Archive of SID

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۲، جلد ۱۳، خرداد - تیر ۱۳۹۸، ص. ۴۳۶-۴۲۶

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 2, Vol. 13, Jan.-Jul. 2019, p. 426-436

تعیین مقطع بهینه و مشخصات هیدرولیکی کانال‌های پیش‌ساخته بتنی(کانالت)

حمید کیان‌مهر[۱]، سعیدرضا خداشناس*[۲]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۹/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۲/۰۷

چکیده

امروزه، استفاده از کانال‌های بتنی پیش‌ساخته (کانالت) به دلیل تمرکز در ساخت، امکان کنترل کیفی و کمی در مراحل مختلف ساخت و نیز سرعت زیاد تولید و بهره‌برداری مورد توجه خاص قرار گرفته است. علی‌رغم گذشت سه دهه از قدمت تولید و نصب کانالت در ایران، برای طراحی تیپ‌های مختلف آن از آیین‌نامه‌های قدیمی استفاده می‌شود. در این تحقیق، ابتدا با توجه به نحوه اجرا و بهره‌برداری از کانالت‌ها، تعریفی برای مقطع بهینه این سیستم ارائه گردید. سپس، مشخص شد که مقطع نیم‌بیضی با نسبت قطر کوچک به بزرگ برابر ۰/۴۳۶، مقطع بهینه کانالت می‌باشد. مقایسه مقطع بهینه کانالت و مقطع نیم‌دایره نشان‌دهنده ارجحیت کانالت در کاهش تبخیر به میزان ۳۴ درصد نسبت به مقطع نیم‌دایره، در قبال افزایش ۱۳ درصدی بتن مصرفی، می‌باشد که این امر به ویژه در مناطق با تبخیر زیاد آب از اولویت بیشتری برخوردار است. همچنین، با تعیین مشخصات هندسی کانال با مقطع نیم‌بیضی ناکامل (دارای عمق آزاد)، معادلات صریحی برای تعیین عمق بحرانی و نرمال در کانال با مقاطع نیم‌بیضی ارائه شده است. معادلات پیشنهادی، علاوه بر سادگی و درستی، دارای حداکثر خطای نسبی کمتر از ۱/۴ درصد می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: عمق بحرانی، عمق نرمال، کانالت، کانال‌های بتنی پیش‌ساخته، مقطع بهینه، نیم‌بیضی

مقدمه

شبکه‌های آبیاری، یکی از تأسیسات زیربنایی بخش کشاورزی هستند که برای تأمین آب آبیاری احداث و مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند. هزینه‌های سنگین احداث شبکه‌های آبیاری و پیامدهای زیست محیطی آنها، مشکلات بهره‌برداری و کم بودن راندمان کاربرد آب در بخش کشاورزی از جمله موضوع‌هایی است که کارشناسان بخش آب را واداشته تا در جستجوی روش‌هایی برای کاهش هزینه‌های احداث شبکه‌ها و افزایش بازده (راندمان) کاربرد آب باشند. به سبب مشکلات موجود در اجرای کانال‌های آبیاری به صورت درجا، از جمله اشغال سطح زیاد اراضی، کمبود مصالح قرضه مناسب و احتمال برخورد با عوارض متعدد، استفاده از کانال‌های پیش‌ساخته بتنی (کانالت) با مقطع نیم دایره یا نیم‌بیضی، یکی از روش‌های کارآمد در احداث و تکمیل شبکه‌های فرعی آبیاری می‌باشد (عطاری و همکاران، ۱۳۹۲). کانال‌های پیش‌ساخته در قطعات ۵ یا ۷ متری ساخته شده و روی یک بالشتک بتنی زین‌مانند نصب می‌شوند. بالشتک کانال‌های پیش‌ساخته روی یک پایه بتنی قرار می‌گیرد و پایه روی یک کفشک نصب می‌شود (شکل ۱).

قدمت اجرای پروژه‌های شبکه آبیاری درجه ۳ به‌صورت کانال بتنی درجا در ایران به سال حدود ۱۳۳۸ و اجرای پروژه‌های مشابه با استفاده از قطعات پیش‌ساخته بتنی به حدود سال ۱۳۶۵ می‌رسد (امیری تکلدانی، ۱۳۸۷). ایده اولیه استفاده از کانالت در اجرای پروژه‌های شبکه آبیاری در ایران، مربوط به بازدید هیأت کارشناسی ایرانی از ترکیه در سال ۱۳۶۵ می‌باشد (پوراربابی و غفوری، ۱۳۸۹). تاکنون در استان‌های خوزستان، اردبیل، گیلان، مازندران و سیستان و بلوچستان از کانالت‌ها به عنوان سیستم‌های انتقال و توزیع آب استفاده شده است. تحقیقات صورت گرفته توسط در مورد مقایسه بین کانالت‌ها و کانال‌های درجا، نشان‌دهنده‌ای برتری نسبی کانالت به کانال درجا است. فرامرز (۱۳۸۹) ضمن بررسی تأثیر مثبت ایجاد شبکه فرعی آبیاری با رویکرد مسائل اجتماعی، به تشریح مزایا و معایب شبکه فرعی کانالت نسبت به کانال درجا پرداختند. شاهوردی و همکاران (۱۳۸۹) در تحقیقی چهار گزینه کانال با مقطع ذوزنقه‌ای بتنی، ذوزنقه‌ای خاکی، فلوم مستطیلی و کانالت را در شبکه فرعی آبیاری و زهکشی استان مازندران از نظر زیست محیطی مورد بررسی قرار دادند.

۱- دانشجوی دکتری سازه‌های آبی گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد
۲- استاد گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(* نویسنده مسئول: Email: khodashenas@ferdowsi.um.ac.ir)

www.SID.ir

Archive of SID

شکل ۱- الف- نمایی از کاربرد کانالت در شبکه آبیاری سبیلی خوزستان و ب- اجزای تشکیل دهنده‌ی کانالت

