

عوامل موثر بر بهره‌وری سرمایه در بخش معدن ایران

* لطفعلی عاقلی^۱، میر عبدالله حسینی^۲

۱. دانشیار اقتصاد، پژوهشکده اقتصاد، دانشگاه تربیت مدرس

۲. استادیار اقتصاد، موسسه مطالعات و پژوهش‌های بازرگانی

(دریافت: ۱۴۰۰/۸/۲۳ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۱/۴ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۲۶)

Actors Affecting Capital Productivity in The Iranian Mining Sector

*Lotfali Agheli¹, Mir Abdoloh Hosseini²

1. Associate professor of Economics, Tarbiat Modares University

2. Assistant Professor of Economics, Institute for Trade Studies and Research

(Received: 14/Nov/2021 Revised : 24/Jan/2022 Accepted: 15/Feb/2022)

Abstract:

Attracting and using financial capital to purchase new capital to purchase new machinery and equipment and replacing worn-out machines have great importance. Regarding the capital constraint in the mining sector, not using it indicates the weakness of management and the level of actual production is less than the potential level. Accordingly, the present study intends to investigate the factors affecting the average productivity of capital in the mining sector of Iran over the period 1983-2017. Capital in this sector is in the form of equipment and machinery as well as financial capital. Based on the results, the average productivity of capital has been accompanied by many changes, and its lowest amount is observed in the years of the imposed war. Estimation of the econometric model showed that the inverse per capita capital, mineral price index, energy efficiency, and private sector share in ownership have a significant effect on capital productivity at the level of 5%. Therefore, an increase in energy efficiency and a decrease in per capita capital increase average capital productivity. On the other hand, increasing the price of minerals increases capital productivity.

Keywords: Capital Productivity, Energy Efficiency, Per Capita Capital.

JEL: D24, G32, L16, L72.

چکیده:

در مدیریت معدن، جذب و بکارگیری سرمایه‌های مالی در جهت خرید ماشین‌آلات و تجهیزات نو و جایگزینی ماشین‌های فرسوده، اهمیت زیادی دارد. با توجه به محدودیت سرمایه در بخش معدن، بلااستفاده بودن آن حکایت از ضعف مدیریت و سطح تولید بالفعل کمتر از سطح بالقوه می‌کند. بر این اساس، مطالعه حاضر قصد دارد عوامل موثر بر بهره‌وری متوسط سرمایه در بخش معدن ایران را در دوره زمانی ۱۳۹۶-۱۳۶۴ مورد بررسی قرار دهد. سرمایه در این بخش به فرم تجهیزات و ماشین‌آلات و سرمایه مالی است. مطابق نتایج، بهره‌وری متوسط سرمایه با تغییرات زیادی همراه بوده است و کمترین مقدار آن در سال‌های جنگ تحمیلی مشاهده می‌شود. تخمین مدل اقتصادسنجی نشان داد که معکوس سرمایه سرانه، شاخص قیمت مواد معدنی، کارایی مصرف انرژی و سهم بخش خصوصی از مالکیت بر بهره‌وری سرمایه اثرات معنی‌داری در سطح ۵٪ دارند. بنابراین، افزایش کارایی مصرف انرژی و کاهش سرمایه سرانه، بهره‌وری متوسط سرمایه را افزایش می‌دهد. از طرف دیگر افزایش قیمت مواد معدنی، بهره‌وری سرمایه را افزایش می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری سرمایه، کارایی انرژی، سرمایه سرانه.

طبقه‌بندی JEL: D24, G32, L16, L72.

۱- مقدمه

تأمین سرمایه و استخدام و بکارگیری نیروی کار در واحدهای معدنی جهت استخراج در آنها از ضرورت‌های تداوم تولید است. بسته به مالکیت واحدهای معدنی، سرمایه‌گذاری در معادن یا از طریق دولت و یا از سوی سرمایه‌گذاران بخش خصوصی انجام می‌شود.

جذب و بکارگیری سرمایه‌های مالی در جهت خرید ماشین‌آلات و تجهیزات نو و جایگزینی ماشین‌های فرسوده، اهمیت زیادی در مدیریت معادن دارد. اگر سرمایه‌ها به طور نامحدود در دسترس معادن قرار داشت، بهره‌وری سرمایه چندان مطرح نمی‌شد اما با توجه به محدودیت‌های سرمایه، در صورتی که سرمایه‌های موجود بلااستفاده بمانند، نشان از ضعف مدیریت دارد که در وهله بعد خود را به صورت کاهش تولید نشان می‌دهد.

شناخت عوامل موثر بر بهره‌وری سرمایه کمک می‌کند به اینکه بدانیم کدام محرک سیاست‌گذاری و یا تصمیم‌مدیریتی می‌تواند تولید و ارزش افزوده معادن را افزایش دهد. ابزارهای سیاست‌گذاری متنوع دامنه اختیار و تصمیم‌گیری مدیران را بالا برده و قدرت انتخاب بیشتری به آنها می‌دهد.

این پژوهش به بررسی اثر عوامل موثر بر بهره‌وری سرمایه می‌پردازد. در صورتی که بهره‌وری سرمایه نزولی باشد، بایستی عوامل موثر بر نزولی بودن بهره‌وری سرمایه شناسایی و رفع شوند. اما در صورت فزاینده بودن آن، می‌توان عوامل موثر را مورد حمایت قرار داد. بهره‌وری پایین سرمایه همچنین به مفهوم بلااستفاده ماندن تجهیزات و ماشین‌آلات، استفاده نامناسب از ابزارها و ادوات تولید و در نهایت کاهش تولید است که در بُعد ملی، زمینه واردات مواد معدنی را فراهم می‌سازد، اما افزایش بهره‌وری سرمایه موجب افزایش تولید و افزایش صادرات مازاد بر نیاز داخلی خواهد شد.

اهداف پژوهش حاضر عبارتند از:

الف) تخمین بهره‌وری سرمایه در معادن کشور

ب) تعیین سهم و اهمیت عوامل مختلف در بهره‌وری سرمایه در بخش معدنی کشور

سوال اصلی پژوهش این است: روند بهره‌وری سرمایه در واحدهای معدنی کشور چگونه است؟ برای پاسخ به این سوال، از روش توصیفی-تحلیلی استفاده شده و در بخش تحلیلی تحقیق، مدل خودرگرسیون با وقفه‌های توزیعی (ARDL) در دوره زمانی ۱۳۹۶-۱۳۶۲ به کار گرفته می‌شود.

این مقاله پس از مقدمه در ۵ بخش سازمان می‌یابد. مبانی نظری در بخش دوم بررسی می‌شود. در بخش سوم پیشینه تحقیق بیان می‌شود. روش پژوهش در بخش چهارم ارائه می‌شود. یافته‌های پژوهش در بخش پنجم ذکر می‌شوند. بخش ششم نیز به بحث و نتیجه‌گیری اختصاص می‌یابد.

