	۱۰
۲۲۰۴	۵۸	۳۸	۱۰
۲۲۲۳	۵۷	۳۹	۱۰
۳۰۰۰	۷۵	۴۰	۱۰
۲۵۲۱/۵	۶۱/۵	۴۱	۱۱
۲۵۲۰	۶۰	۴۲	۱۱
۲۶۶۶	۶۲	۴۳	۱۱
۲۵۹۶	۵۹	۴۴	۱۱
۲۶۱۰	۵۸	۴۵	۱۲
۳۰۳۶	۶۶	۴۶	۱۲
۳۴۳۱	۷۳	۴۷	۱۲
۳۴۸۰	۷۲/۵	۴۸	۱۲
۳۱۳۶	۶۴	۴۹	۱۳
۲۷۵۰	۵۵	۵۰	۱۳
-	۱۸	۵۱	۱۳

مجموع تمامی اعداد محل نمونه‌ها: ۱۲۷۵

مجموع $\frac{1}{4}$ پایین ترین اعداد نمونه‌ها : ۴۴۶

قوطی			شماره
نمونه‌های وزنی = نمونه × شماره محل			قطعه
۸۸	۸۸	۱	۱
۲۰۶	۱۰۳	۲	۱
۳۴۸	۱۱۶	۳	۱
۳۵۲	۸۸	۴	۱
۳۶۵	۷۳	۵	۲
۲۰۴	۳۴	۶	۲
۲۶۶	۳۸	۷	۲
۳۲۰	۴۰	۸	۲
۶۶۱/۵	۷۳/۵	۹	۳
۷۲۰	۷۲	۱۰	۳
۹۶۸	۸۸	۱۱	۳
۸۶۴	۷۲	۱۲	۳
۹۷۵	۷۵	۱۳	۴
۱۱۴۸	۸۲	۱۴	۴
۱۲۶۰	۸۴	۱۵	۴
۱۴۴۰	۹۰	۱۶	۴
۱۴۱۱	۸۳	۱۷	۵
۱۳۲۳	۷۳/۵	۱۸	۵
۱۲۹۲	۶۸	۱۹	۵
۱۵۴۰	۷۷	۲۰	۵
۱۵۳۳	۷۳	۲۱	۶
۱۶۹۴	۷۷	۲۲	۶
۱۷۲۵	۷۵	۲۳	۶
۱۷۶۴	۷۳/۵	۲۴	۶
۱۸۰۰	۷۲	۲۵	۷
۲۰۲۸	۷۸	۲۶	۷
۱۸۰۹	۶۷	۲۷	۷

مجموع تمامی اعداد محل نمونه‌ها: ۸۷۲۲۳/۵

مجموع $\frac{1}{4}$ پایین ترین اعداد نمونه‌ها : ۲۵۷۵۰

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-06]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1377.2.2.1.7]

جدول ۴ - حجم آب جمع آوری شده در قوطیهای جمع کننده و نمونه‌های وزنی آنها

تاریخ: ۷۳/۴/۱۶ درجه تنظیم سرعت دستگاه (٪) : ۸۰ شماره ردیف : ۳

قوطی			شماره
نمونه‌های وزنی = نمونه × شماره محل			قطعه
۱۸۷۶	۶۷	۲۸	۷
۱۷۱۱	۵۹	۲۹	۸
۱۸۳۰	۶۱	۳۰	۸
۱۹۶۸/۵	۶۳/۵	۳۱	۸
۱۹۲۰	۶۰	۳۲	۸
۱۹۸۰	۶۰	۳۳	۹
۲۱۰۸	۶۲	۳۴	۹
۲۵۲۰	۷۲	۳۵	۹
۲۶۶۴	۷۴	۳۶	۹
۲۸۸۶	۷۸	۳۷	۱۰
۲۶۲۲	۶۹	۳۸	۱۰
۲۳۴۰	۶۰	۳۹	۱۰
۳۰۸۰	۷۷	۴۰	۱۰
۳۴۶۴/۵	۸۴/۵	۴۱	۱۱
۳۵۷۰	۸۵	۴۲	۱۱
۳۱۸۲	۷۴	۴۳	۱۱
۳۲۱۲	۷۳	۴۴	۱۱
۳۸۰۲/۵	۸۴/۵	۴۵	۱۲
۳۱۲۸	۶۸	۴۶	۱۲
۴۲۷۷	۹۱	۴۷	۱۲
۳۳۸۴	۷۰/۵	۴۸	۱۲
۱۸۶۲	۳۸	۴۹	۱۳
-	-	۵۰	۱۳
-	-	۵۱	۱۳

