

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

مقدمه

ایران سرزمینی نسبتاً خشک با میانگین بارندگی سالیانه ۲۵۰ میلی متر است که این مقدار کمتر از یک سوم میانگین بارندگی سالیانه کره زمین است. در چنین شرایطی آب، عامل محدود کننده برای کشاورزی به شمار می رود. 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 روش های نوین علمی در آبیاری زمین های نواحی خشک استفاده شد و با بهره برداری معقول از منابع آب و خاک میلیون ها هکتار از اراضی در سراسر دنیا تحت کشت آبی درآمد یکی از این روش های نوین، آبیاری بارانی عقربه ای (سنتریپوت) (Center pivot) است که برای گیاهان مختلف و در سطح وسیعی به کار گرفته می شود. به همراه این روش، اقداماتی برای حداکثر کردن محصول دنبال می شود.

روش های افزایش محصول غالباً با افزایش محصول تولیدی در واحد سطح و با آب نامحدود انجام می شود. باید متذکر شد که این روش به دلیل در نظر نگرفتن آلودگی های 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 خشک سالی و بحث اقتصادی بودن آبیاری (عمق بهینه آبیاری) این سؤال مطرح می شود که عمق بهینه آبیاری چه مقدار است؟ متأسفانه این پارامتر عموماً بدون در نظر گرفتن آثار زیست محیطی تعیین می شود. حتی در بعضی موارد که آثار زیست محیطی نیز در نظر گرفته می شود، این کار بدون توجه به تابع توزیع حاکم بر

داده ها صورت می گیرد. با توجه به مسایل زیست محیطی و هزینه ای که برای پاک سازی آن باید متحمل شد، لزوماً عمق بهینه آبیاری، عمقی نیست که بیشترین محصول از آن عاید شود. بنابراین در تعیین عمق بهینه آبیاری محدودیت های زیست محیطی را نیز باید در نظر گرفت.

هیل و کلر (۱۲) راهی را برای ارتباط مقدار آب کاربردی با نسبت های مساحت های آبیاری شده و عملکرد حاصله به منظور طراحی روش آبیاری ارائه کردند. آنها برای انواع روش های آبیاری، یک نواختی آبیاری قابل دسترس را برآورد نمودند و مقدار بهینه آب کاربردی که حداکثر سود را در بر دارد محاسبه کردند. هم چنین گزارش کردند که عمق بهینه آبیاری به هزینه آب، ضریب یک نواختی 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 می گردد که همان عمق بهینه آبیاری است. آنها یک تحلیل اقتصادی برای تعیین عمق بهینه آبیاری برای سیستم های آبیاری سطحی و بارانی ارائه کردند. در این پژوهش نسبت اقتصادی $(C = \frac{\beta}{\alpha})$ (β) تلفات درآمد ناشی از کم آبیاری و α تلفات درآمد ناشی از آبیاری مازاد است) را برای سه نوع مدیریت آبیاری، بدون محدودیت، با محدودیت شستشوی کودها و با محدودیت زیست محیطی تعیین نمودند. هم چنین گزارش کردند که برای برخی سیستم های آبیاری مانند آبیاری سطحی و عقربه ای 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 می دهد.

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

توسط پری و همکاران (۱۵) و دونالد و همکاران (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 نیترا ته 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:

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 زیست‌محیطی 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

۱. هنگامی که ارتفاع پوشش گیاهی مانع ورود آب به قوطی ها نمی شد حجم آب قوطی ها مستقیماً اندازه گیری گردید.

۲. هنگامی که ارتفاع پوشش گیاهی مانع ورود آب به قوطی ها می شد، پایه هایی برای قوطی ها ساخته شد. با تنظیم مقدار فرورفتگی پایه ها در خاک، قوطی ها بالای پوشش گیاهی قرار می گرفت و آب آبپاش ها، مستقیماً وارد قوطی ها می شد. در این حالت پایه های قوطی ها دقیقاً در محل میخ کوبی ها نصب شد. هم چنین به منظور تعیین ساعت کارکرد دستگاه، سرعت حرکت برج آخر نیز اندازه گیری 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 به کار برده شود محاسبه می گردد. این عمق میانگین به عنوان عمق بهینه منظور می گردد و با تعیین آن زمان آبیاری تعیین می شود. این روش مختص آبیاری بارانی (به جز عقربه ای) است که در این روش زمان آبیاری به صورت زیر ارائه شده است:

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

که:

$\bar{y}$ = عمق بهینه آب آبیاری بر حسب 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 آبیاری ها تعیین می شود. این حالت خود به دو مورد تقسیم می شود. مورد نخست اغلب مربوط به سیستم های 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 می گردد. مورد دوم در بعضی از سیستم های آبیاری بارانی (به عنوان مثال عقربه ای) استفاده می شود که زمان آبیاری و مقدار آب تابعی از محدودیت های تخصیص آب یا محدودیت های برنامه ریزی است و باید با زمان ثابت آبیاری گردد (در این وضعیت دور آبیاری اعمال می گردد). 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 به عنوان عمق بهینه (SOD یا y^*) به کار می رود. در این شرایط فاصله بین آبیاری ها از رابطه زیر به دست می آید (۸ و ۱۵):

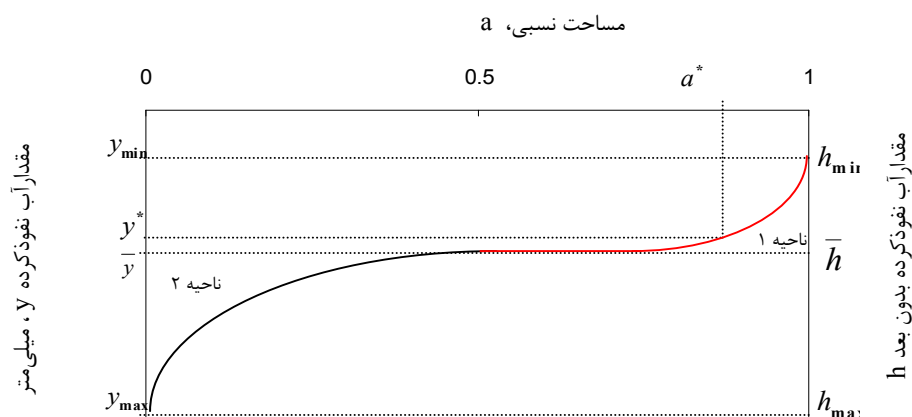
$$T = \frac{y^*}{ET} \quad [2]$$

که:

T = فاصله بین آبیاری ها

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 می شود (شکل ۱). علاوه بر این در شکل ۱، نیم رخ 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 می باشد. 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،



شکل ۱. منحنی توزیع تجمعی نفوذ آب (گرفته شده از ۱۵)

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 صورتی که 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):

$$\alpha = V_w + V_f F_l + V_e F_l / F_u + E_f F_l \quad [3]$$

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 بر کیلوگرم

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 این که تمامی فرضیات نوع دوم مدیریت مطرح می‌گردد، هزینه پاک‌سازی آلودگی از آب زیرزمینی، ناشی از نفوذ عمقی آب آبیاری، نیز به هزینه‌ها اضافه

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

$$h = f + ga^b \quad [7]$$

$$h = y/\bar{y} \quad [8]$$

$$f = f'/f' + \frac{g'}{b+1} \quad [9]$$

$$g = g'/f' + \frac{g'}{b+1} \quad [10]$$

که:

$$h = \text{عمق آب نفوذ کرده، بدون بعد}$$

$$y = \text{عمق آب نفوذ کرده، میلی متر}$$

$$\bar{y} = \text{میانگین عمق آب نفوذ کرده، میلی متر}$$

ضرایب f و g از معادلات زیر به دست می آید:

$$f = h_{\max} \quad [11]$$

$$g = -(h_{\max} - h_{\min}) \quad [12]$$

که:

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

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

مساحت زیر منحنی بدون بعد از رابطه زیر به دست می آید:

$$\int_0^1 h(a) \times da = 1 \quad [13]$$

ضریب b تابعی از مقدار آب نفوذ کرده بدون بعد حداکثر ($h_{\max}$) و حداقل ($h_{\min}$) است که به صورت زیر محاسبه می شود:

$$b = \frac{g + f - 1}{1 - f} = \frac{1 - h_{\min}}{h_{\max} - 1} = \frac{\bar{y} - y_{\min}}{y_{\max} - y} \quad [14]$$

