

# بهینه‌سازی اقتصادی مشخصه‌های طراحی آبیاری جویچه‌ای در شرایط کم آبیاری برای ذرت علوفه‌ای در شهر کرد

مسعود نادری<sup>۱\*</sup>، محمد شایان نژاد<sup>۲</sup>، بیژن حقیقتی<sup>۳</sup>، سمانه کریمی<sup>۴</sup> و سجاد حیدری<sup>۵</sup>

## چکیده

با توجه به محدودیت منابع آب در ایران، اعمال تنش آبی یا کم آبیاری بر روی بعضی از محصولات زراعی امری اجتناب ناپذیر است. با توجه به ضرورت کم آبیاری باید روش طراحی مناسب با آن ارائه شود. مدیریت آبیاری جویچه‌ای برای حصول بازده بالا دشوار است، از این رو بررسی تغییرات میزان دبی ورودی، زمان قطع جریان و طول جویچه‌ها که بر روی بازده و یکنواختی موثر است، از اهمیت بالایی برخوردار است. هدف از این تحقیق ارائه روشی برای تعیین عمق آب مصرفی بهینه و بهینه‌سازی مشخصه‌های طراحی آبیاری جویچه‌ای در شرایط کم آبیاری و در نهایت مقایسه مشخصه‌های طراحی در شرایط آبیاری کامل و کم آبیاری و مقایسه در بافت‌های مختلف خاک است. برای دستیابی به اهداف این تحقیق، آزمایش بر روی ذرت علوفه‌ای در شهر کرد در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۷ تیمار سطوح مختلف آب آبیاری در ۳ تکرار انجام شد. برای بهینه کردن مشخصه‌های طراحی و عمق مصرفی با حداکثر کردن سود در حالت کم آبیاری از نرم افزار لینگو استفاده شد. نتایج نشان داد، بیشترین سود خالص از کاربرد ۵۳۵ میلی‌متر، ۸۵ متر، ۰/۳۹ لیتر بر ثانیه و ۲۱۰ دقیقه به ترتیب برای عمق خالص آبیاری (۷۹ درصد عمق خالص در آبیاری کامل)، طول جویچه، دبی ورودی و زمان قطع جریان حاصل شد. نتایج بهینه‌سازی مشخصه‌های طراحی جویچه برای گیاه، با بافت‌های مختلف نشان داد با افزایش میزان نفوذپذیری خاک مقادیر طول جویچه و زمان قطع جریان کاهش می‌یابد، در حالی که مقدار دبی ورودی به جویچه افزایش پیدا می‌کند و عمق آب مصرفی یا به عبارتی درصد کم آبیاری ثابت می‌ماند.

واژه‌های کلیدی: تابع تولید، تابع درآمد، عمق آب بهینه

ویدئو مشاهده نشده

۱- فارغ التحصیل کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان  
۲- دانشیار گروه آبیاری، دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان  
۳- محقق مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری  
۴- فارغ التحصیل کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز  
۵- فارغ التحصیل کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان

\* نویسنده مسئول: [naderi7403@yahoo.com](mailto:naderi7403@yahoo.com)

## مقدمه

کاهش کمی و کیفی منابع آب در سال‌های اخیر باعث ایجاد رقابت شدیدی بین مصرف‌کنندگان این ماده حیاتی شده است. بخش کشاورزی به عنوان پر مصرف‌ترین بخش، تحت بیشترین فشارها در این رقابت سخت قرار دارد. بنابراین باید کارائی مصرف آب را در کشاورزی به جهت جلوگیری از تشدید کمبود منابع آبی و به مخاطره افتادن بیشتر امنیت غذایی افزایش داد. یکی از روش‌های افزایش کارائی و بهره‌وری مصرف آب، ارزیابی و طراحی بهینه سامانه‌های آبیاری و به ویژه سامانه‌های آبیاری سطحی به عنوان پرکاربردترین روش‌های آبیاری است. آبیاری جویچه‌ای سازگارترین نوع آبیاری سطحی با توسعه کشاورزی مکانیزه است. در این روش به جای غرقاب کردن تمام سطح مزرعه، فقط آب درون جویچه‌ها جریان می‌یابد که در واحد عرض سبب کاهش مصرف آب در مقایسه با آبیاری کرتی و نواری می‌شود [۴]. مدیریت آبیاری جویچه‌ای برای بدست آوردن بازده و یکنواختی بالا بسیار سخت است، از این رو بررسی تغییرات میزان دبی ورودی، زمان قطع جریان و طول جویچه‌ها که بر روی بازده و یکنواختی موثر است، بسیار اهمیت دارد.

از طرفی، با توجه به محدودیت منابع آب در ایران، اعمال تنش آبی روی بعضی از محصولات زراعی امری اجتناب‌ناپذیر است. با توجه به ضرورت کم آبیاری بایستی روش طراحی مناسب با آن ارائه شود، لازم به ذکر است که تمامی روش‌های طراحی موجود برای حالت آبیاری کامل به کار می‌روند. در حالت کم آبیاری بایستی عمق آب مصرفی از طریق بهینه‌سازی بدست آید. یکی از محصولات مهم در شهرکرد، که به صورت جویچه‌ای آبیاری می‌شود ذرت علوفه‌ای می‌باشد.

طراحی بهینه نیازمند به یک معادله ریاضی برای محاسبه صریح زمان پیشروی جهت استفاده در تابع هدف می‌باشد. والیاناز در سال ۲۰۰۱ معادله‌ای صریح برای محاسبه زمان پیشروی ارائه کرد، که آن را بر اساس نتایج مدل اینرسی صفر بدست آورده و از دقت بالایی برخوردار می‌باشد [۱۲]، همچنین این محقق، معادله‌ای برای محاسبه هزینه‌ی کل در شرایط آبیاری کامل ارائه داد [۱۳]. شایان نژاد در سال ۱۳۸۳ برای حالت آبیاری کامل پارامترهای طراحی آبیاری جویچه‌ای را با معادله‌ای شبیه معادله والیاناز و با حداقل کردن تابع هزینه به دست آورد [۳]. وی بیان کرد در تابع هدف علاوه بر متغیرهای طراحی، مشخصات خاک، جویچه و نیاز خالص آبیاری وجود دارد و بنابراین برای هر نوع خاک و گیاه مشخصی می‌توان متغیرهای طراحی و به دنبال آن راندمان آبیاری را محاسبه نمود.

