

ARAŞTIRMA MAKALESİ Bileşik Kanallarda En Uygun Kesit

Mesut Çimen¹, Kemal Saplıoğlu¹

Yazışma yazarı:
Mesut ÇİMEN
mesutcim@mmf.sdu.edu.tr

¹ Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 32260, Isparta, Türkiye

Referans:
Çimen M., Saplıoğlu K., (2009), Bileşik Kanallarda En Uygun Kesit, Su Kaynakları, 2, 49-54

Makale Gönderimi : 1 OCAK 2009
Online Kabul : 1 ŞUBAT 2009
Online Basım : 1 MART 2009

Özet Sulama, ulaşım ve hidroelektrik amaçları için inşa edilen açık kanalların hidrolik yönden en uygun bir şekilde tasarlanması önemlidir. Bu sayede, istenilen proje debisi kanaldan kolayca geçirilebilmekte ve en az inşa maliyeti elde edilebilmektedir. Hidrolik yönden en uygun kesit şekli yarım daire kesittir. Buna karşın, pratik olarak bu kesitin inşası zor olduğundan trapez kesitler ya da trapez kesite benzer bileşik kesitler sıkça uygulanır. Bu çalışmada, yarım daire kesit temel alınarak çeşitli bileşik kesitler elde edilmiştir. Bu amaçla, yarım daire kesit çeşitli eş alanlı ve eş ıslak çevreli parçalara ayrılarak hidrolik yönden en uygun bileşik kesitler elde edilmiştir. Üçgen, trapez ve çok kenarlı bileşik kesitlerin hidrolik yönden en uygun kesitlerini ifade eden enkesit alanı ve ıslak çevre bağıntıları için genel ifadeler verilmiştir. Bu bağıntılar, amaca uygun olarak kolay bir şekilde değerlendirilmiş ve hidrolik yönden uygun çeşitli kesitlerin alan ve ıslak çevre bağıntıları uygulayıcılara kolaylık olması bakımından bir tablo halinde sunulmuştur. 10 kenarlı bir çokgenin yarısını oluşturan 5 eşkenarlı bileşik kanal kesiti, diğer kesitlere göre inşa kolaylığı ve maliyet yönlerinden daha uygun olması nedenleriyle bu çalışmada en uygun kesit olarak teklif edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: En Uygun Kesit, Kanal, Hidrolik, Maliyet, Tasarım, Manning Denklemi

Optimal cross-section in composite channels

Abstract It is important hydraulically the optimal design of the open channels which are built for the various purposes such as irrigation, transportation and hydroelectric. Hence, the design discharge can be easily passed through the channels and it can be obtained the least construction cost. The most efficient shape of the best hydraulic cross-section is the half-circle. Despite of this reality, either the trapezoidal section or the composite cross-sections similar to the one often are applied because the construction of the half-circle section is difficult. The composite cross-sections have been produced by basing on the half-circle in this study. For this reason, the half-circle section has been divided in the parts with the equal cross-sectional area and wetted perimeter and then the best hydraulic composite cross-sections have been obtained. General expressions have been derived for the relationships of the optimal cross-section area and wetted perimeter in case of the triangular, trapezoidal and multiple-side composite sections. These relationships have been evaluated and then a table has been arranged for the practice purposes in the channels. The five-sides channel cross-section being the half of ten-sides polygon has been offered in this study because of the easiness of the construction and least cost in spite of the known other cross-sections. It is not considered the cost parameter varying with the depth and longitudinally for both earthworks and linings in the analysis.

Keywords. Optimal Cross-section, Channel, Hydraulic, Cost, Design, Manning Equation

1. Giriş

Akarsular, sulama kanalları, kanalizasyon boruları ve yeraltısuyu toplama drenleri ile galeriler içerisindeki akımlar açık kanal akımları olarak bilinirler. Açık kanallardaki akım üniform ve üniform olmayan akımlar olarak iki türde sınıflandırılırlar. Üniform akımlarda, kanal içerisindeki su derinliği kanal boyunca sabit iken, üniform olmayan akımlarda ise değişkendir.

Açık kanallardaki üniform akım, sulama kanalları gibi yapay kanalların boyutlarını belirlemek için bir tasarım şartı olarak ele alınır. Üniform akım için genellikle aşağıda verilen Manning denklemi göz önüne alınır.

