Archive of SID

تولید سبز انرژی در دانشگاه ها؛ ارزیابی زیست محیطی، اقتصادی و فنی

صالح رازینی[۱]، هژیر سیدی[۲] ، محمدحسن مرادی[۳*]

[۱]دانشجوی دکتری تخصصی برق-قدرت، دانشگاه بوعلی سینا، همدان
[۲]دانشجوی کارشناسی برق-قدرت، دانشگاه بوعلی سینا، همدان
[۳]دانشیار گروه مهندسی برق، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

چکیده

امروزه تشدید بحرانهای زیست محیطی در کنار رشد روز افزون مصرف انرژی، توجه بیشتر به فناوری های نوین تولید انرژی و منابع انرژی جایگزین را ضرورت بخشیده است. در این میان دانشگاه ها نیز به عنوان هسته اصلی تحولات علمی و فرهنگی کشور می توانند در هدایت جامعه در جهت صیانت از محیط زیست نقش موثرتری ایفا کنند. به همین منظور در این مقاله با در نظر گرفتن شرایط بومی کشور و دخایر منابع انرژی موجود در ایران، به امکان سنجی نصب نیروگاه های کوچک برق در دانشگاه ها پرداخته شده است. نتایج این مطالعه نشان می دهد که اقدام دانشگاه ها برای نصب واحدهای کوچک تولید همزمان برق و حرارت (CHP) با بازدهی انرژی بسیار بالا در کنار واحدهای فوتوولتاییک بدون نیاز به مصرف سوخت، علاوه بر کاهش انتشار آلاینده های زیستی در کشور موجب درآمدزایی برای دانشگاه ها، ارتقای سطح کیفی عر ضه انرژی، کمک به اقتصاد دانش بیان و مقاومتی و افزایش امنیت عرضه انرژی و ارتقای سطح پدافند غیرعامل خواهد شد.

کلمات کلیدی

دانشگاه سبز- انرژی پاک - تولید همزمان برق و حرارت- واحدهای فوتوولتاییک- امکان سنجی

* mh_moradi@yahoo.co.uk

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

افزایش چشمگیر انتشار آلاینده های زیست محیطی، تداوم رشد فزاینده مصرف انرژی به همراه بهره وری پایین تولید، انتقال و توزیع انرژی در کشور سبب گردیده است تا در صورت ادامه این روند آینده نامطلوبی برای این بخش در کشور پیش بینی گردد، به گونه ای که در آینده ای نه چندان دور خطر اینکه مصرف انرژی از تولید انواع انرژی اولیه از جمله نفت و گاز فراتر رفته و ایران به واردکننده انرژی تبدیل گردد دور از انتظار نیست. این امر قطعاً اثرات اقتصادی و اجتماعی بسیار نامطلوبی را به همراه خواهد داشت. این در حالی است که با اجرای سیاستهای مدیریت سبز در بخش تولید انرژی از جمله افزایش بازدهی سیستم های تولید برق، کاهش تلفات انتقال و توزیع در کنار بهره برداری از منابع پاک انرژی می توان اقداماتی عملی و اجرایی برای مقابله با بحران پیش رو در کشور و حفاظت هرچه بیشتر از محیط زیست صورت داد. از جمله راهکارهایی که در بسیاری از کشورها مورد استفاده قرار گرفته و نتایج چشمگیری در پی داشته است، تولیدات پراکنده[1] می باشد. با تولید پراکنده برق که به بیان ساده تولید برق در محل مصرف آن می باشد، می توان علاوه بر استفاده از فناوری های پیشرفته پربازده، تلفات انتقال و توزیع انرژی را نیز حذف کرده و حتی در برخی از روشها امکان تولید همزمان برق و حرارت[2] نیز فراهم کرد. همچنین در این رویکرد امکان استفاده از منابع پاک و تجدید پذیر انرژی مانند انرژی خورشیدی میسرتر می باشد.

در آمریکا و اروپا تولید پراکنده به یک راه‌حل ممکن فنی و مالی، برای مصرف‌کنندگان و تولیدکنندگان تبدیل شده و اعتبار و اطمینان تهیه برق را بسیار بهبود بخشیده است. در بسیاری از کشورها، DG حدود ۱۰ درصد ظرفیت نصب شده تولید را تشکیل می‌دهد، اما در کشورهایی نظیر هلند و دانمارک این روش بیش از ۳۰ تا ۴۰ درصد ظرفیت نصب شده را شامل می‌شود. در برخی کشورها نیز مانند استرالیا، پیش‌بینی می‌گردد تا سال ۲۰۱۰ حدود ۷۸ درصد برق این کشور بر اساس انرژی تولیدی توسط این سیستم نوین باشد. در کشورهای توسعه نیافته نیز که جمعیت قابل ملاحظه‌ای به انرژی الکتریکی دسترسی ندارند، بهره‌گیری از تولیدات پراکنده امکانی را برای افزایش سریع کیفیت زندگی این افراد فراهم می‌سازد

در چنین شرایطی دانشگاه ها به عنوان خاستگاه بسیاری از تحولات اساسی جامعه می توانند نقش موثری در هدایت جامعه به سمت تولید سبز انرژی داشته باشند. نگاهی اجمالی به وضعیت دانشگاه های معتبر دنیا بیانگر رشد چشمگیر احداث واحدهای تولید پراکنده در آن دانشگاه ها می باشد. به عنوان نمونه می توان به دانشگاه MIT و دانشگاه ایلینویز در آمریکا اشاره کرد. در دانشگاه MIT با احداث یک نیروگاه گازی ۲۲ مگاواتی گازسوز علاوه بر تولید برق، حرارت خروجی توربین در سیستم گرمایش بکار رفته و باعث افزایش ۱۸ درصدی بازدهی انرژی و کاهش ۴۵ درصد آلودگی محیط در مقایسه با تولید الکتریسیته و بخار جداگانه داشته است [۱].

در دانشگاه ایلینویز نیز با احداث یک شبکه هوشمند انرژی دارای یک واحد گازی تولید همزمان برق و حرارت، یک مجموعه پنلهای خورشیدی، یک واحد توربین بادی، باتری‌های ذخیره کننده برق و یک ایستگاه شارژ خورشیدی ماشین‌های برقی علاوه بر کاهش انتشار آلاینده های زیستی موجب درآمدزایی سالانه ۱.۳ میلیون دلار برای این دانشگاه شده است[۲].

