مجموعه مقالات نهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران

مقاله شماره ۱۷

موضوع:

مبانی طراحی و مدیریت شبکه‌های آبیاری

تألیف:

بهمن نقشینه‌پور[۱]

چکیده

به جرأت می‌توان ادعا کرد که مهمترین عامل محدود کننده در توسعه کشاورزی ایران محدودیت منابع آب می‌باشد. بنابراین هرگونه صرفه‌جویی در مصرف آب و بهینه‌سازی آن در طراحی و اجرا می‌تواند کمک بسزایی در پیشرفت و توسعه پایدار کشاورزی در ایران باشد.

طراحی سیستم‌های آبیاری به دو دسته عوامل فنی نظیر طول و عرض مزارع، فواصل فاروها، شیب زمین، ضریب زبری مانینگ "n"، میزان آب مورد نیاز در هر آبیاری، نوع خاک (نفوذپذیری) و اقتصادی نظیر قیمت زمین و آب، هزینه کارگر، هزینه تسطیح، قیمت محصول، نرخ ارز و هزینه مکانیزاسیون تکیه دارد که متأسفانه تکیه اصلی سیستم‌هایی که در حال حاضر در ایران طراحی می‌شود (علی‌الخصوص آبیاری سطحی) بر روی عوامل فنی است و عوامل اقتصادی به علت محدودیت در اطلاعات موجود آن طور که باید و شاید در نظر گرفته نمی‌شود و یا از اطلاعاتی استفاده می‌شود که در ایران به دست نیامده است.

این مقاله راه حلی را در زمینه بهینه‌سازی طراحی سیستم‌های آبیاری ارائه می‌دهد که عوامل فنی و اقتصادی را در نظر می‌گیرد ولی لازم به توضیح است که تدوین قوانین و روابط اقتصادی (به علت بعد زمانی آن) معمولاً جزو وظایف طراح نبوده و امری تحقیقاتی است که باید در قالب طرح تحقیقاتی خاص توسط متخصصین ذیصلاح انجام شود به نحوی که منجر به قانونمندی و ضوابط خاصی گردد که مورد استفاده مهندسین طراح پروژه‌های آبیاری قرار گیرد.

کلمات کلیدی: آبیاری سطحی، مدیریت آبیاری.

۱- کارشناس مهندسین مشاور آب‌سو

مقدمه

قبل از اقدام به طراحی یک سیستم، جمع‌آوری اطلاعات جامع و کاملی که نتایج تحلیل آنها در تعیین مشخصات سیستم مؤثر است ضروری می‌باشد. اصولی کلی نیز در طراحی باید مد نظر قرار گیرد که به اختصار به آن‌ها اشاره می‌شود:

۱- تعداد و مزد کارگر و قانون کار (آبیار و راننده تراکتور)
۲- ماشین (هزینه‌های سرمایه‌ای و جاری)
۳- قیمت آب
۴- قیمت زمین
۵- فرهنگ جامعه کشاورزان
۶- هزینه تسطیح و قطعه‌بندی
۷- نوع گیاه و قیمت آن (محصول)
۸- نرخ ارز (متغیر بودن آن محاسبات را پیچیده‌تر و پاسخ‌های به دست آمده با زمان طراحی عوض می‌شود)
۹- هزینه زهکشی سطحی و زیرزمینی (با عنایت به مسئله نفوذ عمقی و روان‌آب سطحی)
۱۰- مشخصات هیدرودینامیکی خاک
۱۱- کیفیت آب و خاک

طرح سیستم‌های آبیاری سطحی

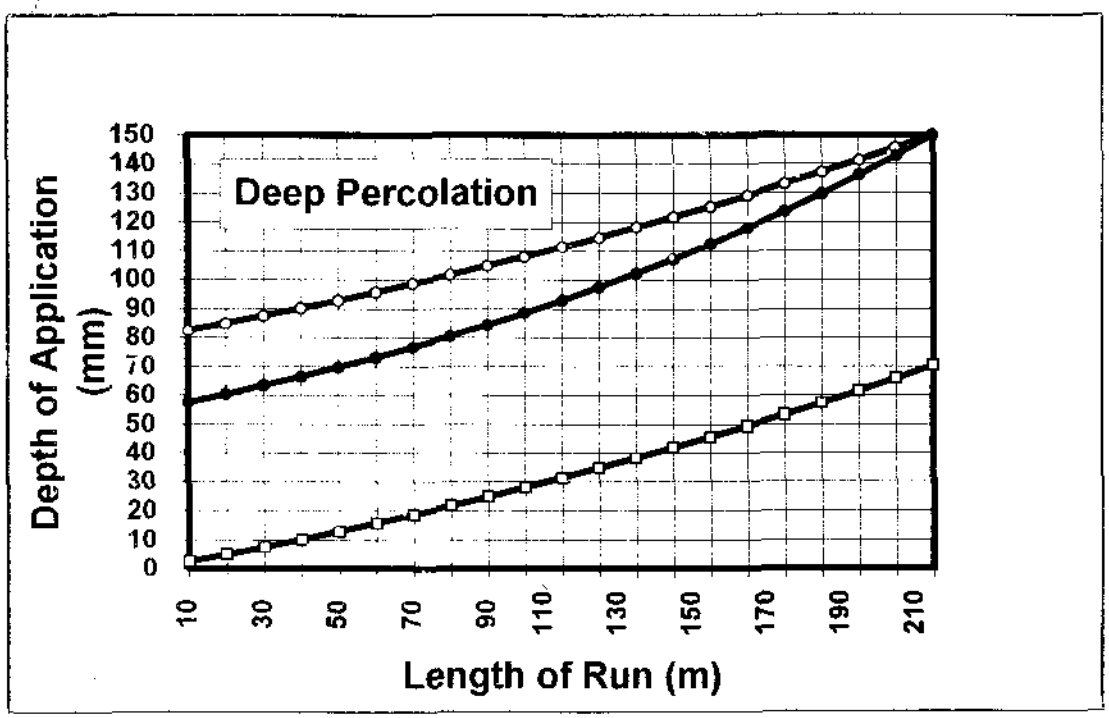
اگر سؤال شود بهترین طول شیار (Furrow) یا نوار (Border) از نظر راندمان آبیاری چیست جوابی فنی برای این سؤال وجود ندارد زیرا هرچه طول کمتر باشد راندمان بالاتر است. سؤال باید این‌گونه باشد که چه راندمانی قابل قبول است؟ آن وقت پاسخ این خواهد بود که مسئله باید از طریق بهینه‌سازی اقتصادی (که ذیلاً به آن اشاره خواهد شد) بررسی گردد.