ایشان مهمترین مسئله زیست محیطی را برداشت مصالح قرضه دانستند و از آنجا که کانالت حداقل مورد نیاز به مصالح خاکریز را داشته است، این مقطع را به عنوان بهترین گزینه اعلام نمودند. شاهنظری و همکاران (۱۳۹۲) با بررسی چهار گزینه کانال ذوزنقه‌ای بتنی، خاکی، مستطیلی بتنی و کانالت نیم بیضی در شبکه فرعی آبیاری و زهکشی استان مازندران، گزینه کانالت را از نظر کمترین هزینه سرمایه گذاری در واحد طول انتخاب نمودند. حسن‌نژاد و شیر افروس (۱۳۹۳) با مقایسه کانالت و کانال درجا در شبکه فرعی دشت آزادگان، کانالت را از لحاظ بالا بردن راندمان کاری و صرفه جویی در هزینه و زمان بهترین گزینه معرفی نمودند. حسینی و همکاران (۱۳۹۵) هزینه و زمان اجرای کانال‌های بتنی درجا و کانال‌های پیش ساخته در شبکه آبیاری وزهکشی دشت عباس مورد ارزیابی قرار دادند و بیان نمودند که هزینه تمام شده هر متر کانال درجا در مقایسه با کانال مشابه پیش ساخته ۵/۸ درصد ارزان تر بوده ولیکن مدت زمان اجرای کانال‌های پیش ساخته ۱۷ درصد کم تر است. همچنین در سال‌های اخیر مطالعاتی راجع به بررسی نحوه ساخت کانالت‌ها و مشکلات بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری تحت پوشش آن‌ها انجام شده است. اسلامیان و همکاران (۱۳۸۶)، با بررسی مزایا و مشکلات استفاده از کانال‌های پیش ساخته بتنی در احداث شبکه‌های فرعی منطقه جوزم اصفهان بیان نمودند که استفاده از کانالهای پیش ساخته بتنی از لحاظ رفع مشکل خوردگی بتن بوسیله خاک‌های سولفاته بسیار مؤثر بوده است. منیرعباسی و همکاران (۱۳۹۱) به بررسی و تشریح مراحل اصلی روند ساخت کانالتها به عنوان قطعات پیش ساخته مورد استفاده در سیستم‌های انتقال آب، پرداختند. امیدوار و همکاران (۱۳۹۴) با بررسی مشکلات مراحل ساخت و بهره‌برداری کانالت، راهکارهایی فنی و اقتصادی جهت کاهش و یا برطرف نمودن مشکلات مذکور ارائه دادند. ایشان بیان نمودند مهمترین مشکل در مرحله ساخت، طرح اختلاط نامناسب و روش اجرای نادرست بتن و در مرحله اجرا و بهره‌برداری نشت و هدررفت آب در محل اتصال کانالت‌ها می‌باشد. صفارزاده (۱۳۹۴) به بررسی مسائل و مشکلات استفاده از کانالتهای بتنی در شبکه فرعی آبیاری و زهکشی ارایض ۵ پرداختند. همچنین، سلامتی و همکاران (۱۳۹۷) با ارزیابی راندمان توزیع آب در کانال‌های بتنی و کانالت‌ها در شبکه‌های آبیاری استان خوزستان بیان کردند که میزان تلفات در هر کیلومتر طول کانال بتنی ذوزنقه‌ای با کانالت اختلاف معنی‌داری ندارد.

امروزه، به استفاده از کانال‌های بتنی پیش‌ساخته به دلیل تمرکز در ساخت، امکان کنترل کیفی و کمی در مراحل مختلف ساخت و نیز سرعت زیاد تولید و سهولت بهره‌برداری توجه خاص می‌شود (ساهوتی، ۱۳۹۶). با توجه به گذشت تقریباً سه دهه از ساخت و نصب این نوع سازه انتقال آب (کانالت‌ها)، تاکنون از آیین‌نامه کشور ترکیه برای طراحی کانالت استفاده می‌شده و تحقیقات گسترده‌ای در راستای طراحی و ارزیابی شبکه‌های آبیاری تحت پوشش کانالت‌ها صورت نگرفته است و اندک مطالعات انجام شده مربوط به مقایسه کانالت و کانال درجا و نحوه ساخت قطعات پیش‌ساخته بتنی می‌باشد. با عنایت به توسعه این روش در شبکه‌های آبیاری زهکشی کشور، به ویژه استان خوزستان، لازم است تا به بررسی و تعریف مقطع بهینه در کانالت‌ها پرداخته شود تا با انتخاب مقطع بهینه، ضمن برآورد اصول مقطع بهینه هیدرولیکی، هزینه‌های اجرایی و بهره‌برداری و نگهداری شبکه‌های جدیدالاحداث به کمترین مقدار خود برسد. لذا در این تحقیق به بررسی و تعیین مقطع بهینه در کانال‌های پیش‌ساخته بتنی پرداخته شده است. همچنین، با توجه به اینکه در کانال با مقطع نیم‌بیضی، معادلات حاکم عمق بحرانی و نرمال ضمنی بوده و دارای حل تحلیلی نمی‌باشند، در این تحقیق، با استفاده از روش برازش منحنی، معادلاتی برای محاسبه عمق بحرانی و نرمال برای کانال‌های نیم‌بیضی ارائه شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

مواد و روش‌ها

مقطع بهینه کانالت

مقطع بهینه هیدرولیکی برای مقادیر دبی جریان (Q)، ضریب مانینگ (n) و شیب (S) مشخص، مقطعی می‌باشد که کمترین سطح مقطع جریان (A) و محیط خیس شده (P) را داشته باشد. با استفاده از فرمول مانینگ داریم:

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{1}{n} S_0^{1/2} R^{2/3} \xrightarrow{C=\frac{1}{n}S_0^{1/2}=\text{const},\ A=A_{min}} V = V_{max} = CR^{2/3} \longrightarrow R = R_{max} \xrightarrow{R=\frac{A}{P}} P = P_{min} \quad (۱)$$

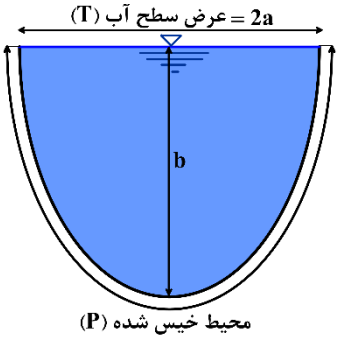
در تعریف دیگر، بهترین مقطع هیدرولیکی برای سطح مقطع جریان (A)، ضریب مانینگ (n) و شیب (S) مشخص، مقطعی می‌باشد که بیشترین دبی جریان (Q) را داشته باشد:

$$Q = \frac{1}{n} S_0^{1/2} A R^{2/3} \xrightarrow{\acute{C}=\frac{1}{n}S_0^{1/2}A=\text{const},\ Q=Q_{max}} Q = \acute{C} R^{2/3} \xrightarrow{Q=Q_{max}} R = R_{max} \xrightarrow{R=\frac{A}{P}} P = P_{min} \quad (۲)$$

