نگاهی به ضرورت توسعهٔ انرژی‌های نو در ایران

گیتی طالقانی

عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی ـ واحد تهران جنوب

چکیده

بی‌شک توسعه و رفاه جامعه‌ها، بر انرژی متّکی است و در این میان، استفاده از انرژی‌های نو به‌ویژه در کشورهایی مانند ایران که چنین پتانسیلی دارند، اهمیت ویژه‌ای دارد.

در این مقاله، اثرات زیست‌محیطی سیستم فعلی انرژی که ازنظر اکولوژی مسئله‌ساز است، بررسی و فواید انرژی‌های تجدیدپذیر و روند فعلی آن در جهان تجزیه و تحلیل شده است.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

مقدمه

انرژی، زیربنایی قوی برای پیشرفت اقتصادی است و نقشی تعیین کننده در بهبود زندگی بشر دارد. انسان همیشه طالب کالاهای پیشرو خدماتی است؛ کالاهایی که شدیداً انرژی‌بر هستند و نیاز به انرژی را به‌شدت افزایش می‌دهند. سودمندی صنعت سنگین، کشاورزی، حمل و نقل و خدمات اساساً به کاربرد وسایلی که شدیداً انرژی‌بر هستند، وابسته است. درواقع، افزایش سرانهٔ مصرف انرژی همهٔ ملّت‌های توسعه‌یافته و درحال

وابسته است. درواقع، افزایش سرانهٔ مصرف انرژی همهٔ ملّت‌های توسعه‌یافته و درحال توسعه، با افزایش سرانهٔ تولید ناخالص ملی آنها متناسب است.

با توجه به منابع سوخت فسیلی و استفادهٔ گسترده از آن در بخش تولید انرژی کشور، استفاده از انرژی‌های نو در ایران، عموماً در مراحل مطالعاتی و بعضاً کاربرد منطقه‌ای قرار دارد؛ و با عنایت به زوال‌پذیربودن سوخت‌های فسیلی در آیندهٔ نه چندان دور و تأثیرات مخرب زیست‌محیطی آن، به‌نظر می‌رسد جایگزینی استفاده از این منابع با منابع تجدیدپذیر باید با شتاب بیشتری صورت گیرد.

جایگاه انرژی فسیلی در کشور

جمع منابع انرژی کشور ایران در سال ۱۳۷۵، به‌استناد ترازنامهٔ انرژی سال ۱۳۷۵، معادل ۱۷۷۴ میلیون تن معادل نفت[1] بوده که حدود ۹۸٪ آن در داخل کشور تولید شده و بقیّه به‌صورت انواع فراورده‌های نفتی و سوخت‌های جامد از خارج کشور وارد شده است. از منابع انرژی تولیدی (و واردشده)، حدود ۵۵٪ به‌صورت نفت خام و فراورده‌های نفتی (و به‌میزان بسیار جزئی به‌صورت برق و سوخت جامد) صادر شده؛ به‌عبارت دیگر، ۴۵٪ باقیمانده یعنی حدود ۸۰۰ میلیون تن معادل نفت انرژی در داخل کشور مصرف شده که از این مقدار انرژی مصرفی نزدیک به تمامی آن از منابع فسیلی اعم از نفت و فراورده‌های نفتی، گاز طبیعی و سوخت‌های جامد تأمین شده است (مرکز تحقیقات و کاربرد انرژی‌های نو[2]، گزارش توجیهی، ص ۲). بنابراین، وابستگی کامل بخش انرژی کشور به منابع فسیلی به‌روشنی مشهود است.

از سوی دیگر، روند سریع رشد جمعیت و نیز رشد فزایندهٔ توسعهٔ اقتصادی کشور نشان می‌دهد که در سال‌های آتی، میزان مصرف انرژی کشور رشد بسیار سریعی خواهد داشت؛ لذا با توجه به محدودیت ذخایر نفتی، تصور این نکته آسان است که

1. MTOE
2. CRERA

ادامهٔ این وضعیت لااقل در آیندهٔ نسبتاً دور میسر نخواهد بود. به‌عبارت دیگر، زمانی خواهد رسید که تولیدات انرژی فقط کفاف مصارف داخلی را خواهند داد و اندوخته‌ای برای صادرات باقی نخواهد ماند و بدتر از آن، در سال‌های بعد حتی برای مصرف داخلی نیز نیازمند واردات انرژی خواهیم شد (همان، *تحقیق و توسعه در انرژی*، ص ۹). این مسئله نه‌تنها در ایران بلکه در همهٔ کشورهای جهان به‌صورت یک معضل رخ نموده و از این رو در سراسر جهان سرمایه‌های کلانی به امر تحقیق و توسعه در مقولهٔ جایگزینی منابع جدید انرژی اختصاص یافته است. کشور ما نیز از این قاعده مستثنا نیست و ناگزیر باید برای آینده چاره‌ای اندیشید.

در همین خصوص، مسئولان کشوری به «اقتصاد بدون نفت» اشاره کرده‌اند. بنابراین، بر مسئولان و برنامه‌ریزان کشور فرض است که در فراهم‌آوردن زمینه‌های عملی اجرای این رهنمود بکوشند و صیانت از منابع پایان‌پذیر فسیلی برای نسل‌های آینده و نیز استفاده‌های اندیشمندانه‌تر (نظیر تولید فراورده‌های پتروشیمی) را سرلوحهٔ برنامه‌های خویش قرار دهند.

