یافته های نوین کشاورزی
سال سوم، شماره ۳، بهار ۱۳۸۸
Archive of SID

مدیریت بهینه مصرف آب در مزارع تولید پنبه

داود اکبری نودهی *، عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد قائمشهر

چکیده

این تحقیق در شرق استان مازندران و روی محصول پنبه صورت پذیرفت. مقادیر بهینه آب مصرفی در شرایط محدودیت زمین و محدودیت آب برای منطقه مورد نظر، ارزیابی شد. با تاثیر دادن مقدار بارندگی بر تابع تولید، روابط بهینه آب مصرفی در شرایط محدودیت زمین و محدودیت آب تعدیل گردیدند. نتایج نشان داد روابط تعدیل شده به میزان بارندگی وابستگی دارند. نتایج حاصل از محاسبات انجام شده نشان داد با افزودن مقدار بارندگی فصل رشد در تابع تولید، تابع تولیدی با ضرایب متفاوت با تابع تولید اولیه که بدون تاثیر بارندگی در فصل رشد محاسبه می شد بدست می آید. رابطه حاصله از مقادیر W_w و R نشان داد با افزایش مقدار بارندگی در فصل رشد مقدار W_w به صورت غیر خطی کاهش یافت. بدین ترتیب که با اعمال ضریب بارندگی در فصل رشد در روابط مربوط به مقادیر بهینه مصرف آب آبیاری و تاثیر آن محاسبات می‌توان در استفاده از منابع آب موجود صرفه جویی بیشتری نمود. این گونه صرفه جویی ها در ابعاد کلان خود می تواند موجب افزایش سطح زیر کشت در هر منطقه شود. با تحلیل فراوانی برای دوره های برگشت مختلف مقادیر بهینه آب مورد نیاز نیز بدست آمد. بنابراین با استفاده از تحلیل فراوانی می توان نتیجه گرفت مثلاً، اگر احتمال وقوع باران در فصل رشد با احتمال ۸۰٪ مورد نظر باشد پس بایستی مقدار W_w برای پنبه در منطقه ۱۸۰ میلی متر باشد. لذا با این احتمال وقوع و مقدار منابع آب موجود می توان تخمین مناسبی از سطح زیر کشت محصول مورد نظر را تعیین نمود.

