



بررسی مقطع بهینه هیدرولیکی در کانال‌های سهمی شکل دو بخشی

حجت الله یونسی^۱، الهه حسینیان^۲، حسن ترابی پوده^۳

تاریخ ارسال: ۱۳۹۸/۰۳/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۸/۰۷

مقاله پژوهشی

چکیده

از میان تمامی مقاطعی که می‌توانند یک دبی مشخص را انتقال دهند، تنها مقطع بهینه هیدرولیکی است که کمترین محیط خیس شده را ایجاد می‌کند. در پژوهش حاضر سعی بر یافتن مقطع بهینه هیدرولیکی دو نوع کانال مرکب با سطح مقطع سهمی و سهمی با عرض کف صاف شده است. لذا با ثابت در نظر گرفتن مقدار مساحت و انتخاب مقدار محیط مرطوب به عنوان تابع هدف، پارامترهای هندسی بهینه هیدرولیکی برای دو تیپ سهمی شکل و سهمی شکل با عرض کف صاف به دست آمد و معادلات بهترین مقطع هیدرولیکی هر تیپ استخراج شد. نتایج نشان داد مدل بهینه تیپ ۱، به ازای دبی و ضریب زبری و شیب طولی مشخص، کمترین مقدار محیط خیس شده و در نتیجه کمترین هزینه را از میان مقاطع دیگر نظیر نیمه شش ضلعی منتظم، نیمه هشت ضلعی منتظم و نیمه ده ضلعی منتظم و تیپ‌های استاندارد سهمی و سهمی با عرض کف صاف ایجاد می‌کند و به محیط خیس شده نیم‌دایره بسیار نزدیک‌تر است. همچنین هر دو تیپ مقطع پیشنهادی هزینه بسیار کمتری نسبت به مقاطع بهینه تحقیقات پیشین را بدست می‌دهند.

واژه‌های کلیدی: بهترین مقطع هیدرولیکی، کانال دو بخشی، کانال سهمی با عرض کف صاف

۱ استادیار گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، ۰۶۴۳۱۲۰۰۸۶، yonesi.h@lu.ac.ir (نویسنده مسول)
 ۲ کارشناس دفتر مهندسی رودخانه- شرکت آب منطقه ای تهران، ۰۹۱۸۶۸۷۳۹۹۳، el_hosseinian5664@yahoo.com
 ۳ دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان، ۰۹۱۳۲۲۰۵۱۶۹، torabi1976@gmail.com

مقدمه

عملکرد ضعیف کانال‌های آبیاری از یک سو و تاثیر آن در کاهش راندمان انتقال آب از سوی دیگر ضرورت ارائه روش‌های موثر در طراحی و بهره‌برداری بهینه از کانال‌های آبیاری را ایجاب نموده است. مقطع مؤثر هیدرولیکی کانال عبارت است از مقطعی که به ازای یک سطح مقطع مشخص، حداقل محیط خیس شده را دارا باشد. تاکنون مطالعات متعددی جهت تعیین بهترین مقطع هیدرولیکی کانال‌های مختلف جهت به حداقل رسیدن محیط خیس شده و در نتیجه کاهش هزینه‌های ساخت کانال صورت گرفته است. محققان بسیاری با استفاده از روش‌های مرسوم و سنتی تکنیک‌های مشتق‌گیری اقدام به برآورد ابعاد بهینه هیدرولیکی کانال‌های انتقال آب نموده‌اند ((Yuan & William (1984), chow (1959), Raj Kumar (2010), Loganathan (1991), Swamee (2016), Vatankhah (2009) و (Mwiya). پس از آن محققان با استفاده از روش ضرایب لاگرانژ مطالعات خود را بر روی بهینه‌سازی مقطع کانال معطوف نمودند. محققانی مانند (1994) et al., Das (2000), Monadjemi (1994), Froehlich (2007, 2005), Babaeyan Koopaei al (2000), Chahar (2015) و Han (2017) از این دست بودند. روش لاگرانژ ساده‌تر از روش مشتق‌گیری است. در سال‌های اخیر استفاده از تکنیک‌های جدید بهینه‌سازی برای طراحی مقطع بهینه کانال مانند الگوریتم جامعه مورچگان (Nourani et al., 2009)، الگوریتم ژنتیک (شهرادفر و فرسادیزاده، ۱۳۸۹ و حسین پور مقدم، ۱۳۹۲)، مدل هیبرید الگوریتم ژنتیک (Bhattacharjya & Satish, 2007)، نرم‌افزار LINGO و تکنیک حل SFLA رونق گرفته است (Orouji, 2016). این روش‌های بهینه‌سازی بازده محاسباتی را بهبود می‌بخشند. در سال‌های اخیر به کانال‌های مرکب توجه بیشتری شده است. مقاطع مرکب به کانال‌هایی اطلاق می‌گردد که تراز جریان پس از افزایش تا حد مشخصی وارد سطح مقطع بزرگ‌تری گردد. عبدالرحمن یک مقطع مرکب که یک نیم هشت‌ضلعی بود، ارائه نمود و اثبات کرد که این مقطع از کانال ذوزنقه‌ای بسیار بهینه‌تر است (Abdulrahman, 2007).

