فصل‌نامه مطالعات اقتصاد انرژی/ سال پانزدهم / شماره ۶۲/ پاییز ۱۳۹۸/ صفحات ۱۸-۱

توسعه و مقایسه روش‌های مبتنی بر روش گری و فرکتال در پیش‌بینی قیمت گاز طبیعی

محمدرضا شاه نظری[۱]
دانشیار مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصری الدین طوسی، تهران، ایران،
shahnazari@kntu.ac.ir

سعید امامی کوپائی
دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت مالی دانشگاه آزاد، saeed.emami57@gmail.com

شیوا زمانی
دانشیار اقتصاد و مدیریت، دانشگاه شریف، تهران، ایران، zamani@sharif.edu

علیرضا حیدرزاده
استادیار مدیریت مالی دانشگاه آزاد واحد تهران شمال، ایران،
a_heidarzadeh@iau-tnb.ac.ir

علی صابری
دانشجوی دکترا دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی،
تهران، ایران، Saberi.ale@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۹/۰۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۳/۲۰

چکیده

امروزه اهمیت پیش‌بینی قیمت حامل‌های انرژی بر توسعه اقتصاد و صنعت، بر کسی پوشیده نیست. در این میان پیش‌بینی قیمت گاز طبیعی به‌عنوان یکی از حامل‌های مهم انرژی و نقش ویژه‌ای که در تأمین انرژی با توجه به پاک بودن یافته است، می‌تواند ابزار مهمی در تصمیم‌گیری توسعه صنایع تلقی گردد. در این مقاله ضمن بررسی رفتار غیرخطی قیمت گازطبیعی در یک بازه چندساله، با معرفی روش‌های گری (GM)، توسعه یافته گری (DGM)، تلفیقی فرکتالی گری (FDGM)، ارائه روش ترکیبی II (IFS-AF) و در نهایت ارائه روش کلی، از آنها برای پیش‌بینی قیمت گاز طبیعی با استفاده از این روش‌ها اقدام شده است. نتایج حاصل از پیش‌بینی قیمت با استفاده از روش‌های مزبور، نشان دهنده کارایی این روش‌ها بوده است. در همین حال با توجه به فرکتالی بودن قیمت گاز طبیعی در بازه مورد بررسی، نتایج نشان می‌دهد که خطای پیش‌بینی با استفاده از روش کلی همواره کمتر از ۲ درصد می‌باشد؛ از طرفی با توجه به انعطاف‌پذیر بودن روش، نتایج بسیار خوبی با استفاده از ترکیب روش‌های مبتنی بر گری و فرکتال حاصل شده است.

طبقه‌بندی JEL: C53, C32

کلیدواژه‌ها: گاز طبیعی، پیش‌بینی قیمت، روش گری، فرکتال، انباشتگی

---

۱. نویسنده مسئول

۱- مقدمه

پیش‌بینی قیمت یکی از ابزارهایی است که خریداران، فروشندگان و سفته بازان سهام، کالا و سایر ابزارهای مشتقه مالی به آن علاقه زیادی دارند، زیرا در صورت موفقیت در این امر می‌توانند سود زیادی چه در بازارهای فیزیکی و چه در بازارهای مالی از معاملات خود به‌دست آورند. این امر به‌ویژه برای محصولات استراتژیک اهمیت بیشتری دارد. حامل‌های انرژی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین و کلیدی‌ترین کالاهای مورد استفاده در اقتصاد، نقش تعیین‌کننده‌ای در روند حرکتی اقتصاد دارد. اقتصاد جهانی وابستگی شدیدی به انرژی دارد از جمله حیاتی‌ترین انرژی‌ها در طی سال‌های اخیر گاز طبیعی می‌باشد. تقاضای جهانی انرژی طی سال‌های اخیر به دلیل نگرانی‌های زیست‌محیطی به سمت سوخت‌های با محتوای کربن کمتر متمایل شده است، به‌طوری‌که تعداد زیادی از کشورهای جهان در پیمانی موسوم به کیوتو، توافق نمودند تا از انتشار گازهای گلخانه‌ای در قلمرو خود جلوگیری نمایند. بدین منظور باید سوخت مصرفی خود را از سوخت‌هایی مانند ذغال سنگ، گازوئیل و نفت کوره که آلاینده می‌باشند، به گاز طبیعی که سوختی پاک می‌باشد مبدل نمایند. به همین دلیل جهان به گاز طبیعی روی آورده است. کشور ما با در اختیار داشتن ذخایر گازی بالا (۳۴ تریلیون مترمکعب) دارای رتبه نخست ذخایر گازی جهان می‌باشد. از این رو ضرورت این موضوع بیشتر مشخص می‌شود. اصولاً پیش‌بینی قیمت منابع انرژی و تحلیل رفتار آینده آن از دو منظر اهمیت دارد:

۱- به‌دست آوردن روند حرکتی قیمت حامل‌های انرژی برای تصمیم‌گیری در زمینه خرید و یا فروش و یا سرمایه‌گذاری در این حوزه.

۲- استفاده از این روند برای قیمت‌گذاری حامل‌های مشتقه گاز طبیعی مانند LPG, GTL, NGL و سایر فرآورده‌های دیگر.

گاز طبیعی تمیزترین سوخت فسیلی است و به میزان قابل توجهی نسبت به ذغال‌سنگ یا نفت موجب انتشار کمتر کربن و همچنین سایر آلاینده‌ها می‌گردد. حدود یک پنجم از نیاز انرژی جهان از گاز طبیعی تأمین می‌شود، در مقایسه این عدد برای نفت یک سوم و برای ذغال‌سنگ یک چهارم است؛ بنابراین، توسعه مدلل برای پیش‌بینی قیمت دقیق گاز طبیعی و روند تغییرات قیمت بسیار مهم است، زیرا این پیش‌بینی‌ها معمولاً به‌منظور تعیین طیف وسیعی از تصمیمات نظارتی که هم عرضه و

تقاضای گاز طبیعی و هم شرکت‌کنندگان در بازار را پوشش می‌دهند مورد استفاده است.

قیمت گازطبیعی تا اوایل دهه ۱۹۸۰ به‌واسطه قوانین فدراسیون تنظیم مقررات انرژی آمریکا[1] که محدودیت‌هایی را در استفاده از این سوخت به‌عنوان سوخت جایگزین اعمال می‌نمود، به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم تحت تأثیر این مقررات بود، اما تحت قوانین فعلی که تنها شرکت‌های توزیع محلی[2] مخاطب آن هستند، قیمت آن با تبعیت از قانون عرضه و تقاضا در یک بازار رقابتی تعیین می‌شود (آگبون و اِراگ[3] ۲۰۰۳).

