

مشاور: پژوهشکده فرآوری مواد معدنی 	کارفرما: جهاد دانشگاهی کرمان پروژه: احداث کارخانه نیمه صنعتی فرآوری آهن از منابع کم عیار آهن	
شماره صفحه: ۱ از ۱۳	نام مدرک: گزارش تست متالورژیکی شرایط بهینه	
	شماره مدرک: MI-JK-B۰۲-۰۱	

عنوان مدرک:

گزارش تست متالورژیکی شرایط بهینه

۰۱	۱۴۰۰/۰۹/۰۶	گزارش تست متالورژیکی شرایط بهینه	ناصری - خوشنام	مشکینی
ویرایش	تاریخ	عنوان مدرک	تهیه کننده	تأیید کننده

مشاور: پژوهشکده فرآوری مواد معدنی 	کارفرما: جهاد دانشگاهی کرمان پروژه: احداث کارخانه نیمه صنعتی فرآوری آهن از منابع کم عیار آهن	
شماره صفحه: ۲ از ۱۳	نام مدرک: گزارش تست متالورژیکی شرایط بهینه	
	شماره مدرک: MI-JK-B۰۲-۰۱	

فهرست مطالب

فهرست شکل ها و نمودارها.....	۳
فهرست جداول.....	۴
۱- خلاصه مدیریتی.....	۵
۲- مراحل انجام کار.....	۵
۳- جمع بندی نتایج.....	۱۱
۴- پیوست	۱۳

مشاور: پژوهشکده فرآوری مواد معدنی 	کارفرما: جهاد دانشگاهی کرمان پروژه: احداث کارخانه نیمه صنعتی فرآوری آهن از منابع کم عیار آهن	
شماره صفحه: ۳ از ۱۳	نام مدرک: گزارش تست متالورژیکی شرایط بهینه	
	شماره مدرک: MI-JK-B۰۲-۰۱	

فهرست شکل ها و نمودارها

- شکل ۱- نمای کلی اسپیرال ۷
- شکل ۲- محل تخلیه ی کنسانتره (راست) و باطله (چپ) ۷
- شکل ۳- جریان کنسانتره، میانی و باطله و تیغه های جداکننده روی اسپیرال ۸
- شکل ۴- نمونه های کنسانتره های مراحل ۸
- شکل ۵- شاخص های کارایی تست تکراری اسپیرال ۹
- شکل ۶- شاخص های کارایی تست تکراری اسپیرال ۱۰

مشاور: پژوهشکده فرآوری مواد معدنی 	کارفرما: جهاد دانشگاهی کرمان پروژه: احداث کارخانه نیمه صنعتی فرآوری آهن از منابع کم عیار آهن	
شماره صفحه: ۴ از ۱۳	نام مدرک: گزارش تست متالورژیکی شرایط بهینه	
	شماره مدرک: MI-JK-B۰۲-۰۱	

فهرست جداول

- جدول ۱- نتایج به دست آمده تست تکراری اسپیرال ۹
- جدول ۲- نتایج به دست آمده تست اول اسپیرال ۱۰
- جدول ۳- مقایسه نتایج تست اول و تست تکراری اسپیرال برای نمونه ی ۱۰۶ میکرون ۱۱
- جدول ۴- مقایسه نتایج تست اول و تست تکراری برای محصول میانی و باطله ۱۲

مشاور: پژوهشکده فرآوری مواد معدنی 	پروژه: احداث کارخانه نیمه صنعتی فرآوری آهن از منابع کم عیار آهن نام مدرک: گزارش تست متالورژیکی شرایط بهینه شماره مدرک: MI-JK-B۰۲-۰۱ شماره صفحه: ۵ از ۱۳		کارفرما: جهاد دانشگاهی کرمان 
--	---	--	--

