

مدل اینرسی صفر برای تخمین عوامل طراحی آبیاری نواری

فریبرز عباسی، محمد محمودیان شوشتری، ابراهیم پذیرا

به ترتیب عضو هیات علمی (پژوهشگر) موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی کرج، دانشیار

دانشکده مهندسی دانشگاه شهید چمران اهواز و عضو هیات علمی (استاد پژوهش)

موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی کرج

تاریخ پذیرش مقاله ۲۸/۳/۲۶

چکیده

در این مقاله مدل اینرسی صفر^۱ برای شبیه سازی مراحل مختلف آبیاری نواری و تخمین عوامل طراحی ارائه و معادلات آن با روش تفاضل های محدود و به طریقه غیر صریح^۲ حل شده است. نتایج عددی مدل با داده های مزرعه ای و همچنین نتایج عددی مدل های هیدرو دینامیک باست و استرلکف مقایسه گردیده است. نتایج مقایسه بیانگر آن است که مدل، زمانهای پیشروی، پسروی و حجم آب نفوذ یافته را با دقت خوبی تخمین می زند. ولی حجم رواناب سطحی را اندکی کمتر از مقدار واقعی آن بر آورد می نماید. مدل نسبت به مدل های باست و استرلکف بخصوص در فاز پسروی از دقت نسبتا بالاتری برخوردار است. این مدل ساده بوده و حافظه کمی از کامپیوتر را اشغال نموده و همچنین زمان کمی برای اجرای آن مورد نیاز است.

واژه های کلیدی: مدل، اینرسی صفر، آبیاری نواری، طراحی و حل عددی

مقدمه

مدلهای رایج در آبیاری سطحی شامل مدل های هیدرو دینامیکی^۳، اینرسی صفر، موج کینماتیکی^۴ و بیلان حجمی^۵ می باشند. معادلات حاکم بر جریان آب در آبیاری سطحی، معادلات معروف سنت و نانت^۶ بوده که در حالت کلی به روش تحلیلی قابل حل نبوده و با روش های عددی قابل حل هستند. در مدل های هیدرو دینامیکی معادلات سنت و نانت بطور کامل حل می شوند. در صورتی که در مدل اینرسی صفر بدلیل پایین بودن سرعت جریان در آبیاری سطحی، از جملات شتاب در معادله ممتنم^۷ صرف نظر می گردد. در مدل های موج کینماتیکی علاوه بر جملات شتاب از جمله گرادیان عمق نیز صرف نظر می شود. در مدل های بیلان حجمی معادله

پیوستگی با فرض فاکتورهای شکل سطحی و زیر سطحی^۸ به

صورت ساده ای نوشته می شود (۴). در این مقاله روابط مربوط به مدل اینرسی صفر با روش تفاضل های محدود بسط داده شده و راه حل عددی آن ارائه گردیده است.

مدل اینرسی صفر را اولین بار استرلکف و کاتاپودز پیشنهاد نمودند (۱۳). آنها با صرف نظر نمودن از جملات شتاب و اثر دینامیکی نفوذ به دلیل ناچیز بودن سرعت جریان روی سطح خاک معادله ممتنم را ساده نمودند. به عقیده آنها فرض ناچیز بودن جملات شتاب تازمانی که عدد فرود کمتر از ۰/۲ باشد، قابل قبول است. کلمتر نیز بر اساس تحقیقات خود فرض اخیر را مورد تأیید قرار داده است (۳).

1 - Zero-Inertia

2- Implicit

3- Hydrodynamic

4- Kinematic wave

5 - Volume Balance

6- Saint-Venant

7- Momentum-Equation

8- Surface & Subsurface shape Factors

نوار v ، (m^2/s) ، سرعت جریان S_0 ، (m/s) ، شیب کف نوار S_f ، (m/m) شیب اصطکاکی A ، (m/m) ، سطح مقطع جریان g ، (m^2) ، شتاب ثقل i ، (m/s^2) ، شدت نفوذ x ، (m/s) ، فاصله t ، (m) ، زمان Z ، (s) ، عمق آب نفوذ یافته D ، (m) ، ثابت عددی و مقدار آن بستگی به رابطه‌ای دارد که معادله ممتنم از آن مشتق شده است. مسائل مربوط به آبیاری سطحی به مقدار D حساسیت چندانی نشان نمی‌دهند. عمق آب نفوذ یافته از رابطه نفوذ کوستیاکف - لوئیس به صورت زیر تعیین می‌شود:

$$Z = k\tau^a + f\tau \quad (3)$$

که در آن، τ فرصت نفوذ، a و k پارامترهای تجربی و f سرعت نفوذ پایه 2 می‌باشد.

پس از صرف نظر نمودن از جملات شتاب و اثر دینامیکی نفوذ در معادله ممتنم، معادله (2) به صورت ذیل ساده می‌شود:

$$\frac{\partial y}{\partial x} = S_0 - S_f \quad (4)$$

در مدل اینرسی صفر از معادلات (1) و (4) برای شبیه سازی مراحل مختلف آبیاری نواری استفاده می‌شود. در رابطه (4) شیب اصطکاکی با استفاده از معادله مانینگ به صورت زیر جایگزین می‌شود:

$$S_f = \frac{(nq)^2}{y^{10/3}} \quad (5)$$

در رابطه فوق، n ضریب زبری مانینگ و بقیه پارامترها قبلاً تعریف شده‌اند. با جایگزینی رابطه (5) در رابطه (4) و حل آن برای q داریم:

$$q = \frac{(S_0 - \partial y / \partial x)^{1/2}}{n} y^{5/3} \quad (6)$$

رابطه (1) با کمک قانون زنجیره‌ای 3 مشتق به شکل زیر نوشته می‌شود:

$$\frac{\partial y}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial y} \cdot \frac{\partial y}{\partial x} + \frac{\partial z}{\partial t} = 0 \quad (7)$$

با مشتق گیری از رابطه (6) نسبت به y و حذف مشتقات درجه دوم و قرار دادن آن در رابطه (7) خواهیم داشت:

$$\frac{\partial y}{\partial t} + \left(\frac{5}{3n} (S_0 - \frac{\partial y}{\partial x})^{0.5} y^{2/3} \right) \frac{\partial y}{\partial x} + \frac{\partial z}{\partial t} = 0 \quad (8)$$

با حل معادله (8) شبیه سازی مراحل مختلف آبیاری نواری امکان پذیر

کاتاپودز و استرلکف در سال 1977 معادلات مدل اینرسی صفر را برای شبیه سازی مرحله پیشروی در آبیاری نواری با استفاده از کمیت‌های بدون بعد حل نمودند (5). استرلکف و کاتاپودز نیز در 1977 با استفاده از روش انتگرالی و با بکار بردن فاکتورهای وزنی 1 برای زمان و مکان مبادرت به حل معادلات یاد شده در بالا نموده‌اند (13). استرلکف نیز معادلات سنت و نانت را به شکل تحلیلی و با فرض شدت نفوذ متوسط حل نموده است (12).

چنین معادلات مدل مذکور را با روش تفاضل های محدود حل نمود (4). حل وی ترکیبی از حل تحلیلی و عددی بود. نامبرده حجم آب نفوذ یافته در هر گام زمانی را با انتگرالگیری از معادله نفوذ کوستیاکف - لوئیس محاسبه نمود.

