تعیین عمق بهینه آب آبیاری گندم بر اساس خط مشی‌های مختلف مدیریتی در آبیاری بارانی عقربه‌ای

فرید فروغی[۱] و علی اصغر قائمی[۲]

چکیده

در مبحث برنامه‌ریزی آبیاری این سؤال مطرح می‌شود که عمق بهینه آبیاری چه مقدار است؟ در این پژوهش عمق بهینه آبیاری (با فرض توزیع توانی و با در نظر گرفتن تابع توزیع حاکم بر داده‌ها (توزیع نرمال)) با در نظر گرفتن آثار زیست محیطی برای سه خط مشی مختلف اقتصادی (بدون محدودیت، با محدودیت شستشوی کودها و با محدودیت زیست محیطی) برای گیاه گندم و با سیستم آبیاری بارانی عقربه‌ای تعیین شد. آرایش سیستم در مزرعه ۳۲ هکتاری مطابق با استاندارد ASAE طرح‌ریزی شد. به این ترتیب که در چهار ردیف شعاعی (دو ردیف A و B روی شیب حداکثر با زاویه ۳ درجه بین دو شعاع و دو ردیف C و D روی شیب حداقل با زاویه ۳ درجه بین دو شعاع) قوطی‌های نمونه‌برداری آب به فاصله شش متر قرار گرفت. سپس دستگاه با پنج سرعت مختلف راه‌اندازی و مقادیر آب داخل قوطی‌ها اندازه‌گیری شد. نسبت اقتصادی (C) برای سه نوع مدیریت بدون محدودیت، با محدودیت شستشوی کودها و محدودیت زیست محیطی به ترتیب ۳۱/۱۹، ۴/۵۸ و ۱/۴۵ محاسبه گردید.

نتایج نشان داد که عمق بهینه آبیاری برای مدیریت بدون محدودیت کمترین مقدار و برای مدیریت با محدودیت زیست محیطی بیشترین مقدار (در دو حالت فرض توزیع توانی و تابع توزیع نرمال) بود.

واژه‌های کلیدی: *آبیاری عقربه‌ای، عمق بهینه آبیاری، توزیع نرمال، توزیع توانی، نسبت اقتصادی*

۱. مربی آبیاری، دانشکده کشاورزی داراب، دانشگاه شیراز

۲. استادیار آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-08-24]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1384.9.2.1.1]

مقدمه

ایران سرزمینی نسبتاً خشک با میانگین بارندگی سالیانه ۲۵۰ میلی‌متر است که این مقدار کمتر از یک‌سوم میانگین بارندگی سالیانه کره زمین است. در چنین شرایطی آب، عامل محدود کننده برای کشاورزی به شمار می‌رود. با افزایش رشد جمعیت طی ۲۰ سال آینده، جمعیت کشور بالغ بر ۱۰۰ میلیون نفر خواهد شد. چنانچه طبق پیشنهاد سازمان خواربار جهانی (FAO)، برای تأمین مواد غذایی سالیانه هر ۳/۳ نفر یک هکتار زمین آبی در نظر گرفته شود، در حال حاضر با جمعیت ۶۸ میلیونی کشور حدود ۲۰ میلیون هکتار زمین آبی (به جای ۷/۳ میلیون هکتار) نیاز است و این نیاز در ۲۰ سال آینده به ۳۰ میلیون هکتار بالغ خواهد شد (۵).

تقریباً در اواخر قرن نوزدهم برای نخستین بار به منظور افزایش تولیدات کشاورزی از روش‌های نوین علمی در آبیاری زمین‌های نواحی خشک استفاده شد و با بهره‌برداری معقول از منابع آب و خاک میلیون‌ها هکتار از اراضی در سراسر دنیا تحت کشت آبی درآمد یکی از این روش‌های نوین، آبیاری بارانی عقربه‌ای (سنترپیوت) (Center pivot) است که برای گیاهان مختلف و در سطح وسیعی به کار گرفته می‌شود. به همراه این روش، اقداماتی برای حداکثر کردن محصول دنبال می‌شود.

روش‌های افزایش محصول غالباً با افزایش محصول تولیدی در واحد سطح و با آب نامحدود انجام می‌شود. باید متذکر شد که این روش به دلیل در نظر نگرفتن آلودگی‌های زیست محیطی (ناشی از شستشوی کود) متضمن کسب حداکثر سود و یا سود حاصل از هر واحد آب نخواهد بود. با توجه به استفاده رو به رشد از این سیستم و با توجه به مسایل خشک‌سالی و بحث اقتصادی بودن آبیاری (عمق بهینه آبیاری) این سؤال مطرح می‌شود که عمق بهینه آبیاری چه مقدار است؟ متأسفانه این پارامتر عموماً بدون در نظر گرفتن آثار زیست‌محیطی تعیین می‌شود. حتی[1] در بعضی موارد که آثار زیست‌محیطی نیز در نظر گرفته می‌شود، این کار بدون توجه به تابع توزیع حاکم بر داده‌ها صورت می‌گیرد. با توجه به مسایل زیست محیطی و هزینه‌ای که برای پاک‌سازی آن باید متحمل شد، لزوماً عمق بهینه آبیاری، عمقی نیست که بیشترین محصول از آن عاید شود. بنابراین در تعیین عمق بهینه آبیاری محدودیت‌های زیست‌محیطی را نیز باید در نظر گرفت.

هیل و کلر (۱۲) راهی را برای ارتباط مقدار آب کاربردی با نسبت‌های مساحت‌های آبیاری شده و عملکرد حاصله به منظور طراحی روش‌آبیاری ارائه کردند. آنها برای انواع روش‌های آبیاری، یک‌نواختی آبیاری قابل دسترس را برآورد نمودند و مقدار بهینه آب کاربردی که حداکثر سود را در بر دارد محاسبه کردند. هم‌چنین گزارش کردند که عمق بهینه آبیاری به هزینه آب، ضریب یک‌نواختی و مقدار محصول بستگی دارد.

پری و همکاران (۱۵) نشان دادند که برای هر الگوی توزیع آب در مزرعه عمق کاربردی وجود دارد که مجموع زیان اقتصادی ناشی از کم آبیاری و آبیاری مازاد حداقل می‌گردد که همان عمق بهینه آبیاری است. آنها یک تحلیل اقتصادی برای تعیین عمق بهینه آبیاری برای سیستم‌های آبیاری سطحی و بارانی ارائه کردند. در این پژوهش نسبت اقتصادی ($C=\frac{\beta}{\alpha}$) (β تلفات درآمد ناشی از کم‌آبیاری و α تلفات درآمد ناشی ازآبیاری مازاد است) را برای سه نوع مدیریت آبیاری، بدون محدودیت، با محدودیت شستشوی کودها و با محدودیت زیست‌محیطی تعیین نمودند. هم‌چنین گزارش کردند که برای برخی سیستم‌های آبیاری مانند آبیاری سطحی و عقربه‌ای مقدار بهینه آب آبیاری برای خط مشی بدون محدودیت کمترین مقدار و برای خط مشی با محدودیت زیست محیطی بیشترین مقدار آب کاربردی را به دست می‌دهد.

دوک و همکاران (۹) مقدار بهینه آب آبیاری را برای سیستم آبیاری عقربه‌ای تعیین نمودند. آنها نسبت اقتصادی ($C=\frac{\beta}{\alpha}$) را برای سه نوع مدیریت بدون محدودیت، با محدودیت شستشوی کودها و محدودیت زیست‌محیطی به ترتیب برابر ۱۸/۸۹، ۰/۷۲ و ۰/۱۳۹ به دست آوردند. آنها هم‌چنین گزارش

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-08-24]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1384.9.2.1.1]

کردند که عمق بهینه آبیاری برای سیستم آبیاری عقربه‌ای به ضریب یک‌نواختی، سرعت حرکت دستگاه، میانگین پخش آب از دستگاه و نسبت اقتصادی بستگی دارد. نسبت اقتصادی نیز تابعی از شرایط محلی (قیمت آب، قیمت کود، قیمت محصول و ...) بوده و برای هر منطقه باید تعیین گردد. آنها گزارش کردند که مقدار بهینه آب آبیاری در سیستم آبیاری عقربه‌ای برای مدیریت بدون محدودیت کمترین و برای مدیریت با محدودیت زیست‌محیطی بیشترین مقدار آب کاربردی را به دست می‌دهد.