اثرات زیست‌محیطی انرژی فسیلی

با نگاهی به اثرات زیانبار استفادهٔ بی‌رویه از سوخت‌های فسیلی، ضرورت جایگزینی آنها با منابع جدید انرژی بیش از پیش روشن می‌شود. امروزه بروز پدیده‌هایی مانند آلودگی هوا، سوراخ‌شدن لایهٔ اوزون، گرم‌شدن زمین، تغییر الگوهای بارندگی و وزش بادها و توفان‌های بی‌سابقه، خشکسالی و برعکس ایجاد سیلاب‌های بی‌سابقه در مناطق مختلف و بسیاری موارد دیگر، معضلات فراوانی را برای بشر به‌وجود آورده است. قطع بی‌رویهٔ درختان و کاهش سریع و فزایندهٔ سطح جنگل‌های جهان (که به‌مثابه ریه‌های زمین هستند) برای استفاده از چوب آنها، به پیچیدگی مسئله افزوده و دامنهٔ زیان‌ها را گسترده‌تر کرده است.

برای جبران تبعات سوءِ اقتصادی و اجتماعی این تأثیرات مخرب، جایگزینی تدریجی انرژی‌های فسیلی با منابع جدید و پاک انرژی، امری ضروری و گریزناپذیر است و به عدم فوت وقت نیاز دارد.

منابع جانشین

منابع انرژی جایگزین منابع فسیلی در سطح جهان به دو دسته تقسیم می‌شوند: انرژی هسته‌ای و انرژی‌های تجدیدپذیر.

توسعهٔ انرژی هسته‌ای، چه از نظر تکنولوژی و چه به‌لحاظ سیاسی، با محدودیت‌ها و موانع بسیاری روبه‌رو است. ضمن اینکه احتمال خطراتی مانند آلودگی هسته‌ای نیز وجود دارد. در سال‌های اخیر، در زمینهٔ انرژی‌های هسته‌ای، روش همجوشی هسته‌ای مطرح شده است که خطرات روش متعارف (شکافت هسته‌ای) را دربر ندارد؛ ولی مشکلات فنی و اقتصادی این گزینه به‌حدی است که علی‌رغم نویدبخش‌بودن آن، حتی در پیشرفته‌ترین کشورها نیز برای چند دههٔ آینده، نمی‌توان روی آن حساب کرد (تیمسار، ۱۳۷۶: ص ۸).

درمقابل، انرژی‌های تجدیدپذیر (انرژی‌های نو) به‌مراتب با مشکلات و موانع کمتری همراه است. این انرژی‌ها ــ نظیر انرژی خورشیدی، انرژی باد، انرژی امواج و جزر و مد، برق آبی کوچک، انرژی زمین‌گرمایی و انرژی بیوماس ــ در همه جا گسترده‌اند؛ و تقریباً جایی از کره خاکی یافت نمی‌شود که یک یا چند نوع از این منابع دردسترس نباشد. بسیاری مناطق، تابش آفتاب خوبی دارند؛ برخی نواحی درمعرض وزش بادهای منظم و پرانرژی هستند؛ در نواحی کوهستانی و سردسیر، جریان‌های آبی کوچک و بزرگ بسیاری در حرکت است؛ و در بعضی نواحی ساحلی، انرژی امواج و جزر و مد دریا دست‌یافتنی است. منابع انرژی زمین گرمایی و چشمه‌ها و آبفشان‌های گرم در برخی نقاط دیگر به‌چشم می‌خورد؛ و استفادهٔ اصولی از ضایعات کشاورزی و

دامی و تولید محصولات ویژهٔ کشاورزی برای تأمین انرژی، در پاره‌ای از نواحی ایران و جهان میسر است.

روند فعلی انرژی‌های تجدیدپذیر در جهان

انرژی فتوولتائیک

امروزه شاهد کاهش هزینهٔ تولید این انرژی از حدود یک دلار در سال ۱۹۸۰ به ۲۰ الی ۳۰ سنت به‌ازای هر کیلووات‌ساعت تولید انرژی الکتریکی هستیم (مرکز تحقیقات و کاربرد انرژی‌های نو، *انرژی‌های تجدیدپذیر*، ص ۱۱). با افزایش فزایندهٔ میزان تولید و تأکید بر ابزار و وسایل فیلم نازک، انتظار می‌رود که هزینهٔ تولید الکتریسیته از این منبع در اوایل دههٔ آینده به کمتر از ۱۰ سنت در هر کیلووات‌ساعت برسد. در حال حاضر، تولید سالانهٔ این صنعت در سطح جهانی به ۱۵۰ مگاوات پیک می‌رسد و سالیانه رشدی معادل ۲۰٪ دارد (همان، ص ۲۲).

انرژی حرارتی خورشیدی

آن دسته از تکنولوژی‌های خورشیدی که تولید کنندهٔ گرما و آب داغ برای مصرف‌کنندگان نهایی مناطق مسکونی، تجاری و صنعتی هستند، سابقهٔ طولانی کاربرد تجاری دارند. گسترده‌ترین کاربرد آن در معماری خورشیدی (طراحی ساختمان) و سیستم گرمایشی خورشیدی آب داغ است. در عرض ۲۵ سال گذشته، تعداد زیادی سیستم‌های حرارتی خورشیدی در نقاط مختلف جهان به‌ویژه در اروپا، آسیا و امریکای شمالی نصب شده‌اند. شکل دیگر استفاده از انرژی خورشیدی عبارت است از متمرکزکردن اشعهٔ خورشیدی برای ایجاد حرارت جهت تولید بخار و یا برق که به سه نوع متمرکزکننده‌های سهموی طولی، برج‌های نیرو با گیرندهٔ مرکزی و بالأخره سیستم موتور

همراه با متمرکز کنندهٔ بشقابی تقسیم می‌شوند. هزینهٔ تولید الکتریسیته از متمرکزکننده‌های سهموی طولی، حدود ۱۰ الی ۱۲ سنت به‌ازای هر کیلووات‌ساعت است که می‌تواند کاهش یابد (کمیسیون انرژی کالیفرنیا[1]، ۱۹۹۵: ص ۹).

