

مدیریت هوشمند آلودگی در سیستم یکپارچه انرژی

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

۱- دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی برق، پزشکی و مکترونیک، 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 مکترونیک، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران،

m_dmoghadam@qiau.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۰۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۲۹

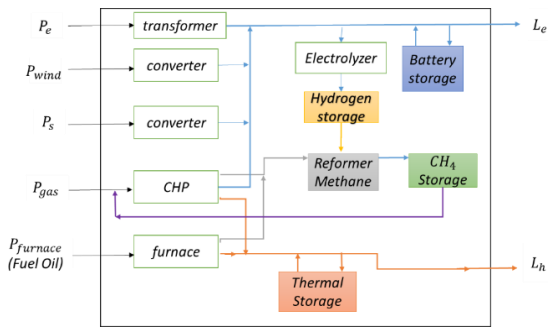
چکیده: امروزه با رشد روز افزون صنایع در کشورهای در حال توسعه و پیشرفته، استفاده از حامل‌های انرژی به عنوان یکی از ارکان اصلی تولید انرژی مطرح می‌شود. از دیدگاه جهانی افزایش مصرف حامل‌های انرژی موجب افزایش تولید گازهای گلخانه‌ای، افزایش متوسط دمای کره زمین و به تبع آن افزایش سرعت آب شدن یخ‌های قطبی می‌شود. همچنین افزایش آلودگی ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی در سیستم‌های تولید توان موجب مشکلات روزافزون شهرهای صنعتی، مه دود فتوشیمیایی و بیماری‌های تنفسی متعدد برای انسان‌ها و گاه‌ها 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 بهتر 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 اکسید کربن تولیدی را جذب نموده و علاوه بر 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 می‌دهد.

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

۱- معرفی

انرژی تولیدی دارا می‌باشند. افزایش نیاز به حامل‌های انرژی و کمبود منابع انرژی جهانی سبب گشته 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: سیستم تولید همزمان برق و حرارت (CHP)، ترانسفورماتور، کوره حرارتی می‌باشد. ورودی‌های سیستم: انرژی الکتریکی، گاز طبیعی و

با رشد روز افزون قیمت حامل‌های انرژی و محدودیت منابع فسیلی توجه ویژه‌ای به انرژی‌هایی که قابلیت انتقال و سازگاری بیشتر با محیط زیست و همچنین قیمت تمام شده‌ی کمتر همراه با بازدهی انرژی بالاتری را دارا می‌باشند، گردید. حامل‌های انرژی به عنوان مواد اولیه و خام تولید کننده‌ی انرژی نقش بسزای در قیمت تمام شده‌ی



شکل ۱- هاب انرژی پیشنهادی

۲-۲ مدل ریاضی هاب

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

$$\begin{bmatrix} L_e(t) \\ L_h(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N_e & N_{pv} & N_{wind} & N_{chpe} \\ 0 & 0 & 0 & N_{chph} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{elec}(t) \\ P_s(t) \\ P_{wind}(t) \\ P_{CHP}(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} ESS(t) \\ TES(t) \end{bmatrix} \quad (1)$$

که در آن N_e بازده ترانس انتقال توان از خط انتقال، N_{pv} بازده تولید توان توسط پنل های خورشیدی، N_{wind} بازده تولید توان بادی توربین های 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.

$$0 \leq P_g \text{ Electrical}(t) \leq N_{chpe} \cdot P_g \text{ max}(t) \quad (2)$$

$$0 \leq P_g \text{ heat}(t) \leq N_{chph} \cdot P_g \text{ max}(t) \quad (3)$$

$$0 \leq P_s(t) \leq N_{pv} \cdot P_s \text{ max}(t) \quad (4)$$

$$0 \leq P_w(t) \leq N_{wind} \cdot P_w \text{ max}(t) \quad (5)$$

$$0 \leq P_h(t) \leq N_h \cdot P_h \text{ max}(t) \quad (6)$$

$$0 \leq P_e(t) \leq N_e \cdot P_e \text{ max}(t) \quad (7)$$

معادله ۸ توان الکتریکی موجود در ESS 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 در لحظه t . 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.

$$ESS(t) : SOC_t = SOC_{t-1} + \left(P_t^c \eta_c - \frac{P_t^d}{\eta_d} \right) \Delta t \quad (8)$$

$$\text{Constraints} : P_{min}^c \leq P_t^c \leq P_{max}^c \quad (9)$$

$$(10)$$

سوخت های غیر گازی می باشند و در خروجی نیز الکتریسیته و حرارت بدست می آید [۱].