در سیستم‌های آبیاری سطحی دست‌کم ۱۰ معیار عمده دخیل هستند. در تمام مدت زراعت، به طور کلی مسائل اقتصادی بر این ۱۰ معیار تأثیر می‌گذارند و در نتیجه، ایجاد یک سیستم آبیاری، همان‌طور که گفته شد کاری پیچیده است و بررسی کمی آن به سادگی امکان‌پذیر نیست. توضیح مختصری از این معیارها ذیلاً داده شده است:

۱- ذخیره آب مورد نیاز در خاک منطقه ریشه

مقدار آبی که قرار است ذخیره شود، باتوجه به نوع گیاه و طول فصل رشد، متغیر است. یک سیستم آبیاری بایستی آنقدر انعطاف‌پذیری داشته باشد که بتواند با شرایط مختلف هماهنگ شود و این موضوعی حائز اهمیت است، اگرچه گاهی مشکل به نظر می‌رسد. معمولاً یک طرح متوسط، مقرون به صرفه‌ترین طرح است.

در هر آبیاری هرچه آب مورد نیاز گیاه (Yn) بیشتر باشد راندمان بهتری حاصل می‌شود و علت آن هم کاملاً روشن است زیرا اگر آب خارج شده از منطقه توسعه ریشه‌ها (Dp) باشد، هرچه (Yn) بزرگتر باشد نسبت Yn / (Yn+Dp) و نتیجتاً راندمان آبیاری بیشتر خواهد بود (به ضمائم مراجعه شود).



۲- رسیدن به مصرف آبی یکنواخت و منطقی

ایجاد یک سیستم آبیاری سطحی که در هر وضعیت قابل کنترل باشد تقریباً غیرممکن است. شدت جریان آب همیشه متغیر و میزان نفوذ در گیاهان مختلف در فصول مختلف و در زمان‌های مختلف از شروع آبیاری متفاوت است. هرچه وسایل کنترل آبیاری کامل‌تر باشند، آبیاری یکنواخت‌تر صورت می‌گیرد. به منظور توزیع مناسب پیشنهاد شده است که بایستی آب به مدت حدوداً یک چهارم کل زمان آبیاری به انتهای مزرعه برسد ولی این پیشنهاد بهینه‌سازی را در نظر نمی‌گیرد. فاروهای ته‌بسته (Level Impoundment Furrrows) راندمان بالاتری از فاروهای ته‌باز (Gradient Furrows) دارند. در مورد روش فاروهای ته‌بسته هزینه تسطیح اهمیت فراوانی دارد و معمولاً فقط در اراضی کم‌شیب امکان استفاده از این روش وجود دارد.

۳- به حداقل رساندن خطر فرسایش

فرسایش را نمی‌توان به‌کلی از بین برد ولی می‌توان آن را به حداقل ممکن رساند. مشاهده میزان فرسایشی که بر اثر جریان‌هایی با شدت‌های مختلف ایجاد می‌شود تقریباً تنها راه ارزیابی و ارائه مقدار جریان مناسبی است که کمترین فرسایش را ایجاد می‌کند. در پی چنین مشاهداتی مشخص می‌شود که اندازه جریان که کمترین فرسایش را باعث شود کدام است.

۴- به حداقل رساندن روان‌آب حاصل از آبیاری مزرعه

معمولاً در ضمن آبیاری، مقدار قابل‌توجهی آب در انتهای مزارع به صورت روان‌آب هدر می‌رود. یکی از مؤثرترین راه‌های به حداقل رساندن روان‌آب، کم کردن مقدار جریان آب وارد شده به مزرعه در زمانی است که آب تقریباً به انتهای آن رسیده باشد. با این کار، به علت کاهش ناچیزی که در میزان نفوذ آب به وجود می‌آید، وسعت منطقه خیس شده تا حدودی کم خواهد شد و این در حالی است که سرعت آب به طور قابل‌توجهی کاهش خواهد یافت. یکی از راه‌های جلوگیری از تلفات حاصل از هدر رفت آب از انتهای مزرعه طراحی فاروها به صورت ته‌بسته است که در مورد آن توضیح مختصری آمده است.

۵- استفاده مفید از روان‌آب

از آنجاکه مقدار زیادی آب بر اثر جاری شدن روان‌آبْ هدر می‌رود نبایستی استفاده مفید از روان‌آب نادیده گرفته شود. در صورت امکان، بهتر است روان‌آب در اراضی واقع در نقاط پایین‌دست مجدداً مورد استفاده قرار گیرد، یا دوباره به قسمت بالای مزرعه یا اراضی مجاور هدایت شود.

۶- به حداقل رساندن نیروی انسانی مورد نیاز برای آبیاری

لازم است نیروی انسانی مورد نیاز در هر طرح به حداقل برسد. به طورکلی بهتر است در آبیاری اراضی، کارگرانی به کار گمارده شوند که آموزش دیده باشند و همچنین احساس مسئولیت کنند. آماده‌سازی مناسب زمین، کنترل خوب و طرح آبیاری مطلوب، موجب به حداقل رسیدن نیروی انسانی موردنیاز خواهد شد.

۷- به حداقل رساندن وسعت زمینی که برای ایجاد نهر و سایر سازه‌های کنترل و توزیع آب اشغال می‌شود

معمولاً ۵ تا ۱۰ درصد از مساحت اراضی برای ایجاد نهر و سایر سازه‌های کنترل آب اشغال می‌شود. با یک طرح مناسب می‌توان این مقدار را به حداقل رساند. گاهی خوب است برای هدایت آب از کانال‌ها و نهرهای طویل استفاده شود تا آب به صورت یکنواخت توزیع گردد، مقدار زمینی که برای این منظور اشغال می‌شود کاهش یابد و مکانیزاسیون نیز آسان‌تر صورت پذیرد.