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S_0^{1/2} \quad (1)$$

Bu bağıntıda, V açık kanaldaki akımın ortalama hızını, n Manning katsayısını, R=A/P olmak üzere hidrolik yarıçapı, A ve P, sırasıyla, akımın geçtiği enkesit alanını ve ıslak

çevresini ve S_0 ise kanal taban eğimini göstermektedir. Üiform akımlarda taban eğimi, su yüzeyinin eğimi ile enerji çizgisinin eğimine eşit kabul edilir. Bu eşitlik ile birlikte süreklilik denklemini ($Q=VA$) ele aldığımızda aşağıdaki bağıntı elde edilir.

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

Burada Q proje debisidir. Bu bağıntı, boyutlarını belirlemek istediğimiz bir açık kanalın en uygun hidrolik şartlarını belirlemek için kullanılabilir. Hidrolik olarak en uygun kesit, ıslak çevrenin en az olduğu kesittir ve bu kesit Denklem (2) 'nin sol tarafını maksimum yapar. Böylece, bu bağıntı belirli bir enkesit alanından istenilen büyüklükte bir proje debisinin geçmesine imkan verir. Ayrıca, ıslak enkesit alanının minimum olması, daha az bir kazı maliyetine sebep olur. Bu nedenle, hem enkesit alanının ve hem de ıslak çevrenin birlikte değerlendirilmesi önemli olmaktadır.

Sulama, ulaşım ve hidroelektrik amaçlarıyla yapılan yapay kanallarda en iyi çözüm yukarıda bahsedildiği gibi iki şekilde alınır: en küçük enkesit alanı ve en küçük ıslak çevre. En küçük alan istimlak bedelleri ve kazı maliyetinin derinliğe göre değişmesi durumlarında ele alınır. Başka bir deyişle, kanal maliyeti göz önüne alındığında temel hedef kanal enkesit maliyetinin en küçük olmasıdır. Bu konuda özellikle son yıllarda pek çok çalışma yapılmıştır. Das (2000), tabanda ve şevde farklı pürüzlülüklerle sahip trapez kesitli kanallar için en iyi kesiti Lagrange çarpanları yöntemiyle belirledi. Jain vd. (2004), farklı pürüzlülüklerle sahip kanalların en iyi kesiti için doğrusal olmayan bir en iyileme (optimizasyon) yöntemini teklif ederek, oluşturulan modeli genetik algoritmalar ile çözdüler. Bhattacharjya (2006), kanalda kritik akım şartını en iyileme işlemlerine dahil ederek, kanalın kritik kesitinden uzak bir kesitin en uygun maliyetli bir çözümü için bir yöntem sundu. Aksoy ve Altan Sakarya (2006), üçgen, dikdörtgen, trapez ve yarım daire enkesitli kanalların en iyi çözümünü bulmak için kanal kesiti maliyetinin minimizasyonunu ele aldılar. Minimizasyon için amaç fonksiyonu kaplama ve kazı maliyetlerinden oluşturulmuştur. Das (2007), yatay tabanlı ve parabolik kenarlı bir kanalda en az maliyetli bir çözümü Lagrange çarpanları yöntemiyle belirledi. Bhattacharjya ve Satish (2007), trapez kesitli bir kanalda toprak şev stabilitesini de ele alarak, genetik algoritma ile kanal eğiminin emniyet faktörünü ve sonrasında ikinci mertebeden bir polinom fonksiyonuyla stabilite ve kanal boyutlarını en ucuz maliyetle belirlemeye çalışmışlardır.

En küçük ıslak çevre uzunluğuna ait çalışmalar ise, genel olarak verilen bir kesitten en fazla debiyi geçirebilmek için yapılan çalışmalardır. Bu çalışmalar; üçgen, dikdörtgen, trapez, yarım daire ve bileşik kesitler için yapılmıştır. Bileşik kesitler, genel olarak trapez ve yarım daire şekillerindeki kesitlere dayanmaktadır. Bunlar için en genel haller; şevin parabolik, parabolik-düz kenar ve eğik-düz kenar olması durumları için incelenmiştir (Guo ve Hughes, 1984; Mironenko vd., 1984; Loganathan, 1991; Swamee, 1995; Swamee vd., 2000a,b, 2001; Anwar ve de Vries, 2003; Chahar, 2005; Abdulrahman, 2007; Froehlich, 1994, 2008).

