بررسی تاثیر بهبود فناوری تولید بر ارتقا بهره‌وری در فعالیت‌های بالادستی صنعت نفت با استفاده از یک مدل اقتصادسنجی

(در سطح شرکت ملی نفت ایران)

مهدی عسلی[۱]،
ناصر خیابانی[۲]، داریوش وافی‌نجار[۳]

چکیده

تولید نفت و گاز فرآیندی است که بر اساس آن در نتیجه تولید رفته‌رفته از میزان منابع قابل استحصال کاسته می‌گردد و این ویژگی منحصر به‌فرد منابع پایان‌پذیر و غیرقابل تجدید است که لازمست در مطالعات کمی این بخش مورد توجه قرار گیرد. از سوی دیگر به‌کارگیری فناوری‌های جدید و کاراتر در بخش سبب کند شدن فرآیند طبیعی افت تولید و یا حتی افزایش آن در دوره‌های کوتاه و

۱. دکتر مهدی عسلی رئیس مؤسسه مطالعات بین‌المللی انرژی assali@iies.org .
۲. دکتر ناصر خیابانی عضو هیئت علمی مؤسسه عالی پژوهش در برنامه ریزی و توسعه و مشاور مؤسسه مطالعات بین‌المللی انرژی n.khiabani@imps.ac.ir .
۳. داریوش وافی نجار عضو هیئت علمی و رئیس گروه پژوهشی مدلسازی و پایگاه آماری مؤسسه مطالعات بین‌المللی انرژی d-vaafi@iies.net .

میان‌مدت خواهد شد. مطالعات مختلفی در کشورهای پیشرفته برای تعیین میزان تاثیر عامل تکنولوژی و استخراج بر تولید نفت انجام شده است اما بررسی‌ها نشان می‌دهد که تاکنون مطالعات جامعی در این زمینه در ایران انجام نگرفته است. در این گزارش ضمن مروری بر مطالعات انجام شده در این زمینه و تصریح شکل تبعی مناسب تابع تولید نفت در کشور و عوامل مؤثر در تولید آن، با استفاده از یک رابطه بهینه‌یابی تابع هزینه تولید استخراج گردیده و با تخمین این تابع برای دوره ۱۳۸۲-۱۳۴۷ با استفاده از روش IV سهم هر یک از عوامل تکنولوژی تجمعی و استخراج هزینه تولید نفت در ایران تخمین زده شده است. نتایج نشان می‌دهد که برای سال‌های ۱۳۶۰ به این سو نوسانات تکنولوژیکی تاثیر معناداری در کاهش هزینه تولید نفت و گاز کشور نداشته است. بدین ترتیب با فرض ثابت بودن تکنولوژی تولید و استخراج نفت در کشور از سال ۱۳۶۰ مدل با استفاده از این رویکرد تخمین و اثر تکنولوژی بر فرآیند تولید نفت به‌دست آمد. نتایج این مطالعه همچنین نرخ متوسط استخراج بر هزینه تولید طی دوره را برآورد می‌کند. برآورد میزان تفاوت هزینه تولید نفت در شرایط استفاده از تکنولوژی و عدم استفاده از آن بیانگر آنست که در صورت استفاده از تکنولوژی روز دنیا هزینه متوسط تولید تا میزان بسیار زیادی کاهش یابد. تفاوت میان عدم استفاده از تکنولوژی و زمانی که تکنولوژی روز دنیا استفاده می‌گردید میزان بهره‌وری است که این بخش امکان آن را از دست داده است.

واژه‌های کلیدی: تولید نفت، تابع هزینه، تکنولوژی تولید نفت، تخلیه‌سازی منابع، روش IV.

۱. مقدمه

تصریح تابع تولید مناسب برای هر واحد تولیدی به نحوی که بتواند بیانگر و تشریح‌کننده ارتباط دقیق میان هر یک از نهاده‌های تولید با میزان تولید باشد یکی از اقدامات اساسی و پایه‌ای در تحلیل میزان و شدت تاثیرگذاری هر یک از عوامل بر تولید است. در چنین فرآیندی توجه به ماهیت تولید و تکنولوژی آن و همچنین خصوصیات ذاتی محصول تولیدی نقش اساسی در تصریح شکل صحیح تابع تولید دارد. ارزش‌افزوده هر واحد تولیدی و یا هر بخش اقتصادی برآیند کمی از مجموع ارزشی است که توسط عوامل مختلف تولیدی فعال در یک واحد، در پروسه تولید ایجاد و در نهایت در قیمت نهایی

محصول محاسبه گردیده است. هر اندازه دامنه فعالیت‌هایی که به‌طور مستقیم به‌پروسه تولید مرتبط است محدودتر باشد بررسی ارتباط نهاده‌ای با تولید نیز دقیق‌تر خواهد بود. به‌عبارت دیگر هر اندازه بتوان فرآیند تولید را به بخش‌های مختلف تفکیک نمود به‌نحوی که هر بخش بتواند رابطه مناسب فنی تولید با نهاده‌های اصلی را بیان نماید تصریح مناسب و دقیق‌تری از شکل تبعی تابع به‌دست خواهد داد.

فرآیند تولید نفت و گاز[1] فرآیندی است که بر اساس آن در نتیجه تولید رفته‌رفته از میزان منابع قابل استحصال کاسته می‌گردد و این ویژگی منحصر به‌فرد منابع پایان‌پذیر و غیرقابل تجدید است که لازمست به این ویژگی در طراحی شکل تبعی تابع تولید توجه گردد. از طرفی توجه به پیشرفت‌های تکنولوژیکی یکی دیگر از رویکردهای قابل بررسی در این بخش است که سبب کند شدن فرآیند طبیعی افت تولید و یا حتی افزایش آن در دوره‌های کوتاه و میان‌مدت خواهد شد.

در این مطالعه نخست به ذکر مبانی نظری مطالعات انجام شده در خصوص ارتباط میان تولید با بهره‌وری و تصریح توابع تولید بخش نفت و گاز به‌طور اخص و منابع پایان‌پذیر به‌طور کلی اشاره می‌گردد و سپس با توضیحی در خصوص ویژگی‌های بخش نفت و گاز در ایران بررسی تاثیر بهبود تکنولوژی و فن‌آوری تولید این بخش بر ارتقا بهره‌وری در فعالیت‌های بالادستی صنعت نفت پرداخته می‌شود. برای این منظور با استفاده از یک مدل اقتصادسنجی ویژگی‌های کلی این بخش تشریح و نحوه تأثیرگذاری هریک از متغیرهای مدل تشریح می‌گردد و در نهایت نیز این الگو با استفاده از روش متغیر ابزاری (IV)[2] تخمین و نتایج آن مورد بررسی و تحلیل قرار می‌گیرد.

۲. مبانی نظری رابطه تولید نفت

در ادبیات منابع طبیعی و محیط زیست اثرات بالقوه تغییرات تکنولوژیکی در جلوگیری از فرآیند کاهش منابع پایان‌پذیر بسیار مورد بحث قرار گرفته است. ساده‌ترین مدل، الگوی هاتلینگ[3] (۱۹۳۱) است که بیان می‌دارد قیمت واقعی معادل با نرخ واقعی بهره افزایش یابد. این قانون اگرچه در مواردی در شرایط خاصی که هزینه نهایی صفر و ذخیره اولیه نیز ثابت است واقعیت دارد اما برای تمامی منابع قابل تعمیم نیست. اگر پیشرفت‌های تکنولوژیک

---

۱. منظور از تولید همان استخراج است.

2. Instrument Variable
3. Hotelling

به‌قدر کافی سریع باشند قیمت منابع در طول زمان ممکن است ثابت و یا حتی کاهش یابد (ایبل ۱۹۷۵).