مجموع تمامی اعداد محل نمونه‌ها: ۱۲۲۵

مجموع $\frac{1}{4}$ پایین ترین اعداد نمونه‌ها: ۳۴۱

قوطی			شماره
نمونه‌های وزنی = نمونه × شماره محل			قطعه
۷۹	۷۹	۱	۱
۲۸۶	۱۴۳	۲	۱
۲۹۴	۹۸	۳	۱
۴۰۸	۱۰۲	۴	۱
۴۹۰	۹۸	۵	۲
۵۹۴	۹۹	۶	۲
۶۲۳	۸۹	۷	۲
۷۰۸	۸۸/۵	۸	۲
۶۶۶	۷۴	۹	۳
۷۲۰	۷۲	۱۰	۳
۷۹۲	۷۲	۱۱	۳
۶۱۲	۵۱	۱۲	۳
۸۴۵	۶۵	۱۳	۴
۱۰۹۹	۷۸/۵	۱۴	۴
۱۱۲۵	۷۵	۱۵	۴
۱۱۹۲	۷۴/۵	۱۶	۴
۱۳۴۳	۷۹	۱۷	۵
۱۳۳۲	۷۴	۱۸	۵
۱۲۳۵	۶۵	۱۹	۵
۱۳۶۰	۶۸	۲۰	۵
۱۴۷۰	۷۰	۲۱	۶
۱۳۸۶	۶۳	۲۲	۶
۱۸۸۶	۸۲	۲۳	۶
۱۶۸۰	۷۰	۲۴	۶
۱۷۰۰	۶۸	۲۵	۷
۱۷۶۸	۶۸	۲۶	۷
۱۷۵۵	۶۵	۲۷	۷

مجموع تمامی اعداد محل نمونه‌ها: ۸۶۸۳۰

مجموع $\frac{1}{4}$ پایین ترین اعداد نمونه‌ها : ۲۲۹۱۲

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-06]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1377.2.2.1.7]

جدول ۵ - حجم آب جمع آوری شده در قوطیهای جمع کننده و نمونه‌های وزنی آنها

تاریخ: ۷۳/۴/۱۶ درجه تنظیم سرعت دستگاه (٪) : ۸۰ شماره ردیف : ۴

قوطی			شماره
نمونه‌های وزنی = نمونه × شماره محل			قطعه
۲۴۰۸	۸۶	۲۸	۷
۲۸۱۳	۹۷	۲۹	۸
۲۸۲۰	۹۴	۳۰	۸
۲۵۸۸/۵	۸۳/۵	۳۱	۸
۲۶۵۶	۸۳	۳۲	۸
۲۶۰۷	۷۹	۳۳	۹
۲۷۵۴	۸۱	۳۴	۹
۳۲۲۰	۹۲	۳۵	۹
۳۵۲۸	۹۸	۳۶	۹
۳۵۳۳/۵	۹۵/۵	۳۷	۱۰
۳۱۵۴	۸۳	۳۸	۱۰
۳۴۷۱	۸۹	۳۹	۱۰
۳۶۸۰	۹۲	۴۰	۱۰
۳۸۳۳/۵	۹۳/۵	۴۱	۱۱
۳۴۴۴	۸۲	۴۲	۱۱
۳۶۱۲	۸۴	۴۳	۱۱
۳۷۴۰	۸۵	۴۴	۱۱
۳۹۱۵	۸۷	۴۵	۱۲
۳۴۰۴	۷۴	۴۶	۱۲
۳۹۹۵	۸۵	۴۷	۱۲
۴۴۱۶	۹۲	۴۸	۱۲
۳۵۷۷	۷۳	۴۹	۱۳
۳۴۵۰	۶۹	۵۰	۱۳
۲۳۹۷	۴۷	۵۱	۱۳