اشمیتروسیوز نیز یک مدل ریاضی بر اساس معادلات حاکم بر مدل اینرسی صفر برای شبیه سازی مرحله پیشروی جریان در نوارهای مسطح ارائه نمودند (9). مدل آنها بر این فرض استوار بود که سرعت جریان در یک نقطه فقط تابعی از پروفیل سطح آب است. اشمیتروسیوز در سال 1990 مدلی برای شبیه سازی مرحله پیشروی آبیاری نواری با روش تحلیلی ارائه نمودند که فاقد فرض فوق الذکر بود (10). بر خلاف بعضی از محققین مانند تورباک (14)، کروگر و باست (6)، اشریر و باست (11) و استرلکف (12) که مدلهای خود را با فرض شدت نفوذ ثابت و یا متوسط ارائه نموده‌اند، در این مطالعه مدلی بر اساس معادلات اینرسی صفر ارائه خواهد شد که فاقد هر گونه فرضی در زمینه نفوذ پذیری است.

بسط مدل

معادلات سنت و نانت شامل یک جفت معادله دیفرانسیل جزئی بوده که به معادلات پیوستگی و ممتنم شناخته شده هستند. این روابط برای شبیه سازی آبیاری نواری در حالت یک بعدی به فرم ذیل نوشته می‌شوند (4):

$$\frac{\partial y}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} + \frac{\partial z}{\partial t} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{1}{g} \cdot \frac{\partial v}{\partial g} + \frac{v}{g} \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial x} = S_0 - S_f + \frac{Dvi}{gA} \quad (2)$$

در روابط فوق، y عمق جریان q ، (m) دبی در واحد عرض

$$\frac{y_d^n - y_u^n}{L_x} \cdot 0.5 \left(\frac{(y_i^{n+1})^{2/3} + (y_{i-1}^{n+1})^{2/3}}{2} \right)$$

$$\frac{y_i^{n+1} - y_{i-1}^{n+1}}{\Delta x} + \frac{Z_i^{n+1} + Z_{i-1}^{n+1} - Z_i^n - Z_{i-1}^n}{2\Delta t} = 0 \quad (12)$$

رابطه فوق پس از ساده و مرتب شدن به صورت زیر در می آید:

$$(1-b)y_{i-1}^{n+1} + (1+b)y_i^{n+1} = y_i^n + y_{i-1}^n - (Z_i^{n+1} +$$

$$+ Z_{i-1}^{n+1} - Z_i^n - Z_{i-1}^n)$$

که در آن،

$$b = \frac{5\Delta t}{3n\Delta x} \left(S_0 - \frac{y_d^n - y_u^n}{L_x} \right)^{0.5} \left((y_i^{n+1})^{2/3} + \right.$$

$$\left. (y_{i-1}^{n+1})^{2/3} \right) \quad (14)$$

در روابط اخیر y_u و y_d به ترتیب عمق‌های جریان در مرز بالادست و پائین دست، و L_x طولی از نوار که هنوز پسروی در آن اتفاق نیفتاده، می‌باشند. رابطه (13) برای شبیه سازی مراحل تخلیه و پسروی در آبیاری نواری معتبر است.

شرایط مرزی و اولیه

چون برای حل روابط (10) و (13) به شرایط اولیه و مرزی

نیاز می‌باشد، باید مقادیر اولیه آنها در تمام نقاط و همچنین مقادیر آنها در دو انتهای جریان سطحی (مرزها) معلوم و مشخص باشند.

شرایط مرزی و اولیه برای حل روابط (10) و (13) به صورت ذیل است:

$$y(x, 0) = 0 \quad 0 \leq x \leq L \quad (15)$$

$$y(0, t) = y_0 \quad 0 < t \leq t_{co} \quad (16)$$

$$y(0, t) = 0 \quad t \geq t_d \quad (17)$$

در روابط فوق، L طول نوار، t_{co} زمان قطع جریان، t_d زمان تخلیه، و y_0 عمق واقعی جریان در ابتدای نوار، که بطریق سعی و خطا از رابطه ذیل محاسبه می‌گردد (1):

$$y_0 = \left(\frac{nq}{(S_0 + y_0/x)^{0.5}} \right)^{0.6} \quad (18)$$

در رابطه فوق، x فاصله پیشروی از ابتدای نوار، و بقیه پارامترها قبلاً تعریف شده‌اند.

است. در این مقاله معادله ذکر شده با روش تفاضل‌های محدود و به طریقه غیر صریح حل گردیده است. هر یک از جملات مشتق معادله (8) با جمله‌ای به روش تفاضل محدود جایگزین شده است. جمله زمانی رابطه مذکور به صورت 1 ، جمله مکانی آن به شکل 2 پسروی غیر صریح و جمله نفوذ آن با استفاده از روش چهارنقطه 3 جایگزین گردیده است. بنابراین پس از جایگزینی، معادله (8) بصورت زیر منفصل شده است:

$$\frac{y_i^{n+1} - y_{i-1}^{n+1}}{\Delta t} + \frac{5}{3n} \left(S_0 - \frac{y_i^{n+1} - y_{i-1}^{n+1}}{\Delta x} \right)^{0.5} \left(\frac{(y_i^{n+1} - y_{i-1}^{n+1})^{2/3}}{2} \frac{y_i^{n+1} - y_{i-1}^{n+1}}{\Delta x} + \frac{Z_i^{n+1} + Z_{i-1}^{n+1} - Z_i^n - Z_{i-1}^n}{2\Delta t} \right) = 0 \quad (9)$$

رابطه فوق پس از ساده و مرتب شدن به صورت زیر در می آید:

$$b y_{i-1}^{n+1} + (1-b) y_i^{n+1} = y_i^n - 0.5(Z_i^{n+1} + Z_{i-1}^{n+1} - Z_i^n - Z_{i-1}^n) \quad (10)$$

که در آن،

$$b = - \frac{5\Delta t}{3n\Delta x} \left(S_0 - \frac{y_i^{n+1} - y_{i-1}^{n+1}}{\Delta x} \right)^{0.5} \left(\frac{(y_i^{n+1} + y_{i-1}^{n+1})^{2/3}}{2} \right) \quad (11)$$

رابطه (10) تحت شرایط اولیه و مرزی 4 معین برای شبیه سازی مراحل پیشروی و ذخیره نتایج خوبی ارائه می‌نماید. لیکن نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که رابطه (10) مراحل تخلیه و پسروی را با دقت خوبی تخمین نمی‌زند. لذا رابطه (8) برای این مراحل به فرم ذیل منفصل گردیده است:

$$\frac{y_i^{n+1} + y_{i+1}^{n+1} - y_i^n - y_{i+1}^n}{2\Delta t} + \frac{5}{3n} \left(S_0 - \right.$$

با حل رابطه (۱۰) برای مراحل پیشروی و ذخیره و حل رابطه (۱۳) برای مراحل تخلیه و پسروی با روش تکراری، دستیابی به کلیه عوامل طراحی نظیر زمان پیشروی و پسروی، زمان فرصت نفوذ، حجم آب نفوذ یافته، حجم رواناب، پروفیل‌های سطحی و زیر سطحی جریان و هر پارامتر دیگری امکان پذیر است.

