

مقاله پژوهشی

بررسی تاثیر شرایط هیدرولیکی در بهینه‌سازی کانال‌های انتقال آب با مقاطع متفاوت

کیومرث روشنگر*^۱، آیدا نوری^۲

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۴/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۱۰

۱-استاد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز

۲-دکتری سازه های هیدرولیکی، دانشکده فنی مهندسی عمران، دانشگاه تبریز

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: kroshangar@yahoo.com

چکیده

طراحی کانال با هدف به حداقل رساندن هزینه ساخت کانال، یکی از مسائل مهم بهینه‌سازی است. در این تعریف مقادیر متغیرهای مقاطع یعنی شیب کناری، عرض کف، عمق جریان و شعاع کانال دایروی با مینیم کردن هزینه کانال‌ها با در نظر گرفتن قید جریان هیدرولیکی محاسبه می‌شود. در تحقیق کنونی طراحی بهینه در یک چارچوب بهینه‌سازی غیر خطی با تابع هدف که تابع هزینه در واحد طول کانال بر اساس هزینه پوشش، هزینه خاکریزی و خاکبرداری واحد حجم و هزینه هدر رفت آب فرموله شده است، می‌باشد. با استفاده از الگوریتم ژنتیک پارامترهای چهار مقطع بهینه شده کانال از جمله مقاطع کانال‌های نوزنقه‌ای، مستطیلی، مثلثی و دایروی محاسبه گردیدند. از نتایج حاصله برای محدودیت معادله جریان در مقایسه هزینه کل ساخت مقاطع، مقطع دایروی از هزینه ساخت کمتری برخوردار است. با استفاده از روش پیشنهادی که از دقت خوبی برخوردار بوده چندین حالت با محدودیت اضافی سرعت جریان، عدد فرود و عرض سطح آزاد جریان جهت طراحی مطلوب کانال در شرایط ویژه مورد بررسی قرار گرفتند که به ترتیب سبب افزایش ۴۰٪، ۳۰٪ و کاهش هزینه ساخت در حدود ۴۸٪ برای مقاطع کانال‌های نوزنقه‌ای، مستطیلی و مثلثی شدند. برای مقطع دایروی محدودیت عدد فرود، عرض سطح آزاد و سرعت سبب افزایش هزینه ساخت شدند.

واژه‌های کلیدی: بهینه‌سازی، طراحی، مقاطع کانال‌های روباز، محدودیت، هزینه

Investigation of the Effect of Hydraulic Conditions on Optimization of Water Conveyance Channels with Different Sections

K Roushangar*¹, A Noori²

Received: July 7, 2018

Accepted: January 29, 2021

1-Prof., Faculty of Civil Engin., Univ. of Tabriz, Iran

2-Ph.D. of Hydraulic Structures, Faculty of Civil Engin., Univ. of Tabriz, Iran

* Corresponding Author, Email: kroshangar@yahoo.com

Abstract

Channel design is one of the optimization issues aiming to minimize the cost of channel construction. In this definition, the amounts of sections variables, namely radius, slope side, bottom width and flow depth are calculated by minimizing cost of channels with regard to indicating the hydraulic flow constraint. In the current study, the optimal design problems are formulated in a nonlinear optimization framework with the objective function being a cost function per unit length of the channel has been expressed as the cost per unit length of the channel for lining, the depth-dependent unit volume earthwork cost and the cost of water lost. Using genetic algorithm, the parameters of four optimized channel sections including trapezoidal, rectangular, triangular and circular sections of channels were calculated. From the results obtained for restricting the flow equation in comparison with the total cost of construction of sections, circular section has less cost of construction. Using the proposed method, which has more precision and accuracy, several models with additional restriction of velocity, Froude number, and top width were considered for optimal design of the channel under special conditions. Restriction of velocity and Froude number caused increasing by %40 and %30 respectively, but restricted top width decrease about %48 of construction cost for trapezoidal, rectangular, and triangular sections. Restriction of Froude number, top width and velocity caused increasing, the cost construction of circular section.

Keywords: Constraint, Cost, Design, Open channel section, Optimization.

مقدمه

امکان‌پذیر است، اما در عمل بیشتر از مقاطع عرضی معمول مانند مقاطع مثلثی، مستطیلی، دوزنقه‌ای و دایروی استفاده می‌شود. تحقیقات زیادی توسط محققین برای طراحی بهینه مقطع کانال‌ها صورت گرفته است. تروت (۱۹۸۲) یک روش جبری مستقیم برای طراحی مقطع بهینه کانال با کمینه کردن هزینه لاینینگ، در حالی که هزینه واحد طول مصالح کف و دیوارها یکسان نیستند، ارائه کرد. جیو و هوگز (۱۹۸۴)، پارامترهای مختلف مقطع دوزنقه‌ای را با در نظر گرفتن ارتفاع آزاد کانال بهینه کردند. آن‌ها آنالیزی را برای برآورد ابعاد یک کانال روباز دوزنقه‌ای که مقاومت اصطکاکی یا هزینه‌های ساخت را کمینه کند، ارائه دادند. چاو (۱۹۵۹) و فرنچ (۱۹۹۴) بهینه کردن مقاطع جریان با

تأمین و انتقال آب جهت مصارف کشاورزی، مصارف شرب و همچنین کنترل و هدایت سیلاب یکی از مهم‌ترین نیازهای جوامع بشری است. بنابراین، مسئله انتقال آب از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. از آنجا که کانال‌های روباز به‌عنوان یکی از مهم‌ترین سازه‌های انتقال آب در شرایط مختلف قابل اجرا می‌باشند، لذا طراحی و اجرای آن‌ها بسیار حائز اهمیت است. شبکه کانال‌های آب‌رسانی برای بازدهی مناسب، هزینه قابل توجهی را جهت ساخت و نگهداری طلب می‌کنند از این رو بهینه‌سازی مقطع کانال‌ها امری مهم محسوب می‌شود. اگرچه از لحاظ تئوری طراحی و اجرای کانال‌های روباز با هر نوع شکل مقطع

ارائه شد که از این نمودارها جهت پیدا کردن ابعاد بهینه استفاده می‌شود. آکسوی و آلتان ساکارای (۲۰۰۶) نیز مینم هزینه را برای مقاطع مختلف با قید معادله مانینگ محاسبه کردند. در دهه‌های اخیر به کارگیری روش‌های هوش مصنوعی که از طبیعت الهام گرفته شده‌اند، برای حل مسائل بهینه‌سازی مورد توجه واقع شده‌اند. با توجه به اینکه با استفاده از روش‌های گرادیانی در حل مسائل پیچیده، احتمال خطا و توقف در مقادیر محلی وجود دارد، می‌توان از روش‌های بهینه‌سازی کلی تصادفی و قطعی که هیچ وابستگی به گرادیان تابع ندارند استفاده کرد که از آن جمله می‌توان به روش‌های بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک (GA) گلدبرگ (۱۹۸۹) اشاره کرد که جزء روش‌های بهینه‌سازی جستجوی کلی محسوب می‌شوند. جین و همکاران (۲۰۰۴) از روش الگوریتم ژنتیک جهت طراحی مقطع کانال استفاده کردند. در این تحقیق با استفاده از الگوریتم ژنتیک طراحی مقاطع بهینه کانال‌ها به منظور ارائه مدلی دقیق‌تر، مورد بررسی قرار گرفته است. آکوزو^۱ (۲۰۱۲) در تحقیقاتش یک فرمول اصلاح شده برای حل مدل بهینه‌سازی برای طراحی هندسه کانال‌های مختلف ارائه کرد. برای مینیم کردن تلفات نشت یک مدل بهینه‌سازی غیرخطی به صورت الگوریتم جستجوی احتمالاتی به کار برد. هدف از این تحقیق بررسی تاثیر شرایط هیدرولیکی در بهینه‌سازی کانال‌های انتقال آب با مقاطع متفاوت می باشد که تابع هدف در نظر گرفته شده کمینه کردن تابع هزینه است که شامل هزینه‌های تلفات آب ناشی از تبخیر و تراوش نیز بوده و تابع قید نیز بر اساس معادله مقاومت تعریف شده است که برای اولین بار برای چهار مقطع بهینه‌سازی صورت می‌گیرد. همچنین بر روی مقاطع علاوه بر معادله جریان، محدودیت‌های هیدرولیکی به عنوان تابع قید اعمال می‌شوند.

