مطالعه و بررسی فنی و اقتصادی کاهش اثرات زیست محیطی پساب کارخانه زغالشویی

بهرام رضایی - ناصر مهردادی - سید جماالدین نوحی

دانشیار دانشکده مهندسی معدن و متالورژی دانشگاه صنعتی امیرکبیر ، استادیار دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران،

کارشناس ارشد کارخانه زغالشویی (زیرآب)

چکیده

امروزه آلودگی محیط زیست به واسطه افزایش جمعیت و به تبع آن، افزایش فعالیتهای صنعتی و کاهش روزافزون ظرفیت منابع پذیرنده به پسماندهای صنعتی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می باشد. در میان صنایع مختلف سالانه حدود ۷۰۰،۰۰۰ مترمکعب پساب از کارخانه زغالشویی زیرآب علاوه بر تلفات بالغ بر ٤۰۰۰ تن زغال به صورت نرمه به محیط زیست تخلیه می گردد. بررسیهای نیمه صنعتی بر مبنای نتایج حاصل از مقیاس آزمایشگاهی با استفاده مخزن ۲۰۰ لیتری بازیابی عملیات را تا ۸۸ درصد نشان می دهد که تقریباً با نتایج حاصل از مرحله آزمایشگاهی منطبق است. مطالعات انجام شده در مقیاس آزمایشگاهی نشان می‌دهد که نه تنها می‌توان به روش تجمع‌سازی از جمله فلوکولاسیون، کواگولاسیون و یا فلوکولاسیون انتخابی به نتایج قابل توجهی دست یافت، بلکه بتوان آب با کیفیت مطلوب را به چرخه کارخانه وارد ساخت. مطالعات نیمه صنعتی نیز با استفاده از روش فلوکولاسیون به عنوان روشی برتر جهت بازیابی نرمه و فوق نرمه بسیار موفق بوده و منطبق بر نتایج بدست آمده در سطح جهانی می باشد. همچنین مطالعات مقدماتی اقتصادی نیز نشان می‌دهد که با چنین روشی می‌توان سالانه حدود ٤۵۰۰۰ تن نرمه زغال را بازیابی نمود که ارزشی معادل ۳۱٤،۵۸۰،۰۰۰ ریال خواهد داشت.

واژه‌های کلیدی: *اثرات زیست محیطی، تصفیه پساب، فلوکولاسیون زغال، بازیابی نرمه های زغال، بررسی اقتصادی، کیفیت آب، تجزیهٔ شیمیایی*

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-07-11]

۱- مقدمه:

زغال سنگ استخراج شده از معادن محتوی مواد زائد بسیاری می باشد که به همین منظور، جهت افزایش بازدهی کوره‌های فولادسازی از یک سو و کاهش اثرات زیست محیطی آن از سوی دیگر تحت عملیات زغالشویی قرار می‌گیرد، ولی در این مرحله نیز باطله‌های حاصل از عملیات زغالشویی به دلیل انتشار آلاینده‌ها به محیط، آلودگیهای زیست‌محیطی وسیعی را به دنبال داشته است [۱] . چنین وضعیتی را در اکثر کارخانه‌های زغالشویی می‌توان به وضوح دید. درچنین تأسیساتی حجم زیادی آب مصرف می شود که پس از عملیات شستشو، این آب که به آب سیاه معروف است، محتوی مقادیر زیادی مواد معلق مانند انواع کانیها، نرمه‌های زغال، آنیونها، کاتیونها و مولکولها (بخصوص مشتقات نفتی) می‌باشد که چنانچه به همین وضع به چرخه کارخانه برگردد بازدهی فرآیند را کاهش داده و در صورت راهیابی به آبهای پذیرنده، باعث آلودگی آنها نیز می‌گردد.

علاوه بر مسائل عنوان شده حجم بسیار زیادی از مواد باطله جامد نیز در کارخانه تشکیل می شود که در نتیجه، آبهای سطحی و زیرزمینی در اثر نفوذ پساب اسیدی و یا فلزات سنگین به شدت آلوده می شوند [۲،۳].