کشور ما نیز با توجه به شرایط اقلیمی و ذخایر انرژی کشور، ظرفیت مناسبی برای بهره برداری از تولیدات پراکنده دارد. از یک طرف ذخایر گسترده گاز طبیعی در ایران (از بزرگترین مالکان ذخایر گاز در جهان) و از طرف دیگر تابش مناسب خورشید

[1] Distributed generation (DG)
[2] Combined heat and power (CHP)

www.SID.ir

Archive of SID

در بسیاری از نقاط کشور (قرارگیری در کمربند خورشیدی زمین)، امکان بهره برداری از تولیدات پراکنده به صورت واحدهای تولید همزمان برق و حرارت (CHP) و واحدهای فتوولتاییک (PV[1]) را بیش از سایر روشهای تولید پراکنده در ایران فراهم کرده است. از این رو در این مقاله به ارزیابی زیست محیطی، اقتصادی و فنی، احداث این واحدها در دانشگاه های کشور پرداخته می شود.

در ادامه در بخش دوم مقاله به معرفی تولیدات پراکنده و دسته بندی آنها بر دو گروه تولیدات مبتنی بر سوخت های فسیلی و تولیدات مبتنی بر انرژی تجدیدپذیر و همچنین معرفی مناسبترین فناوری با توجه به شرایط کشور در هر گروه پرداخته شده است. در بخش سوم، تولیدات پراکنده در سایر کشورها و دانشگاه ها و همچنین دستاوردهای استفاده از تولیدات پراکنده در زمینه های زیست محیطی، فنی و اقتصادی مطالعه می گردد. ارزیابی نصب و بهره برداری از تولیدات پراکنده در دانشگاه های کشور نیز در بخش چهارم صورت گرفته و نهایتا در بخش پنجم به جمع بندی پرداخته می شود.

۲- تولیدات پراکنده

در سیستم‌های بهم پیوسته برق تولید انرژی الکتریکی بصورت مرکزی و توسط نیروگاه‌های بزرگ صورت می‌گیرد. در سال‌های اولیه پیدایش چنین سیستم‌هایی معمولاً سیستم با رشد سالانه حدود ۶ الی ۷ درصدی در مصرف انرژی الکتریکی مواجه بود. در دهه ۱۹۷۰ مباحثی از قبیل بحران نفتی و مسائل زیست‌محیطی مشکلات جدیدی را برای صنعت برق مطرح نمودند، به‌گونه‌ای که در دهه ۱۹۸۰ این فاکتورها و تغییرات اقتصادی، منجر به کاهش رشد بار به حدود ۱/۶ الی ۳ درصد در سال شدند. در همین زمان هزینه انتقال و توزیع انرژی الکتریکی نیز به طرز قابل توجهی افزایش یافت. لذا تولید مرکزی توسط نیروگاه‌های بزرگ، اغلب به دلیل کاهش رشد بار، افزایش هزینه انتقال و توزیع، حاد شدن مسائل زیست محیطی و تغییرات تکنولوژیکی و قانون‌گذاری‌های مختلف غیر عملی شده و صنعت برق به سمت تولیدات پراکنده در محل مصرف متمایل شد.

تعاریفی که برای تولید پراکنده ارائه شده است، تا حدودی متفاوت است. انجمن مهندسین برق و الکترونیک امریکا[2]، تولید برق توسط وسایلی که به اندازه کافی از نیروگاه‌های مرکزی کوچک‌تر باشند و قادر به نصب در محل مصرف هستند را به عنوان تولید پراکنده تعریف کرده است. آژانس بین المللی انرژی[3]، واحدهای تولیدکننده توان در محل مصرف یا در داخل شبکه توزیع که توان را به طور مستقیم به شبکه توزیع محلی تزریق می‌کنند را DG معرفی می‌کند، اما شورای جهانی شبکه‌های فشار قوی[4] ، شرط غیر قابل دیسپچ شدن را برای این مولدها ذکر کرده است[۳].

اما تعریف دبیرخانه هیئت تنظیم بازار برق ایران به شکل زیر است:

تأمین انرژی برق با استفاده از مولدهای تولید برق با ظرفیت (حداکثر) ۲۵ مگاوات که قابلیت نصب در محل های مصرف و یا اتصال به شبکه توزیع با قابلیت کارکرد دایم بمنظور تأمین انرژی برق را دارند، و از لحاظ مشخصه های زیست محیطی امکان بهره برداری از آنها در مراکز مختلف میسر باشد.

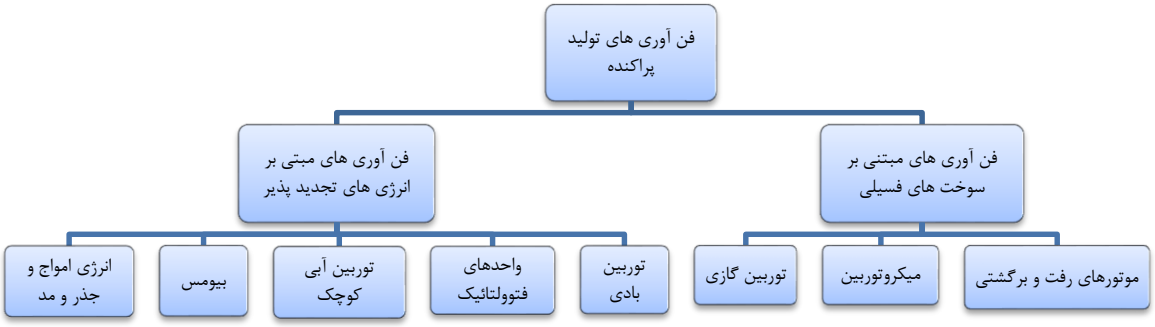
سابقه استفاده از تولید پراکنده به درستی روشن نیست ولی آن چه مشخص است این است که بعد از دهه ۷۰ عوامل مختلفی دست به دست هم دادند و موجب بوجود آمدن مبحثی به نام تولید پراکنده شدند. هنگامی که توماس ادیسون برای تأمین برق مورد نیاز شهروندان نیویورک ایستگاه تولید برق پیرل استریت را راه اندازی کرد، اساساً استراتژیی را مطرح کرد که ما امروزه از آن به عنوان تولید پراکنده یاد می کنیم[۴].

[1] Photovoltaeic (PV)
[2] Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)
[3] International Energy Agency (IEA)
[4] Council on Large Electric Systems (CIGRE)

www.SID.ir

Archive of SID

سیستم های تولید پراکنده بسته به این که از چه نوع انرژی به عنوان منبع انرژی اولیه استفاده کند به دو نوع فن آوری مبتنی بر سوخت های فسیلی و فن آوری مبتنی بر انرژی های تجدید پذیر تقسیم بندی می شود، در شکل شماره (۱) این تقسیم بندی نشان داده شده است؛ سپس به معرفی این فن آوری ها پرداخته شده است [۴].



