# تخصیص بهینه افت مجاز در زیرواحدهای سیستم آبیاری بارانی کلاسیک ثابت- آبپاش متحرک

سید حسین صادقی، مهدی قیصری* و مینا کاویانی[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۴/۶ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۷/۳۰)

**چکیده**

**به منظور کسب یکنواختی پخش و راندمان کاربرد آب قابل قبول، باید مجموع افت‌های اختصاص یافته به زیرواحدهای سیستم آبیاری بارانی کلاسیک ثابت- آبپاش متحرک از ۲۰ درصد فشار آبپاشی که با فشار متوسط کار می‌کند تجاوز ننماید. با وجود این‌که در برخی نوشته‌ها اختصاص دادن قسمت عمده افت مجاز به لترال‌ها توصیه شده، ولی تاکنون معیار علمی و دقیقی جهت تعیین چگونگی تخصیص این افت بین مانیفلد و لترال‌ها جهت به حداقل رساندن هزینه‌های طراحی این سیستم تدوین نشده است. در این مطالعه، با در نظر گرفتن شرایط رایج طراحی این نوع سیستم آبیاری در ایران و هم‌چنین رعایت اصول هیدرولیکی، یک آنالیز طراحی جهت بهینه‌سازی سیستم براساس مقدار افت مجاز اختصاص یافته به مانیفلد و لترال‌ها انجام شد، به گونه‌ای که سیستم بیشترین سطح ممکن را با صرف کمترین وزن لوله آبیاری کند. تیمارهای طراحی در این تحقیق شامل ۱۳ شیب متمایز برای لترال و مانیفلد ( بین ۱۰٪ تا ۱۰-٪) و هم‌چنین افت فشار مجاز اختصاصی به مانیفلد شامل ۲/۵، ۵، ۷/۵، ۱۰، ۱۲/۵، ۱۵ و ۱۷/۵ درصد بودند. به این ترتیب، با انجام طراحی‌های لازم توسط یک برنامه کامپیوتری، قطر و طول لوله‌های مانیفلد و لترال، وزن لوله‌های پلی‌اتیلن مورد نیاز و هم‌چنین سطح زیر کشت ممکن برای هر ترکیب برآورد گردید. در کلیه طراحی‌های صورت گرفته، نسبت وزن لوله مصرفی به مساحت آبیاری شده به عنوان معیار تشخیص بهترین درصد افت اختصاصی به لترال‌ها و مانیفلد در نظرگرفته شد. به طور کلی، نتایج نشان داد که درصد افت فشار مجاز اختصاص داده شده به مانیفلد و لترال‌ها در یک زیرواحد آبیاری تأثیر زیادی بر هزینه‌های سیستم دارد و مقدار درصد افت مجاز بهینه مانیفلد تابعی از شیب مانیفلد و شیب لترال‌هاست.**

**واژه‌های کلیدی: آبیاری تحت فشار، سیستم کلاسیک ثابت، لترال، مانیفلد، افت اصطکاکی مجاز**

۱. به ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی‌ارشد، استادیار و دانشجوی سابق کارشناسی مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: gheysari@cc.iut.ac.ir



www.SID.ir

**مقدمه**

یک سیستم آبیاری بارانی با طراحی ضعیف حتی اگر خوب مدیریت شود ضمن کاهش راندمان آبیاری و محصول، سبب ایجاد هزینه‌های اضافی برای زارع می‌شود (۱۰). از عوامل مهم و تأثیرگذار بر راندمان آبیاری بارانی، یکنواختی توزیع آب در مزرعه می‌باشد. یکنواختی توزیع آب در مزرعه تحت تأثیر تغییرات فشار در یک زیرواحد آبیاری است. به طوری که افزایش دامنه تغییرات فشار در یک زیرواحد آبیاری سبب کاهش یکنواختی توزیع و به دنبال آن کاهش راندمان آبیاری خواهد شد. به عنوان یک قانون کلی، حداکثر اختلاف فشار مجاز در یک زیرواحد آبیاری را برابر با ۲۰ درصد فشار کارکرد آبپاش با فشار متوسط تعریف نموده‌اند (۱۵). به تعبیر دیگر، ۲۰ درصد اختلاف فشار در زیرواحدهای آبیاری سبب ایجاد ۱۰ درصد اختلاف دبی بین دو آبپاش بحرانی می‌شود (۳). در سیستم‌های آبیاری بارانی با لوله‌های چرخدار(Wheel- move)، عقربه‌ای(Center pivot) و خطی (Linear- move) به دلیل نصب تمام آبپاش‌ها روی یک لوله عموماً تمام ۲۰ درصد اختلاف فشار مجاز به لترال اختصاص داده می‌شود. این در حالی است که در سیستم آبیاری بارانی کلاسیک ثابت- آبپاش متحرک در هر زیر واحد چندین لترال به صورت هم‌زمان از مانیفلد آبگیری می‌نمایند و این امر سبب می‌شود مقداری از ۲۰ درصد اختلاف فشار مجاز به لترال‌ها و بقیه به مانیفلد اختصاص داده شود. با توجه به اجرای این سیستم آبیاری در زمین‌های شیب‌دار ضروری است این ۲۰ درصد اختلاف فشار مجاز به گونه‌ای بین لترال‌ها و مانیفلد تقسیم شود که حداکثر سطح ممکن با صرف کمترین وزن لوله آبیاری شود.

در حال حاضر، سیستم‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت- آبپاش متحرک در سطح وسیعی در ایران توسعه یافته‌اند. در طراحی‌های صورت گرفته، لوله‌های نیمه اصلی و لترال‌های آبیاری بارانی از جنس پلی‌اتیلن بوده و در عمق ۶۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متری از سطح زمین نصب می‌شوند. این لوله‌ها جزء مهمی از سیستم آبیاری بارانی محسوب شده و طراحی صحیح آنها از لحاظ یکنواختی توزیع آب در مزرعه دارای اهمیت زیادی است (۱). به طور معمول، فاصله لترال‌ها ۲۵ متر بوده که براساس شرایط جوی منطقه (سرعت باد، دمای هوا، بافت خاک) تا حدودی تغییر می‌کند. برای آبگیری از لترال‌ها از کمربند، رایزر و شیر خودکار استفاده می‌شود که عموماً به فاصله ۲۵ متری روی لترال نصب می‌شوند. آبپاش‌های مورد استفاده در این سیستم دارای فشار کار متوسط بین ۴ تا ۵ اتمسفر بوده و دبی خروجی آنها بین ۲/۵ الی ۳/۵ لیتر در ثانیه است. در این سیستم آبیاری تنها یک آبپاش روی هر لترال نصب می‌شود. ولی تعداد لترال‌هایی که هم‌زمان آبگیری می‌نمایند تابع ظرفیت سیستم و سطح اراضی است.

جهت انجام طراحی و یا به روز کردن سیستم آبیاری، یکی از چالش‌های مهمی که طراحان همواره با آن مواجه هستند انتخاب قطر و طول لوله‌های نصب شده در زیرواحدهاست. کلر و بلیسنر (۱۵) گزارش کردند که اگر چه انتخاب اقتصادی قطر لوله‌ها یک تصمیم مهم مهندسی است ولی اغلب در طراحی‌های ساده سیستم‌های آبیاری از آن چشم‌پوشی می‌شود. اکثر طراحان انتخاب اقتصادی قطر لوله‌ها را امری وقت‌گیر، محدودکننده و پیچیده می‌دانند و برای طراحی بهینه از سرعت مجاز آب و یا یک میزان افت اصطکاکی استفاده می‌کنند. طراحی سیستم آبیاری بارانی به گونه‌ای که با کمترین هزینه‌ها آبیاری را انجام دهد همواره مورد توجه بوده است (۱۶). برای بهینه‌سازی سیستم آبیاری از نظر اقتصادی، کلر (۱۴) روشی گرافیکی ارائه نمود که با استفاده از آن می‌توان بهینه‌ترین قطر را برای لوله‌ای که بین هر دو خروجی متوالی قرار گرفته است انتخاب نمود. از آنجا که استفاده از روش گرافیکی خسته‌کننده و وقت‌گیر می‌باشد، محققین زیادی استفاده از مدل‌های خطی (Linear Programming) و روش‌های بهینه‌سازی (Optimization) را برای طراحی بهینه و اقتصادی سیستم‌های آبیاری تحت فشار مد نظر قرار داده‌اند (۴، ۷، ۹، ۱۲، ۲۲، ۲۳، ۲۴، ۲۷، ۲۸، ۲۹ و ۳۰). منظور از مدل‌های خطی الگوریتم‌هایی هستند که توسط آنها میزان افت اصطکاکی و هزینه لازم برای خرید لوله بین هر دو خروجی متوالی محاسبه و در



www.SID.ir

نهایت بهینه‌ترین قطر برای هرلوله به عنوان خروجی به دست می‌آید. در روش‌های بهینه‌سازی، استفاده از روابط تحلیلی یا گرافیکی مد نظر است. کارملی (۱۳) و میز و تانگ (۱۹) بر استفاده از مدل‌های خطی به جای روش‌های بهینه‌سازی تأکید نمودند زیرا این گونه مدل‌ها گزینه‌های بیشتری را برای طراحی بهینه و اقتصادی زیرواحدها در اختیار طراح قرار می‌دهند.