دونالد و همکاران (۸) با استفاده از مفهوم عمق بهینه آبیاری که به وسیله پری و همکاران (۱۵) ارائه شد و با فرض توانی بودن داده‌ها روشی را برای تعیین عمق بهینه آبیاری برای سیستم‌های آبیاری سطحی و بارانی برای انواع مدیریت‌های آبیاری بدون محدودیت، با محدودیت شستشوی کودها و محدودیت زیست‌محیطی ارائه کردند. عمق بهینه‌ای که آنها معرفی کردند علاوه بر نسبت اقتصادی به بیشترین و کمترین مقدار آب نفوذ کرده در مزرعه بستگی دارد.

مینایی و سپاسخواه (۴) با استفاده از روابط دونالد و همکاران (۸) مقدار بهینه عمق آب آبیاری را برای حالت مقدار نیاز ثابت (سیستم‌های آبیاری سطحی) محاسبه کردند. در این تحلیل، هزینه‌های احداث سیستم‌های زه‌کشی نیز به کاهش درآمد اقتصادی در واحد آب مازاد (α) اضافه شد.

عابدیان (۲) برای محاسبه مقدار آب بهینه آبیاری در سیستم آبیاری بارانی با لوله‌های چرخ دار از نسبت اقتصادی تلفات درآمد ناشی از کم آبیاری به آبیاری مازاد (β/α) استفاده کرد. وی برای به دست آوردن مقادیر آب بهینه از روش پری و همکاران (۱۵) و دونالد و همکاران (۸) استفاده کرده و نسبت اقتصادی را برای سه نوع مدیریت بدون محدودیت، با محدودیت شستشوی کودها و محدودیت زیست محیطی را به ترتیب برابر ۵۹/۹۵، ۳/۷۹ و ۰/۵۴ به دست آورد. سپس عمق بهینه آبیاری را برای سه نوع مدیریت تعیین کرد.

در این پژوهش با استفاده از مفهوم عمق بهینه آبیاری که توسط پری و همکاران (۱۵) و دونالد وهمکاران (۸) ارائه شد، عمق بهینه آبیاری برای خط مشی‌های مختلف مدیریتی (بدون محدودیت، با محدودیت شستشوی کودها و با محدودیت زیست‌محیطی) برای گیاه گندم و با سیستم آبیاری بارانی برای دو حالت (تابع توزیع نرمال و توانی) بررسی شد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش از دستگاه آبیاری بارانی عقربه‌ای (نوع کم فشار) استفاده شد. این دستگاه در مزرعه‌ای به مساحت ۳۲/۱ هکتار در شمال غرب دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز واقع در منطقه باجگاه نصب شده است. در این مزرعه، گندم پاییزه کشت شد. سیستم مذکور دارای مشخصاتی مانند شش قطعه که پنج قطعه از آن به طول ۵۲/۵ متر و قطعه آخر به طول ۴۶/۵ متر، طول بال ۳۲۱ متر، طول بال معلق در انتهای آخرین قطعه ۱۲ متر، تعداد ۱۰۷ آبپاش (که به فواصل ۳ متر از هم روی لوله آبیاری قرار گرفته بودند) و هم‌چنین تعداد شش برج می‌باشد. دبی و فشار کارکرد سیستم به ترتیب ۵۳/۵ لیتر در ثانیه و ۲۴۰ کیلو پاسکال بود. با نقشه‌برداری از مزرعه، نقشه توپوگرافی تهیه و شیب زمین در جهات مختلف تعیین شد. برای انجام این پژوهش وسایلی همچون استوانه مدرج، میخ چوبی، دوربین نقشه‌برداری، متر، قوطی نمونه‌برداری آب به قطر داخلی ۹/۹ سانتی‌متر، دستگاه اسپکتروفتومتر برای تعیین ازت نیتراته خاک و ازت کل گیاه (روش کلدال) استفاده گردید. با توجه به استاندارد الگوی آرایش قوطی‌ها در مزرعه پیاده شد (۷ و ۱۱). به این ترتیب که قوطی‌های نمونه‌برداری آب در چهار ردیف شعاعی (دو ردیف A و B روی بیشترین شیب با زاویه ۳ درجه بین دو شعاع و دو ردیف C و D روی کمترین شیب با زاویه ۳ درجه بین دو شعاع) قرار گرفت. سپس در امتداد هر شعاع به فواصل شش متر میخ‌کوبی شد و در محل هر یک از میخ‌ها یک عدد قوطی نمونه‌برداری قرار گرفت. حجم آب جمع شده در قوطی‌های نمونه‌برداری مستقر در ردیف‌های شعاعی با توجه به ارتفاع پوشش گیاهی به دو روش تعیین شد:

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-08-24]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1384.9.2.1.1]

۱. هنگامی‌که ارتفاع پوشش گیاهی مانع ورود آب به قوطی‌ها نمی‌شد حجم آب قوطی‌ها مستقیماً اندازه‌گیری گردید.

۲. هنگامی‌که ارتفاع پوشش گیاهی مانع ورود آب به قوطی‌ها می‌شد، پایه‌هایی برای قوطی‌ها ساخته شد. با تنظیم مقدار فرورفتگی پایه‌ها در خاک، قوطی‌ها بالای پوشش گیاهی قرار می‌گرفت و آب آبپاش‌ها، مستقیماً وارد قوطی‌ها می‌شد. در این حالت پایه‌های قوطی‌ها دقیقاً در محل میخ‌کوبی‌ها نصب شد. هم‌چنین به منظور تعیین ساعت کارکرد دستگاه، سرعت حرکت برج آخر نیز اندازه‌گیری گردید.

عمق بهینه آب آبیاری

عمق بهینه سیستم (System Optimal Depth, SOD) عبارت است از مقدار آب کاربردی که باید در خاک نفوذ کرده تا برای آن آبیاری بیشترین سود را حاصل کند (۱۵). به طور کلی مفهوم عمق بهینه آبیاری در دو حالت مختلف با مقدار آب کاربردی در ارتباط است:

حالت اول: مقدار آب کاربردی مورد نیاز (Soil Moisture Requirement) ثابت و معلوم بوده و میانگین شدت پخش سیستم نیز مشخص است. با استفاده از روابط موجود در پری و همکاران (۱۵) میانگین عمق آبی که باید به‌کار برده شود محاسبه می‌گردد. این عمق میانگین به عنوان عمق بهینه منظور می‌گردد و با تعیین آن زمان آبیاری تعیین می‌شود. این روش مختص آبیاری بارانی (به جز عقربه‌ای) است که در این روش زمان آبیاری به‌صورت زیر ارائه شده است:

$$t = \bar{y}/\bar{y}_1 \qquad [1]$$

که:

$\bar{y}$ = عمق بهینه آب آبیاری برحسب واحد ارتفاع (SOD)

$\bar{y}_1$ = میانگین مقدار آب نفوذ کرده در واحد زمان یا میانگین شدت پخش سیستم

t= زمان آبیاری

حالت دوم: میانگین مقدار آب کاربردی ثابت و معلوم بوده و عمق بهینه سیستم و فاصله بین آبیاری‌ها تعیین می‌شود. این حالت خود به دو مورد تقسیم می‌شود. مورد نخست اغلب مربوط به سیستم‌های آبیاری سطحی است که تغییر در شرایط کارکرد سیستم (اندازه جریان ورودی، شیب، طول جریان و زمان آبیاری) غیر ممکن است و یا باعث ناکارآمد شدن سیستم می‌گردد. مورد دوم در بعضی از سیستم‌های آبیاری بارانی (به عنوان مثال عقربه‌ای) استفاده می‌شود که زمان آبیاری و مقدار آب تابعی از محدودیت‌های تخصیص آب یا محدودیت‌های برنامه‌ریزی است و باید با زمان ثابت آبیاری گردد (در این وضعیت دور آبیاری اعمال می‌گردد). در این وضعیت میانگین عمق آب کاربردی ($\bar{y}$) ثابت است و عمق آبیاری مورد نیاز y^* (یا همان ET_c) باید تعیین گردد که در این حالت این عمق به‌عنوان عمق بهینه (SOD یا y^*) به‌کار می‌رود. در این شرایط فاصله بین آبیاری‌ها از رابطه زیر به دست می‌آید (۸ و ۱۵):

$$T = \frac{y^*}{ET} \qquad [2]$$

که:

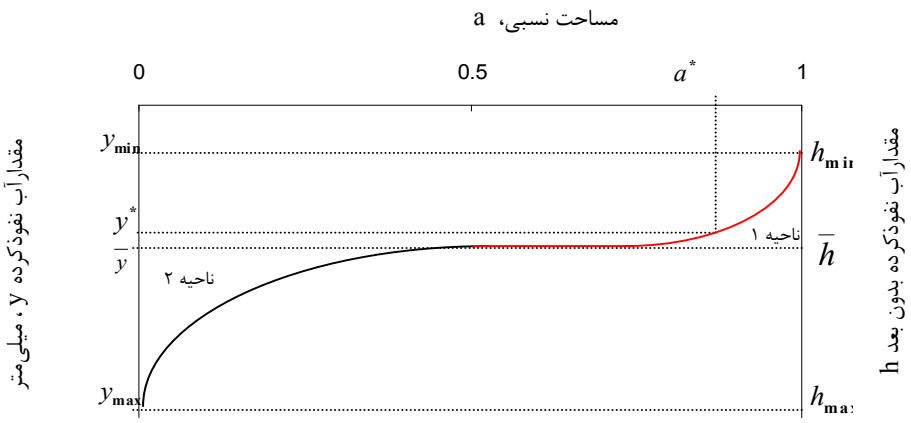
T = فاصله بین آبیاری‌ها

ET= تبخیر تعرق

در رابطه با موارد گفته شده فوق هارت و رینولدز (۱۰) و نورم (۱۴) مفهوم توزیع تجمعی بزرگ‌تر را به کار بردند. برای توضیح این مطلب مقدار آب نفوذ یافته $y_{(a)}$ در برابر کسری از سطح مزرعه (a که به اندازه $y_{(a)}$ یا بیشتر آب دریافت کرده است) رسم می‌شود (شکل ۱). علاوه بر این در شکل ۱، نیم‌رخ توزیع مقدار آب نسبی (h) (مقدار مشاهده شده (y) تقسیم بر مقدار متوسط($\bar{y}$)) نیز رسم گردیده است. در شکل ۱، y^* همان مقدار آب مورد نیاز گیاه و یا به عبارتی ET_c می‌باشد. SOD و y^* هر دو به عواملی مانند شرایط رطوبتی خاک، هزینه آبیاری، تابع تولید محصول، نحوه توزیع آب در سطح مزرعه و نوع خاک بستگی دارد. با توجه به شکل ۱، به ازای هر مقدار عمق آب کاربردی انتخابی بخشی از سطح مزرعه آب مازاد دریافت کرده و باقی مانده آن به مقدار کمتر از لزوم،

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-08-24]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1384.9.2.1.1]



شکل ۱. منحنی توزیع تجمعی نفوذ آب (گرفته شده از۱۵)

آبیاری می‌شود. بنابراین، عمق آب کاربردی انتخابی باید طوری تعیین شود که مجموع زیان اقتصادی در اثر کم آبیاری (ناحیه ۱ در شکل ۱) و زیان اقتصادی در اثر آبیاری مازاد (ناحیه ۲ در شکل ۱) حداقل شود.

برای تعیین عمق آب بهینه سه خط مشی مختلف (برای مقاصد مدیریتی آبیاری) در نظر گرفته شد:

۱. در اولین خط مشی مدیریتی تلفات عملکرد ناشی از عواقب زیست محیطی و آبیاری مازاد ناچیز در نظر گرفته شده است. به عبارتی دیگر این خط مشی، نوعی مدیریت به‌منظور کم کردن هزینه‌های کم آبیاری است (خط مشی بدون محدودیت).

۲. در دومین خط مشی مدیریتی فرض شد که تلفات عملکرد مربوط به بخش آب آبیاری مازاد، ناشی از کمبود مواد مغذی (کودها) در اثر شستشوی آنها می‌باشد. در این خط مشی عواقب زیست محیطی در اثر آب آبیاری مازاد در نظر گرفته نشده است. این امر به عنوان نوعی مدیریت در راستای حداقل نمودن هزینه‌های مستقیم در نظر گرفته شده است (خط مشی با محدودیت شستشوی کودها).

۳. در سومین نوع مدیریت علاوه بر این‌که تمامی فرضیات نوع دوم مدیریت مطرح می‌گردد، هزینه پاک‌سازی آلودگی از آب زیرزمینی، ناشی از نفوذ عمقی آب آبیاری، نیز به هزینه‌ها اضافه می‌شود. در مورد این هزینه‌ها تاکنون در ایران کاری صورت نگرفته و یا گزارش مکتوبی موجود نیست. در این پژوهش از نتایج پژوهش‌های دوک و همکاران (۹) استفاده شد. بنابراین هزینه‌های زیست محیطی شستشوی کودها (با نرخ هر دلار برابر ۸۰۰۰ ریال) برابر ۱۷۶۰۰۰ ریال در هر کیلوگرم نیتروژن انتخاب شده است (خط مشی با محدودیت زیست محیطی).

کاهش درآمد اقتصادی ناشی از آبیاری مازاد به مواردی هم‌چون هزینه شستشوی مواد شیمیایی از ناحیه توسعه ریشه، هزینه کاهش عملکرد در صورتی‌که آب‌شویی سبب شستشوی مواد غذایی گردیده باشد و هزینه‌های پالایش محیطی که می‌تواند به صورت اقتصادی-اجتماعی و یا تعدیلی باشد بستگی دارد. اگر توابع کاهش درآمد اقتصادی با مقدار آب مازاد خطی فرض شود در این صورت کاهش درآمد اقتصادی در واحد حجم آب مازاد به شکل زیر بیان می‌شود (۹):

$$\alpha = V_w + V_f F_l + V_e F_l / F_u + E_f F_l \qquad [۳]$$

که:

α = کاهش درآمد اقتصادی در واحد حجم آب مازاد، ریال بر هکتار میلی‌متر

V_w = هزینه آب مازاد، ریال بر هکتار میلی‌متر

V_f = هزینه مواد شیمیایی قابل شستشو، ریال برکیلوگرم

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-08-24]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1384.9.2.1.1]

F_l = میزان مواد شیمیایی در آب آب‌شویی، کیلوگرم بر هکتار میلی‌متر

V_e = درآمد تولید محصول، ریال برکیلوگرم

F_u = مقدار جذب مواد شیمیایی در واحد محصول تولیدی، کیلوگرم بر کیلوگرم

E_f = هزینه‌های پالایش محیطی برای مواد شیمیایی، ریال بر کیلوگرم

کم آبیاری باعث بروز تنش آبی می‌شود که به نوبه خود کاهش عملکرد محصول را به دنبال خواهد داشت. کم آبیاری هم‌چنین باعث عدم مصرف مواد شیمیایی نیز می‌شود. چنانچه رابطه تابع کاهش درآمد اقتصادی با مقدار کمبود آب خطی فرض شود، در این صورت کاهش درآمد اقتصادی در واحد حجم آب کمبود به شکل زیر بیان می‌گردد (۹):

$$\beta = V_e Y_w + V_f F_u Y_w \qquad [۴]$$

که:

β = کاهش درآمد اقتصادی در واحد حجم آب کمبود، کیلوگرم بر هکتار میلی‌متر

Y_w = کاهش عملکرد در واحد کمبود آب، کیلوگرم بر هکتار میلی‌متر

مقادیر V_e ، V_f و F_u قبلاً تعریف شده است.