ضعف تئوریک قانون هاتلینگ در پیش‌بینی به‌خوبی شناخته‌شده‌است (برنت و مورس(۱۹۶۳) و اسلاد(۱۹۸۲)). هم‌چنین پیشرفت‌های تکنولوژیکی سبب استفاده از مواد مصنوعی به‌جای منابع پایان‌پذیر شده است. از طرف دیگر این پیشرفت‌ها می‌توانند کارایی بهتری را در استخراج منابع به‌جا مانده‌داشته‌باشند و بدین‌ترتیب به‌طور بالقوه اثر تخلیه‌سازی بر قیمت منابع را خنثی نمایند. نتیجه این‌که در مدل ساده هاتلینگ اثرات نااطمینانی و تغییر تکنولوژی در استخراج و اکتشاف بهینه منابع هر دو دیده شده‌اند (بوهی و تام (۱۹۸۴)، دسگوپتا و هیل(۱۹۷۴)، دی‌واراجان و فیشر (۱۹۸۲)، کمین و شوارتز (۱۹۷۸) و پندیک (۱۹۷۸)). بیشتر این مطالعات به تصریح و تخمین هزینه‌های اکتشاف پرداخته‌اند (لی‌ورنویز (۱۹۸۸)، لی‌ورنویز و ریان(۱۹۸۹)، لی‌ورنویز و اوهلر (۱۹۸۷)، و اوهلر (۱۹۷۹)).

اولین مطالعات کلاسیک تحت عنوان اقتصاد منابع طبیعی به وسیله ال.سی.گری (۱۹۱۴) وهارولد هاتلینگ (۱۹۳۱) انجام پذیرفت.[1] گری رفتار عرضه‌ای آن‌دسته از استخراج‌گران خصوصی را که در طول زمان نسبت به پیش‌بینی قیمت‌های واقعی اقدام می‌کردند و در جهت حداکثرسازی سود تنزیلی خود تلاش می‌کردند بررسی نمود. نتایج بررسی نشان داد که این وضعیت برای کشورهای کوچک نسبی است. هاتلینگ تئوری گری را با پیش‌بینی نتایج حاصل از قیمت‌های بازار که در مدل گری فرض گرفته شده بود بسط داد. رفتار عرضه‌ای یک مالک معدن تهی‌پذیر، به عنوان مثال نفت متفاوت از رفتار یک شرکت معمولی است که در اقتصاد خرد تجسم می‌گردد. در یک شرکت با هزینه ثابت برابر صفر و هزینه نهایی فزاینده، تولید بهینه در سطح قیمت برابر با هزینه نهایی انجام می‌پذیرد. اگر هزینه نهایی کمتر از قیمت باشد عرضه‌کننده می‌تواند سود خود را با افزایش تولید افزایش دهد و در مواردی که شرکت استخراج‌کننده منابع پایان‌پذیر است لازم است ذخایر بیشتری استخراج گردد اما این قاعده در مورد منابع پایان‌پذیر همواره صادق نیست زیرا شرکت می‌تواند نفت را ذخیره و در دوران کمیابی به‌فروش رساند. لذا این تئوری لزوما در مورد این شرکت‌ها حداکثرکننده سود نیست. عاملی که در بالا به آن توجه نشده و در این مورد باید مورد توجه قرار گیرد اصل هزینه فرصت است، یک بشکه نفت فروخته شده یک بشکه غیرقابل موجود در آینده است.[2]

1. See Crabbe, Philippe J.1983.
2. See Stephen W.salant,The World Bank Reaserch Observer, Vol. 10, No.1(February 1995).

در هرحال مطالعات بررسی ارتباط تولید با مصرف منابع پایان‌پذیر در حال حاضر گسترش یافته است. برخی از این مطالعات به بررسی رابطه و نقش تکنولوژی در امکان حفظ و یا ارتقا توان استحصال از این منابع پرداخته‌اند. این مطالعات بر این عقیده هستند که دیدگاه کلاسیک ارتباط میان نهاده‌ها با تولید برای واحدی که تولیدکننده منابع پایان‌پذیر است دیدگاه کاملی نیست و لذا به بررسی دقیق فرآیند تولید و نقش عوامل مختلف از جمله تکنولوژی در آن پرداختند.

در مطالعات بعدی نیز به این ویژگی منابع پایان‌پذیر کم و بیش توجه شده است کریستین گروث و پال‌شو (۲۰۰۰) به‌بررسی تاثیر نقش منابع پایان‌پذیر در ایستایی رشد درون‌زا در شرایطی که این منابع دارای بازدهی صعودی نسبت به مقیاس هستند پرداختند[1].

در مطالعه‌ای که در آمریکا توسط کادینگتون و موس (۱۹۹۸)[2] در خصوص اثر تکنولوژی و تخلیه‌سازی بر صنعت نفت‌خام آمریکا انجام شد اثرات پیشرفت‌های تکنولوژیکی در کاهش هزینه‌ها و افزایش ذخایر نفتی بررسی گردید.

۳. تحولات تکنولوژی در بخش نفت و گاز

مطالعات خوبی در ارتباط با بررسی اثرات تکنولوژی در تولید واکتشاف نفت‌خام وجود دارد. در بسیاری از موارد تشخیص اینکه یک ابداع و تکنولوژی نو تا چه مدت می‌تواند در صنعت دوام آورد امکان‌پذیر نیست. مطالعه‌ای که در سال ۱۹۶۶ توسط شورای ملی نفت آمریکا (NPC)[3] انجام شد در بردارنده تاریخ توسعه بیش از ۲۰۰ تکنولوژی استفاده شده برای کشف و بازیافت نفت‌خام از ۱۹۴۷ تا ۱۹۶۵ است.

این بررسی سه مرحله پیشرفت را معرفی می‌کند:

۱. مرحله تجربی ـ آزمایش فیلد (دوران نوزادی) ۲. مرحله نیمه اثباتی ـ تست حوزه‌ی استخراج (دوران جوانی) ۳. تایید نهایی در آزمایش‌ها و پذیرش کلی.

این مراحل با چرخه ابداع ـ اختراع ـ تغییرات تکنولوژیکی ارتباط نزدیکی دارند. مطالعات انجام شده توسط NPC در دوره فوق (۱۹۶۵-۱۹۴۷) برای مطالعات بعدی (۹۰-۱۹۶۶) نیز به عنوان الگو قرار گرفت. چهار مرحله در توسعه مراحل تغییرات تکنولوژیکی اضافه شده‌اند:

۱. طبقه‌بندی اطلاعات مربوط به تکنولوژی‌های مربوطه و جمع‌آوری اطلاعات؛

1. See Christian Groth and Poul Schou, 2000.
2. See John T. Cuddington* and Diana L. Moss, 1998.
3. National Petroleum Council

۲. طبقه‌بندی اطلاعات مربوط بر اساس سال پایه (منبع اطلاعات به‌دست آمده براساس سال، نوع توسعه و نوع اختراع)؛

۳. تالیف و گردآوری پیشرفت‌های تکنولوژیکی بر حسب زمان برای هر یک از بخش‌های تکنولوژی اکتشاف ؛

۴. شناسایی تکنولوژی‌هایی که می‌توانند به عنوان تغییرات تکنولوژیکی سال در نظر گرفته شوند.

حدود یک دهه از تغییرات تکنولوژیکی شامل تکنولوژی‌های جدید کامپیوتری و یا کاربرد این تکنولوژی‌ها در کامپیوتر برای بوجود آوردن تکنیک‌ها و یا تجهیزات می‌گذرد. کامپیوتری کردن در ابتدا در موارد ذیل استفاده گردید:

۱. لرزه‌نگاری؛

۲. سنگ مخزن و سیستم‌های سنجش سیال برای وسعت کمتر در حفاری.