شکل ۱: تقسیم بندی فن آوری های تولیدات پراکنده[۴]

۲-۱- تولید همزمان برق و حرارت (CHP)

تولید همزمان برق و گرما یا به اختصار تولید همزمان، یکی از مهم ترین کاربردهای تولید پراکنده است که عبارت از تولید همزمان و توأم ترمودینامیکی دو یا چند شکل انرژی از یک منبع ساده اولیه می باشد. استفاده هر چه بیشتر از گرمای آزاد شده در حین فرآیند سوختن سوخت، باعث افزایش بازده انرژی و کاهش مصرف سوخت و در نتیجه کاهش هزینه های مربوط به تأمین انرژی اولیه و از همه مهمتر کاهش انتشار گازهای آلاینده می گردد؛ به همین دلیل میتوان تولیدات ناشی از این فن آوری را تولید سبز نام گذاری کرد. از گرمای اتلافی بازیافت شده از این سیستم ها می توان برای مصارف گرمایشی، سرمایشی و بسیاری از فرآیندهای صنعتی استفاده نمود[۵]؛ لازم به ذکر است فن آوری تولید همزمان برق و حرارت بیشتر بدلیل بازدهی بالا و کاربرد بیشتر، در فن آوری تولیدات پراکنده مبتنی بر انرژی های فسیلی مرسوم تر است.

مصرف کنندگانی که به مقدار انرژی گرمایی زیادی در طول روز نیاز دارند، مانند صنایع تولیدی، دانشگاه ها، بیمارستان ها، ساختمان ها و دفاتر بزرگ، خشکشویی ها و... می توانند برای کاهش هزینه های خود به نحوه مطلوبی از این فن آوری بهره ببرند[۵].

موتورهای رفت و برگشتی (درونسوز)، میکروتوربین ها و توربین گازی و... از مهمترین تکنولوژی های مبتنی بر سوختهای فسیلی با قابلیت تولید همزمان برق و حرارت می باشد. امروزه تکنولوژی موتورهای رفت و برگشتی با ظرفیتهایی کمتر از مگاوات و یا در حد چند مگاوات پیشرفت قابل توجهی داشته در حدی که به صورت پکیج های در فضای بسیار کوچک به راحتی قابل نصب و بهره برداری می باشند. در ادامه این فناوری مختصرا معرفی می شود.

- موتورهای رفت و برگشتی

موتورهای رفت و برگشتی از زیر مجموعه موتورهای درون سوز می باشند. این نوع موتورها در فن آوری تولیدات پراکنده بیش تر از یک قرن توسعه یافته است و هنوز در رنج وسیعی از کاربردها مورد استفاده قرار می گیرد. ابعاد این موتورها در اندازه های ۵ تا ۵۰۰۰ کیلو واتی می باشد. موتورهای رفت و برگشتی، دارای تعدادی پیستون هستند که در درون موتور و در سیلندر ها به سمت بالا و پایین و یا عقب و جلو، حرکت رفت و برگشتی دارند. از مهمترین انواع موتور های رفت و برگشتی میتوان به موتور چهار زمانه اشاره کرد. این موتور در انواع خودرو های سواری مورد استفاده قرار می گیرد. گاز طبیعی و یا گاز استخراج

www.SID.ir

Archive of SID

شده از زباله ها به عنوان منابع سوخت مورد استفاده قرار می گیرد. هنوز تلاش های برای کاهش سطح انتشار آلاینده در زمینه این نوع تکنولوژی باید انجام گیرد. موتور های رفت و برگشتی به عنوان پشتیبان توان اولیه، اوج مصرف و تولید همزمان برق و حرارت مورد استفاده قرار می گیرند[۶].

۲-۲- واحدهای فتوولتائیک (PV)

انرژی های تجدید پذیر امروزه به دلیل مسائل زیست محیطی جایگاه ویژه ای کسب کرده اند و تکنولوژی های متنوعی در راستای بهره وری از این انرژی ها از جمله : توربین های بادی، واحدهای فوتوولتائیک، توربین های کوچک آبی، بیومس، انرژی امواج و جذر و مد و... وجود دارد. اما در این بخش با توجه رشد چشمگیر استفاده از واحدهای فوتوولتائیک ، فقط به شرح آن پرداخته خواهد شد.

واحدهای فتوولتائیک از سه بخش اصلی پنل های خورشیدی، قسمت واسطه و مصرف کننده میشوند؛ که برای آشنایی بیشتر به شرح هریک از آنها خواهیم پرداخت.

ماژول یا پنل های خورشیدی، که مبدل انرژی تابشی خورشید به انرژی الکتریکی می باشد. بر طبق خواص فیزیکی نیمه هادی ها با آلائیدن ماده اصلی به اعمال ناخالصی از (نوعN) مانند فسفر و (نوعP) مانند بور، به ماده اصلی، میدان الکتریکی در سطوح خارجی سلول، ایجاد می‌شود که در برابر انرژی تابشی (نور خورشید) جریان الکتریکی تولید می کند. به مجموعه ای از این سلول ها که درکنار یکدیگر سری و موازی می گردند پنل یا ماژول فتوولتاییک گویند .

واحدهای فتوولتائیک به دلیل تولید ولتاژ مستقیم با نوساتات زیاد، باید از طریق یک واسطه (مبدل) به شبکه وصل شوند.قسمت واسطه، یا بخش توان مطلوب، انرژی الکتریکی حاصل از سیستم های فتوولتاییک را بر اساس طراحی انجام شده، متناسب با نیاز مصرف کننده، مدیریت و القا می نماید. این تجهیزات عمدتا از شارژ کنترل، باطری، اینورتر و... بر اساس نیازمصرف کننده و طبق نظر طراح سیستم، طراحی و مشخصات آن تهیه و تدوین می گردد.

مصرف کننده یا بار الکتریکی، کلیه مصرف کنندگان الکتریکی اعم از مصارف برق مستقیم و متناوب را متناسب با میزان مصرف شامل می گردد[۶].

تولید برق بوسیله سیستم های به شدت تابش و دمای محیط وابسته است به طوریکه با افزایش شدت تابش و کاهش دمای محیط تولید آن افزایش می یابد. لذا چنین سیستم هایی تنها در طول روز از ساعات اولیه صبح تا قبل از غروب می توانند برق تولید کنند که حداکثر تولید آنها در ساعات ظهر می باشد. در شرایط جوی ابری تولید واحدها فوتوولتاییک ممکن است به ۵ تا ۱۰ درصد شرایط عادی برسد.