۱- خلاصه مدیریتی

با توجه به انجام تست‌های مختلف به عنوان مطالعات متالورژیکی نمونه هماتیتی معدن چشمه سفید توسط جهاد دانشگاهی کرمان، تستی که در ابعاد $d_{80}=106$ میکرون، انجام شده بود، نتایج بهتری داشت. به منظور بررسی تکرارپذیری تست، با تفاهم صورت پذیرفته بین جهاد دانشگاهی کرمان و پژوهشکده فرآوری مواد معدنی، این تست در محل شرکت زمین صنعت فرآور تکرار شد تا در صورت حصول نتیجه مناسب، شرایط این تست به عنوان طراحی نهائی جدایش ثقلی در نظر گرفته شود. نتایج حاصل، حاکی از تکرارپذیری شرایط برای کنسانتره بود به نحوی که عیار متوسط نهایی به دست آمده در تست تکراری ۶۲,۲ در قیاس یا ۶۰,۷ در تست اولیه بود. بازیابی وزنی نیز در حدود ۲ درصد افزایش یافته بود و از ۲۱,۵ به ۲۳,۲ درصد رسیده بود و مقدار بازیابی نیز ۲ درصد کمتر شده و از ۳۴,۲ به ۳۲,۳ درصد رسیده بود. لازم به ذکر است که عمده‌ی این تفاوت ناشی از تغییرات تیغه‌ها و آب شستشو در مراحل مختلف کنسانتره‌گیری بوده است که با نظر اپراتور انجام می‌شد. عیار خوراک نمونه تست تکراری، حدود ۳ درصد بیشتر از تست قبلی بود. عمده تفاوت تست‌ها در محصول میانی و باطله بود و تست تکراری در کاهش عیار باطله به خوبی تست اول عمل نکرده و کارایی جدایش حدود ۱۱ درصد کاهش یافته بود که نشان از اهمیت حصول درجه آزادی مناسب و بهینه کردن شرایط عملیاتی کارکرد اسپیرال جهت دستیابی به شرایط پایدار است.

۲- مراحل انجام کار

پیش از اجرای تست، نمونه از طریق جهاد دانشگاهی کرمان به شرکت زمین صنعت انتقال داده شده بود. نمونه برای رسیدن به ابعاد حدود ۱۰۰ میکرون مورد خردایش قرار گرفته بود. حدود ۶۸ کیلوگرم نمونه

مشاور: پژوهشکده فرآوری مواد معدنی 	کارفرما: جهاد دانشگاهی کرمان 	
پروژه: احداث کارخانه نیمه صنعتی فرآوری آهن از منابع کم عیار آهن	نام مدرک: گزارش تست متالورژیکی شرایط بهینه	شماره مدرک: MI-JK-B۰۲-۰۱
شماره صفحه: ۶ از ۱۳		

جهت انجام تست اسپیرال به درون تانک آماده ساز ریخته شد. نحوه انجام تست بدین شرح بود که با پمپاژ نمونه به درون اسپیرال، کنسانتره در ظرف مخصوص مرحله ریخته می شد و محصول میانی و باطله به تانک آماده ساز دوم منتقل می شدند. در ابتدای چرخه اول مواد به مدت زمان ۳,۵ دقیقه بدون برداشت نمونه در مدار گردش یافتند. سپس با آغاز چرخه اول نمونه گیری ها آغاز شد. با پایان یافتن خوراک درون تانک، مرحله بعدی با خوراک دهی بار از تانک آماده ساز دوم شروع می شد. ظرف نمونه گیر کنسانتره تعویض شده و محصول میانی و باطله به تانک آماده ساز اول منتقل می شدند. این چرخه تا هشت بار تکرار شد و تنها در مرتبه ی هشتم، محصول میانی نیز به صورت مجزا جمع آوری شد. در هر چرخه از رمق گیری نمونه، تیغه ی مربوط به کنسانتره اندکی جابجا می شد تا محصول بیشتری به کنسانتره راه پیدا کند. به همین سبب انتظار می رفت که عیارهای مراحل اول بالاتر بوده و در مراحل بعدی عیار کاهش یابد. علاوه بر آن اپراتور از دوش آب شستشو نیز برای کاهش و افزایش ورودی به بخش کنسانتره استفاده می کرد.