ارزیابی اقتصادی سیستم‌های آبیاری تحت فشار تنها به استفاده از روش‌های بالا محدود نمی‌شود. بسیاری از محققین با شبیه‌سازی شرایط خاص منطقه مورد مطالعه خود و استفاده از پارامترهای رایج طراحی سیستم آبیاری، به تحلیل اقتصادی سیستم پرداخته‌اند. لامن و همکاران (۱۷) و بوزکورت و همکاران (۶) با توجه به میزان محصول‌دهی گیاه ذرت، فاصله مطلوب لترال‌های آبیاری قطره‌ای را به ترتیب در مناطقی از اسپانیا و ترکیه به دست آوردند. بوردوسکی و همکاران (۵) یک آنالیز اقتصادی جهت انتخاب یکی از دو سیستم عقربه‌ای لپا و آبیاری زیرسطحی در تگزاس انجام دادند. آنها در مطالعات خود صرف کمترین انرژی و میزان درآمد سالانه را مورد توجه قرار دادند. مارتینز و همکاران (۱۸) با اعمال پارامترهای مختلف طراحی برای آبیاری ذرت (در اسپانیا) توسط سیستم آبیاری بارانی با آبپاش‌های متحرک، به تعیین درجه اهمیت هر کدام از عوامل مؤثر در ایجاد هزینه‌های سیستم پرداختند. آنها نشان دادند مهم‌ترین عامل مؤثر در ایجاد هزینه در این نوع سیستم آبیاری در درجه اول فاصله بین آبپاش‌ها و سپس تعداد لترال‌ها و تعداد آبپاش‌های قرار گرفته روی لترال است. انسیزو و همکاران (۸) عمق و فاصله مطلوب و اقتصادی لترال‌ها را برای گیاه پنبه با توجه به میزان محصول دهی و درآمد سالانه در منطقه تگزاس به دست آوردند. رومرو و همکاران (۲۵)، با درنظر گرفتن قیمت یک مترمکعب آب مصرفی در واحد سطح برای سیستم آبیاری کلاسیک با آبپاش متحرک به تحلیل اقتصادی این سیستم در منطقه‌ای از ونزوئلا پرداختند و فاصله مناسب بین لترال‌ها، تعداد بهینه آبپاش‌ها و هم‌چنین جنس بهینه لوله‌ها را پیشنهاد نمودند. با توجه به دامنه وسیع کاربرد سیستم آبیاری بارانی کلاسیک ثابت- آبپاش متحرک در کشور، تاکنون هیچ معیار طراحی جهت تفکیک افت مجاز اصطکاک در یک زیرواحد آبیاری بین لترال و مانیفلد با لحاظ نمودن بحث طراحی اقتصادی پیشنهاد نشده است. بنابراین هدف از انجام این تحقیق، تعیین چگونگی تخصیص درصد افت مجاز اصطکاکی یک زیرواحد آبیاری بین لترال و مانیفلد در سیستم آبیاری بارانی کلاسیک ثابت- آبپاش متحرک به منظور به حداقل رساندن نسبت هزینه در واحد سطح در شیب‌های مختلف لترال و مانیفلد است.

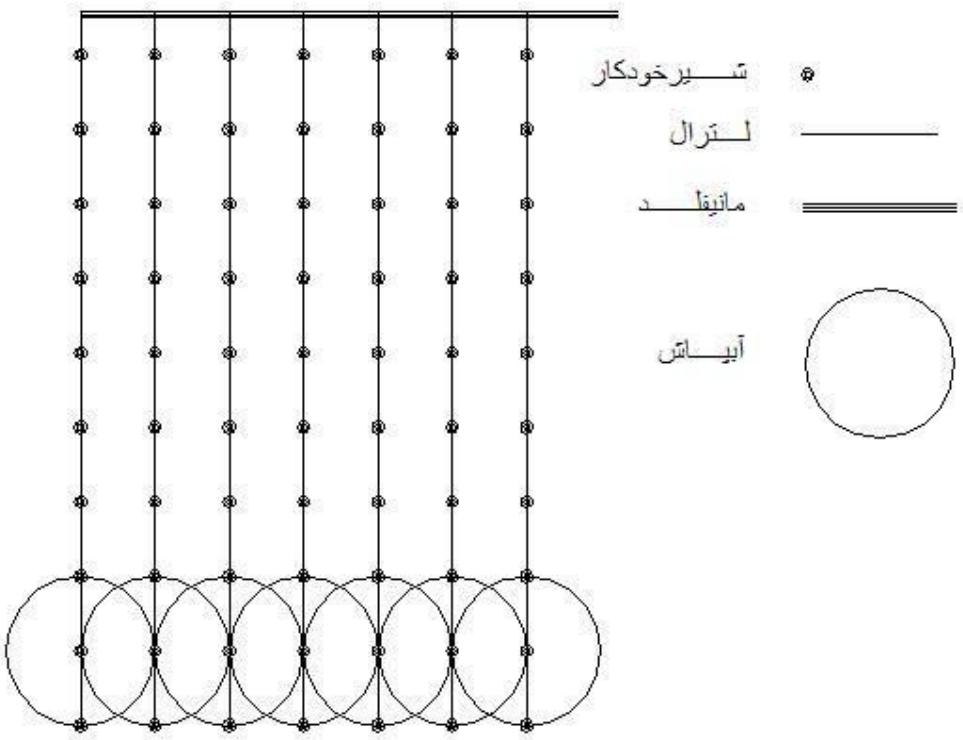
## مواد و روش‌ها

برای انجام این تحقیق یک مزرعه بدون محدودیت طول و عرض با فرض سناریوهای مختلف طراحی در نظر گرفته شد. تیمارهای به کار گرفته شده در این مطالعه شامل شیب‌های مختلف عرضی و طولی مزرعه (به ترتیب برای لترال‌ها و مانیفلد) و هم‌چنین افت تخصیص داده شده به مانیفلد شامل ۲/۵، ۷/۵، ۱۰، ۱۲/۵، ۱۵ و ۱۷/۵ درصد فشار کار آبپاش متوسط بود. با توجه به کاربرد وسیع سیستم آبیاری بارانی کلاسیک ثابت- آبپاش متحرک در انواع توپوگرافی‌ها، ۱۳ شیب مختلف شامل صفر، ±۰/۱ ، ±۰/۵ ، ±۱ ، ±۲/۵ ، ±۵ و ±۱۰ درصد برای لترال‌ها و مانیفلدها در نظر گرفته شد. برای انجام طراحی از آرایش متداول سیستم‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت- آبپاش متحرک که در کشور اجرا می‌شود استفاده گردید (شکل ۱) که مشخصات آن در جدول ۱ آمده است. بنابراین، با توجه به تیمارهای ذکر شده، هر ترکیب طراحی شامل شیب‌های مشخص برای لترال و مانیفلد و درصد افت مجاز اختصاصی به مانیفلد است. به منظور اعمال یک دستورالعمل یکسان برای طراحی مزرعه در شیب‌های مختلف و امکان مقایسه نتایج با یکدیگر، در این مطالعه یک سری استانداردهای داخلی نیز در نظر گرفته شد که مشخصات آن در جدول ۲ ارائه شده است. علت درنظرگرفتن حداقل سرعت برای جلوگیری از ایجاد رسوب و حداکثر سرعت برای جلوگیری از افزایش بیش