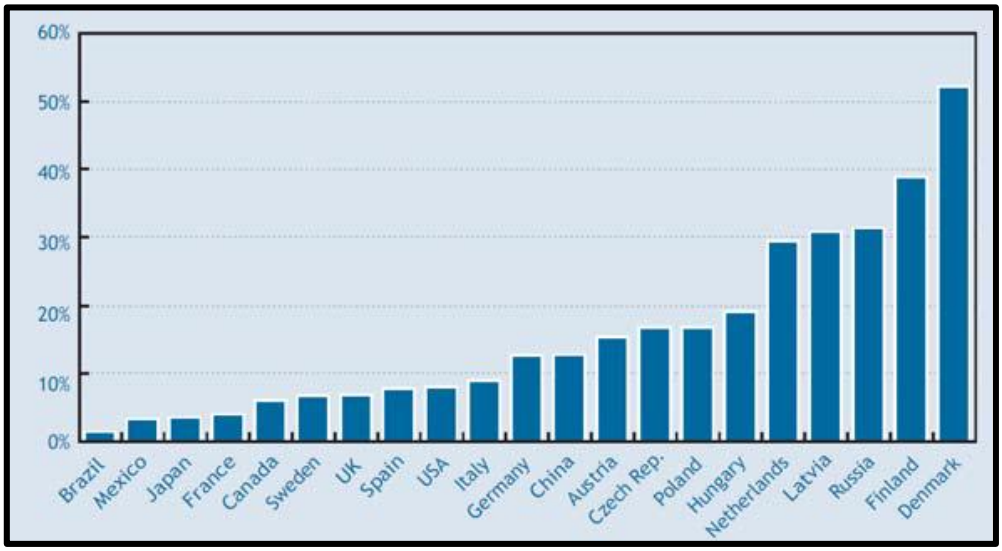
۳- تولیدات پراکنده در سایر کشورها و دانشگاه ها

۳-۱- تولید همزمان برق و حرارت (CHP) در کشور های دیگر

کشورهایی نظیر فنلاند، استرالیا و سوئد تمام ظرفیت تولید نیروگاههای حرارتی خود را با روش تولید همزمان برق و حرارت استفاده می نمایند، همچنین کشورهای دانمارک، هلند، آلمان، روسیه، اتریش، ژاپن، انگلستان و آمریکا حداکثر ظرفیت تولید برق حرارتی خود را به استفاده از روش مذکور اختصاص داده اند. که در شکل (۲) میزان تولید برق به وسیله فن آوری CHP در کشورهای مختلف بر حسب درصد از کل تولید برق خود نشان داده شده است[۷].

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲: میزان تولید برق به وسیله فن آوری CHP در کشورهای مختلف بر حسب درصد از کل تولید برق خود [۷]

طبق آمار های جهانی، ایالات متحده آمریکا بالغ بر ۸ درصد از کل تولید برق سالانه ی خود را از طریق تولید همزمان برق و حرارت(CHP) تامین میکند. میتوان گفت ظرفیت تولید همزمان برق و حرارت (CHP) در کشور آمریکا (حدود ۸۴ گیگاوات) بیشتر از کل ظرفیت تولید برق ایران (حدود ۷۰ گیگاوات) می باشد[۷].

۳-۱-۱- مکان های مناسب برای نصب واحد های تولید همزمان برق و حرارت (CHP)

خروجی مفید حرارتی یکی از مهمترین مزایای CHP ها در کنار تولید برق بشمار می رود که اهمیت موقعیت جغرافیایی و نوع این واحد ها را تحت شعاع قرار داده، این اهمیت نیز در شکل(۲) و شکل(۳) به وضوح نمایان می باشد بطوریکه به دلیل شرایط آب و هوایی سرد کشور هایی نظیر روسیه، دانمارک، فنلاند و نیوزلند از این فن آوری بیشترین استفاده شده است. پس میتوان گفت شرایط آب وهوایی یکی از مهمترین فاکتور کارایی این فن آوری می باشد که با توجه به شرایط خاص مناطق سردسیر در ایران، جهت صرفه جویی و استفاده بهینه از ذخایر و منابع ملی و کاهش تولید گازهای گلخانه ای، تولید همزمان برق و حرارت می تواند جایگزینی مناسب بجای تولید جداگانه برق و حرارت باشد.

مصرف کننده حرارتی و دسترسی به شبکه و پست های گاز نیز یکی دیگر از فاکتورهای مهم در این مکان یابی می باشند، به همین دلیل دانشگاه ها جز ظرفیت های مناسب و اولویت ها، جهت نصب واحد های تولید همزمان برق و حرارت هستند. در قسمت بعدی به این مهم اشاره خواهد شد.

۳-۱-۲- تولید همزمان برق و حرارت (CHP) در دانشگاه ها

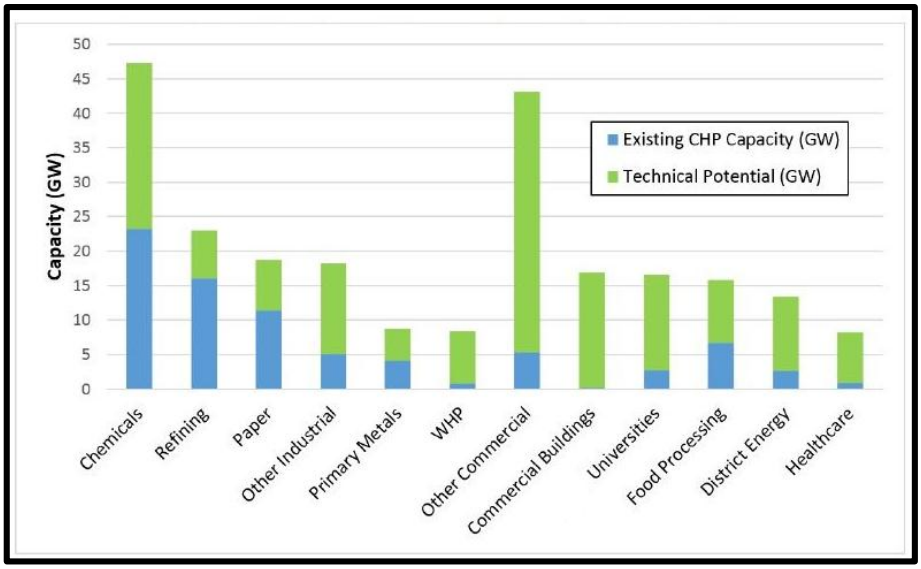
با توجه به مصرف بالا انرژی دانشگاه ها و همچنین مباحث فرهنگی و آموزشی، میتوان دانشگاه ها را یکی از مکان ها مهم و با پتانسیل بالا در زمینه نصب و بهره برداری از فن آوری های تولیدات پراکنده دانست، و به همین منظور نصب واحدهای تولید همزمان برق و حرارت (CHP) و واحدهای فتوولتاییک (PV) که از پراستفاده ترین واحد های تولید پراکنده در دو دسته مبتنی بر سوخت های فسیلی و انرژی تجدیدپذیر هستند را در دانشگاه ها مورد بررسی قرار خواهیم داد. دانشگاه ماساچوست (MIT) از سال ۱۹۸۵ به دلایل مختلف از جمله بالا رفتن هزینه مصرف انرژی دانشگاه، درصدد تولید انرژی مورد نیاز خود بر آمد. در این راستا دانشگاه یک نیروگاه گازی ۲۲ مگاواتی که گاز طبیعی مصرف می کند و تواماً حرارت خروجی توربین را جهت