کارملی (۱۳) استفاده از تابع توزیع توانی را برای تشریح آب نفوذ یافته تجمعی پیشنهاد کرد. معادله تابع توزیع توانی در زیر نشان داده شده است:

$$y(a) = f' + g' a^b \qquad [۵]$$

که:

$y_{(a)}$ = مقدار آب نفوذ یافته

a = کسری از سطح مزرعه که برابر $y_{(a)}$ یا بیشتر آب دریافت کرده است.

f', g', b = ضرایب معادله هستند.

میانگین مقدار آب توزیع شده از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$\bar{y} = \int_0^1 y(a) \times da = f' + \frac{g'}{b+1} \qquad [۶]$$

بنابراین، توزیع آب به‌صورت بدون بعد به شکل زیر قابل بیان است:

$$h = f + g a^b \qquad [۷]$$

$$h = y / \bar{y} \qquad [۸]$$

$$f = f' \Big/ f' + \frac{g'}{b+1} \qquad [۹]$$

$$g = g' \Big/ f' + \frac{g'}{b+1} \qquad [۱۰]$$

که:

h = عمق آب نفوذ کرده، بدون بعد

y = عمق آب نفوذ کرده، میلی‌متر

$\bar{y}$ = میانگین عمق آب نفوذ کرده، میلی‌متر

ضرایب f و g از معادلات زیر به‌دست می‌آید:

$$f = h_{max} \qquad [۱۱]$$

$$g = -(h_{max} - h_{min}) \qquad [۱۲]$$

که:

h_{min} = حداقل عمق آب نفوذ کرده بدون بعد

h_{max} = حداکثر عمق آب نفوذ کرده بدون بعد

مساحت زیر منحنی بدون بعد از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$\int_0^1 h(a) \times da = 1 \qquad [۱۳]$$

ضریب b تابعی از مقدار آب نفوذ کرده بدون بعد حداکثر(h_{max}) و حداقل (h_{min}) است که به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$b = \frac{g + f - 1}{1 - f} = \frac{1 - h_{min}}{h_{max} - 1} = \frac{\bar{y} - y_{min}}{y_{max} - \bar{y}} \qquad [۱۴]$$

دونالد و همکاران (۵)، معادلات زیر را برای محاسبه مقدار آب بهینه ارائه کرده‌اند:

$$\frac{h^* - h_{max}}{h_{min} - h_{max}} = \left(\frac{c}{c+1}\right)^b \qquad [۱۵]$$

که:

h^* = مقدار بهینه آب آبیاری نسبی که برابر است با مقدار آب بهینه تقسیم بر میانگین آب کاربردی

C= نسبت اقتصادی است که به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-08-24]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1384.9.2.1.1]

$$C = \beta / \alpha \qquad [۱۶]$$

در مواقعی‌که تابع توزیع حاکم بر مشاهدات نرمال باشد پری و همکاران (۱۵) روابط دیگری را برای تعیین عمق بهینه ارائه کردند که در زیر تشریح می‌گردد.

حجم آب آبیاری مازاد و کمبود را می‌توان از منحنی توزیع (شکل ۱) محاسبه کرد. برای مساحت‌هایی که آبیاری مازاد انجام گرفته کاهش درآمد اقتصادی در واحد سطح و واحد آب مازاد (C_e) می‌تواند به شکل زیر بیان شود (۹):

$$C_e = \alpha \left[\int_{y_s}^{\infty} y \times f(y) \times dy - \bar{y} \times (۱ - A_S) \right] \qquad [۱۷]$$

که:

α = کاهش در آمد اقتصادی در واحد آب مازاد، ریال بر هکتار میلی‌متر

y_S = مقدار آب کاربردی انتخابی، میلی‌متر

A_S = مساحتی که کمتر از y_s آب دریافت می‌کند، هکتار

$\bar{y}$ = میانگین مقدار آب داده شده، میلی‌متر

$f(y)$ = تابع توزیع آب کاربردی در مزرعه

به طریق مشابه کاهش درآمد اقتصادی در واحد سطح و واحد آب کمبود (C_d) برابر است با:

$$C_d = \beta \left[\bar{y} \times A_s - \int_{-\infty}^{y_s} y \times f(y) \times dy \right] \qquad [۱۸]$$

که:

β = کاهش در آمد اقتصادی در واحد مقدار آب کمبود، ریال بر هکتار میلی‌متر

با فرض این که تابع توزیع مقدار آب کاربردی نرمال بوده و مقدار آب مورد نیاز گیاه ثابت باشد هزینه‌های کاربرد آب مازاد و کمبود را با هم جمع کرده و مشتق اول آنها نسبت به مقدار آب گرفته می‌شود. سپس به منظور تعیین مقدار آب با کمترین هزینه، مشتق حاصل را برابر صفر قرار داده تا معادله زیر حاصل شود (۱۵):

$$\frac{\beta}{\alpha} = \left[\left(۲ / \left\{ \mathrm{erfc} \left[\frac{y^* / \bar{y} - ۱}{\sqrt{\pi} \times (۱ - CU_c)} \right] \right\} \right) - ۱ \right]^{-۱} \qquad [۱۹]$$

که:

erfc = تابع متمم خطا

y^* = مقدار مطلوب آب کاربردی

CU_c = ضریب یک‌نواختی کریستین‌سن،که از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$CU_c = ۱۰۰ \times \left[۱ - \left[\left[\sum_{i=۱}^{n} S_i \times \left| V_i - \frac{\sum_{i=۱}^{n} V_i S_i}{\sum_{i=۱}^{n} S_i} \right| \right] \Big/ \sum_{i=۱}^{n} V_i S_i \right] \right] \qquad [۲۰]$$

که:

CU_c= ضریب یک‌نواختی کریستین‌سن

S_i= فاصله یا شماره قوطی‌های جمع کننده آب با فواصل یکسان

V_i=حجم آب جمع شده در قوطی‌های جمع کننده آب در فاصله S_i

n= تعداد قوطی‌ها

نتایج و بحث

یکی از تحلیل‌های اقتصادی که برای تعیین عمق بهینه آب آبیاری به کار می‌رود استفاده از فرض توزیع توانی و روابط موجود می‌باشد. این روش با دقت خوبی عمق بهینه آبیاری را تعیین می‌کند، ولی روش دقیق‌تر تعیین عمق بهینه با توجه به تابع توزیع حاکم بر مشاهدات است که از دقت بیشتری برخوردار است. در این پژوهش برای تعیین عمق بهینه از هر دو روش استفاده گردید. هم‌چنین با توجه به نوع روش آبیاری (آبیاری بارانی عقربه‌ای) برای تعیین عمق بهینه آبیاری از روش دوم (میانگین آب کاربردی ثابت) استفاده شد.

عمق بهینه آب در آبیاری عقربه‌ای بستگی به نتایج نسبی کم آبیاری در مقایسه با آبیاری مازاد دارد. ماده شیمیایی که در این پژوهش به عنوان ماده آلوده کننده در نظر گرفته شد کود نیتروژنه می‌باشد. به منظور تجزیه و تحلیل اطلاعات فرض شد که کود نیتروژنه به‌صورت یک‌نواخت و به مقدار مورد نیاز محصول در مزرعه پخش شده است. با استفاده از معادلات ۳ و

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-08-24]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1384.9.2.1.1]