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

$$\frac{h^* - h_{\max}}{h_{\min} - h_{\max}} = \left(\frac{c}{c+1} \right)^b \quad [15]$$

که:

h^* = مقدار بهینه آب آبیاری نسبی که برابر است با مقدار آب

بهینه تقسیم بر میانگین آب کاربردی

C = نسبت اقتصادی است که به صورت زیر تعریف می شود:

F_1 = میزان مواد شیمیایی در آب آب شویی، کیلوگرم بر هکتار میلی متر

V_e = درآمد تولید محصول، ریال بر کیلوگرم

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

E_f = هزینه های پالایش محیطی برای مواد شیمیایی، ریال بر کیلوگرم

کم آبیاری باعث بروز تنش آبی می شود که به نوبه خود کاهش عملکرد محصول را به دنبال خواهد داشت. کم آبیاری همچنین باعث عدم مصرف مواد شیمیایی نیز می شود. 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 می گردد (۹):

$$\beta = V_e Y_w + V_f F_u Y_w \quad [4]$$

که:

β = کاهش درآمد اقتصادی در واحد حجم آب کمبود،

کیلوگرم بر هکتار میلی متر

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

میلی متر

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:

$$y(a) = f' + g'a^b \quad [5]$$

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 به دست می آید:

$$\bar{y} = \int_0^1 y(a) \times da = f' + \frac{g'}{b+1} \quad [6]$$

که:

erfc = تابع متمم خطا

y^* = مقدار مطلوب آب کاربردی

CU_c = ضریب یک‌نواختی کریستین‌سن، که از رابطه زیر به

دست می‌آید:

$$CU_c = 100 \times \left[1 - \frac{\left[\sum_{i=1}^n S_i \times V_i - \frac{\sum_{i=1}^n V_i S_i}{\sum_{i=1}^n S_i} \right]}{\sum_{i=1}^n V_i S_i} \right] \quad [20]$$

که:

CU_c = ضریب یک‌نواختی کریستین‌سن

S_i = فاصله یا شماره قوطی‌های جمع‌کننده آب با فواصل

یکسان

V_i = حجم آب جمع شده در قوطی‌های جمع‌کننده 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 به صورت یک‌نواخت و به مقدار مورد نیاز محصول در مزرعه پخش شده است. با استفاده از معادلات ۳ و

$$C = \beta / \alpha \quad [16]$$

در مواقعی که 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):

$$C_e = \alpha \left[\int_{y_s}^{\infty} y \times f(y) \times dy - \bar{y} \times (1 - A_s) \right] \quad [17]$$

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:

$$C_d = \beta \left[\bar{y} \times A_s - \int_{-\infty}^{y_s} y \times f(y) \times dy \right] \quad [18]$$

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):

$$\frac{\beta}{\alpha} = \left[\left(\left\{ \text{erfc} \left[\frac{y^* / \bar{y} - 1}{\sqrt{\pi \times (1 - CU_c)}} \right] \right\} \right) - 1 \right]^{-1} \quad [19]$$

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 زیست محیطی کمترین نسبت اقتصادی را به دست می دهد.

تعیین آب بهینه با استفاده از روش توانی

با استفاده از معادله ۷ مقادیر $h_{\min}$ و $h_{\max}$ 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 $h_{\min}$ ، b ، $h_{\max}$ و h^* برای مدیریت های مختلف آبیاری در جدول ۲ ارائه شده است.

با توجه به سیستم آبیاری عقربه ای که میانگین آب کاربردی در هر آبیاری ثابت است مقدار بهینه آب آبیاری برای هر کدام از ردیف های A، B، C و D از حاصل ضرب مقدار آب بهینه نسبی در میانگین آب کاربردی به دست می آید. مقدار بهینه آب آبیاری در هر آبیاری، (بعضی از آبیاری ها شامل دو ردیف A و B و بعضی دیگر شامل هر چهار ردیف A، B، C و D بودند) با میانگین گیری در هر ردیف به دست می آید. 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 مدیریت ها می باشد. همچنین برای خط مشی اقتصادی با محدودیت زیست محیطی مقدار آب بهینه، از سایر مدیریت ها بیشتر است.