در سالهای اخیر به دلیل تولید ذرات بسیار ریز (ریزتر از ۱۰۰ میکرون) بازدهی روشهای متداول شستشوی زغال به حدی کاهش یافته که در برخی موارد حتی به روش فلوتاسیون نیز نمی توان چنین ذراتی را بازیابی نمود و به موازات آن روشهای متعددی‌ازجمله فلوکولاسیون، فلوکولاسیون انتخابی،کواگولاسیون،آگلومراسیون کروی نفتی و میکروفلوتاسیون جهت بازیابی ذرات نرمه زغال و دیگر مواد موجود در پساب کارخانه‌ها گزارش شده است [٤،٥،٦ و ۷]. در کلیه روشهای یاد شده جذب بین ذرات وجمع آنها هنگامی امکان پذیر خواهد بود که نیروی دافعه الکترواستاتیکی بین ذرات از نیروی جاذبه واندروالس کمتر باشد. از آنجا که نیروی الکترواستاتیکی بین ذرات بیشترین نیروی دافعه بین ذرات را تشکیل می‌دهد، لذا با تنظیم و تعدیل این نیرو تا حدودی می توان به تجمع‌ذرات دست‌یافت. در کواگولاسیون، با افزایش الکترولیت های معدنی به سوسپانسیون می توان ذرات باردار پایدار را با کاهش پتانسیل سطحی ذرات و فشردگی دو لایه‌ای الکتریکی ناپایدار ساخت. معمولاً از کاتیونهای Al^{3+} و Fe^{+3} می‌توان برای ذراتی با بار منفی استفاده نمود. کاتیونهای Al^{3+} مؤثر از Ca^{2+} ، و Ca^{2+} مؤثرتر از Na^{+} هستند. سولفات آلومینیم (آلوم) و آهک نیز هنگامی که بار سطحی ذرات منفی باشد به عنوان کواگولان استفاده می شود ولی فسفاتها (متافسفات سدیم و یا کالگون) وقتی بار سطحی ذرات مثبت باشد، مورد استفاده قرار می‌گیرند[۸].

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-07-11]

در فلوکولاسیون نیز از فلوکولانهای طبیعی (مانند نشاسته) و مصنوعی (مانند پلی آکریل آمید) با زنجیر طویل و وزن ملکولی زیاد استفاده می شود. در این فرآیند نیز با جذب سطحی پلیمر بر روی ذرات و تشکیل توده‌های درشت‌تر می‌توان سرعت ته‌نشینی ذرات را افزایش داد[۹]. پراکنش ذرات قبل از تجمع از جمله مراحل مهمی است که در فلوکولاسیون انتخابی باید بدان توجه داشت.

در اگلومراسیون کروی نفتی نیز ابتدا به کمک سیلیکات سدیم، کربنات سدیم و پلی اکریلاتها، نرمه‌ها را متفرق می کنند، و سپس به طور انتخابی توسط کلکتور آبران می شوند و در مرحله نهایی به کمک مایع دیگری که محتوی توده های روغنی است، ذرات آبران طی مکانیزم پیوند پلی، توده های متشکل از نرمه و روغن را تشکیل می دهند. از چنین مکانیزمی علاوه بر نرمه‌های زغال، در مورد گرافیت، سولفید روی و قلع نیز استفاده شده است[۱۰].

دراین رهگذر نیزازروش فلوکولاسیون و فلوکولاسیون انتخابی جهت بازیابی و کاهش ذرات معلق در پساب کارخانه استفاده شده است که در بخش های مختلف این مقاله به شرح آن پرداخته می شود.

۲- مطالعات مقدماتی

نمونه برداری و آماده سازی نمونه

حدوداً بیش از ۱۰۰ نمونه به کمک استوانه نمونه گیر با گنجایش ۵۰۰ میلی لیتر فقط از سرریز تیکنر موجود در کارخانه (منبع دیگری از پساب، باطله فلوتاسیون است که مورد مطالعه قرار نگرفته است) به مدت ۱۰ روز در نوبت‌های مختلف جمع‌آوری گردیده و پس از تهیه نمونه و فیلتر کردن، خشک گردیده است.

دانه بندی نمونه

میزان معینی نمونه توسط دستگاه دانه بندی لیزری و مدل ته نشینی نوری تجزیه و نتایج ذیل حاصل گردیده است:

۱- حدوداً ۹۰ درصد ذرات ریزتر از ۱۰۰ میکرون است.

