



# همان انرژی

دانشگاه مهندسی انرژی

تفسیر هفت:

پیشرفت گذار انرژی: از فاز افزایش انرژی به فاز جایگزینی انرژی

نویسندگان این شماره:

امین حسنی، حسن راعی، و عباس ملکی

شماره ۲، ۱۴۰۳

Brent Crude Oil (\$/b)		WTI Crude Oil (\$/b)	
16/08/2024 80.23	23/08/2024 76.25	16/08/2024 77.42	23/08/2024 71.87
<p>— Brent Crude</p>		<p>— WTI Crude</p>	
Henry Hub Natural Gas (\$/MMBtu)		Europe & Asia Natural Gas (\$/MMBtu)	
16/08/2024 2.24	23/08/2024 2.19	14/08/2024 12.70 12.66	21/08/2024 12.65 14.23
<p>— Natural Gas</p>		<p>— Dutch TTF Natural Gas — LNG Japan/Korea Marker</p>	

قیمت های انواع نفت خام و گاز طبیعی در امروز شنبه سوم شهریور ۱۴۰۳ نسبت به هفته گذشته کاهش داشت. تنها قیمت گاز طبیعی مایع شده در ساحل ژاپن و کره جنوبی ۲ دلار بر هر میلیون بی تی یو افزایش قیمت داشت. بهای معاملات آتی نفت «برنت» روز شنبه به ۷۹,۰۲ دلار به ازای هر بشکه رسید. این قیمت نسبت به روز گذشته جمعه افزایش داشته، اما نسبت به شنبه هفته گذشته کاهش نشان می‌دهد. مقدار تولیدی توسط مجموعه اوپک پلاس نسبتا بالا بوده و از طرف دیگر شاخص های نظارتی بر اقتصاد چین، اتحادیه اروپا، و ایالات متحده حاکی از ضعیف بودن رفتار اقتصادی دارد. اخبار مربوط به مذاکرات مابین اسرائیل و حماس در قاهره احتمال رسیدن به یک توافق آتش بس را در این جنگ ۱۱ ماهه بیشتر کرده و کاهش تنش در خاورمیانه را نوید می‌دهد. در این صورت ثبات در دریای سرخ به از سرگیری مجدد رفت و آمد عادی وسائط حمل کننده نفت خام و ال ان جی از کریدور باب المندب-سوئز خواهد انجامید.

سفر پوتین به جمهوری آذربایجان و تحرکات ارمنستان برای نزدیکتر شدن به همسایگانی همچون ایران و قدرتهایی همچون ایالات متحده و اتحادیه اروپا نشان از تغییرات ژئوپلیتیکی در منطقه قفقاز دارد. روسیه و جمهوری آذربایجان توافق کردند که کارخانه تولید کشتی و نفتکش‌های کوچک را در ساحل دریای خزر ایجاد نمایند. موقعیت طبیعی دریای خزر اجازه رفت و آمد کشتی‌هایی با وزن بیشتر از ۷۲۰۰ تن را نمی‌دهد. در این صورت علاوه بر خطوط لوله نفت و گاز در اطراف دریای خزر، انتقال این دو حامل فسیلی توسط کشتی و از طریق کانال ولگا-دن بیشتر می‌شود.

قیمت نفت «وست تگزاس اینترمدییت» در بازار کاشینگ امروز به هر بشکه ۷۴,۸۳ دلار رسید که نسبت به هفته گذشته کاهش و نسبت به روز گذشته افزایش ۲,۵ درصدی نشان می‌دهد. رئیس خزانه داری ایالات متحده می‌گوید زمان برای کم کردن نرخ بهره فرا رسیده است. این گفته باعث بالا رفتن قیمت سهام در بازارهای متفاوت آمریکای شمالی شد. ناظران پیش بینی می‌کنند که کاهش نرخ بهره در سپتامبر اتفاق افتد. این خود نیروی پیشرانی برای تحرک اقتصادی بیشتر، افزایش تقاضا برای حامل‌های انرژی بیشتر، و سرمایه‌گذاری بیشتر در پروژه‌های انرژی است.