واژه های کلیدی: باران فصل رشد، پنبه، بهینه سازی مصرف آب، استان مازندران

www.SID.ir

* نویسنده مسئول: E-mail: dakbarin @yahoo.com

تاریخ دریافت مقاله: ۸۹/۳/۱۰ تاریخ پذیرش مقاله: ۸۹/۹/۲۵

Archive of SID

مقدمه

در حال حاضر نیاز به تولید محصولات زراعی موجب استفاده بیش از حد آبهای زیر زمینی و در نتیجه بیلان آب در بسیاری از آبخوان‌های زیرزمینی منفی می‌باشد یعنی سالانه بیش از ۸ میلیارد متر مکعب از منابع غیر قابل تجدید آب‌های زیر زمینی کشور بیشتر برداشت می‌شود(۳). برای مقابله با این بحران روش کم آبیاری برای استفاده بهینه از منابع آب پیشنهاد شده است تا بازده مصرف آب را افزایش دهد. در تحلیل بهینه‌سازی کم آبیاری به خاطر منظور نکردن بعضی عوامل از جمله باران فصل رشد در تابع تولید محصول مقدار خطر پذیری وجود دارد. بنابراین اثر باران فصل رشد در تحلیل بهینه سازی کم آبیاری جهت مدیریت منابع آب بایستی مد نظر قرار گیرد (۳). این روش در سال‌های اخیر توسط راکستورم و همکاران (۲۰۰۳) به منظور تامین بخشی از تبخیر و تعرق و استفاده بهینه از منابع آب معرفی گردیده است. انگلیش (۱۹۹۰) بیان می‌دارد در کم آبیاری، مقدار بهینه آب مصرفی فصل رشد به روش تحلیل اقتصادی توابع تولید محصول – آب و هزینه – آب تعیین می‌شود. با استفاده از این روش مقدار بهینه آب مصرفی فصل رشد محصولات مختلف زراعی توسط محققین مختلف ارائه شده است (٦، ۷). در این روش تابع تولید محصول آب بدون توجه به میزان بارندگی در فصل رشد به دست آمده و به کار گرفته شده است. بنابراین نتایج حاصل فقط برای شرایطی که در آن تابع تولید محصول – آب به دست آمده صادق است و در شرایط دیگر با میزان بارش متفاوت در فصل رشد کاربرد ندارد (۵). اثر بارش فصل رشد در تحلیل بهینه‌سازی کم‌آبیاری برای محصول پنبه و گندم توسط سپاس‌خواه و اکبری(۲۰۰۵) تحلیل شده است. تحلیلی نیز بر همین اساس به‌منظور بهینه سازی آب آبیاری و کود نیتروژن برای ذرت توسط زند پارسا و سپاس‌خواه (۲۰۰۱) انجام شده است. زانگ و اویس (۱۹۹۹) با اضافه نمودن مقدار بارندگی فصل رشد در تابع تولید گندم در شرایط آب و هوایی مدیترانه‌ای به این نتیجه رسیدند با افزایش میزان بارندگی، مقادیر بهینه آب مصرفی کاهش یافته است. به‌طوری که با مقدار بارندگی ۲۵۰ میلی‌متر، مقدار آب مصرفی(W_w) ۲٦۰ میلی‌متر، و با مقدار بارندگی ٤۵۰ میلی‌متر مقدار آب مصرفی (W_w) به ٦۰ میلی‌متر رسیده است. در این تحقیق تحلیل فراوانی مقادیر بهینه آب مورد نیاز جهت تعیین مناسب‌ترین تابع توزیع با دوره برگشت‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته و با پیش بینی مقدار باران فصل رشد مقادیر بهینه آب مصرفی به دست آمد.

مواد و روش ها

به منظور تعیین تابع تولید پنبه جهت مدیریت بهینه مصرف آب در مزرعه، آزمایشی بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی، در چهار تکرار و به مدت ۲ سال منتهی به سال ۱۳۸۳ در ایستگاه تحقیقاتی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی مازندران (بابکلا) به اجرا در آمد. این ایستگاه در شمال شهر نکا

www.SID.ir

Archive of SID

در عرض ۳٦ درجه و ۲٦ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۳۰ دقیقه شرقی و ارتفاع ٤ متر از سطح دریا قرار دارد. متوسط بارندگی منطقه ٦۲۰ میلی متر، متوسط درجه حرارت منطقه ۱۷ درجه سانتی‌گراد، متوسط رطوبت نسبی ۷۰٪ و متوسط تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A، ۱۳۰۰ میلی متر می باشد. خاک منطقه مورد آزمایش سیلتی-رسی و ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم آن به ترتیب ۳۲ و۱۵/۸ درصد وزنی و جرم مخصوص ظاهری خاک منطقه ۱/۳۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب می‌باشد. تیمارهای آبیاری شامل صفر (بدون آبیاری)، ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ درصد نیاز آبی گیاه (مقدار آب بکار برده شده در ۱۰۰ درصد نیاز آبی) بوده‌اند. جهت اعمال تیمارها آبیاری به‌صورت شیاری و با استفاده از کنتور حجمی و در کرت‌هایی به ابعاد ۱۵×٤/۸ متری انجام گردید. زمان آبیاری بر اساس ٦۰٪ تخلیه مجاز رطوبت و مقدار آب آبیاری بر مبنای رساندن رطوبت خاک تا عمق ٦۰ سانتی‌متری به حد ظرفیت مزرعه محاسبه گردید. پنبه رقم ساحل در اواخر اردیبهشت و به میزان ٤۰ کیلوگرم بذر در هکتار و به‌وسیله دست در روی خطوط به فاصله ۱۰ سانتی‌متر و عمق ۵ سانتی‌متر و فاصله خطوط ۸۰ سانتی‌متر کشت گردید. تنک‌کاری ۳ هفته بعد از کاشت (هنگام ۳ برگه شدن) انجام و فاصله بوته‌ها در روی ردیف‌های کشت در۲۰ سانتی‌متری تثبیت گردیدند. مقدار آب آبیاری تیمارها بصورت شیاری و با استفاده از کنتور حجمی ۲ اینچی و بر مبنای رساندن رطوبت خاک در عمق ریشه(عمق ریشه بسته به مراحل رشد گیاه متفاوت در نظر گرفته شده است) به حد ظرفیت زراعی تعیین گردید. سطح آب زیرزمینی در طی انجام آزمایش بین ۵ تا ۱۰ متر نوسان داشته است. مقدار عمق آب آبیاری بصورت رابطه زیر محاسبه گردید:

$$d = \frac{(\theta_{fc} - \theta_w) Z \rho_b}{10}$$

که درآن Θ_{fc}: رطوبت وزنی خاک در حد ظرفیت زراعی (درصد)، Θ_w: رطوبت وزنی خاک در زمان آبیاری (درصد)، Z: عمق ریشه (سانتی متر) و ρ_b: وزن مخصوص ظاهری خاک (گرم در سانتی‌مترمکعب) می‌باشد. اندازه‌گیری مقدار رطوبت خاک بصورت وزنی و تا عمق ۹۰ سانتی‌متری صورت گرفته است. برداشت محصول طی سه چین و از دو ردیف میانی هر تیمار به طول ۲/۵ متر و بوسیله دست انجام شد. داده‌های آزمایش با استفاده از نرم افزار MSTAT -C مورد تجزیه قرار گرفت و میانگین‌های تیمارها از طریق آزمون چند دامنه‌ای دانکن مورد مقایسه قرار گرفتند.

www.SID.ir

Archive of SID

اصول نظری و کاربرد آن

انگلیش(۱۹۹۰) روابطی برای تعیین مقادیر بهینه آب آبیاری ارائه کرد. بر اساس این روابط تابع هزینه خطی و تابع تولید از نوع درجه دوم و به شکل زیر می باشند:

$$y(w) = a_1 + b_1 w + c_1 w^2 \qquad (۱)$$

$$c(w) = a_2 + b_2 w \qquad (۲)$$

که: w مقدار آب آبیاری(mm)، y(w) عملکرد محصول(kg/ha)، c(w) هزینه و (a_2, a_1, b_1, c_1, b_2) ضرایب تابع تولید و هزینه می‌باشند.

مقدار آب مصرفی که بیشینه عملکرد را به همراه دارد(W_m) با مشتق گیری از تابع تولید بدست می آید:

$$W_m = -\frac{b_1}{2c_1} \qquad (۳)$$

برای مقدار مطلوب آب مصرفی هنگامی که زمین عامل محدود کننده باشد(W_l) ، به قرار زیر بهینه می‌شود:

$$W_l = \frac{b_2 - P_c b_1}{2P_c c_1} \qquad (٤)$$

که در آن P_c قیمت واحد وزن محصول (کیلوگرم) بر حسب واحد پول می‌باشد.

مقدار مطلوب آب مصرفی هنگامی که با محدودیت آب مواجه باشیم (W_w) خواهیم داشت:

$$Ww = \left(\frac{P_c a_1 - a_2}{P_c c_1}\right)^{0.5} \qquad (۵)$$

در این تحقیق مقدار باران فصل رشد (R) به مقدار آب اضافه و تابع تولید و مقدار بهینه آب مصرفی به صورت زیر اصلاح گردید(۲):

$$Y(W') = c'_1 W^2 + W(b'_1 + 2c'_1 R) + c'_1 R^2 + b'_1 R + a'_1 \qquad (٦)$$

در معادله فوق W`=(R+W) و a`,b`,c` ضرایب رابطه تابع تولید با اضافه شدن بارندگی می‌باشد.

