مدل استوکاستیکی[1] فرآیند زایش خالص (pure-birth) نشست رسوب ذرات آسفالتین در محیط‌های متخلخل

دکتر بهرام دبیر

استادیار دانشکده مهندسی شیمی و پلیمر دانشگاه صنعتی امیرکبیر

دکتر محمد رضا گلکار نارنجی

استادیار دانشکده مهندسی شیمی و پلیمر دانشگاه صنعتی امیرکبیر

مهندس منوچهر نیک آذر

فارغ‌التحصیل دوره کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی شیمی و پلیمر
دانشگاه صنعتی امیرکبیر

چکیده:

یکی از مدل‌های صافی‌های عمیق[2] جهت بررسی نحوه جریان و چگونگی گرفتگی بستر مدل استوکاستیکی pure–birth می‌باشد. اختلاف فشار دو سربستر و مشخصات بستر ازنظر تخلخل و عبورپذیری[3] برروی نحوه جریان یافتن یک سوسپانسیون از درون بستر موثرند، دراین‌مقاله ابتداء مدل pure–birth به‌طور مختصر معرفی شده است، آنگاه نتایج آزمایش‌های گوناگون جریان نفت‌خام حاوی ذرات رسوب آسفالتین از درون محیط‌های متخلخل با مدل فوق وفق داده شده است و پارامتر این‌مدل برای آزمایش‌های گوناگون تعیین شده است.

Asphaltene Particle Deposition on the Porous Media Based on Stochastic Pure Birth Model

B. Dabir, Ph.D - M.R. Goolkare Narenj- Ph, D. M.Nikazar, MSc.

Chem. Eng. Dept. Amirkabir Unvi. of Tech.

One of the mathematical models of deep bed filteration for the study of suspension flow, anddepositionis the stochastic pure birth model. State of suspension flow has been effected by pressure drop, and porous media properties such as permeability. In this article the stochastic pure birth model has been discussed briefly. Several experimental results of crude oil suspension containing asphaltene particle have been obtained in porous media, and compared with stochastic pure birth model. Based on this model the effect of all parameters have been investigated in order to predict the variation of pressure drop versus time as a result of solid particle deposition on the porous media.

مقدمه:

در تزریق‌های امتزاجی که یک گازویاسیال (نظیر هیدروکربورهای نرمال) جهت ازدیاد برداشت به مخازن نفتی تزریق می‌گردد، انتظار می‌رود که مساله رسوب آسفالتین و واکس‌ها برروی حریان یافتن نفت خام از درون خلل و فرج سنگ‌های مخزن تاثیر به‌سزائی داشته باشد.

رسوب آسفالتس دارای ساختمان ملکولی پیچیده‌ای شامل چندین حلقه بنزنی[4] و عناصر گوناگون نظیر اکسیژن و گوگرد و نیتروژن می‌باشد. این رسوب از افزودن حلال‌های غیرقطبی (مثل هیدروکربورها) با کشش سطحی کمتر از 25 dyn/Cm به‌نفت‌خام ایجاد می‌شود. آسفالتس‌ها دارای وزن ملکولی بالائی می‌باشند (درحدود ۴۰۰۰–۳۰۰۰) و نوع

ن بستگی به‌نوع منبع ، عمق منبع و وزن مخصوص API نفت دارد (۱) .

دل استوکاستیکی (۲) :

فیلترهای دانه‌ای[۵] معمولا" برای جدا کردن مواد معلق آب در صفیه آب آشامیدنی و تصفیه فاضلاب به‌کار می‌رود مواد جامد معلق مکانیزم فشاری و یا در اثر چسبندگی دربستر باقی می‌مانند .

مدل‌های ریاضی فیلتراسیون بستر عمیق یا دانه‌ای به سه دسته تسیم می‌شوند :

الف . آنهائی‌که فقط برمبنای‌پدیده‌های منطقی معادلات‌کنیتیک است.
ب . آنهائی که از آنالیز مسیر ذرات[۶] به دست می‌آید .
ج . آنهائی‌که از روش محاسبه احتمالات به‌دست می‌آیند .[۷]