مقررات جدید قیمت‌گذاری در بازار گاز یک بازار رقابتی را ایجاد کرده که در آن تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان می‌توانند کالا را با قیمت منصفانه ارائه و دریافت کنند. این آزادی همچنین یک مبنای خوب برای بازار مشتقات است. از اوایل دهه ۱۹۹۰، بازارهای مالی گاز طبیعی با آزاد شدن بازار از قید قوانین محدودکننده، شروع به کار کردند و شبکه ملی آمریکا برای حمل‌ونقل گاز طبیعی گسترش یافت. تمام این تحولات، یک زیرساخت قابل اتکا برای تجارت گاز طبیعی و در دسترس‌بودن در سراسر کشور را فراهم نمود. بازارهای مالی جدید برای کالاهای انرژی شامل قراردادهای خرید آتی، به سرمایه‌گذاران و معامله‌گران کمک می‌کند تا سرمایه‌گذاری کم ریسک‌تری را تجربه کنند. در آوریل ۱۹۹۰، بورس اوراق بهادار نیویورک برای تأمین قراردادهای آتی گاز طبیعی با هنری هوب در لوئیزیانا به‌عنوان محل تحویل مبادله شد.

۲- مبانی نظری و مروری بر پیشینه پژوهش

یکی از نخستین مدل‌های توصیف رفتار منابع تجدیدناپذیر مانند گاز طبیعی تحت عنوان قانون هاتلینگ شناخته می‌شود (هاتلینگ[4]، ۱۹۳۱)، اساس مدل مبتنی بر این نظریه است که تولیدکنندگان یک کالا (مانند گاز طبیعی) تمایل بیشتری به فروش کالای خود تا زمانی که مزایای فروش بیشتر از مزایای نگهداری آن است، دارند؛ به عبارت دیگر، هزینه استخراج و ارزش فعلی کالا از یک طرف و هزینه ذخیره‌سازی و

1. Federal Energy Regulatory Commission (FERC)
2. Local Distribution Companies (LDCs)
3. Agbon & Araque
4. Hotelling

ارزش آینده کالا -که با نرخ بهره مرتبط هستند- بر میزان تمایل فروش و عرضه کالا مؤثر هستند. فرض بر این است که بازارها کارآمد هستند و عایدی فروش سود خواهد بود. این قانون، ظهور فن‌آوری‌های جدید که ممکن است سبب کاهش هزینه‌های ذخیره‌سازی گردد را در نظر نمی‌گیرد. پیندایک[1] مدل هاتلینگ را به‌صورت اختصاصی برای نفت و گاز با توجه به افزایش ذخایر نفت و گاز به‌وسیله اکتشاف، بهینه‌سازی کرده‌است (پیندایک، ۱۹۷۸). برای پیش‌بینی قیمت گاز طبیعی در بلندمدت یا کوتاه‌مدت، رویکردها و مدل‌های مختلفی توسط محققان مختلف ارائه شده که هر یک مزایا و معایب خاص خود را دارند. مدل‌های چند متغیره‌ای که عوامل مختلف را در نظر می‌گیرند، دقیق‌تر از مدل‌های تک متغیره هستند. با این حال، متغیرهای برون‌زا اغلب بایستی خود نیز پیش‌بینی شوند. برای مثال، مدل پیش‌بینی قیمت گاز طبیعی مبتنی بر قیمت نفت، درگیر عدم اطمینان در قیمت نفت خواهد بود، پیش‌بینی متغیر در آینده بیش از یک گام زمانی آسان نیست. قیمت نفت خام ماهیتی تصادفی دارد که اغلب اوقات به‌طور نرمال توزیع می‌شود و گاهی اوقات به‌صورت غیرخطی رفتار می‌کند، قیمت نفت خام تنها تابع عرضه و تقاضا نیست و به متغیرهای بیشتری مانند پیشرفت تکنولوژی پایه، محصولات نهایی، الگوهای مصرف، رشد جمعیت و ... بستگی دارد. این پیچیدگی، ماهیت غیرخطی قیمت نفت خام را نشان می‌دهد. عرضه نفت نقش مهمی در مدل‌سازی قیمت نفت دارد. تغییرات کوچک در عرضه موجب تغییرات زیادی در قیمت نفت می‌گردد که حاکی از ارتباط قوی بین عرضه و انعطاف‌پذیری قیمت می‌باشد که ممکن است خطی نباشد (پاور و استیونسن[2]، ۱۹۸۷). گرچه رابطه بین قیمت گاز طبیعی و قیمت نفت یک همبستگی خطی نیست، برخی از همبستگی‌های ساده و خطی توسعه‌یافته است که تنها به‌عنوان یک قاعده کلی مفید است (هسِیه[3]، ۱۹۹۰). بعضی از مدل‌ها بر اساس تعریف کشش قیمت ایجاد شده‌اند. پارامتر کشش قیمت، برابر نسبت درصد تغییر در میزان نیاز مصرف و درصد تغییر در قیمت کالا است. فیلوویچ[4] (۲۰۰۷) مدل‌های سری زمانی را برای پیش‌بینی قیمت‌های گاز طبیعی مورد استفاده

