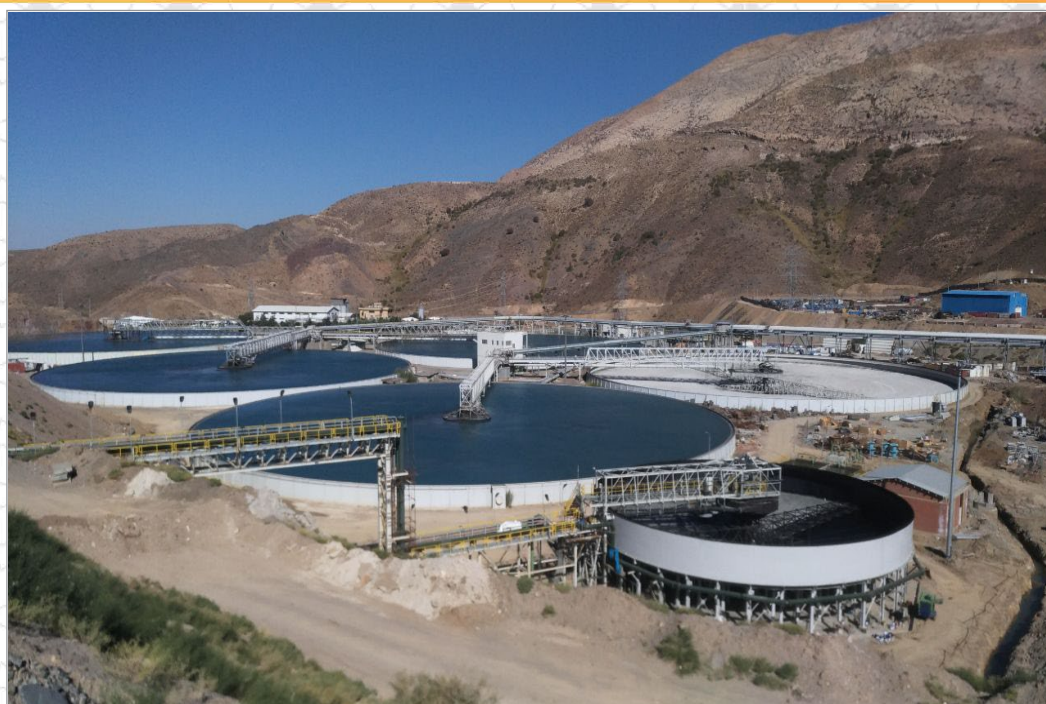
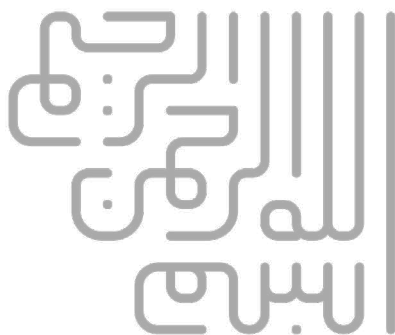


راهکارهای مدیریت باطله‌های معدنی (۲): بررسی وضعیت بازیابی آب از باطله کارخانه‌های فراوری مواد معدنی (در راستای ماده (۳۹) قانون برنامه پنج ساله هفتم پیشرفت کشور)



شماره مسلسل: ۲۱۶۷۳
کد موضوعی: ۳۱۰



عنوان: راهکارهای مدیریت باطله‌های معدنی (۲): بررسی وضعیت بازیابی آب از باطله کارخانه‌های فراوری مواد معدنی (در راستای ماده (۳۹) قانون برنامه پنج‌ساله هفتم پیشرفت کشور)

نوع گزارش: طرح/لایحه ☐، نظارتی ☐، راهبردی ☒، پیش‌نویس قانونی ☐

نام دفتر: مطالعات انرژی، صنعت و معدن (گروه معدن و صنایع معدنی)

ناظران علمی: میلاد بیگی، حبیب‌اله ظفریان

مدیر مطالعه: حسین کارآزمای جهرمی

گرافیک و صفحه‌آرایی: نفیسه حاجی‌صفری

ویراستار ادبی: اکرم وحدانی‌فر

تاریخ شروع مطالعه: ۱۴۰۴/۰۳/۰۱

نماینده در پایگاه مرکز اطلاعاتی علمی جهاد دانشگاهی (SID)، پایگاه مجلات تخصصی نور (Noor Mags)



تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۴/۹
Publish Date : 2026/06/30



عنوان: راهکارهای مدیریت باطله‌های معدنی (۲): بررسی وضعیت بازیابی آب از باطله کارخانه‌های
فراوری مواد معدنی (در راستای ماده (۳۹) قانون برنامه پنج‌ساله هفتم پیشرفت کشور)
تهیه و تدوین کنندگان (Authors): زهرا بی‌باک، حسین کارآزمای جهرمی
واژه‌های کلیدی: باطله کارخانه فراوری، بازیابی آب، تأمین آب معادن
ناشر: مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی

DOI: [10.22034/mrc.report.21673](https://doi.org/10.22034/mrc.report.21673)

Permanent Link:

Publisher : Islamic Parliament Research Center of Iran

فهرست مطالب

چکیده.....	۶
خلاصه مدیریتی.....	۷
۱. مقدمه.....	۱۰
۲. بررسی وضعیت تأمین آب مصرفی معادن کشور.....	۱۱
۳. بررسی وضعیت تأمین آب معادن از آب‌های نامتعارف (آب دریا و پساب) در کشور.....	۱۳
۴. بررسی وضعیت تأمین آب معادن از طریق بازیابی آب از باطله کارخانه‌های فراوری مواد معدنی.....	۱۵
۵. چالش‌های توسعه مدارهای آب‌گیری از باطله کارخانه‌های فراوری مواد معدنی در کشور.....	۲۴
۶. جمع‌بندی و پیشنهادات.....	۲۷
منابع و مأخذ.....	۲۹

فهرست جداول

جدول ۱. بررسی میزان بازیابی آب از باطله کارخانه فراوری و میزان مصرف از منابع آب متعارف و نامتعارف در شرکت‌های معدنی کشور در سال ۱۴۰۳ و مقایسه عملکرد با شرکت‌های معدنی جهان.....	۷
جدول ۲. قیمت آب در محل تحویل برای خط‌های انتقال آب.....	۸
جدول ۳. میزان مصارف آب در مجتمع‌های معدنی کشور در سال ۱۴۰۳.....	۱۲
جدول ۴. قیمت آب در محل تحویل برای خط‌های انتقال آب.....	۱۳
جدول ۵. وضعیت بهره‌برداری از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری در سال ۱۴۰۳ توسط برخی از شرکت‌های معدنی.....	۱۴
جدول ۶. میزان بازیابی آب از باطله‌ها و میزان آب تازه مصرفی در معادن مختلف در سال ۱۴۰۳.....	۲۰
جدول ۷. مقایسه عملکرد شرکت‌های معدنی ایران و جهان در زمینه آب‌گیری از باطله کارخانه‌های فراوری.....	۲۳
جدول ۸. حداکثر میزان مجاز تخلیه یا حداقل در صد بازیابی آب در بخش‌های مختلف صنعت و معدن در کشور چین.....	۲۶

فهرست شکل‌ها

شکل ۱. طبقه‌بندی روش‌های آب‌گیری از باطله کارخانه فراوری مواد معدنی.....	۱۵
شکل ۲. استفاده از تیکنر، فیلتر و حمل بانوار نقاله برای مدیریت باطله‌های معدنی.....	۱۷
شکل ۳. تیکنر نرخ بالا در مجتمع صنعتی و معدنی گل‌گهر سیرجان.....	۱۸
شکل ۴. الف) سد آبگیر (قرمز) و رسوب‌گیر (زرد)، ب) تیکنرهای مخروط عمیق مس میدوک.....	۱۹
شکل ۵. نمودار تعادل آب در سه واحد مجتمع سرچشمه (تغلیظ، لیچینگ و پالایشگاه) در سال ۱۴۰۳.....	۲۲



راهکارهای مدیریت باطله‌های معدنی (۲): بررسی وضعیت بازیابی آب از باطله کارخانه‌های فراوری مواد معدنی (در راستای ماده (۳۹) قانون برنامه پنج‌ساله هفتم پیشرفت کشور)

چکیده



به‌طور کلی واحدهای معدنی که به روش تر فعالیت می‌کنند، به‌دلیل ماهیت فرایندهایی نظیر خردایش، فلو تاسیون (شناورسازی) و جدایش، وابستگی قابل توجهی به آب دارند و آب در آنها، جزء نهاده‌های اصلی تولید محسوب می‌شود. ظرفیت بالای این واحدها در کنار محدودیت شدید منابع آبی و بحران کم‌آبی در کشور، ضرورت بازیابی آب از باطله کارخانه‌های فراوری مواد معدنی را دوچندان می‌سازد. از طرف دیگر قانونگذار در جزء «۱» بند «ب» ماده (۳۹) قانون برنامه پنج‌ساله هفتم پیشرفت کشور، صنایع آب‌بر از جمله معادن را به تأمین آب از منابع نامتعارف موظف کرده است. بررسی عملکرد بازچرخانی آب در واحدهای بزرگ معدنی کشور نشان می‌دهد که دامنه بازیابی آب در این واحدها بسیار گسترده است؛ در صنعت مس، میزان بازیابی آب از باطله‌ها بین ۴۵ تا ۶۳ درصد، در سنگ آهن صفر تا ۸۵ درصد و در طلا صفر تا ۷۵ درصد گزارش می‌شود. همچنین برخی از شرکت‌های بزرگ معدنی، فاقد مدار آب‌گیری از باطله‌های فراوری‌اند. از طرفی دیگر باتوجه به قیمت تمام شده آب انتقالی از دریا (۲/۵ تا ۳/۶ یورو به‌ازای هر متر مکعب)، هرگونه افزایش (حتی یک درصد) در نرخ بازچرخانی آب، تأثیر مستقیم و معناداری بر کاهش هزینه‌های تأمین آب و بهبود اقتصاد عملیاتی واحدهای معدنی خواهد داشت. بااین حال موضوع مدیریت مصرف و بازیابی آب از باطله‌های فراوری، در حال حاضر عمدتاً به‌عنوان ملاحظه زیست‌محیطی و نه الزام راهبردی تلقی می‌شود. در نتیجه مسئولیت آن به بهره‌برداران واگذار شده است؛ در حالی که متولی مشخصی برای نظارت و برنامه‌ریزی در خصوص ارتقای بهره‌وری و افزایش نرخ بازچرخانی

آب وجود ندارد. علاوه بر آن، فقدان اطلاعات جامع و به روز از میزان آب مصرفی صنایع معدنی کشور، برنامه‌ریزی برای مدیریت و تأمین آب از منابع نامتعارف را با چالش جدی مواجه ساخته است. در شرایط کنونی، نمودار تعادل آب، که ابزاری برای پایش مصارف و ارزیابی عملکرد بازیابی آب است، برای اغلب شرکت‌های معدنی تهیه نشده یا در دسترس نیست. بنابراین، تهیه و به‌روزرسانی مستمر این نمودار برای تمام شرکت‌های معدنی، الزامی حیاتی و پیش‌نیاز هرگونه سیاستگذاری مؤثر در این حوزه است.

« خلاصه مدیریتی

بیان / شرح مسئله

به‌طور کلی واحدهای معدنی که به روش تر فعالیت می‌کنند، وابستگی قابل توجهی به آب دارند و مصرف آب در آنها، جزء نهاده‌های اصلی تولید محسوب می‌شود. این مصرف، در مقیاس صنعتی و با توجه به ظرفیت بالای واحدهای فراوری در شرکت‌های معدنی، در کنار محدودیت شدید منابع آبی و بحران کم‌آبی در کشور، فشار مضاعفی بر منابع آبی وارد می‌کند. از طرف دیگر در جزء «۱» بند «ب» ماده (۳۹) قانون برنامه پنج‌ساله هفتم پیشرفت کشور، به منظور اصلاح الگوی مصرف آب و ارتقای بهره‌وری، آمده است: «آب مورد نیاز صنایع آب‌بر، به‌جز صنایع غذایی، بهداشتی و آشامیدنی، از آب نامتعارف (از جمله پساب و آب دریا) تأمین می‌شود». همچنین در آیین‌نامه اجرایی این جزء مشخص شده است که صنایع با مصرف بیش از سیصد هزار مترمکعب در سال، مانند معادن، جزء صنایع آب‌بر محسوب می‌شوند. در چنین شرایطی، بازیابی آب از باطله کارخانه‌های فراوری مواد معدنی به‌عنوان راهکاری مکمل و مؤثر اهمیت می‌یابد؛ چراکه ضمن کاهش مصرف آب تازه، به کاهش حجم باطله‌ها و ارتقای پایداری زیست‌محیطی کمک می‌کند.

نقطه‌نظرات / یافته‌های کلیدی

برای ارزیابی وضعیت بازیابی آب در کارخانه‌های فراوری کشور، ابتدا چند ماده معدنی مهم و راهبردی شامل مس، سنگ آهن، آلومینیم و طلا به‌عنوان مبنای بررسی انتخاب شد. سپس از میان شرکت‌ها و مجتمع‌های فعال، تعدادی از بزرگ‌ترین واحدهای معدنی کشور برای بررسی عملکرد، انتخاب شدند. عملکرد این واحدها از نظر میزان بازیابی آب مطابق جدول ۱ ارزیابی شده است.

