IMIDRO

IRANIAN MINES AND MINING INDUSTRIES DEVELOPMENT AND RENOVATION ORGANIZATION

سازمان توسعه و نوسازی معادن و صنایع معدنی ایران

عنوان پروژه

طراحی و ساخت تیکنرهای خمیری در مقیاس بنچ و پایلوت

(خلاصه گزارش و تجاری‌سازی)

موافقتنامه از محل ماده ۱۷ اساسنامه به شماره ۲۱۷۸۶ مورخ ۹۵/۰۸/۲۵

مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران

آبان ماه ۹۷

طراحی و ساخت تیکنرهای خمیری در مقیاس بنچ و پایلوت
در مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران

مقدمه

با توجه به ضروریات مرتبط با محیط زیست و اینکه اغلب کارخانه‌های بزرگ فرآوری مواد معدنی کشور در منطقه بیابانی و خشک قرار گرفته‌اند و هزینه‌های تامین آب در این مناطق بالا است، تصفیه و بازیابی پساب ناشی از این کارخانه‌ها امری اجتناب‌ناپذیر است.

در صنایع معدنی روش‌های گوناگونی برای جدایش جامد از مایع در هر مرحله از فرآوری وجود دارد. تجهیزات مختلفی توسط کارخانه‌های گوناگون طراحی شده است و هر کارخانه تجهیزات ساخت خود را برای جدایش جامد از مایع پیشنهاد می‌کند. انتخاب بهترین طراحی به اقتصادی شدن بیشتر جدایش کمک می‌کند.

هنگامی که خصوصیات پالپی که باید جامد آن جدا شود و تأثیر خواص پالپ روی تجهیزات طراحی شده مشخص باشد، انتخاب و طراحی تجهیزات برای فرآیند جدایش آسان خواهد شد. یک واقعیت ساده این است که طراحی و انتخاب تجهیزات توسط پالپ تعیین می‌شود نه مهندس طراح. مهندس طراح با تهیه یک طرح به جدایش مطلوب جامد از پالپ کمک می‌کند. در سال‌های اخیر روش‌های گوناگون آزمایش‌های ته‌نشینی برای مطالعه خواص ته‌نشینی مواد توسعه داده شده است. این تست‌ها به منظور تعیین ابعاد تجهیزات مورد نیاز تغلیظ یا زلال سازی است. برای طراحی تجهیزات عمومی ته‌نشینی ، آزمایشات به اثبات رسیده و داده‌های مرتبط وجود دارد.

طراحی تجهیزات مورد نیاز زلال سازی و تغلیظ شبیه هم است و تجهیزات مورد نیاز برای هر دو کار دارای ترکیبات یکسانی هستند، هر چند با توجه به شرایط خوراک، چگالی ته‌ریز مورد نیاز، میزان زلال بودن مایع سرریز، طراحی‌ها متفاوت است. در سال‌های اخیر تیکنرهایی طراحی و به بازار عرضه شده است که دارای بازدهی و دبی بالا بوده و توانایی ایجاد ته‌ریز با چگالی بالا را دارا می‌باشند. روش‌های آزمایش‌های لازم برای تعیین اندازه این نوع واحدهای دارای تکنولوژی جدید در دست مالکان این نوع تجهیزات خاص است

یکی از روش‌های معمول جداکردن جامدها از مایع‌ها در حجم بالا، استفاده از سیستم‌های خمیری‌ساز می‌باشد.

یک سیستم خمیری‌ساز شامل تجهیزات غلیظ کننده باطله‌ها، تجهیزات انتقال دهنده و تجهیزات رهاسازی باطله‌ها می‌باشد. چنین سیستمی باید باطله‌های غلیظ شده را به محل مناسبی انتقال دهد، غلظت باطله‌ها باید در حدی باشد که هدف آبگیری برآورده شود و عمر محل رهاسازی باطله را کاهش ندهد.