اکثریت تغییرات تکنولوژی وابسته به کامپیوترها بعد از سال ۱۹۷۰ رخ داده است. همانطور که در جدول یک نشان داده شده است بازتاب پذیرش کامپیوتر در بسیاری از زمینه‌های اقتصادی در این دوره زمانی است، در صنعت نفت‌خام کامپیوترها امکان پردازش‌های سریع داده‌ها در حد زیاد را پیدا کرده‌اند و انتقال و ارسال داده‌ها از مکان‌های دور به‌دفاتر مرکزی و همچنین‌قابلیت و توانایی تداخل داده‌ها را بالا برده‌اند و ارتقا داده‌اند.

برای مثال اولین کامپیوترهای مرتبط با تغییرات تکنولوژیکی در علم زمین‌شناسی، برای اندازه‌گیری چگالی تغییرات حدود سال ۱۹۶۱ باعث تغییرات تکنولوژیکی شد.

پردازش دیجیتالی داده‌های لرزه‌نگاری در سال‌های ۱۹۶۵ ارایه و گسترش یافت و پیشرفت‌های بعدی در زمینه استفاده از میکرو کامپیوترها و پردازنده‌های مرکزی، مربوط به سال‌های اولیه دهه ۱۹۸۰ می‌گردد.

استفاده از رایانه در حفاری این امکان را پدید آورده است که با سازگار کردن و به‌هم پیوند دادن بسیاری از متغیرها در این زمینه شامل سرعت، وزن و زاویه دستگاه‌های حفاری، عملیات حفاری را از جنبه‌های مختلف بهینه نماید.

این تکنولوژی احتمالاً در نتیجه بهبود بهره‌وری مرتبط با استفاده بهینه از ابزار و اجتناب از اتلاف زمانی[1] در طی عملیات حفاری کاربرد دارد. همچنین شایان ذکر است که بانک اطلاعاتی ناشی از رایانه‌ای کردن حفاری، این امکان را به بنگاه می‌دهد که آن با استفاده از تجربیات گذشته به بهبود عملیات در مناطق جغرافیایی مشابه اقدام نماید.

1. Down Time

جدول ۱. پیشرفت‌های تکنولوژی کامپیوتر در اکتشاف و توسعه بخش نفت‌خام در دنیا

طبقه	تغییرات تکنولوژی	سال استفاده از تکنولوژی	طبقه	تغییرات تکنولوژی	سال استفاده از تکنولوژی
لرزه‌نگاری	لرزه‌نگاری دو بعدی	۱۹۷۵	اندازه‌گیری میزان گرانروی اکتشاف	تحلیل‌های کامپیوتری	۱۹۶۱
حفاری	کامپیوتری کردن بهینه‌سازی حفاری	۱۹۷۷	روش‌های پیش‌بینی	به‌کارگیری مدل‌های ریاضی در کامپیوترهای دیجیتالی	۱۹۶۲
حفاری	کامپیوتری کردن داده‌های حفاری	۱۹۷۸	سنگ مخزن و ارزیابی سیستم سیال	تحلیل‌های پیشرفته کامپیوتری از بازدهی چاه‌ها	۱۹۶۳
لرزه‌نگاری	لرزه‌نگاری سه بعدی	۱۹۸۱	سنگ مخزن و ارزیابی سیستم سیال	ارزیابی کامپیوتری از آرایش لایه‌ها	۱۹۶۵
سنگ مخزن و ارزیابی سیستم سیال	شبیه‌سازی مقداری مخزن (سه بعدی، نسل دوم)	۱۹۸۲	لرزه‌نگاری	فرآیند دیجیتالی داده‌ها	۱۹۶۵
لرزه‌نگاری	تحلیل داده‌های مربوط به میزان تخلخل و نفوذپذیری	۱۹۸۳	سنگ مخزن و ارزیابی سیستم سیال	تحلیل‌های پیشرفته کامپیوتری از تغییرات درجه حرارت	۱۹۶۸
حفاری	انتقال کامپیوتری داده‌های حفاری(دورسنجی)	۱۹۸۳	لرزه‌نگاری	تحلیل شتاب لرزه	۱۹۶۹
لرزه‌نگاری	لرزه‌نگاری سه بعدی (با رویکرد جدید)	۱۹۸۴	لرزه‌نگاری	پردازش مجدد لرزه نگاری‌های کاغذی	۱۹۷۰
لرزه‌نگاری	ترسیم عمودی لرزه‌نگاری	۱۹۸۴	لرزه‌نگاری	توالی نقاط هم عمق	۱۹۷۱
لرزه‌نگاری	کامپیوترهای شخصی	۱۹۸۵	سنگ مخزن و ارزیابی سیستم سیال	شبیه‌سازی مقداری مخزن (دو بعدی، اولین تولید)	۱۹۷۱
حفاری	بهینه‌کردن حفاری هیدرولیکی با کمک کامپیوتر	۱۹۸۶	حفاری	سیستم‌های کامپیوتری برای پیش‌بینی و کنترل حفاری	۱۹۷۱
لرزه‌نگاری	نرم افزار خود چین ناحیه‌ای	۱۹۸۷	لرزه‌نگاری	پردازش چند گانه لرزه‌نگاری داده‌ها	۱۹۷۲
لرزه‌نگاری	دسته‌بندی داده‌های متغیرهای حفاری	۱۹۸۸	سنگ مخزن و ارزیابی سیستم سیال	شبیه‌سازی مقداری مخزن (دو بعدی، نسل اول)	۱۹۷۱
سنگ مخزن و ارزیابی سیستم سیال	محاسبه دقیق فشار با کمک کامپیوتر	۱۹۹۰	لرزه‌نگاری	توالی نقاط دارای انعکاس یکسان	۱۹۷۲
سنگ مخزن و ارزیابی سیستم سیال	شبیه‌سازی مقداری مخزن (سه بعدی، نسل سوم)	۱۹۹۰	لرزه‌نگاری	نقشه‌کشی کامپیوتری	۱۹۷۳
لرزه‌نگاری	سیستمی کردن اکتشافات با کمک کامپیوتر	۱۹۹۰	لرزه‌نگاری	نمودار خطی عریض	۱۹۷۴

Source: the National Petroleum Council (NPC)

حدود یک‌پنجم از تغییرات تکنولوژی شامل تکنولوژی برای ارزیابی شکل‌گیری صخره‌های حامل هیدروکربور است. این تکنولوژی‌ها از پیشرفت علوم در رابطه با ترکیب و تغییرات شیمیایی پوسته زمین[1]، ساختمان طبقات زمین[2] و سیستم سیالات، حاصل شده‌اند.

قسمت عمده‌ای از این تغییرات تکنولوژیکی درسال‌های ۱۹۵۰ و ۱۹۶۰ رخ داده‌اند و در فعالیت‌های توسعه و اکتشاف به‌جای فنونی قرار گرفتند که در بیست سال قبل تغییر محسوسی در آنها صورت نگرفته‌بود. تغییرات تکنولوژیکی‌از آن زمان به بعد بیشتر روی

1. Geochimistry
2. Stratigraphy

پیشرفت در فرآیندهای فوق تمرکز یافته است. حدود یک‌پنجم دیگر از تغییرات تکنولوژیکی و نوسانات انرژی در ارتباط مستقیم با اکتشاف برای توسعه منابع غیرساحلی نفت‌خام است. مهم‌ترین پیشرفت‌های ساختارهای غیرساحلی ثابت شده و ثابت نشده و سیستم‌های شناور حفاری، توانایی برای مقاومت و تحمل محیط‌هایی است که با آنها سازگار نیست (دراقیانوس منجمدشمالی و دریای شمال). بیشتر از یک سوم از کل تغییرات تکنولوژیکی و نوسانات انرژی با حفاری در ارتباط می‌باشد. تعداد زیادی از پیشرفت‌ها در تکنولوژی‌حفاری در اواسط ۱۹۵۰ و اواخر ۱۹۶۰ و اوایل ۱۹۷۰ و اوایل ۱۹۸۰ رخ داده است.

