



Providing a Laboratory Method to Control Sand Production by Creating Compressive Strength and Minimizing the Permeability of Sand Formation

Ehsan Khamsehchi^{*1}, Amir Mirzayi¹, Mahmoud Akbari¹ and Reza Doosti²

1. Department of Petroleum Engineering, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran

2. Mahshahr Campus, Amirkabir University of Technology, Mahshahr, Iran

khamsehchi@aut.ac.ir

DOI:10.22078/PR.2022.4770.3141

Received: April/03/2022

Accepted: April/25/2022

Introduction

Hundreds of oil and gas fields around the world are affected by the problem of sand production, and millions of dollars are also spent every year to predict and control sand production maintenance wells and facilities. Researches have shown that approximately 70% of the world's oil production comes from unconsolidated reservoirs [1]. In unconsolidated reservoirs, when the fluid flows through the porous medium, the sand particles are separated from the reservoir rock, and they move along with the fluid. As a result, this phenomenon leads to the production of sand along with the production fluid [2]. The sand production can cause erosion of the tubing, surface, subsurface facilities, as well as block the production of fluid flow [3].

Sand control methods include chemical consolidation method, mechanical sand control methods, and combination of mechanical and chemical methods [4]. Due to the challenges which are caused by the mechanical method (costly and time-consuming), nowadays, the method that is being developed and used is chemical consolidation methods [5]. In such method, by injecting chemicals into the formation, this approach consolidates the formation around the wellbore. These chemicals act like glue and prevent the movement of sand grains [6], but filling a part of pore throat decreases permeability of formation [7]. Generally, chemical methods can be divided into two groups: 1) sand consolidation (injection

of consolidating fluid) [8], 2) sand agglomeration (reducing electrostatic charge) [9].

In this study, the sand sample was mixed with different percentages of resin and hardener, the cross-link agent, which is suitable for improving resin, and, after the process of curing—the stage where all cross-links between polymer chains are established and polymer networks are formed and the polymer system turns into solid state—suitable cores were cut to measure different properties. Each of the cores was tested for two important characteristics: absolute permeability and compressive strength.

Materials

The samples of sand, formation water, and oil used in this study were prepared from Ahvaz oil field in Khuzestan province located in the southwest of Iran. After checking the properties of oil and formation water, the API grade of oil was reported as 29.5, and the pH and salinity of formation water were reported as 5.2 and 180000 ppm, respectively. X-ray diffraction (XRD) and X-ray fluorescence spectroscopy (XRF) tests were also used to better identify the type of sand formation. According to the XRD test, the phases in the sand sample include quartz, halite, anhydrite, and albite minerals, which quartz makes up more than 90% of the sand formation.

The resin used in this research to consolidate the sand is water-based resin, and it is produced by a solution polymerization method during an endothermic process

ارائه یک روش آزمایشگاهی کنترل تولید ماسه با ایجاد مقاومت فشاری و حداقل کاهش نفوذپذیری سنگ مخزن

احسان خامه‌چی^{۱*}، امیر میرزایی^۱، محمود اکبری^۱ و رضا دوستی^۲

۱- دانشکده مهندسی نفت، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

۲- پردیس دانشگاهی ماهشهر، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ماهشهر، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۰۵