(Das, 2007) مقطع سهمی را تغییر داده و با کف صاف مورد بررسی قرار داد. در تحقیق ایشان از هزینه به‌عنوان تابع هدف استفاده شده است. وی اثبات کرد که مقطع ارائه‌شده از مقطع ذوزنقه‌ای بسیار بهینه‌تر است. پس از آن (Easa, 2009) مقطع بهبودیافته ترکیبی از دو قسمت سهمی در دیواره کانال سهمی و کف صاف ارائه نمود و اثبات کرد که این مدل به لحاظ اقتصادی به‌صرفه‌تر از مدل داس است. ایشان نیز از هزینه به‌عنوان تابع هدف استفاده کرده‌اند. در تحقیقات دیگر بر روی بهینه‌سازی هیدرولیکی که منجر به ایجاد حداقل محیط خیس شده تمرکز شده است. وطن‌خواه دو مقطع نیمه چندضلعی منظم را مورد مقایسه قرار داد. نتایج نشان داد که نصف مقطع ده ضلعی بسیار بهینه است (Vatankhah, 2014). بابائیان-کوپایی و همکاران، ابعاد مقطع بهینه کانال مثلثی با کف سهمی شکل را ارائه نمود که مقطع پیشنهادی محیط خیس شده کمتری را در مقایسه با مقطع ذوزنقه‌ای و سهمی دارا می‌باشد (Babaeyan Koopaei et al., 2000). فرزین و همکاران به منظور کاهش هزینه ساخت مقطع کانال‌های آبیاری در شرایط سیلابی و وجود عدم قطعیت از الگوریتم فراکاوشی خفاش استفاده نمودند. ایشان برای این منظور از سه سناریوی زبری یکنواخت بستر، زبری مرکب و ارتفاع آزاد ثابت و متغیر استفاده کردند. نتایج نشان داد که با استفاده از الگوریتم خفاش در مقایسه با روش‌های دیگر، می‌توان موجب بهبود نتایج بهینه‌سازی تا ۱۳/۹۷ درصد گردید (فرزین و همکاران، ۱۳۹۷). هان و همکاران یک کانال سهمی با عرض کف صاف معرفی نمود و اثبات کرد که این مقطع بهینه از مقاطع بهینه‌ی مستطیلی، ذوزنقه، مثلثی، سهمی کلاسیک، سهمی نیمه مکعب و سهمی با عرض کف صاف نیمه مکعب بهینه‌تر است (Han et al., 2017). مائو و چن بهترین مقطع هیدرولیکی را برای کانال مرکب ذوزنقه‌ای با در نظر گرفتن سیلاب‌دشت ارائه نمودند. نتایج نشان داد سطح مقطع و محیط خیس شده مقطع پیشنهادی برای دبی مشخص زمانی که نسبت ضریب زبری به مقطع مستطیلی و ذوزنقه‌ای به ترتیب کمتر از ۱/۰۱۷ و ۰/۸۵۵ باشد بهینه‌تر است (Mao & Chen, 2019).



Z_f : شیب دیواره جانبی سیلابدشت، k ثابت سهمی و S :
شیب دیواره در بالای مقطع عرضی سهمی می باشد.

تیپ اول: کانال مرکب سهمی

مشخصات هندسی بخش سهمی مربوط به کانال
اصلی به ترتیب با روابط (۱) تا (۵) توصیف می شوند:

$$Y = kX^2 \quad (1)$$

در آن:

k : عبارت است از پارامتر سهمی می باشد..

$$A = \frac{hT}{2} - \int_0^{T/2} hdx = \frac{2}{3}hT = \frac{8}{3}h^2S \quad (2)$$

$$T = 4hS \quad (3)$$

$$S = \frac{1}{2\sqrt{kh}} \quad (4)$$

محیط خیس شده کانال اصلی یا بخش سهمی شکل از
معادله ۵ به دست می آید.

$$P = b_{mc} + 2h + 2b_f + 2y_f \sqrt{1 + Z_f^2} \quad (5)$$

بنابراین سطح مقطع و محیط خیس شده کل کانال تیپ
۱ از معادلات ۶ و ۷ قابل محاسبه خواهد بود.

$$A_t = \frac{8}{3}h^2S + 4hSy_f + 2b_f y_f + Z_f y_f^2 \quad (6)$$

$$P_t = 2h \left(\sqrt{1 + S^2} + S^2 \log \left(\frac{1}{S} + \sqrt{1 + \frac{1}{S^2}} \right) \right) + \quad (7)$$

$$2b_f + 2y_f \sqrt{1 + Z_f^2}$$

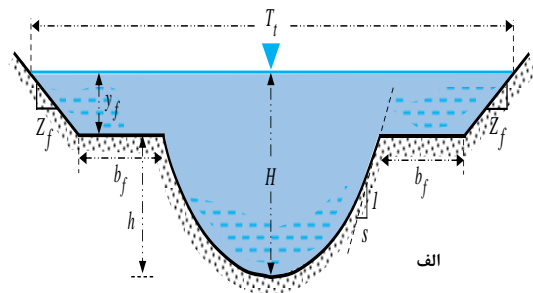
تیپ دوم: کانال مرکب سهمی با کف صاف

در این تیپ، کانال مرکب سهمی با کف صاف در نظر
گرفته شده است. سطح مقطع و محیط خیس شده کل
کانال تیپ ۲ برای کانال با مقطع سهمی با استفاده از
روابط ۸ و ۹ قابل محاسبه است:

همان گونه که گفته شد بحث بهینه سازی کانالها دارای
قدمت زیادی بوده و مقاطع مختلفی بهینه شده اند. با این
وجود، به نظر می رسد بهینه سازی مقاطع جدیدتری مانند
مقطع سهمی و سهمی با عرض کف صاف به صورت دو
بخشی نیاز به توجه بیشتری دارد.

مواد و روشها

جهت بهینه سازی هیدرولیکی، با ثابت نگاه داشتن مقدار
سطح مقطع جریان، پارامترهای هندسی کانال دو بخشی به
ازای کمترین محیط خیس شده به دست خواهند آمد.
پارامترهای هندسی و شماتیک دو تیپ مقاطع مرکب مورد
بررسی در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل (۱): پارامترهای هندسی و شماتیک مقاطع مرکب
الف: کانال مرکب سهمی (تیپ ۱) ب: کانال سهموی با کف
صاف (تیپ ۲)

در این اشکال:

A_t : کل سطح مقطع جریان

P_t : محیط خیس شده کل مقطع

H : عمق کلی جریان

h : عمق جریان تا رسیدن به تراز سیلابدشت

y_f : عمق جریان بر روی سیلابدشت

Z_f : عمق نسبی جریان که برابر است با نسبت عمق جریان

بر روی بخش بالایی کانال به عمق کلی جریان

T_t : عرض سطح آزاد

b_{mc} : عرض کف کانال اصلی

b_f : عرض کف سیلابدشت

همچنین مقدار شیب در بالای مقطع سهمی و شیب دیواره‌های سیلاب‌دشت به ترتیب مقدار ثابت 0.7832 و 0.2252 به دست آمد. در هر بار اجرای مدل عرض کف سیلاب‌دشت صفر به دست آمد. معادلات ۱۲ تا ۱۵ بهترین ابعاد را برای تیپ ۱ محاسبه می‌نمایند.

