نشریـه علمـی
دانش مالی تحلیل اوراق بهادار
سال سیزدهم، شماره چهل‌و ششم
تابستان ۱۳۹۹

پیش‌بینی قیمت گاز طبیعی با استفاده از روش‌های توسعه‌یافته مبتنی بر روش گری و تحلیل فرکتال

سعید امامی کوپائی[۱]
شیوا زمانی[۲]
علیرضا حیدرزاده هنزائی[۳]
محمدرضا شاه نظری[۴]

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۲/۳۱ تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۱/۰۳

چکیده

اهمیت پیش‌بینی قیمت حامل‌های انرژی بر توسعه اقتصاد و صنعت، امروزه بر کسی پوشیده نیست. در این میان پیش‌بینی قیمت گاز طبیعی به عنوان یکی از حامل‌های مهم انرژی 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 توسعه‌یافته گری و تلفیقی فرکتالی گری از آنها برای پیش‌بینی قیمت گاز طبیعی استفاده شده‌است. نتایج حاصل از پیش‌بینی قیمت مبنی بر روش‌های معرفی شده، نشانگر کارایی روش‌ها است. در همین حال با توجه به فرکتالی‌بودن قیمت گاز طبیعی در بازه مورد بررسی، نتایج نشان می‌دهد که خطای پیش‌بینی با استفاده از روش تلفیقی فرکتالی گری همواره کمتر از ۲ درصد می‌باشد و نتایج بسیار خوبی با استفاده از روش ترکیبی گری و فرکتال حاصل شده‌است، گرچه مقایسه میزان خطای پیش‌بینی، بیانگر دقت بهتر روش تلفیقی فرکتالی گری برای این بازار با توجه به رفتار فرکتالی آن می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: گاز طبیعی، پیش‌بینی قیمت، روش گری، فرکتال، انباشتگی.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مدیریت مالی، دانشکده مدیریت و علوم اجتماعی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران، ایران. saeed.emami57@gmail.com
۲- دانشیار و عضو هیات علمی دانشکده اقتصاد و مدیریت، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران (نویسنده مسوول) zamani@sharif.edu
۳- استادیار و عضو هیات علمی گروه مدیریت مالی دانشکده مدیریت و علوم اجتماعی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران، ایران. a_heidarzadeh@iau-tnb.ac.ir
۴- دانشیار دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران. shahnazari@kntu.ac.ir

۱- مقدمه

پیش بینی قیمت یکی از ابزارهایی است که خریداران، فروشندگان و سفته بازان سهام، کالا و سایر ابزارهای مشتقه مالی به آن علاقه زیادی دارند چرا که در صورت موفقیت در این امر می توانند سود زیادی چه در بازارهای فیزیکی و چه در بازارهای مالی از معاملات خود بدست آورند. این امر بویژه برای محصولات استراتژیک اهمیت بیشتری دارد. حاملهای انرژی به عنوان یکی از مهمترین و کلیدی ترین کالاهای مورد استفاده در اقتصاد، نقشی تعیین کننده در روند حرکتی اقتصاد دارا می باشند. اقتصاد جهانی وابستگی شدیدی به انرژی دارد که از جمله حیاتی ترین آنها در طی سالهای جدید گاز طبیعی می باشد. تقاضای جهانی انرژی طی سالهای اخیر به دلیل نگرانیهای زیست محیطی به سمت سوختهای با محتوای کربن کمتر متمایل شده است، بطوریکه تعداد زیادی از کشورهای جهان در پیمانی موسوم به کیوتو، توافق نموده اند تا از انتشار گازهای گلخانه ای در قلمرو خود جلوگیری نمایند و بدین منظور باید سوخت مصرفی خود را از سوختهایی مانند ذغال سنگ، گازوئیل و نفت کوره که آلاینده می باشند، به گاز طبیعی که سوختی پاک می باشد مبدل نمایند، به همین دلیل جهان به گاز طبیعی روی آورده است و کشور ما با در اختیار داشتن ذخایر گازی بالا (۳۴ تریلیون مترمکعب) دارای رتبه نخست ذخایر گازی جهان می باشد. اصولا پیش بینی قیمت منابع انرژی و تحلیل رفتار آینده آن از دو منظر اهمیت دارد:

۱) بدست آوردن روند حرکتی قیمت حامل‌های انرژی برای تصمیم گیری در زمینه خرید و یا فروش و یا سرمایه گذاری در این حوزه.
۲) استفاده از این روند برای قیمت‌گذاری حامل‌های مشتقه گاز طبیعی مانند LPG- GTL- NGL-و سایر فرآورده های 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 تامین می‌شود، در مقایسه این عدد برای نفت یک سوم و برای ذغال‌سنگ یک چهارم است. بنابراین، توسعه مدل برای پیش‌بینی قیمت دقیق گاز طبیعی و روند تغییرات قیمت بسیار مهم است، زیرا این پیش‌بینی‌ها معمولا به منظور 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 هشتاد میلادی به واسطه قوانین فدراسیون تنظیم مقررات انرژی آمریکا[۱] که محدودیت‌هایی را در استفاده از این سوخت به عنوان سوخت جایگزین اعمال می‌نمود به صورت مستقیم و غیر مستقیم تحت تاثیر این مقررات بود، اما تحت قوانین فعلی که تنها شرکت‌های توزیع محلی[۲] مخاطب آن هستند، با تبعیت از قانون عرضه و تقاضا در یک بازار رقابتی تعیین می‌شود (آگبون و اِراگ[۳]، ۲۰۰۳).

مقررات جدید قیمت‌گذاری در بازار گاز یک بازار رقابتی را ایجاد کرده که در آن تولیدکنندگان، مصرف‌کنندگان و سازندگان بازار می‌توانند کالا را با قیمت منصفانه پیدا کنند. این آزادی همچنین یک مبنای خوب برای بازار مشتقات است. از اوایل دهه نود میلادی، بازارهای مالی گاز طبیعی با آزاد شدن بازار از قید قوانین محدود کننده شروع به کار کردند و شبکه ملی آمریکا برای حمل‌ونقل گاز طبیعی گسترش یافت. تمام این تحولات، یک زیرساخت قابل اعتماد برای تجارت گاز طبیعی و در دسترس‌بودن در سراسر کشور را تهیه کرد. 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 به عنوان محل تحویل مبادله شد.

۲- مبانی نظری و مروری بر پیشینه پژوهش

یکی از نخستین مدل‌ها برای توصیف رفتار منابع ماندگار مانند گاز طبیعی تحت عنوان قانون هتلینگ شناخته می‌شود (هتلینگ[۴]، ۱۹۳۱)، اساس مدل مبتنی بر این نظریه است که تولیدکنندگان یک کالای غیر قابل اصلاح (مانند گاز طبیعی) به فروش کالای خود تا زمانی که مزایای فروش بیشتر از مزایای نگهداری آن است تمایل بیشتری دارند. به عبارت دیگر، هزینه استخراج و ارزش فعلی کالا از یک طرف و هزینه ذخیره‌سازی و ارزش آینده کالا -که با نرخ بهره مرتبط هستند- از طرف دیگر بر میزان تمایل فروش و عرضه کالا موثراند. فرض بر این است که بازارها کارآمد هستند و فروش عاید سود خواهد بود. این قانون، ظهور فن‌آوری‌های جدید که ممکن است سبب کاهش هزینه‌های ذخیره‌سازی گردد را در نظر نمی‌گیرد. پیندایک مدل هتلینگ را به صورت اختصاصی برای نفت و گاز با توجه به افزایش ذخایر نفت و گاز به وسیله اکتشاف بهینه‌سازی کرده‌است (پیندایک[۵] ۱۹۷۸). برای پیش‌بینی قیمت گاز طبیعی در بلندمدت یا کوتاه‌مدت، رویکردها و مدل‌های مختلفی توسط محققین مختلف ارائه شده‌است. هر روش و مدل دارای مزایا و معایب خاص خود هستند. مدل‌های چند متغیره‌ای که متغیرهای مختلف را در نظر می‌گیرند دقیق‌تر از مدل‌های یکسان هستند. با این حال، متغیرهای خارجی اغلب بایستی خود پیش‌بینی شوند. برای مثال، مدل پیش‌بینی کننده قیمت گاز طبیعی که مبتنی بر قیمت نفت است، درگیر عدم اطمینان در قیمت نفت خواهد بود، پیش‌بینی متغیر در آینده بیش از یک گام زمانی آسان نیست. قیمت نفت خام دارای طبیعت تصادفی است که اغلب اوقات به طور نرمال توزیع می‌شود و گاهی اوقات به صورت غیر خطی رفتار می‌کند، قیمت نفت خام تنها تابع عرضه و تقاضا نیست و بستگی به متغیرهای بیشتری از قبیل پیشرفت تکنولوژی پایه، منابع نهایی، الگوهای مصرف، رشد جمعیت و غیره دارد. این پیچیدگی ماهیت غیر خطی 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 نشانگر ارتباط قوی بین عرضه و انعطاف‌پذیری قیمت است که ممکن است خطی نباشد (پاور و استیونسن[۶]، ۱۹۸۷).