بعضی از مزایای تیکنر خمیری در مقایسه با دیگر تیکنرها عبارتند از:

- کاهش حجم ورودی به حوضچه سد و در نتیجه صرفه‌جویی قابل توجه در هزینه ساخت سد

- در پمپاژ باطله خمیری، خطر ته‌نشینی مواد به علت کمتر شدن سرعت جریان در لوله از حد سرعت بحرانی، وجود ندارد.

- پس از خاتمه بهره‌برداری و بسته شدن سد، مشکلات بازسازی سد پر شده با باطله خمیری به مراتب کمتر از سد محتوی اسلاری خواهد بود.

- در صورت سمی بودن باطله، چون در باطله خمیری درصد بیشتری از آب همراه با مواد سمی از مواد باطله جدا و به کارخانه برگشت داده می‌شود، لذا میزان مواد سمی در باطله کاهش می‌یابد.

- به خاطر عدم جدایی آب از باطله و در نتیجه عدم نفوذ آب به زمین، نیاز به صرف هزینه آب‌بند کردن بدنه و مخزن سد نخواهد بود.

- در مناطق خشک و کم آب، جداسازی حجم بیشتری از آب در باطله‌های خمیری، نیاز کارخانه به آب کمتر خواهد شد.

- در معادن طلا، برگشت حجم بیشتری از آب باعث برگشت حجم بیشتری از سیانید سدیم و سایر مواد شیمیایی مصرفی به کارخانه و در نتیجه صرفه‌جویی اقتصادی در هزینه مواد شیمیایی خواهد شد.

- در صورت استفاده از باطله خمیری، با توجه به خاصیت خمیری آن و اشباع مواد، فرسایش، ایجاد گرد و غبار و آلودگی محیط به مراتب کم‌تر از اسلاری خواهد بود.

- در صورت وجود سولفور در مواد باطله، احتمال ایجاد اسید در محیط سد وجود دارد. استفاده از باطله خمیری باعث کاهش میزان اکسیداسیون مواد در سد خواهد شد.

- هرچه رطوبت مواد باطله بیشتر کاهش داده شود، میل به ایجاد حرکت و جریان در آن کاهش، قابلیت مایع شدن و به حرکت در آمدن آن کمتر و در نهایت، فشار اعمال شده به دیواره سد کاسته و بطور کلی خطر انهدام سد کاهش می‌یابد.

با توجه به موارد فوق، به منظور بومی‌سازی طراحی و ساخت این نوع تیکنرها که از تیکنرهای نسل جدید به حساب می‌آید، مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران با همکاری دانشگاه تهران تصمیم به طراحی و ساخت این تیکنر در مقیاس بنچ و پایلوت نمود تا بتواند تکنولوژی ساخت این تیکنر را بومی‌سازی نماید که در ادامه شرح داده می‌شود.

تیکنر خمیری در مقیاس بنچ

پس از مراحل طراحی، این تیکنر در مقیاس بنچ در پایلوت فرآوری ساخته شد که به صورت یک ستون ته‌نشینی از جنس پلاکسی گلاس بوده و دارای قطر داخلی ۱۹ سانتیمتر و ارتفاع ۴ متر می‌باشد. با توجه به اینکه تیکنر بنچ دارای پارو نمی‌باشد لذا خروجی این تیکنر می‌تواند حداقل چگالی خمیری (یا حداقل درصد جامد خمیری) را که در مقیاس صنعتی قابل دستیابی خواهد بود ارائه نماید. بنابراین به منظور دستیابی به نتایج فرآیند تیکنر خمیری و ملاحظات مربوط به ویژگی‌های خمیر در فرآیند تیکنر کردن ابتدا به ساخت این تیکنر در مقیاس بنچ پرداخته شد.