$$S = 0.7832 \quad (13)$$

$$Z_f = 0.2252 \quad (14)$$

$$b_f = 0.2252 \quad (15)$$

روابط صریح جهت طراحی مقطع بهینه سهمی دو بخشی

با جایگذاری مقدار به دست آمده معادله ۱۲ در معادله ۴ ارتباط بین ثابت k و عمق جریان در کانال اصلی تا آستانه لبریزی به صورت رابطه (۱۶) خواهد شد.

$$k = \frac{0.408}{h} \quad (16)$$

الف) محاسبه دبی وقتی عمق جریان معلوم است:

دبی جریان طبق معادله مانینگ به صورت رابطه ۱۷ محاسبه می‌شود:

$$Q = \frac{1}{n} \frac{A_t^{5/3} S^{1/2}}{P_t^{2/3}} \quad (17)$$

که در آن:

n : ضریب زبری بستر و جداره های کانال می‌باشد.

با جایگذاری مقدار به دست آمده معادله ۱۲ تا ۱۵ در معادلات ۶، ۷ و ۱۷ معادلات صریح مقطع بهینه تیپ ۱ به صورت زیر به دست می‌آیند (روابط ۱۸ تا ۲۱).

$$A = 1.495H^2 \quad (18)$$

$$P = 3.080H \quad (19)$$

$$R = 0.49H \quad (20)$$

$$Q = 0.9292 \frac{H^{8/3} S^{1/2}}{n} \quad (21)$$

ب) محاسبه عمق جریان وقتی دبی معلوم است:

$$A_t = (b_{mc} + \frac{8}{3}hS)h + 2b_f y_f + b_{mc} y_f + \quad (8)$$

$$4hS y_f + Z_f y_f^2$$

$$P_t = 2h \left(\sqrt{1+S^2} + S^2 \log \left(\frac{1}{S} + \sqrt{1+\frac{1}{S^2}} \right) \right) + \quad (9)$$

$$b_{mc} + 2b_f + 2y_f \sqrt{1+Z_f^2}$$

بهینه‌سازی غیرخطی

طبق تعریف بهترین مقطع هیدرولیکی مقطعی است که به ازای سطح مقطع ثابت محیط خیس شده حداقل را نتیجه بدهد. در این تحقیق به منظور بهینه‌سازی از نرم افزار لینگو استفاده شده است. برنامه مدل بهینه بر اساس روابط ۱۰ و ۱۱ تعریف می‌شود.

$$\text{Minimize } P_t = P_t(y, Z, h, b, S) \quad (10)$$

دو ویژگی بهینه‌سازی توسط مدل لینگو تابع هدف و محدودیت‌های مسئله می‌باشند. معادله ۱۰ به عنوان تابع هدف و معادله ۱۱ محدودیت‌های مسئله را نشان می‌دهد. از آنجاکه مهم‌ترین محدودیت ثابت بودن سطح مقطع است، در هر بار اجرای برنامه یک مقدار مشخص برای سطح مقطع منظور می‌شود و نتایج مقایسه خواهند شد.

$$A_t = \text{Cte.}; H = h + y_f;$$

$$y_f, h, b_f, b_{mc}, \quad (11)$$

$$Z_f, H, s, > 0$$

نتایج و بحث

نتیجه بهینه‌سازی هیدرولیکی تیپ ۱:

جدول ۱ و شکل ۲ رابطه میان سطح مقطع جریان و پارامترهای هندسی در بهینه‌سازی تیپ اول را نشان می‌دهد. مدل بهینه‌سازی غیرخطی بیش از ۱۸ بار به ازای سطح مقطع‌های مختلف اجرا گردید. همان‌گونه که در جدول ۱ و شکل ۲ نشان داده شده است، برای تمامی مساحت‌های فرضی ارتباط مشخص و ثابتی میان عمق کانال اصلی، سیلاب‌دشت و عمق کلی جریان وجود دارد و بهترین مقطع هیدرولیکی در عمق نسبی 0.4263 حاصل گردیده است.

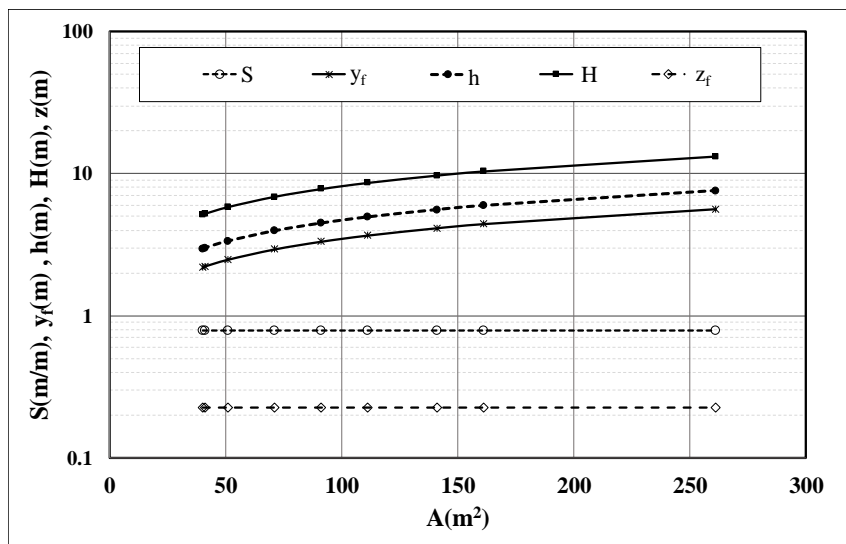
$$y_r = y_f / H = 0.4263 \quad (12)$$



با معلوم بودن دبی جریان، می توان پارامترهایی همچون H, A, P را محاسبه نمود. معادلات ۲۲ تا ۲۴ روابط صریح برای تعیین پارامترهای مذکور ارائه شده است.