مجموع تمامی اعداد محل نمونه‌ها: ۱۳۲۶

مجموع $\frac{1}{4}$ پایین ترین اعداد نمونه‌ها : ۲۶۳

قوطی			شماره
نمونه‌های وزنی = نمونه × شماره محل			قطعه
۷۱	۷۱	۱	۱
۱۵۶	۷۸	۲	۱
۳۳۰	۱۱۰	۳	۱
۳۴۰	۸۵	۴	۱
۵۶۰	۱۱۲	۵	۲
۳۷۲	۶۲	۶	۲
۴۳۴	۶۲	۷	۲
۸۰۰	۱۰۰	۸	۲
۹۸۱	۱۰۹	۹	۳
۶۰۰	۶۰	۱۰	۳
۶۰۵	۵۵	۱۱	۳
۸۱۶	۶۸	۱۲	۳
۶۶۹/۵	۵۱/۵	۱۳	۴
۸۲۶	۵۹	۱۴	۴
۹۳۰	۶۲	۱۵	۴
۱۲۰۰	۷۵	۱۶	۴
۱۴۲۸	۸۴	۱۷	۵
۱۴۹۴	۸۳	۱۸	۵
۱۶۳۴	۸۶	۱۹	۵
۱۵۲۰	۷۶	۲۰	۵
۱۵۴۳/۵	۷۳/۵	۲۱	۶
۱۷۸۲	۸۱	۲۲	۶
۱۵۴۱	۶۷	۲۳	۶
۱۴۸۸	۶۲	۲۴	۶
۲۲۰۰	۸۸	۲۵	۷
۲۲۴۹	۸۶/۵	۲۶	۷
۱۷۲۸	۶۴	۲۷	۷

مجموع تمامی اعداد محل نمونه‌ها: ۱۰۷۳۱۴

مجموع $\frac{1}{4}$ پایین ترین اعداد نمونه‌ها : ۱۵۸۵۷

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-06]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1377.2.2.1.7]

جدول ۶ - اجزاء و عوامل مقایسه ارزیابی در روش آبیاری بارانی (سنترپیوت)

تاریخ: ۷۳/۴/۱۶ ساعت شروع آزمایش: ۷:۳۰ ساعت پایان آبیاری: ۱۳:۰۰ فشار کارکرد (psi) : ۳۵

فاکتورها / تکرارها	حجم آب آبیاری (m^3)	میانگین عمق آب کاربردی (mm)	میانگین وزنی کل نمونه‌ها (mm)	میانگین وزنی یک‌ربع پایین نمونه‌ها (mm)	بازده پتانسیل %	کمبود رطوبتی خاک خاک (mm)	بازده واقعی (%)	یکنواختی پخش آب (%)	تلفات تبخیر (%)	سرعت باد (m/s)
ردیف ۱	۲۱۰	۱۰/۹	۹/۴	۸/۱	۷۴	۷/۹	۷۲/۵	۸۶	۱۲	۳
ردیف ۲	۲۱۰	۱۰/۹	۸/۷۱	۷/۳۵	۶۷/۴	۷/۹	۶۷/۴	۸۴	۱۶/۶	۴
ردیف ۳	۲۱۰	۱۰/۹	۹/۰۳	۸/۵۶	۷۸/۵	۷/۹	۷۲/۵	۹۵	۱۶/۵	۲
ردیف ۴	۲۱۰	۱۰/۹	۱۰/۳	۷/۷	۷۰/۵	۷/۹	۷۰/۶	۷۵	۴/۵	۵
میانگین	۸۴۰	۱۰/۹	۹/۳۶	۷/۹۳	۷۲/۷	۷/۹	۷۲/۵	۸۴/۷	۱۲	۵

دبی سیستم (l/s) : ۴۵ درجه تنظیم دستگاه (٪) : ۸۰ سرعت باد (m/s) : - مساحت آبیاری شده (m^2) : ۷۷۰۰۰

[DOR: 20.1001.1.22518517.1377.2.2.1.7] [Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-06]

مقدار قابل قبولی نیست[1] . در آزمایشهای ردیف یک، اختلاف ارتفاع ۰/۱۷ متر کمترین تأثیر را بر DU دارد چون این مقدار (۱/۶ kPa) تنها ۳ درصد فشار آخرین آبپاش (۱۲۷/۵ kPa) است. تغییرات DU در طول فصل زراعی در شکل ۲ آمده است.

