فصلنامهٔ مطالعات راهبردی سیاست‌گذاری عمومی، دورهٔ ۸ ، شمارهٔ ۲۷، تابستان ۹۷

چارچوب تأثیر مؤلفه‌های امنیت انرژی بر مدل‌های عرضهٔ بهینهٔ انرژی با تکیه بر روش تلفیقی سناریو و مدل‌های تصادفی[۱]

یاسر کنعانی ممان[۲]

چکیده

در مدل‌های عرضهٔ انرژی، شاخص‌های امنیت انرژی برای توصیف وضعیت حال و آیندهٔ یک سیستم عرضهٔ انرژی به کار می‌روند. مداخلهٔ امنیت انرژی در این مدل‌ها عموماً به صورت محدودیت‌های بیرونی و به صورت اقتضائی است. در این مقاله، با رویکرد کمّی‌سازی امنیت انرژی، شاخص وابستگی به واردات را ــ که یکی از مهم‌ترین شاخص‌های امنیت انرژی است ــ به‌عنوان ابزار اندازه‌گیری امنیت انرژی در مدل بهینه‌سازی عرضهٔ انرژی وارد می‌کنیم.

در این روش، شاخص‌هایی که تفسیر کمّی از تهدیدات مرتبط با واردات انرژی ارائه می‌دهند، به صورت پارامترهای تصادفی وارد مدل می‌شوند. ماهیت این پارامترها از نوع عدم قطعیت است، بنابراین، براساس سناریوهای محتمل مدل تصادفی اجرا می‌شود و چشم‌انداز سیستم عرضهٔ انرژی براساس مدل تصادفی بهینه‌سازی عرضهٔ انرژی حامل‌های مختلف ترسیم می‌شود.

سه سناریوی قیمت بنزین براساس روش تحلیل اثر متقابل به دست می‌آید: تحریم شدید و انفعال، تحریم شدید و فعال و ادامهٔ وضعیت فعلی.

۱. تاریخ: ۱۳۹۶/۰۵/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۲/۱۶

۲. دانشجوی دکتری مهندسی انرژی دانشگاه صنعتی شریف (نویسندهٔ مسئول)؛ رایانامه: ykanani@energy.sharif.ir

Archive of SID

www.SID.ir

مدل‌سازی و حل مسئلهٔ تصادفی تحت لیسانس آموزشی نرم‌افزار LINGO ۱۶.۰ انجام شده است. مطابق نتایج مدل، در دوره‌ای که تهدیدات واردات انرژی وجود دارد ذخیره‌سازی انرژی روش کم‌هزینه و مطمئنی برای جبران خسارات ناشی از تهدیدات است و تا ۸ میلیون بشکه در سال افزایش می‌یابد، همچنین شاخص بهینه در این دوره به صورت نوسانی بین ۰٫۰۴ تا ۰٫۰۶ تغییر می‌کند.
کلیدواژه‌ها: امنیت انرژی، مدل عرضهٔ انرژی، کمّی‌سازی، شاخص بهینهٔ امنیت انرژی

تازه‌های پژوهش

- ارائهٔ مفهوم جدید شاخص بهینه امنیت انرژی از منظر اقتصادی، بر پایه حل مدل‌های تصادفی؛
- ارائهٔ روش علمی برای محاسبهٔ تأثیر شاخص‌های امنیت انرژی بر نقطهٔ بهینهٔ عرضهٔ انرژی؛
- تحلیل اقتصادی عرضهٔ انرژی با امکان محاسبهٔ برهمکنش‌های امنیت انرژی و اقتصاد انرژی؛
- محاسبهٔ نقطهٔ بهینهٔ شاخص واردات انرژی ایران در بخش مطالعهٔ عرضهٔ فراورده‌های نفتی.

۱. مقدمه

امنیت انرژی واژه‌ای چندوجهی است که معنای آن معمولاً در ارتباط با موقعیت، هدف و دورهٔ مطالعه مشخص می‌شود (Lu et al, 2016: 2). امنیت انرژی را می‌توان «تأمین پایدار و قابل اعتماد انرژی در قیمت‌های منطقی و هزینه‌های اجتماعی» دانست(World Economic Forum 2015: 3). تعریف شامل سه جنبهٔ زیست‌محیطی، اقتصادی و جنبه‌های ژئوپلتیک است(van Moerkerk & Crijns-Graus 2016:3).

امنیت انرژی دارای ابعاد گوناگونی است و شاخص‌های امنیت انرژی، هر کدام، جنبه‌ای از امنیت انرژی را بررسی می‌کنند. شاخص‌های امنیت انرژی ابزارهای ناقصی در راستای ارزیابی سیستم عرضهٔ انرژی هستند. برای ارزیابی کامل، نیازمند محاسبهٔ رقابت میان هزینه‌های امنیت انرژی و سایر هزینه‌های سیستم هستیم.

در مطالعات انجام‌شده، شاخص‌های امنیت انرژی صورت منفعل،[3] یعنی پس از اجرای مدل و تعیین متغیرهای تصمیم‌گیری، استفاده می‌شوند. در این شرایط، عملاً شاخص‌های امنیت انرژی در تعیین نقطهٔ بهینهٔ سیستم عرضه نقشی ندارند و صرفاً برای نمایش وضعیت در آینده‌های ممکن به کار برده می‌شوند (Kruyt, de Vries, Heleen & Groenenberg, 2011; Cherp, 2011; Boots, 2004).

این وضعیت کاربرد حداقلی از شاخص‌های امنیت انرژی را نشان می‌دهد. برای مثال، کروت و همکاران در مقالهٔ «شاخص‌هایی برای امنیت انرژی» نتیجهٔ بررسی خود را در قالب

3. passive

Archive of SID
www.SID.ir

یک جدول ارائه کرده‌اند. در جدول ۱ برخی از شاخص‌های امنیت انرژی و نقش آن‌ها را در سیاست‌گذاری نشان داده‌ایم.