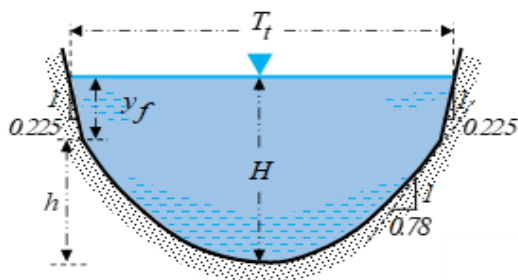
جدول (۱): نتایج بهینه بدست آمده از مدل بهینه سازی غیر خطی تیپ ۱ به ازای سطح مقطع‌های مختلف

$A(m^2)$	S	$y_f(m)$	$b_f(m)$	$h(m)$	$H(m)$	y_r	z_f
40	0.7832	2.2053	0	2.9682	5.1735	0.4263	0.2252
41	0.7832	2.2327	0	3.0051	5.2378	0.4263	0.2252
51	0.7832	2.4902	0	3.3516	5.8417	0.4263	0.2252
71	0.7832	2.9381	0	3.9545	6.8926	0.4263	0.2252
91	0.7832	3.3263	0	4.4770	7.8033	0.4263	0.2252
111	0.7832	3.6737	0	4.9445	8.6182	0.4263	0.2252
141	0.7832	4.1405	0	5.5728	9.7133	0.4263	0.2252
161	0.7832	4.4244	0	5.9549	10.3793	0.4263	0.2252
261	0.7832	5.6333	0	7.5820	13.2153	0.4263	0.2252



شکل (۲): نتایج بهینه بدست آمده از مدل بهینه سازی غیر خطی به ازای سطح مقطع‌های مختلف

شماتیک مقطع بهینه کانال بهینه مذکور در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل (۳): مدل بهینه تیپ ۱

$$H = 1.028 \left(\frac{Q \cdot n}{\sqrt{S}} \right)^{3/8} \quad (22)$$

$$A = 1.580 \left(\frac{Q \cdot n}{\sqrt{S}} \right)^{3/4} \quad (23)$$

$$P = 3.166 \left(\frac{Q \cdot n}{\sqrt{S}} \right)^{3/8} \quad (24)$$

نتایج حاکی از این مسئله است که به هنگام بررسی مقطع بهینه سهمی شکل مرکب، مقطع بهینه به شکل یک کانال دو بخشی بدست می‌آید که متشکل از سهمی در قسمت کانال اصلی و یک قسمت خطی در بالای آن می‌باشد.

نتیجه بهینه‌سازی هیدرولیکی تیپ ۲:

همچنین نسبت عرض کف کانال اصلی به عمق جریان عدد ثابت ۰/۲۵۶، عمق نسبی جریان ۰/۳۸۹ و عرض کف سیلاب‌دشت صفر به دست آمد.

$$B_{mc}/H = 0.256 \quad (27)$$

$$y_r = 0.389 \quad (28)$$

$$b_f = 0.00 \quad (29)$$

با مشخص شدن عمق نسبی و سایر پارامترهای هندسی مقطع بهینه به صورت یک کانال ترکیبی دو بخشی که قسمت پایینی دیواره آن سهموی و قسمت بالایی آن خطی می‌باشد با کف صاف بدست می‌آید. شکل ۵ این مقطع را نشان می‌دهد.

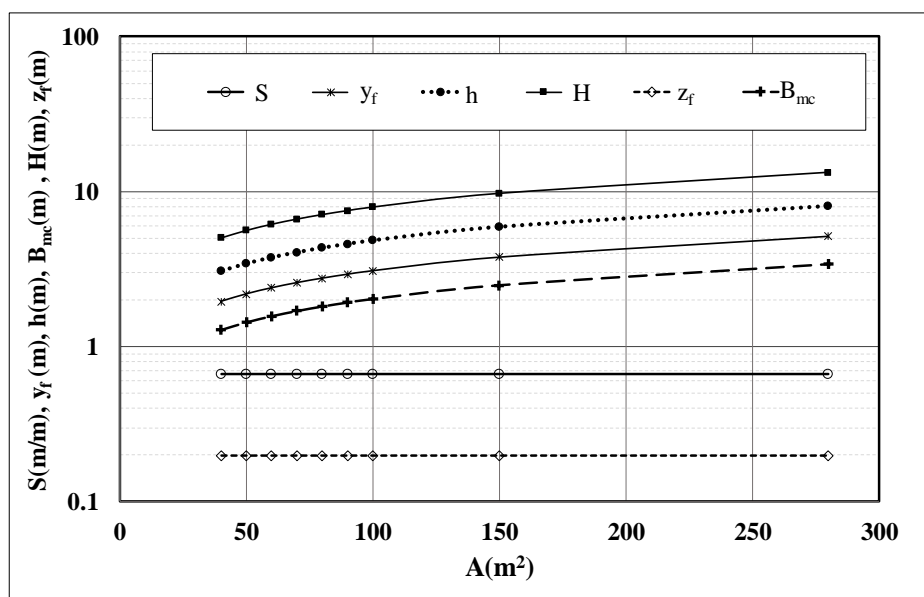
جدول ۲ و شکل ۴ رابطه میان سطح مقطع جریان و پارامترهای هندسی حاصل از بهینه‌سازی تیپ دوم را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در جدول ۲ و شکل ۴ نشان داده شده است، در بهینه‌سازی کانال دوبخشی با سطح مقطع مرکب سهمی با کف صاف، به ازای تمامی سطح مقطع‌های داده شده مقدار شیب دیواره‌های سیلاب‌دشت و شیب در بالای مقطع سهمی به ترتیب مقدار ثابت ۰/۱۹۹ و ۰/۶۶۶۶ به دست آمده است. روابط ۲۵ تا ۲۹ بهترین ابعاد را برای تیپ ۲ محاسبه بدست می‌دهد.

$$z_f = 0.1985 \quad (25)$$

$$S = 0.6666 \quad (26)$$

جدول (۲): نتایج بهینه بدست آمده از مدل بهینه سازی غیر خطی تیپ ۲ به ازای سطح مقطع‌های مختلف

