

Investigating the effect of polyacrylamide on water recovery rates in sedimentation ponds for sand processing

Parisa Rastgoo Oskoui

PhD, Lecturer, Department, of Materials and Metallurgical Engineering, University of Applied Sciences and technology, Khaneh Kargar Branch, Tabriz, Iran.

Corresponding Author's E-mail: parisa.oskoui@gmail.com

Received: 08 Feb. 2025 Accepted: 24 June 2025
Revised: 24 June 2025 Published: 21 Dec. 2024



Homepage: ijwer.uoz.ac.ir

Abstract: It was investigated that adding polyacrylamide to sedimentation ponds owned by sand companies affected the waters settling time. A polyacrylamide solution containing 5 wt.% was made. The muddy water sample was mixed with 5, 8, 11, 14, 17, and 20 ml of the 5% polyacrylamide solution, and the settling time was recorded. The findings demonstrated that the settling time decreased from 39 minutes to 10 minutes when the flocculant amount was increased from 5 to 20 ml. Additionally, the moisture content of the mud dropped from 88% to 81%. Following settling, the pH variations of the various samples were also examined. The pH of the clear water rose from 6.8 to 7.23 when the amount of polyacrylamide added was raised from 5 to 20 ml.

Keywords: Flocculant, Cationic Polyacrylamide, Mud Moisture, Settling Time

Introduction: Regardless of their chemical makeup, polymeric flocculants are mostly used in mineral processing to produce huge flocs. Long-chain organic polymers called flocculants bind particles together to speed up the settling process. Polyacrylamide is one of the most crucial flocculants for flocculation in water recovery. Polyacrylamide flocculates by means of a molecular process (Ahmad et al. 2022). In this instance, molecules of polyacrylamide build up on many particles and create a physical connection between them. A charged floc can form on the surface of a particle with the opposite charge when a polymer molecule with a greater charge is adsorbed to it. Aggregation may result from the generated floc adhering to the surface region that is free of another particle (Ding et al. 2023). This investigation investigated at the way adding cationic polyacrylamide affected the muds settling time in the settling ponds owned by Roshan Ghadam Sand Company. The sedimentation time was determined and the associated computations were carried out after varying amounts of cationic polyacrylamide were introduced to the water in the sedimentation ponds.

Methodology: The muddy water discharge from Roshan Ghadam Sand Company's production line was the subject of a study. A water sample was made from the snail salt sands operation in order to conduct a number of tests. A portion of the settling mud was dried in a drier set to 110 degrees for a day. The X-ray fluorescence analysis method (XRF) was used to analyze the dried samples chemical composition (Table 1). The analysis was carried out using a Philips instrument, model PW1410. The pycnometric method was used to quantify the density of the settled and dried sediment in solutions with varying additive percentages. A graduated cylinder of 5 cm in diameter and 28 cm in height was filled with the Roshan Ghadam Sand Company sample in order to examine the impact of cationic polyacrylamide on the sedimentation rate. The following stage involved making a polyacrylamide solution at a weight percentage of 5%. The impact of adding 5, 8, 11, 14, 17, and 20 ml of a 5% by weight polyacrylamide solution on the rate of sedimentation was examined, and the mud lines variations over time were noted for each sample (Figs. 3-8). Additionally, the mud lines clear water pH was evaluated (Fig. 11). The Kainch plot method was used to determine the sedimentation time. The settled muds moisture content was determined.

Results and Discussion: Table 2 shows the findings of the XRF examination of the dried sediment. The murky water sample was mixed with 8, 11, 14, 17, and 20 ml of a 5 weight percent polyacrylamide solution, and the settling time was recorded. Figs. 3-8 shows the settling curves of the sample with varying addition percentages.

The sample with 5 ml of flocculant had the shortest settling time, measuring 39 minutes. The settling time dropped to 10 minutes when the flocculant volume was increased to 20 ml. Because of their low concentration, polyacrylamide molecules exhibit little entanglement when first injected in small amounts to the graduated cylinder.

Rather, there exist mostly in the suspension in an adsorbed state. Fourier transform infrared spectroscopy study showed that chelation and hydrogen bonding are the two primary processes through which this adsorption takes place. Metal cations chelate the COO⁻ groups in polyacrylamide molecules, and the COO⁻/NH₂ groups in the polyacrylamide solution establish hydrogen bonds with the water molecules. The hydrogen bonding extends to the free water in the interstitial fluid as well as the thin layer of water on the particle surfaces. Fig. 10 shows a graphic representation of the moisture content of the precipitated mud in several samples, which was also measured. It was found that the mud moisture content dropped from 88% to 81% when the volume percentage of polyacrylamide solution supplied increased from 5 mL to 20 mL. Following sedimentation, the pH variations of the various samples were also measured and presented in Fig. 11. The pH of the clear water rose from 6.8 to 7.23 when the percentage of polyacrylamide addition was raised from 5 ml to 20 ml. Fig. 12 illustrates the variations in the dried sediment density in the samples with varying flocculant percentages. The density of the dried sediment dropped from 2.4g/cm³ to 2.377g/cm³ when the volume percentage of the polyacrylamide solution was increased from 5 ml to 20 ml, according to the data.

Conclusion: The muddy water sample was mixed with polyacrylamide solution, and the settling time was recorded. The samples sedimentation graphs with varying additive percentages were created. The sample with five ml of flocculant had the quickest settling time, measuring 39 minutes. The settling time was shortened to 10 minutes by adding 20 ml of flocculant. In several samples, the precipitated muds moisture content was also determined. The moisture content of the mud dropped from 88% to 81% when the volume percentage of the polyacrylamide solution was increased from 5 ml to 20 ml. The pH of the clear water rose from 6.8 to 7.23 when the amount of polyacrylamide added was raised. An analysis of the variations in the density of the dried sediment in the samples with varying flocculant percentages also revealed that the density of the dried sediment dropped from 2.4g/cm³ to 2.377g/cm³ for various solution.