نوابیان و مسلمی در تحقیقی با استفاده از مفهوم شبیه‌سازی-بهینه‌یابی، روش جدیدی برای تعیین طول و دبی بهینه تحت سه روش جریان پیوسته، کاهشی و موجی ارائه دادند و با داده‌های صحرائی در خاک لوم رسی بررسی کردند. در این یافت برای روش کاهش جریان طول بهینه‌ی جویچه بیشتر از دو روش دیگر بود. همچنین بررسی روند تغییرات طول بهینه و راندمان آبیاری نسبت به دبی نشان داد که در روش پیوسته با افزایش دبی جریان، راندمان آبیاری کاهش می‌یابد [۶]. عامر (۲۰۱۰) اثر سطوح مختلف آبیاری را روی گیاه ذرت، در قالب طرح اسپلیت پلات تصادفی در ۵ سطح آبیاری  $0/6 ET$ ،  $0/8 ET$ ،  $1 ET$ ،  $1/2 ET$  و  $1/4 ET$  که نسبتی از تبخیر تعرق گیاه هستند در منوفیای مصر بررسی کرد. نتایج نشان داد که کمترین و بیشترین عملکرد به ترتیب متعلق به  $0/6 ET$  و  $1 ET$  بود [۷]. دجامان (۲۰۱۱) در لینکالن نبرسکا، طی دو سال متوالی با اعمال کم آبیاری روی ذرت دانه‌ای و با در نظر گرفتن چهار تیمار  $1/0$ ،  $1/75$ ،  $1/60$ ،  $1/50$  نیاز آبی گیاه و یک تیمار بدون آبیاری، بیان کرد میزان تولید دانه در تیمار آبیاری کامل، تقریباً مشابه تیمار  $1/75$  بوده ولی نسبت به دو تیمار  $1/60$ ،  $1/50$  و تیمار بدون آبیاری به طور معنی‌داری بیشتر بود [۸].

در این تحقیق روشی ارائه شده است، که پارامترهای طراحی آبیاری جویچه‌ای و همچنین عمق آب مصرفی بهینه را با به حداکثر رساندن سود بتوان محاسبه کرد. بهینه‌سازی یعنی حداکثر استفاده از منابع، در بهینه‌سازی بهترین جواب ممکن برای یک مساله با توجه به هدف تعیین می‌شود، مساله بهینه‌داری یک تابع هدف و احتمالاً چندین قید می‌باشد، که مجموعه خصوصیات سامانه را در بر می‌گیرد.

اهداف کلی تحقیق شامل موارد زیر است:

۱- بدست آوردن توابع تولید، هزینه و سود (تابع تولید برای محصول ذرت علوفه‌ای در منطقه شهرکرد بدست می‌آید. توابع هزینه و سود تابعی از مشخصه‌های طراحی و عمق آب مصرفی هستند).

۲- بهینه کردن مشخصه‌های طراحی (طول جویچه، دبی ورودی و زمان قطع جریان) و عمق آب مصرفی با حداکثر کردن سود و راندمان کاربرد در حالت کم آبیاری با کمک نرم افزار Lingo

### مواد و روش ها

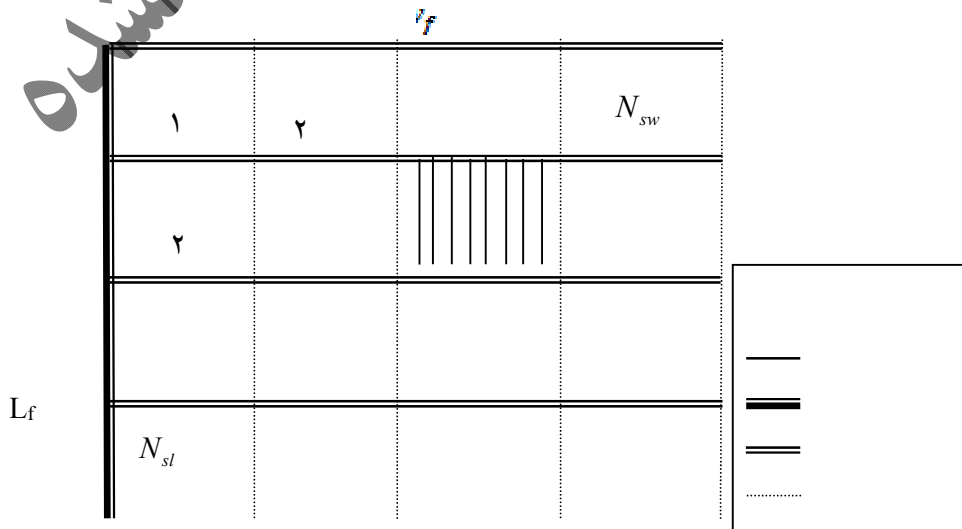
این طرح به طور کلی در دو مرحله انجام گرفته است، یک مرحله در مزرعه و به منظور به دست آوردن تابع تولید برای محصول ذرت علوفه‌ای است و مرحله بعد مربوط به استفاده از تابع تولید و بهینه‌سازی اقتصادی پارامترهای طراحی آبیاری جویچه‌ای در شرایط کم آبیاری و به دست آوردن عمق آبیاری بهینه‌ی متناسب با آن می‌باشد. عملیات مزرعه‌ای شامل کاشت، داشت، برداشت و همچنین اندازه‌گیری پارامترهای مورد نیاز برای طراحی آبیاری جویچه‌ای می‌باشد.

این تحقیق در مزرعه‌ی تحقیقاتی واقع در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری انجام گرفت. زمان اجرای آزمایشات مزرعه‌ای از خرداد ماه سال ۱۳۹۲ تا آبان ماه همان سال بود. در این طرح اثر سطوح مختلف آب آبیاری بر عملکرد محصول ذرت علوفه‌ای (رقم NS) مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی و با سه تکرار اجرا شد. ۷ تیمار آبیاری شامل ۴۰، ۵۵، ۷۰، ۸۵، ۱۰۰، ۱۱۵ و ۱۳۰ درصد کمبود رطوبت خاک اعمال شد، به طوری که ۱۰۰ درصد کمبود رطوبت خاک معادل آبیاری کامل فرض شد. بعد از میخکوبی و طناب کشی مزرعه، مقدار ۱/۲ کیلوگرم (حدود ۳۵ کیلوگرم در هکتار) بذر ذرت رقم NS به صورت دستی کاشته شد و مزرعه به وسیله نهر کن پلات بندی شد. طول هر پلات ۴ متر و عرض آن ۳ متر و در هر پلات ۴ ردیف ذرت کاشته شد. فاصله بین پشته‌ها ۶۰ سانتیمتر بود. تیمارهای کم آبیاری مورد نظر یک ماه پس از کاشت بذر و در زمان سه برگی شدن اعمال شد. سایر امور داشت نظیر کودهی، سم پاشی و غیره مطابق توصیه‌های معمول ارائه شده، اعمال شد. برداشت محصول به صورت دستی و ۱۰۶ روز بعد از کاشت انجام شد. از پلات‌های مربوط به هر تیمار، قطعاتی به مساحت ۱/۵ مترمربع از دو ردیف وسط که نمایانگر عملکرد گیاه در شرایط واقعی مزرعه در کشت‌های وسیع هستند انتخاب و برداشت شد. ضرائب شکل هندسی جویچه، ضرائب و نماهای معادلات پیشروی، ضرائب معادله نفوذ کوستیاکف، در جویچه‌ها نیز اندازه‌گیری شده و در جدول ۱ آورده شده‌اند. برای بهینه‌سازی عمق آب آبیاری ابتدا توابع هزینه، تولید و درآمد آبیاری جویچه‌ای به صورت زیر محاسبه گردید.