سیستم در نظر گرفته شده در این مقاله، یک سیستم یکپارچه انرژی با ورودی های تجدیدپذیر بادی و خورشیدی، توان الکتریکی شبکه برق، سیستم تولید همزمان برق و حرارت و کوره حرارتی می باشد. همچنین در داخل این سیستم مبدل ها و ذخیره سازهای الکتریکی، حرارتی، گاز دی اکسید کربن و گاز 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 با فرکانس ۲،۶ گیگاهرتز و رم ۱۶ گیگابایت می باشد. در ادامه ابتدا متدولوژی حل مسئله بیان می شود سپس در بخش شبیه سازی، نتایج ارائه می شود، و در انتها نتیجه گیری می گردد.

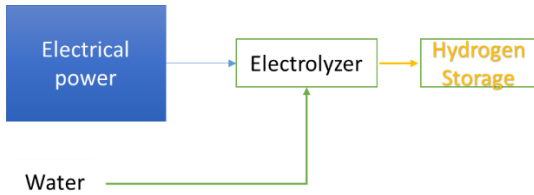
در مورد [۲] برای ساخت الودگی صفر شبکه علاوه بر نیروگاه بادی وجود نیروگاه زمین گرمایی، سلول سوختی و کوره خورشیدی برای تامین حرارت مورد نیاز تاثیر بسزایی در کاهش الودگی شبکه دارد. در [۳] یک روش مقاوم برای بهینه سازی هاب انرژی با استفاده از عدم قطعیت در منابع تجدیدپذیر، بار و خودرو برقی دیده شده است. به دلیل استفاده از خودروهای برقی و در جهت کاهش وابستگی به سیستم تولید همزمان برق و حرارت می باید از الکترو لایزر 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 [۴] یک مدل هاب انرژی با در نظر گرفتن عدم قطعیت های بادی، خورشیدی و بار، با استفاده از $IGDT$ بهینه شده است. استفاده از $IGDT$ باعث تخمین بهتر داده ها و کاهش خطا شده است اما ساختار سیستم یکپارچه انرژی یک ساختار ساده است و می توانست 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 سلول های سوختی و کوره های 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 می باشد بنابر این سرعت محاسبات بیشتر می شود.

۲-۲ متدولوژی

۲-۱-۲ مدل فیزیکی هاب

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

تولید توان داخل سلول سوختی و همچنین فرایند تولید متان داخل ریفورمرتامین می‌شود.



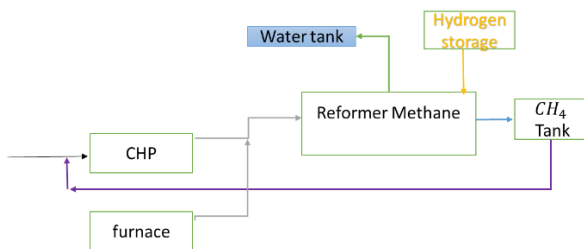
شکل ۲ سیستم تولید هیدروژن

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

$$HSC(t) = HSC(t-1) + HPE(t) \times \text{etah}_E - HUFC(t) - HUMR(t) \quad (18)$$

۲-۲-۲ مدل‌سازی سیستم تولید متان

در سال‌های اخیر از ریفورمر متان برای تبدیل گاز متان به هیدروژن استفاده می‌شود. 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 کاتالیزورهای جدید از ریفورمر متان در دمای پایین و به صورت اقتصادی استفاده گردید، یک از نمونه کاربردهای این ریفورمرها 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 می‌باشد که موجب الودگی محیط زیست میگردد. یکی از این ترکیبات CO2 می‌باشد.