© 2024 University of Zabol, Zabol, Iran.



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

بررسی تاثیر پلی‌اکریل آمید بر نرخ بازیابی آب در حوضچه‌های ته‌نشینی فرآوری شن و ماسه

پریسا راست‌گو اسکویی

دانش‌آموخته دکتری مهندسی مواد و متالوژی، مدرس دانشگاه جامع علمی کاربردی، واحد خانه کارگر، تبریز، ایران.

پست الکترونیکی نگارنده مسئول: Parisa.oskoui@gmail.comوبگاه نشریه: ijwer.uoz.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۱/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۴/۰۳

تاریخ ویرایش: ۱۴۰۵/۰۴/۰۳ تاریخ چاپ: ۱۴۰۳/۱۰/۰۱

چکیده: همان‌طور که نتیجه مطالعات اخیر نشان می‌دهد، جهان طی دو ده آینده با بحران شدید کمبود آب مواجه خواهد شد. در همین راستا حفظ منابع آب موجود از اهمیت بسیاری برخوردار است. در این بررسی اثر افزودن پلی‌اکریل‌آمید برای کاهش زمان ته‌نشینی آب در حوضچه‌های ته‌نشینی شرکت‌های شن و ماسه مورد مطالعه قرار گرفت. محلول پلی‌اکریل‌آمید ۵ درصد وزنی آماده شد. ۵، ۸، ۱۱، ۱۴، ۱۷ و ۲۰ میلی‌لیتر از محلول ۵ درصد وزنی پلی‌اکریل‌آمید به نمونه آب گل‌آلود اضافه و زمان ته‌نشینی اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد افزایش میزان لخته ساز از ۵ به ۲۰ میلی‌لیتر، زمان ته‌نشینی را از ۳۹ دقیقه به ۱۰ دقیقه کاهش داد. همچنین رطوبت گل از ۸۸ درصد به ۸۱ درصد کاهش یافت. تغییرات pH نمونه‌های مختلف نیز پس از ته‌نشینی اندازه‌گیری شد. با افزایش درصد افزودن پلی‌اکریل‌آمید از ۵ میلی‌لیتر تا ۲۰ میلی‌لیتر، pH آب شفاف از ۶/۸ به ۷/۲۳ افزایش یافت. بررسی تغییرات دانسیته رسوب خشک شده در نمونه‌ها با درصدهای مختلف لخته ساز نیز نشان داد که با افزودن لخته ساز، دانسیته رسوب خشک شده از $2/4 \text{ g/cm}^3$ به $2/377 \text{ g/cm}^3$ کاهش یافت.

کلیدواژه‌ها: لخته ساز، پلی‌اکریل‌آمید کاتیونی، رطوبت گل، زمان ته‌نشینی.

۱- م

یکی از مهم‌ترین معادن فعال کشور، معادن شن و ماسه است که نقش مهمی در پیشبرد پروژه‌های عمرانی مانند راه‌سازی، پل‌سازی و ساختمان‌سازی دارد. در حقیقت شرکت‌های شن و ماسه، یکی از بخش‌های مصرف‌کننده منابع آب هستند که نیازمند سیاست‌گذاری و انجام اقدامات نظارتی برای برطرف نمودن چالش‌ها و آسیب‌های ایجادشده در اثر الگوهای نامناسب مصرف آب است. در سال ۱۳۹۸ مرکز آمار ایران از سوی دفتر صنعت، معدن آماری منتشر

۲- مقدمه

یکی از موضوعات راهبردی و اولویت‌دار کشور به ویژه در اسناد بالادستی، مدیریت منابع و مصرف آب در کشور است. در حالت کلی دو روش عمده و اصلی برای مدیریت منابع آب وجود دارد. گزینه اول شیرین‌سازی آب شور دریا و گزینه دوم، توسعه فرآیندهای بازیافت آب در معادن و کارخانه‌های صنعتی است.

ذره با بار مخالف جذب شده و یک لخته باردار روی سطح تشکیل دهد. لخته تشکیل شده نیز می‌تواند به قسمت سطح خالی از ذره دیگر وصل شده و منجر به تجمع شود (Mohamed Noor et al. 2022).

پلی اکریل آمید با وزن مولکولی پانزده میلیون، از بیش از ۲۰۰,۰۰۰ مونومر اکریل آمید^۳ تشکیل شده است. پلی اکریل آمید می‌تواند از طریق پیوند هیدروژن با مکان‌های هیدروکسیل^۴ سطح به ذرات جامد متصل شود. مولکول پلی اکریل آمید جاذب از سه بخش حلقه‌ها، دم‌ها و زنجیرها تشکیل شده است. زنجیرها از گروهی از بخش‌های میانی تشکیل شده‌اند که به سطح متصل هستند. دم قسمت‌هایی در انتهای مولکول خطی است که به‌طور مستقیم به سطح متصل نمی‌شوند و به سمت داخل محلول متمایل می‌شوند (Ding et al. 2023). تصویر شماتیکی قسمت‌های مختلف یک مولکول پلیمر جاذب در شکل ۱ نشان داده شده است.

پلی اکریل آمید کاتیونی با سازوکار خنثی‌سازی بار الکتریکی، جذب ذرات ریز با بار منفی می‌شود. از طرفی پل زدن با پلی اکریل آمید کاتیونی با طول کوتاه منجر به انعقاد می‌گردد. در این حالت لخته‌های کوچک تشکیل می‌شوند. در صورتی که پلی اکریل آمید کاتیونی بتواند سرعت ته‌نشینی در حوضچه‌های ته‌نشینی شرکت‌های شن و ماسه را افزایش دهد، می‌توان سرعت بازیابی آب در کارخانه شن و ماسه را افزایش داد.