جدول ۱. وضعیت شاخص‌های امنیت انرژی

شاخص	داده‌های ورودی	وضعیت کاربرد در سیاست‌گذاری
تخمین منابع	مقدار و احتمال منابع موجود فسیلی	به طور کیفی
عمرآماری	نسبت تخمین منابع و تولید	به طور نسبی
تنوع	سهم حامل‌های انرژی در سبد مصرف انرژی	خیر
تمرکز بازار	سهم تولیدکنندگان در بازار	خیر
سهم واردات	سهم واردات حامل انرژی	بله
وابستگی به واردات	سهم واردات در سبد انرژی	خیر
ثبات سیاسی	شاخص توسعهٔ منابع انسانی	به طور نسبی
قیمت نفت	قیمت نفت	بله
سبد متوسط	سبد فناوری های تولیدکنندهٔ برق	خیر
سهم بدون کربن	سبد سوخت‌های بی کربن	بله
کیفیت بازار	شاخص دسترسی به حامل انرژی در بازار	بله
هزینه‌های انرژی	سبد عرضهٔ انرژی، تولید ناخالص داخلی و...	به طور نسبی

منبع: Kruyt Bert Bert J. M. de Vries, & Heleen & Groenenberg, 2011: 7

همان‌طور که در جدول ۱ ملاحظه می‌شود، عموماً شاخص‌های امنیت انرژی در محاسبات ریاضی و در تعیین نقطه بهینهٔ انرژی کاربردی ندارند. بنابراین، پرسش اصلی این است که چگونه می‌توان ملاحظات امنیت انرژی را در سیاست‌گذاری انرژی وارد کرد؟ چگونه می‌توان با در نظر گرفتن تأثیر شاخص‌های امنیت انرژی در ارزیابی سیستم عرضهٔ انرژی و محاسبه تهدیدات مرتبط، نقطه بهینه سیستم عرضه را به دست آورد؟

در واقع، ما به دنبال رویکرد فعال[4] در امنیت انرژی هستیم. در رویکرد فعال، دستاوردهای ادبیات امنیت انرژی نیز در محاسبات مربوط به مدل‌های عرضهٔ انرژی دخالت دارند و در نتیجه شاخص‌های امنیت انرژی به نقطهٔ بهینهٔ خود می‌رسند. منظور از نقطهٔ بهینهٔ شاخص‌های امنیت انرژی نقطه‌ای است که با در نظر گرفتن تأثیر امنیت انرژی در مدل عرضهٔ رقابت میان

4. active

Archive of SID
www.SID.ir

حامل‌های مختلف انرژی یا فناوری‌های تأمین انرژی بررسی شده باشد.

البته متوجه هستیم که در ادبیات امنیت انرژی، برای شاخص‌های امنیت انرژی نقطه بهینه‌ای وجود ندارد و هر چه این شاخص‌ها بهبود یابند، وضعیت سیستم در مقابل تهدیدات عرضه ارتقا پیدا می‌کند. اما از طرف دیگر، بهبود شاخص‌های امنیت انرژی با صرف هزینهٔ بیشتر در سیستم عرضهٔ انرژی همراه است و نهایتاً نقطهٔ بهینه براساس رقابت میان هزینه‌های سیستم عرضه تعیین می‌شود.

۲. پیشینهٔ پژوهش

پژوهش‌های متعددی صرفاً به معرفی شاخص‌های امنیت انرژی با توجه به دغدغه‌های موجود پرداخته است(Luft Gal & Tayyeb, 2011: 3; Redgwell, Ronne, & ZilIman, 2004: 4; Cherp, 2011; Böhringer, 2004: 3)

کروت و «همکاران»[5] (۲۰۱۱: ۶) شاخص‌های بلندمدت امنیت انرژی را معرفی و ضمن دسته‌بندی شاخص‌های امنیت انرژی در قالب جهانی شدن، بهره‌وری اقتصادی، مقبولیت زیست‌محیطی و جریان منطقه‌ای، اشاره می‌کنند که اگرچه به کارگیری شاخص‌های امنیت انرژی در ابزارهای تحلیلی اهمیت فراوانی دارد اما این شاخص‌ها در سیاست‌گذاری انرژی کاربردی ندارند و صرفاً از خروجی مدل‌ها برای محاسبه شاخص‌ها(ی کمّی) استفاده می‌شود.

آگوتیس و همکاران[6] (۲۰۱۵: ۱) در مقاله‌ای به بررسی تأثیر امنیت انرژی در مدل‌های عرضهٔ انرژی می‌پردازند. طبق نظر آنان، برای آنکه بتوان تأثیر امنیت انرژی را به طور کامل محاسبه کرد، به روش تلفیقی نیاز هست که پارامترهای قطعی و تصادفی را در نظر بگیرد. آنان در این مقاله سعی کرده‌اند ضریب امنیت انرژی را توسعه دهند و از این ضریب برای ارزیابی امنیت انرژی استفاده کنند. مشکلی که در توسعهٔ ضریب امنیت انرژی وجود دارد بخشی از همان مشکلی است که در شاخص‌های دیگر امنیت انرژی نیز وجود دارد، ارتباط مالی شاخص با دو معیار محاسبه می‌شود: ۱) عدم تغییر قابل توجه قیمت در اثر نوسانات عرضه؛ ۲) تأمین پایدار انرژی و عدم قطع شدن عرضهٔ انرژی.

در ابتدا مدل‌های عرضهٔ انرژی به صورت مدل‌های قطعی حل می‌شدند اما پاسخ کاملی به نیازهای موجود در مسائل حوزهٔ انرژی محسوب نمی‌شدند. عدم قطعیت‌های موجود در عرضهٔ انرژی جزو مواردی نبودند که بتوان به‌سادگی آن‌ها را ساده‌سازی کرد. بنابراین، مدل‌های تصادفی راه نفوذ بیشتری در مدل‌های عرضهٔ انرژی پیدا کردند.

5. Kruyt et al
6. Augutis et al

Archive of SID
www.SID.ir

در زمینهٔ قیمت گاز، میرخانی با اشاره به اهمیت ورود پارامترهای تصادفی در مدل‌های قطعی عرضهٔ انرژی، برای وارد کردن عدم قطعیت قیمت گاز در مدل انرژی از روش برنامه‌ریزی تصادفی با سناریوسازی به روش مونت کارلو استفاده می‌کند. این عدم قطعیت‌ها در مواردی است که داده‌های تاریخی وجود داشته باشد. وی نتایج مدل تصادفی را با نتایج مدل قطعی مقایسه می‌کند و مزایای حل مسئله به صورت تصادفی در کاهش هزینه‌ها را محاسبه می‌کند (Mirkhani, 2012). برخی مدل‌های تصادفی تعامل میان سیاست‌گذاری و عدم قطعیت قیمت انرژی را برای اندازه‌گیری سرمایه‌گذاری‌های جدید ارزیابی می‌کند(Seljom & Tomasgard 2017).

به طور کلی، برای دستیابی به رویکرد فعال در امنیت انرژی روش‌های زیر توسعه پیدا کرده است:

روش اول استفاده از نظرسنجی خبرگان در تعیین شاخص‌های امنیت انرژی و اضافه کردن قیدهایی به مدل عرضهٔ انرژی تا وصول به نتیجه مطلوب است.

