



مؤسسه آموزش عالی غیر دولتی غیر انتفاعی انرژی

مدلسازی هاب انرژی خانگی متشکل از میکروتوربین و سیستم گرمایش و سرمایش در جزیره قشم

پایان نامه یا رساله برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی مکانیک گرایش تبدیل انرژی

نام دانشجو

محمد علی منصوری

استاد راهنما:

دکتر سید ایمان واصفی

خرداد 1399

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

تعهدنامه اصالت اثر
باسمه تعالی

تأییدیه‌ی صحت و اصالت نتایج

باسمه تعالی

اینجانب محمد علی منصوری به شماره دانشجویی 9613528003 دانشجوی رشته مهندسی مکانیک مقطع تحصیلی کارشناسی ارشد تأیید می‌نمایم که کلیه‌ی نتایج این پایان‌نامه/رساله حاصل کار اینجانب و بدون هرگونه دخل و تصرف است و موارد نسخه‌برداری شده از آثار دیگران را با ذکر کامل مشخصات منبع ذکر کرده‌ام. در صورت اثبات خلاف مندرجات فوق، به تشخیص دانشگاه مطابق با ضوابط و مقررات حاکم (قانون حمایت از حقوق مؤلفان و مصنفان و قانون ترجمه و تکثیر کتب و نشریات و آثار صوتی، ضوابط و مقررات آموزشی، پژوهشی و انضباطی ...) با اینجانب رفتار خواهد شد و حق هرگونه اعتراض درخصوص احقاق حقوق مکتسب و تشخیص و تعیین تخلف و مجازات را از خویش سلب می‌نمایم. در ضمن، مسئولیت هرگونه پاسخگویی به اشخاص اعم از حقیقی و حقوقی و مراجع ذیصلاح (اعم از اداری و قضایی) به عهده‌ی اینجانب خواهد بود و دانشگاه هیچ‌گونه مسئولیتی در این خصوص نخواهد داشت.

نام و نام خانوادگی: محمد علی منصوری

امضا و تاریخ: 98/12/01

مجوز بهره‌برداری از پایان‌نامه

بهره‌برداری از این پایان‌نامه در چهارچوب مقررات کتابخانه و با توجه به محدودیتی که توسط استاد راهنما به شرح زیر تعیین می‌شود، بلامانع است:

- ☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه/ رساله برای همگان بلامانع است.
- ☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه/ رساله با اخذ مجوز از استاد راهنما، بلامانع است.
- ☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه/ رساله تا تاریخ ممنوع است.

نام استاد راهنما: جناب آقای دکتر واصفی

تاریخ: 98/12/01

امضا:

تقدیر و تشکر

سپاس خدای را که سخنوران، در ستودن او بمانند و شمارندگان، شمردن نعمت‌های او ندانند و کوشندگان، حق او را گزاردن نتوانند.

و

با تقدیر و درود فراوان خدمت پدر و مادر بسیار عزیز، دلسوز و فداکارم که پیوسته جرعه‌نوش جام تعلیم و تربیت، فضیلت و انسانیت آن‌ها بوده‌ام و همواره چراغ وجودشان روشن‌گر راه من در سختی‌ها و مشکلات بوده است.

همچنین با امتنان بیکران از مساعدت‌های بی‌شائبه جناب آقای دکتر واصفی که با نکته‌های دلاویز و گفته‌های بلند، صحیفه‌های سخن را علم پرور نمود و راهنمای بنده در اتمام این پایان‌نامه بوده است.

این پایان‌نامه به شناسایی عملکرد یک سیستم هاب انرژی برای تأمین حرارت، سرمایش و قدرت برای نمونه مطالعاتی جزیره قشم که متشکل از هاب‌های خانگی می‌باشد، پرداخته است. در ابتدا محدوده مورد نظر برای مطالعه تعیین شده است. شرق جزیره قشم با دارا بودن شرایط زیرساختی مناسب و تنوع منابع و مصارف انرژی با حامل‌های انرژی چندگانه و همچنین ارتباط با آبهای آزاد به‌عنوان مورد مطالعاتی انتخاب شده است. در ادامه پس از تعیین محدوده هاب انرژی، به تعیین میزان تقاضای انرژی مصرفی و شرایط محیطی پرداخته شده است. در هاب‌های انرژی بهینه‌سازی انرژی در نظر گرفته شده و در ابتدا به منظور پیاده‌سازی مدل هاب انرژی سناریو زیر در نظر انتخاب گردیده است. تأمین تقاضاهای موجود در هاب به همراه خرید فروش حامل‌های انرژی (1) برق، (2) حرارت و همچنین تولید آن توسط تجهیزات توربین گاز، بویلر می‌باشد. در هاب تجمیعی که ارتباط بین تمامی هاب‌های انرژی توسط حامل‌های انرژی برق و حرارت است دیده می‌شود که در ساعات پیک برق ظرفیت میکروتوربین افزایش یافته است. از طرفی راندمان الکتریکی سیستم متأثر از دمای محیط است و با افزایش آن کاهش می‌یابد. همچنین با کاهش دما در فصول سرد سال از راندمان الکتریکی آن افزوده شده است. از طرفی در ساعاتی که حرارت تولید از سیستم بویلر افزایش یافته است سهم چیلر جذبی در تولید تقاضای سرمایش افزایش یافته است. نتایج نشان می‌دهد تنها در تابستان بویلر در حالت بار نسبی قرار گرفته است و در سایر شرایط در بار نامی خود می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: هاب انرژی، هزینه سالیانه، مولد‌های انرژی، سیستم تولید همزمان، مصرف بهینه،

سیستم‌های چند حامله.