جدول ۱. بررسی میزان بازیابی آب از باطله کارخانه‌های فراوری و میزان مصرف از منابع آب متعارف و نامتعارف در شرکت‌های معدنی کشور در سال ۱۴۰۳ و مقایسه عملکرد با شرکت‌های معدنی جهان

ماده معدنی	شرکت معدنی	درصد بازیابی آب از باطله‌های کارخانه فراوری	درصد بازیابی آب از باطله‌های فراوری در جهان	منابع آب نامتعارف (آب دریا دریافتی از خلیج فارس و تصفیه فاضلاب‌ها (مترمکعب)) / (سهم از آب تازه مصرفی (درصد))	منابع آب متعارف (مترمکعب) / (سهم از آب تازه مصرفی (درصد))
طلا	موته	۰	۸۴ تا ۸۵	۰ / (۰)	۳۵۲,۰۰۰ / (۱۰۰)
	زرشوران	۷۳-۷۵		۰ / (۰)	۱۷۹,۶۳۲ / (۱۰۰)
مس	سرچشمه	۶۷	۷۷ ^{۱۱}	۱۹,۹۸۷,۱۸۱ / (۵۴)	۱۷,۳۲۰,۰۰۰ / (۴۶)
	سونگون	۴۵-۴۰		۰ / (۰)	۳,۵۴۱,۲۳۹ / (۱۰۰)
	شهر بابک	۶۳		۰ / (۰)	۶,۵۸۹,۲۹۳ / (۱۰۰)



ماده معدنی	شرکت معدنی	درصد بازیابی آب از باطله‌های کارخانه فراوری	درصد بازیابی آب از باطله‌های فراوری در جهان	منابع آب نامتعارف (آب دریا دریافتی از خلیج فارس و تصفیه فاضلاب‌ها (مترمکعب)) / (سهم از آب تازه مصرفی (درصد))	منابع آب متعارف (مترمکعب) / (سهم از آب تازه مصرفی (درصد))
سنگ آهن	گل‌گهر	۸۵	۸۸/۵***	۸,۰۰۴,۷۳۱ / (۸۰)	۲,۰۲۳,۷۵۲ / (۲۰)
	سیرجان ایرانیان	۳۷		۴۹۹,۷۵۷ / (۳۶)	۸۹۰,۷۲۷ / (۶۴)
	چادرم‌لو	۰		۱,۵۵۳,۱۶۹ / (۳۱)	۳,۴۵۲,۷۹۹ / (۶۹)
	فولاد سنگان خراسان	۷۵/۴		۵,۲۷۵ / (۰/۳)	۱,۹۴۹,۸۶۶ / (۹۹/۷)
	اپال پارسین سنگان	۶/۵		۳۶,۵۰۰ / (۲)	۲,۱۹۱,۵۰۰ / (۹۸)
آلومینیم	آلومینای ایران (جاجریم)	۴۵ ^۱	۷۸****	۰ / (۰)	۲,۱۲۴,۰۰۰ / (۱۰۰)

* معدن تامبو شیلی، ** معدن کبریزا پرو، *** کارخانه Serra Azul برزیل، **** معدن بوکسیت آلونورته برزیل.
مأخذ: اطلاعات دریافتی از شرکت‌ها و مجتمع‌های مربوطه.

بعضی از صنایع مانند شرکت چادرم‌لو و مجتمع طلای موله، مدار آب‌گیری از باطله کارخانه فراوری ندارند که این باعث هدررفت بخش زیادی از آب می‌شود. همچنین تعدادی از این مجتمع‌ها و شرکت‌های معدنی مانند مس سرچشمه، فولاد سیرجان ایرانیان و چادرم‌لو از منابع آب نامتعارف برای تأمین بخشی از آب تازه مصرفی استفاده می‌کنند. از طرف دیگر، مقایسه میزان بازیابی آب از باطله کارخانه‌های فراوری در شرکت‌های بزرگ معدنی کشور با شرکت‌های معدنی سایر کشورها، نشان می‌دهد که این میزان حتی با استفاده از روش‌های مشابه بازچرخانی آب، متفاوت است و در برخی موارد برای شرکت‌های داخلی به‌طور قابل توجهی کمتر است. البته باید توجه داشت این تفاوت عملکردی می‌تواند ناشی از عواملی مانند ویژگی‌های سنگ معدن، طراحی مدار فراوری، استانداردسازی عملیات آب‌گیری از باطله‌ها یا حتی تفاوت در تجهیزات و فناوری‌های مورد استفاده باشد.

همچنین در برخی از معادن کشور، پروژه‌های شیرین‌سازی و انتقال آب از خلیج فارس و دریای عمان و نیز استفاده از فاضلاب‌های شهری و صنعتی تصفیه شده، در دستور کار قرار گرفته است؛ باین حال، این راهکارها با چالش‌های جدی همچون هزینه‌های سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری بالا (قیمت بالای آب تحویلی)، مصرف قابل توجه انرژی، پیامدهای زیست‌محیطی و محدودیت‌های فنی و بهداشتی روبه‌رو شده‌اند. قیمت آب در محل تحویل برای خط‌های انتقال آب در جدول ۲ آمده است.

جدول ۲. قیمت آب در محل تحویل برای خط‌های انتقال آب [۱۰]				
قیمت آب در محل تحویل (یورو به ازای هر مترمکعب)				سامانه انتقال آب
آب شیرین‌کن	گل‌گهر سیرجان	مس سرچشمه	چادرم‌لو	خط اول خلیج فارس [*]
۱/۲۲	۲/۵۱	۳/۰۵	۳/۶۹	
گیشاب	زاهدان	جانجا	بیرجند	استان‌های شرقی ^{**}
۰/۸۷	۱/۹۷	۲/۱۳	۲/۵۴	

* قیمت آب خط اول انتقال آب از خلیج فارس به تفکیک آب شیرین‌کن و صنایع معدنی بر مبنای قیمت برق ۷۰۰ تومان به ازای هر کیلووات.
** قیمت فروش آب در محل‌های تحویل در این طرح با توجه به سال پایه ۱۴۰۳.

۱. شرکت آلومینای ایران اعلام کرد که در عمل، میزان بازیابی آب فقط ۱۵ درصد است.

براین اساس، هر چند در قانون برنامه هفتم تأکید شده است که آب مورد نیاز صنایع آب‌بر از منابع نامتعارف تأمین شود، عدم اجرای مؤثر آن، موجب شده است تأمین آب مورد نیاز معادن از آب‌های متعارف همچنان ادامه داشته باشد. بر همین اساس می‌توان گفت، توسعه مدارهای آب‌گیری از باطله کارخانه‌های فراوری مواد معدنی در کشور با چالش‌های مختلفی مواجه است. در ادامه به برخی از این موارد اشاره شده است:

- نهاد متولی مشخصی با هدف نظارت و برنامه‌ریزی در حوزه‌های مختلف مصارف آب در صنایع معدنی کشور مانند پایش مصارف آب در بخش‌های مختلف، میزان بازچرخانی آن و... وجود ندارد. این مسئله سبب شده است آب‌گیری از باطله‌های فراوری صرفاً به‌عنوان یک موضوع زیست‌محیطی تلقی، و به‌نوعی به خود بهر‌مدار واگذار شود. این موضوع موجب شده است همچنان بخشی از آب مورد نیاز معادن از منابع متعارف تأمین شود.
- یکی از چالش‌های اصلی در مدیریت آب در صنایع معدنی کشور، عدم دستیابی به اطلاعات صحیح، جامع و به‌روز است. در حال حاضر نبود داده‌هایی مانند میزان مصارف و نمودار تعادل آب شرکت‌های معدنی، سبب شده است نتوان درست و به‌موقع در زمینه‌هایی مانند بهینه‌سازی مصرف، پیش‌بینی و کاهش ریسک‌هایی مانند آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی و کم‌آبی برنامه‌ریزی کرد. از سوی دیگر، اطلاعات اغلب در سازمان‌های مختلفی مانند وزارت صنعت، معدن و تجارت، وزارت نیرو، سازمان حفاظت محیط زیست و شرکت‌های آب منطقه‌ای پراکنده است؛ نبود ساز و کاری کارآمد برای اشتراک‌گذاری سیستماتیک و شفاف این اطلاعات، به موازی‌کاری، تکرار هزینه‌های مطالعاتی و درنهایت تصمیم‌گیری بر اساس داده‌های ناقص منجر می‌شود.
- در قانون برنامه پنج‌ساله هفتم پیشرفت، از سه روش ممکن برای تأمین آب از منابع نامتعارف (شیرین‌سازی و انتقال آب دریا، استفاده از پساب و فاضلاب شهری و صنعتی، و بازیابی آب از باطله کارخانه‌های فراوری مواد معدنی)، صرفاً بر دو روش نخست تأکید شده و روش سوم، یعنی بازیابی آب از باطله کارخانه‌های فراوری مواد معدنی، به‌عنوان راهکار دارای اولویت و به‌صورت الزام قانونی مطرح نشده است.

پیشنهاد راهکارهای تقنینی، نظارتی یا سیاستی

در نهایت با توجه به یافته‌های این گزارش، پیشنهادهایی برای مدیریت باطله‌های معدنی با تمرکز بر بازیابی آب از باطله کارخانه‌های فراوری مواد معدنی در کشور ارائه شده است:

■ **تعیین نهاد متولی مشخص برای نظارت، برنامه‌ریزی و سیاستگذاری در حوزه مدیریت مصرف و ارتقای بهره‌وری آب در صنایع آب‌بر کشور (از جمله صنایع معدنی) در اسناد بالادستی**

پیشنهاد می‌شود در اسناد بالادستی (از جمله قانون برنامه پنج‌ساله هفتم پیشرفت)، وزارت صنعت، معدن و تجارت به‌عنوان متولی نظارت بر ارتقای بهره‌وری و مدیریت آب در صنایع آب‌بر کشور (از جمله صنایع معدنی) تعیین و مکلف شود با همکاری وزارت نیرو متناسب با مشخصات و ویژگی‌های هریک از این صنایع، برنامه جامع ارتقای بهره‌وری آب در صنایع آب‌بر را تدوین و بر حسن اجرای آن نظارت کند.

■ ایجاد پایگاه داده‌های آب صنایع معدنی کشور

با هدف جمع‌آوری و انتشار اطلاعات مربوط به آب در شرکت‌های معدنی کشور (میزان مصرف آب در بخش‌های مختلف، میزان آب تازه مصرفی به تفکیک منابع تأمین آن و میزان بازیابی آب) و دستیابی به نمودار تعادل آب در این شرکت‌ها، لازم است ساز و کاری برای جمع‌آوری این اطلاعات توسط وزارتخانه‌های صنعت، معدن و تجارت و نیروی طراحی شود؛ به‌نحوی که این اطلاعات ضمن ذخیره‌سازی، قابلیت پایش و نظارت داشته باشند.

■ **اضافه کردن راهکار آب‌گیری از باطله‌های کارخانه فراوری مواد معدنی به‌عنوان یکی از گزینه‌های تأمین آب نامتعارف در معادن در قوانین و مقررات مربوطه**

با توجه به محدودیت‌های کمی منابع آبی کشور، پیشنهاد می‌شود بازیابی آب از باطله‌های کارخانه‌های فراوری مواد معدنی به‌عنوان یکی از گزینه‌های تأمین آب نامتعارف در معادن در آیین‌نامه اجرایی جزء «۱» بند «ب» ماده (۳۹) برنامه هفتم پیشرفت به‌صورت صریح و الزام‌آور بیان شود.



۱. مقدمه

آب به عنوان یکی از حیاتی‌ترین منابع طبیعی، نقش کلیدی در فعالیت‌های معدنی و به‌ویژه در واحدهای فراوری مواد معدنی ایفا می‌کند. به‌طور کلی واحدهای معدنی که به روش‌تر فعالیت می‌کنند، به دلیل ماهیت فرایندهایی نظیر خردایش، فلو تاسیون و جدایش، وابستگی قابل توجهی به آب دارند و مصرف آب در آنها، جزء نهاده‌های اصلی تولید محسوب می‌شود. این مصرف، در مقیاس صنعتی و با توجه به ظرفیت بالای واحدهای فراوری در شرکت‌های معدنی، در کنار محدودیت شدید منابع آبی و بحران کم‌آبی در کشور، فشار مضاعفی بر منابع آبی وارد می‌کند.

از طرفی با کاهش عیار ماده معدنی در معادن جهان، میزان آب بیشتری به‌زای تولید هر تن محصول با ارزش، مصرف، و باطله بیشتری تولید می‌شود. این میزان مصرف، در مقیاس صنعتی و با توجه به ظرفیت بالای واحدهای فراوری، فشار مضاعفی بر منابع آبی کشور وارد می‌کند.

از سوی دیگر، در حال حاضر کشور با شرایط محدودیت شدید منابع آب و بحران کم‌آبی مواجه است. برداشت‌های بی‌رویه از آب‌های سطحی و زیرزمینی، تغییرات اقلیمی، کاهش بارش‌ها و رشد تقاضای بخش‌های مختلف، موجب شده است که دسترسی به آب متعارف، به یکی از اصلی‌ترین چالش‌های توسعه پایدار بدل شود. با توجه به اینکه بیش از ۹۰ درصد مساحت ایران خشک یا نیمه‌خشک است، این موضوع اهمیت ویژه‌ای دارد [۲-۴]. در چنین شرایطی، چگونگی تأمین آب مورد نیاز صنایع معدنی، از اهمیت بالایی برخوردار است.

در جزء «۱»، بند «ب» ماده (۳۹) برنامه هفتم پنج‌ساله هفتم پیشرفت کشور تصریح شده است که تأمین آب مورد نیاز بخش معدن باید از طریق منابع آب نامتعارف صورت گیرد. در این چارچوب، استفاده از آب دریا پس از نمک‌زدایی، آب حاصل از تصفیه فاضلاب‌های شهری و صنعتی و آب حاصل از آب‌گیری از باطله کارخانه‌های فراوری مواد معدنی به عنوان گزینه‌های اصلی تأمین آب مورد نیاز معادن از آب‌های نامتعارف مطرح شده‌اند. باید توجه داشت که در عمده صنایع معدنی از روش‌تر برای فراوری استفاده می‌شود و به همین دلیل، باطله به صورت پالپ (مخلوط آب و جامد) تولید می‌شود؛ بنابراین امکان بازیابی آب و جلوگیری از هدررفت در این صنایع وجود دارد. توسعه بازیابی آب از باطله‌ها، نه فقط میزان برداشت از منابع آب متعارف را کاهش می‌دهد، بلکه به بهبود شاخص‌های زیست‌محیطی، کاهش حجم باطله‌ها و افزایش ایمنی سدهای باطله نیز کمک می‌کند [۵].

در گزارش حاضر، به عنوان دومین مورد از مجموعه گزارش راهکارهای مدیریت باطله‌های معدنی، به بررسی وضعیت موجود و راهبردهای بازیابی آب از باطله کارخانه‌های فراوری مواد معدنی پرداخته شده است. در این گزارش پس از تحلیل میزان مصارف آب در برخی صنایع معدنی کشور، روش‌های معمول بازیابی آب از باطله کارخانه‌های فراوری مواد معدنی در جهان بررسی و در ادامه وضعیت ایران در آب‌گیری از باطله کارخانه‌های فراوری مواد معدنی از منظر کارشناسی واکاوی شده است. در نهایت چالش‌های بازیابی آب از باطله فراوری در کشور بیان و راهکارهایی برای اصلاح وضعیت فعلی پیشنهاد شده است.