مـدل‌های استوکاستیکـی‌نیز خود انواع گوناگونی دارند که در اینجا فقط به فرآیند pure – bitrh اشاره می‌شود . دراین روش براساس احتمالات ، تعداد منافذ بسته شده در زمان معین یک‌متغیر احتمالی درنظر گرفته می‌شود و فرض براین‌است که درضمن‌جریان فقط احتمال چسبیدن ذرات معلق به‌دیواره منافذ وجود داردوامکان کنده‌شدن ذرات چسبیده ار زمان‌های قبل وجود ندارد به همین دلیل ایـن مـدل (پیدایش خالص) pure – birth نام گرفته است . براساس این فرضیات و محاسبات نسبتا" پیچیده معادله زیر به دست می‌آید :

$$V(t) = \frac{n_0}{n_0 - E[N(t)]} V_o \qquad (۱)$$

که درمعادله فوق $V(t)$ سرعت خطی جریان درحفره‌ها درزمان t، V_o سرعت خطی درابتدای فرآیند n_0 تعداد حفره‌های باز درزمان $t=o$ و $E[N(t)]$ مقدار قابل انتظار[۸] متغیر تصادفی $N(t)$ است معادله فوق باید تبدیل به معادله‌ای گردد که پارامترهایش قابل اندازه‌گیری فیزیکی باشند . افت فشار درجریان آرام از میان بسترهای پرشده[۹] توسط معادله معروف Carman – Kozeny داده می‌شود .

$$\frac{\Delta p}{L} = 150 \frac{(1-\Sigma)}{\Sigma^3} \frac{\mu V}{d2p} \qquad (۲)$$

مقدار (50% ±) 150 درمعادله فوق یک متوسط برای بسترهای با ذرات مختلف است که فقط برای بسترهای غیرقابل تراکم با خلل و فرج (Σ) درحدود 0.35 الی0.5 متغیر است . U سرعت سطحی[۱۰] و d_p قطر ذرات سازنده بستر[۱۱] است . اگر سرعت سطحی برحسب سرعت خطی به صورت زیر درنظر گرفته شود :

$$U = \Sigma V \qquad (۳)$$

بعـد ار حـاگذاری در معادله(2)و(1)معادله کلـی زیـر برای مدل pure – birth به دست می‌آید :

$$\frac{\Delta p(t)}{L} = 150 \left(\frac{1-\Sigma}{\Sigma}\right)^2 \frac{\mu V_o}{d^2_p} e^{kt} \qquad (۴)$$

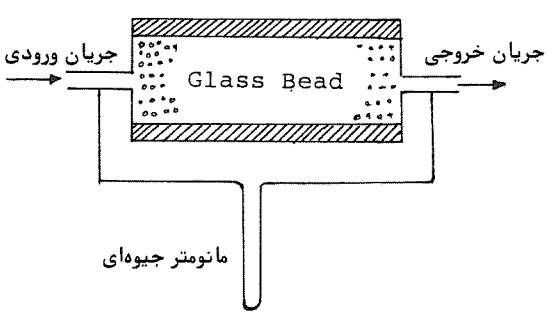
که در معادله فوق ضرایب اکسپونانسیل به صورت مقداری ثابت به نام افت فشار اولیه بستر درنظر گرفته می‌شود :

$$\frac{\Delta p(t)}{L} = \left(\frac{\Delta p}{L}\right)_o e^{kt} \qquad (۵)$$

$$\left(\frac{\Delta p}{L}\right)_o = \text{Constant} = \text{افت فشار اولیه فیلتر}$$

شرح آزمایش‌ها :

جهت انجـام آزمایش‌هـایی دررابطه بـا مدل فوق بسترهای متخلخل گوناگونی با استفاده از ذرات کره‌ای شیشه‌ای ریزمختلف[۱۲] ندارک دیده شد و مخلوط نفت خام (گچساران) و ذرات رسوب آسفالتین به ابتدای بستر پر شده پمپ گردید و اختلاف فشار دوسر بستر توسط مانومتر جیوه‌ای اندازه‌گیری شد .