فهرست مطالب

فصل 1: مقدمه.....	7
1-1- اهداف پایان نامه.....	8
1-2- رویکرد پایان نامه.....	9
1-3- ضرورت انجام پایان نامه.....	10
1-4- پرسش یا پرسش های تحقیق.....	12
فصل 2: مروری بر ادبیات تحقیق.....	14
2-1- مروری بر ادبیات تحقیق.....	15
2-2- هاب انرژی.....	15
2-2-2- سیستمهای تولید همزمان / چندمنظوره.....	23
فصل 3: مدل سازی هاب های انرژی.....	26
3-1- مقدمه.....	27
3-2- مطالعه موردی.....	27
3-2-1- توصیف وضعیت موجود.....	27
3-2-2- معرفی شرایط عملکردی هاب های انرژی خانگی.....	31
3-2-3- مدل سازی کلی هاب انرژی.....	35
3-2-4- معادلات بخش هاب خانگی.....	40
فصل 4: ارائه بحث و تحلیل نتایج.....	48
4-1- مقدمه.....	49
4-2- نتایج برای مدل هاب انرژی.....	49
فصل 5: جمع بندی و نتیجه گیری، نوآوری ها و پیشنهادها برای ادامه ی کار.....	57
5-1- جمع بندی و نتیجه گیری.....	58
5-2- نوآوری ها.....	58
5-3- پیشنهاد برای ادامه کار.....	60
مراجع.....	
پیوست ها.....	76
چکیده انگلیسی.....	81

شکل (1-2) هاب انرژی در پروژه تأسیسات شهری در منطقه Regionalwerke AG Baden [8]	17
شکل (1-3) جزیره قشم و دو بخش مرکزی و شهاب [117]	28
شکل (2-3) تغییرات دمای محیط در فصل‌های مختلف سال به ازای هر ساعت [120]	30
شکل (3-3) شماتیک هاب های انرژی در بخش خانگی جزیره قشم	31
شکل (3-4) تغییرات بار حرارتی ساختمان به ازای هر خانوار در فصل‌های مختلف سال به ازای هر ساعت [124]	33
شکل (3-5) تغییرات بار سرمایشی ساختمان به ازای هر خانوار در فصل‌های مختلف سال به ازای هر ساعت [124]	33
شکل (3-6) تغییرات بار الکتریکی ساختمان به ازای هر خانوار در فصل‌های مختلف سال به ازای هر ساعت [126]	34
شکل (3-7) ارتباط بین درگاه‌های ورودی و خروجی یک هاب انرژی دارای یک ماتریس تزویج Cij	37
شکل (3-8) طرحی قیاسی از هاب جهت مدل‌سازی ضرایب پخش و بهینه‌سازی بهره‌برداری از هاب [8]	39
شکل (3-9) شماتیکی از هاب خانگی و اجزاء آن	41
شکل (3-10) شماتیک سیکل پایه میکروتوربین به‌عنوان محرک اولیه در واحد تولید سه‌گانه	42
شکل (1-4) تولید توان هاب در طی یک روز منتخب در ماه‌های مختلف	50
شکل (2-4) تغییرات راندمان حرارتی سیستم CHP در طول روز منتخب برای هر فصل	51
شکل (3-4) تولید حرارت هاب در سیستم جامع در طی یک روز منتخب در ماه‌های مختلف	52
شکل (4-4) تغییرات راندمان حرارتی بویلر در طول سال و ساعات مختلف روز منتخب	52
شکل (4-5) تولید سرمایش هاب در سیستم جامع در طی یک روز منتخب در ماه‌های مختلف	53
شکل (4-6) تولید سرمایش هاب در سیستم جامع در طی یک روز منتخب در ماه‌های مختلف	53
شکل (4-7) تولید سرمایش هاب در سیستم جامع در طی یک روز منتخب در ماه‌های مختلف	54
شکل (4-8) درصد مشارکت تجهیزات و داد و ستد با خارج در تأمین برق هاب در فصول مختلف	55
شکل (4-9) درصد مشارکت تجهیزات و دیگر هابها در تأمین حرارت هاب در فصول مختلف	56
شکل (1-5) تقاضای انرژی در هاب	

