کاربرد مدل‌های نفوذ رودخانه‌ای برای شبیه‌سازی نفوذ آب در حوضچه‌های کنترل سیلاب شهری

سعیدرضا خداشناس[1]

(دریافت ۸۶/۱/۱۹ پذیرش ۸۶/۱۱/۲۴)

چکیده

در میان روشهای کنترل سیلاب شهری، روش نفوذ آب باران به زمین یکی از مهم‌ترین روشها برای جلوگیری از خسارات سیل است. مدل‌های مفهومی نفوذ رودخانه‌ای برای کاربرد در مطالعات کنترل سیلاب شهری به خصوص در حوضچه‌های نفوذ بسیار مفیداند. برخلاف مدل‌های ریاضی این مدل‌ها بسیار ساده‌تر هستند و همچنین برخلاف مدل‌های تجربی، تعیین پارامترهای این مدل‌ها نیز به مراتب آسان‌تر است. در این تحقیق چهار مدل مفهومی نفوذ رودخانه‌ای که عبارت‌اند از مدل‌های دوپویی- فورشهایمر، ارنست، میلس و مورل- سیتوکس برای شبیه‌سازی نفوذ در حوضچه‌های نفوذ کنترل سیلاب شهری استفاده شد. مطالعه روی این چهار مدل نشان داد که هیدروگراف‌های نفوذ به دست آمده از مدل‌ها نزدیک هیدروگراف‌های واقعی می‌باشند و این مدل‌ها در شبیه‌سازی رفتار حوضچه نفوذ جوابهای قابل قبولی می‌دهند. نتایج همچنین نشان داد که سه مدل دوپویی- فورشهایمر، ارنست و میلس نسبت به مدل چهارم نسبت به پارامترهایشان کمتر حساسیت دارند.

واژه‌های کلیدی: روشهای جایگزینی، سیلاب شهری، مدل نفوذ، مدل مفهومی، شبیه‌سازی.

Application of River Infiltration Models to Simulation of Infiltration Process in Infiltration Basins

Saeedreza Khodashenas[1]

(Received Apr. 8, 2007 Accepted Feb. 13, 2008)

Abstract

Among the alternative techniques available for flood control, infiltration of rainwater is one of the most important methods to control stormwater effects. Conceptual river infiltration models are very useful for application to control urban flood water, especially in the case of infiltration basins. Contrary to mathematical models, these models are very simple, and unlike empirical models, their parameters are very easy to calculate. Four selected models (Dupuit-Forchheimer, Ernst, Miles and Morel-Seytoux) were employed for simulation of the infiltration process in infiltration basins. The study showed that the hydrograph computed by these models were closely similar to the real hydrograph. The three models (Dupuit-Forchheimer, Ernst, and Miles) showed far lower sensitivity to their parameters than the Morel- Seytoux one.

Keywords: Alternative Techniques, Urban Storm Water, Infiltration Models, Conceptual Models. Simulation.

1. Assis. Prof. of Water Engineering Dept., Ferdowsi University of Mashad, saeedkhodashenas@yahoo.fr

۱- استادیار، گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد، saeedkhodashenas@yahoo.fr

۱- مقدمه

سیلابها هر ساله خسارات بسیار زیادی به مناطق شهری وارد می‌آورند. از آنجایی که پوشش زمین و پشت بامها در مناطق شهری اغلب نفوذ ناپذیرند، زمان تمرکز سیلاب به شدت کاهش یافته و حجم سیلاب افزایش می‌یابد. روشهای کلاسیک که بیشتر مبتنی بر استفاده از شبکه‌های جمع‌آوری آب سطحی می‌باشند ممکن است تا حدودی مشکل مناطق بالادست شهری را حل نمایند ولی باعث سیلابی شدن مناطق پایین دست (که معمولاً شبکه آنجا قدیمی‌تر و با ابعاد کمتر است) می‌شوند و از طرفی گسترش شهر به سمت بالادست باید همراه با ترمیم و تغییر ابعاد شبکه‌های پایین دست باشد که انجام آن بسیار گران تمام خواهد شد.

در روشهای نوین کنترل سیلابهای شهری، سعی بر نگاهداشت سیلاب بدون تأثیر گذاری مخرب آن است و نه دفع سریع آن. این روشها که به روشهای جایگزینی [1] موسوم‌اند با استفاده از نگهداری، ذخیره و نفوذ آب به زمین، تا حد زیادی هزینه کنترل سیلاب شهری را کاهش می‌دهند. در این روشها علاوه بر تغذیه آبهای زیرزمینی، صدمات به مناطق پایین دست کاهش می‌یابد. با توجه به نوع عملکرد، روش کنترل سیلاب می‌تواند ذخیره یا نفوذ و یا هر دو باشد. در طراحی و ساخت روشهای جایگزینی نیاز به استفاده از مدل‌های نفوذ می‌باشد. انتخاب یک مدل نفوذ که ضمن داشتن دقت قابل قبول، نیاز به داده‌های اولیه کم و قابل دسترسی داشته باشد حائز اهمیت است.

هدف این تحقیق بررسی نوعی از مدل‌های نفوذ است که برای تعیین نفوذ در رودخانه‌ها استفاده می‌شوند و همچنین دقت این مدل‌ها در شبیه‌سازی روند نفوذ در حوضچه‌های نفوذ مورد بررسی قرار می‌گیرد. مدل‌های مورد استفاده (مدل‌های دوپویی [2] - فورشهایمر [3]، ارنست [4]، میلس [5] و مورل- سیتوکس [6]) از نوع مدل‌های مفهومی [7] می‌باشند. این مدل‌ها ترکیبی از مدل‌های ریاضی و تجربی‌اند که علاوه بر سادگی به داده‌های اولیه کمتری نسبت به مدل‌های ریاضی نیاز دارند و اگر با شرایط مسئله واسنجی شوند نتایج قابل اطمینان‌تری نسبت به مدل‌های تجربی [8] به دست می‌دهند.

۲- روش تحقیق

میزان نفوذ آب از یک رودخانه با استفاده از رابطه زیر به دست می‌آید

$$Q = \frac{I_s}{K} \cdot K \cdot W_s \qquad (۱)$$

که در آن:

Q دبی نفوذ در واحد طول رودخانه ($m^3/s/m$)، I_s سرعت نفوذ آب (m/s)، K ضریب نفوذپذیری خاک بستر رودخانه در حالت اشباع (m/s) و W_s عرض سطح آب (m) است. پارامتر $\frac{I_s}{K}$ با استفاده از مدل‌های مختلف به صورت زیر تعیین می‌شود.

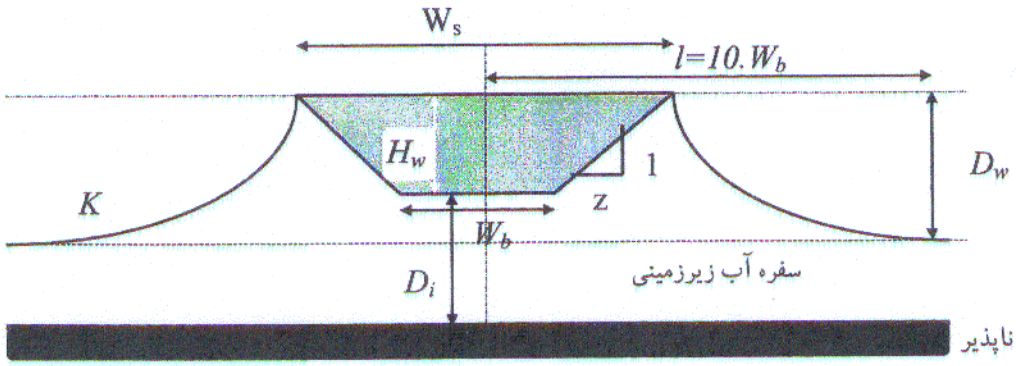
۲-۱- مدل دوپویی – فورشهایمر و مدل ارنست

در مدل‌های دوپویی- فورشهایمر و ارنست پارامتر $\frac{I_s}{K}$ با توجه به پارامترهای نشان داده شده در شکل ۱ به ترتیب از روابط ۲ و ۳ به دست می‌آید [۱]

$$\frac{I_s}{K} = \frac{2D_w}{W_s} \frac{H_w + D_i - 0.5D_w}{1 - 0.25(W_b + W_s)} \qquad (۲)$$

$$\frac{I_s}{K} = \frac{\frac{D_w}{W_s}}{\frac{1}{2(D_i + H_w - 0.5D_w)} + \frac{D_w}{l} + \frac{1}{\pi} Ln \frac{4(D_i + H_w)}{\pi W_s}} \qquad (۳)$$

[1] Alternative Techniques
[2] Dupuit
[3] Forchheimer
[4] Ernest
[5] Miles
[6] Morel -Seytoux
[7] Conceptual Models
[8] Empirical Models



شکل ۱- شمای مورد استفاده در مدل‌های دوپویی- فورشهایمر و ارنست

۲-۲- مدل مورل- سیتوکس و مدل میلس

در مدل‌های مورل- سیتوکس و میلس محیط رودخانه مطابق شکل ۲ به دو بخش تقسیم می‌شود [۲ و ۳]. قسمت(I) در نزدیکی رودخانه و با جریانی به شکل منحنی می‌باشد. طول قسمت l_1 از رابطه ۴ به دست می‌آید و پارامتر $\frac{I_s}{K}$ در منطقه I و II به ترتیب از روابط ۵ و ۶ محاسبه می‌شوند.

$$l_1 = \frac{1}{2}(W_S + H_W + D_i) \qquad (۴)$$

$$\left(\frac{I_s}{K}\right)_I = \frac{2C_d \Delta H}{W_S} \qquad (۵)$$

$$\left(\frac{I_s}{K}\right)_{II} = \frac{2(D_w - \Delta H)}{W_S \cdot l_2}\left[H_w + D_i - 0.5(D_w + \Delta H)\right] \qquad (۶)$$

$$W_P = \frac{P}{D_i + H_W - \Delta H} \qquad (۷)$$

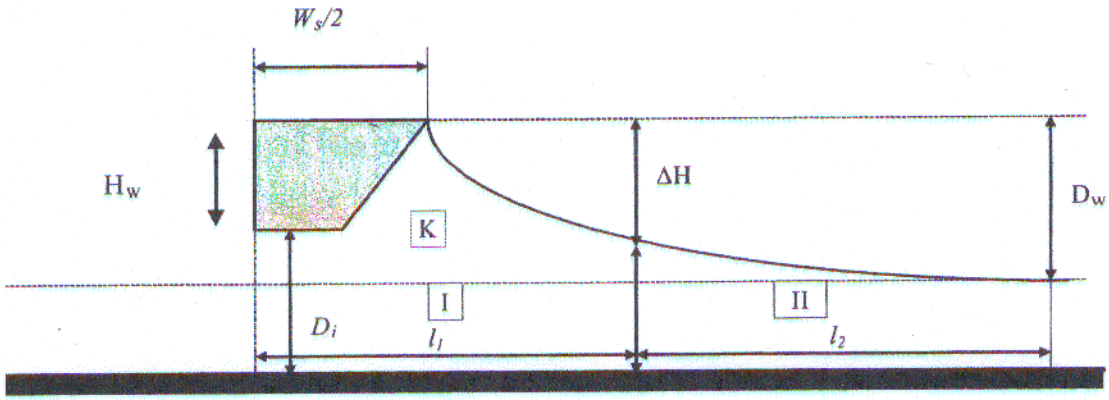
که در این روابط، P محیط خیس شده (m) و پارامتر C_d با استفاده از مدل مورل- سیتوکس و مدل میلس به ترتیب از روابط ۸ و ۹ به دست می‌آید. ΔH از طریق سعی و خطا هنگامی که $(\frac{I_s}{K})_I = (\frac{I_s}{K})_{II}$ به دست می‌آید.

$$C_d = \frac{W_P + 2}{10W_P + 1} \qquad (۸)$$

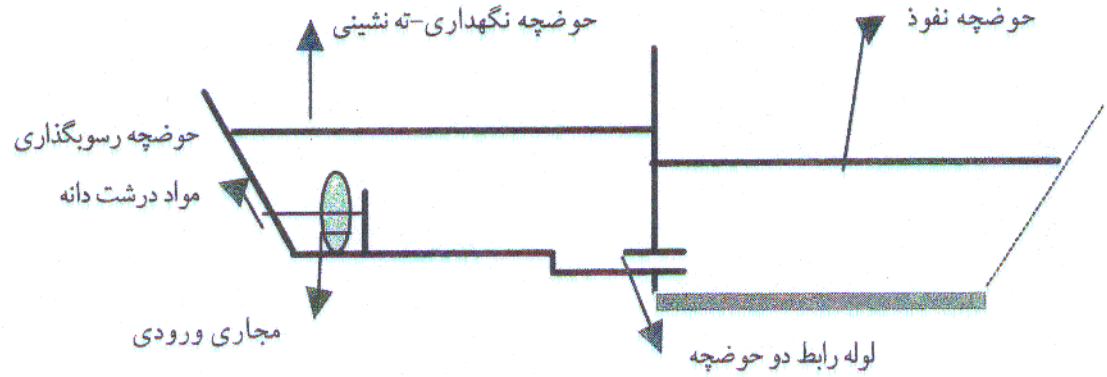
$$C_d = \frac{5[0.25(W_s + W_b) + H_w]}{D_i + H_w} \qquad (۹)$$

نویسنده برای بررسی صحت مدل‌ها از نتایج آزمایش‌های یک حوضچه نفوذ در شهر ونسیو فرانسه به عنوان مدل نمونه[1] استفاده شد. این حوضچه آب باران حوضه آبریزی در حدود ۳۰۰ هکتار را دریافت می‌کند. شکل ۳ شمایی ساده از این حوضچه را نشان می‌دهد. دو قسمت اصلی این تأسیسات عبارت‌اند از حوضچه نگهداری ته‌نشینی و حوضچه نفوذ. هر دو مخزن نگهداری ته‌نشینی و نفوذ تقریباً ذوزنقه‌ای شکل هستند. ابعاد تقریبی مخزن نگهداری ته‌نشینی عبارت‌اند از: عرض کف ۳۰ تا ۴۰ متر، طول ۱۹۴ متر و ابعاد تقریبی مخزن نفوذ برابر است با عرض کف ۲۸ تا ۴۲ متر و طول ۱۶۷ متر. تراز آب در هر دو حوضچه نگهداری ته‌نشینی و نفوذ هر ۶ دقیقه یک‌بار و به صورت خودکار توسط رایانه انجام گردید. بنابراین دبی نفوذ لحظه‌ای در هر زمان قابل محاسبه است.

[1] Pilot



شکل ۲- شمای مورد استفاده در مدل‌های مورل- سیتوکس و میلس



شکل ۳- شمای حوضچه نفوذ مورد استفاده برای آزمایش مدل‌ها

۳- نتایج و بحث

برای بررسی مدل‌ها، داده‌های نُه واقعه بارش در سال ۱۹۹۵مورد استفاده قرار گرفت و نتایج مدل‌ها با نتایج اندازه‌گیری‌ها مقایسه شد. با استفاده از دو معیار آماری اختلاف بین نتایج و اندازه‌گیری‌ها به دست آمد. معیار اول مجذور مربعات اختلافات (E_1)(رابطه ۱۰) که یک پارامتر بی بُعد است و معیار دوم میانگین مجذور مربعات اختلافات(E_2) (رابطه ۱۱) است. همچنین متوسط اختلافات برای نُه واقعه بارش نیز محاسبه شد.

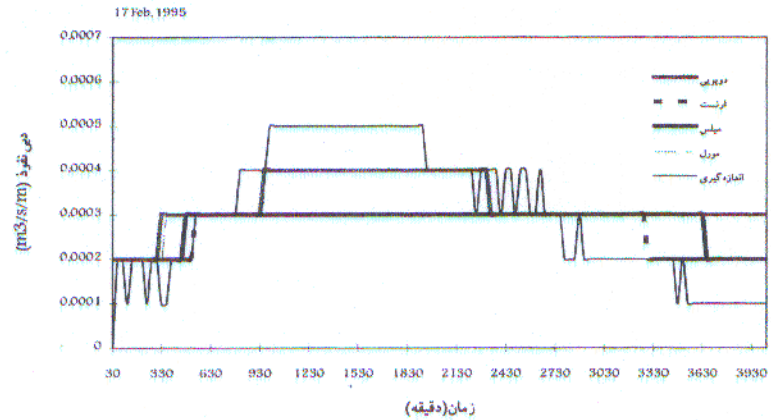
$$E_1 = \frac{[\sum (Q_{mod} - Q_{mes})^2]^{\frac{1}{2}}}{\sum Q_{mes}} \qquad (۱۰)$$

$$E_2 = \frac{[\Sigma (Q_{mod} - Q_{mes})^2]^{\frac{1}{2}}}{N} \qquad (۱۱)$$

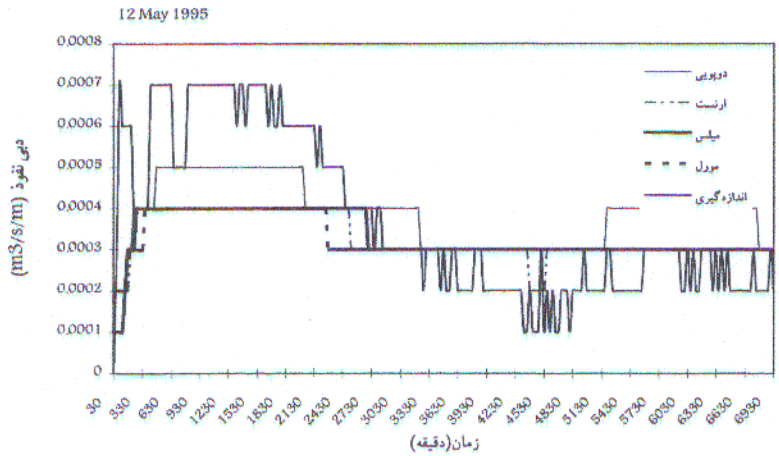
شکلهای ۴ و ۵ مقایسه بین نتایج مدل‌ها واندازه‌گیری‌ها را برای دو واقعه نشان می‌دهند. جدول ۱ مجذور مربعات اختلافات(E_1) و میانگین مجذور مربعات اختلافات (E_2) و جدول ۲ میانگین مقادیر به دست آمده برای نُه واقعه بارش را نشان می‌دهد. در مجموع برای تمام مدل‌ها این اختلافات بسیار کم بود. تحقیق روی حساسیت مدل‌ها بر پارامترهایشان نشان داد که مدل‌های دوپویی – فورشهایمر ، ارنست و میلس نسبت به پارامترهای خود کمتر حساس می‌باشند تا مدل مورل- سیتوکس.

جدول ۱- مجذور مربعات اختلافات(E_1) و میانگین مجذور مربعات اختلافات ($E_2 \times 10^{-5}$) بین مدل‌ها و اندازه گیری‌ها

مدل	روز بارش دوازده ژوئن ۱۹۹۵																	
	۱۹۹۵/۲/۱۷		۱۹۹۵/۲/۲۴		۱۹۹۵/۳/۸		۱۹۹۵/۳/۲۸		۱۹۹۵/۴/۲۱		۱۹۹۵/۵/۱۲		۱۹۹۵/۵/۲۵		۱۹۹۵/۶/۹		۱۹۹۵/۶/۱۲	
	E_1	E_2	E_1	E_2	E_1	E_2	E_1	E_2	E_1	E_2	E_1	E_2	E_1	E_2	E_1	E_2	E_1	E_2
دوپویی-فورشهایمر	۰/۰	۰/۸	۰/۰	۰/۹	۰/۲	۲/۳	۰/۱	۲/۴	۰/۰	۰/۳	۰/۰	۱/۶	۰/۰	۰/۸	۰/۰	۲/۸	۰/۰	۱/۲
ارنست	۰/۰	۰/۹	۰/۰	۰/۶	۰/۱	۱/۷	۰/۱	۲/۴	۰/۰	۵/۶	۰/۰	۱/۸	۰/۰	۰/۹	۰/۰	۲/۳	۰/۰	۰/۹
میلس	۰/۰	۰/۸	۰/۰	۰/۷	۰/۱	۱/۹	۰/۱	۲/۴	۰/۰	۵/۵	۰/۰	۱/۷	۰/۰	۰/۹	۰/۰	۲/۵	۰/۰	۰/۹
مورل- سیتوکس	۰/۰	۱/۰	۰/۰	۰/۷	۰/۱	۲/۱	۰/۱	۲/۴	۰/۰	۵/۹	۰/۰	۱/۹	۰/۰	۱/۰	۰/۲	۲/۷	۰/۰	۱/۰



شکل ۴- مقایسه هیدروگراف‌های به دست آمده از اندازه‌گیری و مدل‌ها در تاریخ ۱۷ فوریه ۱۹۹۵



شکل ۵- مقایسه هیدروگراف‌های به دست آمده از اندازه‌گیری و مدل‌ها در تاریخ دوازدهم می ۱۹۹۵

جدول ۲- میانگین اختلافات بین مدل‌ها و اندازه‌گیری‌ها در نُه اندازه‌گیری

مدل	E_1 (درصد)	E_2 $\times 10^{-5}$
دوپویی- فورشهایمر	۹	۲/۰۴
ارنست	۸	۱/۹۴
میلس	۸	۱/۹۷
مورل- سیتوکس	۹	۲/۱۳

۴- نتیجه گیری

مطالعه انجام شده توسط نویسنده، روی چهار مدل نفوذپذیری رودخانه‌ای انتخاب شده (دوپویی - فورشهایمر، ارنست، مورل- سیتوکس و میلس) با داده‌های نُه واقعه بارش نشان داد که چهار مدل اغلب هیدروگراف‌های نفوذ تقریباً خطی دارند. با بازه زمانی بزرگ (۳۰ دقیقه) هیدروگراف نفوذ مدل‌ها به هیدروگراف واقعی نزدیک‌تر است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که اختلاف بین نتایج مدل و مقادیر واقعی کم است. این تحقیق نشان داد که استفاده از این مدل‌ها برای طراحی حوضچه‌های نفوذ کنترل سیلاب شهری مناسب می‌باشند. در این میان سه مدل دوپویی - فورشهایمر، ارنست و میلس نسبت به مورل- سیتوکس مناسب‌تراند چون نسبت به پارامترهایشان کمتر حساس‌اند. از مزیتهای مهم این مدل‌ها آن است که پارامترهای این مدل‌ها به راحتی می‌توانند به دست آیند.

۵- مراجع

1- Haydarzadeh, M. (1993). *Deformation des modeles debit-duree-Frequence dans an bassin avec echanges Nappe-Riveire acitifs. ou actiuables,* Rapport de DEA, Universite Joseph Fourier, Grenablel, France.

2- Morel-Seytoux, H. J., Peters, G., and Illangasekare, T. (1979). "Field verification of the concept of reach transmissivity." *IAHS-AISH*, 128, 355-359.

3- Miles , J. C. (1985). "The representation of flows to partially penetrating rivers using groundwater flow models." *Journal of Hydrology*, 82, 341-355.