نمودار ۱ نشان‌دهنده تغییرات تکنولوژیکی و تکنیک‌های جدید از ۱۹۴۷ تا ۱۹۹۰ است که در سه دوره متمرکز شده بودند که اوج آنها در سال‌های ۱۹۵۹ و ۱۹۷۱ و ۱۹۷۲ و ۱۹۸۳ و ۱۹۸۴ رخ داده است. تعداد زیادی از تغییرات تکنولوژیکی که هر سال تغییر کرده‌اند و حوزه آنها از ۱۲ در سال ۱۹۷۲ به ۱ در سال‌های ۱۹۴۷، ۱۹۵۱، ۱۹۶۴، ۱۹۸۰ و ۱۹۸۹ رسیده است. میانگین و میانه آنها به ترتیب ۴/۶۵ و ۴ می‌باشد. احتمالا توسعه تکنولوژی در به‌وجود آوردن فضای حاصل مثبت بوده‌است، وابستگی‌های موقتی نیز که به تکنولوژی‌های پیشین وجود داشت با توسعه تکنولوژی فعالیت‌های غیرساحلی و توسعه ابزار و لوازم ومواد حفاری، از میان رفت. اغلب کامپیوتری‌شدن درحفاری و زلزله‌شناسی در سال ۱۹۸۰ شروع به رشد کرده که به‌سرعت سبب توسعه تکنولوژی‌های دیگر گردیده است.

متغیر سری زمانی تکنولوژی با توضیحی که در فوق ارائه شد، توسط NPC برای دوره ۱۹۹۰-۱۹۴۷ جمع‌آوری گردیده است. در این مقاله ما با استفاده از روش سری‌زمانی ARMA سری‌های تکنولوژی را برای دوره ۱۳۸۲-۱۳۷۰ (برابر ۲۰۰۳-۱۹۹۱) پیش‌بینی نموده‌ایم. برای این منظور در ابتدا مانایی سری زمانی تکنولوژی با استفاده از روش دیکی - فولر بررسی گردید، سپس با استفاده از توابع همبستگی و توابع همبستگی جزیی مختلف مرتبه مختلف AR و MA بررسی و در نهایت انتخاب AR(5) و AR(12) و MA(4) مناسب‌ترین تخمین را ارایه داد که نتایج آن در ذیل آورده شده است.

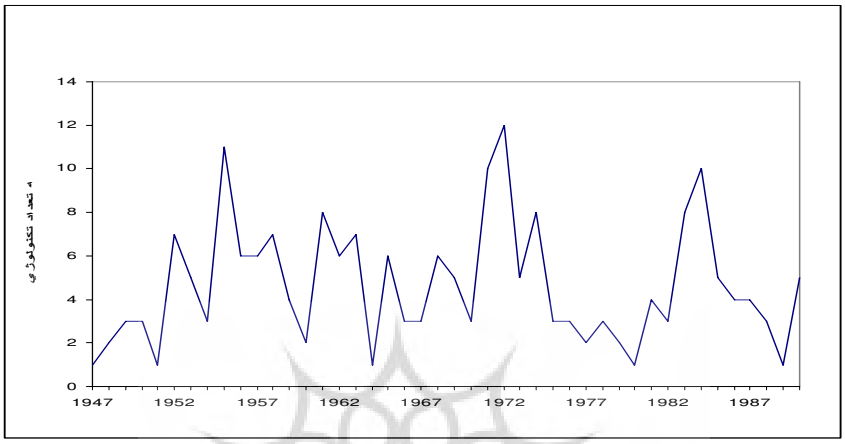
TECH =3.34+[AR(5) =-0.224, AR(12) = 0.4962 , MA(4) = -0.957, BACKCAST = 1350] (1)
(7.99) (-2.09) (4.64) (-48.07)

R2-BAR=0.88

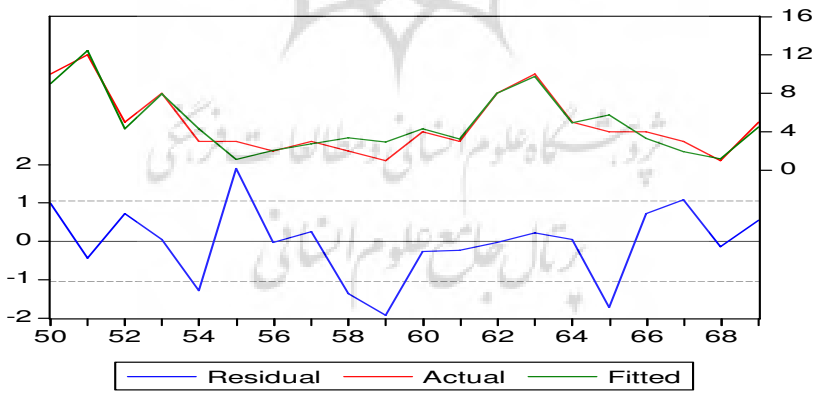
D.W.=2.06

نمودار ۲ روند مقادیر واقعی و برازش شده متغیر تکنولوژی را طی دوره نشان می‌دهد.

نمودار ۱. تغییرات تکنولوژیکی و تکنیک‌های جدید از ۱۹۴۷ تا ۱۹۹۰

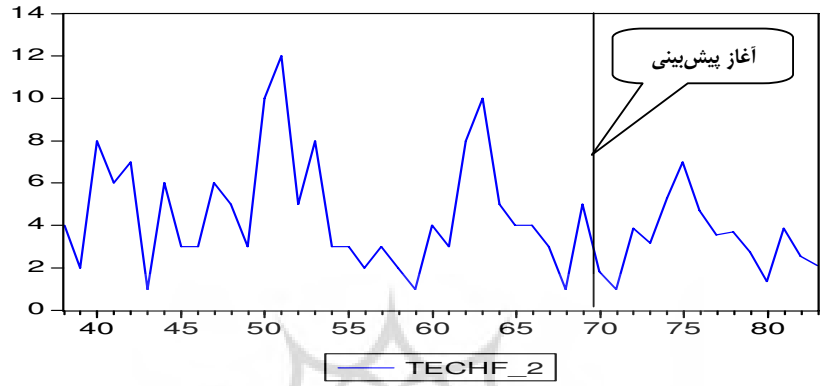


نمودار ۲. روند مقادیر واقعی و برازش شده متغیر تکنولوژی بر اساس روش ARMA



همچنین نمودار ۳ روند پیش‌بینی شده و واقعی متغیر تکنولوژی را برای دوره ۱۳۸۳-۱۳۳۸ نشان می‌دهد.

نمودار ۳. سری زمانی پیشرفت‌های تکنولوژی بخش نفت و گاز دنیا برای دوره ۱۳۸۳- ۱۳۳۸ (پیش‌بینی و واقعی)



۴. معرفی مدل و تخمین آن برای بخش نفت و گاز ایران

مطالعات انجام شده[1] برای تابع تولید در بخش نفت نشان می‌دهد که تولید نفت تابعی از رفتار مخزن و میزان تهی‌سازی آنست اما این تهی‌سازی با ضریبی که بیانگر نوع تکنولوژی مورد استفاده برای بهره‌برداری از آن است تعدیل می‌گردد. چنین ارتباطی را می‌توان در قالب تابع تولید با فرم کاب-داگلاسی به صورت ذیل نمایش داد:

$$Q_t = E^{\alpha_1} R_t \left(\sum_{s=0}^{t-1} Q_s\right)^{-\alpha_2} \qquad (۱)$$

که در آن Q میزان تولیدنفت، زیگمای Q_S تولید انباشته نفت، R ذخیره ثابت مخزن و E نمایانگر اثر تکنولوژی و بهبود فن‌آوری در تولید نفت و بهره‌برداری از مخزن است. در ادبیات رشد درون‌زا از دو شاخص برای بیان اثر تکنولوژی استفاده می‌گردد: یکی مدل تغییرات تکنولوژی یا TV[2] و دیگری مدل نردبانی[3] یا QL که هر دو روش منتهی به تخمین تابع هزینه اکتشاف می‌گردد که علاوه بر عوامل دیگر، به مقدار انباشت تکنولوژی نیز بستگی دارد. هر دو روش برای بخش نفت وگاز ایران آزمون گردید که نتایج با مدل TV سازگار بود که در ذیل به شرح آن می‌پردازیم.

