

بهینه سازی مصرف آب برای آبیاری پنبه در منطقه گرگان

حسین فرداد^۱ و رضا ضیغمی گل^۲

۱، ۲، دانشیار و دانشجوی سابق کارشناسی ارشد پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج
تاریخ پذیرش مقاله ۸۴/۹/۲

خلاصه

در این تحقیق تعیین حداکثر بهره‌وری از واحد حجم آب در کشت گیاه پنبه مد نظر بوده است. بدین منظور نیاز آبی گیاه ET_p پنبه با رابطه پن من ماتیس محاسبه و تیمارهای ۶ گانه: T_1 بعنوان تیمار شاهد و ET_p ، T_7 تا T_8 به ترتیب ۸۰، ۷۰، ۵۵ و ۴۰ درصد ET_p را با کتور حجمی اندازه‌گیری و به روش نشتی آبیاری گردید (تیمار T_6 به عنوان کشت دیم بدون آبیاری باقی مانده) آزمایش در ۶ تیمار و ۳ تکرار در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در ایستگاه تحقیقات جهاد کشاورزی هاشم‌آباد گرگان انجام و توابع تولید، هزینه و سود محاسبه گردید. نتایج حاصله نشان داد گرچه عملکرد پنبه (۳۰۳۰ کیلوگرم در هکتار) با آبیاری کامل و صرف آب ۳۷۸۰ متر مکعب در هکتار بدست آمده ولی حداکثر سود در واحد سطح با کاهش ۸ درصد از حجم آب آبیاری کامل بدست خواهد آمد. همچنین در اقلیم‌های خشک (با محدودیت آبی) با کاهش ۱۶/۷ درصد از حجم آب مصرفی سود حاصله از واحد حجم آب حداکثر خواهد شد. در شرایط محدودیت زمین با کاهش ۱۶ درصد از حجم آب مصرفی سود حاصله در واحد سطح برابر سود حاصله در آبیاری کامل خواهد بود. نتایج آزمایش نشان داد که در شرایط محدودیت آب با کاهش ۵۱ درصد از آب مصرفی سود حاصله از واحد حجم آب با سود حاصله در آبیاری کامل برابر خواهد شد. نتیجه اینکه: باید آب به قدر لزوم ولی نه بقدر کافی تا جایی که بازده و سود حاصله از واحد حجم آب مصرفی حداکثر باشد به گیاه داده شود.

واژه‌های کلیدی: راندمان مصرف آب، نقاط بهینه مصرف آب، تابع تولید پنبه

مقدمه

کل منابع آب قابل استحصال از منابع سطحی و زیرزمینی کشور حدود ۱۳۰ میلیارد متر مکعب می‌باشد که ۸۲/۵ میلیارد متر مکعب آن در بخش کشاورزی و حدود ۶ میلیارد متر مکعب در بخشهای دیگر مصرف می‌شود (۱). باقیمانده آبی که با صرف هزینه‌های زیاد قابل بهره‌برداری است ۴۱/۵ میلیارد متر مکعب است که افزایشی حدود ۴۶/۹ درصد خواهد داشت.

طبق برآوردهای انجام شده با جمعیت کنونی کشور سالانه حدود ۶۰ میلیون تن محصولات کشاورزی مورد نیاز است که این مقدار تا سال ۱۴۰۰ به ۱۲۰ میلیون تن افزایش خواهد یافت که رشدی حدود ۱۰۰ درصد را نشان می‌دهد (۲).

بطور کلی نرخ افزایش مصرف آب با روند افزایش مصرف محصولات کشاورزی هماهنگ نیست (۱۲). برای حل این مشکل دو راه عملی وجود دارد که عبارتند از:

۱- افزایش بهره‌وری و بالا بردن ظرفیت تولید

۲- افزایش بازده مصرف آب

افزایش بازده مصرف آب به دو طریق: ایجاد شبکه‌های آبیاری با بازده بالا و یا اعمال روشهای کم آبیاری امکان‌پذیر است. راه‌حل اول به سرمایه زیاد احتیاج داشته و راه حل، باقی مانده استفاده از روشهای کم آبیاری است. با این روش کلیه زارعین، حتی در مزارع کوچک خود، بدون سرمایه‌گذاری زیاد، می‌توانند آبیاری با بازده مصرف بالا انجام دهند (۳). در مقایسه

مگاپاسکال برسد تولید محصول و بازده مصرف آب کاهش یافته و در تیماری که این پتانسیل در شرایط مشابه به ۱/۵- مگاپاسکال رسیده بود تولید محصول افزایش یافته است. بعلاوه، تاخیر در آبیاری، قبل از گلدهی پنبه، موجب زود رس شدن محصول شده است.

آیارس، و همکاران (۱۹۹۱) گیاه پنبه را با روش بارانی و با سه ضریب یکنواختی ۶۰، ۸۰ و ۹۰ درصد و ۴ تیمار آبی ۰/۷، ۰/۹، ۱/۱ و ۱/۳ نیاز آبی گیاه آبیاری نمودند. آزمایش نشان داد با افزایش یکنواختی توزیع آب، بهره‌وری آب، نیز افزایش یافته و در صورتی که ارتفاع آب آبیاری بیش از نیاز آبی گیاه باشد. رشد رویشی گیاه افزایش یافته و عملکرد محصول کاهش خواهد یافت.

ووریس و همکاران (۱۹۹۲) اثر کم آبیاری در مراحل مختلف رشد پنبه را مورد بررسی قرار داده و به این نتیجه رسیدند که پنبه در دو مرحله گلدهی و رشد غوزه‌ها بیشترین حساسیت نسبت به تنش آبی را داشته و در مرحله باز شدن غوزه‌ها این حساسیت خیلی کمتر است. بعلاوه تابع تولید پنبه نسبت به آب به صورت منحنی درجه ۲ (سه‌می) است.