در این مقیاس مقدار جامد خشک (نمونه باطله کارخانه سنگ آهن گل گهر) مورد نیاز برای خوراک‌دهی به این تیکنر در شار ۰/۳ تن بر متر مربع بر ساعت، ۸/۵ کیلوگرم بر ساعت می‌باشد که با توجه به درصد جامد ۱۰٪ در بار ورودی، مقدار دبی پالپ در بار ورودی حدود ۷۹ لیتر بر ساعت در نظر گرفته شد. نتایج حاصل از آزمایش‌ها نشان داد که متوسط درصد جامد ته‌ریز تیکنر در آزمایش اول حدود ۵۷/۳ و در آزمایش دوم حدود ۵۵/۴ درصد بدست آمده است که این مقدار در مقیاس صنعتی، حداقل درصد جامد حاصل از ته‌ریز تیکنر خواهد بود زیرا در این تیکنر از پارو استفاده نشده است. پارو و پیکت‌های روی آن در تیکنرهای خمیری می‌توانند درصد جامد ته‌ریز را حدود ۱/۱۵ تا ۱/۲ برابر مقدار فعلی افزایش دهند.

شرایط عملیاتی تیکنر بنچ

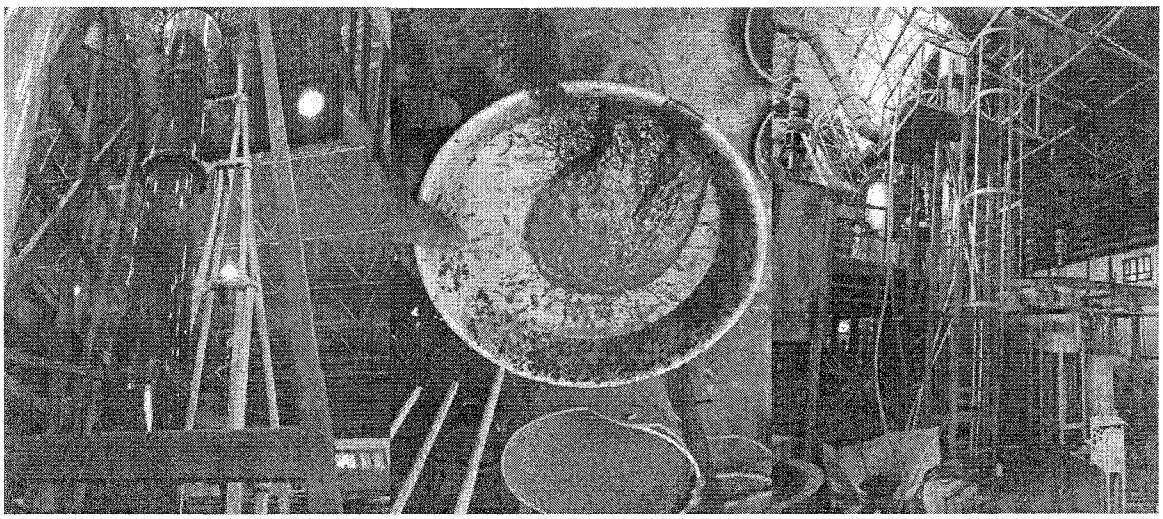
فلوکولانت	غلظت آماده‌سازی (گرم بر لیتر)	۰/۱
	میزان مصرف (گرم بر تن)	۵۰
	نرخ جریان محلول (لیتر بر ساعت)	۴/۲۵
پالپ	شار جامد (تن بر مترمربع بر ساعت)	۰/۳
	درصد جامد ورودی	۱۰
	نرخ جریان (لیتر بر ساعت)	۷۹
	PH	۷

جمع‌بندی

با توجه به آزمایشات انجام شده، نتایج زیر بدست آمد:

- عوامل مختلفی در دستیابی به عملکرد مناسب تیکنر بنچ موثر می‌باشند که یکی از آنها نوع و غلظت فلوکولانت مصرفی می باشد. این عامل تابعی از نوع ماده معدنی، کانی‌های رسی همراه، pH و سایر موارد می باشد لذا انتخاب فلوکولانت مناسب می‌تواند عملکرد مناسبی را از نظر کدورت آب سرریز و چگالی خمیر ته‌ریز نتیجه دهد. (PH آب مرکز ۸ و PH پالپ اولیه ۷ می‌باشد.)
- تعیین شار مناسب برای عملیات ته‌نشینی در این تیکنر بسیار مهم می‌باشد زیرا تعیین کننده سطح مورد نیاز برای تیکنر صنعتی خواهد بود. برای تنظیم این عامل باید نرخ تشکیل بستر در شرایط