۲- حدوداً ۸۰ درصد ذرات ریزتر از ٤٤ میکرون است.

۳- حدوداً ٤۰ درصد ذرات ریزتر از ۱۰ میکرون است.

٤- حدوداً۱٥ درصد ذرات ریزتر از ۱ میکرون است.

٥- با توجه به وضعیت دانه‌بندی، سوسپانسیون بسیار پایدار بوده [۸] و لازم است تا جهت افزایش سرعت ته نشینی و یا حذف چنین ذراتی از روشهای یاد شده استفاده شود.

مطالعات میکروسکپی، پتروگرافی و XRD

مطالعات میکروسکپی، پتروگرافی و XRD بر روی نمونه معرف نشان می‌دهد که کانیهای موجود به ترتیب فراوانی شامل کوارتز، کائولین، ایلیت، گوتیت، روتیل و زغال‌سنگ است که مقادیر محاسبه شده در جدول ۱ درج شده است.

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-07-11]

جدول ۱- نتایج حاصل از مطالعات میکروسکپی، پتروگرافی و XRD

نوع کانی	کوارتز	کائولین	ایلیت	گوتیت	روتیل	زغال و دیگر مواد
درصد	۲۰	۱٤	۱۰	۳/٥	۲/٥	٥۰

تعیین خاکستر نمونه معروف

آزمایشات تعیین خاکسر نشان می‌دهد که حدوداً ٤۹ درصد نمونه را خاکستر تشکیل می دهد که مطالعات میکروسکپی، پتروگرافی و XRD نیز چنین نتایجی را تأیید می کند.

تجزیه شیمیایی نمونه معروف

جدول ۲ نتایج حاصل از مطالعات XRF را نشان می دهد.

جدول ۲- آزمایشات XRF

عناصر	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	K_2O	MgO	دیگر مواد
درصد	۲۲	۲۰	۳/٥	۲	۱/٥	۰/٥	٥۰/٥

تعیین نوع بار سطحی کانیها و پتانسیل سوسپانسیون

با توجه به pH (حدود ۸)، پتانسیل محیط پایدار (٤٥- میلی ولت) و جدول یک میتوان بار سطحی مواد تشکیل دهنده سوسپانسیون را مطابق جدول ۳ تعیین نمود.

جدول ۳- نقطه بار صفر (ZPC) و وضعیت بار سطحی کانیها

نوع کانی	ایلیت	کوارتز	کائولین	روتیل	گوتیت	زغال
pH مربوط به نقطه بار صفر	۱-۰	۱/۸	۳/۲	٦/۷	٦-۷	۳/٥

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-07-11]

با توجه به جدول ۳:

۱- در pH سوسپانسیون طبیعی پساب (pH ≈ ۸) بار سطحی کلیه کانیها منفی می باشد.

۲- در pH ≈ ۸ می توان به کمک یک فلوکولان کاتیونی (پلی اکریل آمید) کلیه ذرات را به راحتی فلوکوله نمود.

۳- مطالعات تکمیلی

آماده سازی و مشخصات فلوکولان مصرفی

از پلی اکریل آمید به عنوان فلوکولان با جرم ملکولی $٤*١٠^{٦}$ استفاده شده است. حدود ۰/۵ گرم فلوکولان در یک لیتر آب سرد (در بشر دو لیتری) ریخته و به مدت ۳ ساعت مخلوط گردیده است. افزایش فلوکولان به آب سرد باید به نحوی باشد تا ضمن جلوگیری از گره شدن ذرات، از جدایش زنجیر پلیمری آن نیز جلوگیری شود.

شرایط کلی و پارامترهای عملیاتی

پارامترهای متعددی از جمله غلظت فلوکولان، pH، سرعت همزن و تأثیر غلظت پراکنده ساز (سیلیکات سدیم) مورد آزمایش قرار گرفته است. در شروع آزمایش (جهت تعیین غلظت بهینه فلوکولان دور همزن، pH و پتانسیل سوسپانسیون به ترتیب rpm ۲۵۰، ۸ و ٤٥- میلی ولت تعیین گردیده و نتایج بهینه در جداول ٤، ٥ ، ٦ و ۷ درج شده است.