هوسمن، و همکاران (۱۹۹۳) برای تعیین زمان اولین آبیاری بعد از کاشت پنبه، شاخص پتانسیل آب برگ را مبنا قرار داده و در سه سطح ۰/۱۵ و ۰/۳ و ۰/۴۵ این پتانسیل را بعنوان سه تیمار به ترتیب برای شرایط مرطوب متوسط و خشک در نظر گرفتند. زمان اولین آبیاری این سه تیمار به ترتیب در ۳۶ و ۵۳ و ۶۳ روز بعد از کاشت در نظر گرفته شده بود. در این آزمایش اختلاف معنی‌داری در میزان محصول این سه تیمار دیده نشده است.

رادیان دلیو، و همکاران (۱۹۹۵) : اثر دور آبیاری بر محصول پنبه را مورد مطالعه قرار دادند و بدین نتیجه رسیدند که آبیاری با (دور کم) (تعداد آبیاری زیاد) در زمان گلدهی، موجب افزایش غوزه‌ها شده و در نتیجه عملکرد محصول پنبه در مقایسه با همان حجم آب، ولی در دور آبیاری بیشتر، (تعداد آبیاری کمتر) افزایش خواهد یافت. دور آبیاری ۵ روز در مقایسه با دور عملی ۱۰ تا ۱۵ روز به میزان ۵ تا ۱۱ درصد لیاف بیشتری تولید خواهد کرد. همچنین هدایت روزنه‌ها و متوسط

با دیگر روشهای آبیاری تحقیق درباره کم آبیاری در چند دهه اخیر شروع شده. لذا کم آبیاری روشی جوان و یک استراتژی بهینه محسوب می‌شود. ولی مفهوم کم آبیاری و اجرای آن در اراضی با اقلیم خشک ایران که محدودیت آب همواره حاکم بوده از قدیم معمول و آبیاری کوزه‌ای در یزد برای نیل به این هدف اجراء می‌شده است. در حقیقت کم آبیاری از دیم‌کاری و کشت گیاهان بصورت دیم الهام گرفته شده و اولین پی‌آمد آن کاهش عملکرد محصول در واحد سطح است.

اسدی، و فرداد (۱۳۷۷) در طرح مطالعاتی

“ استفاده مجدد در آبیاری

پنبه در اراضی پائین دست مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور در مزرعه هاشم‌آباد گرگان آزمایشی در ۴ تیمار آبی با دبی ۰/۸، ۱/۱، ۱/۴ و ۱/۷ لیتر در ثانیه در هر فارو با انتهای باز به طول ۱۲۰ متر انجام شد. نتایج حاصله نشان داد که دبی‌های کمتر از ۱/۱ لیتر در ثانیه کمترین رواناب سطحی را داشته و اختلاف معنی‌داری بین دو تیمار اول وجود ندارد. از نظر کیفیت، پایاب حاصله در کلاس C_1 ، S_1 طبقه‌بندی شده و برای آبیاری مجدد مناسب است.

قهرمان، و همکاران (۱۹۹۴) طی تحقیقی که در منطقه سفراین روی محصول پنبه انجام دادند به این نتیجه رسیدند که در این منطقه با کاهش ۹ درصد آب مصرفی سود حاصله حداکثر است.

تحقیقات عزیزاده، (۱۳۶۰) نشان داد که: بیشترین اثر تنش بر عملکرد پنبه در طول مرحله رشد غوزه‌ها و تقریباً بعد از مرحله گلدهی است. اعمال تنش در این مرحله موجب توقف رشد غوزه و اعمال تنش در مرحله رسیدن غوزه سبب افزایش طول لیاف و درصد آن و در نتیجه افزایش عملکرد می‌گردد.

بعلاوه در شرایط محدودیت آب بهتر است آبیاری در سه مرحله فیزیولوژیک زیر و به ترتیب ارجحیت در: دوره رشد غوزه، در زمان ظهور اولین گل پنبه و در دوره حداکثر گلدهی انجام شود. معمولاً در گرگان طبق سنت‌های محلی قبل از ظهور گل پنبه آبیاری انجام نمی‌شود.

نتایج تحقیقات برار، (۱۹۸۶) در آبیاری پنبه حاکی از آن است که وقتی پتانسیل آب خاک قبل از گلدهی گیاه پنبه به ۳-

مکعب آب در هکتار نیز در کمبود آب جهان فردا معضل بزرگی را ارائه می‌دهند.

هدف از این مطالعه بهینه‌سازی مصرف آب گیاه پنبه در منطقه گرگان بعلاوه تاثیر کم آبیاری بر میزان عملکرد پنبه و تحلیل اقتصادی آن و پیشنهاد بهترین رژیم آبیاری برای داشتن سود بیشتر در شرایط محدودیت آب و محدودیت زمین می‌باشد (۴).

مواد و روش‌ها

این تحقیق در ایستگاه تحقیقاتی هاشم آباد گرگان که در ارتفاع ۱۵۵ متر از سطح دریا واقع شده انجام گردیده است. اقلیم منطقه نیمه مرطوب، متوسط ارتفاع بارندگی ۶۵۵ میلی‌متر در سال، متوسط درجه حرارت سالانه ۱۷/۸ درجه سانتیگراد و متوسط رطوبت نسبی ۷۸٪ می‌باشد. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۶ تیمار و سه تکرار در کرت‌هایی به ابعاد ۶×۴/۸ متر درخاکی با بافت لوم سیلتی، وزن مخصوص ظاهری ۱/۴ گرم بر سانتیمتر مکعب درصد رطوبت حجمی آن در ظرفیت نگهداری و نقطه پژمردگی به ترتیب ۳۹ و ۱۹ درصد و کل آب قابل دسترس آن ۲۰۰ میلی‌متر در متر اندازه‌گیری شده است.

نیمرخ خاک عمیق ($>1m$) بدون هر مشکل زراعی است. آب آبیاری از دو حلقه چاه با کیفیت $C_1 S_1$ تامین می‌گردد. آب چاه بوسیله پمپ به محل آزمایش پمپاژ و بوسیله کنتور اندازه‌گیری شده است. آبیاری به روش نشتی، فاصله جویچه‌ها ۰/۸ متر و فاصله بوته‌ها ۲۰ سانتیمتر تعیین شده است.

