



Imam Khomeini International University
Vol. 7, No. 4, Winter 2022



نشریه مهندسی منابع معدنی
Journal of Mineral Resources Engineering
(JMRE)

Research Paper

Design of A Sand Production Control System Using Particle Size Distribution Analysis in Two Oil Reservoirs in Southwestern Iran

Ghobadi H.¹, Riahi S.^{2*}, Nakhaee R.³, Madadzadeh A.⁴

- 1- Ph.D, Dept. of Petroleum Engineering, Kish International Campus, University of Tehran, Kish, Iran
- 2- Professor, Institute of Petroleum Engineering, School of Chemical Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Iran
- 3- Assistant Professor, Institute of Petroleum Engineering, School of Chemical Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Iran
- 4- M.Sc, Institute of Petroleum Engineering, School of Chemical Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Iran

Received: 11 Mar. 2021

Accepted: 15 May 2021

Abstract: Sand production is one of the serious challenges in the petroleum industries all around the world which could damage the productivity of wells. In this regard, laboratory methods are being conducted to control sand production before using sand controlling systems or conventional methods to control sand production in wells or reservoirs. Particle size distribution (PSD) is essential to perform laboratory experiments needs. PSD is determined by screening and laser granulation analysis or wetting sieve device. In this paper, the PSD of sand particles from core samples in 18 wells has been analyzed. Selected wells and their PSD of cores represent a wide range of wells with sand production problems in two important oil reservoirs in southwestern Iran. The sand PSD in these samples has been analyzed statistically. Among the 18 samples discussed, 4 had moderately well-sorting, 5 moderately sorting, 7 poorly sorting, and 2 very poorly sorting. The average value of the uniformity coefficient of sand particles in the samples was equal to 2.568, indicating the uniformity of the analyzed sands. The 0.614 to 1.2495 mm was determined as a minimum and maximum size to estimate the size of the slot width for designing coupons of the sand retention teste (SRT)s apparatus. The results of this study can be used in the design and selection of sand production control devices.

Keywords: Sand Production, Sand Control, Particle Size Distribution (PSD), Sand Production Control Devices, Sand Retention Test (SRT).

How to cite this article

Ghobadi, H., Riahi, S., Nakhaee, A., and Madadzadeh, A. (2022). "Design of a sand production control system using particle size distribution analysis in two oil reservoirs in southwestern Iran". Journal of Mineral Resources Engineering, 7(4): 39-57.

DOI: [10.30479/JMRE.2021.15215.1498](https://doi.org/10.30479/JMRE.2021.15215.1498)

*Corresponding Author Email: riahi@ut.ac.ir

COPYRIGHTS



©2022 by the authors. Published by Imam Khomeini International University.

This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

INTRODUCTION

The best samples of the reservoir rock are obtained by using the continuous coring method utilizing appropriate tools and precise control upon sampling operations based on measuring the cores and their distances [1].

Selley proved that the particle size of sediment is the most essential physical property of that sediment, which is measured and classified by a wide variety of methods [2]. Wentworth introduced a classification approach based on sediment particle size, which is widely accepted in the scientific community [3]. Krumbein used the Wentworth classification scales to provide a logarithmic classification, generally termed as phi (ϕ), which is derived from Equation 1. In this article, Wentworth and Krumbein classifications are used and the terminologies of clay, silt, sand and gravel are by these classifications in terms of size [4].

$$\phi = \log_2^d \quad (1)$$

Where:

d : is the diameter of sediment particles (mm).

The number of filter apertures is correlated according to the Tyler standard and the Phi scale (ϕ) [2-5]. The novelty of this research is the detailed statistical analysis of PSD curves including clay, silt, sand, and gravel on a case-by-case basis in two oil reservoirs of southwestern Iran. Its results could be used in making liners (coupons) with slot width for use in SRT devices.

METHODS

In this study, the properties of 18 core samples taken from the wells located in sandstone reservoirs A and M were used. Based on the petrophysical evaluation of the sampled wells, they are mainly composed of pure sand, shale sand, carbonate sand shale and shale and have very good distribution in porosity.

The sand samples taken from the southwestern Iranian oil reservoir were carefully weighed in the first stage and then the RP58 standard was used to remove the undesired oleic materials were removed by ethanol. In the next step, the sediment was dried and the Lewis and Makonchi method was implemented to remove residual organic materials and carbonate cement between the sediment particles. In addition, before granulation by sieving, the sample was placed in an ultrasonic device for 15 minutes to separate the stuck clay particles [6]. Wetting sieve and granulation by laser are two methods applied to granulate the samples. The wetting sieve method was used for particles larger than 0.0625 mm and the laser granulation method was performed for silt and clay particles that are smaller than 0.0625 mm.

The granulation data obtained from the wetting sieve and the laser granulation devices were processed and combined with the aid of related software(Sediment Size). This software is designed based on Folk tables in 1974 and determines parameters such as gravel percentage, sand, silt, clay, sediments type and statistical parameters such as mean, mode, and median, etc. Then, the tables of results obtained from the integrated granulation of the sample taken from the wells are examined and, in these tables, the sizes of different categories of particles are prepared based on millimeters and Phi. Also, the weight and weight percentage of each category are determined and finally, the accumulated weight percent of different categories is determined [7]. The data obtained from the screening analysis are plotted as the frequency distribution of the weight percent of the particles according to their size range. Another parameter that is determined in the particle size distribution is the uniformity factor, which represents the uniformity of the particle distribution. This factor is defined in Equation 2.

$$C = \frac{d_{40}}{d_{90}} \quad (2)$$

Where:

d_{40} and d_{90} : represent 40 % and 90 % diameters, respectively.

C : illustrates the uniformity factor. For $C > 3$ the sand type is uniform and otherwise, it is non-uniform[8].

FINDINGS AND ARGUMENT

In this study, screening tests and important parameters are shown for 18 samples taken from two oil reservoirs in southwestern Iran. In the next step, the samples were divided into two categories to obtain the

design curve of the sand lining system for future tests. As shown in Figure 1, the values of the diameters at the 10, 40, 50, and 90 percent are calculated. According to this curve, the critical size and sand particle size are calculated.

Screening analysis of particle size distribution based on the data in Table 1 and Figure 1 is intended to use the information obtained in future experiments of this research. The sand retention test device has been designed and built for the lab-scale investigation of the effect of critical factors in controlling sand production and particle migration according to Figure 2. To do so, sand samples are placed inside the device, at the first stage. It is then injected into a sand holding chamber by injecting a fluid containing brine with various salinities or oil using a diaphragm pump. Before placing the different perforated liner in the sand storage chamber, the samples are analyzed for grain size distribution and then this test is replicated for the sands and output particles to replace the designed coupon as a restraint system. Sand should be properly designed and measured. This device is designed to use multi-layered sand controlling systems such as liner sand controllers. Many laboratory and field studies determine the size of the sieve holes as sand controllers. Cobrily suggested one of the preliminary studies to determine the size of the sieve based on the sand particle size of the formation, where the upper limit of the sieve's hole width is twice the particle size at 10% ($W_s \leq 2.d_{10}$) [9]. Because of the associated problems and failures during the study, based on the design of such a system, Suman et al. suggested another standard, which states that the distance between the wires should be less than or equal to the size of a sand particle at 10% ($W_s \leq d_{10}$) [10]. Kaye introduced a power function called the fraction distribution of the particle size [11]. Fermaniuk presented the width of the mesh hole at the minimum to be equal to twice the particle size at 70% and the maximum to be at 3.5 times the particle size at 50% as follows [12,13]:

$$2d_{70} < W_s < 3.5d_{50} \tag{3}$$

Where:

d_{70} and d_{50} : represent 70 % and 50 % diameters, respectively.

Table 1. Determining the slot width (mm)

Fermaniuk method		Suman method	Coberly method	Average sample
the most	The least			
1.6821	0.8726	1.213	2.466	Group 1
0.84	0.3708	0.46	0.92	Group 2
1.2495	0.614	0.8163	1.6326	Total

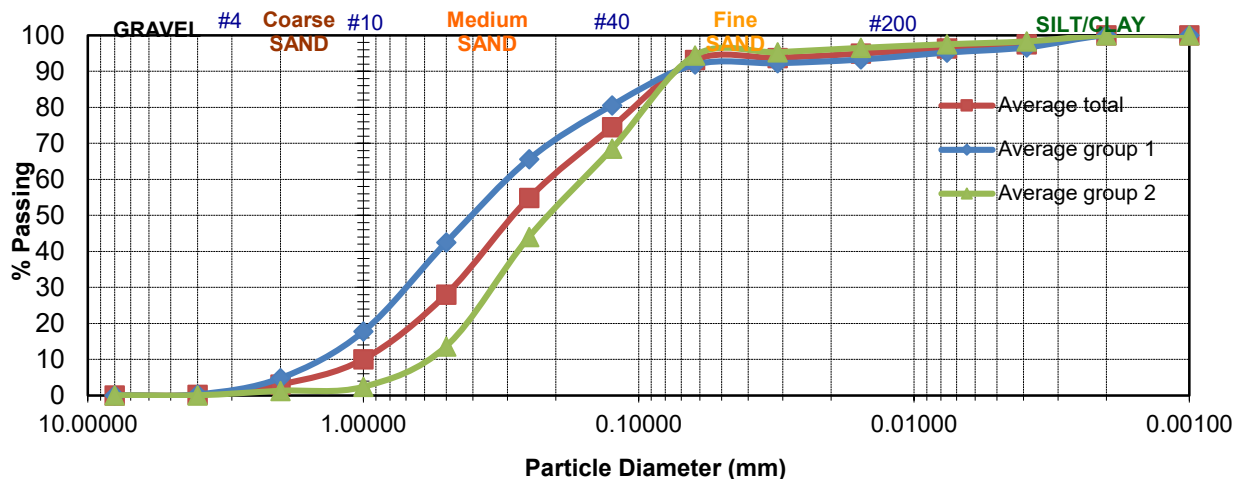


Figure 1. The average of groups 1, 2, and the total cumulative grains diameter distribution curve



Figure 2. A: SCRT sand storage device (HP-HT) and **B:** barometers

CONCLUSIONS

1. Based on the results obtained from 18 well samples (core), the classification to determine the particle size distribution is presented with a good approximation.

2. Determining the PSD is basic in this research especially for designing methods of controlling sand production and sand retention experiments. Considering the selected samples and determining the PSD in the two main groups, the overall averaging of the data covers the screening analysis and PSD in two important reservoirs in southwestern Iran.