بنابراین، مقطعی که با مساحت ثابت کمترین محیط خیس شده را داشته باشد، بیشترین دبی را از خود عبور می‌دهد و بهترین مقطع هیدرولیکی نامیده می‌شود. از لحاظ اصول هیدرولیکی و محاسباتی، بهترین سطح مقطع برای احداث کانال‌های آبیاری درجا، سطح مقطع نیم‌دایره‌ای است (مانسون و همکاران، ۱۹۹۸)، (آکسی و آلتن، ۲۰۰۶))، چون به ازای مساحت ثابت دارای کمترین محیط خیس شده است. بنابراین با توجه به اینکه مقطع نیم‌دایره‌ای در یک مساحت ثابت نسبت به سایر مقاطع بیشترین ظرفیت انتقال جریان آب را در کمترین محیط خیس‌شدگی دارد (هان و عیسی، ۲۰۱۷)، مؤثرترین مقطع هیدرولیکی (مقطع بهینه) و اقتصادی برای کانال‌های آبیاری، مقطع نیم‌دایره است. در احداث کانال‌های پیش‌ساخته، بر خلاف کانال‌های درجا، به عملیات خاکبرداری و خاکریزی مقطع کانال و استفاده از خاک قرضه نیازی نیست و تنها عملیات پی‌کنی محل نصب پایه صورت می‌گیرد. بنابراین در تعریف مقطع بهینه در کانال‌های پیش‌ساخته به حداقل رساندن میزان احجام خاکبرداری و خاکریزی مطرح نیست. در تعریف مقطع بهینه برای کانال‌های پیش‌ساخته به حداقل رساندن حجم بتن مصرفی برای تولید کانالت و کاهش میزان تبخیر آب از سطح کانالت مطرح می‌باشد. برای به حداقل رساندن حجم بتن مصرفی در طول و ضخامت واحد باید در سطح مقطع ثابت، محیط مقطع کانالت حداقل گردد که این امر با تعریف مقطع بهینه هیدرولیکی مطابقت دارد. همچنین، برای کمینه کردن میزان تبخیر از سطح آب، باید عرض سطح آب حداقل گردد. در حال حاضر، کانال‌های پیش‌ساخته به صورت نیم‌بیضی و نیم‌دایره تولید می‌شوند و با توجه به اینکه در مقاطع نیم‌دایره، فقط محیط خیس شده کمینه می‌باشد و به دلیل مشخصات مقطع نیم‌دایره نمی‌توان عرض سطح آب را کمینه کرد، لذا در ادامه به تعیین مقطع بهینه در کانال‌های پیش‌ساخته با مقطع نیم‌بیضی پرداخته شده است.

مقطع بهینه کانال‌نیم‌بیضی

طبق تعریف، مقطعی که در آن محیط و عرض سطح آب کمینه باشد، مقطع بهینه کانال نیم‌بیضی است. در شکل ۲، نمایی از یک مقطع نیم‌بیضی و مشخصات آن ارائه شده است.



شکل ۲- نمایی از مقطع نیم‌بیضی و مشخصات آن

با توجه به شکل ۲، مشخصات مقطع نیم‌بیضی به صورت زیر تعیین می‌گردد:

$$a < b\ ,\ k^2 = 1 - \frac{a^2}{b^2}\ ,\ \frac{a}{b} = \sqrt{1-k^2}\ , A = \frac{\pi}{2} ab = \frac{\pi}{2}\sqrt{1-k^2}\, b^2 \longrightarrow b = \sqrt{\frac{2A}{\pi}}\ \frac{1}{(1-k^2)^{1/4}} \quad (۳)$$

$$P = 2\, b\, E(k)\ ,\quad E(k) = \int_0^{\pi/2} \sqrt{1 - k^2\ \sin^2\theta}\ \ d\theta,$$

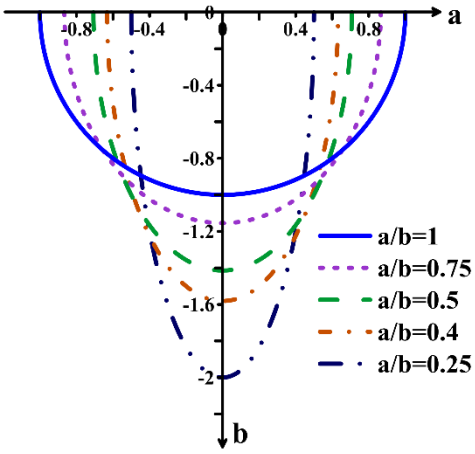
$$T = 2a = 2\, b \sqrt{1-k^2}$$

در رابطه (۳)، a نصف قطر کوچک، b نصف قطر بزرگ بیضی، k پارامتر بی بعد، A سطح مقطع، P محیط خیس شده و T عرض سطح آب می‌باشد.

در شکل ۳ مقطع نیم‌بیضی با مساحت ثابت در نسبت‌های مختلف a/b نشان داده شده است.

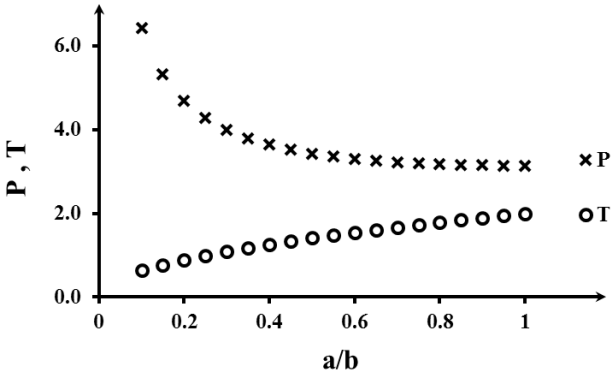
www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳- نمایی از مقطع نیم‌بیضی با مقادیر مختلف a/b برای مساحت ثابت

با توجه به شکل ۳، در مساحت ثابت، با افزایش نسبت a/b، محیط خیس شده کاهش یافته ولی عرض سطح آب افزایش می‌یابد. این امر در شکل ۴ نشان داده شده است. با توجه به موارد بالا، مقدار بهینه a/b برای طراحی مشخص نیست.



شکل ٤- ترسیم مقادیر P و T در برابر a/b برای مساحت ثابت (A=π/2)

برای کمینه کردن مقادیر محیط خیس شده و عرض سطح آب می‌توان پارامتر F را به‌صورت رابطه (۴) تعریف کرد که شامل هر دو مقادیر محیط خیس شده و عرض سطح آب می‌باشد. بنابراین برای تعیین مقطع بهینه باید پارامتر F کمینه گردد.

$$F = w\,P + (1-w)T \qquad (۴)$$

در رابطه (۴) w پارامتر وزنی می‌باشد.

با قرار دادن رابطه (۳) در رابطه (۴)، تابع F به صورت زیر تعیین می‌گردد:

$$F = 2\,b\left[w\,E(k) + (1-w)\sqrt{1-k^2}\right] \qquad (۵)$$

با توجه به اینکه تعیین مقطع بهینه در یک مساحت ثابت انجام می‌گردد، می‌توان رابطه (۵) را به صورت رابطه (۶) بازنویسی کرد:

$$F = \sqrt{\frac{2A}{\pi}}\,\frac{2}{(1-k^2)^{1/4}}\left[w\,E(k) + (1-w)\sqrt{1-k^2}\right] \qquad (۶)$$

نتایج و بحث

به منظور تعیین مقطع بهینه نیم‌بیضی از دو روش مشتق‌گیری و رسم نمودار استفاده شده است.