چکیده

تولید ماسه در مخازن ماسه سنگی به دلیل آسیب‌ها و مشکلات اقتصادی که به همراه دارد، موضوعی اساسی در برخی میدان‌های نفت و گاز به شمار می‌رود. تولید ماسه منجر به وقوع مشکلات پرشماری از جمله فرسایش تجهیزات زیرزمینی و روزمینی، آسیب‌های زیست‌محیطی، کاهش و وقفه در تولید و گاهی از دست دادن چاه می‌شود. بنابراین کنترل تولید ماسه از چاه‌های دارای تولید ماسه بسیار مهم است. تا کنون روش‌های مختلفی از جمله مکانیکی و شیمیایی برای کنترل تولید ماسه ارائه و انجام شده‌اند که در روش‌های شیمیایی از طریق تزریق سیال پلیمری همچون انواع رزین، ژل پلیمرها و ... سازند ماسه‌ای تحکیم می‌یابد. در پیشینه تحقیق، اقدام و آزمایش‌های انجام شده در استفاده از انواع رزین‌های مختلف جهت تحکیم مخازن ماسه سنگی، نتیجه‌های حاصل شده نشان‌دهنده موفقیت‌آمیز بودن تزریق رزین بوده است. در بیشتر موارد رزین‌های پایه حلال مورد استفاده قرار گرفته‌اند، که به دلیل برطرف کردن نگرانی‌های زیست‌محیطی، ایمنی و هزینه‌های اقتصادی ناشی از بهره‌گیری از این نوع رزین‌ها امروزه رزین‌های پایه آبی بیشتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. هدف اصلی این مطالعه ارائه نوعی رزین پایه آبی که علاوه بر ایجاد مقاومت فشاری و کاهش اندک تراوایی، در مقایسه با رزین‌های پایه حلال سازگار با محیط زیست بوده و از نظر بهداشت و ایمنی موثر و کارآمد است. روش انجام آزمایش‌ها به این صورت است که با ترکیب نمودن مقدار درصدهای مختلف و معینی از رزین، سخت‌کننده مناسب آن و نمونه ماسه تولیدی، نمونه‌های مختلف مغزه ساخته شد. مغزه‌های ساخته شده جهت اندازه‌گیری تراوایی و مقاومت فشاری آزمایش شدند. آزمایش‌های انجام گرفته نشان دادند که سیال مورد استفاده توانایی مقاوم‌سازی ماسه را داشته و مقادیر مقاومت فشاری و تراوایی باقی‌مانده با تغییر مقدار ترکیب درصد رزین و سخت‌کننده آن نیز تغییر می‌کنند.

کلمات کلیدی: مخازن ماسه سنگی، کنترل تولید ماسه، مقاومت فشاری، تراوایی، رزین



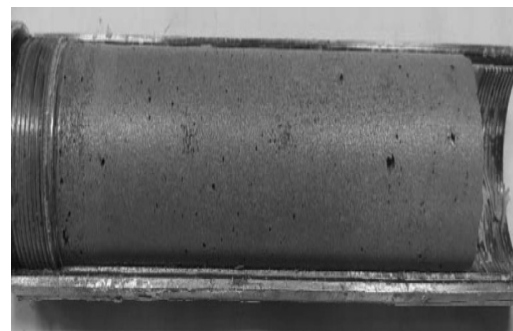
شکل ۳ محفظه فولادی مورد استفاده جهت تحکیم ماسه

جدول ۳ مشخصات و اندازه مغزه‌های تشکیل شده

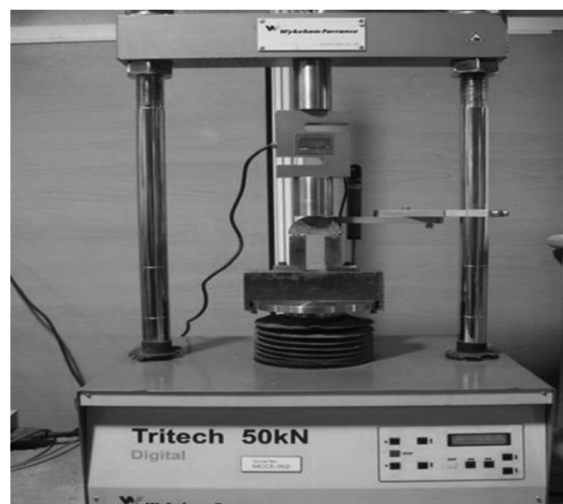
| شماره مغزه | مقدار رزین (%) | مقدار سخت کننده (%) | طول مغزه (mm) | قطره مغزه (mm) |
|------------|----------------|---------------------|---------------|----------------|
| ۱ | ۳۵ | ۲ | ۷۴/۵۹ | ۳۸/۳۳ |
| ۲ | ۲۵ | ۲ | ۸۶/۴۹ | ۳۸/۱۲ |
| ۳ | ۱۵ | ۲ | ۸۲/۰۱ | ۳۸/۷۰ |
| ۴ | ۳۵ | ۱ | ۸۳/۷۷ | ۳۷/۸۷ |
| ۵ | ۳۵ | ۰/۵ | ۷۲/۵۳ | ۳۸/۷۰ |