جدول ۴- تغییرات غلظت فلوکولان نسبت به میزان شفافیت سیال و بازیابی

غلظت فلوکولان (g/lit)	خاکستر (٪)	میزان شفافیت	بازیابی ذرات (٪)
۰/۰۰۰۲۵	۱۵	کدر	۳۰
۰/۰۰۱۵	۳۸	عالی	۹۰
۰/۰۰۳	۳۰	خوب	٤٤
۰/۰۰۳۵	۳۲	تقریباً خوب	٤٠
۰/۰۰٤	٦	تقریباً کدر	۲۵

جدول ۵- تغییرات pH نسبت به میزان شفافیت سیال و بازیابی

pH	خاکستر (٪)	میزان شفافیت	بازیابی ذرات (٪)
۱۲	٤٤	عالی	۹٤
۸	٤٠	عالی	۹۳
۷	٤٠	عالی	۹۱
٦	۳٦	عالی	۹۰
۳	۳۲	عالی	۹۰

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-07-11]

جدول ۶- تغییرات غلظت سیلیکات سدیم نسبت به میزان شفافیت سیال و بازیابی

غلظت سیلیکات سدیم (g/lit)	خاکستر (٪)	میزان شفافیت	بازیابی ذرات (٪)
۰/۰۱۰	۳۸	خوب	۹۲
۰/۰۲۰	۳۱	کم	۸٦
۰/۰۳	۲٤	تقریباً کدر	۷۵
۰/۰۳۵	۲۸	کدر	۸۰
۰/۰۰۵	۳۵	نسبتاً خوب	۸۹

جدول ۷- تغییرات دور همزن نسبت به میزان شفافیت سیال و بازیابی

دور همزن (g/lit)	خاکستر (٪)	میزان شفافیت	بازیابی ذرات (٪)
۵۰	۳۷	کم	۷٦
۱۵۰	٤۹	عالی	۸۵
۲۵۰	٤۰	خوب	۹۰
۳۰۰	۳۵	تقریباً خوب	۸۸

۴- مطالعات نیمه صنعتی

با توجه به مطالعات مقدماتی و تکمیلی در مقیاس آزمایشگاهی، از یک مخزن ۲۰۰ لیتری جهت آماده سازی محلول فلوکولان (پلی اکریل آمید کاتیونی) استفاده شده است. احداث حوضچه‌ای به حجم m^3 ۱۵۰۰ به منظور در برگرفتن پساب از دیگر مواردی است که در مقیاس نیمه صنعتی از آن استفاده شده است.

به طور کلی از آنجا که آب برگشتی به کارخانه زغالشویی۵۰،۰۰۰ لیتر در ساعت محاسبه شده است، بنابراین ۰۰۰،۸۰۰ لیتر در روز و مصرف g/lit ۰/۰۰۱۵ فلوکولان (مطابق با شرایط بهینه حاصل از آزمایش) در محاسبات منظور گردیده است.

۵۰۰۰۰lit/h* ۱٦h/d * ۰/۰۰۱۵ g/lit = ۱۲۰۰g/d : ۱۰۰۰g = ۱/۲ Kg

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-07-11]

بنابراین روزانه به ۱۲۰۰ گرم پلیمر جهت انجام عملیات فلوکولاسیون نیاز می‌باشد.ولی مطابق مشاهدات و آزمایشات انجام شده با ۰/۰۰۱۵ g/lit پلیمر می‌توان عملاً ۲ لیتر محلول پساب را تصفیه نمود بنابراین:

۵۰۰۰۰lit/h* ۱۶h/d * ۰/۰۰۱۵ /۲ g/lit = ۶۰۰g/d

بنابراین ابتدا یک گرم پلیمر را در یک لیتر آب به صورت محلول درآورده و سپس تا آنجایی رقیق می شود که غلظت آن به $۷۵*۱۰^{-۵}$ g/lit کاهش یابد. مخلوط سازی پلیمر با سرعت ۳۰۰ دور در دقیقه و حدود ۳ ساعت به طول انجامیده است. پس از آماده سازی محلول فلوکولان، توسط مجرای باریکی با دبی ۳ lit/min به مخزن $۱۵۰۰m^3$ جهت عملیات فلوکولاسیون وارد شده است. نمونه برداری از پساب تصفیه شده با استوانه های مخصوص ۵۰۰ml و در زمانهای مختلف، بازیابی فرآیند را تا حدود ۸۸ درصد نشان داده است.