الف) تعیین مقطع بهینه نیم‌بیضی با استفاده از مشتق گیری از تابع F

برای تعیین مقدار کمینه رابطه (۶) مشتق تابع F را باید مساوی صفر قرار داد که در رابطه (۷) ارائه شده است.

$$\frac{dF}{dk} = 0 \rightarrow e = \frac{1}{\sqrt{1-k^2}}E(k) + \frac{2\left(1-k^2\right)}{k^2}\left[E(k) - F(k)\right] \rightarrow e = \frac{1-w}{w},\quad F(k) = \int_0^{\pi/2}\frac{1}{\sqrt{1-k^2\,\sin^2\theta}}\,d\theta \qquad (۷)$$

برای تعیین مقادیر $F(k)$ و $E(k)$ از روابط ارائه شده توسط وطن‌خواه استفاده گردید که میزان خطای نسبی آن برای $0 \le k \le 0.99$ کمتر از ۰/۰۷ درصد است (Vatankhah, 2011):

$$E(k) = \frac{0.512}{\sqrt{1-0.776\,K^2}} + \frac{0.258}{\sqrt{1-0.987\,K^2}} + \frac{0.800}{\sqrt{1-0.177\,K^2}} \qquad (۸)$$

$$F(k) = 0.232\sqrt{1-0.993\,K^2} + 0.707\sqrt{1-0.115\,K^2} + 0.632\sqrt{1-0.751\,K^2}$$

با استفاده از رابطه (۷) مقادیر w بر اساس مقادیر k بدست آمد که با جایگذاری آن در رابطه (۶)، تابع F بر حسب تنها متغیر k بدست می‌آید. در شکل ۵ مقادیر w و F برای مقادیر مختلف a/b ترسیم شده است.

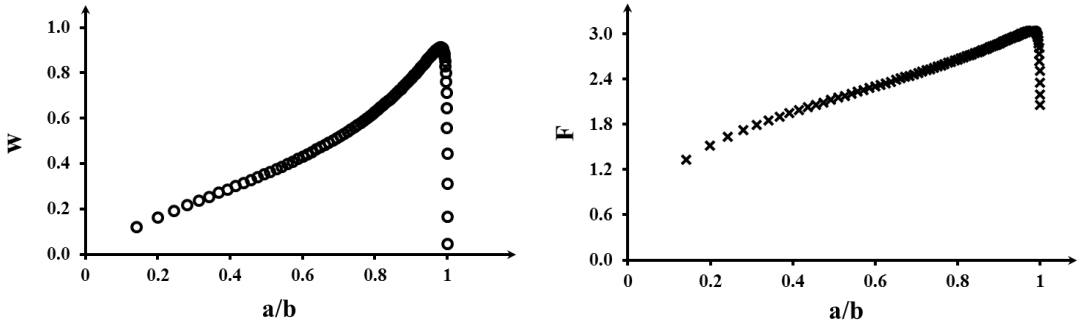
با توجه به شکل ۵ مشاهده می‌گردد که با افزایش پارامتر a/b، مقدار تابع F نیز افزایش می‌یابد و دارای نقطه کمینه نمی‌باشد، بنابراین با مشتق‌گیری از رابطه (۶) نمی‌توان مقطع بهینه کانال نیم‌بیضی را تعیین نمود. همچنین مقدار ماکزیمم تابع F نشاندهنده‌ای یک نیم‌دایره (a/b=1) است.

ب) تعیین مقطع بهینه نیم‌بیضی با استفاده از ترسیم تابع F

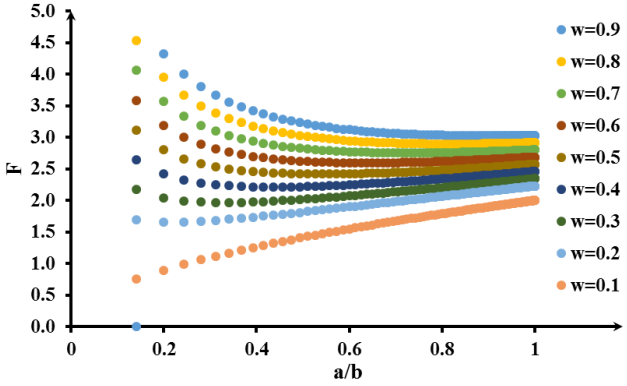
برای این منظور، تابع F در برابر a/b برای مقادیر مختلف پارامتر وزنی w در شکل ۶ ترسیم شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

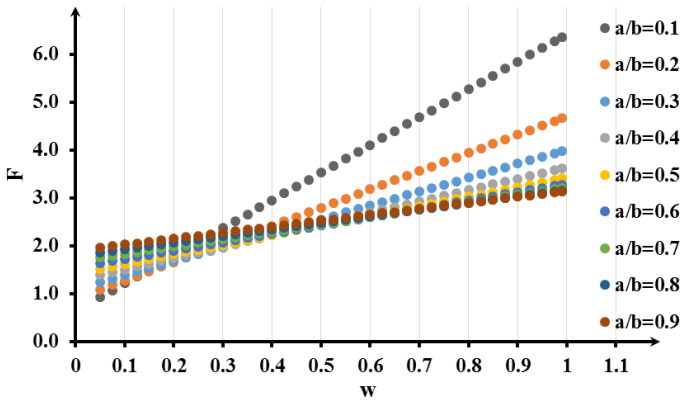


شکل ۵- ترسیم مقادیر w وF در برابر مقادیر مختلف a/b برای مساحت ثابت (A=π/2)



شکل ٦- رسم تابع F در برابر a/b برای مقادیر مختلف w

با توجه به شکل ۶ مشاهده می‌گردد که تابع F به طور کلی برای مقادیر w<0.4 با افزایش نسبت a/b افزایش می‌یابد. ولی برای w>0.4 با افزایش نسبت a/b روند کاهشی دارد و تقریباً در w=0.4 در نسبت‌های مختلف a/b مقدار یکسانی دارد. در ادامه تابع F در برابر w برای مقادیر مختلف a/b در شکل ۷ ترسیم شده است.

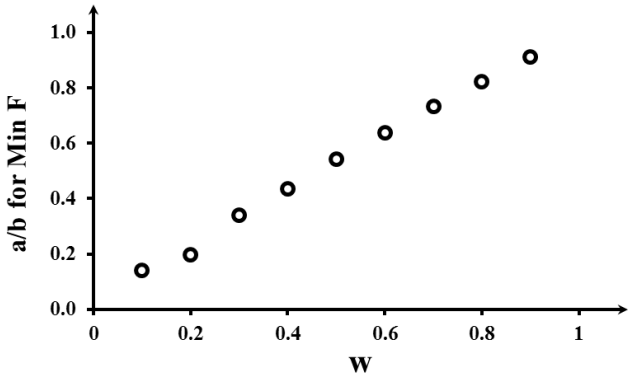


شکل ۷- رسم تابع F در برابر w برای مقادیر مختلف a/b

با توجه به شکل ۷ مشاهده می‌گردد که در w=0.4 مقدار تابع F تقریباً در تمامی نسبت‌های a/b یکسان می‌باشد و می‌توان بیان کرد که در w=0.4 مقدار تابع F مستقل از مقادیر a/b است. در شکل ۸ مقادیر کمینه تابع F در نسبت‌های مختلف a/b در برابر w متناظر آن رسم شده است.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۸- رسم مقادیر a/b برای نقاط کمینه تابع F در برابر w متناظر