A(m ²)	S	z _f	b _f (m)	b _{mc} (m)	y _r (m)	h(m)	H(m)	y _r
40	0.6666	0.1985	0	1.2890	1.9577	3.0688	5.0265	0.3895
50	0.6666	0.1985	0	1.4411	2.1888	3.4310	5.6198	0.3895
60	0.6666	0.1985	0	1.5786	2.3977	3.7585	6.1561	0.3895
70	0.6666	0.1985	0	1.7051	2.5898	4.0596	6.6494	0.3895
80	0.6666	0.1985	0	1.8229	2.7686	4.3399	7.1085	0.3895
90	0.6666	0.1985	0	1.9334	2.9365	4.6032	7.5397	0.3895
100	0.6666	0.1985	0	2.0380	3.0954	4.8522	7.9475	0.3895
150	0.6666	0.1985	0	2.4961	3.7910	5.9427	9.7337	0.3895



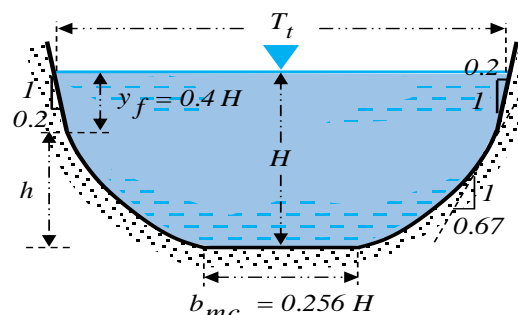
شکل (۴): رابطه میان سطح مقطع جریان و پارامترهای هندسی در بهینه سازی تیپ دوم

$$P = 3.1693 \left(\frac{Q.n}{\sqrt{S}} \right)^{3/8} \quad (36)$$

$$B_{mc} = 0.2563 \left(\frac{Q.n}{\sqrt{S}} \right)^{3/8} \quad (37)$$

نتایج حاکی از آن است که به هنگام بررسی مقطع بهینه سهمی شکل مرکب با عرض کف صاف، مقطعی بهینه خواهد بود که متشکل از یک کانال سهمی با عرض کف صاف در قسمت کانال اصلی و یک کانال دوزنقه‌ای در بالای آن باشد. همانگونه که انتظار می‌رفت، در هر دو تیپ پیشنهادی کانال بهینه، بیشترین تطابق ممکن را با نیم دایره حاصل کرده است. در جدول (۳) خلاصه روابط میان پارامترهای هندسی کانال بهینه مستخرج از بهینه‌سازی دو تیپ کانال پیشنهادی ارائه شده است. همچنین با فرض $\varepsilon = Qn/\sqrt{S}$ ، مشخصات مقاطع بهینه این تحقیق و تحقیقات مشابه در جدول ۴ مقایسه شده است.

مقایسه نتایج نشان می‌دهد که به ازای دبی، ضریب زبری و شیب طولی مشخص، هر دو تیپ سطح مقطع و محیط خیس شده بسیار کمتری از مقاطع بهینه دیگر مانند نیم شش، هشت و ده ضلعی منتظم و کانال های سهمی و سهمی با عرض کف صاف یک قسمته ایجاد می‌نمایند. و بسیار به محیط خیس شده و سطح مقطع نیم دایره نزدیک می‌باشند. به این شکل هزینه‌های ساخت کانال که عمدتاً با خاکبرداری و لاینینگ و اجاره زمین مشخص می‌گردد با انتخاب مقطع بهینه‌تر به حداقل مقدار خود می‌رسد.



شکل (۵): مدل بهینه تیپ ۲

روابط صریح جهت طراحی مقطع بهینه سهمی دو بخشی با عرض کف صاف

(الف) محاسبه دبی وقتی عمق جریان معلوم است:

با جایگذاری مقدار به دست آمده معادله ۲۵ تا ۲۹ در معادلات ۸، ۹ و ۱۷ معادلات صریح مقطع بهینه تیپ ۲ به صورت زیر به دست می‌آیند.

$$A = 1.583H^2 \quad (30)$$

$$P = 3.166H \quad (31)$$

$$R = 0.50H \quad (32)$$

$$Q = 0.997 \frac{H^{8/3} S^{1/2}}{n} \quad (33)$$

ابتدا با استفاده از معادله ۳۳، عمق نرمال H برای مقطع بهینه تیپ ۲ به صورت معادله ۳۴ به دست می‌آید.

$$H = 1.001 \left(\frac{Q.n}{\sqrt{S}} \right)^{3/8} \quad (34)$$

با جای‌گذاری مقدار بدست آمده معادله ۳۴ در معادلات ۲۷، ۳۰ و ۳۱، معادلات صریح مقطع بهینه تیپ ۲ به صورت زیر بدست می‌آید.

$$A = 1.5863 \left(\frac{Q.n}{\sqrt{S}} \right)^{3/4} \quad (35)$$

جدول (۳): بهترین مقاطع هیدرولیکی کانال‌های پیشنهادی

مقطع	A(m ²)	P(m)	R(m)	B _{mc} (m)	y _r	Z _f (m)	S
تیپ ۱	1.49H ²	3.08H	0.49H	-	0.43	0.783	0.225
تیپ ۲	1.58H ²	3.17H	0.5H	0.26H	0.39	0.199	0.667

جدول (۴): مقایسه بهترین مقطع هیدرولیکی پیشنهادی این تحقیق با سایر مقاطع بهینه تحقیقات دیگر