1. Pindyck
2. Power & Stevenson
3. Hsieh
4. Pilipovic

قرار داد. دوریس و اکونومودیس[1] (۱۹۹۹) هر دو مدل اقتصادسنجی چند متغیره و مدل شبکه عصبی را برای پیش‌بینی قیمت گاز طبیعی در کوتاه‌مدت مورد استفاده قرار دادند. اینیکوری و همکاران[2] (۲۰۰۱) اثر قیمت نفت و گاز طبیعی در صنعت نفت و گاز را با ایجاد یک مدل رگرسیون خطی، به‌منظور پیش‌بینی قیمت‌ها مورد بررسی قرار دادند. آنها کشش قیمت و نسبت تقاضا به عرضه را به‌عنوان متغیرهای برون‌زا در نظر گرفتند. دو مدل پیش‌بینی توسط نوگالس و همکاران[3] (۲۰۰۲) برای پیش‌بینی قیمت روزانه گاز طبیعی ارائه شده‌است. آنها از روش تجزیه و تحلیل سری زمانی برای ایجاد رگرسیون پویا و انتقال برای بازار اسپانیا و کالیفرنیا استفاده نمودند که به ترتیب به‌طور متوسط دارای خطاهای ۵ و ۳ درصد بوده است. لو و همکاران[4] (۲۰۰۷) همبستگی کارائی رابطه گری، بین اقتصاد، مصرف انرژی و انتشار دی‌اکسید کربن را در تایوان مورد بررسی قرار دادند. مصرف گاز طبیعی تحت تأثیر عوامل بسیاری است که باعث می‌شود رابطه این متغیر و عوامل مؤثر، بسیار پیچیده و غیرخطی باشد. پراکندگی اطلاعات در این سیستم وجود دارد. در نتیجه، برای پیش‌بینی مصرف گاز طبیعی، می‌توان از روش پیش‌بینی تئوری گری[5] استفاده نمود. موریتا و همکاران[6] (۱۹۹۶) از روش پیش‌بینی تئوری گری در مطالعه خود برای پیش‌بینی حداکثر تقاضای سالانه برق استفاده کردند. دلیل استفاده آنها از این روش این است که رابطه بین تقاضای برق (متغیر وابسته) و متغیرهای مستقل مانند شرایط آب و هوایی یا نوسانات تجاری لزوماً واضح نیست، اما آنها بر تقاضای برق تأثیر می‌گذارند. گری یک روش پیش‌بینی نوآورانه را شامل می‌شود و به‌طور عمده توسط مهندسان و دانشمندان و به میزان بسیار کمتر توسط اقتصاددانان اقتباس شده‌است. هسو و چن[7] (۲۰۰۳) از یک مدل پیش‌بینی گری برای پیش‌بینی بلندمدت تقاضای برق در تایوان استفاده کردند. ژیونگ و همکاران[8] (۲۰۱۰) در مقاله خود تحت عنوان استفاده از مدل پیش‌بینی گری جهت مدیریت عرضه انرژی بر

1. Doris & Economides
2. Inikori et al
3. Nogales et al
4. Lu et al
5. Grey
6. Morita et al
7. Hsu & Chen
8. Xiong et al

پیش‌بینی‌های مهندسی مدیریت انرژی چین با استفاده از روش ترکیبی مدل‌سازی پیش‌بینی گری تمرکز کردند. ژو و هی[1] (۲۰۱۳) یک مدل گری تعمیم‌یافته را با توانایی شبیه‌سازی بیشتر برای پیش‌بینی تولید سوخت در چین پیشنهاد دادند.

تولید و مصرف نفت و گاز طبیعی می‌تواند به‌عنوان یک سیستم گری در نظر گرفته شود. دلیل انتخاب سیستم گری برای تولید و مصرف نفت و گاز طبیعی این است که رابطه بین تولید و مصرف نفت و گاز (متغیر وابسته) و عوامل مؤثر بر آنها (متغیرهای مستقل) نامشخص و نامعین است (گوروکو و همکاران[2]، ۲۰۰۴).

فاطمه دهدار و همکاران[3] (۲۰۱۵) در تحقیق خود از روش پیش‌بینی گری برای پیش‌بینی دقیق تولید و مصرف نفت و گاز طبیعی تا سال ۲۰۲۵ استفاده کردند، زیرا نفت و گاز هسته اصلی منابع انرژی را تشکیل می‌دهند و برنامه‌ریزی بهتر، با پیش‌بینی‌های قوی‌تر، امکان پذیرتر می‌باشد.

در این مقاله، ضمن معرفی یک روش گری گسسته بهبود یافته، از آن به‌عنوان پیش‌بینی قیمت گاز طبیعی استفاده شده‌است. علاوه بر این با تلفیق بررسی فرکتالی داده‌ها و کاربرد آنها بر مجموعه انباشتگی درجات مختلف، یک روش ترکیبی توسعه یافته است. در این روش، معادله دیفرانسیل درجه اول گری برای هر یک از مجموعه‌های انباشتگی تولید و با محاسبه ضرائب مجهول آن، مقادیر آتی پیش‌بینی می‌شوند.

۳- روش‌شناسی پژوهش

روش گری توسعه یافته (DGM)[4]

روش گری (GM)[5] مبتنی بر عملگر مولد انباشتگی[6] یا AGO، معمولاً به‌منظور کاهش از میزان تصادفی بودن داده‌های خام به‌کار گرفته می‌شود. این فرآیند تولید داده، به یک دنباله افزایشی مونوتونیک همخوان با حل یک معادله خطی درجه اول عادی

1. Zhou & He
2. Gorucu et al
3. Dehdar et al
4. Developed Grey Method
5. Grey Method
6. Accumulated Generation Operation (AGO)

دیفرانسیل تبدیل می‌شود. در نتیجه با منحنی پاسخ که داده‌های خام بـا بهتـرین دقـت منطبق می‌گردد. در روش کلاسیک گری از یک معادله پیوسته دیفرانسیل عددی بـدین منظور استفاده می‌گردد. با توجه به کاربرد مورد نظر جهت تطبیق داده‌ها با یـک سـری زمانی گسسته، در این جا از یک عملگر دیفرانسیلی گسسته، مشابه معادله گری استفاده شده‌است. به‌صورت خلاصه روش (۱ و ۱)GM توسعه یافته را به شکل زیر می‌توان بیـان کرد:

۱- مجموع داده‌های اولیه شامل $N+1$ داده اولیه نـوع $X^{(0)} = \{x^0(i)\}_{i=0,1,2.....N}$ در نظر گرفته می‌شود.

۲- مجموع $X^{(1)}$ به‌وسیله اعمال عملگر $(1-AGO)AGO$ بر X^0 ساخته می‌شود:

$$X^{(1)} = \left\{\sum_{j=0}^{i} x^0(i)\right\}_{i=0....N} \qquad (۱)$$

۳- با توجه به نتایج $1-AGO$ که مشـابه یـک دنبالـه مونوتونیـک حاصـل از نتـایج منحنی معادله دیفرانسیل درجه اول عادی است، پاسخ‌های معادله دیفرانسـیل گسسـته زیر به‌عنوان تعریف $1-AGO$ در نظر گرفته می‌شود:

$$\left(\hat{x}^1(k+1) - \hat{x}^1(k)\right) + a\hat{x}^1 = b \qquad (۲)$$

در اینجا پارامتر a پارامتر توسعه و b پارامتر کنترلی می‌باشند (کایاکـان و همکـاران[1] (۲۰۱۰)) و (کوانپینگ و ژیاویی[2] (۲۰۱۳)). بایستی توجه کرد که در روش کلاسیک بـه جای معادله ناپیوسـته ۲، از معادلـه دیفرانسـیل پیوسـت $\frac{d\hat{X}^{(1)}}{dt} + a\hat{X}^{(1)} = b$ اسـتفاده می‌شود. با توجه به اینکه دنباله داده‌ها بر حسب زمان به فرم گسسته هسـتند، مشـخص است که استفاده از معادله گسسته سازگاری بهتری با داده‌ها خواهد داشت.