روش دوم وارد کردن پارامترهای تصادفی قیمتی برای مواردی که اطلاعات تاریخی وجود دارد.

روش سوم محاسبهٔ شاخص‌های جدید امنیت انرژی مبتنی بر مدل‌های عرضهٔ انرژی که نشان‌دهندهٔ میزان تاب‌آوری سیستم عرضهٔ انرژی است.

در جدول ۲ مقایسه میان روش‌های محاسبه تأثیر امنیت انرژی در مدل‌های عرضهٔ انرژی از منظر مزایا و معایب نمایش داده شده است.

جدول ۲. مقایسه میان روش‌های محاسبهٔ تأثیر امنیت انرژی در مدل‌های عرضهٔ انرژی

عنوان	مزایا	معایب
روش اول	سادگی، محاسبات سریع، هزینهٔ کم	دقت پایین، هم جهت با ذهنیت سیاست‌گذاران، تحلیل حساسیت مبهم
روش دوم	محاسبات دقیق بر مبنای اطلاعات واقعی	نیازمند اطلاعات تاریخی، فقط برای متغیرهایی کاربرد دارد که اطلاعات تاریخی دقیقی از آن ها در دسترس باشد. سناریوسازی پیچیده
روش سوم	محاسبهٔ شاخص از خروجی مدل عرضه با در نظر گرفتن نوسانات و تهدیدات، در نظر گرفتن شاخص‌ها براساس قطع عرضه و تغییرات قیمتی	ارائهٔ شاخص جدیدی که خود نیازمند تفسیر جدیدی از امنیت انرژی است. عدم بررسی شاخص‌های امنیت انرژی موجود و تجمیع آن‌ها

www.SID.ir

با توجه به ماهیت مسئله، به روشی نیازمندیم که ملاحظات امنیت انرژی را در نظر بگیریم که کمترین نقاط ضعف را داشته باشد. زمانی که یک مدل قطعی عرضهٔ انرژی تحت شرایط عدم قطعیت اجرا می‌شود، به دست آوردن نتیجهٔ قابل اعتماد سخت خواهد بود. بنابراین، تحلیل سناریو معمولاً برای به دست آوردن تأثیر پارامتر دارای عدم قطعیت بر روی نتایج مدل قطعی به کار برده می‌شود.

۳. روش‌شناسی

برای رفع مشکلات و معایب روش‌های موجود، روش جدیدی معرفی می‌شود:

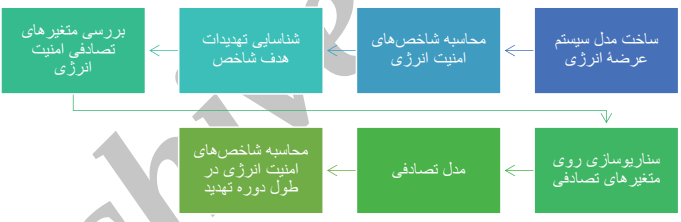
۱. تهدیدات هدف شاخص‌های امنیت انرژی در مدل‌های عرضهٔ انرژی وارد شود؛

۲. این تهدیدات به صورت متغیرهای تصادفی دیده شود؛

۳. سناریوسازی با روش CIA انجام شود؛

۴. رقابت پارامترهای امنیت انرژی با سایر هزینه‌های سیستم به این صورت که عرضه امنیت انرژی یکی از عناصر تصمیم‌گیری است محاسبه شود.

فرایند مراحل کار به صورتی انجام می‌شود که در شکل ۱ نشان داده شده است.



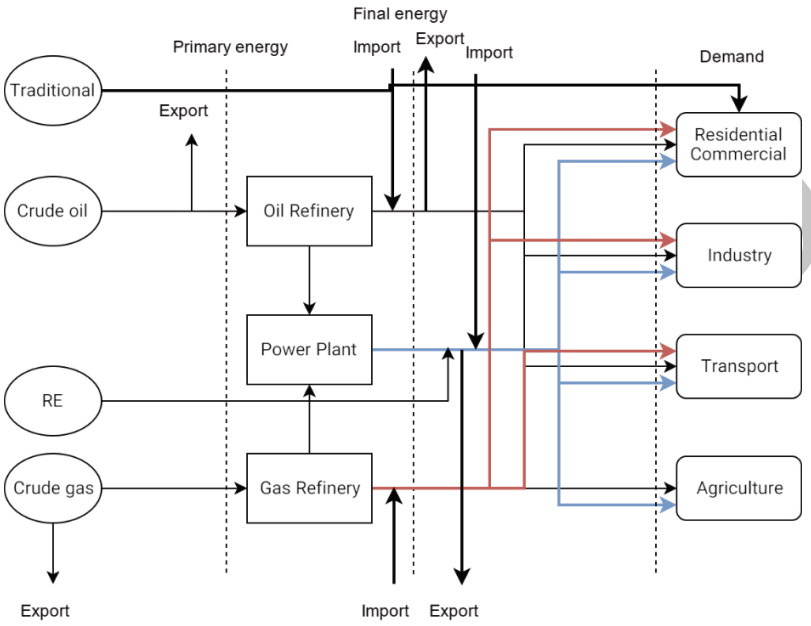
شکل ۱. فرایند حل مسئله

۳. ۱. مدل‌سازی مسئله

مدل عرضهٔ انرژی براساس نمودار مرجع انرژی و مبانی اقتصاد خرد ساخته می‌شود. به دلیل ساده‌سازی در حل مسئله، حامل‌های انرژی نفت، گاز، سوخت‌های سنتی و تجدیدپذیر جزو حامل‌های اصلی در نظر گرفته می‌شود. در لایهٔ تبدیل، پالایشگاه‌های نفت و گاز و نیروگاه‌ها وارد مدل شده‌اند و نهایتاً بخش‌های اقتصادی خانگی ـ تجاری، صنعت، حمل‌ونقل و کشاورزی به‌عنوان مصرف‌کنندگان انرژی مشخص شده است. با توجه به نیاز مسئله، مدل به صورت متمرکز و بدون در نظر گرفتن ابعاد مکانی ساخته شده است. در شکل ۲ نمودار جریان

Archive of SID
www.SID.ir

انرژی نمایش داده شده است.



شکل ۲ . نمودار مرجع انرژی

۳. ۲. مدل مفهومی

مدل عرضهٔ انرژی با در نظر گرفتن ملاحظات امنیت انرژی، از سه بخش تابع هدف، قیدها و شاخص‌های امنیت انرژی تشکیل می‌شود. در ادامه، به توضیح بخش‌های مدل پرداخته می‌شود.