گرچه رابطه بین قیمت گاز طبیعی و قیمت نفت یک همبستگی خطی نیست، برخی از همبستگی‌های ساده و خطی توسعه‌یافته است که تنها به عنوان یک قاعده کلی مفید است (شِی[۷]، ۱۹۹۰). بعضی از مدل‌ها بر اساس تعریف الاستیسیته قیمت ایجاد شده‌اند. پارامتر کشش قیمت، برابر نسبت درصد تغییر در میزان نیاز مصرف و درصد تغییر در قیمت کالا است. فیلوویچ[۸] (۲۰۰۷) مدل‌های سری زمانی را برای پیش‌بینی قیمت‌های گاز طبیعی مورد استفاده قرار داد. دوریس و اکونومودیس[۹] (۱۹۹۹) هر دو مدل اقتصاد سنجی چند متغیره و مدل شبکه عصبی را برای پیش‌بینی قیمت گاز طبیعی در کوتاه مدت مورد استفاده قرار دادند. اینیکوری و همکاران[۱۰] (۲۰۰۱) اثر قیمت نفت و گاز طبیعی در صنعت نفت و گاز را با ایجاد یک مدل رگرسیون خطی، به منظور پیش‌بینی قیمت‌ها مورد بررسی قرار دادند. آنها الاستیسیته قیمت و نسبت تقاضا به عرضه را به عنوان متغیرهای ورودی در نظر گرفتند.

دو مدل پیش‌بینی توسط نوگالس و همکاران[۱۱] (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 کرده‌اند که به ترتیب به طور متوسط دارای خطاهای ۵ درصد و ۳ درصد بوده‌است. لو و همکاران[۱۲] (۲۰۰۷) همبستگی کارائی رابطه گری[۱۳] بین اقتصاد، مصرف انرژی و انتشار دی‌اکسید کربن در تایوان را مورد بررسی قرار دادند. مصرف گاز طبیعی تحت تاثیر بسیاری از عوامل است که باعث می‌شود رابطه این متغیر و عوامل موثر، بسیار پیچیده و غیرخطی باشد. اطلاعات پراکندگی در این سیستم وجود دارد. در نتیجه، برای پیش‌بینی مصرف گاز

طبیعی، روش پیش‌بینی تئوری گری می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. موریتا و همکاران[14] (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 لزوما واضح نیست، اما آنها بر تقاضای برق تاثیر می‌گذارند. گری یک روش پیش‌بینی نوآورانه را شامل می‌شود و به طور عمده توسط مهندسان و دانشمندان و به میزان بسیار کمتر توسط اقتصاددانان اقتباس شده‌است. هسو و چن[15] (۲۰۰۳) از یک مدل پیش‌بینی گری برای پیش‌بینی بلند مدت تقاضای برق در تایوان استفاده کردند. ژیونگ و همکاران[16] (۲۰۱۰) در مقاله خود تحت عنوان استفاده از مدل پیش‌بینی گری جهت مدیریت عرضه انرژی بر پیش‌بینی‌های مهندسی مدیریت انرژی چین با استفاده از روش ترکیبی مدل‌سازی پیش‌بینی گری تمرکز کردند. ژو و هی[17] (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 به عنوان 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 موثر بر آنها (متغیرهای مستقل) نامشخص و نامعین است (گوروکو و همکاران[18]، ۲۰۰۴).

فاطمه دهدار و همکاران[19] (۲۰۱۵) در تحقیق خود از روش پیش‌بینی گری برای پیش‌بینی دقیق تولید و مصرف نفت و گاز طبیعی تا سال ۲۰۲۵ استفاده کردند، زیرا که نفت و گاز هسته اصلی منابع انرژی را تشکیل می‌دهند و برنامه‌ریزی بهتر، زمانی که پیش‌بینی‌های قوی‌تری وجود داشته باشد امکان پذیرتر است.