ناپیوسته را اندازه‌گیری نمود تا مقدار آن بین ۰/۵ تا ۱ متر بر ساعت باشد و از این مقدار تجاوز نکند. در صورتی که مقدار آن کمتر از ۰/۵ و یا بیش از ۱ باشد باید به ترتیب مقدار شار را زیاد یا کم نمود. علاوه بر این پس از انجام عملیات پیوسته، مقدار حداقل درصد جامد ته‌ریز توسط این تیکنر بدست خواهد آمد که می‌توان با توجه به هدف پروژه و بسته به مقدار شار، آن را کم و یا زیاد نمود. بنابراین، نمونه مربوط به باطله کارخانه فرآوری سنگ آهن گل گهر، در شار ۰/۳ تن بر متر مربع بر ساعت، حداقل میزان درصد جامد در مقیاس صنعتی (برای این نوع تیکنرها) ۵۵ تا ۵۷ درصد خواهد بود.



شکل ۱- تیکنر خمیری در مقیاس بنچ و نمونه ته‌ریز تیکنر در آزمایش‌ها

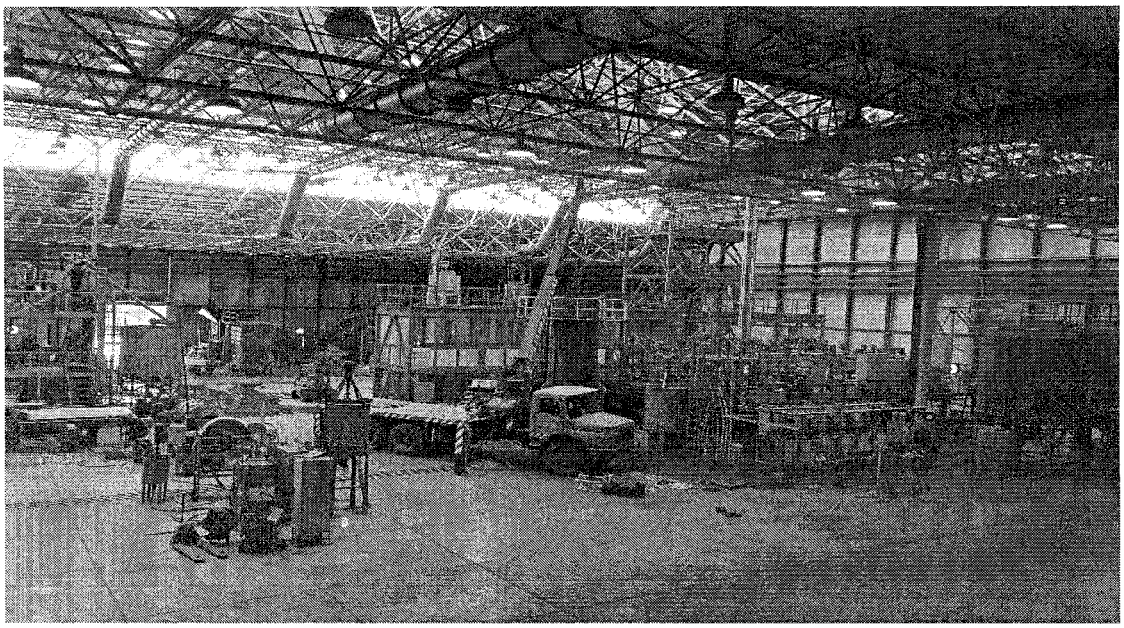
تیکنر خمیری در مقیاس پایلوت

پس از دستیابی به نتایج مطلوب در مقیاس بنچ، طراحی و ساخت تیکنر خمیری پایلوت انجام شد. هدف از ساخت تیکنر پایلوت نیز مشابه تیکنر بنچ، بررسی دستیابی به حداکثر درصد جامد در ته‌ریز و یا به عبارت دیگر بررسی دستیابی به حداکثر بازیابی آب از سرریز می‌باشد. علاوه بر این نتایج این آزمایش داده‌های دقیق‌تری از فرآیند تیکنر خمیری صنعتی خواهد داد و عملکرد پاروها در افزایش کارآیی تیکنر را نیز ارائه خواهد نمود.

