

کاربرد تحلیل ابعادی^۱ و مدل فیزیکی در بررسی عمق جریان چگال^۲ در محل فروروی^۳ دریاچه‌ها

محمدجواد خانجانی

دانشیار گروه مهندسی عمران - دانشگاه شهید باهنر کرمان

غلامعباس بارانی

دانشیار گروه مهندسی عمران - دانشگاه شهید باهنر کرمان

عین... شفیع

مربی دانشکده صنعتی - معدنی زرنند - دانشگاه شهید باهنر کرمان

(تاریخ دریافت ۷۷/۷/۱، تاریخ تصویب ۷۷/۱۱/۲۴)

چکیده

وقوع سیلاب با بده اوج نسبتاً بالا در مناطق خشک و نیمه‌خشک با پوشش گیاهی ضعیف، باعث ایجاد جریان چگال حاوی رسوبات ریزدانه می‌گردد. چنین جریانی هنگام ورود به دریاچه سد به علت غلظت زیاد رسوبات و چگالی بالا نسبت به محیط پذیرنده بصورت جریان زیر رونده در عمق فرو رفته و پدیده فروروی را بوجود می‌آورد. رسوبگذاری در محل فروروی و بعد از آن باعث بالا آمدن کف و افزایش ارتفاع سطح آب و در نتیجه آب گرفتگی اراضی و تشکیل باتلاقها در زمینهای بالا دست سد شده و همچنین سبب کاهش حجم مفید مخزن می‌گردد. در این مطالعه محاسبه عمق جریان در محل فروروی با استفاده از تحلیل ابعادی مورد بررسی قرار گرفته، و با استفاده از مدل هیدرولیکی برای شیبهای یک تا هشت درصد عمق جریان در محل فروروی اندازه‌گیری شده و ضریب ثابت معادله عمق فروروی برای هر یک از شیبها تعیین گردیده است. مقدار این ضریب برای شیبهای مختلف (۱ تا ۸ درصد) بین ۰/۶ تا ۱/۰۱ متغیر می‌باشد، بطوری که برای شیبهای تند کمتر از یک و برای شیبهای ملایم بیشتر از یک و برای شیب بحرانی حدود یک می‌باشد.

کلید واژه‌ها: جریان چگال، عمق جریان چگال، پدیده فروروی، تحلیل ابعادی، مدل فیزیکی

مقدمه

محاسبه عمق جریان در نقطه فروروی ارائه داده‌اند [۲، ۶، ۷، ۸، ۹ و ۱۰]. فرمولهای مختلف ارائه شده اعم از تجربی و تحلیلی دارای ضرائب ثابتی می‌باشند که برآورد آنها خالی از اشکال نیست. در مطالعه حاضر تلاش می‌شود که ضریب ثابت معادله فروروی بصورت تابعی از شیب به نحوی ارائه گردد که برآورد آن برای شیبهای مختلف به آسانی امکان پذیر باشد.

تحلیل ابعادی عمق جریان چگال در نقطه فروروی

مطالعات و آزمایشات تجربی به عمل آمده بر روی پدیده فروروی نشان می‌دهد که عمق جریان در نقطه فروروی (h_p) تابع متغیرهای فیزیکی ذیل می‌باشد [۴].

$$h_p = \phi(q_0, g, \Delta\rho, \rho_2, \mu_2, S, f_1)$$

(۱)

بطوری که q_0 برابر بده عبوری در واحد عرض، g برابر شتاب ثقل،

افزایش نیاز آب در جامعه، ایجاد سدهای مخزنی در مناطق خشک و نیمه خشک را ایجاد می‌نماید. این مناطق از نظر پوشش گیاهی فقیر بوده و عموماً دارای سیلابهای کوتاه مدت با بده نسبتاً زیاد و حاوی رسوبات قابل توجه می‌باشند. چنین سیلابهای جریان چگال نامیده می‌شوند و به محض ورود به دریاچه پشت سد، به علت غلظت زیاد، در عمق آب ساکن فرو رفته که این محل فرو رفتگی را نقطه فروروی می‌گویند [۱۱].

جریان چگال به علت پس زدگی آب دریاچه و افزایش سطح مقطع در ابتدای مخزن بصورت جریان زیر رونده در می‌آید. در نقطه فروروی رسوبات حمل شده شروع به ته‌نشین شدن نموده و باعث بالا آمدن کف رودخانه و در نتیجه موجب آب گرفتگی و تشکیل باتلاقها در اراضی بالا دست مخزن سد می‌گردد [۳، ۵ و ۱۲]. از آنجائی که بررسی عمق جریان چگال از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد، لذا محققین فرمولهای مختلفی جهت

$$a = \frac{h_p}{(q_0^2 / \varepsilon_0 g)^{1/3}} \quad (6)$$

که با انجام آزمایشات متعدد روی مدل هیدرولیکی می توان مقادیر مختلف، a را به ازاء تغییرات، q_0 و ε_0 و h_p بدست آورد. برای حالت $a = 1$ ، عمق فروروی جریان برابر عمق فروروی بحرانی (h_{pcr}) در نظر گرفته می شود.

$$h_{pcr} = \left(\frac{q_0^2}{\varepsilon_0 g} \right)^{1/3} \quad (7)$$

محاسبه عمق جریان چگال در دریاچه

با مشخص بودن عمق جریان چگال در نقطه فروروی می توان این عمق را در هر نقطه در داخل دریاچه محاسبه کرد. با در نظر گرفتن شکل (۱) می توان معادله ممنوم برای دو مقطع ۱-۱ و ۲-۲ را بصورت زیر نوشت [۱].

$$q_0 \rho_2 (\beta_2 u_d - \beta_1 u_p) = P_1 + W_s - P_2 - F_i - F_0 \quad (8)$$

که u_p برابر سرعت جریان چگال در نقطه فروروی، u_d برابر سرعت جریان چگال در مقطع ۲-۲، β_1 ، β_2 برابر ضرایب جریان، P_1 برابر نیروی فشار در مقطع ۱-۱، P_2 برابر نیروی فشار در مقطع ۲-۲، W_s برابر نیروی وزن سیال بین دو مقطع، F_i برابر نیروی اصطکاک بین جریان چگال و آب راکد و F_0 برابر نیروی اصطکاک بستر می باشد، که برای سادگی محاسبات از تاثیر نیروهای F_i و F_0 و W_s صرف نظر شده است [۱۱] و می توان نوشت:

$$q_0 \rho_2 (\beta_2 u_d - \beta_1 u_p) = P_1 - P_2 \quad (9)$$

$\Delta\rho$ اختلاف دانسیته جریان چگال با آب صاف، ρ_2 برابر دانسیته جریان چگال، μ_2 برابر ویسکوزیته دینامیکی جریان چگال و F_1 برابر ضریب اصطکاک دارسی ویسباخ کل بستر می باشد. این معادله را می توان بصورت زیر نوشت:

$$f(h_p, q_0, g, \Delta\rho, \rho_2, \mu_2, S, f_t) = 0 \quad (2)$$

با تجزیه و تحلیل ابعادی معادله (۲)، معادله زیر حاصل می گردد [۱۳].