فهرست جداول

- جدول (2-1) بررسی مقالات مرتبط با هاب انرژی 21
- جدول (3-1) شهرها و آبادی‌های جزیره قشم به تفکیک جمعیت و خانوار [118] 28
- جدول (3-2) هزینه‌های حامل‌های انرژی در هاب انرژی 30
- جدول (3-3) مشخصات هر شهر در هاب انرژی [118] 32
- جدول (3-4) مشخصات جمعیت هر هاب انرژی 32
- جدول (3-5) معادلات حاکم در خصوص هاب انرژی خانگی 47
- جدول (4-1) مشخصات تجهیزات تولیدکننده، مصرف‌کننده حامل‌های انرژی در هاب 49
- جدول (5-1) درصد ترکیبات مولی هوا [143] 77
- جدول (5-2) ضرایب برای محاسبه ی گرمای ویژه ی گازهای ایده آل 78

List of acronyms		v	Dispatch factors (-)
CCPP	Combined-Cycle Power Plant	V_w	Permeate velocity [m/s]
CHP	Combined Heat and Power	w_p	Pump Power (kW)
CRF	Capital Recovery Factor	\dot{Z}	Capital cost rate (\$/year)
CTGs	Combustion Turbine Generators	Z_k	Component purchase cost (\$)
EW	Energy consumption per Water production	$Z_{O\&M}$	Operation and Maintenance Cost
in RO		Subscripts	
GOR	Gained Output Ratio	amb	Ambient
GT	Gas Turbine	b	brine
LHV	Lower Heat Value (kJ/kg)	boi	Boiler
MED	Multi-Effect Desalination	bp	Brine Pump
ORC	Organic Rankine Cycle	CC	Combustion Chamber
PAR	Peak to Average Ration	ch	Chemical
NSGA	Non dominated elitist and rapid Sorting	CV	Control Volume
Genetic	Algorithm	D	Distraction
NG	Natural Gas	dmn	Demand
MSF	Multi-stage flash distillation	e	Exergy
SDI	Silt Density Index	em	emission
TAC	Total Annual Cost (\$/year)	extra	Waste heat from cement plant
WHO	World Health Organization	f	Feed
List of symbols		h	Heat
A	Water permeability coefficient [kg/m ² ·s·Pa]	hot	Hot water
B	Solute transport coefficient [kg/m ² ·s]	hpp	High Pressure Pump
C_{ij}	Coupling matrix	i	inlet
C	Salt concentration [ppm]	m	Material
C_w	Brine concentration [kg/m ³]		
CC	RO capital cost subsystems		

d	Feed channel equivalent diameter [m]	max _{Boi}	Maximum Boiler
d _s	Distance from the ideal point	NG	Natural Gas
D _s	Solute diffusivity [m ² /s]	p	Permeate stream
e, ex	Exergy (kJ/kg)	pu	Pump
Ex	Exergy flow (kW)	Sc	Schmidt number
EW _{RO}	Electrical consumption per water production	pipeline	Pipe line
F _{ij}	Non-dimensionalize objective indexes	Ph	Physical
int	Interest rate	Q	Heat
f _m	Material correction factor	S	Sell
J _w	Local permeate flux [kg/m ² ·s]	ST	Steam Turbine
J _s	Local solute flux [kg/m ² ·s]	SW	Sea Water
K	Mass transfer coefficient [m/s]	SWIP	Sea Water Intake and Pre-treatment
L	Output loads of the hub	T	Turbine
LD _e	Output electrical loads of the hub (kW)	trf	Transfer
LD _h	Output heat loads of the hub (kW)	u	Number of exergy carrier
LD _w	Output water loads of the hub (kW)	x	objective's index
N	Operation hours in a year	w	Membrane wall
m _f	Feed water flow rate (kg/s)	z	index for each Pareto front point
m _{hot}	Hot water flow rate (L/s)	0	Standard Situation
P	Input carriers of the hub	Greek symbols	
P _E	Exchanging electricity of the hub (kW)	α,β,ω,ε	Type of energy carrier
P _H	Exchanging heat of the hub (kW)	η	Efficiency
P _w	Exchanging water of the hub (kW)	ρ	Density (kg/ m ³), Integer
P _i	Input vector of the hub	Numbers	
P _j	Output vector of the hub	ξ	Chemical exergy/energy ratio
Q	Heat flow (kW)	ε	Total cycle exergy efficiency (-)
		τ	Hours of operation per year (h)

Q_B	Brine flow rate (m^3/h)	φ_f	Fuel cost (\$/kg)
Q_P	permeate flow rate (m^3/h)	$\varphi_{e,s}$	Selling electricity cost (\$/kWh)
R_{RO}	Recovery (%)	ρ_p	Density of the permeate [kg/m^3]
Re	Reynolds number	π	Osmotic pressure [MPa]
S_w	Membrane area (m^2)	$\varphi_{e,b}$	Buying electricity cost (\$/kWh)
T_{hot}	Hot water temperatures ($^{\circ}\text{C}$)	ψ_{em}	Pollutant emission cost (\$/kg)

