انرژی‌های تجدیدپذیر و جایگاه آنها در تأمین انرژی

مهندس سام معینی*
مهندس محسن دهقان منشادی**

به‌کارگیری انرژی‌های نو در جهان با توجه به افول انرژی‌های هیدروکربوری در آینده بیش از گذشته مورد توجه قرار گرفته است. در کشورهای صاحب منافع نفت و گاز مانند کشور ما هنوز اقدامات صورت گرفته در این زمینه قابل ملاحظه نیست.
یکی از دلایل آن قیمت تمام شده برای تولید برق از انرژی‌های نو نظیر انرژی خورشید و انرژی باد و ... در ایران باتوجه به توان بالقوه در خصوص به کارگیری این انرژی‌ها در مقایسه با کشورهای دیگر است. مطمئناً با حذف یارانه‌ها و قابل مقایسه شدن تولید انرژی از منابع نفت و گاز با انرژی‌های نو روند فعلی مطمئناً تغییر خواهد یافت و انتظار می‌رود به‌کارگیری انرژی‌های نو روند مناسب‌تری را در آینده در کشورمان داشته باشد.در این مقاله ضمن توجه به ظرفیت‌های‌موجود جهان در این خصوص به قدامات انجام شده در زمینه انرژی‌های نو در ایران پرداخته شده است:

مصرف سوخت‌های فسیلی همچون نفت و گاز به عنوان منابع انرژی غالب در کشورها باعث به وجود آمدن خسارات جبران‌ناپذیری برای بشریت خواهد شد. تا آنجائی که استفاده بیش از حد از این منابع باعث افزایش میزان تولید بخار آب، گاز کربنیک و گازهای سمی نظیر co و so_2 خواهد شد. با بالا رفتن میزان دی اکسید کربن داخل جو زمین دما داخل کره زمین افزایش پیدا می‌کند. میزان زیادی از انرژی خورشید در طول موج‌های کوتاه بوده و به راحتی از جو زمین عبور کرده و کمتر جذب این آلاینده‌ها می‌شود، زمین در اثر گرمایی که از خورشید می‌گیرد از خود تشعشع حرارتی می‌کند، اما انرژی زمین در طول موج‌های بلند است و جذب دی اکسید کربن می‌شود، این پدیده منجر به ازدیاد دما در سطح کره زمین خواهد شد.

از مهمترین مضرات ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی می‌توان به آلودگی محیط زیست، اثر گازهای گلخانه‌ای، تغییرات آب و هوایی و بارش باران‌های اسیدی اشاره کرد. به همین دلیل استفاده بهینه از انرژی در فرآیند توسعه اقتصادی همواره به عنوان یک هدف مهم در توسعه پایدار مدنظر بوده است. برای اجتناب از تأثیر بیشتر این مضرات مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر یا انرژی‌های سازگار با محیط زیست همچون انرژی خورشیدی، انرژی بادی و انرژی زمین گرمایی و ... پیشنهاد می‌شود. جدول (۱) میزان آلودگی ناشی از مصرف این نوع از سوخت‌ها را در مقایسه با سایر منابع انرژی نشان می‌دهد. بحران انرژی در دهه ۷۰ شوک بزرگی بود که دنیا را از خواب آسوده استفاده بی‌رویه از این منبع خدادادی بیدار کرد و دنیا را به سمت سایر منابع انرژی و مصرف بهینه آن سوق داد.