تعیین آب بهینه با توجه به نرمال بودن داده ها

به منظور تعیین تابع توزیع حاکم بر مشاهدات، از داده های به دست آمده از آزمایش های مزرعه ای (که در شرایط مختلف اقلیمی مانند سرعت باد، دمای هوا، رطوبت نسبی و با سرعت های مختلف حرکت دستگاه آبیاری عقربه ای تعیین شدند) استفاده گردید. سپس توابع توزیع مطرح در آبیاری بارانی (نرمال، لوگ نرمال، توانی خاص و یکنواخت) انتخاب

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 پژوهش های انجام شده (۱) استفاده گردید. بر این مبنا، برای گندم هر میلی متر کم آبیاری برای خاکی با حاصل خیزی حد واسط باعث کاهش عملکرد دانه به میزان ۸ کیلوگرم در هکتار می شود (۱). با اندازه گیری نیتروژن دانه و کاه گیاه به روش استاندارد (۶) مشخص شد که مقدار $0/0188$ کیلوگرم نیتروژن برای تولید یک کیلوگرم دانه گندم نیاز می باشد. به سخنی دیگر، می توان گفت که برای هر کیلوگرم تلفات عملکرد محصول دانه ناشی از کم آبیاری مقدار $0/0188$ کیلوگرم نیتروژن غیرقابل مصرف خواهد ماند. قیمت کود نیتروژنه 400 ریال در کیلوگرم و قیمت تضمینی دانه گندم 1300 ریال در کیلوگرم (در زمان انجام این پژوهش) بود. با اندازه گیری نیتروژن خاک به روش استاندارد، غلظت کود نیتروژنه (N) در عصاره اشباع خاک برابر $0/026$ کیلوگرم در هکتار میلی متر اندازه گیری 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 ($0/0311 \text{ kg/ha-mm}$). میانگین غلظت در حالت ظرفیت مزرعه و عصاره اشباع خاک برابر با غلظت کود نیتروژنه (N) در زه آب خاک ($0/028 \text{ kg/ha-mm}$) می باشد.

برای انواع سه گانه 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 زیست محیطی به ترتیب برابر $31/19$ ، $4/58$ و $1/45$ 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 می باشد ولی نسبت های اقتصادی به دست آمده در این پژوهش

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

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

جدول ۲. مقادیر محاسبه شده $h_{\max}$, $h_{\min}$, 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	۵/۲۹۳	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	۰/۷۳۰
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	۰/۷۰۶
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

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 محدودیت زیست محیطی	
۱	A	۵/۸	۹/۰	۱۵/۱	میانگین
	B	۵/۳	۸/۶	۱۴/۷	
		۵/۶	۸/۸	۱۴/۹	
۲	C	۸/۶	۱۲/۳	۱۹/۲	میانگین
	D	۱۰/۹	۱۴/۲	۲۰/۳	
		۹/۷	۱۳/۲	۱۹/۸	
۳	A	۶/۴	۹/۴	۱۵/۰	میانگین
	B	۶/۵	۹/۴	۱۴/۹	
		۶/۵	۹/۴	۱۵/۰	
۴	A	۴/۳	۵/۹	۸/۸	میانگین
	B	۳/۷	۵/۴	۸/۵	
		۴/۰	۵/۶	۸/۷	
۵	C	۶/۵	۸/۵	۱۲/۳	میانگین
	D	۵/۳	۷/۷	۱۲/۱	
		۵/۹	۸/۱	۱۲/۲	
۶	A	۳/۲	۴/۷	۷/۵	میانگین
	B	۳/۷	۵/۲	۷/۹	
	C	۴/۳	۵/۷	۸/۳	
	D	۴/۳	۵/۷	۸/۳	
		۳/۹	۵/۳	۸/۰	
۷	A	۳/۴	۵/۳	۸/۷	میانگین
	B	۳/۱	۵/۰	۸/۶	
	C	۴/۶	۶/۴	۹/۶	
	D	۴/۱	۵/۹	۹/۱	
		۳/۸	۵/۶	۹/۰	
۸	A	۳/۶	۵/۵	۸/۹	میانگین
	B	۳/۴	۵/۴	۸/۹	
		۳/۵	۵/۴	۸/۹	