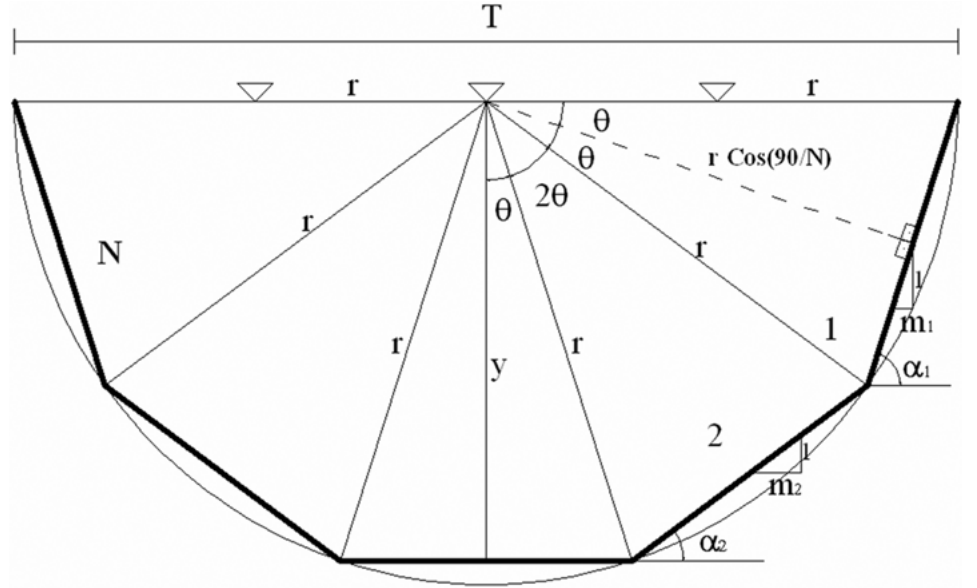
Hidrolik yönden (en az kazı maliyeti ve en az kaplama maliyeti bakımlarından) en uygun kesit yarım daire şekilli kesittir. Fakat bu kesitin inşaatı kolayca uygulanabilir olmadığından, pratikte trapez şekilli ya da bileşik kesitler kullanılır. Bu çalışmada, yarım daire kesit şekli göz önüne alınarak bileşik kesitler teklif edilmiştir. Derinliğe ve uzunluğa göre değişen kazı maliyetleri ve kaplama maliyetleri bu çalışmada ele alınmamıştır.

Teklif Edilen Hidrolik Yönden En Uygun Kesit

Şekil 1 de görülen bileşik kesit, çalışmanın amacı doğrultusunda çizilmiştir. Bu kesit oluşturulurken yarım daire şekli ele alınmış ve eşit 2θ açılarında bölünerek bileşik bir kesit elde edilmiştir. Şekilde, $N \geq 2$ kesit parça sayısı olmak üzere $N=180/2\theta$ adet düz-eğik ıslak kenar elde edilebilmektedir. Bileşik haldeki bu kanalın alanı ve ıslak çevresi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$A = Nr^2 \sin(90/N) \cos(90/N) \quad N \geq 2 \quad (3)$$

$$P = 2Nr \sin(90/N) \quad N \geq 2 \quad (4)$$



Şekil 1. Teklif edilen kanal enkesiti

N=2 için enkesit üçgen kanalı, N=3 için trapez kanalı, N=4 için eş kenarlı sekizgenin yarısını ve N=5 için bu çalışmada ele alınan eş kenarlı ongenin yarısını gösteren kanalı ifade eder. Denklem 2 nin sol tarafı büyüdükçe, hidrolik yönden en uygun kesitin belirlenmesinde daha büyük N değerinin seçilmesi uygun olacaktır. Bu durum, özellikle yüksek akım derinliklerinde ve inşaatın müsaade ettiği şartlarda geçerli olur.

Eş kenar uzunluklarına sahip N=5 için yukarıdaki eşitlikler aşağıdaki hale dönüşür.

$$A = 1.46946r^2 \quad (5)$$

$$P = 3.09017r \quad (6)$$

Denklem 2 de bu ifadeler yerine konulursa

$$\frac{nQ}{\sqrt{S_0}} = 0.89525r^{8/3} \quad (7)$$

ifadesi elde edilir. Kanalın su yüzü genişliği ($T=2r$ için) ve normal akım derinliği ($y=r\cos(\theta)$)

$$T = 2.084738 \left(\frac{nQ}{\sqrt{S_0}} \right)^{3/8} \quad (8a)$$

$$y = 0.99135 \left(\frac{nQ}{\sqrt{S_0}} \right)^{3/8} \quad (8b)$$

olarak bulunur. Şevlerin ters eğimleri ile şev açıları ise aşağıdaki gibi elde edilir.