این طرح در ۶ تیمار آبی $T_1=100$ ، $T_2=85$ ، $T_3=70$ ، $T_4=55$ ، $T_5=40$ ، $T_6=0$ درصد نیاز آبی پنبه و در سه تکرار جمعا در ۱۸ کرت در بهار سال ۱۳۷۷ در مزرعه آزمایشی فوق پیاده شده است. نیاز آبی پنبه با محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل ET_p به روش پنمن-مانتیت و، باران موثر به روش S.C.S محاسبه و با تعیین ضریب K_c گیاه پنبه و احتساب بازده آبیاری ۹۵٪ ارتفاع آب آبیاری برای هر دور آبیاری محاسبه شده است. در تهیه زمین، پس از شخم، ۱۵۰ کیلوگرم کود فسفات و ۱۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار به زمین داده شد و با

پتانسیل آب برگ در دور ۵ روز بیشتر از دوره‌های ۱۰ و ۱۵ روز بوده و متوسط دمای برگ در دور ۵ روز پائین‌تر بوده است.

کوهن، و همکاران (۱۹۹۵) کم آبیاری پنبه را با استفاده از آب زیرزمینی موجود، در نیمرخ خاک رسی مطالعه و توانایی رشد پنبه در چنین محیطی را مورد بررسی قرار داده و اعلام نمودند که: به علت سنگینی بافت خاک امکان توسعه ریشه پنبه به لایه‌های زیرین نیمرخ خاک و استفاده از آبهای زیرزمینی وجود ندارد.

رستوسیا، و همکاران (۱۹۹۵) چهار تیمار صفر، ۳۳/۳، ۶۶/۶ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی را در طی ۴ مرحله از رشد پنبه به شرح زیر اعمال کردند:

(a) از کاشت تا ۴ برگه شدن گیاه

(b) از ۴ برگه شدن گیاه تا باز شدن اولین غوزه

(c) از باز شدن اولین غوزه تا پایان دوره باز شدن غوزه‌ها

(d) پایان باز شدن غوزه‌ها تا آخرین مرحله برداشت محصول

نتایج حاصله نشان داد که اثر کم آبیاری با افزایش تنش افزایش یافته و در مراحل a و c کم آبیاری موجب کوتاه شدن فصل رشد، کاهش ارتفاع گیاه پنبه، زودرس شدن و کاهش محصول می‌گردد ولی در دو مرحله b و d، کم آبیاری اثر کمی روی گیاه و عملکرد آن داشته است.

نیکولا، (۱۹۹۰) کم آبیاری پنبه را مورد بررسی قرار داده و اعلام نمود که حداکثر محصول پنبه با سه آبیاری ۴۰ میلی‌متری و حداکثر بازده کاربرد آب در یک آبیاری ۴۰ میلی‌متری همراه با ۴۳٪ اضافه محصول در مقایسه با تیمار صفر (شاهد) بدست آورده است. در ضمن حجم آب آبیاری لازم برای تحصیل حداکثر سود، مصرف ۴۳ درصد نیاز آبیاری برآورد شده است.

انگلیش، (۱۹۹۷) پنبه، گندم و ذرت را در سه منطقه با خاک و اقلیم متفاوت مورد مطالعه کم آبیاری قرار داده و به این نتیجه رسید که: کم آبیاری به میزان ۱۵ تا ۵۹ درصد بسته به شرایط مکان و محیط منجر به حداکثر سود می‌شود.

با توجه به تمامی این نقطه نظرها، کم آبیاری روشی است که در بهره‌وری حداکثر از واحد حجم آب با توجه به شرایط و امکانات موجود در محیط کشت راهنمائی‌های شایان دقتی می‌نماید (۳). از طرفی روش‌های سنتی آبیاری با چند هزار متر

اجزای عملکرد تیمارهای مختلف با مدل آماری (آزمون دانکن) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در عملکرد وش، اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای ۷۰، ۸۵ و ۱۰۰ درصد وجود نداشت و در بقیه تیمارها اختلاف معنی‌دار بود. در عملکرد بیولوژیک فقط بین دو تیمار ۸۵ و ۱۰۰ درصد اختلاف معنی‌داری وجود نداشت ولی در ارتفاع بوته و تعداد غوزه‌ها اختلاف بین تمام تیمارها معنی‌دار بود.

افزایش سود حاصله از کم آبیاری ناشی از مصرف آب صرفه‌جویی شده در آبیاری اراضی دیگر و تحصیل محصول حاصله از این اراضی است. در این خصوص سه دیدگاه: افزایش بازده آبیاری، کاهش هزینه‌های تولید و افزایش سطح زیر کشت آبی مد نظر است.

در این راستا پنج نقطهٔ بهینه مصرف آب وجود دارد که در تحلیل اقتصادی کم آبیاری بعنوان هدف مورد استفاده قرار می‌گیرند. این پنج نقطه عبارتند از:

۱. مقدار آب آبیاری که به ازای آن تولید در واحد سطح حداکثر می‌شود (W_m).
۲. مقدار آبی که با آبیاری آن، سود در واحد سطح حداکثر است (W_1).
۳. مقدار آب آبیاری که با آن سود در واحد حجم آب حداکثر می‌شود (W_w).
۴. مقدار آب آبیاری که با کاربرد آن سود حاصل از کم آبیاری (در واحد سطح) با سود حاصل از آبیاری کامل برابر است (W_{el}).
۵. مقدار آب آبیاری که با استفاده از آن سود حاصل از کم آبیاری (برای واحد حجم آب) با سود حاصل از آبیاری کامل برابر است (W_{ew}).

برای بدست آوردن این نقاط بر اساس روش انگلیش و همکاران (۱۹۹۷) از معادلات (۱ تا ۵) بصورت زیر استفاده می‌نمائیم (۴).