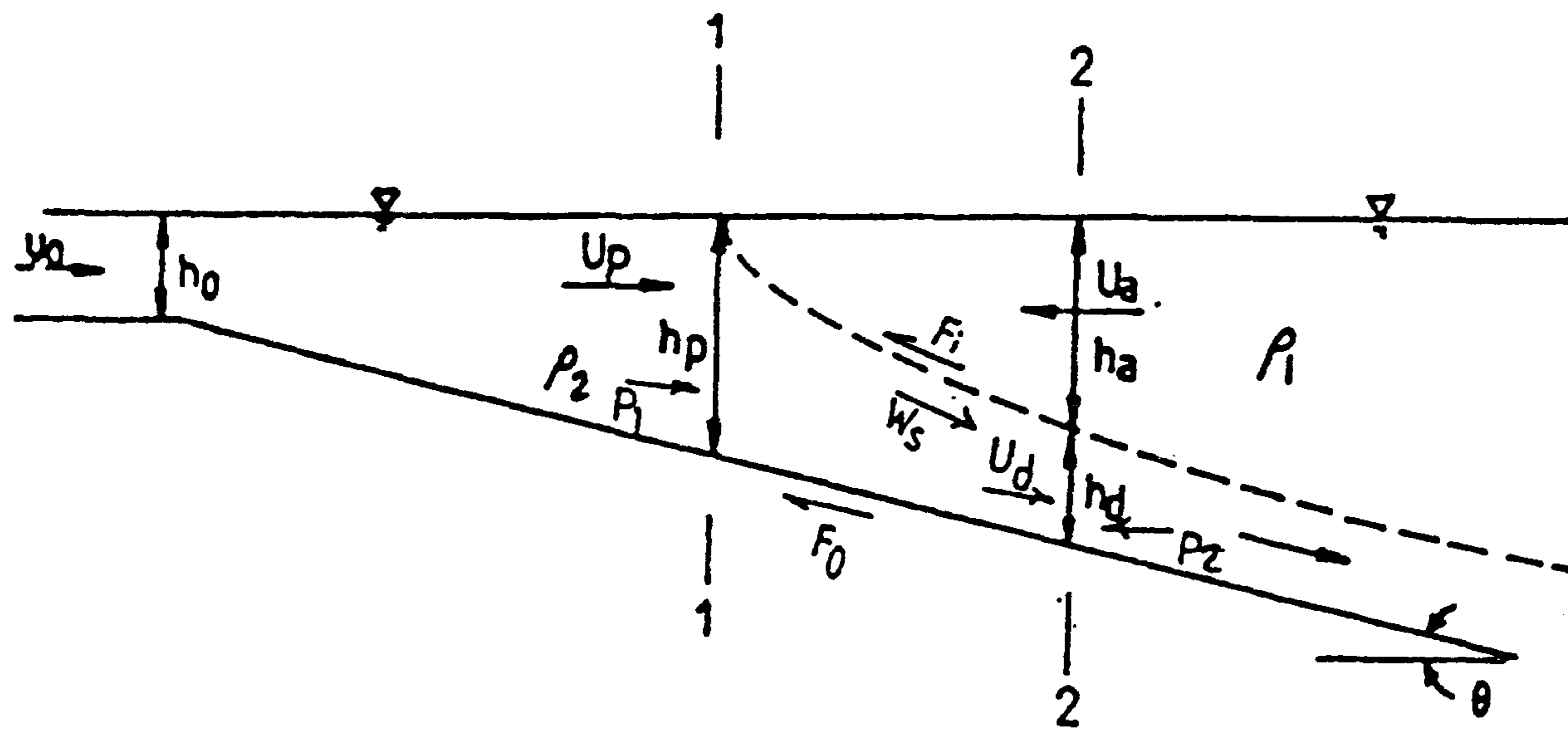
$$f\left(h_p \frac{g^{1/3}}{q_0^{2/3}}, (\varepsilon_0)^a, R_e^b, S^c, f_t^d\right) = 0 \quad (3)$$

بطوری که $\varepsilon_0 = \frac{\Delta\rho}{\rho_1}$ و ρ_1 دانسیته آب صاف راکد می باشد. چون حاصلضرب دو عامل بی بعد خود عامل بی بعد می باشد خواهیم داشت:

$$h_p = \left(\frac{q_0^2}{\varepsilon_0 g} \right)^{1/3} \cdot \phi(R_e^b, S^c, f_t^d) \quad (4)$$

با توجه به معادله (۴) مشاهده می شود که عمق فروروی (h_p) بستگی به بده ورودی q_0 ، g شتاب ثقل، $\Delta\rho$ اختلاف دانسیته آب مخزن و آب گل آلود، ρ_2 دانسیته آب گل آلود، عدد رینولدز جریان ورودی، S شیب و f_t ضریب اصطکاک بستر دارد. که با تغییر هر یک از مقادیر فوق مقدار h_p نیز تغییر خواهد کرد. اگر ضریب ثابت معادله عمق فروروی را، a ، در نظر بگیریم خواهیم داشت:

$$h_p = a \left(\frac{q_0^2}{\varepsilon_0 g} \right)^{1/3} \quad (5)$$



شکل ۱: موقعیت نیروها در پدیده فروروی [۱].

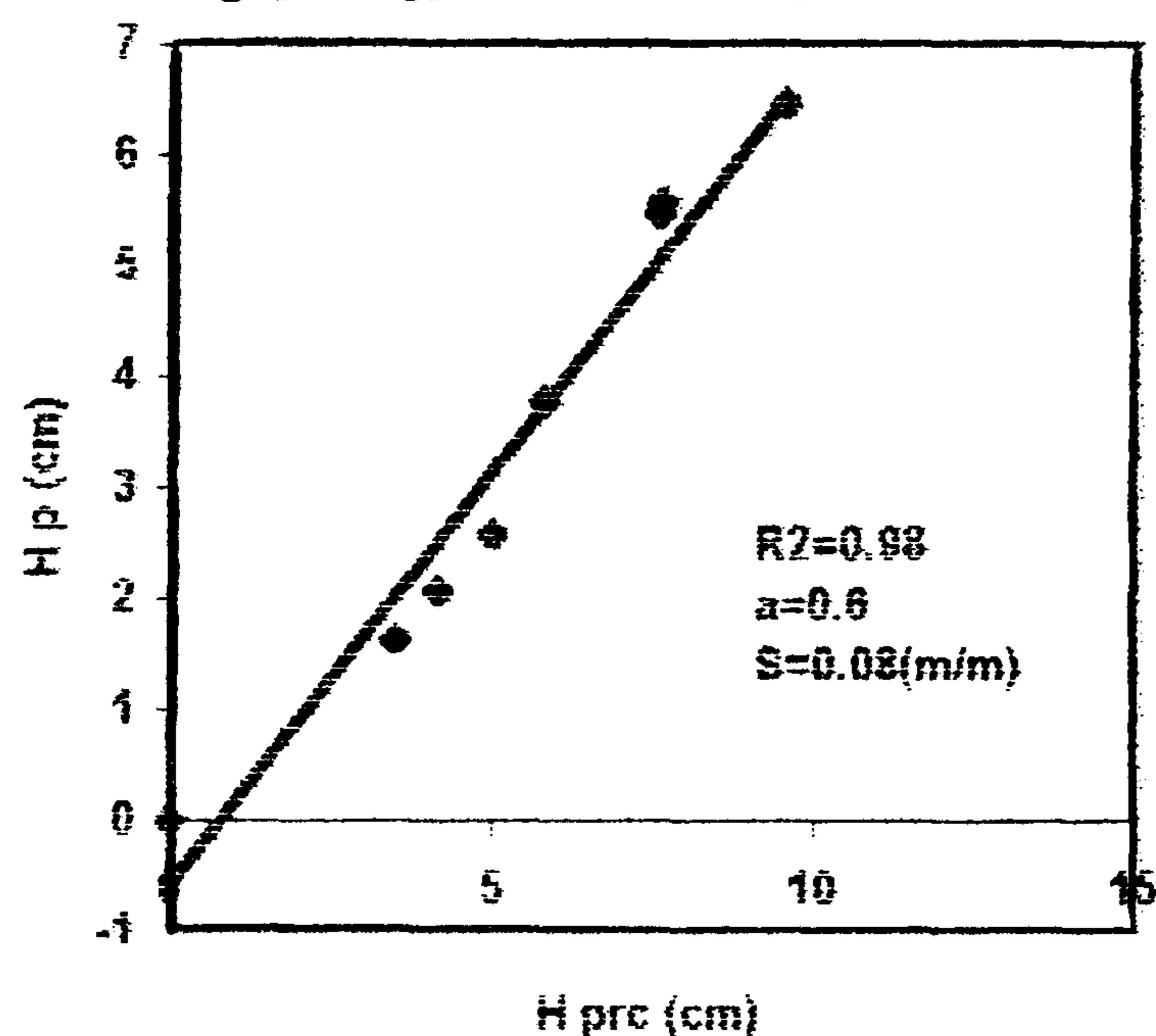
$$h_d = -\frac{1}{2} h_p + \frac{1}{2} \left(h_p + \frac{9.44 q_0^2}{g'} \right)^{1/2} \quad (12)$$