در این مقاله، ضمن معرفی یک روش گری گسسته بهبود یافته، از آن به عنوان 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

۳-۱- روش گری توسعه‌یافته

روش گری مبتنی بر عملگر مولد انباشتگی[20] یا AGO، معمولا به منظور کاهش از میزان تصادفی‌بودن داده‌های خام بکار 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 از یک معادله پیوسته دیفرانسیل عددی بدین منظور 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. بصورت خلاصه روش GM(۱و۱) بهبود یافته را به شکل زیر می‌توان بیان کرد:

- مجموع داده های اولیه شامل $N+1$ داده اولیه نوع $X^{(0)}=\{x^0(i)\}_{i=0,1,2.....N}$ در نظر گرفته می‌شود.
- مجموع $X^{(1)}$ بوسیله اعمال عملگر $(1-AGO)AGO$ بر X^0 ساخته می شود:

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

- با توجه به نتایج $\mathrm{AGO}-1$ که مشابه یک دنباله مونوتونیک حاصل از نتایج منحنی معادله دیفرانسیل درجه اول عادی است، پاسخ‌های معادله دیفرانسیل گسسته زیر به

عنوان تعریف $1-\mathrm{AGO}$ 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 (کایاکان و همکاران[۲۱]، ۲۰۱۰) و (کوانپینگ و ژیاویی[۲۲]، ۲۰۱۳). بایستی توجه کرد که در روش کلاسیک به جای معادله ناپیوسته ۲، از معادله دیفرانسیل پیوست که به صورت رابطه $d\hat{X}^{(1)}/dt+a\hat{X}^{(1)}=b$ است، استفاده می‌شود. با توجه به اینکه دنباله داده‌ها بر حسب زمان به فرم گسسته هستند، مشخص است که استفاده از معادله گسسته سازگاری بهتری با داده‌ها خواهد داشت.
با اعمال $\hat{x}^{(1)}_{(k+1)}-\hat{x}^{(1)}_{(k)}=x^{(1)}_{k+1}-x^{(1)}_{k}=x^{(0)}_{(k)}$ و تعریف مقادیر دنباله $z^{(1)}_{(k)}$ به صورت زیر:

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

معادله ۲ تبدیل به معادله نهایی زیر خواهد شد:

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

پاسخ معادله ۲ را می توان بر حسب پارامترهای a و b به صورت زیر بدست آورد:

(۵

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

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:

$$x^0_k=-a(\frac{1}{2}\left(x^1_{(k)}+x^1_{(k+1)}\right)-b \qquad (۱-۶)$$

و یا

$$\sum(x^0_{(k)}+az^{(1)}_{(k)}-b)^2=R^2 \qquad (۲-۶)$$

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

$$a=\frac{\begin{vmatrix}\sum x^0_{(k)} & N\\ \sum z^1_{(k)}x^0_{(k)} & \sum Z^1_{(k)}\end{vmatrix}}{\begin{vmatrix}\sum z^1_{(k)} & N\\ \sum(z^{(1)}_{(k)})^2 & \sum Z^1_{(k)}\end{vmatrix}} \qquad (۱-۷)$$

$$b=\frac{\begin{vmatrix}\sum Z^1_{(k)} & \sum x^0_{(k)}\\ \sum(Z^1_{(k)})^2 & \sum x^0_{(k)}Z^1_{(k)}\end{vmatrix}}{\begin{vmatrix}\sum Z^1_{(k)} & N\\ \sum(Z^1_{(k)})^2 & \sum Z^1_{(k)}\end{vmatrix}} \qquad (۲-۷)$$

در صورتیکه مقدار دترمینان ماتریس مخرج رابطه (۷-۲) بی‌نهایت بزرگ (یا کوچک) باشد، یا به عبارت دیگر معادله یک معادله شبه تکین باشد، در این صورت می توان از یک روش عادی سازی (موروزف، ۱۹۷۳) مانند روش عادی‌سازی تیخونوف استفاده نمود.
با معرفی ماتریسی به صورت رابطه‌ی $A=\left[-\frac{1}{2}\left(x^1_{(k)}+x^1_{(k+1)}\right)\text{و}1\right]_{k=0,,,,,n-1}$ و برداری به صورت $B=\left[x^0_{(k)}\right]_{k=0,,,,,n-1}$، می‌توان نوشت:

$$\begin{bmatrix}a\\ b\end{bmatrix}=(A^TA)^{-1}A^TB \qquad (۸)$$

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

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

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

$$(A^TA+\mu^2I)\begin{bmatrix}a^+\\ b^+\end{bmatrix}=A^TB \qquad (۱۰)$$

با استفاده از روش SVD [۲۳] ، ماتریس A را می‌توان به صورت $U\sum V^T$ نمایش داد که:
$U=[u_1,u_2,\dots,u_n]$ و $V=[v_1,v_2]$ ماتریس 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 $\sum$ به عنوان مقادیر سینگولار شناخته می‌شوند و ستون‌های U و V به ترتیب به عنوان بردارهای یکین چپ و راست A نامیده می‌شوند. لذا $\begin{bmatrix}a^+\\b^+\end{bmatrix}=VDU^TB$ که D ماتریس $N*L$ قطری با درایه‌های روی قطر $D_{1,2}=\sigma_{1,2}/(\sigma_{1,2}^2+\mu^2)$ خواهد بود. در نهایت با استفاده از مقادیر a و b (یا a^+ وb^+) می‌توان داده‌های اولیه $X^{(0)}$ را به صورت بازساخت (یا پیش‌بینی) از رابطه زیر محاسبه نمود:

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

۳-۲- معرفی روش تلفیقی تحلیل گری- فرکتال (FDGM)

برای یک سری X^0 فرکتالی برای هر دو مقدار $x^0(i)$ و $x^0(j)$ می‌توان نوشت (پیترز، 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 زیر محاسبه کرد:

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

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 می باشد. از سوی دیگر با معرفی عملگر AGO به صورت متوالی بر سری X^0 و سری‌های حاصل به ترتیب، مجموعه‌های انباشتگی $\mathrm{I}_1,\mathrm{I}_2,\dots$ حاصل می‌گردد که برای درایه‌های هر دو مجموعه $\mathrm{I}_{k+1},\mathrm{I}_k$ می‌توان نوشت:

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

و مشابه رابطه (۱۵) بعد فرکتالی مجموعه حاصل از دو مولفه i و $i+1$ مجموعه $\mathrm{I_k}$ 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 مجموعه‌های داده‌های اولیه و انباشتگی I_1 (سری $\mathrm{X}^{(1)}$) و I_2 (سری $\mathrm{X}^{(2)}$) و یک مجموعه بعد فرکتالی متناظر به صورت زیر حاصل می‌گردد:

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

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

گام اول : باتوجه به داده های اولیه، مجموعه های انباشتگی $\mathrm{I_k}$ ایجاد می شوند.

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

۳-۳- تحلیل خطا

به منظور آزمون دقت نتایج پیش‌بینی روش بکار رفته، درصد خطای وابسته (RPE) به وسیله مقایسه مقادیر واقعی و حاصل از پیش‌بینی در هر زمان مشخص (K) تعیین می‌گردد (موریتا، کِیس، تامورا و ایواموتو، ۱۹۹۶).

$$RPE = \epsilon(K) = \left| \frac{x_{(k)}^{(0)} - \hat{x}_{(k)}^{(0)}}{x_{(k)}^{0}} \right| \times 100\% \qquad (۱۸)$$

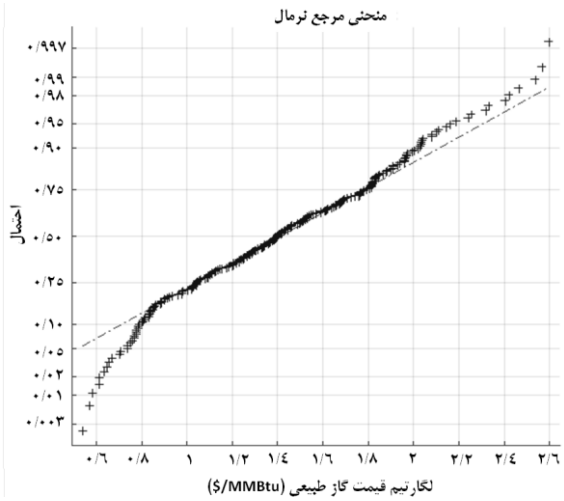
که در آن $\hat{x}_{(k)}^{(0)}$ و $x_{(k)}^{(0)}$ به ترتیب مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده در زمان k هستند. دقت کلی روش (ARPE) به وسیله متوسط خطای وابسته به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$ARPE = \epsilon(avg) = \frac{1}{m-1}\sum_{i=1}^{m} \epsilon(k) \qquad (۱۹)$$
$$k = 1,2, \dots$$