شکل (۱)ـ بستر متخلخل و مانومتر جیوه‌ای

ذرات رسوب آسفالتین‌از افزودن نرمال پنتان یا نرمال هپتان و یا نرمال دکان به‌طور جداگانه به نفت خام حاصل گردید . متغیرهائی که تاثیر آنها مورد مطالعه قرار گرفته‌به شرح زیر است :

۱ـ نوع حلال اضافه شده به نفت خام (پنتان نرمال و هپتان نرمال و دکان نرمال)

۲ـ شدت جریان (که باتوجه به‌نسبت حلال به نفت و قدرت پمپها انتخاب شد) Q

۳ـ تخلخل بستر و یا اندازه ذرات کروی سازنده بستر (سایز درشت (L) 1,6mm ، سایز متوسط (M) 0.453mm وسایز ریز (S) 0.15mm

۴ـ نسبت حجمی حلال اضافه شده به نفت خام

$$\text{(Solvent Ratio} = \frac{\text{حجم حـلال}}{\text{حجم نفت خام}})$$

درکلیه آزمایش‌ها از نفت‌خام‌گچساران استفاده شد عامل دما برای آزمایش‌های ثابت و برابر دمای محیط (80^o F) بوده است . نتایج حاصلـه از تعـدادی از آزمایش‌ها به‌صـورت منحنـی رسـم شده است . مشخصات هر آزمایش درحاشیه منحنی‌ها آورده شده است

نتایج :

معادله(5)که به عنوان معادله اصلی مدل pure – birth معرفی شده است بعد از لگاریتم‌گیری به‌صورت زیر بیان می‌شود :

$$\ln\left(\frac{\Delta p}{L}\right) = \ln\left(\frac{\Delta p}{L}\right)_o + kt \qquad (۶)$$

اگر افت فشار دو سربستر برحسب زمان درمحورهای نیمه لگاریتمی رسم گردند طبق مدل فوق باید خط‌راستی حاصل گردد که درکلیه آزمایش‌ها درفشارهای پائین (تا 10 psia – 5) چنین شد. برای آزمایش‌های گوناگون ضریب زاویه‌ای خطوط K (سرعت‌گرفتگی بستر) به دست آمد که نتایج آن درجدول یک آمده است.

باتوجه به نتایج حدول فوق براساس پارامترهای مشخص شده برای سیستم رابطه‌ای به صورت زیر (ازطریق Least square) به دست آمده است (۳).

$$K = 95.32 \quad D_p^{-0.5} \quad M^{-2} \quad R^{-0.1} \quad Q^{-0.2} \qquad (۲)$$

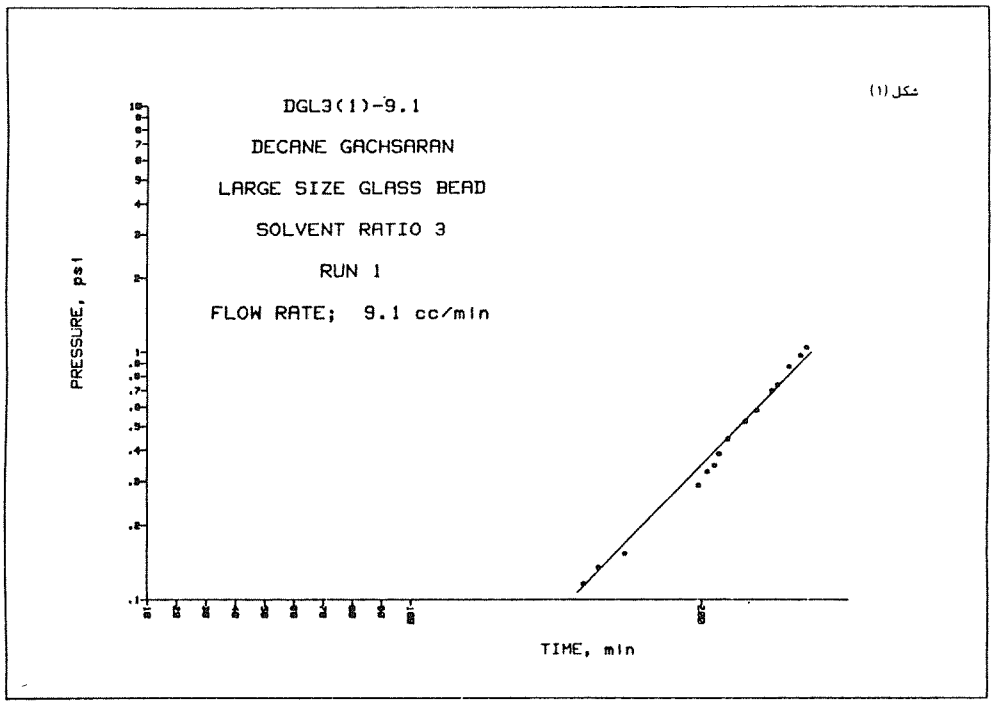
نام آزمایش	DGL3 9.1	DGM3 9.1	DGS3 9.1	HGL3 9.1	HGM3 9.1	HGS3 9.1	HGM1,9 9.1	HGS1,9 6.1
K ضریب زاویه‌ای	0.275	0.0509	0.0987	0.0637	0.0981	0.1827	0.0814	0.155