تحقیق	شکل مقطع	سطح مقطع جریان (A)	عمق نرمال (H)	محیط خیس شده (P)
تیپ ۱	ترکیبی سهموی و خطی (شکل ۳)	1.57965 $\frac{3}{4}$	1.0279 $\frac{3}{8}$	3.166 $\frac{3}{8}$
تیپ ۲	ترکیبی سهموی و خطی با عرض کف صاف (شکل ۴)	1.5863 $\frac{3}{4}$	1.0010 $\frac{3}{8}$	3.1692 $\frac{3}{8}$
عبدالرحمن ۲۰۰۷	نیمه ۸ ضلعی منتظم	1.604 $\frac{3}{4}$	0.984 $\frac{3}{8}$	3.261 $\frac{3}{8}$
وطن خواه ۲۰۱۴	نیمه ۶ ضلعی منتظم	1.622 $\frac{3}{4}$	0.968 $\frac{3}{8}$	3.353 $\frac{3}{8}$
وطن خواه ۲۰۱۴	نیمه ۸ ضلعی منتظم	1.604 $\frac{3}{4}$	0.984 $\frac{3}{8}$	3.261 $\frac{3}{8}$
وطن خواه ۲۰۱۴	نیمه ۱۰ ضلعی منتظم	1.597 $\frac{3}{4}$	0.991 $\frac{3}{8}$	3.221 $\frac{3}{8}$
هان (۲۰۱۵)	سهمی نیم مکعبی با عرض کف صاف	1.6011459 $\frac{3}{4}$	0.986861 $\frac{3}{8}$	3.24556 $\frac{3}{8}$
هان (۲۰۱۵)	سهمی نیم مکعب کلاسیک	1.621260 $\frac{3}{4}$	1.156977 $\frac{3}{8}$	3.346817 $\frac{3}{8}$
هان (۲۰۱۷)	سهمی با عرض کف صاف	1.5941 $\frac{3}{4}$	0.9937 $\frac{3}{8}$	3.2084 $\frac{3}{8}$
ماتو و چن ۲۰۱۹	کانال مرکب (دوزنقه در قسمت کانال اصلی و مستطیل در سیلابدشت) نیم دایره	1.619 $\frac{3}{4}$	1.0587 $\frac{3}{8}$	3.335 $\frac{3}{8}$
		1.58323 $\frac{3}{4}$	1.00414 $\frac{3}{8}$	3.15401 $\frac{3}{8}$

نتیجه‌گیری

در این تحقیق به منظور بهینه‌سازی هیدرولیکی دو تیپ کانال مرکب سهمی شکل و سهمی شکل با کف صاف در نظر گرفته شدند. نتیجه بهینه‌سازی هیدرولیکی تیپ اول، یک کانال سهموی دو بخشی با شیب دیواره‌های سیلابدشت ۰/۲۲۵، شیب دیواره در بالای مقطع سهمی برابر با ۰/۷۸ و عمق نسبی ۰/۴۲۶ بود. همچنین مشخص شد میان ثابت سهمی و عمق جریان رابطه‌ای مشخص وجود دارد. در بهینه‌سازی تیپ دوم مقدار شیب دیواره‌های سیلابدشت و شیب در بالای مقطع سهمی به ترتیب مقدار ثابت ۰/۱۹۹ و ۰/۶۶۷ بدست آمد. همچنین نسبت عرض کف کانال اصلی

به عمق جریان عدد ثابت ۰/۲۵۶ و عمق نسبی جریان ۰/۳۸۹ بدست آمد. از میان دو تیپ پیشنهادی، تیپ ۱ کمترین سطح مقطع جریان و محیط خیس شده را داراست. مقایسه نشان می‌دهد که به ازای دبی، ضریب زبری و شیب طولی مشخص، هر دو تیپ سطح مقطع و محیط خیس شده بسیار کمتری از مقاطع بهینه دیگر مانند نیم شش، هشت و ده ضلعی منتظم و کانال‌های سهمی و سهمی با عرض کف صاف یک قسمته ایجاد می‌نمایند. و بسیار به محیط خیس شده و سطح مقطع نیم دایره نزدیک می‌باشند. هر دو تیپ مقطع بهینه هیدرولیکی پیشنهادی سطح مقطع جریان و محیط خیس شده و در نتیجه هزینه بسیار

که معمولاً دارای مترای بالایی هم هستند ضرب گردد رقم
هنگفتی می شود که برای یک پروژه آبیاری قابل توجه است.

کمتری نسبت به مقاطع بهینه تحقیقات پیشین بدست می
دهند. اگر این اختلاف مقدار در طول کانال های انتقال آب

منابع

حسین پورمقدم، م. ۱۳۹۲. طراحی بهینه کانال های مرکب با استفاده از بهینه سازی غیرخطی. پایان نامه کارشناسی ارشد.
دانشکده فنی مهندسی. دانشگاه شهید چمران اهواز.

شهرادفر، س و فرسادیزاده، د. ۱۳۸۹. طراحی بهینه مقاطع سهمی شکل کانال های روباز با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک.
سومین همایش ملی مدیریت شبکه های آبیاری و زهکشی. اهواز. دانشگاه شهید چمران اهواز.

فرزین، س.، کرمی، ح.، ولیخان انارکی، م. و احترام، م. ۱۳۹۷. مدل بهینه سازی کانال آبیاری با لحاظ شرایط سیلابی و عدم
قطعیت. فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران، سال نهم، شماره ۳۳، ص ۶۰-۴۶.

Abdulrahman. A.2007. Best hydraulic section of a composite channel, J. Hydraul. Eng. 133:695–697.

Babaeyan Koopaei. K., E. M. Valentine and D. C. Swailes.2000. Optimal design of parabolic-bottomed triangle channels. J. Irrig. Drain. Eng., 126:408-411.

Bhattacharjya. R. K. and M. G. Satish.2007. Optimal design of a stable trapezoidal channel section using hybrid optimization techniques, J. Irrig. Drain. Eng., 133:323-329.

Chahar. B. R. 2005. Optimal design of a parabolic channel section, J. Irrig. Drain. Eng., (131): 546-554.

Chahar. B. R. 2007. Optimal design of a special class of curvilinear bottomed channel section, J. Hydraulic Eng., (133): 571-576.

Chow, V. T. 1959. Open channel hydraulics, New York, Mc Graw-Hill.

Das. A. 2000. Optimal channel cross section with composite roughness.” J. Irrig. Drain. Eng., 126: 68-72.

Das. A. 2007. Optimal design of channel having horizontal bottom and parabolic sides, J. Irrig. Drain. Eng., 133: 192-197.

Easa. S.M. 2009. Improved channel cross section with two-segment parabolic sides and horizontal bottom, J. Irrig. Drain. Eng., 135:357–365.

Han. Y. C.2015. Horizontal bottomed semi-cubic parabolic channel and best hydraulic section, j. Flow. Meas. Instrum., (45): 56–61.