بنابراین از معادله زیر جهت بازیابی استفاده شده است: R=Cc/Ff *۱۰۰

که در آن:

Ff: میزان نرمه موجود قبل از فلوکولاسیون

R =۱۳/٤ / ۱۵/۲*۱۰۰ (۱۵/۲ g)

Cc: میزان نرمه موجود بعد از فلوکولاسیون (۱۳/٤ g) R = ۰/۰۸۸

۵- بررسی های اقتصادی

(محاسبات تقریبی بوده و در مقیاس صنعتی باید کلیه موارد در نظر گرفته شود)

الف – بازیابی زغال سالانه از سرریز تیکنر:

۵۰۰۰۰ lit/h *۲۱/۳۸ g/lit *۱۶ (پساب)

h/d *۲۹۲ d/y *۰/۹ ⇒ ٤٤۹۵ t/y (زغال)

ب- مصرف پلیمر سالانه:

۵۰۰۰۰ lit/h *۰/۰۰۱۵ g/lit × ۱۶ h/d *۲۹۲ d/y (پساب)

⇒ ۳۵۰/٤۰۰ kg/y (مصرف پلیمر سالانه)

بنابراین به منظور بازیابی ٤٤۹٤ تن زغال در سال حدوداً ۳۵۰/٤۰۰ کیلوگرم پلیمر مصرف می گردد.

ج – مصرف پلیمر به ازای یک تن زغال:

۳۵۰٤۰۰ g/y / ٤٤۹٤ t/y = ۷۷/۹۷ (پلیمر) g / t (زغال)

د- ارزش سالانه زغال:

سال / ریال ۵۸۰،۳۱٤،۰۰۰ = تن / ریال ۷۰،۰۰۰ * ٤٤۹٤ t/y

هـ – محاسبه هزینه سالانه خرید پلیمر

۳۵۰/٤۰۰ kg/y * ۱۰ دلار / kg

سال/ریال ×۰۰۰، ۷٦۰ ،۸=دلار / ریال ۲۵۰۰ *

۲۰،۰۰۰،۰۰۰ ریال نیز هزینه وسایل مورد نیاز و وسایل جنبی نیز به هزینه پلیمر اضافه می شود:

سال/ریال ۰۰۰،۲۸،۷٦۰=۰۰۰،۰۰۰،۲۰+۸۷٦۰۰۰۰۰

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-07-11]

ز-سود حاصل از عملیات فلوکولاسیون:

- ۵۸۰،۳۱٤،۰۰۰ قیمت زغال

۲۸۷٦۰۰۰۰ = ۸۲۰،۲۸۵،۰۰۰ هزینه ها

۶- تجزیه و تحلیل نتایج

با توجه به جدول ٤ به نظر می‌رسد که غلظت g/lit ۰/۰۰۱۵ فلوکولان مناسب باشد. دلیل کاهش شفافیت و بازیابی در غلظت های زیاد مطابق با نظریه بعضی از محققین[۱۱] پوشش بیش از حد ذرات توسط فلوکولان است و فرضیه اینکه نباید بیش از ۳۰ درصد ذرات توسط فلوکولان پوشیده شود در چنین وضعیتی مصداق پیدا می کند.

تغییرات pH (جدول ٥) یکی از مهمترین و اساسی ترین پارامترهای عملیاتی بوده زیرا در pH های بسیار اسیدی بار سطحی کلیه ذرات مثبت بوده و جدایش مطلوبی صورت نگرفته است.

پراکنده‌سازی ذرات قبل‌از فلوکولاسیون (جدول ٦) از پارامترهای کلیدی عملیات بوده زیرا باعث گردیده تا بطور انتخابی بتوان فلوکولاسیون را میسر ساخت. با توجه به جدول ۷ بنظر می رسد دور متوسط همزن (۱۵۰ دور در دقیقه) بهتر از دورهای بالا (به دلیل جدا شدن فلوکولان) و بهتر از دورهای پایین (عدم شرایط کافی جهت الصاق) باشد.