تابع عمومی تولید و هزینه به صورت زیر نوشته می‌شود:

تابع تولید $y(w)$:

$$y(w) = a_1 + b_1 w + c_1 W^2 \quad (1)$$

دیسک با خاک مخلوط گردید. بذر پاشی در ۱۰ اردیبهشت به میزان ۴۰ کیلوگرم بذر برای هر هکتار بوسیله بذر پاش ردیف‌کار در روی خطوط به فاصله ۱۰ و عمق ۵ سانتیمتر کاشته و تنک‌کاری سه هفته بعد از کاشت (اول خرداد) هنگامی که گیاه سه برگه شده بود انجام گرفت، و فاصله بوته‌ها در ۲۰ سانتیمتر تثبیت شده است. ارتفاع آب آبیاری با ضریب مدیریتی $0/50 = M.A.D$ برای عمق توسعه ریشه $R_D = 0/8$ متر برابر 80 میلیمتر و با احتساب تبخیر و تعرق پتانسیل $ET_p = 6/5$ میلیمتر در روز، دور آبیاری ۱۲ روز تعیین شده است. در جدول (۱) مقادیر آب آبیاری برای تیمارهای مختلف داده شده است.

اولین آبیاری طبق سنت و روش زارعین محلی موکول به شروع دوره گلدهی (۲۰ تیرماه) انجام و نیمرخ خاک تا عمق ۸۰ سانتیمتر تا حد ظرفیت نگهداری آبیاری گردید. در آبیاری‌های بعدی حجم آب برای هر کرت جداگانه محاسبه و در سطح کرت بطور یکنواخت پخش گردیده است.

بعد از آبیاری پنجم باران موثر منطقه تکافوی نیاز آبی پنبه را نمود و احتیاج به آبیاری اضافی نبوده است. برداشت محصول پنبه طی دوچین به ترتیب در ۵ مهر و ۷ آبان از ۴ ردیف میانی با حذف ۰/۵ متر از دو انتهای هر کرت با دست انجام شد. در چین اول ۲۰ غوزه بطور تصادفی از هر کرت برداشت و وزن شده است. در این تاریخ در تیمارهای T_4 ، T_5 و T_6 کل غوزه‌ها رسیده و در تیمارهای T_1 ، T_2 و T_3 حدود ۷۰٪ غوزه‌ها رسیده و برداشت ۳۰٪ بقیه محصول در چین دوم امکان پذیر بوده است.

محصول هر کرت بطور جداگانه توزین و از توده وش هر تیمار یک نمونه یک کیلوئی برداشت و برای تعیین خواص کیفی الیاف پنبه به آزمایشگاه تکنولوژی الیاف در ورامین ارسال گردیده است.

جدول ۱- مقادیر آب آبیاری برای تیمارهای مختلف (mm)

تیمار آبی	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6
درصد ET_p	۱۰۰٪	۸۵٪	۷۰٪	۵۵٪	۴۰٪	۰٪
جمع کل آب آبیاری	۳۷۸	۳۲۱	۲۶۵	۲۰۸	۱۵۱	۰

$$W_v = \frac{b_v - p_c b_v}{2(p c_v - C_v)} \quad (8)$$

۳- در شرایط محدودیت آب سود ماکزیمم بصورت W_w نشان داده شده است. در این وضعیت سطح کشت تابعی از آب مصرفی است. با صرفه جوئی در آب می‌توان بر سطح زیر کشت افزود. مقدار آبی که به ازاء آن سود حاصله از واحد سطح کشت حداکثر می‌شود به شرح زیر محاسبه شده است.

$$W [p \frac{dy(w)}{dw} - \frac{dc(w)}{dw}] = py(w) - c(w) \quad (9)$$

با جاگذاری مقدار توابع تولید (معادله ۱) و هزینه (معادله ۲) در معادله (۵) اپتیمم عمق آب مصرفی در شرایط محدودیت آب (W_w) بصورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$W_w = \left(\frac{a_v p - a_v}{p c_v - C_v} \right)^{1/5} = 0 \quad (10)$$

۴- مقدار آب مصرفی که سود حاصل از کم آبیاری (در شرایط محدودیت زمین) برابر سود حاصل از آبیاری کامل است:

$$W_{el} = \frac{b_v - p b_v + z_v}{2(p c_v - c_v)} \quad (11)$$

(12)

$$Z_v = \left\{ (p b_v - b_v)^2 + 4(p c_v - c_v) [p b_v - b_v] \times \frac{-b_v}{2c_v} + (p c_v - c_v) \times \frac{b_v^2}{4c_v^2} \right\}^{1/2}$$

۵- مقدار آب مصرفی که با آن سود حاصل از کم آبیاری (در شرایط محدودیت آب) برابر سود حاصل از آبیاری کامل است (W_{we}):

با فرض $A = W_m/w$ و با توجه به معادله (۶) به صورت زیر بسط و مورد محاسبه قرار گرفته است:

$$W_{we} = \frac{-Z_v + [Z_v^2 - 4(p c_v - c_v)(p a_v - a_v)]^{1/2}}{2 p c_v - 2 c_v} \quad (13)$$

$$Z_v = (p b_v - b_v) + (p c_v - c_v) - (p c_v - c_v) \frac{b_v}{2c_v} - \frac{2c_v(p a_v - a_v)}{b_v} \quad (14)$$

نتایج

در جدول ۲ مقایسه بازده مصرف آب آبیاری بین تیمار T_1 (معادل با $ET_p 1.00$) با T_5 (برابر $ET_p 1.40$) روند صعودی داشته و به ترتیب از ۸ به ۱۵/۱ ترقی می‌نماید. بررسی ارقام

تابع هزینه $C(w)$:

$$C(w) = a_2 + b_2 w + c_2 w^2 \quad (2)$$

تابع درآمد $R(w)$: از ضرب قیمت محصول P (ریال) در تابع تولید $y(w)$ (کیلوگرم در هکتار) بدست می‌آید:

$$R(w) = p \times y(w) = p(a_1 + b_1 w + c_1 w^2) \quad (3)$$

$I(w)$: از حاصلضرب

کل سطح زیر کشت آبی A در سود حاصل از واحد سطح $B(w)$ بدست می‌آید.