۲. بررسی وضعیت تأمین آب مصرفی معادن کشور



۲-۱. روش‌های تأمین آب مورد نیاز معادن

تأمین آب برای فعالیت‌های معدنی، به عنوان یکی از مهم‌ترین ملزومات توسعه پایدار این بخش، در دو دسته کلی منابع متعارف و نامتعارف تقسیم می‌شود. منابع متعارف آب‌هایی‌اند که بخشی از چرخه آب در طبیعت بوده و به‌طور مستقیم قابل استفاده‌اند؛ مانند آب‌های سطحی و زیرزمینی حاصل از بارش، جریان‌های رودخانه‌ای، چشمه‌ها و قنات‌ها. این منابع به دلیل سهولت دسترسی، در گذشته اصلی‌ترین منبع تأمین آب در بخش معدن بوده‌اند. با این حال، ظرفیت محدود تجدیدپذیری و فشارهای فزاینده ناشی از خشک‌سالی‌ها و برداشت‌های بی‌رویه، استمرار استفاده گسترده از آنها را با چالش‌های جدی زیست‌محیطی و اجتماعی مواجه ساخته است.

منابع نامتعارف آب‌هایی‌اند که شامل آب متعارف نمی‌شوند؛ در واقع آب‌هایی که به‌طور مستقیم در چرخه طبیعی در دسترس قرار ندارند. با تشدید فشار بر منابع آب متعارف، ضرورت بهره‌گیری از منابع نامتعارف و جایگزین، بیش از پیش احساس شده است. در همین راستا در برنامه پنج‌ساله هفتم پیشرفت، فصل هشتم، جزء «۱» بند «ب» ماده (۳۹) به منظور اصلاح الگوی مصرف بهینه آب و ارتقای بهره‌وری آمده است: «آب مورد نیاز صنایع آب‌بر، به جز صنایع غذایی، بهداشتی و آشامیدنی، از آب نامتعارف (از جمله پساب و آب دریا) تأمین می‌شود» [۶]. همچنین در آیین‌نامه اجرایی این جزء مشخص شده است که صنایع با مصرف بیش از سیصد هزار مترمکعب در سال، مانند معادن، جزء صنایع آب‌بر محسوب می‌شوند [۷].

سه راهکار برای تأمین پایدار آب در معادن از منابع نامتعارف وجود دارد: شیرین‌سازی آب دریا و انتقال آن، استفاده از پساب‌ها و فاضلاب‌های شهری و صنعتی، و آب‌گیری از باطله کارخانه‌های فراوری مواد معدنی. بدین ترتیب، رویکرد تأمین آب در بخش معدن وارد مرحله‌ای شده است که اتکای صرف به منابع آب متعارف، جای خود را به بهره‌گیری ترکیبی از فناوری‌های نوین و منابع جایگزین داده است.

۲-۲. میزان مصرف آب در صنایع معدنی کشور

آب به عنوان یکی از مهم‌ترین منابع حیاتی نقش کلیدی در فعالیت‌های معدنی دارد. بسیاری از فرایندهای استخراج و فراوری مواد معدنی، به مصرف حجم قابل توجهی از آب وابسته‌اند. در ایران، با توجه به شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک و محدودیت منابع آب شیرین، مدیریت مصرف آب در فعالیت‌های معدنی به ضرورتی اجتناب‌ناپذیر برای تداوم عملیات و پایداری محیط زیست تبدیل شده است. برای ارزیابی وضعیت بازیابی آب در کارخانه‌های فراوری کشور، ابتدا چند ماده معدنی مهم و راهبردی شامل مس، سنگ آهن، آلومینیم و طلا به عنوان مبنای بررسی انتخاب و سپس از میان شرکت‌ها و مجتمع‌های فعال در حوزه فراوری این مواد، تعدادی از بزرگ‌ترین واحدهای معدنی کشور برای بررسی عملکردشان برگزیده شده‌اند. در جدول ۳ میزان مصرف آب در برخی از شرکت‌ها و مجتمع‌های معدنی کشور در سال ۱۴۰۳ نشان داده شده است.



جدول ۳. میزان مصارف آب در مجتمع‌های معدنی کشور در سال ۱۴۰۳

ماده معدنی	شرکت معدنی	میزان مصرف آب (مترمکعب به ازای هر تن محصول)
طلا	مجتمع طلای موته	۱/۶
	شرکت گسترش معادن و صنایع معدنی طلای زرشوران	۰/۴۵۸
مس	تغلیظ	لیچینگ
	شرکت صنایع ملی مس (سرچشمه)	۲۷/۹۹
	شرکت صنایع ملی مس (سونگون)	۹/۵۲
	شرکت صنایع ملی مس (شهر بابک)	۲۸/۵۲
سنگ آهن	کنساتره آهن	گندله
	شرکت معدنی و صنعتی گل‌گهر	۰/۵۸۸
	شرکت سیرجان ایرانیان	۱/۳۲۰
	شرکت معدنی و صنعتی چادرملو	۰/۸۳۰
	شرکت صنایع معدنی فولاد سنگان خراسان	۰/۳۹۰
	شرکت اپال پارسیان سنگان	۰/۷۰۰
آلومینیم	معدن‌کاری و فراوری بوکسیت	خالص‌سازی آلومینا
	آلومینای ایران (جایرم)	۰/۵۰

مأخذ: اطلاعات دریافتی از شرکت‌ها و مجتمع‌های مربوطه.

میزان خاک فراوری شده در معادن طلای موته و زرشوران به ترتیب ۲۲۰۰۰ و ۳۹۲۴۲۹ تن در سال ۱۴۰۳ بوده است. مصرف آب به ازای هر تن خاک ورودی برای استحصال طلا در مجتمع طلای موته و شرکت گسترش معادن و صنایع معدنی طلای زرشوران به ترتیب برابر با ۱/۶ و ۰/۴۵۸ مترمکعب است (جدول ۳). باتوجه به اینکه عیار طلا در معدن زرشوران (حدود ۵/۵ گرم در تن) به طور قابل ملاحظه‌ای بیشتر از معدن موته (حدود ۲ گرم در تن) است؛

در نتیجه برای استحصال یک واحد طلا در موله باید سنگ معدن بیشتری فراوری شود که به‌طور طبیعی آب بیشتری (تقریباً دو برابر) مصرف می‌شود. مقایسه مقادیر مصرف آب در واحد تغلیظ در مجتمع مس سرچشمه در سال ۱۴۰۴ نسبت به سال ۱۳۹۷ نشان‌دهنده افزایش ۱۰۰ درصدی مصرف آب در این واحد به‌ازای هر تن کنسانتره مس است (جدول ۳) [۸]. یکی از دلایل افزایش مصرف آب در این واحد را می‌توان کاهش عیار خاک ورودی بیان کرد که سبب می‌شود برای تولید یک تن محصول کنسانتره، خاک بیشتری برای فراوری مورد نیاز باشد و در نتیجه آب بیشتری مصرف شود. این مسئله اهمیت بازیابی آب از باطله‌ها را دوچندان می‌کند.

۳. بررسی وضعیت تأمین آب معادن از آب‌های نامتعارف (آب دریا و پساب) در کشور

همان‌گونه که در بخش قبل اشاره شد، به‌طور کلی تأمین آب نامتعارف برای معادن از سه طریق انجام می‌شود: شیرین‌سازی آب دریا و انتقال آن، استفاده از پساب‌ها و فاضلاب‌های شهری و صنعتی، و آب‌گیری از باطله کارخانه‌های فراوری مواد معدنی. در این بخش تلاش شده است به‌صورت کلی وضعیت فعلی استفاده از دو روش اول در معادن کشور بررسی شود.

یکی از راهکارهای اصلی برای تأمین آب مورد نیاز معادن از منابع نامتعارف، به‌ویژه در مناطق خشک و کم‌آب، شیرین‌سازی و انتقال آب دریاست. در ایران نیز به‌منظور جبران کمبود منابع آبی و پشتیبانی از فعالیت‌های معدنی و صنعتی، طرح‌های متعددی برای انتقال آب دریا به فلات مرکزی کشور طراحی شده است. در این چارچوب، ۶ خط اصلی انتقال آب از سواحل جنوبی کشور پیش‌بینی شده است که تأسیسات آب‌گیری و شیرین‌سازی آنها در دو نقطه از سواحل مکران در دریای عمان و دو نقطه از سواحل خلیج فارس در استان هرمزگان جانمایی شده‌اند. آب شیرین‌سازی شده از طریق ۶ سامانه مورد بحث در فاز نخست عمدتاً برای تأمین بخشی از مصارف صنعتی استان‌های هدف در نظر گرفته شده که شامل صنایع و معادن بزرگ آبربر مانند سنگ آهن گل‌گهر، مس سرچشمه، چادرملو، فولاد مبارکه و ذوب آهن و پالایشگاه اصفهان، صنایع انرژی منطقه پارسین، مناطق ویژه اقتصادی استان فارس، معادن زغال سنگ طبس، سنگان خواف، پتروشیمی و فولاد مکران و نیز کارگاه‌های صنعتی است.

در خط اول انتقال آب از خلیج فارس، سالیانه حدود ۱۳۰ میلیون مترمکعب آب به مجتمع‌های گل‌گهر، سرچشمه و چادرملو منتقل می‌شود. این خط شامل سه قطعه به طول بیش از ۸۲۰ کیلومتر و دو واحد آب‌شیرین‌کن با ظرفیت روزانه ۲۰۰ هزار مترمکعب است که از سال ۱۳۹۹ وارد مدار بهره‌برداری شده‌اند. خط دوم انتقال با ظرفیت ۲۰۰ میلیون مترمکعب در سال در حال اجراست و پروژه‌های دیگری نیز برای انتقال آب از دریای عمان به استان‌های اصفهان و شرق کشور تعریف شده‌اند که در مجموع چندصد میلیون مترمکعب آب در سال از این طریق تأمین خواهند کرد. بخش عمده‌ای از سرمایه‌گذاری صرف احداث خطوط انتقال، ایستگاه‌های پمپاژ و تأسیسات نمک‌زدایی می‌شود [۹-۱۰]. قیمت آب در محل تحویل برای خط‌های انتقال آب در جدول ۴ آورده شده است.

جدول ۴. قیمت آب در محل تحویل برای خط‌های انتقال آب [۱۰]

قیمت آب در محل تحویل (یورو به‌ازای هر مترمکعب)				سامانه انتقال آب
آب‌شیرین‌کن	گل‌گهر سیرجان	مس سرچشمه	چادرملو	خط اول خلیج فارس*
۱/۲۲	۲/۵۱	۳/۰۵	۳/۶۹	
گیشاب	زاهدان	جانجا	بیرجند	استان‌های شرقی**
۰/۸۷	۱/۹۷	۲/۱۳	۲/۵۴	

* قیمت آب خط اول انتقال آب از خلیج فارس به تفکیک آب‌شیرین‌کن و صنایع معدنی بر مبنای قیمت برق ۷۰۰ تومان به‌ازای هر کیلووات.
** قیمت فروش آب در محل‌های تحویل در این طرح باتوجه به سال پایه ۱۴۰۳.



با وجود نقش مهم این پروژه‌ها در پشتیبانی از توسعه صنعتی کشور، چالش‌های متعددی نیز در خصوص این پروژه‌ها مطرح است. فرایند اسمز معکوس^۱ برای هر مترمکعب آب بین ۲/۵ تا ۵ کیلووات ساعت برق مصرف می‌کند و هزینه انرژی، ۵۰ تا ۶۰ درصد از هزینه کل شیرین‌سازی را به خود اختصاص می‌دهد [۹]. برآوردها نشان می‌دهد که اجرای سامانه‌های شیرین‌سازی و انتقال آب دریا با ظرفیت حدود ۹۲۰ میلیون مترمکعب در سال، نیازمند بیش از ۴,۸۰۸ هزار میلیارد ریال سرمایه‌گذاری اولیه است. براساس مطالعات انجام شده در سال ۱۴۰۲ به طور میانگین، برای هر مترمکعب آب انتقالی حدود ۵,۲۳ میلیون ریال سرمایه‌گذاری اولیه لازم است [۹]. علاوه بر هزینه‌های سرمایه‌گذاری سنگین، بازگشت پساب شور به دریا آثار زیست‌محیطی جدی به‌ویژه در خلیج فارس دارد. همچنین بخش زیادی از تجهیزات نیز وابسته به واردات است [۹]. در طرح انتقال آب از خلیج فارس در کنار تأمین آب صنایع معدنی، آب شرب شهرهای استان هرمزگان، شهرهای شمالی استان کرمان و تکمیل ظرفیت مخازن شهر یزد نیز انجام خواهد شد. در این راستا شرکت واسکو تاکنون آب شهرهای بندر خمیر، رضوان و شهر علوی در استان هرمزگان را تأمین و با اجرای انشعابات اختصاصی، شرایط تأمین آب شهرهای رفسنجان و کرمان در استان کرمان و آب شهر یزد را مهیا کرده است [۱۱].

همچنین یکی دیگر از روش‌های تأمین آب نامتعارف برای معادن، استفاده از پساب و فاضلاب تصفیه شده شهری و صنعتی است. در واقع استفاده از پساب و فاضلاب تصفیه شده شهری و صنعتی یکی از راهکارهای مؤثر برای تأمین آب معادن و کاهش بحران کم‌آبی است؛ زیرا علاوه بر صرفه‌جویی در مصرف آب تازه، موجب کاهش وابستگی به منابع سطحی و زیرزمینی و کاهش آلودگی محیط زیست می‌شود. هر چند اجرای این روش مستلزم سرمایه‌گذاری در احداث تصفیه‌خانه و شبکه‌های انتقال و در مواردی نیازمند تصفیه‌های تکمیلی است، نسبت به شیرین‌سازی و انتقال آب دریا مقرون به صرفه‌تر و زیست‌محیطی محسوب می‌شود. نمونه‌های موفق آن شامل تأمین ۴۳ درصد آب فولاد مبارکه اصفهان از پساب شهری است. وضعیت بهره‌برداری از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری در سال ۱۴۰۳ در برخی از شرکت‌های معدنی در جدول ۵ آورده شده است [۱۰].

جدول ۵. وضعیت بهره‌برداری از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری در سال ۱۴۰۳ توسط برخی از شرکت‌های معدنی [۱۰]

شرکت‌های معدنی	شهر	ظرفیت مورد نیاز	ظرفیت موجود	وضعیت موجود	
				در حال بهره‌برداری	در حال ساخت
صنایع معدنی سنگان خواف	تایباد	۱۴۴۲۵	—	—	*
شرکت فولاد خراسان	نیشابور	۵۳۰۰۰	۱۰۰۰۰	*	*
شرکت توسعه فراگیر سناباد	خواف	۵۷۸۴	—	—	*

در ادامه این گزارش، در خصوص روش آب‌گیری از باطله کارخانه‌های فراوری مواد معدنی، به عنوان سومین روش تأمین آب نامتعارف برای معادن، بررسی دقیق‌تری شده است. آب‌گیری از باطله‌های فراوری به عنوان گزینه مکمل می‌تواند مصرف آب تازه را کاهش دهد و در قالب رویکرد چندمنبعی، راهکاری پایدار برای تأمین آب صنایع معدنی کشور فراهم آورد [۱۲-۱۳].