$$2r\sin\theta = r\sin(2\theta)\sqrt{1+m_1^2} \Rightarrow m_1 = \left(\frac{1}{\cos^2(\theta)} - 1 \right)^{1/2} \Rightarrow m_1 = 0.325 \alpha_1 = 72^\circ \quad (8c)$$

$$\alpha_2 = \cos^{-1} \left(\frac{1 - \sin(\theta) - 2\sin(\theta)\cos(\alpha_1)}{2\sin(\theta)} \right) = 36^\circ \quad m_2 = 1.376 \quad (8d)$$

Şekil 1 de görülen ve yukarıda gerekli ölçüleri hesaplanmış $N = 5$ için bileşik kesit, kazı yerinin özellikle sert kayalardan oluştuğu zeminlerde kullanılabilir. Pratikte sıkça kullanılan trapez kesit ile bu çalışmada teklif edilen bileşik kesit inşa kolaylığı açısından birlikte ele alındığında, trapez şekilli kanaldaki şevin yalnızca tek bir açıyla (60°)

oluşturulacak olması trapez kesitin daha kolayca inşa edilebileceğini gösterir. Ancak, bir sonraki bölümde de bahsedildiği gibi, kazılacak malzeme miktarı (hacmi) ile taban-kenar kaplama uzunlukları trapez kesitli kanallarda daha fazladır ve kazı sahasının sert zeminden oluştuğu yerlerde yarı ongen şekilli bileşik kesit büyük ekonomi sağlayacaktır. Bununla birlikte, yarı ongen şekilli bileşik kanal kesitinin inşası için (şev açıları 72° ve 36°) özel bir kalifiye işçiliğe de gerek olmamaktadır.

Değerlendirmeler

Şekil 1 de geometrisi verilmiş olan kanal kesiti farklı N adet eş akım alanları için Denklemler (3) ve (4) kullanılarak kolayca değerlendirilebilir. Bu nedenle, bu ifadeler hidrolik yönden en uygun kesit boyutları için, dikdörtgen enkesit hariç, temel denklemler olarak düşünülebilir. N=2 için üçgen enkesitli ve N=3 için trapez enkesitli kanallar için hidrolik kesitler aşağıdaki gibi belirlenebilir:

$$T = \frac{y}{2} = 2.59368 \left(\frac{nQ}{\sqrt{S_0}} \right)^{3/8} \quad \alpha = 45^\circ \quad \text{Üçgen enkesit} \quad (9)$$

ve

$$T = 2.23510 \left(\frac{nQ}{\sqrt{S_0}} \right)^{3/8} \quad \alpha = 30^\circ \quad (10a)$$

Trapez enkesit

$$y = 0.96783 \left(\frac{nQ}{\sqrt{S_0}} \right)^{3/8} \quad r = b = 1.11755 \left(\frac{nQ}{\sqrt{S_0}} \right)^{3/8} \quad (10b)$$

$N \geq 2$ için hidrolik yönden en uygun kesitlerin normal akım derinlikleri, enkesit alanları ve ıslak çevreleri için elde edilmiş ifadeler ile literatürden alınmış bazı sonuçlar Tablo 1 de sunulmuştur. Kanalların enkesit alanı kazı maliyetinin büyüklüğünü gösterir. Enkesit alanı ne kadar büyük ise, kazı maliyeti de o kadar büyük olur. Benzer şekilde, ıslak çevre ne kadar büyük ise, kanalın kaplama maliyeti de o kadar büyümektedir. Bu tablodan, yarım daire şekilli kanalın en küçük enkesit alan ve ıslak çevre katsayılarına (1.597 ve 3.221) sahip olduğu görülmektedir. Dolayısıyla, bu katsayı değerlerine yaklaşan enkesit alanların ve ıslak çevrelerin küçük değerleri hidrolik yönden daha uygun kesitler olarak düşünülebilir.

Bu çalışmada teklif edilen N=5 için yarı ongen kesitli bileşik kanalın enkesit alanı ile ıslak çevresi ifadelerinin katsayıları, hem literatürdeki ve hem de diğer standart kesitlerin katsayı değerlerinden daha düşük olarak elde edilmiştir. Ayrıca, N değeri arttıkça enkesit alan ve ıslak çevre formüllerindeki katsayı değerlerinin de küçüldüğü bu tablodan görülmektedir. Kanal kaplaması ile kazı maliyetleri bir arada düşünülmesi durumunda, hem enkesit alanının ve hem de ıslak çevrenin beraberce ele alınması ve ona göre bir kesitin seçilmesi gereklidir.