با اعمـال تقریـب $\hat{x}^{(1)}_{(k+1)} - \hat{x}^{(1)}_{(k)} = x^{(1)}_{k+1} - x^{(1)}_{k} = x^{(0)}_{(k)}$ و تعریـف مقـادیر دنبالـه $z^{(1)}_{(k)}$ به‌صورت زیر:

$$\hat{x}^1_{(k)} \sim Px^{(1)}_{(k)} + (1-P)x^{(1)}_{(k+1)} = z^{(1)}_{(k)} \quad k = 0,1,.... \qquad (۳)$$

معادله ۲ تبدیل به معادله نهایی زیر خواهد شد:

$$x^0_{(k)} + az^{(1)}_{(k)} = b \qquad k = 0,1,2,.... \qquad (۴)$$

1. Kayacan et al
2. Quanping & Xiaoyi

پاسخ معادله ۲ را می‌توان بر حسب پارامترهای a و b به‌صورت زیر به‌دست آورد:

$$\hat{x}_{(K)}^{(0)} = \begin{cases} X_{(0)}^{0}(1-a)^{k} + b\left(\frac{1-(1-a)^{k}}{a}\right) = \left[x_{(0)}^{0} - \frac{b}{a}\right](1-a)^{k} + \frac{b}{a} & a \neq 1 \\ X_{(0)}^{0} + b & a = 1 \end{cases} \quad (۵)$$

از سوی دیگر با استفاده از روش حداقل مربعات، پارامترهای a و b را می‌توان محاسبه کرد. با بازنویسی معادله (۴) می‌توان معادله زیر را نوشت:

$$x_{k}^{0} = -a\left(\frac{1}{2}\left(x_{(k)}^{1} + x_{(k+1)}^{1}\right) - b\right. \quad \text{(۶- الف)}$$

و یا:

$$\sum (x_{(k)}^{0} + az_{(k)}^{(1)} - b)^{2} = R^{2} \quad \text{(۶- ب)}$$

و با مشتق گیری از R^2 (مربع خطا) بر حسب پارامترهای a و b، می‌توان نوشت:

$$a = \frac{\begin{vmatrix} \sum x_{(k)}^{0} & N \\ \sum z_{(k)}^{1} x_{(k)}^{0} & \sum Z_{(k)}^{1} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} \sum z_{(k)}^{1} & N \\ \sum (z_{(k)}^{(1)})^{2} & \sum Z_{(k)}^{1} \end{vmatrix}} \quad \text{(۷- الف)}$$

$$b = \frac{\begin{vmatrix} \sum Z_{(k)}^{1} & \sum x_{(k)}^{0} \\ \sum (Z_{(k)}^{1})^{2} & \sum x_{(k)}^{0} Z_{(k)}^{1} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} \sum Z_{(k)}^{1} & N \\ \sum (Z_{(k)}^{1})^{2} & \sum Z_{(k)}^{1} \end{vmatrix}} \quad \text{(۷- ب)}$$

در صورتی‌که مقدار دترمینان ماتریس مخرج رابطه (۷-ب) بی‌نهایت بزرگ (یا کوچک) باشد، یا به عبارت دیگر معادله یک معادله شبه تکین باشد، در این صورت می‌توان از یک روش عادی سازی (موروزف[1]، ۱۹۷۳) مانند روش عادی‌سازی تیخونوف[2] استفاده نمود.

با معرفی ماتریس $A = \left[-\frac{1}{2}\left(x_{(k)}^{1} + x_{(k+1)}^{1}\right) \text{و} 1\right]_{k=0,,,,,n-1}$ و بردار $B = \left[x_{(k)}^{0}\right]_{k=0,,,,,n-1}$، می‌توان نوشت:

$$\begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = (A^{T}A)^{-1}A^{T}B \quad (۸)$$

و یا با اعمال روش عادی‌سازی تیخونوف در حالتی که معادله شبه سینگولار باشد.

1. Morozov
2. Tikhonov

$$\begin{bmatrix} a^+ \\ b^+ \end{bmatrix} = (A^T A + \mu^2 A)^{-1} A^T B \qquad (۹)$$

که در اینجا a و b به‌عنوان بهترین تقریب پاسخ‌های معادله سینگولار و μ پارامتر عادی‌سازی تیخونوف است. a و b در واقع در معادله زیر صدق می‌کنند.

$$\left(A^T A + \mu^2 I\right) \begin{bmatrix} a^+ \\ b^+ \end{bmatrix} = A^T B \qquad (۱۰)$$

با استفاده از روش SVD[1]، ماتریس A را می‌توان به‌صورت $U \sum V^T$ نمایش داد که: $U = [u_1, u_2, \dots, u_n]$ و $V = [v_1, v_2]$ ماتریس‌های متعامد هستند و $\sum$ یک ماتریس قطری $N * L$ با دو مقدار مثبت حقیقی روی قطر است. مقادیر قطری σ_1 و σ_2 از ماتریس $\sum$ به‌عنوان مقادیر سینگولار شناخته می‌شوند و ستون‌های U و V به ترتیب به‌عنوان بردارهای یکین چپ و راست A نامیده می‌شوند. در این صورت $\begin{bmatrix} a^+ \\ b^+ \end{bmatrix} = VDU^T B$ که D ماتریس $N * L$ قطری با درایه‌های روی قطر $D_{1,2} = \sigma_{1,2} / \left(\sigma_{1,2}^2 + \mu^2\right)$ خواهد بود. در نهایت با استفاده از مقادیر a و b (یا a^+ و b^+) می‌توان داده‌های اولیه $X^{(0)}$ را به‌صورت بازساخت (یا پیش‌بینی) از رابطه زیر محاسبه نمود:

$$\hat{x}^0_{(K)} = (1 - a)^{k-1} \left(x^0_{(0)} - \frac{b}{a}\right)(-a) \qquad (۱۱)$$

معرفی روش تلفیقی تحلیل گری- فرکتال[2] (FDGM)

برای یک سری X^0 فرکتالی برای هر دو مقدار $x^0(i)$ و $x^0(j)$ می‌توان نوشت (پیترز[3] (۱۹۹۴)):

$$\log x^{(0)}(i) = \log C - D \log i \qquad (۱۲)$$

$$\log x^{(0)}(j) = \log C - D \log j \qquad (۱۳)$$

که در اینجا D بعد فرکتالی مجموعه X^0 می‌باشد. با استفاده از روابط (۱۲) و (۱۳) می‌توان بعد فرکتالی D را از رابطه (۱۴) محاسبه کرد.