فصل 1:

مقدمه

1-1- اهداف پایان نامه

امروزه توسعه و ترقی سیاسی و زیست محیطی و همچنین پیشرفت‌های فنی، بخش انرژی و زیرساخت‌های تولید و شبکه را تحت تأثیر قرار داده است. درحالی‌که اساس تولید انرژی کنونی بر پایه مفهوم تولید مرکزی می‌باشد، تولید پراکنده در طی سال‌ها و دهه‌های آتی کاملاً افزایش پیدا خواهد کرد [1]. رشد سهم انرژی‌های تجدید پذیر ترکیب تکنولوژی‌های موجود را تغییر داده و استفاده از ذخیره‌سازهای انرژی را الزامی خواهد نمود. به‌علاوه فاکتورهای آینده نظیر قیود سیاسی، افزایش تقاضای انرژی به اهداف حفاظتی محیط‌زیست، نیازمند یک تغییر و انطباق در زیرساخت تولید توان می‌باشند [1].

هدف از بسته کاری تکنولوژی‌های هاب، ایجاد یک تکنولوژی ترکیبی مناسب و کنترل‌پذیر از نظر اقتصادی و زیست محیطی می‌باشد که شامل تولیدات و ذخیره‌سازی پراکنده بوده و توان تحویلی امن و قابل اطمینانی را تضمین می‌نماید. به‌منظور تجزیه و تحلیل آثار مختلف، با در نظر گرفتن هزینه‌ها و خروجی‌های مضر در دیدگاه‌های تولید متمرکز و غیر متمرکز، یک فضای جغرافیایی بزرگ‌تر مانند یک شهر بایستی در نظر گرفته شود. بنابراین یک "مدل چند سطحی" ایجاد گردیده است [2]. این مدل ناحیه را به واحدهای ساختاری آن تجزیه نموده و هر تکنولوژی تبدیل و یا تولید توان را به یک واحد تخصیص می‌دهد. تکنولوژی‌های هر واحد به‌صورت یک هاب انرژی مدل‌سازی می‌شوند و سپس از طریق شبکه به سایر هاب‌ها متصل می‌گردند. هر هاب تلاش می‌کند تا بار موردنیاز واحد خود را با پایین‌ترین قیمت و یا کمترین خروجی‌های مضر و با استفاده از تکنولوژی‌های خود و تبادل انرژی با سایر هاب‌ها تأمین نماید. درنهایت برای تمامی نواحی یک استراتژی تأمین انرژی حاصل می‌گردد که با توجه به فرآیند بهینه‌سازی از پایین به بالا، بهینه خواهد بود. علاوه بر کار بر روی مدل چند سطحی، برخی از جنبه‌های دیگر هاب انرژی، تکنولوژی‌های موجود در آن و تجهیزات آن موردبررسی قرار گرفته‌اند. یک نقطه تمرکز مطالعات بر روی آزمون تجهیزات ذخیره‌ساز مختلف و استراتژی‌های بهره‌برداری از آن قرار گرفته است. شیوه بهره‌برداری آن‌ها با در نظر گرفتن حداقل خروجی‌های مضر بهینه‌سازی

شده است. موضوع دیگر ارزیابی اقدامات کاهش دی اکسید کربن در سیستم های چندگانه انرژی (گرما، الکتریسیته، آب شیرین و...) می باشد [2].

به منظور بررسی متمرکز و عمیق عنوان تحقیق انجام شده و همچنین شناخت متغیرهای مستقل و مشاهده اثر آن بر متغیر وابسته می بایست یک واحد یا سیستم با حدود مرز مشخص و متشکل از عناصر و عوامل متعدد و مرتبط به هم وجود داشته باشد. بدین منظور با انتخاب بخش مسکونی جزیره قشم که در مجاورت دریا می توان به مشاهده تفصیلی ابعاد مطالعه موردی پرداخت. به همین منظور در این تحقیق به منظور جایگزینی سیستم سنتی تولید انرژی، منابع اولیه به صورتی مدل سازی می شود که شبکه های حرارت، الکتریسیته با یکدیگر یکپارچه شده باشد.

این تحقیق پیاده سازی سیستم چند حامل انرژی بر روی یک نمونه موردی را دنبال می کند که بتوان از حامل های انرژی ورودی، بهینه ترین نیازهای الکتریکی، حرارتی را به همراه داشت. هدف اولیه از این تحقیق دستیابی به ساختار هاب های انرژی موجود خواهد بود. در این مرحله تکنولوژی های موجود و متداول معرفی می شوند و پس از آن اجزای ساختاری که بیشترین راندمان را به همراه دارند انتخاب می شوند. همچنین برنامه ریزی تولید و نحوه به کارگیری واحدهای تولیدکننده انرژی تعیین می شود. در نهایت توزیع حامل های انرژی مختلف بین تجهیزات موجود به گونه ای که تأمین انرژی مورد نیاز در خروجی هاب همراه باشد بررسی می گردد و در نهایت هاب انرژی و مصارف انرژی تأمین می شود.