جدول۱- میزان آلاینده‌های خروجی تکنولوژی‌های مختلف تولید انرژی

	نوع نیروگاه	NOx	CO۲	CO	SO۲
نیروگاه‌های سنتی حرارتی	زغال سنگ	۰/۱۵۴۷-۳/۰۹۳۸	۸۶/۴۷۲۵	-	۰/۱۰۸۳-۳/۹۴۴۶
	گاز طبیعی	۰/۰۰۷۷-۱/۵۴۶۹	۴۹/۰۳۷۲	-	۰/۴۶۴۱
	نفت	۰/۰۰۷۷-۱/۵۴۶۹	۷۲/۳۹۵۶	-	-
تولید پراکنده	میکروتوربین	۰/۶۱۸۸	۱۸۴/۰۸۲۹	۰/۱۷۰۲	۰/۰۰۰۹۲۸
	موتور احتراق داخلی(گازی)	۴/۷۹۵۴	۱۷۰/۱۶۰۷	۱/۲۲۲۱	۰/۰۲۳۲
	موتور احتراق (دیزلی)	۴/۳۳۱۴	۲۳۲/۰۳۷۳	۲/۳۲۰۴	۰/۴۶۴۱
	پیل سوختی	۰/۰۰۴۶	۰	۰	۰/۰۳۷۱
	انرژی خورشیدی (فتوولتائیک)	۰	۰	۰	۰
	انرژی بادی	۰	۰	۰	۰

تولید پراکنده انرژی الکتریکی

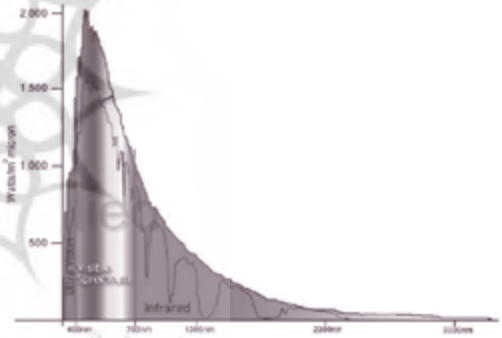
تولیدات پراکنده، منابع تولید انرژی الکتریکی هستند که به شبکه توزیع متصل می‌گردند. این منابع در مقایسه با ژنراتورهای بزرگ و نیروگاه‌ها، حجم و ظرفیت تولید کمتری داشته و با هزینه پایین‌تری راه‌اندازی می‌شوند. همچنین اتصال این تولیدات به شبکه‌های توزیع، منافع زیادی به دنبال دارد. آنچه که طراحان سیستم‌های قدرت را به ایجاد نیروگاه‌های بزرگ برای تولید متمرکز علاقه‌مند کرده است، تأمین بارهای مصرفی بزرگ، افزایش راندمان حرارتی، کاهش هزینه‌های سرمایه‌گذاری و هزینه بهره‌برداری به ازای کیلو وات تولیدی است. اما باید توجه داشت که در شبکه‌های برق‌رسانی درصد قابل توجهی (در حدود ۱۳ درصد) از توان و انرژی الکتریکی تولید شده در نیروگاه‌ها در مسیر تولید به مصرف تلف می‌شود. تلفات در تمام سطوح سیستم قدرت یعنی تولید، انتقال و توزیع وجود دارد، اما ۷۵ درصد از تلفات در شبکه‌های توزیع اتفاق می‌افتد. از جمله مواردی که استفاده از واحدهای

*کارشناس ارشد مهندسی برق- الکترونیک
** کارشناس ارشد مهندسی مکانیک- تبدیل انرژی

تولید پراکنده را مورد توجه قرار می‌دهد می‌توان به مسائلی نظیر مسائل اقتصادی در توسعه نیروگاه‌ها، کاهش آلودگی محیط زیست، بالا بودن بازدهی این منابع در تولید برق، بالا بردن کیفیت برق‌رسانی به مشتریان، کاهش تلفات در شبکه‌های توزیع، بهبود پروفیل ولتاژ، آزادسازی ظرفیت شبکه و بسیاری از موارد دیگر اشاره نمود. تولید پراکنده دارای انواع گوناگونی می‌باشد. از متداولترین واحدهای تولید پراکنده می‌توان به موتورهای احتراقی، توربین‌های احتراقی، میکروتوربین‌ها، توربین‌های بادی، انرژی بیومس، پیل‌های سوختی و سلول‌های فتوولتائیک اشاره کرد. منابع تجدیدپذیر همچون انرژی خورشیدی و انرژی بادی از مهمترین آنها هستند که در قسمت بعد در مورد ماهیت آنها و پتانسیل بالای آنها برای تولید انرژی الکتریکی اشاره می‌شود.