$$I(w) = A \times B(w) = A \times [R(w) - C(w)] \quad (4)$$

در این معادلات w مقدار آب مصرفی (میلیمتر یا m^3/ha) و a_1 و a_2 مقادیر ثابت و b_1 و b_2 و c_1 و c_2 به ترتیب ضرایب توابع تولید و هزینه می‌باشند. در این تحقیق نقاط بهینه مصرف آب در ۵ وضعیت یاد شده تشریح و معادلات مربوط به هر وضعیت به شرح زیر محاسبه شده است:

حداکثر عملکرد W_m : معادله وضعیتی که در آن تولید محصول حداکثر است، با محاسبه مشتق نسبت به w تابع تولید (معادله ۱) و مساوی صفر قرار دادن آن بدست می‌آید:

$$W_m = \frac{dy(w)}{dw} = \frac{d}{dw} (a_1 + b_1 w + c_1 w^2) = 0 \quad (5)$$

$$W_m = -\frac{b_1}{2c_1}$$

سود حاصل از کم آبیاری $i(w)$ حاصلضرب سطح زیر کشت در سود حاصل از واحد سطح $B(w)$ بدست می‌آید:

$$i(w) = AB(w) \quad (6)$$

در منطقه ممکن است یکی از دو محدودیت آب و یا زمین وجود داشته باشد. برای تعیین سود خالص در هر یک از این دو محدودیت، مشتق بر حسب w معادله (۶) را محاسبه و مساوی صفر قرار داده شده است.

$$\frac{dI(w)}{dw} = A \frac{dB(w)}{dw} + B(w) \frac{dA}{dW} = 0 \quad (7)$$

۲- در حالت محدودیت زمین $dA/dW=0$ است. بنابراین در

معادله (۷) $AdB(w)/dw=0$ و با احتساب $A=1$ و جاگذاری مقدار $B(w)$ در معادله (۷) اپتیمم عمق آب مصرفی (معادله ۸) وقتی که محدودیت آبی وجود ندارد محاسبه خواهد شد.

بیشتری برداشت نموده و سود ناخالص آن حدود ۲ برابر آبیاری کامل خواهد بود.

تابع تولید که با استفاده از میزان محصول حاصله از تیمارهای مختلف بر اساس معادله (۱) بصورت زیر محاسبه شده است:

$$y(w) = -0.103 w^2 + 1.46 w + 1399 \quad (15)$$

هزینه‌های تولید، برای دو حالت دیم و آبی در جدول (۳) آمده است. بدلیل اختلاف در طبیعت هزینه‌ها، تعیین این تابع، در تیمارهای مختلف مشکل است. لذا در این تحقیق هزینه‌های متغیر مانند هزینه: سمپاشی، آب‌بها، آبیاری، کودپاشی را بصورت تابع خطی از آب مصرفی و هزینه‌های برداشت و حمل و نقل کالا را بصورت تابع خطی از وزن تولید در نظر گرفته‌ایم. هزینه‌های ثابت شامل هزینه‌های تهیه زمین، کاشت، اجاره بهای زمین برای تمام تیمارها یکسان بوده و بر این اساس هزینه‌ها با استفاده از فهرست بهای سال ۱۳۷۵ در سطح یک هکتار محاسبه و ذیلاً داده شده است:

هزینه‌های ثابت ۱۴۴۱۸۵۰ ریال، هزینه‌های متغیر به ازاء واحد حجم آب ۱۰۱۵ ریال، هزینه‌های متغیر به ازاء واحد تولید ۲۰۴ ریال

بنابراین بر مبنای معادله (۲) می‌توان نوشت:

$$C(w) = 1441850 + 1015 w + 204 y(w^2)$$

جدول نشان می‌دهد که در تیمار T_1 با مصرف ۳۷۸ میلی‌متر آب آبیاری جدول ۱ محصول و ش برداشتی معادل ۳۰۳۰ کیلوگرم در هکتار و بازده مصرف آب آن ۸ کیلوگرم در هکتار در ازاء هر میلی‌متر آب مصرفی بوده است. و در تیمار T_5 با مصرف ۱۵۱ میلی‌متر آب، برداشت محصول و ش ۲۲۸۰ کیلوگرم در هکتار و بازده مصرف آب ۱۵/۱ کیلوگرم و ش در هکتار در ازاء هر میلی‌متر آب مصرفی بوده است جدول (۲). بنابراین اگر آب تیمار T_1 را در زمینی به مساحت ۲/۵ = ۳۷۸ ÷ ۱۵۱ هکتار کشت پنبه آبیاری نمائیم، محصولی معادل: $2/5 \times 2280 = 5700$ کیلوگرم و ش برداشت خواهیم نمود، که مقدار آن:

$$5700 \div 3030 = 1/88$$

برابر آبیاری کامل است. بعلاوه حداکثر عملکرد گیاه پنبه ۳۱۴۰ کیلوگرم و ش در هکتار با مصرف ۳۲۱ میلی‌متر آب آبیاری معادل $Etp = 0/85$ بوده و اضافه مصرف آب آبیاری ۱۵٪ = ۳۱۴۰ - ۳۰۳۰ = ۱۱۰ به میزان ۱۱۰ کیلوگرم و ش در هکتار معادل ۳/۵٪ = ۳۱۴۰ ÷ ۱۱۰ حداکثر محصول شده است.