گاز طبیعی در هنری هاب در آمریکای شمالی به قیمت ۲,۰۲ دلار به ازای هر میلیون واحد حرارتی انگلیسی (بی.تی.یو.) فروخته شد. این مقدار ۱,۵ درصد نسبت به هفته گذشته کاهش نشان می‌دهد. گاز طبیعی مایع شده (ال.ان.جی.) در ساحل کره و ژاپن به قیمت ۱۴,۲۳ دلار هر میلیون بی.تی.یو. به فروش رسید که از هفته گذشته ۲ دلار بیشتر است. قیمت همان مقدار گاز طبیعی در بندر روتردام در اروپا به ۱۲,۶۵ دلار رسید که از هفته گذشته کمی کمتر است.

- **منفی شدن قیمت برق در اروپا:** قیمت برق در چندین بازار اروپایی از جمله آلمان، به دلیل افزایش تولید برق سبز، روز چهارشنبه (۳۱ شهریور ۱۴۰۳) منفی شد. بازارهای برق اروپا، تغییر قابل توجهی را تجربه می‌کنند زیرا منابع انرژی تجدیدپذیر به خصوص بادی و خورشیدی، به بخش بزرگ‌تری از سبد انرژی این منطقه تبدیل شده‌اند. انتظار می‌رود تولید نیروی بادی در آلمان، به ۲۲,۷ گیگاوات برسد که بالاترین میزان در چهار ماه گذشته است. قیمت منفی زمانی اتفاق می‌افتد که عرضه برق، بیشتر از تقاضا باشد. این سناریو با رویکرد جدی اروپا برای توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر، متداول‌تر شده است.
- **احتمال کاهش سرمایه‌گذاری عربستان سعودی در صنعت نفت خام:** بانک «گلدمن ساکس» در گزارشی پیش‌بینی کرد عربستان سعودی تا پایان دهه کنونی سرمایه‌گذاری کمتری نسبت به پیش‌بینی‌های اولیه در صنعت نفت انجام خواهد داد. این کشور در نظر داشت تا پایان این دهه یک تریلیون دلار در صنایع راهبردی سرمایه‌گذاری کند. براساس این گزارش، ریاض ممکن است تا سال ۲۰۳۰ بخش بیشتر سرمایه خود یعنی حدود ۷۳ درصد از کل سرمایه‌گذاری‌ها را به بخش‌های غیرنفتی اختصاص دهد. با افزایش تخصیص سرمایه‌گذاری‌ها به بخش غیرنفتی، تنها یک‌چهارم بودجه برای بخش‌های نفتی باقی می‌ماند؛ زیرا این کشور تمرکز خود را بر صنایعی مانند فلزات و مواد معدنی، حمل‌ونقل و لجستیک و دیجیتالی‌سازی معطوف می‌کند تا امکان متنوع‌سازی را فراهم کند.
- **افت تقاضای نفت خام چین:** بانک آمریکایی «گلدمن ساکس» در یادداشتی اعلام کرد در صورت تداوم افت تقاضای نفت چین تا پایان سال آینده، قیمت نفت خام شاخص «برنت» تا پایان سال ۲۰۲۵ به ۶۸ دلار برای هر بشکه کاهش می‌یابد. تحلیلگران بانک مذکور اعلام کردند: «افت تقاضای نفت چین و خطر کاهش رشد تولید ناخالص داخلی این کشور، پیش‌بینی ما را درباره بازه قیمت ۷۵ تا ۹۰ دلاری نفت خام برنت در سال ۲۰۲۵ به سمت کاهش بیشتر سوق می‌دهد.» داده‌های منتشر شده نشان می‌دهد که با کاهش قیمت مسکن‌های نوساز با سریع‌ترین سرعت در ۹ سال گذشته، افت تولید صنعتی و افزایش بیکاری در چین، رشد اقتصاد این کشور در ماه ژوئیه کاهش یافته است. از سوی دیگر پالایشگاه‌های چین ماه گذشته در واکنش به افت تقاضای سوخت، میزان پالایش نفت خام را به شدت کاهش دادند.