Han. Y.C., X. P. GAO, Xu. Z. H.2017. The best hydraulic section of horizontal-bottomed parabolic channel section, J. Hydrodyn. , (29): 305–313.

Loganathan. G. V .1991. Optimal design of parabolic channels. J. Irrig. Drain. Eng., 117:716-735.

Mao. L. and Y. Chen.2019. Two-stage compound channel and best hydraulic section. J. Flow Meas Inst., 65: 136-140.

Monadjemi. P. 1994. General Formulation of Best Hydraulic Channel Section, J. Irrig. Drain. Eng., 120: 27-35.

Mwiya. R.2013. Parabolic Channel Design, International J. Sci & Eng Res., (4):804-809.

Froehlich. D. C. 1994. Width and depth constrained best trapezoidal section, J. Irrig. Drain. Eng., 120:828-835.

Nourani. V., S. Talatahari, P. Monadjemi and S. Shahraddfar 2009. Application of ant colony optimization to optimal design of open channels, J. Hydraul. Res., 47:656–665.

Orouji. H., N. Mahmoudi; E. Fallah-Mehdipour and M. Pazoki.2016. Shuffled Frog-Leaping Algorithm for Optimal Design of Open Channels. J. Irrig. Drain. Eng., ASCE, Technical Note, 142:1-8.

Prabhata K., P.K. Swamee, Rathie. 2016. Normal depth equations for parabolic open channel sections, J. Irrig. Drain. Eng., 142 -148.



Raj Kumar. V.R., M.S. Shiva Reddy and G.K. Vishwanadh.2010. Normal and critical depth computations fore gg-shaped conduit sections, Flow. Meas. Inst., 21: 367–372.

Swamee. P.K., G.C. Mishra and B.R. Chahar.2000. Comprehensive design of minimum cost irrigation canal sections, J. Irrig. Drain. Eng., 126:322–327.

Vatankhah, A. R. 2009. Discussion of Most Hydraulically Efficient Standard Lined Canal Sections. Irrigation and Drainage Eng., 135(3): 398–399.

Vatankhah. A. R. 2014. Semi-regular polygon as the best Hydraulic section in practice (Generalized solutions), J. Flow Meas Instru., 38: 67-71.

Yuan Guo, C. and William H. 1984. Optimal channel cross section with freeboard. Irrigation and Drainage Eng., 110(3):304-314.



Investigation of Optimal Hydraulic Cross Section in Two-Section Parabolic Channels

Hojjat allah Yonesi¹, Elaheh Hosseinian², Hassan Torabipoudeh³

Abstract

Among all of the sections that can transport a discharge, the best hydraulic section is to provide the least wetted perimeter. In this study, attempted to find the optimal hydraulic cross section of two stage channel with parabolic cross section and flat width parabolic. Therefore, by constant considering the amount of area and wetted perimeter as the objective function, optimal hydraulic geometrical parameters for two types of channel were obtained and the equations of best hydraulic cross section of each type were extracted. The results show that: Optimal Type 1 model, for the certain discharge, roughness coefficient and bed slope, the least wetted perimeter and as a result, it creates the lowest cost among other sections such as regular hexagonal half, and other types also it's much closer to the wetted perimeter of the semicircular section. Both types of proposed cross-sections also cost much less than optimal cross-sections of previous researches.

Key Words: Best hydraulic cross section .two stage channels .parabolic channel with smooth floor width.

¹ - Assistant Professor , Water Eng. Department ,Lorestan university, yonesi.h@lu.ac.ir, (corresponding author)

² - Expert at Tehran Regional Water Company, Tehran, Iran. (El_hosseinian5664@yahoo.com)

³ - Associate Professor, Water Eng. Department ,Lorestan university, torabi1976@gmail.com

Investigation of Optimal Hydraulic Cross Section in Two-Section Parabolic Channels

Hajjat Allah Yonesi¹, Elahe Hosseinian², Hassan Torabi³

1. Assistant Prof. Water Engineering Department, Lorestan University, Iran (yonesi_h@ut.ac.ir)

2. Expert at Tehran Regional Water Company, Tehran, Iran. (El_hosseinian5664@yahoo.com)

3. Associate Prof. Water Engineering Department, Lorestan University, Iran (torabi1976@gmail.com)

Introduction

There are an infinite number of possible cross sections that could convey the flow for a given value of discharge, roughness, and slope. Among them, there is only one cross section that has the least perimeter, and such a cross section is hydraulically the most efficient.

Nowadays, many researchers have investigated compound sections. Abdulrahman [25] presented a compound section which was a half-octagon based, and proved that the best hydraulic section of this section is more efficient than that of trapezoidal channels. Vatankhah [26] presented a type of semi-regular polygon sections such as semi-square, semi-hexagon and semi-octagon sections, and a general solution for the best hydraulic section. A horizontal-bottomed parabolic channel section was studied by Das [11]. He proved that a horizontal-bottomed parabolic section is more economical than the trapezoidal section. Furthermore, Easa [27] presented an improved section with Two-segment parabolic sides and horizontal bottom and proved the proposed section is more economical and more flexible than the section proposed by Das [11]. Mao & Chen [28] presented the best hydraulic section for a compound channel based on classical and hydraulic optimization.

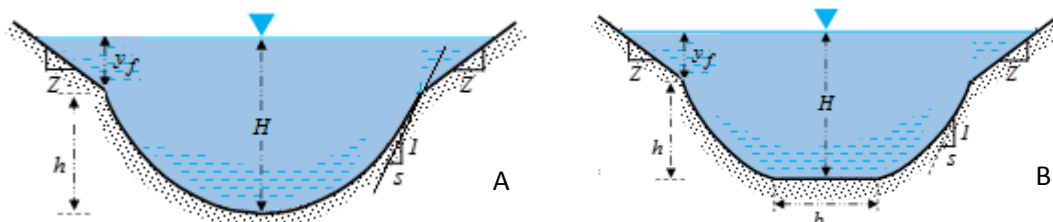
In this paper, the best hydraulic section of two types: (1) Type I, linear sides-parabolic bottom (2) Type II, Linear sides-horizontal bottom with parabolic corners are determined to be used directly to calculate the best geometric dimensions of this two-segment sections. Then, optimum sections are compared to that of the other proposed sections of previous studies and semi-circle, which is the best hydraulic section. Finally, application examples are presented, followed by the conclusions.