### تابع هزینه

به منظور آبیاری یک قطعه زمین زراعی مشخص به روش جویچه‌ای بایستی آن را به تعدادی مجموعه‌ی آبیاری تقسیم نمود. هر مجموعه آبیاری شامل تعدادی جویچه می‌باشد، که هم‌زمان آبیاری می‌شوند. آرایش مجموعه‌های آبیاری در شکل ۱ ارائه شده است.

### - هزینه های آبیاری جویچه‌ای



شکل ۱- آرایش مجموعه های آبیاری جویچه ای

با توجه به شکل ۱ علائم زیر تعریف می شود:

$$N_s = \text{تعداد کل مجموعه های آبیاری}$$

$$N_{sl} = \text{تعداد مجموعه های آبیاری در راستای جویچه ها}$$

$$N_{sw} = \text{تعداد مجموعه های آبیاری در راستای عمود بر جویچه ها}$$

$$L_f = \text{طول مزرعه بر حسب متر (در راستای جویچه ها)}$$

$$W_f = \text{عرض مزرعه بر حسب متر (در راستای عمود بر جویچه ها)}$$

$$Q_0 = \text{دبی ورودی به هر جویچه بر حسب متر مکعب بر دقیقه}$$

$$Q_t = \text{کل دبی موجود بر حسب متر مکعب بر دقیقه}$$

$$L = \text{طول هر جویچه بر حسب متر}$$

$$N_{fs} = \text{تعداد جویچه ها در هر مجموعه آبیاری}$$

$$W = \text{عرض هر جویچه بر حسب متر}$$

همچنین با توجه به شکل ۱ روابط زیر برقرار می باشد:

$$N_{sl} = \frac{L_f}{L} \quad (۱)$$

$$N_{fs} = \frac{Q_t}{Q_0} \quad (۲)$$

$$N_{sw} = \frac{W_f}{W \cdot N_{fs}} \quad (۳)$$

$$N_s = N_{sl} \cdot N_{sw} \quad (۴)$$

با جایگزینی معادلات (۱)، (۲) و (۳) در معادله (۴)، معادله زیر به دست می آید:

$$N_s = \frac{W_f \cdot L_f \cdot Q_0}{L \cdot W \cdot Q_t} \quad (۵)$$

هزینه های آبیاری جویچه ای به چهار قسمت تقسیم می شود، که در زیر روش محاسبه هر یک از آن ها تشریح می شود [۳]:

۱- محاسبه هزینه آب مورد نیاز برای یک بار آبیاری کل مزرعه

هزینه آب از حاصل ضرب حجم آب مورد نیاز در قیمت یک متر مکعب آن به صورت زیر قابل محاسبه است:

$$C_{tw} = Q_t \cdot T_{co} \cdot N_s \cdot C_w \quad (۶)$$

در رابطه فوق،

$$C_{tw} = \text{هزینه آب مورد نیاز برای یک بار آبیاری کل مزرعه بر حسب ریال}$$

$$C_w = \text{قیمت واحد حجم آب بر حسب ریال در متر مکعب}$$

$$T_{co} = \text{زمان قطع جریان یا مدت زمان آبیاری بر حسب دقیقه}$$

با جایگزینی معادله (۵) در معادله (۶)، معادله زیر به دست می آید:

$$C_{tw} = \frac{C_w \cdot W_f \cdot L_f \cdot Q_0 \cdot T_{co}}{W \cdot L} \quad (7)$$

۲- محاسبه هزینه کارگر برای یک بار آبیاری کل مزرعه

هزینه کارگر مورد نیاز جهت آبیاری مزرعه از حاصل ضرب زمان مورد نیاز برای آبیاری کل مزرعه در هزینه کارگر در واحد زمان به صورت زیر به دست می آید:

$$C_{tl} = T_{co} \cdot N_s \cdot C_l \quad (8)$$

در رابطه فوق،

$C_{tl}$  = هزینه کارگر مورد نیاز برای یک بار آبیاری کل مزرعه بر حسب ریال

$C_l$  = هزینه کارگر در واحد زمان بر حسب ریال در دقیقه

با جایگزینی معادله (۸) در معادله (۸)، معادله زیر به دست می آید.

$$C_{tl} = \frac{C_l \cdot W_f \cdot L_f \cdot Q_0 \cdot T_{co}}{W \cdot L \cdot Q_t} \quad (9)$$

۳- محاسبه هزینه حفر جویچه برای یک بار آبیاری کل مزرعه

هزینه حفر جویچه از حاصل ضرب طول کل جویچه‌ها در هزینه‌ی حفر واحد طول آنها به دست می آید، که این مربوط به کل دوره زراعی می باشد. بنابراین برای یک بار آبیاری باید آن را بر تعداد دفعات آبیاری تقسیم نمود.

$$C_{tf} = \frac{L_f \cdot W_f \cdot C_f}{N_i \cdot W} \quad (10)$$

در رابطه فوق،

$C_{tf}$  = هزینه حفر جویچه برای یکبار آبیاری کل مزرعه بر حسب ریال

$C_f$  = هزینه حفر واحد طول جویچه بر حسب ریال در متر

$N_i$  = تعداد دفعات آبیاری در طول فصل زراعی

ملاحظه می شود که هزینه مذکور تابعی از متغیرهای طراحی مانند دبی ورودی به جویچه و طول جویچه نیست. بنابراین مقدار آن ثابت است و در محاسبات بهینه سازی نقشی ندارد و فقط در محاسبه هزینه ها دخالت دارد.

۴- محاسبه هزینه حفر نهرهای آبیاری برای یکبار آبیاری کل مزرعه

مطابق شکل ۱ برای چند مجموعه آبیاری، یک نهر آبیاری در ابتدای آنها حفر می شود، که جویچه‌ها از آن آبگیری می کنند. هزینه این نهرها از حاصل ضرب طول کل آنها در هزینه حفر واحد طولشان محاسبه می شود. شبیه قسمت قبلی این هزینه نیز بایستی بر تعداد دفعات آبیاری تقسیم شود.

$$C_{td} = \frac{W_f \cdot N_{sl} \cdot C_d}{N_i} \quad (11)$$

در رابطه فوق:

$C_{td}$  = هزینه حفر نهرهای آبیاری برای یکبار آبیاری کل مزرعه بر حسب ریال

$C_d$  = هزینه حفر واحد طول نهر بر حسب ریال در متر

با جایگزینی معادله (۱) در معادله (۱۱)، معادله زیر بدست می آید:

$$C_{td} = \frac{W_f \cdot L_f \cdot C_d}{L \cdot N_i} \quad (12)$$

هزینه کل جهت یکبار آبیاری مزرعه با جمع هزینه‌های چهارگانه فوق به صورت زیر محاسبه می‌شود [۱۳]:

$$C_t = \frac{W_f \cdot L_f \cdot Q_0 \cdot T_{co}}{W \cdot L} \left( C_w + \frac{C_l}{Q_t} \right) + \frac{W_f \cdot L_f}{N_i} \left( \frac{C_f}{W} + \frac{C_d}{L} \right) \quad (12)$$