- **افت صادرات نفت خام روسیه:** صادرات نفت روسیه از مسیر دریا، تحت تأثیر کاهش شدید عرضه از پایانه جزیره ساخالین در آسیا، در ماه میلادی جاری کاهش یافت. میانگین صادرات چهار هفته‌ای نفت روسیه در هفته منتهی به ۱۸ اوت، به میزان ۲۵ هزار بشکه در روز در مقایسه با دوره قبل، کاهش یافت و به ۳,۲ میلیون بشکه رسید. صادرات هفتگی که نوسان بیشتری دارد، ۳۶۰ هزار بشکه در روز کاهش یافت و به ۲,۹۳ میلیون بشکه رسید که دومین کاهش هفتگی متوالی و بزرگ‌ترین کاهش از اوایل ژوئیه بود. صادرات نفت روسیه از ابتدای سال میلادی جاری تاکنون، حدود ۴۰ هزار بشکه در روز پایین‌تر از میانگین کل صادرات سال ۲۰۲۳ است.
- **خرید نفتکش‌های پیشرفته توسط عربستان سعودی:** شرکت کشتیرانی ملی عربستان سعودی قراردادی به ارزش ۹۹۹ میلیون دلار برای خرید ۹ نفتکش از نوع VLCC<sup>۱</sup> امضاء کرد. قرارداد «البحری» با شرکت «کپیتال ماریتیم اند تردینگ» در راستای استراتژی این شرکت برای مدرنیزه کردن ناوگان کشتی‌های خود بوده است. کشتی‌های جدید جایگزین نفتکش‌های فرسوده شده و بهره‌وری و ظرفیت عملیاتی این شرکت را بهبود می‌دهند.
- **کاهش صادرات بنزین چین:** صادرات بنزین چین در ژوئیه نسبت به مدت مشابه سال گذشته، در پی تولید کمتر پالایشگاه‌های چینی ناراضی از سود ضعیف، ۳۵,۷ درصد کاهش یافت. آمارهای اداره کل گمرک نشان داد صادرات بنزین چین در ماه میلادی گذشته، به ۵,۷۷ میلیون بشکه در روز رسید. «اما لی» تحلیلگر ارشد نفت شرکت ورتکسا در امور چین، اظهار کرد: «صادرات سوخت موتور به دلیل حاشیه سود ضعیف و تولید کمتر پالایشگاه‌ها، کاهش یافته است.»
- **تمایل دهلی نو برای خرید نفت خام روسیه در قالب قراردادهای بلندمدت:** مسکو از زمان آغاز جنگ اوکراین در فوریه سال ۲۰۲۲ و تحریم‌های غرب و سایر تحریم‌ها علیه فروش نفت روسیه، به بزرگ‌ترین تأمین‌کننده نفت هند تبدیل شده است. هند طی دو سال گذشته، بخش زیادی از عرضه نقدی روسیه را خریداری کرده اما اکنون به دنبال امضاء قراردادهای خرید بلندمدت است. «روپترز» ماه گذشته به نقل از یک منبع دولتی گزارش کرد پالایشگاه‌های دولتی هند، مذاکرات گروهی برای امضاء قراردادهای بلندمدت خرید نفت روسیه را آغاز کرده‌اند.

<sup>۱</sup> Very Large Crude Carrier

## پیشرفت گذار انرژی: از فاز افزایش انرژی به فاز جایگزینی انرژی

«گزارش آینده‌پژوهی ۲۰۲۴»<sup>۲</sup> به تازگی توسط شرکت «بریتیش پترولیوم» منتشر شد. این گزارش به دنبال آن است که روندهای جدید و عدم قطعیت‌هایی که در جریان گذار انرژی با آن‌ها روبه‌رو می‌شویم را تا حد امکان تشریح کند. گزارش مذکور بر روی دو سناریو اصلی متمرکز است: «ادامه روند موجود»<sup>۳</sup> و «خالص انتشار صفر»<sup>۴</sup>. این گزارش به دنبال آن است که روندهای جدید و عدم قطعیت‌هایی که در جریان گذار انرژی با آن‌ها روبه‌رو می‌شویم را تا حد امکان تشریح کند. در این قسمت پیشرفت گذار انرژی در چارچوب فاز افزایش انرژی به فاز جایگزینی انرژی را مرور می‌کنیم.

