فصلنامه روند، سال بیست و ششم، شماره‌های ۸۵ و ۸۶، بهار و تابستان ۱۳۹۹، صفحات ۴۳-۱۳

استخراج توابع چگالی احتمال پیش‌بینی تورم با لحاظ معیارهای قضاوتی آینده‌نگر

دکتر محمد اخباری*، دکتر رضا حبیبی**

چکیده

در حال حاضر، پیش‌بینی نرخ تورم با در نظر گرفتن نااطمینانی‌ها در بیشتر بانک‌های مرکزی -که استراتژی هدف‌گذاری تـورم را برگزیده‌اند و در تعقیب سیاست‌های پولی برای بازگرداندن تورم به مسیر هدف‌گذاری شده هستند- منتشر می‌شود. در این راستا، هدف این مقاله بررسی اجرایی‌نمودن این رویکرد برای اقتصاد ایران است. بدین‌روی، در این پژوهش این موضوع که چگونه توازن ریسک مربوط به متغیرهای کلان اقتصادی می‌تواند به نااطمینانی در پیش‌بینی نرخ تورم ارتباط یابد، بررسی می‌شـود. بـه بیـان دیگر، این فرض کلیدی وجود دارد که نااطمینانی نرخ تورم از نااطمینانی در متغیرهای کلان ناشی می‌شود. در این پژوهش، بر روی استخراج تابع چگالی احتمال، همچنین، چولگی پیش‌بینی نرخ تورم متأثر از نااطمینانی در متغیرهای کلان اقتصادی تمرکز شـده که در نتیجه، به استخراج نمودار پنکه‌ای پیش‌بینی نرخ تورم منجر می‌شود. هر چند در بیشتر موارد نااطمینانی متغیرهای کلان از انحراف معیارهای تاریخی آنها به دست می‌آید، اما در این پژوهش، این نااطمینانی با توجه به قضاوت تحولات آتی این متغیرها در صورتی که دلیلی برای نااطمینانی کمتر یا بیشتر نسبت به نااطمینانی تاریخی متغیرهای یادشـده وجـود داشـته باشـد، تعـدیل می‌شود؛ افزون بر این، ارزیابی مبتنی بر قضاوت توازن ریسک‌ها یعنی اینکه آیا توابع توزیع چگالی احتمال متقارن هستند یا خیر، نیز امکان‌پذیر است. سرانجام، نمودار پنکه‌ای پیش‌بینی نرخ تورم مربوط به چهار فصل تا شهریور ۱۳۹۸ بـه عنـوان یـک نمونـه عملیاتی ارائه می‌شود. بر این اساس، چولگی پیش‌بینی‌های نرخ تورم به سمت تورم‌های بالا ارزیابی شده که این موضوع متـأثر از شرایط مجموعه متغیرهای کلان اقتصادی مؤثر بر نرخ تورم است.

واژگان کلیدی: پیش‌بینی نرخ تورم، نمودار پنکه‌ای، نااطمینانی نرخ تورم، توزیع نرمال دوبخشی، چولگی.

طبقه‌بندی JEL: B22, C4, C54

---

* مدیر اداره بررسی‌ها و سیاست‌های بانک مرکزی m.akhbari@cbi.ir

** عضو هیأت علمی مؤسسه عالی آموزش بانکداری ایران r_habibi@ibi.ac.ir

۱. مقدمه

مدل‌ها، شکل ساده شده‌ای از دنیای واقعی هستند و بر این اساس، بیشتر اقتصاددانان موافقند که هیچ نوع مدل کاملی وجود ندارد. امروزه مدل‌ها به‌طور گسترده در پیش‌بینی و تحلیل‌های مختلف در زمینه سیاست‌گذاری به کار می‌روند. البته، در غیاب و نیز در کنار استفاده از چنین مدل‌هایی اهمیت و ضرورت به‌کارگیری قضاوت در پیش‌بینی و تحلیل‌های سیاستی پذیرفته شده است.[۱] *سونسون* تعریف کیفی از قضاوت ارائه می‌دهد. وی معتقد است که به چهار دلیل زیر قضاوت اهمیت دارد:

۱) ارزش‌های آتی شناخته‌شده‌ای برای یک یا تعداد بیشتری از متغیرها در سیستم وجود دارد و اینها از مقادیری که توسط مدل پیشنهاد شده است، متفاوت هستند.

۲) ارزش‌های آتی شناخته شده‌ای در خصوص یک یا تعداد بیشتری از متغیرها که در سیستم وجود ندارند، اما سیستم را تحت تأثیر قرار می‌دهند، وجود داشته و اینها با مسائلی که به‌طور ضمنی در مدل استفاده می‌شوند، اختلاف دارند.

۳) تابع چگالی احتمال[۲] (PDF) تلقی‌شده یک عامل برای پیش‌بینی‌های مربوط به یک یا تعداد بیشتری از متغیرهای مدل از آنچه که توسط مدل ارائه می‌شود، متفاوت است.

۴) تابع چگالی احتمال تلقی‌شده یک عامل برای یک یا تعداد بیشتری از متغیرهایی که در سیستم وجود ندارند، اما سیستم را متأثر می‌سازند، از آنچه که به‌طور ضمنی در مدل استفاده می‌شود، متفاوت است.

با این توضیح، هدف این پژوهش، ارائه چارچوبی است که قضاوت بتواند به شیوه‌ای نظام‌مند و سازگار با مدل در فرآیند پیش‌بینی تورم وارد شود؛ زیرا که برای مقاصد سیاستی، به‌کارگیری پهناهای نااطمینانی که مهم‌ترین بخش آن را قضاوت تشکیل می‌دهد، به چند دلیل اهمیت دارد:

---

۱. برای مثال، لارنس (۱۹۸۵)، مک نیس (۱۹۹۰)، ریفشیدر و همکاران (۱۹۹۷)، ساندرس و ریتزمن (۱۹۹۹)، سونسون (۲۰۰۵) و سونسون و تتلاو (۲۰۰۵) را مشاهده کنید.

2. Probability Density Function (PDF)

نخستین و مهم‌ترین این دلایل، تشریح این موضوع است که پیش‌بینی تورم خود به‌طور ذاتی نامطمئن است. نااطمینانی هم در خصوص شوک‌هایی است که اقتصاد را تحت تأثیر قرار می‌دهد و هم در خصوص ماهیت کیفی و کمی سازوکار انتقال.

دوم، پهناهای نااطمینانی به‌منظور نشان‌دادن دیدگاه بانک مرکزی در خصوص توازن ریسک‌ها به عموم و مشارکت‌کنندگان در بازار است. به‌طور خاص، بانک مرکزی می‌تواند با کمترین ابهام در مورد اینکه ریسک روبه بالا بوده، به‌طوری که تورم کمتر از پیش‌بینی خواهد بود تا اینکه بیشتر از آن باشد، صحبت کند. در برخی شرایط، وضعیت می‌تواند معکوس باشد، که آن نیز با عموم در میان گذاشته می‌شود.

سوم، ساختن پهناها به تمرکز بر روی مباحث داخلی بانک مرکزی در خصوص منابع نااطمینانی تورم و اهمیت مقداری آنها کمک می‌کند.

در ادامه نشان داده خواهدشد که چگالی‌های پیش‌بینی مربوط به سناریوهای مختلف با یک ترکیب خطی وزنی تجمیع می‌شوند. این شیوه موجب می‌شود تا قضاوت در نمودار پنکه‌ای[1] نهایی به شیوه‌ای سازگار با مدل که به‌طور صحیحی منعکس‌کننده نااطمینانی عاملان تولیدکننده پیش‌بینی است، به کار گرفته شود.

در مطالعات پیشین، یک شیوه به‌منظور بیان قضاوت عبارت بود از اینکه سطح متغیر انتخاب‌شده با تصحیحات عرض از مبدأ یا عوامل افزوده[2] تعدیل شود.[3] چنین تعدیل‌هایی ممکن است مبتنی بر روش‌های خطاهای پیش‌بینی تاریخی سیستماتیک و برخی قواعد ساده باشند. روش‌شناسی پیشنهادی در این پژوهش، شیوه‌ای رسمی‌تر برای به‌کارگیری قضاوت است که از سوی بیشتر بانک‌های مرکزی دنبال می‌شود و البته انتظار می‌رود با توجه به رویکرد جدید بانک مرکزی ایران در راه‌اندازی بازار باز و به‌نوعی تأکید این نهاد بر هدف‌گذاری نرخ تورم از کانال مدیریت نرخ سود بین بانکی انتشار گزارش‌های تورم به همراه نمودارهای پنکه‌ای نیز در دستور کار قرار گیرد. به‌طور کلی، فرضیه این

1. Fan Chart
2. Add Factors
3. Svensson, L. E. O. (2005).

پژوهش عبارت است از اینکه می‌توان قضاوت در خصوص تحولات آتی متغیرهای اثرگذار بر تورم را در پیش‌بینی تورم به شیوه‌های نظام‌مند و سازگار با مدل به کار برد.

در ادامه و در بخش دوم، پیشینه نمودارهای پنکه‌ای در کشورهای انگلستان و سوئد مرور می‌شود. در بخش سوم، چگونگی استخراج نمودارهای پنکه‌ای و ارزیابی‌های تشخیصی و فروض توزیعی بحث و بررسی می‌شود؛ همچنین، در مورد اینکه چگونه ارزیابی‌های تشخیصی تجمیع می‌شوند، بحث می‌شود. به‌طور خاص، نشان داده می‌شود که چگونه چولگی بالقوه در توزیع‌های احتمال متغیرهای کلان می‌تواند به چولگی توزیع پیش‌بینی تورم ارتباط یابد. واریانس توزیع پیش‌بینی در ابتدا، ثابت در نظر گرفته می‌شود که از انحراف معیار خطاهای پیش‌بینی تاریخی استخراج می‌شود؛ سپس، نشان داده می‌شود که چگونه این فرض را می‌توان با در نظر گرفتن اینکه نااطمینانی تشخیصی در متغیرهای کلان نیز واریانس توزیع پیش‌بینی تورم را تحت تأثیر قرار می‌دهد، کنار گذاشت. در بخش چهارم، نمودار پنکه‌ای پیش‌بینی تورم مربوط به ایران ارائه می‌شود و سرانجام، نتیجه‌گیری از مباحث مطرح‌شده در بخش پنجم ارائه خواهدشد.