۲- مبانی نظری

سرمایه از نهاده‌های اصلی در فرایندهای تولید است. در معادن، سرمایه به صورت تجهیزات و تأسیسات فیزیکی و ماشین‌آلات معدنی طبقه بندی می‌شود.

بنا به ساده‌ترین تعریف از بهره‌وری سرمایه (نسبت مقدار تولید به موجودی سرمایه و یا نسبت ارزش افزوده به موجودی سرمایه)، تمام متغیرهایی که عامل افزایش تولید یا ارزش افزوده هستند، می‌توانند بهره‌وری سرمایه را افزایش دهند. همچنین در صورت ثبات سایر شرایط، با کاهش میزان استفاده از سرمایه، می‌توان به افزایش بهره‌وری سرمایه دست یافت.

بر اساس ادبیات نظری، ریسک تولید، قیمت مواد معدنی، اجاره ماشین‌آلات معدنی، نرخ سود تسهیلات اعطایی به بخش معدن، فناوری استخراج و تولید، سطح مهارت و تخصص کارگران شاغل در معادن، نرخ بهره‌برداری از ظرفیت، عمر دارایی سرمایه‌ای و عوامل تولید مکمل سرمایه بر بهره‌وری سرمایه موثر هستند. در ادامه نحوه اثرگذاری مورد بحث قرار می‌گیرد:

با توجه به ماهیت سرمایه در معادن، تحولات اقتصادی می‌توانند بر بهره‌وری سرمایه اثر داشته باشند. چون سرمایه‌گذاری در فعالیت‌های معدنی، اقدامی پرخطر محسوب می‌شود لذا ریسک یکی از عوامل موثر بر بهره‌وری سرمایه می‌باشد (داونز^۱ و همکاران، ۲۰۱۴). بدیهی است با افزایش درجه ریسک (مثلاً بر حسب انحراف معیار تولید) انتظار بر این است که میزان سرمایه‌گذاری در معادن و در نتیجه بهره‌وری سرمایه کاهش یابد.

در صورتی که قیمت مواد معدنی در بازار افزایش یابند، با ثبات قیمت نهاده‌های تولید، انگیزه افزایش تولید تقویت شده و ارزش افزوده معادن افزایش می‌یابد. در این صورت بهره‌وری سرمایه افزایش خواهد یافت (حسین زاده^۲ و همکاران، ۲۰۱۸).

بهره‌وری سرمایه افزایش یابد، زیرا نیروی کار تحصیل کرده و ماهر توان استفاده از ماشین‌آلات پیچیده و صنعتی را در استخراج معادن دارد. به بیان دیگر، شیوه درست بهره‌برداری از تجهیزات و ماشین‌آلات علاوه بر تسریع در تولید، مدت استفاده از آنها را افزایش داده و به افزایش بهره‌وری سرمایه می‌انجامد.

نرخ بهره‌برداری از ظرفیت^۳ (CUR)، در واقع نسبت تولید بالفعل (تحقق یافته) به تولید بالقوه است که در تعبیر اقتصادی آن، تولید بالقوه در سطح بنگاه، از جایی شروع می‌شود که هزینه‌های متوسط تولید در حال افزایش باشند. به بیان دیگر، این نرخ، در حقیقت شکاف تولید را نشان می‌دهد.

به بیان دقیق‌تر، $CUR = \left(\frac{Y_p}{Y_a}\right) \times 100$ که در آن Y_a و Y_p به ترتیب تولید بالفعل و تولید بالقوه (حداکثر تولید ممکن = تولید اسمی) را نشان می‌دهند. هر چه این نسبت بزرگتر باشد، به این معناست که با ثبات عامل سرمایه و افزایش تولید، بهره‌وری سرمایه بیشتر می‌شود (داونز^۴ و همکاران، ۲۰۱۴). به بیان دیگر زمانی که تقاضا برای محصولات معدنی افزایش می‌یابد، به دلیل عدم امکان تغییر سریع در ماشین‌آلات و تجهیزات مورد استفاده، نمی‌توان سرمایه را به سرعت تعدیل کرد اما با افزایش نوبت کاری و تعداد شاغلان می‌توان تولید را افزایش داد که در نتیجه آن، بهره‌وری سرمایه یا متوسط تولید در واحد سرمایه بیشتر خواهد شد. در نقطه مقابل، تأخیر در تولید و سرمایه‌گذاری و استخراج مواد معدنی، علیرغم وجود تجهیزات و ماشین‌آلات و منابع مالی، به افزایش هزینه‌های سربار منجر شده و بر بهره‌وری سرمایه تأثیر منفی خواهد گذاشت.

بهره‌وری سرمایه از عمر دارایی‌های سرمایه‌ای نیز تأثیر می‌پذیرد (بردلی و شارپ^۵، ۲۰۰۹). با افزایش عمر دارایی‌ها، میزان استهلاک دارایی‌های ثابت بیشتر شده و در صورت عدم جایگزینی تجهیزات فرسوده، بهره‌وری سرمایه رو به نزول خواهد بود. اما در صورتی که تجهیزات جدیدتری خریداری و نصب شوند، بهره‌وری سرمایه قابل افزایش است.

بهره‌وری سرمایه در واحدهای معدنی به سایر عوامل تولید

اجاره دادن ماشین‌آلات قابل استفاده در معادن به فعالیت‌های دیگر، بر میزان بکارگیری این سرمایه‌های فیزیکی اثر خواهند گذاشت و باعث افزایش هزینه استعمال سرمایه خواهند شد. در این حالت میزان استعمال سرمایه کاهش می‌یابد. نتیجه نهایی - با ثبات تولید یا ارزش افزوده - افزایش بهره‌وری سرمایه خواهد بود.

با توجه به اینکه سرمایه‌گذاری در معادن نیازمند اخذ اعتبارات بانکی است، در صورتی که نرخ سود وام‌های پرداختی به بهره‌برداران معادن تغییر یابد، بر تقاضای وام‌های بانکی تأثیر خواهد گذاشت (داونز^۱ و همکاران، ۲۰۱۴). به ویژه اگر نرخ سود وام‌های پرداختی به معادن افزایش یابد، هزینه تولید را افزایش داده و ممکن است موجب کاهش تولید یا ارزش افزوده شود. نتیجه نهایی، کاهش بهره‌وری سرمایه خواهد بود.

در صورتی که تابع تولید نوعی به فرم $Y = Af(K \text{ و } L)$ باشد که در آن A ، Y ، K و L به ترتیب نشان دهنده تولید، فناوری، سرمایه و نیروی کار باشند و این تابع دارای بازدهی ثابت به مقیاس فرض شود، می‌توان رابطه $AP_K = Y/K = Af(L/K)$ را نتیجه گرفت که AP_K همان بهره‌وری سرمایه و L/K معکوس سرمایه سرانه است. مطابق این روابط، فناوری تولید و سرمایه سرانه بر بهره‌وری سرمایه موثر هستند. هر چه فرایند تولید بیشتر سرمایه باشد، یعنی نسبت K/L بیشتری داشته باشد، در این صورت بهره‌وری سرمایه کمتر خواهد بود، چون با افزایش تراکم سرمایه، بر اساس قانون بازدهی نزولی، بر میزان تولید با نسبت کاهنده، افزوده می‌شود (امینی، ۱۳۸۳). سطح فناوری بر بهره‌وری سرمایه تأثیر دارد (امینی، ۱۳۸۳ و بردلی و شارپ^۲، ۲۰۰۹). پیشرفت در حوزه علوم و فنون و بهره‌برداری از دستگاهها و تجهیزات پیشرفته سبب افزایش کارایی تولید شده و بر بهره‌وری سرمایه تأثیر مثبت دارد.