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

و مورد مقایسه قرار گرفتند. به منظور انجام محاسبات از یک تست آمار ناپارامتری (آزمون کولموگروف-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

(برای مقایسه، نمودار مقادیر آب بهینه محاسبه شده به دو روش توانی و نرمال در شکل‌های ۲ و 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 زیست محیطی به ترتیب 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 برآزش 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:

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 زیست محیطی، مقدار آب بهینه از سایر مدیریت‌ها بیشتر است.

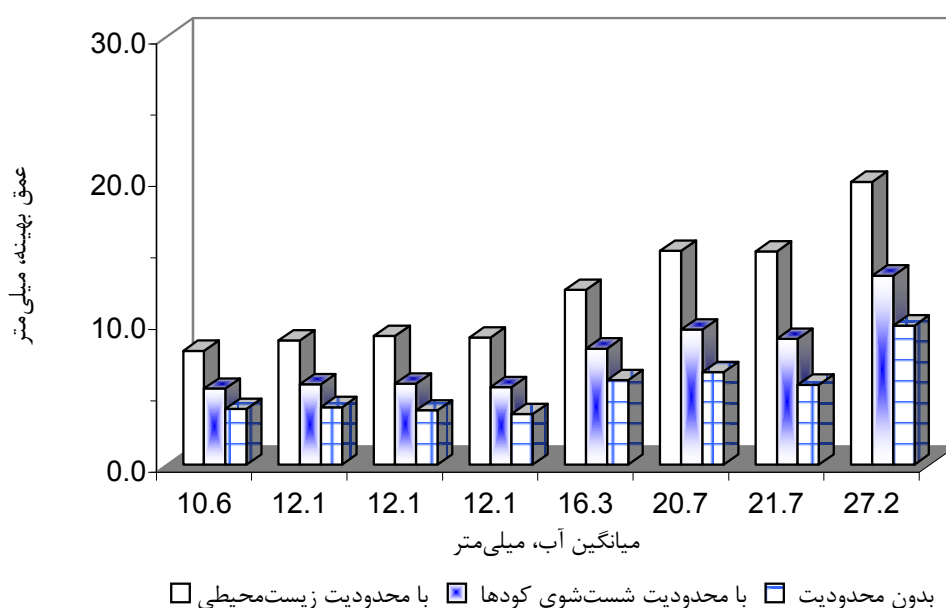
دوک و همکاران (۹) در پژوهشی که روی شصت سیستم آبیاری عقربه‌ای در نقاط مختلف آمریکا انجام دادند گزارش کردند که مقادیر عمق بهینه محاسبه شده با روش نرمال در خط مشی اقتصادی بدون محدودیت کمتر و در خط مشی اقتصادی با محدودیت زیست محیطی از سایر مدیریت‌ها بیشتر است. پری و همکاران (۱۵) نیز گزارش کردند که مقادیر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