انتظار می‌رود که هزینهٔ تولید الکتریسیته با استفاده از دو تکنولوژی دیگر به‌مراتب پایین‌تر از سیستم‌های متمرکزکنندهٔ سهموی طولی باشد و درصورت تولید آنها در مقادیر تجاری، قیمت الکتریسیته به حدود ۴ الی ۶ سنت به‌ازای هر کیلووات‌ساعت برسد (همان، ص ۱۲).

به‌طور کلی، بازار انرژی حرارتی خورشیدی در سال‌های اخیر گسترش یافته است. در طول سال‌های ۱۹۹۰، بازار آن در اروپا رشدی معادل ۱۸ درصد داشته است. مجموع تولیدکنندگان در ایالات متحده و اروپا، ۱۷۸ تولید کننده است (همان، ص ۱۲).

به‌نظر می‌رسد که بازار برای سیستم‌های نیروگاه حرارتی خورشیدی با درجات حرارت بالا آمادهٔ پیشرفت است. تکنولوژی‌های مربوط ازنظر هزینه، کارآیی کافی دارند و آماده برای کاربرد آن در مناطقی هستند که منابع غنی انرژی خورشیدی دارند. نیروگاه‌هایی که در طی دههٔ ۱۹۸۰ ساخته شده‌اند، قابلیت اطمینان بالا و ظرفیت رقابتی مطلوبی دارند؛ همچنین این مزیت را دارند که در حال حاضر با توجه به محدودیت انواع کاربرد تجاری آن، می‌توان ظرفیتی معادل ۷۰۰ مگاوات تا سال ۲۰۰۲ و ۵۰۰۰ مگاوات تا سال ۲۰۱۰ را برای آنها پیش‌بینی کرد (همان، ص ۲۵).

بیوماس

پروژه‌های زیادی در این زمینه دردست اقدام است که می‌توان به‌طور مؤثر با کمترین هزینه از بیوماس در تولید انرژی استفاده کرد. برای مثال، با احتراق همزمان زغال سنگ و بیوماس در دیگ‌های بخار در محدودهٔ وسیعی از مواد آلی مانند چوب، علف و حتی

1. California Energy Commission

یونجه، بیوگاز تولید می‌شود. مزیت تولید انرژی از بیوماس آن است که برعکسِ منابعِ تجدیدپذیرِ دیگر، مانند انرژی خورشید و باد که به‌طور متناوب تولید می‌شود، تولید آن در ۲۴ ساعت مداوم خواهد بود. انرژی تولیدی از بیوماس ازنظر تولید کربن، خنثی است؛ یعنی دی‌اکسیدکربن آزادشده در طول فرایند تولید انرژی از بیوماس، در مرحلهٔ رشد بازپس گرفته می‌شود. انتظار می‌رود که منطقی‌بودن قیمت این نوع از انرژی، آن را با انواع دیگر انرژی قابل رقابت کند و بتوان با به‌کارگیری این‌گونه منابع، سهمی در توسعهٔ اقتصاد روستایی داشت (طالقانی و صفایی، ۱۳۷۸: ص ۷۷).

در بسیاری از کشورهای عضو آژانس بین‌المللی انرژی، چوب منبع اصلی حرارتی بیوماس است؛ اگرچه به‌طور فزاینده‌ای از ضایعات شهری و صنعتی برای تولید الکتریسیته و گرما و بیوسوخت استفاده می‌شود. و بالأخره از نظر جهانی، سهم بیوماس از کل تقاضای نهایی انرژی ۱۴ درصد است (همان، ص ۱۹).

زمین گرمایی

استفاده از آب گرم یا بخار حاصل از مخازن زیرزمینی برای تولید الکتریسیته، اولین بار در سال ۱۹۰۴ در ایتالیا بوده است. امروزه در سراسر جهان، بیش از ۸۰۰۰ مگاوات نیروگاه‌های زمین‌گرمایی درحال فعالیت هستند. استفاده از این منبع انرژی به‌طور گسترده در اندونزی، فیلیپین، مکزیک و امریکای مرکزی صورت گرفته است. ظرفیت تولید انرژی از منابع زمین گرمایی درحال افزایش است. ظرفیت تولید در ایالات متحدهٔ امریکاکه بزرگ‌ترین تولیدکننده است، در سال ۱۹۹۸ به ۲۸۵۰ مگاوات و در همین سال در ایتالیا به ۵۵۸ مگاوات رسیده است. ژاپن نیز از سال ۱۹۹۵ ظرفیت تولید را به ۱۱۶ مگاوات افزایش داده و در همین راستا نیوزیلند نیز ظرفیت تولید خود را به ۵۹ مگاوات رسانده است. در سال ۱۹۹۸، کل ظرفیت تولید انرژی از منابع زمین‌گرمایی در سطح جهان ۸۲۴۰ مگاوات بوده است (مرکز تحقیقات و کاربرد انرژی‌های نو، *تحقیق و توسعه در انرژی*، ص ۱۲).