Archive of SID

www.SID.ir




**شکل۱. آرایش کلی سیستم کلاسیک ثابت- آبپاش متحرک**

**جدول۱. مشخصات آرایش مرسوم سیستم آبیاری بارانی کلاسیک ثابت- آبپاش متحرک در ایران (مشاوره با طراحان)**

| نوع سیستم | بارانی کلاسیک ثابت- آبپاش متحرک |
|---|---|
| نوع آبپاش | VYR 155 |
| دبی آبپاش ($q$) | ۲/۸ لیتر بر ثانیه |
| فشار کاری آبپاش ($p_a$) | ۴۰ متر |
| آرایش شبکه | ۲۵ متر × ۲۵ متر |
| قطرهای مورد استفاده برای لترال ($D_l$) | ۶۳ و ۷۵ میلی‌متر |
| قطرهای مورد استفاده برای مانیفلد ($D_m$) | ۹۰، ۱۱۰، ۱۲۵، ۱۶۰، ۲۰۰ و ۲۵۰ میلی‌متر |
| دبی لترال‌ها تابت و برابر با دبی آبپاش | $q$ |
| دبی مانیفلد در ۲۵ متر اول از انتهای لوله مانیفلد | $q$ |
| دبی مانیفلد در ۲۵ متر دوم از انتهای لوله مانیفلد | 2q |
| دبی مانیفلد در ۲۵ متر $n$ام از انتهای لوله مانیفلد | $N$q |

Archive



www.SID.ir

**جدول۲. استانداردهای داخلی مورد استفاده در انجام تحقیق**

| پارامتر طراحی | استاندارد مورد استفاده |
|---|---|
| سرعت مجاز آب در لترال و مانیفلد | $0/5 \le V \le 1/8 m/s$ |
| طول لترال | $L_l \le 400m$ |
| قطر اسمی مانیفلد | $90mm \le D_m \le 250mm$ |
| گرادیان افت مجاز در۱۰۰ متر از طول مانیفلد | $J_{100} \le 1/52m$ |
| اختلاف فشار مجاز در زیر واحد آبیاری | $H_f \le 0/2P_a$ |

از حد میزان افت اصطکاکی است (۳۳). از طرفی، برای لوله لترال نیز محدودیت طولی در نظر گرفته شد چرا که در شیب‌های سرپائینی طول مجاز لوله به اعداد بزرگ‌تر از ۱۰۰۰ متر میل می‌کند که از نظر بهره‌برداری غیرممکن می‌باشد (مشاوره با طراحان و مجریان). در مورد لوله مانیفلد، کاربرد لوله با قطر بزرگ‌تر از ۲۵۰ میلی‌متر ($D_m \ge 250mm$) سبب افزایش زیاد وزن لوله در واحد طول می‌شود که مقرون به صرفه نبوده و هم‌چنین آبگیری از آن مشکلاتی را از نظر اجرایی به همراه دارد (مشاوره با طراحان و مجریان). در مورد لوله مانیفلد هم‌چنین باید گفت که اگر طراحی آن فقط براساس سرعت مجاز انجام شود، به دلیل وسیع بودن بازه سرعت مجاز ممکن است گرادیان افت اصطکاکی بسیار زیاد و یا بسیار کم شود. بنابراین در این تحقیق یک معیار کنترلی به نام گرادیان افت مجاز ( $J_{100}$ ) تعریف شد تا حد ممکن شرایط طراحی برای تمام آرایش‌ها یکسان‌سازی شود.

کاله و همکاران (۱۱) نشان دادند که هزینه عمده طراحی زیرواحدها به قیمت لوله‌هایی که به عنوان لترال یا مانیفلد از آنها استفاده می‌شود بستگی دارد بنابراین می‌توان گفت سیستم آبیاری زمانی از لحاظ اقتصادی بهینه خواهد بود که نسبت وزن کل لوله های مصرفی($W_{Tot}$) به سطح آبیاری تحت پوشش سیستم ($A_0$) حداقل باشد. زمانی که لوله مانیفلد دارای شیب زیادی باشد یکی از گزینه‌های طراحی استفاده از چندین قطر در طول لوله است (۲۶)؛ از این رو در این تحقیق مانیفلدها اغلب به صورت چند قطری طراحی شدند. به علت کثرت زیاد تعداد ترکیبات طراحی، یک برنامه کامپیوتری در محیط نرم‌افزار *Visual Basic* نوشته شد که الگوریتم‌های مربوط به برنامه در شکل‌های ۲ و ۳ ارائه شده است. افت ناشی از اصطکاک در همه الگوریتم‌ها با استفاده از فرمول هیزن ویلیامز محاسبه شد که در سیستم بین المللی *SI* به صورت زیر نوشته می‌شود (۲۰):

$$H_f = 10/672 \times \left(\frac{Q}{C_{HW}}\right)^{1/852} \times L \times d^{-4/871} \qquad [۱]$$

که در اینجا، $H_f$ افت اصطکاکی (متر)، $Q$ دبی ورودی لوله (مترمکعب بر ثانیه)، $C_{HW}$ ضریب هیزن ویلیامز برای لوله و $L$ و $d$ به ترتیب طول و قطر داخلی لوله (متر) می‌باشند. با توجه به این‌که در سیستم آبیاری بارانی کلاسیک با آبپاش متحرک، لوله‌ها از جنس پلی‌اتیلن هستند، ضریب هیزن ویلیامز همواره برابر ۱۴۰ در نظر گرفته شد (۱۵). سرعت متوسط جریان با استفاده از معادله پیوستگی محاسبه گردید (۲۱):

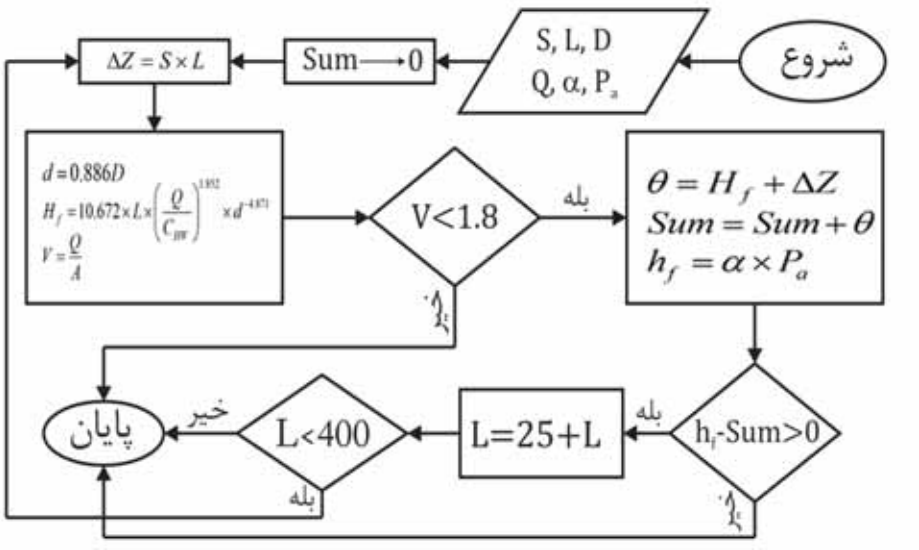
$$V = \frac{Q}{A} \qquad [۲]$$

که در اینجا $V$ سرعت متوسط آب در لوله (متر بر ثانیه) و $A$ سطح مقطع عمود بر جهت حرکت آب در لوله (مترمربع) می‌باشد ( $A = \pi \frac{d^2}{4}$ ). دیگر پارامترهای مورد استفاده در فلوچارت‌های ارائه شده در شکل‌های ۲ و۳ عبارت‌اند از قطر