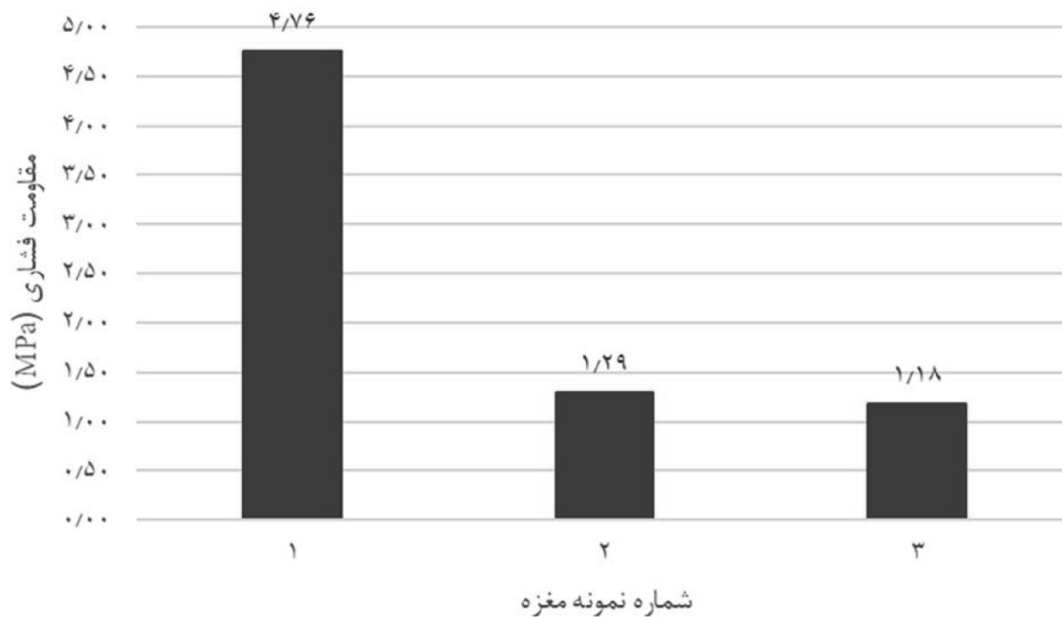
شکل ۵ دستگاه تراوانسج جهت اندازه‌گیری تراوایی



شکل ۴ نمونه مغزه تحکیم یافته توسط رزین



شکل ۶ دستگاه جک تری تک جهت اندازه‌گیری مقاومت فشاری



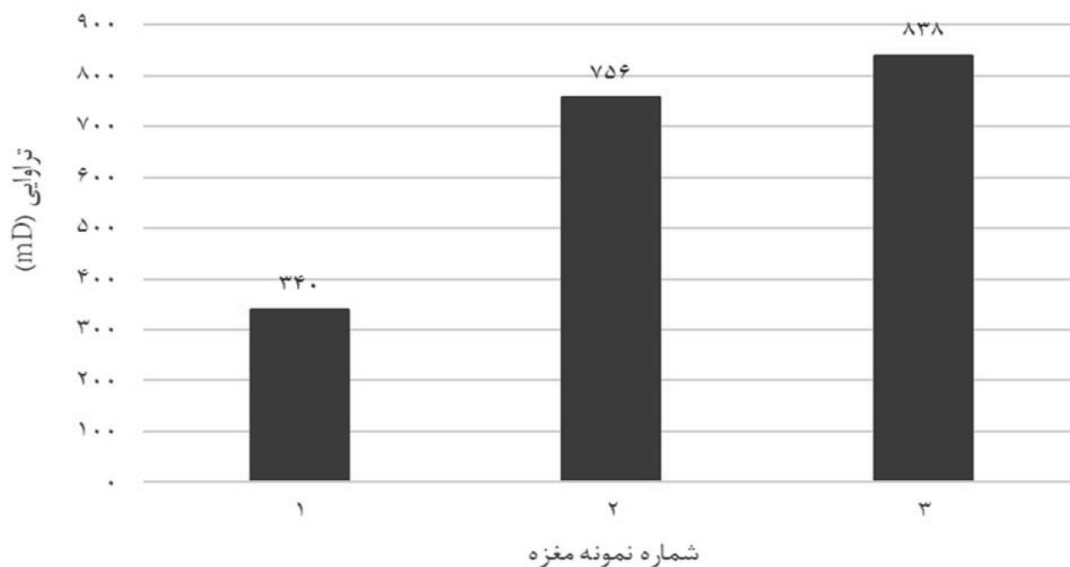
شکل ۷ مقادیر مقاومت فشاری مغزه براساس درصد‌های مختلف رزین در ترکیب با نمونه ماسه سازندی

است. پس با این وجود می‌توان یکی از نمونه‌های ۲ یا ۳ را که نمایانگر مقادیر ۲۵ و ۱۵٪ رزین هستند به‌عنوان مقدار بهینه گزارش نمود که در این امر باید به مسائل فنی و اقتصادی توجه ویژه شود، اما با توجه به اینکه مغزه شماره ۲ تراوایی قابل توجهی داشته و مقاومت فشاری آن نیز نسبت به نمونه ۱ از مقدار بالاتری برخوردار است، می‌توان آن را به‌عنوان مقدار بهینه در نظر گرفت.