جدول (۱)ـ پارامتر مدل برای چند آزمایش

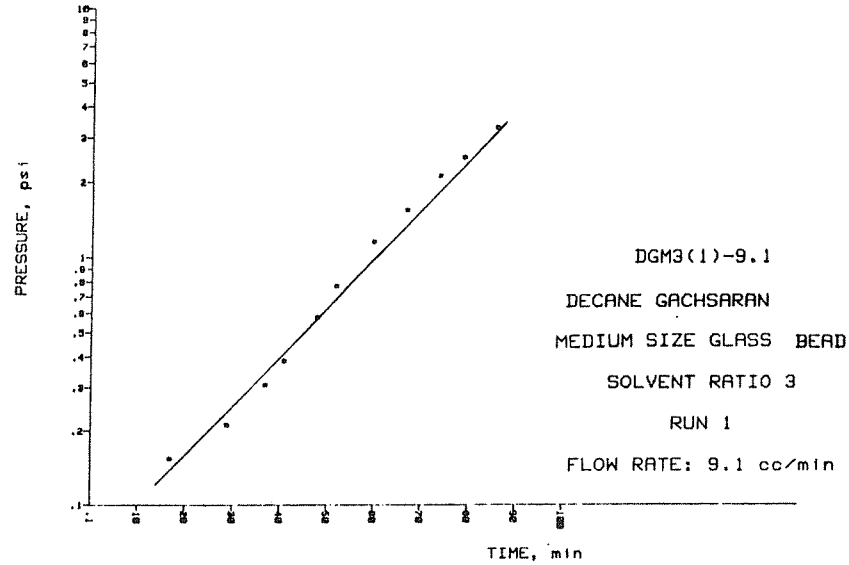
نتیجه کلی این مطالعه چنین است‌که مدل pure – birth برای صافی‌های عمیق باقطر ذرات حدود 0.1 تا 2 میلیمتر درفشارهای پائین (ازصفر تا 5 الی 10 psia) برای مخلوط نفت خام حاوی ذرات رسوب آسفالتین کاملا" صادق بوده و قادر به پیش‌بینی نحوه و سرعت گرفتگی بستر می‌باشد.

که درفرمول فوق D_p قطر ذرات سازنده‌بستر (mm) و M جرم ملکولی حلال اضافه شده R نسبت‌حلال اضافه شده به نفت‌خام و Q شدت جریان (cc/min) می‌باشد نتایج حاصله برای K ازطریق تجربی واز طریق فرمول 7 با یکدیگر تطابق خوبی دارند. (باخطای متوسط ۱۰%). لازم به تذکر است حوزه کاربرد فرمول (7) در محدوده آزمایشات انجام‌یافته است.

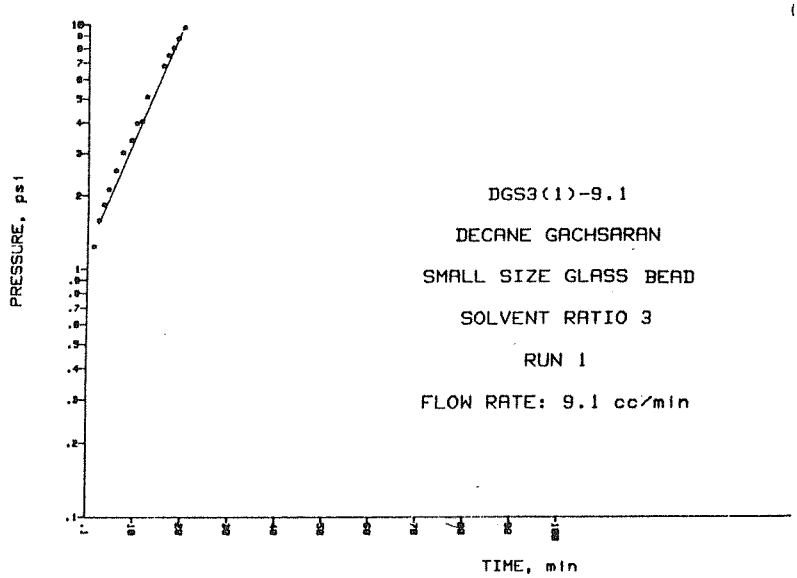
شکل (۱)