تیکنر خمیری پایلوت مشابه تیکنر خمیری صنعتی است و بدنه آن از بخش استوانه‌ای و مخروطی تشکیل شده است. قطر این تیکنر ۱/۵ متر، ارتفاع بخش استوانه‌ای آن حدود ۴ متر و ارتفاع بخش مخروطی آن حدود ۱ متر می‌باشد. پس از اتمام مراحل ساخت، این تیکنر در پایلوت فرآوری نصب و آزمایش‌های فرآیندی آن انجام شد که در این آزمایش‌ها مقدار خوراک جامد خشک این تیکنر با توجه به شاری که قبلا مورد آزمایش قرار گرفته بود (۰/۳ تن بر مترمربع بر ساعت)، ۵۳۰ کیلوگرم بر ساعت می‌باشد که البته در شارهای مختلف این مقدار می‌تواند متفاوت باشد.

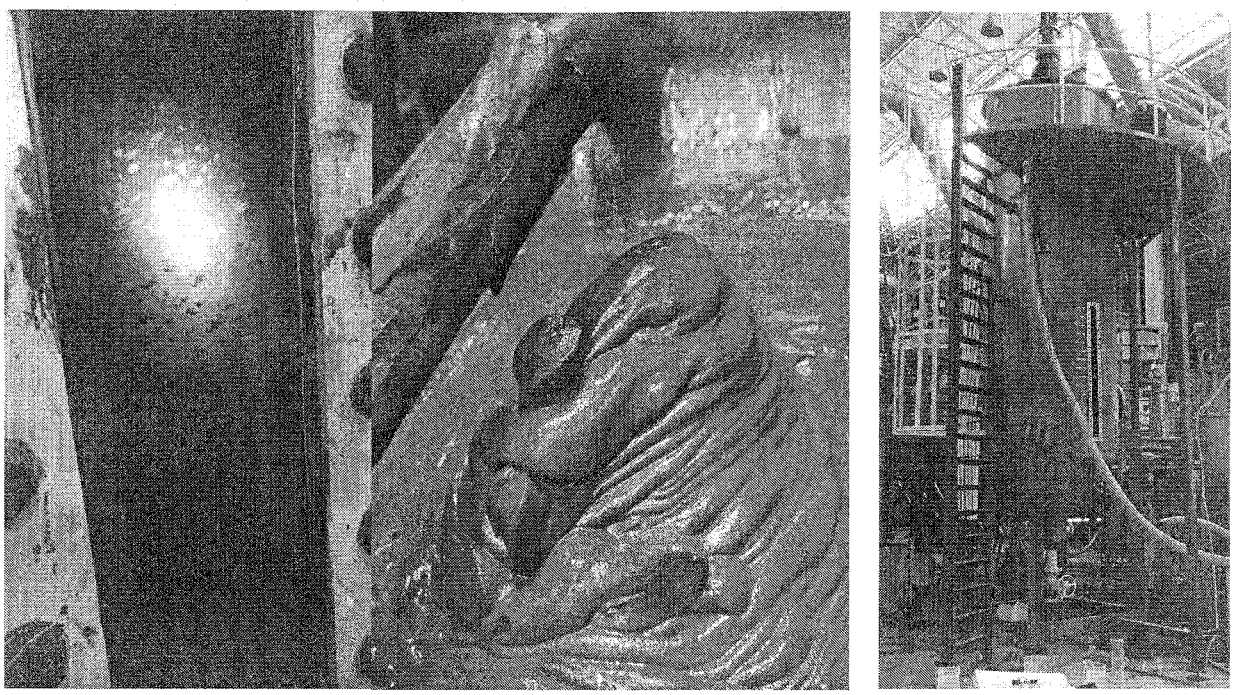
شرایط عملیاتی تیکنر خمیری پایلوت

فلوکولانت	غلظت آماده‌سازی (گرم بر لیتر)	۰/۱۶
	میزان مصرف (گرم بر تن)	۵۰
	نرخ جریان محلول (لیتر بر ساعت)	۱۶۵/۵
پالپ	شار جامد (تن بر مترمربع بر ساعت)	۰/۳
	درصد جامد ورودی قبل از رقیق‌سازی	۳۰
	درصد جامد ورودی پس از رقیق‌سازی	۱۰
	نرخ جریان قبل از رقیق‌سازی (لیتر بر ساعت)	۱۳۸۷/۳



شکل ۲- نصب تیکنر خمیری در پایلوت مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران

نتایج آزمایش‌ها در این مقیاس در شار ۰/۳ تن بر متر مربع بر ساعت، نشان داد که درصد جامد ته‌ریز تیکنر خمیری در مقیاس نیمه‌صنعتی حدود ۶۵ درصد می‌باشد.



شکل ۳- تیکنر خمیری در مقیاس پایلوت، نمونه ته‌ریز و ذرات فلوکه شده در تیکنر

دستاوردهای اجرای پروژه

- در این پروژه تیکنر خمیری در مقیاس بنچ و پایلوت در مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران طراحی، ساخت و راه‌اندازی شد.