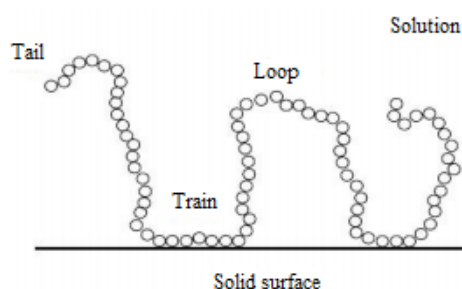


Fig. 1 Schematic illustration of the different parts of an absorbent polymer molecule (Ding et al. 2023)

شکل ۱ تصویر شماتیکی قسمت‌های مختلف یک مولکول پلیمری جاذب (Ding et al. 2023).

کرد که نشان می‌دهد معادن شن و ماسه ۲۵ درصد از حدود ۵۰۰۰ معدن فعال در کشور را به‌خود اختصاص داده‌اند. اگرچه منبع اصلی تامین شن و ماسه، رودخانه‌ها هستند اما معادن شن و ماسه کوهستانی نیز جایگاه ویژه‌ای دارند. در معادن شن و ماسه کوهستانی، آب به‌عنوان یک بخش اصلی فرآیند تولید است و عملیات جدایش مواد بیشتر در محیط آبی انجام می‌شود. پس از اتمام فرآیند جداسازی ذرات شن و ماسه، آب گل‌آلود به حوضچه‌های ته‌نشینی منتقل می‌شود. پس از چندین روز نگهداری ذرات گل‌ولای، رسوب می‌کنند و آب شفاف به چرخه تولید برمی‌گردد (Ahmad et al. 2022).

در حوضچه‌های ته‌نشینی شن و ماسه هرکدام از ذرات به‌طور مستقل، جدا و با سرعت منحصر به فرد ته‌نشین می‌گردند. در این حالت ته‌نشینی ذرات از قانون استوکس تبعیت می‌کند. سرعت ته‌نشینی ذرات بسیار کوچک و با اندازه میکرونی تحت تاثیر نیروی وزن بسیار کم است (نقی پور ۱۳۹۵; et al. ۱۳۹۳). برای افزایش سرعت ته‌نشینی دو راه وجود دارد: اول اینکه سرعت ته‌نشینی ذرات ریز، با استفاده از نیروی گریز از مرکز افزایش داده شود و دوم اینکه شرایط محیطی را به نحوی تغییر داد که ذرات ریز تحت تاثیر نیروی واندروالس^۱ به یکدیگر بچسبند و با سرعت بیشتر ته‌نشین شوند (Naghypour et al. 2014). همچنین می‌توان از پلیمرهای فلوکولانت^۲ نیز استفاده کرد (Manikandan et al. 2022).

نقش اصلی فلوکولانت‌های پلیمری در فرآوری مواد معدنی بدون در نظر گرفتن ترکیب شیمیایی، ایجاد لخته‌های بزرگ است. فلوکولانت‌ها از دسته پلیمرهای آلی با زنجیره بلند هستند که با به هم چسباندن ذرات باعث افزایش سرعت ته‌نشینی می‌شوند. یکی از مهم‌ترین فلوکولانت‌ها برای لخته‌سازی در بازیابی آب، پلی اکریل آمید است. پلی اکریل آمید برای لخته‌سازی از طریق سازوکار مولکولی عمل می‌کند. در این حالت مولکول‌های پلی اکریل آمید بر روی بیش از یک ذره جمع شده و بین ذرات پیوند فیزیکی برقرار می‌کنند. مولکول پلیمری با بار بیشتر می‌تواند به سطح یک

³ Mono Acrylamide

⁴ hydroxyl

¹ Van der Waals Force

² Flocculant

$$V_{H_2O} = \frac{m_{H_2O}}{\rho_{H_2O}} \quad (4)$$

می‌توان گفت حجم پودر جامد برابر است با اختلاف حجم آب پیکنومتر پر از آب و پیکنومتر پر از آب و پودر (Figura and Teixeira 2023).

$$V_s = V - V_{H_2O} = \frac{m_{H_2O} - m_{H_2O}}{\rho_{H_2O}} \quad (5)$$

با داشتن وزن و حجم پودر خشک، دانسیته پودر از رابطه (۶) محاسبه شد:

$$\rho_s = \frac{m_s}{V_s} \quad (6)$$

پلی‌اکریل آمید کاتیونی به‌عنوان لخته ساز انتخاب شد. مشخصات پلی‌اکریل آمید مورد استفاده در [جدول ۱](#) آورده شده است.

به‌منظور بررسی تاثیر پلی‌اکریل آمید کاتیونی در سرعت ته‌نشینی، نمونه شرکت شن و ماسه روشن قدم، در استوانه مدرج به قطر ۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۲۸ سانتی‌متر ریخته شد. در مرحله بعد محلول ۵ درصد وزنی پلی‌اکریل آمید تهیه شد. تاثیر افزودن ۵، ۸، ۱۱، ۱۴، ۱۷ و ۲۰ میلی‌لیتر از محلول ۵ درصد وزنی پلی‌اکریل آمید در سرعت ته‌نشینی بررسی و تغییرات خط گل با زمان برای نمونه‌های مختلف ثبت شد. pH آب شفاف روی خط گل نیز اندازه‌گیری شد. با pH

جدول ۱. مشخصات پلی‌اکریل آمید.

Table 1 Polyacrylamide specifications.

Result of test	Description
Polyacrylamide	Chemical Name
22 Million	Molecular Weight
30-35%	Degree of Ion (%)
9003-05-8	CAS Number
≤ 0.1%	Water insoluble Matter
White Granular Powder	Appearance
≤ 50 minutes	Dissolving Time
≥ 0.6	Density(g/cm ³)

در همین راستا، در این مطالعه اثر افزودن پلی‌اکریل آمید کاتیونی در کاهش زمان ته‌نشینی گل در حوضچه‌های ته‌نشینی شرکت شن و ماسه روشن قدم مطالعه خواهد شد. درصدهای مختلف پلی‌اکریل آمید کاتیونی، به آب حوضچه‌های ته‌نشینی اضافه و زمان ته‌نشینی اندازه‌گیری و محاسبات مربوطه انجام خواهد شد.