۱- توسعه جهانی و اتفاقات مختلفی که در سال‌های اخیر رخ داده است، به روشن شدن چالش‌های عظیمی که در مقابل سیستم انرژی جهانی است، انجامیده است. با وجود اقدامات دولت‌ها و سرمایه‌گذاری‌های سریع در انرژی‌های کم کربن، انتشار کربن در حال افزایش است. در واقع، به‌جز پاییز ۲۰۲۰ و وقایع ناشی از همه‌گیری کووید-۱۹، انتشار کربن پیوسته افزایش یافته و بودجه کربن متناسب با افزایش متوسط ۲ درجه‌ای دما در حال اتمام است. با ادامه وضعیت موجود، این بودجه تا اوایل سال ۲۰۴۰ تمام خواهد شد. در همین راستا، شتاب بهره‌وری انرژی در سال‌های اخیر کم و در حدود متوسط سالانه ۱ درصد بوده و از متوسط ۱۰ سال گذشته که متوسط سالانه ۴ درصد بوده به مراتب کمتر شده است. در مقابل، سرمایه‌گذاری در انرژی‌های کم کربن و به‌طور خاص انرژی بادی و خورشیدی، با سرعت خوبی همراه بوده است و هزینه مازول‌های خورشیدی تا ۶۰ درصد افت کرده است.

۲- به جز این، وقایعی مانند جنگ اوکراین و وقایع اخیر خاورمیانه اهمیت موضوع امنیت انرژی و دسترسی به انرژی مقرون به صرفه و با قیمت مناسب را بار دیگر پررنگ کرد. تمرکز بر امنیت انرژی می‌تواند منجر به حمایت از طرح‌های افزایش بهره‌وری انرژی و تولید انرژی داخلی در کشورها (از جمله منابع سوخت‌های فسیلی موجود در کشورها) شود و نقش دولت‌ها را در طراحی و عملکرد بازارها تقویت کند. مفهوم سه‌گانه انرژی، که به معنی

<sup>۲</sup> BP Energy Outlook, 2024 edition

<sup>۳</sup> Current Trajectory

<sup>۴</sup> Net Zero

تأمین انرژی پایدار، ایمن، و مقرون به صرفه توسط سیستم انرژی است، از گذشته محل بحث بوده است. با این حال، اهمیت آن در سال‌های اخیر بیش از پیش نمایان شده است؛ هر گذار موفق سیستم انرژی باید هر سه بعد امنیت، پایداری، و مقرون به صرفه بودن سه گانه انرژی را رعایت کند.

۳- سیستم انرژی پیوسته در گذار و تغییر است و گستره وسیعی از عوامل می‌توانند گذار سیستم انرژی در ۲۵ سال آینده را تحت تأثیر قرار بدهند. سیاست‌ها، توسعه فناوری‌ها، فشار اجتماعی و افکار عمومی، مسائل ژئوپلیتیکی، و مسائل مربوط به تأمین مالی از جمله این عوامل هستند. لذا امکان پیش‌بینی دقیق نحوه تغییرات سیستم انرژی در آینده میسر نیست. بر این اساس، گزارش دورنمای انرژی شرکت BP از روش سناریو استفاده می‌کند. لازم به ذکر است که به دلیل مشابه، امکان تحقق هر یک از این سناریوها زیاد نیست اما این سناریوها بازه‌ای از خروجی‌های محتمل و ممکن را نشان می‌دهند که آنچه در عمل اتفاق خواهد افتاد می‌تواند چیزی بین این سناریوها باشد. در عوض، فهم و بررسی این سناریوها روندهای ممکن برای آینده سیستم انرژی و نحوه تغییرات آن را نشان می‌دهد و به تصمیم‌گیران برای اتخاذ تصمیم‌های استراتژیک کمک می‌کند.

۴- در گزارش دورنمای انرژی شرکت BP سال ۲۰۲۴ از دو سناریو برای بررسی بازه خروجی‌های محتمل سیستم انرژی در ۲۰۵۰ استفاده می‌کند: سناریو «ادامه روند موجود» و سناریو «خالص انتشار صفر». سناریو ادامه روند موجود شامل سیاست‌های کنترل اقلیمی است که هم اکنون اجرا می‌شوند و در واقع وضعیت سیستم انرژی را در صورت ادامه وضعیت و روندهای فعلی نشان می‌دهد. سناریو «خالص انتشار صفر» به بررسی این می‌پردازد که چه تغییراتی در سیستم انرژی داده شود تا کاهش قابل ملاحظه‌ای در انتشار گاز دی‌اکسیدکربن رخ دهد. این سناریو در پی بررسی این پرسش است که چه بخش‌هایی از سیستم انرژی و به چه صورت باید تغییر کند تا انتشار تا سال ۲۰۵۰ به میزان ۹۵ درصد کاهش یابد. این سناریو شامل سختگیرانه‌تر کردن سیاست‌های اقلیمی و تغییر در رفتار و ترجیحات است. در هر دو سناریو، با افزایش استانداردهای زندگی در کشورهای در حال توسعه، تقاضا برای انرژی افزایش خواهد یافت.