در روش تغییرات تکنولوژی فرض می‌گردد که متغیر اثرات تکنولوژی در تابع

1. See John T. Cuddington* and Diana L. Moss, 1998.
2. Technology Varieties
3. Quality Ladders

فوق تابعی ازتعداد تکنولوژی، میزان حفاری و فعالیت‌های اکتشافاتی و زمین‌شناسی است و این رابطه به‌صورت ذیل نشان داده می‌شود:

$$E_t = N_t^{1/\varphi} D_t^{\beta_1} G_t^{\beta_2} \qquad (۲)$$

که در آن N= تعداد تکنولوژی‌های تجمعی در بخش نفت و گاز، D= میزان حفاری انجام شده در هر دوره (سال)، G= فعالیت‌های زمین‌شناسی و اکتشافی انجام شده در هر دوره است. با جایگزینی (۲) در معادله (۱) خواهیم داشت:

$$Q_t = (N_t^{1/\varphi} D_t^{\beta_1} G_t^{\beta_2})^{\alpha_1} R_t (\sum_{s=0}^{t-1} Q_s)^{-\alpha_2}$$

با استفاده از تابع تولید فوق و با قید هزینه در یک رابطه بهینه‌یابی می‌توان تابع هزینه اکتشاف را به‌صورت ذیل به‌دست آورد:

$$C_t = A.P_{Dt}^{\gamma_1/r} P_{Gt}^{\gamma_2/r} N_t^{-a_1/\varphi r} (\sum_{s=0}^{t-1} Q_S)^{a_2/r} Q_t^{1/r}$$

که در آن:

C= کل هزینه تولید نفت خام

P_D= قیمت فعالیت حفاری

P_G= قیمت فعالیت‌های اکتشافی زمین‌شناسی

A نیز تابعی از ذخایر (R) و سایر پارامترهای تابع تولید است. در رابطه فوق پارامتر r مثبت و برابر با:

$$r = \gamma_1 + \gamma_2 \equiv a_1\beta_1 + a_2\beta_2 \rangle 0$$

اگر $P_t = P_{Dt}^{\gamma_1/r} P_{Gt}^{\gamma_2/r}$ در نظر گرفته شود با تقسیم طرفین تابع هزینه فوق بر قیمت و تولید تابع هزینه متوسط واقعی[1] برای نفت به‌صورت زیر به‌دست خواهد آمد:

$$C_t / P_t.Q_t = A.N_t^{-a_1/\varphi r} (\sum_{s=0}^{t-1} Q_S)^{a_2/r} Q_t^{1/r}$$

با لگاریتم‌گیری از طرفین خواهیم داشت:

$$LN(C_t / P_t.Q_t) = LN(A) - a_1/\varphi.r \ln(N) + a_2/r \ln(\sum_{s=0}^{t-1} Q_S) + (1-r)/r \ln(Q_t) \qquad (۲)$$

1. Real Average Cost Function

معادله تابع هزینه متوسط فوق برای بخش تولید نفت وگاز در ایران و با در نظر گرفتن دو سناریو برای استفاده از تکنولوژی تصریح و با استفاده از روش متغیر ابزاری (*IV*) برای دوره ۱۳۸۲-۱۳۴۷ تخمین زده شد:

سناریوی اول: با در نظر گرفتن فرآیند کامل پیشرفت جهانی تکنولوژی نفت و گاز در ایران و با این فرض که از آخرین تکنولوژی روز دنیا استفاده گردیده است. چنین رویکردی با توجه به تابع هزینه فوق و با استفاده از روش IV برای دوره ۱۳۸۲-۱۳۴۷ تخمین و نتایج ذیل حاصل گردید:

$$LOG(AC_t) = 1.26 + 2.33*LOG(QS_t) - 1.32*LOG(Q_t) - 0.517*LOG(N1t)$$
$$(-0.35)\ (3.9)\qquad (-10.6)\qquad (-0.51)$$
$$-0.15*T + 0.15*DUM7382*T - 3.2DUM7382 + 0.34dum5354 - 0.45D70 \qquad (۳)$$
$$(-6.9)\quad (5.3)\qquad (-2.9)\qquad (1.99)\qquad (-2.1)$$

R2-BAR=0.93
D.W=1.8

در تابع فوق AC_t هزینه متوسط واقعی تولید سالانه نفت وگاز در شرکت ملی نفت ایران[۱]، QS تولید تجمعی نفت و گاز، Q تولید نفت و گاز، $N1$ تکنولوژی انباشته اکتشاف و تولید نفت و گاز در جهان[۲]، T متغیر روند، DUM7382 متغیر موهومی برای دوره ۱۳۸۲-۱۳۷۳ برای نشان دادن اصلاحات ساختاری ناشی از رشد قابل توجه سرمایه‌گذاری در بخش نفت وگاز و تحولات منتج از برنامه دوم توسعه اقتصادی بر این بخش و دوران دوم بازسازی بعد از جنگ و DUM5354 متغیر مجازی برای نشان دادن شوک قیمتی افزایش قیمت نفت در سالهای ۱۳۵۳ و ۱۳۵۴ است که باعث افزایش شدید تولید و سرمایه‌گذاری‌ها در این مقطع گردید. روند هزینه متوسط تولید نفت در نمودار ۴ نشان داده شده است.

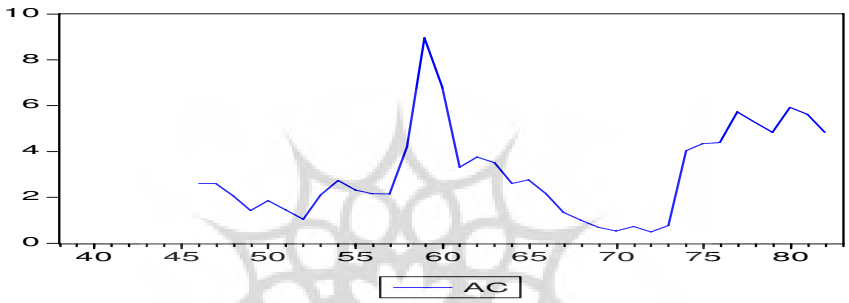
همچنان‌که از نتیجه تخمین ملاحظه می‌گردد علی‌رغم اینکه علامت تمامی متغیرها مطابق انتظار می‌باشد اما متغیر تکنولوژی طی دوره بی‌معنا شده است. ضریب تخمینی برای تکنولوژی که در واقع نمایانگر سهم بهره‌وری ناشی از تکنولوژی در کاهش هزینه تولید

۱. برای محاسبه هزینه متوسط بخش نفت و گاز مجموع تشکیل سرمایه ثابت ناخالص به قیمت‌های واقعی سال ۱۳۷۶ با حقوق و دستمزد پرداختی به نیروی کار محاسبه و تقسیم بر مجموع تولید نفت و گاز همان سال گردیده است.