۳- روش‌شناسی

بررسی روی آب گل‌آلود خروجی از خط تولید شرکت شن و ماسه روشن قدم انجام شد. برای انجام آزمایش‌های مختلف نمونه آب از در حین کار ماسه شور حلزونی تهیه شد. بخشی از گل ته‌نشین شده به مدت یک روز در خشک‌کن با دمای ۱۱۰ خشک شد. بررسی ترکیب شیمیایی نمونه خشک شده با استفاده از روش آنالیز فلوئور سانس اشعه ایکس^۱ (XRF) انجام شد. آنالیز با دستگاه مدل PW1410 ساخت شرکت PHILIPS انجام شد. اندازه‌گیری دانسیته رسوب ته‌نشین و خشک‌شده در محلول‌ها با درصدهای مختلف افزودنی به روش پیکنومتری^۲ انجام شد (Zhu et al. 2025). در این روش در مرحله اول وزن پیکنومتر^۳ به همراه پودر اندازه‌گیری شد (رابطه (۱)).

$$m_1 = m_0 + m_s \quad (1)$$

که در این رابطه m_0 جرم پیکنومتر خالی و m_s جرم ذرات پودر است. سپس پیکنومتر را تا خط نشانه با آب پر می‌کنیم و از رابطه (۲) وزن کل مجموعه (m_{tot}) را محاسبه می‌کنیم.

$$m_{tot} = m_0 + m_s + m_{H_2O} \quad (2)$$

m_{H_2O} جرم آب پیکنومتر است. محاسبه وزن آب پیکنومتر از رابطه (۳) انجام شد:

$$m_{H_2O} = m_{tot} - m_0 - m_s \quad (3)$$

حجم آب پیکنومتر از [رابطه ذیل](#) محاسبه شد:

³ Pycnometr

¹ X-ray Fluorescence Spectroscopy

² Pycnometry

Composition	Wt. %
SiO ₂	80.12
Al ₂ O ₃	14.12
FeO	4.65
MgO	0.52
K ₂ O	1.03
Na ₂ O	0.14
CaO	0.25
TiO ₂	0.35
P ₂ O ₅	0.14
SO ₃	0.35
L.O.I	0.02

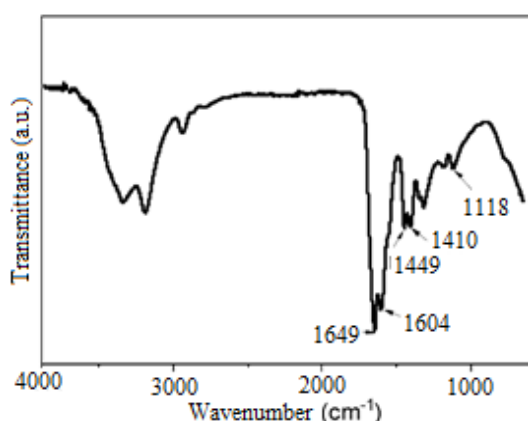


Fig. 2 FTIR spectrum of the prepared polyacrylamide solution.

شکل ۲ طیف FTIR محلول پلی اکریل آمید تهیه‌شده.

ارتعاش خمشی پیوند شیمیایی N-H در گروه آمین با پیک در 1604 cm^{-1} نشان داده شده است (Mohammadi Pour et al. 2025; Peng et al. 2021). علاوه بر این، پیک‌های متمایزی در 1449 cm^{-1} و 1410 cm^{-1} در طیف FTIR مشاهده می‌شوند. طبق تحقیقات انجام‌شده، این پیک‌ها مربوط به ارتعاش کششی متقارن گروه عاملی مشخصه -COO هستند (Raza et al. 2023).

بهترتیب ۵، ۸، ۱۱، ۱۴، ۱۷ و ۲۰ میلی‌لیتر از محلول ۵ درصد وزنی پلی‌اکریل آمید به نمونه آب گل‌آلود اضافه و زمان ته‌نشینی اندازه‌گیری شد. نمودارهای ته‌نشینی نمونه با درصدهای مختلف افزودنی در [شکلهای ۳-۸](#) رسم شده‌اند.

کمترین زمان ته‌نشینی مربوط به نمونه حاوی ۵ میلی‌لیتر لخته ساز بود و ۳۹ دقیقه ثبت شد. با افزایش میزان لخته ساز به ۲۰ میلی‌لیتر زمان ته‌نشینی به ۱۰ دقیقه کاهش

استفاده از دستگاه pH متر قلمی نت پیل مدل EZ9909 اندازه‌گیری و به‌صورت نمودار رسم شد. زمان ته‌نشینی به روش ترسیمی کاینچ^۱ محاسبه شد. این روش برای اولین بار توسط دو پژوهشگر به نام‌های تالماج^۲ و فیتچ^۳ مطرح شد (Ferreira et al. 2023). طبق این روش، با انجام یک آزمایش ته‌نشینی می‌توان نمودار ارتفاع ته‌نشینی برحسب زمان را رسم کرد. برای محاسبه زمان ته‌نشینی، در نقطه تراکم (که با t_u نشان داده می‌شود) مماس‌هایی در دو نقطه از تغییر شیب ابتدا و انتهای منحنی رسم می‌شود. از محل تلاقی مماس‌ها نیز نیمساز رسم می‌شود تا منحنی ته‌نشینی را قطع کند. سپس از محل تلاقی نیمساز با منحنی ته‌نشینی، مماس دیگری رسم می‌شود. این مماس ادامه داده می‌شود تا امتداد خط افقی منحنی ته‌نشینی را قطع کند. این نقطه، t_u (زمان لازم برای ثابت شدن خط گل) نامیده می‌شود (Ferreira et al. 2021; Friso 2023).

در ادامه، درصد رطوبت گل ته‌نشین، γ_{sed} ، شده نیز از رابطه (۷) محاسبه شد:

$$\gamma_{sed} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100 \quad (7)$$

که در این رابطه W_1 وزن اولیه رسوب و W_2 وزن همان رسوب پس از خشک‌شدن است.