روش حل

با تقسیم طول نوار به فواصل مساوی به طول Δx تعدادی نقطه محاسباتی بوجود می‌آید که مشخصات جریان برای هر یک از آن نقاط به کمک روابط (۱۰) و (۱۳) با روش تکراری تعیین می‌گردد. نحوه محاسبات در مرحله پیشروی بدین شکل است که در یک گام زمانی خاص، زمان پیشروی برای هر یک از نقاط محاسباتی t س زده می‌شود. با تخمین زمان پیشروی، عمق آب نفوذ یافته در هر یک از نقاط مذکور به کمک رابطه (۳) تعیین می‌شود. با معلوم بودن شرایط مرزی و اولیه برای رابطه (۱۰)، تنها مجهول آن معادله یعنی عمق جریان در نقاط مختلف محاسبه می‌گردد. محاسبات در هر گام زمانی هنگامی متوقف می‌شود که عمق جریان روی سطح خاک به صفر برسد. عمق صفر موقعیت جبهه پیشروی در گام زمانی مربوطه را نشان می‌دهد. با مشخص شدن موقعیت جبهه پیشروی، فاصله پیشروی آب در گام زمانی مربوطه تعیین می‌شود. با تعیین فاصله پیشروی، زمان پیشروی و همچنین میزان آب نفوذ یافته در نقاط مختلف تصحیح و عمق جریان روی سطح خاک در نقاط مختلف مجدداً محاسبه می‌گردد. مراحل فوق تا ثابت شدن عمق جریان روی سطح خاک تکرار می‌شود. سپس محاسبات همانند روش فوق برای گام‌های زمانی بعد تا تکمیل مرحله پیشروی ادامه می‌یابد.

پس از تکمیل مرحله پیشروی محاسبات در مرحله ذخیره همانند فاز پیشروی با کمک رابطه (۱۰) دنبال می‌شود. در این مرحله جریان بصورت رواناب از انتهای نوار خارج می‌گردد. عمق جریان در انتهای نوار از رابطه (۱۰) و دبی خروجی نیز از رابطه مانینگ محاسبه می‌شود. با قطع جریان ورودی به نوار، مرحله تخلیه شروع و همزمان با آن عمق جریان روی سطح خاک شروع به کاهش می‌نماید. محاسبات در این مرحله مشابه آنچه در فاز پیشروی عنوان شد، بوسیله رابطه

(۱۳) انجام می‌یابد. پس از رؤیت سطح خاک در ابتدای نوار، آبیاری وارد مرحله پسروی می‌گردد. در این مرحله عمق جریان در مرز بالا دست در هر گام زمانی صفر و در بقیه نقاط با استفاده از رابطه (۱۳) تعیین می‌گردد. هرگاه عمق جریان در یک نقطه به صفر برسد پسروی در آن نقطه اتفاق افتاده است. در عمل برای جلوگیری از پدیده ناپایداری عددی وقتی عمق جریان در یک نقطه به ۶ درصد عمق اولیه جریان در آن نقطه رسید، پسروی در آن نقطه اتفاق افتاده است و لذا یکی از نقاط میدان حل کاسته و محاسبات از نقطه پایین دست ادامه می‌یابد. محاسبات فوق تا ناپدید شدن جریان روی تمام سطح مزرعه ادامه می‌یابد.

مواد و روشها

برای آزمون مدل از چهار سری داده‌های صحرائی استفاده گردیده است. هر سری از این داده‌ها شامل مشخصات نوار (شیب، طول، عرض)، مشخصات نفوذ پذیری خاک، ضریب زبری مانینگ و دبی ورودی می‌باشند. مشخصات هندسی و هیدرولیکی نوارهای آزمایشی در جدول (۱) آورده شده است.

سری اول و دوم آمار و ارقام صحرائی حاصل آزمایشهایی است که به ترتیب در دو منطقه اهواز و کمال آباد کرج انجام گردیده است. این آزمایشها در اراضی بدون پوشش گیاهی و به ترتیب در خاکهایی با بافت رسی^۱ و لوم ماسه‌ای^۲ صورت گرفته است. در هر یک از مناطق یاد شده ابتدا با عنایت به بافت خاک، توپوگرافی محل و توصیه‌های سازمان حفاظت خاک آمریکا^۳ سه نوار آبیاری با طول و عرض‌های مختلف طراحی و سپس طول هر یک از نوارهای آزمایشی به فواصل ۵ متری میخکوبی گردید. آزمایشها با ورود جریان آب به نوارها شروع و زمان رسیدن جریان به هر یک از ایستگاهها یادداشت شد. پس از رسیدن جریان به ایستگاه آخر، رواناب سطحی نیز اندازه‌گیری گردید. در این آزمایشها دبی ورودی و رواناب خروجی بوسیله فلوم^۴ W.S.C. اندازه‌گیری شده‌اند. پس از قطع جریان ورودی زمان ناپدید شدن آب روی سطح نوار (زمان پسروی) در هر یک از ایستگاهها ثبت گردید. در این آزمایشها ضرائب معادله نفوذ کوستیاکف - لوئیس باروش^۵ و نفوذ پایه باروش هیدروگراف ورودی - خروجی^۶

1- Caly

2- Sandy Loam

3 - Soil Conservation Service

4- Washington State College

5- Two Point Method

6 - Inflow-Outflow Method

جدول ۱ - مشخصات هندسی و هیدرولیکی نوارهای آزمایشی

پارامترها	منطقه اهواز	منطقه کرج	رات و همکاران (۱۹۷۴)	رات (۱۹۷۱)
	سری ۱	سری ۲	سری ۳	سری ۴
دبی ورودی Q (Lit/s/m)	۱/۵	۳/۱	۳/۳۵	۳/۲۸
پارامتر نفوذ dk (m/min^a)	۰/۰۰۶۱۷	۰/۰۲۷۷	۰/۰۲۴۴	۰/۰۱۸۵
نمای رابطه نفوذ a	۰/۳۹۶	۰/۱۱۳	۰/۱۱	۰/۲۷۱۶
سرعت نفوذ پایه df (m/min)	۰/۰۰۰۱۲	۰/۰۰۰۸۴	۰	۰
ضریب زبری مانینگ n	۰/۰۶۳	۰/۰۴	۰/۰۲۶	۰/۰۲۴
طول نوار L (m)	۱۱۰	۱۷۰	۹۱/۴	۹۱/۴
عرض نوار W (m)	۵/۲	۵/۴	۵/۹	*
شیب نوار S (m/m)	۰/۰۰۰۸۶	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۱۱	۰/۰۰۱۱
زمان قطع جریان T_{CO} (min)	۱۷۸	۱۶۰	۱۷۹	۳۸

تعیین گردیده‌اند.

سری سوم و چهارم داده‌های صحرائی به ترتیب از رات و همکاران^۱ (۸) و رات^۲ (۷) اخذ شده‌است. این آزمایشها نیز در زمین لخت (بدون پوشش گیاهی) و خاک با بافت نسبتاً سبک انجام پذیرفته است.

پایداری مدل^۳

از آنجایی که معادلات حاکم بر مدل با روش غیر صریح منفصل و حل گردیده‌اند، مدل فاقد شرط پایداری بوده و به ازای هر مقدار Δx و Δt همواره پایدار^۴ است. اندازه گامهای زمانی و مکانی $(\Delta x, \Delta t)$ تأثیر محسوسی روی نتایج مدل دارند. لذا باید مقادیر بهینه آنها تعیین و هنگام اجرای مدل به کار گرفته شوند. هر چه اندازه Δx و Δt کوچکتر باشد نتایج مدل به نتایج واقعی نزدیکتر و لیکن زمان محاسبه طولانی‌تر می‌شود. در این مدل مقادیر Δx و Δt بهینه به ترتیب ۰/۵ متر و ۰/۷۵ دقیقه انتخاب و در اجرای مدل بکار رفته است.