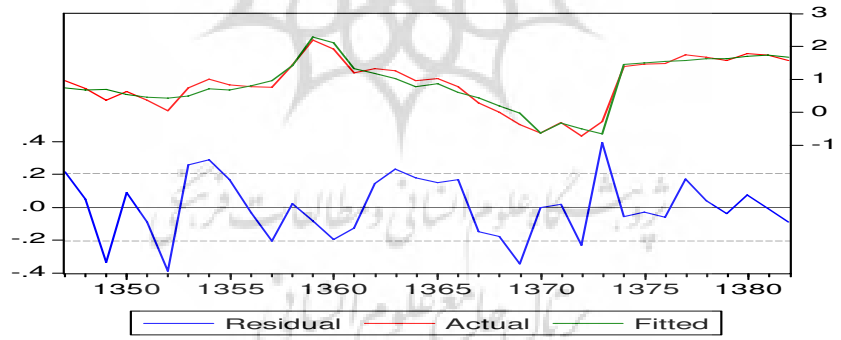
۲. از همان اطلاعات تکنولوژی بخش نفت وگاز دنیا استفاده گردیده است. تاکنون مطالعه مشابهی برای بخش نفت و گاز ایران به‌طور مستقل انجام نشده است و در واقع مدل تاثیری را نشان می‌دهد که در صورت استفاده از فن‌آوری روز دنیا در این بخش می‌توانست برای بخش نفت و گاز ایران ایجاد گردد.

است، بیانگر میزان تاثیرگذاری متغیر تکنولوژی در کاهش هزینه متوسط تولید است. به‌عبارت دیگر بیان می‌دارد یک درصد تغییر در شاخص تکنولوژی به‌طور متوسط چند درصد هزینه متوسط تولید را کاهش خواهد داد (همچنان‌که ملاحظه می‌گردد این ضریب برای دوره مورد بررسی بی‌معنا شده است). نمودار ۵ روند واقعی و برازش شده معادله هزینه متوسط فوق را نشان می‌دهد.

نمودار ٤. روند هزینه متوسط تولید نفت و گاز در ایران



نمودار ۵. مقایسه مقادیر واقعی و برآورد شده هزینه متوسط در معادله۳



سناریوی دوم: در این سناریو با توجه به بی‌معنا شدن متغیر تکنولوژی تجمعی طی دوره مورد بررسی مدل برای زمان صحیح استفاده از تکنولوژی با ثابت فرض کردن تکنولوژی اکتشاف و تولید نفت از سال‌های آخر دوره، مورد آزمون قرار گرفت. نتایج آزمون‌ها نشان داد که تابع هزینه متوسط تولید نفت طی سال‌های ۱۳۸۲-۱۳۶۰ هیچ‌گونه تاثیر معناداری از تکنولوژی نمی‌پذیرد و لذا فرآیند تکنولوژی از سال ۱۳۶۰ به بعد ثابت در

نظر گفته شده است. با در نظر گرفتن این فرض که با واقعیات حاکم بر بخش استخراج نیز سازگار می‌باشد؛ نتایج تخمین مدل به‌صورت ذیل حاصل گردید:

LOG(ACt) =-15.18+5.17*LOG(Q S(-1))-1.19*LOG(Q t)–3.15*LOG(NF t)

(t:) (-1.63) (2.9) (-10) (-1.7) -

0.24*T+0.15*DUM*T-3.5DUM-0.45D70 (۴)

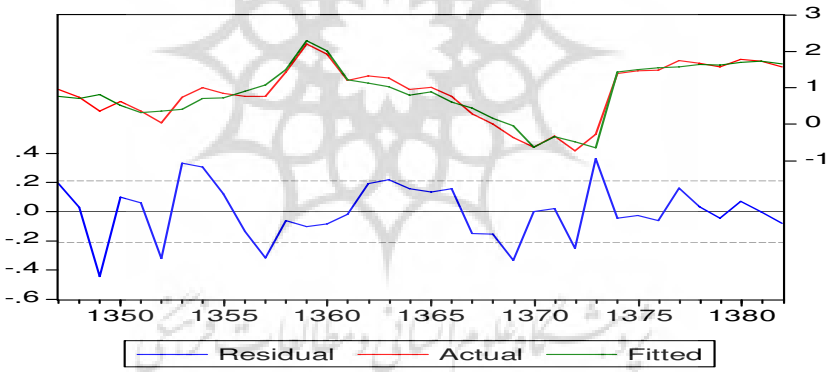
(-4.91) (5.3) (-3) (-1.97)

R2-BAR=0.92

D.W=1.8

که در آن متغیر NF_t شاخصی است از مجموع پیشرفت‌های تکنولوژی جهانی در بخش نفت و گاز که در دوره مذکور برای ایران از سال ۱۳۶۰ به بعد ثابت در نظر گرفته شده است. نمودار ۶ مقادیر برآورد شده و واقعی رگرسیون فوق را نشان می‌دهد.

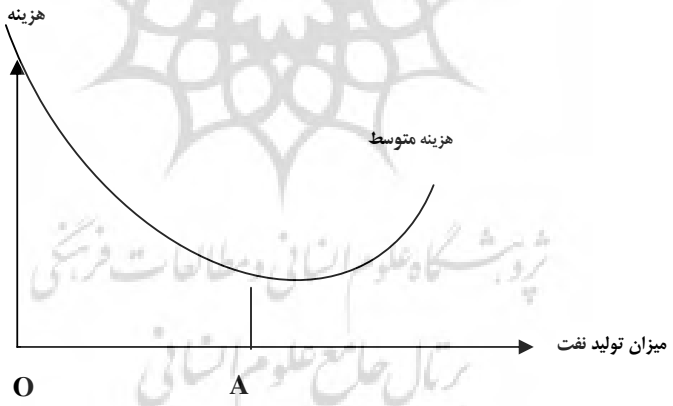
نمودار ٦. مقایسه مقادیر واقعی و برآورد شده هزینه متوسط واقعی تولید نفت و گاز در ایران و پسماندهای آن



همچنان‌که در جدول ۱ نیز ملاحظه می‌گردد تکنولوژی‌های بعد از سال ۱۳۶۰ شامل تکنولوژی‌هایی که از سال ۱۹۸۰ به بعد به‌وجود آمده‌اند این دسته از تکنولوژی‌ها شامل لرزه‌نگاری سه بعدی، شبیه‌سازی مقداری مخزن (سه بعدی، نسل دوم)، تحلیل داده‌های مربوط به میزان تخلخل و نفوذپذیری، انتقال کامپیوتری داده‌های حفاری(دورسنجی)، لرزه‌نگاری سه بعدی(با رویکرد جدید)، ترسیم عمودی لرزه‌نگاری، بهینه‌کردن حفاری هیدرولیکی با کمک کامپیوتر، نرم‌افزار خود چین ناحیه‌ای، سیستمی کردن اکتشافات با کمک کامپیوتر و... است. بررسی‌های مقدماتی حاکی از استفاده

محدود و نامحسوس از چنین متدهایی در فرآیند اکتشاف تولید و استخراج نفت‌خام بوده است[1]. نتایج مدل نشان می‌دهد کلیه ضرایب تخمینی معنادار و علامت‌ها موافق تئوری می‌باشند. ضریب تولید تجمعی برابر با ۵/۱۷ به دست آمده است که بیانگر شدت استفاده از منابع نفتی طی دوره مورد بررسی است. افزایش یک درصد در تولید تجمعی نفت موجب می‌گردد که هزینه متوسط تولید نفت به میزان ۵/۱۷ درصد افزایش یابد. از طرف دیگر تغییرات تولید تجمعی نرخ تخلیه‌سازی منابع را مشخص می‌سازد با این تعبیر یک درصد تخلیه‌سازی منابع نفتی ایران ۵/۱۷ درصد افزایش هزینه به‌دنبال خواهد داشت. ضریب متغیر تولید نفت منفی و برابر ۱/۱۹- به‌دست آمده است. علامت منفی این ضریب نشانگر همان ویژگی وجود بازده صعودی نسبت به مقیاس منابع پایان‌پذیر است که در تحلیل مبانی نظری اشاره‌ای به آن گردید[2]. به‌عبارت دیگر همچنان‌که نمودار ۷ نشان می‌دهد تولید نفت در ناحیه OA انجام می‌شود و چنانچه افزایش یابد بدون تردید درآمد نیز افزایش خواهد یافت اما در این صورت دیگر فرصتی برای فروش در آینده و بهره‌مندی از درآمدهای آتی آن نخواهد بود.