۲- میانگین مقادیر PELQ یا بازده پتانسیل کاربرد در طول فصل زراعی برابر ۷۹ درصد به‌دست آمده که برای سیستم آبیاری بارانی عقربه ای نسبتاً کم به نظر می‌رسد (۸). این نشان می‌دهد که سیستم موجود با زمین و شرایط زراعی آن مطابقت خوبی ندارد. بنابراین با اصلاح سیستم می‌توان بازده بالقوه آن را بالا برد. روش پیشنهادی در جهت اصلاح بازده بالقوه، افزایش فشار کارکرد سیستم و کاهش قطر روزنه‌ها است که در این صورت بازده بالایی حاصل می‌گردد. همان طوری که در جدول ۶ ملاحظه می‌شود، تاثیر اختلاف ارتفاع دو سربال بر بازده پتانسیل نیز مشهود است ولی این تاثیر بر DU خیلی بیشتر از PELQ به نظر می‌رسد. اعداد جدول مذکور نشان می‌دهد که سرعت چرخش دستگاه نیز بر PELQ تاثیر دارد، یعنی هر چه سرعت دستگاه کمتر شود مقدار PELQ افزایش پیدا می‌کند. چون اختلاف بین میانگین عمق کاربردی با میانگین عمق ربع پایین کمتر شده است، از مقایسه مقادیر DU و PELQ ملاحظه می‌شود که اختلاف کمی بین این دو وجود دارد. مقادیر این اختلاف نشان دهنده مقدار تلفات آب ناشی از بادزدگی و تبخیر است و در مقایسه با خطای اندازه گیری بسیار ناچیز می‌باشد. تغییرات مقادیر PELQ در طول فصل زراعی برای سیستم آبیاری بارانی عقربه ای در شکل ۳ نشان داده شده است.

۳- میانگین مقادیر بازده واقعی سیستم (AELQ) در طول فصل آبیاری حدود ۷۶ درصد به دست آمد که مقدار قابل قبولی در سیستم آبیاری بارانی عقربه‌ای می‌باشد(۸). مقادیر بالای AELQ نشان دهنده این است که مدیریت سیستم خوب عمل نموده است. اختلاف AELQ و PELQ ناچیز بوده و مبین این است که سیستم عملکرد خوبی داشته است. در بیشتر اندازه‌گیریها مقادیر PELQ و AELQ برابر بود و این نشان می‌دهد که حداقل عمق آب داده شده به زمین و ذخیر شده در منطقه ریشه، کمتر از کمبود رطوبتی خاک بوده است. بنابراین در بعضی از موارد آب آبیاری کمتر از نیاز داده شده است، یا به عبارتی آب آبیاری کافی نبوده است . روند تغییرات AELQ در طول فصل تقریباً یکسان بوده است. در روزهائی از فصل که باد و شدت گرما زیاد بوده این بازده کاهش داشته است. روند تغییرات مقادیر AELQ برای سیستم آبیاری عقربه‌ای در طول فصل آبیاری در شکل ۴ نشان داده شده است.

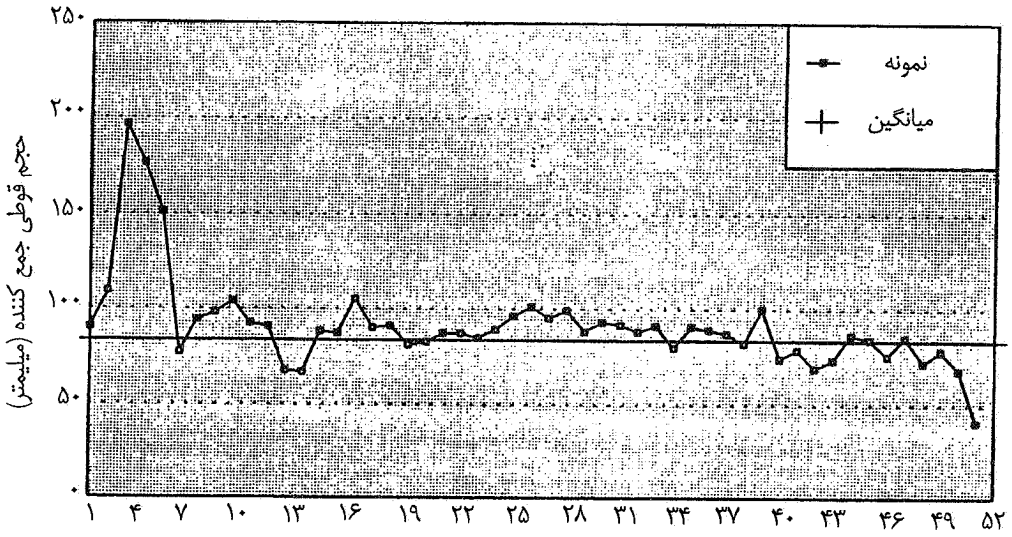
۴- رواناب سطحی: چون سیستم در شرایطی متفاوت از دستورات طراح (دبی و فشار طراحی به ترتیب ۳۳ لیتر بر ثانیه و ۱۸۶/۱ kPa) یعنی با دبی و فشار غیر طراحی (۴۵ لیتر بر ثانیه و ۲۴۱/۳kPa) کار می‌کرد بنابراین شدت پخش آب زیادتر از مقدار تعیین شده در طراحی بود. این اختلاف موجب شده بود که شدت پخش آب در آخرین آبپاش (۱۲۱/۸ میلیمتر بر ساعت)، بیشتر از شدت نفوذ آب در خاک باشد.