۵- با افزایش اهمیت کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی و جایگزینی آن با انرژی‌های کم کربن، ساختار تقاضای انرژی دچار تغییر خواهد شد. انرژی بادی و خورشیدی به دلیل افت

هزینه به سرعت رشد خواهند کرد و موجب برقی‌سازی بیشتر سیستم انرژی می‌شوند و تقاضا برای نفت در نهایت روند کاهش خواهد یافت که علت آن افزایش راندمان موتورهای احتراق داخلی و همچنین برقی‌سازی حمل‌ونقل است. با این حال، اینکه سهم گاز طبیعی در سبد انرژی چقدر باشد بستگی به سرعت گذار انرژی و توسعه انرژی‌های کم کربن دارد. سوخت‌های زیستی در هر دو سناریو توسعه خواهند یافت، اما سرعت این توسعه متفاوت است. توسعه هیدروژن کم کربن و سیستم‌های ذخیره‌سازی و استفاده از کربن نیز نیازمند حمایت‌های دولتی است و بین سناریوها متفاوت است.

۶- توسعه انرژی‌های کم کربن در سال‌های اخیر شدت گرفته به نحوی که تولید انرژی بادی و خورشیدی بیشتر از دو برابر شده است. با وجود این رشد قابل توجه، گذار سیستم انرژی بین‌المللی هم اکنون در فاز «افزایش انرژی»<sup>۵</sup> قرار دارد. در این فاز، با اینکه انرژی‌های کم کربن به سرعت در حال رشد هستند و سهم خود را در سبد انرژی افزایش می‌دهند، اما این رشد به‌منظور پوشش تقاضای کل انرژی کافی نبوده و به اندازه کافی سریع نیست. در واقع مصرف هر دو انرژی‌های کم کربن و انرژی‌های فسیلی افزایش می‌یابد. به همین دلیل میزان مطلق مصرف انرژی‌های فسیلی (و در نتیجه انتشار مربوط به آن) روند افزایشی دارد.

۷- فاز «افزایش انرژی» در گذارهای ساختاری سیستم انرژی در طی تاریخ نیز رخ داده است. به‌عنوان مثال، در دوره‌ای مصرف زغال‌سنگ به‌شدت رشد کرد و با پشت سر گذاشتن زیست توده‌های سنتی (شامل چوب) به‌عنوان منبع اصلی انرژی اولیه جهان شناخته شد. سپس در دوره بعدی، تقاضا برای نفت خام افزایش چشمگیری یافت و جایگزین زغال‌سنگ به‌عنوان منبع اصلی انرژی شد. نکته حائز اهمیت در هر دو این گذارهای انرژی این است که با وجود افزایش مصرف حامل انرژی جدید، میزان مشابه یا حتی بیشتری از حامل‌های انرژی قدیمی (زغال‌سنگ و زیست توده) در کل دنیا مصرف می‌شدند.

۸- در حال حاضر دنیا برای اولین بار در تاریخ با یک چالش مواجه است و آن گذار از فاز «افزایش انرژی» به فاز «جایگزینی انرژی»<sup>۶</sup> است. در فاز «جایگزینی انرژی»، رشد انرژی‌های کم کربن به حدی خواهد بود که نه تنها کل افزایش تقاضای انرژی را پاسخ