ـ تابع هدف

تابع هدف کمینه‌سازی مجموع هزینه‌های سیستم عرضهٔ انرژی با قید تأمین تقاضای انرژی در طول دورهٔ مطالعه. تابع هدف شامل این موارد است:

۱. هزینه‌های تولید حامل‌های انرژی؛
۲. هزینه‌های واردات حامل‌های انرژی؛
۳. هزینه‌های صادرات حامل‌های انرژی (به صورت منفی وارد تابع هدف می‌شود)؛
۴. هزینه‌های ذخیره‌سازی انرژی؛

Archive
www.SID.ir

۵. هزینه‌های زیست‌محیطی ناشی از انتشار آلاینده های انرژی.

فرمول تابع هدف را در رابطهٔ ۱ نشان داده‌ایم.

متغیرهای درونزای مدل عبارت‌اند از متغیرهای تصمیم‌گیری مقدار تولید، واردات، صادرات و ذخیره‌سازی حامل‌های انرژی در سال‌های مختلف.

رابطهٔ ۱

$$\text{Min } Z = \text{Production_cost} + \text{Import_cost} + \text{External_cost} + \text{Inventory_cost} - \text{Export_cost}$$

همان‌طور که در روش‌شناسی توضیح داده شد، متغیر برونزایِ مدل متغیری است که در شاخص امنیت انرژی استفاده می‌شود و دارای عدم قطعیت است. در مطالعهٔ موردی حاضر، قیمت بنزین در شاخص وابستگی به واردات انرژی، متغیر برونزا است و براساس سناریوهایی که در ادامه (در بخش سناریوسازی به روش تحلیل اثر متقابل) می‌آید وارد مدل می‌شود.

ـ محدودیت‌ها

میزان نفت خام تولیدشده از مخازن نفتی را می‌توان صادر کرد و یا به فراورده‌های نفتی تبدیل کرد، بنابراین مجموع نفت تحویل‌داده‌شده به پالایشگاه‌ها و نفت صادرشده کوچک‌تر از نفت تولیدشده در همان سال است.

در سال پایه ظرفیت پالایشی کشور مقدار مشخصی دارد، خالی ماندن این ظرفیت طبق قانون مجاز نیست و بنابراین، مقدار نفت تحویل‌داده‌شده به پالایشگاه‌ها بزرگ‌تر ظرفیت فعلی پالایشگاه‌هااست.

ظرفیت‌سازی پالایشی مستلزم سرمایه‌گذاری و صرف هزینهٔ زمانی و مالی است. بنابراین چنانچه ظرفیتی ایجاد شد، نباید این ظرفیت معطل بماند. پس، مقدار نفت تحویل‌داده‌شده به پالایشگاه‌ها نمی‌تواند از مقدار سال قبل کمتر باشد (ظرفیت ایجادشده نباید معطل بماند).

در ازای یک واحد نفت خام که وارد پالایشگاه می‌شود، فراورده‌های نفتی تولید می‌شود که راندمان محصول پالایشگاه را تشکیل می‌دهد. بنابراین، مقدار نفت خام ارسالی به پالایشگاه‌های نفت کشور با توجه به راندمان پالایشگاه‌های نفت به مقدار مشخصی فراورده‌های نفتی تبدیل می‌شود.

طبق موازنهٔ جرم، مجموع فراورده‌های نفتی تولیدشده در داخل کشور به‌علاوهٔ واردات و برداشت از ذخایر باقی‌مانده از سال گذشته، برابر است با فراورده‌های نفتی تخصیص‌داده‌شده به صادرات، ذخیره‌سازی و بخش‌های مختلف مصرف شامل بخش‌های خانگی ـ تجاری، صنعت، حمل‌ونقل، کشاورزی و نیروگاه‌ها است.

Archive of SID
www.SID.ir

مطابق روابط موازنهٔ جرم، مجموع بنزین تولیدشده در داخل کشور به‌علاوهٔ واردات و برداشت از ذخایر باقی‌مانده از سال گذشته، برابر است با بنزین تخصیص‌داده‌شده به صادرات، ذخیره‌سازی و بخش‌های مختلف مصرف شامل بخش‌های خانگی ـ تجاری، صنعت، حمل‌ونقل، کشاورزی و نیروگاه‌ها است.

در بخش حمل‌ونقل محدودیت زیر برای استفاده از بنزین است: با توجه به ضریب تولید بنزین در پالایشگاه‌های نفت کشور و میزان استفاده از بنزین در بخش حمل‌ونقل در هر سال در صورت نیاز، واردات بنزین انجام می‌شود. بنابراین میزان بنزین مصرفی در بخش حمل‌ونقل که درصدی مشخص از کل انرژی مصرفی در این بخش است، برابر با مقدار بنزین تولیدشده در پالایشگاه‌های نفت کشور که درصد مشخصی از کل فراورده‌های نفتی تولیدشده در پالایشگاه‌های نفت کشور به اضافهٔ واردات بنزین است و در صورت تولید مازاد بر تقاضا، صادارت بنزین انجام می‌شود.

گاز غنی تولیدشده از مخازن گازی، پس از ارسال به پالایشگاه‌های گاز، با توجه به راندمان پالایشگاه‌های گاز به مقدار مشخصی گاز سبک تبدیل می‌شود

طبق معادلات موازنهٔ جرم، مجموع گاز طبیعی سبک تولیدشده در داخل کشور و واردات، برابر با گاز طبیعی تخصیص‌داده‌شده به صادرات و بخش‌های مختلف مصرف شامل بخش‌های خانگی ـ تجاری، صنعت، حمل ونقل و نیروگاه‌ها است.

مجموع برق تولیدشده در نیروگاه‌های تجدیدپذیر و نیروگاه‌های حرارتی با کل برق موجود برای تخصیص به بخش‌های مختلف برابر است.

طبق برنامه‌های مربوط به استفاده از انرژی های تجدیدپذیر در نیروگاه‌ها، بخش مشخصی از برق از طریق انرژی‌های تجدیدپذیر تأمین می‌شود.

برق تولیدشده در نیروگاه‌ها به بخش‌های مختلف مصرف تخصیص داده می‌شود. با توجه به تلفات انتقال و توزیع، محدودیت زیر نیز در نظر گرفته شده است.

مجموع برق تولیدشده در داخل کشور (پس از کسر تلفات انتقال و توزیع) و واردات، برابر میزان برق تخصیص‌داده‌شده به صادرات و بخش‌های مختلف مصرف شامل بخش‌های خانگی- تجاری، صنعت، حمل‌ونقل و کشاورزی است.