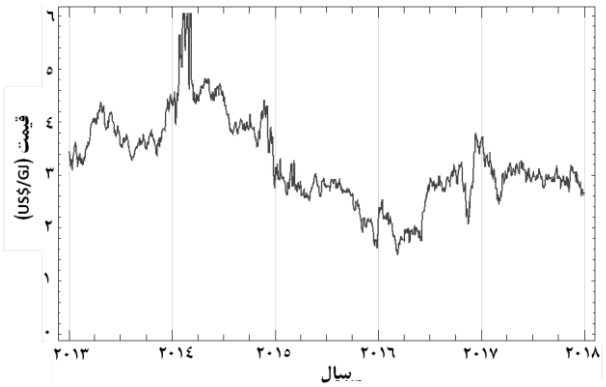
۴-یافته‌های پژوهش

نخستین قدم در مجموعه تحلیل‌های صورت گرفته در خصوص سری زمانی قیمت گاز تحلیل آماری و توزیع این داده‌ها می‌باشد. آزمایش نرمالیتی برا و جارک (برا و جارک، ۱۹۸۱) نشان می‌دهد که توزیع قیمت گاز نه تنها خطی که یک توزیع نرمال هم 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.

چنانچه 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 نیاز به مقدار قابل توجهی از داده‌ها دارد. 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 ۲۰۱۸ (مجموع ۱۸۲۵ روز) مد نظر قرار گرفته‌است. توزیع داده‌های مورد اشاره در شکل ۲ نشان داده شده‌است. شکل به خوبی بیانگر نوسان قیمت در تبادل گاز طبیعی است.



شکل ۱- آزمون نرمالیتی سری زمانی قیمت گاز



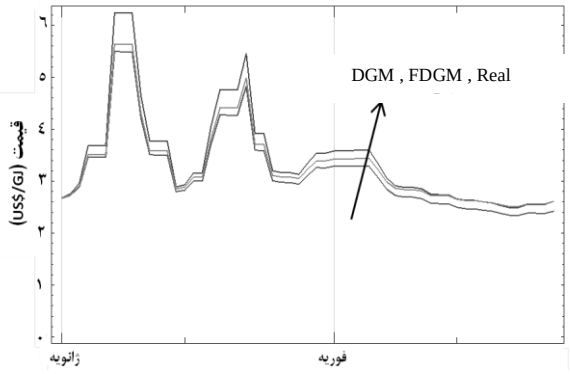
شکل ۲- قیمت گاز طبیعی هنری هاب بین اول ژانویه ۲۰۱۳ تا ۳۱ دسامبر ۲۰۱۸

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

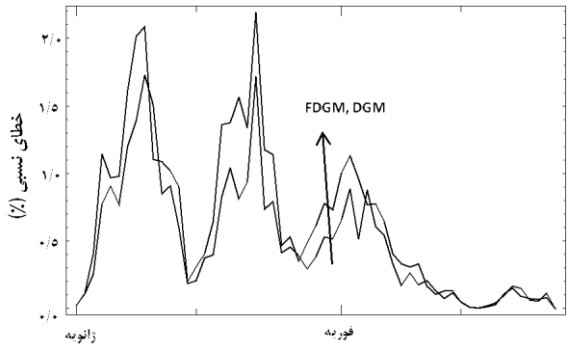
$$R_t = \frac{\log(P_t)}{\log(P_{t-1})} \qquad (۲۰)$$

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 برای عملکرد استفاده شده‌است. پس از اعمال آزمون توزیع نرمال و آزمون غیر خطی، می‌توان دریافت که سری عملکرد روزانه پایدار است و این مجموعه ویژگی‌های توزیع نرمال را نشان نمی‌دهد و ساختاری غیر خطی دارد. روش گری مبتنی بر عملگر مولد انباشتگی (AGO)، معمولا به منظور کاهش از میزان تصادفی‌بودن داده‌های خام بکار 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 از یک معادله پیوسته دیفرانسیل عددی بدین منظور 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. شکل(۳) مقادیر بازسازی شده سری داده‌ها وهمچنین مقادیر پیش‌بینی شده برای ۶۰ روز آینده را بوسیله روش گری توسعه یافته و روش FDGM را در مقایسه با مقادیر اصلی نمایش می‌دهد.