نمودار ۷. روند کلی هزینه متوسط تولید

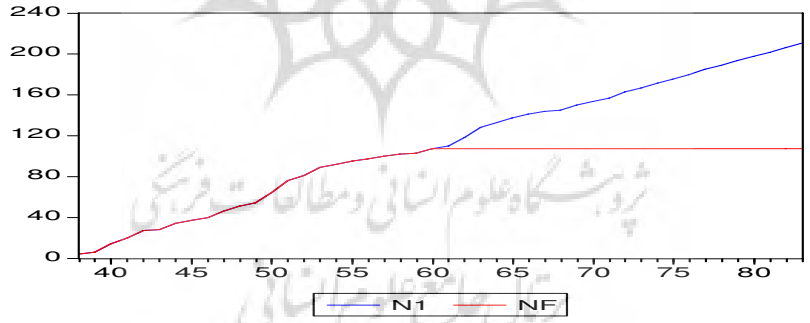


۱. البته این مطلب نیازمند بررسی دقیق‌تر زمان دقیق استفاده از هریک از این تکنولوژی‌ها در صنعت نفت‌خام ایران است. چنین بررسی در دست مطالعه می‌باشد و نتایج آن به‌زودی منتشر خواهد شد. لذا رویکرد اصلی این مقاله در ارتباط با تکنولوژی، اثبات عدم همزمانی استفاده از این تکنولوژی‌ها مطابق پیشرفت‌های روز دنیا در بخش نفت و گاز ایران بوده است.

۲. این علامت منفی در بخش نفت آمریکا نیز با الگویی که توسط موس و کادینگتون (۱۹۹۸) انجام شد حاصل گردید. در مورد بخش نفت ایران این مسئله به عوامل دیگری نظیر ناکافی بودن سرمایه‌گذاری در دهه شصت و اوایل دهه ۷۰ و همچنین محدودیت در عرضه به‌دلیل سهمیه اوپک نیز مرتبط بوده است.

بدین ترتیب با توجه به نتایج مدل چنانچه تولید نفت به میزان یک درصد افزایش یابد هزینه متوسط تولید به‌طور متوسط برابر ۱/۱۹- درصد کاهش خواهد یافت. ضریب تکنولوژی نیز برابر ۳/۱۵- به‌دست آمده است. تکنولوژی همچنان‌که گفته شد برای سال‌های ۱۳۶۰ به بعد ثابت در نظر گرفته شده است و علت آن نیز همچنان‌که ذکر شد هیچ ارتباط معناداری میان تغییرات هزینه و روند تکنولوژی انباشته دنیا در بخش نفت و گاز طی سال‌های ۱۳۸۲-۱۳۶۰ مشاهده نگردید زیرا انتظار برآنست که اثرات تکنولوژی در کاهش هزینه و ارتقا بهره‌وری تولید نمایان گردد این فرض حداقل تا زمانی‌که استدلال منطقی مخالف یا مکملی در میان نباشد قابل دفاع خواهد بود. مقایسه ضرایب تکنولوژی و تولید انباشته نتایج قابل توجهی را به‌دست می‌دهد. همچنان‌که ملاحظه می‌گردد ضریب تولید انبوه که نمایانگر نرخ تخلیه‌سازی منابع نفتی است بزرگ‌تر از قدر مطلق ضریب تکنولوژی است این واقعیت گویای آنست که در صورت تغییرات درصدی برابر، تکنولوژی موجود در بخش نفت و گاز قادر به جبران هزینه‌های تخلیه‌سازی نیست. با توجه به نتایج مدل ۴ برای محاسبه بهره‌وری حاصل از استفاده تکنولوژی در بخش نفت و گاز مدل در دو حالت استفاده و عدم استفاده از تکنولوژی محاسبه گردید. نمودار ۸ روند

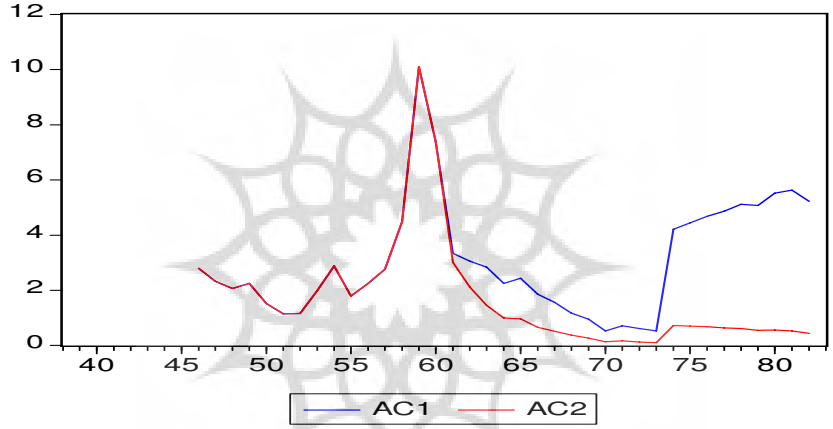
نمودار ۸. روند تکنولوژی و فرض ثبات آن از سال ۱۳۶۰



تکنولوژی بخش نفت و گاز را در مدل تخمینی برای زمانی که از سال ۱۳۶۰ ثابت فرض گرفته شده و برای زمانی که روند معمول خود را دارد نشان می‌دهد. در این نمودار *NF* روند تکنولوژی انباشته با فرض ثبات آن از سال ۱۳۶۰ و *N1* روند معمول آن‌را نشان می‌دهد. همچنین نمودار ۹ روند هزینه متوسط شرکت ملی نفت ایران و بهره‌وری حاصل از استفاده تکنولوژی را با توجه به این دو حالت نشان می‌دهد.

در این نمودار AC1 معرف روند هزینه متوسط تولید نفت در شرکت ملی نفت ایران است زمانی که تکنولوژی تولید برای ۱۳۸۲-۱۳۶۰ ثابت فرض شود و AC2 معرف روند آن در صورت استفاده از تکنولوژی روز دنیاست. میزان صرفه‌جویی ناشی از بکار گیری تکنولوژی ریال برای هر بشکه نفت در جدول ۲ نشان داده شده است که با توجه به مقدار هزینه متوسط تولید، این رقم به مرور در طول دوره افزایشی است و از حداقل ۹ درصد هزینه در سال ۶۱ تا ۹۱ درصد هزینه متوسط در سال ۸۲ تغییر می‌کند. روند این تغییرات در نمودار ۱۰ آورده شده است.