در معادله فوق،

$C_t$  = کل هزینه های آبیاری جهت یکبار آبیاری مزرعه بر حسب ریال

اگر حجم آب موجود در طول فصل زراعی مشخص باشد و بخواهیم طراحی را بر مبنای آن انجام دهیم، می‌توان روابط زیر را نوشت:

$$V_t = Q_t \cdot T \times 24 \times 60 \quad (13)$$

$$A = \frac{1000 \cdot V_t}{w_g} \quad (14)$$

در رابطه فوق،

$V_t$  = حجم آب موجود در طول فصل زراعی به متر مکعب

$T$  = طول فصل زراعی به روز

$w_g$  = عمق ناخالص آب آبیاری به میلی‌متر

$A$  = سطح زیر کشت به متر مربع

از طرفی رابطه (۱۵) به شکل زیر برقرار است:

$$A = W_f \cdot L_f = \frac{1000 \cdot V_t}{w_g} \quad (15)$$

با جای‌گزینی معادله (۱۵) در معادله (۱۲) داریم.

$$C_t = \frac{1000 \cdot V_t \cdot Q_0 \cdot T_{co}}{w_g \cdot W \cdot L} \left( C_w + \frac{C_l}{Q_t} \right) + \frac{1000 \cdot V_t}{w_g \cdot N_i} \left( \frac{C_f}{W} + \frac{C_d}{L} \right) \quad (16)$$

در سال ۲۰۰۱ معادله‌ای شبیه به معادله فوق توسط والیاناز ارائه شده است [۱۳]، اما روش حلی که ایشان به کار برده با روش استفاده شده در این طرح متفاوت است.

معادله (۱۶) نشان می‌دهد که هزینه کل تابعی از سه متغیر  $L, T_{co}, Q_0$  می‌باشد که متغیر  $T_{co}$  را می‌توان بصورت تابعی از دو متغیر دیگر نوشت. برای این کار ابتدا رابطه زیر نوشته می‌شود:

$$T_{co} = T_l + T_r \quad (17)$$

در رابطه فوق،

$T_l$  = زمان پیشروی آب به انتهای جویچه بر حسب دقیقه

$T_r$  = زمان نفوذ به اندازه نیاز خالص آبیاری بر حسب دقیقه

برای محاسبه  $T_r$  از هر معادله نفوذی می‌توان استفاده نمود. برای معادله نفوذ کوستیاکف بصورت زیر محاسبه می‌شود [۱۲]:

$$Z = K \cdot T^\alpha \quad (18)$$

$$T_r = \left( \frac{Z_r}{K} \right)^{1/\alpha} \quad (19)$$

در معادلات فوق،

$$Z = \text{عمق آب نفوذ یافته بر حسب متر}$$

$$T = \text{زمان نفوذ بر حسب دقیقه}$$

$$Z_r = \text{نیاز خالص آبیاری بر حسب متر}$$

$$K, \alpha = \text{ضرائب نفوذ معادله کوستیا کف}$$

برای محاسبه  $T_l$  بایستی از یک معادله صریح و دقیق استفاده شود تا بتوان بهینه سازی معادله (۱۶) را انجام داد. برای این منظور از معادله ارائه شده توسط والانتاز (۲۰۰۱) استفاده می شود [۱۲].

$$T_l = (1 + 0.15\alpha).L.A_0 / Q_0 + (\sigma_z.K.L / Q_0)^{1/(1-\alpha)} \quad (20)$$

در رابطه فوق،

$$A_0 = \text{سطح مقطع جریان در ابتدای جویچه بر حسب متر مربع}$$

$\sigma_z = \text{ضرب شکل جریان زیر سطحی. این ضریب از معادله زیر محاسبه می شود [۱۲].}$

$$\sigma_z = \frac{\alpha.\pi.(1-\alpha)}{\text{Sin}(\alpha.\pi)} \quad (21)$$

مقدار  $A_0$  با استفاده از معادله مانینگ و ضرائب شکل جویچه بصورت زیر محاسبه می شود [۱۲]:

$$A_0 = \left( \frac{N^2 Q_0^2}{3600 S_0 \cdot \rho_1} \right)^{1/\rho_2} \quad (22)$$

در رابطه فوق،

$$N = \text{ضریب زبری مانینگ}$$

$$S_0 = \text{شیب کف جویچه (بصورت اعشاری)}$$

$\rho_1, \rho_2 = \text{ضرائب شکل جویچه. این ضرائب با توجه به معادله مانینگ بصورت زیر محاسبه می شود [۱۲]:}$

$$A.R^{4/3} = \rho_1 A^{\rho_2} \quad (23)$$

در رابطه فوق،

$$A = \text{سطح مقطع جریان بر حسب متر مربع}$$

$$R = \text{شعاع هیدرولیکی بر حسب متر}$$

نهایتاً با جایگزینی معادلات (۱۷)، (۱۹) و (۲۰) در معادله (۱۶)، معادله ای به دست می آید، که نشان می دهد  $C_r$  تابعی از دو متغیر

$Q_0$  و  $L$  می باشد. معادله مذکور را می توان بصورت زیر نوشت:

$$C_r = f(Q_0, L) \quad (24)$$

برای محاسبه این دو متغیر بایستی معادله (۲۴) بهینه سازی شود. علت استفاده از روش بهینه سازی این است که اولاً با مشتق گیری از معادله (۲۴)، جواب های صریح برای متغیرهای آن بدست نمی آید. ثانیاً روش بهینه سازی امکان استفاده از روش های حل عددی و خود کار سازی طراحی توسط رایانه را فراهم می سازد. در این تحقیق بهینه سازی به کمک نرم افزار لینگو انجام شد. نرم افزار لینگو یکی از قدرتمندترین و شناخته شده ترین نرم افزارها در حوزه تحقیق در عملیات است که در بین کاربران رشته های مختلف جایگاه ویژه ای دارد. امروزه بسیاری از مدل های بهینه سازی تحقیق در عملیات اعم از مدل های خطی، غیر خطی و یا عدد صحیح به کمک

نرم افزار لینگو به سادگی قابل تجزیه و تحلیل می باشد [۱۰].

## ۲- هزینه های کاشت، داشت و برداشت

مقدار هزینه های کاشت، داشت و برداشت با مراجعه حضوری از سازمان جهاد کشاورزی استان چهارمحال و بختیاری برای سال ۱۳۹۲ جمع آوری شد. این هزینه ها شامل هزینه های آبیاری جویچه ای که در بند قبل ذکر گردید، نمی باشد.