۲. پیشینه موضوع

بانک‌های مرکزی انگلستان و سوئد، بانک‌هایی هستند که استفاده از نمودار پنکه‌ای را در فرآیند سیاست‌گذاری پولی برای نخستین بار رسمیت بخشیدند. برای این منظور، در ادامه به تجربیات این دو بانک اشاره می‌شود.

۲-۱. تجربه انگلستان

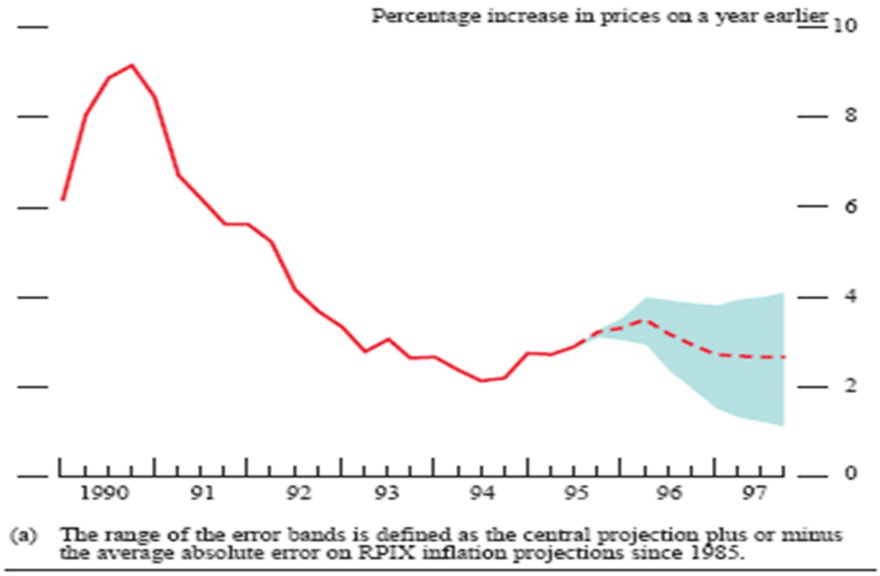
در دوره زمانی ماه مه ۱۹۹۷ تا دسامبر ۲۰۰۳، هدف اصلی سیاست پولی انگلستان دست‌یابی به نرخ تورم (RPIX)،[1] ۲/۵ درصد در سال بود که البته در دسامبر ۲۰۰۳ این هدف‌گذاری به نرخ هدف ۲/۰ درصدی CPI تغییر یافت. تورم هدف توسط دولت تعیین می‌شود و کمیته سیاست پولی (MPC)[2]

1. Retail Price Index Excluding Mortgage Rate
2. Monetary Policy Committee (MPC)

بانک انگلستان استقلال عملکردی برای دستیابی به این هدف را دارد. در همان حال، همچنین دولت تصریح نموده است که در مواردی که تورم به میزان ۱ واحد درصد از هدف دور شود، بانک به نوشتن یک نامه سرگشاده به دولت ملزم بوده و تشریح اینکه چرا انحراف اتفاق افتاده است و چه اقدام‌هایی را به‌منظور بازگردان تورم به هدف اتخاذ کرده است. به هر حال، سیاست پولی انگلستان بسیار موفق بوده و تورم فصلی به‌خوبی در داخل دامنه مربوطه قرار داشته است.

ویژگی دیگر رژیم جدید عبارت بود از انتشار «نمودارهای پنکه‌ای» (تصویرهای تورم احتمالی آینده) در گزارش فصلی تورم بانک. نخستین نمودارهای پنکه‌ای در گزارش تورم در فوریه سال ۱۹۹۶ منتشر شدند (نمودار ۱)، اما بانک تا آگوست ۱۹۹۷ پارامترهایی را که نمودارهای پنکه‌ای تورم مبتنی بر آنها بودند، منتشر نکرد. این نمودارهای پنکه‌ای نماینده توابع چگالی احتمال پیش‌بینی تورم در افق زمانی تا هشت فصل آتی هستند، بر اساس این فرض که هر یک از این توابع چگالی احتمال یک شکل خاص می‌گیرند که به‌عنوان توابع نرمال دو بخشی (2PN) شناخته شده‌اند (پیوست ۱ را مشاهده کنید) و پیش‌بینی‌های MPC از پارامترها را به‌عنوان ورودی استفاده می‌کنند. هر یک از نمودارهای پنکه‌ای تصویر مرکزی تورم را که توسط سری‌هایی از فواصل پیش‌بینی در سطوح مختلف احتمال احاطه شده‌اند، نشان می‌دهند. نمودارهای پنکه‌ای دیدگاه‌های MPC در خصوص چشم‌انداز آینده تورم را آشکار می‌سازند و بر اساس چنین پیش‌بینی‌هایی، تصمیمات سیاست پولی اتخاذ می‌شوند. درصورتی‌که تصویر نمودار پنکه‌ای نشان دهد که تورم آینده احتمالاً بسیار بالاست، در نتیجه، MPC متمایل به افزایش نرخ‌های بهره می‌شود و برعکس. نمودارهای پنکه‌ای یک ویژگی کلیدی فرآیند تصمیم‌سازی سیاست پولی بوده‌اند و انتشار نمودارهای پنکه‌ای به همراه پارامترهای پیش‌بینی (این پارامترها پژوهشگران مستقل را قادر می‌سازند تا پیش‌بینی‌های تابع چگالی احتمال مربوط به تورم بانک را خود نیز تولید کنند) گام مهمی در راستای افزایش شفافیت سیاست پولی است.

شکل ۱. تصویر تورم RPIX سال ۱۹۹۵، با نشان دادن پهنای خطای نامتقارن



مأخذ: Blix, M. and Sellin, P. (1998)

در روش کاربردی بانک مرکزی انگلستان، همان‌طور که توسط بریتون، فیشر و وایتی (۱۹۹۸) ارائه شده است، توزیع پیش‌بینی تورم از کمیته سیاست پولی (MPC) شروع می‌شود و از این منظر می‌توان آن را به‌عنوان رویکردی از بالا به پایین تصور کرد.

۲-۲. تجربه سوئد

در ژانویه ۱۹۹۳ هیأت عامل بانک مرکزی سوئد، هدف تورم مشخصی را تعیین کرد که حاکی از این بود که افزایش سالانه شاخص قیمت مصرف‌کننده در سال ۱۹۹۵ و پس از آن می‌بایست در حدود ۲ درصد با نوسانی در حدود ۱± واحد درصد محدود شود. با توجه به اینکه سیاست پولی با وقفه‌ای ۱ تا ۲ سال بر روی تورم تأثیر می‌گذارد، بانک مرکزی می‌بایست سیاست پولی خود را بر پایه ارزیابی تورم آینده قرار دهد.

این کار با پیش‌بینی تورم صورت می‌گیرد که مشروط بر در نظر گرفتن تمامی اطلاعات مرتبط است؛ همچنین، مشروط بر این فرض است که نرخ بهره[1] در افق پیش‌بینی تغییر نمی‌کند. بانک مرکزی دیدگاه خود نسبت به چشم‌انداز تورم را با عموم از طریق گزارش تورم در میان می‌گذارد، این گزارش در دوره‌های فصلی منتشر می‌شود. از دسامبر ۱۹۹۷، گزارش تورم در برگیرنده پیش‌بینی تورم با پهنای نااطمینانی بوده که این پیش‌بینی را احاطه کرده‌اند.

رویکرد استفاده‌شده توسط بانک مرکزی سوئد به‌گونه‌ای است که ارزیابی اولیه و تجمیع ابتدا در اداره اقتصادی بانک مرکزی صورت گرفته و سپس، برای اصلاح به مقام‌های بالا ارسال می‌شود.

۳. فرآیند استخراج نمودار پنکه‌ای (پهناهای نااطمینانی)

استخراج نمودار پنکه‌ای یا به‌عبارتی پهناهای نااطمینانی نیازمند ارزیابی نااطمینانی پیش‌بینی است. برای این منظور، می‌بایستی پارامترهای توزیع چگالی احتمال تورم محاسبه‌شده که در ادامه به این فرآیند اشاره می‌شود.

هدف این پژوهش، ارائه روشی برای ساخت پهناهای نااطمینانی حول پیش‌بینی تورم است. برای این منظور از رویکرد بانک مرکزی انگلستان و سوئد استفاده می‌شود. به‌طور خاص، از فروض استفاده‌شده توسط بریتون، کانینگهام و وایتی (۱۹۹۷) در خصوص ارزیابی‌های تشخیصی استفاده می‌شود و همان فروض توزیعی را استفاده می‌کنیم.

این روش با ارزیابی نااطمینانی مربوط به متغیرهای کلان آغاز می‌شود، سپس، مقتضیات آن نااطمینانی برای پیش‌بینی تورم تجمیع می‌شوند. تجمیع نااطمینانی با در نظر گرفتن نقش کاملاً مشخص[2] قضاوت‌های تشخیصی مهم‌ترین هدف این پژوهش است. با یک فرض منطقی می‌توان توازن ریسک‌ها در متغیرهای کلان را به توازن ریسک‌های تورم ارتباط داد. به بیان دیگر، ارزیابی تشخیصی متغیرهای کلان، توازن ریسک‌های تورم را تعیین می‌کند.

---

1. Repo
2. Well-defined

رویکرد آماری استاندارد در استخراج پهناهای خطای پیش‌بینی با برآورد مدل اقتصادسنجی پیش‌بینی‌های تورم شروع می‌شود. در یک مدل خطی چند متغیره فرض می‌شود که شوک‌های برونزا به‌صورت نرمال توزیع شده‌اند، به این معنا که متغیرهای درونزا (تورم نیز در میان آنهاست) نیز به‌صورتی نرمال توزیع شده‌اند. استخراج پهناهای خطای پیش‌بینی در این خصوص یک مسأله آماری شناخته شده است. در یک مدل چند متغیره غیرخطی، شبیه‌سازی به‌منظور به‌دست آوردن پهناهای خطای پیش‌بینی استفاده می‌شود که کاری زمان‌بر، اما ساده است.