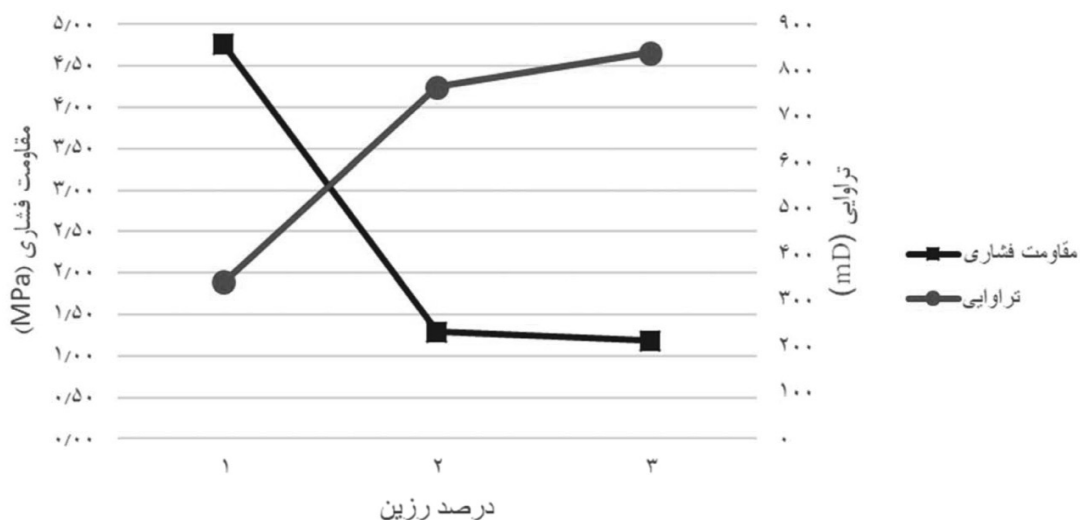
تاثیر مقدار سخت‌کننده

به‌طور کلی اکثر رزین‌ها و مواد پلیمری که در صنایع مختلف به‌کار گرفته می‌شوند به‌صورت تک جزئی نبوده و برای آن که به‌طور موثری به‌کار گرفته شوند به یک ماده شیمیایی به نام سخت‌کننده یا عامل پخت نیاز دارند. جزء دوم که تحت عنوان سخت‌کننده به‌کار گرفته می‌شود اثرات زیادی برروی استحکام نهایی رزین و مدت زمان پخت آن دارد. از طرفی برای استفاده از سخت‌کننده باید مقدار بهینه آن مشخص شود زیرا اگر مقدار این جزء از مقدار بهینه مورد نیاز بیشتر باشد نه تنها باعث افزایش استحکام رزین نهایی پخت شده نمی‌شود.

یکی دیگر از مباحثی که در این پژوهش به آن پرداخته شد اندازه‌گیری مقادیر تراوایی نمونه مغزه‌های حاصل شده در درصد‌های مختلف رزین نسبت به مقدار نمونه ماسه سازندی بود. همان‌طور که در شکل ۸ نیز قابل مشاهده است، با افزایش درصد رزین از ۱۵٪ (مغزه شماره ۳) به ۳۵٪ (مغزه شماره ۱) تراوایی نمونه مغزه به مقدار قابل توجهی کاهش می‌یابد. کاهش تراوایی با افزایش مقدار رزین موجود در سیستم به این علت است که فضای بین ذرات ماسه کوچک بوده و پس از آن که رزین در این فضاها قرار گرفت و پخت شد، باعث کاهش قطر فضا‌های موجود بین دانه‌ها شده و مقدار تراوایی نیز کاهش می‌یابد. شکل ۹ مقادیر مقاومت فشاری و تراوایی نمونه مغزه را در درصد‌های مختلف رزین نسبت به ماسه سازندی نشان می‌دهد. در نمودار مربوط به مغزه شماره ۱ که مقدار رزین ۳۵٪ وزنی ماسه‌سازندی می‌باشد مقدار مقاومت فشاری نسبت به نمونه‌های دیگر بالاتر بوده ولی تراوایی نمونه که مهم‌ترین کمیت در اجرای موفق یک عملیات مقاوم‌سازی به‌کمک رزین‌ها می‌باشد نسبت به دیگر نمونه‌ها کمتر