3. Among the 18 samples, 4 had moderately well-sorting samples, 5 moderately sorting samples, 7 poorly sorting samples, and 2 very poorly sorting samples.

4. The 0.614 to 1.2495 mm was determined as the minimum and maximum size to estimate the size of the slot width to design the coupon of SRT.

5. Considering the processing and integration of data and statistical studies and determining the calculated diameters at 10, 40, 50, 70 and 90%, a good agreement is observed in most of the data, which is widely used to determine and the mesh size design in the well that can be used to control sand production or in a sand retention testing machine.

6. PSD was identified for values smaller than 40 microns, including 5% of fine particles, which should be considered in future experiments with this device.

7. The average value of the sand particles uniformity factor in the samples was equal to 2.569, which indicates the uniformity of the analyzed sandstones since this factor is less than 5.

8. To estimate the size of the aperture or mesh, Fermaniuk's method and model are recommended due to the coverage of a wide range of sand data.

9. The impact of flooding and the ionic effect of brine on sand production must be included in future researches because the average amount of clay in the samples is usually more than 5%.

REFERENCES

- [1] Matanovic, D., C'ikes, M., and Moslavac, B. (2012). "Sand Control in Well Construction and Operation". Springer Environmental Science and Engineering, 22-26 and 49-54.
- [2] Selley, R. (2000). "Applied sedimentology, Academic Press". pp. 523.
- [3] Wentworth, C. K. (1922). "A scale of grade class terms for clastic sediments". Journal of Geology, 30: 377-392.
- [4] Krumbein, W. C. (1934). "Size frequency distributions of sediments, Journal of Sedimentary Petrology".4: 65-77.
- [5] Lewis, D. W., and McConchie, D. (1994). "Analytical sedimentology". Chapman & Hall, pp. 197.
- [6] Houshmand, H., Taheri, M. R., and Amiri, H. (2018). "Granulation analysis of Produced Sand Samples Well". NIOC (National Iranian Oil Company), Report No. P-83438.
- [7] Folk, R. L. (1954). "The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary rock nomenclature".

Journal of Geology, 62: 344-359.

- [8] Isfahani, M. R., and Hashemi, S. M. (2008). "*Determination of Formation Grain Size Distribution in an Iranian Sandstone Field*". Petroleum Research, 18(57): 17-24.
- [9] Coberly, C. J. (1937). "*Selection of screen openings for unconsolidated sands*". American Petroleum Institute, In Drilling and Production Practice.
- [10] Suman, G. O. Jr., Ellis, R. C., and Snyder, R. E. (1983). "*Sand control handbook*". 2nd Edn. Gulf Publishing, Houston.
- [11] Kaye, B. H. (1993). "*Fractal dimensions in data space; new descriptors for fine particle systems*". Particle & Particle Systems Characterization, 4(10): 191-200.
- [12] Fermaniuk, B. (2013). "*Sand Control in Steam Assisted Gravity (SAGD) Wellbores (Unpublished master's thesis)*". University of Calgary, Calgary, AB. DOI: 10.11575/PRISM/27707.
- [13] Fattahpour, V., Maciel, V., Mahmoudi, M., Chen, K., Nouri, A., and Leitch, M. (2017). "*Classification of Alberta Oil Sand Based on Particle Size Distribution for Sand Control Design and Experimental Application*". Society of Petroleum Engineers, SPE-185000-MS.



طراحی سامانه مهار تولید ماسه به کمک آنالیز توزیع اندازه ذرات در دو مخزن نفتی جنوب غربی ایران

حسین قبادی^۱، سیاوش ریاحی^{۲*}، علی نخعی^۳، علی مددی زاده^۴

- ۱- دکتری، گروه مهندسی نفت، پردیس بین المللی کیش، دانشگاه تهران، تهران
۲- استاد، انستیتو مهندسی نفت، دانشکده مهندسی شیمی، دانشکده فنی، دانشگاه تهران، تهران
۳- استادیار، انستیتو مهندسی نفت، دانشکده مهندسی شیمی، دانشکده فنی، دانشگاه تهران، تهران
۴- کارشناسی ارشد، انستیتو مهندسی نفت، دانشکده مهندسی شیمی، دانشکده فنی، دانشگاه تهران، تهران

پذیرش: ۱۴۰۰/۰۲/۲۵

دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۲۱

چکیده

تولید ماسه از چاه‌های نفت و گاز، پدیده‌ای است که برداشت از بسیاری از میادین هیدروکربوری را با چالش جدی مواجه می‌کند. از این رو، شیوه‌های آزمایشگاهی گوناگونی برای طراحی دقیق‌تر سامانه‌ها و روش‌های کنترل تولید ماسه درون چاه یا مخزن توسعه یافته‌اند. معمولاً برای طراحی بسترهای متخلخل کنترل تولید ماسه، ابتدا مغزه‌هایی از درون چاه تهیه می‌شود، سپس توزیع اندازه ذرات به کمک دستگاه الک تر و دانه‌بندی لیزری تعیین می‌شود. بستر ماسه‌ای باید به گونه‌ای طراحی شود که با دانه‌بندی سازند مطابقت داشته باشد. هر چند محدودیت‌های عملیاتی و اقتصادی باعث می‌شود که با استفاده از چند نمونه آنالیز توزیع اندازه ذرات ماسه، محدوده اندازه دانه‌بندی ذرات ماسه برای استفاده در تحقیقات آزمایشگاهی آتی با هدف تعیین پارامترهای تاثیرگذار بررسی شود. در این مقاله، نمونه‌های مغزه از ۱۸ حلقه چاه مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. توزیع اندازه ذرات ماسه در این نمونه‌ها مورد تحلیل دقیق آماری قرار گرفته است. از میان ۱۸ نمونه مورد بحث تعداد ۴ نمونه جورشدگی خوب متوسط و ۵ نمونه جورشدگی متوسط و ۷ نمونه جورشدگی بد و ۲ نمونه جورشدگی بسیار بد داشته‌اند. مقدار متوسط ضریب یکنواختی ذرات ماسه در نمونه‌ها معادل ۲,۵۶۸ تعیین شد که بیانگر یکنواختی ماسه‌های آنالیز شده است. برای تخمین اندازه روزنه توری و به کارگیری آن در کوبن دستگاه نگهداشت ماسه میزان اندازه کمینه و بیشینه حدود ۰,۶۱۴ تا ۱,۲۴۹۵ میلی‌متر تعیین شد. نتایج این پژوهش ممکن است در طراحی و انتخاب سامانه‌های کنترل تولید ماسه استفاده شود.

کلمات کلیدی

تولید ماسه، کنترل ماسه، توزیع اندازه ذرات، سامانه‌های مهار شن، دستگاه آزمایش نگهداشت ماسه.

استناد به این مقاله

قبادی، ح، ریاحی، س، نخعی، ع، مددی‌زاده، ع؛ ۱۴۰۱؛ "طراحی سامانه مهار تولید ماسه به کمک آنالیز توزیع اندازه ذرات در دو مخزن نفتی جنوب غربی ایران". نشریه مهندسی منابع معدنی، دوره هفتم، شماره ۴، ص ۵۷-۳۹.

DOI: 10.30479/JMRE.2021.15215.1498



۱- مقدمه

بهترین راه برای شناسایی مشخصات سنگ مخزن، تهیه مغزه به کمک ابزار مناسب و کنترل صحیح عملیات نمونه‌گیری بر اساس اندازه‌گیری فواصل مغزه‌ها است. به دلیل ناهمگنی افقی و عمودی سازند، مغزه‌گیری تصادفی در سازندهای غیریکنواخت ماسه‌ای کافی نیست. در چنین شرایطی، حتی مغزه‌گیری از فواصل نزدیک به هم، اطلاعات کافی خوبی را به دست نمی‌دهد. مغزه‌گیری از کل فاصله و آنالیز نمونه‌ها در فواصل منظم (یک فوتی) به طور جدی توصیه شده است. هنگامی که سازندها یکنواخت‌اند، استفاده از نمونه‌هایی با فاصله بیشتر از هم (۳ تا ۶ متر) ممکن است. [۱]

Selley اثبات کرد که اندازه ذرات تشکیل‌دهنده یک رسوب، برجسته‌ترین ویژگی فیزیکی آن رسوب است که به روش‌ها و طبقه‌بندی‌های متفاوت و گسترده‌ای اندازه‌گیری می‌شود [۲]. Lewis و Selley، Whalley و همکاران اثبات کردند که اگرچه فهم اندازه ذرات رسوبی آسان است، اما اصول یافتن روش دقیقی برای اندازه‌گیری ذرات رسوبی کار مشکلی است. این اندازه‌گیری معمولاً از روی بزرگترین قطر ذرات رسوب انجام می‌گیرد [۳، ۴]. Wentworth طبقه‌بندی بر اساس اندازه ذرات رسوب را ارائه داد که به طور گسترده مورد استقبال قرار گرفت. بر اساس این طبقه‌بندی ذرات رسوبی از ریز به درشت به ترتیب به گروه‌های رس، سیلت، ماسه و گراول تقسیم‌بندی می‌شوند. این طبقه‌بندی بر اساس میلی‌متر و به گونه‌ای است که در آن حد هر درجه از اندازه ذرات، دو برابر بزرگتر از حد درجه کوچکتر قبلی است [۵، ۶]. Krumbein مقیاس‌های طبقه‌بندی و نتورث استفاده کرد، یک طبقه‌بندی لگاریتمی ارائه داد و آن را فی (ϕ) نام‌گذاری کرد که این پارامتر از رابطه ۱ به دست می‌آید. در این مقاله از طبقه‌بندی و نتورث و کرومبین استفاده شده است و واژه‌های رس، سیلت، ماسه و گراول از نظر اندازه مطابق با این طبقه‌بندی‌اند.

$$\phi = \log_2^d \quad (1)$$

که در آن:

d: قطر ذرات رسوبی (میلی‌متر) است.

تعداد سوراخ‌های صافی طبق استاندارد تیلر و مقیاس فی (ϕ) ارتباط داده شده‌اند [۷، ۸].