باد

امروزه تکنولوژی استفاده از انرژی باد، سریع‌ترین رشد را در دنیا دارد؛ و قیمت انرژی الکتریکی حاصل از مبدل‌های بادی قابل اطمینان، در مناطق مشخصی که متوسط سرعت باد در آنجا بیش از ۷ متر بر ثانیه باشد، کمتر از ۵ سنت به‌ازای هر کیلووات ساعت است (*ماهنامهٔ انرژی باد*[1]، اکتبر ۱۹۹۹ تا اکتبر ۲۰۰۰، ص ۴). انتظار می‌رود که با ساخت نسل جدید توربین‌های بادی بتوان هزینهٔ تولید را باز هم کاهش داد. استفاده از انرژی باد در نقاط مختلف دنیا به‌سرعت درحال گسترش است به‌طوری‌که هم‌اکنون ظرفیت نصب‌شده در اروپا از ایالات‌متحده پیشی گرفته است.

ظرفیت نصب‌شدهٔ جهانی در پایان سال ۱۹۹۸ نزدیک به ۹۶۰۰ مگاوات بوده و پروژه‌های عظیم استفاده از انرژی باد برای کشورهای صنعتی و درحال توسعه برنامه‌ریزی شده است (همان، مارس ۲۰۰۰، ص ۴).

در پایان سال ۱۹۹۷، تقریباً ۱۳۰ توربین با یک مگاوات ظرفیت یا بیشتر درحال تولید بوده‌اند.

و بالأخره در سال ۱۹۹۹، تولید برق از انرژی باد در مقایسه با سال قبل از آن رشد خیره‌کننده‌ای معادل ۳۹ درصد در سطح جهانی داشته است (همان، مارس ۲۰۰۰، ص ۶).

مهار انرژی باد به‌طور فزاینده‌ای سودآور شده است. طبق گزارش انجمن انرژی بادی امریکا، بهای هر کیلووات‌ساعت برق تولیدشده از باد که در اوایل سال ۱۹۸۰ حدود ۳۸ سنت بود، تا امروز، بسته به‌سرعت باد در محل نصب توربین، به ۳ تا ۶ سنت کاهش یافته است (همان، مارس ۲۰۰۰، ص ۹). در حال حاضر، انرژی باد با سایر منابع تولید انرژی قابل رقابت است؛ اما انتظار می‌رود که قیمت برق تولیدشدهٔ بادی همچنان به روند نزولی خود ادامه دهد. این کاهش قیمت، از پیشرفت در ساخت و طراحی توربین‌های جدید

1. *Wind Power Monthly*

ناشی می‌شود.

یکی از امتیازها و جاذبه‌های انرژی باد آن است که توربین‌هایی که در یک زمین کشاورزی یا مرتع نصب می‌شوند، در استفاده از زمین برای کشاورزی یا چراندن دام دخالتی ندارند. درواقع، کشاورزان می‌توانند از باد بهره‌وری دوگانه داشته باشند.

استفاده از انرژی باد محلی می‌تواند جان دوباره‌ای به جامعهٔ روستایی ببخشد؛ زیرا درآمد حاصل از انرژی باد در دست افراد محلی باقی می‌ماند.

در دانمارک، آلمان و هلند، کشاورزان به‌طور منفرد یا در گروه‌های سازمان‌یافته، پیوسته در زمینهٔ توربین‌های بادی سرمایه‌گذاری می‌کنند و برق حاصل را به شرکت‌های محلی خدمات برق می‌فروشند؛ و بدین ترتیب، سهم کشاورزان را از درآمد حاصل از انرژی بادی افزایش می‌دهند.

هم‌اکنون ۱۰ درصد از برق مورد نیاز دانمارک و ۱۴ درصد از برق مورد نیاز شمالی‌ترین ایالت آلمان، یعنی ایالت شلزویک‌هلشتاین، با باد تأمین می‌شود (همان، آگوست ۲۰۰۰، ص ۱۴).

علی‌رغم وجود منابع فراوان فسیلی در ایران و وابستگی کامل بخش انرژی کشور به این منابع، پیش‌بینی می‌شود که این منابع تا ۱۵ تا ۲۰ سال آینده حتی جوابگوی نیاز داخلی نباشند. پس ادامهٔ این وضعیت لااقل در آیندهٔ نسبتاً دور میسر نیست؛ لذا دست‌اندرکاران از هم‌اکنون به فکر چاره‌اندیشی افتاده و سیاست جایگزینی تدریجی انرژی‌های تجدیدپذیر را با انرژی‌های فسیلی به‌مرحلهٔ اجرا گذارده‌اند.

همچنان‌که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، ایران درمیان کشورهای خاورمیانه از نظر ظرفیت نیروگاه‌های برق بادی درحال کار، مقام سوم را دارد.