Methodology

Geometric properties of Two-segment sections

Figure 1 shows geometric parameters and schematic representation of these sections.

Fig1: Schematic representation and geometric parameters of two-segment sections



A. (Type I),

B. (Type II)

Where, H =Depth flow; h = depth of parabola section; y_f = depth of upper segment; b =bed width of horizontal-bottomed parabolic section; Z =side slope; S = side slope at $H=h$



Nonlinear Programming

The optimization model for each type can be defined by

$$\text{Minimize } P=P(Z, h/H, b, y_f/H, S) \quad (1)$$

The constraints are as below:

Keep $A=Constant$;

$$H = h + y_f; \quad y_f, h, S, b, Z, H > 0 \quad (2)$$

Geometric properties of best hydraulic section -Type I:

The optimization results shows that there is a constant relationship between geometric parameters and flow areas.

Relative depth for the best hydraulic section is gained as

$$Y_r = \frac{y_f}{H} = 0.4263 \quad (3)$$

Also, S and Z are gained respectively as:

$$S = 0.7832 \quad (4)$$

$$Z = 0.2252 \quad (5)$$

These equations describe the best combination form of Type I.

Geometric properties of best hydraulic section -Type II:

The relationships gained from flow area and other geometric parameters in nonlinear optimization, Type II are as follows.

Z and S are respectively:

$$Z = 0.1985 \quad (6)$$

$$S = 0.6666 \quad (7)$$

$$\frac{B}{H} = 0.256 \quad (8)$$

$$Y_r = \frac{y_f}{H} = 0.389 \quad (9)$$

These equations describe the best combination form of Type II.

Discussion and conclusion

Table 1 provides a summary of relationship gained between geometric parameters of optimized channel extracted from optimization of two types of compound channel.



Table 1: The best hydraulic cross sections

Two-segment sections	S	Z	Y_r	b	R	P	A
Type I	0.225	0.783	0.43	-	0.49H	3.08H	$1.49H^2$
Type II	0.667	0.199	0.39	0.26H	0.5H	3.17H	$1.58H^2$

Type I has the least wetted perimeter P and flow area A among other types. Then it can be concluded while a designer is considering composite sections, the best option could be a compound channel, which is composed of a lower parabolic section and an upper trapezoidal section without platform between the lower and upper side slopes, which is the most efficient.

Assuming $\varepsilon = Qn/\sqrt{i}$, the properties of the best hydraulic section for the proposed composite parabolic section to those of other researchers is listed in table 2.

Table 2- comparison of presented optimized types 1 and 2 with other best compound channel sections

researchers	Channel shape	Normal depth (H)	Cross-sectional area (A)	wetted perimeter (P)
Type I (present study)	Linear sides-parabolic bottom	$1.0279 \varepsilon^{\frac{3}{8}}$	$1.57965 \varepsilon^{\frac{3}{4}}$	$3.166 \varepsilon^{\frac{3}{8}}$
Type II (present study)	Linear sides-horizontal bottom with parabolic corners	$1.0010 \varepsilon^{\frac{3}{8}}$	$1.5863 \varepsilon^{\frac{3}{4}}$	$3.1692 \varepsilon^{\frac{3}{8}}$
han 2015	horizontal-bottomed semi-cubic parabolic section	$0.986861 \varepsilon^{\frac{3}{8}}$	$1.6011459 \varepsilon^{\frac{3}{4}}$	$3.24556 \varepsilon^{\frac{3}{8}}$
han 2015	classic semi-cubic parabolic section	$1.156977 \varepsilon^{\frac{3}{8}}$	$1.621260 \varepsilon^{\frac{3}{4}}$	$3.346817 \varepsilon^{\frac{3}{8}}$
han 2017	Horizontal-bottomed parabolic section	$0.9937 \varepsilon^{\frac{3}{8}}$	$1.5941 \varepsilon^{\frac{3}{4}}$	$3.2084 \varepsilon^{\frac{3}{8}}$
Mao & Chen 2019	a lower trapezoidal section and an upper rectangular section	$1.0587 \varepsilon^{\frac{3}{8}}$	$1.619 \varepsilon^{\frac{3}{4}}$	$3.335 \varepsilon^{\frac{3}{8}}$
	Semi-circular	$1.00414 \varepsilon^{\frac{3}{8}}$	$1.58323 \varepsilon^{\frac{3}{4}}$	$3.15401 \varepsilon^{\frac{3}{8}}$

The result of optimization of Type I and II are composite sections of parabola and HBP. The comparison shows that proposed optimized sections (types I and II), have the smallest flow area and wetted perimeter among all other types of sections listed in Table 2 for the same discharge. In addition these two types are the most similar to semi-circular section as it is indicated in table 2. The construction cost of the channel is mainly related with the earthwork excavation, lining and land requisition expenses. In general, the land requisition accounts for a small proportion. Therefore, a compound channel, which is composed of a lower parabolic section and an upper trapezoidal section is the most economical section.

The most important references

A. Das, Optimal design of channel having horizontal bottom and parabolic sides, J. Irrig. Drain. Eng, 133, (2007(b)) 192-197. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(2007\)133:2\(192\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(2007)133:2(192)).



- Y. C. Han, Horizontal bottomed semi-cubic parabolic channel and best hydraulic section, *J. Flow. Meas. Instrum.* 45 (2015) 56–61. <https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2015.04.001>.
- A. R. Vatankhah, Semi-regular polygon as the best Hydraulic section in practice (Generalized solutions), *J. Flow Meas Instru*, 38 (2014) 67-71, <http://dx.doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2014.05.016>
- S.M. Easa, Improved channel cross section with two-segment parabolic sides and horizontal bottom, *J. Irrig. Drain. Eng.* 135 (2009) 357–365. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0000002](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000002). [28]. L. Mao, Y. Chen, Two-stage compound channel and best hydraulic section. *J. Flow Meas Instru*, 65 (2019) 136-140. <https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2018.11.013>.