مدت زمان مفید تخلیه ی هر تانک به طور متوسط حدود ۲ دقیقه بود. نقطه ی بهینه دبی خوراک ورودی به اسپیرال برابر با ۷,۵ مترمکعب بر ساعت در نظر گرفته شده بود. درصد جامد بهینه برای این نوع اسپیرال و بار هماتیت برابر با ۲۵-۱۷٪ بود، اما در چرخه ی اول برای ۶۸ کیلوگرم نمونه، ۲۸۰ لیتر آب به درون تانک آماده ساز ریخته شد. لازم به ذکر است که وزن ۶۸ کیلوگرم با توجه به رطوبت اولیه خوراک و همین طور هدررفت مواد در حین تست به عنوان وزن خوراک در نظر گرفته نشد و وزن اولیه با توزین تمام نمونه ها اعم از کنسانتره ها، میانی و باطله مورد محاسبه قرار گرفت که در جدول نهایی آورده شده است. در ادامه تصاویری از اسپیرال، محل جمع آوری نمونه ها، شرایط جدایش در محل تیغه های اسپیرال و ظروف و کنسانتره ی حاصل آورده شده است.

مشاور: پژوهشکده فرآوری مواد معدنی 	کارفرما: جهاد دانشگاهی کرمان پروژه: احداث کارخانه نیمه صنعتی فرآوری آهن از منابع کم عیار آهن	
نام مدرک: گزارش تست متالورژیکی شرایط بهینه	شماره صفحه: ۷ از ۱۳ شماره مدرک: MI-JK-B۰۲-۰۱	



شکل ۱- نمای کلی اسپیرال



شکل ۲- محل تخلیه کنسانتره (راست) و باطله (چپ)

مشاور: پژوهشکده فرآوری مواد معدنی 	پروژه: احداث کارخانه نیمه صنعتی فرآوری آهن از منابع کم عیار آهن		کارفرما: جهاد دانشگاهی کرمان 
	شماره صفحه: ۸ از ۱۳	نام مدرک: گزارش تست متالورژیکی شرایط بهینه شماره مدرک: MI-JK-B۰۲-۰۱	