www.SID.ir

Archive of SID

سیستم گرمایش بکار می رود انتخاب نمود. این سیستم ۱۸ درصد راندمان بالاتری در مقایسه با تولید الکتریسیته و بخار جداگانه داشته است. دانشگاه تا آن زمان حرارت مورد نیاز خود را از دو بویلر قدیمی تأمین می کرد و کنارگذاشتن آنها و نصب سیستم CHP جدید ۴۵ درصد آلودگی محیط را کاهش می داد[۱].

در شکل شماره (۳) میزان ظرفیت CHP موجود و پتانسیل آینده آن در ایالات متحده آمریکا نشان داده شده است. نکته ای که باید به آن توجه نمود، ظرفیت تولید دانشگاه ها در این زمینه می باشد. طبق نمودار حدود ۲/۵ گیگاوات که حدود ۰/۰۴ ظرفیت کل تولید کنونی ایران می باشد، در سال ۲۰۱۱ تولید می شد و با توجه به پتانسیل پیش بینی شده به بیش از ۰/۲۵ ظرفیت کل تولید ایران نیز خواهد رسید. این رقم تولید فقط در دانشگاه ها بسیار حائز اهمیت می باشد[۸].



شکل ۳: میزان ظرفیت CHP موجود و پتانسیل آینده در ایالات متحده آمریکا در سال ۲۰۱۶ [۸]

۳-۲- تولید برق توسط واحدهای فتوولتائیک (PV)

در شکل شماره (۴) درصد انرژی تجدیدپذیر تولید شده برحسب مقدار کل انرژی تولیدی ایالات متحده آمریکا در سال های مختلف نشان داده شده است؛ همانطور که نمایان است، میزان کل تولید انرژی الکتریسته توسط واحدهای فتوولتائیک در سال ۲۰۱۴، ۱/۲ درصد از تولیدات خود بوده؛ به بیانی دیگر ۱/۲۳ گیگا وات از انرژی خود را از واحدهای فتوولتائیک تامین کرده اند که حتی کمتر از نصف تولیدات فن آوری تولید همزمان برق و حرارت دانشگاه های خود در سال ۲۰۱۱ می باشد و اگر بخواهیم این مقادیر را در سال ۲۰۱۱ مقایسه کنیم، این سهم بسیار ناچیز خواهد بود. به همین دلیل داده های مشخصی از استفاده از این واحدها در دانشگاه ها هنوز وجود ندارد[۹]. یکی از بهترین نمونه های دانشگاهی تولیدات فوتوولتاییک در ریزشبکه هوشمند دانشگاه ایلینویز در ایالت شیکاگو امریکا می باشد. در این شبکه علاوه بر تولید همزمان برق و حرارت از یک مجموعه پنلهای خورشیدی به ظرفیت ۱۴۰ کیلووات، در کنار باتری‌های ذخیره کننده برق و همچنین یک ایستگاه شارژ ماشین‌های برقی با استفاده از انرژی خورشیدی به ظرفیت ۲۰ کیلووات استفاده شده که علاوه بر تامین نیاز دانشگاه مازاد تولید خود را به شبکه سراسری می فروشد[۲].

www.SID.ir

Archive of SID

	Hydropower	Solar PV[1]	CSP	Wind	Geothermal[2]	Biomass	Total Renewables[3]
2004	7.5%	0.0%	0.0%	0.7%	0.3%	1.1%	9.5%
2005	7.4%	0.0%	0.0%	0.9%	0.3%	1.1%	9.6%
2006	7.3%	0.0%	0.0%	1.1%	0.3%	1.1%	9.8%
2007	7.3%	0.0%	0.0%	1.6%	0.3%	1.1%	10.3%
2008	7.2%	0.1%	0.0%	2.3%	0.3%	1.2%	11.0%
2009	7.1%	0.1%	0.0%	3.2%	0.3%	1.2%	11.8%
2010	7.0%	0.1%	0.0%	3.6%	0.3%	1.2%	12.2%
2011	6.9%	0.3%	0.0%	4.1%	0.3%	1.2%	12.8%
2012	6.8%	0.5%	0.0%	5.2%	0.3%	1.2%	14.1%
2013	6.8%	1.0%	0.1%	5.3%	0.3%	1.3%	14.6%
2014	6.8%	1.2%	0.1%	5.7%	0.3%	1.3%	15.5%

شکل ۴: درصد انرژی تجدیدپذیر تولید شده برحسب مقدار کل انرژی تولیدی ایالات متحده آمریکا [۹]

۴- ارزیابی نصب واحدهای تولید پراکنده در دانشگاه ها

در این بخش ابتدا مزایای استفاده از تولیدات پراکنده بررسی شده و سپس فناوری های تولید همزمان برق وحرارت و فوتوولتاییک از لحاظ زیس محیطی، اقتصادی و فنی با یکدیگر مقایسه شده اند.

۴-۱- مزایا و دستاوردهای تولیدات پراکنده در دانشگاه ها

۴-۱-۱- مزایا و دستاورد های علمی

- ارتقا سطح پژوهش از پژوهش‌های تئوری به پژوهش‌های کاربردی موردنیاز کشور و به‌روز
- انتقال تجربه فنی و علمی مربوط به امکان سنجی، نصب، راه اندازی و بهره برداری CHP و PV به دانشگاه
- امکان تعریف رساله‌ها و پایان‌نامه‌های مقاطع دکتری و کارشناسی ارشد در زمینه‌های مختلف مهندسی و علوم مانند مهندسی برق قدرت، کنترل، مخابرات، ابزار دقیق و اتوماسیون صنعتی، مهندسی مکانیک، تبدیل انرژی و انتقال حرارت، فیزیک، مهندسی مواد، فناوری اطلاعات و هوش مصنوعی، مهندسی صنایع، مدیریت پروژه، اقتصاد انرژی و بازار برق، آینده‌پژوهی و غیره