هدف کمینه کردن سطح مقطع جریان را مورد بررسی قرار دادند و در بررسی آن‌ها شرط ارضای رابطه مانینگ به عنوان قید مسئله در نظر گرفته شده است. بهراملو (۲۰۱۱) اقدام به ارزیابی تلفات نشت در کانالهای آبیاری با پوشش سنگی در مناطق سردسیر و تأثیر آن بر نخایر منابع آب پرداخته است. بابایکان کوپایی و همکاران (۲۰۰۰)، خصوصیات هیدرولیکی کانال با مقطع مثلثی با ته سهمی شکل را معرفی کردند. آن‌ها برای به دست آوردن ابعاد بهینه کانال، با این فرض که به ازای دبی، ضریب زبری و شیب کف مشخص، مقطع کانال با کمترین محیط خیس شده یا مساحت مقطع بهترین مقطع خواهد بود، از روش مضارب لاگرانژ استفاده کردند. حاج علیلو و همکاران (۲۰۱۲) مقدار شیب جانبی را عامل اساسی در مقدار نیروهای مخرب وارد بر آنها و در نتیجه دوام پوشش‌های بتنی عنوان کردند. سوامی و همکاران (۲۰۰۰) ، طراحی بهینه کانال با مقاطع مثلثی، مستطیلی، و ذوزنقه‌ای را با در نظر گرفتن تلفات نشت مورد تحلیل قرار داده و از روش بهینه‌سازی غیر خطی در معادله طراحی استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که مقطع بهینه کانال ذوزنقه‌ای دارای مساحت مقطع و تلفات نشت کمتری نسبت به مقاطع مستطیلی و مثلثی است. چاهار (۲۰۰۱ و ۲۰۰۷) یک راه حل جامع برای تعیین نشت از کانال ذوزنقه‌ای تحت عمق زهکشی با ضخامت کم ارائه داد که نرخ نشت را از روی اندازه‌گیری مستقیم و یا غیرمستقیم بدست آورده است. داس (۲۰۰۷) بهینه‌سازی مقطع کانال ذوزنقه‌ای و کانال با مقطع سهمی شکل با ته صاف را با استفاده از ضریب زبری معادل هورتون و انیشتین بررسی کردند. بهاتچارجیا (۲۰۰۶)، یک مدل بهینه‌سازی برای طراحی مقطع بهینه کانال که شرایط جریان بحرانی در کانال را نیز در نظر می‌گیرد، ارائه کرد. وی همچنین برای طراحی مقطع بهینه از روش بهینه‌سازی غیر خطی استفاده کرد و رابطه استریکلر را به عنوان قید استفاده کرد. همچنین نمودارهایی جهت ساده‌سازی طراحی بهینه کانال توسط گازاو (۲۰۱۰)

^۱ Akkuzu

مواد و روش‌ها

مسئله بهینه‌یابی

اولین قدم در طراحی کانال تعیین ابعاد بهینه آن جهت عبور یک دبی خاص با کمترین هزینه ساخت می‌باشد. تابع هدف برای حداقل‌سازی هزینه‌های خاکریزی و خاکبرداری (مساحت مقطع عرضی)، لاینینگ سطوح (محیط تر شده)، تراوش و تبخیر در واحد طول در نظر گرفته می‌شود. در حالی که باید مقتضیات هیدرولیکی جریان، به‌عنوان قید در نظر گرفته شود. هدف از طراحی بهینه کانال تعیین ابعاد و اندازه پارامترهای مختلف مقطع کانال شامل عمق جریان، عرض کف و شیب جانبی می‌باشند.

هزینه خاکریزی، هزینه پوشش و هزینه

هدررفت آب

کل هزینه احداث کانال برای واحد طول (C)

به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

[۱]

$$C = C_e + C_1 + C_w = \beta_e A + \beta_r A \bar{y} + \beta_{r1} P + \beta_{ws} F_s y_n + \beta_{we} T$$

با در نظر گرفتن هزینه خاکریزی برای سطح مقطع

جریان، β_e : هزینه واحد حجم خاکریزی در سطح زمین β_r : اضافه‌بها به‌ازای افزایش عمق حفاری (m^{-4}).

C_e : هزینه خاکریزی واحد آن به صورت $\left(\frac{\text{ریال}}{m}\right)$ است. A

(m^2) و \bar{y} (m) به ترتیب سطح مقطع کانال و عمق مرکز ثقل از سطح آزاد آب می‌باشند. هزینه هر واحد سطح پوشش داده شده مستقل از عمق در نظر گرفته شده است که β_1 هزینه هر واحد سطح پوشش شده که مستقل از عمق

جابجایی است و واحدش بر حسب $\left(\frac{\text{ریال}}{m^2}\right)$ می‌باشد. P

(m) محیط تر شده و C_1 ، هزینه پوشش بر حسب $\left(\frac{\text{ریال}}{m}\right)$ است.

هزینه هدررفت آب به صورت پارامترهای زیر شرح داده می‌شود:

β_{ws} : هزینه هدر رفت آب از تراوش در واحد سطح

و β_{we} (m^{-2}): هزینه هدررفت آب از تبخیر در واحد

سطح (m^{-2}) و C_w ، هزینه واحد هدر رفت آب بر حسب

$\left(\frac{\text{ریال}}{m}\right)$ می‌باشد. T عرض سطح آزاد آب (m) و y_n عمق نرمال

آب در کانال بر حسب (m) می‌باشند. F_s تابع تراوش (بی بعد) که خود تابعی از هندسه کانال است. از آنجایی

که β_1/β_e ، β_r/β_e و β_{we}/β_e ابعاد طولی دارند تحت تاثیر

واحد پول انتخاب شده قرار نمی‌گیرند. این نسبت‌ها را می‌توان

برای انواع مختلف پوشش، لایه‌های خاکی و شرایط

آب و هوایی با استفاده از نسبت‌های مناسب به کار برد.

Q کل دبی عبوری از مقطع کانال ($m^3 s^{-1}$)، S_0 شیب

کف طولی کانال، R شعاع هیدرولیکی (m)، g شتاب

گرانشی (ms^{-2}) می‌باشند.