مجموع فراورده‌های نفتی، گاز طبیعی، برق و سوخت‌های سنتی تخصیص‌داده‌شده به بخش خانگی ـ تجاری بزرگ‌تر یا مساوی با تقاضای کل انرژی این بخش است. همچنین تقاضای مربوط به فراورده‌های نفتی، گاز و برق برای این بخش به طور جداگانه مورد توجه قرار گرفته است.

مجموع فراورده‌های نفتی، گاز طبیعی و برق تخصیص‌داده‌شده به بخش حمل‌ونقل بایستی

Archive of SID
www.SID.ir

از تقاضای کل انرژی این بخش بزرگ‌تر باشد.

مجموع فراورده‌های نفتی و برق تخصیص‌داده‌شده به بخش کشاورزی تأمین‌کنندهٔ تقاضای کل انرژی این بخش است.

مجموع فراورده‌های نفتی و گاز طبیعی تخصیص‌داده‌شده به نیروگاه‌های حرارتی باید از تقاضای کل انرژی این بخش بزرگ‌تر باشد. همچنین با توجه به اینکه در نیروگاه‌های حرارتی استفاده از گاز طبیعی برای تولید برق بر فراورده‌های نفتی ارجحیت دارد و این دو حامل انرژی قابل جایگزینی با یکدیگر هستند، به تقاضای مربوط به گاز در این بخش به طور جداگانه توجه شده است.

میزان گاز تخصیص‌داده‌شده برای تزریق به مخازن نفتی بایستی از مقدار تقاضای مشخص‌شده توسط متخصصان بزرگ‌تر باشد.

مقدار گاز طبیعی (و برق) تخصیص‌داده‌شده به بخش حمل‌ونقل در هر سال از مقدار گاز طبیعی تخصیص‌داده‌شده به این بخش در سال قبل بزرگ‌تر و از حداکثر ممکن کوچک‌تر است. حداکثر مقدار گاز طبیعی (و برق) قابل استفاده در این بخش با توجه به برنامه‌های توسعه مطابقِ برنامه‌های سازمان CNG جایگاه‌های بهینه‌سازی مصرف سوخت مشخص می‌شود.

میزان استفاده از سوخت‌های سنتی در بخش خانگی ـ تجاری در هر سال کوچک‌تر از حد بالای آن است که با توجه به میزان کاهش مصرف طی پنج سال اخیر در نظر گرفته شده است.

رشد ذخیره‌سازی حامل‌های انرژی از مقدار اولیه ضرب در حداکثر رشد سالانه کوچک‌تر است. بدین ترتیب، رشد ذخیره‌سازی در هر سال نمی‌تواند از حد معینی تجاوز کند.

۳. ۳. شاخص وابستگی به صادرات

شاخص وابستگی به واردات از جمله رایج‌ترین شاخص‌های امنیت انرژی است. عمدتاً وابستگی به واردات را نسبت به مصرف انرژی در نظر می‌گیرند. مرکز پژوهش‌های انرژی آسیا ـ اقیانوس آرام سنجهٔ مرکبی برای تنوع و وابستگی به واردات دارد (APERC 2007). در این روش، شاخص شانون برای اندازه‌گیری میزان وابستگی کشور به واردات وزن‌دار شده است.

رابطهٔ ۲

$$NEID = \frac{\sum_i m_i . p_i . lnp_i}{\sum_i p_i . lnp_i}$$

m_i سهم عرضهٔ انرژی اولیه i ام در واردات خالص

p_i سهم عرضهٔ انرژی اولیه i ام در کل عرضهٔ انرژی اولیه

هرچه مقدار این شاخص بیشتر باشد نشان‌دهندهٔ وابستگی بیشتر سامانهٔ عرضهٔ انرژی به

Archive of SID
www.SID.ir

واردات انرژی است و بنابراین سطح امنیت عرضهٔ انرژی کمتر است.

٤. سناریوسازی به روش تحلیل اثر متقابل

نیروهای پیشران عوامل تعیین کنندهٔ روندها و عدم قطعیت‌ها هستند. نیروهای پیشران می‌توانند محیط تحلیل اقتصادی را به طور کلی تغییر دهند یا آنکه تغییرات جزئی در روندها به وجود آورند.

نیروهای پیشران را تیم کارشناسی با استفاده از نظر خبرگان تعیین می‌کنند. در مسئلهٔ حاضر نیروهای پیشران عبارت‌اند از:

ـ تحریم

در صورتی که تحریم‌ها شدیدتر شوند روندهای تولید و مصرف انرژی به‌شدت تحت‌تأثیر قرار می‌گیرد. تحریم‌ها همچنین بر روی سرمایه‌گذاری خارجی و صادرات محصولات مانند نفت خام که درامد اصلی دولت را تأمین می‌کند اثر گذارند.

ـ اتحاد منطقه‌ای

منظور از اتحاد منطقه‌ای اتحاد کشورهای همسایه ایران مانند روسیه، سوریه، عراق و... علیه تحریم‌ها است که در صورت وقوع می‌تواند آثار تحریم‌ها را محدود کند و فرصت‌هایی برای ایران به وجود آورد.

ـ فناوری‌های جدید

همواره ظهور فناوری‌های جدید می‌تواند کارایی را افزایش و هزینه‌ها را کاهش دهد. بنابراین فناوری‌های جدید یکی از پارامترهای اثرگذار بر روندها هستند.

روندهای کلی مسئله در حوزهٔ انرژی به حوزه‌های تولید و مصرف انرژی محدود می‌شود. روندهای مسئله عبارت‌اند از:

افزایش تقاضا

افزایش عرضه

کاهش واردات.

٥. مفروضات و سناریوها

سناریونویسی از فرض‌هایی منطقی در مورد آینده شروع می‌شود و روندها حاصل فرض‌هایی در مورد آینده است. در جدول ۳ فرض‌هایی که در مورد آینده می‌شود درج شده است.