۸- مطابقت سیستم آبیاری با حدود مزرعه

گاهی اندازه و حدود مزرعه بر طراحی سیستم آبیاری تأثیر می‌گذارد. معمولاً طول یک مزرعه تابع حدود ثبتی آن مزرعه است تا طرح سیستم آبیاری، مگر زمین‌هایی که طرح جدیدی در آن اجرا می‌شود که آن هم در مواردی ممکن است همین مسئله را داشته باشد.

۹- هماهنگی سیستم آبیاری با کیفیت خاک و تغییرات توپوگرافیک آن

اگر شیاری در مسیر خود با خاک‌هایی برخورد کند که بافت، شیب و عمق آن‌ها به طور قابل ملاحظه‌ای با یکدیگر تفاوت داشته باشند مشکلات زیادی ایجاد خواهد شد. در چنین مواردی میزان نفوذ در قسمت‌های مختلف شیار متفاوت است و در نتیجه نمی‌توان میزان جریان آب را به نحوی تنظیم کرد که توزیع آب در تمام قسمت‌های شیار متناسب و کافی باشد. از طرفی، ظرفیت نگهداری هر نوع خاک دفعات آبیاری بخصوصی را می‌طلبد. طرح یک سیستم آبیاری بایستی به نحوی باشد که در یک مزرعه مشخص، موارد اختلاف مورد بحث به حداقل برسد.

۱۰- ایجاد فضای مناسب برای تردد ماشین‌های کشاورزی به منظور آماده‌سازی زمین، شخم، شیاربندی، برداشت محصول و کارهای دیگر

فضای یک مزرعه خوب باید به نحوی باشد که ماشین‌های کشاورزی بتوانند به آسانی در آن تردد کنند. هرچه میزان مکانیزه شدن افزایش یابد وجود نوارهای عریض‌تر و مزارع وسیع‌تر مطلوب‌تر خواهد بود.

مسایل و مشکلات موجود در طراحی سیستم‌های آبیاری سطحی و توجهات لازم

۱- در حال حاضر هزینه آب آبیاری اغلب در مقایسه با هزینه‌های عملیاتی که باعث بهبود مدیریت آب می‌گردد کم است. این مسئله مانع به وجود آمدن انگیزه برای اتخاذ تدابیر لازم برای بالا بردن راندمان آبیاری است.

۲- کاهش میزان برداشت محصول در نتیجه تأخیر در آبیاری، کودپاشی نامناسب و ازدیاد آبیاری به سهولت قابل تشخیص نبوده و کمی کردن آن آسان نیست.

۳- اطلاعات روزانه لازم برای تصمیم‌گیری در دسترس افراد مسئول مدیریت آب قرار ندارد.

۴- تصمیمات مربوط به مدیریت آبیاری عموماً به وسیله اشخاصی اتخاذ می‌گردد که فرصت و دانش کافی را دارا نبوده و آموزش مدیریت سیستم پیچیده محصول - خاک - هوا را کسب نکرده‌اند.

۵- روش‌های برنامه‌ریزی سنتی در گذشته صرفاً به آموزش کشاورز و مدیر به سمت تخصص مدیریت آب آبیاری توجه نموده و حال آنکه مسایل مهم دیگری را فراموش کرده است که از آن جمله موارد زیر قابل ذکر است:

الف- هزینه آب آبیاری به طور سنتی کم و متغیر می‌باشد.

ب - قیمت‌های نهاده‌ها و ستاده‌های تولید نامطمئن می‌باشد.

ج - برخی نهاده‌ها آماری و تصادفی بوده و غیر قابل پیش‌بینی و کنترل می‌باشد.

د - توابع تولید و یا بازده آب - محصول برای تصمیمات روزانه مدیریت در دسترس نمی‌باشد.

به طور کلی این کشش در نزد مهندسان وجود دارد که فقط به امور مهندسی بپردازند و سیستم وسیع‌تری که در آن باید وظیفه‌ای به عهده بگیرند را از نظر دور می‌دارند. باید توجه داشت که هدف از آبیاری صرفاً

انتقال آب نیست، بلکه هدف رسیدن به راندمان مطلوب و اقتصادی تولید کشاورزی است.

یک سیستم مطلوب و متناسب توزیع آب باید به طریقی طراحی شود تا بتواند به مشکلات و محدودیت‌های فوق‌الذکر فائق آید. از خواص یک سیستم آبیاری و مدیریت آن این است که بتواند از عهده وظایفی که از آن انتظار می‌رود تحت شرایط و محدودیت‌های موجود برآید. برای تعیین ارزش یک پروژه پیشنهادی، باید منفعت آن را برای جامعه به طریقی اندازه‌گیری کرد و یا به عبارتی عملکرد آن را مورد ارزیابی قرار داد.

۶- یکی از مواردی که سبب اتلاف وقت می‌شود دور زدن ماشین‌آلات است. مواردی ممکن است پیش بیاید که به علت نامناسب بودن شکل هندسی مزرعه این تلفات خیلی زیاد باشد. این یکی از مشکلاتی است که همکاری بین مهندسان آبیاری و مکانیزاسیون را در مرحله برنامه‌ریزی الزامی می‌کند. هرچه طول مسیر حرکت بیشتر باشد زمان تلف شده در اثر دور زدن کمتر می‌شود، یکپارچه کردن مزارع کارآیی عملیات زراعی را افزایش می‌دهد- نه تنها زمان دور زدن کاهش می‌یابد بلکه مدت حرکت از یک مزرعه به مزرعه دیگر نیز کم می‌شود. البته دور زدن لازم است و باید در انتخاب محل دور زدن دقت شود. سطح زمین باید قابل دور زدن باشد و مساحت آن باید فقط به اندازه‌ای باشد که بتوان به آسانی دور زد. برای حصول به حداکثر کارآیی، شکل هندسی زمین باید مشخصات زیر را داشته باشد:

الف- مسیرها منظم و طویل باشد.

ب - ابعاد مزارع بزرگ انتخاب شود.

ج - مساحت کافی برای دور زدن با ماشین‌آلات در نظر گرفته شود.

باید توجه داشت که به حداقل رساندن هزینه اولیه تسطیح لزوماً اقتصادی نخواهد بود و قطعات منظم هندسی در طول زمان با راندمان ماشین‌آلات و آبیاری نتایج بهتری را عاید خواهد کرد.