$$D_{(i,j)} = \frac{\log(x^{(0)}(i)/x^{(0)}(j))}{\log(j/i)} \qquad (۱۴)$$

1. Singular Value Decomposition
2. Fractal Discrete Grey Method
3. Peters

زیرنویس (i,j) در اینجا به دلیل امکان تغییرات D به رابطه افزوده شده و بیانگر بعد فرکتالی حاصل از مقادیر سری $X^{(0)}$ در زمان‌های i و j می‌باشد. از سوی دیگر با معرفی عملگر AGO به‌صورت متوالی بر سری X^0 و سری‌های حاصل به ترتیب، مجموعه‌های انباشتگی $I_1, I_2, \dots$ حاصل می‌گردد که برای درایه‌های هر دو مجموعه I_k, I_{k+1} می‌توان نوشت:

$$x^{(k+1)}(j) = \sum_{i=0}^{j} x^{(k)}(i) \qquad (۱۵)$$
$$x^{(k+1)}(j) \in I_{k+1}, \qquad x^{(x)}(i) \in I_k$$

و مشابه رابطه (۱۵) بعد فرکتالی مجموعه حاصل از دو مؤلفه i و $i+1$ مجموعه I_k از رابطه زیر حاصل می‌شود:

$$D(I_k)_{i,i+1} = \frac{\log\left(\frac{x^k(i+1)}{x^k(i)}\right)}{\log\left(\frac{i+1}{i}\right)} \qquad (۱۶)$$

بدین ترتیب برای هر یک از مجموعه داده‌های اولیه و انباشتگی I_0 $\left(\text{سری } X^{(0)}\right)$ و I_1 (سری $X^{(1)}$) و یک مجموعه بعد فرکتالی متناظر به‌صورت زیر حاصل می‌گردد:

$$D^{(k)} = \left\{D_{0,1}^{(k)}, D_{1,2}^{(k)} \dots\dots D_{N-1,N}^{(k)}\right\} \quad k = 0,1,2 \dots \qquad (۱۷)$$

بر این اساس می‌توان الگوریتم بهبود یافته زیر را بر اساس GM(۱و۱) و استفاده از مجموعه بعدهای فرکتالی به‌کار برد:

گام اول: باتوجه به داده‌های اولیه، مجموعه‌های انباشتگی I_k ایجاد می‌شوند.

گام دوم: برای هر یک از مجموعه‌های بعد فرکتالی انباشتگی، پارامترهای a و b متناظر محاسبه می‌شوند.

گام سوم: با استفاده از پارامترهای a و b مقادیر فرکتال پیش‌بینی شده محاسبه می‌گردد.

با محاسبه مقدار فرکتال $(I_k)_{N,N+1}$، مقدار $x_{(N+1)}^{(k)}$ و در نتیجه $x_{(N+1)}^{(0)} \dots\dots, x_{N+1}^{(k-2)}, x_{(N+1)}^{(k-1)}$ قابل محاسبه خواهد بود. مبنای انتخاب مجموعه انباشتگی I_k برای این منظور، کمترین خطای کل در بین مجموعه‌ها است.

ارائه روش ترکیبی II[1] (IFS-AF)

با توجه به محاسبه دنباله مقادیر فرکتال برای هریک از درجه انباشتگی‌های I_k، برای هریک ازاین دنباله‌ها می‌توان یک تابع IFS میانیاب (و در نهایت یک تابع برونیاب) نوشت.

انتخاب دنباله $D(I_k)_{i,i+1}$ مناسب برای این منظور بر اساس کمینه خطای کل در این دنباله خواهد بود. با استفاده از محاسبه مقادیر پیش‌بینی فرکتال $D(I_k)_{N,N+1}$، مجدداً مقادیر $x_{N+1}^{(j)}$ برای $J = k-1, k-2, \dots 0$ قابل محاسبه خواهد بود.

ارائه روش کلی[2]

در بخش‌های گذشته، روش‌های مختلفی مبنی بر بررسی فرکتالی و تئوری GM معرفی و ارائه شد. این روش‌ها شامل روش تابع درون‌یاب فرکتالی IFS، روش توسعه یافته‌گری (DGM)، روش فرکتالی گری (FDGM) و روش IFS-AF، همگی به‌منظور پیش‌بینی قیمت به‌کار گرفته شدند، به عبارت دیگر وجود خطا و عدم قطعیت در نتایج آنها امری بدیهی است. اگرچه به‌منظور بهبود دقت و کارائی آنها در حالت کلی می‌توان از یک الگوی تلفیق بر مبنای کاهش خطا به‌صورت زیر بهره جست.

اگر $X^0 = \{x_{(i)}^0\}_{i=0,1,\dots,n+m}$ مجموعه اصلی داده‌ها و $\widehat{X}^0 = \{\hat{x}_k^0(j)\}_{\substack{j=n+1,\dots n+m \\ k=1,2,3,4}}$ مقادیر پیش‌بینی شده برای هر یک از چهار روش ذکر شده باشد، در استفاده از روش کلی، هدف، یافتن مجموعه وزن‌های مناسب به‌منظور ترکیب مقادیر پیش‌بینی شده روش‌ها جهت نیل به مقادیر پیش‌بینی شده دقیق‌تر می‌باشد. داده‌های $x^0(n+1)$ تا $(N = n+m)x^0(N)$ در اینجا به‌منظور جهت دهی نتایج با استفاده از پیش‌بینی انجام شده مقادیر پیش‌بینی برای $i \geq N+1$ محاسبه می‌گردد، مقادیر اوزان. $(k = 1,..,4)W_k$ که دارای شرط کلی $\sum_{j=1}^{4} w_{j=1}$ می‌باشند، باعث بهبود مقادیر پیش‌بینی شده با استفاده از رابطه زیر می‌گردند:

$$\hat{x}_8^0(j) = \sum_{k=1}^{4} w_k \hat{x}_k^0(j) \qquad j = n+1, \dots \tag{۱۸}$$

با تعریف $\sum i = \mathrm{diag}[h_{ij}]$، معادله مربوط به مقادیر وزنی را می‌توان به‌صورت زیر نمایش داد.