مقایسه نتایج مدل با نتایج داده‌های صحرائی

مدل با مقادیر صحرائی سری ۱ و ۲ اجرا و مقایسه منحنی‌های پیشروی و پسروی آب در نوار توسط مدل با آمار تجربی در شکل‌های (۱) و (۲) نشان داده شده‌است. با عنایت به اشکال یاد شده

مشاهده می‌شود که مطابقت نسبتاً خوبی در مرحله پیشروی و پسروی بین نتایج مدل و داده‌های مزرعه‌ای سری ۱ وجود دارد. مقایسه نتایج مدل و داده‌های صحرائی سری ۲ نشان می‌دهد که مدل زمانهای پیشروی و پسروی را اندکی بیشتر تخمین می‌زند.

در شکل (۳) نیز نتایج پیشروی و پسروی مدل با داده‌های صحرائی رات و همکاران (سری ۳) مقایسه گردیده‌است. نتیجه این مقایسه گواه آن است که مدل زمان‌های پیشروی و تخلیه را بطور خوبی و زمان پسروی را نسبتاً خوب تخمین می‌زند.

یکی از ملاحظات مهم در طراحی و ارزیابی سیستم‌های آبیاری سطحی، پروفیل‌های سطحی و زیر سطحی جریان طی مراحل مختلف آبیاری است. در شکل (۴) پروفیل‌های سطحی و زیر سطحی جریان طی مرحله پیشروی برای پارامترهای هندسی و هیدرولیکی داده‌های صحرائی سری ۴ نشان داده شده‌است. ملاحظه می‌شود که برای هر یک از منحنی‌های نشان داده شده در این شکل میزان آب نفوذ یافته در محل جبهه پیشروی ناچیز و در ابتدای نوار زیادتر است. با گذشت زمان پروفیل آب نفوذ یافته حالت یکنواخت‌تری به خود می‌گیرد. بطوریکه بعد از تکمیل مرحله پیشروی عمق آب نفوذ یافته در قسمت زیادی از طول نوار تقریباً یکسان است. روند تغییرات پروفیل‌های

1- Roth et al

2 - Roth

3- Model Stability

4 - Unconditionally Stable

این جدول مشاهده می‌شود که مدل حجم آب نفوذ یافته را با دقت خیلی خوبی برآورد می‌نماید. لیکن حجم رواناب سطحی را برای بعضی داده‌های صحرائی با دقت کمتری تخمین می‌زند.

مقایسه مدل با مدل‌های دیگر

به منظور بررسی بیشتر، تحت شرایط یکسان نتایج مدل با نتایج مدل‌های هیدرودینامیک باست (۲) و استرلکف (۱۲) و داده‌های صحرائی رات (۷) مقایسه و در شکل (۶) نشان داده شده است. با ملاحظه این شکل مشاهده می‌گردد که همه مدل‌ها زمان پیشروی را با دقت تقریباً یکسانی برآورد نموده و تفاوت محسوسی بین نتایج مدل‌ها در این مرحله مشاهده نمی‌شود. نتایج مدل‌ها در مرحله پسروی بیانگر آن است که همه مدل‌ها زمان پسروی را اندکی کمتر تخمین می‌زنند و یکی از دلایل آن بخاطر استفاده از رابطه نفوذ کوستیاکف در مدل‌ها می‌باشد. در مجموع مدل اینرسی صفر نسبت به دو مدل دیگر این مرحله را نسبتاً دقیق‌تر تخمین می‌زند. وجه تمایز این مدل با مدل‌های دیگر در روش حل و نحوه منفصل کردن معادلات حاکم است. لازم به ذکر است که باست و استرلکف مدل‌های خود را به ترتیب باروشهای خطوط مشخصه^۲ و تحلیلی^۳ حل نموده‌اند (۲ و ۱۲).

نتایج و بحث

جریان آب در نوار از شروع آبیاری تا خاتمه آن بوسیله

سطحی جریان نیز مشابه پروفیل‌های زیر سطحی جریان است با این تفاوت که تغییرات آنها کمتر از تغییرات پروفیل‌های زیر سطحی است.

یکی دیگر از نتایج مدل‌های ریاضی میزان آب نفوذ یافته

در خاک است. در شکل (۵) پروفیل آب نفوذ یافته بعد از تکمیل آبیاری توسط مدل، برای داده‌های صحرائی سری ۱ نشان داده شده است. با ملاحظه پروفیل آب نفوذی می‌توان به این نکته پی برد که چه مقدار از عمق آب مورد نیاز آبیاری بر طرف گردیده است. چنانچه عمق آب مورد نیاز آبیاری بطور کامل بر طرف نشده باشد، با افزایش زمان آبیاری می‌توان عمق آب نفوذی را افزایش داد. و در صورتی که میزان آب نفوذ یافته بیش از مقدار مورد نیاز باشد، با کاهش زمان قطع جریان می‌توان از تلفات نفوذ عمقی^۱ جلوگیری نمود.

بیان حجمی آب در مدل

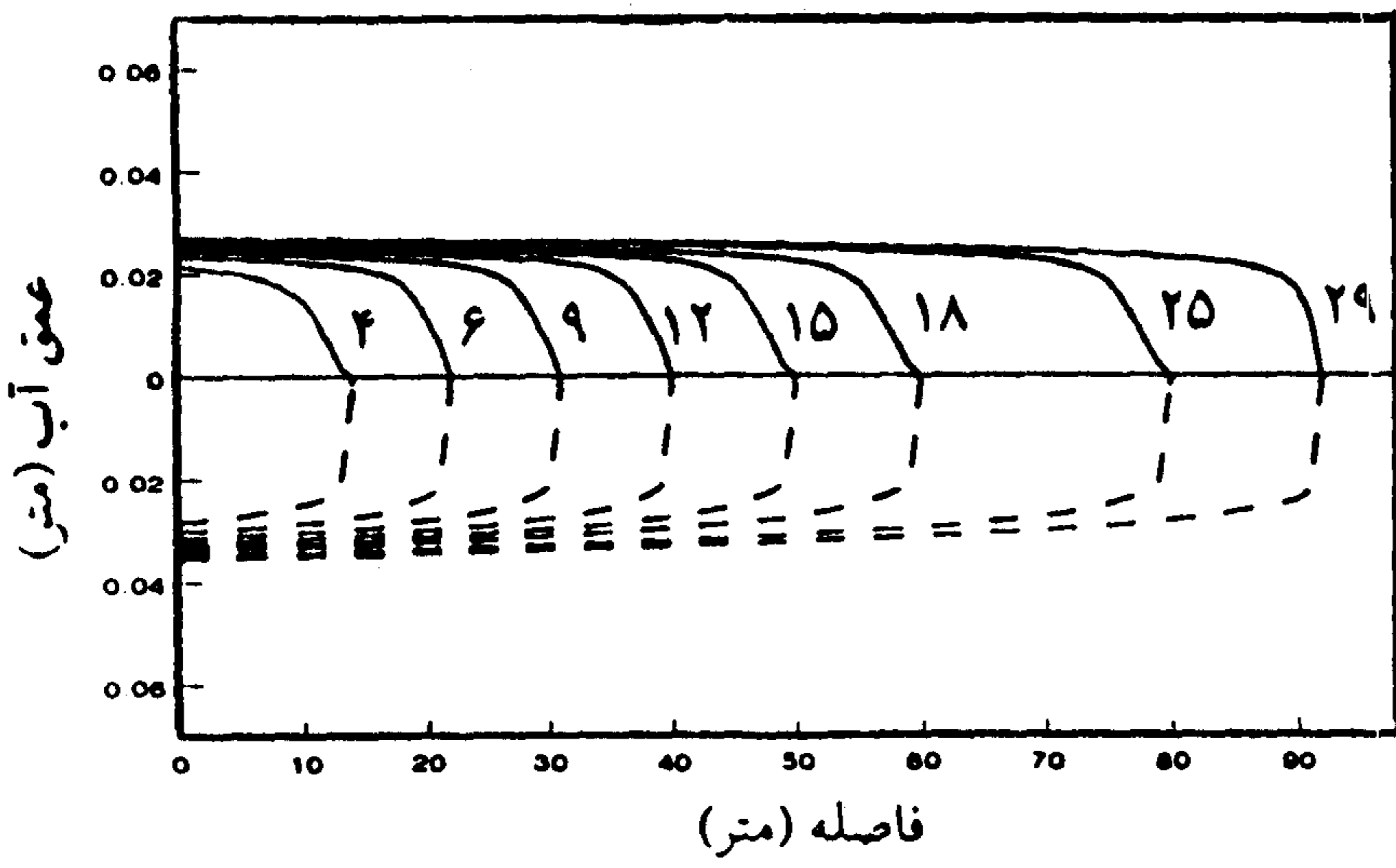
یکی از روشهای آزمون نتایج مدل‌های ریاضی ارزیابی بیان