۷- برای جلوگیری از حرکت آب در جهت عمود بر فاروها (Over-topping) و یا سرریز کردن آن، هر قدر شیب (Cross Slope) کمتر باشد مطلوب‌تر است و این امر در خاک‌هایی که دارای نفوذپذیری بالایی هستند از اهمیت بیشتری برخوردار است. برای تسطیح اراضی به منظور تعیین شیب مناسب طولی و عرضی هزینه بیشتری برای جابجایی خاک باید پرداخته شود و هزینه سرمایه‌گذاری افزایش خواهد یافت ولی از طرف دیگر این افزایش هزینه اولیه در سرمایه‌گذاری باعث کاهش هزینه جاری (کارگر) و افزایش راندمان آبیاری خواهد شد. جلوگیری از سرریز شدن و درهم ریختن فاروها طی دوران داشت ممکن است باتوجه به نوع محصول امکان‌پذیر نباشد چون دید کافی برای کارگر در محصول بلند و زمین پوشیده وجود ندارد و تلفات دیده نمی‌شود و ناهماهنگی در آبیاری اتفاق می‌افتد. شکل منظم هندسی قطعات زراعی و کاهش (Cross Slope) نیز در همین جهت عمل می‌کند یعنی هزینه سرمایه‌گذاری را افزایش می‌دهد ولی در عوض مدیریت دچار اشکال نمی‌گردد و هزینه جاری (کارگر) کاهش می‌یابد.

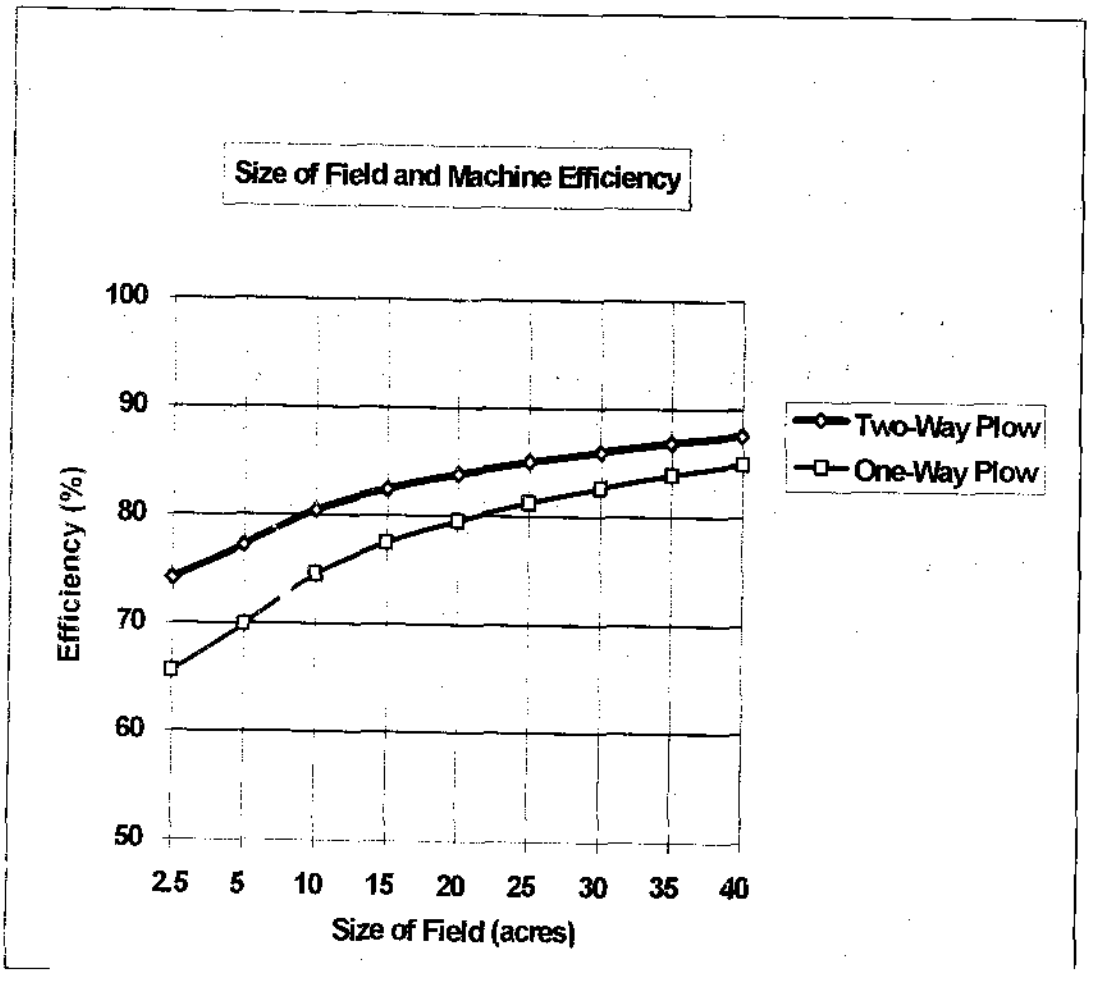
۸- در انتخاب طول شیار باید دقت کافی مبذول گردد. با کاهش طول شیار، نیروی انسانی مورد نیاز برای آبیاری و نیز هزینه‌های آن افزایش می‌یابد. با افزایش طول شیار درجه یکنواختی عملیات آبیاری کاهش خواهد یافت. بنابراین طول شیار باید به اندازه‌ای باشد که راندمان آبیاری را در حد قابل‌قبولی تأمین نماید. در صورتی که طول شیارها کم باشد، انهار مزرعه (Farm Ditches) را باید به فواصل کمتری نسبت به یکدیگر در نظر گرفت. این مسئله باعث افزایش قابل ملاحظه هزینه سیستم آبیاری خواهد گردید. همچنین مقدار قابل

ملاحظه‌ای از زمین‌های مزروعی ممکن است از حالت تولیدی خارج گردد زیرا به وسیله نهرها و جاده‌هایی با فواصل کم اشغال خواهد شد. در شیارهای با فواصل کوتاه، تنظیم جریان نیازمند دقت زیادتری است و به علاوه باید مرتباً جریان را در یک نهر مزرعه به دیگری تحویل داد.