شدت پخش آبپاشها در ماورای طول ۲۰۰ متر بال زیادتر بود و منجر به ایجاد رواناب گردید. البته در سرعتهای بالای دستگاه، هرز آب ایجاد نگردید، ولی در سرعتهای تنظیم شده ۸۰٪ و ۴۰٪ رواناب مشاهده شد و باعث حالت ماندابی در فاصله بین ۱۸۰ تا ۲۸۰ متری طول بال دستگاه گردید. بنابراین مقادیر PELQ به دست آمده در شرایط سرعت ۸۰٪ و یا ۴۰٪ را به طور قطعی نمی‌توان به عنوان بازده بالقوه سیستم پذیرفت. چون مقدار زیادی رواناب سطحی تولید شده و با افزایش سرعت سیستم، عمق آب در هر آبیاری کاهش یافته و در نتیجه از ایجاد رواناب سطحی جلوگیری می‌شد، زیرا بافت خاک نسبتاً سبک بود. کاهش قطر فواره آبپاش و در نتیجه کاهش دبی آبیاری جهت کاهش ظرفیت سیستم ومیزان عمق کاربردی از دیگر راه حلهای ممکن برای کاهش رواناب سیستم می‌باشد. برای رسیدن به یکنواختی مطلوب باید تمامی فواره‌ها تعویض

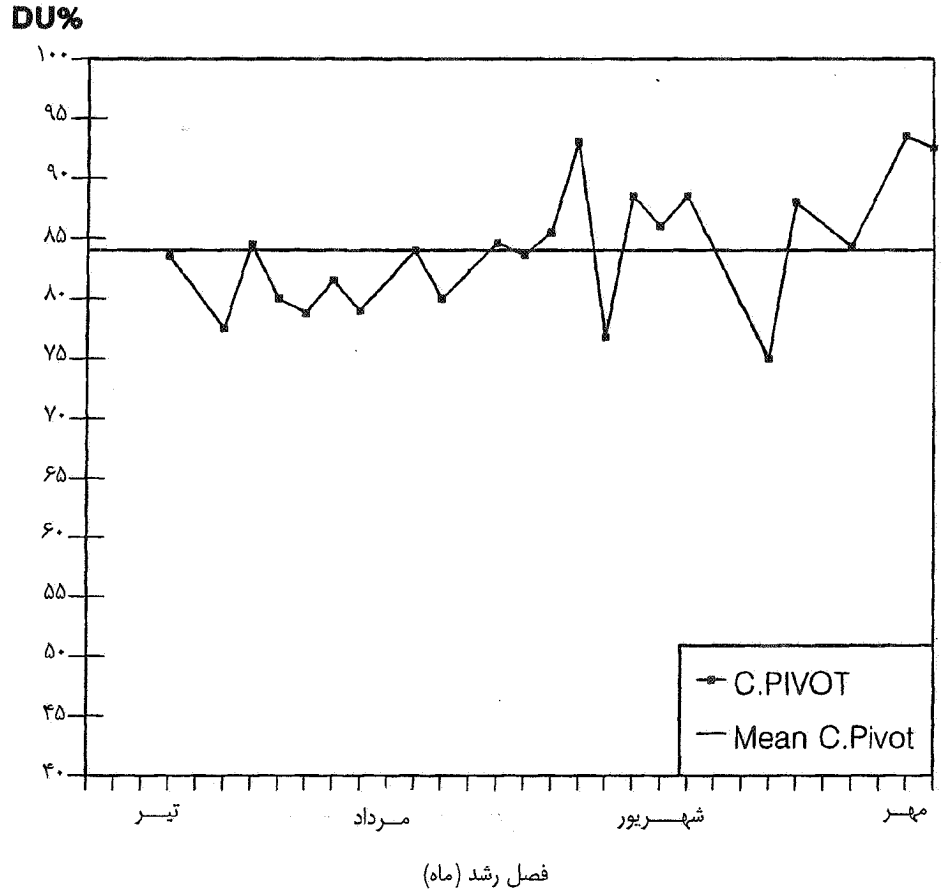
۱- اختلاف ارتفاع بین ابتدا و انتهای بال اگر از ۲۰٪ فشار آخرین آبپاش بیشتر باشد در مقدار DU در جهت کم شدن آن تاثیر زیادی می‌گذارد (۸).