حال با معلوم بودن h_d عمق جریان چگال در داخل دریاچه، می‌توان مقدار h_a عمق آب راکد مخزن در مقطع ۲-۲ را از فرمول ذیل بدست آورد:

$$h_a = S.L + h_p - h_d \quad (13)$$

شرح مدل

در این مطالعه جهت بررسی پدیده فروروی اقدام به ساخت مدل فیزیکی گردید. مدل ساخته شده از نوع مدل فرودی^۱ می‌باشد. طول کل مدل ۱۰ متر، که شامل ۵/۹ متر کانال با عرض ۱۴/۵ سانتیمتر و ارتفاع ۳۰ سانتیمتر، و ۴/۱۰ متر طول مخزن سد با ارتفاع ۴۰ سانتیمتر و عرض متغیر بین ۱۴/۵ تا ۶۰ سانتیمتر است. حداکثر عرض در قسمت وسط مخزن سد واقع شده است.



و یا

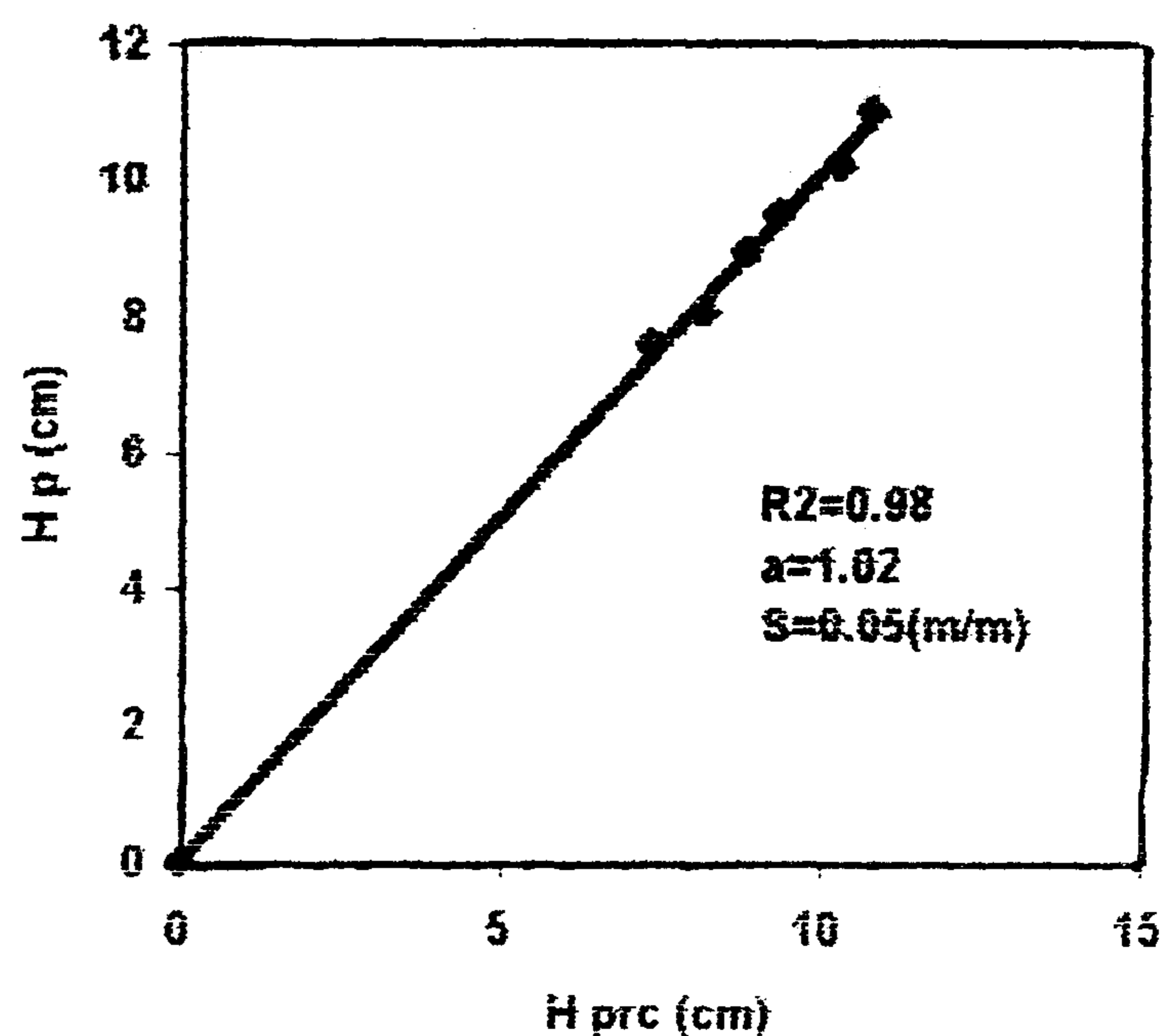
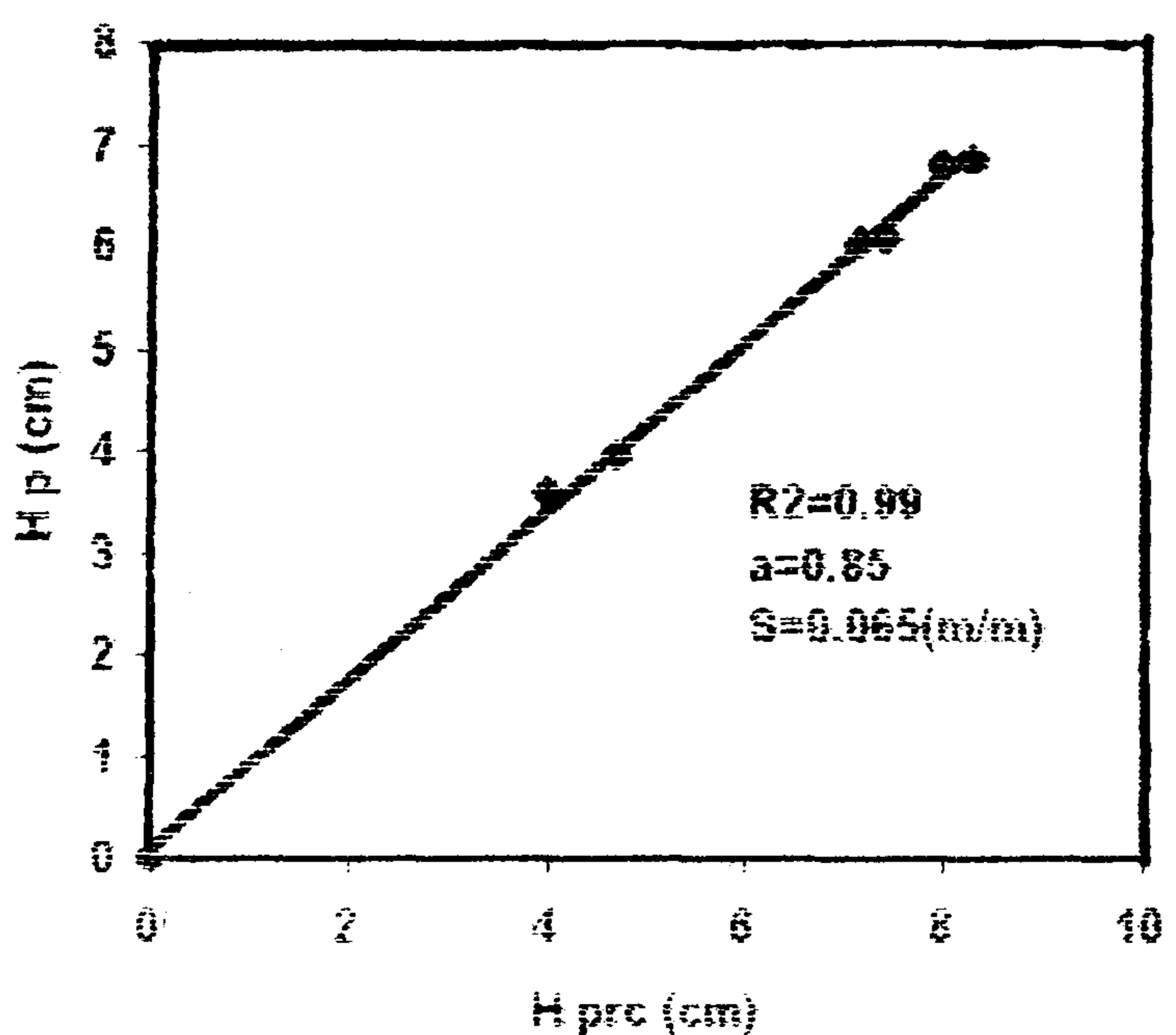
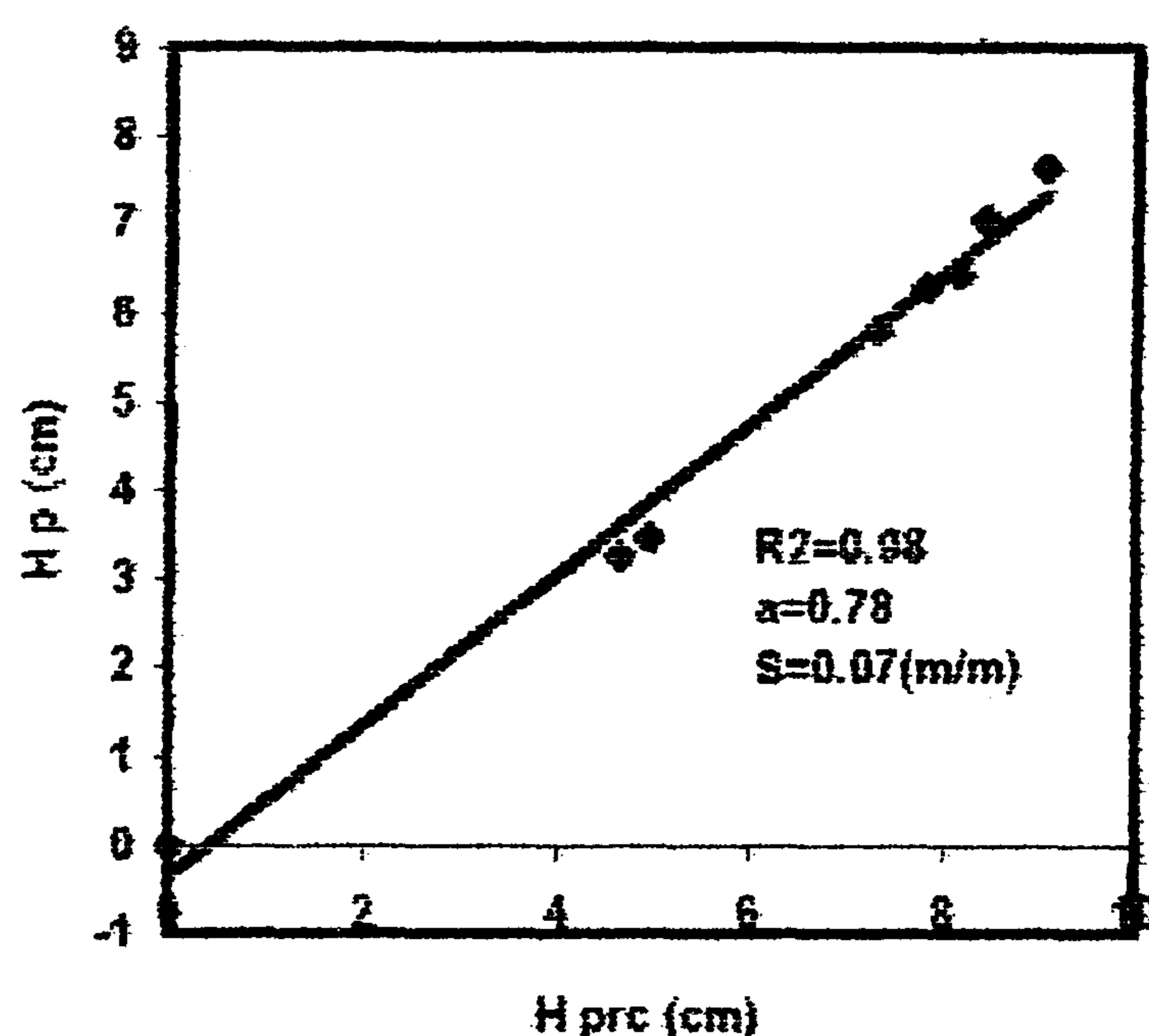
$$q_0 \rho_2 \left(\beta_2 \frac{q_0}{h_d} - \beta_1 \frac{q_0}{h_p} \right) = \frac{\rho_2 g}{2} h_p^2$$