حجمی آب با مدل است. بدین معنی که در پایان هر آبیاری حجم آب بکار رفته باید با خطای معقولی با مجموع حجم آب نفوذی و رواناب سطحی برابر باشد. در جدول (۲) مقایسه بیان حجمی آب در مدل با حجم آب بکار رفته در آزمایشهای صحرائی و نیز درصد خطای نسبی آنها نشان داده شده است. ملاحظه می‌گردد که حداکثر خطای نسبی ۸/۸ درصد و حداقل آن ۰/۴ درصد می‌باشد. این خطاها به ترتیب مربوط به داده‌های صحرائی سری ۳ و ۲ می‌باشند. با ملاحظه

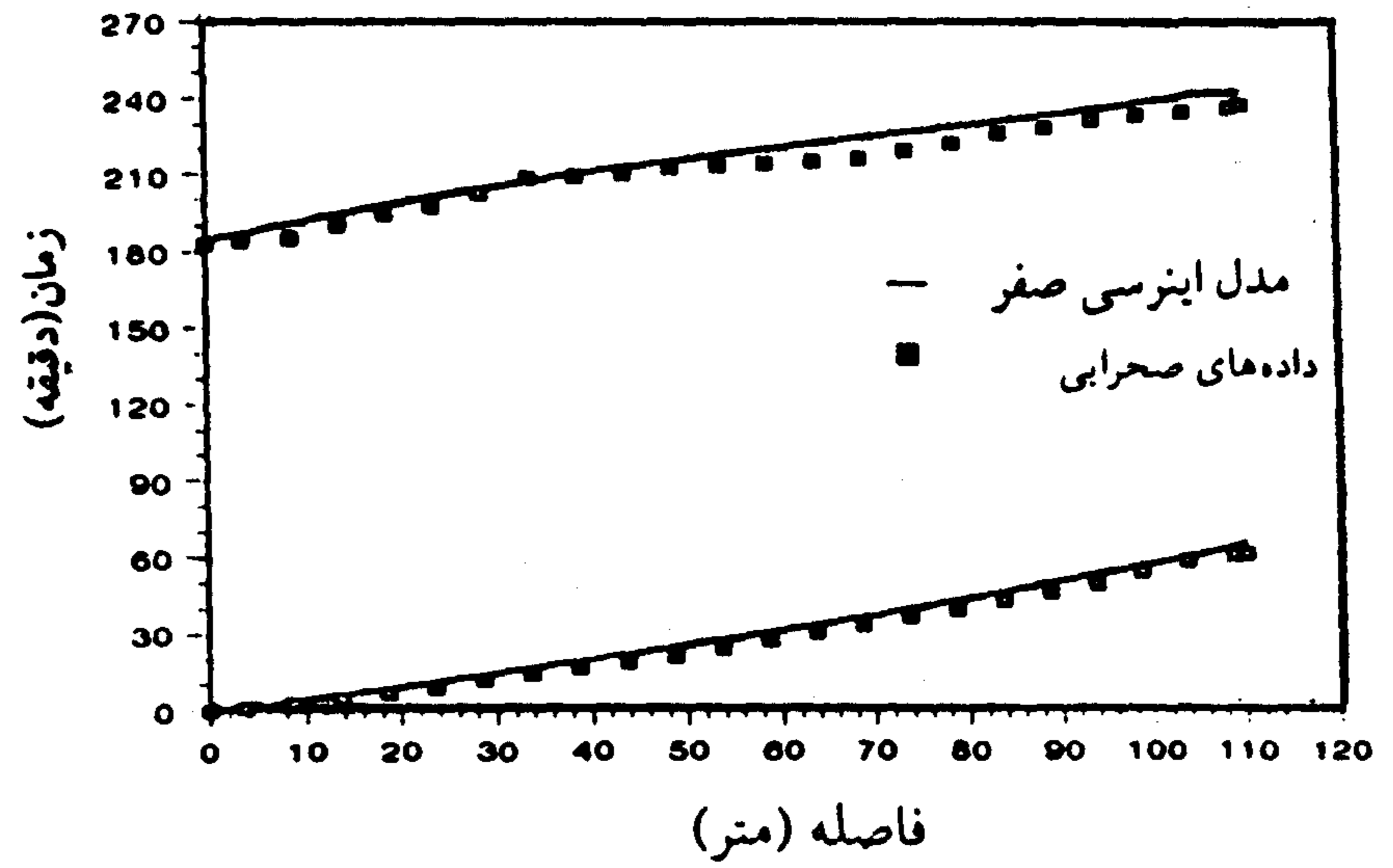
جدول ۲ - مقایسه بیان حجمی آب در مدل با بیان حجمی آب در آزمایشهای صحرائی

سری داده‌ها	مقادیر اندازه‌گیری شده (m ³ /m)			مقادیر محاسبه شده (m ³ /m)			خطای نسبی مقادیر محاسبه شده (%)
	حجم آب ورودی	حجم رواناب سطحی	حجم آب نفوذ یافته	حجم رواناب سطحی	حجم آب نفوذ یافته	مجموع نفوذ و رواناب	
۱	۱۶/۰۲	۸/۴۲	۷/۶	۷/۱۳	۸/۰۷	۱۵/۲۰	۵/۱
۲	۲۹/۷۶	۱/۹	۲۷/۸۶	۱/۸۴	۲۷/۸۱	۲۹/۶۵	۰/۴
۳	۳۵/۹۸	۳۲	۳/۹۹	۲۸/۷۴	۴/۰۷	۳۲/۸۱	۸/۸
۴	۷/۴۸	*	*	۲/۵	۴/۶۷	۷/۱۷	۴