۴ کاهش در آمد اقتصادی در واحد حجم آب مازاد و کمبود تعیین شد. به منظور تعیین کاهش عملکرد در واحد کمبود آب از نتایج پژوهش‌های انجام شده (۱) استفاده گردید. بر این مبنا، برای گندم هر میلی‌متر کم آبیاری برای خاکی با حاصل‌خیزی حد واسط باعث کاهش عملکرد دانه به میزان۸ کیلوگرم در هکتار می‌شود (۱). با اندازه‌گیری نیتروژن دانه و کاه گیاه به روش استاندارد (۶) مشخص شد که مقدار ۰/۰۱۸۸ کیلوگرم نیتروژن برای تولید یک کیلوگرم دانه گندم نیاز می‌باشد. به سخنی دیگر، می‌توان گفت که برای هر کیلوگرم تلفات عملکرد محصول دانه ناشی از کم آبیاری مقدار ۰/۰۱۸۸ کیلوگرم نیتروژن غیرقابل مصرف خواهد ماند. قیمت کود نیتروژنه ۴۰۰ ریال در کیلوگرم و قیمت تضمینی دانه گندم ۱۳۰۰ ریال در کیلوگرم (در زمان انجام این پژوهش) بود. با اندازه‌گیری نیتروژن خاک به روش استاندارد، غلظت کود نیتروژنه (N) در عصاره اشباع خاک برابر ۰/۰۲۶ کیلوگرم در هکتار میلی‌متر اندازه‌گیری شد. نسبت رطوبت اشباع به ظرفیت مزرعه تعیین و با ضرب کردن این نسبت در غلظت کود نیتروژنه (N) در عصاره اشباع خاک، غلظت کود نیتروژنه (N) در ظرفیت مزرعه تعیین گردید (۰/۰۳۱۱ kg/ha-mm). میانگین غلظت در حالت ظرفیت مزرعه و عصاره اشباع خاک برابر با غلظت کود نیتروژنه (N) در زه‌آب خاک (۰/۰۲۸ kg/ha-mm) می‌باشد.

برای انواع سه‌گانه مدیریت آبیاری، کاهش عملکرد اقتصادی در واحد حجم آب آبیاری برای آبیاری مازاد (α) و کم آبیاری (β) به ترتیب توسط معادلات ۳ و ۴ محاسبه شد. سپس نسبت اقتصادی، ($C=\beta/\alpha$) نیز تعیین گردید. این مقدار برای انواع مدیریت آبیاری بدون محدودیت، با محدودیت شستشوی کودها و با محدودیت زیست‌محیطی به ترتیب برابر ۳۱/۱۹، ۴/۵۸ و ۱/۴۵ محاسبه شد. موارد ذکر شده به طور خلاصه در جدول ۱ ارائه گردیده است. هر چند نسبت اقتصادی به شرایط محلی منطقه (نوع گیاه، هزینه آب، قیمت کود، و...) بستگی دارد و از محلی به محل دیگر متفاوت می‌باشد ولی نسبت‌های اقتصادی به دست آمده در این پژوهش با مقادیر گزارش شده به وسیله عابدیان (۲) و دوک و همکاران (۹) هم‌خوانی دارد و در تمامی موارد خط مشی بدون محدودیت بیشترین و خط مشی با محدودیت زیست‌محیطی کمترین نسبت اقتصادی را به دست می‌دهد.

تعیین آب بهینه با استفاده از روش توانی

با استفاده از معادله ۷ مقادیر h_{max} و h_{min} محاسبه شد. ضریب b نیز با استفاده از معادله ۱۳ تعیین شد. سپس با استفاده از معادله ۱۴ مقدار آب بهینه نسبی محاسبه گردید. نتایج محاسبه مقادیر h_{max}، h_{min}، b و h^* برای مدیریت‌های مختلف آبیاری در جدول ۲ ارائه شده است.

با توجه به سیستم آبیاری عقربه‌ای که میانگین آب کاربردی در هر آبیاری ثابت است مقدار بهینه آب آبیاری برای هر کدام از ردیف‌های A، B، C و D از حاصل‌ضرب مقدار آب بهینه نسبی در میانگین آب کاربردی به‌دست می‌آید. مقدار بهینه آب آبیاری در هر آبیاری، (بعضی از آبیاری‌ها شامل دو ردیف A و B و بعضی دیگر شامل هر چهار ردیف A، B، C و D بودند) با میانگین‌گیری در هر ردیف به‌دست می‌آید. نتایج محاسبه مقدار بهینه آب آبیاری در هر ردیف و مقدار بهینه آب آبیاری در هر آبیاری در جدول ۳ ارائه شده است. با توجه به فرضیات انجام شده در سه نوع مدیریت، مقدار آب بهینه برای خط مشی اقتصادی بدون محدودیت، کمتر از سایر مدیریت‌ها می‌باشد. هم‌چنین برای خط‌مشی اقتصادی با محدودیت زیست محیطی مقدار آب بهینه، از سایر مدیریت‌ها بیشتر است.

تعیین آب بهینه با توجه به نرمال بودن داده‌ها

به منظور تعیین تابع توزیع حاکم بر مشاهدات، از داده‌های به دست آمده از آزمایش‌های مزرعه‌ای (که در شرایط مختلف اقلیمی مانند سرعت باد، دمای هوا، رطوبت نسبی و با سرعت‌های مختلف حرکت دستگاه آبیاری عقربه‌ای تعیین شدند) استفاده گردید. سپس توابع توزیع مطرح در آبیاری بارانی (نرمال، لوگ‌نرمال، توانی خاص و یک‌نواخت) انتخاب

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-08-24]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1384.9.2.1.1]

جدول ۱. عوامل اقتصادی مؤثر مربوط به انواع مدیریت آبیاری (ریال بر هکتار میلی‌متر)

عوامل	انواع مدیریت آبیاری		
	بدون محدودیت	با محدودیت شستشوی کودها	با محدودیت زیست‌محیطی
هزینه آب	۳۳۵/۳۴	۳۳۵/۳۴	۳۳۵/۳۴
هزینه کود شسته شده	۰/۰	۱۱/۲۲	۱۱/۲۲
هزینه تلفات محصول مربوط به مقدار کمبود کود ناشی از آب‌شویی	۰/۰	۱۹۳۸/۲۶	۱۹۳۸/۲۶
هزینه‌های زیست‌محیطی شستشوی کود	۰/۰	۰/۰	۴۹۳۷/۲۶
هزینه تلفات عملکرد ناشی از کم آبیاری	۱۰۴۰۰	۱۰۴۰۰	۱۰۴۰۰
هزینه کود مصرف نشده ناشی از کم آبیاری	۶۰/۲۰۸	۶۰/۲۰۸	۶۰/۲۰۸
هزینه آبیاری مازاد (α)	۳۳۵/۳۴	۲۲۸۴/۸۲	۷۲۲۲/۰۸
هزینه کم آبیاری (β)	۱۰۴۶۰/۲	۱۰۴۶۰/۲	۱۰۴۶۰/۲
نسبت اقتصادی (β/α)	۳۱/۱۹	۴/۵۸	۱/۴۵

جدول ۲. مقادیر محاسبه شده h_{min}، h_{max}، *h (بدون بعد) و b (در مدیریت‌های مختلف آبیاری) توزیع توانی