بنابراین با کم آبیاری گرچه با کاهش میزان آب قابل استفاده برای گیاه عملکرد محصول کاهش می‌یابد ولی با افزایش بهره‌وری از واحد حجم آب و با افزایش سطح زیر کشت (در موقعیتی که محدودیت زمین وجود نداشته باشد) محصول

جدول ۲- مقادیر اجزاء عملکرد گیاه پنبه در تیمارهای مختلف در مزرعه هاشم‌آباد گرگان سال زراعی (۷۷-۱۳۷۶)

نیاز آبی تیمارها درصد	بازده مصرف آب	تعداد غوزه در متر مربع	ارتفاع بوته (Cm)	عملکرد بیولوژیک هکتار/کیلوگرم	تولید و ش هکتار/کیلوگرم
	یک میلی‌متر آب در هکتار Kg	\bar{R}	\bar{R}	\bar{R}	\bar{R}
$T_6 = 0$	-	۸	۸۰	۴۳۵۸	۱۴۴۰
$T_5 = 40$	۱۵/۱	۱۲	۹۳	۷۲۳۵	۲۲۸۰
$T_4 = 55$	۱۳/۲	۱۴	۱۰۲	۹۲۵۰	۲۷۵۰
$T_3 = 70$	۱۱/۳	۱۶	۱۰۹	۱۰۰۶۹	۳۰۰۰
$T_2 = 85$	۹/۷۸	۱۷	۱۱۳	۱۰۸۱۹	۳۱۴۰
$T_1 = 100\%$	۸	۱۹	۱۱۶	۱۱۲۶۰	۳۰۳۰

میانگین سه تکرار - عملکرد بیولوژیک = وزن: (برگ+ساقه+ و ش)

بنابراین ارتفاع آبی که با آن حداکثر محصول پنبه بدست می‌آید ۴۱۰ میلی‌متر است.

۲- W_L : ارتفاع آبی که به ازاء آن در شرایط محدودیت زمین سود حاصله از واحد سطح حداکثر می‌شود و با محاسبه مشتق معادله (۱۸) به شرح زیر بدست می‌آید.

$$W_L = \frac{dB(w)}{d(w)} = -30/118w + 11642 \quad (20)$$

$$W_L = 377/76 \text{ میلی‌متر}$$

۳- W_m : مقدار آبی که به ازاء آن (در شرایط محدودیت آب) سود حاصله از واحد حجم آب مصرفی حداکثر است. در چنین شرایطی با صرفه جویی در آب می‌توان سطح کشت را افزایش داده و سود حاصله در کل سطح زیر کشت آبی حداکثر شود. در منطقه گرگان سطح زیر کشت پنبه ۹۳۱۰۰ هکتار است که از این مقدار ۷۷۶۰۰ هکتار کشت آبی و ۱۵۵۰۰ هکتار دیم و ضریب افزایش سطح زیر کشت $A = 1/2$ می‌باشد. از این اراضی موقعی حداکثر سود بدست می‌آید که تمام آن تحت کشت آبی قرار گیرد. لذا:

$$W_m = \frac{410/4}{1/2} = 342$$

۴- W_{el} : مقدار آبی که به ازاء آن در شرایط محدودیت زمین سود حاصله از کم آبیاری با آبیاری کامل برابر است. با استفاده از معادله (۱۸) و احتساب $4/410$ و $W_m = 1$ مقدار W_{el} به شرح زیر محاسبه شده است.

$$B(W_m) = B(w) \quad (21)$$

با جانشینی تابع $y(W^2)$ در معادله فوق تابع هزینه بصورت زیر بدست آمده است:

$$c(w) = -2/1012 w^2 + 2740 w + 1727307 \quad (16)$$

بر مبنای معادله (۳) و احتساب قیمت تضمینی خرید پنبه در سال ۱۳۷۵ برابر $P=1700$ ریال برای هر کیلو و ش تابع درآمد بصورت زیر محاسبه شده است.

$$R(w) = -17/51 w^2 + 14382 w + 2378300 \quad (17)$$

تابع سود حاصل از هر هکتار با استفاده از معادله (۴) عبارتند از:

$$B(w) = -15/4088 w^2 + 11642w + 6509930 \quad (18)$$

معادلاتی که فوقاً بسط و مورد بحث قرار گرفت، از درجه دوم بوده و این توابع در دامنه تغییرات خود از نقطه ماکزیمم می‌گذرند. محاسبه این نقاط ماکزیمم اجازه بهره‌وری حداکثر از نهاده‌ها را می‌دهد. این نقاط عبارتند از:

۱- W_m : نقطه‌ای که در آن مقدار تولید پنبه حداکثر است و از محاسبه مشتق $y(w)$ در معادله (۱۵) بر حسب w و مساوی صفر قرار دادن آن بدست می‌آید:

$$\frac{dy(w)}{dw} = 0$$

$$Ww = -0/206 w + 1/46 = 0 \quad (19)$$

$$W_m = 410/7 \text{ میلی‌متر}$$

جدول ۳- متوسط هزینه‌های تولید برای یک هکتار در منطقه گرگان (به ریال)

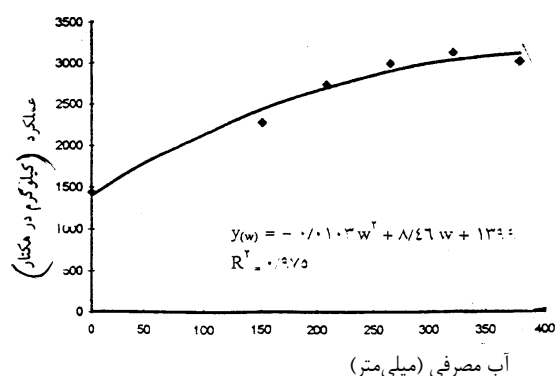
نوع عملیات	پنبه دیم	پنبه آبی	نوع عملیات	پنبه دیم	پنبه آبی
شخم	۳۵۰۵۰	۴۱۸۷۰	آبیاری	۰	۳۵۴۷۰
دیسک	۳۲۳۲۰	۳۲۸۳۰	سم و علف کش	۵۷۴۹۰	۱۲۹۱۷۰
ماله‌کشی	۱۵۰۰۰	۱۷۷۶۰	سمپاشی	۲۳۹۵۰	۳۷۹۵۰
بذر مصرفی و ضد عفونی بذر	۳۵۵۴۰	۳۴۴۱۰	وجین و تنک کردن	۱۷۴۲۱۰	۲۰۲۶۳۰
بذرپاشی با ردیفکار	۸۰۷۲۰	۱۲۲۵۶۰	سایر هزینه‌های داشت	۱۲۷۵۰	۱۶۹۸۰
کودشیمیائی و حمل آن	۳۲۴۷۰	۵۳۵۸۰	برداشت محصول	۲۴۴۸۰۰	۵۱۵۱۰۰
کود پاشی	۶۸۸۰	۹۹۷۰	بسته‌بندی و حمل به انبار	۵۶۳۰۰	۱۱۸۴۷۰
آب بهاء	۰	۲۳۷۱۴۰	اجاره زمین	۸۸۴۶۷۰	۸۸۴۶۷۰