۴-۱-۲- مزایا و دستاورد های زیست محیطی

- کاهش چشمگیر انتشار گازهای گلخانه‌ای و بالطبع کاهش آلودگی با استفاده از فن آوری تولید همزمان و واحدهای فتوولتائیک

۴-۱-۳- مزایا و دستاورد های فنی

- افزایش قابلیت اطمینان و پشتیبانی از شبکه سراسری در ساعات اوج مصرف
- افزایش قابلیت اطمینان تأمین انرژی دانشگاه با استفاده از نیروگاه به عنوان برق اضطراری
- افزایش بهره‌وری انرژی با استفاده تکنولوژی های جدید و پربازده
- کاهش گرفتگی خطوط و نیاز به احداث ظرفیت های جدید شبکه و پست
- تنظیم ولتاژ، بهبود ضریب قدرت و بهبود کیفیت توان
- کاهش زمان نصب و راه اندازی ظرفیت های جدید نسبت به نیروگاههای بزرگ

www.SID.ir

Archive of SID

۴-۱-۴- مزایا و دستاورد های اقتصادی

- امکان فروش برق مازاد مولد به شبکه سراسری و درآمدزایی برای دانشگاه
- ایجاد فرصت‌های متعدد شغلی حین اجرای طرح و همچنین در طول دوره بهره‌برداری از نیروگاه
- امکان جذب سرمایه‌های کوچک و متوسط بخش خصوصی
- کمک به اقتصاد مقاومتی با افزایش بهره‌وری انرژی، کاهش تلفات شبکه، بهبود الگوی مصرف، به تعویق افتادن نیاز به ساخت نیروگاه‌های بزرگ و توسعه شبکه، افزایش خصوصی‌سازی در صنعت برق و موارد مشابه
- تقویت اقتصاد دانش‌بنیان
- کاهش هزینه های بهره برداری شامل پرسنل، تعمیر و نگهداری و سوخت

۴-۱-۵- مزایا و دستاورد های پدافند غیرعامل

- تقویت پدافند غیرعامل با تمرکززدایی از تولید برق به کمک منابع تولید پراکنده
- امکان تغذیه مصرف‌کنندگان حیاتی و حساس در مواقع اضطراری و قطع شبکه
- کمک به بازیابی شبکه در مواقع خاموشی سراسری
- افزایش امنیت انرژی با ایجاد تنوع در سبد انرژی

۴-۲- مقایسه نصب واحدهای تولید همزمان برق و حرارت و فوتوولتاییک دانشگاه ها

همانطور که در بخش‌های قبلی اشاره شد با توجه به اینکه در کشور ما در بین روشهای تولید پراکنده، نیروگاه‌های کوچک گازی با قابلیت تولید همزمان برق و حرارت (CHP) و واحدهای فتوولتاییک (PV) از پتانسیل مناسبت‌تری نسبت به سایر روش‌ها برخوردار هستند در این بخش به ارزیابی احداث چنین واحدهایی برای تولید برق در دانشگاه‌ها می‌پردازیم. در جدول شماره (۱) فرضیات این مطالعه آورده شده است. با توجه به مصوبه خرید برق از واحدهای تولید پراکنده توسط وزارت نیرو[۱۰]، تعرفه خرید برق از واحدهای تجدید پذیر وابسته به ظرفیت آن می باشد و هر چه ظرفیت واحدها کمتر باشد تعرفه برق بالاتر خواهد بود (به علت نزدیکی به مصرف کنندگان و حذف تلفات و هزینه های انتقال و توزیع). لذا در این مطالعه ظرفیت واحد فوتوولتاییک ۰/۲ مگاوات در نظر گرفته شده تا بیشترین بازدهی اقتصادی را برای دانشگاه ها در پی داشته باشد. از طرفی در فناوری های تولید همزمان با افزایش ظرفیت واحد، هزینه سرمایه گذاری آنها کاهش می یابد. به همین علت ظرفیت این واحدها ۲ مگاوات در نظرگرفته شده است.

جدول۱: فرضیات مطالعه

ردیف	شرح	مقدار
۱	ظرفیت واحد CHP	۲ مگاوات
۲	ظرفیت واحد PV	۰/۲ مگاوات
۳	کارکرد موثر در سال واحد CHP	۸۰۰۰ ساعت
۴	کارکرد موثر در سال واحد PV	۲۵۰۰ ساعت
۵	قیمت فروش برق واحد CHP	۹۹۶-۱۱۸۱ ریال بر کیلووات ساعت
۶	قیمت فروش برق واحد PV	۴۹۰۰-۸۰۰۰ ریال بر کیلووات ساعت
۷	نرخ تنزیل	٪۱۵
۸	نرخ تورم	٪۱۲

www.SID.ir

Archive of SID

۴-۲-۱- ارزیابی زیست محیطی

مهمترین دلایل استفاده روز افزون از واحد های فتوولتاییک، عدم تولید هیچ گونه آلودگی و قابل بازیافت بودن تمامی تجهیزات بکار برده شده در فن آوری مربوط به آن است بطوریکه در طرف مقابل واحدهای تولید همزمان برق و حرارت به دلیل استفاده از سوخت های فسیلی با تولید گازهای دی‌اکسیدکربن(CO_2) ناشی از میزان کربن موجود در سوخت، منوکسیدکربن (CO) ناشی از سوختن ناقص سوخت و اکسیدهای نیتروژن(NO_x) ناشی از دما شعله، موجب آلودگی خواهند شد[۱۱].

اما همچنان با این شرایط تحقیقات نشان داده است که میزان تولید آلاینده توسط واحدهای همزمان برق و حرارت کمتر از تولید جداگانه برق و حرارت می باشد[۱۱]. بطوریکه میزان دی اکسید کربن به ازای تولید ۱ مگاوات ساعت انرژی و حرارت مربوطه بصورت جداگانه در مقایسه با تولید همزمان همان مقدار انرژی و حرارت از ۹۰۹ کیلوگرم به ۱۳۲ کیلو گرم کاهش می یابد. همچنین مقدار منواکسید کربن ناشی از سوختن ناقص سوخت در تکنولوژی های جدید به مقدار ناچیزی کاهش یافته است، لذا واحدهای تولید همزمان باعث کاهش آلاینده ها می شود.

۴-۲-۲- ارزیابی اقتصادی

در این بخش هزینه ها و درآمدهای یک واحد CHP به ظرفیت ۲ مگاوات و یک واحد PV ظرفیت ۲۰ کیلووات، بر طبق آمار مهر ماه سال ۱۳۹۵، مرکز مشاورهای نصب این واحد ها ذکر شده.

در جدول شماره (۲) و جدول شماره (۳) جزئیات هزینه سرمایه گذاری در واحدهای ذکر شده اورده شده است.