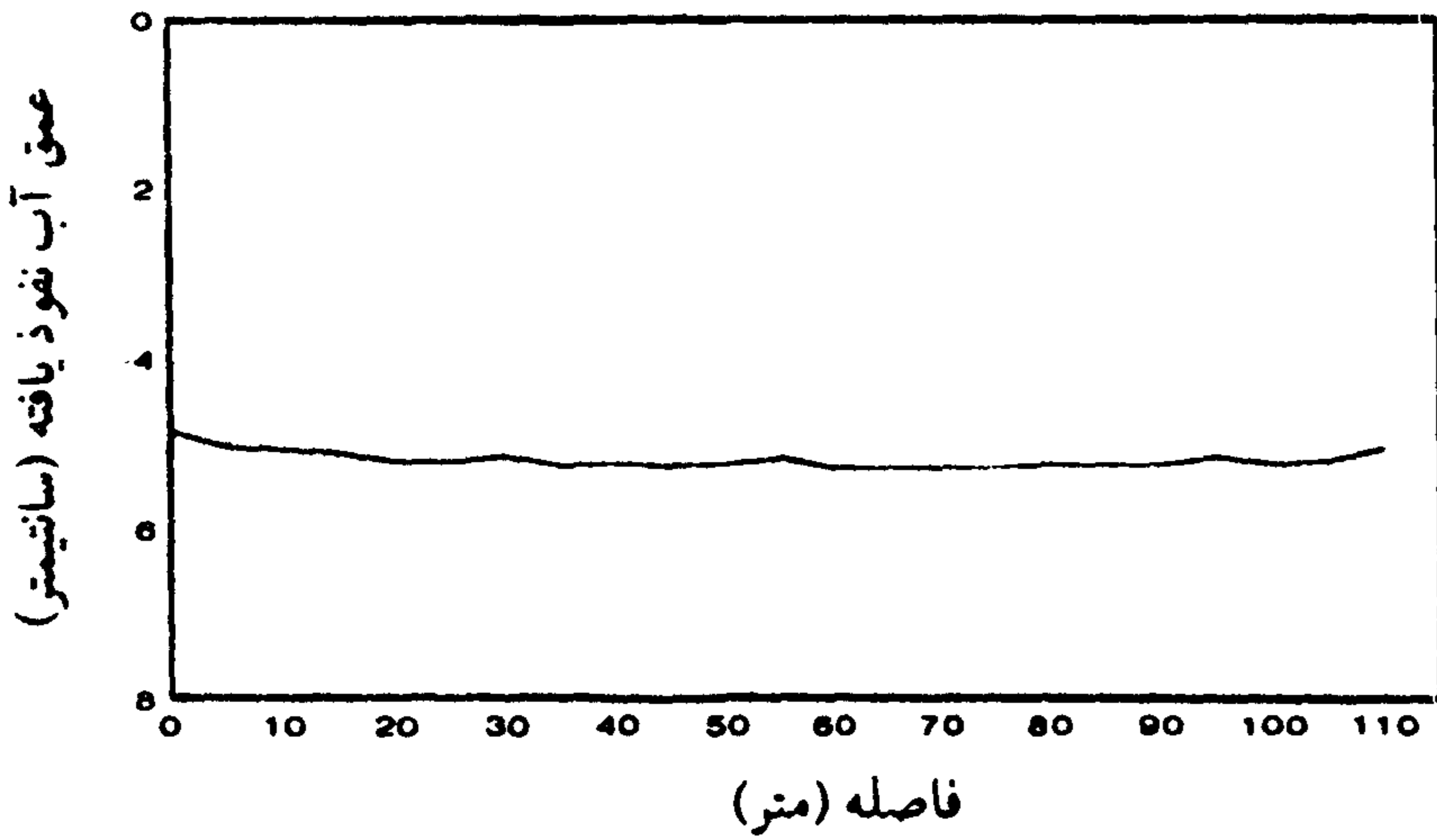
*در دسترس نبود



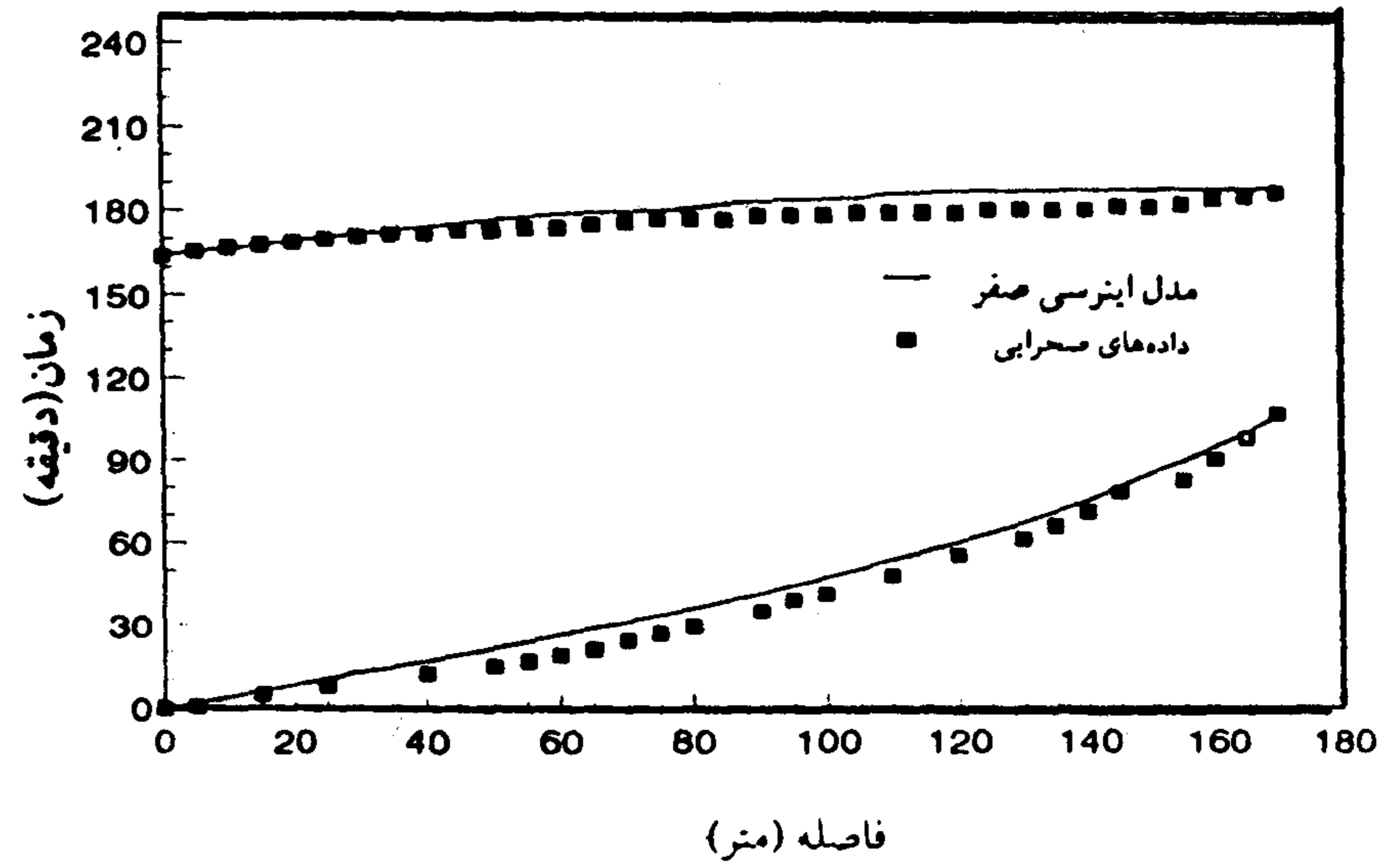
شکل ۴ - پروفیل های سطحی و زیر سطحی جریان طی مرحله پیشروی برای داده های صحرائی سری ۴