$$- \left(\frac{\rho_1 g}{2} h_p^2 + \frac{\rho_2 - \rho_1}{2} g h_d^2 \right) \quad (10)$$

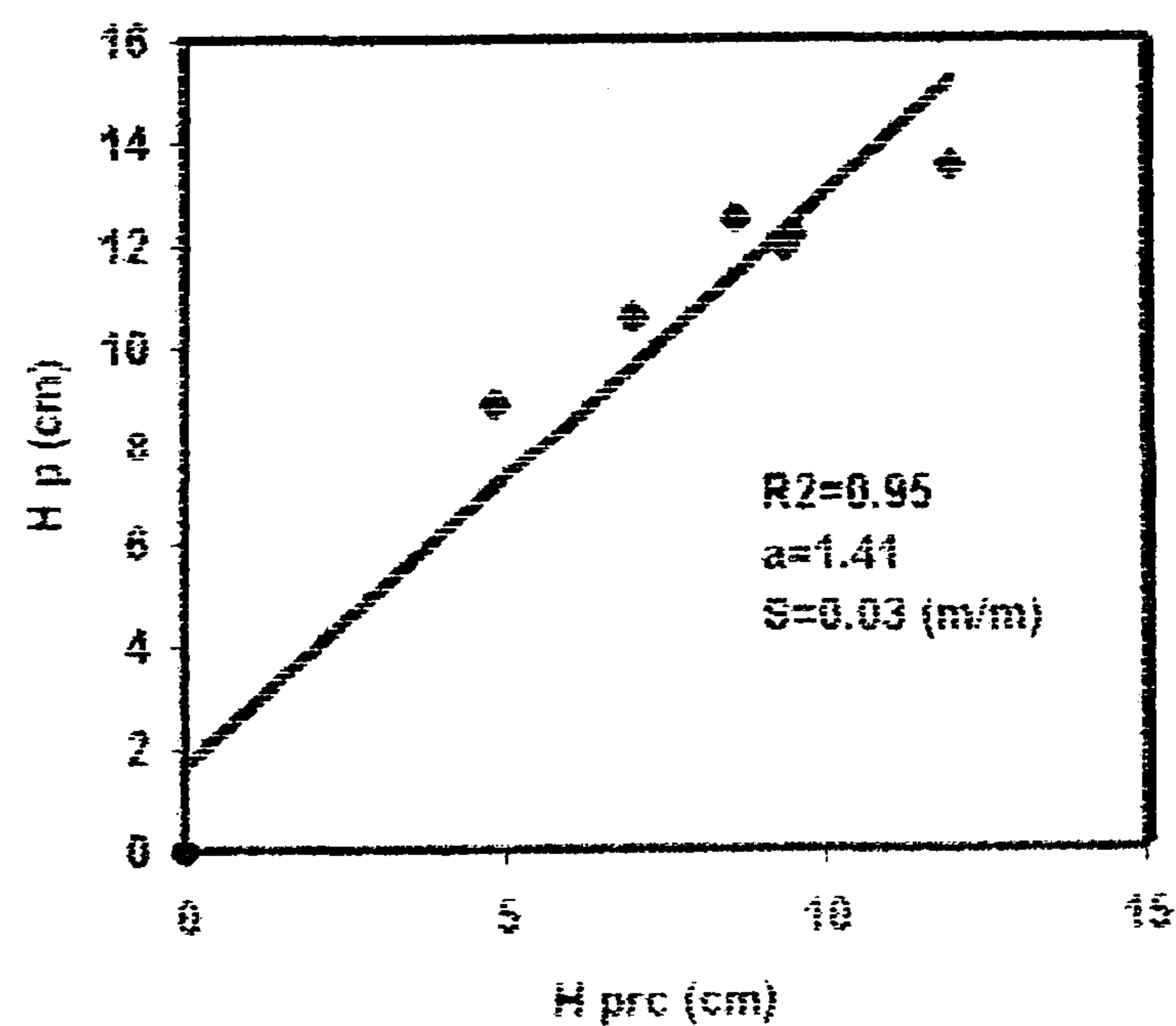
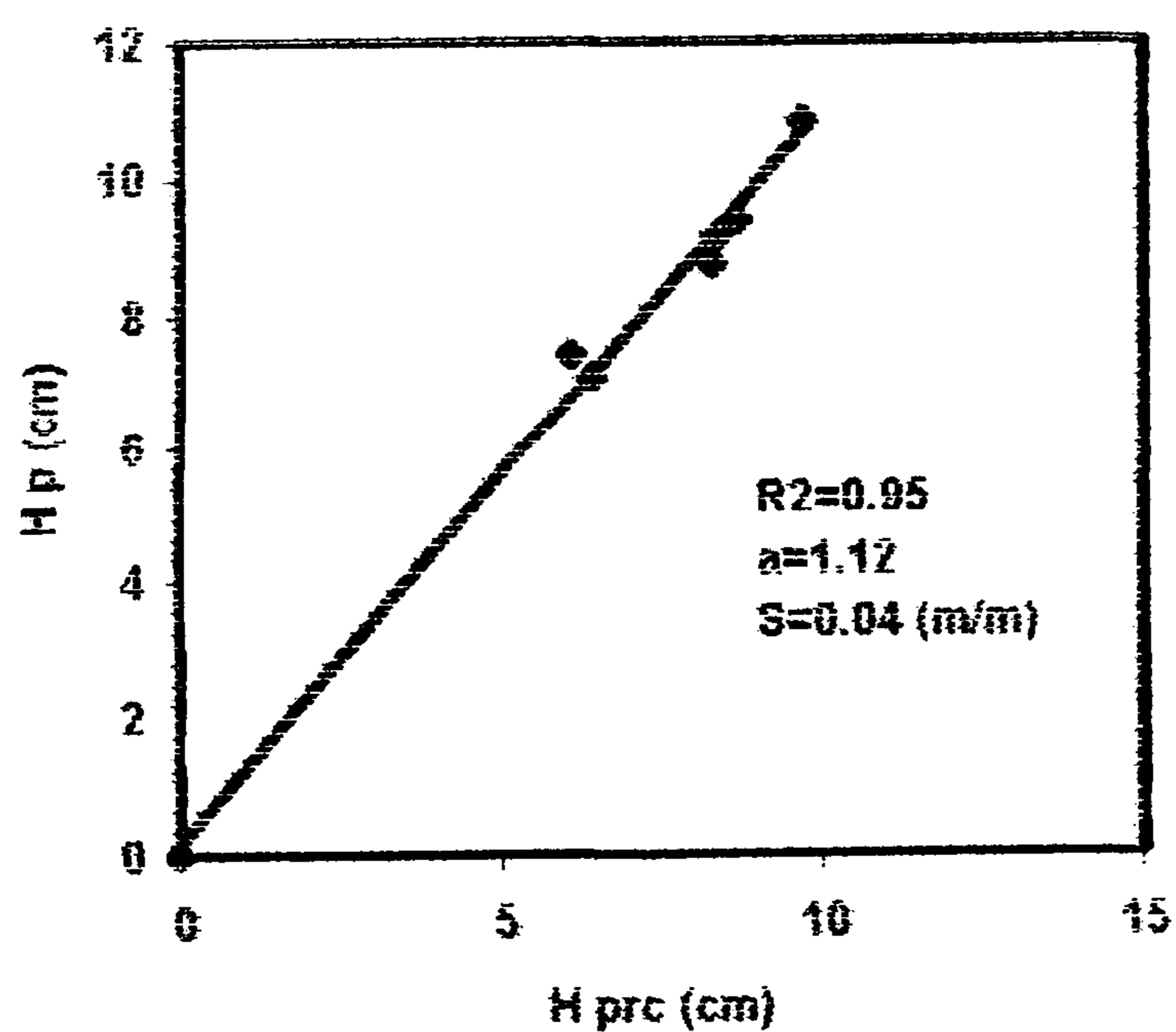