در این پژوهش، به چند دلیل از این روش استاندارد استفاده نمی‌شود؛ اول اینکه بانک‌های مرکزی از مدل واحدی برای پیش‌بینی تورم استفاده نمی‌کنند. دوم، رویکرد استاندارد اجازه استفاده از اطلاعات مشخص مرتبط با دوره پیش‌بینی خاص را نمی‌دهد. سوم، برای افق‌های زمانی به‌نسبت کوتاه‌مدت، اثبات شده است که قضاوت‌های تشخیصی برای انجام پیش‌بینی‌های خوب، اهمیت دارند؛ بنابراین، ترجیح داده می‌شود تا از رویکردی استفاده شود که به‌طور مشخص قضاوت‌های تشخیصی را در خصوص نااطمینانی در نظر می‌گیرد. قضاوت در خصوص ریسک‌های رو به بالا یا رو به پایین به مانند قضاوت در خصوص اینکه آیا نااطمینانی بیشتر یا کمتر از گذشته است، مورد توجه قرار می‌گیرد.

گفتنی است که بین متغیرهای کلانی که بر روی تورم تأثیر می‌گذارند و خود تورم، تمایز صورت می‌گیرد. متغیرهای کلان به‌طور مستقیم در ارتباط با نااطمینانی تشخیصی تعدیل می‌شوند که در بخش ۳-۱ در این مورد بحث می‌شود. به بیان دیگر، نااطمینانی در پیش‌بینی تورم، از ارزیابی‌های نااطمینانی متغیرهای کلان پس از یک فرض کلیدی استخراج می‌شود. این موضوع در بخش ۳-۲ بررسی می‌شود. نگاه متفاوت به تورم و متغیرهای کلان دیگر تنها انعکاسی از سیاست هدفگذاری تورم بانک مرکزی است. از آنجا که پیش‌بینی تورم و نااطمینانی تورم برای تصمیمات سیاستی مورد توجه قرار می‌گیرند، مطلوب‌تر است تا نااطمینانی تورم به‌صورت درونزا از فروضی که در نظر گرفته می‌شوند، استخراج شود.

۳-۱. ارزیابی نااطمینانی

در این بخش در خصوص چارچوب ارزیابی نااطمینانی پیش‌بینی تورم بحث می‌شود. پیش‌بینی تورم خود موضوع گریزناپذیر این روش است، اما به‌صورت صریح مورد بحث قرار نمی‌گیرد و از پیش مشخص در نظر گرفته می‌شود.

۳-۱-۱. مد (نما) پیش‌بینی[1]

یکی از جنبه‌های پیش‌بینی تورم، که نیاز به بررسی دارد -همچنان که بانک مرکزی انگلستان و سوئد صورت می‌دهند- مد یا نمای پیش‌بینی بوده که با μ نشان داده می‌شود، به‌جای میانگین پیش‌بینی که با $\tilde{\mu}$ نشان داده شده است. مد یک توزیع شاخصی متفاوت از میل مرکزی[2] است که در توزیع گوسی استاندارد[3] با میانه و میانگین برابر است. مد، مشاهده‌ای با بالاترین فراوانی در توزیع بوده و از این جهت محتمل‌ترین پیشامدی است که تحت تأثیر وقایع حدی نظیر مشاهدات در دنباله‌های انتهایی توزیع قرار نمی‌گیرد.

همچنین، مد از اطلاعات ناچیزی در خصوص توزیع استفاده می‌کند، بنابراین، نسبت به وقایع غیرمحتمل حساس نیست. افزون بر این، مد ممکن است درصورتی‌که توزیع چند مدی[4] باشد، گمراه‌کننده باشد، به‌طوری که یکی از اوج‌ها انتخاب شود و مدهای دیگر کنار گذاشته شوند. این موضوع تا زمانی که توزیع دارای یک نقطه اوج بوده و مسطح نیست، نگرانی جدی نیست.

میانه توزیع به‌طور ضمنی در این روش محاسبه می‌شود. در واقع، اختلاف بین میانه و مد که با $\gamma \equiv \tilde{\mu} - \mu$ نشان داده می‌شود، نقش مهمی را در این تحلیل‌ها بازی می‌کند. پارامتر گاما (γ)، که در بخش بعد بررسی می‌شود، شاخصی از چولگی توزیع است. هنگامی که γ منفی است، توزیع به سمت چپ چوله است، یا به بیان دیگر، ریسک روبه پایین بیشتری نسبت به ریسک رو به بالا وجود دارد.

---

1. Mode
2. Central Tendency
3. Standard Gaussian Distribution
4. Multi Modal

به‌طور رسمی، این را می‌توان به‌صورت $pr[X \le \mu] > 0/5$ نشان داد. به‌طور معکوس، درصورتی‌که γ مثبت باشد، نشان می‌دهد که ریسک رو به بالای بیشتری نسبت به ریسک رو به پایین وجود دارد. هنگامی که توزیع متقارن باشد، چولگی وجود نخواهد داشت ($\gamma = 0$).

از این‌رو پارامتر γ، توازن ریسک‌ها را به‌صورت چولگی در خود خلاصه می‌کند. فرض کنید توزیع بسیار چوله باشد، به‌طوری‌که γ بزرگ باشد، در نتیجه، این دلیلی برای بررسی باردیگر فروض پیش‌بینی تورم است. به هر حال، احتمال یک مشاهده اکسترمم (بی‌نهایت) مانند بدتر شدن بحران آسیا، می‌بایست موجب بازنگری در پیش‌بینی با در نظر گرفتن معیار قضاوت شود.

۳-۱-۲. فرض توزیع

متغیرهای کلانی که به نظر می‌رسند بر روی سطح آتی تورم اثرگذار باشند، با X_j نشان داده می‌شوند که در آن $j = 1,...,n$، در حالی‌که تورم با $\pi(t)$ نشان داده می‌شود. فرض می‌شود هر X_j (به مانند تورم) از توزیع تک متغیره پیروی کرده که با رابطه زیر نشان داده می‌شود:

$$f(x;\mu,\sigma_1,\sigma_2) = \begin{cases} C \exp\left\{-\frac{1}{2\sigma_1^2}(x-\mu)^2\right\} & x \le \mu \\ C \exp\left\{-\frac{1}{2\sigma_2^2}(x-\mu)^2\right\} & x > \mu \end{cases} \qquad (۱)$$

به‌طوری که $C = k(\sigma_1 + \sigma_2)^{-1}$، $k = \sqrt{2/\pi}$ و μ عبارت است از مد. این توزیع در متون آماری به‌عنوان توزیع نرمال دو بخشی شناخته شده است.[۱] این توزیع با سه پارامتر مد و دو شاخص انحراف معیار مشخص می‌شود. در سمت چپ آن، متناسب با توزیع گوسی استاندارد با میانگین μ و انحراف معیار σ_1 است؛ در سمت راست آن، متناسب با یک توزیع گوسی با میانگین μ و انحراف معیار σ_2 است. توزیع دارای این ویژگی است که درصورتی‌که $\sigma_1 = \sigma_2$ باشد، به توزیع گوسی استاندارد تبدیل

۱. برای اطلاعات بیشتر به جانسون، کوتز و بالاکریشنان (۱۹۹۴) مراجعه کنید.

می‌شود. هنگامی که $\sigma_1 > \sigma_2$ باشد، چولگی به سمت چپ دارد، یعنی $pr[X \le \mu] > 0/5$ و به‌طور معکوس هنگامی که $\sigma_1 < \sigma_2$ باشد.

این نوع توزیع توسط جان (۱۹۸۲) بررسی شده است، وی نشان می‌دهد که $pr[L_1 \le x \le L_2]$ از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\int_{L_1}^{L_2} f(x)dx = \frac{2\sigma}{(\sigma_1+\sigma_2)}\left[\phi\left(\frac{L_2-\mu}{\sigma}\right)-\phi\left(\frac{L_1-\mu}{\sigma}\right)\right], \qquad (۲)$$

در رابطه بالا، $\phi(0)$ تابع توزیع تجمعی نرمال استاندارد است و

$$\begin{cases}\sigma = \sigma_1 \quad if \quad L_1 \le L_2 \le \mu \\ \sigma = \sigma_2 \quad if \quad \mu \le L_1 \le L_2\end{cases} \qquad (۳)$$

همچنین، به‌منظور محاسبه احتمال $L_1 \le \mu \le L_2$، انتگرال می‌بایست به‌صورت $\int_{L_1}^{\mu} f(x)dx + \int_{\mu}^{L_2} f(x)dx$ تبدیل شود. افزون بر این، نشان داده می‌شود که واریانس از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\mathrm{var}(x) = (1-k^2)(\sigma_2-\sigma_1)^2 + \sigma_1\sigma_2 \qquad (۴)$$

گشتاور مرکزی سوم (چولگی) از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$E[(x-\mu)^3] = k(\sigma_2-\sigma_1)[(2k^2-1)(\sigma_2-\sigma_1)^2 + \sigma_1\sigma_2], \qquad (۵)$$

به‌طوری که چولگی متناسب با $k(\sigma_2-\sigma_1)$ است، از آنجا که $2k^2-1>0$ است، بنابراین، از رابطه زیر به‌عنوان شاخصی از چولگی استفاده خواهد شد:

$$\gamma \equiv \tilde{\mu} - \mu = k(\sigma_2-\sigma_1) \qquad (۶)$$

مزیت رابطه ۶ نسبت به رابطه ۵ در این است که از اختلاف بین میانگین و مد توزیع به‌دست می‌آید. گفتنی‌است، هر دو رابطه ۵ و ۶ هنگامی که چولگی وجود ندارد، صفر شده و واریانس در رابطه ۴ به

رابطه استاندارد بر می‌گردد. به بیان دیگر، بدون وجود چولگی، توزیع به توزیع گوسی استاندارد تبدیل می‌شود. افزون بر این، از رابطه ۶ میانگین توزیع به‌راحتی با $\tilde{\mu} = \mu + k(\sigma_2 - \sigma_1)$ محاسبه می‌شود.