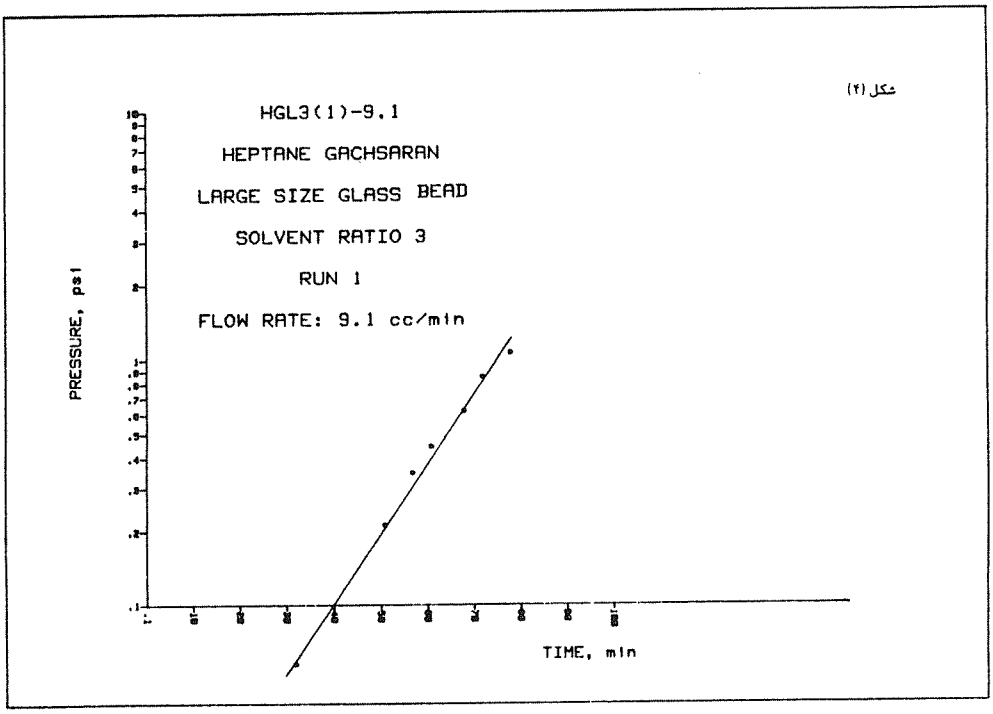
شکل (۲)


PRESSURE, psi
TIME, min
DGM3(1)-9.1
DECANE GACHSARAN
MEDIUM SIZE GLASS BEAD
SOLVENT RATIO 3
RUN 1
FLOW RATE: 9.1 cc/min

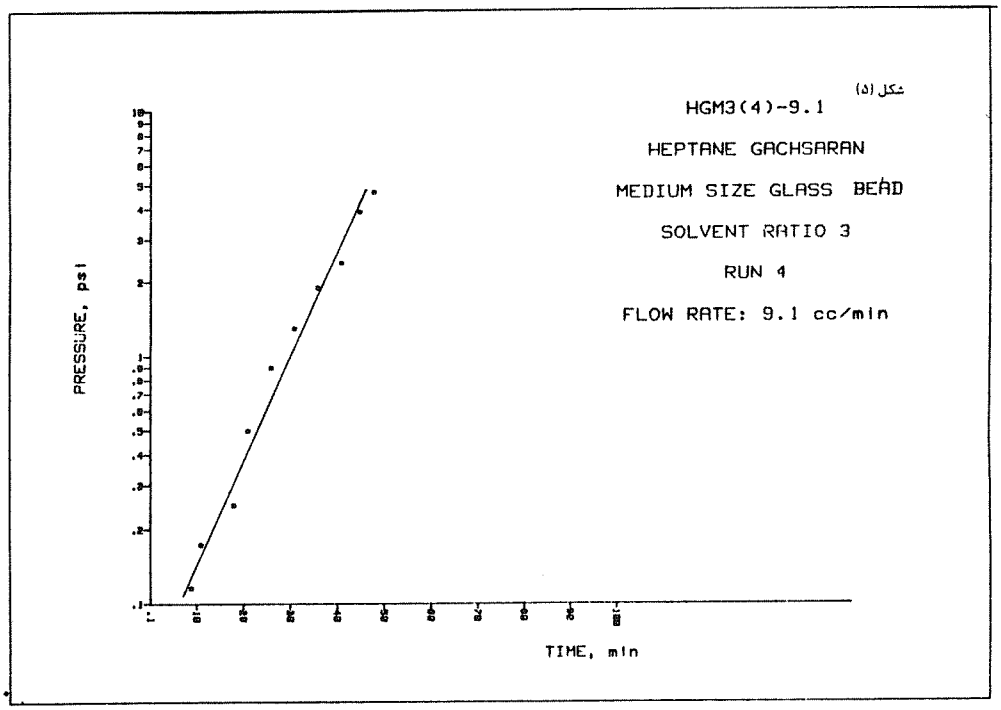
شکل (۳)