### تابع تولید و تابع درآمد

در این طرح از رسم مقادیر مختلف آب آبیاری در مقابل میزان عملکرد کل (یا همان کل محصول قابل فروش) تابع تولید بدست می آید و سپس معادله آن با کمک نرم افزار Excel محاسبه می شود. تابع درآمد از ضرب قیمت فروش یک کیلوگرم محصول، در سطح زیر کشت آن، در معادله تابع تولید به دست می آید. با داشتن این معادله می توان میزان درآمد به ازای مصرف سطوح مختلف آب آبیاری را حساب کرد.

### بهینه سازی تابع هدف

در حالت کلی تابع هدف که همان تابع سود است، به شکل زیر به دست آمد:

$$B = y_w \cdot C_z \cdot A - C_i \cdot N_i - C_0 \cdot A \quad (25)$$

که  $y_w$  در آن، تابع تولید محصول (کیلوگرم در هکتار) می باشد. با جایگذاری رابطه (۱۶) در رابطه (۲۵) معادله سود در حالت کلی به شکل رابطه (۲۶) حاصل شد:

$$B = y_w \cdot C_z \cdot A - \left\{ \frac{1000 \cdot V_t \cdot Q_0 \cdot T_{co}}{w_g \cdot W \cdot L} \left( C_w + \frac{C_l}{Q_t} \right) + \frac{1000 \cdot V_t}{w_g \cdot N_i} \left( \frac{C_f}{W} + \frac{C_d}{L} \right) \right\} \cdot N_i - C_0 \cdot A \quad (26)$$

$$B = (-0.059 w_n^2 + 92.458 w_n - 10519) \cdot C_z \cdot \frac{0.1 V_t}{w_g} \quad (27)$$

$$- \left\{ \frac{1000 \cdot V_t \cdot Q_0 \cdot T_{co}}{w_g \cdot W \cdot L} \left( C_w + \frac{C_l}{Q_t} \right) + \frac{1000 \cdot V_t}{w_g \cdot N_i} \left( \frac{C_f}{W} + \frac{C_d}{L} \right) \right\} \cdot N_i - C_0 \cdot \frac{0.1 V_t}{w_g}$$

### محدودیت ها

قیود یا محدودیت های برنامه لینگو شامل موارد زیر می باشد:

۱- تفاضل زمان قطع جریان از فرصت زمان لازم برای نفوذ به علاوه فرصت زمان لازم برای پیشروی آب تا انتهای جویچه برابر صفر است.

$$t_{cv} - t_i - t_r = 0 \quad (28)$$

۲- رابطه زیر بین عمق خالص آبیاری و عمق ناخالص آبیاری برقرار است.

$$w_g = \frac{w_n}{E_a} \quad (29)$$

۳- مقدار یا ضریب کم آبیاری بهینه، برابر با عمق خالص آبیاری در شرایط بهینه تقسیم بر عمق خالص آبیاری در حالت آبیاری کامل است.

$$\text{ضریب کم آبیاری} = \frac{w_n}{zr \cdot N_i \cdot 1000} \quad (30)$$



۴- مقادیر دبی ورودی به جویچه، طول جویچه و زمان قطع جریان باید همواره عددی مثبت باشند.

$$Q_0 > 0, L > 0, t_{co} > 0 \quad (31)$$

۵- دبی ورودی به جویچه باید از حداکثر دبی فرسایشی کمتر باشد.

$$Q_0 \leq \frac{0.00036}{S_0} \quad (32)$$

### پارامترهای مورد نیاز برنامه

پارامترهای مورد نیاز و مقادیر آنها، برای حل مسئله توسط برنامه لینگودر جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱: پارامترهای استفاده شده در برنامه

مقدار	نماد	نام پارامتر
۰/۰۴۵	Zr	عمق خالص آب آبیاری (متر)
۰/۰۰۷	S0	شیب جویچه ها (متر بر متر)
۴/۴۸	Qt	دبی آب موجود (می تواند دبی چاه باشد، متر مکعب بر دقیقه)
۰/۰۰۲۲	k	ضریب معادله کوستیاکف
۰/۵۸۶	a	نمای معادله کوستیاکف
۰/۶	w	عرض جویچه (متر)
۱۵	ni	تعداد آبیاری
۰/۰۴	n	ضریب زبری مانینگ
۲/۶۱۶	r1	فاکتور شکل جویچه $\rho_1$
۰/۳۷۵۸	r2	فاکتور شکل جویچه $\rho_2$
۱۰۰۰	cl	هزینه کار یک دقیقه کارگر (ریال)
۴۵۰	cf	هزینه حفر یک متر جویچه (ریال)
۲۲۰۰	cd	هزینه حفر یک متر نهر آبیاری (ریال)
۳۸۰	cw	هزینه یک متر مکعب آب آبیاری (ریال)
۵۸۰۰	cz	قیمت فروش یک کیلوگرم محصول (ریال)
۲۸۶۰۰۰۰۰	C <sub>0</sub>	هزینه ثابت کاشت، داشت و برداشت در یک هکتار (ریال)

### نتایج و بحث

#### عملکرد و تابع تولید محصول

مقادیر آب کاربردی برای هر تیمار در طول فصل رشد برای ذرت علوفه‌ای در جدول ۲ ارائه شده است. مقدار آب کاربردی در تیمار آبیاری کامل برابر با ۶۷۲ میلی متر شد. اثر سطوح مختلف آب آبیاری بر میزان عملکرد ذرت علوفه‌ای در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). کمترین و بیشترین عملکرد تر به ترتیب مربوط به سطوح آبیاری ۴۰ و ۱۳۰ درصد آبیاری کامل با مقادیر

به ترتیب ۴۳/۱۱ و ۸۸/۱۵ تن در هکتار بود (جدول ۳). مشعل و همکاران مقدار عملکرد تر رقم سینگل کراس ۷۰۴ تحت روش آبیاری جویچه‌ای برای دو تیمار ۴۰ و ۱۲۰ درصد را به ترتیب ۴۲/۶۲ و ۶۲/۲۷ تن در هکتار به دست آوردند [۵]. به نظر می‌رسد دلیل بالاتر بودن عملکرد ذرت در این پژوهش متفاوت بودن رقم کشت شده، اقلیم منطقه، خصوصیات خاک مزرعه، عوامل مدیریتی در مزرعه و تاریخ کاشت باشد. قیصری و همکاران (۲۰۰۹) بیان کردند با ثابت بودن میزان کود کاربردی، با افزایش عمق آب مصرفی عملکرد ذرت علوفه‌ای افزایش می‌یابد [۹]. نتایج محققان دیگر نیز نشان می‌دهد با افزایش آب کاربردی عملکرد کل محصول افزایش می‌یابد [۱، ۲، ۸ و ۱۰]. مقایسه میانگین‌ها نشان داد عملکرد تر محصول در تیمارهای ۱۰۰، ۱۱۵ و ۱۳۰ درصد آبیاری کامل، تفاوت معنی‌دار نداشت (جدول ۴).