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۳. مفروضات سناریوسازی

فرض ۱	موفقیت برجام و کاهش چشمگیر تحریم‌های بانکی، مالی، انرژی، افزایش تولید نفت خام به سبب افزایش سرمایه‌گذاری خارجی، انتقال فناوری
فرض ۲	افزایش تحریم‌ها در دولت ترامپ به بهانه های حقوق بشر و هسته‌ای، شکل‌گیری اتحاد منطقه‌ای علیه آمریکا با حضور ایران و روسیه، کاهش سرمایه‌گذاری خارجی
فرض ۳	افزایش فشارها علیه ایران، عدم شکل‌گیری اتحاد منطقه‌ای، کاهش سرمایه‌گذاری خارجی، کاهش فروش نفت خام
فرض ۴	افزایش مصرف فراورده‌های نفتی و سایر انواع انرژی به دلیل افزایش جمعیت و توسعهٔ اقتصادی
فرض ۵	کاهش مصرف فراورده‌های نفتی به خاطر افزایش مصرف گاز طبیعی و جایگزینی آن با فراورده‌های نفتی
فرض ۶	ادامهٔ روند فعلی

فرض‌های اخیر مبنای تولید روندهایی است که در جدول ۴ شمارش شده است. این روندها بر روی فاکتورهای کلیدی محاسبه شده است.

جدول ٤. روندهای حاصل از مفروضات مسئله

روند۱	افزایش تولید و صادرات نفت خام
روند۲	عدم افزایش قیمت‌های بنزین و سایر فراورده‌های نفتی وارداتی
روند۳	کاهش صادرات نفت خام و افزایش واردات فراورده
روند۴	افزایش شدید قیمت‌های بنزین وارداتی
روند۵	ادامهٔ روند فعلی
روند۶	کاهش صادرات نفت خام و کاهش واردات فراورده

٦. تحلیل اثر متقابل

یکی از ویژگی‌های سناریو انسجام درونی است که توجیه سناریو را بالاتر می برد. روندهایی که به تقویت همدیگر منجر می‌شود موجب انسجام درونی سناریو می‌شود.

روش تحلیل اثر متقابل تأثیر روندها بر یکدیگر را به این صورت نشان می‌دهد که در یک فرایند شرطی اگر روند یک به وقوع بپیوندد با چه احتمالی روند دیگر به وقوع می‌پیوندد.

بدین ترتیب، روندهایی که احتمال بالاتری داشته باشند نشان‌دهندهٔ همبستگی بیشتر و انسجام درونی بیشتر هستند.

www.SID.ir

جدول ۵. تحلیل اثر متقابل

	T1	T2	T3	T4	T5	T6
T1	-	0.9	0.2	0.3	0.9	0.3
T2	0.9	-	0.4	0.3	0.7	0.5
T3	0.2	0.4	-	0.9	0.4	0.5
T4	0.3	0.3	0.9	-	0.4	0.8
T5	0.9	0.7	0.4	0.4	-	0.3
T6	0.3	0.5	0.5	0.8	0.3	-

با توجه به جدول ۵ و بررسی روندها، سه روند اصلی که پشتیبان همدیگر هستند، از طریق روش تحلیل اثر متقابل به دست می‌آید.

در این سناریوها، قیمت واردات بنزین بین ۶۳/۷ دلار تا ۱۳۲ دلار در هر بشکه متغیر است. براساس روش دلفی، مقدار قیمت در هر سناریو و احتمال سناریو با روش میانگین حسابی به دست آمد. جدول ۶ نشان‌دهندهٔ سناریوهای محاسبه شده است.

جدول ٦. جزئیات سناریوسازی مسئله

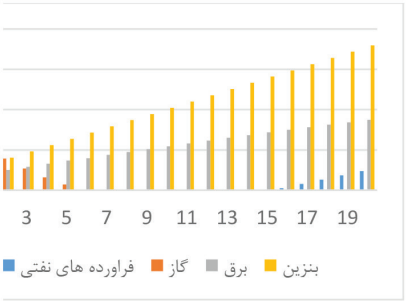
وضعیت	عنوان	شرایط متغیر	احتمال
وضعیت یک	تحریم شدید و انفعال	۱۳۲ دلار در هر بشکه	۰/۱۲
وضعیت دو	تحریم شدید و فعال	۹۶/۸۲ دلار در هر بشکه	۰/۳
وضعیت سه	ادامهٔ روند فعلی	۶۳/۷ دلار در هر بشکه	۰/۵۸

۷. بحث و نتیجه

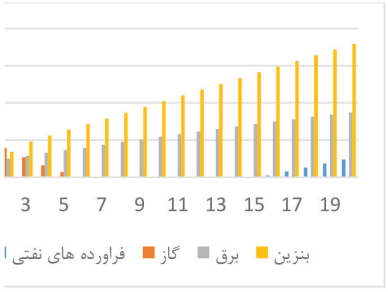
دورهٔ تهدید پنج سال در نظر گرفته شده است و پس از پنج سال یکی از سناریوها اتفاق می‌افتد و تا انتهای دوره ثابت می‌ماند. مقایسهٔ نتایج مدل تصادفی در سناریوهای مختلف نشان می‌دهد که مدل برای جبران تهدیدات از روش ذخیره‌سازی به جای افزایش ظرفیت استفاده کرده است.

همان‌طور که در شکل‌های ۳ تا ۵ ملاحظه می‌شود، در مدل قطعی با قیمت ۶۳,۷ روند صعودی واردات بنزین وجود دارد ولی در قیمت‌های بالاتر در سال اول افت واردات و بعد افزایش واردات اتفاق می‌افتد.

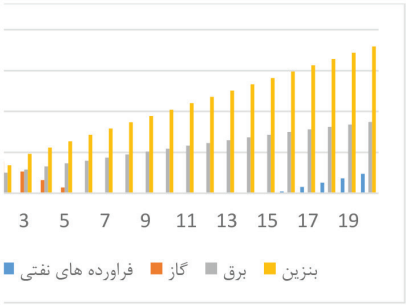
Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۳. مدل قطعی ـ قیمت بنزین ۶۳,۷

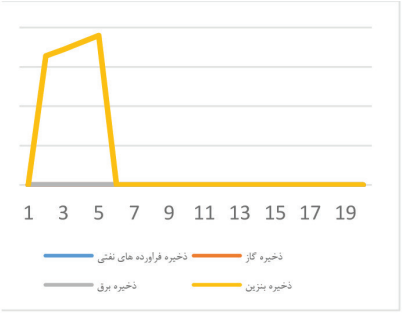


شکل ٤. مدل قطعی ـ قیمت بنزین ۹٦,۸

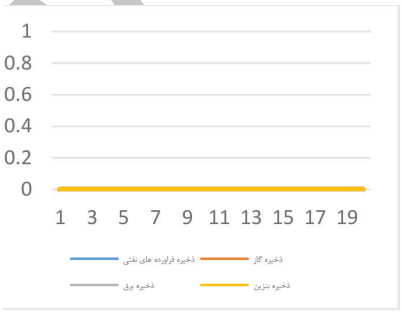


شکل ۵. مدل قطعی ـ قیمت بنزین ۱۳۲

شکل‌های ۶ و ۷ مقایسه میان نتایج مدل تصادفی و مدل قطعی را در سناریوی ادامهٔ روند فعلی نشان می‌دهد. در حالت تصادفی ذخیره‌سازی بنزین به صورت افزایش تا سال ششم افزایش پیدا می‌کند تا در صورت وقوع تهدید مصرف شود و با توجه به اتمام دوره تهدید در سال هفتم ذخیره‌های بنزین به طور کامل مصرف می‌شود (در مدل قیدی برای نگهداری ذخیره حامل‌های انرژی گذاشته نشده است، بنابراین ذخیرهٔ بنزین می‌تواند صفر شود).