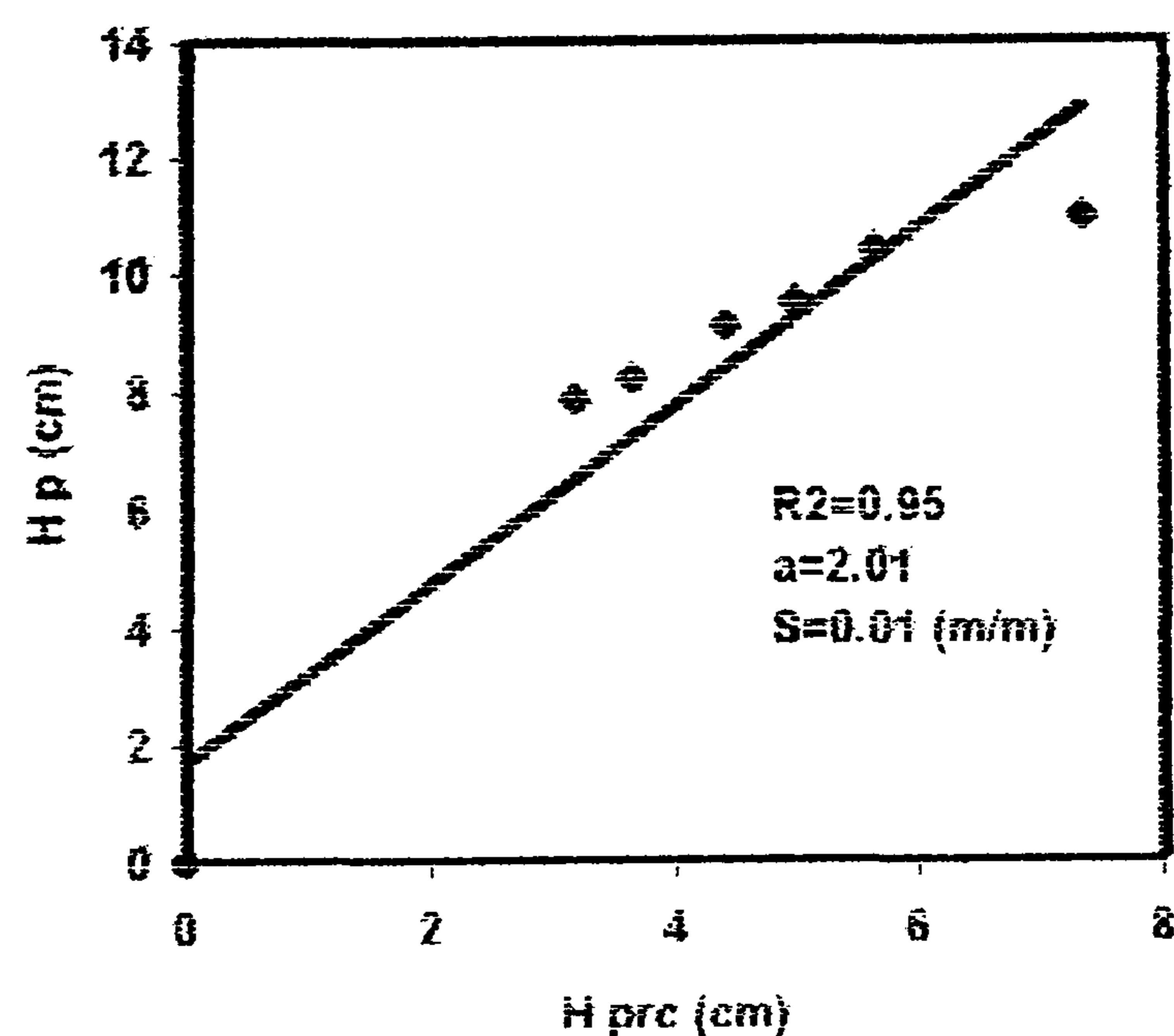
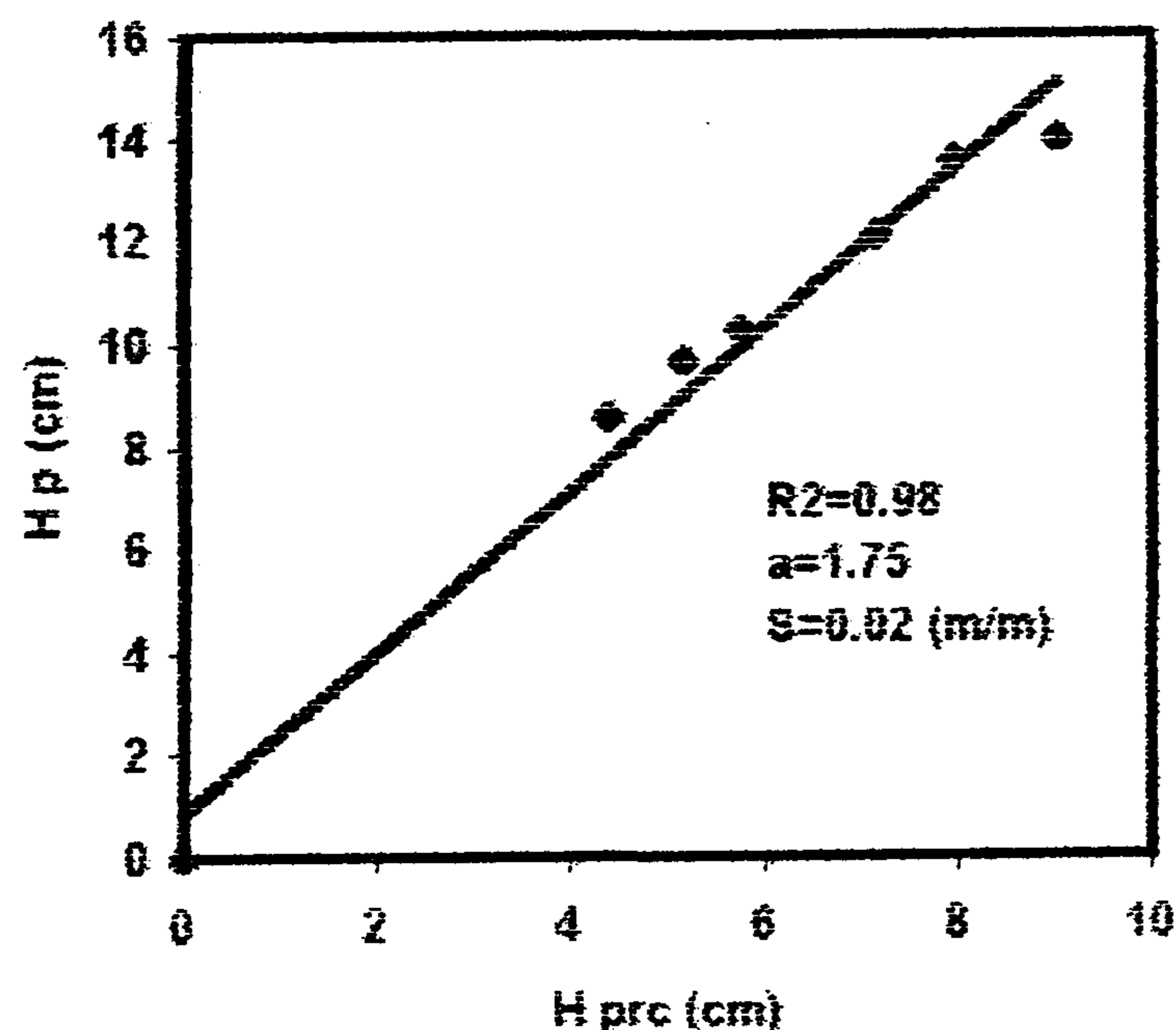
که بعد از ساده کردن معادله بالا و با در نظر گرفتن جریان مغشوش ($\beta_1 = \beta_2 = 1$) عمق جریان چگال را بصورت زیر می‌توان نوشت.