جدول ۲: هزینه سرمایه گذاری واحد ۲ مگاوات CHP

ردیف	تجهیزات و خدمات	هزینه (میلیون ریال)
۱	اخذ مجوزات و انشعابات گاز	۴۵۰
۲	زمین، محوطه سازی و ساختمان	۲۱۰۰
۳	مولدها	۲۲۰۰۰
۴	تجهیزات الکتریکی (ترانسفورماتور، کابل، کلیدها و ...)	۵۵۰۰
۵	خدمات مهندسی، نصب و راه اندازی	۱۰۰۰
۶	سرمایه در گردش	۱۱۰۰
۷	متفرقه و پیش بینی نشده (۳٪هزینه ها)	۹۵۰
جمع هزینه های نصب واحد ۲ مگاوات CHP		۳۳۱۰۰
هزینه سرمایه گذاری بر واحد ظرفیت		۱۶۵۵۰(میلیون ریال بر مگاوات)

جدول ۳: هزینه سرمایه گذاری واحد ۲۰ کیلووات PV

ردیف	تجهیزات و خدمات	هزینه(میلیون ریال)
۱	پنل فوتوولتاییک	۷۰۰
۲	اینورتر	۱۰۰
۳	سازه های خورشیدی ثابت	۱۰۰
۴	کابل ،اتصالات و تابلو(برای ۱۰۰متر)	۹۰
۵	نصب و اجرا	۱۰۰
۶	متفرقه و پیش بینی نشده (۳٪هزینه ها)	۳۳
جمع هزینه های نصب واحد ۲۰ کیلوواتی فوتوولتاییک		۱۱۲۳
هزینه سرمایه گذاری بر واحد ظرفیت		۵۶۱۵۰ (میلیون ریال بر مگاوات)

www.SID.ir

Archive of SID

واحدهای CHP علاوه بر هزینه های تعمیرات و سرویس دوره ای سالانه معمولا هر سه سال نیاز به یک اورهال جزئی و هر هشت سال نیاز به اورهال اساسی دارند و در مورد واحدهای PV از آنجا که بخش مکانیکی و حرارتی ندارند، هزینه بهره برداری سالانه قابل توجهی نداشته و معادل ۰/۵ درصد هزینه سرمایه گذاری اولیه می باشند. با در نظر گرفتن نرخ تورم هزینه بهره برداری سالانه و با توجه به قیمت فروش مصوبه دولت، درآمد سالانه این واحدها محاسبه شده است و در جدول شماره (۴) و جدول شماره (۵) ارائه شده است. باشد.

جدول۴: فرایند مالی واحد ۲ مگاوات CHP (برحسب میلیارد ریال)

سال	۰	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵
هزینه	-۳۳.۱	-۲.۸	-۳.۳	-۷.۵	-۴	-۴.۶	-۸.۵	-۶	-۲۶	-۸	-۹	-۲۲	-۱۱	-۱۳	-۳۶	-۱۵
درآمد	۰	۱۸.۹	۲۱.۲	۲۳.۷	۲۶.۶	۲۹.۷	۳۳.۳	۳۷.۳	۴۱.۸	۴۶.۸	۵۲.۴	۵۸.۷	۶۵.۷	۷۳.۶	۸۲.۴	۹۲.۳
سود	-۳۳.۱	۱۶.۱	۱۷.۹	۱۶.۲	۲۲.۶	۲۵.۱	۲۴.۸	۳۱.۳	۱۵.۸	۳۸.۸	۴۳.۴	۳۶.۷	۵۴.۷	۶۰.۶	۴۶.۴	۷۷.۳

جدول۵: فرایند مالی واحد ۲۰ کیلووات PV (برحسب میلیون ریال)

سال	۰	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵
هزینه	-۱۱۲۳	-۵.۶	-۶.۳	-۷	-۷.۹	-۸.۸	-۹.۹	-۱۱.۱	-۱۲.۴	-۱۳.۹	-۱۵.۶	-۱۷.۴	-۱۹.۵	-۲۱.۲	-۲۴.۵	-۲۷.۴
درآمد	۰	۴۰۰	۴۴۸	۵۰۱	۵۶۲	۶۲۹	۷۰۵	۷۹۰	۸۸۴	۹۹۰	۱۱۰۹	۱۲۴۲	۱۳۹۱	۱۵۵۸	۱۷۴۵	۱۹۵۵
سود	-۱۱۲۳	۳۹۴	۴۴۲	۴۹۴	۵۵۸	۶۲۱	۶۹۵	۷۷۹	۸۷۲	۹۷۶	۱۰۹۳	۱۲۲۵	۱۳۷۱	۱۵۳۷	۱۷۲۰	۱۹۲۸

۴-۲-۳- مقایسه فنی

در مباحث فنی قابلیت اطمینان و زمان کارکرد پیوسته واحدهای تولیدی بسیار حائز اهمیت است، بطوریکه واحدهای فتوولتائیک علاوه بر اینکه با محدودیت امکان تولید مداوم در طول روز مواجه هستند میزان تولید آنها در ایام مختلف سال نیز به شدت متغیر بوده و به عوامل متعددی از جمله فصلها و شرایط جوی وابسته است. اگرچه برای پوشش این نقیصه می توان از ذخیره سازها کمک گرفت ولی این مساله در مقیاس بزرگ امکان پذیر نبوده و باعث افزایش قابل توجه در هزینه‌ها خواهد شد.

در طرف مقابل واحدهای تولید همزمان بجز در زمان تعمیر و اورهال می‌توانند به طور مدام انرژی تولید کنند و دولت موظف به تامین گاز مورد نیاز این واحدها می باشد و حتی در صورت قطع گاز به نیروگاه خسارت پرداخت خواهد کرد. لذا با توجه به قابلیت پیش‌بینی و برنامه‌ریزی بسیار بالای تولید در این واحدها، می‌توانند در هر ساعتی از شبانه‌روز، انرژی مورد نیاز را تامین کنند.