شکل ۳- جریان کنسانتره، میانی و باطله و تیغه های جداکننده روی اسپیرال

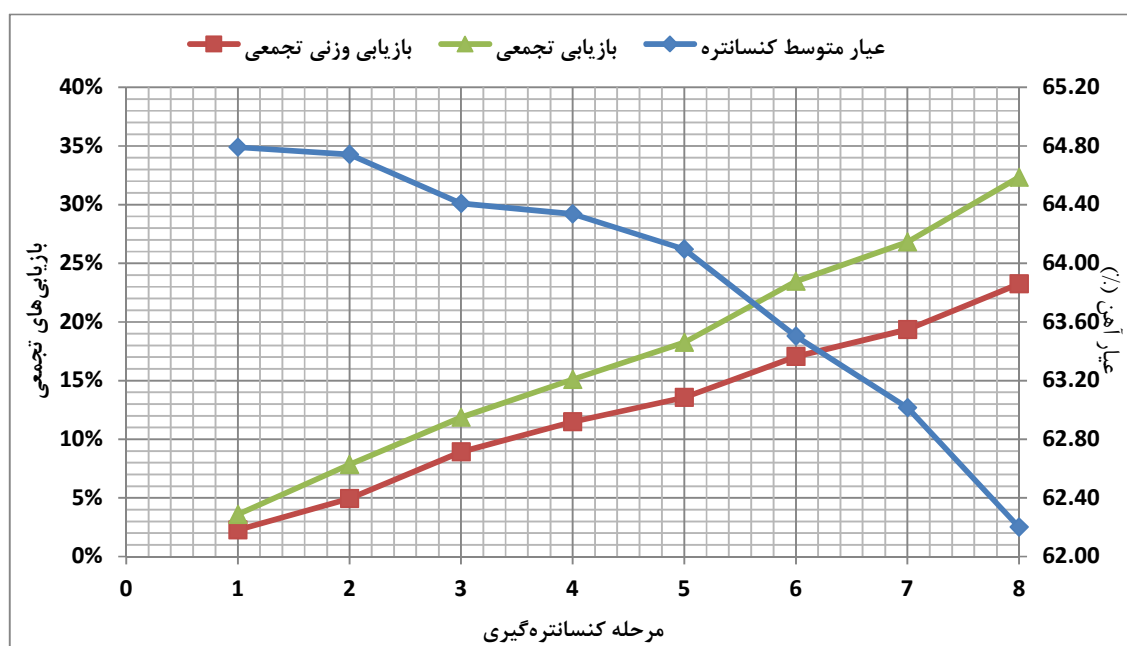


شکل ۴- نمونه های کنسانتره های مراحل

مشاور: پژوهشکده فرآوری مواد معدنی 	پروژه: احداث کارخانه نیمه صنعتی فرآوری آهن از منابع کم عیار آهن نام مدرک: گزارش تست متالورژیکی شرایط پهنه شماره مدرک: MI-JK-B۰۲-۰۱ شماره صفحه: ۹ از ۱۳		کارفرما: جهاد دانشگاهی کرمان 
--	--	--	--

جدول ۱- نتایج به دست آمده تست تکراری اسپیرال

شماره نمونه	وزن خشک	وزن تجمعی	عیار عیار متوسط	بازیابی وزنی	ب.وزنی تجمعی	بازیابی تجمعی
کنسانتره مرحله اول	۱,۴۲	۱,۴۲	۶۴,۷۹	۶۴,۷۹	۲,۲۷٪	۳,۵۹٪
کنسانتره مرحله دوم	۱,۶۹	۳,۱۱	۶۴,۷۰	۶۴,۷۴	۲,۶۹٪	۴,۲۴٪
کنسانتره مرحله سوم	۲,۴۸	۵,۵۹	۶۳,۹۹	۶۴,۴۱	۳,۹۵٪	۴,۰۳٪
کنسانتره مرحله چهارم	۱,۶۲	۷,۲۱	۶۴,۰۹	۶۴,۳۴	۲,۵۸٪	۳,۲۳٪
کنسانتره مرحله پنجم	۱,۲۹	۸,۵۰	۶۲,۷۶	۶۴,۱۰	۲,۰۶٪	۳,۱۶٪
کنسانتره مرحله ششم	۲,۱۹	۱۰,۶۹	۶۱,۲۰	۶۳,۵۰	۳,۴۹٪	۵,۲۲٪
کنسانتره مرحله هفتم	۱,۴۴	۱۲,۱۴	۵۹,۳۹	۶۳,۰۱	۲,۳۰٪	۳,۳۴٪
کنسانتره مرحله هشتم	۲,۴۵	۱۴,۵۸	۵۸,۱۶	۶۲,۲۰	۳,۹۰٪	۵,۵۳٪
خوراک	۶۲,۷۵		۴۰,۹۶		۱۰۰,۰۰٪	
میانی	۸,۸۴		۳۴,۸۴		۱۴,۰۹٪	۱۱,۹۹٪
باطله	۳۹,۳۳		۳۴,۳۳		۶۲,۶۷٪	۵۲,۵۳٪

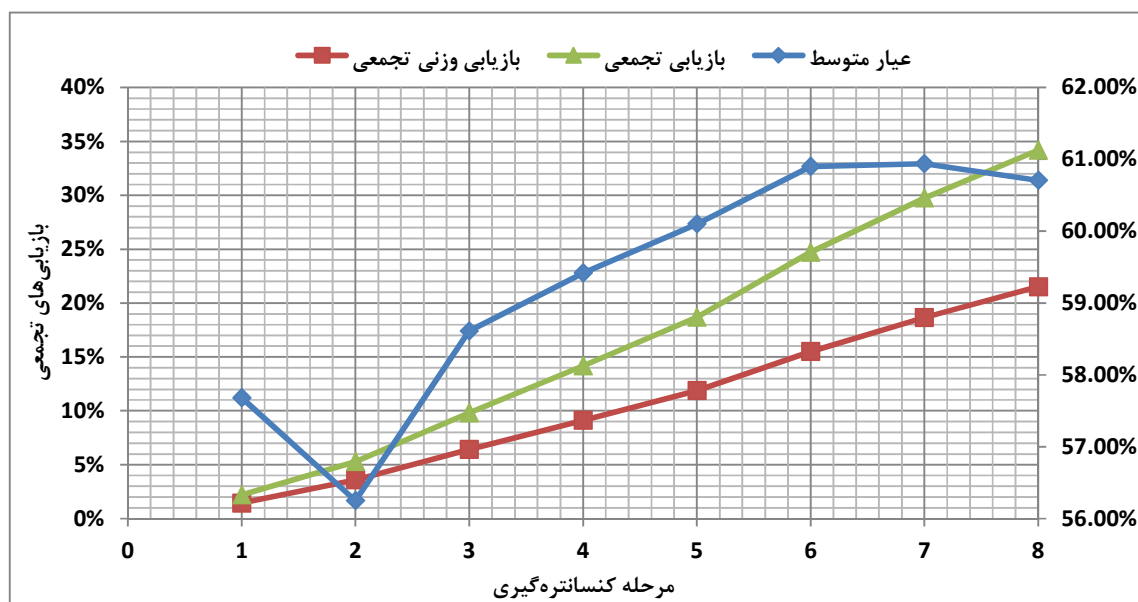


شکل ۵- شاخص های کارایی تست تکراری اسپیرال

مشاور: پژوهشکده فرآوری مواد معدنی 	پروژه: احداث کارخانه نیمه صنعتی فرآوری آهن از منابع کم عیار آهن		کارفرما: جهاد دانشگاهی کرمان 
	شماره صفحه: ۱۰ از ۱۳	نام مدرک: گزارش تست متالورژیکی شرایط پهنه	
		شماره مدرک: MI-JK-B۰۲-۰۱	

جدول ۲- نتایج به دست آمده تست اول اسپیرال

شماره نمونه	وزن خشک	وزن تجمعی	عیار عیار	عیار متوسط	بازیابی وزنی	ب.وزنی تجمعی	بازیابی تجمعی	بازیابی تجمعی
کنسانتره مرحله اول	۰,۸۵	۰,۸۵	۵۷,۶۸	۵۷,۶۸٪	۱,۴۵٪	۱,۴۵٪	۲,۲۰٪	۲,۲۰٪
کنسانتره مرحله دوم	۱,۲۵	۲,۱	۵۵,۲۷	۵۶,۲۵٪	۲,۱۴٪	۳,۵۹٪	۳,۰۹٪	۵,۲۹٪
کنسانتره مرحله سوم	۱,۶۴	۳,۷۴	۶۱,۶۴	۵۸,۶۱٪	۲,۸۱٪	۶,۴۰٪	۴,۵۳٪	۹,۸۲٪
کنسانتره مرحله چهارم	۱,۵۸	۵,۳۲	۶۱,۳۳	۵۹,۴۲٪	۲,۷۰٪	۹,۱۱٪	۴,۳۴٪	۱۴,۱۶٪
کنسانتره مرحله پنجم	۱,۶۲	۶,۹۴	۶۲,۳۳	۶۰,۱۰٪	۲,۷۷٪	۱۱,۸۸٪	۴,۵۲٪	۱۸,۶۸٪
کنسانتره مرحله ششم	۲,۱۲	۹,۰۶	۶۳,۵۴	۶۰,۹۰٪	۳,۶۳٪	۱۵,۵۱٪	۶,۰۳٪	۲۴,۷۱٪
کنسانتره مرحله هفتم	۱,۸۴	۱۰,۹	۶۱,۱۳	۶۰,۹۴٪	۳,۱۵٪	۱۸,۶۶٪	۵,۰۴٪	۲۹,۷۵٪
کنسانتره مرحله هشتم	۱,۶۷	۱۲,۵۷	۵۹,۲۳	۶۰,۷۱٪	۲,۸۶٪	۲۱,۵۲٪	۴,۴۳٪	۳۴,۱۸٪
خوراک	۵۸,۴۲		۳۸,۲۲		۱۰۰,۰۰٪		۱۰۰,۰۰٪	
میانی ۱	۵,۱۲		۵۴,۲۴		۸,۷۶٪		۱۲,۴۴٪	
میانی ۲	۱۴,۳۸		۳۹,۶		۲۴,۶۱٪		۲۵,۵۰٪	
باطله	۲۶,۳۵		۲۶,۶۹		۴۵,۱۰٪		۳۱,۵۰٪	