۳-۱-۳. ارزیابی نااطمینانی

به‌عنوان ورودی روش به ارزیابی‌های نااطمینانی در خصوص متغیرهای کلان نیاز است. ارزیابی تا حدودی قضاوتی است، اما به‌عنوان نقطه شروع داده‌های تاریخی مورد توجه قرار می‌گیرند. برای رابطه‌مندکردن قضاوت، دو پرسش زیر در خصوص متغیر X_j با در نظر گرفتن مد پیش‌بینی مطرح می‌شود:

۱. شانس اینکه نتیجه پایین‌تر از مد پیش‌بینی باشد، به چه میزان است؟ به بیان دیگر، ریسک روبه پایین چیست؟ یا به‌صورت رسمی‌تر، احتمال اینکه $P_j = pr[X_j \le \mu_j]$ باشد، چه میزان است؟ درصورتی‌که پاسخی به این پرسش داده نشود، ۵۰ درصد به‌عنوان پاسخ در نظر گرفته می‌شود که به‌عنوان ارزش مرجع نیز هست.

۲. نااطمینانی مربوط به پیش‌بینی در مقایسه با نااطمینانی تاریخی که با انحراف معیار اندازه‌گیری می‌شود، چه میزان است؟ پاسخ با h_j نشان داده می‌شود، h_j یک عامل ضرب است که در انحراف معیار ضرب می‌شود. ارزش مرجع، واحد در نظر گرفته می‌شود، اما اگر اطلاعات مشخصی در خصوص این پرسش وجود داشته باشد که نشان‌دهد نااطمینانی کمتر یا بیشتر است، h_j بر آن اساس تعیین می‌شود.

به‌عنوان مثالی از پاسخ به پرسش‌های پیش‌گفته، واردات را در نظر بگیرید. در نتیجه بحران‌های آسیا، پیش‌بینی هم دارای ریسک روبه پایین بوده و هم اینکه نااطمینانی نسبت به نااطمینانی تاریخی بیشتر است که این دو را می‌توان به‌صورت تقریبی فرضی با $P_j=0.6$ و $h_j=1/3$ نشان داد.

این شیوه کمی‌کردن نااطمینانی به چند دلیل اهمیت دارد؛ در حالی که اختلاف نظر ناچیزی در خصوص اینکه آیا $h_j=1/3$ درست است یا $h_j=1/29$ وجود دارد، ولی پاسخ‌ها، نقطه مرجعی را برای بحث

فراهم می‌کند. تفاوت بین ۱۰ درصد نااطمینانی بیشتر نسبت به داده‌های تاریخی می‌تواند در مقابل اینکه برای مثال ۳۰ درصد نااطمینانی بیشتر نسبت به داده‌های تاریخی وجود دارد، مطرح شود. کمی‌کردن در این شیوه، مباحث را روی موضوع‌های ایجادکننده نااطمینانی و فروض مربوط به آن متمرکز می‌نماید.

پرسش دیگری که مطرح می‌شود، آن است که به چه دلیلی نااطمینانی مورد نظر نسبت به نااطمینانی محاسبه‌شده از داده‌های تاریخی بیشتر است. برای مثال، درصورتی‌که این اطمینان وجود داشته باشد که در مقطع زمانی مورد نظر، اقتصاد در مسیر نقطه بازگشت[1] در یک سیکل تجاری حرکت می‌کند، در این صورت، به‌یقین نااطمینانی بیشتری وجود خواهد داشت، چرا که پیش‌بینی نقاط بازگشت کار بسیار دشواری است.

در این ارتباط، موارد دیگری را نیز می‌توان بیان کرد؛ برای مثال، شرایطی را در نظر بگیرید که پیش‌بینی برای دوره زمانی صورت می‌گیرد که قرار است در آن دوره انتخابات نیز برگزار شود که در این‌صورت این امکان وجود دارد تا تغییرات قابل‌توجهی در سیاست‌ها به وجود آید.

همچنین، ممکن است نااطمینانی کمتری نسبت به نااطمینانی به‌دست‌آمده از داده‌های تاریخی وجود داشته باشد. برای مثال، هنگامی که دور چانه‌زنی دستمزد تکمیل شد، در دوره زمانی پس از آن دلیلی برای نااطمینانی نسبت به افزایش دستمزدها وجود نخواهد داشت.

اما چگونه می‌توان از پاسخ‌های یادشده در توزیع پیش‌بینی مشخص‌شده در رابطه ۱ استفاده کرد؟ برای این موضوع، واریانس X_j که با پارامتر نااطمینانی مقیاس‌بندی شده است، به‌صورت زیر نشان داده می‌شود:

$$\omega_{j,j}(t) = (h_j(t)\sigma_j(t))^2 \qquad (۷)$$

به‌طوری که $\sigma_j(t)$ انحراف معیار تاریخی X_j است. برای به‌دست آوردن انحراف معیارهای $\sigma_{1,j}$ و $\sigma_{2,j}$ ابتدا پاسخ به پرسش‌های اول و دوم مربوط به بخش ۳-۱-۳ یعنی P_j و h_j را در نظر گرفته، با این

1. Turning Point

توضیح که با توجه به رابطه ۷، $\omega_{j,j}(t)$ با مشخص‌بودن h_j مشخص می‌شود. رابطه ۲ نشـان مـی‌دهـد که:

$$\int_{-\infty}^{\mu} f(x)dx = \frac{\sigma_1}{\sigma_1 + \sigma_2}, \forall \mu$$

از این رو $\sigma_{1,j}$ و $\sigma_{2,j}$ می‌بایست چنان انتخاب شوند که داشته باشیم:

$$\frac{\sigma_{1,j}(t)}{(\sigma_{1,j}(t) + \sigma_{2,j}(t))} = P_j(t),$$

و با توجه به رابطه ۴ خواهیم داشت:

$$(1-k^2)(\sigma_{2,j}(t) - \sigma_{1,j}(t))^2 + \sigma_{1,j}(t)\sigma_{2,j}(t) = \omega_{1,j}(t),$$

و با توجه به روابط بالا می‌توان $\sigma_{1,j}$ و $\sigma_{2,j}$ را به‌صورت زیر محاسبه کرد:

$$\sigma_{1,j}(t : \omega_{j,j}, P_j) = \omega_{j,j}(t)\left[(1-k^2)\left(\frac{1-2P_j(t)}{P_j(t)}\right)^2 + \left(\frac{1-P_j(t)}{P_j(t)}\right)\right]^{-1}, \quad (۸)$$

$$\sigma_{2,j}(t : \omega_{j,j}, P_j) = \omega_{j,j}(t)\left[(1-k^2)\left(\frac{1-2P_j(t)}{1-P_j(t)}\right)^2 + \left(\frac{P_j(t)}{1-P_j(t)}\right)\right]^{-1} \quad (۹)$$

روابط ۸ و ۹ را می‌توان به‌صورت زیر نیز نمایش داد:

$$\sigma^2{}_1 \cong h^2\sigma^2 P/(1-P)$$
$$\sigma^2{}_2 \cong h^2\sigma^2(1-P)/P$$

بنابراین، عامل h دارای اثر مقیاس‌بندی شاخص‌های انحراف معیار است، به‌گونه‌ای که هر چه h بزرگتر باشد، هر دو σ_1 و σ_2 افزایش خواهند یافت و برعکس. اثر P شاید بـا مثـال پیشـین کـه تـا حـدودی ریسک روبه پایین وجود داشت به‌گونه‌ای که P=0.6 بود، بهتر درک شود.

با در نظر گرفتن P=0.6 خواهیم داشت P/(1-P)<1 و(1-P)/P>1 و در نتیجـه، σ_1 رو بـه بـالا و σ_2 رو به پایین مقیاس‌بندی خواهند شد. البته، بزرگتر بودن σ_1 از σ_2 به این معناست کـه احتمـال

بیشتری وجود دارد تا در سمت چپ مد یا به بیان دیگر، ریسک رو بـه پـایین بیشـتری وجـود داشـته باشد.

۳-۲. توزیع پیش‌بینی تورم

همان‌طور که اشاره شد، قضاوت‌های تشخیصی از نقش قابل‌توجهی در ارزیابی‌ها برخوردارنـد. در ادامـه به چگونگی تجمیع این ارزیابی‌ها پرداخته می‌شود.

۳-۲-۱. چولگی پیش‌بینی تورم

نقطه آغازین، این فرض است که پیش‌بینی تورم نیز دارای توزیع دو بخشـی اسـت کـه در رابطـه ۱ بـا پارامترهای μ_π، $\sigma_{1,\pi}$ و $\sigma_{2,\pi}$ نشان داده شد. پیش‌بینی تورم $\mu_\pi(t)$ همانند واریانس پیش‌بینی تورم داده شده در نظر گرفته می‌شود. از این‌رو مسأله باقی‌مانده اتصال ارزیابی‌های نااطمینانی X_j بـه تـورم و بدان وسیله استخراج برآوردهای $\sigma_{1,\pi}$ و $\sigma_{2,\pi}$ است.

پرسش کلیدی این است که چگونه توزیع‌هـای پـیش‌بینـی مربـوط بـه متغیرهـای کـلان را بـه پیش‌بینی تورم ارتباط دهیم. درصورتی‌که یک رابطه خطی بین متغیرهـای X_j و تـورم در نظـر گرفتـه شود، می‌توان یک توزیع پیش‌بینی را برای تورم اسـتخراج کـرد؛ امـا بـه نظـر مـی‌رسـد ایـن رویکـرد غیرعملی باشد. با داشتن n متغیر X_j، نیازمند یک انتگرال n بعدی هستیم، که حتی بـرای ارزش‌هـای کم n، بسیار پیچیده خواهند بود. افزون بر این، توزیع به‌دست‌آمده به‌یقین یک توزیع دو بخشی نرمـال یا هرگونه توزیع شناخته‌شده دیگری که بتوان با تعداد محدودی پارامتر آن را مشـخص کـرد، نخواهـد بود.