۵- نتیجه گیری

با توجه به بحرانهای زیست محیطی و افزایش روزافزون تقاضای انرژی، احداث واحدهای تولید پراکنده و تولید برق در محل مصرف، می تواند راهکاری مطئن برای تامین انرژی آینده کشور باشد. در این شرایط تعداد بسیار زیاد دانشگاه ها در ایران انرژی حرارتی و الکتریکی قابل توجهی را با تعرفه آموزشی مصرف می کنند که تامین یارانه فراوانی را به دولت تحمیل می‌کند. در این مقاله با در نظرگرفتن شرایط اقلیمی و ذخایر انرژی ایران احداث واحدهای نیروگاهی کوچک در دانشگاه ها به کمک فناوریهای تولید همزمان برق و حرارت و همچنین نیروگاه فوتوولتاییک پیشنهاد شده و عملکرد این نیروگاه ها از لحاظ زیست محیطی، اقتصادی و فنی مورد ارزیابی قرار گرفته است. در جدول شماره (۶) نتایج این ارزیابی خلاصه گردیده است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۶: ارزیابی احداث نیروگاه های تولید پراکنده در دانشگاه ها

	جنبه مورد بررسی	نیروگاه CHP	نیروگاه PV
زیست محیطی	انتشار دی اکسید کربن	کم	ندارد
	آلودگی صوتی	دارد (قابل کنترل)	ندارد
اقتصادی	زمان بازگشت سرمایه	۳۰ ماه	۴۱ ماه
	دریافت یارانه دولتی	کم	بسیار زیاد
فنی	قابلیت تولید پیوسته	دارد	ندارد
	قابلیت اطمینان (امکان پیش بینی و برنامه ریزی تولید)	بسیار زیاد	کم
	قابلیت تولید حرارت	دارد	ندارد
وابستگی به شرایط جغرافیایی و طبیعی		بسیار کم	زیاد

نتایج این مطالعه نشان می دهد از لحاظ زیست محیطی نیروگاه فوتوولتاییک گزینه بسیار مناسبی می باشد. نیروگاه‌های تولید همزمان نیز به علت امکان بازیافت حرارتی با بازدهی کلی نزدیک به ۹۰٪ از لحاظ انتشار آلاینده ها نسبت به تولید مجزای برق و حرارت عملکرد بسیار مناسبتری داشته و می توان آن را نیز تولید سبز در نظر گرفت.

از بعد اقتصادی نیروگاه های تولید همزمان باوجود اینکه نسبت به واحدهای فوتوولتاییک تعرفه فروش برق پایین‌تری دارند (یارانه کمتری از دولت دریافت می کنند)، ولی زمان بازگشت سرمایه آنها نسبت به واحدهای فوتوولتاییک حدود یک سال کوتاهتر بوده و گزینه مناسبی برای سرمایه گذاران بخش خصوصی جهت مشارکت با دانشگاه ها برای احداث چنین واحدهایی می باشند. البته در شرایط فعلی نیروگاه های فوتوولتاییک نیز از لحاظ اقصادی به صرفه می باشند.

ارزیابی فنی صورت گرفته گویای برتری قابل توجه واحدهای تولید همزمان نسبت به واحدهای فوتوولتاییک می‌باشد. در نیروگاه های تولید همزمان امکان تولید پیوسته با قابلیت برنامه ریزی و مدیریت انرژی وجود دارد. درحالیکه تولید در واحدهای فوتوولتاییک به شرایط محیطی وابسته می باشد. برای این واحدها استفاده از ذخیره سازها برای بهبود عملکرد فنی توصیه می شود.

علاوه بر موارد فوق تولید پراکنده در دانشگاه ها از مزایای آموزشی، پژوهشی و پدافند غیر عامل نیز برخوردار هستند و لذا پیشنهاد می گردد دانشگاه های کشور با احداث واحدهای گازسوز با قابلیت تولید همزمان برق و حرارت در کنار واحدهای فوتوولتاییک با ظرفیت کم، علاوه بر درآمدزایی برای دانشگاه، گامی موثر برای تحقق اقتصاد دانش بنیان و مقاومتی و بهبود وضعیت زیست محیطی کشور عزیزمان بردارند.

www.SID.ir

Archive of SID

مراجع

[۱] Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, College Campus CHP, 2004.

[۲] Robert W. Galvin Center for Electricity Innovation, Illinois Institute of Technology, at: http://iitmicrogrid.net/

[۳] P. P. Barker and R. W. D. Mello, "Determining the impact of distributed generation on power systems. I. Radial distribution systems," IEEE/Power Eng. Soc. Summer Meeting, vol. 3, pp. 1645-1656, 2000.

[۴] کریمی زاده امین، آئین مهر امین، سیستم های تولید همزمان برق و حرارت به منظور تأمین تقاضای برق و حرارت در محل مصرف در راستای اصلاح الگوی مصرف سوخت، فصلنامه دانش مهندسی ۱۳۸۹، سال سوم، شماره هشتم، صص ۶۱-۶۹.

[۵] تولید پراکنده و مزایای استفاده از آن، نهمین کنفرانس دانشجویی مهندسی برق ۱۳۸۵، تهران.

[۶] W. EL-Khatam & M. A. Salama, "Distributed Generation Technologies Definitions and Benefits" Electric Power Systems Research (ELSEVIER) 71, 2004, PP. 119-128.

[۷] Envida Community Energy Inc., 395 Southgate Drive, Guelph, Ontario, Canada N1G 4Y1, Combined Heat and Power, April 2013.

[۸] Combined Heat and Power (CHP) as a Compliance Option under the Clean Power Plan: A Template and Policy Options for State Regulators. institute for industrial productivity, July 2015

[۹] U.S Department of Enrgy, Energy Efficiency &Renewable Energy, DOE/GO-102015-4724, November 2015.

[۱۰] وزارت نیرو، مصوبه نرخ خرید تضمینی برق از نیروگاه های تجدید پذیر و پاک، ۱۳۹۵.

[۱۱] European Commission, Directorate-general for energy, Combined Heat and Power Generation CHP, may 2001.

www.SID.ir

Archive of SID

Green power generation in universities; environmental, economical and technical assessment

Saleh Razini, Hazhir Seyedi, Mohammad Hassan Moradi
Department of electrical engineering, Faculty of enginireeng, University of Bu-ali sina, Hamedan, Iran, E-mail: razini66@yahoo.com
Department of electrical engineering, Faculty of enginireeng, University of Bu-ali sina, Hamedan, Iran, E-mail: hazhirsayedi@yahoo.com
Department of electrical engineering, Faculty of enginireeng, University of Bu-ali sina, Hamedan, Iran, E-mail: mh_moradi@yahoo.co.uk

Abstract.
Today, implementation of advanced energy technologies and alternative energy resources are necessary because of increasing consumption of energy and emerging environmental crisis. Universities as the core of the scientific and cultural changes could play an effective role to protect of environment. In this way feasibility study of of small power plant installation in universities are done. The result of this paper shows installing combined heat and power units (CHP), with high efficiency of energy, besides of photovoltaic (PV) units, without any fuel requirement, in universities would lead to emissions reduction, wealth creation, energy supply improvement, robust economy and passive defense.

Keywords:
Green university- Clean energy- CHP- PV- Feasibility study

www.SID.ir