تابع هدف:

$$f_{\text{cost}}(b, y, m) = C_e + C_1 + C_w$$

$$= \beta_e A + \beta_r A \bar{y} + \beta_{r1} P + \beta_{we} T + \beta_{ws} F_s y_n \quad [۲]$$

با مشخص شدن مؤلفه‌های هزینه‌ی کل ساخت

کانال، طراحی بهینه مقاطع را می‌توان با کمینه کردن تابع

هزینه کل همراه با در نظر گرفتن رابطه هیدرولیکی حاکم

بر جریان به‌عنوان قید مورد بررسی قرارداد. در این

تحقیق از معادله عمومی مقاومت به‌عنوان قید استفاده

شده است. معادله عمومی مقاومت که بر اساس متوسط

ارتفاع زبری است برای طراحی بهینه مقطع کانال برای ε

حالت استفاده شده است. رابطه مقاومت که توسط سوامی

ارائه شده، به‌عنوان قید مسئله در نظر گرفته شده است

(سوامی و همکاران ۲۰۰۰).

$$Q = AV$$

$$= -2.457A \sqrt{gRS_0} \ln \left(\frac{\varepsilon}{12R} + \frac{0.2219}{R \sqrt{gRS_0}} \right) \quad [۳]$$

Q کل دبی جریان از مقطع کانال ($m^3 s^{-1}$)، S_0 ،

شیب کف طولی کانال، R شعاع هیدرولیکی (m)، g شتاب

گرانشی (ms^{-2})، ε ارتفاع متوسط زبری پوشش کانال

(m) و θ ویسکوزیته دینامیکی آب بر حسب ($m^2 s^{-1}$) می‌

باشد.

توابع هدف و قید

Minimize

$$f_{cost} = C_e + C_l + C_w \quad [4]$$

$$= \beta_e A + \beta_r A \bar{y} + \beta_l P + \beta_{we} T + \beta_{ws} F_s y_n$$

$$Q + 2.457 A \sqrt{g R S_0} \ln \left(\frac{\varepsilon}{12R} + \frac{0.2219}{R \sqrt{g R S_0}} \right) \quad [5]$$

با اتخاذ یک مقیاس طول به صورت γ ابعاد بی بعد می‌شوند (سوامی و همکاران ۲۰۰۰):

$$\gamma = \left(\frac{Q}{\sqrt{g S_0}} \right)^{0.4} \quad [6]$$

با استفاده از معیار فوق الذکر، متغیرهای جدید بی-بعد که با علامت ستاره مشخص می‌شوند به شرح زیر می‌باشند:

توابع هدف و قید (بی بعد)

با استفاده از متغیرهای جدید بدون بعد، مسأله تعیین شکل بهینه سطح مقطع کانال به صورت زیر بیان می‌گردد:

$$[7]$$

$$\text{Minimize} \quad C_* = A_* + \beta_{r*} A_* \bar{y} + \beta_{l*} P_* + \beta_{ws*} F_s y_n + \beta_{we*} T \quad [8]$$

subject to

$$\phi = 1 + 2.457 A_* \sqrt{R_*} \ln \left(\frac{\varepsilon_*}{12R_*} + \frac{0.2219_*}{R_*^{1.5}} \right)$$

تابع جریمه با اعمال ضرابی و انجام ترکیب جمع با تابع هزینه، تابع برانزنگی را ایجاد می‌کند. در این تحقیق، تابع برانزنگی که هم شامل تابع هزینه و هم تابع جریمه می‌باشد، برای تمامی حالت‌ها به صورت فرم کلی زیر در نظر گرفته شده است با این تفاوت که ضرایب برای حالت‌ها عوض شده‌اند که با سعی و خطا بدست آمده‌اند:

$$F_{fitness} = F_{cost} + \sum_{i=1}^I \alpha |F_{penalty}|^\beta \quad [9]$$

که در آن α, β به ترتیب ضریب و توان تابع پینالتی بوده و اعداد مثبت می‌باشند. i ، شماره قید و I

تعداد کل قیدهاست.

مسئله طراحی بهینه کانال

طراحی برای چهار مقطع کانال نوزنقه‌ای، مستطیلی، مثلثی و دایروی بتنی با دبی جریان $100 (m^3 s^{-1})$ و شیب کف طولی کانال به اندازه 0.01 می‌باشد که کانال از میان لایه خاکی با نسبت‌های $\frac{\beta_{ws}}{\beta_e}$ و $\frac{\beta_r}{\beta_e}$ عبور می‌کند (جدول ۱). مقطع کانال بتنی بوده و فرضیات طراحی در جدول ۱ آورده شده است که در آن $\varepsilon = 1$ میلی متر است (سوامی و همکاران ۲۰۰۰).

جدول ۱. پارامترهای مدلسازی.

فاکتورها	S_0	$Q (m^3 s^{-1})$	$g (ms^{-2})$	$\vartheta (m^2 s^{-1})$
ی جریان	۰/۰۰۱	۱۰۰	۹/۷۹	1×10^{-1}
پارامترها	$\frac{\beta_{we}}{\beta_e} = 1$	$\frac{\beta_l}{\beta_e} = 7$	$\frac{\beta_e}{\beta_r} = 12$	$\frac{\beta_{ws}}{\beta_e} = 2$
ی تابع هزینه				

پارامترهای ثابت به صورت زیر محاسبه شدند:

$$\gamma = 15.9m, \quad \varepsilon_* = 6.3 \times 10^{-5} m, \quad \vartheta_*$$

$$= 1.75 \times 10^{-7}$$

$$\beta_{l*} = 0.75, \quad \beta_{r*} = 2.27,$$

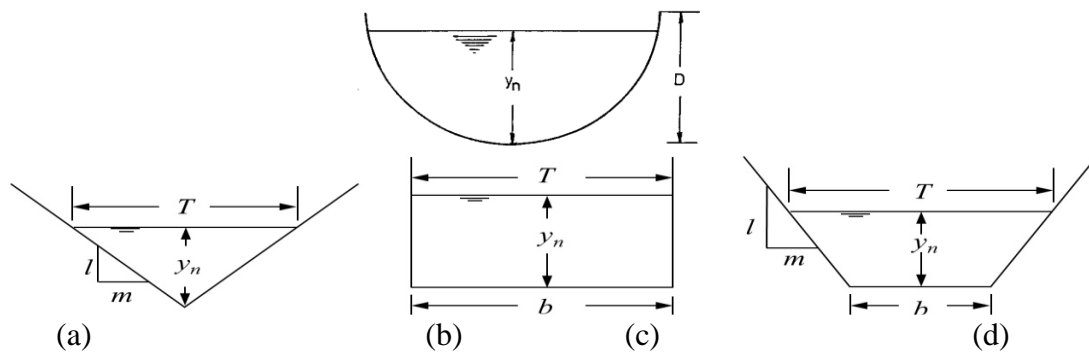
$$\beta_{ws*} = 0.63, \quad \beta_{we*} = 0.125$$

در طراحی کانال‌های باز مصنوعی برای مقاصد

مختلف سعی می‌شود تا این کانال‌ها دارای اشکال هندسی منظمی بوده و نکات مورد لزوم طرح را ارضاء نمایند. مقطع نوزنقه‌ای معمول‌ترین شکل برای کانال‌های آبیاری بوده و در کانال‌هایی که در مصالح خاکی حفر گردیده و دارای پوششی از جنس مصالح سخت نمی‌باشند کاربرد دارند. شیب کناره‌ها، پایداری عمومی آن‌ها را در مقابل لغزش تأمین می‌کند. مقاطع مستطیلی و مثلثی حالت خاصی از مقطع نوزنقه‌ای می‌باشند. مقطع مستطیلی می‌تواند در مصالح سنگی حفر گردد و یا دارای پوششی از جنس مصالح سخت باشد درحالی‌که کانال‌های مثلثی در دبی‌های کم، در آبروی حاشیه خیابان‌ها، جاده‌ها و یا در کارهای آزمایشگاهی مورداستفاده قرار می‌گیرند. مقطع دایره‌ای از مقاطع معمول در سیستم‌های جمع‌آوری و انتقال فاضلاب می‌باشد همچنین در آبروهای زیر جاده با

دارای شیب جانبی m می‌باشند. پارامترهای b ، y_n و m و D به ترتیب عرض کف، عمق جریان، شیب کناری و قطر را نشان می‌دهند. (ابریشمی و جلیلی ۲۰۰۵)

دبی کم نیز از این مقطع استفاده می‌شود. مقاطع هندسی کانال دوزنقه‌ای، مستطیلی، مثلثی و دایروی در شکل ۱ نشان داده شده است، دیواره‌های مقاطع دوزنقه‌ای و مثلثی



شکل ۱. (a) مقطع مثلثی، (b) مقطع مستطیلی، (c) مقطع دوزنقه‌ای و (d) مقطع دایروی.