با توجه به شکل ۸ چنانچه از w = 0.4 برای طراحی بهینه مقطع نیم‌بیضی استفاده گردد، مقدار نسبت a/b طراحی برابر با ۰/۴۳۶ بدست می‌آید. با مشخص شدن مقدار a/b=۰/۴۳۶ برای طراحی مقطع بهینه نیم‌بیضی، پارامترهای لازم برای طراحی مقطع نیم‌بیضی برای مقادیر مشخصی از دبی، ضریب مانینگ و شیب کانال در جدول ۱ ارایه شده است:

جدول ۱- تعیین مشخصات هیدرولیکی مقطع بهینه نیم‌بیضی

عمق هیدرولیکی (D)	شعاع هیدرولیکی (R)	عرض سطح آب (T)	محیط خیس شده (P)	مساحت (A)	عمق آب (b یا h)
$0.785\ b$	$0.292\ b$	$0.872\ b$	$2.343\ b$	$0.685\ b^2$	$1.567\ (\frac{n\ Q}{\sqrt{S_0}})^{(\frac{3}{8})}$

در جدول ۲ مقایسه مشخصات مقطع بهینه نیم‌بیضی تعیین شده با نیم‌دایره در مساحت ثابت (A=π/2) ارائه شده است.

جدول ۲- مقایسه مشخصات مقطع بهینه نیم‌بیضی و نیم‌دایره برای مساحت ثابت (A=π/2)

مقطع بهینه	a/b	T	P	تغییرات T	تغییرات P
نیم‌دایره	۱	۲	۳/۱۴	-٪۳۴	+٪۱۳
نیم‌بیضی	۰/۴۳۶	۱/۳۲	۳/۵۵		

با توجه به جدول ۲، عرض سطح آب در مقطع بهینه نیم‌بیضی تعیین شده مستقل از مقدار سطح مقطع جریان، به میزان ٪۳۴ کاهش یافته است که این امر باعث کاهش میزان تبخیر آب به ویژه در مناطق گرم می‌گردد. این در حالی است که میزان تغییرات پیرامون مرطوب ٪۱۳ است. به بیان دیگر با فرض برابر بودن هزینه یک واحد معین از بتن و آب، مقایسه مقطع بهینه کانالت و مقطع نیم‌دایره، نشان‌دهنده‌ای ارجحیت کانالت در کاهش تبخیر به دلیل به میزان ۳۴ درصد نسبت به مقطع نیم‌دایره در قبال افزایش ۱۳ درصدی بتن مصرفی دارد و می‌توان گفت که در طراحی مقطع بهینه کانالت به ویژه در مناطقی با تبخیر زیاد، کاربرد مقطع بهینه نیم‌بیضی تعیین شده نسبت به مقطع نیم‌دایره از ارجحیت بیشتری برخوردار است. با توجه به این امر که در حال حاضر به دلیل محدودیت در قالب‌های بتن‌ریزی کانالت‌ها، در اجرای شبکه‌های آبیاری تحت پوشش کانالت‌ها، بیشتر از چهار تیپ کانالت استفاده می‌گردد، در جدول ۳ ابعاد این کانالت‌ها با استفاده از تعریف مقطع بهینه نیم‌بیضی تعیین گردیده است.

جدول ۳- ابعاد کانالت با مقطع بهینه و طراحی موجود

تیپ کانالت	$A(m^2)$	ابعاد کانالت با طراحی موجود		ابعاد کانالت با مقطع بهینه	
		a(m)	b(m)	a(m)	b(m)
۲۳۰	۰/۲۳۰	۰/۲۶۲۳	۰/۵۵۸۲	۰/۲۵۲۶	۰/۵۷۹۵
۳۱۵	۰/۳۱۵	۰/۳۳۸۱	۰/۵۹۳۲	۰/۲۹۵۷	۰/۶۷۸۲
۴۵۰	۰/۴۵۰	۰/۴۵۴۱	۰/۶۳۰۷	۰/۳۵۴۲	۰/۸۱۰۶
۶۰۰	۰/۶۰۰	۰/۵۸۶۳	۰/۶۵۱۵	۰/۴۰۸۱	۰/۹۳۶۰

www.SID.ir

Archive of SID

با توجه به جدول ۴ میزان تغییرات عرض سطح آب در کانالت با مقطع بهینه نسبت به طراحی موجود، تقریباً دو برابر تغییرات پیرامون مرطوب بوده و در روند دلخواه (کاهش تبخیر) است. به بیان دیگر می‌توان گفت با فرض برابر بودن هزینه تولید بتن و تبخیر آب، تقریباً دو برابر بهای هزینه شده در بتن مصرفی (پیرامون مرطوب)، کاهش هزینه در تبخیر آب ایجاد شده است.

جدول ٤- مقایسه‌ای مشخصات کانالت با مقطع بهینه و طراحی موجود

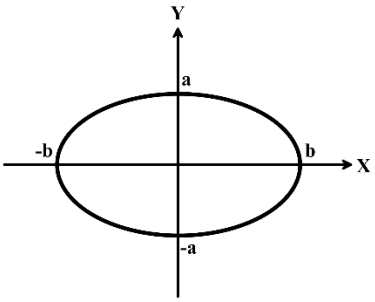
تیپ کانالت	کانالت با طراحی موجود		کانالت با مقطع بهینه		میزان تغییرات (٪)	
	T	P	T	P	T	P
۲۳۰	۰/۵۲۵	۱/۳۳۱	۰/۵۰۵	۱/۳۵۸	−۳/۷	+۲/۰
۳۱۵	۰/۶۷۶	۱/۴۹۰	۰/۵۹۱	۱/۵۸۹	−۱۲/۵	+۶/۶
۴۵۰	۰/۹۰۸	۱/۷۱۵	۰/۷۰۷	۱/۸۹۹	−۲۲/۲	+۱۰/۷
۶۰۰	۱/۱۷۳	۱/۹۴۶	۰/۸۱۶	۲/۱۹۳	−۳۰/۴	+۱۲/۷

در ادامه با تعیین مشخصات هندسی کانال با مقطع نیم‌بیضی ناکامل (دارای عمق آزاد)، معادلات صریحی برای تعیین عمق بحرانی و نرمال در کانال با مقاطع نیم‌بیضی ارایه شده است.