بنابراین با تاثیر بارندگی فصل رشد مقدارW_w برابر است با:

$$Ww = \left(\frac{P_c a'_1 - a_2 + P_c(c'_1 R^2 + b'_1 R)}{P_c c'_1}\right)^{0.5} \qquad (۷)$$

در معادله جدید عبارت $P_c(b'_1 R + c'_1 R^2)$ بر مقدارW_w اضافه گردیده است.

و مقدار W_1 به صورت زیر به‌دست آمد:

www.SID.ir

$$W_1 = \frac{b_2 - Pcb'}{2P_c C'_1} - R \qquad (۸)$$

Archive of SID

با توجه به کل حجم آب تامین شده (W_T) و مقدار آب مصرفی در برنامه‌ریزی کم آبیاری (W) کل سطح قابل آبیاری (A) برابر است با:

$$A = \frac{W_T}{W} \qquad (۹)$$

اصول نظری تشریح شده برای داده های تولید محصول پنبه در ایستگاه تحقیقات زراعی بایع‌کلا استان مازندران به کار گرفته شده است.

نتایج و بحث

با استفاده از نتایج حاصل از آزمایش‌های صحرایی انجام شده در منطقه مورد مطالعه نتایج حاصل از کشت پنبه در ٦ تیمار به صورت جدول ۱ بیان گردید. در این جدول، عملکرد محصول نسبت به مقدار آب مصرفی ارائه شده است.

با کاربرد معادله ٦ و بر اساس مقادیر آب مصرفی و عملکرد تابع تولید محصول در منطقه بدون در نظر گرفتن باران فصل رشد به‌صورت زیر بدست آمد:

$$Y(W)=۰/۰۱۳۲W^۲+۸/۵۲W+ ۱٦۵۲/٦ \qquad R^۲ = ۰/۹۸ \qquad (۱۰)$$

جدول۱: مقادیر آب آبیاری و عملکرد حاصله در تیمارهای مختلف

تیمارهای آبیاری	عمق آب آبیاری (mm)	عملکرد پنبه (kg/ha)
I_0	۰	۱٦۷۹d
I_1	۸۸	۲۳۰۵c
I_2	۱۷٦	۲٦۰۸b
I_3	۲٦٤	۳۰۹۹a
I_4	۳۵۲	۳۰٤۷a
I_5	٤٤۰	۲۸۱٦ab

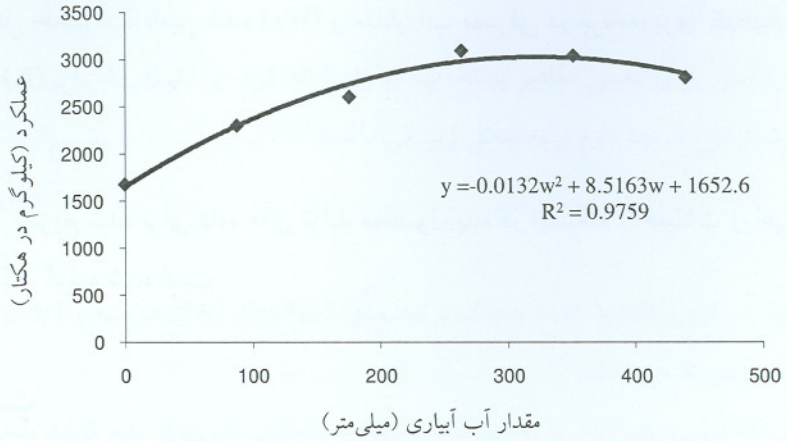
حروف مشابه در هر ستون نشان دهنده عدم اختلاف معنی دار می باشد

در شکل ۱ رابطه میزان مصرف آب و عملکرد پنبه بدون در نظر گرفتن مقدار بارندگی فصل رشد نشان داده شده است. اگر در منطقه مورد نظر در سال زراعی ۱۳۸۳-۱۳۸۱ که آزمایش انجام گردید، میزان بارندگی برابر با ۱۵۵ میلی متر را به میزان آب مصرفی(آب مصرفی+بارندگی) اضافه کنیم، تابع تولید به‌صورت زیر بدست می‌آید که در آن W` برابر با آب مصرفی به اضافه میزان بارندگی می‌باشد.