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-06]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1377.2.2.1.7]



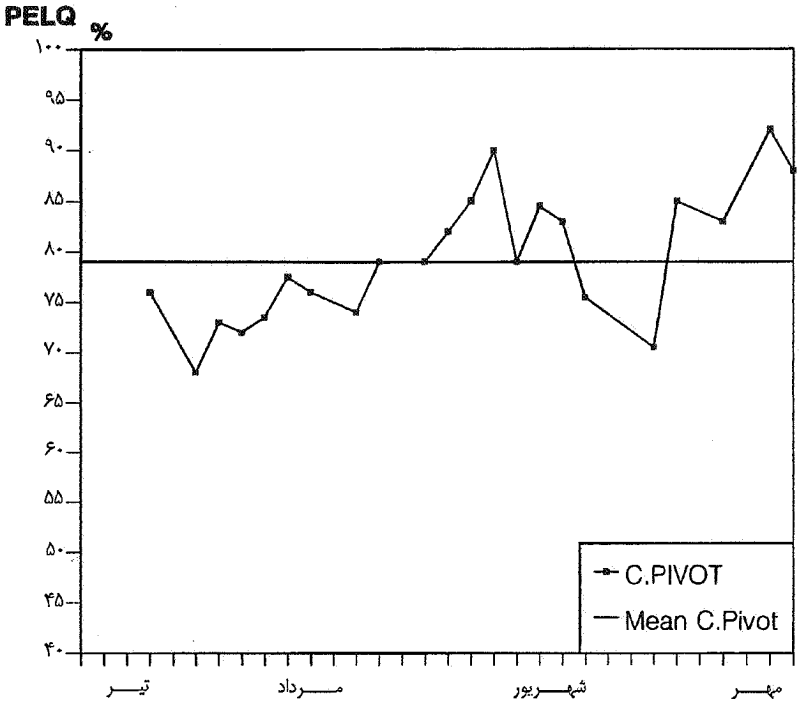
شکل ۱ - توزیع پراکنش آب جمع‌آوری شده در قوطیهای جمع کننده در سرعت چرخشی ۸۰ درصد



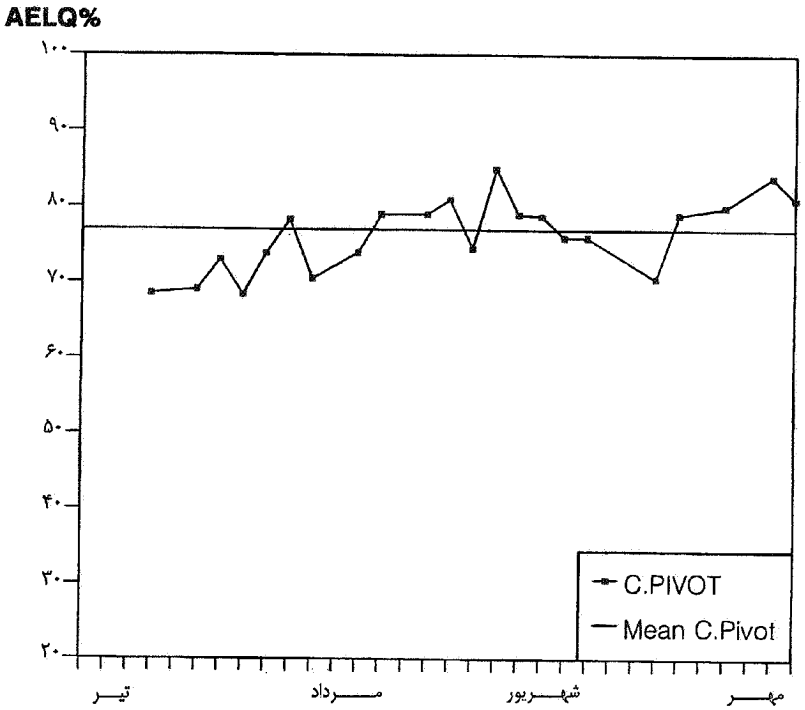
شکل ۲- روند تغییرات توزیع یکنواختی پخش در طول فصل آبیاری (DU)