جدول ۱. ظرفیت نیروگاه‌های برق بادی درحال بهره‌برداری در کشورهای مختلف جهان

کشورهای اروپایی			امریکای مرکزی و جنوبی		
ردیف	نام کشور	پایان سال ۱۹۹۹	کل جاری	ردیف	نام کشور	پایان سال ۱۹۹۹	کل جاری
۱	آلمان	۴۴۴۵	۴۹۹۷	۱	کاستاریکا	۴۶	۴۶
۲	دانمارک	۱۷۴۲	۲۰۰۹	۲	برزیل	۲۰	۲۰
۳	اسپانیا	۱۵۳۰	۱۸۰۴	۳	آرژانتین	۱۴	۱۴
۴	هلند	۴۱۰	۴۳۵	۴	کارائیب	۴	۴
۵	انگلیس	۳۵۶	۳۸۲	۵	مکزیک	۳	۳
۶	ایتالیا	۲۱۱	۳۳۹	جمع کل		۸۷	۸۷
۷	سوئد	۲۲۰	۲۲۱	آسیا			
۸	یونان	۸۷	۱۲۱	۱	هند	۱۰۹۵	۱۱۵۰
۹	ایرلند	۶۰	۸۰	۲	چین	۱۸۲	۲۶۸
۱۰	پرتغال	۷۳	۷۴	۳	کره جنوبی	۷	۷
۱۱	اتریش	۴۲	۵۲	۴	سری‌لانکا	۳	۳
۱۲	فنلاند	۳۸	۳۸	جمع کل		۱۲۸۷	۱۴۲۸
۱۳	فرانسه	۲۳	۳۷	خاورمیانه و آفریقا			
۱۴	ترکیه	۹	۲۰	۱	مراکش	۰	۵۰
۱۵	نروژ	۱۳	۱۳	۲	مصر	۱۵	۱۵
۱۶	لوکزامبورگ	۱۰	۱۰	۳	ایران	۱۱	۱۱
۱۷	بلژیک	۹	۹	۴	اسرائیل	۸	۸
۱۸	چک	۷	۷	۵	آفریقا	۳	۳
۱۹	لهستان	۷	۷	۶	اردن	۲	۲
۲۰	روسیه	۵	۵	جمع کل		۳۹	۸۹
۲۱	اوکراین	۵	۵	منطقهٔ اقیانوس آرام			
۲۲	سوئیس	۳	۳	۱	ژاپن	۶۸	۷۳
۲۳	لاتویا	۱	۱	۲	استرالیا	۱۱	۵۵
۲۴	رومانی	۱	۱	۳	نیوزیلند	۳۷	۳۷
جمع کل		۹۳۰۷	۱۰۶۷۰	جمع کل		۱۱۶	۱۶۵

←

→

ایالات متحدهٔ امریکا							
۱	کالیفرنیا	۱۶۲۰	۱۶۲۰	۱۰	پنسیلوانیا	۰	۱۰
۲	مینوسوتا	۲۷۳	۲۷۳	۱۱	ورمونت	۶	۶
۳	آیوا	۲۵۲	۲۵۲	۱۲	تنسی	۰	۲
۴	نگزاس	۱۸۹	۱۸۹	۱۳	نبراسکا	۲	۲
۵	وایومینگ	۷۲	۷۳	۱۴	آلاسکا	۱	۱
۶	اورگون	۲۵	۲۵	۱۵	ماساچوست	۱	۱
۷	ویس‌کانسن	۲۱	۲۱	۱۶	میشیگان	۱	۱
۸	کلرادر	۱۶	۱۶	۱۷	نیویورک	۱	۱۰
۹	هاوایی	۱۱	۱۱	۱۸	نیومکزیکو	۱	۱
جمع کل						۲۴۹۲	۲۵۱۴

کانادا			
۱	کانادا	۱۲۷	۱۲۸
جمع کل		۱۲۷	۱۲۸

منبع: مجلهٔ *Wind Power Monthly*، اکتبر ۲۰۰۰.

فواید انرژی‌های تجدیدپذیر

استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، مزایای زیادی دارد؛ که در زیر به عمده‌ترین آنها اشاره می‌شود:

غیرآلایندگی

انرژی‌های تجدیدپذیر به‌سبب منشأ طبیعی‌شان، با محیط زیست سازگارند و اگر بهره‌برداری از آنها اصولی و سنجیده باشد، تقریباً هیچ اثر زیانباری بر محیط زیست به‌جا نخواهد گذاشت؛ اما استفادهٔ بی‌رویه از آنها در بعضی موارد ممکن است مشکلاتی ایجاد کند. انرژی‌های تجدیدپذیر، در کل، منابع پاکی هستند که بهره‌برداری از آنها می‌تواند

تخفیفی بر مشکلات آلودگی جهان ـ که عمدتاً ناشی از سوزاندن سوخت‌های فسیلی است ـ باشد. البته بدیهی است که این تأثیرات مثبت، به‌طور تدریجی و بطئی آشکار خواهد شد.

سادگی نسبی تکنولوژی

استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، به‌ویژه در مقایسه با انرژی هسته‌ای، تکنولوژی بسیار ساده‌تری لازم دارد. لذا با توجه به هدف خودکفایی ـ که معمولاً از آرمان‌های اساسی مردم کشورهای جهان سوم است ـ این سادگی تکنولوژی، فرصت مناسبی برای فعالیت و تشریک مساعی نیروها و تخصص‌های داخلی، چه در زمینهٔ تولید و چه در زمینهٔ بهره‌برداری و نگهداری، فراهم می‌آورد. بنابراین، ایجاد اشتغال را نیز می‌توان از فواید جنبی توسعهٔ انرژی‌های تجدیدپذیر قلمداد کرد.

تنوع منابع انرژی

استفادهٔ همزمان از انرژی‌های تجدیدپذیر در کنار انرژی فسیلی، باعث ایجاد تنوع در سیستم انرژی کشور خواهد شد؛ و سیستمی که منابع متنوع‌تر داشته باشد، پایداری بیشتری خواهد داشت، چراکه درصورت ایجاد بحران و مشکل در یکی از منابع، کل سیستم متوقف و مختل نخواهد شد. ضمن اینکه منابع تجدیدپذیر انواع متنوعی دارد؛ که این واقعیت، بیش از پیش به تنوع منابع انرژی کمک خواهد کرد.