مطالعات محدود انجام شده در مخازن نفتی جنوب غربی ایران بر روی محدوده اندازه دانه‌بندی ذرات ماسه از نمونه‌های

مغزه با هدف استفاده از اطلاعات آن در آزمایش‌های آتی برای شناسایی فاکتورها و عوامل موثر بر تولید ماسه هدف اصلی این مقاله بوده است. از این رو نوآوری این پژوهش با به کارگیری تحلیل دقیق آماری توزیع اندازه دانه‌بندی ذرات شامل رس، سیلت، ماسه و گراول در دو مخزن نفتی جنوب غربی ایران به عنوان مطالعه موردی و در نهایت بهینه‌سازی سامانه‌های مهار شن^۱ در آزمایشگاه با دستگاه طراحی و ساخته شده نگهداشت ماسه^۲ در گام‌های بعدی و ادامه تحقیق در آتی است.

۲- پیشینه تحقیق

اصفهانی و همکاران مطالعه نحوه توزیع ذرات در یکی از میادین ماسه‌ای ایران برای طراحی سیستم آستره شنی استفاده کردند [۹]. فتاح پور و همکاران بر طبقه‌بندی ماسه‌های نفتی آلبرتا بر اساس توزیع اندازه ذرات، روش جدیدی برای طبقه‌بندی ماسه‌های نفتی بر اساس مقدار D ارائه کردند [۱۰]. فتاح‌پور و همکاران نشان دادند مقادیر اندازه D به دست آمده از منحنی توزیع اندازه ذرات^۲ معمولاً برای تعیین اندازه تجهیزات سامانه کنترل تولید شن به کار رفته در چاه‌های حفاری شده در ماسه سنگ‌های سست و یا مستحکم استفاده می‌شوند. همچنین چندین معیار برای تعیین اندازه توری بر اساس پارامترهای توزیع اندازه دانه‌بندی ذرات ارائه شده است [۱۱]. محمودی و همکاران مشخصات دقیق نمونه‌های ماسه نفتی به دست آمده از دو چاه در سازند McMurray را ارائه و ثابت کردند که شکل دانه و توزیع اندازه دانه‌بندی ماسه نفتی را می‌توان با ماسه‌های تجاری همانندسازی کرد [۱۲]. روستایی و همکاران انتخاب توزیع اندازه دانه‌بندی ذرات ماسه بر اساس اطلاعات آن برای میدان بیکر، کالیفرنیا، در سیستم مهار شن از نوع گراول پک با استفاده از دستگاه نگهداشت ماسه ارائه شده است [۱۳]. محمودی و همکاران کاربرد تعیین اندازه و شکل ذرات در طراحی روشی برای کنترل تولید شن را بررسی کردند، نتایج نشان می‌دهد که شن و ماسه تولید شده از آستری‌های (کوپن‌های) مختلف با عرض شیار و تراکم شیارهای مختلف، مشابه دارد و نسبتاً ریزتر از پک شن و ماسه اصلی است. تجزیه و تحلیل‌ها بر روی فاکتورهای شکل ظاهری شن و ماسه تولید شده نشان دادند که دانه‌های تولید شده کروی تر از پک شن و ماسه‌اند، این بدین معنا بود که دانه‌های کروی تر تمایل بیشتری برای تولید شدن دارند. اهمیت عواملی مانند شکل ذرات در طراحی روشی برای کنترل تولید شن که در آن ذرات شن تولید شده دارای کرویت بالاتری نسبت

بود، استفاده شد. نمونه‌های ماسه گرفته شده از مخزن نفتی جنوب غربی ایران در مرحله اول به دقت توزین شدند. برای حذف مواد نفتی آغشته به آن، مطابق استاندارد RP58 عمل شده و مواد نفتی به کمک محلول اتانول حذف شدند. شکل ۱-الف یک نمونه از جدایش فاز هیدروکربنی از رسوبات پس از اعمال روش استاندارد را نشان می‌دهد. در مرحله بعد، رسوب را خشک کرده و از روش Lewis و همکاران برای حذف مواد آلی باقیمانده و سیمان کربناته بین ذرات رسوبی استفاده شد. همچنین پیش از آغاز دانه‌بندی به روش الک، برای جدایش ذرات رسی که به هم چسبیده‌اند، مطابق شکل ۱-ب نمونه به مدت ۱۵ دقیقه درون دستگاه اولتراسونیک قرار داده شد [۲۳-۱۶].

۳-۲- آنالیز دانه‌بندی و روش کار

برای دانه‌بندی نمونه‌ها از دو روش دانه‌بندی الک تر و دانه‌بندی لیزری استفاده شده است. برای ذرات بزرگتر از ۰٫۰۶۲۵ میلی‌متر، روش دانه‌بندی الک تر و برای ذرات سیلت و رس که کوچکتر از ۰٫۰۶۲۵ میلی‌متر هستند از دانه‌بندی لیزری استفاده شد [۲۳-۱۶].

۳-۲-۱- روش دانه‌بندی الک تر

در این روش از پنج الک با قطرهای ۰٫۰۶۲۵، ۰٫۱۲۵، ۰٫۲۵، ۰٫۵ و ۱ میلی‌متر و دستگاه الک تر استفاده شد. پس از گذشت

به دانه‌های شن سیستم مهار شن از نوع گراول پک را نشان دادند. با این حال، در معیارهای طراحی فعلی برای طراحی توری تاثیر شکل ذرات نادیده گرفته می‌شود [۱۴]. قاسمی و همکاران اندازه، شکل و کانی‌شناسی ذرات از ویژگی‌های اولیه شن و ماسه سنگ به حساب می‌آیند. در اکثر روش‌های اندازه‌گیری اندازه ذرات، اندازه کروی معادل برای ذرات در نظر گرفته می‌شود و به عامل شکل ذرات توجهی نمی‌شود. آنها نشان دادند که برای توزیع اندازه دانه‌بندی ذرات و شکل ذرات می‌توان از تصاویر میکرواسکن اشعه ایکس استفاده کرد [۱۵]. نوآوری این تحقیق، آنالیز آماری دقیق منحنی‌های توزیع اندازه دانه‌بندی ذرات شامل رس، سیلت، ماسه و گراول به صورت موردی در دو مخزن نفتی جنوب غربی ایران به صورت تجمیع شده است و پس از تعیین مقادیر D استفاده از این اطلاعات برای به کارگیری اندازه‌های تعیین شده در ساخت آستری (کوپن) با عرض شیار و تراکم شیارهای بهینه، برای استفاده در دستگاه نگهداشت ماسه که طراحی و ساخته شده است. در نهایت هدف بررسی عوامل و فاکتورهای موثر بر تولید ماسه در شرایط مخزن در برنامه‌های آتی این پژوهش است.

۳-۳- مواد، روش آزمایشگاهی و تجهیزات

۳-۱- آماده‌سازی نمونه

در این پژوهش از نتایج داده‌های ۱۸ نمونه مغزه که از عمق سازند تولیدی ماسه سنگ در مخازن نفتی A و M گرفته شده



(ب)

(الف)

شکل ۱: (الف) جدایش فاز هیدروکربنی از رسوبات پس از اعمال روش استاندارد API RP 58 و استفاده از محلول اتانول، (ب) دستگاه اولتراسونیک برای جدایش رس‌های فلو کوله شده و دستگاه الک تر [۲۳-۱۶]

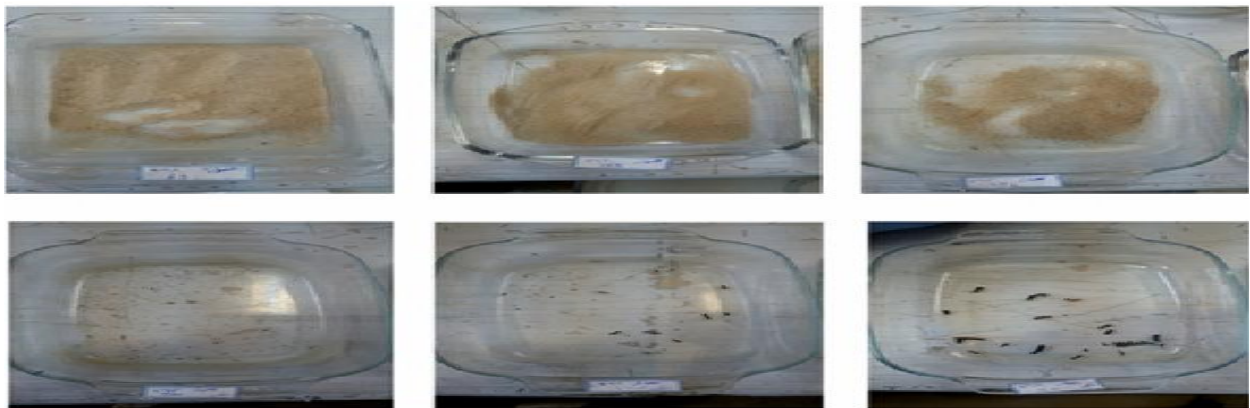
شرکت Fritsch آلمان مطابق شکل ۳ برای دانه‌بندی ذرات کوچکتر از ۰٫۰۶۲۵ میلی‌متر انجام شد. همزمان با بارگذاری نمونه در استوانه دستگاه، مقداری پیروفسفات سدیم برای جدایش رس‌ها از یکدیگر به سیال دارای ذرات گل (مجموع ذرات در اندازه سیلت و رس) اضافه می‌شود. نمونه چند ساعت به همان حالت باقی‌مانده و سپس به وسیله دستگاه دانه‌بندی لیزری مطابق شکل ۳ مورد آنالیز قرار می‌گیرد. اصول کار این دستگاه بر اساس اشعه لیزر و میزان پراکنش آن است [۱۶-۲۳].

۳۰ دقیقه از شروع دانه‌بندی، در مرحله اول ذرات بزرگتر از ۶۳ میکرون بر حسب اندازه ذرات تفکیک شده و ذرات کوچکتر از این اندازه درون ظرف تشت مانند، تخلیه می‌شوند.

شکل ۲ یکی از نمونه‌های اخذ شده را نشان می‌دهد و در مرحله بعد ذرات جمع شده بر روی الک‌ها پس از جداسازی در داخل آون خشک شده و در نهایت پس از توزین، مقدار درصد وزنی ماسه و گراول نمونه به دست می‌آید [۱۶-۲۳].