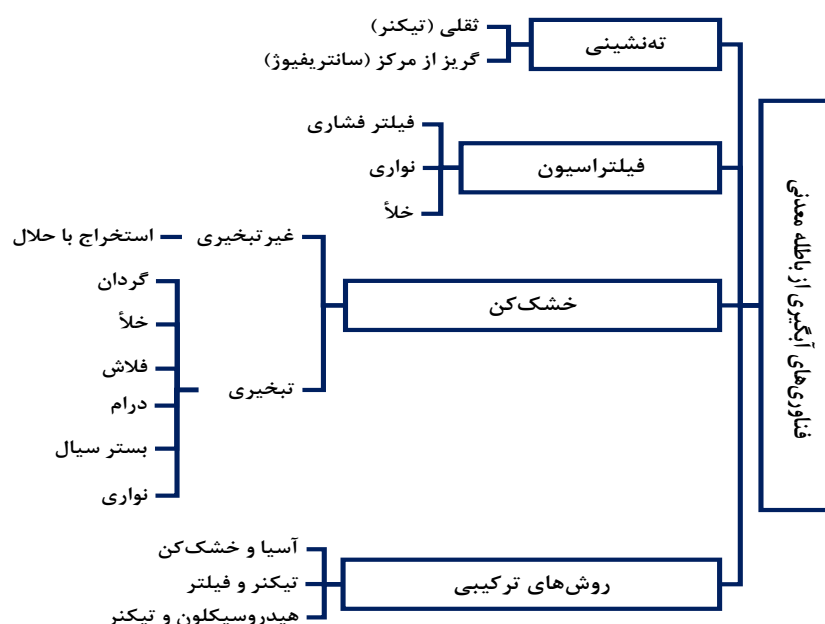
1. Reverse Osmosis

۴. بررسی وضعیت تأمین آب معادن از طریق بازیابی آب از باطله کارخانه‌های فراوری مواد معدنی

۴-۱. روش‌های بازیابی آب از باطله کارخانه‌های فراوری مواد معدنی

در فعالیت‌های معدنی، به‌ویژه در واحدهای فراوری مواد معدنی که به روش تر فعالیت می‌کنند، مصرف آب به‌ازای تولید هر تن محصول بالاست؛ عملیاتی مانند خردایش، آسیا کردن، فلو تاسیون و جدایش سنگین نیاز به حجم بسیار بالایی از آب فرایندی دارند [۱]. در واقع بخش فراوری مواد معدنی، عمده‌ترین مصرف‌کننده آب در بخش معدن است. از طرفی دیگر، اگر عملیات معدن کاری همراه با اصول دفع باطله‌ها نباشد، در بلندمدت آثار زیست‌محیطی زیان‌باری به‌بار می‌آورد که توسعه اقتصادی حاصل از فعالیت معدنی را دچار مشکلات زیادی می‌کند. به‌همین دلیل در بسیاری از کشورها، وقتی طرحی برای کارخانه فراوری ارائه می‌شود، قوانین و ضوابط سخت‌گیرانه‌ای برای انباشت باطله‌ها و بازیابی آب از باطله فراوری در نظر گرفته می‌شود تا مسائل مختلف از جنبه‌های زیست‌محیطی و اجتماعی رعایت شوند. راهبردهای مختلفی در جهان برای مدیریت باطله کارخانه‌های فراوری مواد معدنی معرفی و به کار گرفته می‌شود؛ از جمله استفاده از هیدروسیکلون برای طبقه‌بندی باطله، آب‌گیری با تیکنر، استفاده از فیلتراسیون و انباشت باطله به صورت توده‌ای، روش‌های ترکیبی و به کارگیری روش‌های خردایش و جدایش خشک [۱۴-۱۶]. هیدروسیکلون برای طبقه‌بندی باطله (قبل از ورود به سد باطله)، در دو بخش ریز (سرریز) و درشت (ته‌ریز) استفاده می‌شود [۱۴-۱۶]. با استفاده از ذرات درشت یا ماسه، دیوارهای سد باطله و خاک‌ریزها ساخته می‌شوند. بخش ریز آن، که حاوی آب بیشتری است، به سد باطله منتقل می‌شود. معمولاً در مدیریت باطله‌ها باید از چندین مرحله هیدروسیکلون استفاده شود تا باطله بخش درشت به اندازه ماسه باکیفیت برسد؛ اما امروزه با استفاده از هیدروسیکلون دومرله‌ای^۱، این امر می‌تواند در یک مرحله حاصل شود [۱۵]. استفاده از این نوع هیدروسیکلون‌ها، بازیابی آب را در این فرایند نسبت به هیدروسیکلون‌های یک‌مرله‌ای سنتی بهبود می‌بخشد [۱۶]. روش‌های معمول آب‌گیری از مواد معدنی در شکل ۱ آورده شده است.

شکل ۱. طبقه‌بندی روش‌های آب‌گیری از باطله کارخانه فراوری مواد معدنی [۱، ۱۳]



1. Cavex ReCyclone



در ادامه به طور کلی روش‌های آب‌گیری از باطله کارخانه‌های فراوری مواد معدنی بررسی شده است. امروزه تمرکز شرکت‌های معدنی بر افزایش ظرفیت و کارایی تجهیزات برای افزایش میزان بازیابی آب از باطله کارخانه فراوری است.

۱-۴. آب‌گیری از باطله با استفاده از تیکنر

به دلیل مصرف زیاد آب در فراوری مواد معدنی، استفاده مجدد از آن اهمیت بسیاری دارد. ته‌نشینی سریع ذرات جامد در یک مایع باعث تشکیل دو فاز کاملاً مشخص شفاف (بدون ذرات جامد) و کدر (تجمع ذرات جامد) می‌شود. استفاده از تیکنر یکی از روش‌های معمول برای آب‌گیری در کارخانه‌های فراوری مواد معدنی توسط ته‌نشینی است. تیکنرها، تانک‌های بزرگ (قطر ۲۰۰-۲ متر) با عمق نسبتاً کم (۷-۱ متر) که آب شفاف در بالای آن و پالپ غلیظ شده در پایین جمع می‌شود. تیکنرهای مخروط عمیق برخلاف تیکنرهای معمول نسبت قطر به ارتفاع کمی دارند؛ با مصرف بالای فلوکولانت، سرعت ته‌نشینی مواد را افزایش می‌دهند تا آب سرریز در بالای تیکنر شفاف، و از طرفی به دلیل عمق زیاد بستر گل در این نوع تیکنر، ته‌ریز خمیری تولید شود. به دلیل خمیری بودن ته‌ریز تیکنرهای مخروط عمیق، آب ورودی به سدهای باطله کاهش و بازیابی آب افزایش می‌یابد و ته‌ریز خمیری آن به وسیله پمپ به سدهای باطله منتقل می‌شود. از انواع دیگر تیکنر مورد استفاده برای آب‌گیری از باطله فراوری، تیکنرهای نرخ بالا و ظرفیت بالا هستند.

۲-۴. استفاده از فیلتراسیون و انباشت باطله به صورت توده‌ای (خشک)

در سال‌های اخیر به دلیل توجه فزاینده به مسئله کمبود آب، محدودیت‌های زیست‌محیطی و مدیریت سدهای باطله، سرعت پیشرفت فرایندهای آب‌گیری چشمگیر بوده است. نمود آن را می‌توان در ساخت دستگاه‌های فیلتراسیون و پارچه فیلتر و تولید مواد شیمیایی مشاهده کرد که فرایند آب‌گیری را بهبود می‌بخشند [۸]. با توجه به اینکه بخشی از آب به دلیل گرما و تبخیر قبل از رسیدن به سد باطله هدر می‌رود، بنابراین بهتر است در کارخانه و قبل از ارسال به سد باطله، آب‌گیری انجام و آب بازیابی شود. این کار را می‌توان به وسیله فیلتراسیون انجام داد. با استفاده از روش فیلتراسیون برای آب‌گیری از باطله‌ها می‌توان از مزایایی مانند بازیابی بخش زیادی از آب مصرفی در طی عملیات فراوری برای استفاده مجدد از آن، حمل و نقل آسان باطله‌ها بعد از فیلتراسیون به محل سد باطله، کاهش هزینه انتقال به دلیل حذف پمپ‌های انتقال پالپ و جایگزینی آنها با نوار نقاله یا کامیون‌ها، کاهش حجم (یا حتی حذف) سد باطله، کاهش خطرهای زیست‌محیطی ناشی از سدهای باطله و برداشت کمتر آب از منابع متعارف بهره برد [۸]. فیلتر فشاری، نواری و خلأ از انواع فیلترهای استفاده شده برای آب‌گیری از باطله کارخانه فراوری محسوب می‌شوند. در بحث مدیریت باطله‌های کارخانه فراوری مواد معدنی با توجه به حجم بالای باطله‌ها از فیلتر فشاری با تعداد صفحات زیاد و ظرفیت بالا استفاده می‌شود. بزرگ‌ترین فیلتر فشاری توسط شرکت دیمو فیلتراسیون ساخته شده که در معدن مس توکه پالا^۱ در پرو برای آب‌گیری باطله‌های معدنی نصب شده است [۱۶].

۳-۱-۴. روش‌های ترکیبی

روش‌های ترکیبی رویکردی هوشمندانه در مدیریت باطله‌های معدنی‌اند که با تلفیق دو یا چند فناوری آب‌گیری، در بهینه‌سازی مصرف انرژی، افزایش راندمان و کاهش هزینه‌های کلی می‌کوشند. رایج‌ترین ترکیب، استفاده از تیکنر به همراه فیلتر فشاری است که در آن تیکنر به عنوان مرحله اول، غلظت پالپ را به میزان قابل توجهی افزایش و حجم ورودی به فیلتر را کاهش می‌دهد. این ترکیب باعث می‌شود فیلتر فشاری با بازدهی بالاتر و مصرف انرژی کمتری کار کند و محصول نهایی با رطوبت مطلوب تولید شود. این راهکار، استفاده از تیکنر-فیلتر فشاری و انباشت آنها به صورت خشک، در واقع بهترین روش برای مدیریت باطله‌ها و آب‌گیری آنهاست (شکل ۲) [۱، ۱۳]. در این روش ته‌ریز تیکنر، که دارای درصدی آب است، وارد بخش فیلتراسیون شده، آب فیلتر شده دوباره به کارخانه ارسال و مجدد استفاده می‌شود. در این روش به جای استفاده از سد باطله، از انباشت توده‌ای استفاده می‌شود که باطله‌های خشک (کیک) با استفاده از کامیون و نوار نقاله حمل می‌شوند. این روش اگرچه هزینه سرمایه‌گذاری و عملیاتی بالاتری، مانند خرید و نصب فیلتر فشاری و پارچه فیلتر و...، نسبت به آب‌گیری باطله با تیکنر

1. Toquepala

دارد، در مجموع با توجه به کاهش خطرهای زیست‌محیطی، هزینه سدهای باطله (تولید زهاب اسیدی، آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی و...) و از همه مهم‌تر مدیریت منابع آب و کاهش مصرف آن به صرفه‌تر است [۱۴ و ۱۷].

شکل ۲. استفاده از تیکنر، فیلتر و حمل بانوار نقاله برای مدیریت باطله‌های معدنی [۱]



همچنین ترکیب هیدروسیکلون با تیکنر نیز در برخی موارد برای جداسازی اولیه ذرات درشت و کاهش بار ورودی به تیکنر استفاده می‌شود. انتخاب نوع ترکیب به عواملی مانند ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی باطله، حجم تولید، محدودیت‌های زیست‌محیطی و ملاحظات اقتصادی بستگی دارد. در مجموع، روش‌های ترکیبی انعطاف‌پذیری بیشتری برای تطبیق با شرایط مختلف فراهم و امکان دستیابی به اهداف مدیریت آب با هزینه بهینه را میسر می‌کنند.

البته امروزه روش‌های جدایش و خردایش خشک در معادن به دلیل مزایای زیست‌محیطی و اقتصادی مورد توجه قرار گرفته‌اند. این روش‌ها به کاهش مصرف آب و هزینه‌های عملیاتی کمک می‌کنند و همچنین در مناطقی که منابع آبی محدودند، بسیار مفید واقع می‌شوند. در اواخر قرن بیستم و اوایل قرن بیست و یکم، روش جدایش خشک مانند جیگ هوا^۱ به طور گسترده‌ای در صنعت زغال در جهان به کار گرفته شده است. همچنین از جداکننده‌های مکانیکی برای طبقه‌بندی ذرات استفاده شده است. شرکت واله برزیل بزرگ‌ترین شرکت سنگ آهن در جهان، در حال تغییر روش تولید خود از فرآوری تر به خشک است [۱۸]. همچنین ریوتینتو، بزرگ‌ترین تولیدکننده سنگ آهن استرالیا، از خردایش و سرندکنی خشک استفاده می‌کند [۱۹].

۲-۴. بررسی مدار آب‌گیری از باطله کارخانه فرآوری در صنایع معدنی کشور

در ادامه گزارش، با توجه به نبود پایگاه داده‌ای جامع و به روز در خصوص میزان مصارف آب و وضعیت آب‌گیری از باطله‌های فرآوری معادن در کشور، مدار آب‌گیری و وضعیت سدهای باطله در تعدادی از معادن کشور بررسی و ارزیابی شده‌اند. شرکت‌های معدنی مانند مجتمع صنعتی و معدنی گل‌گهر سیرجان، مجتمع مس سرچشمه رفسنجان، مجتمع مس میدوک شهر بابک، مجتمع مس سونگون و معدن طلای زرشوران از این نظر آسیب‌شناسی شدند.

1. Air Jig

۱-۲-۴. مجتمع صنعتی و معدنی گل گهر سیرجان

شرکت معدنی و صنعتی گل گهر دو سد باطله دارد. ارتفاع سد باطله به منظور ذخیره ۱۲ میلیون مترمکعب از باطله کارخانه برابر ۲۵ متر است [۲۰]. جریان‌های باطله خروجی از دو کارخانه تغلیظ مگنتیت و بازیابی هماتیت این مجتمع، وارد سد باطله می‌شوند. میزان آبی که از طریق این دو کارخانه وارد سد باطله می‌شود، حدود ۴۰۰ مترمکعب در هر ساعت است. بنابراین بازیابی این مقدار آب قبل از ورود به سد باطله، علاوه بر تأمین بخشی از آب مصرفی کارخانه‌ها، از مشکلات ذخیره‌سازی باطله‌ها به صورت پالپ (به دلیل توپوگرافی منطقه) و همچنین از خسارت‌های زیست‌محیطی در سد باطله نیز جلوگیری می‌کند.