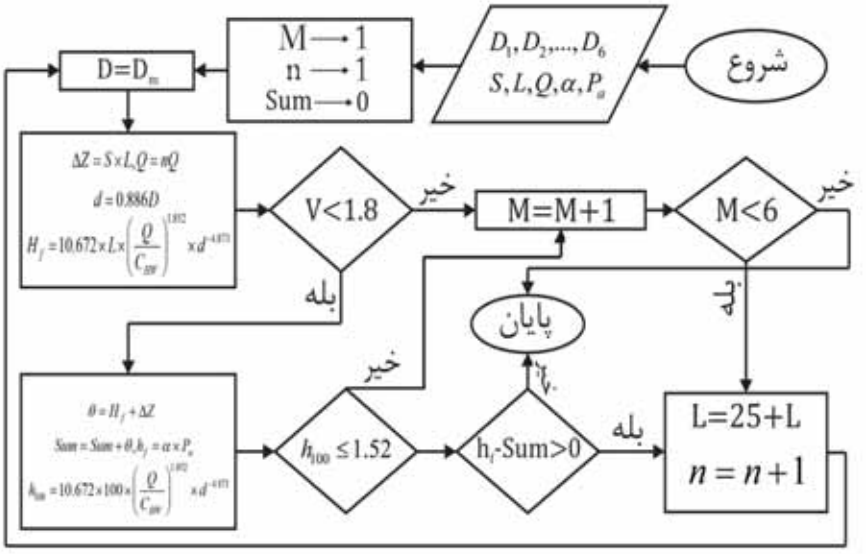
Archive of SID

www.SID.ir




**شکل۲. الگوریتم طراحی لترال تک قطری**

L : طول لترال، S : شیب لترال، d و D : به ترتیب قطرهای داخلی و خارجی لترال، Q : دبی ورودی به لترال، A : سطح مقطع عمود بر جهت حرکت آب، $H_f$ افت اصطکاکی ایجاد شده برای ۲۵ متر از طول لوله، $h_f$ افت اصطکاکی مجاز ، $P_a$ : فشار کاری آبپاش، V سرعت جریان آب در لوله، α : درصد افت مجاز اختصاصی به لترال، $C_{HW}$ : ضریب افت هیزن ویلیامز و ΔZ : اختلاف ارتفاع ایجاد شده در اثر شیب لوله برای ۲۵ متر از طول آن می‌باشند.




**شکل۳. الگوریتم طراحی لوله مانیفلد**

L : طول مانیفلد، S : شیب مانیفلد، d و D : به ترتیب قطرهای داخلی و خارجی مانیفلد، Q : دبی ورودی به مانیفلد، A : سطح مقطع عمود بر جهت حرکت آب، $H_f$ : افت اصطکاکی ایجاد شده برای ۲۵ متر از طول لوله، $h_f$ : افت اصطکاکی مجاز، $P_a$ : فشار کاری آبپاش، V : سرعت جریان آب در لوله، α : درصد افت مجاز اختصاصی به مانیفلد، $C_{HW}$ : ضریب افت هیزن ویلیامز ، ΔZ : اختلاف ارتفاع ایجاد شده در اثر شیب مانیفلد برای ۲۵ متر از طول آن، $h_{100}$ : گرادیان افت مجاز در صد متر از طول مانیفلد، $n$ : تعداد لترال‌ها و M : عددی صحیح که نمایانگر سایز لوله مانیفلد است.



www.SID.ir

خارجی (اسمی) لوله ($D$)، افت اصطکاکی ایجاد شده برای ۲۵ متر از طول لوله (مانیفلد یا لترال) با قطر مشخص ($h_f$)، شیب لوله (S)، تغییرات رقوم ارتفاعی لوله در طول ۲۵ متر ($\Delta Z$)، عددی صحیح که نمایانگر سایز لوله مانیفلد است ($M$) به‌طوری‌که $M$ برابر با ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ به ترتیب بیانگر لوله مانیفلد با قطر ۹۰، ۱۱۰، ۱۲۵، ۱۶۰، ۲۰۰ و ۲۵۰ میلی‌متر می‌باشد. پارامتر $\alpha$ نیز بیانگر بخشی از افت فشار مجاز است که به مانیفلد یا لترال اختصاص یافته است. خروجی نهایی برنامه کامپیوتری طول لوله مانیفلد و لترال، قطرهای مورد استفاده و در نهایت نسبت وزن لوله مصرفی به سطح آبیاری برای هر ترکیب بود که در ادامه به تشریح آن پرداخته خواهد شد.

## آنالیز مسئله

### تعیین بهترین شاخص اقتصادی

از نقطه نظر اقتصادی، بهترین ساختار برای طراحی ترکیبی است که با مصرف کمترین وزن لوله پلی‌اتیلن بیشترین سطح را تحت پوشش خود قرار دهد. به منظور محاسبه وزن لوله مصرفی برای هر ترکیب، وزن کل لوله‌ها (لترال‌ها و مانیفلدها) برای هر زیر واحد به طور جداگانه محاسبه و سپس با هم جمع شدند. بدین منظور وزن کل لوله مصرفی برای هر زیرواحد به شکل زیر محاسبه گردید:

### الف) محاسبه وزن کل لوله مانیفلد

همان طور که در قسمت مقدمه بیان شد، برای طراحی اقتصادی مانیفلد از ترکیب چندین قطر لوله با طول‌های متفاوت استفاده شد. برای محاسبه وزن کل لوله مانیفلد رابطه زیر مورد استفاده قرار گرفت:

$$W_{Tot.m} = \sum_{D_i=90}^{250} L_{D_i} \times W_{Un.D_i} \qquad [۳]$$

که در اینجا $L_{D_i}$ طول قسمتی از لوله مانیفلد با قطر معلوم $D_i$ (متر)، $W_{Un.D_i}$ وزن یک متر از لوله مانیفلد با قطر مشخص $D_i$ (کیلوگرم بر متر) و $W_{Tot.m}$ وزن کل لوله مانیفلد برحسب کیلوگرم می‌باشد.

### ب)محاسبه وزن کل لوله لترال

جهت تعیین وزن کل لوله مصرفی برای لترال‌ها ابتدا تعداد آنها برای هر ترکیب به شرح زیر محاسبه شد:

$$N_1 = \frac{L_m}{25} + 1 \qquad [۴]$$

که در اینجا $N_l$ تعداد کل لترال‌های به کار رفته و $L_m$ طول کل لوله مانیفلد (متر) می‌باشد. علت استفاده از عدد ۲۵ در معادله ۴ قرارگیری لترال‌ها به فاصله ثابت ۲۵ متری روی مانیفلد و علت اضافه نمودن عدد ۱ به عبارت کسری آن است که در ابتدای لوله مانیفلد نیز یک لترال نصب می‌گردد (شکل ۱). برای محاسبه وزن کل لوله مصرف شده برای لترال‌ها، تعداد آنها در وزن یک لوله لترال ضرب گردید. به طور منطقی، وزن یک لترال (یک یا دو قطری) برابر است با:

$$W_1 = L_{63} \times W_{Un.63} + L_{75} \times W_{Un.75} \qquad [۵]$$

که در اینجا $L_{۶۳}$ و $L_{۷۵}$ به ترتیب طول کل لوله لترال با قطرهای اسمی ۶۳ و ۷۵ میلی‌متر (متر)، $W_{Un.۶۳}$ و $W_{Un.۷۵}$ وزن یک متر از لوله لترال برای قطرهای ۶۳ و ۷۵ میلی‌متر (کیلوگرم بر متر) و $W_l$ وزن کل لوله مصرفی برای یک لترال (کیلوگرم) می‌باشد. لازم به ذکر است اگر $L_l$ را برابر طول کل یک لترال درنظر بگیریم همواره عبارت $L_l = L_{63}+L_{75}$ برقرار است. پس از محاسبه وزن کل یک لوله لترال، وزن کل لوله‌های این زیرواحد به روش زیر محاسبه شد:

$$W_{Tot.1} = N_1 \times W_1 \qquad [۶]$$

به طوری که $W_{Tot.1}$ وزن کل لوله‌های مصرفی برای لترال‌ها در یک زیر واحد آبیاری برحسب کیلوگرم است. در نهایت شاخص وزن به سطح برای هر ترکیب از رابطه زیر محاسبه شد:

$$\frac{W_{Tot}}{A_0} = \frac{W_{Tot.1} + W_{Tot.m}}{L_1 \times L_m} \qquad [۷]$$

جهت کنترل دقت و صحت محاسبات صورت گرفته، تعداد



Archive of SID

www.SID.ir

۴۰۰ ترکیب طراحی مختلف به صورت تصادفی از بین کل ترکیبات انتخاب گردید و کلیه محاسبات انجام گرفته توسط برنامه کامپیوتری با استفاده از نرم‌افزار Excel برای آنها تکرار و نتایج به دست آمده با نتایج قبلی مقایسه گردید. این مقایسه نشان داد خروجی‌های برنامه کامپیوتری بدون خطا هستند.