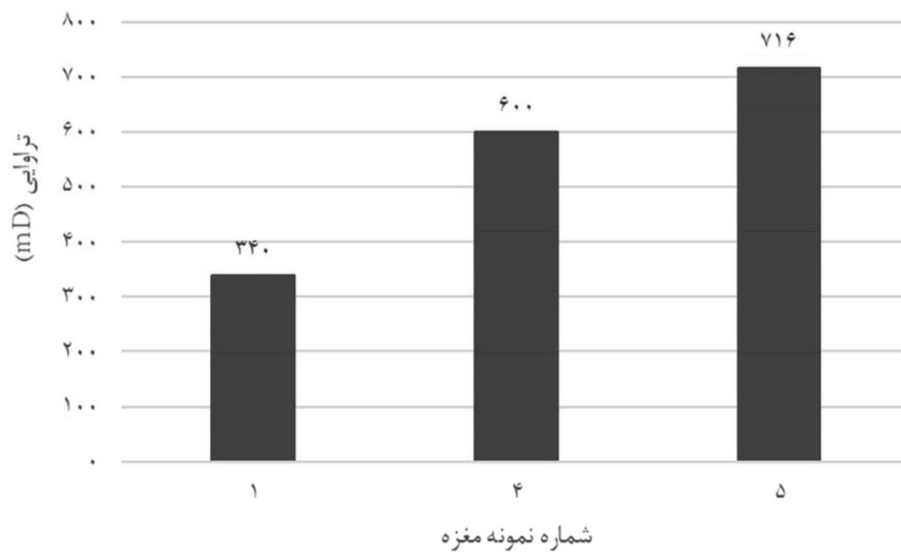
شکل ۸ مقادیر تراوایی نمونه مغزه براساس درصد های مختلف رزین در ترکیب با ماسه سازندی



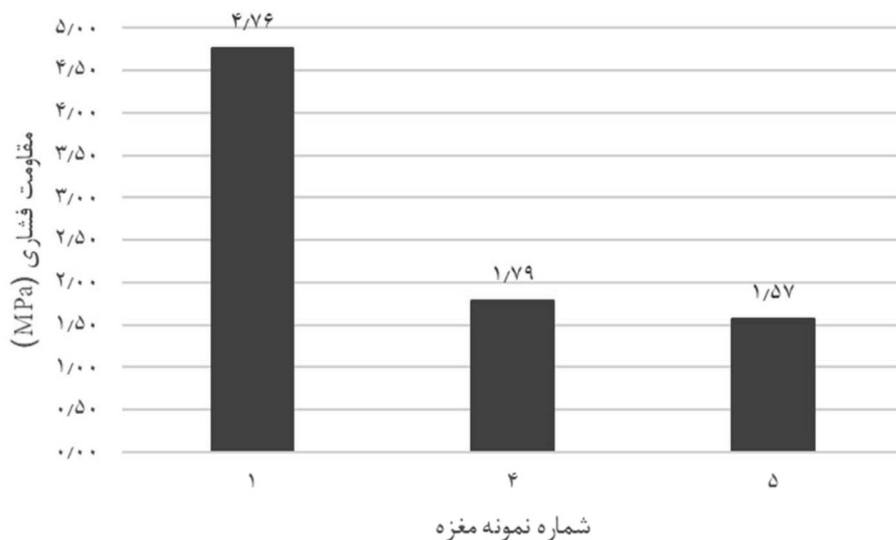
شکل ۹ مقایسه مقادیر مقاومت فشاری و تراوایی نمونه مغزه‌ها براساس درصد مختلف رزین در ترکیب با ماسه سازندی

شکل‌های ۱۰ و ۱۱ تغییرات تراوایی و مقاومت فشاری را در حالتی نشان می‌دهد که درصد رزین موجود در مغزه‌های شماره ۱، ۴ و ۵ برابر با ۳۵٪ وزن ماسه بوده و مقادیر سخت‌کننده به کار گرفته شده نیز در سه مقدار ۰/۵، ۱ و ۲٪ متغیر می‌باشد. مغزه‌های ۱، ۴ و ۵ به ترتیب نشان‌دهنده مقادیر ۲، ۱ و ۰/۵٪ سخت‌کننده می‌باشد. براساس شکل ۱۰ با کاهش مقدار سخت‌کننده از ۲٪ (مغزه شماره ۱) به ۰/۵٪ (مغزه شماره ۵) مقدار تراوایی افزایش چشم‌گیری پیدا کرده است.