تعیین مشخصات هندسی کانال با مقطع نیم‌بیضی ناکامل (دارای عمق آزاد)

با توجه به شکل ۹ معادله عمومی بیضی به صورت زیر می‌باشد.

$$\frac{x^2}{b^2}+\frac{y^2}{a^2}=1 \qquad (۹)$$



شکل ۹ - بیضی و برخی از مشخصات هندسی آن

یادآوری می شود که اگر تابع f در بازه [a,b] پیوسته باشد آنگاه مساحت محصور نمودار f و محور x ها و خطوط x=a و x=b با شرط $f(x)\geq 0$ در این بازه عبارتست از:

$$s=\int_a^b f(x)dx \qquad (۱۰)$$

با توجه به رابطه (۹) معادله بیضی مربوط به نیمه بالای محور x ها را در بازه $(-b\leq x\leq b)$ می‌توان به صورت زیر بازنویسی کرد:

$$y=a\sqrt{1-(x/b)^2} \qquad (۱۱)$$

بنابراین مساحت بیضی به صورت زیر بدست می‌آید:

$$s=2\int_{-b}^{b} a\sqrt{1-(x/b)^2}\,dx = 4a\int_0^b \sqrt{1-(x/b)^2}\,dx \qquad (۱۲)$$

با استفاده از تغییر متغیر $\frac{x}{b}=\sin t$ و محاسبه انتگرال، مساحت بیضی به صورت رابطه (۱۳) بدست می‌آید:

$$s=2ab\left(t+{}^1\!/_2\,\sin 2t\right)\Big|_0^{\pi/2} \qquad (۱۳)$$

که با جایگذاری مقدار متغیر t داریم:

$$s=2ab\left(\sin^{-1}({}^x\!/_b)+{}^x\!/_b\sqrt{1-({}^x\!/_b)^2}\right)\Big|_0^b \qquad (۱۴)$$

با توجه به رابطه (۱۴) مساحت یک بیضی کامل به صورت رابطه (۱۵) بدست می‌آید:

$$s=\pi ab \qquad (۱۵)$$

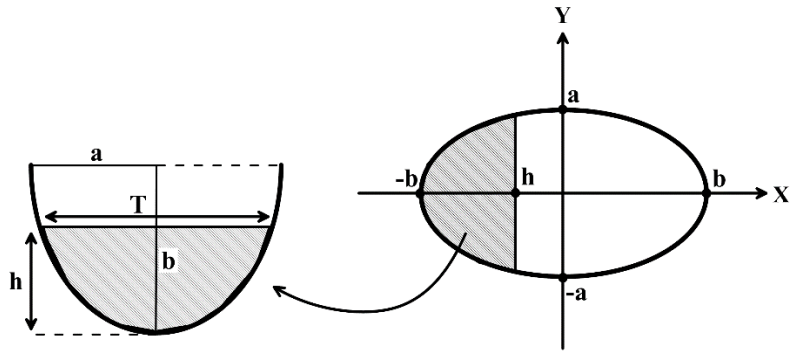
برای محاسبه مساحت آن یک مقطع نیم‌بیضی ناکامل (شکل ۱۰) در اعماق مختلف (h) کافی است حدود پایین و بالای انتگرال در رابطه (۱۴) به ترتیب به صورت b- و h تغییر نماید. بنابراین با انجام محاسبات و ساده سازی، رابطه تعیین مساحت در یک نیم‌بیضی با عمق آزاد به صورت رابطه (۱۶) تعیین گردید:

$$A=ab\left[\sin^{-1}\sqrt{\eta(2-\eta)}-(1-\eta)\sqrt{\eta(2-\eta)}\right],\ \eta=\frac{h}{b} \qquad (۱۶)$$

همچنین رابطه (۱۷) برای تعیین محیط نیم‌بیضی در اعماق مختلف توسط وطن خواه و عیسی (۲۰۱۴) ارائه گردیده است:

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱۰- نمایی از یک مقطع نیم‌بیضی ناکامل

$$P = 0.1694\, b\, \eta \sqrt{1+\left(\frac{a}{b}\right)^2 \frac{[0.015\,\eta - 1.1289]^2}{1-[0.0236\,\eta - 1]^2}} + 1.0389\, b\, \eta \sqrt{1+\left(\frac{a}{b}\right)^2 \frac{[0.6187\,\eta - 1.5398]^2}{1-[0.7188\,\eta - 1]^2}} + 0.7987\, b\, \eta \sqrt{1+\left(\frac{a}{b}\right)^2 \frac{[0.725\,\eta - 0.8792]^2}{1-[0.6528\,\eta - 1]^2}} \quad (۱۷)$$

$$\eta = \frac{h}{b}$$

بیشینه خطای رابطه (۱۷) برای $a/b \geq 0.1$ کمتر از ۰/۱٪ است.

با توجه به معادله عمومی بیضی (رابطه ۱) و شکل ۱۰ عرض سطح آب T در اعماق مختلف h به صورت رابطه (۱۸) می‌باشد:

$$T = 2a\left[\sqrt{\eta(2-\eta)}\right] \quad ,\eta = \frac{h}{b} \quad (۱۸)$$

در مقاطع نیم‌بیضی، پارامتر دبی بدون بعد (ε) برای عمق بحرانی به صورت رابطه (۱۹) پیشنهاد می‌گردد:

$$\varepsilon = \frac{\alpha\, Q^2}{g\, a^2\, b^3\, \cos\theta} \quad (۱۹)$$

تعیین عمق بحرانی

در شرایط بحرانی در کانال‌های باز عدد فرود برابر یک می‌باشد و رابطه زیر برقرار است (Subramanya, 1986):

$$Fr^2 = 1 \rightarrow \frac{\alpha\, Q^2}{g\, \cos\theta}\frac{T}{A^3} = 1 \quad (۲۰)$$

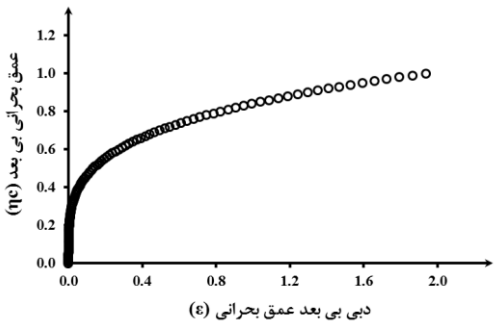
که در آن: α ضریب تصحیح انرژی و $\sin\theta$ شیب طولی کانال و g شتاب گرانش زمین می‌باشد. در اکثر کانال‌های باز شیب طولی کمتر از ۱/۱۰۰ می‌باشد. بنابراین می‌توان فرض کرد که $\cos\theta \approx 1$ می‌باشد.

با جایگذاری روابط (۱۶) و (۱۷) در رابطه (۲۰) پارامتر دبی بدون بعد در مقاطع نیم‌بیضی به صورت رابطه (۲۱) تعیین می‌گردد:

$$\varepsilon = F(\eta_C) = \frac{{A_C}^3}{a^2\, b^3\, T_C} = \frac{\left[\sin^{-1}\sqrt{\eta_C(2-\eta_C)} - (1-\eta_C)\sqrt{\eta_C(2-\eta_C)}\right]^3}{2\left[\sqrt{\eta_C(2-\eta_C)}\right]} \quad (۲۱)$$

که در آن: $\eta_C = \frac{h_c}{b}$ و h_c عمق بحرانی و زیر نویس C نشان‌دهنده شرایط جریان بحرانی می‌باشد.

در شکل ۱۱ رابطه (۲۱) برای مقادیر مختلف η_C ترسیم گردیده است:



شکل ۱۱- دبی بی بعد در برابر عمق بحرانی بی بعد

با توجه به شکل ۱۱ معادله توانی برازشی زیر برای رابطه ε و η_C پیشنهاد می‌گردد:

$$\eta_C = 0.8347\, \varepsilon^{0.2529} \rightarrow h_C = 0.8347\, b\, \varepsilon^{0.2529} \quad (۲۲)$$

بیشینه خطای نسبی معادله (۲۲) برای $0.02 \leq \eta_C \leq 0.9$ کمتر از یک درصد می‌باشد.