۴- نتایج و بحث

نتیجه آنالیز XRF رسوب خشک شده در [جدول ۲](#) آورده شده است. نتایج آنالیز FTIR محلول پلی‌اکریل آمید تهیه‌شده نیز در [شکل ۲](#) نشان داده شده است. باند جذبی دیده‌شده در محدوده 1649 cm^{-1} مربوط به ارتعاش کششی پیوند $C=O$ در گروه $CO-NH_2$ است (Lu et al. 2025). باند مربوط به نوسان درون صفحه‌ای گروه آمین (NH_2) در محدوده 1118 cm^{-1} مشاهده می‌شود، درحالی‌که

[جدول ۲](#) یافته‌های آنالیز XRF رسوب خشک شده.

Table 2 XRF analysis results of dried sediment

³ Fitch

¹ Kani's method

² Talmadge

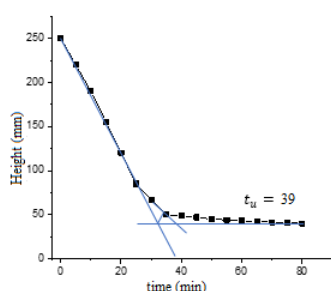


Fig. 3 Relationship between the flower line and time with the addition of 5 ml of a 5% by weight solution of cationic polyacrylamide

شکل ۳ ارتباط بین خط گل و زمان با افزودن ۵ میلی‌لیتر از محلول ۵ درصد وزنی پلی‌اکریل آمید کاتیونی.

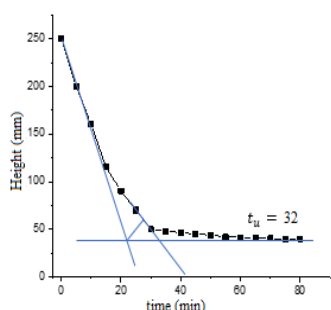


Fig. 4 Relationship between the flower line and time with the addition of 8 ml of a 5% by weight solution of cationic polyacrylamide

شکل ۴ ارتباط بین خط گل و زمان با افزودن ۸ میلی‌لیتر از محلول ۵ درصد وزنی پلی‌اکریل آمید کاتیونی.

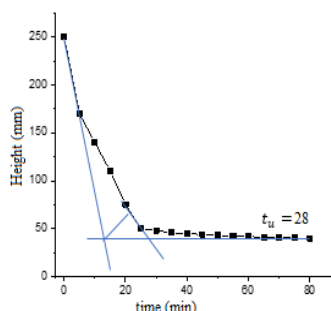


Fig. 5 Relationship between the flower line and time with the addition of 11 ml of a 5% by weight solution of cationic polyacrylamide

شکل ۵ ارتباط بین خط گل و زمان با افزودن ۱۱ میلی‌لیتر از محلول ۵ درصد وزنی پلی‌اکریل آمید کاتیونی.

یافت.

باید توجه داشت جذب پلی‌اکریل آمید می‌تواند از طریق پل زدن یونی، برهم‌کنش الکترواستاتیکی، پیوند هیدروژنی و برهم‌کنش آب‌گریز رخ دهد. بسته به pH محلول و اندازه مولکول‌های پلی‌اکریل آمید، دو حالت در لخته‌سازی ممکن است رخ دهد. حالت اول خنثی‌سازی بار الکتریکی است. در این حالت پلی‌اکریل آمید کاتیونی یا آنیونی جذب مواد معلق با بار با علامت مخالف شده و انرژی دافعه بین ذرات معلق را کاهش می‌دهند (Dixon and Soares 2022)؛ و حالت دوم مدل پل زدن است که در این حالت بخش‌هایی از مولکول پلی‌اکریل آمید روی سطح ذرات معلق جذب شده و آن‌ها را به یکدیگر متصل می‌کنند.

(Yang et al. 2023). اگر طول زنجیره پلیمری جذب‌شده، حداقل دو برابر ضخامت لایه الکتریکی به داخل محلول گسترش یابد، ممکن است روی بیش از یک ذره جذب شود که در این حالت لخته‌سازی با سازوکار پل زدن اتفاق می‌افتد. پلیمرهای با زنجیره‌های کوتاه نیز با فشردن ساختار دو لایه منجر به تشکیل لخته می‌شوند و در این حالت ذرات معلق تحت تاثیر جاذبه واندروالس جمع می‌شوند. مولکول‌های پلی‌اکریل آمید وقتی در ابتدا به مقدار کم به استوانه مدرج اضافه می‌شوند، به دلیل محتوای کم خود، حداقل درهم‌تنیدگی را نشان می‌دهند. در عوض، عمدتاً در سیستم تعلیق به شکل جذب‌شده وجود دارند (Zhu et al. 2024). همان‌طور که توسط آنالیز طیف‌سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه مشخص شد، این جذب از طریق دو مکانیسم اصلی رخ می‌دهد: کیلیت^۱ شدن و پیوند هیدروژنی (Duis et al. 2021). گروه‌های COO- در مولکول‌های پلی‌اکریل آمید با کاتیون‌های فلزی (Al^{3+} , Ca^{2+}) کیلیت می‌شوند و پیوند هیدروژنی بین گروه‌های COO-/NH₂ و مولکول‌های آب در محلول پلی‌اکریل آمید تشکیل می‌شود (Fan et al. 2025).

¹ Chelate

نمی شود، بلکه به آب آزاد در مایع بینابینی نیز گسترش می یابد (Zhai et al. 2025). علاوه بر این دو شکل عملا به دلیل وزن مولکولی نسبتا زیاد ژل پلی اکریل آمید مورد استفاده در این مطالعه، ساختار زنجیره بلند گسترده آن به آن اجازه می دهد تا به طور هم زمان روی سطوح مختلف ذرات جذب شود و اثر پل زنی را نشان دهد. شماتیک پل زدن توسط مولکول های پلی اکریل آمید در **شکل ۹** نشان داده شده است (Ismail et al. 2025).