انرژی خورشیدی

در حدود شش هزار میلیون سال از تولد این گوی آتشین می‌گذرد و در هر ثانیه ۴/۲ میلیون تن از جرم خورشید به انرژی تبدیل می‌شود. با توجه به وزن خورشید که حدود ۳۳۳ هزار برابر وزن زمین است. این کره نورانی را می‌توان به عنوان منبع عظیم انرژی تا پنج میلیارد سال آینده به حساب آورد. خورشید از گازهایی نظیر هیدروژن (۸۶/۸ درصد) هلیوم (۳ درصد) و ۶۳ عنصر دیگر که مهمترین آنها اکسیژن، کربن، نئون و نیتروژن است تشکیل شده است. میزان دما در مرکز خورشید حدود ۱۰ تا ۱۴ میلیون درجه سانتیگراد می‌باشد و در سطح آن با حرارتی نزدیک به ۵۶۰۰ درجه سانتی‌گراد، به صورت امواج الکترومغناطیسی در فضا منتشر می‌شود. در شکل(۱) نمودار شدت تابش انرژی خورشیدی در طول موجهای مختلف نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود بیشترین مقدار انرژی خورشیدی در محدوده باند مریی قرار دارد.



شکل۱- نمودار انرژی خورشیدی در طول موجهای مختلف

دسترسی به اطلاعات مربوط تابش انرژی خورشید به دو روش امکان‌پذیر است. روش اول که مطمئن‌تر است استفاده از دستگاه‌های اندازه‌گیری تابش‌سنجی مثل پیرانومترها و پیرهلیومترها است. در کشور ایران در حدود ۲۲ ایستگاه تابش‌سنجی وجود دارد که مقدار تابش را به صورت روزانه ثبت می‌کنند. البته استفاده از این دستگاه‌ها در همه شهرها و ایستگاه‌ها ممکن نمی‌باشد. علت آن این است که ایجاد یک شبکه تابش‌سنجی در تمامی شهرها به لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نیست و از طرفی استفاده دائمی از این دستگاه‌ها مشکلات کالیبراسیون و نفوذ گرد و خاک به داخل آنها را به همراه خواهد داشت. روش دوم، استفاده از مدل‌های تجربی و تئوری با در نظر گرفتن شرایط اقلیمی مناطق است. در مقالات و کتب مختلف داخلی و خارجی مدل‌های زیادی در راستای برآورد میزان انرژی خورشیدی ارائه شده است که از آن جمله می‌توان به مدل آنگستروم، صباغ، پروکتور پالتریج در خارج و صمیمی، جعفرپور، دانشیار و بهادری نژاد در ایران اشاره کرد. اساس این مدل‌سازی‌ها داده‌های تابشی طولانی مدت هستند که توسط دستگاه‌های اندازه‌گیری ثبت می‌شود. دیگر پارامترهای تأثیرگذار ساعات آفتابی، دما، رطوبت و سایر پارامترهای هواشناسی و نجومی خواهند بود. دانستن اطلاعات انرژی خورشیدی مهمترین ابزار برای استفاده بهینه از این منبع انرژی تمام نشدنی است. کشور ایران روی کمربند زرد تابشی قرار دارد و با عرض جغرافیایی ۲۵ تا ۴۵ درجه شمالی منطقه مناسبی برای دریافت انرژی خورشیدی است. اطلس انرژی خورشیدی بر حسب مگاژول بر متر مربع در کشور ایران در شکل (۲) نشان داده شده است.

شکل۲- نقشه تابشی ایران در سال ۲۰۰۵

از مهمترین کاربردهای انرژی خورشیدی می‌توان به سیستم‌های فتوبیولوژیک، سیستم‌های فتوشیمیایی، سیستم‌های فتوولتائیک (تبدیل انرژی خورشیدی به انرژی الکتریکی که مهمترین کاربرد انرژی خورشیدی محسوب می‌شود) و سیستم‌های حرارتی و برودتی شامل سیستم‌های تهیه آب گرم، گرمایش و سرمایش ساختمان‌ها، تهیه آب شیرین، سیستم‌های انتقال و پمپاژ، سیستم‌های تولید فضای سبز (گلخانه‌ها) و اجاق‌های خورشیدی، سیستم‌های سردسازی و خشک‌کن خورشیدی اشاره کرد.