## نتایج و بحث

پس از اجرای مدل و انجام تجزیه و تحلیل‌های اقتصادی، جداولی مانند جدول ۳ برای هر ترکیب طراحی شامل شیب مشخص مانیفلد، شیب‌های مختلف لترال و هم‌چنین درصد افت مجاز اختصاصی به مانیفلد (یا لترال) به دست آمد. در سطر اول و ستون اول جدول ۳ مقدار ۵۵۱/۹ عبارت است از «نسبت وزن لوله مصرفی در یک زیر واحد آبیاری به سطح زیر واحد آبیاری (کیلوگرم در هکتار) » و عدد ۰/۷۵ بیانگر «سطح تحت پوشش زیر واحد آبیاری (هکتار)» برای شرایطی که، شیب لترال ۱۰-٪ و افت اختصاص داده شده به مانیفلد ($\Delta H_m$) ۲/۵ درصد فشار کار آبپاش متوسط است، می‌باشد. هم‌چنین جدول ۳ به عنوان یک نمونه نشان می‌دهد اگر شیب لوله مانیفلد برابر ۱٪ و شیب لوله لترال برابر ۰/۵٪ باشد، سیستم آبیاری زمانی از نظر طراحی بهینه است که ۲/۵٪ از ۲۰ درصد افت مجاز زیرواحد آبیاری به مانیفلد و مابقی آن (۱۷/۵٪) به لترال اختصاص یابد. همان‌طور که گفته شد یازده جدول مشابه جدول ۳ برای شیب‌های مانیفلد ۵-، ۲/۵-، ۱-، ۰/۵-، ۰/۱-، ۰، ۰/۱، ۰/۵، ۱، ۲/۵، ۵ و ۱۰٪ تهیه گردید که به دلیل تعداد زیاد آنها در این مقاله تنها به ذکر یک نمونه اکتفا شد ولی نتایج نهایی آنها به ترتیب در شکل‌های ۴*a* تا ۴*l* ارائه شده است. به طور کلی می‌توان گفت به ازاء یک شیب مشخص برای مانیفلد، در حالتی که شیب لوله لترال زیاد باشد (بین ۲/۵ تا ۱۰ درصد)، مقدار افت مجاز اختصاصی به آن با طول کوچکی از لوله جبران می‌شود که این امر به نوبه خود سبب کاهش مساحت تحت پوشش می‌گردد (جدول ۳). این در حالی است که با توجه به کاهش طول لترال، میزان وزن آن نیز کاهش می‌یابد اما از آنجا که شدت کاهش مساحت تحت پوشش بیشتر از شدت کاهش وزن لوله‌ها می‌باشد (به علت متناسب بودن مساحت با توان ۲ تغییرات طول)، این امر سبب می‌شود در این حالات نسبت وزن لوله مصرفی در واحد هکتار بیشتر از حالات دیگر باشد. لازم به ذکر است که تأثیر شیب زیاد لترال بر کوچک نمودن طول لوله لترال آنقدر زیاد است که حتی شیب بسیار کم مانیفلد و درصد افت مجاز اختصاصی زیاد به مانیفلد تنها می‌تواند بخشی از کاهش مساحت تحت آبیاری را جبران نماید.

شکل ۴*c* نشان می‌دهد هنگامی که لوله مانیفلد دارای شیب ۱٪ بوده و بر روی سراشیبی قرار گیرد، اقتصادی‌ترین حالت طراحی مستقل از شیب لوله لترال بوده و همواره باید ۲/۵٪ از افت فشار مجاز را به مانیفلد اختصاص داد. از آنجا که شکل‌های ارائه شده روند منظمی را برای تغییرات میزان افت مجاز اختصاصی به مانیفلد برحسب تغییرات شیب آن نشان نمی‌دهند، بنابراین برای هر شیب لترال و مانیفلد باید معیار مستقلی برای طراحی به کار برد که این مسئله سبب وقت‌گیر شدن و هزینه بر شدن طراحی می شود. این نتایج از طرفی تأییدی بر یافته‌های کلر و بلیسنر (۱۵) است که گزارش نمودند انتخاب اقتصادی قطر لوله‌ها امری وقت‌گیر، محدودکننده و پیچیده است. در این تحقیق اگرچه معیار واحدی برای تخصیص بهینه افت فشار مجاز بین مانیفلد و لترال در شیب‌های مختلف به دست نیامد اما نتایج این مطالعه معیارهای قابل تأملی برای طراحی ارائه می‌کنند. به عنوان یک نمونه، در صورتی که لترال و مانیفلد هر دو بر روی سراشیبی قرار گرفته و شیب آنها برابر ۱-٪ باشد، لازم است تا برای دست‌یابی به بهترین راندمان آبیاری و حداقل مصرف وزنی لوله، تنها ۲/۵ ٪ افت مجاز به مانیفلد اختصاص یابد. برای این مثال طراحی، کل طول لترال برابر ۴۰۰ متر و قطر به کار رفته برای آن برابر ۶۳ میلی‌متر به دست آمد. هم‌چنین، کل طول لوله مانیفلد برابر ۶۲۵ متر محاسبه گردید به نحوی که سهم لوله‌های با قطر ۹۰، ۱۱۰، ۱۲۵، ۱۶۰، ۲۰۰ و ۲۵۰ میلی‌متری به ترتیب برابر ۲۵، ۵۰ و ۲۵، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۷۵ متر بود. این در حالیست که با حفظ