برای ایجاد جمعیت بعدی استفاده می‌کند. برای ایجاد نسل بعدی با محاسبه مقدار برانزنگی هر عضو جامعه فعلی به آن‌ها امتیاز می‌دهد. سپس عملگرهای ژنتیکی شامل انتخاب، پیوند، جهش و دیگر عملگرهای احتمالی اعمال شده و جمعیت جدید به وجود می‌آید. پس از آن جمعیت جدیدی جایگزین جمعیت پیشین می‌شود و این چرخه ادامه می‌یابد که از نسلی به نسل دیگر جمعیت بهبود می‌یابد. جستجو هنگامی نتیجه بخش خواهد بود که به حداکثر نسل موردنظر رسیده باشد یا همگرایی حاصل شده باشد و یا معیارهای توقف برآورده شود (گلدبرگ ۱۹۸۹).

در این تحقیق در نرم‌افزار متلب جهت تنظیمات الگوریتم ژنتیک اندازه جمعیت ۱۰۰ گرفته شد و محدودیت زمانی^۱ و تولید نسل^۲ که معیاری برای خاتمه الگوریتم هستند به ترتیب ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ در نظر گرفته شدند و بقیه گزینه‌های الگوریتم بر اساس پیش‌فرض برنامه تعریف شدند و نتایج بهینه برای هر یک از حالت‌ها با آنالیزهای مکرر برای چهار مقطع مذکور به دست آمده‌اند. چهار حالت مختلف باقیدهای متفاوت با تابع هدف هزینه در جدول ۲ آمده است:

فرضیات در نظر گرفته شده در محاسبات به این صورت است که سرعت در تمام قسمت‌های مقاطع عرضی کانال‌ها برابر سرعت متوسط مقطع می‌باشد و شیب کف تمام مقاطع برابر شیب متوسط کف کانال است.

الگوریتم بهینه‌سازی (الگوریتم ژنتیک)

روش‌های بهینه‌سازی الهام گرفته از طبیعت، برتری مهمی بر روش‌های جستجوی تصادفی دارند. این دسته از روش‌های بهینه‌سازی، الگوریتم‌های متنوعی را در بر می‌گیرد که از آن جمله می‌توان به روش بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک اشاره کرد. روند کلی حل مسائل توسط الگوریتم ژنتیک به این صورت است که در مرحله اول تعدادی از جواب‌های محتمل مسئله موردنظر را به صورت تصادفی و یا گاهی به صورت از قبل تعیین شده به عنوان جمعیت اولیه انتخاب می‌کند و در مرحله بعدی، هر یک از جواب‌ها به صورت رشته‌هایی که کروموزوم نامیده می‌شوند کد گذاری می‌شوند. پس از انتخاب جامعه اولیه تصادفی، یک سری از جوامع جدید با نسل‌های جدید را ایجاد می‌نماید. در هر قدم الگوریتم از نقاط منفرد آن نسل،

^۲. Stall generation

^۱. Stall time limit

جدول ۲. حالات در نظر گرفته شده در تحقیق.

حالت‌های در نظر گرفته شده	محدودیت اعمال شده		
	معادله مقاومت	سرعت	عرض سطح آزاد
۱	*		
۲	*	*	
۳	*		*
۴	*		*

نتایج و بحث

پیشنهادی (GA) برای مقطع نوزنقه‌ای به ترتیب ۵/۱۵۹، ۳/۷۸۴ و ۰/۵۴ به دست آمده‌اند و هزینه بهینه بر اساس این متغیرها ۴۱۷/۲۶ است. از مقایسه نتایج در جدول ۳ می‌توان فهمید که کمترین هزینه ساخت را مقطع دایروی دارا می‌باشد که نشان دهنده بهینه ترین مقطع است. ابعاد بهینه برای مقطع مثلثی عمق و شیب کناری، به ترتیب ۵/۱۵۷ و ۱/۰۵ و برای مقطع مستطیلی عمق و عرض کف، به ترتیب ۳/۶۱ و ۷/۷۶ و برای مقطع دایروی عمق و شعاع به ترتیب ۴/۰۲۵ و ۴/۵۹۷ بدست آمدند.

در حالت اول تابع هدف برای مینیم کردن هزینه‌های خاک‌ریزی و خاک‌برداری، لاینینگ سطوح، تراوش و تبخیر در واحد طول در نظر گرفته شده است. مقادیر به دست آمده از مینیم کردن این تابع باید در یک رابطه جریان یکنواخت که به عنوان قید مسئله در نظر گرفته می‌شود، صدق کند که این تابع در حالت اول معادله عمومی مقاومت می‌باشد. نتایج بهینه‌سازی برای مقاطع مختلف نوزنقه‌ای، مثلثی، مستطیلی و دایروی در جدول ۳ آمده است.

b, y و m متغیرهای مسئله می‌باشند که با روش

جدول ۳. نتایج بهینه‌سازی برای مقاطع نوزنقه‌ای، مثلثی، مستطیلی و دایروی (حالت اول).

مقاطع	متغیرهای مقطع بهینه				هزینه*	سطح مقطع	سرعت
	شیب کناری	عمق	عرض کف	شعاع			
نوزنقه ای	۰/۵۴	۳/۷۸۴	۵/۱۵۹	—	۴۱۷/۲۶	۲۷/۲۵۳	۳/۶۶
مثلثی	۱/۰۵۵	۵/۱۵۷			۴۴۴/۵۱۷	۲۸/۰۷۵	۳/۵۵۷
مستطیلی	—	۳/۶۱۸	۷/۷۶۵		۴۴۲/۲۲۱	۲۸/۰۹۶	۳/۵۵۴
دایروی		۴/۰۲۵	—	۴/۵۹۷	۲۶۸/۷۴۶	۲۸	۳/۵۷

هزینه* معادل $k=C_e \times \lambda^2$; $C=C_e.k$

رابطه سرعت به عنوان تابع قید به حالت اول اضافه شد و برای مقادیر مختلف v از $۱/۲$ تا $۳/۵$ متربر ثانیه، بهینه‌سازی مقطع صورت گرفته است.

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{100}{A} \quad [۱۰]$$

حالت‌های دوم، سوم و چهارم با استفاده از روش GA (روش پیشنهادی) برای تمامی مقاطع آنالیز شده‌اند که در ادامه به شرح آنها پرداخته می‌شود. برای عبور-دهی مطمئن دبی مورد نیاز از کانال باید سرعت متوسط از سرعت ماکزیمم محتمل بیشتر نشود. در حالت دوم

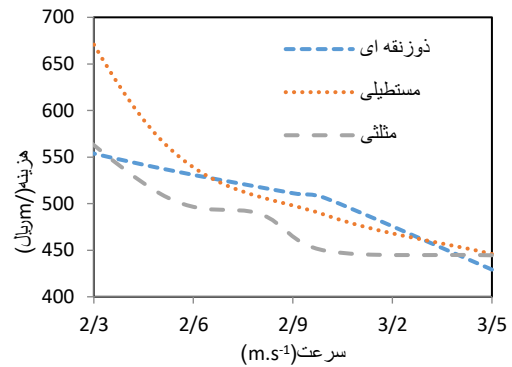
جدول ۴. نتایج بهینه‌سازی برای سرعت‌های مختلف به عنوان قید.