از این رو در این مجتمع برای بازیابی آب در انتهای مدار هر خط، یک تیکنر برای آب‌گیری از باطله استفاده می‌شود (شکل ۳). در طرح توسعه این مجتمع از فیلترهای فشاری برای آب‌گیری بیشتر از باطله استفاده خواهد شد. آب فیلتر شده به چاهک خوراک‌دهی تیکنر مرکزی بازگردانده و یک خروجی آن با رطوبت نسبتاً کم (بین ۸ تا ۱۵ درصد) راهی سد باطله می‌شود [۲۱].

باتوجه به اینکه آب مصرفی در کارخانه‌های فرآوری مواد معدنی ترکیبی از آب برگشتی یا بازیافتی (حاصل از فرایند آب‌گیری) و آب جبرانی یا تازه است، هر چه میزان آب بازیافتی کم باشد، مصرف آب جبرانی بیشتر می‌شود. میزان آب بازیافتی به عملکرد فرایند آب‌گیری از باطله بستگی دارد. در این مجتمع، بازیابی آب حدود ۸۵ درصد است که باعث می‌شود بخش زیادی از آن بازیابی و آب تازه کمتری استفاده شود [۲۱].

شکل ۳. تیکنر نرخ بالا در مجتمع صنعتی و معدنی گل گهر سیرجان [۲۱]



۲-۲-۴. مجتمع مس سرچشمه رفسنجان

سد باطله سرچشمه روی رودخانه شور رفسنجان در استان کرمان و از نوع خاکی با هسته رسی مایل احداث شده و ارتفاع آن حدود ۷۲ متر است. در این مجتمع روزانه بیش از ۲۲۰ هزار مترمکعب آب در واحد تغلیظ مصرف می‌شود. باتوجه به کویری بودن استان کرمان، آب نقش حیاتی در روند تولید دارد. بنابراین در صورت پایین بودن عملکرد تیکنرهای باطله، کارخانه تغلیظ باید ظرفیت را کاهش دهد یا حتی عملیات را متوقف کند. از این رو هر تغییری برای افزایش بازیابی آب در تیکنرها بسیار مهم و حیاتی است.

مجتمع مس سرچشمه دارای پنج تیکنر برای آب‌گیری از باطله است که در صد جامد جریان ورودی به این تیکنرها به طور متوسط ۲۷ درصد

(حاوی ۵۴۴، ۱۰ متر مکعب بر ساعت آب) است. با استفاده از تیکنر، ۴۰ تا ۴۵ درصد از آب موجود در باطله (حدود ۵،۰۰۰ متر مکعب بر ساعت) بازیابی می‌شود. بعد از آن ته‌ریز تیکنر معمولی به منظور آب‌گیری بیشتر به تیکنرهای مخروط عمیق (خمیری) منتقل می‌شود [۲۲]. آب سرریز تیکنرها نیز از طریق لوله به صورت ثقلی وارد مخزن آب برگشتی، و مجدداً به مدار برگشت داده می‌شوند و پس از آن باطله وارد سد می‌شود [۲۳]. به‌طور خلاصه با استفاده از تیکنرهای باطله در این مجتمع، ۴۰ تا ۴۵ درصد از آب موجود در باطله بازیابی می‌شود و با استفاده از تیکنرهای مخروط عمیق، بازیابی آب به حدود ۶۷ درصد می‌رسد [۲۲]. لذا حدود ۳۳ درصد آب موجود در باطله (ته‌ریز خمیری تیکنر مخروط عمیق) وارد سد باطله می‌شود [۲۳]. بعد از ته‌نشینی ذرات جامد در سد باطله، حدود ۱۸ درصد از آب موجود در سد رسوب‌گیر باطله، بازیابی و به کارخانه پمپاژ می‌شود و ۱۵ درصد دیگر نیز از طریق تبخیر، محبوس در بین باطله‌ها و... از دست می‌رود. گفتنی است بسته به شرایط این مقدار متفاوت است؛ برای مثال، در سال ۱۴۰۳ سهم انتقال آب از سد رسوب‌گیر باطله در این مجتمع صفر بوده است.

۳-۲-۴. مجتمع مس میدوک شهر بابک

مجتمع مس میدوک متشکل از واحدهای معدن، کارخانه تغلیظ و سد باطله (رسوب‌گیر و آبگیر) است (شکل ۴، الف). مواد جامد ریزدانه موجود در پالپ خروجی کارخانه تغلیظ، در محل سد رسوب‌گیر ته‌نشین و آب باقیمانده در محل سد آبگیر ذخیره می‌شود. از اهداف ساخت سد رسوب‌گیر، ذخیره رسوب حاصل از فرایند تغلیظ به منظور ممانعت از انتشار آلودگی‌های زیست‌محیطی و مدیریت منابع آب مصرفی در کارخانه تغلیظ بوده است. آب ذخیره شده در سد آبگیر به وسیله لوله‌های شناور به حوضچه‌ای که زیر این سد قرار دارد انتقال می‌یابد و از آنجا به کارخانه فراوری برگشت داده می‌شود [۲۴].

شکل ۴. الف) سد آبگیر (قرمز) و رسوب‌گیر (زرد)، ب) تیکنرهای مخروط عمیق مس میدوک [۲۵]



ب



الف

در مجتمع مس شهر بابک، به منظور بازیابی آب از باطله کارخانه پرمپاژکنی از چهار تیکنر مخروط عمیق استفاده می‌شود (شکل ۴، ب). مهم‌ترین دلیل به کارگیری تیکنرهای مخروط عمیق در این مجتمع، قابلیت این تیکنرها در افزایش بازیابی آب و همچنین توپوگرافی مناسب منطقه برای انتقال ته‌ریز تیکنرها به محل سد باطله بدون استفاده از پمپ است [۲۴]. بازیابی آب از باطله کارخانه فراوری در این مجتمع، ۶۳ درصد است و حداقل ۳۷ درصد از آب موجود به سد باطله منتقل می‌شود [۲۶]. در ادامه نیز ۲۰ درصد از سد آبگیر باطله به کارخانه پمپاژ می‌شود که در مجموع بازیابی آب، ۸۳ درصد است.



۴-۲-۴. مجتمع مس سونگون

معدن مس سونگون و کارخانه فراوری آن در استان آذربایجان شرقی به فاصله ۱۳۰ کیلومتری از شهر تبریز واقع شده است. سد باطله مجتمع مس سونگون و تأسیسات وابسته، در زمینی به وسعت ۱۴۰۰ هکتار و در نزدیکی معدن واقع شده است. این سد باطله از نوع سنگریزه‌ای با هسته رسی است. در این مجتمع، با استفاده از تیکنر معمولی، آب‌گیری از باطله انجام می‌شود. سرریز تیکنر به سمت مخازن آب برگشتی منتقل و ته‌ریز آن به سد باطله پمپ می‌شود. باطله ورودی حاوی حدود ۷۰ درصد آب است که در ته‌ریز تیکنر به ۳۰ درصد کاهش می‌یابد. در این مجتمع با استفاده از تیکنر، ۴۵-۴۰ درصد آب موجود در باطله کارخانه فراوری بازیابی می‌شود [۲۷]. علاوه بر این حدود ۴۵ درصد از سد باطله به کارخانه پمپاژ می‌شود که در نهایت بازیابی آب در این مجتمع به حدود ۹۰ درصد می‌رسد.

۴-۲-۵. معدن طلای زرشوران

معدن طلای زرشوران به‌عنوان بزرگ‌ترین معدن طلای ایران در ۳۵ کیلومتری شهرستان تکاب در استان آذربایجان غربی واقع شده است. سد باطله شرکت طلای زرشوران با ارتفاع ۲۵ متر و ۲۶۵ متر طول تاج، دو برج آبگیر به ارتفاع ۱۰ متر و ایستگاه پمپاژ با توان روزانه ۴,۸۰۰ مترمکعب دارد.

در کارخانه فراوری طلای زرشوران، پس از عملیات سنگ‌شکنی و آسیاکنی، استحصال طلا به روش سیانوراسیون انجام می‌شود. باطله فرایند سیانوراسیون با درصد جامد وزنی ۲۸ تا ۳۳ درصد به واحد آب‌گیری منتقل می‌شود. تجهیزات آب‌گیری مورد استفاده در این واحد عبارت از هشت سری فیلتر فشاری است که ظرفیت هریک از آنها برابر ۷۵ مترمکعب پالپ در ساعت است. کیک فیلتر با رطوبت ۲۸ درصد به‌عنوان باطله نهایی با کامیون به سد باطله انتقال می‌یابد. در این معدن با استفاده از فیلتر فشاری ۷۳ تا ۷۵ درصد آب موجود در باطله بازیابی می‌شود [۲۸]. در ادامه در جدول ۶، درصد بازیابی آب از باطله‌های کارخانه‌های فراوری و میزان بازچرخانی آب از سد رسوب‌گیر باطله، میزان آب تازه مصرفی و منابع تأمین آن در برخی صنایع معدنی در سال ۱۴۰۳ (دوازده ماه) نشان داده شده است.

جدول ۶. میزان بازیابی آب از باطله‌ها و میزان آب تازه مصرفی در معادن مختلف در سال ۱۴۰۳

شرکت معدنی	درصد بازیابی آب از باطله کارخانه فراوری	درصد بازچرخانی آب از سد رسوب‌گیر باطله	میزان آب تازه مصرفی (سالیانه)	میزان آب دریا دریافتی از خلیج فارس (مترمکعب) / سهم از آب تازه مصرفی (درصد)	میزان آب دریافتی از تصفیه فاضلاب شهری و صنعتی (مترمکعب) / سهم از آب تازه مصرفی (درصد)	منابع متعارف تأمین آب تازه مصرفی / سهم از آب تازه مصرفی (درصد)
مس سرچشمه	۶۷	۰	۳۷,۳۰۷,۱۸۱	۱۹,۸۱۷,۱۸۱ / (۵۳)	۱۷۰,۰۰۰ / (۰/۵)	آب چاه خاتون‌آباد و تصفیه آب رودخانه شور اطراف معدن ۱۷,۳۲۰,۰۰۰ / (۴۶/۵)
مس سونگون	۴۵-۴۰	۴۵-۵۰	۳,۵۴۱,۲۳۹	۰ / (۰)	۰ / (۰)	۳,۵۴۱,۲۳۹ / (۱۰۰)
مس شهر بابک	۶۳	۲۰	۶,۵۸۹,۲۹۳	۰ / (۰)	۰ / (۰)	آب چاه بنه‌یکه و زهکشی معدن ۶,۵۸۹,۲۹۳ / (۱۰۰)
مجتمع طلای موده	۰	۱۰	۳۵۲,۰۰۰	۰ / (۰)	۰ / (۰)	چاه ۳۵۲,۰۰۰ / (۱۰۰)

شرکت معدنی	درصد بازیابی آب از باطله کارخانه فرآوری	درصد بازچرخانی آب از سد رسوب‌گیر باطله	میزان آب تازه (مصرفی (سالیانه)	میزان آب دریا دریافتی از خلیج فارس (مترمکعب) / سهم از آب تازه مصرفی (درصد)	میزان آب دریافتی از تصفیه فاضلاب شهری و صنعتی (مترمکعب) / سهم از آب تازه مصرفی (درصد)	منابع متعارف تأمین آب تازه مصرفی / سهم از آب تازه مصرفی (درصد)
شرکت گسترش معادن و صنایع معدنی طلای زرشوران	۷۳-۷۵	۰	۱۷۹,۶۳۲	۰ / (۰)	۰ / (۰)	چاه عمیق، آب از تونل معدن ۱۷۹,۶۳۲ / (۱۰۰)
شرکت معدنی و صنعتی گل‌گهر	۸۵	۰	۱۰,۰۲۸,۴۸۳	۶,۵۲۰,۲۷۸ / (۶۵)	۱,۴۸۴,۴۵۳ / (۱۵)	۲,۰۲۳,۷۵۲ / (۲۰)
شرکت صنایع معدنی فولاد سنگان	۷۵/۴	۰	۱,۹۵۵,۱۴۱	۰ / (۰)	۵,۲۷۵ / (۰/۳)	چاه‌های آب ۱,۹۴۹,۸۶۶ / (۹۹/۷)
شرکت صنعتی و معدنی اپال پارسیان سنگان خراسان	۶/۵	۰	۲,۲۲۸,۰۰۰	۰ / (۰)	۳۶,۵۰۰ / (۲)	چاه‌های آب ۲,۱۹۱,۵۰۰ / (۹۸)
شرکت فولاد سیرجان ایرانیان	۳۷	۰	۱,۳۹۰,۴۸۴	۲۹۲,۰۴۷ / (۲۱)	۲۰۷,۷۱۰ / (۱۵)	منابع تانکری و آب‌های زیرزمینی ۸۹۰,۷۲۷ / (۶۴)
شرکت معدنی و صنعتی چادرملو ^۱	۰	۵/۳۱	۵,۰۰۵,۹۶۸	۱,۲۸۷,۳۷۷ / (۲۶)	۰ / (۰)	منابع آب‌های زیرزمینی دشت بهاباد و سپیدان ۳,۴۲۵,۷۹۹ / (۶۹)
آلومینای ایران (جابریم)	۴۵ ^۱	۰	۲,۱۲۴,۰۰۰	۰ / (۰)	۰ / (۰)	چاه، آب سطحی و بند خاکی ۲,۱۲۴,۰۰۰ / (۱۰۰)

* استفاده از آب چاه خاتون‌آباد (۱۲,۱۹۴,۰۰۰ مترمکعب) و تصفیه آب رودخانه شور (۵,۱۲۶,۰۰۰ مترمکعب) در مجتمع سرچشمه به‌عنوان بخشی از آب تازه مصرفی.

** اطلاعات مربوط به مصرف خطوط تولید در هفت ماه است. در معدن چادرملو ۲۶۵,۷۹۲ مترمکعب آب در سال از سد باطله بازچرخانی می‌شود.

مأخذ: اطلاعات دریافتی از شرکت‌ها و مجتمع‌های مربوطه.

از این معادن فقط شرکت معدنی و صنعتی گل‌گهر، مجتمع مس سرچشمه و شرکت فولاد سیرجان ایرانیان، بیشترین تنوع را در سبد تأمین آب تازه مصرفی خود، یعنی از آب خلیج فارس و تصفیه فاضلاب‌ها، دارند؛ منابع تأمین آب تازه در دیگر معادن، متکی به استفاده از آب‌های متعارف است که برخلاف تأکید قانون برنامه هفتم مبنی بر استفاده معادن از آب نامتعارف است.