در این رویکرد، در مقابل یک فرض کلیدی در خصوص اینکه چگونـه نااطمینـانی در متغیرهـای کلان X_j به تورم آینده ارتباط می‌یابند، صورت می‌گیرد، به‌گونه‌ای که:

$$\gamma_\pi(t) = \sum_{j=1}^{n} \beta_j(t)\gamma_j(t) \qquad (۱۰)$$

در اینجا، γ_π چولگی تورم و γ_j چولگی متغیرهای X_j است. رابطه ۱۰ نشـان مـی‌دهـد کـه چـولگی متغیرهای کلان (X_j)، تورم را با ضریب وزنی β_j متأثر می‌سازند.

اگر چه رابطه ۱۰ یک برآورد آماری است، منطق پایه‌ای آن از استدلال‌های اقتصادی ناشی می‌شود. این موضوع را می‌توان با مثالی ساده تشریح کرد. ابتدا، یک مورد آزمایشی را که در آن چولگی در هیچ یک از متغیرهای کلان وجود ندارد، در نظر بگیرید. رابطه ۱۰ نشان می‌دهد که در این صورت چولگی در تورم وجود نخواهد داشت. دوم، اگر چولگی منفی برای مثال در مصرف وجود داشته باشد، این به چولگی منفی تورم با توجه به اینکه وزن مصرف غیرمنفی است، منجر می‌شود. در نهایت، فرض کنید برخی از متغیرهای دیگر مانند نرخ دستمزد، چولگی مثبت داشته باشند. اینکه مجموع چولگی مصرف و دستمزد به چولگی مثبت یا منفی تورم منتج شوند، به اهمیت نسبی آنها در تورم آینده بستگی دارد که این اهمیت نسبی با وزن‌های β_j نشان داده می‌شوند.

وزن‌ها β_j، کشش تورم نسبت به متغیرهای کلان بوده که با در نظر گرفتن یک تغییر در هر یک از متغیرهای X_j در مدل اقتصادسنجی کلان و استخراج اثرات آن بر روی تورم در دوره پیش‌بینی به دست می‌آیند.

پارامترهای چولگی سمت راست رابطه ۱۰ از کسر رابطه‌های ۸ و ۹ از ۶ به دست می‌آیند:

$$\gamma_j(t) \cong \tilde{\mu}_j(t) - \mu_j(t) = k\,(\sigma_{2,j}(t) - \sigma_{1,j}(t)). \qquad (۱۱)$$

با داشتن چولگی تورم $\gamma_\pi(t)$ از رابطه ۱۰ و انحراف معیار خطاهای پیش‌بینی گذشته $\sigma_\pi(t)$، می‌توان $\sigma_{1,\pi}$ و $\sigma_{2,\pi}$ را به دست آورد. با بازخوانی از ۴ و ۶ که $\sigma_\pi(t)$ و $\gamma_\pi(t)$ از آن تعریف شدند، خواهیم داشت:

$$\sigma_\pi^2(t) = (1-k^2)\left[\sigma_{2,\pi}(t) - \sigma_{1,\pi}(t)\right]^2 + \sigma_{1,\pi}(t)\sigma_{2,\pi}(t) \qquad (۱۲)$$

$$\gamma_\pi(t) = k\,(\sigma_{2,\pi}(t) - \sigma_{1,\pi}(t)). \qquad (۱۳)$$

در اینجا دو رابطه و دو مجهول وجود دارد، که می‌توان به‌صورت رابطه ۱۴ خلاصه کرد:

$$\sigma_{1,\pi}^2(t) + b\,\sigma_{1,\pi}(t) + c = 0 \qquad (۱۴)$$

به‌طوری که $b = (\gamma_\pi / k)$ و $c = -[(1-1/k^2)\gamma_\pi^2 + \sigma_\pi^2]$. دو پاسخ برای رابطه ۱۴ به دست می‌آید، اما تنها یکی از آنها مرتبط خواهد بود (پاسخ دیگر منفی است). این پاسخ برای $\sigma_{1,\varepsilon}(t)$را می‌توان در رابطه ۱۳ جایگذاری کرد، که از آن، $\sigma_{2,\varepsilon}(t)$ به دست می‌آید.

۳-۲-۲. واریانس پیش‌بینی تورم

در بخش پیشین، واریانس پیش‌بینی تورم داده‌شده در نظر گرفته شد، که از خطاهای پیش‌بینی گذشته محاسبه می‌شد. با برخی فروض دیگر می‌توان اجازه داد تا این واریانس تحت تأثیر فروض مربوط به X_j قرار گیرد. به‌طور خاص اگر فرض شود که:

$$\sigma_1^2(t;\sigma_\varepsilon^2) = \beta'(t)\sum(t;\sigma_\varepsilon^2)\beta(t),\ \ t = 1,\ldots,T \qquad (۱۵)$$

به‌طوری که:

$$\beta' = \begin{bmatrix} 1 & \beta_1 & \ldots & \beta_n \end{bmatrix}, \qquad (۱۶)$$

$$\sum(t;\sigma_\varepsilon^2) = \begin{bmatrix} \sigma_\varepsilon^2 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \omega_{1,1} & \cdots & \omega_{1,n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \omega_{n,1} & \cdots & \omega_{n,n} \end{bmatrix}$$

و

$$\omega_{i,j} = \begin{cases} \mathrm{var}\left[X_j(t)\right] for\ i = j \\ \mathrm{cov}\left[X_i(t), X_j(t)\right] for\ i \neq j \end{cases} \qquad (۱۷)$$

واریانس رابطه ۱۷ در رابطه ۷ نشان داده شده بود، در حالی که کواریانس آن از رابطه ۱۸ به دست می‌آید:

$$\mathrm{cov}[X_i(t), X_j(t)] = \rho_{i,j}\sqrt{\omega_{i,i}(t)\omega_{j,j}}, \qquad (۱۸)$$

در رابطه بالا، $\rho_{i,j}$ عبارت است از همبستگی بین X_i و X_j (فرض می‌شود که به t بستگی ندارند). ماتریس کواریانس را می‌توان به‌صورت یک نسخه مقیاس‌بندی شده[1] از ماتریس کواریانس تجربی تصور کرد، به‌طوری که هرگونه اختلاف بین این دو، نشان‌دهنده قضاوت‌های تشخیصی است. عبارت $\sigma_{\varepsilon}^2(t)$ واریانس شوک تورم بوده که مستقل از X_j است و می‌تواند به‌عنوان بخشی از نااطمینانی پیش‌بینی که با افزایش افق پیش‌بینی -با توجه به اینکه هر چه جلوتر می‌رویم، نااطمینانی بیشتر می‌شود- تفسیر شود.

۴. نمودار پنکه‌ای پیش‌بینی تورم در چهار فصل منتهی به شهریور ۱۳۹۸[2]

به‌منظور استخراج عملیاتی نمودار پنکه‌ای، فصل‌های سوم و چهارم ۱۳۹۷ و فصل‌های اول و دوم ۱۳۹۸ برای نمونه انتخاب‌شده که در ادامه چگونگی استخراج نمودار پنکه‌ای تورم این فصل‌ها ارائه می‌شود.

گفتنی‌است که نتایج پیش‌بینی فصلی که از مدل‌های پیش‌بینی تورم به دست آمده‌اند، به‌عنوان مد توزیع مورد توجه قرار گرفته و پهناهای نااطمینانی با توجه به روش‌شناسی ارائه‌شده، استخراج می‌شوند. همان‌طور که بیان شد، نمودار پنکه‌ای به‌نوعی نمایانگر نااطمینانی موجود در پیش‌بینی‌های مبتنی بر مدل بوده که با استفاده از اطلاعات آتی که در بیشتر موارد در مدل‌سازی در نظر گرفته نمی‌شوند، ترسیم می‌شوند.

متغیرهای کلان اقتصادی که به‌منظور تشکیل پهنای نااطمینانی مورد توجه قرار گرفته‌اند، شامل قیمت نفت، نرخ ارز، نرخ سود بانکی، قیمت واردات، نقدینگی، قیمت مسکن، رشد اقتصادی، نرخ بهره، شکاف تولید و انتظارات تورمی هستند. مطابق روش‌شناسی پیش‌گفته، به‌منظور شناسایی پارامترهای توزیع دو بخشی مراحل زیر طی شده است:

---

1. Scaled Version

۲. پیش‌بینی نرخ تورم ارائه‌شده در این پژوهش صرفاً به‌منظور ارائه یک نمونه از کاربرد رویکرد ارائه شده بوده و نتایج پیش‌بینی به‌دست‌آمده از مدل‌سازی اقتصادی است.

- محاسبه حساسیت تورم نسبت به هر یک از متغیرهای کلان،
- محاسبه انحراف معیار تاریخی این متغیرها،
- برآورد قضاوتی ریسک رو به بالا و رو به پایین هر یک از متغیرهای یادشده،
- قضاوت در خصوص اینکه این انحراف معیار تاریخی در دوره‌های پیش‌بینی افزایش یا کاهش خواهد یافت،
- تجمیع نااطمینانی مربوط به متغیرها،
- تجمیع ریسک مربوط به متغیرها.

جدول ۱. نحوه محاسبه ریسک (چولگی) تورم [۱]

متغیرهای رفتاری	تعادل رو به بالا [۱]	چولگی تورم پیش‌بینی شده (میانگین منهای مد)	چولگی مربوط به متغیرها در پایان سال پیش‌بینی	پارامتر گاما γ
قیمت نفت	۰/۶	۱/۰۲	-۱/۰۲	۰/۳۸
نرخ ارز	۰/۶۰	۰/۰۳	۰/۰۲	-۰/۳۸
قیمت واردات	۰/۶۰	۰/۰۱	۰	-۰/۳۸
شکاف تولید	۰/۵۰	۰	۰	۰
قیمت مسکن	۰/۵۰	۰	۰	۰
نقدینگی	۰/۵۵	۱/۳۰	۱/۳۰	-۰/۲۰
رشد اقتصادی	۰/۵۰	۰	۰	۰
نرخ بهره(سود بانکی)	۰/۵۰	۰	۰	۰
شکاف تولید	۰/۵۰	۰	۰	۰
انتظارات تورمی	۰/۵۰	۰	۰	۰
			۰/۳	

۱. ارقام مبتنی بر قضاوت هستند.