1. Internal Function System-Accumulated Fractal
2. General Method

$$\text{Min T} = [w_1 w_2 w_3 w_4]\begin{bmatrix} x_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & x_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & x_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & x_4 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \\ w_4 \end{bmatrix} \quad (۱۹)$$

همراه با قیود

$$w_j \geq 0 \;\; j = 1,2,\ldots 4, [1 \quad 1 \quad 1 \quad 1]\begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \\ w_4 \end{bmatrix} = 1 \quad (۲۰)$$

در حقیقت پاسخ معادله (۱۹) با استفاده از روش تکثیرکن‌های لاگرانژ[1] به شکل زیر قابل نمایش خواهد بود

$$w_j = \frac{1}{\sigma_j \sum_{j=1}^{4} \frac{1}{\sigma_j}} \qquad j = 1,2,3,4 \quad (۲۱)$$

تحلیل خطا

به‌منظور آزمون دقت نتایج پیش‌بینی روش به‌کار رفته، درصد خطای وابسته[2] (RPE) به‌وسیله مقایسه مقادیر واقعی و حاصل از پیش‌بینی در هر زمان مشخص (K) تعیین می‌گردد (موریتا[3] و همکاران، ۱۹۹۶).

$$\text{RPE} = \epsilon(K) = \left| \frac{x_{(k)}^{(0)} - \hat{x}_{(k)}^{(0)}}{x_{(k)}^{0}} \right| \times 100\% \quad (۲۲)$$

که در آن $\hat{x}_{(k)}^{(0)}$ و $x_{(k)}^{(0)}$ به ترتیب مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده در زمان k هستند. دقت کلی روش[4] (ARPE) به‌وسیله متوسط خطای وابسته به‌صورت زیر تعریف می‌گردد:

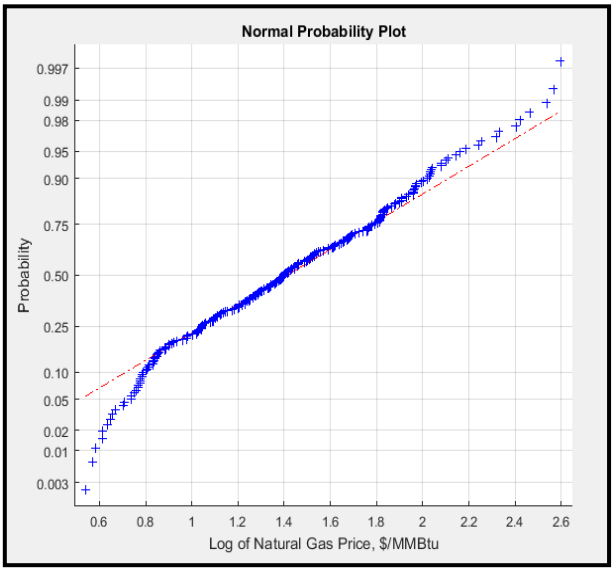
$$\text{ARPE} = \epsilon(\text{avg}) = \frac{1}{m-1}\sum_{i=1}^{m} \epsilon(k), \;\; k = 1,2,\ldots \quad (۲۳)$$

۴- یافته‌های پژوهش

نخستین قدم در مجموعه تحلیل‌های صورت گرفته در خصوص سری زمانی قیمت گاز تحلیل آماری و توزیع این داده‌ها می‌باشد. آزمایش نرمالیتی جاکو-برا[5] (جاکو و برا ۱۹۸۷) نشان می‌دهد که توزیع قیمت گاز نه تنها خطی بلکه حتی یک توزیع نرمال هم

1. Lagrange Multiplayer
2. Relative Percentage error
3. Morita et al
4. Average Relative Percentage error
5. Jarque-Bera

نیست، ولی تا حدودی از توزیع لگاریتمی نرمال تبعیت می‌کند. شکل (۱) توزیع لگاریتمی قیمت را بر حسب منحنی مرجع نرمال نشان می‌دهد. با توجه به شکل مشخص است که مقادیر لگاریتمی قیمت با انحراف اندکی از توزیع گوسین پیروی می‌کند.



منبع: یافته‌های تحقیق

شکل ۱. آزمون نرمالیتی سری زمانی قیمت گاز

همان‌طور ذکر شد با توجه به غیرخطی بودن سری زمانی قیمت گاز و جهت اطلاع از چگونگی رفتار فرکتالی این سری، اولین بررسی می‌تواند به یافتن توان هرست برای بازه‌های مختلف زمانی اختصاص یابد. آزمون فراکتال نیازمند مقدار قابل توجهی از داده‌ها است. به این منظور، برای بررسی ویژگی‌های فراکتال بازار جهانی گاز طبیعی، اطلاعات مربوط به قیمت گاز طبیعی مرکز هنری‌هاب بین اول ژانویه ۲۰۱۳ تا ۳۱ دسامبر ۲۰۱۷ (مجموع ۱۸۲۵ روز) مدنظر قرار گرفته‌است. شکل ۲ نشان دهنده توزیع داده‌های مورد اشاره می‌باشد که به خوبی نوسان قیمت در تبادل گاز طبیعی را بیان می‌دارد.

منبع: یافته‌های تحقیق

شکل ۲. قیمت گاز طبیعی هنری هاب بین اول ژانویه ۲۰۱۳ تا ۳۱ دسامبر ۲۰۱۷

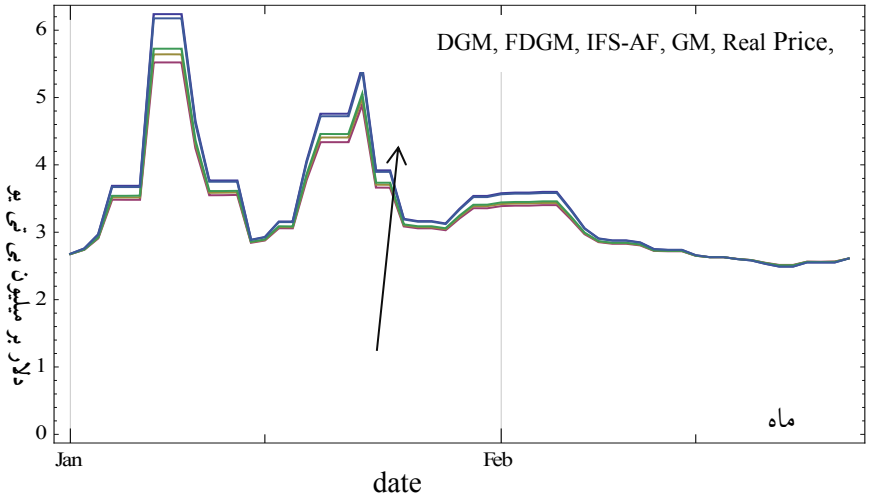
همچنین شکل (۲) نشان می‌دهد که قیمت گاز طبیعی دارای یک روند صعودی نزولی می‌باشد و داده‌ها پایدار نیستند. جهت کاهش تأثیر نوسان و بررسی‌های آماری از یک شاخص پایدارتر به‌عنوان بازگشت روزانه استفاده شده‌است:

$$R_t = \frac{\log(P_t)}{\log(P_{t-1})} \qquad (۲۰)$$

که درآن R_t عملکرد لگاریتمی در گام زمانی t، P_t و P_{t-1} به ترتیب قیمت گام زمانی t و گام زمان $t-1$ است. همچنین از آزمون ایستایی نیز برای سنجش عملکرد استفاده شده‌است. پس از اعمال آزمون توزیع نرمال و آزمون غیرخطی، می‌توان دریافت که سری عملکرد روزانه پایدار است و این مجموعه ویژگی‌های توزیع نرمال را نشان نمی‌دهد و ساختاری غیرخطی دارد. روش گری مبتنی بر عملگر مولد انباشتگی (AGO)، معمولاً به‌منظور کاهش از میزان تصادفی‌بودن داده‌های خام به‌کار گرفته می‌شود. این فرآیند تولید داده، به یک دنباله افزایشی مونوتونیک همخوان با حل یک معادله خطی درجه اول عادی دیفرانسیل تبدیل می‌شود. در نتیجه با منحنی پاسخ که داده‌های خام با بهترین دقت منطبق می‌گردد. در روش کلاسیک گری بدین منظور از یک معادله پیوسته دیفرانسیل عددی استفاده می‌گردد. با توجه به کاربرد مورد نظر جهت تطبیق داده‌ها با یک سری زمانی گسسته، در این جا از یک عملگر دیفرانسیلی گسسته، مشابه

معادله گری استفاده شده‌است. با حل معادله (۴) و محاسبه پارامترهای a و b و استفاده از آن در معادله گری درجه اول گسسته (۲) می‌توان مقادیر سری را بازسازی و برای آینده پیش‌بینی کرد. تلفیق روش بررسی فرکتالی و گری در این مقاله منجر به ارائه روش‌های مختلف پیش‌بینی قیمت شد. هریک ازاین روش‌ها می‌توانند بر حسب بازه زمانی و بازه قیمت‌ها نسبت به سایر روش‌ها مناسب‌تر باشند. به‌منظور استفاده بهینه از روش‌های توسعه یافته یک رویه کلی بر اساس کمینه کردن خطای پیش‌بینی معرفی و استفاده شده است. حسن اصلی این روش کلی، دستیابی به کمترین خطای پیش‌بینی مستقل از بازه داده هاست.

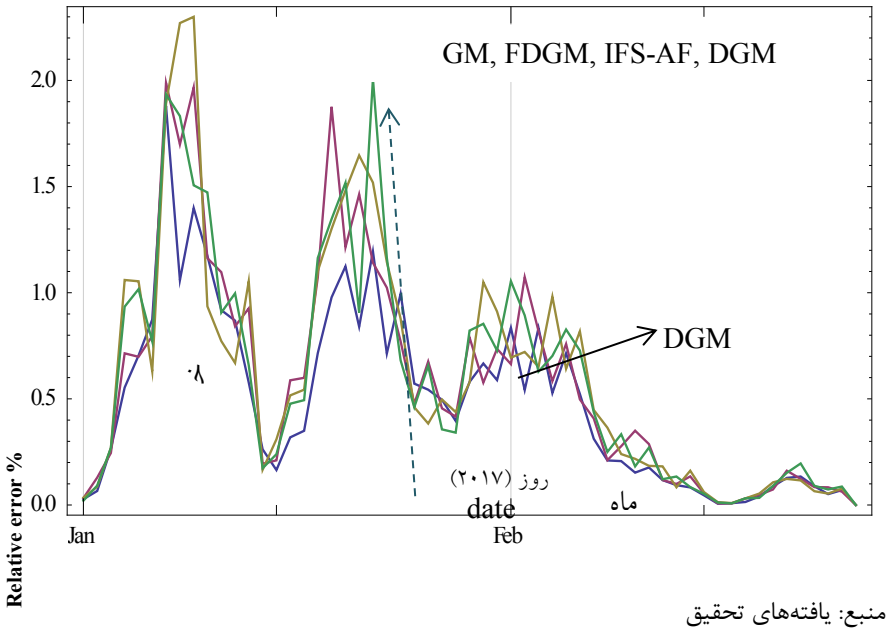
شکل (۳) مقادیر بازسازی شده سری داده‌ها و همچنین مقادیر پیش‌بینی شده برای ۶۰ روز آینده را به‌وسیله روش گری توسعه یافته و روش FDGM در مقایسه با مقادیر اصلی نمایش می‌دهد.



منبع: یافته‌های تحقیق

شکل ۳. مقادیر بازسازی شده سری داده‌ها و همچنین مقادیر پیش‌بینی شده با استفاده از روش‌های پیشنهادی

شکل (۴) همچنین خطای نسبی پیش‌بینی قیمت را برای این روش‌ها نشان می‌دهد. با توجه به شکل، بیشینه خطای پیش‌بینی حاصل از کلیه روش‌های توسعه یافته کمتر از ۳ درصد است که در روش کلی کمتر کاهش می‌یابد.



منبع: یافته‌های تحقیق

شکل ۴. مقادیر خطای نسبی پیش‌بینی قیمت برای روش‌های ارائه شده

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهاد

با توجه به مبتنی‌بودن ساختار اقتصاد انرژی بر قیمت و تولید منابع سوخت فسیلی به‌عنوان یکی از پرکاربردترین سبدهای انرژی، تخمین و برآورد قیمت این محصولات طی دهه‌های اخیر از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده است. لازم به ذکر است ایران با دراختیار داشتن منابع فراوان گاز طبیعی، نسبت به سرمایه‌گذاری کلان در تبدیل این کالا به کالاهای باارزش افزوده بالاتر مانند محصولات پتروشیمی در گروه بندی‌های مختلف اقدام نموده است. ازاین‌رو پیش‌بینی هر چه دقیق‌تر قیمت این کالا، می‌تواند ما را در پیشبرد منافع اقتصادی و سیاسی کشور یاری نماید. ادبیات متعارف در زمینه پیش‌بینی قیمت فرآورده‌های نفتی و انرژی ناشی از سوخت فسیلی، بیانگر پر رنگ بودن طبیعت تصادفی در بازار اینگونه فرآورده‌ها می‌باشد. این فرآیند تصادفی محققان ذیربط را به سمت معادلات همخوان با فرایندهای تصادفی سوق داده‌است.