- پیش‌بینی درصد جامد نهایی تیکنر خمیری در مقیاس صنعتی با استفاده از تیکنر خمیری پایلوت میسر است و رفتار ته‌نشینی و سفت شدگی را می‌توان بطور کامل در این مقیاس پایش نمود. البته آزمایش در این مقیاس باید در شارهای مختلف صورت گیرد تا بتوان سطح بهینه را برای تیکنر به دست آورد.

- در آزمایش‌های انجام شده نشان داده شد که سرعت تشکیل بستر در مقیاس پایلوت در مقایسه با بنچ در شرایط مشابه، کمتر است که ناشی از وجود پاروها و پیکت ها می‌باشد (۰/۲۶متر در ساعت در مقیاس پایلوت در مقایسه با ۰/۵ متر بر ساعت در مقیاس بنچ). پیکت‌ها با ایجاد کانال‌هایی در درون بستر مواد باعث آزادسازی آب بین ذرات شده و میزان فشردگی گل را در تیکنر افزایش می‌دهد. همچنین از آنجایی که این آزادشدگی همزمان با ته‌نشینی صورت می‌گیرد لذا نرخ تشکیل بستر نیز یکنواخت‌تر خواهد بود.

- از مزایای تیکنر خمیری، افزایش بازیابی آب و افزایش ظرفیت سد باطله می‌باشد. در مورد باطله سنگ آهن گل گهر در صورت جایگزین نمودن تیکنر خمیری با تیکنرهای معمولی، درصد جامد ته‌ریز می‌تواند از متوسط ۵۰٪ (بین ۴۷ تا ۵۳٪) به ٪۶۵ افزایش یابد و شیب نشست باطله نیز می‌تواند از حدود ۱ به حدود ۳ درصد افزایش یابد. برای مثال در صورتی که بار ورودی به تیکنر ۱۰۰ تن جامد خشک بر ساعت با درصد جامد وزنی ۳۰ درصد باشد آنگاه میزان بازیافت آب در صورت استفاده از تیکنر خمیری و تیکنر معمولی به ترتیب ۱۷۹,۵ و ۱۳۳,۳ مترمکعب بر ساعت خواهد بود. به این ترتیب حدود ۴۶,۲ مترمکعب بر ساعت آب بیشتری توسط این تیکنر خمیری بازیافت خواهد شد که این حجم آب وارد سد باطله نخواهد شد. در طی