۳-۲-۲- روش دانه‌بندی لیزری

این آنالیز با دستگاه دانه‌بندی لیزری (LPS) ساخت



شکل ۲: نمونه‌های اخذ شده از درون یک حلقه چاه در یکی از میادین جنوب غربی ایران پس از دانه‌بندی به روش الک تر [۱۶-۲۳]



شکل ۳: دستگاه Laser Particle Sizer Analysette 22 برای دانه‌بندی ذرات ریزتر از ۶۳ میکرون [۱۶-۲۳]

۳-۳- پردازش و تلفیق داده‌های دانه‌بندی

داده‌های دانه‌بندی به دست آمده از دستگاه الک تر و دستگاه لیزر با یکدیگر و با کمک نرم‌افزار سدیمنت سائز مطابق شکل ۴ مورد پردازش و تلفیق قرار گرفت. این نرم‌افزار بر اساس جداول Folk طراحی شده و تعیین‌کننده پارامترهایی از قبیل درصد گراول، ماسه، سیلت، رس، تیپ رسوبات و پارامترهای آماری مانند میانه، مد و میانگین و نظایر آن است، سپس جداول نتایج حاصل از دانه‌بندی تلفیقی نمونه اخذ شده از چاه‌ها بررسی و در این جداول اندازه رده‌های مختلف ذرات بر اساس میلی‌متر و فی تهیه می‌شود. همچنین وزن و درصد وزنی هر رده مشخص شده و در نهایت درصد تجمع وزنی رده‌های مختلف مشخص می‌شود. داده‌های حاصل از آنالیز غربالگری به صورت توزیع فراوانی درصد وزنی ذرات بر حسب محدوده اندازه آنها، ترسیم می‌شود. یکی از نتایج حاصل از پردازش و تلفیق داده‌های دانه‌بندی منحنی تجمعی است که این منحنی از جمع کردن درصد وزنی ذرات اندازه‌گیری شده در یک رده با درصد وزنی اندازه ذرات در رده قبلی حاصل می‌شود به نحوی که اندازه ذرات بر روی محور X و مجموع درصد وزنی ذرات رده‌های مختلف بر روی محور Y قرار می‌گیرند. همچنین میزان هم

اندازه بودن ذرات یک رسوب را جورشدگی می‌نامند که در این مطالعه به وسیله فرمول ضریب جورشدگی تراسک (Trask's sorting coefficient) رابطه ۲ یا فرمول انحراف معیار ترسیمی جامع فولک رابطه ۳، بر اساس مقیاس فی محاسبه می‌شود. ضریب تراسک که در مقیاس میلی‌متری است و فقط قسمت وسط منحنی را به دست می‌دهد، در گذشته تنها روش اندازه‌گیری جورشدگی بوده است.

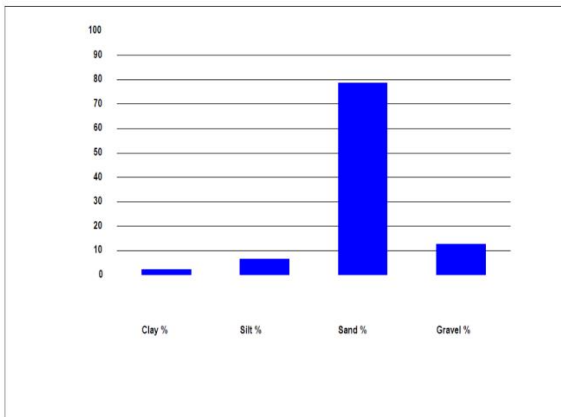
$$So = \sqrt{\frac{M_{m25}}{M_{m75}}} \quad (2)$$

که در آن:

M_{m25} : قطر نقاط با اندازه ۲۵ درصد منحنی اندازه تجمعی
 M_{m75} : قطر نقاط با اندازه ۷۵ درصد منحنی اندازه تجمعی

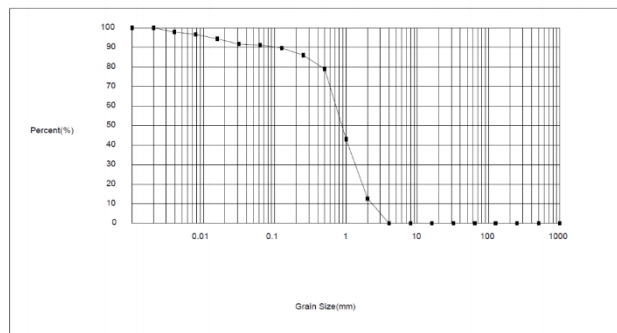
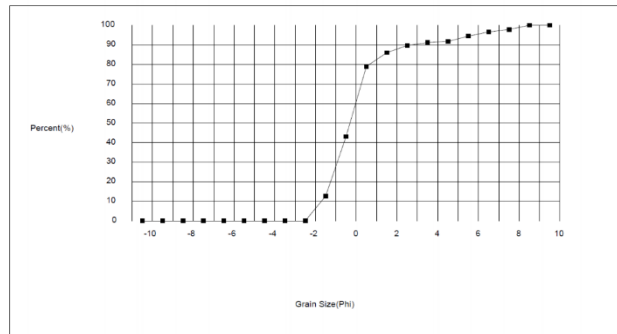
So : ضریب جورشدگی تراسک است.

در جدول‌های ۱ و ۲ به ترتیب محاسبات جورشدگی و مقایسه دو مخزن بر حسب انحراف معیار ترسیمی جامع فولک ارایه شده است.



Clay = 2.157 %	Silt = 6.647 %	Sand = 78.533 %	Gravel = 12.662 %
----------------	----------------	-----------------	-------------------

Name of Sample = Gravelly Muddy Sand
 Average(MZ)= 0.161-
 Kurtosis= 2.172 (very leptokurtic)
 Median= 0.307-
 Inclusive Graphic Standard Deviation= 1.842 (Bad Sorting)
 Inclusive Graphic Skewness= 0.355 (Strongly fine Skewed)



شکل ۴: نمونه‌ای از پارامترهای آماری ارایه شده به وسیله نرم‌افزار سدیمنت سائز (Sediment Size) (نمونه A16) [۲۳-۱۶]

جدول ۱: پارامترهای آماری محاسبه شده از آنالیز غربالی برای نمونه‌های مورد آزمایش [۲۳-۱۶]

Name of Sample	Kurtosis, K	Size MZ, (mm)	Average Grain Size, (MZ)	Median, ϕ_{50}	Skewness, SK	Sorting, IGSD (σ_1)	شماره نمونه
M. Sand	۰,۶۵۹		۴,۶۲۸	۳,۴۱۵	۰,۵۲۶	۲,۳۹۱	۱۰ -A
M. sand	۲,۱۷۲	۱,۱۰۰	-۰,۱۶۱	-۰,۳۰۷	۰,۳۵۵	۱,۸۴۲	۱۶ -A
Sand	۰,۸۷۴		۰,۳۱۲	۰,۳۳۱	-۰,۱۰۵	۰,۸۲۱	۲۴ -A
Sand	۱,۰۳۲	۰,۳۳۰	۱,۵۸۲	۱,۶۱۸	-۰,۰۵۵	۰,۹۳۲	۲۵ -A
Sand	۰,۹۱۷	۰,۳۹	۱,۳۳۳	۱,۳۱۳	-۰,۰۶۱	۰,۸۱۷	۳۴ -A
Sand		۰,۷۵۷	۰,۵۸۰	۰,۶۴۱	-۰,۱۳۸	۰,۶۱۳	۳۸ -A
G. sand	۰,۸۸۰	۱,۲۰۰	-۰,۲۶۴	-۰,۱۶۵	۰,۰۳۲	۱,۵۳۷	۳۹ -A
G. sand	۱,۷۰۴	۰,۱۹۰	۲,۳۷۷	۲,۵۵۵	۰,۰۴۸	۱,۴۱۸	۹۲ -A
Sand	۰,۸۷۹	۰,۱۷۹	۲,۶۸۲	۲,۶۴۸	-۰,۳۳۵	۰,۸۳۷	۹۴ -A
M. sand	۲,۱۰۱	۰,۱۶۰	۲,۶۴۶	۲,۱۳۵	۰,۲۶۱	۲,۵۰۰	۴ -M
Sand	۰,۸۵۰	۰,۳۸۰	۱,۳۷۱	۱,۲۷۹	۰,۱۵۲	۰,۶۹۸	۸ -M
G. Sand	۰,۹۶۵	۰,۳۴۴	۱,۵۳۹	۱,۵۳۱	۰,۰۴۵	۰,۸۲۹	۶ -M
Sand	۰,۸۴۶	۰,۳۳۱	۱,۵۹۲	۱,۶۳۲	۰,۰۱۹	۰,۷۱۰	۱۸۹ -M
G. sand	۱,۰۶۰	۰,۲۱۰	۲,۲۱۱	۲,۲۰۰	۰,۱۴۹	۱,۲۴۴	۱۹۷ -M (الف)
Sand	۲,۵۷۳	۰,۱۵۶	۲,۶۸۶	۲,۸۶۱	-۰,۱۸	۱,۰۷۸	۱۹۷ -M (ب)
Sand	۰,۶۳۶	۰,۲۲۱	۲,۱۷۵	۲,۴۰۸	-۰,۲۸۴	۱,۰۲۱	۱۹۸ -M
Sand	۱,۳۱۱	۰,۴۸۶	۱,۰۴۰	۱,۰۴۰	۰,۱۰۰	۰,۵۱۴	۱۰ -M
Sand	۰,۵۸۹		۲,۲۷۲	۲,۶۶۷	-۰,۴۷	۱,۰۳۳	۱۱ -M

جدول ۲: درجه جورشدگی معیار فولک [۲۳-۱۶]

تعداد نمونه جورشدگی در مخزن M	تعداد نمونه جورشدگی در مخزن A	مقدار انحراف معیار (فی)	انحراف معیار ترسیمی جامع فولک
-	-	کمتر از ۰,۳۵	جورشدگی بسیار خوب
-	-	۰,۳۵ - ۰,۵	جورشدگی خوب
۳	۱	۰,۷۱ - ۰,۵	جورشدگی خوب متوسط
۱	۴	۱ - ۰,۷۱	جورشدگی متوسط
۴	۳	۲ - ۱	جورشدگی بد
۱	۱	۴ - ۲	جورشدگی بسیار بد
-	-	بیشتر از ۴	جورشدگی بی‌نهایت بد
۹	۹		مجموع

$$IGSD = \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{4} + \frac{\phi_{95} - \phi_5}{6.6} \quad (3)$$

که در آن:

ϕ_{84} : در مقیاس فی نقاط ۸۴ درصد

ϕ_{16} : در مقیاس فی نقاط ۱۶ درصد

ϕ_{95} : در مقیاس فی نقاط ۹۵ درصد

ϕ_5 : در مقیاس فی نقاط ۵ درصد

IGSD: انحراف معیار ترسیمی جامع فولک است.