مأخذ: محاسبات این پژوهش.

برای محاسبه چولگی توزیع، ابتدا چولگی توزیع تورم محاسبه می‌شود، که برای محاسبه آن ریسک رو به بالا به‌صورت قضاوتی برای هر یک از متغیرها تعیین‌شده، سپس، از این مقدار چولگی مربوط به هر یک از متغیرها به دست می‌آید، با مشخص‌شدن چولگی مربوط به هر یک از متغیرها با

در نظر گرفتن حساسیت تورم نسبت به متغیرها، چولگی تورم محاسبه می‌شود، در بررسی صورت‌گرفته چولگی ۰/۳ به‌دست آمده است.

از جمع حاصل‌ضرب‌های قضاوت در خصوص نااطمینانی، نااطمینانی تاریخی و حساسیت تورم نسبت به متغیرها مقدار ۱۱/۱ به‌دست می‌آید، همچنین، بدون در نظر گرفتن قضاوت در خصوص نااطمینانی تاریخی این میزان همان ۱۱/۱ است. برای محاسبه نااطمینانی توزیع تورم این دو مقدار بر هم تقسیم شده و در نااطمینانی مدل (۲/۵) ضرب می‌شود که رقم ۲/۵ به‌دست‌آمده که به‌عنوان نااطمینانی توزیع پیش‌بینی تورم در نظر گرفته می‌شود.

جدول ۲. نحوه محاسبه نااطمینانی تورم [1]

	قضاوت در خصوص نااطمینانی	حساسیت تورم نسبت به متغیرها	نااطمینانی تاریخی
قیمت نفت	۱	-۱	۳
نرخ ارز	۱	۰/۹۰	۰/۰۷۴
قیمت واردات	۱	۰/۰۸	۰/۰۳۰
شکاف تولید	۱	۰/۰۴	۰/۰۱۸
قیمت مسکن	۱	۰/۱۹	۱/۷
نقدینگی	۱	۱/۱۰	۱/۸۷
رشد اقتصادی	۱	۱	۸
نرخ بهره (سود بانکی)	۱	۰/۱۰	۲
شکاف تولید	۱	۰/۰۴	۰/۳۹
انتظارات تورمی	۱	۰/۶۵	۰/۶۹
قضاوت (تجمیع حاصل‌ضرب‌های نااطمینانی تاریخی در سیاست تورم) [1]			۱۱/۱
قضاوت پیش‌بینی	۱۱/۱		

۱. این ارقام برآوردی هستند.

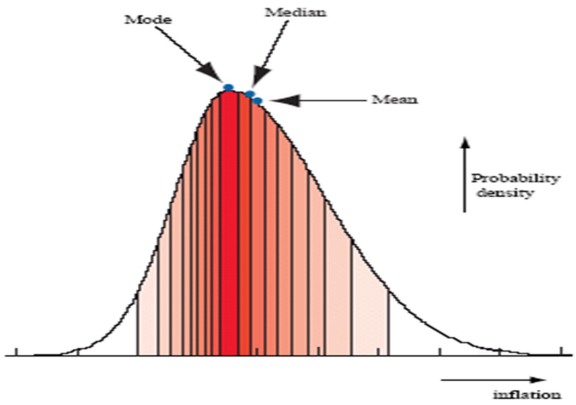
مأخذ: محاسبات این پژوهش.

با مشخص‌شدن پارامترهای توزیع دو بخشی، توزیعی که ترسیم می‌شود، با در نظر گرفتن تصویر مرکزی (پیش‌بینی مبتنی بر مدل) به‌عنوان مد، واریانس و توازن ریسک‌ها، تولید می‌شود. چولگی و واریانس‌ها برای تصویر یک سال پیش‌رو ارزیابی می‌شوند و سپس برای نمودار پنکه‌ای فصلی درون‌یابی می‌شوند. با این کار توزیع مربوطه ترسیم می‌شود. با به‌دست آوردن توزیع پیش‌بینی تورم در هر نقطه در چهار فصل پیش‌بینی پیش‌رو، از نمودار پنکه‌ای به‌منظور بیان گرافیکی آن استفاده می‌شود.

با توجه به نمودار ۲ می‌توان به درک بهتری نسبت به نمودار پنکه‌ای دست یافت. محور عمودی شکل در هر دوره زمانی با تابع چگالی احتمال برای آن دوره متناظر است. ارتفاع تابع یادشده با احتمال اینکه تورم یک ارزش ویژه را در آن دوره زمانی به خود اختصاص دهد، متناسب است. از این‌رو، تصویر مرکزی متناظر با نقطه اوج یا همان مد توزیع است.

همچنین، در خصوص شکل ۲ گفتنی‌است که غلظت رنگ، نشان‌دهنده احتمال نسبی تورمی است که در یک پهنای ویژه قرار می‌گیرد. برای ترسیم پهناها، قاعده زیر استفاده می‌شود؛ دو نقطه با چگالی احتمال یکسان هر یک در یک سوی مد نشان داده می‌شود. سپس، دو نقطه یادشده به‌طور همزمان از مرکز دور می‌شوند، با حفظ یکسانی ارزش‌های چگالی احتمال، تا هنگامی ۱۰ درصد توزیع در یک فاصله مرکزی واحد وجود داشته باشد، با این دو نقطه لبه‌های بیرونی مشخص می‌شوند. پهنای آن با غلیظ‌ترین رنگ مشخص می‌شود. دو نقطه یادشده باردیگر در هر دو سوی پهنای اولیه (هنوز با حفظ چگالی احتمال یکسان) تا زمانی که ۱۰ درصد دیگری از توزیع به توزیع اولیه افزوده شود، از هم دور می‌شوند، در این هنگام یک جفت از پهناها در هر دو سوی مرکز مشخص می‌شوند. این دو پهنا با رنگ‌های یکسانی رنگ‌آمیزی می‌شوند، اما روشن‌تر از رنگ‌های اولیه. این کار تا زمانی که ۹۰ درصد توزیع پوشش داده شود، ادامه می‌یابد.

شکل ۲. توزیع احتمال تورم با فواصل اطمینان ۱۰ درصد



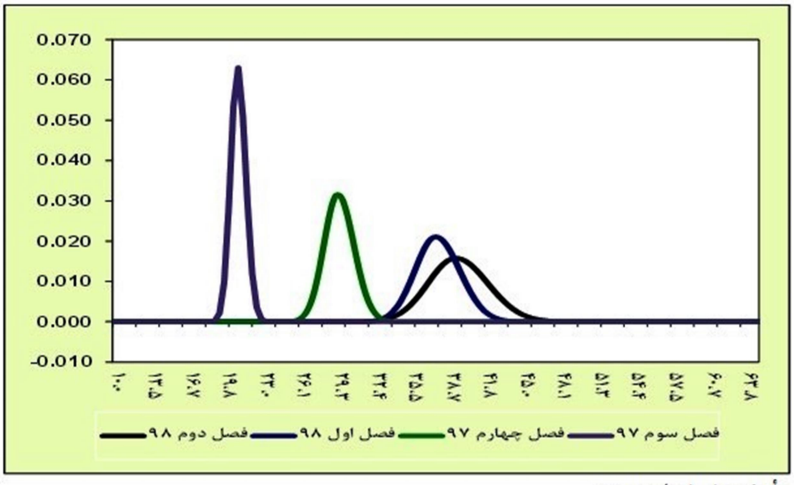
مأخذ: Bank of England, (1998)

گفتنی‌است که تصورهای نادرستی در مورد نمودار توزیع احتمال نیز وجود دارد کـه بـرای مثـال می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

نخست اینکه همان‌طور که بیان شد، نمودار پنکه‌ای ۱۰۰ درصد احتمال را پوشش نمی‌دهد. دوم آنکه، تصویر مرکزی (مد) لزوماً مرکز پهنایی با غلیظ‌ترین رنگ نیست (اگـر چـه همـواره در داخـل آن قرار دارد و معمولاً نزدیک به مرکز است). سوم، اگر چه نمودار پنکه‌ای می‌تواند برای بیـان یـک توزیـع پیش‌بینی استفاده شود که با روش‌های صرفاً آماری ماننـد شـبیه‌سـازی تصـادفی از یـک مـدل تولیـد شده‌اند، اما این رویکرد بیان یک توزیع ذهنی (فردی) برای تصویر تورم مبتنی بر تحلیل‌های اقتصـادی و قضاوت است.