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 می‌شود. همچنین از آنجایی که این مقدار CO2 جزو آلاینده‌ها می‌باشد با جذب این ماده ضریب جرمی 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 می‌باشد و می‌تواند تانک آب را پر نماید. با توجه به ظرفیت مولی و CO2 و H2 بر حسب گرم بر مول نسبت ترکیب این دو ماده محاسبه شده و به مقدار گرم جذب شده از

$$P_{min}^d \leq P_t^d \leq P_{max}^d \quad (11)$$

$$SOC_{min} \leq SOC_t \leq SOC_{max} \quad (12)$$

$$\sum_g P_{g,t} + P_t^d \geq L_e - P_t^c$$

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

$$TES(t): TH_{t+1} = TH_t + \left(\eta_{ch} P_t^{ch} - \frac{P_t^{dch}}{\eta_{ach}} \right) \Delta_t \quad (13)$$

$$\text{Constraints: } P_{min}^{ch} \leq P_t^{ch} \leq P_{max}^{ch} \quad (14)$$

$$P_{min}^{dch} \leq P_t^{dch} \leq P_{max}^{dch} \quad (15)$$

$$TH_{min} \leq TH_t \leq TH_{max} \quad (16)$$

$$\sum_g P_{g,t} + P_t^{dch} \geq L_h - P_t^c \quad (17)$$

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

جدول ۱: مقادیر ذخیره سازهای حرارتی و الکتریکی

ESS parameter	Value	TES parameter	Value
SOC_0	100	TH_0	100
SOC_{max}	300	TH_{max}	300
P_{max}^d	0.2 SOC_{max}	P_{max}^{dch}	0.2 TH_{max}
P_{min}^d	0	P_{min}^{dch}	0
P_{max}^c	0.2 SOC_{max}	P_{max}^{ch}	0.2 TH_{max}
P_{min}^c	0	P_{min}^{ch}	0
η_c	95%	η_{ch}	95%
η_d	90%	η_{dch}	95%

۲-۲-۱-۲ مدل‌سازی سیستم تولید هیدروژن

هیدروژن به عنوان حامل انرژی کلیدی سیستم، نقش بسیار مهمی در تولید توان و تولید حامل گازی دارا می‌باشد. 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 الکترولیزر 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. الکترولیزر 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 الکترولیزر به آب نیاز می‌باشد. بخشی از این آب از طریق ورودی‌های سیستم هاب تامین می‌شود، بخش دیگر نیز در اثر فرایند شیمیایی

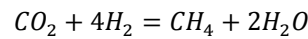
جدول ۲: مقادیر پارامترهای مدل سازی مدل پیشنهادی

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
N_h	0.95	γ	0.5
E_{stb}	150	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_{in}^c	4
P_h max	800	V_{out}^c	30
e_e⁺ charge	0.95	V_{rated}	15
S_r	1000	S_r	1000
P_{S-rated}	50	P_{S-rated}	50
Fuel cost	6	Fuel cost	6

جدول ۳: مقادیر در نظر 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

CO₂ از هیدروژن نیز استفاده می‌شود. از طرفی با توجه به منبع [۷] ظرفیت تولید CO₂ 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 بر کیلوگرم 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.



۲-۳ مدل سازی CO₂

مقدار CO₂ 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 ۰/۳۶۴۵ کیلوگرم گاز متان تولید می‌شود. توان تولیدی توسط متان مصرفی (P_{inj}(t)) سیستم ۵،۳۲۶ برابر CO₂ جذب شده بدست می‌آید.

$$ACA(t) = 0.8 \times (0.181 \left(\frac{Kg}{Kwh}\right) \times P_{gas}(t)(Kwh) + 0.268 \left(\frac{Kg}{Kwh}\right) \times P_{Furnace}(t)(Kwh)) \quad (20)$$

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

برای محاسبه توان خورشیدی داریم: [۹]

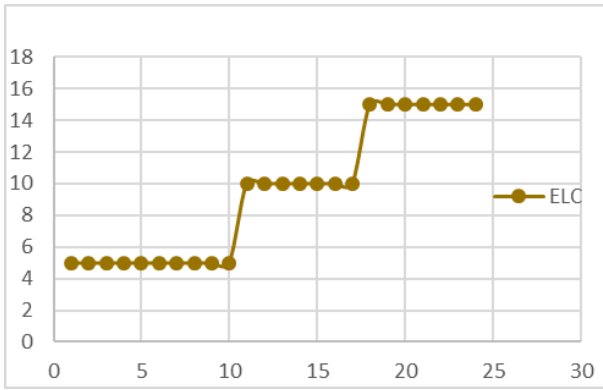
$$P_s = f(x) = \begin{cases} \left(\frac{S}{S_r}\right) P_{S-rated}, & 0 \leq S \leq S_r \\ P_{S-rated}, & S \geq S_r \end{cases} \quad (21)$$

که در آن S شدت تابش و S_r شدت تابش برای حداکثر توان

است و برای محاسبه توان بادی داریم:

$$P^w(v) = \begin{cases} 0 & \text{if } v \leq v_{in}^c \text{ or } v \geq v_{out}^c \\ \frac{v - v_{in}^c}{v_{rated} - v_{in}^c} P_r^w & \text{if } v_{in}^c \leq v \leq v_{rated} \\ P_r^w & \text{if } v_{rated} \leq v \leq v_{out}^c \end{cases} \quad (22)$$

که در آن V_{in} سرعت Cut in و V_{out} سرعت Cut out باد می‌باشد. 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.



شکل ۴ تغییرات قیمت سه سطحی

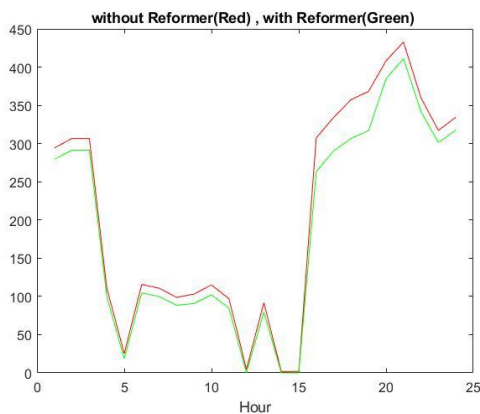
جدول ۴: توان بادی و خورشیدی

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

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 می‌شود. از سوی دیگر ممکن است این تغییر موجب کاهش استفاده از CHP گردد و مقدار CO₂ 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 ۰/۸٪ و ۹ درصد 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

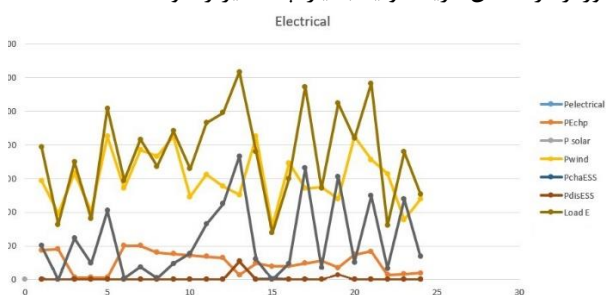
۲-۲-۴- تغییرات قیمت سه سطحی برای ساعات کم باری،

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، میان باری و پرباری شبکه برق می‌باشد. هرچه ساعت مصرف به محدوده پرباری و پیک شبکه نزدیک‌تر باشد قیمت در نظر گرفته شده افزایش می‌یابد. محدوده کم باری بهترین زمان برای استفاده از انرژی با هدف شارژ ذخیره سازها و هیدروژن تولیدی توسط الکترولایزر می‌باشد.

۳-۳ عملکرد منفصل از شبکه برق

یکی از قابلیت های دیگر هاب انرژی توانایی عملکرد مستقل از شبکه الکتریکی می باشد. 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 می تواند 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 می باشد در این صورت در تولید توان الکتریکی مقدار CO2 جذب شده توسط ریفورمر نیز افزایش می یابد و این افزایش ظرفیت همراه با برنامه ریزی افزایش هیدروژن 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

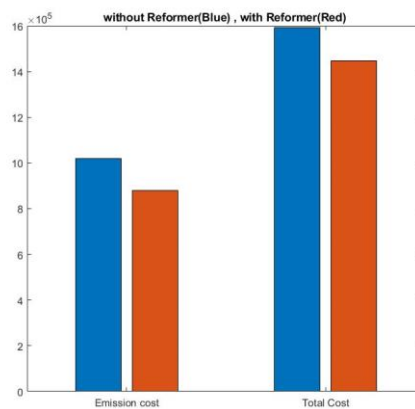
۴-۳ بررسی آلودگی شبکه صفر

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

مقدار آلودگی صفر شبکه برای هر ساعت فرق دارد و بر اساس مقدار هزینه آلودگی در آن ساعت مشخص می شود. از مقدار آلودگی صفر شبکه می توان به صورت مستقیم برای کاهش هزینه های سیستم استفاده نمود و یا با فروش برق اضافی به شبکه و یا به صورت محلی، می توان مجموع هزینه های آلودگی را صفر نمود. در واقع این قید برای عملکرد اقتصادی سیستم در نظر گرفته شده است که کار آن صفر نمودن هزینه های آلودگی است و یا اینکه با ایجاد راهکاری همچون بهره برداری 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 می شود که این عمل نیازمند قیود مربوط به خود می باشد. در اینجا مساله هزینه مورد بررسی قرار گرفته است.

به عنوان قید:

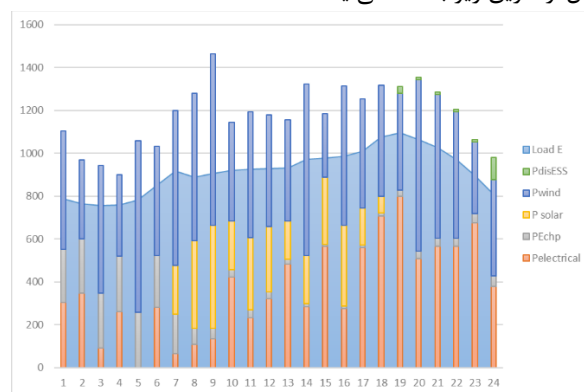
$$(\alpha + \beta P_g(t) + \gamma P_g^2(t) + \alpha + \beta P_{g\text{azolin}}(t) + \gamma P_{g\text{azolin}}^2(t)) + \text{NZE} = 0 \quad (23)$$



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

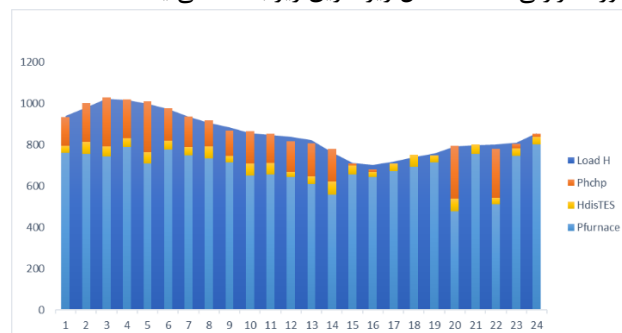
۲-۳ پاسخ تقاضای بار:

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 می آید.



شکل ۷ 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 CO2 خروجی از سیستم تولید همزمان برق و حرارت و کوره حرارتی همانند شکل زیر طریق زیر بدست می آید.



شکل ۸ پاسخ تقاضای بار حرارتی

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 پارامترها را بهینه نماید و به مقدار قابل توجهی الودگی تولیدی حامل های انرژی را کاهش دهد.

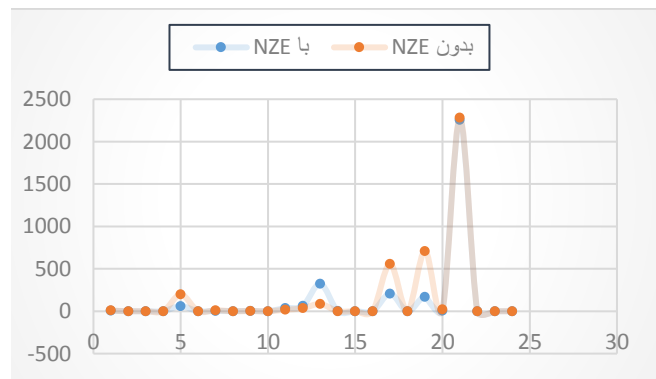
۵- مراجع

- [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.
- [۴] 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.
- [۵] A. Soroudi, *Power System Optimization Modeling in GAMS*, 2017.
- [۶] S. M. H. P. B. Mohammad Saadatmandi, *An Optimal Operation Model for Multi-carrier Energy Grids*, 2021, p. 68.
- [۷] 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.
- [۸] 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>.
- [۹] A. Soroudi, *Power System Optimization Modeling in GAMS*, Belfield: Springer, Cham, 2017.
- [۱۰] 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.