شکل(۴) همچنین خطای نسبی پیش بینی قیمت را برای دو روش نشان می دهد. با توجه به شکل، بیشینه خطای پیش بینی از روش گری توسعه یافته در حدود ۱۱ درصد است که در روش FDGM به کمتر از ۷ درصد کاهش می‌یابند.



شکل ۳- مقادیر بازسازی شده سری داده‌ها و همچنین مقادیر پیش‌بینی شده با استفاده از روش گری توسعه یافته(DGM) و روش FDGM



شکل ۴- مقادیر خطای نسبی پیش‌بینی قیمت برای دو روش گری توسعه یافته(DGM) و روش FDGM

۵- نتیجه‌گیری و بحث

با توجه به مبتنی‌بودن ساختار اقتصاد انرژی بر قیمت و تولید منابع سوخت فسیلی به عنوان یکی از پرکاربردترین سبدهای انرژی، نیاز به تخمین و برآورد قیمت این محصولات طی دهه‌های اخیر از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده‌است. 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 محققین در این زمینه را به سمت معادلات همخوان با فرایندهای تصادفی سوق داده‌است.

قابل اعتماد بودن مدل پیش بینی قیمت، سهم مهمی در کاربردی بودن آن دارد. امکان تاثیر

حداکثری مجموعه داده ها، همراه با حذف داده های نادرست، یکی از ملاحظاتی است که یک روش مناسب پیش بینی قیمت بایستی واجد آن باشد.

نحوه همبستگی یا عدم همبستگی داده ها، همراه با ملاحظه حداکثری آنها یکی از اهداف این تحقیق است. علاوه بر این دستیابی به مناسب ترین متغیرها و کاربرد آنها در سری زمانی پیش بینی قیمت مدنظر می باشد.

در این مقاله یک روش نوین بصورت تلفیقی از روش گری و فرکتال بر پایه سری های زمانی معرفی می گردد. در این روش تلاش می گردد مزایای هر یک از روشهای گری و فرکتالی، بصورت برهم نهش تاثیر مثبتی بر افزایش دقت سری زمانی پیشنهادی بمنظور پیش بینی قیمت گاز داشته باشند.

چنانچه اشاره شد؛ پیش بینی قیمت گاز علاوه بر اجاد تسهیل در زمینه خرید و یا فروش و یا سرمایه گذاری در این حوزه میتواند منجر به قیمت گذاری مناسب حاملهای مشتق از گاز طبیعی مانند LPG- GTL- NGL-و سایر فرآورده های دیگر گردد.

روش گری مبتنی بر عملگر مولد انباشتگی (AGO)، معمولا به منظور کاهش میزان تصادفی‌بودن داده‌های خام بکار می‌رود. با تولید داده، به یک دنباله افزایشی مونوتونیک همخوان با حل یک معادله خطی درجه اول عملگر دیفرانسیلی گسسته، مشابه معادله گری استفاده شد. با حل معادله و محاسبه پارامترهای a و b و استفاده از آن در معادله گری درجه اول گسسته مقادیر سری زمانی باز سازی و برای آینده پیش‌بینی شد. همچنین با تلفیق بررسی شاخصه فرکتالی و روش گری ضمن معرفی یک روش جدید (FDGM) و کاربرد آن بر درجات مختلف انباشتگی، مقادیر آتی قیمت گاز تخمین زده شده‌است. مقایسه نتایج حاصل با قیمت‌های اصلی، نشانگر کارایی مناسب هر دو روش می‌باشد. گرچه مقایسه میزان خطای پیش‌بینی، بوضوح بیانگر دقت بهتر روش FDGM برای این بازار با توجه به رفتار فرکتالی آن می‌باشد.

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

یادداشت‌ها

[1] FERC
[2] LDCs
[3] Agbon & Araque
[4] Hotelling
[5] Pindyck
[6] Power & Stevenson
[7] Shieh
[8] Pilipovic
[9] Doris & Economides
[10] Inikori et al
[11] Nogales et al
[12] Lu et al
[13] Grey
[14] Morita et al
[15] Hsu & Chen
[16] Xiong et al
[17] Zhou & He
[18] Gorucu et al
[19] Dehdar et al
[20] Accumulated Generation Operation (AGO)
[21] Kayacan et al
[22] Quanping & Xiaoyi
[23] Singular Value Decomposition