برای شروع کار، صنایع خورشیدی سرمایه بر می‌باشند. بنابراین مشکل سرمایه‌گذاری از اساسی‌ترین موانع در راه همگانی کردن استفاده از انرژی خورشیدی به حساب می‌آید. راه حلی که در این زمینه به نظر می‌رسد، پرداخت یارانه از سوی دولت می‌باشد. علاوه بر این فرهنگ‌سازی در استفاده همگانی از انرژی خورشیدی و شناساندن نقش آن در حفاظت از محیط زیست و مصرف بهینهٔ سایر منابع، از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد. بنا بر محاسبات انجام شده میانگین سالیانه تابش خورشید برای هر متر مربع برابر ۲۲۰۰ کیلو وات ساعت می‌باشد و کل انرژی خورشیدی که به ایران می‌تابد معادل ۱۶۳۴ میلیارد بشکه نفت خام یعنی بیش از ۳۰۰۰ برابر انرژی مورد نیاز کشور ماست. انرژی خورشیدی در ایران به طور متوسط در یک روز بین ۴/۵ تا ۶ کیلووات ساعت بر متر مربع می‌باشد. (حدود ۱۸ مگاژول بر متر مربع در روز) ظرفیت پنل‌های خورشیدی به میزان تابش رسیده به سطح زمین و همچنین تعداد روزهای آفتابی و یا نیمه آفتابی و مختصات جغرافیایی ارتباط دارد. متوسط مصرف سالانه در بخش خانگی برابر با ۵۶۹۱ کیلووات ساعت می‌رسد که برای تأمین آن در ۲۴ ساعت نیاز به نصب پنل‌های فتوولتائیک به ظرفیت کلی ۲ کیلووات می‌باشد. چنانچه از پنل‌های مدل DuPont DA100-A1 شرکت Sun Electronics استفاده کنیم (قیمت این پنل برای هر وات ۱/۲ دلار می‌باشد و جدول زیر مشخصات فنی این پنل را نشان می‌دهد.) قیمت کلی پنل‌ها در حدود ۲۴۰۰ دلار خواهد بود که هزینه تجهیزات جانبی نیز به آن اضافه می‌شود و وزنی در حدود ۴۰۰ کیلوگرم دارند و مساحتی در حدود ۳۱ متر مربع را اشغال می‌کند.

جدول۲- مشخصات فنی پنل مورد نظر

Model	DA100-A1
Power (W)	100 Watts
Open Circuit Voltage (V)	99/29 Voc
Short Circuit Current (A)	1/55 ISC
Maximum Power Voltage (V)	76/96 VMP
Maximum Power Current (A)	1/30 Imp
Dimensions (in)(LxWxD)	55/47» x 43/70» x 1/38»
Weight (lb)	44 lb
Connector	MC-3

ضمناً یکی دیگر از مزایای منحصر به فرد انرژی خورشیدی استفاده آن در مناطق گرمسیری که در انتهای شبکه سراسری برق قرار دارند می‌باشد. در این مناطق به دلیل گرمای شدید هوا مشکلات افت ولتاژ، افت فرکانس و آسیب به تجهیزات پست‌ها و خطوط وجود دارد که در نتیجه منجر به قطع برق خواهد شد درست در همین مناطق ما دارای پتانسیل کافی برای دریافت انرژی خورشیدی و تبدیل آن به انرژی الکتریکی هستیم.

اقدامات انجام شده در زمینه انرژی‌های نو در ایران

اقدامات انجام شده در این خصوص عبارتند از:

۱- نیروگاه خورشیدی سهموی خطی kw ۲۵ شیراز که یک مرکز تحقیقاتی است ۳۰۰ هزار مترمربع مساحت و ۶۰ هزار متر مربع زیر بنا دارد که عملیات طراحی و ساخت آن از سال ۷۸ آغاز شده است.

۲- نیروگاه خورشیدی MW۱ از نوع دریافت کننده مرکزی در طالقان

۳- پمپ فتوولتائیک کشاورزی- در بسیاری از نقاط کشور برای تأمین آب کشاورزی استفاده از پمپ الزامی است و در برخی موارد تأمین انرژی مورد نیاز برای به حرکت درآوردن پمپ با استفاده از روش‌های متداول برق شبکه یا گازوئیل، با مشکلات بسیاری همراه است. با توجه به این مشکلات و نقش حیاتی بخش کشاورزی در برنامه‌های توسعه اقتصادی اجتماعی کشور این پروژه تعریف شده است.