جدول ۴- نقاط بهینه کم آبیاری

عمق آب مصرفی (mm)	۰	۱۹۹/۴	۳۴۲	۳۴۴/۵	۳۷۷/۵	۴۱۰/۴
درصد نیاز آبیاری کامل	٪۰	٪۵۰	٪۸۳/۳	٪۸۴	٪۹۲	٪۱۰۰
میزان عملکرد (Kg/ha)	۱۳۹۹	۲۶۷۶	۳۰۸۶	۳۰۹۰	۳۱۲۳	۳۱۳۴
درآمد ناخالص (ریال)	۲۳۷۸۳۰۰	۴۵۴۹۲۰۰	۵۲۴۶۲۰۰	۵۲۵۳۰۰۰	۵۳۰۹۱۰۰	۵۳۲۷۸۰۰
هزینه کل (ریال)	۱۷۲۷۳۰۷	۲۱۹۰۰۶۷	۲۴۱۸۵۳۴	۲۴۲۷۷۷	۲۴۶۲۱۲۵	۲۴۹۷۷۹۵
سود در حالت محدودیت زمین (ریال)	۶۵۱۵۰۳	۲۳۵۸۴۸۰	۲۸۲۷۷۴۱	۲۸۶۰۶۷۹	۲۸۴۷۱۴۰	۲۸۳۰۳۷۹
سود در حالت محدودیت آب (ریال)	۷۸۱۸۳۶	۲۸۳۰۳۷۹	۳۳۹۳۲۸۹	۳۳۷۱۸۰۷	۳۰۹۵۲۷۵	۲۸۳۰۳۸۹

به همین طریق برای تیمارهای مصرف ۸۴ و ۵۰ درصد آب آبیاری سود حاصله به ترتیب ۱/۲ و ۱ بوده است. یعنی در تیمار ۵۰٪ با مصرف ۱/۲ آب آبیاری کامل، سود حاصله در دو تیمار دقیقاً برابر هم بوده است.

بنابراین از نظر اقتصادی در شرایط محدودیت آب و امکان افزایش سطح زیر کشت تیمار ۸۳/۳ درصد جدول (۴) بعنوان تیمار برتر معرفی می‌شود.



شکل ۱- عملکرد وش و مقدار آب مصرفی گیاه پنبه در سال زراعی ۱۳۷۶-۷۷ در گرگان

بحث

از دیدگاه فیزیولوژی گیاهی رابطه تعرق گیاهان، گستردگی شبکه ریشه‌ها، پتانسیل آب در خاک با تولید محصول یک رابطه خطی است. بعلاوه رشد و نمو ریشه با میزان اکسیژن هوای خاک رابطه مستقیم داشته و در خاک‌های تهویه شده رشد ریشه سریع‌تر است. با احتساب وزن مخصوص حقیقی خاک ۲/۶ گرم بر سانتیمتر مکعب میزان تخلخل خاک ۴۶ درصد و تخلخل

$$2830443 = 651502/8 + 11633 w - 15/4088 w^2$$

$$W_{el} = 375 \text{ میلی‌متر}$$

۵- W_{ew} : مقدار آبی که با مصرف آن در شرایط محدودیت

آب سود حاصل از کم آبیاری با آبیاری کامل برابر است. با استفاده از معادله (۱۸) و فرض $B(W_m) = 1/2 B(w)$ و احتساب $W_m = 410/4$ میلی‌متر بصورت زیر محاسبه شده است:

$$B(W_m) = 1/2 B(w) \quad (22)$$

$$2830443 = 1/2 (651502/8 + 11633/08w - 15/4088 w^2)$$

$$W_{ew} = 199/4 \text{ میلی‌متر}$$

به همین طریق تابع عملکرد بیولوژیک - آب مصرفی (۲۳) و

تابع ارتفاع بوته - آب مصرفی (۲۴) و بالاخره تابع تعداد غوزه - آب مصرفی (۲۵) محاسبه و ذیلاً داده شده است.

$$y(w) = 0.02w^2 + 26/604w + 4241/3 \quad (23)$$

$$H(w) = 0/105w + 80 \quad (24)$$

$$N(w) = 0/0274w + 8/12 \quad (25)$$

در این معادلات $y(w)$ عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار)، H ارتفاع بوته پنبه (سانتیمتر)، N تعداد غوزه و w عمق آب آبیاری بر حسب میلی‌متر می‌باشد.

بررسی نتایج محاسبه تغییرات عملکرد پنبه بعنوان تابعی از آب مصرفی (معادله ۱۵) در شکل (۱) روند صعودی داشته و حداکثر عملکرد وش ۳۱۳۴ کیلوگرم در هکتار با مصرف ۴۱۰ میلی‌متر آب آبیاری بوده است. سود خالص حاصله در حالت محدودیت آب جدول (۴) ۲۸۳۰۳۸۹ ریال و نسبت آن با سود حاصله از ۹۲٪ آب مصرفی $2830389 \div 3095275 = 1/09$

مصرف آب در این تحقیق از ۸ به ۱۵/۱ در تیمارهای T_1 تا T_5 در جدول (۲) بوده و موید نظر ما و تاییدی بر این نتایج که گیاه در شرایط کم آبیاری با صرفه‌جویی در مصرف آب شرایط کم آبی را با کاهش تعرق و با بهره‌وری بیشتر از واحد حجم آب با شرایط محیط سازگار شده و در مقابل بحران کمبود آب ناشی از کم آبیاری مقاومت نموده است.