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-06]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1377.2.2.1.7]



شکل ۳ - روند تغییرات بازده پتانسیل در طول فصل آبیاری (PELQ)



شکل ۴ - روند تغییرات بازده واقعی در طول فصل آبیاری (AELQ)

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-06]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1377.2.2.1.7]

شود، همچنین جهت جلوگیری از ایجاد رواناب سطحی بهتر است که در جهت عمود بر شیب زمین شیار ایجاد شده و سعی گردد که کلیه عملیات زراعی در این جهت انجام گیرد. این عمل ظرفیت ذخیرهٔ سطحی خاک را بیشتر کرده وباعث می‌شود که آب فرصت بیشتری برای نفوذ در خاک داشته باشد.

همچنین افزایش فشار و کاهش قطر فواره ها در تمام سیستم، به منظور یکسان نگاه داشتن شدت پخش آب الزامی است، زیرا در این حالت میانگین قطر قطرات آب کمتر شده ودر نتیجه به دلیل برخورد قطرات کوچکتر آب با سطح خاک موجب انسداد منافذ خاک، که از دلایل عمده کاهش نفوذپذیری است، نمی‌گردد.

نتیجه گیری

۱- برای دست یابی به عمق پخش یکنواخت، اندازه روزنه بعضی از آبپاشها باید تغییر داده‌شود.

۲- میانگین یکنواختی پخش (DU) در طول فصل زراعی تقریباً برابر ۸۴ درصد بوده که این میزان برای سیستم بارانی عقربه ای مقدار متوسطی محسوب می‌گردد.

۳- میانگین بازده بالقوه (PELQ) در طول فصل آبیاری حدود ۷۹ درصد به دست آمد. این مقدار برای سیستم آبیاری بارانی عقربه ای نسبتاً کم و نمایانگر احتمال وجود اشکال در طراحی سیستم می‌باشد(۸).

۴- میانگین بازده واقعی(AELQ)در طول فصل آبیاری تقریباً ۷۶ درصد بوده که مقدار قابل قبولی در سیستم آبیاری بارانی عقربه ای می‌باشد(۷).

۵- حجم آب مصرف شده برای آبیاری در سیستم آبیاری بارانی ۹۱۸۴ متر مکعب در هکتار و نیاز آبی ذرت دانه‌ای ۶۸۹۰ متر مکعب در هکتار برآورد گردید.

سپاسگزاری

کلیه هزینه ها و امکانات اجرایی این طرح توسط مؤسسه تحقیقات فنی ومهندسی کشاورزی فراهم شده است که بدین وسیله صمیمانه تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع مورد استفاده

1- ASCE Committee. 1978. Describing irrigation efficiency and uniformity, ASCE , J. Irr. and Drain Div., 104, (IR1), :35-41.

2- Cuenca, R. H. 1989. Irrigation System Design: An Engineering Approach. Prentice Hall, Inc., New Jersey, USA.

3- Deckle, R., C. R. Camp, and M. Cardey. 1984. Furrow Demonstration in South Carolina. ASAE, paper 10.

4- Dillon, R. O., E. A. Hiler and Vittetoe. 1972. Center-pivot sprinkler design based on intake characteristics. Transaction of the ASAE 15 (5) : 996-1001.

5- Jensen, M.E. 1983. Design & Operation of Farm Irrigation Systems. ASAE Monograph.

6- Heermann, D. F. and P. R. Hein. 1968. Performance characteristics of self-properlled center-pivot sprinkler irrigation system. Transaction of the ASAE, 11 (1) : 11-15.

7- Merriam, J.L. and J. Keller. 1978. Farm Irrigation System Evaluation: A Guide for Management, Utah State Univ., Utah, 271 p.

8- Roland, L. 1982. Mechanized Sprinkler Irrigation. FAO, Irrigation and Drainage, No. 35, 409 p.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-06]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1377.2.2.1.7]