پارامترها	سرعت ≤ 2	سرعت $\leq 2/5$	سرعت $\leq 2/9$	سرعت ≤ 3	سرعت $\leq 3/5$
مقطع دوزنقه ای					
عرض کف (m)	۱۰/۴۷۸	۸/۷۹۲	۳/۴۳۴	۵/۱۳۵	۵/۳۹۹
عمق (m)	۳/۶۵۷	۳/۳۴۳	۳/۵۴۵	۳/۰۸۴	۳/۶۹۹
شیب	۰/۶۹۰	۰/۸۲۳	۱/۷۶۶	۱/۸۰۴	۰/۶۳۲
سطح مقطع (m^2)	۴۷/۵۵۹	۳۹/۹۴۹	۳۴/۴۳۹	۳۳/۲۹۱	۲۸/۶۲۵
فرود	۰/۳۸	۰/۴۸	۰/۶۳	۰/۶۷	۰/۶۶
هزینه	۵۷۰/۰۸۶	۵۳۷/۹۷۹	۵۱۱/۱۸۱	۵۰۵/۶۲۰	۴۲۹/۱۹۴
مقطع مثلثی					
عمق	۵/۰۹۶	۱۰/۳۳	۶/۳۱	۵/۸۲	۵/۴۰
شیب	۱/۹۲۲	۰/۳۷	۰/۸۹	۰/۹۸	۰/۹۷
سطح مقطع	۴۹/۹۳	۳۹/۹۵	۳۵/۶۷	۳۳/۲۹	۲۸/۵۳
فرود	۰/۴	۰/۳۵	۰/۵۰	۰/۱۴	۰/۱۷
هزینه	۶۵۲/۰۷	۵۱۰/۶۶	۴۸۹/۰۲	۴۴۹/۳۳	۴۴۴/۵۲
مقطع مستطیلی					
عمق	۱/۴۳	۱/۷۰۲	۲/۸۶۴	۷/۷۵۳	۴/۹
عرض کف	۳۰/۲۴	۲۳/۴۲	۱۲	۴/۳	۶/۱۰۹
فرود	۰/۶۲	۰/۶۱	۰/۵۵	۰/۴۶	۰/۴۸
سطح مقطع	۴۳/۲۱	۳۹/۶۳	۳۴/۳۲	۳۳/۳۴	۲۹/۹۴
هزینه	۸۸۴/۲۵	۷۳۰/۴۰۱	۵۱۳/۸۵۰	۴۸۷/۵۳	۴۴۵/۹۸
مقطع دایروی					
عمق	۳/۰۳۹	۳	۳/۰۳۹	۳	۳/۸۰
شعاع	۱۲/۸۰۷	۱۲/۸۰۷	۱۲/۸۰۷	۱۲/۳۰	۵/۳۱۴
فرود	۰/۶۴	۰/۶۴	۰/۶۴	۰/۶۸	۰/۶۷
سطح مقطع	۳۴/۴۰۰	۳۴/۴۰۰	۳۴/۴۰۰	۳۳/۲۶	۲۸/۴۵
هزینه	۳۰۴/۸۶۷	۳۰۴/۸۶۷	۳۰۴/۸۶۷	۲۹۱/۹۵۸	۲۶۳/۴۳

برای یافتن تأثیر محدودیت سرعت بر طراحی مقاطع بهینه کانال، تغییرات مقادیر بهینه متغیرهای این مقاطع به ازای محدودیت‌های مختلف سرعت، برای چهار مقطع مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج بهینه‌سازی در جدول ۴ نشان می‌دهد که کاهش سرعت منجر به افزایش سطح مقطع و هزینه ساخت کانال برای کلیه مقاطع شده است، که روند آن در شکل ۲ قابل مشاهده است. قابل توجه است که سرعت ماکزیمم از عدد ۲ تا ۳/۵ برای مقاطع دوزنقه‌ای، مستطیلی و مثلثی تغییر یافته که مقایسه بین حالت اول و حالت دوم نشان می‌دهد که با کاهش سرعت تا ۲ متر بر ثانیه، هزینه برای مقاطع دوزنقه‌ای و مثلثی به ترتیب در حدود ۳۷ و ۴۷ درصد زیاد می‌شود و هزینه مقطع مستطیلی تا ۲ برابر افزایش می‌یابد. مقطع دایروی برای سرعت‌های پایین‌تر برای مثال تعریف‌شده، جوابگو نبود به دلیل اینکه جواب‌های بدست آمده از لحاظ هیدرولیکی قابل قبول نبودند و برای این مقطع سرعت تا ۲/۹ متر بر ثانیه بررسی شد به نحوی که هزینه نسبت به حالت اول، ۱۴ درصد کاهش می‌یافت.

برای یافتن تأثیر محدودیت سرعت بر طراحی مقاطع بهینه کانال، تغییرات مقادیر بهینه متغیرهای این مقاطع به ازای محدودیت‌های مختلف سرعت، برای چهار مقطع مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج بهینه‌سازی در جدول ۴ نشان می‌دهد که کاهش سرعت منجر به افزایش سطح مقطع و هزینه ساخت کانال برای کلیه مقاطع شده است، که روند آن در شکل ۲ قابل مشاهده است. قابل توجه است که سرعت ماکزیمم از عدد ۲ تا ۳/۵ برای مقاطع دوزنقه‌ای، مستطیلی و مثلثی تغییر یافته که مقایسه بین حالت اول و حالت دوم نشان می‌دهد که با کاهش سرعت

که منجر به افزایش هزینه ها می شوند. طبق جدول ۵ هزینه در بازه های اولیه عدد فرود برای سه مقطع نیز کاهش قابل توجهی داشته است. طوری که از $Fr=0.1$ به $Fr=0.2$ هزینه برای مقطع مستطیلی، مثلثی و دوزنقه ای به ترتیب تا ۳۹٪، ۴۰٪ و ۲۵٪ کم شده است. هزینه ساخت در مقطع دوزنقه ای برای $Fr \leq 0.1$ تقریباً $1/93$ برابر حالت اول می باشد. همچنین برای اعداد فرود $Fr \leq 0.3$ شیب کناری کانال دوزنقه ای به صفر میل می کند و برای عدد فرود برابر 0.5 ابعاد بهینه برای مقطع مستطیلی عمق $4/78$ ، عرض کف $6/11$ و برای مقطع مثلثی عمق $6/58$ و شیب 0.81 به دست آمده اند. برای عدد فرود برابر 0.8 برای مقطع دایروی هزینه بهینه نسبت به حالت اول ($Fr=0.62$) هزینه به مقدار 8% کاهش یافته است و شعاع برای دو حالت به ترتیب برابر $4/597$ و $6/54$ می باشد که تقریباً $1/5$ برابر شده است. در مقایسه مقاطع کمترین هزینه برای عدد فرود 0.85 برای مقطع دایروی برابر $240/93$ می باشد. در مقطع مثلثی نیز با کاهش عدد فرود، عمق در حال افزایش است طوری که عمق برای عدد فرود 0.1 نسبت به حالت اول با عمق $5/157$ ، $2/5$ برابر شده است.