2-1- رویکرد پایان نامه

رویکرد اصلی پایان نامه ارائه مدل هاب انرژی برای مطالعه موردی به گونه ای می باشد که با تأمین حامل های انرژی مورد نیاز، بتوان ارزیابی از سیستم به دست آورد.

رویکرد اعمال شده برای شبکه سیستم انرژی در این پایان نامه منحصر به فرد است چرا که در آن سیستم های انرژی و حامل های انرژی به صورت کل نگر دنبال شده و پس از آن وارد ریز

هرکدام از تجهیزات خواهد شد و به صورت جامع کل هاب های انرژی بررسی می شوند. به طور خلاصه، نکات اساسی این تحقیق عبارت اند از:

- تشکیل یک مدل برای شبکه انرژی هوشمند با استفاده از مفهوم هاب انرژی اصلاح شده در شبکه؛
- ارزیابی فن آوری های توزیع انرژی برای استفاده در شبکه ای از هاب انرژی؛
- ارزیابی فن آوری های تولید انرژی با توجه به پتانسیل های موجود در شبکه ای از هاب انرژی؛

3-1- ضرورت انجام پایان نامه

تکنولوژی های تولید و انتقال برق در مقیاس بزرگ عموماً حجم عظیمی از صرفه جویی ها را در اختیار قرار می دهند. به دلیل وجود این صرفه جویی ها سیستم های قدرت از دیدگاه تاریخی به سمت ساختارهای به هم پیوسته و بزرگ رشد و نمو پیدا کرده اند که در این ساختارها به طور معمول، برق توسط نیروگاه های متمرکز با محدوده توانی از چند صد تا چند هزار مگاوات تولید می شود. در طرف مقابل تغییرات آب و هوایی، کمبود منابع فسیلی، مشوق های سیاسی و اقبال عمومی به انرژی های تجدیدپذیر، به کارگیری تکنولوژی های تولید پراکنده کوچک و تجدیدپذیر را تغییر داده است که این تولیدات شامل سلول های خورشیدی، میکرو توربین ها تولید هم زمان برق و حرارت، واحدهای چوب و زباله سوز و غیره می باشند. تعدادی از این تکنولوژی های تولید توانایی تولیدات دوگانه و یا سه گانه را نیز دارا می باشند. به عنوان مثال با استفاده از واحدهای تولید هم زمان و یا میکرو توربین ها می توان به تولید هم زمان برق و حرارت از گاز طبیعی، زیست توده و ... پرداخت [4].

علاوه بر موارد فوق الذکر، با لحاظ نمودن به کارگیری تکنولوژی های ذخیره سازی پراکنده و با ظهور و گسترش خودروهای برقی هیبریدی، تبادل پیچیده ی بین انواع سیستم ها و حامل های انرژی ایجاد خواهد شد. چنین قابلیت انعطافی در ساختار و بهره برداری نیازمند یک چارچوب

جامع به منظور تشریح تأثیرات ترکیب حامل‌های انرژی گوناگون بر روی شاخص‌های اقتصادی، بوم‌شناسی و فنی مربوط به سیستم‌های انرژی می‌باشد [4]. در سال‌های اخیر کلیات چنین چارچوبی مطرح شده که ترکیب حامل‌های انرژی گوناگون و انجام تبدیل و ذخیره‌سازی در آن‌ها به منظور تأمین بار موردنیاز سمت مصرف‌کننده را فراهم می‌نماید و از آن تحت عنوان هاب انرژی نام برده می‌شود. هاب انرژی به بیانی ساده واحدی است که با دریافت حامل‌های انرژی گوناگون در ورودی خود و انجام تبدیل انرژی لازم و یا ذخیره‌سازی، انرژی نهایی موردنیاز بار مصرف‌کننده محلی و یا انرژی ورودی موردنیاز یک توزیع‌کننده انرژی مستقل را در خروجی هاب تأمین می‌کند.

هاب‌ها و حامل‌های چندگانه انرژی مفاهیم جدیدی هستند که در سال‌های اخیر در افق‌های تحقیقاتی کمیسیون اروپا پیشنهاد گردیده‌اند. حامل‌های انرژی مانند برق، گاز طبیعی و گرمایش منطقه‌ای بوده که مصرف‌کننده می‌تواند از طریق شبکه‌های توزیع حامل انرژی و یا مستقل از شبکه از آن‌ها استفاده نماید. در سیستم‌های امروزی کاربرد واحدهای تولید پراکنده و گازسوز به دلیل بهبود عملکرد اقتصادی و فنی در سیستم‌های تأمین‌کننده انرژی افزایش یافته است. هاب‌های انرژی نیز با استفاده از این سیستم‌ها و به دلیل قابلیت تبدیل حامل‌های انرژی متنوع به یکدیگر عرضه انرژی نهایی به شبکه‌های متداول امروزی انعطاف‌پذیرتر می‌باشند؛ به‌طور نمونه برق به‌جای دریافت مستقیم از شبکه الکتریکی از تبدیل گاز طبیعی در دستگاه تولید هم‌زمان برق و حرارت (CHP) تهیه می‌گردد و کمبود یا مازاد حرارت و برق با شبکه برق یا مصرف‌کنندگان محلی تبادل می‌شود. این انعطاف‌پذیری راندمان عملکرد سیستم را افزایش می‌دهد [2].