نمودار ۹. روند تخمین هزینه با تکنولوژی معمول و ثبات آن از سال ۱۳۶۰

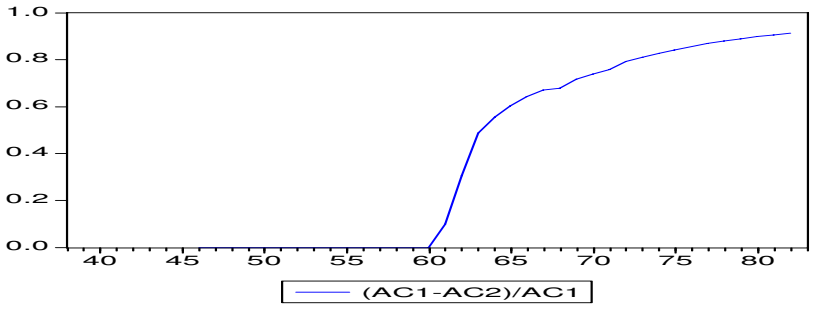


جدول ۲. میزان بهره‌وری حاصل از صرفه‌جویی در هر بشکه در صورت استفاده از تکنولوژی روز دنیا در بخش نفت و گاز کشور

سال	۱۳۶۱	۱۳۶۲	۱۳۶۳	۱۳۶۴	۱۳۶۵	۱۳۶۶	۱۳۶۷	۱۳۶۸	۱۳۶۹	۱۳۷۰
بهره‌وری حاصل از صرفه‌جویی در هر بشکه به‌قیمت‌های ثابت سال ۷۶	۰/۳۲۳	۰/۹۳۶	۱/۳۸۵	۱/۲۵۲	۱/۴۶۹	۱/۱۹۶	۱/۰۴۵	۰/۷۹۶	۰/۶۸۸	۰/۳۹
سال	۱۳۷۱	۱۳۷۲	۱۳۷۳	۱۳۷۴	۱۳۷۵	۱۳۷۶	۱۳۷۷	۱۳۷۸	۱۳۷۹	۱۳۸۰
بهره‌وری حاصل از صرفه‌جویی در هر بشکه به‌قیمت‌های ثابت سال ۷۶	۰/۵۳۸	۰/۴۹	۰/۴۲۶	۳/۴۹۱	۳/۷۴۹	۴/۰۱	۴/۲۳	۴/۵۱	۴/۵۲	۴/۹۵۹

سال	۱۳۸۱	۱۳۸۲
بهره‌وری حاصل از صرفه‌جویی در هر بشکه به‌قیمت‌های ثابت سال ۷۶	۵/۱۰۵	۴/۷۷۸

نمودار ۱۰ سهم حاصل از بهره‌وری ناشی از استفاده تکنولوژی در کل هزینه متوسط تولید



در نهایت اینکه همچنان‌که نتایج مدل نشان می‌دهد مشکلات مربوط به تحریم اقتصادی جنگ و همچنین عدم وجود سیستم مشخص برای انعقاد قرارداد به‌منظور جذب و جلب سرمایه‌گذاری خارجی و تکنولوژی روز مرتبط با بخش نفت و گاز (به‌خصوص در سال‌های جنگ) باعث گردید تا فعالیت‌های بالادستی شرکت نفت از بخشی از پتانسیل‌های صرفه‌جویی و افزایش تولید ناشی از به‌کارگیری تکنولوژی بازماند.

منابع و مآخذ

۱. حساب‌های ملی بانک مرکزی ج.ا.ایران، سال‌های مختلف .

۲. بانک اطلاعات آماری مؤسسه مطالعات بین‌المللی انرژی.

۳. آمار و اطلاعات دریافتی از واحدهای مختلف شرکت ملی نفت ایران.

۴. حساب‌های ملی ایران، مرکز آمار ایران، سال‌های مختلف.

5. Crabbe, Philippe J.1983. "the contribution of L.C.Gary to the Economic Theory of Exhaustible Natural Resources and its Roots in the History of Economic Thought." Journal of Environmental Economics and Management10(3,sep)

6. Epple, Dennis N. 1975. *Petroleum Discoveries and Government Policy*, Cambridge, Mass: BallingerPublishing Company.

7. Barnett, Harold J. and Chandler Morse. 1963. *Scarcity and Growth: The Economics of NaturalResource Availability*. Baltimore: Johns Hopkins University Press.

8. Bohi, Douglas R. and Michael A.Toman. 1984. *Analyzing Nonrenewable Resource Supply*, Washington,D.C.: Resources for the Future.

9. Dasgupta, Partha S. and Geoffrey M. Heal. 1974. "The Optimal Depletion of Exhaustible Resources,"*Review of Economic Studies*, 3-28.

10. Devarajan, Shantayanan and Anthony Fisher. 1982. "Exploration and Scarcity," *Journal of PoliticalEconomy* 90(6), 1279-1290.

11. Kamien, Morton I., and Nancy L. Schwartz. 1978. "Optimal Exhaustible Resource Depletion withEndogenous Technical Change," *Review of Economic Studies,* 45, 179-196.

12. Pindyck, Robert S. 1978. "The Optimal Extraction and Production of Nonrenewable Resources," *Journalof Political Economy* 86 (5), 841-861.

13. Livernois, John R. 1988. "Estimates of Marginal Discovery Costs for Oil and Gas," *Canadian Journalof Economics* 21(2), 379-393.

14. Livernois, John R. and David L. Ryan. 1989. "Testing for Non-Jointness in Oil and Gas Exploration:A Variable Profit Function Approach," *International Economic Review* 30(2), 479-505.

15. Livernois, John R. and Russell S. Uhler. 1987. "Extraction Costs and the Economics of NonrenewableResources," *Journal of Political Economy* 95(1), 195-203.

16. Uhler, Russell S. 1979. *Oil and Gas Finding Costs*. Calgary: Canadian Energy Research Institute.

17. Slade, Margaret. 1982. "Trends in Natural-Resource Commodity Prices: An Analysis of the TimeDomain," *Journal of Environmental Economics and Management,* 9, 122-137.

18. Stephen W.salant," The Economics of Natural Resource Extraction: A Primer For Development Economists", The World Bank Reaserch Observer, Vol. 10, No.1(February 1995).

19. Christian Groth and Poul Schou, 2000, "Can Nonrenewable resources Alleviate the Knife-edge Character of Endogenous Growth", Instituute of Economics, University of Copenhagen, January 31 2000.

20. John T. Cuddington* and Diana L. Moss, 1998, "Technological Change, Depletion and the U.S. Petroleum Industry", Georgetown University Working Paper.

21. John T. Cuddington* and Diana L. Moss, 1998, "Technological Change, Depletion and the U.S. Petroleum Industry", Georgetown University Working Paper.

22. Kamien, Morton I & Schwartz, Nancy L, 1978. "Optimal Exhaustible Resource Depletion with Endogenous Technical Change," Review of Economic Studies, Blackwell Publishing, vol. 45(1), pages 179-96.

23. Devarajan, Shantayanan & Fisher, Anthony C, 1981. "Hotelling's "Economics of Exhaustible Resources": Fifty Years Later," Journal of Economic Literature, American Economic Association, vol. 19(1), pages 65-73.

24. Livernois, John R & Ryan, David L, 1989. "Testing for Non-jointness in Oil and Gas Exploration: A Variable Profit Function Approach," International Economic Review, Department of Economics, University of

Pennsylvania and Osaka University Institute of Social and Economic Research Association, vol. 30(2), pages 479-504.

25. Livernois, John R & Uhler, Russell S, 1987. "Extraction Costs and the Economics of Nonrenewable Resources," Journal of Political Economy, University of Chicago Press, vol. 95(1), pages 195-203.

26. Romer, Paul M, 1990. "Endogenous Technological Change," Journal of Political Economy, University of Chicago Press, vol. 98(5), pages S71-102.

27. Paul Romer, 1991. "Endogenous Technological Change," NBER Working Papers 3210, National Bureau of Economic Research, Inc.

28. Solow, Robert M, 1974. "The Economics of Resources or the Resources of Economics," American Economic Review, American Economic Association, vol. 64(2), pages 1-14.

29. Devarajan, Shantayanan & Fisher, Anthony C, 1982. "Exploration and Scarcity," Journal of Political Economy, University of Chicago Press, vol. 90(6), pages 1279-90.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی