مدیریت هوشمند آلودگی در سیستم یکپارچه انرژی

غلامرضا سرلک[۱]، جواد علمایی*[۲]، محمد دوسرانیان مقدم[۳]

۱- دانشجوی‌دکتری، دانشکده مهندسی برق، پزشکی و مکاترونیک، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران، gh.sarlak@qiau.ac.ir

*۲- دانشیار، گروه برق، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، j_olamaei@azad.ac.ir

۳- استادیار، دانشکده مهندسی برق، پزشکی و مکاترونیک، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران، m_dmoghadam@qiau.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۰۲

چکیده: امروزه با رشد روز افزون صنایع در کشورهای در حال توسعه و پیشرفته، استفاده از حامل‌های انرژی به عنوان یکی از ارکان اصلی تولید انرژی مطرح می‌شود. از دیدگاه جهانی افزایش مصرف حامل‌های انرژی موجب افزایش تولید گازهای گلخانه‌ای، افزایش متوسط دمای کره زمین و به‌تبع آن افزایش سرعت آب شدن یخ‌های قطبی می‌شود. همچنین افزایش آلودگی ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی در سیستم های تولید توان موجب مشکلات روزافزون شهرهای صنعتی، مه دود فتوشیمیایی و بیماری‌های تنفسی متعدد برای انسان‌ها و گاهاً سایر موجودات زنده می‌گردد، از این رو بحث روش‌های کمینه نمودن استفاده از حامل‌های انرژی و جایگزینی انرژی‌های نو در راستای کاهش میزان تولید آلودگی بسیار مهم می‌باشد. استفاده از سیستم یکپارچه انرژی موجب مدیریت بهتره منابع انرژی و کمینه نمودن آلودگی تولیدی می‌شود. در این مقاله سیستم مدیریت هوشمندی برای یک هاب انرژی در نظر گرفته شده است که در ورودی آن سوخت‌های فسیلی و انرژی‌های تجدید پذیر و شبکه برق می‌باشد و در خروجی نیز مصرف کنندگان قرار دارند. سیستم پیشنهادی علاوه بر مدیریت حامل‌های انرژی و استفاده حداکثری از انرژی‌های تجدید پذیر، مقدار زیادی از دی اکسیدکربن تولیدی را جذب نموده و علاوه‌بر ذخیره انرژی، آن را به حامل انرژی گازی تبدیل می‌سازد. این رویکرد هم موجب کاهش میزان دی اکسید کربن و مشتقات آن در هاب انرژی و هم موجب کاهش هزینه کلی سیستم بدلیل تامین بخشی از سوخت گازی مورد نیاز سیستم گردیده است. در این مقاله نشان داده شده است استفاده از این سیستم میزان هزینه ناشی از تولید آلودگی سیستم را به میزان ۹،۰۸ درصد و هزینه کلی سیستم را به میزان ۱۳،۵۷ درصد کاهش می دهد.

واژه‌های کلیدی: سیستم یکپارچه انرژی، مدیریت هوشمند آلودگی، انرژی‌های تجدیدپذیر، ریفورمر متان

۱- معرفی

با رشـــد روز افزون قیمت حامل‌های انرژی و محدودیت منابع فســـیلی توجه ویژه‌ای به انرژی‌هایی که قابلیت انتقال و ســـازگاری بیشـــتر با محیط زیســـت و همچنین قیمت تمام شـــده‌ی کمتر همراه با بازدهی انرژی بالاتری را دارا می با شند، گردید. حامل‌های انرژی به عنوان مواد اولیه و خام تولید کننده‌ی انرژی نقش بســـزای در قیمت تمام شـــده‌ی انرژی تولیدی دارا می‌باشـــند. افزایش نیاز به حامل‌های انرژی و کمبود منابع انرژی جهانی ســـبب گشـــته تا همواره راه‌کارهایی در جهت کم کردن و بهینه‌سازی مصرف انرژی و به تبع آن کمتر شدن هزینه تمام شده در صنایع، ارائه گردد. سیستم یکپارچه انرژی(هاب انرژی) شامل: ســـیســـتم تولید همزمان برق و حرارت(CHP)، ترانســـفورماتور، کوره حرارتی می‌با شد. ورودی های سیستم: انرژی الکتریکی، گاز طبیعی و

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

[DOR: 20.1001.1.23222468.1400.10.4.3.4]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 10 -No. 4 - Winter 2022

سوخت‌های غیر گازی می‌باشند و در خروجی نیز الکتریسیته و حرارت بدست می آید[۱].

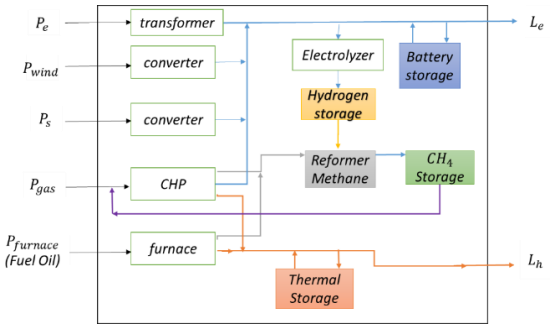
سیستم در نظر گرفته شده در این مقاله، یک سیستم یکپارچه انرژی با ورودی‌های تجدیدپذیر بادی و خورشیدی، توان الکتریکی شبکه برق، سیستم تولید همزمان برق و حرارت و کوره حرارتی می‌باشد. همچنین در داخل این سیستم مبدل‌ها و ذخیره‌سازهای الکتریکی، حرارتی، گاز دی‌اکسیدکربن وگاز متان در نظر گرفته شده است. نرم افزار مورد استفاده برای مدلسازی، نرم افزار متلب ۲۰۱۹ ورژن ۹,۶ و نرم افزار گمز ورژن ۲۵,۱,۲ و نرم افزار مایکروسافت اکسل ورژن ۲۰۱۶ می باشد. سیستم مورد استفاده برای شبیه سازی پردازنده نسل چهارم اینتل CORE I7 بافرکانس ۲,۶ گیگاهرتز و رم ۱۶ گیگابایت می‌باشد. در ادامه ابتدا متدولوژی حل مسئله بیان می‌شود سپس در بخش شبیه‌سازی، نتایج رائه می‌شود، و در انتها نتیجه‌گیری می‌گردد.

در مورد [۲] برای ساخت الودگی صفر شبکه علاوه‌بر نیروگاه بادی وجود نیروگاه زمین گرمایی، سلول سوختی وکوره خورشیدی برای تامین حرارت مورد نیاز تاثیر بسزایی در کاهش الودگی شبکه دارد. در [۳] یک روش مقاوم برای بهینه‌سازی هاب انرژی با استفاده از عدم قطعیت در منابع تجدیدپذیر، بار و خودرو برقی دیده شده است. به دلیل استفاده از خودروهای برقی و در جهت کاهش وابستگی به سیستم تولید همزمان برق و حرارت می‌باید از الکترولایزر و سلول سوختی هم استفاده شود همچنین در این مقاله اگر از ذخیره سازها استفاده شود بازده سیستم بالاتر رفته و با توجه به عدم قطعیت قیمت، ESS می تواند تا حدودی نگرانی افزایش قیمت را کاهش دهد. در [٤] یک مدل هاب انرژی با درنظر گرفتن عدم قطعیت‌های بادی، خورشیدی و بار، با استفاده از IGDT بهینه شده است. استفاده از IGDT باعث تخمین بهتر داده‌ها و کاهش خطا شده است اما ساختار سیستم یکپارچه انرژی یک ساختار ساده است و می‌توانست در کنار دیدن عدم قطعیت ها به بحث کاهش الودگی ناشی از سیستم تولید همزمان برق و حرارت و همچنین استفاده از منابع دو ست دار محیط زیست همانند سلول‌های سوختی و کوره‌های خورشیدی پرداخته شود. همچنین در این روش تخمین شعاع پایداری و بحث عدم قطعیت ها حائز اهمیت است، که باید به پیشینه تجهیزات و پارامتر های قابلیت اطمینان دسترسی داشت اما در مباحث احتمالی فقط به دیتاهای آماری نیاز می‌باشد بنابر این سرعت محاسبات بیشتر می شود.

۲- متدولوژی

۲-۱- مدل فیزیکی هاب

سیستم هاب انژی مورد مطالعه در شکل ۱ آورده شده است.



شکل ۱- هاب انرژی پیشنهادی

۲-۲ مدل ریاضی هاب

برای توصیف هاب انرژی شکل ۱ از رابطه زیر استفاده می‌شود.

$$\begin{bmatrix} L_e(t) \\ L_h(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Ne & N_{pv} & N_{wind} & N_{chpe} \\ 0 & 0 & 0 & N_{chph} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{elc}(t) \\ P_s(t) \\ P_{wind}(t) \\ P_{CHP}(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} ESS(t) \\ TES(t) \end{bmatrix} \quad (۱)$$

که در آن Ne بازده ترانس انتقال توان از خط انتقال، N_{pv} بازده تولید توان توسط پنل های خورشیدی، N_{wind} بازده تولید توان بادی توربین‌های بادی، N_{chpe}بازده تولید توان الکتریکی توسط سیستم تولید برق و حرارت همزمان، N_{chph}بازده تولید توان حرارتی توسط سیستم تولید برق و حرارت همزمان، $P_e(t)$ توان الکتریکی ورودی از خط انتقال برق، $P_s(t)$ توان ورودی از نیروگاه خورشیدی، $P_W(t)$ توان ورودی از طریق نیروگاه بادی، $P_g(t)$ توان ورودی از طریق سوزانده شدن گاز داخل سیستم تولید برق و حرارت همزمان، $P_h(t)$ توان حرارتی حاصل از سوختن سوخت در کوره فوق می باشد ESS سیستم ذخیره ساز انرژی الکتریکی و TES سیستم ذخیره ساز انرژی حرارتی می باشد. همچنین قیود ذکر شده برای سیستم یکپارچه انرژی شامل موارد زیر است.

$$0 \le P_{g\,Electrical}(t) \le N_{chpe}.P_{g\,max}(t) \quad (۲)$$

$$0 \le P_{g\,heat}(t) \le N_{chph}.P_{g\,max}(t) \quad (۳)$$

$$0 \le P_s(t) \le N_{pv}.P_{s\,max}(t) \quad (۴)$$

$$0 \le P_w(t) \le N_{wind}.P_{w\,max}(t) \quad (۵)$$

$$0 \le P_h(t) \le N_h.P_{h\,max}(t) \quad (۶)$$

$$0 \le P_e(t) \le N_e.P_{e\,max}(t) \quad (۷)$$

معادله ۸ توان الکتریکی موجود در ESS درهر لحظه از زمانt را بیان می‌کند که برابر است با مقدار انرژی باقیمانده از لحظه t-1 به اضافه تفاوت شارژ و دشارژ در لحظهt. معادلات ۹ تا ۱۲ قیود شارژ و دشارژ و حد ظرفیت و رابطه توان خروجی و ورودی ذخیره ساز الکتریکی با بار الکتریکی را نشان می‌دهد.

$$ESS(t): \quad SOC_t = SOC_{t-1} + \left(P_t^c \eta_c - \frac{P_t^d}{\eta_d}\right)\Delta_t \quad (۸)$$

$$\text{Constraints}: \quad P_{min}^c \le P_t^c \le P_{max}^c \quad (۹)$$

(۱۰)

[DOR: 20.1001.1.23222468.1400.10.4.3.4]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 10 -No. 4 - Winter 2022
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

$$P^d_{min} \le P^d_t \le P^d_{max} \quad (۱۱)$$

$$SOC_{min} \le SOC_t \le SOC_{max} \quad (۱۲)$$

$$\sum_g P_{g,t} + P^d_t \ge L_e - P^c_t$$

معادله ۱۳ توان حرارتی TES در هر لحظه از زمان t را بیان می‌کند که برابر است با مقدار انرژی باقیمانده از لحظه t-1 به اضافه تفاوت شارژ و دشارژ شدن انرژی گرمایی در لحظه t. معادلات ۱۴ تا ۱۷ قیود شارژ و دشارژ و حد ظرفیت و رابطه توان خروجی و ورودی ذخیره ساز حرارتی با بار حرارتی را نشان می‌دهد. مقادیر در نظر گرفته شده برای TES مورد نظر این مقاله، در جدول ۱ آورده شده است

$$TES(t): \quad TH_{t+1} = TH_t + \left(\eta_{ch} P^{ch}_t - \frac{P^{dch}_t}{\eta_{dch}}\right)\Delta_t \quad (۱۳)$$

$$\text{Constraints}: \quad P^{ch}_{min} \le P^{ch}_t \le P^{ch}_{max} \quad (۱۴)$$

$$P^{dch}_{min} \le P^{dch}_t \le P^{dch}_{max} \quad (۱۵)$$

$$TH_{min} \le TH_t \le TH_{max} \quad (۱۶)$$

$$\sum_g P_{g,t} + P^{dch}_t \ge L_h - P^{ch}_t \quad (۱۷)$$

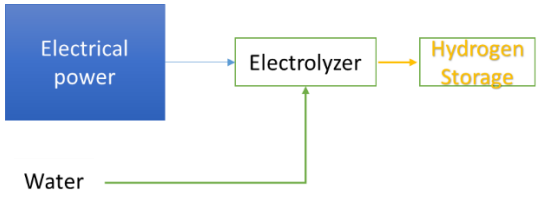
مقادیر در نظر گرفته شده برای ESS و TES در جدول زیر آورده شده است: [۴]

جدول ۱: مقادیر ذخیره ساز های حرارتی و الکتریکی

ESS parameter	Value	TES parameter	Value
SOC_0	100	TH_0	100
SOC_{max}	300	TH_{max}	300
P^d_{max}	0.2 SOC_{max}	P^{dch}_{max}	0.2 TH_{max}
P^d_{min}	0	P^{dch}_{min}	0
P^c_{max}	0.2 SOC_{max}	P^{ch}_{max}	0.2 TH_{max}
P^c_{min}	0	P^{ch}_{min}	0
η_c	95%	η_{ch}	95%
η_d	90%	η_{dch}	95%

۲-۲-۱- مدلسازی سیستم تولید هیدروژن

هیدروژن به عنوان حامل انرژی کلیدی سیستم، نقش بسیار مهمی در تولید توان و تولید حامل گازی دارا می باشد. از منظر اقتصادی برای تولید هیدروژن مورد نیاز اضافه توان تولیدی سیستم بادی و خورشیدی(توان الکتریکی اضافه پس از پاسخگویی به بار الکتریکی) برای تولید هیدروژن در داخل الکترولایزر مورد استفاده قرار می‌گیرد. اما در اینجا در راستای کاهش آلودگی در مواقع کم بار شبکه نیز از نیروی الکتریکی شبکه برای تولید هیدروژن مورد نیاز سیستم ریفورمر متان استفاده می‌شود. الکترولایزر برای تولید هیدروژن به توان الکتریکی و آب نیاز دارد. آب به عنوان ماده اصلی در تولید هیدروژن نقش بسزایی در هاب انرژی ایفا می‌کند، برای تولید هیدروژن در داخل الکترولایزر به آب نیاز می‌باشد . بخشی از این آب از طریق ورودی های سیستم هاب تامین می‌شود، بخش دیگر نیز در اثر فرایند شیمیای تولید توان داخل سلول سوختی و همچنین فرایند تولید متان داخل ریفورمرتامین می‌شود.



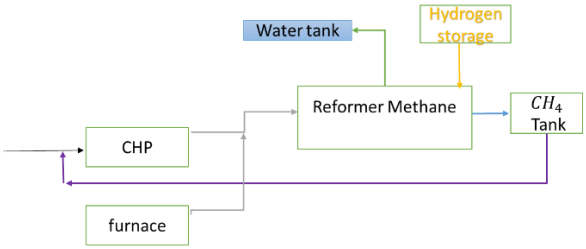
شکل ۲ سیستم تولید هیدروژن

معادله (۱۸) مقدار هیدروژن ذخیره شده را نشان می‌دهد. همانطور که در [۵] آمده است انرژی لازم برای تولید ۱ کیلوگرم هیدروژن توسط الکترولایزر برابر 41.97 Kwh می‌باشد از معادله (۱۹) مقدار هیدروژن مورد نیاز در ریفورمرمتان برای تولید ۱ کیلوگرم متان برابر ۰,۱۸۱۸ کیلوگرم می باشد[۶].

$$HSC(t) = HSC(t-1) + HPE(t) \times etah_E - HUFC(t) - HUMR(t) \quad (۱۸)$$

۲-۲-۲ مدلسازی سیستم تولید متان

در سال های اخیر از ریفرم متان برای تبدیل گاز متان به هیدروژن استفاده می شود. کاربرد دیگر آن در تبدیل هیدروژن به متان می‌باشد که این کار به دلیل نیاز به دمای بالا جهت انجام واکنش شیمیایی مقرون به صرفه نبوده است. اما با پیشرفت تکنولوژی و استفاده از کاتالیزور های جدید از ریفرمر متان در دمای پایین و به صورت اقتصادی استفاده گردید، یک از نمونه کاربرد های این ریفورمر ها نیز در ایستگاه‌ها و سفینه‌های فضایی می‌باشد. از این رو از این ریفورمرمتان میتوان در داخل هاب انرژی استفاده نمود. خروجی حاصل از سوخت نفت کوره و همچنین خروجی CHP دارای ترکیبات فراوانی می باشد که موجب الودگی محیط زیست میگردد. یکی از این ترکیبات CO2 می باشد.



شکل ۳ اتصالات مبدل *CO2* به متان مدل پیشنهادی

با توجه به معادله (۱۹) مشاهده می‌شود خروجی معادله منجر به تولید گاز متان به عنوان منبع اصلی تولید انرژی می شود. همچنین از آنجایی که این مقدار CO_2 جزو آلاینده‌ها می‌باشد با جذب این ماده ضریب جریمه سیستم نیز کاهش می‌یابد. به دلیل اینکه تمرکز اصلی بر روی انرژی می‌باشد پخش بار سیستم آبی در نظر گرفته نشده است. حال آنکه خروجی reformer نیز آب می با شد و می‌تواند تانک آب را پر نماید. با توجه به ظرفیت مولی و CO_2 و H_2 بر حسب گرم بر مول نسبت ترکیب این دو ماده محاسبه شده و به مقدار گرم جذب شده از

[DOR: 20.1001.1.23222468.1400.10.4.3.4]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 10 -No. 4 - Winter 2022
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

CO_2 از هیدروژن نیز استفاده می‌شود. از طرفی با توجه به منبع [۷] ظرفیت تولید CO_2 در CHP مشخص برابر است با ۱۱۶/۹ Lb بر MMBTU که با تبدیل به سیستم SI برابر ۰/۱۸ کیلوگرم بر کیلووات ساعت می‌باشد ظرفیت تولید ریفورمر متان برابر ۸۰ درصد می‌باشد که با محاسبه ظرفیت گرمایی متان و بازده سیستم ۱۵,۲ کیلووات ساعت برکیلوگرم ظرفیت تولید توان متوسط متان می‌باشد. بر طبق منبع [۸] به ازای هر لیتر سوخت کوره ۱۱/۸۴ کیلو وات ساعت انرژی تولید می‌شود و مقدار ۳/۱۷۸ کیلوگرم کربن دی اکسید آزاد می‌شود که معادل ۰/۲۶۸ کیلوگرم بر هر کیلووات ساعت توان تولیدی سوخت کوره می‌باشد.

$$CO_2 + 4H_2 = CH_4 + 2H_2O \qquad (۱۹)$$

۲-۲-۳ مدل سازی CO_2

مقدار CO_2 جذب شده از خروجی CHP و کوره حرارتی (دارای سوخت نفت کوره*) که به اختصار (ACA) نامیده شده در معادله (۲۰) آورده شده است. بر طبق جرم مولکولی هر یک از اجزای معادله (۱۹) به ازای هر کیلوگرم از کربن دی اکسید ورودی به ریفورمر با در نظر گرفتن بازده ۰/۹۶ ریفورمر، مقدار ۳۶۴۵ /۰ کیلوگرم گاز متان تولید می شود. توان تولیدی توسط متان مصرفی($P_{inj}(t)$) سیستم ۵,۳۲۶ برابر CO_2 جذب شده بدست می‌آید.

$$ACA(t) = 0.8 \times (0.181\left(\frac{Kg}{Kwh}\right) \times P_{gas}(t)(Kwh) + 0.268\left(\frac{Kg}{Kwh}\right) \times P_{Furnace}(t)(Kwh)) \qquad (۲۰)$$

جدول ۲ شامل مقادیر در نظر گرفته شده برای شبیه‌سازی در نرم‌افزار گمز و متلب می‌باشد و مقادیر توان بادی و خورشیدی از طریق فرمول های زیر بدست می‌آیند:

برای محاسبه توان خورشیدی داریم: [۹]

$$P_s = f(x) = \begin{cases} (\frac{S}{S_r})P_{S-rated}, & 0 \le S \le S_r \\ P_{S-rated}, & S \ge S_r \end{cases} \qquad (۲۱)$$

که در آن S شدت تابش و S_r شدت تابش برای حداکثر توان است و برای محاسبه توان بادی داریم:

$$P^w(v) = \begin{cases} 0 & if\ v \le v_{in}^c\ \ or\ \ v \ge v_{out}^c \\ \frac{v - v_{in}^c}{v_{rated} - v_{in}^c} P_r^w & if\ \ v_{in}^c \le v \le v_{rated} \\ P_r^w & if\ \ v_{rated} \le v \le v_{out}^c \end{cases} \qquad (۲۲)$$

که در آن V_{in} سرعت Cut in و V_{out} سرعت Cut out باد می باشد. P_r^w نیز توان نامی تولیدی می‌باشد. مقادیر بدست آمده برای توان بادی و خورشیدی بدست آمده از معادلات ۲۱ و ۲۲ در جدول ۴ آورده شده است.

جدول۲: مقادیر پارامترهای مدل سازی مدل پیشنهادی

Ne	0.9	a	1
N_{pv}	0.8	b	12
N_{wind}	0.7	c	0.12
N_{chpe}	0.4	α	3
N_{chph}	0.35	β	5
Nh	0.95	γ	0.5
$\mathbf{E_{stb}}$	150	$\mathbf{e^-_{e\ discharge}}$	0.9
h_{stb}	150	$e^+_{h\ charge}$	0.98
$P_{e\ max}$	800	$e^-_{h\ discharge}$	0.98
$P_{g\ max}$	1800	V^c_{in}	4
$P_{h\ max}$	800	V^c_{out}	30
$e^+_{e\ charge}$	0.95	V_{rated}	15
$\mathbf{S_r}$	1000	$\mathbf{S_r}$	1000
$P_{S-rated}$	50	$P_{S-rated}$	50
Fuel cost	6	Fuel cost	6

جدول ۳: مقادیر درنظر گرفته شده

hour	Le	Lh	Wind Speed	Solar radiation
1	786/623	570/453	11/603	0
2	327/642	675/346	9/063	0
3	698/208	445/24	12/167	0
4	361/955	337/105	9/234	0
5	1015/51	432/551	15/088	0
6	586/828	625/725	11/01	0
7	831/909	631/993	13/953	453/463
8	672/026	638/53	13/47	817/694
9	882/365	575/465	15/426	957/05
10	658/186	609/489	10/352	454/566
11	928/608	537/985	12/064	673/964
12	990/466	682/997	11/154	611/413
13	1231/67	442/022	10/505	354/522
14	758/936	638/893	16/489	249/063
15	276/714	497/612	8/095	622/552
16	598/843	553/293	12/948	130/401
17	1143/05	649/486	11/003	143/227
18	541/16	702/186	11/119	753/55
19	1045/42	468/469	10/211	0
20	837/851	726/196	15/419	0
21	1163/42	661/121	13/214	0
22	320/727	582/229	12/114	0
23	758/049	568/428	8/588	0
24	507/505	566/002	10/164	0

* Fuel Oil

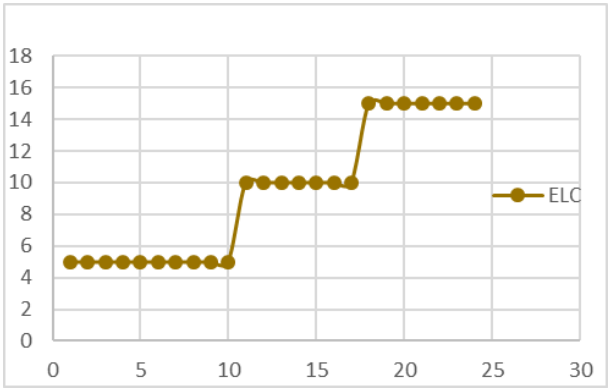
[DOR: 20.1001.1.23222468.1400.10.4.3.4]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 10 -No. 4 - Winter 2022
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

جدول ۴: توان بادی و خورشیدی

Hour	Pwind	Ppv
1	69/11	0
2	46/025	0
3	74/238	0
4	47/58	0
5	100	0
6	63/719	0
7	90/477	22/674
8	86/084	40/885
9	100	47/853
10	57/74	22/729
11	73/308	33/699
12	65/028	30/571
13	59/133	17/7
14	100	12/5
15	37/226	31/1
16	81/337	6/52
17	63/658	7/16
18	64/715	37/7
19	56/463	0
20	100	0
21	83/763	0
22	73/761	0
23	41/705	0
24	56/032	0

۲-۲-۴- تغییرات قیمت سه سطحی برای ساعات کم باری، میان باری و پیک مصرف

همانند شکل ۴، برای قیمت انرژی الکتری متناسب با ساعت مصرف، سه محدوده زمانی قیمت در نظر گرفته شده که شامل کم باری، میان‌باری و پرباری شبکه برق می‌باشد. هرچه ساعت مصرف به محدوده پر باری و پیک شبکه نزدیک‌تر باشد قیمت در نظر گرفته شده افزایش می‌یابد. محدوده کم‌باری بهترین زمان برای استفاده از انرژی با هدف شارژ ذخیره سازها و هیدروژن تولیدی توسط الکترولایزر می‌باشد.

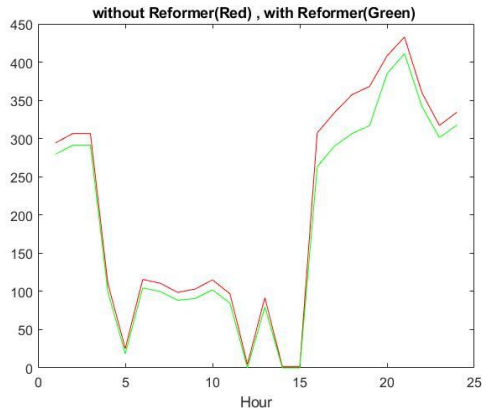


شکل ۴ تغییرات قیمت سه سطحی

۳- بررسی نتایج شبیه سازی

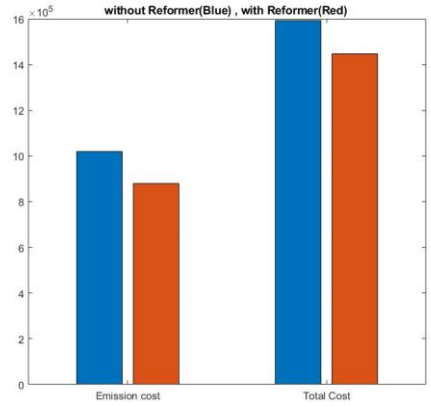
۳-۱ بررسی اثر اصلاح کننده (ریفورمر)

مقدار متان تولیدی به مقدار دی اکسید کربن جذب شده، مقدار هیدروژن تولید شده و مقدار توان اضافی فراهم شده برای الکترولایزر بستگی دارد. بدلیل تغییرات بار ، مقدار انرژی اضافی مرتباً تغییر می‌نماید و در نتیجه مقدار هیدروژن تولیدی الکترولایزر متغیر می‌باشد. با اضافه کردن تعداد نیروگاه خورشیدی و بادی و افزایش توان اضافه تولیدی، مقدار هیدروژن مورد نیاز برای استفاده از حداکثر ظرفیت تولید متان فراهم می شود. از سوی دیگر ممکن است این تغییر موجب کاهش استفاده از CHP گردد و مقدار CO_2 بدست آمده تنها از طریق سوخت کوره بدست آید که این نیز موجب کاهش نقش تغییر قیمت به دست متان تولیدی برای CHP می‌گردد. با توجه به شکل ۵ استفاده از سیستم اصلاح کننده متان منجر به کاهش مصرف گاز از شبکه و کاهش هزینه تولید CHP می‌شود. علاوه بر این، با توجه به شکل ۶، تغییر شکل دی اکسید کربن از آلودگی به سوخت متان منجر به کاهش ۰۸/ ۹درصد هزینه آلودگی و کاهش هزینه کل به میزان ۱۳/۵۷ درصد شده است.