شماره آزمایش	ردیف	h_{min}	h_{max}	b	*h بدون محدودیت	*h با محدودیت شستشوی کودها	*h با محدودیت زیست‌محیطی
۱	A	۰/۲۴۱	۴/۸۵۰	۰/۱۹۷	۰/۲۶۹	۰/۴۱۷	۰/۶۹۴
۱	B	۰/۲۱۵	۵/۲۹ ۳	۰/۱۸۱	۰/۲۴۴	۰/۳۹۵	۰/۶۷۹
۲	C	۰/۲۹	۵/۱۹۳	۰/۱۶۹	۰/۳۱۶	۰/۴۵۱	۰/۷۰۷
۲	D	۰/۳۷۷	۴/۲۴۲	۰/۱۹۲	۰/۴۰۱	۰/۵۲۱	۰/۷۴۸
۳	A	۰/۲۸۱	۳/۷۳۳	۰/۲۶۳	۰/۳۰۹	۰/۴۵۶	۰/۷۲۶
۳	B	۰/۲۸۷	۴/۲۴۲	۰/۲۲۰	۰/۳۱۵	۰/۴۵۵	۰/۷۱۸
۴	A	۰/۳۳۲	۴/۴۳۷	۰/۱۹۴	۰/۳۵۷	۰/۴۸۷	/۷۳۰
۴	B	۰/۲۸۱	۵/۴۰۰	۰/۱۶۴	۰/۳۰۷	۰/۴۴۳	۰/۷۰۲
۵	C	۰/۳۷۲	۳/۶۶۳	۰/۲۳۶	۰/۳۹۶	۰/۵۲۲	۰/۷۵۵
۵	D	۰/۲۹۷	۳/۲۱۳	۰/۳۱۸	۰/۳۲۶	۰/۴۷۵	۰/۷۴۵
۶	A	۰/۲۷۱	۴/۷۰۶	۰/۱۹۷	۰/۲۹۸	۰/۴۴۰	/۷۰۶
۶	B	۰/۳۲۴	۳/۶۲۵	۰/۲۵۸	۰/۳۵۰	۰/۴۸۷	۰/۷۴۱
۶	C	۰/۳۸	۲/۸۱۹	۰/۳۴۱	۰/۴۰۶	۰/۵۳۹	۰/۷۸
۶	D	۰/۳۸۳	۲/۸۰۰	۰/۳۴۳	۰/۴۰۹	۰/۵۴۱	۰/۷۸۱
۷	A	۰/۲۵	۳/۵۳۲	۰/۲۹۶	۰/۲۸۱	۰/۴۳۷	۰/۷۲۳
۷	B	۰/۲۲۱	۳/۵۹۳	۰/۳۰۰	۰/۲۵۳	۰/۴۱۶	۰/۷۱۳
۷	C	۰/۳۵۳	۲/۴۲۴	۰/۴۵۴	۰/۳۸۳	۰/۵۳۱	۰/۷۹۲
۷	D	۰/۳۰۷	۳/۰۶۹	۰/۳۳۵	۰/۳۳۶	۰/۴۸۴	۰/۷۵۲
۸	A	۰/۲۶۹	۳/۳۵۶	۰/۳۱۰	۰/۳۰۰	۰/۴۵۳	۰/۷۳۳
۸	B	۰/۲۴۹	۳/۱۰۸	۰/۳۵۷	۰/۲۸۱	۰/۴۴۳	۰/۷۳۷

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-08-24]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1384.9.2.1.1]

جدول ۳. مقادیر محاسبه شده آب بهینه برای انواع مختلف مدیریت‌های آبیاری (توزیع توانی) مقادیر آب حسب میلی‌متر است.

شماره آزمایش	ردیف	نوع مدیریت: بدون محدودیت		با محدودیت شستشوی کودها		با محدودیت‌زیست محیطی	
۱	A	۵/۸		۹/۰		۱۵/۱	
۱	B	۵/۳		۸/۶		۱۴/۷	
		۵/۶	میانگین	۸/۸	میانگین	۱۴/۹	میانگین
۲	C	۸/۶		۱۲/۳		۱۹/۲	
۲	D	۱۰/۹		۱۴/۲		۲۰/۳	
		۹/۷	میانگین	۱۳/۲	میانگین	۱۹/۸	میانگین
۳	A	۶/۴		۹/۴		۱۵/۰	
۳	B	۶/۵		۹/۴		۱۴/۹	
		۶/۵	میانگین	۹/۴	میانگین	۱۵/۰	میانگین
۴	A	۴/۳		۵/۹		۸/۸	
۴	B	۳/۷		۵/۴		۸/۵	
		۴/۰	میانگین	۵/۶	میانگین	۸/۷	میانگین
۵	C	۶/۵		۸/۵		۱۲/۳	
۵	D	۵/۳		۷/۷		۱۲/۱	
		۵/۹	میانگین	۸/۱	میانگین	۱۲/۲	میانگین
۶	A	۳/۲		۴/۷		۷/۵	
۶	B	۳/۷		۵/۲		۷/۹	
۶	C	۴/۳		۵/۷		۸/۳	
۶	D	۴/۳		۵/۷		۸/۳	
		۳/۹	میانگین	۵/۳	میانگین	۸/۰	میانگین
۷	A	۳/۴		۵/۳		۸/۷	
۷	B	۳/۱		۵/۰		۸/۶	
۷	C	۴/۶		۶/۴		۹/۶	
۷	D	۴/۱		۵/۹		۹/۱	
		۳/۸	میانگین	۵/۶	میانگین	۹/۰	میانگین
۸	A	۳/۶		۵/۵		۸/۹	
۸	B	۳/۴		۵/۴		۸/۹	
		۳/۵	میانگین	۵/۴	میانگین	۸/۹	میانگین

و مورد مقایسه قرار گرفتند. به منظور انجام محاسبات از یک تست آمار ناپارامتری (آزمون کولموگرف- اسمیرنوف) استفاده شد. از بین توابع توزیع مورد بررسی، توابع توانی و یک‌نواخت در سطح اعتماد ۵٪ در کلیه آزمایش‌ها از نظر آماری رد شدند. توزیع لوگ‌نرمال فقط در سه آزمون (از ۲۰ مورد) در سطح اعتماد ۵٪ پذیرفته شد. توزیع نرمال که در سطح اعتماد ۵٪ در ۱۵ آزمون پذیرفته شد بهترین توصیف را برای پراکندگی داده‌ها ارائه داد. بنابراین در محاسبات زیر، توزیع نرمال به عنوان توزیع حاکم بر مشاهدات در نظر گرفته شد (۳).

با استفاده از معادله ۲۰ مقادیر ضریب یک‌نواختی کریستین‌سن تعیین شد. با معلوم بودن نسبت اقتصادی (β/α) برای مدیریت‌های مختلف آبیاری پیشنهادی و مقادیر ضریب یک‌نواختی، با استفاده از معادله ۱۹ مقادیر عمق بهینه آبیاری برای میانگین‌های مختلف پخش آب (که به ازای سرعت‌های مختلف حرکت دستگاه حاصل می‌شود) در طول فصل زراعی تعیین گردید. میانگین مقدار آب و آب بهینه برای انواع مختلف

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-08-24]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1384.9.2.1.1]

خط مشی اقتصادی در جدول ۴ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که برای تابع توزیع نرمال مقدار آب بهینه برای خط مشی اقتصادی بدون محدودیت، کمتر از سایر مدیریت‌ها می‌باشد. هم‌چنین برای خط مشی اقتصادی با محدودیت زیست‌محیطی، مقدار آب بهینه از سایر مدیریت‌ها بیشتر است.

دوک و همکاران (۹) در پژوهشی که روی شصت سیستم آبیاری عقربه‌ای در نقاط مختلف آمریکا انجام دادند گزارش کردند که مقادیر عمق بهینه محاسبه شده با روش نرمال در خط مشی اقتصادی بدون محدودیت کمتر و در خط مشی اقتصادی با محدودیت زیست‌محیطی از سایر مدیریت‌ها بیشتر است. پری و همکاران (۱۵) نیز گزارش کردند که مقادیر عمق بهینه محاسبه شده با روش نرمال در خط مشی اقتصادی بدون محدودیت کمتر و در خط مشی اقتصادی با محدودیت زیست‌محیطی از سایر مدیریت‌ها بیشتر است.

آنها هم‌چنین گزارش کردند که عمق بهینه آبیاری به ضریب یک‌نواختی دستگاه آبیاری، نوع گیاه و شرایط محلی (هزینه آب، هزینه کود و ...) بستگی دارد.

در حالتی که توزیع حاکم بر داده‌ها توانی فرض شد همین نتایج به دست آمد (مقدار آب بهینه برای خط مشی‌های اقتصادی بدون محدودیت، با محدودیت شستشوی کودها و با محدودیت زیست‌محیطی به‌ترتیب افزایش می‌یابد). با کمی دقت دیده می‌شود که هر چند روند تغییرات مقدار آب بهینه آبیاری در سه نوع مدیریت برای توابع توزیع توانی و نرمال یکسان است ولی مقدار آب بهینه که با فرض توزیع توانی و توزیع نرمال محاسبه می‌گردد با یکدیگر اندکی تفاوت دارند و مقدار محاسبه شده به روش توزیع توانی کمتر از مقدار محاسبه شده به روش نرمال است. علت این تفاوت نوع تابع توزیع می‌باشد. با توجه به این که در این پژوهش نوع تابع توزیع نرمال تشخیص داده شد (۳)، بنابراین می‌توان گفت که مقادیر عمق بهینه محاسبه شده با این روش دقیق‌تر از مقادیر آب بهینه‌ای است که با فرض توانی بودن داده‌ها به دست می‌آید (برای مقایسه، نمودار مقادیر آب بهینه محاسبه شده به دو روش توانی و نرمال در شکل‌های ۲و ۳ رسم شده است).