مقدار جورشدگی محاسبه شده برای نمونه‌های مورد

مطالعه به صورت جورشدگی متوسط تا بد برای نمونه‌های مورد

آزمایش ارائه شد. از میان ۱۸ نمونه مورد بحث تعداد ۴ نمونه

جورشدگی خوب متوسط و ۵ نمونه جورشدگی متوسط و ۷

نمونه جورشدگی بد و ۲ نمونه جورشدگی بسیار بد داشته‌اند.

یکی دیگر از پارامترهای مورد بررسی کج‌شدگی یا چولگی

است که تعریف آن عبارت است از نامتقارن یا نامتجانس بودن

منحنی توزیع نرمال ذرات تشکیل‌دهنده یک رسوب و برای

تعبیر و تفسیر محیط رسوبی و فرآیندهای موثر در حمل و

نقل ذرات مورد استفاده قرار می‌گیرد. فولک معیاری بر اساس

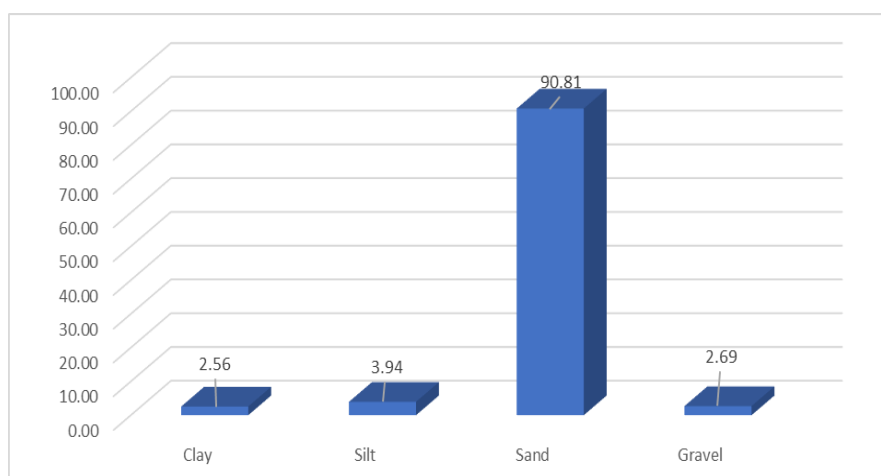
مقیاس فی برای محاسبه میزان کج‌شدگی ارائه کرد که بر مبنای آن، میزان چولگی در نمونه‌های مورد مطالعه نیز بررسی گردید. ضمن اینکه نام‌گذاری بر اساس ذرات نیز بر پایه مقدار

میانگین اندازه ذرات، کشیدگی و نام گذاری ذرات که از پردازش و تلفیق داده‌ها به دست می‌آید، ارزیابی شده است. در جدول یاد شده میانگین اندازه ذرات که بیانگر حد متوسط اندازه کل ذرات رسوب است با نام اختصاصی آن در جدول آورده شده است. در جدول ۳ و شکل ۵ میزان درصد ذرات رس،

گراول و نسبت ماسه به گل است که در این مقاله منظور از گل، مجموع مقدار سیلت و رس است که به صورت نموداری مثلثی توسط فولک تعیین شده و به اختصار در جدول ۱، ارزیابی گردید. در جدول ۱ به ترتیب کلیه اطلاعات آماری نمونه‌ها شامل مقادیر پارامترهای ضریب جورشدگی، عدم تقارن، میانه،

جدول ۳: درصد فراوانی ذرات در وزن کل نمونه مورد آزمایش [۲۳-۱۶]

شماره نمونه	درصد رس	درصد سیلت	درصد ماسه	درصد گراول
۱۰ -A	۲۳,۸۶۹	۲۲,۳۸۹	۵۳,۳۳۵	۰,۴۰۷
۱۶ -A	۲,۱۵۷	۶,۶۴۷	۷۸,۵۳۴	۱۲,۶۶۲
۲۴ -A	۰	۰	۹۹,۸۰۰	۰,۲۰۰
۲۵ -A	۰,۲۹۲	۰,۲۲۹	۹۹,۱۱۲	۰,۳۶۷
۳۴ -A	۰,۶۹۶	۱,۹۹۱	۹۷,۳۱۳	۰
۳۸ -A	۰	۰	۱۰۰	۰
۳۹ -A	۱,۸۷۵	۲,۵۷۸	۷۰,۹۹۲	۲۴,۵۵۵
۹۲ -A	۲,۷۵۴	۴,۸۹۶	۹۰,۴۶۹	۱,۸۸۰
۹۴ -A	۱,۶۱۵	۱,۶۱۸	۹۶,۷۷۷	۰
۴ -M	۵,۹۹۲	۱۳,۳۳۸	۷۲,۷۱۴	۷,۹۵۶
۸ -M	۲,۲۳۱	۰,۲۷۶	۹۷,۴۷۶	۰,۰۱۷
۶ -M	۰,۲۵۵	۰,۵۶۷	۹۷,۴۰۷	۱,۷۷۱
۱۸۹ -M	۰,۳۱۹	۰,۶۷۸	۹۸,۵۱۰	۰,۴۹۴
۱۹۷ -M (الف)	۲,۵۵۹	۳,۴۴۷	۹۳,۹۹۴	۰
۱۹۷ -M (ب)	۰,۶۴۲	۱۲,۲۰۵	۸۷,۰۷۲	۰,۰۸۱
۱۹۸ -M	۲,۳۷۰	۱,۱۰۰	۹۵,۸۹۶	۰,۶۳۳
۱۰ -M	۰,۱۸۹	۰,۷۵۱	۹۹,۰۶۰	۰
۱۱ -M	۰,۸۷۸	۲,۲۲۴	۹۶,۸۹۸	۰



شکل ۵: نمودار فراوانی میزان درصد ذرات رس، سیلت، ماسه و گراول نسبت به وزن کل نمونه [مرجع: نگارندگان]

C: ضریب یکنواختی (بدون بعد) است. نسبت ضریب یکنواختی کمتر از ۳ معرف ماسه یکنواخت و در صورتی که این نسبت بیش از ۵ باشد، معرف ماسه غیریکنواخت است.

۴- نتایج و بحث

در این بخش، نتایج مربوط به آنالیز داده‌های توزیع دانه‌بندی ماسه و تعیین اندازه سوراخ‌های توری برای ساخت آستری (کوپن) و قرار دادن آن در دستگاه نگهداشت ماسه برای فراهم کردن شرایط بعدی در آزمایشگاه مورد بحث قرار گرفته است.

سیلت، ماسه و گراول نسبت به وزن کل نمونه نشان داده شده است [۲۵،۲۴]. پارامتر دیگری که در توزیع دانه‌بندی ذرات تعیین می‌شود، ضریب یکنواختی است که نمایانگر یکنواختی توزیع ذرات است. این ضریب به صورت نسبت درصد قطر ۴۰ به درصد قطر ۹۰ مطابق با رابطه ۴ و جدول ۴ نشان داده شده است. به عبارتی درصد قطر ۴۰ و ۹۰ به ترتیب به ذرات دارای قطرهای بیش از قطر ۴۰ و ۹۰ درصد اطلاق می‌شود.

$$C = \frac{d_{40}}{d_{90}} \quad (4)$$

که در آن:

d_{40} : درصد قطر ۴۰ (میلی‌متر)

d_{90} : درصد قطر ۹۰ (میلی‌متر)

جدول ۴: بررسی پارامتر ضریب یکنواختی محاسبه شده از آنالیز غربالی نمونه‌های آزمایش (توزیع دانه‌بندی ماسه) [مرجع: نگارندگان]