www.SID.ir

**جدول۳. بررسی حالات بهینه ترکیبات با شیب مانیفلد ۱٪ و شیب‌های متغیر لترال**

| شیب مانیفلد ۱٪ | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| شیب لترال | | | | | | | | | | | | | | |
| $\Delta H_M$ | $\Delta H_L$ | -۱۰ | -۵ | -۲/۵ | -۱ | -۰/۵ | -۰/۱ | ۰ | ۰/۱ | ۰/۵ | ۱ | ۲/۵ | ۵ | ۱۰ |
| (%) | (%) | | | | | | | | | | | | | |
| ۲/۵ | ۱۷/۵ | ۵۵۱/۹×<br>۰/۷۵×× | ۴۱۶/۳<br>۲/۸۱ | ۴۱۳/۲<br>۳ | ۴۱۳/۲<br>۳ | ۴۲۳/۹<br>۲/۴۴ | ۴۳۴/۲<br>۲/۰۶ | ۴۳۴/۲<br>۲/۰۶ | ۴۳۴/۲<br>۲/۰۶ | ۴۴۹/۲<br>۱/۶۹ | ۴۵۹/۴<br>۱/۵ | ۴۹۰/۳<br>۱/۱۳ | ۵۵۱/۹<br>۰/۷۵ | ۷۱۶<br>۰/۵۶ |
| ۵ | ۱۵ | ۵۸۱/۴<br>۱/۲۵ | ۴۰۷/۵<br>۴/۰۶ | ۳۹۳<br>۵ | ۴۰۲<br>۴/۳۸ | ۴۳۱/۶<br>۳/۴۴ | ۴۰۳/۷<br>۳/۱۳ | ۴۴۱/۹<br>۲/۸۱ | ۴۴۱/۹<br>۲/۸۱ | ۴۵۵/۸<br>۲/۵ | ۴۷۳/۸<br>۲/۱۹ | ۵۳۱/۲<br>۱/۵۶ | ۶۵۰/۶<br>۱/۲۵ | ۸۳۲/۶<br>۰/۶۳ |
| ۷/۵ | ۱۲/۵ | ۷۱۹/۵<br>۱/۳۱ | ۴۲۵<br>۴/۸۱ | ۳۹۰/۴<br>۷ | ۴۱۵/۸<br>۵/۲۵ | ۴۴۹/۵<br>۳/۹۴ | ۴۶۶/۴<br>۳/۵ | ۴۶۶/۴<br>۳/۵ | ۴۶۶/۴<br>۳/۵ | ۴۸۸/۱<br>۳/۰۶ | ۵۱۷<br>۲/۶۳ | ۶۱۸/۲<br>۱/۷۵ | ۷۱۹/۵<br>۱/۳۱ | ۹۲۱/۹<br>۰/۸۸ |
| ۱۰ | ۱۰ | ۷۸۵/۸<br>۱/۶۹ | ۴۸۵/۸<br>۴/۵ | ۳۹۵/۸<br>۹ | ۴۴۹/۸<br>۵/۶۳ | ۴۸۵/۸<br>۴/۵ | ۵۲۹/۸<br>۸/۴۴ | ۵۲۹/۸<br>۸/۴۴ | ۵۳۶/۶<br>۷/۸۸ | ۵۷۷/۸<br>۵/۶۳ | ۵۷۷/۸<br>۵/۶۳ | ۷۲۱/۸<br>۲/۲۸ | ۹۱۳/۸<br>۱/۶۹ | ۱۱۵۳/۸<br>۱/۱۳ |
| ۱۲/۵ | ۷/۵ | ۱۱۷۷/۶<br>۱/۵ | ۵۹۱/۳<br>۴/۵ | ۴۰۸/۱<br>۱۲ | ۴۸۶/۱<br>۱۲ | ۵۲۵/۱<br>۱۲ | ۵۶۹/۵<br>۹ | ۵۸۲/۸<br>۸/۲۵ | ۵۹۸/۸<br>۷/۵ | ۶۴۳/۵<br>۶ | ۷۱۶/۱<br>۴/۵ | ۸۶۲/۷<br>۳ | ۱۱۷۷/۶<br>۱/۵ | ۲۰۵۷/۱<br>۰/۷۵ |
| ۱۵ | ۵ | ۲۱۹۰/۶<br>۰/۸۸ | ۷۶۸/۸<br>۳/۵ | ۴۱۳/۳<br>۱۴ | ۵۱۳/۶<br>۱۴ | ۵۷۶/۳<br>۱۰/۵ | ۶۵۵/۳<br>۷ | ۶۸۹/۱<br>۶/۱۳ | ۷۳۴/۲<br>۵/۲۵ | ۷۹۷/۴<br>۴/۳۸ | ۸۹۲/۲<br>۳/۵ | ۱۲۴۲/۷<br>۱/۷۵ | ۲۱۹۰/۶<br>۰/۸۸ | ۲۱۹۰/۶<br>۰/۸۸ |
| ۱۷/۵ | ۲/۵ | ۲۴۸۱/۲<br>۱ | ۱۳۸۶/۸<br>۲ | ۴۷۴/۸<br>۱۲ | ۵۵۱/۶<br>۱۶ | ۷۷۹/۶<br>۶ | ۹۶۲<br>۴ | ۹۶۲<br>۴ | ۱۱۴۴/۴<br>۳ | ۱۱۴۴/۴<br>۳ | ۱۵۰۹/۲<br>۲ | ۲۴۸۱/۲<br>۱ | ۲۴۸۱/۲<br>۱ | –<br>– |

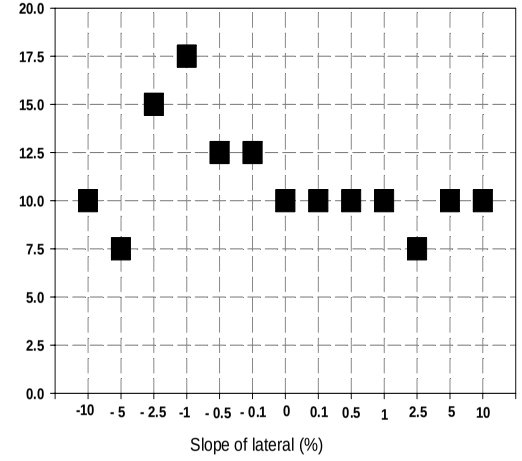
*: نسبت وزن لوله مصرفی به مساحت تحت پوشش آبیاری (کیلوگرم بر هکتار) **: مساحت تحت پوشش آبیاری (هکتار)



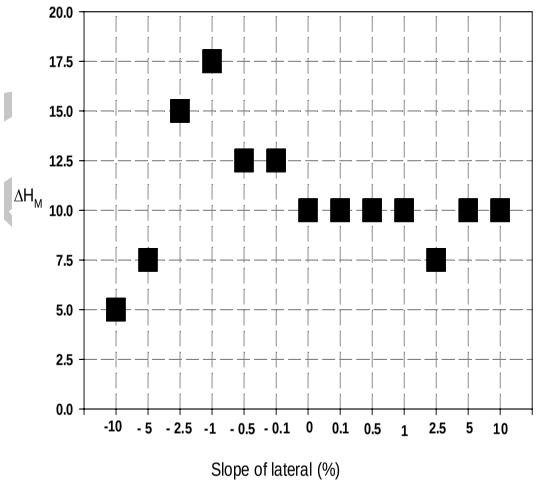
www.SID.ir

www.SID.ir

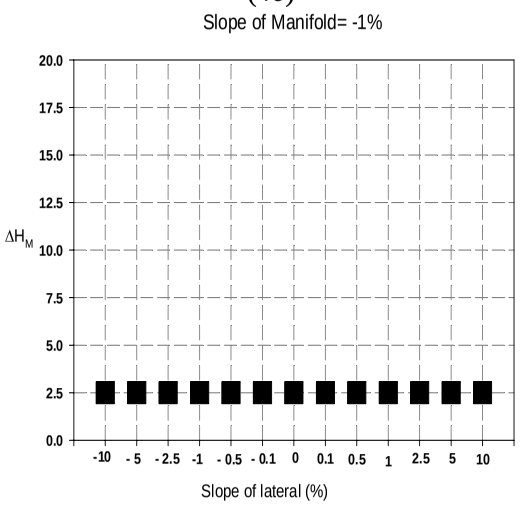
(4*a*)



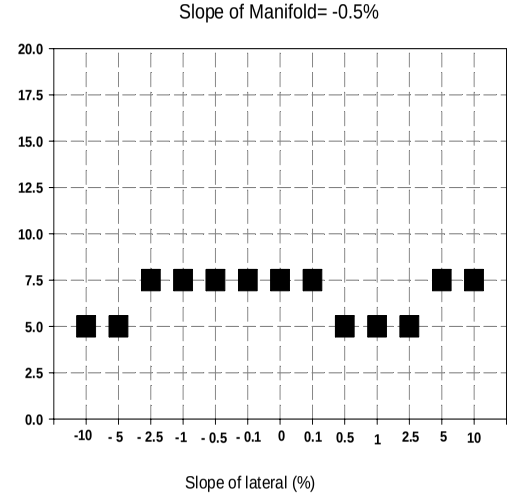

(4*b*)



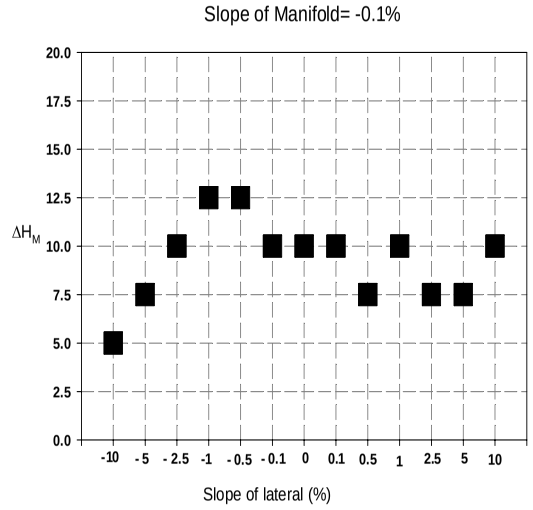

(4*c*)