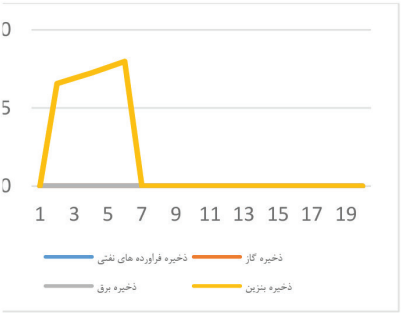


شکل ٦. مدل تصادفی ـ سناریوی ۳

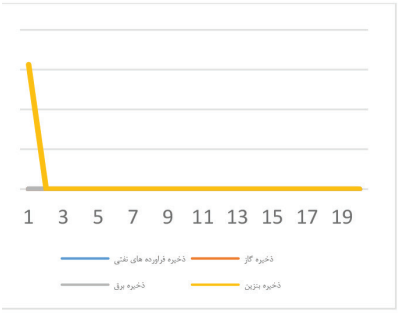


شکل ۷. مدل قطعی ـ سناریوی۳

www.SID.ir



شکل ۸. مدل تصادفی ـ سناریوی ۱ و۲

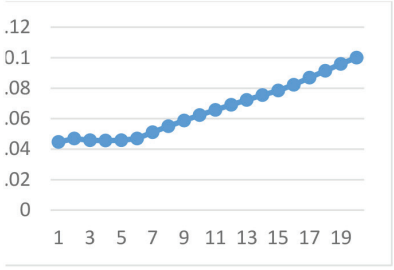


شکل ۹. مدل قطعی ـ سناریوی ۱ و ۲

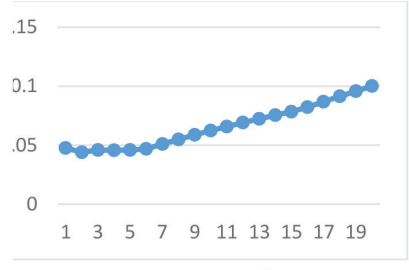
در شکل های ۸ و ۹ مقایسه میان حالت قطعی و تصادفی سناریوهای ۱ و ۲ است و همان‌طور که ملاحظه می‌شود، مشابه حالت قبل ذخیره‌سازی در حالت تصادفی انجام می‌شود. تفاوت سناریوهای تصادفی با حالت قبل در طول دورهٔ ذخیره‌سازی است که در سناریوهای ۱ و ۲ تا سال هفتم و در سناریوی ۳ تا سال ششم ذخیره‌سازی انجام شده است. همچنین در سناریوهای ۱ و ۲ میزان ذخیره‌سازی بیشتر است.

نتایج مدل قطعی و تصادفی در شکل های ۱۰ تا ۱۳ نمایش داده شده است. مقایسه میان نتایج مدل قطعی و تصادفی نشان می‌دهد که در دورهٔ نوسان مدل سعی می کند وابستگی خود را به واردات انرژی کاهش دهد.

میزان کاهش وابستگی در رقابت میان سایر هزینه‌های سیستم مشخص می‌شود و در هر سال نقطهٔ بهینه به دست می آید.

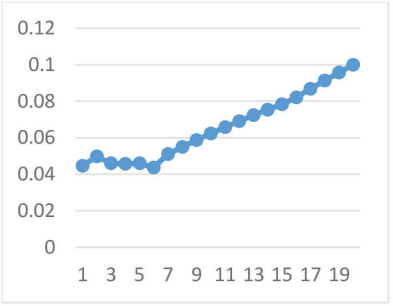


شکل ۱۰. مدل قطعی ـ سناریو ۳

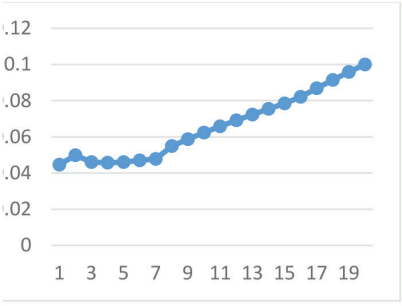


شکل ۱۱. مدل قطعی ـ سناریو۱ و۲

www.SID.ir



شکل ۱۲. مدل تصادفی ـ سناریو ۳



شکل ۱۳. مدل تصادفی ـ سناریو ۱ و ۲

شاخص امنیت انرژی معادل یک تابع چند متغیره است که در شرایط مختلفی می‌تواند بهینهٔ موضعی داشته باشد، با حل مدل تصادفی، ترکیب سبد انرژی به گونه ای‌است که این شاخص در موقعیت بهینهٔ موضعی قرار می‌گیرد.

تغییر شاخص امنیت انرژی از مقدار خروجی مدل با تغییر سبد انرژی اتفاق می‌افتد که سیستم را از نقطهٔ بهینه دور می‌کند و نهایتاً صرفهٔ اقتصادی خود را از دست می‌دهد. با این تعریف، شاخص بهینه با یک ترکیب مشخصی که خروجی مدل است، مورد قبول است و ترکیب دیگری از شاخص‌های امنیت انرژی علی رغم آنکه مقدار برابری در خروجی شاخص داشته باشند مورد قبول نخواهد بود.

۸. جمع‌بندی و توصیه‌های سیاستی

در این مقاله، در پی یافتن راه‌حلی برای به‌کارگیری شاخص‌های امنیت انرژی در مدل‌های عرضهٔ انرژی بودیم تا از این مسیر بتوانیم تحلیل جامع‌تری از نقطه بهینهٔ انرژی به دست آوریم. روش تحلیل ما براساس رقابت هزینه‌های تأمین انرژی برای برآورده کردن تقاضای مشخص در طول دورهٔ ۲۰ ساله است.