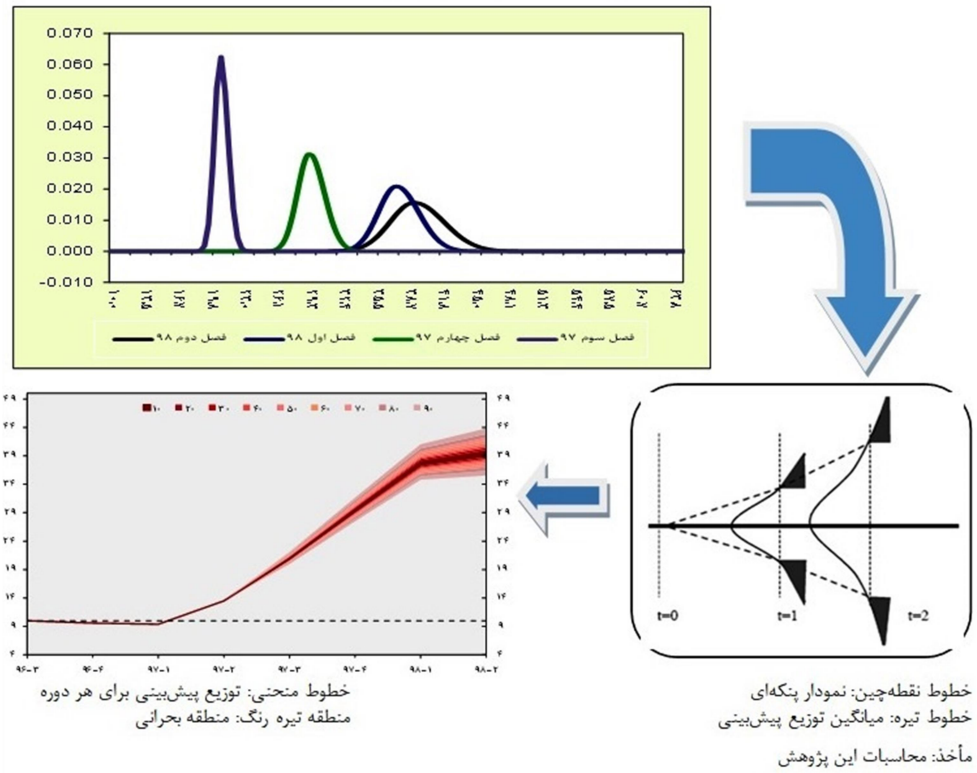
با در نظر داشتن نااطمینانی ذاتی مدل و اطلاعات پیش‌گفته، توابع چگـالی احتمـال پـیش‌بینـی تورم برای دو فصل انتهایی سال ۱۳۹۷ و فصل‌های اول و دوم سال ۱۳۹۸ ترسیم شده است (شکل ۳). همان‌طور که در شکل ۴ نشان داده شده است، به‌منظـور اسـتخراج پهناهـای نااطمینـانی، ایـن توابـع چگالی احتمال، ۹۰ درجه چرخش داده شده‌اند تا نمودار پنکه‌ای استخراج شود.

شکل ۳. توابع چگالی احتمال تورم چهار فصل منتهی به شهریور ۱۳۹۸



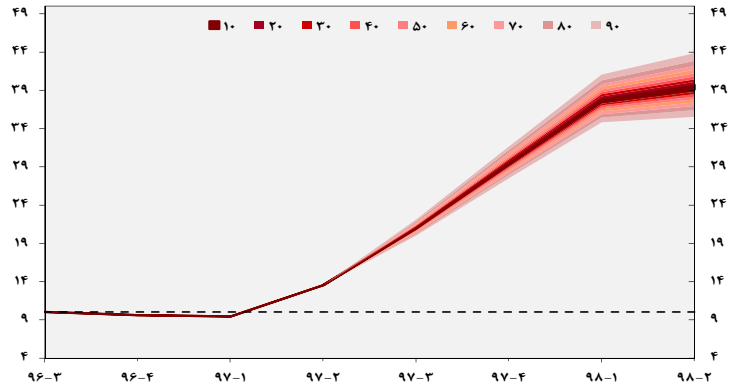
مأخذ: محاسبات این پژوهش.

شکل ۴. فرآیند ترسیم نمودار پنکه‌ای



مأخذ: محاسبات این پژوهش

شکل ۵. نمودار پنکه‌ای پیش‌بینی نرخ تورم در چهار فصل منتهی به شهریور ۱۳۹۸ (درصد)



نمودار پنکه‌ای دارای ویژگی‌های زیر است:

۱. تعداد برابری از پهناهای رنگی در هر سوی پهنای مرکزی (هشت) وجود دارد،
۲. هر جفت از پهناها ۱۰ یا ۲۵ درصد از توزیع را پوشش می‌دهند، اما درصورتی‌که ریسک‌ها نامتوازن باشند، پهناهای هم‌رنگ دارای عرض یکسانی نیستند (که نشان‌دهنده فواصل احتمال نابرابر است)،
۳. تصویر مرکزی همواره در پهنای با غلیظ‌ترین رنگ قرار دارد، چرا که آن با مد رابطه دارد،
۴. برای ریسک‌هایی که به میزان زیادی نامتوازن هستند، میانه و میانگین ممکن است خارج از پهنای با رنگ غلیظ قرار داشته باشند، همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود.

در دوره پیش‌بینی، درصورتی‌که تورم در پهناهایی که از مرکز دورترند، قرار گیرد، با غلظت رنگ کمتری مشخص می‌شوند (شکل ۵)؛ اما با توجه به اینکه انتظار می‌رود، عدم اطمینان پیش‌بینی با افزایش دوره پیش‌بینی افزایش پیدا کند، در نتیجه، انتظار می‌رود پهناهای نااطمینانی نیز افزایش یابد. با مقایسه توزیع‌های فصل سوم ۱۳۹۷ با فصل دوم سال ۱۳۹۸ در شکل ۳ و یا شکل ۵ ملاحظه می‌شود که واریانس پیش‌بینی‌ها نیز افزایش می‌یابند.

۴-۱. احتمال قرار گرفتن تورم در فاصله‌های معین

همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، توزیع تابع چگالی احتمال نامتقارن و چوله است. این چولگی به سمت تورم‌های بالا بوده و فصل دوم سال ۱۳۹۸ بیشترین مقدار را (۰/۳ واحد) به خود اختصاص داده است. همچنین، واریانس پیش‌بینی تورم نیز با افزوده شدن بر دوره زمانی پیش‌بینی افزایش یافته و به بیشترین مقدار خود یعنی ۲/۵ واحد در فصل دوم سال ۱۳۹۸ رسیده است.

افزون بر این، احتمال قرارگرفتن تورم در بازه‌های مختلف در جدول ۴ نشان داده شده است.[1] با توجه به محاسبات انجام‌شده، همان‌طور که ملاحظه می‌شود، بیشترین احتمال وقوع تورم در فصل چهارم سال ۱۳۹۷ در بازه ۳۰ - ۲۴ درصد و فصل‌های اول و دوم سال ۱۳۹۸ در بازه ۴۲ -۳۶درصد قرار دارند.

---

۱. روش محاسبه احتمال‌ها در پیوست ۳ آمده است.

جدول ۳. تورم شاخص قیمت کالاها و خدمات مصرفی (درصد)

	فصل سوم ۱۳۹۷	فصل چهارم ۱۳۹۷	فصل اول ۱۳۹۸	فصل دوم ۱۳۹۸
مد	۲۰/۹۵	۲۹/۴۱	۳۷/۶۸	۳۹/۳۷
میانه	۲۱/۰۱	۲۹/۵۳	۳۷/۸۵	۳۹/۶۰
میانگین	۲۱/۰۲	۲۹/۵۶	۳۷/۹۰	۳۹/۶۷
واریانس	۰/۶۳	۱/۲۵	۱/۸۸	۲/۵۰
چولگی	۰/۰۸	۰/۱۵	۰/۲۳	۰/۳۰

مأخذ: محاسبات این پژوهش.

جدول ۴. احتمال واقع شدن پیش‌بینی تورم در کرانه‌های تعیین شده

	فصل سوم ۱۳۹۷	فصل چهارم ۱۳۹۷	فصل اول ۱۳۹۸	فصل دوم ۱۳۹۸
Pr. {<18%}	٪۰,۰	٪۰,۰	٪۰,۰	٪۰,۰
Pr. {18% -24%}	٪۱۰۰	٪۰,۰	٪۰,۰	٪۰,۰
Pr. {24% -30%}	٪۰,۰	٪۶۴/۴	٪۰,۰	٪۰,۰
Pr. {30% -36%}	٪۰,۰	٪۳۵/۶	٪۱۵/۶	٪۶/۹
Pr. {36% - 42%}	٪۰,۰	٪۰,۰	٪۸۲/۶	٪۷۵/۳
Pr. {>42%}	٪۰,۰	٪۰,۰	٪۱/۸	٪۱۷/۸
Pr. {>Mode}	٪۵۳/۷	٪۵۳/۷	٪۵۳/۷	٪۵۳/۷
Pr. {<42%}	۱۰۰٪	٪۱۰۰	٪۹۸/۲	٪۸۲/۲

مأخذ: محاسبات این پژوهش.

همان‌طور که ملاحظه شد، با استفاده از رویکرد بررسی‌شده، معیارهای قضاوتی آینده‌نگر کمی شده و در پیش‌بینی تورم و یا شاخص‌های اقتصادی دیگر، قابلیت کاربرد خواهد داشت. موضوعی که

در ابتدا بسیار دور از ذهن تصور می‌شد. با چنین نمودارهای پنکه‌ای پیش‌بینی می‌توان به‌راحتی احتمالات وقوع متغیرهای اقتصادی در بازه‌های مختلف را محاسبه و در راستای سیاست‌گذاری اقتصادی از آنها بهره برد.

۵. نتیجه‌گیری

در حال حاضر، پیش‌بینی نرخ تورم همراه با نااطمینانی این پیش‌بینی‌ها در بیشتر بانک‌های مرکزی که استراتژی هدف‌گذاری تورم را برگزیده‌اند و در تعقیب سیاست‌های پولی برای بازگرداندن تورم به مسیر هدف‌گذاری شده هستند، منتشر می‌شود. در این پژوهش نیز با توجه به اینکه به نظر می‌رسد سیاست‌گذار پولی با فعال‌کردن عملیات بازار باز به دنبال تعقیب اهداف تورمی است، مفهوم و نیز چگونگی استخراج نمودارهای پنکه‌ای که یکی از الزامات پیش‌بینی‌های نرخ تورم است، ارائه شد. نکته مهم آن است که نمودارهای پنکه‌ای عموماً ارزیابی‌های قضاوتی مربوط به متغیرهای کلانی که تورم را تحت تأثیر قرار می‌دهد، مد نظر قرار می‌دهد.

در پایان نیز نمودارهای پنکه‌ای پیش‌بینی نرخ تورم برای دوره منتهی به فصل دوم سال ۱۳۹۸ ارائه شد. با توجه به محاسبات انجام‌شده، چولگی پیش‌بینی‌های نرخ تورم به سمت تورم‌های بالا ارزیابی شد که این موضوع متأثر از شرایط مجموعه متغیرهای کلان اقتصادی مؤثر بر نرخ تورم است. بر این اساس، احتمال بالاتربودن نرخ تورم پیش‌بینی شده از مد آن (۳۹/۴ درصد) در فصل دوم سال ۱۳۹۸ در حدود ۵۳/۷ درصد برآورد شده است.