Tablo 1 ayrıca, kesit alanları ve ıslak çevreler için yarım daire enkesite göre yüzde olarak farkları da göstermektedir. Bu farklar, uygulayıcıların maliyet hesaplarının yapılabilmesi bakımından faydalıdır. Örneğin 1 km lik bir kanal için, birim metreküp kazı maliyeti $C_E=1$ birim m^{-3} ve birim metrekare kaplama maliyeti $C_L=2$ birim m^{-2} olduğunu düşünelim. Toplam maliyet, yarım daire şekilli kanalın maliyetine göre trapez şekilli kanalda 8328 birim kadar ve bu çalışmada önerilen bileşik kanalda 8039 birim kadar daha fazla olmaktadır. Bu iki kanal durumunda ise, bileşik kanal trapez şekilli kanala göre 289 birim daha ekonomik olmaktadır.

Tablo 1. En uygun kanal kesitlerinin hidrolik özellikleri

Şekil	Normal derinlik	Enkesit alanı		Islak çevre	
	y	A	Fark (%)	P	Fark (%)
Dikdörtgen	$0.917 \left(\frac{nQ}{\sqrt{S_0}} \right)^{3/8}$	$1.682 \left(\frac{nQ}{\sqrt{S_0}} \right)^{3/4}$	-6.25	$3.668 \left(\frac{nQ}{\sqrt{S_0}} \right)^{3/8}$	-16.30
Yarım Daire	$1.004 \left(\frac{nQ}{\sqrt{S_0}} \right)^{3/8}$	$1.583 \left(\frac{nQ}{\sqrt{S_0}} \right)^{3/4}$	-----	$3.154 \left(\frac{nQ}{\sqrt{S_0}} \right)^{3/8}$	-----
Üçgen (N=2)	$1.297 \left(\frac{nQ}{\sqrt{S_0}} \right)^{3/8}$	$1.682 \left(\frac{nQ}{\sqrt{S_0}} \right)^{3/4}$	-6.25	$3.668 \left(\frac{nQ}{\sqrt{S_0}} \right)^{3/8}$	-16.3
Trapez (N=3)	$0.968 \left(\frac{nQ}{\sqrt{S_0}} \right)^{3/8}$	$1.622 \left(\frac{nQ}{\sqrt{S_0}} \right)^{3/4}$	-2.46	$3.353 \left(\frac{nQ}{\sqrt{S_0}} \right)^{3/8}$	-6.31
Yarı sekizgen (N=4)	$1.065 \left(\frac{nQ}{\sqrt{S_0}} \right)^{3/8}$	$1.605 \left(\frac{nQ}{\sqrt{S_0}} \right)^{3/4}$	-1.39	$3.261 \left(\frac{nQ}{\sqrt{S_0}} \right)^{3/8}$	-3.39
Yarı ongen (N=5)	$0.991 \left(\frac{nQ}{\sqrt{S_0}} \right)^{3/8}$	$1.597 \left(\frac{nQ}{\sqrt{S_0}} \right)^{3/4}$	-0.88	$3.221 \left(\frac{nQ}{\sqrt{S_0}} \right)^{3/8}$	-2.12
Yarı onikigen (N=6)	$1.030 \left(\frac{nQ}{\sqrt{S_0}} \right)^{3/8}$	$1.592 \left(\frac{nQ}{\sqrt{S_0}} \right)^{3/4}$	-0.57	$3.200 \left(\frac{nQ}{\sqrt{S_0}} \right)^{3/8}$	-1.46
Abdulrahman (2007)	$0.984 \left(\frac{nQ}{\sqrt{S_0}} \right)^{3/8}$	$1.604 \left(\frac{nQ}{\sqrt{S_0}} \right)^{3/4}$	-1.33	$3.261 \left(\frac{nQ}{\sqrt{S_0}} \right)^{3/8}$	-3.39
Froehlich (2008)	$0.990 \left(\frac{nQ}{\sqrt{S_0}} \right)^{3/8}$	$1.598 \left(\frac{nQ}{\sqrt{S_0}} \right)^{3/4}$	-0.95	$3.228 \left(\frac{nQ}{\sqrt{S_0}} \right)^{3/8}$	-2.35

Sonuçlar

Bu çalışmada; sulama, ulaşım ve hidroelektrik amaçları için inşa edilen açık kanallarda hidrolik yönden en uygun kesitin belirlenmesi için bir yöntem ve basit bağıntılar verilmiştir. Kullanılan yöntem, hidrolik olarak en uygun kesit olan yarım daire kesitin çevresi üzerinde çizilen eş kenarlı bileşik kesitin oluşturulmasına dayanır. Yarım daire üzerinde oluşturulan N adet eşit kenarlı ve alanlı bir bileşik kanalın en uygun hidrolik profilinin belirlenmesi için enkesit alanı ve ıslak çevresi için basit bağıntılar elde edilmiştir. N nin çeşitli sayısal tam değerleri için kesitler hidrolik yönden değerlendirilmiştir. N nin 2 ve 3 değerlerini almasıyla, iyi bilinen üçgen ve trapez kesitler için en uygun hidrolik boyutlar elde edilmiştir. N nin 4 ve daha üzeri tam sayılarında ise bileşik kanallar elde edilmiş ve N=5 için meydana gelen bileşik kanal, bu çalışmada teklif edilmiştir. Bu kanal, geometrik olarak ongen şeklinin yarısını oluşturmaktadır ve literatürde teklif edilen kanallar ile trapez kesitli kanalın hidrolik şartlarından daha iyi olarak (en az kazı ve kaplama maliyetli) bulunmuştur.

Semboller

- A : Enkesit alanı (m²)
N : Kesit parça sayısı
P : Islak çevre (m)
Q : Debi (m³ sn⁻¹)

R	: Hidrolik yarıçap (m)
S_0	: Kanal tabanı eğimi
T	: Kanalın su yüzü genişliği (m)
V	: Hız ($m \cdot sn^{-1}$)
m_i	: Şevin ters eğimi
n	: Manning pürüzlülük katsayısı
r	: Yarıçap (m)
y	: Normal akım derinliği (m)
α_i	: Şev açısı ($^\circ$)

Kaynaklar

- Aksoy, B., and Altan-Sakarya, A.B., (2006). Optimal lined channel design, *Canadian Journal of Civil Engineering*, 33, 5, 535–545.
- Anwar, A.A., and de Vries, T.T., (2003). Hydraulically efficient powerlaw channels, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 129, 1, 18–26.
- Bhattacharjya, R.K., (2006). Optimal design of open channel section incorporating critical flow condition, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 132, 5, 513–518.
- Bhattacharjya, R.K., and Satish, M.G., (2007). Optimal design of a stable trapezoidal channel section using hybrid optimization techniques, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 133, 4, 323–329.
- Chahar, B.R., (2005). Optimal design of a parabolic channel section, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 131, 6, 546–554.
- Das, A., (2000). Optimal channel cross section with composite roughness, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 126, 1, 68–72.
- Das, A., (2007). Optimal design of channel having horizontal bottom and parabolic sides, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 133, 2, 192–197.
- Froehlich, D.C., (1994). Width and depth-constrained best trapezoidal section, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 120, 4, 828–835.
- Froehlich, D.C., (2008). Most hydraulically efficient standard lined canal sections, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 134, 4, 462–470.
- Guo, C.Y., and Hughes, W.C., (1984). Optimal channel cross section with freeboard, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 110, 3, 304–314.
- Jain, A., Bhattacharjya, R.K., and Sanaga, S., (2004). Optimal design of composite channels using genetic algorithm, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 130, 4, 286–295.
- Loganathan, G.V., (1991). Optimal design of parabolic canals, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 117, 5, 716–735.
- Mironenko, A.P., Willardson, L.S., and Jenab, A.S., (1984). Parabolic canal design and analysis, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 110, 2, 241–246.
- Swamee, P.K., (1995). Optimal irrigation canal sections, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 121, 6, 467–469.
- Swamee, P.K., Mishra, G.C., and Chahar, B.R., (2000a). Comprehensive design of minimum cost irrigation canal sections, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 126, 5, 322–327.
- Swamee, P.K., Mishra, G.C., and Chahar, B.R., (2000b). Minimum cost design of lined canal sections, *Water Resources Management*, 14, 1, 1–12.
- Swamee, P.K., Mishra, G.C., and Chahar, B.R., (2001). Design of minimum earthwork cost canal sections, *Water Resources Management*, 15, 1, 17–30.