در صورتی که کمیت و کیفیت نیروی انسانی مدنظر قرار گیرد، افزایش نیروی انسانی را می‌توان در قالب افزایش تعداد شاغلان و افزایش مهارت، تجربه و ارتقای سلامت شاغلان موجود ارزیابی کرد. لذا انتظار بر این است که با افزایش سطح تحصیلات و تجربه شاغلان و افزایش تخصص و مهارت،

3 . Capacity utilization rate

4 . Downes

5 . Bradley & Sharpe

1 . Downes

2 . Bradley & Sharpe

مکمل از جمله انرژی نیز بستگی دارد (استولری^۱، ۱۹۸۵). در صورتی که سوخت مورد نیاز در راه اندازی ماشین آلات معدنی به موقع تأمین نشود، تولید و استخراج با تأخیر مواجه شده و با کاهش تولید، بر بهره‌وری سرمایه اثر منفی خواهد گذاشت. لذا افزایش راندمان مصرف انرژی و سوخت در معادن به افزایش بهره‌وری سرمایه می‌انجامد.

۳- پیشینه پژوهش

در بررسی ادبیات موضوع، مطالعه‌ای که مستقیماً به محاسبه بهره‌وری سرمایه در معادن کشور (و زیر گروه‌های معدنی) بپردازد یافت نشد اما مواردی که ذیلاً اشاره می‌شود هر کدام به صورت نظری یا تجربی موضوع بهره‌وری کلی عوامل تولید و یا بهره‌وری سرمایه را در داخل یا خارج مورد بررسی قرار داده‌اند.

تهرانی و خجسته (۱۳۸۷) به بررسی چگونگی رابطه بهره‌وری سرمایه با بازده آتی سهام در بورس اوراق بهادار تهران و همچنین بررسی تاثیرگذاری رابطه بهره‌وری سرمایه و بازده آتی سهام بر دو استراتژی مهم و متداول ارزشی و رشدی پرداختند. نسبت سود عملیاتی به سرمایه‌گذاری شده شرکت به عنوان شاخص بهره‌وری سرمایه و نسبت ارزش دفتری به ارزش بازار سرمایه‌ی سرمایه‌گذاری شده شرکت به عنوان شاخص تعیین سهام ارزشی و رشدی به کار گرفته شده است. دوره مطالعه، سال‌های ۱۳۷۶ تا ۱۳۸۶ (۱۱ سال) و نمونه‌ی انتخابی از میان شرکت‌های پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار تهران و با ویژگی‌های تعریف شده، می‌باشد. نتایج حاصل از آزمون فرضیه‌ها، وجود رابطه بین بهره‌وری سرمایه و بازده آتی سهام در دو حالت کلی و کنترل شده و نیز تاثیر قابل توجه این رابطه بر ارتقای بازده حاصل از هر دو استراتژی ارزشی و رشدی را تایید می‌کند.

زراء نژاد و انصاری (۱۳۸۶) برای محاسبه میزان بهره‌وری صنایع بزرگ استان خوزستان طی دوره‌ی ۸۳-۱۳۵۰، ابتدا توابع تولید کاب-داگلاس، دیرتین، متعالی و ترانسلاگ را با متغیرهای مستقلی مانند موجودی سرمایه و نیروی کار تخمین زده‌اند. با توجه به عدم وجود داده‌های موجودی سرمایه و نیروی کار همگن، این داده‌ها تولید شد. برای تخمین موجودی سرمایه‌ی صنایع استان خوزستان از روش روندنمایی سرمایه

گذاری و برای همگن سازی تعداد نیروی کار از جدول پایه حقوقی کارمندان دولت استفاده شده است. نتایج برآورد تابع تولید ترانسلوگ نشان داد که میزان بهره‌وری سرمایه به دلیل وقوع جنگ با افت روبه‌رو شده است، اما پس از افت محسوس سال ۱۳۶۰، علیرغم وجود شرایط جنگی و خسارات بسیاری که به موجودی سرمایه استان وارد شد، با پشت سر گذاشتن شوک اولیه ناشی از وقوع جنگ، بهره‌وری سرمایه از رشد نسبتاً بالایی برخوردار بوده است. بهره‌وری سرمایه از سال ۱۳۷۰ روندی نزولی را پیش گرفت. این روند نزولی تا سال ۱۳۷۴ ادامه پیدا کرد. از سال ۱۳۷۴ تا پایان دوره‌ی مورد بررسی، رشد بهره‌وری سرمایه تقریباً ثابت بوده است.

قلی زاده و ذوقی پور (۱۳۹۹) روند ۵۰ ساله بازدهی سرمایه و قیاس آن با روند ارزش افزوده بخش کشاورزی و نیز سایر متغیرهای مطرح در تابع تولید تحلیل کردند و نتیجه گرفتند که ورود سرمایه در بخش کشاورزی متناسب با سایر نهاده‌ها و عوامل تولید نبوده است. در واقع، اغلب نهاده‌های تولید متناسب با افزایش موجودی سرمایه تغییر نکرده‌اند. بر این اساس، در برنامه‌های رشد بخش کشاورزی نباید صرفاً بر روی سرمایه فیزیکی تأکید نمود و لازم است رویکردهای چندگانه‌ای در قبال افزایش سطح آگاهی، دانش و مهارت و توانمندی نیروی کار شاغل در بخش کشاورزی، توسعه دانش و فناوری برای انتقال تابع تولید؛ توجه به مقوله اقتصاد مقیاس برای غلبه بر محدودیت ناشی از مقیاس؛ و تلاش برای رفع محدودیتهای زیرساختی و نهادی اتخاذ شود.

یاوری و مهرگان (۱۳۸۰) نقش هر یک از منابع مالی بخش خصوصی داخلی و سرمایه‌های خارجی را در رشد اقتصادی مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که بهره‌وری سرمایه در ماشین‌آلات بیش از ساختمان است. در بین ماشین-آلات، سرمایه‌های تأمین شده از داخل از بهره‌وری بیشتری نسبت به سرمایه‌های تأمین شده از خارج برخوردار بوده‌اند. ضمن این که سرمایه‌گذاری خارجی از ماشین‌آلات، مکمل سرمایه‌گذاری داخلی در ماشین‌آلات نبوده است. بنابراین تأمین منابع مالی داخلی و سرمایه‌گذاری در ماشین‌آلاتی که در داخل کشور تولید می‌شوند، بیشترین تاثیر را بر رشد اقتصادی دارد.