شکل ۲. تأثیر سرعت روی عدد فرود و سطح مقطع کانال

در حالت سوم بهینه سازی شبیه حالت اول می باشد با این تفاوت که برای عدد فرود محدودیت در نظر گرفته شده است. برای پایداری بهتر کانال، جریان باید برای شرایط زیر بحرانی طراحی شود. بنابراین باید عدد فرود کمتر از یک لحاظ شود که در این حالت، نتایج بهینه سازی برای شرایط جریان زیر بحرانی، به صورت ماکزیمم عدد فرود در محدوده 0.1 تا 0.9 برای سه مقطع مستطیلی، مثلثی و دوزنقه ای و در محدوده 0.55 تا 0.8 برای مقطع دایروی مورد تحلیل قرار گرفته است. از نتایج جدول ۵ می توان مشاهده کرد که با کاهش عدد فرود ماکزیمم، هزینه ساخت مقاطع کانال ها افزایش می یابد که دلیل آن کاهش در سرعت و به دنبال آن افزایش سطح مقاطع کانال

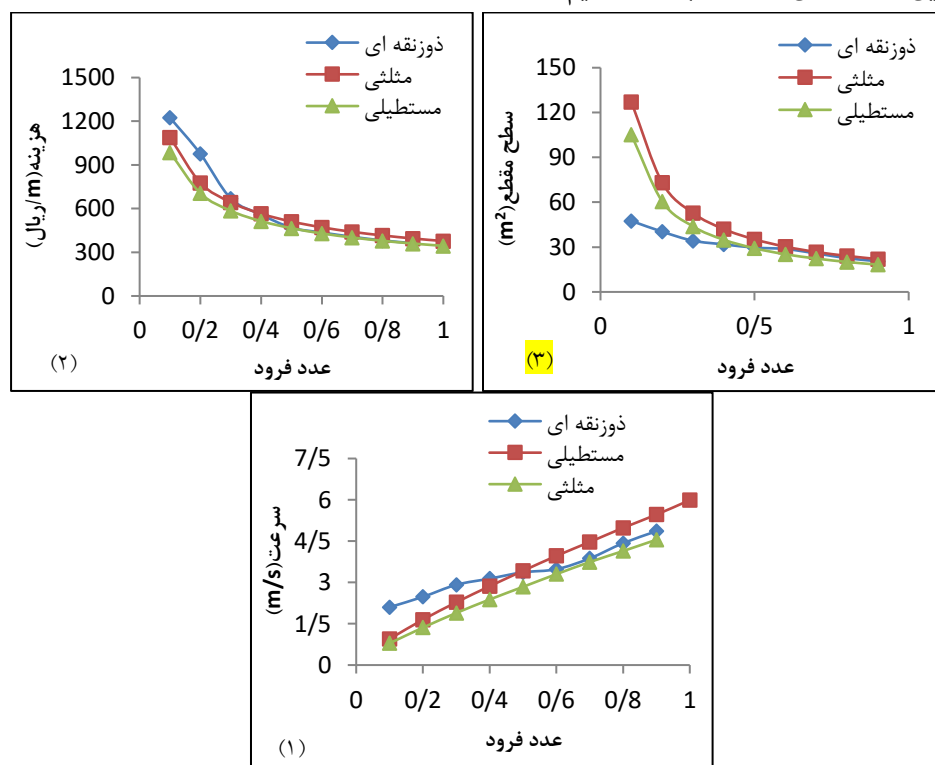
جدول ۵. نتایج بهینه سازی برای اعداد فرود حالت زیر بحرانی.

Fr <=	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90
مقطع مستطیلی									
هزینه	985/88	705/54	585/13	513/91	465/35	429/46	401/49	378/86	360/07
سطح مقطع	105/25	60/61	43/84	34/90	29/19	25/20	22/35	20/04	18/28
b(m)	11/45	8/75	7/45	6/68	6/11	5/66	5/37	5/06	4/86
y(m)	9/19	6/93	5/89	5/22	4/78	4/45	4/16	3/96	3/76
مقطع مثلثی									
هزینه	1088/61	777/05	643/56	564/78	511/12	471/46	440/61	415/65	394/92
سطح مقطع	127/18	73/22	52/79	42/04	35/18	30/27	26/73	24/10	21/93
y	12/59	9/5	8/12	7/2	6/58	6/17	5/82	5/48	5/23
m	0/8	0/81	0/8	0/81	0/81	0/79	0/79	0/8	0/8
مقطع دوزنقه ای									
هزینه	1224/33	976/205	669/768	558/526	469/243	435/686	406/57	381/325	362/526
سطح مقطع	47/502	40/314	34/263	31/823	29/65	28/707	25/784	22/568	20/546
b	2/368	2/573	3/554	3/175	4/532	4/554	4/404	4/927	4/675
y	20/07	15/678	9/648	7/743	5/43	4/469	4/078	3/717	3/553

m	۱/۹E-۰۰۵	۴E-۰۰۵	۹/۰۹E-۰۰۵	۰/۱۲۱	۰/۱۷۲	۰/۴۰۸	۰/۴۷۱	۰/۳۰۹	۰/۳۱۳
مقطع دایروی									
Fr <=	۰/۵۵	۰/۶	۰/۶۵	۰/۷	۰/۷۵	۰/۸	۰/۸۵		
هزینه	۲۹۰/۲۶۳	۲۷۹/۰۴۸	۲۶۷/۱۲۶	۲۵۷/۱۷۸	۲۵۱/۲۲۹	۲۴۵/۴۳۳	۲۴/۱۹۳		
سطح مقطع	۳۱/۰۰۸	۲۹/۲۱۰	۲۷/۹۷۰	۲۸/۵۲۷	۲۷/۵۹۰	۲۶/۱۴۸	۲۲/۷۸۱		
r(m)	۴/۴۵	۴/۴۵	۴/۷۰۹	۶/۱۴۱	۷	۶/۵۴	۶/۱۲۵		
y	۴/۴۳۹	۴/۲۳۲	۳/۹۷۷	۳/۵۶۳	۳/۳۰۹	۳/۲۶۱	۳/۲۱۳		

فرود با سرعت است. شکل ۲-۳ و ۳-۳ نیز منحنی‌های هزینه و سطح مقطع در مقابل عدد فرود برای سه مقطع را نشان می‌دهند که هزینه و سطح مقطع با افزایش عدد فرود روند نزولی داشته طوری که بعد از عدد فرود ۰/۳ منحنی‌های نمودارها برای سه مقطع نزدیک هم می‌باشند.

شکل ۳ تغییرات هزینه، سرعت و سطح مقطع در مقابل عدد فرود را برای سه مقطع نوزنقه‌ای، مستطیلی و مثلثی را نشان می‌دهد. شکل ۱-۳ نشان‌دهنده تغییرات سرعت در مقابل عدد فرود است که با افزایش عدد فرود، منحنی‌های هر سه مقطع نزدیک هم می‌باشند و حالت صعودی دارند. این امر نشان‌دهنده رابطه مستقیم عدد



شکل ۳. (۱). تغییرات سرعت در مقابل عدد فرود (۲). تغییرات هزینه در مقابل عدد فرود (۳). تغییرات سطح مقطع در مقابل عدد فرود.

(بی‌بعد) برای نوزنقه‌ای، از ۰/۴۵ تا ۰/۶۵ برای مثلثی، از ۰/۲۵ تا ۰/۴۵ برای مستطیل از ۰/۵۵ تا ۰/۷ و برای مقطع دایروی در جداول ۶ و ۷ آمده است.