سه معدن مس بزرگ ایران (سرچشمه، سونگون و شهر بابک) الگوهای متفاوتی در مصرف و بازیابی آب دارند (جدول ۶). مجتمع مس سرچشمه سالیانه بیش از ۳۷ میلیون مترمکعب آب تازه مصرف می‌کند. همچنین، سرچشمه از منابع جایگزین مانند آب دریا از خلیج فارس (حدود ۲۰ میلیون مترمکعب) و آب تصفیه شده فاضلاب‌های شهری و صنعتی (۱۷۰ هزار مترمکعب) در طول سال نیز بهره می‌گیرد. این تنوع منابع نشان‌دهنده فشار بالای تقاضای آب در این معدن و تلاش برای کاهش وابستگی به آب شیرین (متعارف) است. نمودار تعادل آب در سه واحد مجتمع مس سرچشمه (تغلیظ، لیچینگ و پالایشگاه) در شکل ۵ نشان داده شده است. میزان آب مصرفی در این سه واحد در سال ۱۴۰۳، بیش از ۱۱۴ میلیون مترمکعب است که ۷۷ میلیون مترمکعب آن بازیابی می‌شود و حدود ۳۷ میلیون مترمکعب در سال به‌صورت

۱. شرکت آلومینای ایران اعلام کرد که در عمل، میزان بازیابی آب فقط ۱۵ درصد است.

تبخیر یا آب محبوس در باطله‌ها هدر می‌رود. منابع تأمین آب تازه یا جبرانی در مجتمع مس سرچشمه، از محل آب چاه خاتون آباد، رودخانه شور، تصفیه فاضلاب شهری و آب خلیج فارس است؛ به نحوی که سهم استفاده از منابع آب‌های متعارف و غیر متعارف تقریباً برابر است. در سال ۱۴۰۳ در این مجتمع، از تیکنرهای باطله و مخروط عمیق به ترتیب ۱۳ و ۶۴ میلیون متر مکعب آب بازیابی می‌شود و میزان آب بازچرخانی شده از سد رسوب گیر باطله مجتمع در این سال، صفر بوده است.

شکل ۵. نمودار تعادل آب در سه واحد مجتمع سرچشمه (تغلیظ، لیچینگ و پالایشگاه) در سال ۱۴۰۳ (میلیون متر مکعب) [۲۹]



باتوجه به اینکه در فراوری طلا، آب بیشتری نسبت به سایر عناصر مصرف می‌شود، شرکت گسترش معادن و صنایع معدنی طلای زرشوران با به کارگیری مدار آب‌گیری از باطله‌ها، موفق شده است مصرف آب تازه خود را تا حد چشمگیری کاهش دهد. در شرکت معدنی سنگ آهن چادرملو، به دلیل نداشتن مدار آب‌گیری از باطله‌ها، مدیریت آب با چالش جدی مواجه است. در این واحدها، باطله‌های کارخانه فراوری بدون آب‌گیری، در سد باطله رها می‌شوند و فقط بخش ناچیزی از آب موجود در باطله بعد از ته‌نشینی، از سد رسوب گیر باطله بازچرخانی می‌شود. این رویکرد نه فقط به اتلاف شدید منابع آبی ارزشمند در مناطق خشک کشور منجر می‌شود، بلکه وابستگی صنعت به منابع آب تازه را افزایش می‌دهد و خطر آلودگی محیط زیست را بالا می‌برد.

۳-۴. مقایسه عملکرد مدار آب‌گیری از باطله کارخانه‌های فراوری در ایران و جهان

همان‌طور که بیان شد، شرکت‌های معدنی با هدف کاهش مصرف آب تازه و مدیریت پایدار باطله‌های معدنی، به استفاده از روش‌های مختلف آب‌گیری از باطله‌های معدنی روی آورده‌اند. در جدول ۷ میزان بازیابی آب از باطله کارخانه فراوری معادن در ایران و جهان آمده است.

جدول ۷. مقایسه عملکرد شرکت‌های معدنی ایران و جهان در زمینه آب‌گیری از باطله کارخانه‌های فراوری [۲۲، ۲۶، ۳۰-۳۳]

نوع ماده معدنی	معادن	میزان بازیابی آب (درصد)	روش آب‌گیری
طلا	شرکت گسترش معادن و صنایع معدنی طلای زرشوران	۷۵	تیکنر-فیلتر فشاری
	Tambo de Oro	۸۴ تا ۸۵	
	CMH	۸۵ تا ۸۷	
مس	مجتمع مس شهر بابک	۶۳	تیکنر - مخروط عمیق
	مجتمع مس سرچشمه	۶۰	
	کبریزا	۷۷	
	کومین	۷۰	
سنگ آهن	شرکت معدنی و صنعتی گل‌گهر	۸۵	تیکنر - فیلتر فشاری
	کارخانه سنگ آهن Serra Azul در برزیل	۸۸/۵	

باتوجه به مصرف بالای آب در فراوری مواد معدنی، به‌ویژه طلا که خود می‌تواند منابع آبی مناطق معدنی را تحت فشار قرار دهد، بازیابی و بازچرخانی آب از باطله‌های کارخانه‌های فراوری نه‌فقط مزیت اقتصادی، بلکه ضرورت زیست‌محیطی است. در این زمینه، عملکرد معادن طلای مختلف در زمینه بازیابی آب از باطله کارخانه‌های فراوری، حتی با به‌کارگیری روش مشابه (تیکنر-فیلتر فشاری) متفاوت است (جدول ۷). برای مثال، بازیابی آب در کارخانه فراوری طلای زرشوران ۷۵ درصد است، اما معادن دیگری در دنیا مانند معدن تامبو شیلی و CMH در پرو با استفاده از همین روش آب‌گیری، بازیابی آب بالاتری بین ۸۵ تا ۸۷ درصد گزارش کرده‌اند. در نقطه مقابل، معدن طلای موته در حال حاضر فاقد سیستم بازیابی آب از باطله است و آب استفاده شده به‌طور مستقیم و بدون آب‌گیری به سد باطله منتقل و بخش اندکی از آب مصرفی (حدود ۱۰ درصد) از سد باطله بازچرخانی می‌شود. با این حال، براساس برنامه‌ریزی‌های انجام شده در این معدن، مقرر شده است با اجرا و تکمیل مدار آب‌گیری، حدود ۷۰ درصد از آب مصرفی، بازیابی و به‌چرخه فراوری بازگردانده شود.

استفاده از تیکنر مخروط عمیق روشی رایج برای آب‌گیری باطله‌ها و بازیابی آب است. در جدول ۷ درصد بازیابی آب در برخی از معادن مس ایران و جهان، که از روش تیکنر مخروط عمیق برای آب‌گیری از باطله کارخانه فراوری استفاده می‌کنند، آورده شده است. با اینکه این معادن از روشی مشابه برای آب‌گیری استفاده می‌کنند، به نتایج متفاوتی در نرخ بازیابی آب دست یافته‌اند (جدول ۷).

برای مثال، در معدن زیرزمینی کبریزا در پرو، میزان بازیابی آب ۷۷ درصد اعلام شده است. یکی از دلایل بالا بودن میزان بازیابی آب در این معدن، طراحی متفاوت مدار آب‌گیری از باطله‌های آن است. در این معدن، ابتدا باطله‌ها با استفاده از هیدروسیکلون طبقه‌بندی می‌شوند. باطله‌های درشت برای پر کردن معادن زیرزمینی استفاده و باطله‌های ریز با استفاده از تیکنر مخروط عمیق، آب‌گیری و در سد باطله ذخیره می‌شوند؛ همین طبقه‌بندی ابتدای باطله، مانع از هدررفت آب می‌شود.

در مناطق خشک همچون سرچشمه و شهر بابک در استان کرمان، که آب به‌عنوان محدودیت استراتژیک عملیات را تحت تأثیر قرار می‌دهد، دستیابی به حداکثر ظرفیت سیستم‌های آب‌گیری موجود ضرورتی مطلق است؛ با این حال، مشاهده می‌شود که عملکرد عملی این سیستم‌ها در معادن مختلف متفاوت است. البته باید این نکته را بیان کرد که هر یک درصد افزایش بازیابی آب از باطله، باتوجه به حجم بالای مصرف آب در معادن، قابل توجه است. برای مثال یک درصد بازیابی آب در مجتمع مس سرچشمه برابر با صرفه‌جویی بیش از ۱/۱۴ میلیون مترمکعب آب در سال است.



این اختلاف عملکردی در میزان بازیابی آب ریشه در عواملی مانند مشخصات سنگ معدن، اجرایی نشدن برنامه‌های نگهداشت و تعمیر منظم، نبود استانداردهای عملیاتی یکسان برای بهینه‌سازی پارامترهای کلیدی (نظیر دوز و نحوه آماده‌سازی فلوکولانت) در عملیات آب‌گیری از باطله‌ها و فقدان پایش مستمر و دقیق دارد. به عنوان مثال، در مجتمع مس شهر بابک، از چهار تیکنر مخروط عمیق برای بازیابی آب استفاده می‌شود. در تابستان سال ۱۳۹۰، این کارخانه با مشکلی جدی در تأمین آب کارخانه مواجه شد. بررسی‌ها نشان داده است که مشکل از عملکرد تیکنرها بوده است. در زمان طراحی، پیش‌بینی شده بود که درصد جامد ته‌ریز (خروجی زیر) این تیکنرها به ۶۳ درصد برسد؛ اما در عمل، این عدد فقط بین ۳۹ تا ۵۷ درصد بوده است. برای حل این مشکل، یک عملیات استانداردسازی انجام شده [۲۵] که با بهینه‌سازی و اصلاح سیستم ساخت و توزیع فلوکولانت و راهاندازی تجهیزات کنترلی تیکنرها، بازیابی آب از ۶۷ درصد در زمان راهاندازی تیکنرها به ۷۳ درصد بعد از اعمال تغییرات افزایش پیدا کرده است. این میزان معادل کاهش مصرف ماهیانه آب به میزان ۵۳,۰۰۰ مترمکعب بوده و موجب شده است مشکل کم‌آبی کارخانه برطرف شود.

بنابراین حرکت به سمت مدیریت فعال و یکپارچه آب در معادن، نیازمند بهینه‌سازی کامل فرایندهای موجود از طریق استانداردسازی و کنترل دقیق برای بازیابی آب بیشتر و نهادینه کردن فرهنگ صرفه‌جویی و مسئولیت‌پذیری در قبال آب در تمام بخش‌هاست. در واقع، پاسخ به چالش کم‌آبی، فقط با خرید تجهیزات و به کارگیری فناوری مدرن حاصل نمی‌شود، بلکه از طریق ارتقای مستمر نحوه به کارگیری، نگهداری و یکپارچه‌سازی آنها در کانون برنامه‌ریزی معدن محقق می‌شود.

۵. چالش‌های توسعه مدارهای آب‌گیری از باطله کارخانه‌های فراوری مواد معدنی در کشور

باتوجه به مصرف بالای آب در معادن کشور و محدودیت منابع آبی در اقلیم خشک و نیمه‌خشک ایران، یافتن راهکارهای پایدار برای تأمین و مدیریت این منبع حیاتی امری اجتناب‌ناپذیر است. یکی از مهم‌ترین گزینه‌ها در این زمینه، بازیابی آب از باطله‌های کارخانه‌های فراوری مواد معدنی است که می‌تواند نقش چشمگیری در تأمین آب در معادن ایفا کند. با این حال، در برخی از معادن کشور نرخ بازیابی آب بسیار پایین است و هدررفت آب در این بخش به طور قابل توجهی بالاست. از این رو، بررسی موانع و چالش‌های موجود برای بازیابی آب از باطله‌ها در شرکت‌های معدنی، به ویژه در کارخانه‌هایی که به روش تر فراوری می‌کنند، ضرورت ویژه‌ای دارد. در ادامه، به واکاوی این موانع پرداخته شده است.

۵-۱. فقدان پایگاه اطلاعاتی جامع و به‌روز از مصارف آب در صنایع معدنی کشور

مدیریت مؤثر مصرف آب در هر مجتمع معدنی به سه بخش ردیابی دقیق مصارف در واحدها، بهینه‌سازی بازیابی آب از باطله‌ها و بهینه‌سازی نسبت آب تازه به آب مصرفی وابسته است. این داده‌ها در کنار هم، نمودار تعادل آب مجتمع را تشکیل می‌دهند و نقشه راهی برای مصرف پایدار این منبع حیاتی است. ردیابی میزان آب مصرفی در هر بخش از مجتمع (مانند خردایش، شناورسازی، لیچینگ و...) اولین گام است. این داده‌ها نقاط پرمصرف را شناسایی و امکان مقایسه عملکرد با استانداردهای صنعتی را فراهم می‌کنند. مدیریت آب در معدن، فراتر از کاهش مصرف، به معنای مدیریت هوشمند یک چرخه بسته آبی است.

اما یکی از چالش‌های اصلی در مدیریت آب در شرکت‌های معدنی کشور، عدم دستیابی به اطلاعات صحیح، جامع و به‌روز است. اطلاعات دقیق از میزان مصرف و بازیابی آب و مقدار باطله‌های تولیدی، امکان تصمیم‌گیری آگاهانه و برنامه‌ریزی در این زمینه را فراهم می‌آورد. در حال حاضر به دلیل نبود داده‌هایی مانند میزان مصارف و اطلاعات تعادل آب شرکت معدنی، نمی‌توان درست و به موقع در زمینه‌هایی مانند بهینه‌سازی مصرف، پیش‌بینی و کاهش ریسک‌هایی مانند آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی و کم‌آبی کاری برنامه‌ریزی کرد. نبود اطلاعات جامع و به‌روز اغلب ریشه در دو مشکل دارد:

۱. نبود دسترسی به داده‌های قابل اعتماد و به‌روز: دسترسی به اطلاعات جامع و به‌روز از میزان مصارف، بازیابی آب به تفکیک واحدهای مختلف وجود ندارد و این اطلاعات معمولاً پراکنده و تأیید نشده است. در این صورت نداشتن تصویر دقیقی از میزان مصارف، امکان برنامه‌ریزی برای مدیریت آب و نظارت و پایش آن وجود ندارد.