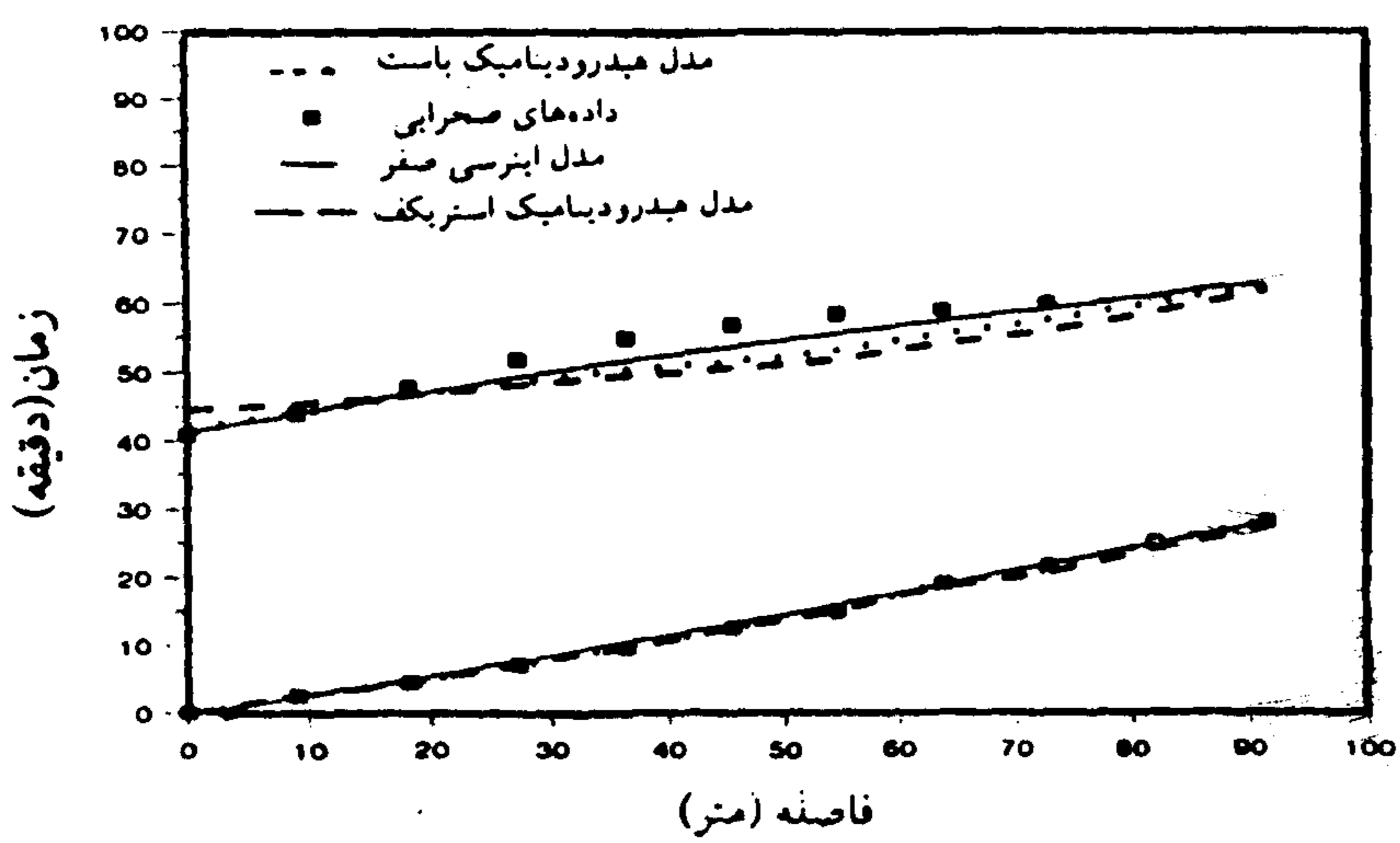
شکل ۱ - مقایسه نتایج پیشروی و پسروی مدل اینرسی صفر با داده های صحرائی سری ۱



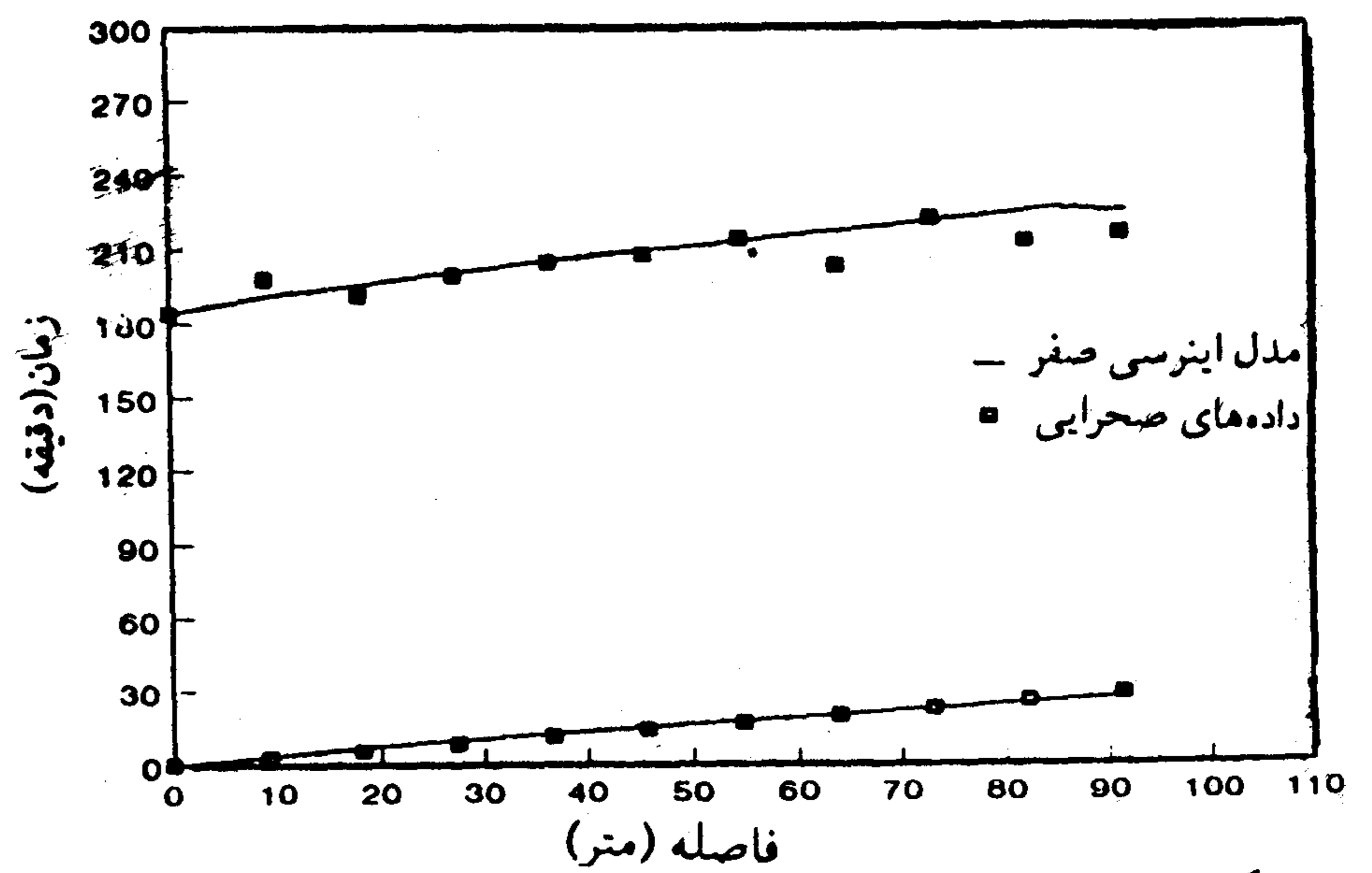
شکل ۵ - پروفیل آب نفوذ یافته بعد از تکمیل آبیاری برای داده های صحرائی سری ۱