استفاده از پلی اکریل آمید با وزن مولکولی بالا می تواند در هر شرایط ذرات معلق را با حلقه ها و دنباله ها پل کند (Zeng et al. 2025).

در صورتی که وزن مولکولی پلی اکریل آمید بالا باشد، هم زمان می تواند روی سطح چندین ذره جذب شود و از این طریق نسبت به پلی اکریل آمید با وزن مولکولی کم، سرعت ته نشینی رسوب را افزایش دهند (Ashouri and Khorasani 2025).

مقدار رطوبت گل رسوب کرده در نمونه های مختلف نیز اندازه گیری و به صورت نمودار در **شکل ۱۰** نشان داده شده است. مشاهده می شود که با افزایش درصد حجمی افزودن محلول پلی اکریل آمید، از ۵ میلی لیتر تا ۲۰ میلی لیتر، رطوبت گل از ۸۸ درصد به ۸۱ درصد کاهش یافته است. تغییرات pH نمونه های مختلف نیز پس از ته نشینی اندازه گیری و در **شکل ۱۱** رسم شده است. با افزایش درصد تغییرات pH نمونه های مختلف نیز پس از ته نشینی اندازه گیری و در **شکل ۱۱** رسم شده است. با افزایش درصد افزودن پلی اکریل آمید از ۵ میلی لیتر تا ۲۰ میلی لیتر pH آب شفاف از ۶/۸ به ۷/۲۳ افزایش یافت. با توجه به اینکه تغییرات pH آب زیاد نبوده است و در بیشترین مقدار (۷/۲۳) در کمتر از ۸/۵ است می توان با اطمینان داشت استفاده از این لخته ساز اثر مخربی روی تجهیزات فلزی خط تولید نخواهد داشت.

تغییرات دانسیته رسوب خشک شده در نمونه ها با درصد های مختلف لخته ساز در **شکل ۱۲** نشان داده شده است. نتایج نشان داد با افزایش درصد حجمی محلول پلی اکریل آمید از ۵ میلی لیتر تا ۲۰ میلی لیتر، دانسیته

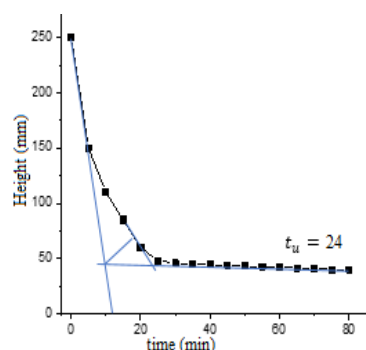


Fig. 6 Relationship between the flower line and time with the addition of 14 ml of a 5% by weight solution of cationic polyacrylamide

شکل ۶ ارتباط بین خط گل و زمان با افزودن ۱۴ میلی لیتر از محلول ۵ درصد وزنی پلی اکریل آمید کاتیونی.

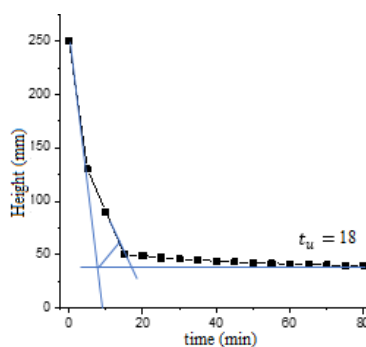


Fig. 7 Relationship between the flower line and time with the addition of 17 ml of a 5% by weight solution of cationic polyacrylamide

شکل ۷ ارتباط بین خط گل و زمان با افزودن ۱۷ میلی لیتر از محلول ۵ درصد وزنی پلی اکریل آمید کاتیونی.

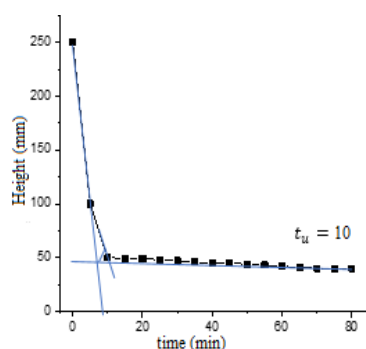


Fig. 8 Relationship between the flower line and time with the addition of 20 ml of a 5% by weight solution of cationic polyacrylamide

شکل ۸ ارتباط بین خط گل و زمان با افزودن ۲۰ میلی لیتر از محلول ۵ درصد وزنی پلی اکریل آمید کاتیونی.

پیوند هیدروژنی به لایه نازک آب روی سطوح ذرات محدود

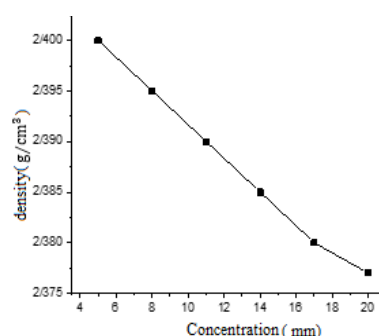


Fig. 12 Changes in the density of dried sediment in samples with different percentages of flocculant

شکل ۱۱ تغییرات دانسیته رسوب خشک شده در نمونه‌ها با درصد‌های مختلف لخته‌ساز.