پایان‌ناپذیری

منابع انرژی تجدیدپذیر، به سرچشمه‌های لایزال طبیعی متصل‌اند و از این‌رو در طول حیات بشر، پایانی برای آنها متصور نیست. فقط انرژی زمین‌گرمایی که از مخازن آب یا بخار زیرزمینی استفاده می‌کند، ممکن است با اتمام مخزن به‌پایان برسد. لکن از آنجاکه منشأی این انرژی، حرارت درونی مرکز کره زمین است، اگر آهنگ برداشت و

بهره‌برداری از آن به‌طور اصولی انتخاب شود، آن را نیز می‌توان پایان‌ناپذیر تلقی کرد.

ارزیابی اقتصادی احداث و نصب نیروگاه‌های برق بادی در مقایسه با نیروگاه‌های فسیلی در ایران

محاسبهٔ هزینهٔ آلودگی نیروگاه‌های فسیلی برحسب شاخص هزینهٔ زیست‌محیطی با استفاده از شاخص آلودگی کربن (C)، میزان آلودگی ناشی از نیروگاه را درحد ثابتی فرض و شاخص آلودگی را محاسبه می‌کنیم. در سال ۱۳۷۷، هزینهٔ زیست‌محیطی نیروگاه بخاری ۸۸/۹ ریال بر کیلووات‌ساعت، نیروگاه گازی، سیکل ترکیبی، دیزلی و برق آبی به‌ترتیب ۱۱۰/۴، ۸۲/۸، ۱۲۸/۷ و ۰/۵ ریال بر هر کیلووات‌ساعت محاسبه شده است.

در جدول‌های ۲ و ۳، میزان هزینهٔ کنترل آلودگی نیروگاه‌های وزارت نیرو در سال ۱۳۷۷ برحسب شاخص C و هزینه‌های زیست‌محیطی و در جدول ۴، روش‌های مختلف و هزینه‌های مربوط برای جلوگیری از آلودگی محیط‌زیست ازطریق نیروگاه‌های فسیلی نشان داده شده است.

جدول ۲. هزینهٔ اجتماعی هر یک از بخش‌های انرژی کشور در سال ۱۳۷۷ در نتیجهٔ مصرف سوخت‌های فسیلی (به میلیون ریال)

بخش	CO2	NOx	SOx	جمع
خانگی و تجاری	۵۱۱۷	۲۷۳۴	۴۷۱	۸۳۲۲
صنایع	۳۲۰۹	۲۵۱۴	۸۵۴	۶۵۷۹
حمل و نقل	۲۴۳۸	۷۹۰۲	۶۰۱	۱۰۹۴۱
کشاورزی	۸۹۹	۱۵۵۸	۲۱۹	۲۶۷۶
برق	۴۴۷۷	۲۶۲۸	۶۶۶	۷۷۷۱
جمع	۱۶۱۴۰	۱۷۳۳۶	۲۸۱۳	۳۶۲۸۹

منبع: ترازنامهٔ انرژی جمهوری اسلامی ایران ـ وزارت نیرو، ۱۳۷۷.

جدول ۳. هزینهٔ آلودگی نیروگاهی وزارت نیرو در سال ۱۳۷۷ (به میلیارد ریال)

نوع نیروگاه	تولید کل		شاخص آلودگی C	شاخص هزینهٔ زیست	جمع
	گیگاوات ساعت	درصد	gr(Kwh)	محیطی Kwh / ریال	
بخاری	۶۳۹۸۸	۶۵/۴	۱۶۲/۰	۸۸/۹	۵۶۸۸/۵
گازی	۵۹۰۶	۶/۰	۲۳۳/۱	۱۱۰/۴	۶۵۲/۰
سیکل ترکیبی	۲۰۵۸۰	۲۱/۰	۱۷۴/۸	۸۲/۸	۱۷۰۴/۰
دیزلی	۳۷۳	۰/۴	۲۱۴/۸	۱۲۸/۷	۴۸/۰
برق آبی	۷۰/۵	۷/۲	۱/۸	۰/۵	۳/۵
جمع	۹۷۸۶۲	۱۰۰	۱۵۷/۶	۸۲/۷	۸۰۹۶/۰

منبع: ترازنامهٔ انرژی جمهوری اسلامی ایران ـ وزارت نیرو، ۱۳۷۷.

در جدول ۳. آلاینده‌های NO2 ، CO2 ، CH ، SPM و SO2 در نظر است.

جدول ۴. هزینهٔ کاهش آلودگی و جلوگیری از آن

هزینهٔ لازم جهت تهیهٔ ابزار و ادوات برای جلوگیری از آلودگی محیط زیست در نیروگاه‌های تولید برق*	۲۵٪ هزینهٔ ساخت
هزینهٔ اجتماعی به‌دلیل تولید CO2 در نیروگاه‌های تولید نیرو*	۶۳ / ریال Kwh
هزینهٔ اجتماعی به‌دلیل تولید SO2 در نیروگاه‌های تولید نیرو*	۱۳/۸ / ریال Kwh
هزینهٔ اجتماعی به‌دلیل تولید NO2 در نیروگاه‌های تولید نیرو	۳۶/۹ / ریال Kwh
هزینهٔ رفع آلودگی گوگرد و کربن**	۳۳٪ کل هزینهٔ ساخت
هزینهٔ رفع آلودگی با توجه به نصب فیلتر جهت تصفیهٔ لولهٔ خروجی نیروگاه***	۳۳٪ کل هزینهٔ ساخت

مآخذ: * . *اثرات توسعهٔ تکنولوژی بر زیست‌بوم*، محمدعلی عبدلی، مرکز مطالعات انرژی ایران، ۱۳۷۶.