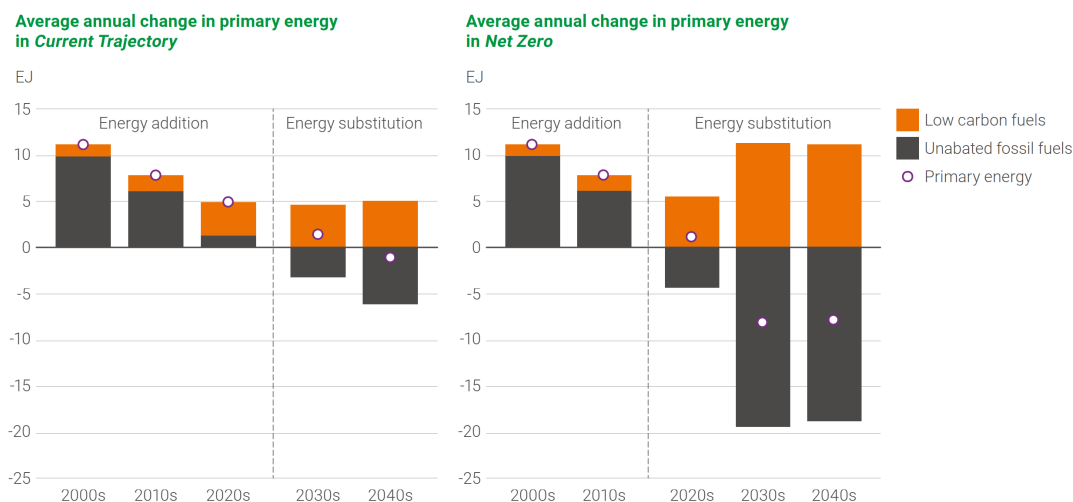
<sup>۵</sup> Energy Addition Phase

<sup>۶</sup> Energy Substitution Phase



دهند، بلکه جایگزین انرژی‌های فسیلی موجود شوند. این امر تنها در صورتی ممکن است که تولید انرژی‌های جدید و کم کربن با سرعتی بیشتر از افزایش نرخ تقاضای کل انرژی رشد یابد تا مصرف مطلق انرژی‌های قدیمی (فسیلی) کاهش یابد.

۱- در سناریو ادامه روند موجود، دهه ۲۰۲۰ نیز یک دهه کامل از فاز «افزایش انرژی» است. با وجود افزایش انرژی‌های کم کربن تا ۴۰ درصد اما مصرف سوخت‌های فسیلی هم افزایش خواهد یافت. با این حال، با کند شدن روند افزایش تقاضای انرژی، افزایش بهره‌وری انرژی، و افزایش انرژی‌ها کم کربن، دهه‌های ۲۰۳۰ و ۲۰۴۰ در فاز «جایگزینی انرژی» قرار خواهند داشت. با این حال اما در سال ۲۰۵۰ هنوز دوسوم انرژی اولیه جهان را سوخت‌های فسیلی تشکیل خواهند داد. شکل (۱) تغییرات متوسط سالانه انرژی اولیه به تفکیک نوع انرژی را نشان می‌دهد.



شکل (۱): تغییرات متوسط سالانه انرژی اولیه به تفکیک نوع انرژی

۱- در سناریو «خالص انتشار صفر»، افزایش بیشتر انرژی‌های کم کربن و شتاب بیشتر بهره‌وری انرژی موجب می‌شود که سیستم انرژی در طی دهه ۲۰۲۰ وارد فاز «جایگزینی انرژی» شود. این جایگزینی در دهه‌های ۲۰۳۰ و ۲۰۴۰ شتاب بیشتری خواهد گرفت به نحوی که تا سال ۲۰۵۰ سهم سوخت‌های فسیلی در انرژی اولیه به کمتر از ۲۰ درصد کاهش خواهد یافت و انتشار کربن خالص نیز به نزدیکی صفر خواهد رسید. این جایگزینی سریع‌تر توسط دو عامل تشدید خواهد شد. اولین عامل، افزایش هر چه بیشتر انرژی‌های کم کربن

خواهد بود که موجب جایگزینی هر چه بیشتر سوخت‌های فسیلی و با انرژی‌های کم کربن می‌شود. دیگری شتاب بیشتر بهره‌وری انرژی است که تقاضای انرژی اولیه در نیمه دهه ۲۰۲۰ به پیشینه خود رسیده و در طی دهه‌های ۲۰۳۰ و ۲۰۴۰ روند کاهشی خواهد داشت به نحوی که تقاضای انرژی در ۲۰۵۰ در سناریو «خالص انتشار صفر» حدود یک سوم سناریو ادامه روند فعلی است.

۱۱- نکته‌ای که باید به آن توجه شود این است که هرچقدر دنیا بیشتر در فاز فعلی بماند و سناریو ادامه روند فعلی تداوم داشته باشد، امکان باقی ماندن در بودجه کربن متناسب با افزایش ۲ درجه‌ای متوسط دما، که هدف «توافقنامه پاریس» است، سخت‌تر خواهد شد. تأخیر بیشتر باعث افزایش بیشتر هزینه‌های اقتصادی و اجتماعی ماندن در محدوده بودجه کربن افزایش متوسط ۲ درجه‌ای دما خواهد شد.