۴- چراغ‌های خیابانی فتوولتائیک- نمونهٔ اول این چراغ‌ها در سال ۷۶ با تکنولوژی کاملاً داخلی ساخته و مورد تست قرار گرفت و نهایتاً ۱۱ دستگاه از این چراغ‌ها پس از بهینه‌سازی مورد نیاز، ساخته و در محوطهٔ مرکز تحقیقات و آموزش مدیریت واقع در مهرشهر کرج نسب گردید.

۵- کلکتور سهموی خطی نمونه - در حال حاضر این کلکتور که در مرکز مدیریت آموزش مهرشهر کرج نصب شده در حال تست و بهره‌برداری است.

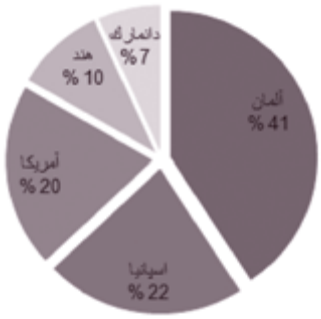
انرژی باد

انرژی بادی بخشی از ترکیب انرژی آینده است که شامل انرژی خورشیدی، نیروی آب، بیومس، انرژی ژئوترمال و غیره است. استراتژی انجمن جهانی انرژی باد بر این مبنا است که تا سال ۲۰۲۰ حدود ۱۰ درصد از انرژی جهان را از انرژی باد تأمین کند. اولین توربین‌های بادی برای تولید الکتریسیته در اوایل قرن بیستم تولید شدند و تکنولوژی آنها تا دهه ۱۹۷۰ گام به گام ادامه یافت. در اواخر دهه ۱۹۹۰، انرژی باد به عنوان یکی از منابع پایدار مهم، دوباره پدیدار شد. در طول آخرین دهه قرن بیستم، توان جهانی استفاده از انرژی باد در هر سه سال تقریباً دو برابر شده است. هزینه‌های برق حاصل از نیروی باد از اوایل دهه ۱۹۸۰ به بعد به حدود یک ششم رسیده است و به نظر می رسد که این روند ادامه یابد. بیش از ۸۳ درصد از توان انرژی باد فقط در پنج کشور آلمان، آمریکا، دانمارک، هند و اسپانیا نصب شده است.

آلمان	MW ۱۸۴۲۸
اسپانیا	MW ۱۰۰۲۷
آمریکا	MW ۹۱۴۹
هند	MW ۴۴۳۰
دانمارک	MW ۳۱۲۲

ظرفیت نیروگاه‌های برق بادی در جهان تا پایان سال ۲۰۰۵، MW ۵۹۳۲۲ می‌باشد که ۲۵ درصد افزایش نسبت به سال ۲۰۰۴ میلادی مشاهده می‌شود. در حال حاضر اروپا ۵ سال زودتر به هدف مدنظر خود در سال ۲۰۱۰ میلادی یعنی MW ۴۰۰۰۰ برق بادی دست یافته است.

پنج کشور ذکر شده در قسمت بالا که بزرگترین بازار انرژی باد را دارند در سال ۲۰۰۳ حدود ۸۲ درصد از توان توربین‌های نصب شده را به خود اختصاص می‌دادند در حالی‌که این رقم در سال ۲۰۰۴ به حدود ۷۹ درصد و در سال ۲۰۰۵ به حدود ۷۷ درصد کاهش یافته است و این امر بیانگر افزایش تنوع استفاده از انرژی باد در جهان است. آسیا دارای رشد بسیار سریع ۴۸ درصد بوده است و در آینده نزدیک، بیشترین رشد دنیا را به خود اختصاص خواهد داد. اروپا همچنان دارای بالاترین میزان رشد است ولی با این وجود این میزان رشد از ۷۲/۸ درصد به ۶۹/۶ درصد کاهش یافته است. در سال ۲۰۰۵ نیمی از توربین‌های نصب شده در خارج از اروپا بوده است و این در حالی است که در سال ۲۰۰۴ فقط ۲۵ درصد از توربین‌ها در خارج از اروپا نصب شده‌اند. بر اساس نظر انجمن جهانی انرژی باد تا پایان سال ۲۰۰۶ توان توربین‌های بادی نصب شده به ۷۰۰۰۰ مگاوات و در پایان سال ۲۰۱۰ به ۱۲۰ هزار مگاوات خواهد رسید.