همچنین اثر سطوح مختلف آب آبیاری بر میزان عملکرد خشک ذرت علوفه‌ای در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). کمترین و بیشترین عملکرد خشک به ترتیب مربوط به سطوح آبیاری ۴۰ و ۱۱۵ درصد آبیاری کامل با مقادیر به ترتیب ۱۰/۴ و ۲۶/۰۷ تن در هکتار بود (جدول ۴). همانگونه که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، در تیمارهای ۱۰۰، ۱۱۵ و ۱۳۰ درصد آبیاری کامل تفاوت معنی‌داری در عملکرد خشک مشاهده نمی‌شود.

جدول ۲: مقادیر آب کاربردی در طول فصل رشد و عملکرد تر و خشک در هر تیمار

سطوح آبیاری	۴۰٪ آبیاری کامل	۵۵٪ آبیاری کامل	۷۰٪ آبیاری کامل	۸۵٪ آبیاری کامل	۱۰۰٪ آبیاری کامل	۱۱۵٪ آبیاری کامل	۱۳۰٪ آبیاری کامل
مقدار آب کاربردی (mm)	۲۶۹	۳۷۰	۴۷۰	۵۷۱	۶۷۲	۷۷۳	۸۷۳
عملکرد تر (Kg/ha)	۴۳۱۱۱	۵۹۷۷۸	۷۳۷۷۸	۷۹۵۵۶	۸۷۳۳۳	۸۶۸۸۹	۸۸۱۵۶
عملکرد خشک (Kg/ha)	۱۰۳۹۴	۱۵۲۹۷	۱۹۹۵۰	۲۲۱۷۲	۲۵۹۰۳	۲۶۰۶۷	۲۴۸۱۶

جدول ۳: تجزیه واریانس میانگین مربعات عملکرد تر و خشک

منابع تغییر	درجه آزادی	عملکرد تر	عملکرد خشک
سطوح آبیاری	۶	۸۶۵۷۷۹۹۹۳**	۷۵۵۰۷۰۴۲**
خطا	۱۲	۴۵۳۰۷۷۵	۳۴۰۴۷۶۱
ضریب تغییرات		۲/۸۷	۱/۴

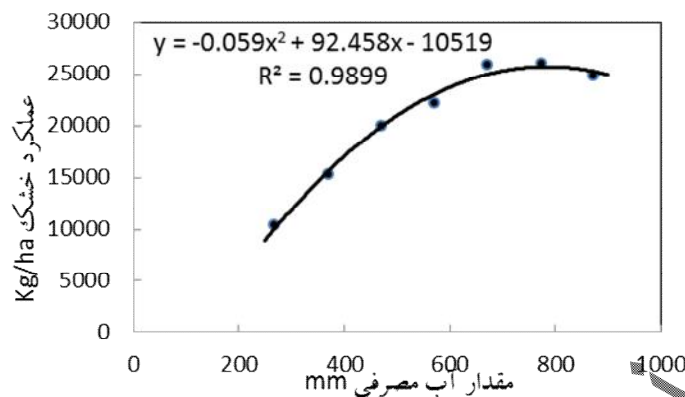
\* و \*\* به ترتیب بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪ و NS بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار می‌باشد.

جدول ۴: مقایسه میانگین‌های \*، عملکرد تر و خشک

سطوح آبیاری	۴۰٪ آبیاری کامل	۵۵٪ آبیاری کامل	۷۰٪ آبیاری کامل	۸۵٪ آبیاری کامل	۱۰۰٪ آبیاری کامل	۱۱۵٪ آبیاری کامل	۱۳۰٪ آبیاری کامل
عملکرد تر (Ton/ha)	۴۳/۱۱ <sup>e</sup>	۵۹/۷۸ <sup>d</sup>	۷۳/۷۸ <sup>c</sup>	۷۹/۵۶ <sup>b</sup>	۸۷/۳۳ <sup>a</sup>	۸۶/۸۹ <sup>a</sup>	۸۸/۱۶ <sup>a</sup>
عملکرد خشک (Ton/ha)	۱۰/۴ <sup>e</sup>	۱۵/۳ <sup>d</sup>	۱۹/۹۵ <sup>c</sup>	۲۲/۱۷ <sup>b</sup>	۲۵/۹ <sup>a</sup>	۲۶/۰۷ <sup>a</sup>	۲۴/۸ <sup>a</sup>

\*- اعداد هر ستون که دارای یک حرف مشترک هستند، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

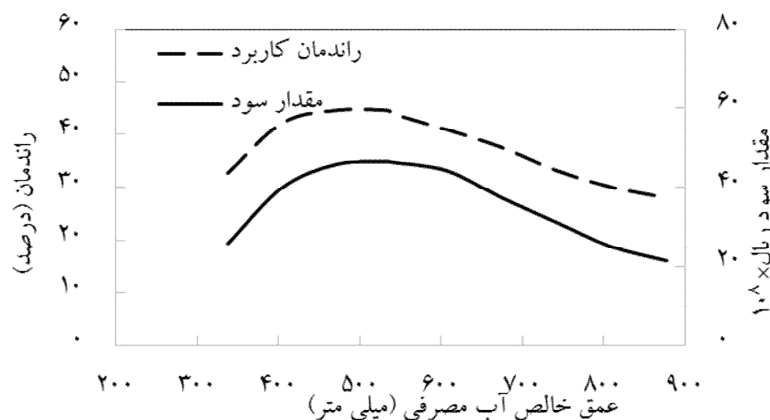
از رسم مقادیر عملکرد خشک در برابر مقدار آب مصرفی (جدول ۲) تابع تولید ذرت علوفه‌ای مطابق شکل ۲ به دست آمد. دلیل استفاده نکردن از عملکرد تر ذرت علوفه‌ای در محاسبه تابع تولید، متغیر بودن قیمت فروش محصول تر تحت مدیریت‌های مختلف آبیاری است، بدین معنی که قیمت فروش محصول تری که تحت تنش آبی قرار گرفته است کمتر از محصول بدون تنش است و این موضوع (ثابت بودن قیمت فروش) در محاسبات بخش‌های بعدی دارای اهمیت است.