$C = \frac{d_{40}}{d_{90}}$	d ₉₀		d ₇₀		d ₅₀		d ₄₀		d ₁₀		شماره نمونه
	اینچ	میلی‌متر	اینچ	میلی‌متر	اینچ	میلی‌متر	اینچ	میلی‌متر	اینچ	میلی‌متر	
۲۸،۵۷۱	۰،۰۰۰۱	۰،۰۰۰۳	۰،۰۰۰۲	۰،۰۰۰۷	۰،۰۰۰۳	۰،۰۰۶۵	۰،۰۰۰۳	۰،۰۰۸۰	۰،۰۰۰۵	۰،۱۲۵	۱۰ -A
۷،۸۵۷	۰،۰۰۰۶	۰،۱۴۰	۰،۰۲۴۰	۰،۰۶۲۴	۰،۰۳۵	۰،۹۰۰	۰،۰۴۳	۱،۱۰۰	۰،۰۸۷	۲،۲۰۰	۱۶ -A
۲،۱۶۷	۰،۰۱۲	۰،۳۰۰	۰،۰۱۶۰	۰،۴۲۰	۰،۰۲۲	۰،۵۵۰	۰،۰۲۶	۰،۰۶۵	۰،۰۵۰	۱،۳۰۰	۲۴ -A
۲،۵۹۱	۰،۰۰۹	۰،۲۲۰	۰،۰۱۳۷	۰،۳۵۰	۰،۰۱۸	۰،۴۶۰	۰،۰۲۳	۰،۵۷۰	۰،۰۳۹	۱	۲۵ -A
۲،۰۶۳	۰،۰۰۶	۰،۱۶۰	۰،۰۰۸۰	۰،۲۱۲	۰،۰۱۱	۰،۲۹۰	۰،۰۱۳	۰،۳۳۰	۰،۰۲۳	۰،۵۹۵	۳۴ -A
۱،۶۶۷	۰،۰۲۴	۰،۶۰۰	۰،۰۲۹۰	۰،۷۵۰	۰،۰۳۵	۰،۹۰۰	۰،۰۳۹	۱	۰،۰۶۶	۱،۷۰۰	۳۸ -A
۴،۲۸۶	۰،۰۱۱	۰،۲۸۰	۰،۰۱۷۰	۰،۴۵۰	۰،۳۱۵	۰،۸۰۰	۰،۰۴۸	۱،۲۰۰	۰،۱۱۸	۳	۳۹ -A
۲،۱۰۷	۰،۰۰۶	۰،۱۴۰	۰،۰۰۷۰	۰،۱۸۷	۰،۰۱	۰،۲۴۵	۰،۰۱۲	۰،۲۹۵	۰،۰۲۸	۰،۷۰۰	۹۲ -A
۲	۰،۰۰۳	۰،۰۷۰	۰،۰۰۳۶	۰،۰۹۳	۰،۰۰۵	۰،۱۱۵	۰،۰۰۶	۰،۱۴۰	۰،۰۱۲	۰،۳۰۰	۹۴ -A
۰،۸۰۵	۰،۰۰۸	۰،۲۱۲	۰،۰۱۳۲	۰،۴۳۶	۰،۰۵	۰،۴۸۰	۰،۰۲۳	۰،۵۹۶۱	۰،۰۴۷۶	۱،۲۱۳۳	متوسط گروه ۱
۲۶،۳۱۶	۰،۰۰۰۳	۰،۰۰۰۸	۰،۰۰۰۳۹	۰،۱۰۰	۰،۰۰۰۷	۰،۱۷۰	۰،۰۰۰۸	۰،۲۰۰	۰،۰۲۰	۰،۵۰۰	۴ -M
۲،۲	۰،۰۰۰۶	۰،۱۵۰	۰،۰۰۷۲	۰،۱۸۵	۰،۰۱۲	۰،۳۰۰	۰،۰۱۳	۰،۳۳۰	۰،۰۱۸	۰،۴۵۰	۸ -M
۲،۲۴	۰،۰۰۰۵	۰،۱۲۵	۰،۰۰۸۶	۰،۲۲۰	۰،۰۱	۰،۲۵۰	۰،۰۱۱	۰،۲۸۰	۰،۰۱۸	۰،۴۵۰	۶ -M
۲	۰،۰۰۰۶	۰،۱۴۰	۰،۰۰۷۰	۰،۱۸۰	۰،۰۱	۰،۲۴۰	۰،۰۱۱	۰،۲۸۰	۰،۰۱۶	۰،۴۰۰	۱۸۹ -M
۱،۴۷۱	۰،۰۰۰۳	۰،۰۶۸	۰،۰۰۳۳	۰،۰۸۴	۰،۰۰۰۴	۰،۰۹۰	۰،۰۰۰۴	۰،۱۰۰	۰،۰۱۰	۰،۲۵۰	۱۹۷ -M (الف)
۳،۴۵۵	۰،۰۰۰۲	۰،۰۵۵	۰،۰۰۳۹	۰،۱۰۰	۰،۰۰۰۶	۰،۱۶۰	۰،۰۰۰۷	۰،۱۹۰	۰،۰۱۵	۰،۳۹۰	۱۹۷ -M (ب)
۳،۴۲۹	۰،۰۰۰۳	۰،۰۷۰	۰،۰۰۳۸	۰،۰۹۹	۰،۰۰۰۶	۰،۱۴۰	۰،۰۰۰۹	۰،۲۴۰	۰،۰۱۶	۰،۴۰۰	۱۹۸ -M
۱،۵۹۶	۰،۰۱۸	۰،۴۷۰	۰،۰۲۳۰	۰،۶۰۰	۰،۰۲۸	۰،۷۰۰	۰،۰۳۰	۰،۷۵۰	۰،۰۳۵	۰،۹۰۰	۱۰ -M
۳،۵۷۱	۰،۰۰۰۳	۰،۰۷۰	۰،۰۰۳۵	۰،۰۹۰	۰،۰۴۳	۰،۱۱۰	۰،۰۱۰	۰،۲۵۰	۰،۰۱۶	۰،۴۰۰	۱۱ -M
۲،۲۶۷	۰،۰۰۰۵	۰،۱۲۸	۰،۰۰۷۰	۰،۱۸۵	۰،۰۱۴	۰،۲۴۰	۰،۰۱۱	۰،۲۹۰	۰،۰۱۸	۰،۴۶۰	متوسط گروه ۲
۲،۵۶۸	۰،۰۰۰۷	۰،۱۷۰	۰،۰۱۸۹	۰،۳۰۷۰	۰،۰۳۱	۰،۳۵۷	۰،۰۱۷	۰،۴۳۸	۰،۰۳۲	۰،۸۱۶	متوسط کل

۴-۱- مطالعات میدانی و خلاصه‌ای از دو مخزن

بر اساس نمودارهای ارزیابی مخزن (نمودارهای ارزیابی پتروفیزیکی)، آزمایش‌های روتین و پیچیده بر روی مغزه‌ها، آزمایش‌ها بر روی نمونه‌های سیال و عملکرد تولید در چاه‌های مورد بررسی و مخزن، اطلاعات لازم در جداول ۵ تا ۷ با تقریب خوبی ارائه شده است. بر اساس ارزیابی پتروفیزیکی به عمل آمده از سازند چاه‌های نمونه‌برداری شده، عمدتاً از ماسه خالص، ماسه شیلی، شیل ماسه‌ای کربناته و شیل تشکیل شده‌اند و توسعه تخلخلی خیلی خوبی دارند [۲۶-۲۸]. طبق بررسی‌های انجام شده در مخزن A از دو نوع سامانه مهار شن شامل گراول پک^۵ و توری قابل انبساط^۶ در چند حلقه چاه استفاده شد که سامانه نوع اول به دلیل افت فشار شدید تحتانی درون چاهی و مشکلات مکانیکی ستون چاه موفقیت‌آمیز نبوده است، ولی در مخزن M فقط از نوع سامانه مهار شن از نوع دوم توری قابل انبساط در تعدادی از چاه‌ها استفاده شده است.

۴-۲- آنالیز توزیع دانه‌بندی ماسه (منحنی تجمعی)

در این تحقیق از ۱۸ نمونه اخذ شده از دو مخزن نفتی جنوب غربی ایران آزمایش‌های غربالگری و به دست آوردن پارامترهای مهم نشان داده شده است. در گام بعدی برای به دست آوردن منحنی طراحی سیستم آستره شنی (کوپن) برای انجام آزمایش‌های آتی پیش‌رو نمونه‌ها به دو دسته تقسیم شدند. همان‌طور که در جدول ۴ نشان داده شد، مقادیر قطرهای در نقطه درصد ۱۰، ۴۰، ۵۰ و ۹۰ محاسبه شده و نقاط حاصل روی منحنی در شکل‌های ۶ تا ۸ با استفاده از نرم‌افزار صفحه گستر Microsoft Excel ترسیم شده‌اند. با توجه به این منحنی مقدار اندازه بحرانی و اندازه ذرات شن محاسبه می‌شود. به دلیل شباهت این دو مخزن از نظر مخزنی و ارتباط این دو مخزن به وسیله آبدۀ قوی و فعال، خوشبختانه توزیع اندازه دانه‌بندی ذرات ترسیم شده در شکل ۸ بیانگر نزدیکی مقادیر D تعیین شده است. بر همین اساس یک D

جدول ۵: مشخصات خواص سنگ مخزن [۲۶-۲۸]

مشخصات خواص سنگ مخزن												نام مخزن	
متوسط فشار منفذی سازند (Psi) در عمق مبنا		متوسط اشباع آب (درصد)		متوسط تخلخل (درصد)		نفوذپذیری عمودی (میلی داریسی)		نفوذپذیری افقی (میلی داریسی)		ضخامت لایه نفتی (متر)			عمق (متر)
بیشترین	کمترین	بیشترین	کمترین	بیشترین	کمترین	بیشترین	کمترین	بیشترین	کمترین	بیشترین	کمترین		
۳۸۴۰	۳۷۴۰	۲۰	۱۵	۲۵	۲۰	۲۲۴۰	۱۶۰	۷۹۰۰	۶۰۰	۵۰	۲	۲۸۰۰	(A)
۳۵۵۳	۳۳۸۹	۲۰	۱۵	۲۷	۱۸	۴۸۰۰	۲۷۰	۷۹۰۰	۶۰۰	۱۲۹	۶۰	۲۴۰۰	(M)

جدول ۶: مشخصات خواص سیال مخزن [۲۶-۲۸]

مشخصات خواص سیال مخزن					نام مخزن
دمای مخزن (°F)	شوری آب سازند (ppm)	حلالیت گاز در نفت (SCF/STB)	ویسکوزیته نفت (سنتی پویز)	گراویتی نفت (%API)	
۱۹۰	۲۰۰۰۰۰	۷۵۰	۳/۴۵	۳۲	(A)
۱۷۸	۲۱۵۰۰۰	۴۳۸	۱/۱۴	۲۵/۸	(M)

جدول ۷: عملکرد تولیدی مخزن [۲۶-۲۸]

عملکرد تولیدی مخزن				نام مخزن
نسبت گاز به نفت تولیدی (SCF/STB)	برش آب تولید (درصد)		متوسط تولید چاه‌ها (bbl./day)	
	نهایی	اولیه		
۷۹۱	۳۰	۰/۰۲	۲۷۰۰	(A)
۴۵۳	۳۰	۰/۰۲	۲۱۰۰	(M)

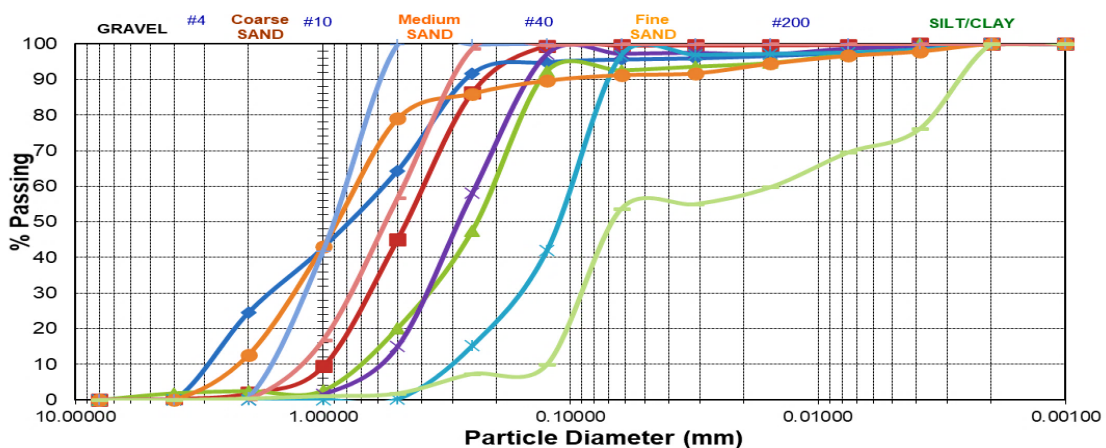
متوسط و متوسط کل برای هر دو مخزن تعیین شد.