شکل ۳- سهم استفاده کشورهای مختلف از انرژی باد

کشورهایی که بالاترین ظرفیت نصب شده جهانی را تا سال ۲۰۰۸ دارا هستند، عبارتند از:

آمریکا	MW	۲۵۱۷۰
آلمان	MW	۲۳۹۰۳
اسپانیا	MW	۱۶۷۴۰
چین	MW	۱۲۲۱۰
هندوستان	MW	۹۵۸۷

علی‌رغم رکود بازار جهانی در اواخر سال ۲۰۰۸ کشور آمریکا توانست با ۲۵ گیگاوات ظرفیت کل نصب شده، از کشور آلمان با ۲۴ گیگاوات ظرفیت کل نصب شده پیش بگیرد.

کشور اسپانیا با ظرفیت جدید نصب شده ۱۶۰۹ مگاوات با فاصله اندکی از کشور آلمان با ظرفیت جدید اضافه شده ۱۶۶۵ مگاوات قرار دارد. در این سال در کشور ایتالیا ۱۰۱۰ مگاوات ظرفیت بادی جدید نصب شده و ظرفیت کل نصب شده آن به ۳۷۳۶ مگاوات ارتقاء یافت. فرانسه با اضافه کردن ۹۵۰ مگاوات به ظرفیت کی ۳۴۰۴ و انگلستان با افزودن ۸۳۶ مگاوات به ظرفیت کلی ۳۲۴۱ مگاوات رسیدند.

جمهوری اسلامی ایران از سال ۱۳۷۳ با نصب دو واحد توربین بادی به ظرفیت KW ۵۰۰ در منطقه منجیل و رودبار شروع به تولید برق از انرژی تجدیدپذیر باد نمود.

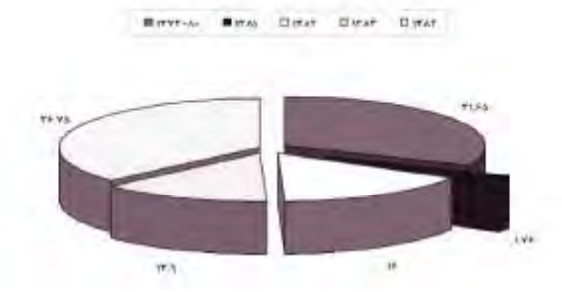
جدول زیر تعداد و ظرفیت توربین‌های بادی نصب شده در سایت‌های منجیل و رودبار را نشان می‌دهد.

جدول ۳- تعداد و ظرفیت توربین‌های بادی سایت‌های منجیل و رودبار

ردیف	شرح	۱۳۷۳-۸۰	۱۳۸۱	۱۳۸۲	۱۳۸۳	۱۳۸۴
۱	ظرفیت نصب شده (WK)	۱۰۸۰۰	۶۰۰	۵۴۵۰	۴۷۳۰	۱۲۵۴۰
۲	نرخ رشد سالانه نسبت به سال قبل(٪)	-	-	۸۰۸	-۱۳/۲	۱۶۵/۱
۳	جمع تجمعی ظرفیت نصب شده(WK)	۱۰۸۰۰	۱۱۴۰۰	۱۶۸۵۰	۲۱۵۸۰	۳۴۱۲۰
۴	نرخ رشد سالانه- نسبت به تجمعی تا سال قبل(٪)	-	۵/۶	۴۷/۸	۲۸	۵۸/۱
۵	سهم ظرفیت نصب شده از ظرفیت کل(٪)	۳۱/۷	۱/۷	۱۶	۱۳/۹	۳۶/۷
۶	تعداد توربین نصب شده	۲۸	۱	۱۴	۸	۱۹
۷	جمع تجمعی تعداد توربین نصب شده	۲۸	۲۹	۴۳	۵۱	۷۰
۸	سهم ظرفیت نصب شده از ظرفیت کل (٪)	۴۰	۱/۴	۲۰	۱۱/۴	۲۷/۱