** . *منابع انرژی تجدیدپذیر*، شورای جهانی انرژی، ترجمهٔ داریوش فروغی، چاپ اول، ۱۳۷۵.

*** . گزارش داخلی، سازمان حفاظت محیط زیست، ۱۳۷۶.

برآورد قیمت تمام شدهٔ هر کیلووات‌ساعت برق با فرض هزینهٔ رفع آلودگی

با توجه به توضیحات فوق، هزینهٔ تولید الکتریسیته با لحاظ‌کردن هزینهٔ رفع آلودگی، در جدول ۵ بیان و نشان داده شده است. چنان که در این جدول مشاهده می‌شود، قیمت تمام‌شدهٔ هر کیلووات‌ساعت برق توربین‌های بادی با فرض درنظرگرفتن هزینه‌های رفع آلودگی در مقایسه با قیمت تمام‌شدهٔ برق نیروگاه‌های فسیلی، از جایگاه به‌مراتب بهتر و بالاتری برخوردار خواهد شد؛ و این در حالی است که نگاه مسئولان کشوری به آلودگی نیروگاه‌ها و آلودگی‌های سوخت‌های فسیلی و دیدگاه جهانیان درمورد آن، درحال تغییر و شدت گرفتن است و چه بسا در آینده‌ای نزدیک، محدودیت‌های اقتصادی، مالی، سیاسی، تجاری... بسیار شدید در جهت کاهش آلودگی و کشورهای آلاینده‌ساز اعمال شود (اعمال استانداردهای ISO14000) که در این صورت، نقش تجدیدپذیرها برای ارائهٔ راه‌حلی جهت تولید انرژی پاک و ارزان بسیار چشمگیر خواهد شد.

جدول ۵. قیمت تمام‌شدهٔ هر کیلووات‌ساعت برق نیروگاه‌های فسیلی با درنظرگرفتن هزینهٔ رفع آلودگی

نوع نیروگاه	هزینهٔ تولید	هزینهٔ کنترل آلودگی	هزینهٔ تولید (تسعیر ۳۰۰۰ ریال)	توضیحات
بخاری با سوخت گاز	۸۳/۶	۹/۵	۹۳/۱	قیمت تمام‌شدهٔ دفتر برنامه‌ریزی انرژی معاونت امور انرژی
بخاری با سوخت نفت کوره	۱۳۲/۳	۹/۵	۱۴۱/۸	
گازی با سوخت گاز (پایه)	۱۷۳/۳	۵/۵	۱۷۸/۸	
گازی با سوخت نفت گاز(پیک)	۲۰۰/۹	۱۱/۱	۲۱۲	
بخاری با سوخت گاز	۸۳/۶	۹/۲	۹۲/۸	قیمت تمام‌شدهٔ دفتر برنامه‌ریزی انرژی و هزینهٔ رفع آلودگی کربن ۱۳
بخاری با نفت کوره	۱۳۲/۳	۱۴/۷	۱۴۷	
گازی با سوخت گاز (پایه)	۱۷۳/۳	۱۹/۲	۱۹۲/۵	
گازی با سوخت نفت‌گاز (پیک)	۲۰۰/۹	۲۲/۳	۲۲۳/۲	
بخاری بار پایه	۱۲۸/۴	۱۴/۲	۱۴۲/۶	گزارش سازمان برنامه‌وبودجه، سال ۱۳۷۳
میانگین نیروگاه‌های فسیلی کشور	۱۶۰	۱۷/۷	۱۷۷/۷	کمیتهٔ ملی انرژی، پیام انرژی، سال ۱۳۷۵
میانگین نیروگاه‌های فسیلی کشور	۱۹۵	۲۱/۶	۲۱۶/۶	گزارش داخلی وزارت نیرو، سال ۱۳۷۹

با مقایسهٔ میانگین قیمت نیروگاه‌های فسیلی (جدول ۵) با قیمت تمام‌شدهٔ نیروگاه‌های برق بادی (جدول ۶)، نتیجه می‌شود که با توجه به نوپابودن انرژی‌های باد، نه‌تنها این انرژی‌ها با انرژی‌های فسیلی قابل رقابت هستند، بلکه با توجه به پیشرفت روزافزون آن، هزینهٔ هر کیلووات‌ساعت برق تولیدی از این‌گونه انرژی به‌سرعت درحال کاهش است. لذا می‌توان نتیجه گرفت که انرژی‌های برق بادی ازنظر اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی و... با انرژی‌های متعارف قابل رقابت‌اند.

جدول ۶. قیمت تمام‌شدهٔ هر کیلووات‌ساعت نیروگاه‌های برق تولیدی از نیروگاه‌های برق بادی

نوع نیروگاه‌ها	هزینهٔ تولید		هزینهٔ کنترل‌آلودگی		هزینهٔ کل تولید	توضیحات
	ریالی	ارزی- دلاری	ریالی	ارزی	(تسعیر ۳۰۰۰ریال)	
نیروگاه‌های برق بادی به قدرت ۱۰ مگاوات	۱۲۲/۱۶	۰/۰۱۶۹	۰	۰	۱۷۳	سازمان انرژی اتمی ایران مرکزتوسعهٔ انرژی‌های نو

نتیجه گیری

طی دورهٔ ۱۳۷۲-۱۳۵۳، شاخص شدت انرژی در کشورمان از ۱۳/۹۲ بشکه نفت خام برای یک میلیون ریال تولیدی ناخالص داخلی به ۴۰/۵۸ بشکه نفت خام رسیده یعنی تقریباً ۴ برابر شده است؛ درحالی‌که شاخص شدت انرژی در اکثر کشورهای صنعتی و پیشرفتهٔ جهان درحدود ۱/۵-۳ بشکه معادل نفت خام برای هر هزار دلار تولید ناخالص داخلی این کشورها (حدوداً $\frac{1}{3}$ مصرف کشورمان برای این میزان تولید) بوده است.