نتیجه‌گیری

در این پژوهش نخست سه نوع مدیریت آبیاری در نظر گرفته شد. سپس نسبت اقتصادی (C) برای منطقه باجگاه و برای سه نوع مدیریت آبیاری (بدون محدودیت، با محدودیت شستشوی کودها و با محدودیت زیست محیطی) به ترتیب ۳۱/۱۹، ۴/۵۸ و ۱/۴۵ محاسبه گردید. مقدار آب بهینه با فرض توزیع توانی برای سه نوع مدیریت آبیاری و سپس با توجه به تابع توزیع حاکم بر مشاهدات (توزیع نرمال) مقدار آب بهینه برای سه نوع مدیریت آبیاری تعیین شد. در هر دو حالت (توزیع توانی و نرمال) مقدار آب بهینه برای خط مشی‌های اقتصادی بدون محدودیت، با محدودیت شستشوی کودها و با محدودیت زیست‌محیطی به‌ترتیب افزایش می‌یابد. نتایج به دست آمده نشان داد که مقادیر عمق بهینه محاسبه شده با فرض توزیع توانی (در هر سه نوع مدیریت آبیاری) کمتر از توزیع نرمال بوده است. روش نرمال که بهترین برازش را بر داده‌های مزرعه داشته دقیق‌تر و مناسب‌تر است. مقادیر آب بهینه برای مدیریت بدون محدودیت با توجه به نرمال بودن داده‌ها برای میانگین‌های پخش آب ۲۷/۲، ۲۱/۷، ۲۰/۷، ۱۶/۳، ۱۲/۱ و ۱۰/۶ میلی‌متر برابر ۱۳/۷۲، ۹/۷، ۸/۱۱، ۷/۵۵، ۴/۶ و ۴/۵۶ میلی‌متر بوده است. مقادیر آب بهینه برای مدیریت با محدودیت شستشوی کودها با توجه به نرمال بودن داده‌ها برای میانگین‌های پخش آب ۲۷/۲، ۲۱/۷، ۲۰/۷، ۱۶/۳، ۱۲/۱ و ۱۰/۶ میلی‌متر برابر ۲۰/۵۵، ۱۵/۸۱، ۱۴/۴۸، ۱۲، ۸/۴ و ۷/۶۱ میلی‌متر بوده است. مقادیر آب بهینه برای مدیریت با محدودیت زیست محیطی با توجه به نرمال بودن داده‌ها برای میانگین‌های پخش آب ۲۷/۲، ۲۱/۷، ۲۰/۷، ۱۶/۳، ۱۲/۱ و ۱۰/۶ میلی‌متر برابر ۲۵/۵، ۲۰/۲۴، ۱۹/۰۹، ۱۵/۲۱، ۱۱/۱۵ و ۹/۸۱ میلی‌متر بوده است. برای روشن شدن این مطلب مثالی ارائه می‌شود:

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-08-24]

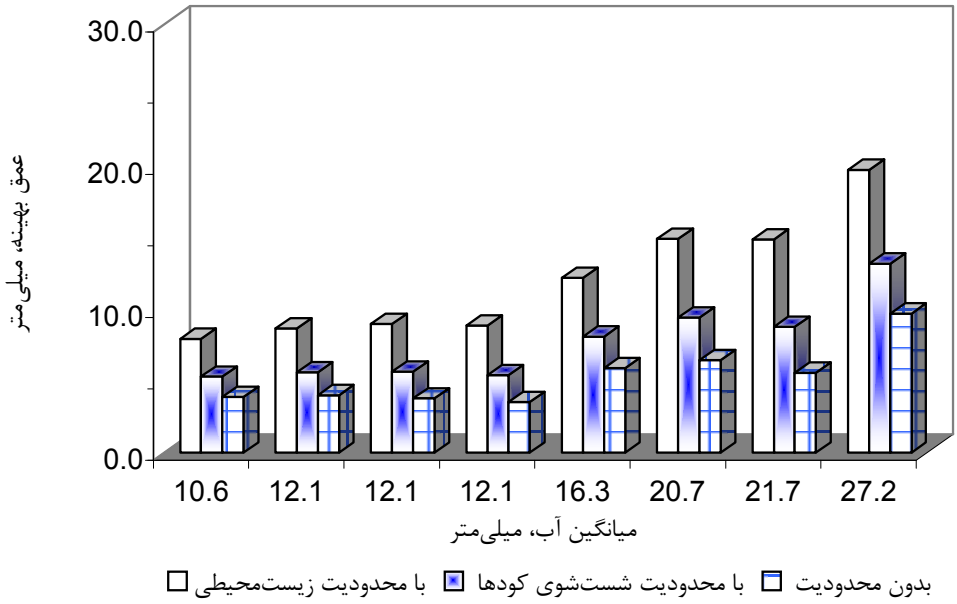
[DOR: 20.1001.1.24763594.1384.9.2.1.1]

جدول ۴. مقادیر محاسبه شده آب بهینه برای انواع مختلف مدیریت‌های آبیاری (توزیع نرمال) مقادیر آب حسب میلی‌متر است.