PRESSURE, psi
TIME, min
DGS3(1)-9.1
DECANE GACHSARAN
SMALL SIZE GLASS BEAD
SOLVENT RATIO 3
RUN 1
FLOW RATE: 9.1 cc/min

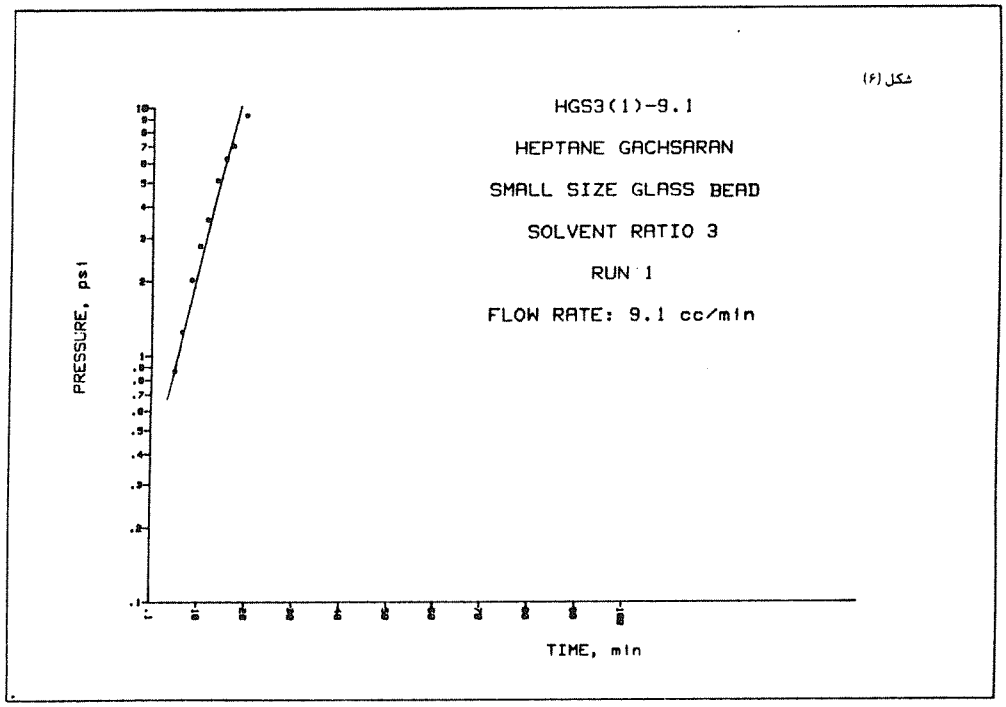
شکل (۴)