چنان‌که ملاحظه می‌شود، متأسفانه در کشورمان به‌علت روند بی‌رویهٔ مصرف در

بخش‌های مختلف صنعتی، خانگی، تجاری، و تکنولوژی پایین بهره‌وری، و رشد تقاضای انرژی برای بخش‌های غیرمولد، مصرف نهایی انرژی به‌طور فزاینده‌ای افزایش یافته است. می‌توان نتیجه‌گیری کرد که اگر نتوان توسعهٔ صنعتی را محدود کرد و جلوی رشد جمعیت را گرفت، باید انرژی را منطقی مصرف کرد. برای این کار باید ساختار مخلوط انرژی را تغییر داد؛ یعنی نباید عمدتاً بر انرژی‌های فسیلی متکی بود (که هم منابع محدودی دارند و می‌توان از آنها در موارد باارزش‌تری استفاده کرد و هم اینکه سوخت آنها محیط‌زیست را به‌شدت آلوده می‌سازد).

اثرات مخرب انرژی‌های فسیلی، با توجه به مصرف روزانهٔ ۱۳۰ میلیون بشکه نفت خام در جهان و ورود منواکسید کربن، NOx و SOx و سایر ذرات معلق حاصل از سوختن نفت و فراورده‌های آن، بیش از گذشته عینیت یافته است. از طرفی، این سوخت‌ها حداکثر تا پنجاه سال آینده تمام خواهند شد. لذا با توجه به قیمت‌های بین‌المللی انرژی ازنظر اقتصادی، عقل حکم می‌کند به‌سوی انرژی‌های ارزان‌تری روی آوریم؛ و انرژی‌های تجدیدپذیر، از بهترین و ارزان‌ترین انواع انرژی هستند.

به‌طور کلی می‌توان گفت که هزینهٔ رفع این آلودگی‌ها بسیار بالا است، به‌طوری‌که فقط برای رفع آلودگی هوا، تقریباً هر کیلووات‌ساعت باید دویست ریال هزینه کرد؛ اگرچه بعضی از هزینه‌ها در حدی است که حتی ارزش پولی بر آن نهادن کاری بس مشکل است، که مهمترین آن، ارزش زندگی یک انسان است. (ارزش زندگی انسان‌ها که براثر آلودگی محیط زیست به‌خطر می‌افتد و در پاره‌ای موارد حتی ازبین می‌رود را چگونه باید ارزیابی کرد؟)

کشور ما ازنظر استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، یکی از مهم‌ترین کشورها است و در موقعیتی قرار دارد که با داشتن آفتاب فراوان، مناطق بادخیز، چشمه‌های آب‌گرم معدنی و سایر منابع تجدیدپذیر، مستعد استفاده از تکنولوژی‌های نو برای مهار هزاران مگاوات انرژی باد، خورشیدی، زمین گرمایی، بیوگاز و دیگر منابع است.

لذا با توجه به اینکه منابع سوخت‌های فسیلی، با روند فعلی مصرف، تا پانزده یا بیست سال آینده حتی جوابگوی نیازهای داخلی نیست، باید به فکر تولید برق از منابع تجدیدپذیر بود؛ و بدین ترتیب، همراه با سایر کشورها در این زمینه گام برداشت و رسالت بومی‌کردن این تکنولوژی‌ها را به‌عهده گرفت.

کتابنامه

تیمسار، مژگان. زمستان ۱۳۷۶. *انرژی هسته‌ای در جهان و استراتژی‌های ایران*. وزارت نیرو، گزارش کمیتهٔ فنی تکنولوژی‌های انرژی.

طالقانی، گیتی و صفایی، بتول. دی‌ماه ۱۳۷۹. *بررسی نقش جایگزینی الگوی مصرف انرژی با انرژی‌های تجدیدپذیر در شهر و روستا*. مرکز تحقیقات و کاربرد انرژی‌های نو.

طالقانی، گیتی و صفایی، بتول. ۱۳۷۸. *وضعیت فعلی انرژی‌های تجدیدپذیر در جهان*. سازمان انرژی اتمی ایران.

مرکز تحقیقات و کاربرد انرژی‌های نو. ۱۳۷۹. *انرژی‌های تجدیدپذیر*. سازمان انرژی اتمی ایران.

مرکز تحقیقات و کاربرد انرژی‌های نو. ۱۳۷۹. *تحقیق و توسعه در انرژی*. سازمان انرژی اتمی ایران.

مرکز تحقیقات و کاربرد انرژی‌های نو. بهار ۱۳۷۹. *گزارش توجیهی*. سازمان انرژی اتمی ایران.

مؤسسهٔ مطالعات بین‌المللی انرژی. ۱۳۷۴. *طرح جامع انرژی*. ج ۱۶. وزارت نفت.

California Energy Commission. Aug. 1995. *Wind Power Project Performance*. Sacramento, CEE.

Gipe, Paul. 1995. *Wind Project Comes of Age*. John Wiley and Sons Inc.

BTM Consult. March 2000. *International Wind Energy Development*. APS- Denmark.

[Wind Power Monthly]. Different issues. Knebel, Denmark.