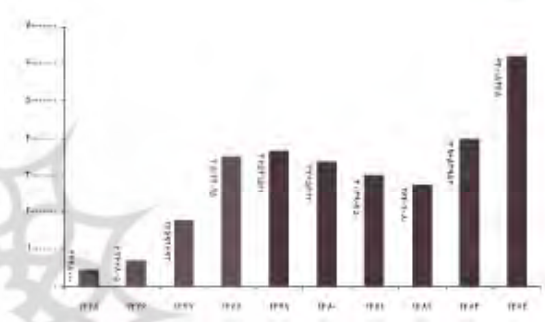
ماخذ: گزارش عملکرد سالیانه نیروگاه‌های برق بادی توسط وزارت نیرو در سال ۱۳۸۴

شکل زیر سهم ظرفیت نصب شده توربین‌های بادی در سال‌های مختلف (تا سال ۱۳۸۴) را نشان می‌دهد.



شکل۴- سهم ظرفیت نصب شده توربین‌های بادی در سال‌های مختلف

نمودار زیر نیز تولید سالیانه نیروگاه‌های برق بادی از سال ۱۳۷۵ تا پایان سال ۱۳۸۴ را نشان می‌دهد.



شکل ۵- میزان تولید سالیانه نیروگاههای برق بادی
ماخذ: گزارش عملکرد سالیانه نیروگاه‌های برق بادی توسط وزارت نیرو در سال ۱۳۸۴

در ادامه و با توجه به مشخص شدن منافع انرژی برق بادی در ایران، در برنامه پنج ساله چهارم توسعه کشور مقرر گردید ۵۰۰ مگاوات از برق مصرفی کشور از انرژی‌های تجدیدپذیر تولید گردد. هر چند در حال حاضر سازمان انرژی‌های نو ایران دو نیروگاه بادی ۳۰ مگاواتی بینالود و ۱۰۰ مگاواتی منجیل را در دست احداث دارد. اما هنوز با رقم ۵۰۰ مگاوات فاصله زیادی وجود دارد.
هم‌اکنون اطلس باد کشور توسط سازمان انرژی‌های نو (سانا) تدوین شده است و تسهیلات مناسب در اختیار متقاضیان قرار می‌گیرد.

هزینه تولید انرژی الکتریکی توسط توربین‌های بادی

هزینه یکنواخت شده انرژی الکتریکی[1] تولیدی توسط توربین‌های بادی شامل هزینه سالانه سرمایه‌گذاری، هزینه بهره‌برداری و نگهداری ثابت و متغیر می‌باشد. رابطه زیر چگونگی محاسبه هزینه یکنواخت شده انرژی را نشان می‌دهد.

$$LEC = \frac{ICC \times CRF}{E_r} + \frac{AO\&M\ Fixed \times P_r}{E_r} + AO\&M\ Vari$$

ICC: هزینه سرمایه‌گذاری کل (بر حسب واحد پول)
CRF: ضریب بازگشت سرمایه۲ که از رابطه (۲) محاسبه می‌شود.

$$CRF = \frac{i}{1-(1+i)^{-n}}$$

i: نرخ بهره (درصد)
n: عمر مفید توربین‌های بادی (بر حسب سال)
AO & M Fixed: هزینه یکنواخت شده بهربرداری و نگهداری ثابت (بر حسب واحد پول به کیلو وات ساعت در سال)
AO & M Vari: هزینه یکنواخت شده بهره‌برداری و نگهداری متغیر (بر حسب واحد پول بر کیلو وات ساعت)
E_2: کل انرژی تولیدی توربین بادی (بر حسب کیلو وات ساعت)