HGL3(1)-9.1
HEPTANE GACHSARAN
LARGE SIZE GLASS BEAD
SOLVENT RATIO 3
RUN 1
FLOW RATE: 9.1 cc/min
PRESSURE, psi
TIME, min

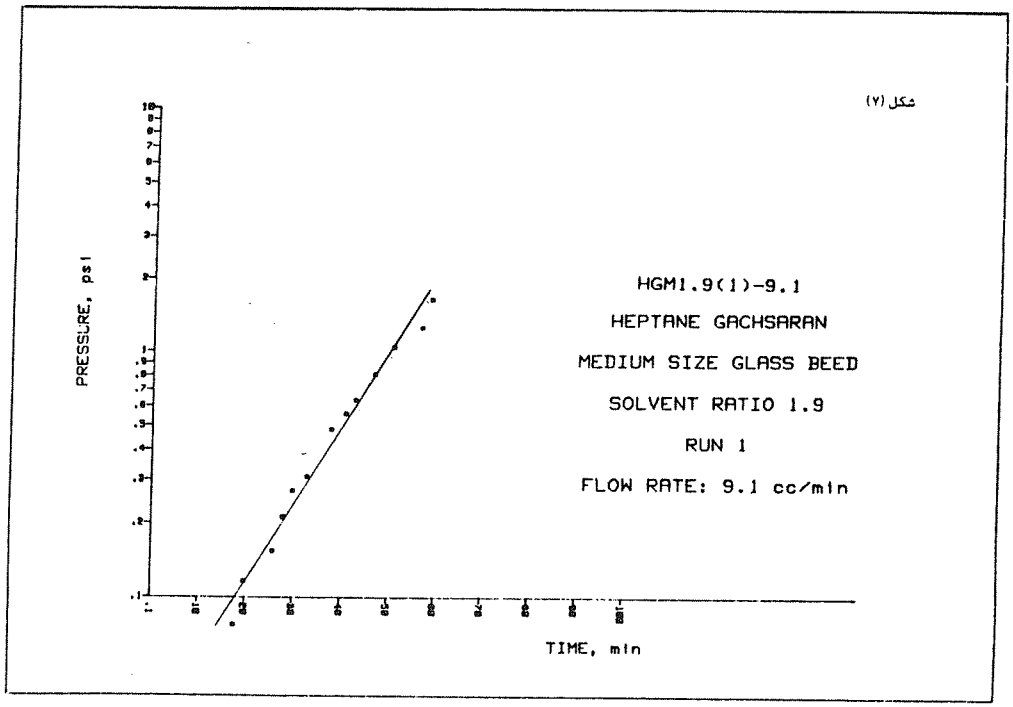
شکل (۵)


HGM3(4)-9.1
HEPTANE GACHSARAN
MEDIUM SIZE GLASS BEAD
SOLVENT RATIO 3
RUN 4
FLOW RATE: 9.1 cc/min
PRESSURE, psi
TIME, min

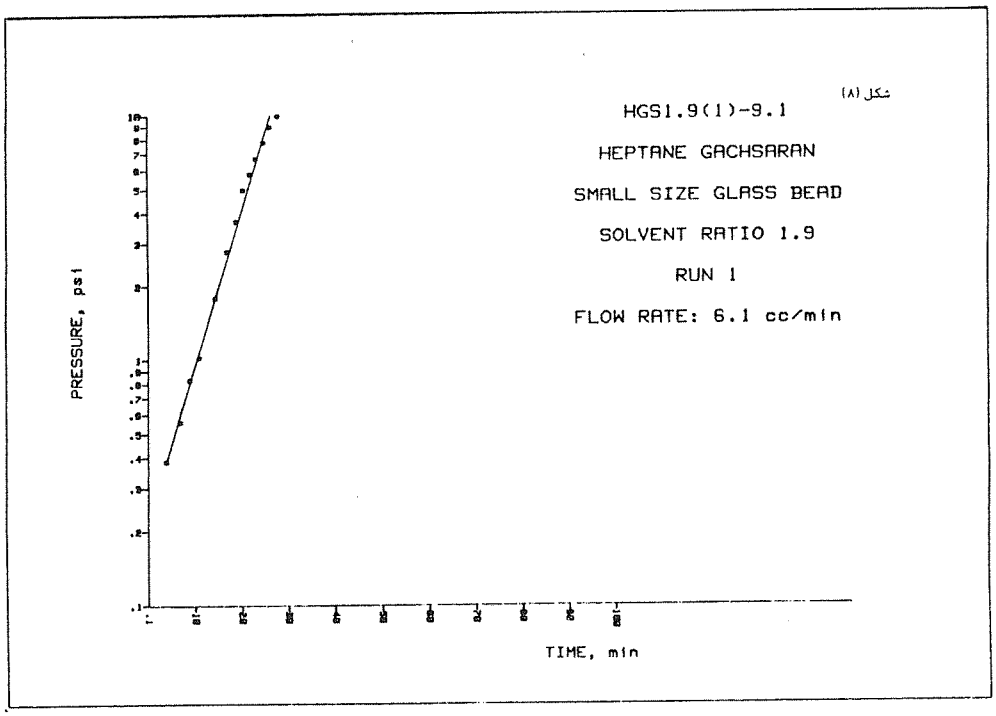
شکل (۶)