اسمعیلی و مهرابی بشرآبادی (۱۳۸۹) تأثیر اندازه‌ی دولت را بر بهره‌وری نیروی کار و سرمایه در بخش‌های صنعت و کشاورزی در دوره‌ی زمانی ۱۳۸۵-۱۳۵۰ در ایران مورد

سال‌های ۱۹۸۵-۱۹۸۶ و ۲۰۰۹-۲۰۱۰ معادل ۲.۵ درصد در سال بوده است. در یک مطالعه تکمیلی با استفاده از تجزیه اقتصادسنجی بهره‌وری چندعاملی در معادن در سطح ایالتی، هیچ اثر آماری معنی‌داری از تغییرات فن‌آوری بر رشد بهره‌وری چندعاملی در بخش پیدا نکردند، اما اثرات مثبت و معنادار آماری از کارایی فنی و مقیاس طی دوره ۱۹۹۰-۱۹۹۱ تا ۲۰۰۹-۲۰۱۰ مشاهده کردند.

ایلبودو^۳ (۲۰۱۴) به بررسی تاثیر سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی (متغیر جانشین سرمایه) بهره‌وری کل عوامل در بخش معدن شیلی می‌پردازد. وی از مدل سولو^۴ و یک تابع تولید کاب داگلاس برای تخمین تولید کل به عنوان تابعی از نیروی کار، سرمایه و بهره‌وری استفاده کرده است. متغیر سرمایه به عنوان تابعی از موجودی سرمایه تصحیح شده برای استهلاک و نرخ بهره‌برداری تخمین زده شده است. متغیر کار به عنوان تابعی از ساعات کار تصحیح شده برای کیفیت (آموزش، حق بیمه) تخمین زده شده است. نتیجه مطالعه این بوده که سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی با بهره‌وری کل عوامل همبستگی مثبت دارد و در اکثر موارد از نظر آماری معنادار است. این رابطه زمانی مهمتر است که تغییرات در قیمت مس در رگرسیون گنجانده شده باشد.

د سولمینیهاک^۵ و همکاران (۲۰۱۸) بهره‌وری معدن در شیلی را با تکیه بر دو شاخص مورد مطالعه قرار دادند: سنجش بهره‌وری کل عوامل با استفاده از روش سنتی سولو و بهره‌وری نیروی کار. از سال ۲۰۰۰، کاهش در بهره‌وری کل عوامل عمدتاً با عامل سرمایه توضیح داده می‌شود. میانگین بهره‌وری نیروی کار نیز از سال ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۰ حدود ۴۲ درصد کاهش یافته است. این کاهش با چهار عامل توضیح داده می‌شود: دستمزد واقعی معدن، قیمت برق، قیمت مس و عیار معدنی. از سال ۲۰۱۰، متوسط بهره‌وری نیروی کار ۳۰ درصد افزایش یافته است.

گامتسا و اولانی^۶ (۲۰۱۸) نحوه واکنش نسبت‌های انرژی-سرمایه، بهره‌وری متوسط سرمایه و نسبت‌های انرژی-تولید به تغییرات قیمت انرژی را در کانادا بررسی کردند نتایج نشان

بررسی قرار دادند. برای بررسی اندازه دولت در بازار کار از معیار نسبت شاغلان بخش دولتی به کل شاغلان و برای بررسی تأثیر اندازه دولت در بازار سرمایه از معیار نسبت کل هزینه‌های دولت در امور اقتصادی به کل سرمایه‌گذاری استفاده نمودند. برای تبیین ارتباط بین معیارهای تعریف شده با بهره‌وری نیروی کار و سرمایه از روش خود توزیع با وقفه‌های گسترده بهره‌گرفته شده است. نتایج بدست آمده نشان داد که اندازه دولت بر بهره‌وری سرمایه در بخش صنعت تأثیری معنی‌دار نداشته است.

کمالی دهکردی و همکاران (۱۳۹۹) به بررسی تأثیر اندازه دولت بر بهره‌وری عامل کار و سرمایه در کشورهای اسلامی عضو اوپک طی سال‌های ۲۰۱۸-۲۰۰۰ با استفاده از روش داده‌های تابلویی به دو روش خطی و غیرخطی در حالت تابع کاب داگلاس و ترانسلوگ پرداختند. در این راستا دو مدل برآورد شد. در مدل‌های برآوردی به صورت غیرخطی که مدل‌های تصریحی عدم تعادل‌های موجود را تعدیل می‌کنند نتایج حاکی از آن است که بهره‌وری در بازار کار و سرمایه کشورهای منتخب، از طریق دو متغیر اندازه دولت و سرمایه تعدیل نمی‌شود و همبستگی معنی‌داری میان تعدیل نهاده‌ها و بهره‌وری در کشورها برقرار نمی‌شود، در مدل برآوردی دوم که به صورت حداقل مربعات معمولی در حالت تابع کاب داگلاس و ترانسلوگ برآزش شده اندازه دولت اثر منفی بر بهره‌وری نیروی کار و سرمایه دارد. ولی در حالت فرم تبعی ترانسلوگ رگرسیون برآزش شده در بازار سرمایه و کار معنادار نیست.

عطرکار روشن و همکاران (۱۳۹۴) به تجزیه و تحلیل شاخص بهره‌وری سرمایه در بخش صنعت (بر حسب ۱۶ گروه صنعتی براساس طبقه‌بندی استاندارد بین‌المللی با کد دورقمی) استان کردستان و به تفکیک زیربخش‌های آن، با استفاده از داده‌های ترکیبی طی سال‌های ۹۰-۱۳۸۴ پرداختند. نتایج حاکی از آن است که طی دوره‌ی مورد مطالعه، میانگین بهره‌وری سرمایه در سطح کل صنعت ۰/۷۰ بوده است.

سید^۱ و همکاران (۲۰۱۵) معیار بهره‌وری چندعاملی استخراج معدنی در استرالیا (MFP^۲) را محاسبه کردند. متوسط رشد سالانه بهره‌وری چندعاملی در معادن استرالیا بین

3 . Ilboudo
4 . Solow
5 . de Solminihac
6 . Gamtessa, S., & Olani,

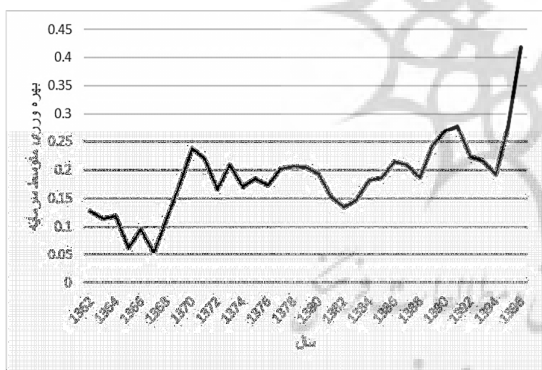
1 . Syed
2 . Multifactor productivity

گفتنی است متغیر وابسته به دلیل رهایی از واحدهای سنجش متفاوت به صورت لگاریتمی وارد مدل شده اما متغیرهای توضیحی در هر دو فرم لگاریتمی و سطح وارد مدل ها شده و خروجی ها بر مبنای معیارهای نیکویی برآزش گزارش شده است.