سیستم‌های حامل انرژی معمولاً مستقل از یکدیگر طراحی می‌شوند، اما اگر محل انتقال و توزیع حامل‌های چندگانه انرژی، توأماً به نقاطی منتقل شوند که قابلیت تبدیل انرژی را داشته باشند، مسئله مذکور ماهیتی کاملاً متفاوت خواهد یافت. به‌عنوان مثال اگر تعداد زیادی از مصرف‌کنندگان بزرگ و کوچک در یک ناحیه جغرافیایی، چند حامل انرژی مختلف را توأماً دریافت نمایند و امکان تبدیل انرژی را نیز داشته باشند، آنگاه مسئله طراحی و بهره‌برداری مجزای سیستم‌های انتقال و توزیع حامل‌های چندگانه انرژی پاسخ‌های مناسبی را ارائه نخواهد نمود و

به منظور مدیریت بهینه انرژی، مسئله مذکور باید در قالب طراحی مجتمع سیستم‌های انتقال و توزیع حامل‌های چندگانه انرژی حل شود. چنین حالتی با حضور هاب‌های انرژی کاملاً نمود پیدا خواهد کرد [2].

شرایط طراحی شبکه‌های توزیع گازرسانی، شبکه‌های توزیع برق و سایر حامل‌های انرژی در حضور تعداد زیاد مصرف‌کنندگان کوچک حامل‌های چندگانه انرژی ماهیتی متفاوت با حالاتی که طراحی مجزا صورت می‌گیرد خواهد یافت. مسئله مذکور زمانی اهمیت پیدا می‌یابد که قیمت‌های حامل‌های انرژی در ساعات متفاوت یکسان نباشد و برای مصرف‌کنندگان تغییر وضعیت از یک نوع حامل انرژی به نوعی دیگر صرفه اقتصادی داشته باشد. حتی امکان اینکه مصرف‌کننده یک حامل خاص در ساعات دیگر تولیدکننده آن شود نیز وجود دارد. این ویژگی بر پیچیدگی مسئله می‌افزاید و فرآیند بهینه‌سازی عملکرد مجتمع این سیستم‌ها را در عمل بسیار پیچیده می‌سازد. بنابراین با توجه به ضرورت وجود و توسعه شبکه‌های حامل انرژی در جهان و افزایش بهره‌وری در این مقوله، نیاز به بررسی سیستم‌های نوین انرژی به منظور ایجاد تحول در تولید و انتقال و توزیع انرژی کاملاً محسوس است.

4-1- پرسش یا پرسش‌های تحقیق

سؤال‌های اساسی تحقیق در راستای هدف اصلی آن بیان می‌شود. این سؤالات می‌بایست در پایان‌نامه جواب داده شود. دو سؤال اصلی که لزوم مطالعات در هاب‌های انرژی را به طور کامل بیان می‌کنند به شرح زیر می‌باشند:

- با معلوم بودن بارهای خروجی هاب در چند دوره زمانی، چه نوع از حامل‌های انرژی و به چه مقدار از شبکه‌های بالادست خریداری شود و چگونه بین تجهیزات درون هاب تقسیم شود تا تأمین انرژی حاصل آید.
- از سویی دیگر این سؤال نیز مطرح است که درون هاب چه نوع تجهیزاتی بایستی قرار

دهیم تا تأمین بارهای خروجی را به شکلی مناسب و بهینه تضمین نماید.

-
- برای پاسخ به این سؤالات، بایستی بتوان مفاهیم موجود در هاب را به زبان ریاضی بیان کرده و با استفاده از روش‌های ریاضی نسبت به مدل‌سازی آن‌ها اقدام نمود. برای این منظور از مدل‌سازی و فرمول‌بندی‌ها استفاده می‌شود و قسمت‌های مختلف که این طریق به زبان ریاضی بیان می‌شوند.

فصل 2:

مروری بر ادبیات تحقیق

1-2- مروری بر ادبیات تحقیق

در این بخش به بررسی مقالات و پژوهش‌های صورت گرفته‌شده در خصوص سیستم‌های هاب انرژی و همچنین اجزاء موردبررسی در این پژوهش پرداخته می‌شود.