۲. نبود همکاری لازم و عدم اشتراک گذاری اطلاعات بین سازمان‌های ذی‌ربط: اطلاعات اغلب در سازمان‌های مختلفی مانند وزارت صنعت، معدن و تجارت، وزارت نیرو، سازمان حفاظت محیط زیست و شرکت‌های آب منطقه‌ای پراکنده است؛ نبود سازوکاری کارآمد برای اشتراک گذاری سیستماتیک و شفاف این اطلاعات، به موازی کاری، تکرار هزینه‌های مطالعاتی و در نهایت تصمیم‌گیری براساس داده‌های ناقص منجر می‌شود. این جزیره‌ای عمل کردن سازمان‌ها، چالش مدیریت آب را پیچیده‌تر می‌سازد. بنابراین، حل چالش اطلاعات، نیازمند ایجاد یک سامانه از داده‌های آب معادن است که قابلیت پایش داشته باشد. این امر مستلزم تعریف استانداردهای جمع‌آوری داده، تصویب قوانین شفاف برای اشتراک گذاری اجباری و دوسویه اطلاعات بین دستگاه‌های دولتی و بخش خصوصی و سرمایه‌گذاری در پایش مستمر و جمع‌آوری داده است. فقط از این طریق می‌توان دانش لازم برای حفاظت از این سرمایه حیاتی را در کنار توسعه مسئولانه صنایع معدنی فراهم آورد.

۲-۵. فقدان نهاد متولی مشخص و قوانین و مقررات لازم در زمینه برنامه‌ریزی، سیاست‌گذاری و نظارت بر ارتقای بهره‌وری آب در صنایع معدنی

علاوه بر نبود اطلاعات به‌روز و جامع، نهاد متولی واحدی با هدف نظارت و برنامه‌ریزی در حوزه‌های مختلف مصارف آب در صنایع معدنی کشور مانند پایش مصارف آب در بخش‌های مختلف، میزان باز چرخانی آن و نحوه تأمین آب تازه و... وجود ندارد. در ابتدای شروع کار معادن، میزان آب مورد نیاز توسط بهره‌بردار به سازمان آب منطقه‌ای به‌عنوان متولی تأمین آب معادن هر استان داده می‌شود. این میزان آب درخواستی توسط سازمان آب منطقه‌ای بررسی و آب به معادن تخصیص داده می‌شود. اما در ادامه هیچ‌گونه نظارت و پایشی در خصوص اینکه در این صنایع، آب چگونه مصرف و چه میزان بازیابی می‌شود، وجود ندارد؛ در واقع نهادهای به‌صورت عملیاتی در زمینه ارتقای بهره‌وری آب در معادن وجود ندارد و این امر به‌نوعی به خود بهره‌بردار واگذار می‌شود. در حال حاضر مهم‌ترین عاملی که برای حرکت واحدهای معدنی به سمت ارتقای بهره‌وری آب استفاده شده است، افزایش هزینه فروش آب متعارف به این واحدهاست؛ به‌نحوی که بهره‌برداران این واحدها به خرید و استفاده از آب دریافتی از خلیج فارس تشویق شوند. باین حال، این اقدام به‌تنهایی نمی‌تواند خلأ سیاست‌گذاری در حوزه بهره‌وری مصرف آب در معادن را پر کند؛ چراکه لزوماً افزایش تأمین آب (به‌ویژه در معادن بزرگ) از طریق شیرین‌سازی آب دریا در مقایسه با نظارت مؤثر و برنامه‌ریزی هدفمند برای افزایش باز چرخانی آب در معادن، برای کشور از صرفه اقتصادی بالاتری برخوردار نیست. به بیان دیگر، به‌نظر می‌رسد همچنان باز چرخانی و استفاده بهینه از آب در معادن و صنایع معدنی کشور، در صورت برخورداری از برنامه‌ریزی دقیق و سازوکارهای نظارتی مناسب، باید به‌عنوان اولویت‌دارترین گزینه در مدیریت و تأمین منابع آبی مورد نیاز این بخش، مدنظر قرار گیرد.

از طرفی در حال حاضر، در نظام قانونی و مقرراتی کشور، الزامات صریحی برای بازیابی آب از باطله‌ها در کارخانه‌های فراوری معادن توسط بهره‌برداران وجود ندارد. این خلأ قانونی، موجب شده است که موضوع بازیابی آب در بسیاری از معادن به‌عنوان یک الزام فنی یا زیست‌محیطی با درجه اهمیت پایین‌تری مورد توجه قرار گیرد و غالباً در قالب توصیه‌ها یا الزامات کلی و عمومی ارزیابی پیامدهای زیست‌محیطی مطرح شود. معمولاً اگر مشکل تأمین آب از منابع متعارف، مرتفع نشود، به‌عنوان آخرین گزینه، بهره‌بردار به سراغ بازیابی آب از باطله‌های معدنی می‌رود؛ مانند مجتمع مس شهر بابک [۲۵]. این وضعیت در تضاد آشکار با رویکرد کشورهای توسعه‌یافته مانند چین است [۳۴] که در آنها بازیابی آب به‌عنوان یکی از پیش شرط‌های صدور یا تمدید مجوز بهره‌برداری معادن لحاظ شده است و نهادهای نظارتی از طریق سازوکارهای قانونی، به پایش و تضمین تحقق درصد مشخصی از بازیابی آب در فرایندهای معدنی ملزم‌اند. به‌عنوان مثال در جدول ۸ در استاندارد تخلیه



آب باطله یکپارچه شده^۱ از قوانین ملی کشور چین، حداکثر میزان مجاز تخلیه یا حداقل درصد بازیابی آب در بخش‌های مختلف صنعت معدن بیان شده است [۳۵].

جدول ۸. حداکثر میزان مجاز تخلیه یا حداقل درصد بازیابی آب در بخش‌های مختلف صنعت و معدن در کشور چین [۳۵]

نوع صنعت		حداکثر میزان مجاز تخلیه یا حداقل درصد بازیابی آب
معدن‌کاری	معدن‌کاری فلزات آهنی	
	معدن‌کاری عناصر غیر آهنی، فراوری کانه و فراوری زغال	
	ثقلی	۱۶ مترمکعب بر تن (کانه)
	فلوتاسیون	۹ مترمکعب بر تن (کانه)
	سیانید	۸ مترمکعب بر تن (کانه)
ذوب فلزات آهنی و فراوری کانه		نرخ بازیابی آب ۸۰ درصد

پیامد عملی نبود الزامات و نظارت دقیق و همچنین نبود نهاد متولی انجام بهروری آب در معادن کشور، آن است که برخی از مجتمع‌های معدنی حتی از ظرفیت کامل مدار آب‌گیری موجود خود نیز استفاده نمی‌کنند. مقایسه عملکرد این واحدها با معادنی که رویکرد مسئولانه‌تری دارند، به‌وضوح نشان‌دهنده عملکرد ضعیف و افت بهروری در این حوزه است.

به همین دلیل، ضرورت دارد که در بازنگری قوانین و مقررات کشور، چارچوب‌های قانونی مشخص، الزامات کمی و شاخص‌های سنجش عملکرد در زمینه بازیابی آب از باطله‌های معدنی (مانند میزان محتوای آب باطله ورودی به سد باطله و درصد بازیابی آب نسبت به مصرف کل در مدار) تعریف و تصویب شود و توسط نهادی متولی، که در بالا بیان شد، بررسی و پایش شود تا همگام با استانداردهای بین‌المللی، بهره‌برداری پایدار و حفاظت مؤثر از منابع آبی در معادن تحقق یابد.

۳-۵. عدم تأکید بر آب‌گیری از باطله کارخانه‌های فراوری مواد معدنی به‌عنوان یکی از راهکارهای تأمین آب معادن از منابع نامتعارف در اسناد بالادستی

همان‌طور که بیان شد، طبق جزء «۱»، بند «ب» ماده (۳۹) برنامه هفتم توسعه، صنایع آب‌بر به استفاده از منابع آب نامتعارف موظف شده‌اند. از آنجایی که بخش معدن و صنایع معدنی در ردیف صنایع آب‌بر قرار می‌گیرند، این قانون شامل آنها نیز می‌شود. در اسناد بالادستی مانند قانون برنامه هفتم، از سه روش برای تأمین آب از منابع نامتعارف (شیرین‌سازی و انتقال آب دریا، استفاده از پساب و فاضلاب شهری و صنعتی، و بازیابی آب از باطله کارخانه‌های فراوری مواد معدنی)، به‌صراحت دو روش نخست بیان شده و از روش سوم، یعنی بازیابی آب از باطله کارخانه‌های فراوری مواد معدنی به‌عنوان یک روش دارای اولویت، اشاره صریح و الزام‌آوری به این راهکار نشده است.

البته هیچ‌یک از این سه راهکار به‌تنهایی پاسخ‌گوی نیاز آبی همه معادن کشور نیست، بلکه بسته به موقعیت جغرافیایی، نوع معدن، دسترسی به زیرساخت‌های موجود و وضعیت اقتصادی پروژه، استفاده ترکیبی از این روش‌ها می‌تواند راه‌حلی پایدار و بهینه برای تأمین آب در بخش معدن فراهم سازد. با این حال، سرمایه‌گذاری در فناوری‌های نوین آب‌گیری از باطله‌های فراوری، به‌عنوان روشی کم‌هزینه، درون‌سازمانی و سازگار با محیط زیست، باید در اولویت سیاستگذاری‌های آبی در حوزه معدن قرار گیرد.

1. Integrated Wastewater Discharge Standard

۶. جمع‌بندی و پیشنهادها



در فعالیتهای معدنی به‌ویژه در واحدهای فراوری مواد معدنی که به روش تر فعالیت می‌کنند، آب جزء نهاده‌های اصلی تولید محسوب می‌شود [۱]. این میزان مصرف، در مقیاس صنعتی و باتوجه‌به ظرفیت بالای واحدهای فراوری در معادن، فشار مضاعفی بر منابع آبی با شرایط محدودیت شدید منابع آبی و بحران کم‌آبی در کشور، وارد می‌سازد. در چنین شرایطی، تأمین آب مورد نیاز برای صنایع معدنی ضرورتی انکارناپذیر است.

از سوی دیگر، طبق ماده (۳۹) برنامه هفتم پیشرفت، آب مورد نیاز معادن باید از آب‌های نامتعارف تأمین شود. در این چارچوب، استفاده از آب دریا پس از نمک‌زدایی، پساب‌های شهری و صنعتی و به‌ویژه بازیابی آب از باطله کارخانه‌های فراوری مواد معدنی به‌عنوان گزینه‌های اصلی تأمین آب مورد نیاز معادن از آب‌های نامتعارف مطرح می‌شوند. بنابراین بازیابی آب از باطله‌ها به‌عنوان یکی از راهکارهای اصلی مدیریت باطله‌های معدنی، نه فقط میزان برداشت از منابع آب متعارف را کاهش می‌دهد، بلکه به بهبود شاخص‌های زیست‌محیطی، کاهش حجم باطله‌ها و افزایش ایمنی سدهای باطله نیز کمک می‌کند [۵].

در این گزارش ابتدا میزان مصارف آب در واحدهای مختلف مجتمع‌های بزرگ معدنی برای برخی مواد مانند طلا، مس، سنگ آهن و آلومینیم، و همچنین وضعیت تأمین آب معادن از منابع نامتعارف در کشور باروش‌های انتقال آب از سواحل جنوبی کشور و تصفیه فاضلاب‌های شهری و صنعتی بررسی شد. تاکنون ۶ سامانه انتقال آب از خلیج فارس و دریای عمان برای بخشی از مصارف صنعتی استان‌های هدف در نظر گرفته شده است. اما این روش علاوه بر تأمین بخشی از آب مورد نیاز صنایع، به دلیل هزینه‌های بالا، پیامدهای زیست‌محیطی و مصرف بالای انرژی باتوجه‌به ناترازی‌های انرژی در کشور، راهکاری اقتصادی محسوب نمی‌شود. تصفیه و بازچرخانی فاضلاب‌های شهری و صنعتی به‌عنوان گزینه‌ای مکمل و پایدار، از نظر اقتصادی و زیست‌محیطی مزیت دارد؛ هرچند چالش‌هایی مانند محدودیت ظرفیت تصفیه‌خانه‌ها و شبکه توزیع همچنان وجود دارد. بنابراین یکی از گزینه‌های مهم که می‌تواند به کاهش میزان مصرف آب تازه در معادن کمک کند، بازیابی آب از باطله کارخانه‌های فراوری مواد معدنی است.

در ادامه گزارش به بررسی وضعیت بازیابی آب از باطله‌های معدنی در کشور به‌عنوان یکی از گزینه‌های تأمین آب مورد نیاز معادن پرداخته شده است. برخی از مجتمع‌ها و کارخانه‌های بزرگ معدنی کشور، از نظر مشخصات سد باطله و مدار آب‌گیری از باطله کارخانه فراوری که اطلاعات آنها در دسترس بود، بررسی شده‌اند. برخی از این مجتمع‌های معدنی، مانند مس سرچشمه، رفسنجان و مس میدوک شهر بابک، از تیکنرهای مخروطی عمیق استفاده می‌کنند که حدود ۶۷-۶۳ درصد آب از باطله‌های کارخانه فراوری بازیابی می‌شود. تعداد اندکی از آنها، مانند شرکت گسترش معادن و صنایع معدنی طلای زرشوران و مجتمع صنعتی و معدنی گل‌گهر سیرجان نیز از روش تیکنر-فیلتر و انباشت توده‌ای استفاده می‌کنند که از این طریق میزان بیشتری از آب مصرفی خطوط فراوری (تا حدود ۹۰-۷۵ درصد) بازچرخانی می‌شود. این کار علاوه بر کاهش قابل ملاحظه هزینه‌های تأمین آب تازه مصرفی، باعث پایداری بیشتر در تأمین آب کارخانه فراوری می‌شود. بعضی از صنایع مانند شرکت معدنی و صنعتی چادرملو و مجتمع طلای موته، مدار آب‌گیری از باطله کارخانه فراوری ندارند که این باعث هدررفت بخش زیادی از آب می‌شود.