۵- نتیجه‌گیری

در این مطالعه اثر افزودن درصد‌های مختلف پلی‌اکریل آمید کاتیونی بر کاهش زمان ته‌نشینی آب حوضچه‌های شرکت شن و ماسه روشن قدم مطالعه شد. ۵، ۸، ۱۱، ۱۴، ۱۷ و ۲۰ میلی‌لیتر از محلول ۵ درصد وزنی پلی‌اکریل آمید به نمونه آب گل‌آلود اضافه و زمان ته‌نشینی اندازه‌گیری شد. نمودارهای ته‌نشینی نمونه با درصد‌های مختلف افزودنی رسم شد. کمترین زمان ته‌نشینی مربوط به نمونه حاوی ۵ میلی‌لیتر لخته‌ساز بود و ۳۹ دقیقه ثبت شد. با افزایش میزان لخته‌ساز به ۲۰ میلی‌لیتر، زمان ته‌نشینی به ۱۰ دقیقه کاهش یافت. مولکول‌های پلی‌اکریل آمید، با دو سازوکار منجر به لخته‌سازی می‌شوند. حالت اول خنثی‌سازی بار الکتریکی است. در این حالت پلی‌اکریل آمید کاتیونی یا آنیونی جذب مواد معلق با بار با علامت مخالف شده و انرژی دافعه بین ذرات معلق را کاهش می‌دهند؛ و حالت دوم مدل پل زدن است که در این حالت بخش‌هایی از مولکول پلی‌اکریل آمید روی سطح ذرات معلق جذب شده و آن‌ها را به یکدیگر متصل می‌کنند.

مقدار رطوبت گل رسوب‌کرده در نمونه‌های مختلف نیز اندازه‌گیری شد. با افزایش درصد حجمی افزودن محلول پلی‌اکریل آمید، از ۵ میلی‌لیتر تا ۲۰ میلی‌لیتر، رطوبت گل از ۸۸ درصد به ۸۱ درصد کاهش یافته است. همچنین تغییرات pH نمونه‌های مختلف نیز پس از ته‌نشینی

رسوب خشک شده از $2/4 \text{ g/cm}^3$ به $2/377 \text{ g/cm}^3$ کاهش یافت.

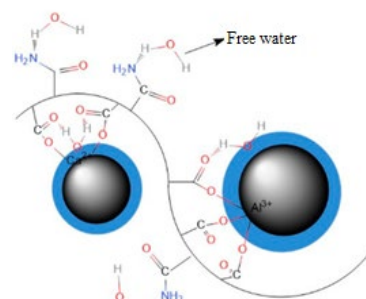


Fig. 9 Schematic of bridging by polyacrylamide molecules (Ismail et al. 2025)

شکل ۹ شماتیک پل زدن توسط مولکول‌های پلی‌اکریل آمید (Ismail et al. 2025).

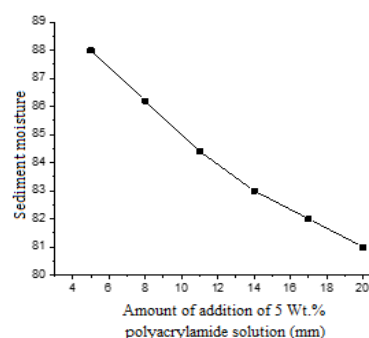


Fig. 10 Changes in the moisture content of precipitated mud in samples with different amounts of polyacrylamide

شکل ۱۰ تغییرات رطوبت گل رسوب‌کرده در نمونه‌های با مقادیر مختلف پلی‌اکریل آمید.

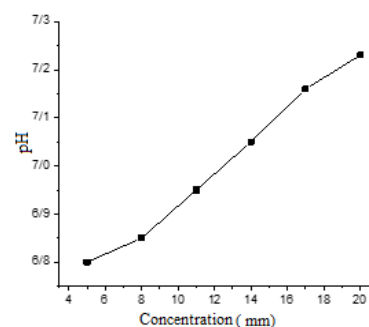


Fig. 11 Diagram of changes in solution pH with the addition of different percentages of polyacrylamide نمودار تغییرات pH محلول با افزودن درصد‌های مختلف محلول لخته‌ساز پلی‌اکریل آمید.

با افزایش درصد حجمی محلول پلی‌اکریل آمید از ۵ میلی‌لیتر تا ۲۰ میلی‌لیتر، دانسیته رسوب خشک شده از $2/4 \text{ g/cm}^3$ به $2/377 \text{ g/cm}^3$ کاهش یافت.

اندازه‌گیری شد. با افزایش درصد افزودن پلی‌اکریل آمید از ۵ میلی‌لیتر تا ۲۰ میلی‌لیتر pH آب شفاف از ۶/۸ به ۷/۲۳ افزایش یافت. بررسی تغییرات دانسیته رسوب خشک شده در نمونه‌ها با درصدهای مختلف لخته ساز نیز نشان داد که

6- List of symbols

t_u (min)	Time required for the sediment line to stabilize
m_0 (g)	Mass of empty pycnometer
m_s (g)	Mass of powder particles
m_{tot} (g)	Total weight of the set
m_{H_2O} (g)	Pycnometer water mass
V_{H_2O} (cm ³)	Pycnometer water volume
V_s (cm ³)	Powder volume
ρ_s (g/cm ³)	Powder density
W_1 (g)	Initial sediment weight
W_2 (g)	Weight of sediment after drying
XRF	X-ray fluorescence spectroscopy
FTIR	Fourier transform infrared analysis

Acknowledgments

We sincerely thank and appreciate the cooperation of Roshan Qadam Sand Company.

Credit Authorship Contribution Statement

Conceptualization, Methodology, Software, Writing-Review and Editing, P.R.O.

Funding

All tests were conducted at Roshan Qadam Sand Company, and it is worth noting that no contract was signed with any government entity.

Data Availability Statement

Data access is available on a limited basis if needed.

Conflicts of Interest

There are no conflicts of interest.