$$h_d = -\frac{1}{2} h_p + \frac{1}{2} \left(h_p + \frac{8q_0^2}{g'} \right)^{1/2} \quad (11)$$

که در آن $g' = \frac{\Delta \rho}{\rho_2} g$ یا شتاب کاهش یافته می‌باشد و چنانچه جریان آرام فرض شود که در اکثر مخازن نیز جریان آرام است، ($\beta_2 = \beta_1 = 1/18$) در این صورت می‌توان با معادله زیر عمق جریان چگال در دریاچه را محاسبه نمود.



شکل ۲: تغییرات عمق فروری (H_p) نسبت به عمق بحرانی (H_{prc}) برای شیبهای ۵، ۶/۵، ۷ و ۸ درصد.



شکل ۳: تغییرات عمق فروری (H_p) نسبت به عمق بحرانی (H_{prc}) برای شیبهای ۱، ۲، ۳ و ۴ درصد.

[۱۱ و ۱۲] مراجعه شود.

شرح آزمایشات انجام شده

با افزودن آب و مواد رسوبی به مخزن مدل و بهم زدن آنها مخلوط آب و مواد رسوبی تهیه شد. این مخلوط از طریق یک شیر کنترل با ارتفاع فشاری^۱ و بده ثابت وارد کانال حاوی آب راکد در مدل گردید. برای اندازه‌گیری بده ورودی به مدل از یک کنتور حجمی به قطر ۳ سانتیمتر استفاده شده است و در فواصل زمانی

مدل بصورت صلب ساخته شده که جهت تغییر شیب آن از یک جک هیدرولیکی استفاده می‌گردید و بکمک دوربین ترازیب برای شیب مورد نظر تنظیم می‌شده است. برای سهولت مشاهده جریان، دیواره مدل از شیشه ساخته شد. رسوبات ریزدانه از نوع سیلیت با دانه‌بندی $d_{90}=0.04mm$, $d_{60}=0.007mm$, $d_{40}=0.003mm$ جهت آزمایش استفاده گردید. از یک مخزن چهار متر مکعبی با بهمزن جهت تأمین آب ورودی به مدل استفاده شده است. جهت اطلاعات بیشتر در مورد مشخصات مدل به منابع

جدول ۱: اندازه‌گیری عمق جریان در نقطه فروروی برای مخازن با شیب ۸٪.

عمق فروروی مشاهده شده h_p (cm)	عمق بحران $h_{prc} = (q_0^2/\epsilon_0 g)^{1/3}$ (cm)	بده $(m^3/se) \times 10^{-4}$	زمان (sec)	حجم (Cm ³)
6.47	9.56	5.20	2.00	1040
5.57	7.62	3.70	3.00	1140
5.47	7.59	3.68	2.50	920
3.77	5.82	2.47	3.00	740
2.57	5.00	1.97	3.00	590
2.07	4.17	1.50	4.00	600
1.62	3.48	1.14	4.20	480

جدول ۲: اندازه‌گیری عمق جریان در نقطه فروروی برای مخازن با شیب ۷٪.