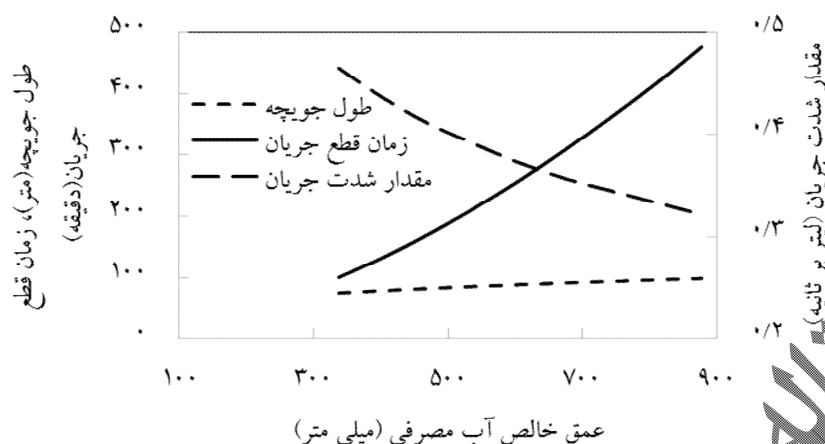
شکل ۲: تابع تولید ذرت علوفه‌ای

### نتایج بهینه‌سازی

بهینه‌سازی با کمک نرم‌افزار لینگو انجام شد. نتایج نشان داد، بیشترین سود به ازای مصرف ۵۳۵ میلی‌متر عمق خالص آبیاری و از کار برد مقادیر ۸۵ متر، ۰/۲۳۵ متر مکعب بر دقیقه (۰/۳۹ لیتر بر ثانیه) و ۲۱۰ دقیقه به ترتیب برای طول جویچه، دبی ورودی و زمان قطع جریان حاصل شد. بیشترین مقدار راندمان کاربرد در این حالت و برابر ۴۵ درصد به دست آمد. با توجه به این که در آبیاری کامل عمق خالص آبیاری برابر ۶۷۲ میلی‌متر بود، مقدار عمق بهینه برابر با ۷۹ درصد در حالت آبیاری کامل می‌باشد، که این موضوع نشان از اهمیت کم آبیاری برای نیل به بیشترین سود دارد. حال اگر بهینه‌سازی با فرض ثابت بودن عمق خالص آبیاری برابر با ۶۷۲ میلی‌متر (حالت آبیاری کامل) انجام شود، مقادیر طول جویچه، دبی ورودی و زمان قطع جریان به ترتیب برابر با ۹۲ متر، ۰/۳۶ لیتر بر ثانیه و ۳۰۸ دقیقه با حداکثر کردن مقدار سود به دست می‌آید، در این حالت راندمان کاربرد برابر با همان ۴۵ درصد می‌باشد. شکل ۳ مقادیر راندمان کاربرد و سود و شکل ۴ متغیر (مشخصه)‌های طراحی به ازای عمق‌های مختلف آب مصرفی را نشان می‌دهد. نتایج این تحقیق به بهره‌برداران کمک می‌کند، که به ازای عمق خالص آب آبیاری ثابت (دلخواه) در مزرعه‌ای با بافت خاک و اقلیم مشابه مزرعه آزمایشی، ترکیبی از طول جویچه، شدت جریان ورودی و زمان قطع جریان به کار ببرند که به بیشترین سود به ازای این عمق آبیاری برسند. همانگونه که در شکل‌های ۳ و ۴ مشخص است، با افزایش عمق خالص آب کاربردی، مقادیر طول جویچه و زمان قطع جریان برای شرایط بهینه افزایش پیدا می‌کنند، در حالی که از شدت جریان ورودی به جویچه کاسته می‌شود.



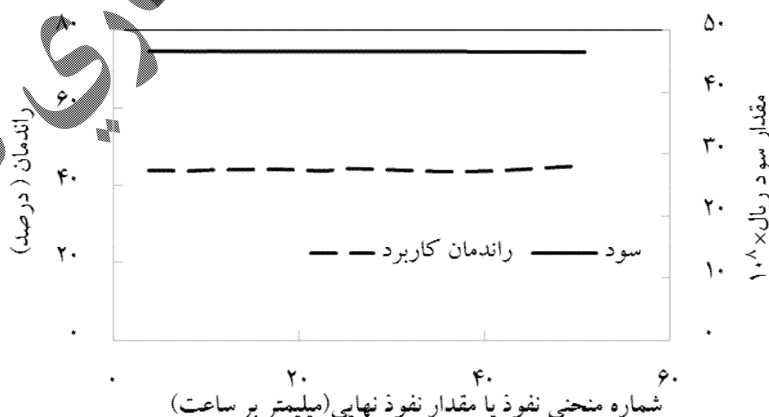
شکل ۳: مقادیر سود و راندمان کاربرد به ازای حجم معینی از آب مصرفی



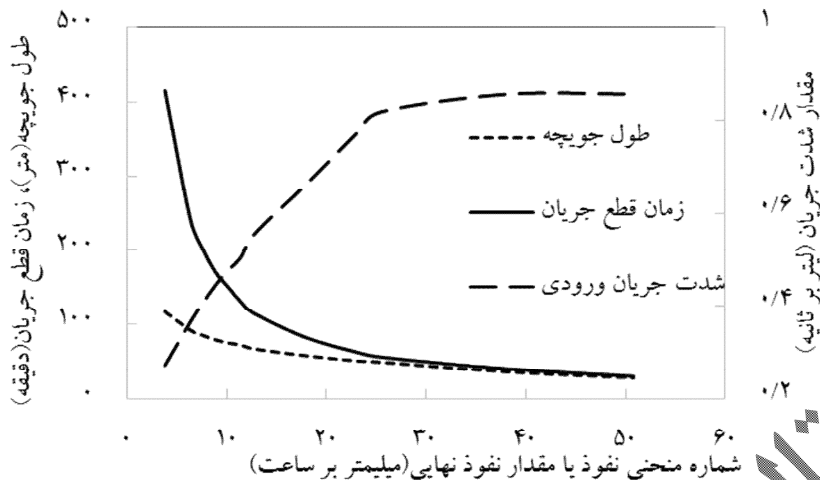
شکل ۴: مشخصه‌های طراحی آبیاری جویچه‌ای در برابر عمق آب

### بهینه‌سازی به ازای خاک‌های با بافت متفاوت

شکل ۵ مقادیر راندمان کاربرد و سود و شکل ۶ مقادیر مشخصه‌های طراحی در مقابل شدت نفوذ نهایی آب به خاک‌های با بافت مختلف برای گیاه ذرت علوفه‌ای را نشان می‌دهد. همانگونه که در این اشکال مشخص است با تغییر بافت خاک مقادیر راندمان کاربرد و سود در شرایط بهینه تقریباً ثابت است ولی با افزایش نفوذپذیری خاک از طول جویچه و زمان قطع جریان در حالت بهینه کاسته می‌شود، در حالی که مقدار شدت جریان ورودی به جویچه کم می‌شود. با تغییر نفوذپذیری خاک عمق خالص آبیاری یا همان درصد کم آبیاری ثابت و برابر با ۵۳۵ میلی‌متر یا ۷۹ درصد آبیاری کامل می‌باشد. با استفاده از این نمودارها می‌توان در بافت‌های مختلف، مقادیر متغیرهای طراحی بهینه را به دست آورد. در واقع شکل ۶ منحنی‌های طراحی برای محصول ذرت علوفه‌ای در بافت‌های مختلف خاک می‌باشد، که طراح با در اختیار داشتن این منحنی‌ها برای اقلیم و مدیریتی مشابه طرح مورد مطالعه می‌تواند ترکیبی از مشخصه‌های طراحی به کار برد که به بیشترین سود و راندمان کاربرد دست یابد.