www.SID.ir

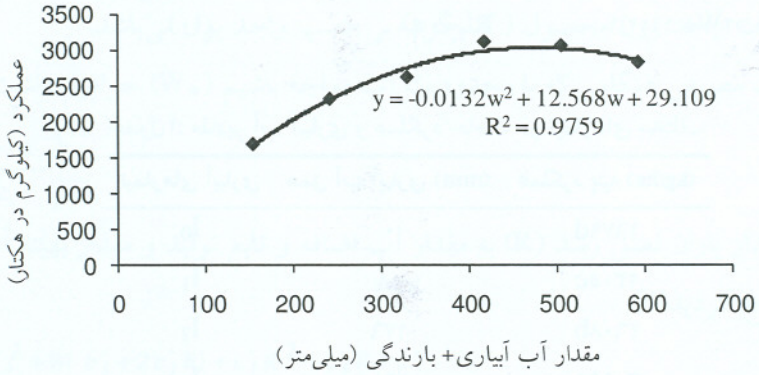
$$Y(W')=-۰/۰۱۳۲W'^۲+۱۲/٦W'+ ۱۷ \qquad (۱۱)$$

Archive of SID



شکل۱- رابطه میزان مصرف آب و عملکرد پنبه بدون اعمال بارندگی فصل رشد

بر این اساس شکل ۲ رابطه عملکرد محصول نسبت به مجموع آب آبیاری و بارندگی فصل رشد را نشان می‌دهد. بر این اساس مشاهده می‌شود تابع تولید به اندازه مقدار بارندگی فصل رشد جابجا شده است.



شکل۲- رابطه میزان مصرف آب و عملکرد پنبه با اعمال بارندگی فصل رشد

تابع هزینه در منطقه با توجه به هزینه های ثابت و متغیر به صورت زیر بیان گردید:

هزینه تولید پنبه، بدون منظور کردن هزینه آبیاری، با قیمت‌های سال ۱۳۸۰ و ۱۳۸۱ برابر ۶۲۶۸۰۰۰ ریال می‌شود. این هزینه شامل هزینه تهیه زمین، کاشت، بذر، کوددهی، سمپاشی و کاربرد علف کش، تنک کردن، برداشت، انتقال محصول و نیز ا جاره زمین می باشد. هزینه تولید محصول در آبیاری کامل ۷۲۹۶۴۶۸ ریال است. مقدار آب لازم برای حداکثر محصول با استفاده از تابع تولید و رابطه ۳ برابر با ۳۲۷ میلی‌مترمی‌باشد.

با فرض اینکه هزینه های کاشت و برداشت برای مزارع فاریاب و بدون آبیاری برابر باشند مقدار ضریب b_2 در تابع هزینه (رابطه ۲) به صورت زیر محاسبه گردید:

www.SID.ir

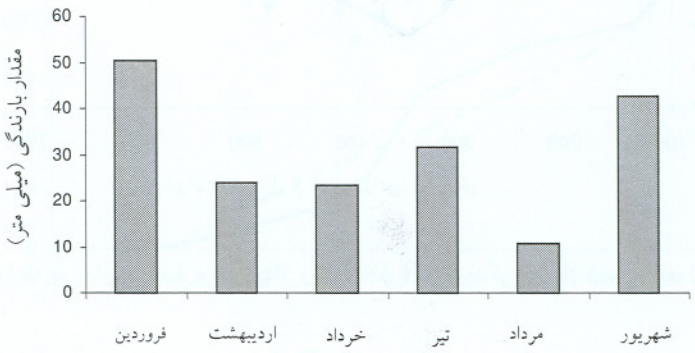
$$۷۲۹۶۴۶۸=۶۲۶۸۰۰۰+b_2W \qquad (۱۲)$$

Archive of SID

با احتساب مقدار ۳۲۷ میلی‌متر آب لازم برای حداکثر محصول مقدار b_2 برابر با ۳۱۹٤ می‌باشد. بنابراین تابع هزینه به‌صورت معادله زیر به‌دست آمد:

$$C(W)=٦٢٦٨٠٠٠+٣١٩٤W \qquad (١٣)$$

برای برنامه‌ریزی منابع آب در تولید پنبه شرایط محدودیت آب حکم فرماست. بنابراین در تحلیل کم آبیاری مقدار بهینه آب محاسبه می‌شود. این محاسبه بر اساس قیمت پنبه ۳۵۰۰ ریال بر کیلوگرم در سال ۱۳۸۱-۱۳۸۰ و ضرایب رابطه ۱۰ و ۱۲ و مقادیر بارندگی فصل رشد در سال‌های مختلف در جدول ۲ نشان داده شده است. توزیع میانگین بارندگی ماهانه در فصل رشد سال ۱۳۸۰ و ۱۳۸۱ برابر با ۱۵۵ میلی‌متر در شکل ۳ ارائه شده است.



شکل۳- بارش ماهانه در دوره فصل رشد(۱۳۸۲-۱۳۸۱)

رابطه بین W_w و بارش فصل رشد R به صورت زیر به دست آمده است (جدول۲):

$$W_w = -٠/٠٠٦٥R^٢ - ٠/٤R + ٣٢٢ \qquad R^2=٠/٩٩ \qquad (١٤)$$

که در آن، W_w: مقدار بهینه آب آبیاری در شرایط محدودیت آب بر حسب میلی متر و R: مقدار بارش فصل رشد بر حسب میلی متر می باشد.

جدول ۲ تخمین مقادیر بهینه آب آبیاری بر اساس باران فصل رشد را نشان می دهد. در جدول ۲ مشاهده می گردد که در سال‌های ۱۳۷۰، ۱۳۷۲، ۱۳۷۵، ۱۳۸۰، ۱۳۸۱ و ۱۳۸۲ به‌خاطر زیاد بودن بارش فصل رشد، مقدار W_w صفر می باشد. با کاهش بارش فصل رشد مقدار W_w افزایش می‌یابد. زانگ و اویس (۱۹۹۹) نیز گزارش نمودند که با افزایش بارندگی فصل رشد و اعمال آن در تابع تولید مقدار W_w کاهش می‌یابد.

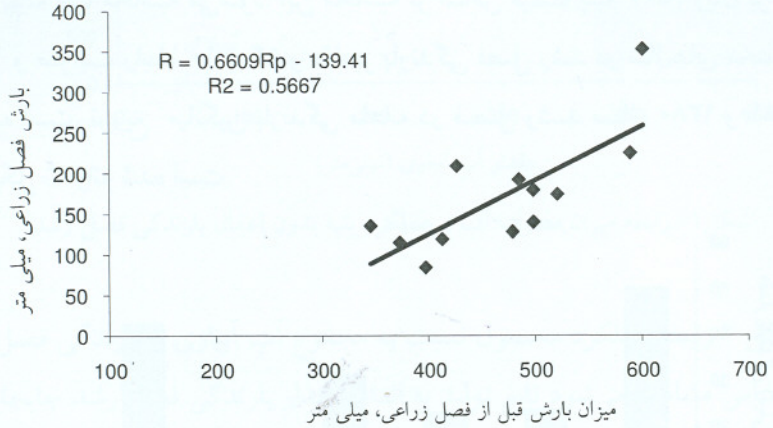
کاربرد معادله ١٤ به پیش بینی بارش فصل رشد وابسته است. رابطه بین مقدار بارش فصل رشد R و بارش پائیز و زمستان قبل از فصل رشدRp برای منطقه مورد مطالعه به صورت زیر می باشد:

www.SID.ir

$$R=٠/٦٦Rp-١٣٩/٤ \qquad R^2=٠/٥٧ \qquad (١٥)$$

Archive of SID

با استفاده از معادله ۱۵ و مقدار بارش در فصل پائیز و زمستان و قبل از فصل رشد مقدار بارش فصل رشد تخمین زده می‌شود. در شکل ۳ رابطه بین بارندگی فصل رشد و غیر فصل رشد مشخص گردیده است. سپس به کمک مقدار بارش فصل رشد مقدار W_w از معادله ١٤ تخمین زده می شود. از روی این مقدار و مقدار منابع آبی موجود می‌توان مساحت زیر کشت پنبه را مشخص نمود.