با داشتن مقدار دبی جریان و تعیین مقدار ε با استفاده از رابطه (۱۹) می‌توان مقدار عمق بحرانی را از رابطه (۲۲) بدست آورد.

تعیین عمق نرمال

در شرایط جریان یکنواخت در کانال‌های باز رابطه مانینگ برقرار می‌باشد (Chow, 1959):

www.SID.ir

Archive of SID

$$Q = \frac{\sqrt{S_0}}{n}\frac{A^{5/3}}{P^{2/3}} \quad (۲۳)$$

که در آن: Q دبی، s شیب طولی کانال، n ضریب زبری مانینگ، A سطح مقطع جریان و P محیط خیس شده جریان می‌باشد.

در مقاطع نیم‌بیضی، پارامتر دبی بدون بعد عمق نرمال (β) به صورت رابطه (۲۴) پیشنهاد می‌گردد:

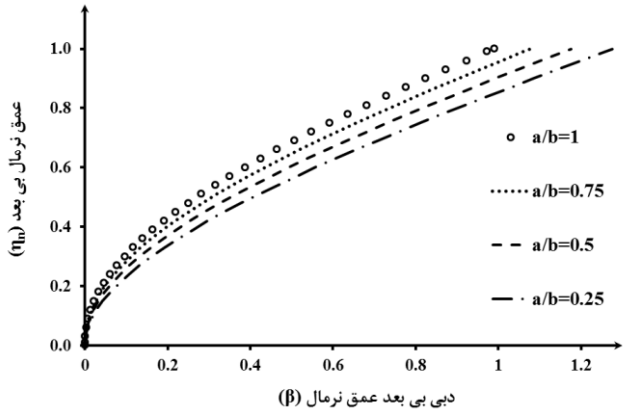
$$\beta = \frac{n\,Q}{a^{5/3}\,b\,\sqrt{S_0}} \quad (۲۴)$$

با جایگذاری روابط (۱۶) و (۱۷) در رابطه (۲۳) پارامتر دبی بدون بعد عمق نرمال در مقاطع نیم‌بیضی به صورت رابطه (۲۵) تعیین می‌گردد:

که در آن: $\eta_n = \frac{y_n}{b}$ و y_n عمق نرمال و زیرنویس n نشان‌دهنده شرایط جریان یکنواخت می‌باشد.

در شکل ۱۲، رابطه (۲۵) برای مقادیر مختلف η_n در نسبت‌های مختلف a/b ترسیم گردیده است:

$$\beta = F(\eta_n) = \frac{A_n^{5/3}}{a^{5/3}\,b\,P_n^{2/3}} = \frac{\left[sin^{-1}\sqrt{\eta_C(2-\eta_C)} - (1-\eta_C)\sqrt{\eta_C(2-\eta_C)}\right]^{5/3}}{\left[0.1694\eta\sqrt{1+\left(\frac{a}{b}\right)^2\frac{[0.015\,\eta-1.1289]^2}{1-[0.0236\,\eta-1]^2}} + 1.0389\eta\sqrt{1+\left(\frac{a}{b}\right)^2\frac{[0.6187\,\eta-1.5398]^2}{1-[0.7188\,\eta-1]^2}} + 0.7987\,\eta\sqrt{1+\left(\frac{a}{b}\right)^2\frac{[0.725\,\eta-0.8792]^2}{1-[0.6528\,\eta-1]^2}}\right]^{2/3}} \quad (۲۵)$$



شکل ۱۲- رابطه بین پارامتر دبی بی بعد و عمق نرمال بی بعد برای مقادیر مختلف a/b

با توجه به شکل ۱۲ معادله توانی برازشی زیر برای رابطه β و η پیشنهاد می‌گردد:

$$\eta_n = 0.82(1.24)^{a/b}\,\beta^{0.12(0.12)^{a/b}\beta^{0.05}} + 0.09\beta^{0.42} + 0.471\,, \quad y_n = b\,\eta_n \quad (۲۶)$$

بیشینه خطای نسبی رابطه (۲۶) برای بازه $0.05 \le \eta_C \le 0.95$, $a/b \ge 0.1$ کمتر از ۱/۴٪ می‌باشد.

با داشتن مقدار دبی جریان و تعیین مقدار β با استفاده از رابطه (۲۴) می‌توان مقدار عمق بحرانی را از رابطه (۲۶) بدست آورد.

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

علی‌رغم گذشت سه دهه از قدمت تولید و نصب کانالت‌های پیش‌ساخته بتنی در ایران، در این مدت طولانی برای طراحی تیپ‌های مختلف کانالت از آیین‌نامه‌های قدیمی استفاده می‌شده است. در این تحقیق، ابتدا با توجه به نحوه اجرا و بهره‌برداری از کانالت‌ها، تعریفی برای مقطع بهینه‌ای کانال‌های پیش‌ساخته بتنی ارائه گردیده است. سپس مشخصات مقطع بهینه کانالت تعیین شده و مشخص گردید که مقطع نیم‌بیضی با نسبت a/b (نیم‌قطر کوچک به نیم‌قطر بزرگ) برابر ۰/۴۳۶، مقطع بهینه کانالت می‌باشد. مقایسه مقطع بهینه کانالت و مقطع نیم‌دایره، نشان‌دهنده ارجحیت کانالت در کاهش تبخیر به میزان ۳۴ درصد نسبت به مقطع نیم‌دایره در قبال افزایش ۱۳ درصدی بتن مصرفی دارد. این امر، به ویژه در مناطق با تبخیر زیاد آب، از اولویت بیشتری برخوردار است. همچنین، با استفاده از مشخصات مقطع بهینه به‌دست آمده، ابعاد تیپ‌های کانالت‌های مورد استفاده در شبکه‌های آبیاری تحت پوشش کانالت‌ها اصلاح گردید. با تعیین مشخصات هندسی کانال با مقطع نیم‌بیضی ناکامل (دارای عمق آزاد)، معادلات صریحی برای تعیین عمق بحرانی و نرمال در کانال با مقاطع نیم‌بیضی ارائه شد. معادلات پیشنهادی، علاوه بر سادگی و درستی، دارای حداکثر خطای نسبی کمتر از ۱/۴ درصد است.

منابع

اسلامیان، س. س.، گوهری، س. ع. و زارعیان، م. ج. ۱۳۸۶. بررسی

www.SID.ir

Archive of SID

مزایا و مشکلات استفاده از کانال‌های پیش‌ساخته در احداث شبکه‌های آبیاری درجه ۳ و ۴ در اصفهان. دومین کنفرانس ملی تجربه‌های ساخت تأسیسات آبی و شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه تهران، دانشکده مهندسی آب و خاک، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی.

امیدوار اشکلک، ع.، حبیبی، م. و رستمی، م. ۱۳۹۴. بررسی عملکرد کانالت در شبکه‌های آبیاری و ارائه راهکارهایی جهت کاهش مشکلات ساخت و بهره‌برداری. دهمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران، دانشگاه تبریز، دانشکده مهندسی عمران.