HGS3(1)-9.1
HEPTANE GACHSARAN
SMALL SIZE GLASS BEAD
SOLVENT RATIO 3
RUN 1
FLOW RATE: 9.1 cc/min
PRESSURE, psi
TIME, min

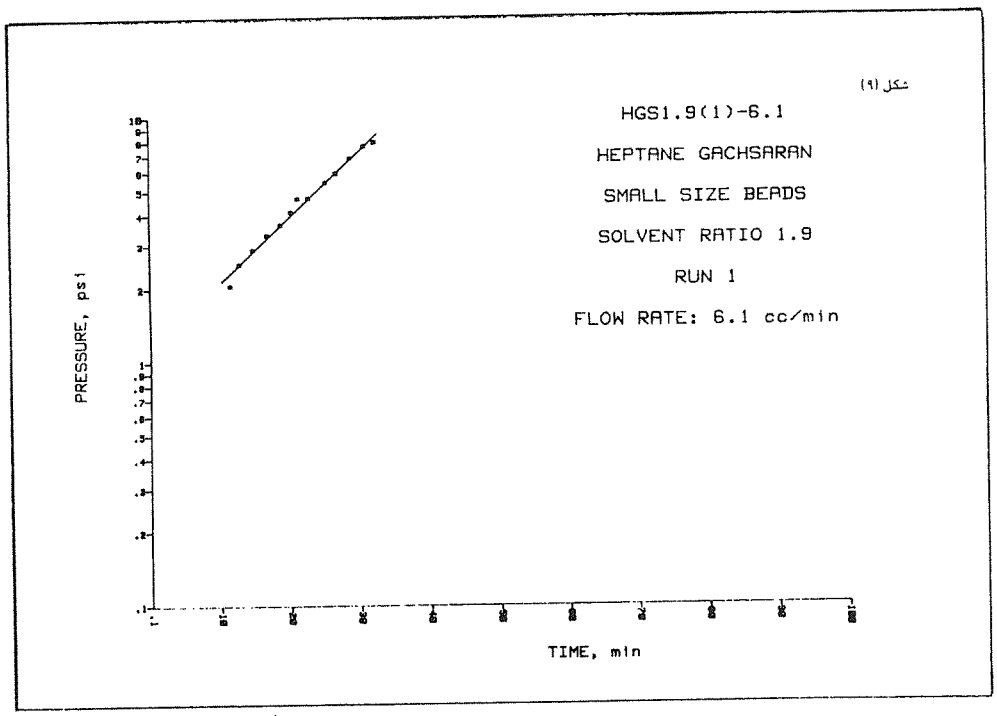
شکل (۷)


HGM1.9(1)-9.1
HEPTANE GACHSARAN
MEDIUM SIZE GLASS BEED
SOLVENT RATIO 1.9
RUN 1
FLOW RATE: 9.1 cc/min
PRESSURE, psi
TIME, min

شکل (۸)


HGS1.9(1)-9.1
HEPTANE GACHSARAN
SMALL SIZE GLASS BEAD
SOLVENT RATIO 1.9
RUN 1
FLOW RATE: 6.1 cc/min
PRESSURE, psi
TIME, min

شکل (۹)


HGS1.9(1)-6.1
HEPTANE GACHSARAN
SMALL SIZE BEADS
SOLVENT RATIO 1.9
RUN 1
FLOW RATE: 6.1 cc/min
PRESSURE, psi
TIME, min

پاورقی :

1. Stochastic Pure–birth Process
2. Deep–bed Filter
3. Permeability
4. Polyaromatic
5. Granular
6. Trajectory
7. Stochastic
8. Expected Value
9. Packed bed
10. Superficial velocity
11. Particle diameter
12. Glass bead

منابع :

1. J. W. Bunger and Norman C.L.I. *"Chemistry of Asphaltenes"* American Chemical Society, Washington D.C. 1981.
2. *"Experimental study of Deep Bed Filtration: A Stochastic Treatment"* A.I.Ch. E, March 1984 (Vol. 30 No.2)

۳. نیک آذر، منوچهر. پروژهٔ پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد. تهران– دانشگاه صنعتی امیرکبیر. دانشکده مهندسی شیمی و پلیمر. ۱۳۶۵.