شکل ۶- شاخص های کارایی تست اول اسپیرال

مشاور: پژوهشکده فرآوری مواد معدنی 	پروژه: احداث کارخانه نیمه صنعتی فرآوری آهن از منابع کم عیار آهن نام مدرک: گزارش تست متالورژیکی شرایط پهنه شماره مدرک: MI-JK-B۰۲-۰۱ شماره صفحه: ۱۱ از ۱۳		کارفرما: جهاد دانشگاهی کرمان 
--	---	--	--

۳- جمع بندی نتایج

به جهت مقایسه‌ی نتایج تست انجام شده با تست قبلی، این نتایج در جدول زیر نشان داده شده است. از توزین تمام نمونه‌ها وزن خوراک برابر با ۶۲٫۷ به دست آمد که اختلاف ۵ کیلوگرمی با وزن اولیه داشت. البته لازم به ذکر است که در وزن اولیه رطوبت در نظر گرفته نشده بود. برخلاف تست قبل که عیارهای کنسانتره روند کاهشی نداشتند، این موضوع به خوبی در عیارهای کنسانتره‌ی تست تکراری دیده می‌شود و عیار از ۶۵ در نمونه اول به ۵۸ در نمونه‌ی هشتم رسیده است.

جدول ۳- مقایسه نتایج تست اول و تست تکراری اسپیرال برای نمونه‌ی ۱۰۶ میکرون

شماره تست	عیار خوراک	عیار کنسانتره	عیار باطله	کارایی جدایش
تست اول	۳۸٫۲۲	۶۰٫۷۱	۲۶٫۹۶	۴۱٫۷۵
تست تکراری	۴۰٫۹۶	۶۲٫۲	۳۴٫۳۳	۳۰٫۶۲

عیار خوراک در تست تکراری افزایش ۳ درصدی نشان داده است که می‌تواند در طراحی و در نظر گرفتن عیار متوسط ورودی مدار بحث‌برانگیز باشد، چه بسا در چند عیارسنجی قبلی عیار از ۳۵ تا ۳۸ متغیر بود. از طرفی عیار محصول میانی و باطله تفاوت عمده دو تست بود. هر چند در تست قبلی در دو مرحله محصول میانی گرفته شده بود، با این حال در تست اول شرایط عیاری محصول میانی ۱ (۵۴٪) و باطله (۲۷٪) منطقی‌تر به نظر می‌رسید و عیار باطله افت قابل توجهی (کاهش ۱۱ درصدی) نسبت به خوراک داشت. حال آن که در تست جدید عیار محصول میانی و باطله تقریباً برابر و حدود ۳۴ درصد است که با توجه افت تنها ۷ درصدی باطله نسبت به خوراک، نشان می‌دهد که کارایی جدایش مناسب نبوده است که با محاسبه مشخص شد که در تست تکراری کارایی جدایش از حدود ۴۱٫۷ به ۳۰٫۶ رسیده و افت ۱۱ درصدی