شیارهای با طول کوتاه، همچنین کاربرد ماشین‌آلات لازم برای مکانیزه کردن عملیات زراعی را با مشکل روبرو خواهد نمود. از طرف دیگر در صورتی که شیارها زیاد طولانی باشد، مقدار قابل ملاحظه‌ای آب اضافی در ابتدای شیار به خاک نفوذ می‌نماید در حالی که ممکن است در انتهای شیار آب به اندازه کافی به وسیله خاک جذب نشده باشد. این امر به خصوص در ارتباط با خاک‌های با نفوذپذیری زیاد و نسبتاً زیاد صادق است. در صورتی که طول و شیب شیارها زیاد باشد، در شرایط نفوذپذیری کم در مواقع بارندگی، احتمال دارد بارندگی‌های اضافی در قسمت‌های انتهایی شیارها جمع شود. اگر شیب شیار زیاد باشد، فرسایش خاک در امتداد شیارهای با طول بیشتر، زیادتر است و همچنین آب جمع شده در انتهای شیار ممکن است به گیاه آسیب برساند.

چنانچه ابعاد مزرعه به علت شکل خاص آن از پیش دیکته شده و به ناچار باید از آن تبعیت گردد، ممکن است طول فاروها را به اندازه و شکل مزرعه محدود نمود. در صورتی که چنین محدودیتی وجود نداشته باشد با انتخاب حداقل و حداکثر طول فاروکه با در نظر گرفتن مسایل اقتصادی، اجرایی و مدیریت تعیین می‌شود طول فاروها در فاصله حداقل و حداکثر به ترتیبی تعیین می‌گردد که در ترکیب با سایر پارامترهای طراحی بهترین راندمان آبیاری را تأمین نماید.

شکل زیر بیانگر رابطه راندمان ماشین در مزرعه و اندازه یک مزرعه مربع می‌باشد.



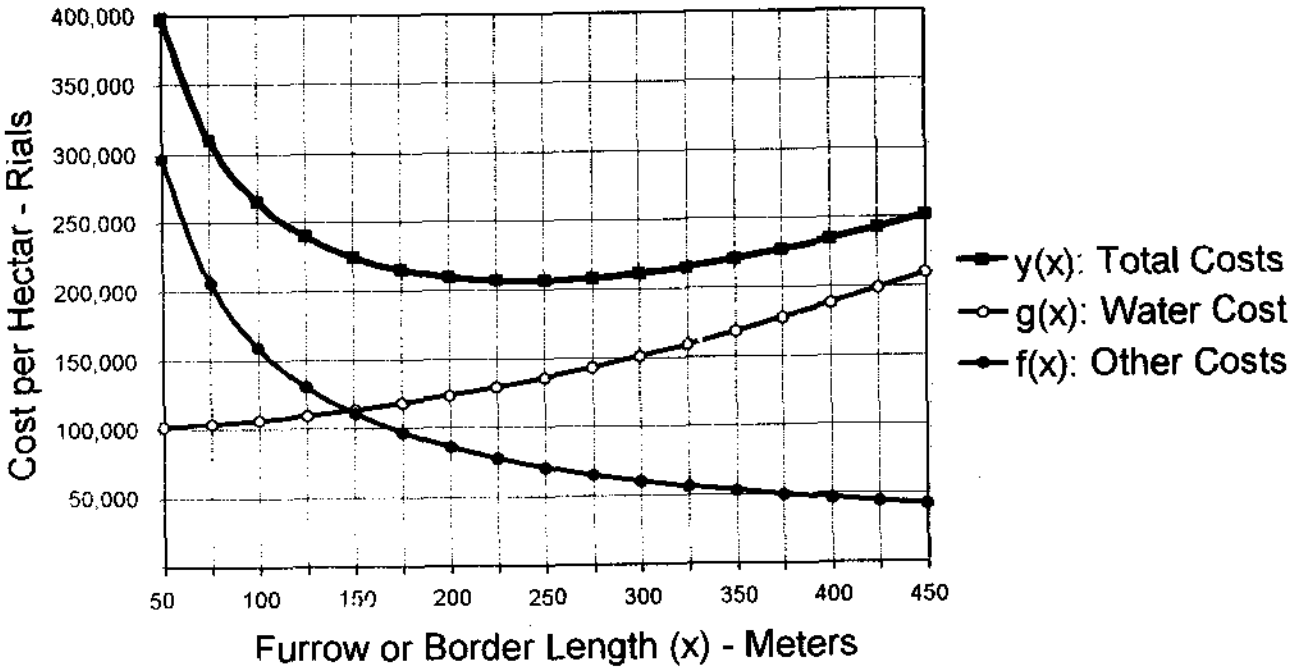
این شکل نشان‌دهنده راندمان عملیات ماشینی در دو روش مختلف شخم‌زنی است (برگردان و یک طرفه). نحوه محاسبه راندمان ماشین در مزرعه بر اساس سرعت حرکت، عمق و عرض شخم و کل زمان مصرف شده می‌باشد. در راندمان مذکور، زمان برنامه‌ریزی تعیین مسیر حرکت از طرفین، زمان حرکت بدون کار و زمان تنظیم شخم در نظر گرفته شده ولی زمان سرویس ماشین ملحوظ نشده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، راندمان کار در مزرعه به سرعت در نتیجه کاهش مساحت مزرعه کمتر از ۱۵ جریب (acres) یا ۶ هکتار افت می‌کند. چنانچه شکل چنین مزرعه‌ای مربع در نظر گرفته شود دارای ابعاد حدود ۲۴۵ متر خواهد بود، چنانچه بخواهیم راندمان کمتر از ۸۲/۵ درصد نداشته باشیم نتیجه یک مزرعه ۱۰ هکتاری با ابعاد ۳۱۶ متر یا تقریباً ۳۰۰ متری (با در نظر گرفتن مجهولات و فرضیات نامطمئن) خواهد شد.