۳-۴- استفاده از داده‌های توزیع دانه‌بندی ماسه در دستگاه آزمون نگهداشت ماسه در آزمایش‌های آتی

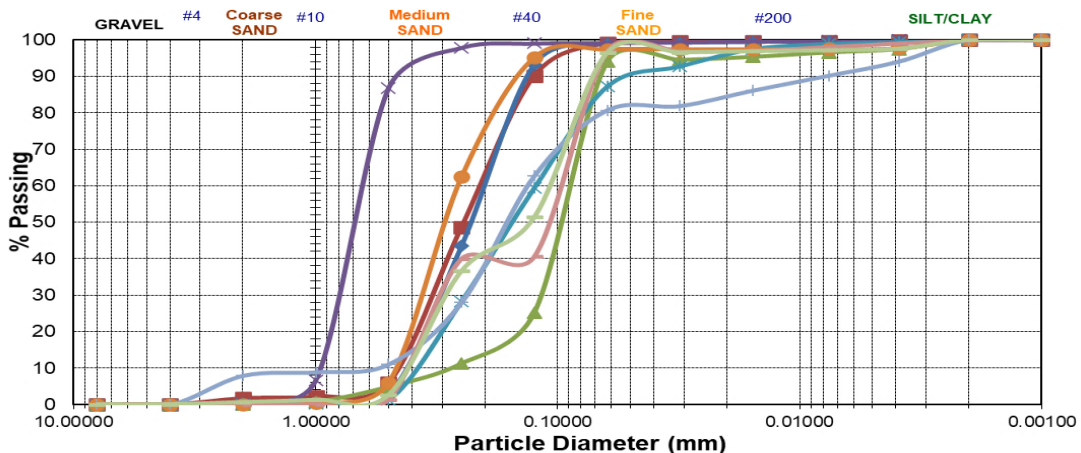
آنالیز غربال‌گری توزیع اندازه دانه‌بندی ذرات بر اساس اطلاعات جداول ۱ تا ۴ و شکل‌های ۶ تا ۸ با هدف به کارگیری اطلاعات کسب شده در آزمایش‌های آتی این تحقیق مد نظر است.

دستگاه آزمون نگهداشت ماسه که در شکل ۹ نشان داده شده است برای انجام مرحله دینامیک بررسی می‌شود. این دستگاه با هدف مطالعه آزمایشگاهی تاثیر فاکتورهای بحرانی در کنترل تولید ماسه و مهاجرت ذرات طراحی و ساخته شده

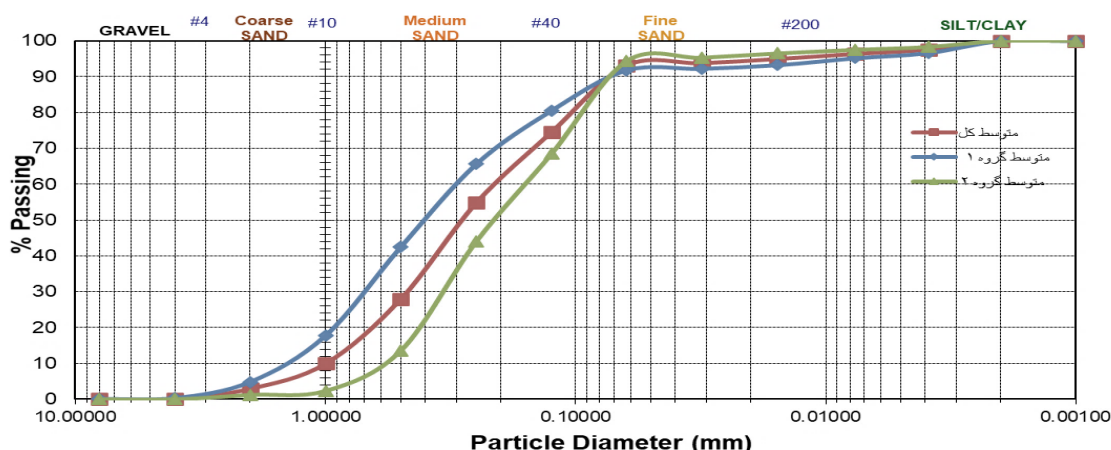
است. روش انجام آزمایش‌ها بدین صورت است که در ابتدا نمونه‌های ماسه درون محفظه دستگاه قرار داده می‌شود، سپس با تزریق سیال شامل شورآب با درجه شوری متفاوت و یا نفت با استفاده از یک پمپ دیافراگمی به درون محفظه نگهداشت ماسه استفاده می‌شود. قبل از قرارگیری آستری‌های سوراخ‌دار مختلف (کوین‌ها) درون محفظه نگهداشت ماسه از نمونه‌ها آزمایش آنالیز توزیع اندازه دانه‌بندی به عمل می‌آید و سپس این آزمایش برای ماسه‌ها و ذرات خروجی نیز تکرار می‌شود تا کوپن طراحی شده مناسب جایگزین و به عنوان سیستم و سامانه مهار شدن مناسب طراحی شود. بسیاری از مطالعات آزمایشگاهی و میدانی، به تعیین اندازه توری‌ها به عنوان کنترل‌کننده ماسه می‌پردازند. Coberly یکی از اولین



شکل ۶: منحنی تجمعی پراکندگی قطر دانه‌ها (توزیع دانه‌بندی ماسه) برای گروه ۱ [مرجع: نگارندگان]



شکل ۷: منحنی تجمعی پراکندگی قطر دانه‌ها (توزیع دانه‌بندی ماسه) برای گروه ۲ [مرجع: نگارندگان]



شکل ۸: متوسط گروه ۱، ۲ و کل منحنی تجمعی پراکندگی قطر دانه‌ها (توزیع دانه‌بندی ماسه) [مرجع: نگارندگان]

ذره ماسه در نقطه ۱۰ درصدی ($W_s \leq d_{10}$) باشد. Kaye تابعی توانی که توزیع کسری اندازه ذره نام دارد را ارایه کرد، طبق این مطالعات چهار پهنا برای مشبک‌ها مشخص شده است. بزرگترین اندازه سوراخ که اغلب انسداد شدید در آن مشاهده می‌شود با نماد $(-d)$ و کوچکترین اندازه آن با نماد $(+d)$ که تولید به صورت پیوسته در آن رخ می‌دهد. همچنین کوچکترین اندازه سوراخ که هیچ انسدادی در آن مشاهده نمی‌شود با نماد $(-d)$ و بزرگترین اندازه با نماد $(+d)$ که تولید ماسه در آن رخ نمی‌دهد، به عنوان حدود بالایی و پایینی طراحی یک توری ایده‌آل تعیین شده‌اند. در نهایت، مقدار ماسه تولید شده و حالت تولید ماسه، نسبت تراوایی و ضریب پوسته و توزیع اندازه ذرات تولید شده ماسه ثبت شده است [۲۹-۳۲]. Fermaniuk پهناهای سوراخ توری را در کمترین معادل دو برابر اندازه ذره در نقطه ۷۰ درصد و بیشترین را سه و نیم برابر اندازه ذره در نقطه ۵۰ درصد مطابق رابطه ۵ ارایه کرد [۳۳].

$$2d_{70} < W_s < 3.5d_{50} \quad (5)$$

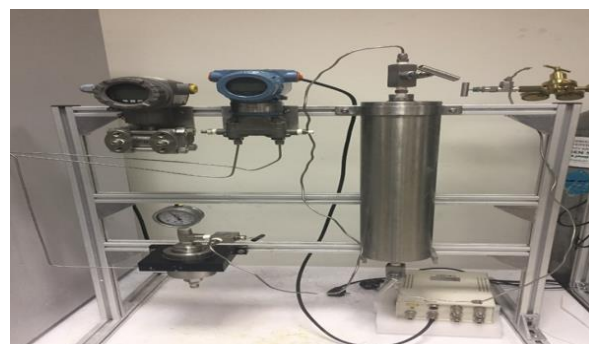
که در آن:

d_{70} : درصد قطر ۷۰ (میلی‌متر)

d_{50} : درصد قطر ۵۰ (میلی‌متر)

W_s : پهناهای سوراخ توری (میلی‌متر) است.

بر اساس داده‌های جدول ۸ محاسبات پهناهای سوراخ توری تعیین شد. در نهایت باید اذعان کرد که اندازه توری‌ها و عملکرد کارایی آنها باید از طریق روندهای آزمایشگاهی تعیین شود. در حقیقت اندازه دهانه تمام توری‌های مصرفی ماسه در



شکل ۹: دستگاه نگهداشت ماسه SCRT(HP-HT) و فشارسنج‌ها [مرجع: نگارندگان]

مطالعات انجام شده برای تعیین اندازه توری‌ها بر اساس اندازه ذرات ماسه سازند را پیشنهاد داد که حد بالای پهناهای سوراخ توری دو برابر اندازه ذره در نقطه ۱۰ درصد ($W_s \leq 2.d_{10}$) است. به دلیل مشکلات و شکست‌های حین مطالعه بر اساس طراحی چنین سیستمی Suman و همکاران پیشنهاد پهناهای دیگری دادند که فاصله بین سیم‌ها باید کمتر یا مساوی اندازه

داده‌ها و بررسی‌های آماری و تعیین میزان مقادیر قطرهای در نقطه درصد ۱۰، ۴۰، ۵۰، ۷۰ و ۹۰ محاسبه شده همخوانی خوبی در اکثر داده‌ها مشاهده می‌شود که به طور گسترده‌ای برای تعیین و طراحی اندازه روزه توری در درون چاه جهت کنترل تولید ماسه یا در دستگاه آزمایش نگهداشت ماسه به عنوان کوپن، ممکن است، مورد بهره‌برداری قرار گیرد. برای تخمین اندازه سوراخ یا روزه توری و به کارگیری آن در کوپن دستگاه نگهداشت ماسه با استفاده از داده‌های دانه‌بندی ذرات ماسه میزان اندازه کمینه و بیشینه حدود ۰/۶۱۴ تا ۱/۲۴۹۵ میلی‌متر تعیین شد. مقدار متوسط ضریب یکنواختی ذرات ماسه در نمونه‌ها معادل ۲/۵۶۸ تعیین شد که بیانگر یکنواختی ماسه‌های آنالیز شده است. همچنین توزیع اندازه ذرات برای مقادیر ریزتر از ۴۰ میکرون شناسایی شد که شامل ۵ درصد ذرات ریز بوده است که باید در آزمایش‌های آتی با دستگاه یاد شده لحاظ شود. برای تخمین اندازه سوراخ یا روزه توری روش و مدل فرمانیوک به دلیل پوشش طیف گسترده‌ای از داده‌های ماسه و کاربرد آن در طراحی روزه توری توصیه می‌شود. البته بهترین روش برای صحت و تایید کارایی روزه توری تعیین شده در آزمایشگاه با دستگاه نگهداشت ماسه طراحی شده است. همچنین بررسی کانی‌های رسی با توجه به اینکه متوسط نمونه‌ها بیش از ۵ درصد رس دارند، در نتایج سیلاب‌زنی و تاثیر یونی آب شور بر روی تولید ماسه نیز در تحقیق بعدی بررسی می‌شود.