References

- Ahmad NNR, Ang WL, Teow YH, Mohammad AW, Hilal N (2022) Nanofiltration membrane processes for water recycling, reuse and product recovery within various industries: A review Journal of Water Process Engineering 45:102478, <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2023.104306>.
- Ashouri A, Khorasani M (2025) Evaluation of polyacrylamide synthesis and its performance as a flocculant using a response surface methodology (RSM) approach Desalination:119348,

- <https://doi.org/10.1016/j.desal.2025.119348>.
- Ding W, Wang Y, Zeng W, Xu H, Chen B (2023) Preparation of heavy metal trapping flocculant polyacrylamide–glutathione and its application for cadmium removal from water Polymers 15:500, <https://doi.org/10.3390/polym15030500>.
- Dixon DV, Soares JB (2022) Molecular weight distribution effects of polyacrylamide flocculants on clay aggregate formation Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects 649:129487, <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2022.129487>.
- Duis K, Junker T, Coors A (2021) Environmental fate and effects of water-soluble synthetic organic polymers used in cosmetic products Environmental Sciences Europe 33:21, [https://doi.org/10.1016/0141-3910\(94\)90139-2](https://doi.org/10.1016/0141-3910(94)90139-2).
- Fan L, Peng R, Liu X, Li Z, Wang Q, Peng S (2025) Superior performance of a novel chitosan-based flocculant in sludge treatment: synthesis, chelating mechanism, and engineering application by interconnected porous structure Journal of Environmental Chemical Engineering:117841, [https://doi.org/10.1016/0141-3910\(94\)90133-3](https://doi.org/10.1016/0141-3910(94)90133-3).
- Ferreira DJdO, Fiuza MPdM, Cardoso M, de Oliveira IM (2021) Use of the Weibull model on sizing thickeners-Part I: Sedimentation curve representation The Canadian Journal of Chemical Engineering 99:708-724, <https://doi.org/10.1016/j.clay.2024.107351>.
- Ferreira DJdO, Galery R, Cardoso M, de Oliveira IM (2023) Use of the Weibull model on sizing thickeners—Part II: Methods of thickener sizing The Canadian Journal of Chemical Engineering 101:996-1010, <https://doi.org/10.37636/recit.v6n2e247>.
- Figura LO, Teixeira AA (2023) Mass density. In: Food Physics: Physical Properties-Measurement and Applications. Springer, pp 59-100, <https://doi.org/10.18063/nn.v1i1.378>.
- Friso D (2023) Mathematical modeling of particle terminal velocity for improved design of clarifiers, thickeners and flotation devices for wastewater treatment Clean Technologies 5:921-933, <https://doi.org/10.3390/cleantechnol5030046>.
- Ismail M, Zhang Y, Mustafa M, Ren L, Chen X

- (2025) Research progress on application and adsorption performance of chitosan and its derivatives in the field of water treatment International Journal of Environmental Science and Technology 22:7411-7428, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130927>.
- Lu H, Dai B, Li C, Wei H, Wang J (2025) Flocculation Mechanism and Microscopic Statics Analysis of Polyacrylamide Gel in Underwater Cement Slurry Gels 11:99, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2026.128144>.
- Manikandan S, Subbaiya R, Saravanan M, Ponraj M, Selvam M, Pugazhendhi A (2022) A critical review of advanced nanotechnology and hybrid membrane based water recycling, reuse, and wastewater treatment processes Chemosphere 289:132867, <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2017.11.004>.
- Mohamed Noor M, Wong S, Ngadi N, Mohammed Inuwa I, Opotu L (2022) Assessing the effectiveness of magnetic nanoparticles coagulation/flocculation in water treatment: a systematic literature review International Journal of Environmental Science and Technology 19:6935-6956, <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.03.020>.
- Mohammadi Pour R, Akhlaghi Amiri HA, Janani H (2025) Efficient One-Step Synthesis of Low Degree Substitution Citrated Starch-Grafted Polyacrylamide as a Sustainable Anionic Flocculant for Wastewater Treatment Journal of Polymers and the Environment:1-16, <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2017.11.009>.
- Naghipour N, Ayyoubzadeh S, Sedighkia M (2014) Investigation on the effect of different factors on clay particle sedimentation in freshwaters J Biodivers Environ Sci 5:75-81, <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2010.09.003>.
- Peng Y, Rong Y, Feng S, Jin D Quality control of polyacrylamide products with infrared spectroscopy. In: Journal of Physics: Conference Series, 2021. vol 1. IOP Publishing, p 012038, <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2017.11.009>.
- Raza T, Rasool B, Asrar M, Manzoor M, Javed Z, Jabeen F, Younis T (2023) Exploration of polyacrylamide microplastics and evaluation of their toxicity on multiple parameters of Oreochromis niloticus Saudi Journal of Biological Sciences 30:103518, <https://doi.org/10.1016/j.ccej.2018.09.043>.
- Yang H, Zhao Q, Yue Q (2023) Preparation and properties of cationic polyacrylamide flocculant for drilling fluid based on modified nano SiO₂ Journal of Polymer Research 30:93, <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2026.138472>.
- Zeng Y et al. (2025) A synergistic approach integrating potassium ferrate oxidation with polyacrylamide flocculation to enhance sludge dewatering and its mechanisms Journal of Environmental Management 382:125323, <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2023.125633>.
- Zhai W, Qian D, Zhang Y, Rao Y, Zhang J (2025) Flocculation Properties of Acrylamide-Grafted Tamarind Polysaccharide on Microplastics and Heavy Metals Ions ChemistrySelect 10:e06216, <https://doi.org/10.1016/j.gca.2025.09.040>.
- Zhu X, Jiang L, Zhang S, Yang J, Liang J, Zheng H, Huang W (2024) Evaluation an anionic polyacrylamide flocculant with microblock structure in the hematite wastewater treatment: Characterization and flocculation performance Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects 693:134072, <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2008.08.063>.
- Zhu Z, Zhou Y, Li X, Liu L, Lu Y, Ren T (2025) Measuring soil particle density using water pycnometer: Influencing factors, errors, and correction Soil Science Society of America Journal 89:e70073, <https://doi.org/10.1002/saj2.70073>.
- N. Naghipourl, S.A. Ayyoubzadeh, M. Sedighkia, Laboratory study of the effect of flocculant on the coagulation and settling rate of fine sediment particles, 2016, 15th Iranian Hydraulics Conference, (In Persian).
- N. Naghipourl, S.A. Ayyoubzadeh, M. Sedighkia, Laboratory investigation of the effect of initial sediment concentration on the sedimentation of clay particles, 2016, 15th Iranian Hydraulics Conference, (In Persian).