شکل ۵ مقایسه میزان مصرف گاز شبکه با استفاده از اصلاح کننده متان

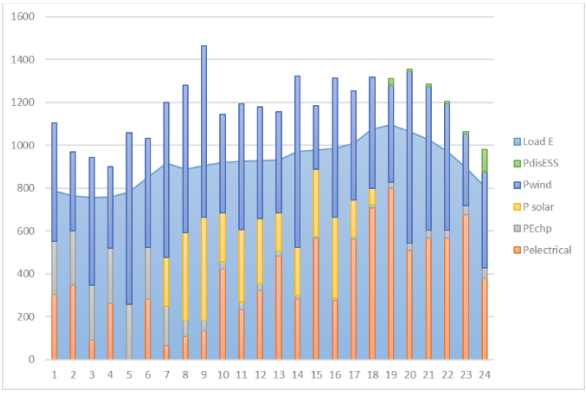
[DOR: 20.1001.1.23222468.1400.10.4.3.4]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 10 -No. 4 - Winter 2022
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]



شکل ۶ مقایسه قیمت تمام شده و هزینه آلودگی سیستم دارای اصلاح-کننده متان

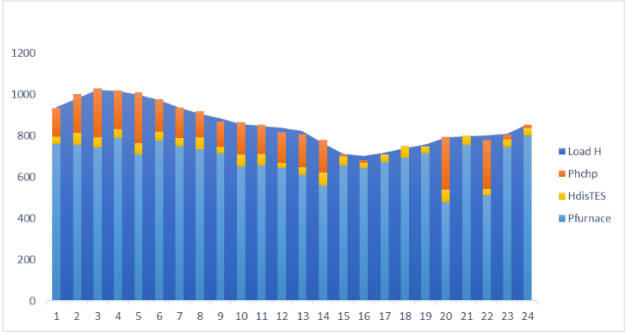
۳-۲ پاسخ تقاضای بار:

بار الکتریکی مورد نیاز در سیستم یکپارچه انرژی بعد از انجام محاسبات با اولویت استفاده حداکثری از منابع تجدیدپذیر از طریق شکل از طریق زیر بدست می‌آید.



شکل۷ پاسخ تقاضای بار الکتریکی

بار حرارتی مورد نیاز در سیستم یکپارچه انرژی بعد از انجام محاسبات با اولویت استفاده حداکثری از منابع تجدیدپذیر، فراهم نمودن توان الکتریکی الکترولایزر برای تولید هیدروژن از طریق نیروی برق و جذب Co_2 خروجی از سیستم تولید همزمان برق و حرارت و کوره حرارتی همانند شکل زیر طریق زیر بدست می‌آید.

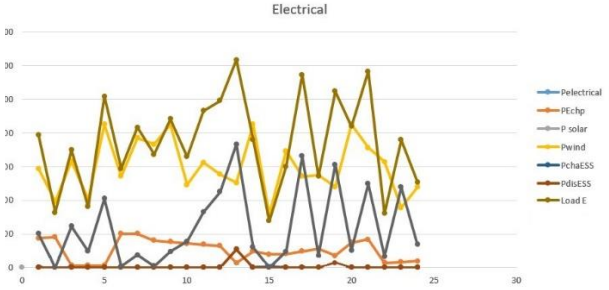


شکل ۸ پاسخ تقاضای بار حرارتی

† NET ZERO EMISSION

۳-۳ عملکرد منفصل از شبکه برق

یکی از قابلیت های دیگر هاب انرژی توانایی عملکرد مستقل از شبکه الکتریکی می‌باشد. همانطور که در شکل ۹ مشاهده می شود در مواقع قطع شبکه برق، هاب انرژی پیشنهادی، با در اختیار داشتن منابع تجدیدپذیر و ظرفیت های تولید موجود می‌تواند در صورت نیاز توان مصرفی خورا تامین نماید. همانطور که بیان شد، منابع تجدید پذیر دارای عدم قطعیت می باشند، به همین دلیل استفاده از CHP در کنار این منابع با اهمیت می‌باشد در این صورت در تولید توان الکتریکی مقدار CO2 جذب شده تو سط ریفورمر نیز افزایش می‌یابد و این افزایش ظرف یت همراه با بر نا مه ریزی افزایش ه یدروژن مورد استفاده ریفورمر، باعث افزایش تولید متان میگردد. لذا تاثیر حضور ریفورمر در کاهش هزینه تولید بسیار چشمگیرتر خواهد شد.



شکل ۹ پاسخگویی بار منفصل از شبکه

۳-۴ بررسی آلودگی شبکه صفر†

در یک سیستم یکپارچه انرژی هنگامی که تمام آلودگی باستفاده از منابع تجدید پذیر صفر شود، به آن اثر آلودگی صفر می‌گویند. برای رسیدن به این هدف باید مجموع هزینه جریمه آلودگی با هزینه منفی انرژی تولید شده از انرژی های تجدید پذیر، صفرگردد به این صورت هزینه کل آلودگی صفر می‌شود که به آن در اصطلاح آلودگی صفر شبکه می‌گویند .

مقدار آلودگی صفر شبکه برای هر ساعت فرق دارد و بر ا ساس مقدار هزینه آلودگی در آن ساعت م شخص می شود. از مقدار آلودگی صفر شبکه می توان به صورت مستقیم برای کاهش هزینه‌های سیستم ا ستفاده نمود و یا با فروش برق ا ضافی به شبکه و یا به صورت محلی، می‌توان مجموع هزینه های آلودگی را صفر نمود. در واقع این قید برای عملکرد اقت صادی سی ستم در نظر گرفته شده ا ست که کارآن صفر نمودن هزینه های الودگی است و یا اینکه با ایجاد راهکاری همچون بهره‌برداری از کوره حرارتی خورشیدی و... بار حرارتی جایگزین در شبکه را نیز تامین نمود و با این کار مقدار آلودگی تولیدی در شبکه به کل صفر می‌شود که این عمل نیازمند قیود مربوط به خود می‌باشد. دراینجا مساله هزینه مورد بررسی قرار گرفته است.