داده های شاخص قیمت مواد معدنی، نیروی کار شاغل در معادن، مالکیت، ارزش افزوده معادن، مصرف انرژی در معادن از مرکز آمار ایران، و داده های موجودی سرمایه از بانک مرکزی اخذ شده است. دوره زمانی تحقیق هم ۱۳۹۶-۱۳۶۲ است.

۵- یافته های پژوهش

پیش از تخمین مدل، روند بهره وری متوسط سرمایه در نمودار ۱ ارائه می شود. مطابق نمودار تغییرات زیادی در این شاخص مشاهده می شود اما روند کلی بهره وری سرمایه رو به افزایش است. کمترین مقادیر این شاخص در سال های جنگ تحمیلی دیده می شود.



نمودار ۱: روند بهره وری متوسط سرمایه در معادن ایران

بر اساس رابطه (۴) بهره وری متوسط سرمایه در معادن تحت تأثیر شاخص خام قیمت مواد معدنی، نسبت تعداد شاغلان به موجودی سرمایه، شیوه مالکیت معادن (سهام بخش خصوصی در مالکیت معادن به درصد) و کارایی مصرف انرژی قرار دارد. بهره وری سرمایه از تقسیم ارزش افزوده اسمی به موجودی سرمایه اسمی، حاصل شده است. در جدول (۱) آمار توصیفی متغیرهای تحقیق ارائه شده است.

مطابق جدول ۱، میانگین و میانه متغیر AP_K برابر درآمده و حداکثر و حداقل آن به ترتیب ۰/۴۱۷ و ۰/۰۵۴ به دست آمده است. این متغیر بر اساس معیارهای چولگی و کشیدگی و آماره

داد که افزایش قیمت انرژی، نسبت انرژی-سرمایه، و انرژی به تولید را در کوتاه مدت و بلندمدت کاهش می دهد. اثر مثبت افزایش قیمت انرژی روی بهره وری متوسط سرمایه تنها در بلندمدت مشاهده می شود و واکنش آنی شدت انرژی به شوک رایج قیمت نفت در بیشتر موارد منفی است.

۴- روش پژوهش

در این تحقیق برای پاسخ به سوال تحقیق ابتدا فرم تولید کاب-داگلاس با سه متغیر سرمایه، نیروی کار و انرژی معرفی می-شود:

$$Y = AK^\alpha L^\beta E^\gamma \quad (۱)$$

فرم (۱) تعمیم یافته تابع تولید کاب-داگلاس^۱ (۱۹۲۸) است که در آن Y, K, A, E و L به ترتیب میزان تولید یا استخراج معدنی، سطح فناوری، موجودی سرمایه، نیروی کار و انرژی مصرفی در استخراج معدنی است. از رابطه (۱) می توان بهره وری متوسط را به صورت کلی زیر به دست آورد:

$$AP_K = Y/K = AK^{\alpha-1} L^\beta E^\gamma \quad (۲)$$

در صورت تحمیل قید بازدهی ثابت به مقیاس، می توان بهره وری متوسط را به فرم ساده تر (۳) نوشت:

$$AP_K = Y/K = A \left(\frac{L}{K}\right)^\beta \left(\frac{E}{K}\right)^\gamma \quad (۳)$$

مطابق رابطه (۳) بهره وری متوسط سرمایه به سطح فناوری، نسبت نیروی کار به سرمایه و نسبت انرژی به سرمایه بستگی دارد. با افزودن متغیرهای کنترلی دیگر، مدلی که به توضیح متغیرهای موثر بر بهره وری سرمایه می پردازد، با رابطه (۴) بیان می شود. در این رابطه، لزوماً بازدهی از نوع ثابت به مقیاس نیست. این رابطه بر اساس مطالعات امینی (۱۳۸۳)، زراء نژاد و انصاری (۱۳۸۶) و گامتسا و اولانی (۲۰۱۸) ارائه شده است.

$$AP_K = f(P, LK \text{ و } EE \text{ و } Own) \quad (۴)$$

که در آن، AP_K بهره وری متوسط سرمایه، به عنوان متغیر وابسته بوده و P ، شاخص قیمت مواد معدنی، LK نسبت تعداد شاغلان به موجودی سرمایه^۲، EE کارایی مصرف انرژی در معادن (نسبت ارزش تولید به ارزش انرژی مصرفی)، Own ، شیوه مالکیت معادن (سهام بخش خصوصی در مالکیت معادن به درصد) متغیرهای توضیح دهنده مدل هستند.

1. Cobb and Douglas

۲. این نسبت گویای فناوری تولید ($Tech$) هم هست زیرا اگر نسبت بزرگتر از یک باشد، فناوری تولید کاربر و اگر کمتر از یک باشد، فناوری تولید سرمایه بر است.

ارائه شده و در صورتی که آماره F محاسباتی بزرگتر از مقادیر بحرانی کران بالا باشد، می‌توان از وجود رابطه هم‌انباشستگی مطمئن شد. نتایج آزمون در جدول ۳ ارائه شده و انتخاب وقفه-ها بر اساس معیار اطلاعات شوارتز صورت گرفته است. در این مدل، آماره F محاسباتی به ازای ۴ متغیر توضیحی ($K=4$) برابر $8/984$ است که دست آمده که از مقدار بحرانی $4/37$ در سطح معنی‌داری ۱٪ بزرگتر است. بنابراین وجود رابطه هم‌انباشستگی یا رابطه بلندمدت بین متغیرها تأیید می‌شود.

مرحله بعدی، تخمین رابطه بلندمدت بین متغیرهاست که نتایج آن در جدول (۴) ارائه شده است. بر اساس این جدول، اغلب ضرایب به لحاظ آماری در سطح ۱٪ معنی‌دار هستند و یک رابطه بلندمدت بین متغیرهای توضیح دهنده و وابسته وجود دارد. علامت متغیر Own منفی درآمده است. این ضریب منفی نشان می‌دهد که با افزایش یک واحد به سهم مالکیت خصوصی، بهره‌وری سرمایه در معادن تقریباً ۰/۰۲ درصد کاهش می‌یابد. این اثرگذاری منفی تنها با توجه به سرمایه‌بر بودن معادن قابل توجیه است چرا که استخراج معدنی ماهیتاً نیاز به سرمایه فراوانی دارد و بخش دولتی در تأمین آن قویتر از بخش خصوصی است. جدول اخیر نشان می‌دهد که در صورت ثبات سایر شرایط، با افزایش شاخص قیمت مواد معدنی به میزان یک درصد، بر بهره‌وری سرمایه به میزان تقریبی ۰/۳۶ درصد افزوده می‌شود. همینطور با افزایش یک درصدی در نسبت تعداد شاغلان به موجودی سرمایه، بهره‌وری سرمایه حدود ۱/۱ درصد افزایش می‌یابد و چنانچه بر کارایی مصرف انرژی در معادن یک واحد اضافه شود بر بهره‌وری سرمایه به میزان ۰/۰۲ درصد افزوده می‌شود.