توصیه‌ها و پیشنهادات

برای رسیدن به مبانی صحیح طراحی در مرحله اول، بهینه‌سازی توأم فنی و اقتصادی می‌تواند نقشی مؤثر در تأمین عوامل تصمیم‌گیری داشته باشد. بهینه‌سازی فنی به تنهایی نمی‌تواند ضامن موفقیت و حتی در بعضی موارد تأمین اطلاعاتی برای طراحی باشد. مثلاً چنانچه از راه‌های تئوریک در صدد تعیین بهترین طول فارو برآییم. کمترین طول و در حد، طول صفر برای فارو بهترین راندمان آبیاری را تأمین می‌کند که امری غیرمعقول و غیرممکن است. لذا در بهینه کردن مشخصات فاروها عوامل اقتصادی تعیین‌کننده خواهند بود و برای دستیابی به مشخصات بهینه یک سیستم آبیاری در مزرعه باید توابع هدف برای بهینه‌سازی فنی و اقتصادی تعریف شده و می‌تواند شکل کلی زیر را داشته باشد که در آن فاکتورهای فنی بدون آنکه منحصر به پارامترهای زیر باشد، شامل: طول فارو (L)، فاصله بین فاروها (W)، شیب زمین (S)، ضریب زبری مانینگ(n)، شدت جریان آب در فاروها (Q)، حجم آب موردنیاز در هر آبیاری (V)، ضریب نفوذپذیری خاک (K)، ضریب تخلل خاک(O) و آب باقیمانده در خاک (O_r) و عوامل اقتصادی شامل: قیمت زمین(LV)، قیمت آب (WV)، هزینه‌های کارگری (LC)، هزینه تسطیح (LLC)، قیمت محصولات تولیدی(PV)، نرخ ارز(ER) و هزینه‌های مکانیزاسیون (MC) می‌باشد.

از محدودیت‌ها و امکانات نیز می‌توان نوع محصولات موردنیاز، میزان منابع آب موجود و تخصیص‌ها، اولویت‌های تولید، مسایل سیاسی و استراتژیکی، فرهنگ آبیاری و کشاورزی جامعه، فراوانی یا کمبود عوامل تخصصی و غیرتخصصی کاری، مسایل مدیریتی و مقررات و قوانین حکومتی و محلی را نام برد.

نتایج بهینه‌سازی فوق را می‌توان به صورت ترسیمی با شکل زیر نشان داد.



در شکل فوق f(x) تابعی است از هزینه‌های پروژه که عوامل اقتصادی در آن مستترند و g(x) تابع تئوریک است که فاکتورهای فیزیکی و نظایر آن را دربر می‌گیرد و این دو تابع می‌تواند به صورت زیر و یا توابع مناسب دیگری تعریف شده و ضرایب آنها یعنی c، a، m، b، k، n و d از طریق رگرسیون تعیین گردد:

$f(x) = c + a * [\exp(-m * x)]$

یا $f(x) = b + c * k^{(-n * x)}$

و یا $f(x) = d + k * x^{-n}$

و $g(x) = d + k * x^{n}$

یا $g(x) = b + k^{(n * x)} = b + c * k^{(m * x)}$

و یا $g(x) = c + a * [\exp(m * x)]$

و هزینه کل در هکتار $y(x) = g(x) + f(x)$

که $\text{at } x \text{ for } dy/dx = 0$

Y_{min} حاصل می‌گردد.

ضمائم

۱- معایب روش SCS در طراحی فاروها

۱- در آزمایشاتی که در مغان توسط مهندسین مشاور آب‌سو انجام گرفته این نتیجه عاید شده است که به جای استفاده از روش SCS برای تعیین حداکثر شیب فارو Smax = 0.6/Q که در آن Q برحسب لیتر در ثانیه و S برحسب درصد شیب بیان شده می‌باشد، بهترین روش برای تعیین حداکثر شیب فارو محاسبه عدد فروید (Fr#) می‌باشد:

Fr = V / [(g * y) ^ 0.5]

V = Qu / Area

Area = [n * Qu * P ^ (2/3)] / (S ^ 0.3)

که در آن V سرعت جریان، g شتاب ثقلی، y عمق جریان، Qu جریان بر واحد سطح، n ضریب زبری مانینگ، P محیط خیس شده و S شیب فارو می‌باشد.

در اینکه Fr# باید کمتر از یک باشد شکی نیست چون جریان باید آرام باشد ولی اینکه چقدر کمتر از یک باشد (مثلاً در حدود 0.5) احتیاج به ادامه آزمایشات دارد و شاید اندازه ذرات خاک (بافت) نیز در این نتیجه‌گیری بی‌تأثیر نباشد که در این صورت به نظر می‌رسد استفاده از روش Tractive Force ضرورت داشته باشد. البته در مناطق پرباران دفع آب اضافه سطحی مسئله دیگری را ایجاد می‌کند که فعلاً جای بحث آن نیست.

۲- سرعت پیشروی جبهه آب در طول شیار در روش SCS از فرمول

Ta = (x / f) * exp (Beta)

Ta = Advance Time

x = Furrow Length

f = 7.0765 + 1.7882 * If

Beta = g * x / [Q * (S ^ 0.5)]

g = 0.00009252 + 0.0003264 * If

If = Infiltration Class

تعیین می‌شود که در آن زمان پیشروی جبهه آب طول فارو

و

گروه خانوادگی نفوذپذیری سطحی خاک می‌باشد.

متأسفانه در این فرمول پس از انتگرال‌گیری و شروع محاسبه به نتایجی می‌رسیم که نشان‌دهنده یک خطا در فرمولاسیون می‌باشد. از این خطا به علت این که در همه موارد مشهود نیست به طور گذرا عبور کرده و نتایجی به دست می‌آید که در حقیقت غلط و گمراه‌کننده است و راندمان بالایی را نشان می‌دهد و حال آنکه راندمان کمتر از آن است که از فرمول به دست می‌آید زیرا روان‌آب سطحی (Ro) منفی می‌شود. مثلاً اگر گروه خانوادگی If = 1.5 را در نظر بگیریم و شیب فارو ۵ در هزار با طول ۲۵۰ متر باشد نتیجه رقم Ro = -30.56 را به دست می‌دهد که نامفهوم است. فعلاً بهترین راه‌حل برای جلوگیری از این خطا این است که مسئله را به نحوی بهینه‌سازی کنیم که روان‌آب سطحی (Ro) از نفوذ عمقی (Dp) کمتر نباشد (Ro ≥ Dp). گرچه از نظر تئوری قضیه را حل نکرده‌ایم ولی لااقل

نتیجه‌گیری خیلی غلط عاید نمی‌شود.

۳- البته غیر از روش SCS روش‌های جدیدتری برای محاسبه راندمان آبیاری در سنوات اخیر ابداع شده است که مهمترین آن از نظر علمی استفاده از فرمول Walker می‌باشد که متأسفانه روش زمانگیری است.