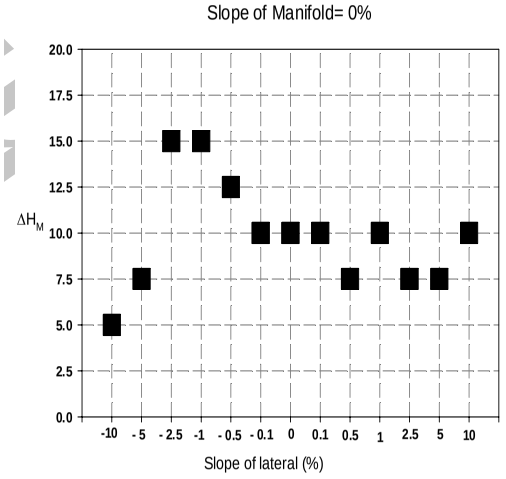

(4*d*)




(4*e*)

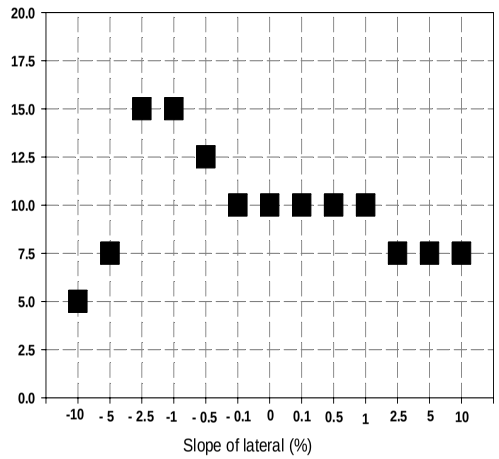



(4*f*)

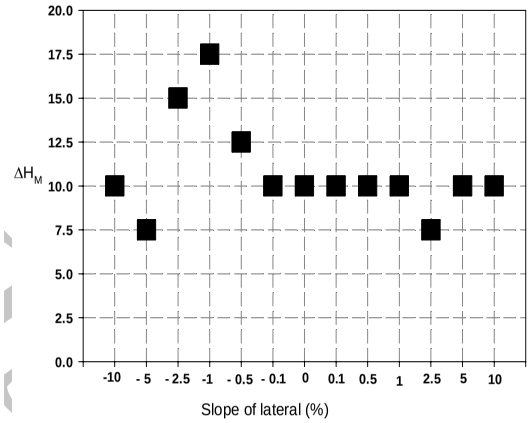



**شکل۴. میزان افت مجاز بهینه تخصیص داده شده به لوله مانیفلد جهت طراحی اقتصادی سیستم در شیب‌های مختلف لترال**

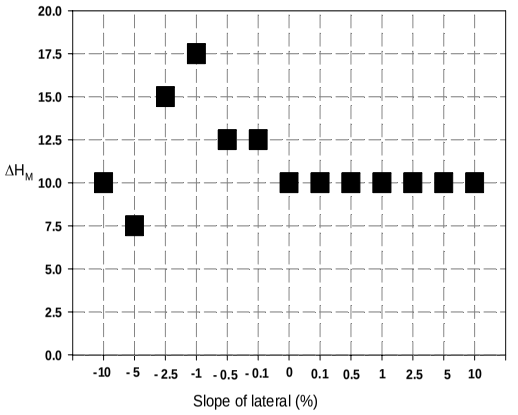
(4g)



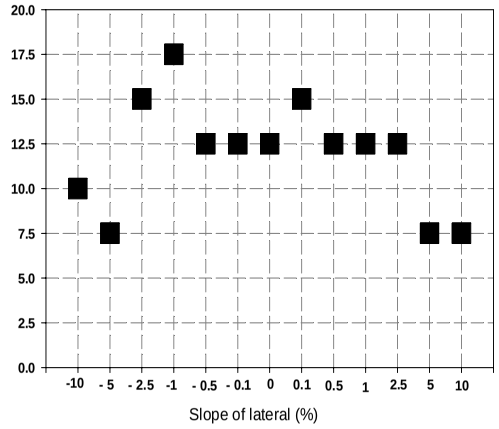

(4h)



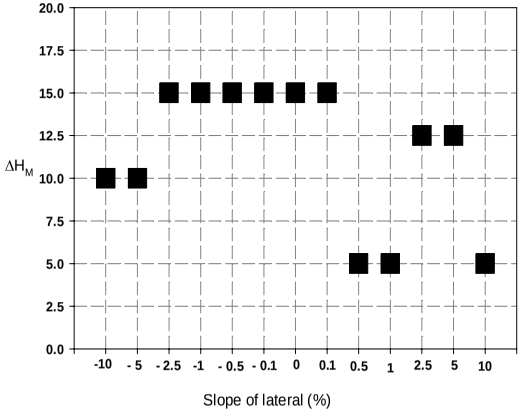

(4i)



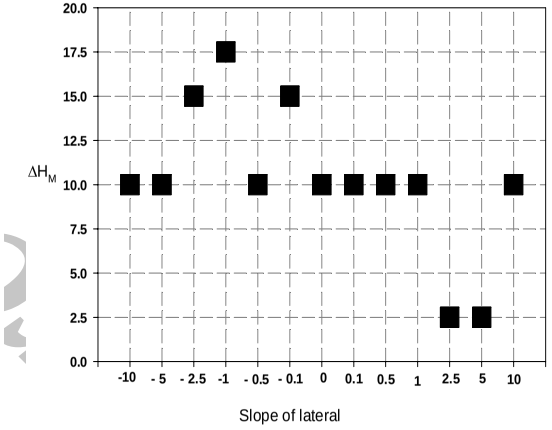

(4j)




(4k)




(4l)




www.SID.ir

همین شیب برای لترال و تنها با تغییر وضعیت لوله مانیفلد به حالت افقی (شیب صفر درصد)، میزان درصد افت مجاز اختصاصی به آن باید تا ۱۵٪ افزایش می‌یابد (در این حالت طول کل لترال و مانیفلد تغییری نکرد اما لترال طراحی شده به صورت دوقطری بود). این امر نشان می‌دهد شیب زیرواحدها مهم‌ترین عامل در تخصیص میزان افت مجاز به آنها می‌باشد. با توجه به شکل ۴ می‌توان گفت تصور قبلی مبنی بر این‌که همواره بیشترین درصد افت مجاز را باید به لترال اختصاص داد (مشاوره با طراحان) در اکثر مواقع نادرست می‌باشد به گونه‌ای که نمودارهای ارائه شده در این شکل نشان می‌دهند این قانون نظری تنها در ۲۸٪ مواقع (شکل ۴) برقرار است (۴۸ ترکیب از مجموع ۱۶۹ ترکیب بررسی شده) و در بیشتر مواقع جهت طراحی یک سیستم بهینه باید افت بیشتری را به مانیفلد اختصاص داد و یا افت مجاز را به صورت یکسان بین لترال و مانیفلد تقسیم نمود. با توجه به موارد ذکر شده برای تسهیل در کاربرد نتایج لازم است یک مدل کامپیوتری کاربرپسند براساس یافته‌های این تحقیق نوشته شود تا امکان تعیین درصد تخصیص افت مجاز بین لترال و مانیفلد براساس دیگر معیارها و استانداردهای طراحی ممکن باشد.

## نتیجه‌گیری

به طور کلی نتایج حاصل از انجام این تحقیق نشان می‌دهد که امکان تعیین درصد تخصیص افت مجاز (۲۰ درصد فشار کار آبپاش متوسط) به لترال‌ها و مانیفلد در یک زیرواحد آبیاری وجود دارد و تحت تأثیر شیب زمین در راستای طولی و عرضی می‌باشد. مقدار تخصیص افت مجاز به لترال و مانیفلد در شیب‌های مختلف ثابت نیست و شیب زمین تاثیر زیادی بر هزینه اولیه سیستم آبیاری بارانی کلاسیک ثابت- آبپاش متحرک دارد. در این تحقیق درصد تخصیص افت مجاز بین لترال و مانیفلد در یک زیرواحد آبیاری براساس معیارها و استانداردهای ذکر شده انجام شده است. اما امکان توسعه یک مدل کامپیوتری کاربرپسند برای تعیین درصد تخصیص افت مجاز بین لترال و مانیفلد در یک زیرواحد آبیاری براساس معیارها و استانداردهای کاربر وجود دارد.