در جدول (۴) ضریب جمله تصحیح خطا ($ECT(-1)$) برابر $-0/632$ و به لحاظ آماری در سطح ۱٪ معنی‌دار است، بنابراین، در هر سال، حدود ۶۳ درصد از عدم تعادل‌های کوتاه مدت تصحیح شده و به سوی روند بلندمدت و تعادلی خود میل می‌کند. علاوه بر این، آزمون‌های تشخیص مدل (تصریح درست مدل، توزیع نرمال، واریانس همسانی و عدم خودهمبستگی باقیمانده‌ها) پس از تخمین مدل کوتاه مدت انجام می‌شود. نتایج این آزمون‌ها در جدول (۵) ارائه شده است.

چارک-برای توزیع نرمال ندارد. متغیر P از میانگین حدود ۵۱ و میانه ۲۱ برخوردار است و بیشترین و کمترین مقدار آن حدود ۲۳۴ و ۰/۴۲ بوده و این متغیر هم دارای توزیع نرمال نیست. متغیر LK دارای میانگین و میانه تقریباً ۱/۲ بوده، حداکثر و حداقل آن ۱/۸ و ۰/۴۱ می‌باشد. بر اساس آماره چارک-برای و معیارهای چولگی و کشیدگی این متغیر دارای توزیع نرمال است. متغیر EE از میانگین ۲۹/۴ و میانه ۲۶/۳ برخوردار است. بیشترین و کمترین مقدار آن به ترتیب ۹۱/۸ و ۱۳/۷ می‌باشد. این متغیر نیز دارای توزیع نرمال نیست. متغیر OWN دارای میانگین ۸۰/۳ و میانه ۸۷/۲ بوده، به ترتیب از حداکثر و حداقل مقدار ۹۷/۱ و ۲۹/۹ برخوردار است و اما بر اساس آماره چارک-برای توزیع نرمال نیست. باتوجه به تصریح لگاریتمی مدل (۴) ابتدا آزمون ریشه واحد دیکی-فولر تعمیم یافته^۱ (ADF) روی لگاریتم یا سطح متغیرهای بهره‌وری متوسط سرمایه (APK)، شاخص خام قیمت مواد معدنی (P)، نسبت تعداد شاغلان به موجودی سرمایه (LK)، کارایی مصرف انرژی در معادن (EE)، شیوه مالکیت معادن (Own) انجام شده که نتایج آن در جدول (۲) گزارش شده است.

همانطور که از جدول (۲) پیداست، به جز متغیر کارایی مصرف انرژی در معادن (EE)، که در سطح پایاست، سایر متغیرها در سطح معنی‌داری ۱٪ پایا در تفاضل مرتبه اول یا $I(1)$ هستند. با توجه به درجه متفاوت پایایی متغیرهای توضیح‌دهنده و وابسته، روش معمول برای تخمین مدل (۴)، روش خودرگرسیون با وقفه‌های گسترده^۲ ($ARDL$) به فرم ضمنی زیر است:

$$Log(APK) = f[Log(P) \text{ و } Log(LK) \text{ و } Own \text{ و } EE]$$

در گام نخست به منظور اطمینان از وجود رابطه بلندمدت بین متغیرهای مدل، از آزمون کرانه‌ها یا آزمون پیشنهادی پسران و شین^۳ (۱۹۹۶) استفاده می‌شود. فرضیه صفر این آزمون، دلالت بر عدم هم‌انباشستگی بین متغیرها و فرضیه مقابل آن وجود رابطه هم‌انباشستگی یا رابطه بلندمدت بین آنهاست. در این آزمون، مقادیر بحرانی برای کران‌های بالا و پایین در سطح مختلف معنی‌داری (معمولاً ۱٪، ۵٪ و ۱۰٪)،

1 . Augmented Dickey-Fuller

2 . Auto-regressive Distributed Lags (ARDL)

3 . Pesaran & Shin

جدول ۱. آمار توصیفی متغیرهای تحقیق

متغیر	APK	P	LK	EE	OWN
بهره وری سرمایه	-۰/۱۸۶	۵۰/۸۵۷	۱/۱۹۴	۲۹/۴۱۷	۸۰/۲۷۷
شاخص قیمت	-۰/۱۸۶	۲۱	۱/۱۶۵	۲۶/۲۸۸	۸۷/۱۹۸
نسبت شاغلان به موجودی سرمایه	-۰/۴۱۷	۲۳۴/۴	۱/۸۰۳	۹۱/۸۲۸	۹۷/۰۸۶
کارایی انرژی	-۰/۰۵۴	-۰/۴۲۲	-۰/۴۰۹	۱۳/۶۷۶	۲۹/۹۵۸
مالکیت معادن (درصد)	-۰/۰۶۷	۷۱/۳۱۳	-۰/۲۶۳	۱۵/۱۶۴	۱۰/۰۵۶
میانگین	-۰/۷۹۱	۱/۵۴۸	-۰/۲۷۷	۲/۳۴۲	-۱/۴۰۳
میانه	۵/۵۰۷	۳/۹۰۱	۴/۲۸۸	۹/۷۶۹	۴/۳۴۱
حداکثر	۱۲/۸۱۵	۱۵/۱۶۴	۲/۸۶۷	۹۸/۸۲۱	۱۴/۰۹۷
حداقل					
انحراف معیار					
چولگی					
کشیدگی					
آماره جارت-برا					

مأخذ: یافته های تحقیق

جدول ۲. نتایج آزمون ریشه واحد دیکی-فولر تعمیم یافته (مدل تخمین بهره وری سرمایه)

متغیر	تفاضل اول		سطح متغیرها		درجه پایایی
	احتمال	آماره ADF	احتمال	آماره ADF	
Log(APK)	-۰/۰۰۰	-۶/۶۵۹	۰/۱۶۶	-۲/۹۲۹	I(1)
Log(P)	-۰/۰۰۰	-۴/۶۱۲	۰/۳۳۰	-۲/۴۹۱	I(1)
Log(LK)	-۰/۰۰۰	-۷/۸۸۳	۰/۴۲۵	-۲/۲۹۶	I(1)
EE	-	-	۰/۰۰۰	-۵/۲۱۲	I(0)
Own	-۰/۰۰۰	-۵/۹۱۹	۰/۹۹۱	-۰/۱۴۳	I(1)

مأخذ: یافته های تحقیق

نکته: تمام آزمون ها با لحاظ عرض از مبدأ و وند صورت گرفته اند.