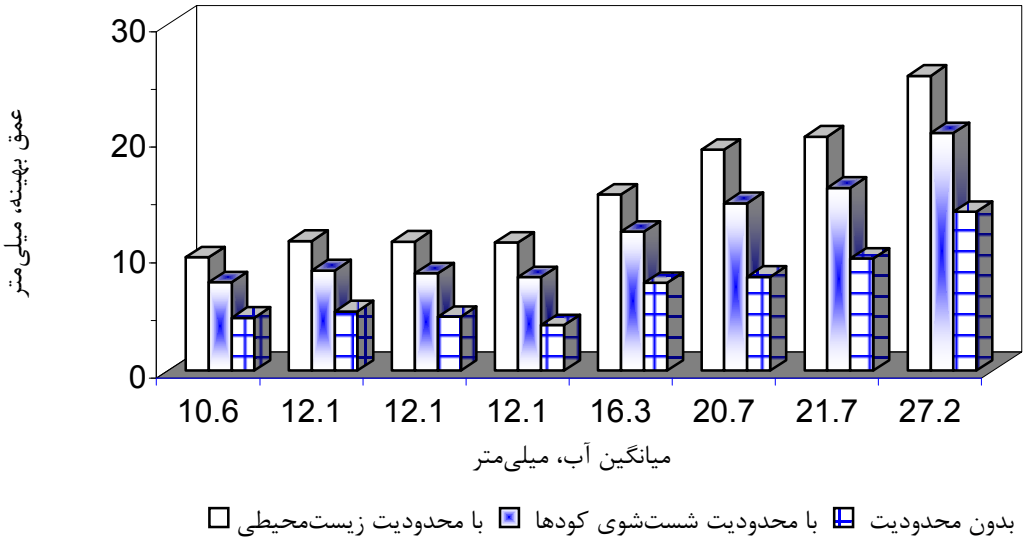
شماره آزمایش	ردیف قوطی	سرعت دستگاه ٪	میانگین آب پخش شده	ضریب یک‌نواختی	مقدار آب بهینه برای سه نوع مدیریت: بدون محدودیت	با محدودیت شستشوی کودها	با محدودیت زیست محیطی
۱	A	۵۰	۲۱/۷	۷۸/۲	۱۰/۶۶	۱۶/۲۹	۲۰/۳۶
۱	B	۵۰	۲۱/۷	۷۴/۴	۸/۷۳	۱۵/۳۴	۲۰/۱۲
					۹/۷۰ میانگین	۱۵/۸۱ میانگین	۲۰/۲۴ میانگین
۲	C	۴۰	۲۷/۲	۷۸	۱۳/۲۳	۲۰/۳۱	۲۵/۴۴
۲	D	۴۰	۲۷/۲	۷۹/۶	۱۴/۲۲	۲۰/۸۰	۲۵/۵۷
					۱۳/۷۲ میانگین	۲۰/۵۵ میانگین	۲۵/۵۰ میانگین
۳	A	۵۳	۲۰/۷	۷۴/۲	۸/۱۹	۱۴/۵۲	۱۹/۱۰
۳	B	۵۳	۲۰/۷	۷۳/۹	۸/۰۳	۱۴/۴۴	۱۹/۰۸
					۸/۱۱ میانگین	۱۴/۴۸ میانگین	۱۹/۰۹ میانگین
۴	A	۹۰	۱۲/۱	۷۵/۲	۵/۰۷	۸/۶۳	۱۱/۲۱
۴	B	۹۰	۱۲/۱	۷۵/۵	۵/۱۵	۸/۶۷	۱۱/۲۲
					۵/۱۱ میانگین	۸/۶۵ میانگین	۱۱/۲۱ میانگین
۵	C	۶۷	۱۶/۳	۷۷/۳	۷/۶۵	۱۲/۰۴	۱۵/۲۳
۵	D	۶۷	۱۶/۳	۷۶/۸	۷/۴۶	۱۱/۹۵	۱۵/۲۰
					۷/۵۵ میانگین	۱۲/۰۰ میانگین	۱۵/۲۱ میانگین
۶	A	۱۰۰	۱۰/۶	۷۳	۳/۸۹	۷/۲۷	۹/۷۳
۶	B	۱۰۰	۱۰/۶	۷۳/۱	۳/۹۱	۷/۲۹	۹/۷۳
۶	C	۱۰۰	۱۰/۶	۷۹/۸	۵/۵۸	۸/۱۱	۹/۹۴
۶	D	۱۰۰	۱۰/۶	۷۶/۹	۴/۸۶	۷/۷۶	۹/۸۵
					۴/۵۶ میانگین	۷/۶۱ میانگین	۹/۸۱ میانگین
۷	A	۹۰	۱۲/۱	۷۲/۹	۴/۴۳	۸/۳۱	۱۱/۱۳
۷	B	۹۰	۱۲/۱	۶۸/۴	۳/۱۴	۷/۶۸	۱۰/۹۷
۷	C	۹۰	۱۲/۱	۷۸/۹	۶/۱۲	۹/۱۴	۱۱/۳۴
۷	D	۹۰	۱۲/۱	۷۴/۳	۴/۸۱	۸/۵۰	۱۱/۱۸
					۴/۶۲ میانگین	۸/۴۱ میانگین	۱۱/۱۵ میانگین
۸	A	۹۰	۱۲/۱	۷۲/۳	۴/۲۶	۸/۲۳	۱۱/۱۱
۸	B	۹۰	۱۲/۱	۶۹/۹	۳/۵۸	۷/۸۹	۱۱/۰۲
					۳/۹۲ میانگین	۸/۰۶میانگین	۱۱/۰۶ میانگین

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-08-24]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1384.9.2.1.1]



شکل ۲. مقادیر عمق بهینه به ازای میانگین‌های مختلف پخش آب از دستگاه در مدیریت‌های مختلف آبیاری،روش توانی



شکل ۳. مقادیر عمق بهینه به ازای میانگین‌های مختلف پخش آب از دستگاه در مدیریت‌های مختلف آبیاری، روش نرمال

مدیر یک مزرعه سرعت حرکت دستگاه آبیاری عقربه‌ای را ۶۷ درصد (میانگین پخش آب ۱۶/۳ میلی‌متر) تنظیم نموده است در صورتی‌که نسبت اقتصادی(C) برابر ۴/۵۸ و ضریب یک‌نواختی دو ردیف قوطی D و C برابر ۷۷/۳ و ۷۶/۸ باشد عمق بهینه و فاصله بین آبیاری‌ها چقدر خواهد بود (ET= ۴ mm/day)؟

با جای‌گذاری CU_c= ۷۷/۳ و C=۴/۵۸ در معادله ۲۰ مقدار آب بهینه برای ردیف C برابر ۱۲/۰۴ میلی‌متر و با جای‌گذاری CU_d= ۷۶/۸ و C=۴/۵۸ در معادله ۲۰ مقدار آب بهینه برای ردیف D برابر ۱۱/۹۵ میلی‌متر به دست می‌آید. مقدار آب بهینه

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-08-24]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1384.9.2.1.1]

برای این آبیاری برابر میانگین این دو مقدار ۱۲ میلی‌متر است. فاصله بین آبیاری‌ها نیز برابر ۴ روز تعیین می‌گردد. باید توجه داشت که در حالت معمولی سیستم آبیاری عقربه‌ای برای تأمین نیاز آبی روزانه کاربرد دارد ولی در شرایطی که آبیاری با عمق بهینه انجام شود به ناچار دور آبیاری اعمال می‌شود. طبیعی است که برای استفاده از مقادیر عمق بهینه آبیاری (داده‌های جدول‌های ۳ و ۴) باید با توجه به تبخیر و تعرق مرحله مورد نظر دور آبیاری اعمال شود.

منابع مورد استفاده

۱. سپاسخواه، ع. ر. ۱۳۷۲. رابطه تولید محصول و تبخیر و تعرق و برنامه‌بندی آبیاری گندم، چغندر قند، لوبیا و ذرت. گزارش طرح پژوهشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

۲. عابدیان، ی. ۱۳۷۶. ارزیابی سیستم آبیاری بارانی لوله‌های چرخ‌دار در مزارع چغندر قند استان خراسان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زه‌کشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.

۳. فروغی، ف. ۱۳۸۱. ارزیابی هیدرولیکی سیستم آبیاری عقربه‌ای و تأثیر آن بر بهره‌وری بیولوژیک گندم در منطقه باجگاه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زه‌کشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.

۴. مینایی، س. و ع. ر. سپاسخواه. ۱۳۷۸. تعیین مقدار بهینه آب آبیاری ذرت بر اساس خط مشی‌های مختلف مدیریتی. مجموعه مقالات هفتمین سمینار آبیاری و کاهش تبخیر، دانشگاه شهید باهنر کرمان.

۵. وزارت کشاورزی. ۱۳۷۳. گزارش عملکرد سال ۱۳۷۲. اداره کل توسعه روش‌های آبیاری تحت فشار، کرج.

6. AOAC. 1975. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists, Washington D.C.
7. ASAE Standards. 1994. S436. Test procedures for determining the uniformity of water distribution of center pivot and moving lateral irrigation machines equipped with spray or sprinkler nozzels. ASAE Standards 754-755.
8. Donald, I. N., G. Peri and W. E. Hart. 1979. Application of system optimal depth concept. J. Irrig. Drain. Div., ASCE 105(4): 357-366.
9. Duke, H. R., D. F. Heermann and L. J. Dawson. 1992. Appropriate depth of application for scheduling center pivot irrigations. Trans. ASAE 35(5): 1457-1464.
10. Hart, W. E. and W. N. Reynolds. 1965. Analytical design of sprinkler systems. Trans. ASAE 8(1): 83-85, 89.
11. Heermann, D. F. and R. A. Kohl. 1983. Fluid dynamics of sprinkler system. Chapter 14in design and operation of farm irrigation systems. ASAE monograph. 3: 583-618.
12. Hill, R. W. and J. Keller. 1980 Irrigation system selection under limited water. Trans. ASAE 23(2): 366-372.
13. Karmeli, D. 1977. Water distribution pattern for sprinkler and surface irrigation systems. Proceedings National Conference on Irrigation Return Flow Quality Management. Colorado State University Pub., Fort Collins, Colorado.
14. Norum, E. M. 1966. A method of evaluating adequacy and efficiency of overhead irrigation systems. Trans. ASAE 9(2): 218-220.
15. Peri, G., W. E. Hart and D. I. Norum. 1979. Optimal irrigation depth: a method of analysis. J. Irrig. Drain. Div., ASCE 105(4): 341-355.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-08-24]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1384.9.2.1.1]