نتیجه اینکه: در شرایط محدودیت آب و به شرط وجود زمین برای افزایش سطح زیر کشت و آبیاری با آب صرفه‌جویی شده سود حاصله از تیمار ET_p ۸۳/۳٪ (۴) ماکزیمم و در شرایط محدودیت زمین با سود حاصله از تیمار T_2 با سود آبیاری کامل تقریباً برابر است. لذا با کم آبیاری و دادن آب به‌قدر لزوم نه مقدار کافی به هدف مورد نظر که حداکثر بازده محصول و سود حاصله از واحد حجم آب مصرفی است خواهیم رسید.

سپاسگزاری

از کارکنان محترم گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران و از کارکنان محترم موسسه تحقیقات پنبه گرگان و تمام کسانی که در این تحقیق به نوعی با ما همکاری نموده‌اند، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نمائیم.

باقی مانده برای هوای خاک در تیمار T_1 ، $7=39-46$ درصد و در تیمار T_2 $13=33-46$ درصد بدست خواهد آمد. بنابراین شرایط محیطی برای رشد ریشه در تیمار T_2 با رطوبت ۳۳٪ و آب آبیاری ۸۵ درصد ET_p در مقایسه با سایر تیمارها مناسب‌تر است. لذا داشتن حداکثر بازده محصول وش ۳۱۴۰ کیلوگرم در هکتار در مقایسه با دیگر تیمارها، امری طبیعی است. طبق نظر کووان (۱۹۶۵) عملکرد محصول در رابطه مستقیم با میزان تعرق گیاه است، بنابراین تعرق بیشتر مستلزم جذب آب زیادتر و داشتن شبکه ریشه‌های گسترده‌تر بوده و تیمار T_2 از چنین شرایط و شبکه ریشه‌ای برخوردار است. تیمار T_1 با داشتن $100\% ET_p$ دلیل نداشتن شرایط تهویه برای رشد و توسعه ریشه محصول کمتر ۳۰۳۰ کیلوگرم در هکتار در مقایسه با T_2 داده است.

کرامر (۱۹۶۹) ضمن تایید نظر کووان (۱۹۶۵) اثر هدایت هیدرولیکی خاک در آبرسانی به ریشه و نیز فاکتورهایی که بر بسته شدن روزنه‌های برگ تاثیر گذارند را بر پارامترهای فوق افزوده و معتقدند که گیاهان در مقابل عوامل نامساعد زیست محیطی خود عکس العمل نشان داده و با بستن روزنه‌ها در ساعات گرم روز و شرایط کمبود آب، تعرق از سطح برگ را کنترل می‌نمایند. و این نظر دلیل محکمی برای افزایش بازده

REFERENCES

منابع مورد استفاده

۱. اسدی، م. و ح. فرداد. ۱۳۷۸. ارزیابی کمی و کیفی آب برگشتی در آبیاری نشتی. مجله علوم کشاورزی ایران ۲۹ (۱) ۱۸۰-۱۷۱.
۲. جانباز، ح. و ح. فرداد. ۱۳۷۵. مطالعه اثر تنش و دور آبیاری بر عملکرد محصول گندم در منطقه کرج. پایان نامه کارشناسی ارشد گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران ۱۲۲ صفحه.
۳. خیرایی، ج.، ع.، ر. توکلی و م. ر. انتصاری. ۱۳۷۴. دستورالعمل‌های کم آبیاری. از انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی.
۴. علیزاده، ا. ۱۳۷۲. اصول طراحی سیستمهای آبیاری. انتشارات دانشگاه امام رضا(ع) ۵۳۹ صفحه
۵. علیزاده، ا. ۱۳۶۰. آبیاری و زراعت پنبه. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۱۶۰ صفحه
6. Ayars, J.E & R.B. Hutmacher. 1991. Cotton response to nonuniform and varying depths of irrigation Agricultural water management 19:2, 151-166.
7. Brar, A.S. 1986. Response of Upland cotton to deficit irrigation management- Sciences and engineer 46(7) 2122-2135.
8. Cohen, y & all. 1995. Defficit irrigation of cotton for increasing ground water use in clay soils, Agronomy journal 87(5) 808-814.
9. Cowan. J. R 1965. Transport of water in the soil- plant- atmosphere system d. Appl. Ecol. 2.221-239.

10. English, M. & S.N. Raya. 1997. Perspective Pers on deficit irrigation, *Agricultural Water Management* 3 (1) 1-14.
11. Ghahreman, B. & A.R. Sepaskhah. 1994. Optimum water deficit in irrigation management at a semi-arid region of iran 17th European Regional conference on irrigation and drainage V.L paper 1015:127-134.
12. Husman, S.H. & D.J. Garrot. 1993. Early season irrigation Effects on low desert upland cotton yields, using leaf water potential Measurements, *Bettwide Cotton conference U.S.A*, 1211-1213.
13. Kramer. P. J. 1969. plant clnd soil water Relation ships A modern Synthesis T. M. HEDitin P.290.
14. Nicolav, G. 1995. Cotton irrigation regime under conditions of water deficit *Bulgarian Journal of Agricultural siences* 1(4) 349-354.
15. Rosenthal, W. D. & all. 1987. water Deficit effects on transpiration and leaf growth *Agronomy Journal* 79(6) 1019-1026.
16. Radian. W.J. & T. J. Henneberry. 1995. Effect of irrigation frequency on cotton yield in short season production systems, *crop science* 35(4).
17. Restuccia, G. & all. 1995. Effects of irrigations regimes on the agronomic behavior of cotton cultivated in the Mediterranean region, *Rivistali Agronomia* 29(2) 123-131.
18. Vories, E.D. & D. J. Pitts. 1992. sprinkler rrigation reponse of contton on clay Arkansas form Reserth 49(1) 6-7.