دستاوردهای ایران در زمینه انرژی بادی

دستاوردهای به دست آمده در چن سال اخیر عبارتند از:
۱- تحقیقات، طراحی، ساخت، نصب و راه‌اندازی توربین ۱۰ کیلووات (برنامه سوم و چهارم)
۲- طراحی و ساخت توربین بادی ظرفیت ۶۰۰ کیلووات در سایت بابائیان منجیل (برنامه سوم)
۳- احداث نیروگاه بادی بینالود به ظرفیت ۲۸/۴ مگاوات (برنامه سوم و چهارم)
۴- پتانسیل‌سنجی و تهیه اطلس باد کشور (در حال انجام)
۵- احداث نیروگاه بادی منجیل به ظرفیت ۱۰۰ مگاوات (در حال انجام) تاکنون ظرفیت نصب شده ۶۱/۸ مگاوات می‌باشد.
۶- جلب حمایت دولت از تحقیقات موردنیاز در زمینه فناوری توربین‌های بادی
۷- معرفی ۱۰ سایت بادی برتر کشور جانمایی اولیه برای هر یک از سایت‌ها
۸- کسب تکنولوژی ساخت ژنراتور توربین بادی ۶۶۰ کیلووات
۹- کسب تکنولوژی ساخت گیربکس توربین بادی ۶۶۰ کیلووات
۱۰- کسب تکنولوژی ساخت قطعات ناسل مانند: شفت اصلی، هوزینگ، هاب، شاسی و ...

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

کشور ایران از جمله مناطقی است که دارای پتانسیل بالایی در زمینه استفاده منابع تجدیدپذیر است و با داشتن چنین منابع بزرگ انرژی به راحتی می‌توان مقدار قابل ملاحظه‌ای انرژی الکتریکی تولید نمود. همان‌طور که در بالا اشاره شد مطابق برنامه پنج ساله چهارم توسعه کشور، ۵۰۰ مگاوات از برق مصرفی کشور باید از انرژی‌های تجدیدپذیر تولید شود. در حال حاضر در ایران به دلیل ارزان بودن منابع فسیلی مصرف منابع تجدیدپذیر اهمیت چندانی ندارند از طرفی با هدفمند کردن یارانه‌ها استفاده از این منابع انرژی تمام نشدنی اهمیت بیشتری پیدا خواهد کرد و در سیاستگذاری‌ها فواید به‌کارگیری این منابع انرژی نسبت به هزینه مصرف و احداث این منابع برتری می‌گیرد. وجود آب و هوای گرم و خشک به خصوص در نواحی مرکزی ایران و بالا بودن میزان ساعات آفتابی و وزیدن باد در اکثر مناطق، حاکی از پتانسیل بالای انرژی خورشیدی و انرژی بادی در ایران می‌باشد.

منابع و مأخذ

۱- مریم مسائلی و همکاران ارزیابی منافع زیست محیطی منابع تولید پراکنده و مقایسه هزینه تولید آنها با نیروگاه‌های حرارتی با در نظر گرفتن تأثیر آلودگی تولیدی بر سلامتی انسان بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق
۲- سام معینی، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی برق محاسبه انرژی خورشیدی در ایران دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکز
۳- سید فرید قادری و همکاران، بررسی فنی و اقتصادی کاربرد انرژی خورشیدی در ایران اولین کنفرانس بین‌المللی مدیریت و برنامه‌ریزی انرژی
۴- امیر گندمکار، ارزیابی پتانسیل باد در کشور ایران بیست و یکمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی برق
۵- مهدی شریفی، امکان‌سنجی احداث نیروگاه برق بادی در جرندق تاکستان با توجه به پتانسیل جریان باد در منطقه بیست و یکمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی برق
۶- حسن سیاهکلی، ارزیابی اقتصادی توربین‌های بادی با در نظر گرفتن عدم قطعیت در تولید. بیست و دومین کنفرانس بین‌المللی مهندسی برق
۷- مهدی بهادری نژاد، انرژی خورشیدی در ایران، الگوسازی از هم‌اکنون برای فردا، مجله مجلس و پژوهش، شماره ۷، سال دوم، فروردین ۱۳۷۳، صفحه ۱۳۷ تا ۱۵۰
۸- گزارش عملکرد سالیانه نیروگاه‌های برق بادی توسط وزارت نیرو در سال ۱۳۸۴

پی نوشت:

1- Levelized Energy Cost (LEC)
2- Capital Recovery Factor (CRE)