عمق فروروی مشاهده شده h_p (cm)	عمق بحران $h_{prc} = (q_0^2/\epsilon_0 g)^{1/3}$ (cm)	بده $(m^3/se) \times 10^{-4}$	زمان (sec)	حجم (Cm ³)
3.47	4.97	1.95	3.08	600
5.82	7.32	3.48	2.82	980
6.45	8.16	4.10	2.68	1100
6.30	7.84	3.86	2.80	1080
3.25	4.66	1.77	2.82	500
7.06	8.44	4.31	2.55	1100
7.65	9.06	4.80	2.50	1200

اندازه‌گیری مستقیم در مدل فیزیکی بدست آمده است. مقادیر اندازه‌گیری شده (ستون پنجم) بصورت تابعی از مقادیر محاسبه شده (ستون چهارم) در شکل‌های (۲) و (۳) رسم شده است. ضریب همبستگی برای تمام آزمایشات محاسبه گردیده و مقدار آن در تمام آزمایشات بالای ۹۵ درصد ($r^2 = 0.95$) بود، که می‌توان با اطمینان بالا مقدار ضریب a را برای شیب‌های مختلف محاسبه نمود و مورد بحث و تحلیل قرار داد. آزمایشات مدلی برای شیب‌های مختلف در سه گروه شیب‌ها تند، ملایم و بحرانی بشرح زیر مورد بررسی قرار می‌گیرند.

مختلف ضمن بهم زدن دائم مخلوط آب و مواد رسوبی، از جریان خروجی از مخزن نمونه برداری شده و غلظت و چگالی آن اندازه‌گیری گردیده است. نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌ها در جدول‌های (۱) الی (۸) آمده است. در تمام جدول‌ها ارقام سنون سوم (بده ورودی) با توجه به ارقام ستون‌های اول و دوم محاسبه شده است. چگالی آب گل‌آلود از طریق نمونه‌برداری و تجزیه آزمایشگاهی تعیین و مقدار ϵ_0 برابر 0.015 بدست آمده است. ارقام ستون چهارم با استفاده از معادله (۷) حاصل گردیده است. مقادیر عمق جریان چگال مربوط به ستون پنجم از طریق

جدول ۳: اندازه‌گیری عمق جریان در نقطه فروری برای مخازن با شیب ۵/۶٪

عمق فروری مشاهده شده h_p (cm)	عمق بحران $h_{prc} = (q_0^2/\epsilon_0 g)^{1/3}$ (cm)	بده $(m^3/se) \times 10^{-4}$	زمان (sec)	حجم (Cm ³)
3.95	4.70	1.79	3.02	540
6.05	7.15	3.36	2.62	880
6.10	7.39	3.53	2.66	9.40
6.80	7.97	3.96	2.73	1080
6.85	8.27	4.18	2.49	1040
3.60	4.01	1.41	4.60	650

جدول ۴: اندازه‌گیری عمق جریان در نقطه فروری برای مخازن با شیب ۵٪

عمق فروری مشاهده شده h_p (cm)	عمق بحران $h_{prc} = (q_0^2/\epsilon_0 g)^{1/3}$ (cm)	بده $(m^3/se) \times 10^{-4}$	زمان (sec)	حجم (Cm ³)
7.62	7.34	3.50	1.83	640
11.05	10.75	6.20	1.28	790
9.50	9.31	5.00	1.56	780
9.00	8.81	4.60	2.79	1280
10.25	10.28	5.80	1.95	1140
8.10	8.16	4.10	2.10	860

شیب‌های تند

$$h_{ps} = a h_{prc} = (0.60 \text{ الی } 1.12) h_{prc}$$

(۱۵)

می‌گردد. چون ضریب a بستگی به شیب، عدد رینولدز و ضریب اصطکاک کل دارد (معادله ۶)، و ضریب اصطکاک در شیبهای تند نسبت به شیبهای ملایم کوچک می‌باشد لذا در حالت کلی و با استفاده از نتایج آزمایشات ارائه شده در جدولهای (۱ تا ۴) و شکل (۲) برای شیبهای تند فرمول ذیل پیشنهاد می‌گردد:

$$h_{ps} = (1.51 \text{ الی } 1.87) \left(\frac{f_t}{S}\right)^{2/3} \left(\frac{q_0^2}{\epsilon_0 g}\right)^{1/3}$$

(۱۶)

شیب‌های ملایم

با توجه به آزمایشات انجام شده و نتایج بدست آمده شیبهای کمتر از چهار درصد بعنوان شیبهای ملایم شناخته شد، زیرا که در

طبق آزمایشات انجام شده بر روی مدل و نتایج حاصله، شیبهای بالای پنج درصد به عنوان شیبهای تند شناخته شد، زیرا که عمق جریان اندازه‌گیری شده در نقطه فروری، با عمق محاسبه شده (عمق بحرانی) برابر نبوده بلکه بصورت ضریبی از این عمق است که مقدار این ضریب (a) ، برای شیبهای بین پنج تا هشت درصد متغیر بوده و حدود آن بین $(1/12)$ تا $(0/6)$ محاسبه شده است. با توجه به اینکه عمق بحرانی جریان در بالادست دریاچه، h_{prc} برابر

$$h_{prc} = \left(\frac{q_0^2}{\epsilon_0 g}\right)^{1/3}$$

(۱۴)

است لذا عمق جریان در نقطه فروری برای مخازن با شیب تند (h_{ps}) برابر با

جدول ۵: اندازه‌گیری عمق جریان در نقطه فروروی برای مخازن با شیب ۴٪.

عمق فروروی مشاهده شده h_p (cm)	عمق بحران $h_{prc} = (q_0^2 / \varepsilon_0 g)^{1/3}$ (cm)	بده $(m^3/se) \times 10^{-4}$	زمان (sec)	حجم (Cm ³)
7.10	6.42	2.86	3.22	920
10.82	9.73	5.34	2.32	1240
9.15	8.37	4.26	3.10	1320
9.40	8.68	4.50	2.40	1080
7.41	6.10	2.65	3.1	820
8.75	8.31	4.21	1.52	640

جدول ۶: اندازه‌گیری عمق جریان در نقطه فروروی برای مخازن با شیب ۳٪.

عمق فروروی مشاهده شده h_p (cm)	عمق بحران $h_{prc} = (q_0^2 / \varepsilon_0 g)^{1/3}$ (cm)	بده $(m^3/se) \times 10^{-4}$	زمان (sec)	حجم (Cm ³)
10.55	7.02	3.27	3.06	1000
11.95	9.38	5.05	3.05	1540
13.50	11.98	7.30	1.85	1350
8.85	4.87	1.89	2.85	540
12.15	9.50	5.15	2.05	1040
12.50	8.63	4.46	2.80	1250

$$h_{pm} = (0.67 \text{ الی } 1.23) \left(\frac{f_1}{S}\right)^{1/3} \left(\frac{q_0^2}{\varepsilon_0 g}\right)^{1/3} \quad (18)$$

شیب‌های بحرانی

طبق نتایج حاصله از آزمایشات بعمل آمده برای شیب‌های بین چهار تا پنج درصد مقدار عمق جریان اندازه‌گیری شده در نقطه فروروی برابر با عمق محاسبه شده (عمق بحرانی) می‌باشد به عبارت دیگر مقدار a برای شیب‌های فوق تقریباً برابر یک حاصل شده است. در نتیجه فرمول پیشنهادی برای عمق فروروی جریان در حالت بحرانی (معادله (۷)) مناسب است.