جدول ۳. آزمون وجود رابطه بلندمدت میان متغیرها با استفاده از آزمون کرانه ها

متغیرها	آماره F	وقفه بهینه
	۸/۹۸۴	ARDL(1, 2, 0, 0, 0)
F[Log(APK/LogP, Log(LK), EE, Own)]	مقدار بحرانی	کرانه پایین I(0)
	٪۱۰	کرانه بالا I(1)
	٪۵	
	٪۱	

مأخذ: یافته های تحقیق

جدول ۴. برآورد رابطه بلندمدت بین متغیرها با ARDL(1, 2, 0, 0, 0) (متغیر وابسته: LOG(APK))

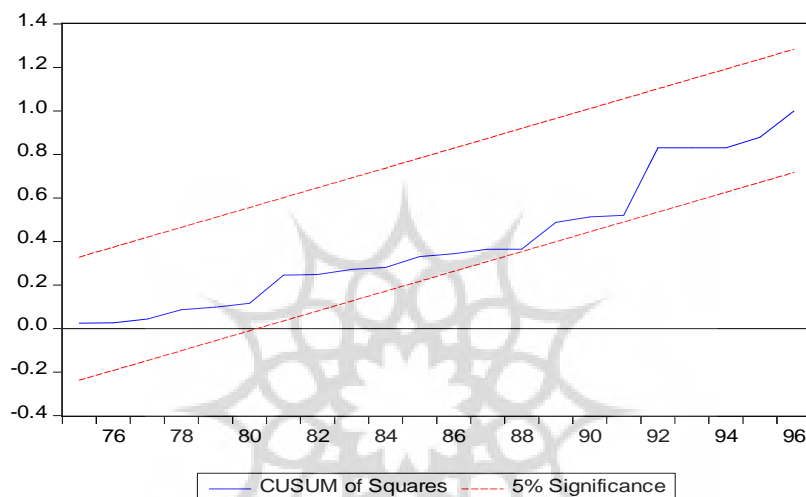
متغیر	ضریب	آماره t	احتمال
LOG(P)	-۰/۳۵۶	۵/۰۶۶	۰/۰۰۰
LOG(LK)	۱/۰۹۷	۴/۲۵۰	۰/۰۰۰
OWN	-۰/۰۲۳	-۲/۶۷۲	۰/۰۱۳
EE	-۰/۰۲۳	۴/۲۹۷	۰/۰۰۰
عرض از مبدأ	-۱/۶۹۸	-۳/۱۷۹	۰/۰۰۴
ECT(-1)	-۰/۶۳۲	-۵/۰۵۱	۰/۰۰۰
R-squared	۰/۸۷۹	Adjusted R-squared	۰/۸۴۶
F-stat	۲۶/۰۵۳	Prob(F-stat)	۰/۰۰۰

مأخذ: یافته های تحقیق

جدول ۵. آزمون‌های تشخیصی در مدل بهره‌وری سرمایه (متغیر وابسته: $LOG(APK)$)
 $ARDL(1, 2, 0, 0, 0)$

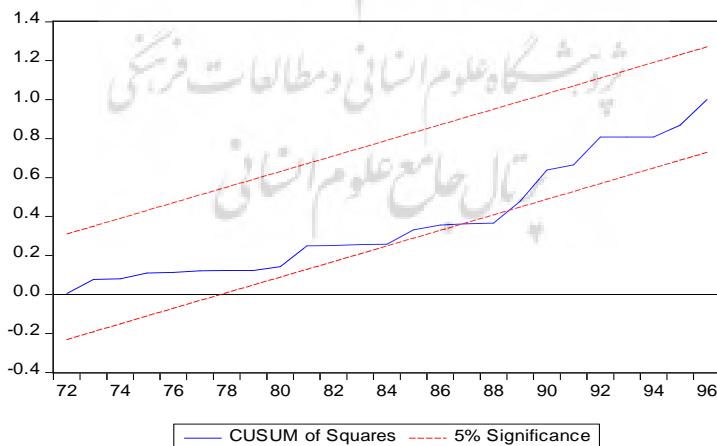
آزمون	آماره	احتمال	نتیجه
آزمون رمزی	$F(1, 24) = 0.042$	0.8401	مدل درست تصریح شده است.
آزمون نرمال بودن باقیمانده‌ها	$JB = 0.689$	0.709	توزیع باقیمانده‌ها نرمال است
آزمون واریانس همسانی	$F(7, 25) = 0.799$	0.595	تایید همسانی واریانس در باقیمانده‌ها
آزمون عدم خودهمبستگی	$F(2, 23) = 1.415$	0.263	تایید عدم خودهمبستگی در باقیمانده‌ها

مأخذ: یافته‌های تحقیق



نمودار ۲. آزمون ثبات ساختاری (مجموع تجمعی جملات باقیمانده $CUSUM$)

مأخذ: یافته‌های تحقیق



نمودار ۳. آزمون ثبات ساختاری (مجموع تجمعی مربعات باقیمانده‌ها $CUSUMQ$)

مأخذ: یافته‌های تحقیق

نتیجه مطالعه سان و انور^۶ (۲۰۱۵) در مورد صنعت استخراج زغال سنگ در چین هم این بوده که شدت سرمایه تأثیر مثبتی در بهره‌وری نیروی کار و تأثیر منفی بر بهره‌وری سرمایه دارد زیرا بخش معدن نیاز به سرمایه‌گذاری کلان دارد.

سوح^۷ (۲۰۱۸) در بررسی توابع تقاضا برای نهاده مختلف در معادن آمریکا معتقد است که چون صنعت استخراج نیازمند کارگران ماهر در عملیات معدنی است، استفاده از سرمایه انرژی اندوز را به جای سرمایه کاراندوز در استخراج معدنی آسانتر می‌داند.

با توجه به ارتباط دقیق و ارگانیک بین سرمایه سرانه (K/L) و بهره‌وری سرمایه (Y/K) تأثیر منفی افزایش سرمایه سرانه بر بهره‌وری سرمایه غیرمنطقی به نظر نمی‌رسد و به دلیل بدیهی بودن این موضوع، مطالعات تجربی چندانی در این زمینه یافت نمی‌شود.

برای افزایش بهره‌وری سرمایه در معادن کشور به استناد نتایج تجزیه و تحلیل می‌توان پیشنهادات زیر را ارائه داد:

الف- طراحی مجدد نظام پرداخت در معادن به گونه‌ای که کلیه پرداخت‌ها به عوامل تولید، منطبق با ارزش افزوده این عوامل باشد.

ب- استفاده از فناوری‌های نوین در جابجایی سنگ معادن
پ- بهبود شیوه‌های استخراج از طریق زمان بندی و استفاده موثر از انواع ماشین‌آلات معدنی و اتوماسیون کنترل و نظارت بر معادن جدید و سرمایه‌گذاری جایگزینی مهندسی معادن
ت- سرمایه‌گذاری در اکتشاف و توسعه

ث- توقف فعالیت استخراج در معادن با اعماق زیاد و عیار پایین

ج- خصوصی سازی معادن غیراستراتژیک کشور
چ- بهینه سازی مصرف انرژی به عنوان یکی از نهاده‌های ضروری در فعالیت استخراج

ح- افزایش ظرفیت استخراج معادن از طریق افزایش سرمایه فیزیکی

خ- توجه به روابط جانشینی/ مکملی نهاده‌های کار، انرژی و سرمایه در استخراج و فرآوری مواد معدنی.