امیری تکلدانی، ا. و سیاهی، م. ک. ۱۳۸۷. طراحی کانال‌های آبیاری و سازه‌های وابسته. چاپ اول، مؤسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران.

پوراربابی، ع. و غفوری، ح. ۱۳۸۹. احداث شبکه‌های آبیاری به‌صورت صنعتی. سومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، اهواز، دانشگاه شهید چمران اهواز.

حسن‌نژاد، ا. و شیر افروس، ع. ۱۳۹۳. مقایسه کانالت پیش‌ساخته و کانال درجا در شبکه‌های آبیاری و زهکشی خوزستان از دیدگاه فنی- اجرایی (دشت آزادگان). دومین همایش سراسری کشاورزی و منابع طبیعی پایدار.

حسینی، ح.، خدادادسربزدی، م.، حسینی، ع. ر. ۱۳۹۵. ارزیابی اجرایی کانال های بتنی درجا و کانال های پیش ساخته در شبکه های آبیاری و زهکشی (مطالعه موردی – دشت عباس ایلام). سومین همایش یافته های نوین در محیط زیست و اکوسیستم‌های کشاورزی، تهران، پژوهشکده انرژی های نو و محیط زیست دانشگاه تهران.

خواجه ساهوتی، م. ر. ۱۳۹۶. کانالت، ساخت، طراحی، اجرا، بهره‌برداری و نگهداری. نشر ترآوا، اهواز. ۳۳۸ ص.

سلامتی، ن.، ورجاوند، پ.، آبسالان، ش. ا.، عزیزی، آ.، گوشه، م. ح. و حبیبی‌اصل، ج. ۱۳۹۷. ارزیابی راندمان توزیع آب در کانال‌های بتنی و کانالت‌ها در شبکه‌های آبیاری استان خوزستان. تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی، ۱۹. ۷۲: ۱۴۹-۱۶۴.

شاهوردی، پ.، شاهنظری، ع.، پروین، ر. ۱۳۸۹. بررسی گزینه های مختلف احداث کانال درجه سه بر محیط زیست طرح مدیریت جامع آب و خاک البرز، چهارمین همایش تخصصی مهندسی محیط زیست، دانشگاه تهران، دانشکده محیط زیست.

شاهنظری، ع.، شاهوردی، پ. و پروین، ر. ۱۳۹۲. انتخاب گزینه برتر کانال درجه سه در شبکه آبیاری و زهکشی پروژه مدیریت جامع آب و خاک البرز. مجله مهندسی آب و محیط زیست ایران، ۱. ۱: ۵۷-۶۷.

صفارزاده، ع. ر. ۱۳۹۴. مسائل و مشکلات استفاده از کانالت‌های بتنی در شبکه‌های فرعی آبیاری و زهکشی– مطالعه موردی (پروژه احداث شبکه فرعی آبیاری و زهکشی اراضی واحد عمرانی ۵ (شهید پورش همدانی)). اولین همایش ملی بررسی ابعاد فنی، اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی طرح احیاء ۵۵۰ هزار هکتاری اراضی خوزستان و ایلام.

عطاری، م.، هوشمند، ع. و قمشی، م. ۱۳۹۲. ارزیابی عملکرد کانال-های پوشش بتنی درجا و پیش‌ساخته در شبکه‌های آبیاری و زهکشی (مطالعه موردی: شبکه فرعی آبیاری و زهکشی میانآب شوشتر داریون ۲ و ۳). چهارمین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی.

فرامرز، م. ۱۳۸۹. احداث شبکه‌های فرعی با استفاده از کانال‌های پیش‌ساخته بتنی با مقطع نیم‌بیضی با رویکرد در مسائل اجتماعی. سومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشکده مهندسی علوم آب.

منیرعباسی، آ.، گودرزی، ع. و احمدپور، ف. ۱۳۹۱. ساخت قطعات پیش‌ساخته در پروژه‌های آبیاری و زهکشی (اجرای سازه بتنی- F). چهارمین کنفرانس ملی سالیانه بتن ایران، تهران.

Aksoy, B. and Altan-Sakarya, A. 2006. Optimal lined channel design. Canadian Journal of Civil Engineering, 33(5): 535–545.

Chow VT. 1959. Open-channel hydraulics. New York: McGraw-Hill.

Easa, S. M. and Vatankhah, A. R. 2014. New open channel with elliptic sides and horizontal bottom. Korean Journal of Civil Engineering. 18.4, 1197-1204.

Han, Y.-C., & Easa, S. M. 2017. New and improved three and one-third parabolic channel and most efficient hydraulic section. Canadian Journal of Civil Engineering, 44(5), 387–391.

Munson, B.R.,Young, D.F., and Okiishi, T.H. 1998. Fundamentals of fluid mechanics. 3rd ed. JohnWiley and Sons Inc., Toronto, Ont.

Subramanya K. 1986. Flow in open channels. New Delhi (India): Tata McGraw-Hill.

Vatankhah, A. 2011. Approximate solutions to complete elliptic integrals for practical use in water engineering. Journal of Hydraulic Engineering. 16.11, 942–945.

www.SID.ir

Archive of SID

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 2, Vol. 13, Jan.-Jul. 2019, p. 426-436

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۲، جلد ۱۳، خرداد - تیر ۱۳۹۸، ص. ۴۳۶-۴۲۶

Determination of Optimal Section and Hydraulic Characteristics of Precast Concrete Channels (Canalette)

H. Kianmehr[1] and S. R. Khodashenas[2]*

Recived: Des.15, 2018 Accepted: Apr.27, 2019

Abstract

Nowadays, the use of precast concrete channels (canalette) has been considered due to its focus on manufacturing, possibility of high quality and quantity control in different stages of construction, as well as high speed of their production and operation. Despite three decades of production archaism and canalette installation in Iran, old regulations are used for design of different types. In this study, initially, with regard to the implementation and operation of canalettes, some definitions were developed for optimal section of this system. Then, it was determined that semi-elliptical cross-section with a ratio of small to large diameter of 0.436 is optimal section of the canalette. A comparison between optimal section of canalette and semi-circular cross-section represented canalette priority to reduce evaporation up to 34% compared to the semi-circular cross-section against an increase of 13 percent in consumed concrete. This is of higher priority especially in areas with high evaporation of water. Also, by determining the geometric characteristics of the channel with incomplete half- ellipse section (with free board), the explicit equations were presented for determining the critical and normal depths in a channel with half-ellipse section. The proposed equations exhibit both simplicity and high accuracy, having maximum relative error of less than 1.4%.

Keywords: Canalette, Critical and normal depths, Optimal section, Precast concrete channels, Semi elliptical

1- Ph.D. Student, Water Engineering Department, Ferdowsi University of Mashhad
2- Professor, Water Engineering Department, Ferdowsi University of Mashhad
(*- Corresponding Author: khodashenas@ferdowsi.um.ac.ir)

www.SID.ir