بلکه باعث می‌شود زنجیره‌های پلیمری با سرعت بسیار بالایی تشکیل شوند و استحکام نهایی رزین کاهش پیدا می‌کند و همچنین فرآیند عملیات میدانی را با مشکل روبرو سازد. در سمت مقابل اگر مقدار سخت‌کننده بیش از حد کم باشد کمکی به پخت رزین نمی‌کند و در نتیجه مقاومت سازی به‌خوبی انجام نمی‌پذیرد. در این پژوهش سعی بر آن بود تا اثر مقدار سخت‌کننده بر مقاومت نهایی و تراوایی نمونه مغزه پخت شده مورد بررسی قرار گیرد.



شکل ۱۰ تغییر تراوایی نمونه مغزه با تغییر مقدار سخت‌کننده



شکل ۱۱ تغییرات مقاومت فشاری نمونه مغزه با تغییر مقدار سخت‌کننده

می‌شود تا فضاهای خالی بین ذرات ماسه مسدود شده و یا قطر آنها کاهش پیدا کند که در نتیجه این موارد مقدار تراوایی نمونه کاهش پیدا می‌کند. به‌طور کلی مقادیر مقاومت فشاری و تراوایی نمونه مغزه‌هایی که تحت تحکیم با رزین‌ها قرار می‌گیرند رفتاری عکس یکدیگر دارند. به این صورت که هر عاملی باعث شود مقدار مقاومت فشاری نمونه سنگ و یا ذرات شن و ماسه تحکیم یافته افزایش یابد باعث کاهش مقدار تراوایی می‌شود.

در واقع با افزایش مقدار سخت‌کننده، مقدار رزین نهایی پخت شده افزایش پیدا کرده و باعث کاهش تراوایی شود. به‌طور کلی با اضافه کردن سخت‌کننده به رزین زنجیره‌های پلیمری تشکیل شده و فرآیند پخت آن آغاز می‌گردد. حال با افزایش مقدار عامل سخت‌کننده زنجیره‌های پلیمری بیشتر و بزرگتری شکل می‌گیرد که این پدیده باعث افزایش مقاومت رزین پس از پخت می‌شود و مقدار رزین پخت شده را نیز افزایش می‌دهد. افزایش مقدار رزین پخت شده باعث

- [15]. Mendez A, Johnson D, Kakadjian S (2011) Use of zeta potential to maximize sand free rate: a new approach on sand control, in Brasil Offshore, OnePetro.
- [16]. Mishra S, Ojha K (2016) Nanoparticle induced chemical system for consolidating loosely bound sand formations in oil fields, *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 147: 15-23.
- [17]. Kalgaonkar R, Chang F (2017) Self-assembling nanoparticles: a unique method for downhole sand consolidation, in SPE Annual Technical Conference and Exhibition, OnePetro.
- [18]. Shakiba M, Khomehchi E, Fahimifar A, Dabir B (2020) A mechanistic study of smart water injection in the presence of nanoparticles for sand production control in unconsolidated sandstone reservoirs, *Journal of Molecular Liquids*, 319: 114210.
- [۱۹]. رجبی م، هاشمی ش، صالحی ع (۲۰۲۰) غربال‌گری روش‌های مهار ماسه برای یکی از چاه‌های جنوب غرب ایران با استفاده از الگوریتم تاپسیس. پژوهش نفت، ۳۰، ۹۹-۴: ۱۱۷-۱۰۵.
- [20]. Scheidegger A E (2020) The physics of flow through porous media, in *The Physics of Flow Through Porous Media* (3rd Edition), University of Toronto press.
- [21]. Turk N, Dearman W (1986) A correction equation on the influence of length-to diameter ratio on the uniaxial compressive strength of rocks, *Engineering Geology*, 22, 3: 293-300.