منابع

- Bank of England. (February 1998). Quarterly Bulletin. Volume 38 Number 1. Available at: https://www.bankofengland.co.uk/-/media/boe/files/quarterly-bulletin/1998/quarterly-bulletin-february-1998
- Blix, M. and Sellin, P. (1998). Uncertainty Bands for Inflation Forecasts. Mimeo, Sveriges Riksbank.
- Blix, M. (1998). Forecasting Swedish Inflation with a Markov Switching VAR. Working Paper No. 65, Sveriges Riksbank.
- Britton, Erick, Paul Ficher Och John Whitley. (1998). The Inflation Report Projections: Understanding the Fan Chart. Bank of England Quarterly Bulletin.
- Britton, Erick, Alastair Gunningham Och John Whitley. (1997). Asymmetry, Risks and a Probability Distribution of Inflation. Mimeo, Bank of England.
- Clemen, R. T. and Winkler, R. L. (1999). Combining Probability Distributions from Experts in Risk Analysis. Risk Analysis 19, pp. 187-203.
- Cogley, T., Morozov, S. and Sargent, T. J. (2005). Bayesian Fan Charts for U.K. Inflation: Forecasting and Sources of Uncertainty in an Evolving Monetary System. Journal of Economic Dynamics and Control 29, pp. 1893-1925.
- Diacogiannis, G.P. (1994). Three-parameter Asset Pricing. Managerial and Decision Economics 15, pp.149-158.
- John, S. (1982). The Three-parameter Two-piece Normal Family of Distributions and its Fitting. Communications in Statistical Theory and Methods, 11(8), pp. 879-885.
- Johnson, Katz, and Balakrishnan. (1994). Continues Univariate Distributions, Vol. 1, p. 173.
- Lawrence, M. J., Edmundson, R. H. and O'Connor, M. J. (1985). An Examination of the Accuracy of Judgemental Extrapolation of Time Series. International Journal of Forecasting 1, pp. 14-25.
- McNees, S. K. (1990). The Role of Judgement in Macroeconomic Forecasting Accuracy. International Journal of Forecasting 6, pp. 287-299.

- Reifschneider, D. L., Stockton, D. J. and Wilcox, D. W. (1997). Econometric Models and the Monetary Policy Process. Carnegie-Rochester Conference Series on Public Policy 47, pp. 1-37.
- Sanders, N. R. and Ritzman, L. P. (1999). Judgemental Adjustments of Statistical Forecasts. In: Armstrong, J. S. (ed), Principles of Forecasting. Kluwer Academic Publishers, Norwell.
- Svensson, L. E. O. (2005). Monetary Policy with Judgement: Forecast Targeting. International Journal of Central Banking 1, pp. 1-54.
- Svensson, L. E. O. and Tetlow, R. J. (2005). Optimal Policy Projections. International Journal of Central Banking 1, pp. 177-20.

پیوست ۱

نمودارهای پنکه‌ای تورم مبتنی بر این فرض هستند که تابع چگالی احتمال نرخ تـورم (RPIX) از یـک 2PN تبعیت می‌کند که می‌توانیم آن را به‌صورت یک تابع چگالی نرمالی تصور کرده که بـرای چـولگی به‌طور خاصی تعدیل شده است. تابع چگالی احتمال 2PN را می‌توان به‌صورت زیر تعریف کرد:

$$f(x)=\begin{cases} A\ \exp\left\{\dfrac{-(x-\mu)^2(1+\gamma)}{2\sigma^2}\right\}, & x \le \mu \\ A\ \exp\left\{\dfrac{-(x-\mu)^2(1-\gamma)^2}{2\sigma^2}\right\}, & x > \mu \end{cases}$$

به‌طوری که:

$$A=\frac{2}{\sqrt{2\pi}(\sigma_1+\sigma_2)},\ \sigma_1=\frac{\sigma}{\sqrt{1+\gamma}},\ \sigma_2=\frac{\sigma}{\sqrt{1-\gamma}}$$

این تابع چگالی سه پارامتر دارد؛ اولی، محتمل‌ترین ارزش یعنی مـد بـوده کـه بـا μ نشـان داده شـده است. پارامتر دوم، γ بوده که نشان‌دهنده شاخصی از چولگی یا عـدم تقـارن اسـت. پـارامتر سـوم، σ است که عدم اطمینان یا پراکندگی متغیر تصادفی را تشریح می‌کند. این پارامتر به میـزان زیـادی بـه انحراف معیار ارتباط می‌یابد، اما همان انحراف معیار نیست، به استثنای مورد خاصی که چـولگی صـفر است. از این‌رو، درصورتی‌که $\gamma = 0$ باشد، چگالی 2PN متقارن بودن و برابر با یک نرمال میانـه و مـد μ و انحراف معیار σ است؛ اما اگـر $\gamma < 0$ ، pdf بـه سـوی ارزش‌هـای بـالاتر تـورم، چـولگی دارد، به‌طوری که در نمودار پنکه‌ای ۵ نشان داده شده است و اگر $\gamma > 0$، pdf به سوی ارزش‌های پایین‌تـر تورم، چولگی دارد.

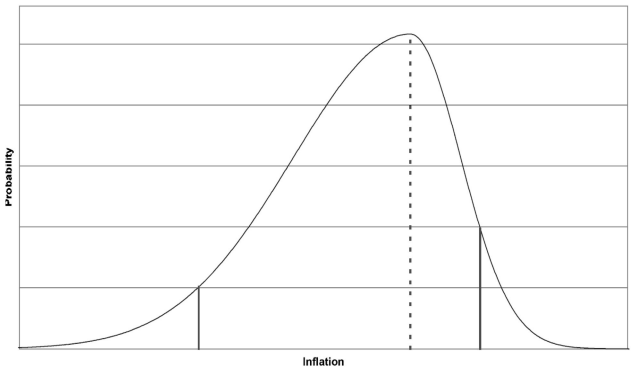
همان‌طور که بیان شد، هنگامی‌که نمـودار پنکـه‌ای منتشـر مـی‌شـود، بانـک همچنـین بـر روی وب‌سایت خود ارزش پارامترهایی را که نمودار پنکه‌ای مبتنی بر آنهاست، گزارش می‌کند. بانـک ارزش مربوط به هر سه پارامتر پیش‌گفته (چولگی برابر با اختلاف بین میانه و مد است) را برای هر یـک از ۹ دوره زمانی پیش‌بینی که از فصل جاری تا هشت فصل آینده می‌شود، منتشر مـی‌کنـد. پـس از اینکـه MPC ارزش پارامترهای مربوط به هر یک از دوره‌های زمانی را مشخص کرد، سپس، مدل پـیش‌بینـی کامل شده و اطلاعات مورد نیاز از آن معین می‌شوند.

پیوست ۲

برای تشریح ویژگی‌های نرمال دو بخشی ساده‌تر است تا یک مثال فرضی را در نظر بگیرید، به‌طوری که ریسک رو به پایین قدرتمندی حول پیش‌بینی تورم وجود داشته باشد.

فرض کنید تجمیع ریسک پارامترهای توزیع پیش‌بینی تورم عبارت باشد از $pr[\pi \le \mu_\pi] = 0.7$. توزیع نتیجه‌شده در شکل زیر نشان داده شده است:

توزیع چوله



خط نقطه‌چین، مد را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در سمت چپ مد در حدود ۷۰ درصد احتمال وجود دارد. خطوط ممتد در سمت چپ و راست مد نشان‌دهنده ۵ درصد احتمال است. از این‌رو در بین این دو خط ممتد فاصله اطمینان ۹۰ درصد است.

شکل بالا به‌منظور نشان دادن اینکه چگونه نرمال دو بخشی تحت تأثیر چولگی قرار می‌گیرد، ترسیم شده است. دو نکته در اینجا قابل بیان است؛ نخست اینکه دو منطقه بیرونی سطح اطمینان اشکال متفاوتی دارند و دوم، بیشتر فاصله اطمینان در سمت چپ مد قرار دارد.

شیوه دیگر برای تشریح ویژگی‌های توزیع، آن است که احتمال اینکه نتایج در فاصله اطمینان مشخصی قرار گیرند، در نظر گرفته شوند. برای مثال می‌توان احتمال این را که تورم کمتر از ۱ درصد، بین ۱ و ۲ درصد و نظایر آنها باشد، محاسبه کرد. نوسان فاصله‌ای برای تورم که بانک مرکزی سوئد در نظر می‌گیرد، بین ۱ تا ۳ درصد است که احتمال آن به‌صورت $\int_1^3 f(\pi)d\pi$ محاسبه می‌شود.

پیوست ۳

با توجه به اینکه توزیع دو بخشی دارای پارامترهایی بوده که متفاوت از توزیع نرمال است، بنابراین، به‌منظور محاسبه انتگرال یا به‌عبارتی احتمال قرارگرفتن تورم در فواصل معین از قاعده سیمپسون استفاده می‌شود. به بیان دیگر، درصورتی‌که فاصله انتگرال [a,b] کوچک باشد، قاعده سیمپسون برآورد مناسبی از سطح زیر تابع نمودار چگالی احتمال ارائه می‌دهد. به این صورت که فاصله [a,b] به تعداد کوچکتری از فواصل تقسیم می‌شود. سپس، قاعده سیمپسون برای هر یک از فواصل به کار برده می‌شود، با تجمیع نتایج برآورد از انتگرال برای کل فاصله به دست می‌آید. به این شیوه انتگرال‌گیری به‌اصطلاح قاعده ترکیبی سیمپسون گفته می‌شود، که رابطه ریاضی محاسباتی آن به شرح زیر است:

$$\int_a^b f(x)dx \approx \frac{h}{3}[f(x_1)+f(x_2)+4f(x_3)+2f(x_4)+\cdots+4f(x_{n-1})+f(x_n)].$$

نمودار چگالی احتمال