شکل٤- رابطه بین بارش فصل رشد (بهار و تابستان) R و بارندگی قبل از فصل رشد (پاییز و زمستان) Rp

جدول۲: بارش فصل رشد برای پنبه و تخمین آب آبیاری بهینه تحت شرایط محدودیت آب

سال	بارش فصل رشد (mm)	کل آب کاربردی (W_w) (mm)
۱۳٦۹	۱۱٤	۱۹٦/٥
۱۳۷۰	۱۷۹	۰
۱۳۷۲	۲۰۹	۰
۱۳۷۳	۱۲۷/٥	۱۷۰
۱۳۷٥	۲۲٤/٥	۰
۱۳۷۷	۱۳۹/٥	۱٤٤
۱۳۷۹	۱۳٤/۸	۱٥٤
۱۳۸۰	۱۷٤/۱	۰
۱۳۸۱	۱۹۱/۸	۰
۱۳۸۲	۳٥۲/۱	۰
۱۳۸۳	۱۱۸/۷	۱۸۷/٦
۱۳۸٤	۸٤	۲٤۷

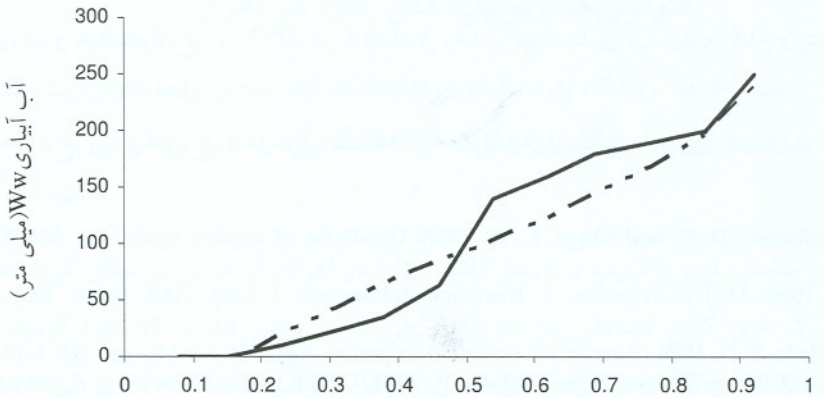
www.SID.ir

با استفاده از داده‌های جدول ۲ احتمال وقوع مقادیر مختلف W_w به کمک معادله ویبول (٤) به صورت زیر محاسبه شد:

Archive of SID

$$P = \frac{m}{n+1} \qquad (16)$$

که در آن P احتمال وقوع، m رتبه هر کدام از مشاهدات و n تعداد مشاهدات می‌باشد. توزیع احتمال وقوع مقادیر مختلف W_w در شکل ۲ نشان داده شده است. مناسب‌ترین تابع توزیع برازش داده شده با این داده‌ها، با استفاده از بسته نرم افزاری SMADA توزیع نرمال می‌باشد. با استفاده از این تابع برای احتمال وقوع ۵۰ و ۸۰ درصد مقدار W_w به ترتیب ۹۵ و ۱۸۰ میلی متر بدست می‌آید و برای برنامه ریزی منابع آب آبیاری بکار برده می‌شود.



شکل۵- توزیع نرمال و احتمال وقوع آب آبیاری بهینه (Ww) برای پنبه
(خط چین داده های واقعی و خط ممتد توزیع دادها است)

در این تحقیق میزان بارش فصل رشد در تحلیل اقتصادی مقدار بهینه آب آبیاری در فصل رشد (W_w) برای محصول پنبه بکار برده شد. در این تحلیل، رابطه تعیین W_w در سال‌های مختلف با مقادیر مختلف بارش فصل رشد ارائه گردید، که در آن ضرایب تابع تولید محصول با در نظر گرفتن بارش فصل رشد به کار رفته است.