بررسیهای نیمه صنعتی بر مبنای نتایج حاصل از مقیاس آزمایشگاهی با استفاده از مخزن ۲۰۰ لیتری بازیابی عملیات را تا ۸۸ درصد نشان می‌دهد که تقریباً با نتایج حاصل از مرحله آزمایشگاهی همخوانی دارد.

محاسبات تقریبی اقتصادی نیز نشان می دهد که کل هزینه‌های سالانه معادل ۲۸،۷٦۰،۰۰۰ ریال بوده و با توجه به قیمت سالانه زغال بازیابی شده که‌معادل ۵۸۰،۳۱٤،۰۰۰ ریال محاسبه گردیده رقمی معادل ۸۲۰،۲۸۵،۰۰۰ ریال سود حاصل از فروش زغال می باشد. شایان ذکر است، با تصفیه چنین پسابی علاوه بر سود بدست آمده می توان آب نسبتاً خالصی را به چرخه کارخانه وارد ساخت که بی شک در بهبود فرآیند، بخصوص مدار فلوتاسیون بی‌تأثیر نیست. لذا در مقاله حاضر مشخص می گردد ضمن دستیابی به سود اقتصادی قابل ملاحظه، حفظ محیط زیست نیز میسر است.

۷- نتیجه و پیشنهادات

۱- مطالعات انجام شده بر روی پساب موجود در تیکنر کارخانه نشان می‌دهد که شاید بتوان باطله فلوتاسیون را نیز بدین ترتیب تصفیه نمود.

۲- با کنترل فلوکولاسیون تحت شرایط ذیل:

- غلظت فلوکولان: g/lit ۰/۰۰۱۵
- pH: ۱۲

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-07-11]

- غلظت سیلیکات سدیم به عنوان متفرقه: ۰/۰۱ g/lit
- دور همزن : (۱۵۰ rpm)

می توان ضمن دست یابی به بازیابی ۹۵ درصد ذرات معلق، ٤۹ درصد خاکستر

را نیز از محیط عمل خارج ساخت.

۳- بازیابی آب و ورود مجدد آن به چرخه کارخانه از دیگر محسنات این روش است.

٤- بهتر است مطالعات کواگولاسیون با آهک‌ویا آزمایشات میکروفلوتاسیون نیز در ادامه آزمایشات پیش بینی شود.

٥- محاسبات اقتصادی انجام شده صرفاً جنبه تقریبی داشته و لازم است تا عملیات نیمه صنعتی با تجهیزات مجهز تری صورت گیرد و در محاسبات کلیه پارامترهای اقتصادی در نظر گرفته شود.

مراجع

۱- بابک وقار و بهرام رضایی (۱۳۷۷) بررسی اثرات زیست محیطی ناشی از کارخانه های زغالشویی، سمینار ارشد ـ دانشگاه صنعتی امیر کبیر

2- N. Berkowitz, (1994) An introduction to coal technology, Academic press limited. p.46-61-368 and 373.

3- D.L; Khoury (1981) Coal Cleaning Technology. Noyes, Data Corp: p.316-330

4- M.J.Pears and J.Barnet (1979) Chemical Treatments for Thickening and Filteration. 2th. World Filteration Congress. p. 460-465

5- P.Somasundaran (1982) Fine Particle Processing vol. 2p. 947-973 and 991-993.

6- D.M,Deason et al (1985) Selective Flocculation Process for Cleaning of Lignite, Lignite Utilization symp. Texas.

7- Y.Attia (1986) Selective Flocculation Cleaning Upper Free Port Coal with Polymeric Flocculant. Int. Symp. On Floc. In Biotech. And Sepn. System Sanfrancisco.

8-. Rezai (1997) Flotation, Hormozgan uni. Pub. P. 266-284.

9- M.J. Pears and J.Barnet. (1979) Second World Filteration Congress. London. p. 460-465

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-07-11]

10- C.E, Capes (1979) “Agglomeration” coal preparation by Leonard. 4th Edn . p. 10-105-10-113
11- T.W., Healy (1979) Principles of Dispersion and Aggregation of Mineral Fines. Beneficiation of Mineral Fines by P.Somasundaran and Arbiter S.M.E.p. 177-198

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-07-11]