## منابع مورد استفاده


۱. شاه محمدی، ر.، س. م. میرلطیفی و ک. محمدی. ۱۳۸۶. شبیه‌سازی هیدرولیکی لوله‌های فرعی (لترال‌های) آبیاری بارانی. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۱۱(۴۰): ۳۹-۵۱.

۲. علیزاده، ا.، ۱۳۸۴. *طراحی سیستم‌های آبیاری*. چاپ ششم (با تجدید نظر)، انتشارات آستان قدس رضوی، مشهد.

3. Anyoji, H. and I. P. Wu. 1987. Statistical approach for drip lateral design. Trans. ASAE 30(1): 187–192.
4. Benami, A. and A. Ofen. 1984. Irrigation engineering, Scientific, Haifa, Israel.
5. Bordovsky, J. P., W. M. Lyle and E. Segarra. 2000. Economic evaluation of Texas High Plains cotton irrigated by LEPA and subsurface drip. Texas J. Agric. Natur. Res. 13: 67-73.
6. Bozkurt, Y., A. Yazzar. B. Gencel. and M. S. Sezen. 2006. Optimum lateral spacing for drip-irrigated corn in the Mediterranean region of Turkey. Agric. Water. Manage. 85: 113-120.
7. Dandy, G. C. and A. M. Hassanli. 1996. Optimum design and operation of multiple subunit drip irrigation systems. J. Irrig. Drain. Eng. 122(5): 262-275.
8. Enciso, J. M., P. D. Colaizzi and W. L. Multer. 2005. Economic analysis of subsurface drip irrigation lateral spacing and installation depth for cotton. ASAE 48(1): 197-204.
9. Holzapfel, E. A., M. A. Marin˜o and A. Valenzuela. 1990. Drip irrigation nonlinear optimization model. J. Irrig. Drain. Eng. 116(4): 479-496.
10. Jorge, J. and L. S. Pereira. 2003. Simulation and evaluation of set sprinkler systems with AVASPER. Proceedings of the 54th Executive Council of ICID and 20th European Regional Conference, Montpellier, France.
11. Kale, R. V., R. P. Singh and P. S. Mahar. 2008. Optimal design and pressurized irrigation subunit. J. Irrig. Drain. Eng. 134(2): 137-146.




Archive of SID
www.SID.ir

12. Kang, Y., B. Z. Yuan and S. Nishiyama. 1999. Design of microirrigation laterals at minimum cost. Irrig. Sci. 18(3): 125-133.
13. Karmeli, D., G. Peri and M. Todes. 1985. Irrigation System: Design and Operation. Oxford University Press, Cape Town, South Africa.
14. Keller, J. 1975. Economic pipe size selection chart. Proc. ASCE Irrigation and Drainage Division Speciality Conf., Utah State Univ., Logan, Utah.
15. Keller, J. and R. D. Bliesner. 1990. Sprinkler and Trickle Irrigation. Chapman & Hall, New York.
16. Kumar, D., C. D. Heatwole. B. B. Ross and B. Taylor. 1992. Cost models for preliminary economic evaluation of sprinkler irrigation systems. J. Irrig. Drain. Eng. 118(5): 757-775.
17. Lamm, F. R., L. R. Stone. H. L. Manges and D. M. O'Brien. 1997. Optimum lateral spacing for subsurface drip-irrigated corn. Trans. ASAE 40(4): 1021-1027.
18. Martinez, J. M., R. S. Martinez and J. M. Tarjuelo Martin-Benito. 1999. Analysis of water application cost with permanent set sprinkler irrigation systems. Irrig. Sci. 23: 103-110.
19. Mays, L. W. and Y. K. Tung. 1992. Hydrosystems Engineering and Management. McGraw-Hill, Singapore.
20. Mott, R. L. 1979. Applied Fluid Mechanics. 2nd ed. Charles E. Merrill Pub., Columbus, Ohio.
21. Murdock, J. W. 1976. Fluid Mechanics and Its Application. Houghton Mifflin, Boston.
22. Oron, G. and D. Karmeli. 1981. Solid set irrigation system design using linear programming. Water Resour. Bull. 17(4): 565-570.
23. Oron, G. and W. R. Walker. 1981. Optimal design and operation of permanent irrigation systems. Water Resour. Res. 17(1): 11-17.
24. Pleban, S. and I. Amir. 1981. An interactive computerized aid for the design of branching irrigating networks. Trans. ASAE 24(2): 358-361.
25. Romero, J. N. J. M. Martinez. R. S. Martinez and J. M. Tarjuelo. 2006. Set sprinkler irrigation and its cost. J. Irrig. Drain. Eng. 132(5): 445-452.
26. Saad, J. C. and M. A. Marino. 2002. Optimum design of microirrigation system in sloping lands. J. Irrig. Drain. Eng. 128(2): 116-124.
27. Saad, J. C. C. C. Tomazela. J. G. Peres. F. C. Peres and J. A. Frizzone. 1994. Hydraulic optimization of a drip irrigation system using linear programming. Pesqui. Agropecu. Bras. 29(5): 797-805.
28. Singh, A., R. P. Singh. P. S. Mahar and K. K. Singh. 2000. Optimal design of tapered microirrigation submain manifolds. J. Irrig. Drain. Eng. 126(6): 371-374.
29. Singh, R. P. and P. S. Mahar 2003. Optimal design of multidiameter, multioutlet pipelines. J. Hydrol. Eng. 129(3): 226-233.
30. Valiantzas, J. D. 2002. Hydraulic analysis and optimum design of multidiameter irrigation laterals. J. Irrig. Drain. Eng. 128(2): 78-86.

Archive of SID



www.SID.ir

# Optimal Allocation of Allowable Head Loss to Solid-Set Irrigation System with Movable Sprinkler Subunits

**S. H. Sadeghi, M. Gheysari* and M. Kavyani[1]**

(Received : Jun. 26-2010 ; Accepted : Oct. 21-2011)

## Abstract

To maintain a high system-uniformity and also acceptable water use efficiency in a solid-set sprinkler irrigation system, the total committed pressure variation to subunits should not exceed 20% of the pressure head of the sprinkler which operates with the average pressure. Although some references often recommend giving the major part of this pressure variation to laterals, a scientific and precise criterion that allows designers to minimize the costs has not yet been developed. In this study, regarding the usual design criteria of this system in Iran and also respecting hydraulic rules, an economical analysis was conducted in order to optimize the system based on the appropriated permitted pressure head loss to each subunit. Then, the system irrigates the possible largest area by using minimum weight of pipe. The methodology consisted of 13 slope treatments for each subunit (0, ±0.1, ±0.5, ±1, ±2.5, ±5 and ±10%) and also the ratio of appropriated allowable head loss to the manifold (2.5, 5, 7.5, 10, 12.5, 15 and 17.5%). A simple software was developed to determine the size and the length of the manifold and laterals for each combination as well as their total weight and total irrigated area. Several criteria such as maximum and minimum velocity of water in the pipe, maximum head loss which occurs in 100 m of the manifold, maximum permitted head loss for each subunit and also maximum length of the laterals were considered here in order to derive practical design combinations. Because a constant inlet pressure for each subunit leads to a constant cost of energy, then the ratio of total weight of pipelines to the total irrigated area ($W_{tot}/A_0$) was chosen as the standard, which helps to distinguish the best appropriation of allowable head loss to the manifold or laterals. Graphical diagrams were presented to help designers to know how to distribute the total permitted head loss between manifold and laterals. In general, results showed that total pressure head variation of each subunit greatly affects the system costs and also the total optimized appropriated pressure head loss to each subunit is greatly dependent on its own slope.

**Keywords:** Pressurized irrigation, Solid-set system, Lateral, Manifold, Permitted head loss.

1. Former MSc. Student, Assis. Prof. and Former BSc. Student of Water Eng., Respectively, College of Agric., Isf. Univ. Technol., Isfahan, Iran.
*: Corresponding Author, Email: gheysari@cc.iut.ac.ir



Archive of SID
www.SID.ir