به عنوان قید:

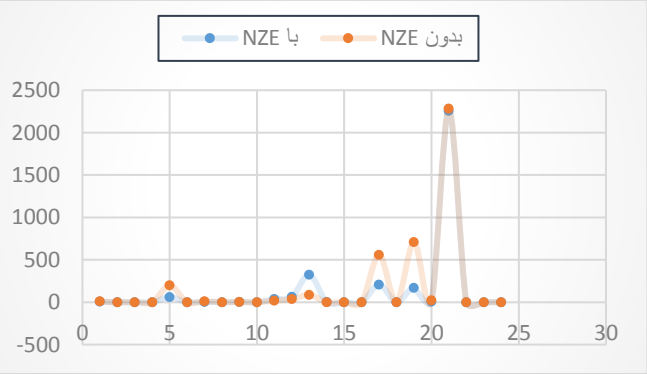
$$\left(\alpha+\beta P_g(t)+\gamma P_g^2(t)+\alpha+\beta P_{gazolin}(t)+\gamma P_{gazolin}^2(t)\right)+NZE=0 \quad (۲۳)$$

[DOR: 20.1001.1.23222468.1400.10.4.3.4]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 10 -No. 4 - Winter 2022
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

۳-۵ تفسیر نتایج معادلات بر روی تغییرات گاز مصرفی

همانطور که از شکل (۱۰) مشخص می باشد، در ساعات اولیه‌ی روزکه امکان استفاده از نیروگاه خورشیدی میسر نیست، هر چقدر تعداد نیروگاه های خورشیدی را بیشترکنیم باز هم تاثیری در کاهش حجم گاز مصرفی ندارد، اما هر چقدر به ظهر نزدیک می‌شویم ، رفته رفته بر میزان تولید توان نیروگاه های خور شیدی افزوده شده و میزان گاز مصرفی کاهش می‌یابد. این روند تا نزدیک غروب ادامه دارد و بعد از آن مجدداً استفاده از نیروگاه خورشیدی کم شده و با کاهش نور خورشید، میزان تولید انرژی به سمت صفر می‌رود.

با تفسیر نتیجه فوق متوجه می‌شویم وجود قید آلودگی صفر شبکه، می‌تواند میزان استفاده از حامل هایی که دارای الودگی هستند را باز هم کاهش داده و علاوه بر کاهش هزینه‌ها، باعث کاهش آلودگی می‌شود.



شکل ۱۰ مقایسه حالت NZE و بدون NZE بر روی مصرف گاز

۴- نتیجه گیری :

در این مقاله یک سیستم یک پارچه انرژی جدید معرفی گردید که با استفاده از ریفرمر متان نسل جدید، قادر است در دمای پایین، بخش زیادی از co_2 تولیدی در خروجی سیستم تولید برق و حرارت همزمان و همچنین خروجی کوره حرارتی با سوخت کوره را جذب نموده و تبدیل به متان مورد نیاز CHP گرداند. همچنین مشاهده شد با این کار آلودگی به مقدار ۹،۰۶ درصد و هزینه کلی سیستم به مقدار ۱۳،۵۷ در صد کاهش یافته است. در این سیستم مدیریت هوشمند اولویت استفاده از منابع تجدیدپذیر مطرح می‌باشد همچنین در ساعات کم‌باری می‌توان منابع ذخیره انرژی الکتریکی موجود در سیستم شارژ شود و در ساعات اوج مصرف به کمک تامین انرژی مورد نیاز مصرف کنندگان و تامین بخشی از انرژی الکترولایزر برای تولید هیدروژن گردد. در قسمت تفسیر نتایج مشخص گردید سیستم مدیریت هوشمند هاب انرژی توانست بنا بر مقدار مصرف در هر ساعت و همچنین مقدار منابع هیدروژن و متان موجود در ذخیره ساز ها در ساعت قبل، میزان بهینه استفاده از هر یک از حامل‌های انرژی با هدف کمینه نمودن الودگی را بدست آورد. از نتایج دیگر سیستم مدیریت هوشمند انرژی تاثیر مستقیم بر مقدار مصرف حامل گازی گرفته شده از شبکه گازی دارد. نشان داده شد این مدل توانسته مقدار گاز مصرفی سیستم را نیز به مقدار مناسبی کاهش دهد. در قسمت منفصل از شبکه این سیستم توانسته با تامین بخشی از متان مورد نیاز در سیستم تولید برق و حرارت همزمان و همچنین استفاده از منابع تولید پراکنده بخش زیادی از نیاز بارهای حساس را کاهش دهد. همانطور که در این مقاله بیان شد، سیستم یکپارچه انرژی توانست تمامی پارامتر ها را بهینه نماید و به مقدار قابل توجهی الودگی تولیدی حامل های انرژی را کاهش دهد.

۵- مراجع

[۱] M. A. Vahid Amir, "Dynamic Multi-Carrier Microgrid Deployment Under Uncertainty," *Applied Energy*, vol. 260, no. 114293, pp. 1-20, 2020.

[۲] S. J. M. E. Vahid Amir, "Optimal Design of a Multi-Carrier Microgrid (MCMG) Considering Net Zero Emission," *Energies*, 2019.

[۳] S. A. T. S. A. T. Hamidreza Zafarani, "Robust Operation of a Multicarrier Energy System Considering EVs and CHP Units," *Energy*, no. 116703, 2020.

[٤] N. A. Shima Rahmani, "Optimal operation strategy for multi-carrier energy systems including various energy converters by multi-objective information gap decision theory and enhanced directed search domain method," *Energy Conversion and Management*, vol. 198, no. 111804, 2019.

[٥] A. Soroudi, Power System Optimization Modeling in GAMS, 2017.

[٦] S. M. H. P. B. Mohammad Saadatmandi, An Optimal Operation Model for Multi-carrier Energy Grids, 2021, p. 68.

[٧] O. E. G. Finnveden, "Energy Recovery from Waste Incineration—The Importance of Technology Data and System Boundaries on CO2 Emissions," *Energies*, vol. 10, p. 539, 2017.

[٨] E. &. I. S. Department for Business, "Government conversion factors for company reporting of greenhouse gasemissions," https://www.gov.uk/government/collections/government-conversion-factors-for-company-reporting.