در حالت چهارم نسبت به حالت اول عرض آزاد به‌عنوان تابع قید اضافه شده است و نتایج بهینه‌سازی برای Tهای مختلف از ۰/۳ (بی‌بعد) تا ۰/۴۵

جدول ۶. نتایج بهینه سازی برای عرض های سطح آزاد مقطع نوزنقه ای به عنوان قید.

پارامترها	T<=	هزینه *	سرعت	عمق	عرض کف	شیب	سطح مقطع
	۰/۴۵	۳۹۱/۸۵۵	۴/۲۲۲	۴/۰۸۶	۴/۳۸۸	۰/۳۳۷	۲۳/۶۵۵
نوزنقه ای	۰/۴	۳۸۱/۷۴۳	۴/۵۸	۴/۳۲۴	۳/۷۵۲	۰/۳	۲۱/۸۹۵
	۰/۳۵	۳۴۵/۳۳۸	۵/۶۳۶	۴/۰۷۰	۳/۱۰۰	۰/۳	۱۷/۷۱۸
	۰/۳	۲۹۸/۸۲۱	۷/۴۶۶	۳/۶۲۵	۲/۵۷۵	۰/۳	۱۳/۳۷۴

طبق جدول ۶ برای مقطع نوزنقه ای، در مقایسه با حالت اول که بدون محدودیت بوده و دارای عرض سطح آزاد ۹/۲۲ متر (۰/۵۸ بدون بعد که با ضرب در مقیاس طول (۷) با بعد شده است) با کاهش T تا ۴/۷۷ متر (۰/۳ بدون بعد) هزینه حدود ۴۸٪ کم می شود.

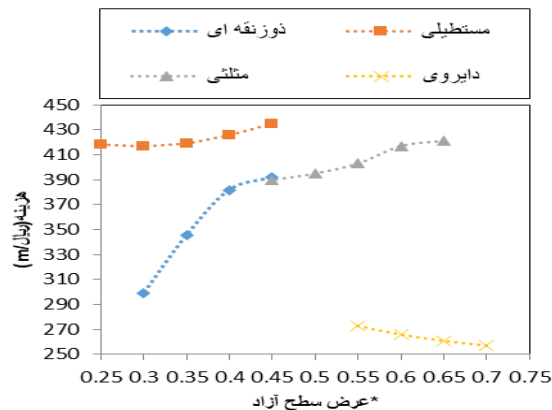
جدول ۷. نتایج بهینه سازی برای عرض های سطح آزاد مقاطع مستطیلی، مثلثی و دایروی به عنوان قید.

پارامترها							
عرض کف	سطح مقطع	شیب	عمق	سرعت	فرود	هزینه*	T<=
مثلثی							
-----	۲۴/۴۷	۱/۰۶	۴/۸۱	۳/۹۳	۰/۲۰	۴۲۰/۹۵	۰/۶۵
-----	۲۳/۸۴	۰/۹۲	۵/۱۹	۳/۹۳	۰/۲۰	۴۱۶/۸۳	۰/۶۰
-----	۲۴/۳۱	۰/۷۹	۵/۵۶	۴/۱۱	۰/۲۰	۴۰۴/۵۰	۰/۵۵
-----	۲۴/۲۲	۰/۶۸	۵/۸۳	۴/۳۱	۰/۲۰	۴۱۵/۸۸	۰/۵۰
-----	۲۰/۱۱	۰/۶۴	۵/۶۰	۴/۸۰	۰/۲۴	۳۹۰/۱۰۰	۰/۴۵
مستطیلی							
۳/۹۷	۲۱/۸۰	-----	۵/۴۹	۴/۵۸	۰/۶۷	۴۱۳/۵۰	۰/۲۵
۴/۷۷	۲۲/۸۵	-----	۴/۸۸	۴/۲۹	۰/۶۵	۴۱۶/۴۷	۰/۳۰
۵/۵۶	۲۴/۱۳	-----	۴/۳۴	۴/۱۳	۰/۶۴	۴۱۹/۲۱	۰/۳۵
۶/۳۶	۲۴/۷۸	-----	۳/۹۰	۴/۰۳	۰/۶۲	۴۲۵/۹۹	۰/۴۰
۷/۱۵	۲۵/۳۱	-----	۳/۵۴	۳/۹۵	۰/۶۲	۴۳۴/۹۰	۰/۴۵
دایروی							
شعاع	سطح مقطع	شیب	عمق	سرعت	فرود	هزینه*	T<=
۶/۱۲۵	۲۸/۵۰۲	-----	۳/۵۶۳	۳/۵۰۴	۰/۶۹	۲۵۷/۱۷	۰/۷
۵/۴۲۵	۲۸/۲۲۳	-----	۳/۷۳۸	۳/۵۰۴	۰/۶۸	۲۶۰/۹۸	۰/۶۵
۴/۸۳۶	۲۸/۰۷۲	-----	۳/۹۳	۳/۵۶	۰/۶۶	۲۶۵/۸۸۵	۰/۶
۴/۳۷۵	۲۷/۹۷۰	-----	۴/۱۳۷	۳/۵۷	۰/۶۴	۲۷۲/۵۶۸	۰/۵۵

جدول ۷ نتایج بهینه سازی برای مقاطع مثلثی، مستطیلی و دایروی را نشان می دهد. مطابق با این جدول، برای مقطع مثلثی و مستطیلی با کاهش عرض سطح آزاد، سطح مقطع و هزینه کاهش و سرعت جریان زیاد می شود. شیب در کانال مثلثی تحت تاثیر مستقیم عرض سطح آزاد قرار دارد ولی عمق دارای روند ثابتی نیست. در مقطع مستطیل، عرض سطح آزاد همان عرض کف کانال است که با کاهش عرض، عمق کانال و سرعت جریان زیاد می شود. به عنوان مثال برای عرض ۰/۳۵، عمق و سرعت به ترتیب برابر ۴/۳۴ متر و ۴/۱۳ متر بر ثانیه می باشند. از نتایج

ترتیب در محدوده‌های ۰/۲، ۰/۶ و ۰/۶ است. شکل ۴ نمودار هزینه در مقابل سطح آزاد می‌باشد. همانطور که مشاهده می‌شود با کاهش عرض سطح آزاد نمودارهای رسم شده در هر سه مقطع روند نزولی داشته که نشان دهنده کاهش هزینه است ولی برای مقطع دایروی به علت افزایش شعاع روند صعودی دارد.

دست آمده برای مقطع دایروی می‌توان فهمید که شعاع نسبت مستقیم با عرض سطح آزاد داشته و با کاهش عرض سطح آزاد شعاع نیز روند نزولی داشته و عمق برعکس حالت صعودی دارد. شعاع مقطع دایروی برای عرض سطح آزاد ۰/۷ برابر ۶/۱۲۵ متر است. عدد فرود برای کلیه عرض‌ها برای مقاطع مثلثی، مستطیلی و دایروی ثابت و به



شکل ۴. تاثیر عرض سطح آزاد کانال روی هزینه ساخت مقطع کانال.

مثلثی برای حالت دوم برابر ۵/۴ و بیشترین عرض کف نیز در مقطع مستطیلی برای حالت دوم برابر ۷/۸۷ می‌باشند. کمترین هزینه بین حالت‌ها برای مقطع دایروی حالت سوم، برابر ۲۴۰/۱۹۳ ریال بر متر می‌باشد و بیشترین هزینه برای مقطع مستطیلی حالت دوم، برابر ۴۴۵/۹۸ می‌باشد.