همچنین تعداد اندکی از این مجتمع‌ها و شرکت‌های معدنی از منابع آب نامتعارف برای تأمین بخشی از آب تازه مصرفی، استفاده می‌کنند؛ مانند مجتمع مس سرچشمه، شرکت فولاد سیرجان ایرانیان، شرکت معدنی و صنعتی چادرملو. در ادامه همچنین عملکرد شرکت‌های بزرگ معدنی در میزان بازیابی آب از باطله‌های معدنی در ایران و جهان بررسی و مقایسه شده است. عملکرد شرکت‌های معدنی مختلف در زمینه بازیابی آب از باطله کارخانه‌های فراوری، حتی با به کارگیری روش مشابه متفاوت است و این میزان برای شرکت‌های معدنی کشورمان کمتر است. این تفاوت عملکردی می‌تواند ناشی از عواملی مانند مشخصات سنگ معدن، طراحی مدار فراوری و استانداردسازی عملیات آب‌گیری



از باطله‌ها باشد. بر این اساس، هر چند در قوانین حاکم، همچون قانون برنامه هفتم، تأکید شده است که آب مورد نیاز صنایع آب‌بر از منابع نامتعارف تأمین شود، عدم اجرای مؤثر آن، موجب شده است تأمین آب مورد نیاز معادن از آب‌های متعارف همچنان ادامه داشته باشد. چالش‌های توسعه بازیابی آب از باطله کارخانه‌های فراوری مواد معدنی به عنوان یکی از گزینه‌های اصلی تأمین آب مورد نیاز در معادن کشور را می‌توان فقدان پایگاه اطلاعاتی جامع و به‌روز از مصارف آب در صنایع معدنی کشور، فقدان نهاد متولی واحد و قوانین و مقررات لازم در زمینه برنامه‌ریزی، سیاست‌گذاری و نظارت بر ارتقای بهره‌وری آب در صنایع معدنی، نبود تأکید بر آب‌گیری از باطله کارخانه‌های فراوری مواد معدنی به عنوان یکی از راهکارهای تأمین آب معادن از منابع نامتعارف در اسناد بالادستی و در اولویت نبودن آب‌گیری از باطله‌های معدنی برای بهره‌برداران معادن، در این حوزه دانست. در نهایت با توجه به یافته‌های این گزارش، پیشنهادهایی در خصوص مدیریت باطله‌های معدنی برای بازیابی آب از باطله کارخانه‌های فراوری مواد معدنی در کشور ارائه می‌شود:

■ ایجاد سامانه داده‌های آب صنایع معدنی کشور

با هدف جمع‌آوری و انتشار اطلاعات مربوط به آب در شرکت‌های معدنی کشور (میزان مصرف آب در بخش‌های مختلف، میزان آب تازه مصرفی به تفکیک منابع تأمین آن و میزان بازیابی آب) و دستیابی به نمودار تعادل آب در هریک از این شرکت‌ها، لازم است سازوکاری برای جمع‌آوری این اطلاعات توسط وزارتخانه‌های صنعت، معدن و تجارت و نیرو طراحی شود؛ به نحوی که این اطلاعات ضمن ذخیره‌سازی، قابلیت پایش و نظارت داشته باشند.

■ تعیین نهاد متولی مشخص برای نظارت، برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری در حوزه مدیریت مصرف و ارتقای بهره‌وری آب در صنایع آب‌بر کشور (از جمله صنایع معدنی) در اسناد بالادستی

پیشنهاد می‌شود در قوانین بالادستی (از جمله قانون برنامه پنج‌ساله هفتم پیشرفت)، وزارت صنعت، معدن و تجارت به عنوان متولی نظارت بر ارتقای بهره‌وری و مدیریت آب در صنایع آب‌بر کشور (از جمله صنایع معدنی) تعیین و مکلف شود متناسب با مشخصات و ویژگی‌های هریک از این صنایع، برنامه جامع ارتقای بهره‌وری آب در صنایع آب‌بر را تدوین و بر حسن اجرای آن نظارت کند.

■ اضافه کردن راهکار آب‌گیری از باطله‌های کارخانه فراوری مواد معدنی به عنوان یکی از گزینه‌های تأمین آب نامتعارف در معادن در قوانین و مقررات مربوطه

با توجه به محدودیت‌های کمی منابع آبی کشور، پیشنهاد می‌شود بازیابی آب از باطله‌های کارخانه‌های فراوری مواد معدنی به عنوان یکی از گزینه‌های تأمین آب نامتعارف در معادن در آیین‌نامه اجرایی جزء «۱» بند «ب» ماده (۳۹) برنامه هفتم پیشرفت به صورت صریح و الزام‌آور بیان شود.

■ تدوین ضوابط فنی و الزامات اجرایی برای بازیابی آب از باطله‌ها به عنوان بخشی از فرایند ارزیابی و صدور مجوز زیست‌محیطی معادن

بخش معدن و صنایع معدنی به عنوان یکی از حوزه‌های مهم و اثرگذار در اقتصاد کشور، نیازمند استانداردسازی الگوهای مصرف آب است و با استفاده از تجربیات جهانی و فناوری‌های روز دنیا، می‌تواند مدیریت بهینه منابع آب در معادن و صنایع معدنی محقق شود. پیشنهاد می‌شود راهکارهای بازیابی آب از باطله کارخانه‌های فراوری مواد معدنی به ضوابط زیست‌محیطی فعالیت‌های معدنی اضافه شود.

همچنین به منظور ارتقای بهره‌وری منابع آبی در بخش معدن و همگام‌سازی با استانداردهای بین‌المللی، لازم است وزارت صنعت، معدن و تجارت در بازنگری قوانین و آیین‌نامه‌های مرتبط با ارزیابی پیامدهای زیست‌محیطی و جواز تأسیس واحدهای فراوری مواد معدنی، بندهای اختصاصی و الزام‌آور در زمینه بازیابی آب از باطله‌ها تعریف کند. این پیشنهاد شامل سه محور کلیدی است:

– **تدوین الزامات کمی اجباری:** تعیین حداقل درصد مشخص برای بازیابی آب در کارخانه‌های فراوری، متناسب با نوع ماده معدنی، مشخصات سنگ معدن و فناوری مورد استفاده.

– ایجاد شاخص‌های نظارتی قابل سنجش: الزام معادن به اندازه‌گیری و گزارش دوره‌ای شاخص‌هایی مانند میزان آب موجود در باطله ورودی به سدهای باطله، درصد آب بازیافتی نسبت به مصرف کل در مدار و حجم آب تازه مصرفی به‌ازای هر تن ماده معدنی فراوری شده.

– مشروط کردن فرایند صدور یا تمدید مجوزها به میزان بازیابی آب: منوط ساختن صدور، تمدید و اصلاح مجوزهای بهره‌برداری به رعایت استانداردهای تعیین شده در زمینه بازیابی آب و استفاده حداکثری از ظرفیت عملیاتی مدار آب‌گیری موجود در کارخانه فراوری.

منابع و مأخذ

- [1] Metso, "Tailings Management Solutions".
- [2] Lottermoser, B. G., (2010), "Mine water. In Mine wastes: Characterization, treatment and environmental impacts", Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, pp. 119-203.
- [3] Johnson, D.B., Hallberg, K.B., (2005), "Acid mine drainage remediation options: a review", Science of the total environment, Vol. 338, No. 1-2, pp. 3-14.
- [4] Molle, B. (2007), "Technical issues in modernizing farm irrigation systems: Some experiences in Mediterranean countries", In Proceedings of the International Forum on Water Resources Management and Irrigation Modernization in Shanxi Province, China.
- [5] Mudd, G. M., (2008), "Sustainability reporting and water resources: A preliminary assessment of embodied water and sustainable mining. Mine Water and the Environment", Vol. 27, No. 3, pp. 136–144. <https://doi.org/10.1007/s10230-008-0037-5>.
- [۶] برنامه پنج‌ساله هفتم پیشرفت جمهوری اسلامی ایران، (۱۴۰۳).
- [۷] آیین‌نامه اجرایی جزء «۱» بند «ب» ماده (۳۹) برنامه پنج‌ساله هفتم پیشرفت جمهوری اسلامی ایران، (۱۴۰۳).
- [۸] مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، (۱۳۹۸)، «مدیریت منابع و اصلاح الگوی مصرف آب در بخش معدن و صنایع معدنی ایران (بخش اول)»، شماره مسلسل ۱۶۴۵۵.
- [۹] مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، (۱۴۰۳)، «بررسی جنبه‌های مختلف طرح‌های کلان شیرین‌سازی و انتقال آب دریا در کشور»، شماره مسلسل ۱۹۸۱۶.
- [۱۰] سازمان توسعه و نوسازی معادن و صنایع معدنی ایران (ایمیدرو)، (۱۴۰۴).
- [۱۱] شرکت تأمین انتقال آب خلیج فارس (واسکو)، <https://was-co.ir>.
- [12] Williams, D.J., (2020). Chapter VI: the role of technology and innovation in improving tailings management. towards Zero Harm—A Compendium of Papers Prepared for the Global Tailings Review. Available online: <https://globaltailingsreview.org/wpcontent/uploads/2020/09>.
- [13] Chaedir, B. A., Kurnia, J. C., Sasmito, A. P., & Mujumdar, A. S. (2021), "Advances in dewatering and drying in mineral processing", Drying Technology, Vol. 14, No. 17, pp. 1667-1684.
- [۱۴] بنیسی، ص. (۱۴۰۱)، «راهبردهای مدیریت باطله کارخانه‌های فراوری مواد معدنی در سال ۲۰۲۳»، مرکز تحقیقات فراوری مواد کاشی‌گر.
- [15] Cacciuttolo Vargas, C., Marinovic Pulido, A. (2022), "Sustainable management of thickened tailings in Chile and Peru: a review of practical experience and socio-environmental acceptance", Sustainability, Vol. 14, No. 17, 10901.
- [16] Diemme's Domino up and running at Toquepala (2023), Diemme's Domino up and running at Toquepala - International Mining (im-mining.com).
- [17] Carneiro, A., Fourie, A. B. (2019), "An integrated approach to cost comparisons of different tailings management options", In Paste 2019: Proceedings of the 22nd International Conference on Paste, Thickened and Filtered Tailings, pp. 115-126. Australian Centre for Geomechanics.
- [18] Vale, (2012), "Carajás S11D Iron Project – A new impetus to Brazil's sustainable development", June, Rio de Janeiro/Brazil.
- [19] Harder, J. (2022), "Dry beneficiation of iron ore", www.onestone.consulting.
- [۲۰] مروج، س.، بهادری‌فرد، ع.، نیک‌اقبال، ب. و چراغی، ع. (۱۳۹۳)، «بررسی اثر زهکشی افقی روی پایداری سد باطله گل‌گهر تحت شرایط تخلیه سریع»، هشتمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران، بابل.
- [۲۱] حکمی، م. (۱۴۰۲)، «جلسه هفتگی استانداردسازی فرایندها در کارخانه گل‌گهر: پایش و استانداردسازی تیکنرهای باطله خطوط ۵، ۶ و ۷»، مرکز



- تحقیقات فراوری مواد کاشی‌گر.
- [22] MacNamara, L., Khoshniaz, N., Hashemi, S. (2011, April), The Sarcheshmeh thickened tailings disposal project. In Paste 2011: Proceedings of the 14th International Seminar on Paste and Thickened Tailings, pp. 237-243. Australian Centre for Geomechanics.
- [23] سروری‌زاده، ح.، رضائی، ا.، بنی‌اسدی، م.، پارساپور، غ. و شریفی‌نژاد، ا. (۱۴۰۱)، «عیب‌یابی و راه‌اندازی حلقه‌های کنترلی تیکنرهای مخروطی عمیق مجتمع مس سرچشمه»، پنجمین کنفرانس علوم و مهندسی جداسازی، زاهدان.
- [24] بنیسی، ص. (۱۳۹۸)، «نسل دوم تیکنرهای مخروط عمیق»، مرکز تحقیقات فراوری مواد کاشی‌گر.
- [25] حسن‌خویی، ع.، یحیایی، م. و بنیسی، ص. (۱۳۹۲)، «افزایش کارایی تیکنرهای مخروط عمیق مجتمع مس شهر بابک»، نهمین کنفرانس دانشجویی مهندسی معدن ایران، بیرجند.
- [26] Watson, A. H., Corser, P. G., Garces Pardo, E. E., Lopez Christian, T. E., & Vandekeybus, J. (2010, September), "A comparison of alternative tailings disposal methods—the promises and realities", In Mine Waste 2010: Proceedings of the First International Seminar on the Reduction of Risk in the Management of Tailings and Mine Waste, pp. 499-514. Australian Centre for Geomechanics.
- [27] جعفرپور، ا.، عبدالحی شریف، ج.، عیوضی، ع. و آقاجری، ژ. (۱۳۹۴)، «رهیافت‌های زیست‌سازگار نوین برای رفع مشکل پساب معدن مس سونگون»، سومین کنفرانس معادن روباز ایران، کرمان.
- [28] بهرامی، ع.، فرج‌زاده، س. و افتخاری، م. (۱۳۹۹)، «بهینه‌سازی فرایند آب‌گیری از باطله کارخانه‌های فراوری طلا با استفاده از هیدروسیکلون»، نشریه علمی-پژوهشی مهندسی معدن، دوره ۱۵، شماره ۱۶، صص. ۱۹-۲۳.
- [29] شرکت ملی صنایع مس ایران (مجتمع مس سرچشمه رفسنجان)، (۱۴۰۴).
- [30] Cacciuttolo Vargas, C., Pérez Campomanes, G. (2022), "Practical experience of filtered tailings technology in Chile and Peru: an environmentally friendly solution", Minerals, Vol. 12, No. 7, 889.
- [31] Bancayan, P. (2022), "Tesis Titulada Automatización de una Planta de Filtrado de Relaves Mineros", Available online: https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/1738/Pedro%20Bancayan_Tesis_Titulo%20Profesional_2019.pdf?
- [32] Gonzales, V. (2005, April), "Cobrizas cu Tailings Surface Stacking A Successful story", In Paste 2005: Proceedings of the International Seminar on Paste and Thickened Tailings (pp. 261-270). Australian Centre for Geomechanics.
- [33] SMA (Superintendencia del Medio Ambiente), (2022). "Proyecto Deposito de Relaves en Pasta", Sector 5, COEMIN S.A. 2021. Available online: <https://ssa.sma.gob.cl/Documento/Descargar/269881> (accessed on 12 April 2022).
- [34] Circular Economy Law of the People's Republic of China, (2008).
- [35] Integrated Wastewater Discharge Standard, (1998), National Standard of the People's Republic of China, GB 8978-1996.



عنوان: راهکارهای مدیریت باطله‌های معدنی (۲): بررسی وضعیت بازیابی آب از باطله کارخانه‌های فراوری مواد معدنی (در راستای ماده (۳۹) قانون برنامه پنج‌ساله هفتم پیشرفت کشور)

DOI: [10.22034/mrc.report.21673](https://doi.org/10.22034/mrc.report.21673)

Permanent Link:

Publisher : Islamic Parliament Research Center of Iran

گزیده سیاستی

نمودار تعادل آب، که ابزاری برای پایش مصارف و ارزیابی عملکرد بازیابی آب است، برای اغلب شرکتهای معدنی تهیه نشده بادر دسترس نیست. بنابر این، تهیه و به روز رسانی مستمر این نمودار برای تمام شرکتهای معدنی، الزامی حیاتی و پیش نیاز هرگونه سیاستگذاری مؤثر در این حوزه است.



مرکز پژوهش های مجلس شورای اسلامی

تهران، خیابان پاسداران، رو بروی پارک نیاوران (ضلع جنوبی، پلاک ۸۰۲)

تلفن: ۷۵۱۸۳۰۰۰ صندوق پستی: ۱۵۸۷۵-۵۸۵۵ پست الکترونیک: mrc@majles.ir

وبسایت: rc@majles.ir