شاخص وابستگی به واردات انرژی به‌عنوان یکی از شاخص‌های بااهمیت امنیت انرژی بررسی و متغیر واردات بنزین به‌عنوان اصلی‌ترین متغیر دارندهٔ عدم قطعیت در مطالعهٔ موردی عرضهٔ فراورده‌های نفتی ایران به‌عنوان متغیر تصادفی انتخاب شد.

سناریوهای قیمت بنزین براساس روش تحلیل اثر متقابل به دست می‌آید که عبارت است از سه سناریوی تحریم شدید و انفعال، تحریم شدید و فعال و ادامهٔ وضعیت فعلی. سناریوی تحریم شدید و فعال به معنای تحریم شدید ایران از سوی غرب و ایجاد یک همبستگی در تقابل با غرب از سوی ایران است. تحریم شدید و انفعال به معنای انزوای ایران و عدم همراهی

Archive of SID
www.SID.ir

کشورهای همسایه با ایران، در مقابله با تحریم‌های غرب است.

سناریوی ۱ منعکس کنندهٔ بیشترین قیمت و سناریوی ادامهٔ روند فعلی کمترین قیمت بنزین است. این سناریوها در حل مدل تصادفی استفاده می‌شوند.

نتیجهٔ مدل تصادفی نشان می‌دهد در پنج سال ابتدایی مدت مطالعه که نوسانات ناشی از تهدید بنزین وجود دارد، مدل اقتصادی بر ذخیره‌سازی انرژی در مقابل افزایش ظرفیت تولید تأکید می کند (به جهت اینکه مطابق قید ظرفیت پالایش در مدل و همچنین بازدهی پایین پالایشگاه‌ها، ظرفیت‌سازی پالایش منتج به تأمین خوراک بیشتر می‌انجامد، از ایجاد ظرفیت جدید خودداری کرده است).

بنابراین، نقطهٔ مشترک هر سه سناریو، افزایش ذخیره‌سازی بنزین تا مرز ۸ میلیون بشکه در سال است و ضروری است به‌عنوان یکی از راهبردهای اساسی تأمین انرژی در بلندمدت تصمیم گیری شود.

می توان توصیه‌های سیاستی زیر را عرضه کرد:

ـ ایران کشوری است که در سال‌های آتی عدم قطعیت‌های فراوانی در حوزهٔ تأمین انرژی خواهد داشت. بنابراین، خودکفایی سیستم عرضهٔ انرژی یکی از پارامترهای تعیین کنندهٔ تأمین انرژی خواهد بود.

ـ ظرفیت‌سازی برای ذخیره‌سازی حامل‌های انرژی تا ۸ میلیون بشکه در سال با توجه به مفروضات اولیه مدل، به‌عنوان راه‌حلی برای مقابله با تهدیدات در کوتاه‌مدت معرفی می‌شود.

ـ با در نظر گرفتن بازده فعلی پالایشگاه‌ها، نتایج مدل نشان می‌دهد، ظرفیت‌سازی برای پالایش نفت خام در صورتی که تهدیدات انرژی بلندمدت باشد صرفهٔ اقتصادی خواهد داشت؛ چرا که تأمین خوراک در سال‌هایی که تهدید وجود ندارد عملاً هزینهٔ سیستم را افزایش می‌دهد.

ـ وابستگی به واردات انرژی یکی از شاخص‌های بااهمیت و فراگیر امنیت انرژی است که توجه به آن در تصمیم گیری‌های کلان انرژی موجب افزایش تاب‌آوری سیستم در مقابل تهدیدات می‌شود. در پژوهش حاضر، نتایج مدل نشان می‌دهد این شاخص در طول دورهٔ تهدید بین ۰/۰۴ تا ۰/۰۶ در نوسان است. و پس از آن با رشد ۱۷۵ در صدی، تا مرز ۰/۱۱ افزایش می‌یابد که این موضوع نشان‌دهندهٔ اهمیت تأثیر تهدیدات بر تصمیم گیری مدل در زمینهٔ کاهش واردات و افزایش ذخیره‌سازی است.

Archive of SID
www.SID.ir

کتابنامه

APERC, 2007. *A QUEST FOR ENERGY SECURITY IN THE 21ST CENTURY, ASIA PACIFIC ENERGY RESEARCH CENTRE.*

Augutis, J., Martišauskas, L. & Krikštolaitis, R., 2015. "Energy mix optimization from an energy security perspective". *Energy Conversion and Management*, No. 90 (Complete). pp.300–314.

Barton Catherine Redgwell & Anita Ronne & Donald N. ZilIman, B., 2004. "Energy security: Managing Risk in a Dynamic Legal and Regulatory Environment". *Oxford: Oxford University Press*.

Böhringer, C., 2004. "Measuring Sustainable Development: The Use of Computable General Equilibrium Models", *ZEW - Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung / Center for European Economic Research*. Available at: http://hdl.handle.net/10419/24066.

Cherp Aleh, J.J., 2011. "MEASURING ENERGY SECURITY From universal indicators to contextualized frameworks". *In THE ROUTLEDGE HANDBOOK OF ENERGY SECURITY*. Taylor & Francis e-Library: Routledge, pp. 330–355.

Kruyt Bert Bert J. M. de Vries & Heleen, D. van V. & Groenenberg, 2011. "INDICATORS FOR ENERGY SECURITY". *In THE ROUTLEDGE HANDBOOK OF ENERGY SECURITY*. Taylor & Francis e-Library: Routledge, pp. 291–312.

Lu, W. et al., 2016. "A systematic method of evaluation of the Chinese natural gas supply security". *Applied Energy*, No.165, pp.858–867. Available at: http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.12.120.

Luft Gal Gupta Eshita & K.A. & Tayyeb, A., 2011. "Energy Security and Climate Change: A Tenuous Link". *In The Routledge Handbook of Energy Security*. Routledge, pp. 43–55.

Mirkhani, S., 2012. "Stochastic modeling of the energy supply system with uncertain fuel price A case of emerging technologies for distributed power generation". *Applied energy*, No.93, p.7.

van Moerkerk, M. & Crijns-Graus, W., 2016. "A comparison of oil supply risks in EU, US, Japan, China and India under different climate scenarios". *Energy Policy*, 88(2016), pp.148–158. Available at: http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2015.10.015.

Seljom, P. & Tomasgard, A., 2017. "The impact of policy actions and future energy prices on the cost-optimal development of the energy system in Norway and Sweden". *Energy Policy*, 106, pp.85–102. Available at: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421517301520.

World Economic Forum, 2015. Global energy architecture performance index report 2015. , p.36. Available at: http://www3.weforum.org/docs/WEF_GlobalEnergyArchitecture_2015.pd.

Archive of SID
www.SID.ir