در مقایسه حالت‌های اول، دوم، سوم و چهارم از هر حالت کمترین هزینه و بهترین حالت جریان در جدول ۸ آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود عمق (۷) برای کلیه حالت‌های دوزنقه‌ای، مستطیلی و مثلثی تقریباً نزدیک هم و در حدود ۳/۵ متر هستند. اما مقطع مثلثی متفاوت و در حدود ۵ متر است. بیشترین عمق برای مقطع

جدول ۸. نتایج بهینه برای حالت‌های مختلف با کمترین هزینه.

پارامترها	I) بی قید (اضافی)	II) $\leq 3/5$ سرعت	III) $\leq 0/9$ فرود	IV) $0/45 \leq$ عرض سطح آزاد*
مقطع دوزنقه‌ای				
عرض کف (m)	۵/۱۵۹	۵/۳۹۹	۴/۶۷۵	۴/۳۸۸
عمق (m)	۳/۷۸۴	۳/۶۹۹	۳/۵۳۵	۴/۰۸۶
شیب	۰/۵۴۳	۰/۶۳۲	۰/۳۱۳	۰/۳۳۷
سطح مقطع (m^2)	۲۷/۲۵۳	۲۸/۶۲۵	۲۰/۵۴۶	۳۹/۹۴۹
هزینه	۴۱۷/۲۶	۴۲۹/۱۹۴	۳۶۲/۵۲۶	۳۹۱/۸۵۵
مقطع مستطیلی				
عرض کف	۷/۷۶۵	۷/۸۷۰	۴/۸۶	۷/۱۵
عمق مقطع	۳/۶۱۸	۳/۶۳	۳/۷۶	۳/۵۴
سطح مقطع	۲۸/۰۹۶	۲۸/۵۷۱	۱۸/۲۸	۲۵/۳۱

هزینه	۴۴۲/۲۲۱	۴۴۵/۹۸	۳۶۰/۰۷	۴۳۴/۹۰
مقطع مثلثی				
هزینه	۴۴۴/۵۱۷	۴۴۴/۵۲	۳۹۴/۹۲	۳۹۰/۰۰
سطح مقطع	۲۸/۰۷۵	۲۸/۵۳	۲۱/۹۳	۲۰/۱۱
عمق	۵/۱۵۷	۵/۴	۵/۲۳	۱/۲۶
شیب	۱/۰۵۵	۰/۹۷	۰/۸	۰/۶۴
مقطع دایروی				
پارامترها	آبی قید (اضافی)	II $\leq 3/5$ سرعت	III $\leq 0/9$ فرود	T $\leq 0/55$
هزینه	۲۶۳/۴۳	۲۶۳/۴۳	۲۴۰/۱۹۳	۲۷۲/۵۶۸
سطح مقطع	۲۸/۴۵	۲۸/۴۵	۲۲/۷۸۱	۲۷/۹۷۰
عمق	۳/۸۰	۳	۳/۲۱۳	۴/۱۳۷
شعاع	۵/۳۱۴	۱۲/۳۰	۶/۱۲۵	۴/۳۷۵

نتیجه گیری کلی

محدودیت معادله عمومی مقاومت) برای سرعت جریان محدودیت اعمال شد. ملاحظه گردید که با کاهش سرعت، سطح مقطع و هزینه برای مقاطع نوزنقه‌ای، مثلثی، مستطیلی و مقطع دایروی افزایش یافت. در حالت سوم (محدودیت عدد فرود) نسبت به حالت اول علاوه بر تابع قید مقاومت، برای عدد فرود نیز محدودیت قرار داده شد و نتایج نشان داد که با اعمال قید روی عدد فرود هزینه تا ۳۰٪ افزایش می‌یابد. در حالت چهارم نسبت به حالت اول برای عرض سطح آزاد کانال محدودیت قرار داده شد. نتایج نشان داد که در این حالت تا ۴۸٪ هزینه نسبت به حالت اول کاهش یافته است.

در این تحقیق با استفاده از روش پیشنهادی GA، چهار حالت، جهت بهینه کردن مقاطع کانال‌های انتقال آب به صورت نوزنقه‌ای، مستطیلی، مثلثی و دایروی و با در نظر گرفتن محدودیت‌های هیدرولیکی استفاده شد. در حالت‌های تعریف شده، تابع هدف بر اساس تابع هزینه و تابع قید به صورت معادله مقاومت لحاظ گردیدند. در حالت اول فقط با تابع قید معادله مقاومت، نتایج برای چهار مقطع بهینه شده بررسی و مقایسه گردیدند که نتایج کلی به دست آمده برای چهار مقطع برای حالت اول نشان داد که بهینه‌ترین مقطع با کمترین هزینه ساخت، مقطع دایروی است که دلیل بر صحت نتایج دارد. در حالت دوم نسبت به حالت اول (فقط با

منابع مورد استفاده

- Abrishami J and Hoseini M, 2005. Hydraulics of Open Channel Flow. Astane Ghodse Razavi, Mashhad, Iran. (In Persian with English abstract)
- Aksoy B and Altan-Sakarya AB, 2006. Optimal lined channel design. Canadian Journal of Civil Engineering, 33(5): 535-545.
- Akkuzu E, 2012. Usefulness of Empirical Equations in Assessing Canal Losses through Seepage in Concrete-Lined Canal. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 138 (5): 455-460.
- Bahramloo R, 2011. Evaluation of leakage losses in irrigated channels with rock cover in cold regions and its effect on water resources (Case study in Hamadan province). Iranian Water Research Journal, 5(9): 141-150. (In Persian with English abstract)
- Babaeyan-Koopaei K, Valentine EM and Swailes DC, 2000. Optimal design of parabolic-bottomed triangle canals. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 126(6): 408-411.
- Bhattacharjy RK, 2006. Optimal design of open channel section incorporating critical flow condition. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 132(5): 513-518.

- Chahar BR, 2001. Extension of Vederikov's graph for seepage from canals. *Ground Water*, 39(2):272-5.
- Chahar BR, 2007. Optimal design of a special class of curvilinear bottomed channel section. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 133(5):571-6.
- Chow VT, 1959. *Open-channel Hydraulics*. McGraw-Hill: New York.
- Das A, 2007. Optimal design of channel having horizontal bottom and parabolic side. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 133(2): 192-197.
- French RH, 1994. *Open-channel hydraulics*. McGraw-Hill, New York.
- Ghazaw YM, 2010. Design charts of optimal canal section for minimum water loss. *Journal of Engineering and Computer Sciences*, 3(2): 73-95.
- Goldberg DE, 1989. *Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning*. MA: Addison Wesley, Boston.
- Guo CY and Hughes WC, 1984. Optimal channel cross section with free board. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 110(3): 304-313.
- Hajjalilue-Bonab, M and Behrouz Saranda F, 2012. Optimization of cross section of channels located on expansive soils with the help of executive joints and wall slope. *Third National Seminar on Geotechnical Issues of Irrigation and Drainage Networks*. Kraj, Iran. (In Persian with English abstract)
- Jain A, Bhattacharjya RK and Sanaga S, 2004. Optimal design of composite channels using genetic algorithm. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 130(4): 286-295.
- Swamee PK, Mishra GC and Chahar R, 2000. Design of Minimum Seepage Loss Canal Section. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 126(1): 28-32.
- Trout TJ, 1982. Channel design to minimize lining material costs. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 108(4): 242-249.