[٩] A. Soroudi, Power System Optimization Modeling in GAMS, Belfield: Springer, Cham, 2017.

[١٠] G. K. P. F.-P. B. K. G. A. K. F. Martin Geidl, "Energy hubs for the future," *IEEE Power and Energy Magazine*, vol. 5, no. 1, 2007.

[DOR: 20.1001.1.23222468.1400.10.4.3.4]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 10 -No. 4 - Winter 2022
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

رزومه



غلامر ضا سرلک در تهران متولد شـده اسـت (۱۳۶۸)، تحصیلات دانشگاهی خود را در مقطع کارشناسی مهندسی برق- قدرت از دانشگاه آزاد اســـلامـی واحـد تـهـران جـنـوب (۱۳۹۱)، کارشناسی‌ارشد مهندسی برق- قدرت از دانشگاه آزاد ا سلامی واحد جا سب (۱۳۹۳)ک سب کرده اسـت. وی چندین مقاله در مجلات و کنفرانس در زمینه بهینه سـازی سـیسـتم های یکپارچه انرژی دارد. از سـال ۱۳۹۴ با مرتبه مربی در دانشـگاه آزاد اسـلامی تدریس می نماید. فعالیت‌های پژوهشـی و علاقه‌مندی ایشان در زمینه سیستم های یکپارچه انرژی ، بهینه سازی و بهره‌برداری از سیستم‌های قدرت و هوشمندسازی می باشد و در حال حاضـر دانشـجوی دکترای برق دانشـگاه آزاد اسـلامی واحد قزوین می‌باشد.



جواد علمایی در قم متولد شـده اسـت. تحصـیلات دانشـگـاهی خود را در مقطع کارشـنـاسـی مهندسـی برق از دانشـگاه تبریز(۱۳۶۷)، کارشناسی‌ارشد مهندسی برق از دانشـگـاه امیرکبیر(۱۳۷۱) و دکتری مهندسـی برق از دانشـگاه آزاد اسـلامی واحدعلوم تحقیقات(۱۳۸۶) سـپری کرده اسـت. وی از سـال ۱۳۷۶ تا ۱۳۸۸ با مرتبه مربی، تا سال ۱۳۹۶ با مرتبه استادیار و از سال ۱۳۹۶ با مرتبه دانشـیار در دانشـگاه آزاد اسـلامی واحد تهران جنوب فعالیت دا شته ا ست. وی ع ضو ار شد IEEE و نویسنده بیش از ۱۲۰ مقاله در مجله و کنفرانس اسـت. سـوابق آموزشـی و تحقیقاتی ایشـان شـامل سیستم توزیع برق، سیستم اتوماسیون توزیع، ریزشبکه ها، انرژی های تجدیدپذیر ، برنامه ریزی و کنترل توان راکتیو است.



محمد دو سرانیان مقدم در تهران متولد شده اسـت. تحصـیلات دانشـگاهی خود را در مقطع کارشناسی مهندسی برق- الکترونیک از دانشگاه آزاد ا سلامی واحد قزوین(۱۳۸۱)، کار شنا سی- ارشـد مهندسـی برق- مخابرات از دانشـگاه فردو سی م شهد (۱۳۸۴) و دکتری مهند سی برق- مخابرات از دانشـگاه آزاد اسـلامی واحدعلوم تحقیقات(۱۳۹۰) سپری کرده است. فعالیت‌های پژوهشی و علاقه‌مندی ایشان در زمینه پردازش سیگنال و بهینه سازی محدب است و در حال حاضر استادیار گروه مهندسی برق دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین می‌باشد.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

[DOR: 20.1001.1.23222468.1400.10.4.3.4]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 10 -No. 4 - Winter 2022

Intelligent pollution management in an integrated energy system

Gholamreza Sarlak[1], Javad Olamaei[2]*, Mohamad Dosaranian-Moghadam[3]

1- PhD student - Faculty of Electrical, Biomedical and Mechatronics Engineering, Qazvin Branch, Islamic Azad University. Qazvin. Iran, gh.sarlak@qiau.ac.ir
2- *Associate Professor - Department of Electrical Engineering, Islamic Azad University, South Tehran Branch, Tehran, Iran, j_olamaei@azad.ac.ir
3- Assistant Professor - Faculty of Electrical, Biomedical and Mechatronics Engineering, Qazvin Branch, Islamic Azad University. Qazvin. Iran, m_dmoghadam@qiau.ac.ir

Abstract: Energy carriers are addressed today as one of the main pillars of energy generation due to the increased growth of industries in developed and developing countries. According to the global view, increased consumption of energy carriers is causing an increase in the production of greenhouse gases, the global average temperature, and this, in turn, results in the quicker melting of ice in Antarctica. Moreover, increased pollution stemming from the consumption of fossil fuels for generating electricity is causing numerous problems for industrial cities, photochemical smog, and numerous lung diseases for humans and often living organisms. For the above reasons, using methods to minimize the consumption of energy carriers and applying renewable energy in order to reduce the extent of generated pollution is highly important. Using integrated energy systems (IES) may help manage energy resources in a proper manner and minimize the extent of pollution. This article has proposed a smart management system of an energy hub that includes an input (consisting of fossil fuels, renewable energy, and electricity grid) and output (consisting of consumers). Not only is the proposed system capable of managing energy carries and maximizing the use of renewable energies, but also capable of absorbing high levels of generated CO2 and transforming it to gas energy carries in addition to saving energy. Such an approach has caused the reduction of CO2 level and its derivatives inside the energy hub and also, reduction of the total cost of the system and this is because a part of gas fuel needed by the system is supplied. This article has shown that using such a system reduces the cost stemming from system pollution generation by 9.08% and the total cost of the system by 13.57%.

Keywords: Integrated energy system; Smart pollution management; Renewable energy; Methane reformer

[DOR: 20.1001.1.23222468.1400.10.4.3.4]
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 10 -No. 4 - Winter 2022