2-2- هاب انرژی

هاب انرژی به‌عنوان یک رابط بین شبکه‌های حامل انرژی و مصرف‌کننده عمل می‌کند و بر مبنای مفاهیم اصلی حامل انرژی ورودی، انرژی نهایی خروجی، تبدیل و ذخیره انرژی بنانهاده شده است. در هاب‌ها تجهیزاتی مانند تولید هم‌زمان، بویلر ها (آب گرم یا بخار و بصورت دائم و یا پشتیبان)، ترانسفورماتور و مبدل‌های حرارتی به اقتضای بار مورد نیاز قرار می‌گیرند. با استفاده از این تجهیزات، هاب‌ها در ورودی خود حامل‌های انرژی را از شبکه‌های بالادست دریافت کرده و بارهای موردنیاز را در خروجی خود تحویل مصرف‌کننده می‌دهند. انرژی تولیدشده توسط منابع تجدید پذیر مانند باد، خورشید و نیروگاه برق‌آبی نیز قابلیت اتصال به هاب‌های انرژی را دارند [7].

ازجمله مناطقی که می‌توانند تحت مدل هاب‌های انرژی مورد بهره‌برداری قرار گیرند عبارت‌اند از:

- تأسیسات صنعتی مانند مجتمع‌های پتروشیمی و ذوب‌آهن و تولید مواد و کاغذ؛
- ساختمان‌های بزرگ مانند فرودگاه‌ها و بیمارستان‌ها؛
- مناطق مسکونی و تفریحی و تجاری؛
- سیستم‌های انرژی جزیره‌ای مانند کشتی‌ها و...

امکان چیدمان تجهیزات متنوعی در هاب‌ها وجود دارد که انتخاب نوع تجهیزات و ظرفیت و نحوه ارتباط آن‌ها بر اساس پارامترهای مختلفی ازجمله بار موردنیاز تعیین می‌شود. مهم‌ترین این تجهیزات به شرح زیر می‌باشند:

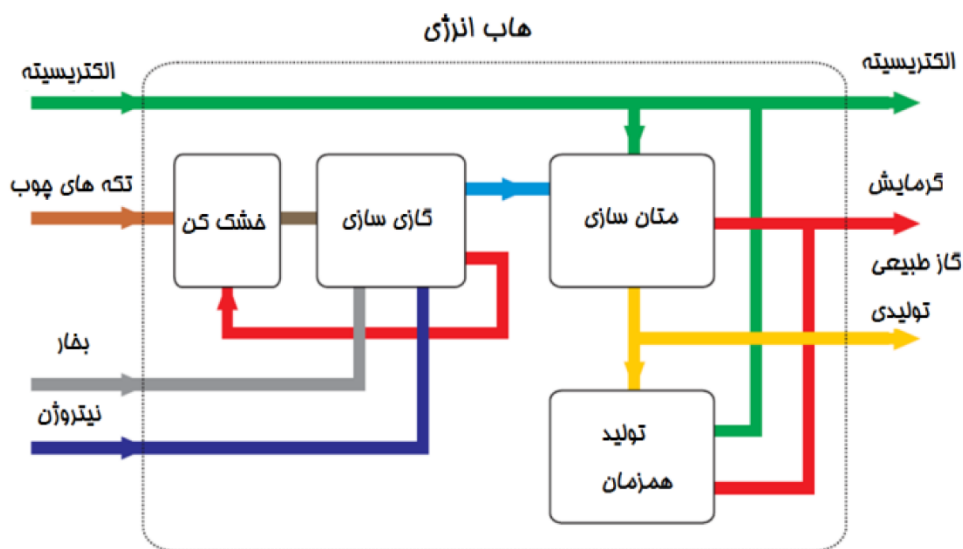
- مبدل‌های حرارتی
- ترانسفورماتورها
- چیلرهای جذبی و تراکمی
- باتری‌ها
- انواع ذخیره‌سازهای حرارتی
- انواع بویلر ها
- تجهیزات تولید هم‌زمان برق و حرارت (CHP) دارای محرک‌های مختلف شامل:
- میکرو توربین‌ها
- موتورهای گازسوز

تجهیزات موجود در هر هاب می‌توانند در سناریوهای تولید یک انرژی نهایی خاص مانند برق و یا حرارت با توجه به شرایط طراحی و تعرفه‌های ساعت پیک و محدودیت‌های موجود در شبکه مورد استفاده قرار گیرند. یکی از مهم‌ترین تجهیزاتی که در هاب مورد استفاده قرار می‌گیرد، تجهیزات تولید هم‌زمان برق و حرارت (CHP) می‌باشد. تولید هم‌زمان برق و حرارت با توجه به مزایای اقتصادی و زیست‌محیطی در سراسر جهان مورد توجه قرار گرفته است. از عوامل تأثیرگذار روی طراحی و انتخاب این تجهیزات شرایط محیطی، منحنی‌های بار مورد نیاز، نوع و قیمت حامل‌های انرژی ورودی و قیمت فروش برق و یا دیگر انرژی‌ها می‌باشد [3]. سایر تجهیزات موجود در هاب انرژی بسته به عوامل مختلفی از جمله نوع بار خروجی و چگونگی توزیع آن در ساعات شبانه‌روز می‌توانند تغییر کنند و برای تعیین آن‌ها از انواع روش‌های بهینه‌سازی استفاده می‌شود [7].