۶- سپاس‌گزاری

بخشی از داده‌های مورد استفاده در این مطالعه توسط شرکت ملی نفت ایران، شرکت ملی مناطق نفتخیز جنوب (مدیریت امور فنی-معاونت‌های محترم زمین‌شناسی گسترشی / مهندسی نفت) که در اختیار نویسندگان قرار گرفته است. به همین دلیل بر خود لازم می‌دانیم از این شرکت تشکر نماییم.

۷- مراجع

- [1] Matanovic, D., C`ikes, M., and Moslavac, B. (2012). "Sand Control in Well Construction and Operation". Springer Environmental Science and Engineering, 22-26 and 49-54.
- [2] Selley, R. (2000). "Applied sedimentology, Academic Press". pp. 523.
- [3] Lewis, D. W., and McConchie, D. (1994). "Analytical sedimentology". Chapman & Hall, pp. 197.

محدوده $\pm 5\%$ از اندازه تخمینی واقع می‌شود. انتخاب توری‌های مستقل اساساً از طریق آزمایش‌های نگهداشت ماسه صورت می‌پذیرد. در صنعت از دو آزمایش پوشش ماسه‌ای و آزمون دوغاب استفاده می‌شود. در آزمون پوشش ماسه‌ای برای اینکه گراول یک روی توری تشکیل شود از مواد معلق با غلظت بالای ماسه سازند درون یک سیال گرانترو استفاده می‌شود، سپس سیال تمیز تحت یک اختلاف فشار معین درون آن تزریق و حجم سیال تزریقی و افت فشار محاسبه و ثبت می‌شود. مقدار کل ذرات جامد تولیدی اندازه‌گیری و عملکرد نگهداشت آنها توسط توری ارزیابی می‌شود. در آزمایش دوغاب میزان دوغاب مشخصی حاوی ماسه با غلظت کم تحت افت فشار معینی به درون توری (معمولاً کمتر از یک درصد حجمی) تزریق می‌شود.

جدول ۸: تعیین میزان پهناي سوراخ توری یا کوپن (میلی‌متر) [مراجع: نگارندگان]

متوسط نمونه	روش کوبرلی	روش فرمانیوک	
		سومن	روش
گروه ۱	۲/۴۶۶	۱/۲۱۳	کمترین
گروه ۲	۰/۹۲	۰/۴۶	بیشترین
کل	۱/۶۳۲۶	۰/۸۱۶۳	۰/۶۱۴

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله به بررسی طبقه‌بندی توزیع دانه‌بندی در دو مخزن نفتی با لیتولوژی عمدتاً ماسه در جنوب غربی ایران که از نظر مخزنی آبدار مرتبط دارند و بر اساس نتایج بر روی ۱۸ نمونه درون چاهی (مغزه) طبقه‌بندی تعیین توزیع اندازه ذرات با تقریب نسبتاً خوبی ارائه شده است. از میان ۱۸ نمونه مورد بحث تعداد ۴ نمونه جورشدگی خوب متوسط و ۵ نمونه جورشدگی متوسط و ۷ نمونه جورشدگی بد و ۲ نمونه جورشدگی بسیار بد داشته‌اند. تعیین توزیع اندازه ذرات به خصوص برای طراحی روش‌های کنترل تولید شن و آزمایش‌های مدل فیزیکی در دستگاه آزمایش نگهداشت ماسه در مراحل بعدی تحقیق کاربرد اساسی دارد. با توجه به نمونه‌های انتخابی و تعیین توزیع اندازه ذرات در دو گروه اصلی و متوسط‌گیری کلی از داده‌ها تقریباً تا حد زیادی آنالیز غربالگری و توزیع دانه‌بندی ذرات در دو مخزن مهم جنوب غربی ایران را پوشش می‌دهد. با توجه به پردازش و تلفیق

- 191193-MS.
- [16] Houshmand, H., Taheri, M. R., and Bavi, A. (2018). "Granulation analysis of Produced Sand Samples Well". NIOC (National Iranian Oil Company), Report No. P-9528.
- [17] Houshmand, H., Taheri, M. R., and Bavi, A. (2018). "Granulation analysis of Produced Sand Samples Well". NIOC (National Iranian Oil Company), Report No. P-9645.
- [18] Houshmand, H., and Taheri, M. R. (2016). "Granulation analysis of Produced Sand Samples Well". NIOC (National Iranian Oil Company), Report No. P-8694.
- [19] Houshmand, H., Taheri, M. R., and Bavi, A. (2017). "Granulation analysis of Produced Sand Samples Well". NIOC (National Iranian Oil Company), Report No. P-8716.
- [20] Houshmand, H., Taheri, M. R., and Bavi, A. (2018). "Granulation analysis of Produced Sand Samples Well". NIOC (National Iranian Oil Company), Report No. P-95278.
- [21] Houshmand, H., Taheri, M. R., and Bavi, A. (2018). "Granulation analysis of Produced Sand Samples Well". NIOC (National Iranian Oil Company), Report No. P-9646.
- [22] Houshmand, H., Taheri, M. R., and Bavi, A. (2016). "Granulation analysis of Produced Sand Samples Well". NIOC (National Iranian Oil Company), Report No. P-8716.
- [23] Gorączko, A., and Topoliński, S. (2020). "Particle Size Distribution of Natural Clayey Soils: A Discussion on the Use of Laser Diffraction Analysis (LDA)". Journal of Geosciences, 10: 55.
- [24] Folk, R. L. (1954). "The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary rock nomenclature". Journal of Geology, 62: 344-359.
- [25] Folk, R. L. (1974). "Petrology of sedimentary rocks". Hemphill Publishing Co, pp. 182.
- [26] Veisi, I. (2016). "Petrophysical Evaluation of Well". NIOC (National Iranian Oil Company), Report No. P-8456.
- [27] Kamari, M. (2019). "Petrophysical Evaluation of Well". NIOC (National Iranian Oil Company), Report No. P-9816.
- [28] Homeilynejad, M. (2015). "Petrophysical Evaluation of Well". NIOC (National Iranian Oil Company), Report No. P-8175.
- [4] Whalley, W. L. (1972). "The description and measurement of sedimentary particles and the concept of form". Journal of Sedimentary Petrology, 42: 961-965.
- [5] Houshmand, H., Taheri, M. R., and Amiri, H. (2018). "Granulation analysis of Produced Sand Samples Well". NIOC (National Iranian Oil Company), Report No. P-83438.
- [6] Trask, P. D. (1930). "Mechanical analysis of sediment by centrifuge". Economic Geology, 25: 581-599.
- [7] Krumbein, W. C. (1934). "Size frequency distributions of sediments, Journal of Sedimentary Petrology". 4: 65-77.
- [8] Wentworth, C. K. (1922). "A scale of grade class terms for clastic sediments". Journal of Geology, 30: 377-392.
- [9] اصفهانی، م. ر.، هاشمی، س. م.؛ ۱۳۸۷؛ "مطالعه نحوه توزیع ذرات در یکی از میادین ماسه ای ایران". پژوهش نفت، سال هجدهم، شماره ۵۷، ص ۲۴-۱۷.
- [10] Fattahpour, V., Maciel, V., Mahmoudi, M., Chen, K., Nouri, A., and Leitch, M. (2017). "Classification of Alberta Oil Sand Based on Particle Size Distribution for Sand Control Design and Experimental Application". Society of Petroleum Engineers, SPE-185000-MS.
- [11] Fattahpour, V., Azadbakht, S., Mahmoudi, M., Guo, Y., and Nouri, A. (2016). "Effect of Near Wellbore Effective Stress on the Performance of Slotted Liner Completions in SAGD Operations". Society of Petroleum Engineers, SPE-182507-MS.
- [12] Mahmoudi, M., Fattahpour, V., Nouri, A., and Rasoul, S. (2016). "Investigation into the use of Commercial Sands and Fines to Replicate Oil Sands for Large – Scale Sand Control Testing". Society of Petroleum Engineers, SPE-182517-MS.
- [13] Roostaei, M., Kotb, O., Mahmoudi, M., Fattahpour, V., Wang, C., Nouri, A., and Fermaniuk, B. (2018). "An Experimental Investigation into Gravel Pack Performance in Steam-Drive Operations". Society of Petroleum Engineers, SPE-190125-MS.
- [14] Mahmoudi, M., Fattahpour, V., Nouri, A., Yao, T., Anne Baudet, B., Leitch, M., and Fermaniuk, B. (2016). "New Criteria for Slotted Liner Design for Heavy Oil Thermal Production". Society of Petroleum Engineers, SPE-182511-MS.
- [15] Ghasemi, K., Mahmoudi, M., Roostaei, M., Fattahpour, V., Soroush, M., and Nouri, A. (2018). "Determination of Particle Shape and Size Distribution from Micro X-Ray CT Scans for Petrophysical Evolution and Sand Control Design". Society of Petroleum Engineers, SPE-

Assisted Gravity (SAGD) Wellbores (Unpublished master's thesis)". University of Calgary, Calgary, AB. DOI:10.11575/PRISM/27707.

[29] Bellarby J. (2009). "*Well completion design*". 1st Ed., Developments In Petroleum Science, Elsevier, 56: 162-178.

[30] Coberly, C. J. (1937). "*Selection of screen openings for unconsolidated sands*". American Petroleum Institute, In Drilling and Production Practice.

[31] Suman, G. O. Jr., Ellis, R. C., and Snyder, R. E. (1983). "*Sand control handbook*". 2nd Edn. Gulf Publishing, Houston.

[32] Kaye, B. H. (1993). "*Fractal dimensions in data space; new descriptors for fine particle systems*". Particle & Particle Systems Characterization, 4(10): 191-200.

[33] Fermaniuk, B. (2013). "*Sand Control in Steam*

¹ Sand Production Control Devices

² Sand Retention Test (SRT)

³ Particle Size Distribution (PSD)

⁴ Coupon

⁵ Gravel Pack(GP)

⁶ Expandable Sand Screen(ESS)