۲۴ ساعت کار تیکنر حدود ۱۱۰۰ متر مکعب آب بیشتر به ارزش (هر متر مکعب ۱۵۰،۰۰۰ ریال) ۱۶۵,۰۰۰,۰۰۰ ریال و در ماه ۴،۹۵۰ میلیون ریال بازیافت می‌گردد (با توجه به اینکه آزمایش‌های بهینه‌سازی روی نمونه گل گهر انجام نشده لذا مقادیر اعلام شده حداقل مقادیر ریالی صرفه‌جویی هزینه‌ها خواهد بود. البته برای برآورد دقیق‌تر مزایای مالی، پارامترهای دیگر نیز تاثیر دارند که نیاز به داده‌های دقیق‌تر و جزئی‌تری دارد و برای هر ماده معدنی متفاوت خواهد بود.) و این به این معنی است که این مقدار آب، کمتر در معرض تبخیر در سد باطله قرار خواهد گرفت و هدر رفت آب نیز کمتر می‌شود. همچنین ظرفیت سد باطله نیز با کاهش حجم بار ورودی به آن، افزایش خواهد یافت. از طرف دیگر از آنجایی که در تیکنرهای خمیری، ته‌ریز تیکنر با درصد جامد بالاتری نسبت به تیکنرهای معمولی وارد سد باطله می‌شود لذا شیب نشست مواد در پشت سد نیز بیشتر خواهد شد.

تجاری‌سازی

تجاری‌سازی فناوری نقشی بسیار حیاتی در توسعه اقتصادی ایفاء می‌نماید. در واقع، تجاری‌سازی فناوری، فرآیند تبدیل ایده به یک کسب و کار و در نتیجه ایجاد شغل و تولید ثروت است و از همین رو موفقیت در تبدیل یک ایده ذهنی به محصول یا خدمت و ورود آن به بازار، در گرو اجرای دقیق و موفق فرآیند تجاری‌سازی خواهد بود.

منابع اولیه فناوری‌های جدید معمولاً دانشگاه‌ها، آزمایشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی دولتی و یا بخش‌های تحقیق و توسعه شرکت‌های خصوصی هستند که وظیفه تولید و توسعه دانش اولیه را بر عهده دارند. در ادامه، تأثیرگذاری اجتماعی و اقتصادی دانش توسعه یافته، منوط به ایجاد ارزش افزوده از طریق فرآیند تجاری‌سازی بوده که در این مسیر، ترکیب نوآوری با توسعه کسب و کار منجر به ظهور یک ساختار تولیدی مبتنی بر فناوری، ایجاد شغل و در نهایت کسب ثروت از طریق ورود محصول یا خدمت به بازار خواهد شد.

برنامه تجاری سازی یک محصول تابع شرایط و اطلاعات زیادی است که بدون تحقیق و برنامه ریزی و استخراج اطلاعات و شرایط مشتری امکان پذیر نخواهد بود . با توجه به اینکه خیلی از معادن ایران در مناطق خشک و کم آبی هستند لذا استفاده از تکنولوژی تیکنر خمیری بسیار پرسود و با منفعت خواهد بود و ساخت نمونه صنعتی این محصول مقرون به صرفه خواهد بود.

با تجربیات به دست آمده از مراحل انجام این پروژه در مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران، توانایی طراحی، ساخت و راه‌اندازی این نوع تیکنرها در مقیاس صنعتی نیز در این مرکز وجود دارد که می‌توان پس از انجام آزمایش‌های مورد نیاز بر روی باطله‌های خروجی از کارخانه‌های فرآوری مواد معدنی (به خصوص باطله‌های کارخانه‌های فرآوری طلا به روش سیانیداسیون) در مقیاس بنچ و آزمایشگاهی، اقدام به طراحی و ساخت آن در مقیاس صنعتی نمود.

از جمله شرکت‌هایی که می‌توان ساخت تیکنر خمیری صنعتی را به آنها پیشنهاد داد، شرکت سنگ آهن مرکزی ایران (کارخانه سنگ آهن چغارت) و مجتمع طلای زرشوران است که این مرکز طی مکاتباتی، پیشنهاد ساخت تیکنر خمیری در مقیاس صنعتی را به این شرکت‌ها ارائه کرده است و مذاکرات آن در حال انجام است.