۳-۵ تفسیر نتایج معادلات بر روی تغییرات گاز مصرفی

همانطور که از شکل (۱۰) مشخص می باشد، در ساعات اولیه روز که امکان استفاده از نیروگاه خورشیدی میسر نیست، هر چقدر تعداد نیروگاه های خورشیدی را بیشتر کنیم باز هم تاثیری در کاهش حجم گاز مصرفی ندارد، اما هر چقدر به ظهر نزدیک می شویم، رفته رفته بر میزان تولید توان نیروگاه های خورشیدی افزوده شده و میزان گاز مصرفی کاهش می یابد. 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 می رود.

با تفسیر نتیجه فوق متوجه می شویم وجود قید آلودگی صفر شبکه، می تواند میزان استفاده از حامل هایی که دارای الودگی هستند را باز هم کاهش داده و علاوه بر کاهش هزینه ها، باعث کاهش آلودگی می شود.



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 ریفورمر 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 درصد کاهش یافته است. در این سیستم مدیریت هوشمند اولویت استفاده از منابع تجدیدپذیر مطرح می باشد همچنین در ساعات کمباری می توان 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 الکتروایزر 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 سازها در ساعت قبل، میزان بهینه استفاده از هر یک از حامل های 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

رزومه



غلامرضا سرلک در تهران متولد شده است (۱۳۶۸)، تحصیلات دانشگاهی خود را در مقطع کارشناسی مهندسی برق- قدرت از دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب (۱۳۹۱)، کارشناسی ارشد مهندسی برق- قدرت از دانشگاه آزاد اسلامی واحد جاسب (۱۳۹۳) کسب کرده

است. وی چندین مقاله در مجلات و کنفرانس در زمینه بهینه سازی سیستم های یکپارچه انرژی دارد. از سال ۱۳۹۴ با مرتبه مربی در دانشگاه آزاد اسلامی تدریس می نماید. فعالیت های پژوهشی و علاقه مندی ایشان در زمینه سیستم های یکپارچه انرژی، بهینه سازی و بهره برداری از سیستم های قدرت و هوشمندسازی می باشد و در حال حاضر دانشجوی دکترای برق دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین می باشد.



جواد علمایی در قم متولد شده است. تحصیلات دانشگاهی خود را در مقطع کارشناسی مهندسی برق از دانشگاه تبریز (۱۳۶۷)، کارشناسی ارشد مهندسی برق از دانشگاه امیرکبیر (۱۳۷۱) و دکتری مهندسی برق از دانشگاه آزاد اسلامی

واحد علوم تحقیقات (۱۳۸۶) سپری کرده است. وی از سال ۱۳۷۶ تا ۱۳۸۸ با مرتبه مربی، تا سال ۱۳۹۶ با مرتبه استادیار و از سال ۱۳۹۶ با مرتبه دانشیار در دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب فعالیت داشته است. وی عضو ارشد IEEE و نویسنده بیش از ۱۲۰ مقاله در مجله و کنفرانس است. سوابق آموزشی و تحقیقاتی ایشان شامل سیستم توزیع برق، سیستم اتوماسیون توزیع، ریز شبکه ها، انرژی های تجدیدپذیر، برنامه ریزی و کنترل توان راکتیو است.



محمد دو سرانیان مقدم در تهران متولد شده است. تحصیلات دانشگاهی خود را در مقطع کارشناسی مهندسی برق- الکترونیک از دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین (۱۳۸۱)، کارشناسی ارشد مهندسی برق- مخابرات از دانشگاه فردوسی مشهد (۱۳۸۴) و دکتری مهندسی

برق- مخابرات از دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات (۱۳۹۰) سپری کرده است. فعالیت های پژوهشی و علاقه مندی ایشان در زمینه پردازش سیگنال و بهینه سازی محدب است و در حال حاضر استادیار گروه مهندسی برق دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین می باشد.

Intelligent pollution management in an integrated energy system

Gholamreza Sarlak¹, Javad Olamaei^{2*}, Mohamad Dosaranian-Moghadam³

- 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 carriers and maximizing the use of renewable energies, but also capable of absorbing high levels of generated CO₂ and transforming it to gas energy carriers 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