بر اساس این رابطه مقدار W_w در سال‌های مختلف با افزایش میزان بارش فصل رشد کاهش می‌یابد. بر اساس نتایج حاصل، رابطه درجه دوم برای تعیین مقدار W_w از روی میزان بارش فصل رشد تهیه شد.

برای محصول پنبه در منطقه مازندران، برای ٦ سال از ۱۲ سال، آبیاری در فصل رشد لازم نیست و بارش فصل رشد کفایت می‌کند. برای این گیاه بر اساس میزان بارش پائیز و زمستان قبل از فصل رشد(بهار و تابستان) میزان بارش فصل رشد از روی رابطه پیشنهادی قابل پیش‌بینی است و سپس بر اساس میزان بارش فصل رشد مقدار تخمینی W_w تعیین می‌شود. با استفاده از مقدار W_w و مقدار منابع آب آبیاری موجود، سطح زیر کشت پنبه برنامه‌ریزی می‌شود. بر این اساس اگر در رابطه ١٤ مقدار بارندگی اعمال نگردد، مقدار WW حدود ۳۲۲ میلی‌متر می‌باشد. با این مقدار آب آبیاری که مقدار بهینه آب مصرفی در

www.SID.ir

Archive of SID

شرایط محدودیت آب می‌باشد، در مقایسه با آبیاری کامل (رابطه ۳) سطح زیر کشت (رابطه ۹) حدود ۱/۰۲ برابر می‌شود. حال آن‌که با اعمال بارندگی سطح زیر کشت مثلاً برای سال ۱۳۷۷ تا ۲/۲۷ برابر افزایش می‌یابد.

منابع

۱- **اکبری نودهی، د.، علیزاده، غ. ر. و پورثانی، الف. ۱۳۸۵.** بررسی اثرات کم آبیاری بر محصول پنبه و تعیین تابع تولید در استان مازندران. مجله گیاه و زیست بوم. شماره هشتم.۸٤-۷۳.

۲- **اکبری، ن. و سپاسخواه، ع. ر. ۱۳۷۹.** اثر باران فصل رشد بر بهینه سازی آب آبیاری گندم و پنبه. سمینار کارشناسی ارشد دانشگاه شیراز.۷۷ صفحه.

۳- **سپاسخواه، ع. ر.، توکلی، ع. و موسوی، ف. ۱۳۸۵.** اصول و کاربرد کم آبیاری. انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی. ۲۸۸ صفحه.

4-Chow, V. T., Maidment, D. R. and Mays, L. W. 1988. Handbook of applied hydrology. McGraw-Hill, New York, 527 p.

5-.English, M. J. 1990. Deficit irrigation. I: Analytical framework, J. Irrig. And. Drain. Eng., ASCE. 11(3):399-411.

6-English, M. and Raja, S. N. 1996. Perspective on deficit irrigation. Agric. Water Manage. 32: 1-14.

7-Gahreman, B., Zand-Parsa, Sh. and Sepaskhah, A. R. 2001. Deficit irrigation for corn: A comparison of two methods. Iran Agric. Res. 20: 1-16.

8-Sepaskhah, A. R. and Akbari, D. 2005. Deficit Irrigation Planning under Variable Seasonal Rainfall. Biosystems Engineering (2005) 92 (1), 97–106.

9-Rockstorm, J., Barron, J. and Fox, P. 2003. Water productivity in rain-fed agriculture: challenges and opportunities for smallholder farmers in drought-prone tropical agro ecosystems. In: Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement (Kinjie J.W., et al., eds), pp 145–162. International Water Management Institute, Colombo, Sri Lan.

10-Zand-Parsa, Sh. and Sepaskhah, A. R. 2001. Optimal applied water and nitrogen for corn. Agric. Water Manage. 52: 73-85.

11-Zhang, H. and Oweis, T. 1999. Water-yield relations and optimal irrigation scheduling of wheat in the Mediterranean region. Agric. Water Manage. 38: 195-211.

www.SID.ir