شکل ۲ - مقایسه نتایج پیشروی و پسروی مدل اینرسی صفر با داده های صحرائی سری ۲



شکل ۶ - مقایسه نتایج مدل اینرسی صفر و مدل های هیدرودینامیک باست (۲) و استرلکف (۱۲) با داده های صحرائی رات (۷).



شکل ۳ - مقایسه نتایج پیشروی و پسروی مدل اینرسی صفر با داده های صحرائی رات و همکاران (داده های سری ۳)

خاک، ضریب زبری مایننگ، و اندازه گام‌های زمانی و مکانی $(\Delta x, \Delta t)$ حساس بوده و لذا باید مقادیر آنها با دقت تعیین و برای مدل تعریف گردد. مدل ارائه شده ساده، حافظه کمی از کامپیوتر را اشغال نموده و زمان کمی برای اجرا لازم دارد.

سپاسگزاری

بدینوسیله از موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی به خاطر تأمین بودجه این مطالعه و مرکز تحقیقات کشاورزی اهواز و بخش تحقیقات باغبانی مؤسسه نهال و اصلاح بذر آقای مهندس جراحی به خاطر همکاری در اجرای آزمایشهای صحرایی صمیمانه سپاسگزاری می‌نماید.

مدل اینرسی صفر شبیه سازی و معادلات آن با روش تفاضل‌های محدود و به صورت غیر صریح حل شده است. این مدل برای نوارهای مسطح و شیب دار قابل اجرا است. نتایج عددی مدل با داده‌های مزرعه‌ای و نتایج عددی مدل‌های دیگران مقایسه و بررسی این مقایسه نشان می‌دهد که حذف ترمهای شتاب در معادله ممتنم تأثیر معنی‌داری روی نتایج مدل نداشته و مدل عوامل طراحی آبیاری نواری، نظیر زمان‌های پیشروی و پسروی، و حجم آب نفوذ یافته را خیلی خوب برآورد نموده و نسبت به مدل‌های هیدرودینامیک باست و استرلکف بخصوص در فاز پسروی دقیق تر است.

مدل ارائه شده حجم رواناب سطحی را مقداری کمتر از مقدار واقعی آن برآورد می‌نماید. این مدل نسبت به پارامترهای ورودی بخصوص شدت جریان ورودی، مشخصات نفوذپذیری

مراجع مورد استفاده

REFERENCES

- ۱- عباسی، ف. استفاده از مدل‌های ریاضی در طراحی آبیاری نواری. ۱۳۷۴. پایان نامه کارشناسی ارشد آبیاری زهکشی. دانشگاه تربیت مدرس. ۱۶۷.
- 2- Bassett, D.L. "A dynamic model of overland flow in border irrigation." Thesi s presented to University of idaho, at Moscow, Idaho, in 1973 , in partial fulfillment of the requirements for the degree of doctor of Philosophy.
- 3- Clemmens, A. J. 1979 . " Verification of zero inertia model for border irrigation." Trans. of the ASAE, 22 (6): 1306-1309.
- 4-Jaynes, D. B. 1986 . " Simple model of border irrigation." Jour. of Irrig. Drain.Div., ASCE, 112 (2): 172-184.
- 5- Katopodes, N. D. and T. Strelkoff. 1977. " Dimentionless solution for border irrigation Advance. " Jour. of Irrig. Drain. Div., ASCE, 103(IR4):401-417.
- 6-Kruger, W. E. & D. L. Bassett. 1965. " Unsteady flow of water over a porous bed constant infiltration." Trans. of the ASAE, 8(1):60-61.
- 7-Roth, R. L. 1971." Roughness during border irrigation." Thesis presented of the university of Arizona, in partial fulfilment of the requirements for the Degree of doctor of philosophy.
- 8-Roth, R. L. & et al. 1974." Data for border irrigation models." Trans. of the ASAE, 17(1): 157-161.
- 9-Schmitz, G. H. & Seus, G. J. 1989." Analytical model of level basin irrigation." Jour. of Irrig. Drain. Div., ASCE, 15(1): 78-95.
- 10-Schmitz, G. H. & Seus, G. J. 1990. " Mathematical zero inertia modeling of surface irrigation: Advance in border." Jour. of Irrig. Drain. Div., ASCE, 116(5): 603-615.

- 11-Schreiber, D. L. & D.L. Bassett. 1967. " Hydrodynamics description of recession of shallow flow over a porous bed." Trans. of the ASAE,10(1):54-56.,6.
- 12-Strelkoff, T. 1977. " Algebraic computation of flow in border irrigation." Jour. of Irrig.Drain. Div. , ASCE, 103(IR3), 357-377:
- 13-Strelkoff, T. & Katopodes, N. D. 1977. " Border irrigation hydraulics with zero inertia." Jour. of Irrig. Div., ASCE, 103(IR3):325-342.
- 14-Turbak, A.S. 1984. " Analytical solution for surface irrigation." Ph.D.dissertation colorado state university, fort collins, colorado.

Zero Inertia Model for Estimation of Design Parameters in Border Irrigation

F. ABBASI, M. MAHMOODIAN SH. AND A. PAZIRA

**Member of Scientific Board (Resercher) , Agricultural Engineering
Research Institiute , Karaj , Associate Professor , Engineering
Collge ,Shahid Chamran University , Ahvaz , and Director of
Iranian Agricultural Engineering Research Institute, Karaj.**

Accepted 18 Jun. 1997.

SUMMARY

To simulate all the irrigation phases and predict design parameters in borders, a zero inertia model was developed. The model is constructed on base of saint venant equations with no acceleration, inertia, terms. An implicit finite difference scheme was used to discrete the governing equations. This solution of the system of finite difference equations is obtained at each time step by iteration method. Two data sets due to Roth (1971) and Roth et al. (1974), and two other data sets which were obtained in the fields at agricultural research centers in Ahvaz and Karaj were used to verify the model predictions for advance and recession times, runoff volume, and volume of water infiltrated. Comparison of simulation results and field data obtained indicates that model predicts advance and rescssion times, and volume of water infiltrated very well but the runoff volume was underestimated. Also, predictions by the model were compared with results from hydrodynamic models of bassett (1973) and Strelkoff (1977). This comparison shows that the model is accurate. However, the computer code is simpler and less than existing hydrodynamic irrigation models and it also runs fast.