روش گری مبتنی بر عملگر مولد انباشتگی (AGO)، معمولاً به‌منظور کاهش میزان تصادفی‌بودن داده‌های خام به‌کار می‌رود. با تولید داده، به یک دنباله افزایشی مونوتونیک

همخوان با حل یک معادله خطی درجه اول عملگر دیفرانسیلی گسسته، مشابه معادله‌گری استفاده شد. با حل معادله و محاسبه پارامترهای a و b و استفاده از آن در معادله‌گری درجه اول گسسته مقادیر سری زمانی بازسازی و برای آینده پیش‌بینی شد. همچنین با تلفیق بررسی شاخصه فرکتالی و روش گری ضمن معرفی روش‌های جدید و کاربرد آن بر درجات مختلف انباشتگی، مقادیر آتی قیمت گاز تخمین زده شده‌است. مقایسه نتایج حاصل با قیمت‌های اصلی، نشانگر کارایی مناسب هر یک از روش‌ها می‌باشد. گرچه استفاده از روش کلی سبب می‌شود که کمترین خطا مستقل از بازه داده‌ها حاصل شود.

منابع

Agbon, I. S., & Araque, J. C. (2003). “Predicting Oil and Gas Spot Prices Using Chaos Time Series Analysis and Fuzzy Neural Network Model” Society of Petroleum Engineers, doi:10.2118/82014-MS

Bera, Anil K. & Jarque, Carlos M. (1981). “Efficient tests for normality, homoscedasticity and serial independence of regression residuals: Monte Carlo evidence” Economics Letters. 7(4): 313–318.

Dehdar, F., Yap, S., Naghavi, M. S., & Dehdar, M. M. (2017). “Charting the Future Global Status of Oil and Natural Gas using Grey Forecasting”. Institutions and Economies. 8(3), 105-125.

Doris, R. F. & Economides, M. J. (1999). “Prediction of short-term natural gas prices using econometric and neural network models”, SPE Hydrocarbon Economics and Evaluation Symposium, 1-10,

Gorucu, F. B., Geris, P. U., Gumrah, F. (2004). “Artificial neural network modeling for forecasting gas consumption”. Energy Sources. 26(3), 299 – 307.

Hsu, C. C., & Chen, C. Y. (2003). “A modified Grey Forecasting Model for Long-Term Prediction”. Journal of the Chinese Institute of Engineers, 26(3), 301-308.

Hsieh, Y. (1990). “Natural Gas Price Projection: A Methodology”. American Gas Association Forecasting Review, 2.

Inikori, S. O., Kunju, M. K., Iledare, O. O. (2001). “The Responsiveness of Global E&P Industry to Changes in Petroleum Prices: Evidence From 1960-2000”. Society of Petroleum Engineers, doi:10.2118/68587-MS

Jarque, C. M., & Bera, A. K. (1987). A Test for Normality of Observations and Regression Residuals. International Statistical Review, 55(2), 163–172

Kayacan, E., Kaynak, O. & Ulutas, B. (2010). "Grey system theory- based models in time series prediction". Expert Systems with Application, 37(2), 1784-1789

Lu, I. J., Lin, S. J., & Lewis, C. (2007). "Decomposition and decoupling effects of carbon dioxide emission from highway transportation in Taiwan, Germany, Japan and South Korea". Energy Policy, 35(6), 3226-3235.

Morita, H., Kase, T., Tamura, Y., & Iwamoto, S. (1996). "Interval prediction of annual maximum demand using grey dynamic model". International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 18(7), 409-413.

Morozov., V.A., The principle of discrepancy in the solution of inconsistent equa-tions by Tikhonov's regularization method, Zhurnal Vychislitel'noy matematiky i matematicheskoy. siki, 13 (1973) 5. (in Russian), 10.

Nogales, F. J., Contreras, J., Conejo, A. J., & Espínola, R. (2002). "Forecasting next-day electricity prices by time series models". IEEE Transactions on Power Systems, 17(2), 342-348.

Peters, E. E. (1994). "Applying Chaos Theory to Investment and Economics, Fractal Market Analysis", John Wiley & Sons, Inc.

Pilipovic, D. (2007). "Energy Risk: Valuing and Managing Energy Derivatives", 2nd ed. McGraw Hill Professional.

Pindyck, R. S. (1978). "The optimal exploration and production of nonrenewable resources". The Journal of Political Economy, 86(5), 841-861.

Powers, L. W. & Stevenson, W. M. (1987). "Perceptions the Key to Oil Prices". Society of Petroleum Engineers, doi:10.2118/16838-MS

Quanping, H., & Xiaoyi, Y. (2013). "Base a EMD-grey model for textile export time series prediction", International Journal of Data Theory Application, 6(6), 29-38.

Xiong, H. Y., Chen, X. Y., Wang, W. B, (2010). "Prediction of China's energy consumption based on combination model". Science Technology and Engineering, 42, 67–70.

Zhou, W., & He, J. M. (2013). "Generalized GM (1, 1) model and its application in forecasting of fuel production". Applied Mathematical Modelling, 37(9), 6234-6243.

Development and Comparison of Methods Based on Grey and Fractal Models for Predicting Natural Gas Prices

Mohamadreza Shahnazari[1]
Associate Professor of Mechanic Engineering, K. N. Toosi University, Tehran, Iran, shahnazari@kntu.ac.ir

Saeed Emamikoupaee
M.Sc. Student of Financial Department, Islamic Azad University of Tehran North Branch,Tehran, Iran, saeed.emami57@gmail.com

Shiva Zamani
Associate Professor of Economic department , Sharif University , Tehran , Iran zamani@sharif.edu

Alireza Heidarzadeh
Assistant Professor of Financial Department, Islamic Azad University of Tehran North Branch, Tehran, Iran, a_heidarzadeh@iau-tnb.ac.ir

Ali Saberi
Ph.D. Student, Faculty of Mechanical Engineering, K. N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran, Saberi.Ale@gmail.com
Received: 2018/11/25 Accepted: 2019/06/10

Abstract

Today there is consensus regarding the importance of predicting the price of energy carriers for economic development, including natural gas as a preferred energy source on environmental grounds. In this paper we analyze the nonlinear behavior of natural gas prices over time by use of the Grey Method (GM), Developed Grey Method (DGM), Fractal Discrete Grey Method (FDGM) and a compound Method II (IFS-AF). Our results indicate the effectiveness of these methods in predicting gas prices. In addition, due to the fractal structure of natural gas prices in the period under review, the results show that the prediction error of the compound method is always less than 2 percentage points. We note that due to the flexibility of the method, a combination of Grey and Fractal methods produce excellent results.

JEL Classification: C53, C32
Keywords: Natural Gas, Price Prediction, Grey Method, Fractal Method.

1. Corresponding Author