۴- در فرمول ارائه شده توسط SCS برای فاروهای ته بسته یا Level Impoundment Furrows که راندمان آبیاری به مراتب بیش از فاروهای ته‌باز می‌باشد و علت این امر نیز جلوگیری کامل از روان‌آب سطحی (Surface Runoff) می‌باشد، ولی برخلاف محاسبه ارائه شده توسط SCS این راندمان هیچگاه به صد در صد نزدیک نمی‌شود و علت این امر اشتباهی است که SCS در فرمول:

$$Toa = Tn + Taa$$

که در آن:

Toa = Average Opportunity Time — زمان متوسط فرصت نفوذ

Tn = Net Opportunity Time — زمان خالص فرصت نفوذ آب مورد نیاز

Taa = Average Advance Time — زمان متوسط پیشروی

به آن توجه نکرده است.

در فرمول فوق عبارت Ta یعنی زمان پیشروی (Advance Time) از محاسبات حذف شده و Taa به صورت مثبت ذکر شده (و این یک اشتباه تایپی یا چاپی نیست زیرا در کلیه مراجعی که به آن اشاره شده این اشتباه یافت می‌شود). فرمول صحیح عبارت است از:

$$Toa = Tn + Ta - Taa$$

که در آن

$$Taa = L * \{[(beta - 1) * exp(beta) + 1]\} / [f * (beta \hat{} 2)]$$

$$Ta = x * exp(beta) / f$$

زمان متوسط پیشروی

و Tn زمان نفوذ برای آب موردنیاز و Ta زمان پیشروی (Advance Time) و Taa متوسط زمان پیشروی (Average Advance Time) می‌باشد.

در مورد روش فارهای ته‌بسته هزینه تسطیح اهمیت فراوانی دارد و معمولاً فقط در اراضی کم‌شیب امکان استفاده از این روش وجود دارد.

متأسفانه به علت اینکه این فاروها با شیب صفر محاسبه می‌شود، به علت تجربی بودن آن، محاسبه راندمان آبیاری در روش فاروهای ته‌بسته ارائه شده توسط SCS نتایج مطلوبی را آن طور که باید و شاید ارایه نمی‌دهد زیرا

شیب هیدرولیکی (Sw) — Hydraulic Grade Line

یا شیب خط انرژی (Sf) — Energy Grade Line

خیلی بیش از شیب کف (So) — Channel (Furrow) Slope

یا به عبارت دیگر — Sw یا Sf >> So

می‌باشد و بنابراین سرعت پیشروی آب خیلی سریع‌تر از آن است که محاسبه نشان می‌دهد و بنابراین کاربرد یک معادله ساده آن طور که SCS پیشنهاد می‌کند باتوجه به طول‌های متفاوت فارو، شیب هیدرولیکی یک متغیر می‌گردد که SCS آن را ثابت فرض می‌کند. به منظور دستیابی به سرعت‌های

واقعی باید از مدل‌های Fully Hydrodynamic ارائه شده توسط Strelkoff و Basset استفاده شود که باتوجه به عدم دسترسی به نرم‌افزارهای ارائه شده توسط ایشان و تأخیر زیاد یا در به دست آوردن مقالات آن شخص بخصوص و سایر محققین به علت کمبود ارز (و شاید هم تحریم‌های اقتصادی) فعلاً مقدور نمی‌باشد.

البته در مورد این ایراد پاسخی هم وجود دارد که براساس اصل "دقت ستاده‌ها بستگی به دقت داده‌هادارد" شاید همین روش‌های تجربی کافی باشد ولی به هرحال نباید از تحصیل نتایجی که از نظر تئوری قوی‌تر از نتایج تجربی است غافل ماند چه بسا پیشرفت تکنولوژی که با سوپر کامپیوتر سرعتی شگفت‌انگیز پیدا کرده کشور عزیز ما عقب بماند.

۵- فاروهای ته‌بسته را SCS با شیب صفر محاسبه می‌کند ولی در خود گزارشات SCS آمده است که شیب بسیار کم (در حدود یک تا مثلاً حداکثر ۴ در ده‌هزار) به یکنواختی پخش آب در طول فارو کمک فراوانی می‌نماید البته تا حدی که از انتهای فارو سرریز نشود.

SCS حدی برای این شیب در نظر گرفته و گفته است که این شیب نباید از $Y_n/2 >= (L * S)$ که در آن Yn آب خالص مورد نیاز در هر آبیاری، L طول فارو و S شیب فارو می‌باشد، تجاوز نماید ولی باتوجه به سرعت نفوذ آب در خاک (Furrow Intake Rate) این پیشنهاد SCS تقریبی است. نویسنده توانسته است در محاسبات خود با حل عددی این پدیده با کامپیوتر در طرح توسعه نیشکر باتوجه به Infiltration Class به نتایجی تا حدودی جالب دست یابد، بدین مفهوم که هرقدر Class بیشتر باشد (سرعت بیشتر نفوذ آب در خاک) شیب بیشتری را می‌توان در طراحی در نظر گرفت زیرا مقداری از آب که طی دوران پیشروی در خاک نفوذ کرده باعث می‌شود که مقدار باقیمانده آب در انتهای فارو (که معمولاً در فاروهای ته‌باز میزان کمتری آب نسبت به ابتدای فارو دریافت می‌کنند) باقی بماند و به تدریج نفوذ کند و میزان نفوذ آب در ابتدای فارو و انتهای آن تا حد زیادی متعادل گردد.

فرمولهای ارائه شده توسط SCS برای آبیاری نواری (Border) نیز در اشتباه دست کمی از موارد فارو (Furrow) ندارد تا حدی که نه تنها صد در صد، بلکه راندمانی بیش از صد در صد! نیز قابل حصول است که در صورت استفاده از این فرمول‌ها در طراحی باید توجه لازم مبذول گردد تا راندمان‌های کذایی عاید طراح نگردد.