تغییرات ضریب ثابت معادله عمق جریان در نقطه فروروی (معادله (۵))، برای شیب‌های مختلف در جدول (۹) نشان داده شده است. رابطه بین a و شیب (S)، بصورت معادله نمائی در نظر گرفته شده و

این شرایط عمق جریان اندازه‌گیری شده در نقطه فروروی برابر با عمق محاسبه شده (عمق بحرانی) نبوده بلکه بصورت ضریبی از این عمق است که مقدار این ضریب برای شیب‌های یک تا چهار درصد متغیر بوده و حدود آن بین (۲/۰۱ تا ۱/۱۲) می‌باشد. لذا عمق جریان در نقطه فروروی برای مخازن با شیب ملایم (h_{pm}) برابر با

$$h_{pm} = a h_{prc} = (1.12 \text{ الی } 2.01) h_{prc} \quad (17)$$

است. با در نظر گرفتن اینکه مقدار a بستگی به شیب، عدد رینولدز و ضریب اصطکاک کل دارد و ضریب اصطکاک در شیب‌های ملایم نسبت به شیب‌های تند بزرگ می‌باشد ($f_1 = 0.03$) لذا در حالت کلی و با استفاده از نتایج آزمایشات طبق جداول (۵ تا ۸) و شکل (۳) برای شیب‌های ملایم فرمول ذیل پیشنهاد می‌گردد:

جدول ۷: اندازه‌گیری عمق جریان در نقطه فروروی برای مخازن با شیب ۲٪.

عمق فروروی مشاهده شده h_p (cm)	عمق بحران $h_{prc} = (q_0^2 / \varepsilon_0 g)^{1/3}$ (cm)	بده $(m^3/se) \times 10^{-4}$	زمان (sec)	حجم (Cm ³)
12.05	7.17	3.38	3.20	1080
9.65	5.17	2.07	3.00	620
8.55	4.39	1.62	4.20	680
13.55	7.99	3.97	2.82	1120
13.95	9.06	4.80	2.50	1200
10.25	5.77	2.44	3.20	780

جدول ۸: اندازه‌گیری عمق جریان در نقطه فروروی برای مخازن با شیب ۱٪.

عمق فروروی مشاهده شده h_p (cm)	عمق بحران $h_{prc} = (q_0^2 / \varepsilon_0 g)^{1/3}$ (cm)	بده $(m^3/se) \times 10^{-4}$	زمان (sec)	حجم (Cm ³)
8.25	3.66	1.23	3.25	400
7.90	3.19	1.00	2.00	200
9.55	4.99	1.96	4.85	950
10.45	5.63	2.35	4.25	1000
11.0	7.34	3.50	4.00	1400
9.15	4.43	1.64	3.35	550

جدول ۹: تغییرات ضریب a نسبت به شیب مخزن.

شیب مخزن S	1%	2%	3%	4%	5%	6.5%	7%	8%
ضریب a	2.01	1.75	1.41	1.12	1.02	0.85	0.75	0.6

نقطه فروروی (h_p) برای شیبهای مختلف (یک تا هشت درصد) اندازه گیری شده، و عمق بحرانی (h_{pcr}) محاسبه گردیده، و نتایج حاصله در جداول (۱) تا (۹) ارائه گردیده است. شکل های (۲) و (۳)، نشان می دهند که اعماق اندازه گیری شده با شیبهای تند (پنج تا هشت درصد) و شیبهای ملایم (یک تا چهار درصد) با عمق بحرانی محاسبه شده مساوی نبوده و برابر حاصل ضرب، (a) و عمق بحرانی (h_{pcr}) می باشد (معادله (۷)). مقدار این ضریب برای شیبهای مختلف بین ۰/۶ تا ۲/۰۱ متغیر بوده بطوری که برای شیبهای تند کمتر از یک و برای شیبهای ملایم بیشتر از یک می باشد. برای شیبهای بین چهار تا پنج درصد مقدار این ضریب بسیار به یک نزدیک بوده که بیانگر تساوی عمق محاسبه شده در نقطه فروروی با عمق بحرانی در این شرایط می باشد. با استفاده از روش همبستگی رابطه بین a و S تعیین گردیده که از آن (معادله ۱۹) می توان برای شیب مورد نظر ضریب ثابت عمق جریان را تعیین و سپس نسبت به محاسبه عمق جریان چگال در نقطه فروروی اقدام نمود.

ضرائب ثابت معادله با استفاده از روش همبستگی^۱ محاسبه و بصورت

$$a = ۲/۳۸۳۸e^{-۰/۶۹۷S}$$

(۱۹)

معرفی می گردد. ضریب همبستگی (۱) معادله بالا برابر $r^2 = ۰/۹۹۱$ می باشد. با استفاده از این معادله می توان برای شیب مورد نظر ضریب ثابت عمق جریان را تعیین و سپس عمق جریان چگال در نقطه فروروی را محاسبه نمود.

نتیجه گیری

معادلات مختلف ارائه شده توسط محققین برای محاسبه عمق جریان در نقطه فروروی مورد بررسی قرار گرفت. هر کدام از این معادلات دارای ضرائب ثابتی می باشند که برآورد و تعیین آنها به نوبه خود آسان نمی باشد. در این مطالعه با استفاده از تحلیل ابعادی ابتدا معادله ای جهت محاسبه ضریب ثابت عمق جریان (a) در نقطه فروروی ارائه گردیده است که مقدار این ضریب تابعی از عمق جریان چگال و عمق بحرانی در نقطه فروروی می باشد. با استفاده از مدل فیزیکی تهیه شده عمق جریان چگال در

مراجع

- 1 - Akiyama, J. and Stefan, H. G. (1981). "Theory of plunging Flow into a Reservoir." *Internal Memo IM - 97*, St. Anthony Falls Hydraulic Laboratory, University of Minnesota, Minneapolis.
- 2 - Akiyama, J. and Stefan, H. G. (1984). "plunging Flow into a Reservoir : Theory." *J. of Hyd. Eng, ASCE*, Vol. 110, No. 4, 484-499.
- 3 - Alavian, V. (1992). "Density currents entering lakes and reservoirs." *J. Hyd. Eng. ASCE*, Vol. 118, No. 11.
- 4 - Fan Jiahua. (1960). "Experimental studies on density currents." *Scientia Sinica*, No. 9, 275-303.
- 5 - Gu, R, McCutcheon, SC. and Wang, P. F. (1996). "Modeling reservoir density underflow and interflow from a chemical spill." *Water Resources Res.*, Vol. 32, No. 3, 695-705.
- 6 - Hebbert, B., Imberger, J., Loh , I. and Patterson, J. (1979). "Collie river underflow into the wellington reservoir." *J. of Hyd. Div. ASCE*, 105 (HYS) 533-545 , Proc. Paper No. 14593.
- 7 - Jain, Subash, C. (1981). "Plunging phenomena in reservoirs." *Proceedings of the Symposium on Surface Water Impoundments, Minneapolis , Minn., June 2-5 , 1980*, Published by ASCE.
- 8 - Savage, S. B. and Brimberg, J. (1975). "Analysis of plunging phenomena in water resources." *J. of Hydraulic Research, IAHR*, Vol. 13, No. 2, 187-204.
- 9 - Singh, B. and Shah, C. R. (1971). "Plunging phenomenon of density currents in reservoirs." *Lahouille Blanche*, Vol. 26, No 1, 59-64.

- 10 - Wunderlich, W. O. and Elder, R. A. (1973). "Mechanics of flow through man made lakes." *Man - Made Lakes : Their Problems and Environmental Effects*, W. Physical Union, Washington, D.C.
- ۱۱ - شفیعی، ع. "مطالعه مدلی جریانهای غلیظ در مخازن." پایان نامه کارشناسی ارشد رشته سازه‌های هیدرولیکی، بخش عمران دانشکده فنی دانشگاه شهید باهنر کرمان (۱۳۷۴).
- ۱۲ - شفیعی، ع. و خانجانی م. ج. "بررسی تخلیه رسوب در مخازن سدها بوسیله یک مدل فیزیکی." نشریه دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد، سال نهم شماره اول (۱۳۷۶).
- ۱۳ - شکوهی، ف. (مترجم). "تحلیل بعدی و نظریه مدل." مرکز نشر دانشگاهی تهران. تهران (۱۳۶۴).

واژه نامه :

- | | |
|--------------------------|--------------|
| 1 - Dimensional Analysis | تحلیل ابعادی |
| 2 - Density Current | جریان چگال |
| 3 - Plunge | فروروی |
| 4 - Froud Model | مدل فرودی |