مشاور: پژوهشکده فرآوری مواد معدنی 	پروژه: احداث کارخانه نیمه صنعتی فرآوری آهن از منابع کم عیار آهن		کارفرما: جهاد دانشگاهی کرمان 
	شماره صفحه: ۱۲ از ۱۳	نام مدرک: گزارش تست متالورژیکی شرایط بهینه	
		شماره مدرک: MI-JK-B۰۲-۰۱	

داشته است. با دقت بیشتر در نتایج باطله و محصول میانی دو تست می توان علت این اختلاف را یافت. لازم به ذکر است با توجه به اینکه در تست قبلی، دو محصول میانی در دو مرحله جدا شده بود از عیار متوسط و مجموع بازیابی وزنی دو مرحله جهت مقایسه استفاده شد. شاخص های کارایی تست اول نسبت به تست تکراری به ترتیب ۳۸ به ۱۲ برای بازیابی و ۳۳ نسبت به ۱۴ برای بازیابی وزنی بیشتر بوده است. هر چند به نظر می رسد که با توجه به دومرحله ای بودن تست اول نسبت به تست تکراری، افزایش این دو پارامتر قابل توجیه باشد؛ اما بیشتر بودن همزمان عیار محصول میانی نشان می دهد، این اختلاف معنادار، می تواند دلیل دیگری از جمله تفاوت درجه آزادی دو نمونه داشته باشد. کما اینکه عیار باطله ی دو تست تفاوت فاحشی دارند، این موضوع می تواند حاکی از اهمیت مطالعات درجه آزادی پیش از طراحی باشد و اهمیت خردایش در مدار و بهینه کردن شرایط عملیاتی اسپیرال ها در حین کارکرد مدار باشد.

جدول ۴- مقایسه نتایج تست اول و تست تکراری برای محصول میانی و باطله

شماره تست	عیار باطله	بازیابی وزنی باطله	بازیابی باطله
تست اول	۲۶,۶۹	۴۵,۱۰٪	۳۱,۵۰٪
تست تکراری	۳۴,۳۳	۶۲,۶۷٪	۵۲,۵۳٪
شماره تست	عیار میانی	بازیابی وزنی میانی	بازیابی میانی
تست اول	۴۳,۴۴	۳۳,۳۸٪	۳۷,۹۴٪
تست تکراری	۳۴,۸۴	۱۴,۰۹٪	۱۱,۹۹٪

مشاور: پژوهشکده فرآوری مواد معدنی 	پروژه: احداث کارخانه نیمه صنعتی فرآوری آهن از منابع کم عیار آهن		کارفرما: جهاد دانشگاهی کرمان 
	نام مدرک: گزارش تست متالورژیکی شرایط پهنه	شماره مدرک: MI-JK-B۰۲-۰۱	

۴- پیوست

نتایج آنالیز نمونه‌ها که توسط آزمایشگاه دانشگاه تهران انجام شده است در ادامه آورده شده است.

آزمایشگاه ژئوشیمی			
دانشکده مهندسی معدن			
نوع آنالیز:	آنالیز آهن	تاریخ آنالیز:	۱۴۰۰/۰۸/۳۰
نام متقاضی:	پژوهشکده فرآوری مواد معدنی جهاد دانشگاهی تربیت مدرس	تعداد نمونه:	۱۱

Sample	Fe(%)
C1	64.79
C2	64.70
C3	63.99
C4	64.09
C5	62.76
C6	61.20
C7	59.39
C8	58.16
F1	40.96
M8	34.84
T8	34.33

سرپرست آزمایشگاه:
 دکتر سیدضیاءالدین شفاغی
 (امضاء)

تجزیه کننده:
 مینو قنبرزاد
 (امضاء)

آدرس: تهران - خ کارگر شمالی - بالاتراز جلال آل احمد - پردیس دانشکده های فنی دانشگاه تهران - دانشکده مهندسی معدن - ط زیرمکب - آزمایشگاه ژئوشیمی - ت: ۸۲۰۸۲۳۹۵ و ۸۱۱۱۲۳۹۵