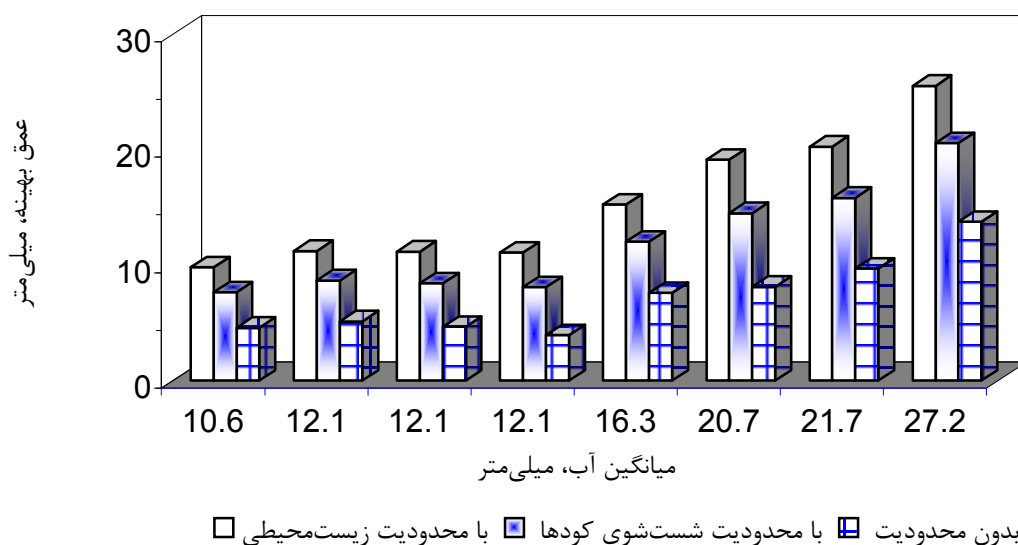
در حالتی که توزیع حاکم بر داده‌ها توانی فرض شد همین نتایج به دست آمد (مقدار آب بهینه برای خط مشی‌های اقتصادی بدون محدودیت، با محدودیت شستشوی کودها و با محدودیت زیست محیطی به ترتیب افزایش می‌یابد). با کمی دقت دیده می‌شود که هر چند روند تغییرات مقدار آب بهینه آبیاری در سه نوع مدیریت برای توابع توزیع توانی 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

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

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



شکل ۲. مقادیر عمق بهینه به ازای میانگین های مختلف پخش آب از دستگاه در مدیریت های مختلف آبیاری، روش توانی



شکل ۳. مقادیر عمق بهینه به ازای میانگین های مختلف پخش آب از دستگاه در مدیریت های مختلف آبیاری، روش نرمال

$$(ET = 4 \text{ mm/day})$$

با جای گذاری $CU_e = 77/3$ و $C = 4/58$ در معادله ۲۰ مقدار آب بهینه برای ردیف C برابر $12/04$ میلی متر و با جای گذاری $CU_e = 76/8$ و $C = 4/58$ در معادله ۲۰ مقدار آب بهینه برای ردیف D برابر $11/95$ میلی متر به دست می آید. مقدار آب بهینه

مدیر یک مزرعه سرعت حرکت دستگاه آبیاری عقربه ای را ۶۷ درصد (میانگین پخش آب $16/3$ میلی متر) تنظیم نموده است در صورتی که نسبت اقتصادی (C) برابر $4/58$ و ضریب یک نواختی دو ردیف قوطی D و C برابر $77/3$ و $76/8$ باشد عمق بهینه و فاصله بین آبیاری ها چقدر خواهد بود

برای این آبیاری برابر میانگین این دو مقدار ۱۲ میلی متر است. بهینه انجام شود به ناچار دور آبیاری اعمال می شود. طبیعی فاصله بین آبیاری ها نیز برابر ۴ روز تعیین می گردد. باید توجه است که برای استفاده از مقادیر عمق بهینه آبیاری (داده های جدول های ۳ و ۴) باید با توجه به تبخیر و تعرق مرحله مورد نیاز آبی روزانه کاربرد دارد ولی در شرایطی که آبیاری با عمق

منابع مورد استفاده

۱. سپاسخواه، ع. ر. ۱۳۷۲. رابطه تولید محصول و تبخیر و تعرق و برنامه بندی آبیاری گندم، چغندر قند، لوبیا و ذرت. گزارش طرح پژوهشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز
۲. عابدیان، ی. ۱۳۷۶. ارزیابی سیستم آبیاری بارانی لوله های چرخ دار در مزارع چغندر قند استان خراسان. پایان نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زه کشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.
۳. فروغی، ف. ۱۳۸۱. ارزیابی هیدرولیکی سیستم آبیاری عقربه ای و تأثیر آن بر بهره وری بیولوژیک گندم در منطقه باجگاه. پایان نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زه کشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.
۴. مینایی، س. و ع. ر. سپاسخواه. ۱۳۷۸. تعیین مقدار بهینه آب آبیاری ذرت بر اساس خط مشی های 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 روش های 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 14 in 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.