شکل ۵: مقادیر راندمان کاربرد و سود در مقابل خاک‌های با بافت مختلف برای گیاه ذرت علوفه‌ای



شکل ۶: مقادیر مشخصه‌های طراحی در مقابل خاک‌های با بافت مختلف

### نتیجه‌گیری

مشخصه‌های طراحی بهینه در حالت آبیاری کامل با حالت کم آبیاری متفاوت بود. نتایج نشان داد، برای محصول ذرت علوفه‌ای با به کار بردن ۵۳۵ میلی‌متر عمق خالص آبیاری (که برابر با ۷۹ درصد عمق خالص در آبیاری کامل است) و مقادیر ۸۵ متر، ۰/۳۹ لیتر بر ثانیه و ۲۱۰ دقیقه به ترتیب برای طول جویچه، دبی ورودی و زمان قطع جریان بیشترین سود حاصل می‌شود که این مشخصه‌ها در حالت آبیاری کامل با این حالت متفاوت بودند. با افزایش نفوذپذیری خاک از طول جویچه و زمان قطع جریان در حالت بهینه کاسته می‌شود، در حالی که مقدار شدت جریان ورودی به جویچه زیاد می‌شود. در ضمن با تغییر نفوذپذیری خاک عمق خالص آبیاری یا همان درصد کم آبیاری ثابت می‌باشد و مقادیر راندمان کاربرد و سود در شرایط بهینه تقریباً ثابت است یعنی در شرایط بهینه برای خاک‌های با بافت مختلف ترکیبی از مشخصه‌های طراحی وجود دارد که راندمان کاربرد و سود را ثابت نگه می‌دارند.

### منابع

- [۱] انصاری، ح. ۱۳۸۶. تعیین عمق شاخص و بهینه آبیاری در ذرت‌های زودرس با هدف احتساب حداکثر سود. آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی) ۲۲: ۱۰۷-۱۱۶
- [۲] رضایی، ع.، ع. رفغوری، ف.، علی‌اصغری، ز.، امیر تیموری، گ.، کریمی و ر. مقیمی. ۱۳۸۶. بررسی تأثیر تنش آبی بر محصول ذرت علوفه‌ای در منطقه کرمان. نهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، کرمان.
- [۳] شایان‌نژاد، م. ۱۳۸۳. طراحی بهینه آبیاری شیاری بر اساس حداقل هزینه و حداکثر راندمان آبیاری. اولین کنفرانس سراسری آبخیزداری و مدیریت منابع آب و خاک، کرمان. اردیبهشت ماه ۱۳۸۳.
- [۴] علیزاده، ا. ۱۳۸۹. طراحی سیستم‌های آبیاری سطحی. انتشارات دانشگاه امام رضا (ع)، ۶۵۵ ص
- [۵] مشعل، م.، م. وراوی‌پور، س.ا.س. نوری و ا. زارع‌زیرک. ۱۳۸۷. بهینه‌سازی عمق آب مصرفی ذرت با کم آبیاری (مطالعه موردی: دشت و رامین). آب، خاک و گیاه در کشاورزی ۸: ۱۲۳-۱۳۴.
- [۶] نوایان، م. و م. مسلمی. ۱۳۹۱. بهینه‌یابی طول جویچه و دبی جریان در آبیاری جویچه‌ای. مجله پژوهش آب ایران ۶: ۲۷-۳۴.
- [7] Amer, H.K. 2010. Corn crop response under managing different irrigation and salinity levels. *Agr. Water Manage.* 97: 1553-1563.
- [8] Djaman, K. 2011. Crop evapotranspiration, crop coefficients, plant growth and yield parameters, and nutrient uptake dynamics of maize (zea mays l.) Under full and limited irrigation. Effect of irrigation on yield and above-ground biomass. University of Nebraska, Lincoln. pp .61-67.
- [9] Gheysari, M., S. M. Mirlatifi., M. Homae., M. E. Asadi and G. Hoogenboom. 2009. Nitrate leaching in a silage maize field under different irrigation and nitrogen fertilizer rates. *Agr. Water Manage.* 96: 946-954.
- [10] Mahmoud, M., El-Halwagi, Editor(s). 2006. Process Systems Engineering, Appendix ii: Lingo software, Academic Press, Volume 7, Pages 389-394, ISSN 1874-5970.
- [11] SrinivasaPrasad, A., N.V. Umamahesh and G.K. Viswanath. 2006. Optimal irrigation planning under water scarcity. *ASCE J. Irrig. Drain. Eng.* 132.

- [12] Valiantzas, J.D. 2001. Optimal furrow design. I: Time of advance equation. *J. Irrig. Drain. E. ASCE*. 127: 201-208.
- [13] Valiantzas, J.D. 2001. Optimal furrow design. II: Explicit calculation of design variables. *J. Irrig. Drain. E. ASCE* 127: 209-215.

## **Economic Optimization of Design Parameters of Furrow Irrigation under Deficit Irrigation for Corn in Shahrekord Region**

**M. Naderi<sup>\*1</sup>, M. Shayannejad<sup>2</sup>, B. Haghghati<sup>3</sup>, S. Karimi<sup>4</sup>, S. Heydari<sup>5</sup>**

Considering to water scarcity in Iran, application of deficit irrigation or water stress on some crops is inevitable. We need to provide appropriate design for deficit irrigation. Furrow irrigation management to obtain high efficiency and uniformity is difficult; therefore, to investigate the variation of the input discharge, the cut-off time and furrow length that is effect on the efficiency and uniformity are very important. The objective function in this method was net income that is need to production function. Corn were cultivated in Shahrekord and determined the their production function using a randomized complete block experimental design with 7 treatments of different irrigation levels and 3 replications. The costs and benefits functions based on design variable and depth of applied water, were dertmined. To optimize the design variables (length of the furrow, the input discharge and cut-off time) and depth of applied water in deficit irrigation condition was used Dingo software. The results showed that were 535 mm (equivalent to 79% of full irrigation) and 85 meters, 0.39 liter per second and 188 minutes, respectively, for the length of furrow, input discharge and cut-off time. The results of this design were compared to full irrigation for deferent soil textures. The results showed an increase in the permeability of the soil, caused length of furrow and the cut-off time decrease, while the flow rate increases and depth of applied water or percent of deficit irrigation was constant.

**Keywords:** Production function, Benefits functions, Optimum Applied Water.

---

<sup>1</sup> Department of Irrigation Faculty of Agriculture Isfahan University of Technology.

<sup>2</sup> Associated Professor, Department of Irrigation Faculty of Agriculture Isfahan University of Technology.

<sup>3</sup> Researcher, Chaharmahal va bakhtiari reseach center

<sup>4</sup>, Department of Irrigation Faculty of Agriculture Shiraz University.

<sup>5</sup> Department of Irrigation Faculty of Agriculture Isfahan University of Technology.

\*- Corresponding author: Email:naderi7403@yahoo.com