مؤخره

۱- در طرح توسعه نیشکر که نویسنده افتخار همکاری در طراحی آن را داشته و بهترین سعی خود را برای به حداکثر رساندن راندمان آبیاری نموده است باتوجه به جمیع جهات در طول یک دوره کامل کاشت، داشت و برداشت نیشکر راندمان آبیاری حدود چهل درصد می‌باشد (در صورتی که در اجرا و مدیریت ضوابط طراحی دقیقاً رعایت شود و به علت مثلاً کسر بودجه صرفه‌جویی بی‌مورد در هرینه تسطیح عدم رعایت شیب‌های طولی و عرضی به عمل نیاید) و این در حالی است که فاروها ته‌بسته بوده و از دقیق‌ترین روش تسطیح نیز استفاده شده است. چرا؟

در حالی‌که راندمان پخش آب در مزرعه با ۶۰ درصد محاسبه در نظر گرفته شده به علت تغییر عمق

ریشه نیشکر در زمانی که به آب کمتری نیاز داریم مجبوریم خاک را بیش از حد لازم خیس کنیم و در این مواقع متأسفانه به علت حساسیت نیشکر به کم‌آبی در موقعی‌که ریشه آن عمیق نیست نمی‌توان از روش کم آب دادن (Deficit Irrigation)که یک بحث بسیار جالب و اقتصادی است استفاده نمود. راندمان ۶۰ درصد مذکور در فوق در حالی تحصیل خواهد شد که دقیقاً پارامترهای در نظر گرفته شده صحیح بوده و دقیقاً نیز در هنگام عمل مورد استفاده قرار گیرد و همان‌طور که می‌دانیم این یک امر قریب به محال است. در این طراحی طول فاروها ۲۵۰ متر انتخاب شده است تا راندمان ۶۰ درصد حاصل گردد ولی چنانچه از خود بنده سؤال بفرمایید که چرا این طول و این راندمان در نظر گرفته شده پاسخ دقیقی جز احساس و تجربه ندارم زیرا اطلاعات کافی در مورد راندمان کارکرد ماشین‌آلات (در حالی که کشت و داشت و برداشت نیشکر محتاج مکانیزاسیون فراوانی است) در اختیار نداشتم و به ناچار تا حدودی از تجربه عینی در کشت و صنعت‌های کارون و هفت‌تپه استفاده شده است که البته این امر یعنی استفاده از نتایج تجربی دیگران، هرچند ناقص، هنگام عدم دسترسی به اطلاعات کافی ممکن است تنها راه چاره باشد.

۲- کوتاهترین طول ممکن فارو برای حصول به بالاترین راندمان منجر به آبیاری قطره‌ای می‌گردد که مشکلات خود را دارد و در حال حاضر دارای ارزبری زیادی است که باتوجه به کمبود ارز و بالا بودن نرخ آن، لازم است به حد کافی توجیه شود (در مقابل هزینه تسطیح که خود نیز هزینه ارزی دارد). ولی حتی در آبیاری قطره‌ای نیز به علت افت فشار در طول لوله‌ها راندمان هیچ گاه به صد در صد نمی‌رسد ضمن اینکه برای آبیاری کلیه محصولات نیز مناسب نمی‌باشد. بنابراین این سؤال مطرح می‌شود: آب مهم‌تر است یا اقتصاد؟ مسلماً جواب این پرسش اقتصاد است ولی ما اوضاع اقتصادی را فقط در کوتاه‌مدت می‌توانیم پیش‌بینی کنیم. اگر قرار باشد محصولات کشاورزی به صورت استراتژیک مطرح باشد آن وقت آب از اهمیت (ارزش) ویژه‌ای برخوردار است.

۳- در خاتمه از کلیه همکارانی که در جمع‌آوری داده‌های مطرح شده در این مقاله و تنظیم برنامه‌های کامپیوتری اینجانب را یاری فرموده‌اند و ذکر نام کلیه ایشان در اینجا مقدور نیست، علی‌الخصوص دوست و همکار بسیار عزیزم جناب آقای دکتر عباس قاهری استاد دانشگاه علم و صنعت که همواره مشوق اینجانب در این امر بوده‌اند صمیمانه سپاسگزاری می‌نمایم.

References **منابع**

1- Walker, Wynn R. and Skogerboe, Gaylord V. 1987. Surface Irrigation: Theory and Practice. Utah State University, Prentice-Hall, Inc.

2- USDA. 1979. Furrow Irrigation. Chapter 5, Section 15 (Irrigation) Soil Conservation Service, National Engineering Handbook.

3- USDA. 1974. Border Irrigation. Chapter 4, Section 15 (Irrigation) Soil Conservation Service, National Engineering Handbook.

4- Bainer, Roy, Kepner, R.A. and Barger, E.L. 1955. University of California, Davis, California. Principles of Farm Machinery. John Wiley & Sons, Inc.

5- Albertson, Maurria L., Barton, James R. and Simons, Daryl B. 1960 Fluid Mechanics for Engineers. Prentice - Hall, Inc.

6- Sakkas, J. G. and T. Strelkoff. 1974. Hydrodynamics of Surface Irrigation Advance Phase. Proceedings of the ASCE, Irrigation and Drainage Division Journal 100 (IR-1): 31-48.

7- Basset, D. L. and Fitzsimmons, D. W. 1976. Simulating Overland Flow in Border Irrigation. Transactions of the ASAE 19(4): 674-680.

8- Katopodes, N. D. and T. Strelkoff. 1977. Hydrodynamics of Border Irrigation - the Complete Model. Proceedings of the ASCE, Irrigation and Drainage Division Journal 103 (IR-3): 309-324.

ABSTRACT

It can easily be claimed that the most important limiting factor in development of Iranian agriculture is the availability of water. Therefore, any efforts in economizing water utilization and optimization in design and implementation of water resources projects can have a beneficial effect in sustainable development of Iranian Agriculture.

Design of irrigation systems rests upon:

(1) technical factors such as length and width of fields, furrow spacing, slope of land, Manning's "n", the required quantity of water per irrigation and soil type (intake rate) and

(2) economic factors such as land value and water costs, land leveling costs, crop prices, exchange rates and the costs of mechanization.

Unfortunately, the present design of irrigation systems in Iran, especially surface systems, rests upon technical factors. Economic factors, because of lack of information, are not considered or such data are obtained from places other than Iran.

This papers offers a methodology for optimization in design of surface irrigation systems taking into account both technical and economic criteria; but it has to be emphasized that development of mathematical relationships is not usually the duty of the designer but a research oriented study that should be performed by experts so that their findings are used by the design engineers in irrigation projects.

Key Words : Surface Irrigation, Irrigation Management