موضوع مهم دیگر در تخمین مدل *ARDL* اطمینان از ثبات ساختاری ضرایب رگرسیون است. این کار از طریق نمودارهای مجموع تجمعی جملات باقیمانده (*CUSUM*) و مجموع تجمعی مربعات باقیمانده‌ها (*CUSUMQ*) انجام می‌شود. نمودار *CUSUM* وجود/عدم شکست ساختاری را با توجه به تغییرات سیستماتیک در ضرایب رگرسیون و نمودار *CUSUMQ* همین پدیده را با توجه به انحراف ناگهانی از پایداری ضرایب بررسی می‌کند. اگر نمودارهای مذکور در داخل فاصله اطمینان (دو خطوط راست) واقع شده باشند، می‌توان ثبات ساختاری را تایید کرد. نمودار (۲) دلالت بر ثبات ساختاری ضرایب مدل *ARDL* دارند. در نمودار ۳ نیز برای بخش زیادی از رگرسیون، ثبات ساختاری برقرار است.

۶- بحث و نتیجه‌گیری

عامل سرمایه چه به فرم سرمایه فیزیکی و چه به فرم اعتبارات و تسهیلات بانکی از ضروریات تولید و استخراج معدنی است. افزایش قیمت سرمایه، در حقیقت به تخصیص کارآمدتر سرمایه کمیاب منجر می‌شود. در این رابطه، نینگو و همکاران^۳ (۲۰۱۸) نیز استخراج معدنی را یک کسب و کار سرمایه‌بر می‌دانند که برای تأمین هزینه‌های توسعه و زیرساخت نیاز به مقدار زیادی سرمایه دارد. از دید آنها، زیرساخت‌های اساسی و توسعه‌ای لازم برای دسترسی به سنگ معدن باید در طول عمر معدن برقرار باشد. لذا سرمایه‌گذاری موثر در معادن بر اساس معیار ارزش فعلی خالص تحت تأثیر نرخ تولید قرار دارد.

از سوی دیگر، عبدال صبور^۴ (۲۰۰۲) معتقد است که عملیات گسترده‌تر در معادن نیاز به سرمایه‌گذاری بالاتری داشته و بازدهی بیشتری را برای یک دوره کوتاهتر به دست می‌دهد در حالی که معادن کوچک‌تر که به سرمایه کمتری احتیاج دارند، بازده کمتری را برای دوره طولانی‌تر فراهم می‌کنند.

در مورد سرمایه سرانه نتیجه پژوهش این بود که سرمایه سرانه تأثیر منفی بر بهره‌وری سرمایه دارد. بر اساس مطالعه تیلتون و لندزبرگ^۵ (۱۹۹۹) روی صنعت مس در ایالات متحده، اثر تعمیق سرمایه بر بهره‌وری نیروی کار (افزایش سرمایه سرانه) در واقع بازتابی از اثر فناوری نوین بر بهره‌وری است.

1. Cumulative Sum
2. Cumulative Sum of Squares
3. Niengo
4. Abdel Sabour
5. Tilton & Landsberg

منابع

- قلی زاده، حیدر و ذوقی پور، محمدحسین (۱۳۹۹) بررسی بهره‌وری سرمایه در بخش کشاورزی ایران و تحلیل روند تغییرات آن، همایش ملی کشاورزی و سلامت، جیرفت
<https://civilica.com/doc/1180150>.
- کمالی‌دهکردی پروانه، عبدالهی فرشته، غبیشاوی عبدالخالق (۱۳۹۹). بررسی تأثیر اندازه دولت بر بهره‌وری عوامل نیروی کار و سرمایه در کشورهای اسلامی عضو اوپک. *نشریه اقتصاد و بانکداری اسلامی*، ۹ (۳۰): ۷۱-۹۵
- منصور زراء نژاد الهه انصاری (۱۳۸۶) اندازه‌گیری بهره‌وری سرمایه در صنایع بزرگ استان خوزستان. *اقتصاد مقداری*، ۴(۴)، ۲۶-۱.
- یاوری، کاظم، مهرگان، نادر. (۱۳۸۰). بهره‌وری سرمایه تامین شده از خارج و تولید داخلی در اقتصاد ایران. *دوفصلنامه علمی مطالعات و سیاست‌های اقتصادی*، ۱۰ (۱)، ۹۹-۱۱۴.
- Abdel Sabour, S.A. (2002). Mine size optimization using marginal analysis. *Resources Policy* 28(3): 145-151.
- Bradley, C., & Sharpe, A. (2009). *A detailed analysis of the productivity performance of mining in Canada*. Ottawa, ON: Centre for the Study of Living Standards.
- Cobb, C. W.; Douglas, P. H. (1928). A Theory of Production. *American Economic Review*, 18: 139-165.
- de Solminihac, H., Gonzales, L. E., & Cerda, R. (2018). Copper mining productivity: lessons from Chile. *Journal of Policy Modeling*, 40(1), 182-193.
- Downes, P. M., Hanslow, K., & Tulip, P. (2014). The effect of the mining boom on the Australian economy. *Reserve Bank of Australia research discussion paper*, (2014-08).
- Gamtesa, S., & Olani, A. B. (2018). Energy price, energy efficiency, and capital productivity: Empirical investigations and policy implications. *Energy Economics*, 72, 650-666.
- Hosseinzadeh, A., Smyth, R., Valadkhani, A., & Moradi, A. (2018). What determines the efficiency of Australian mining companies?. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 62(1), 121-138.
- Ilboudo, P. S. (2014). Foreign Direct Investment and Total Factor Productivity in the Mining Sector: the Case of Chile.
- Neingo, P. N., Tholana, T., & Nhleko, A. S. (2018). A comparison of three production rate estimation methods on South African platinum mines. *Resources Policy*, 56, 118-124.
- Pesaran, M. H., & Shin, Y. (1996). Cointegration and speed of convergence to equilibrium. *Journal of econometrics*, 71(1-2), 117-143.
- Stollery, K. R. (1985). Productivity change in Canadian mining 1957-1979. *Applied Economics*, 17(3), 543-558.
- Suh, D. H. (2018). Exploring the US mining industry's demand system for production factors: Implications for economic sustainability. *Resources Policy*, In press.
- Sun, S., & Anwar, S. (2015). R&D status and the performance of domestic firms in China's coal mining industry. *Energy Policy*, 79, 99-103.

- Syed, A., Grafton, R. Q., Kalirajan, K., & Parham, D. (2015). Multifactor productivity growth and the Australian mining sector. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 59(4), 549-570.
- Tilton, J., & Landsberg, H. H. (1997). *Innovation, Productivity Growth, and the Survival of the US Copper Industry* (No. 10534). Resources for the Future.