ارائه چشم‌انداز شبکه‌های انرژی آینده و ایده هاب انرژی اولین بار در دانشگاه ETH زوریخ در کشور سوئیس با همکاری دانشگاه TU Delf و Aachen و RWTH مطرح شده است. از این پروژه شرکت‌های ABB، Siemens و Areva حمایت می‌کنند. مبنای این پروژه حرکت و ارتقای سیستم‌های انرژی امروزی به سوی عرصه سبز در آینده می‌باشد. راهکارهای اصلی ارائه‌شده برای سیستم‌های انرژی آتی شامل هاب‌های انرژی و خطوط انتقال چندگانه می‌باشد. هاب انرژی

به عنوان یک واحد دریافت و تبدیل و ذخیره سازی انرژی در سمت مصرف عمل کرده و خطوط انتقال چندگانه به عنوان سیستم انتقالی بوده که حامل ها را در یک سیستم و به همراه هم در فواصل زیاد منتقل می کند [2].

ایده هاب انرژی برای اولین بار در پروژه تأسیسات شهری در منطقه Regionalwerke AG Baden طبق شکل 1-2 استفاده شده است. مطالعه موردی مذکور در ماه سپتامبر ۲۰۰۷ آغاز شده و تا ماه آگوست سال ۲۰۱۰ ادامه داشته است. Dattwil یک بخش در شهر Baden در سوئیس می باشد که به عنوان بستر مطالعه انتخاب شده است. بخش مذکور دربرگیرنده حدود ۳۵۰۰ ساکن و دارای نواحی صنعتی، تجاری و مسکونی می باشد [8].



شکل 1-2 هاب انرژی در پروژه تأسیسات شهری در منطقه Regionalwerke AG Baden [8]

در طراحی این هاب تجهیزات گازسازی از چوب های زائد، تولید همزمان برق و حرارت، خشک کن و متان سازی لحاظ شد است. در هاب مذکور گاز طبیعی ترکیبی (SNG) و حرارت از چوب های زائد تولید می شود. گاز طبیعی تولید شده یا به شبکه گاز طبیعی تزریق و یا توسط تجهیز تولید همزمان به برق تبدیل می گردد. حرارت اضافی تولیدی در فرایند گازسازی و یا تولید همزمان به شبکه گرمایش محلی ای تزریق می شود [8]. هاب ها از طریق شبکه ای برای گاز

طبیعی، گرمای محلی و الکتریسیته به یکدیگر متصل می‌باشند. واحد حرارتی یک بیمارستان بزرگ به‌عنوان تغذیه‌کننده برای شبکه گرمای محلی می‌باشد. چهار بویلر که با گاز طبیعی و یا نفت سیاه کار می‌کنند حرارت و بخار را تولید می‌نمایند. این تجهیز در سال‌های آتی توسط یک واحد زیست‌توده جایگزین خواهد شد. واحد جدید، از گاز چوب به‌دست‌آمده از فرایند تبدیل خرده‌های چوب به گاز استفاده می‌نماید و می‌تواند الکتریسیته و حرارت را با استفاده از CHP، حرارت را با استفاده از بویلر و گاز طبیعی ساختگی و حرارت را از طریق یک فرآیند خالص‌سازی تولید نمایند. برای هر هاب مستقل اندازه‌گیری‌هایی برای مصرف الکتریسیته در محل ترانسفورماتور انجام شده است. بار حرارتی نیز از طریق شبکه حرارتی محلی توسط گاز طبیعی و یا نفت سیاه تغذیه می‌گردد. علاوه بر این انرژی‌هایی که در آینده با استفاده از تولید پراکنده نظیر انرژی حرارتی خورشیدی، فتوولتائیک و یا باد تولید می‌شوند پیش‌بینی شده‌اند. هم داده‌های امروزی و هم سناریوهای مربوط به تغییرات آینده اجازه یک شبیه‌سازی جامع از زیرساخت‌های انرژی در Dattwil را فراهم می‌آورند [8].

همچنین در مورد مطالعاتی دیگر و در پایان سال ۲۰۰۸ این امکان فراهم شد که در سیستم توزیع انرژی شهر Bern به‌صورت شبکه‌ای از هاب‌های انرژی متصل به هم مدل‌سازی گردد [9]. قسمتی از شهر با مصرف انرژی مربوط به آن به یک هاب تخصیص داده‌شده و ساختار هاب انرژی به‌عنوان تجهیز تولیدی که بایستی ناحیه را تغذیه نماید، تعیین گردید. ظرفیت‌های ذخیره‌ساز انرژی در دسترس و منابع تجدید پذیر برای نصب، مشخص و نوع حامل‌های انرژی تبدیلی بین هاب‌ها (الکتریسیته، گاز، گرمایش، سرمایش و...) معین شدند. یک الگوریتم به‌منظور بهینه نمودن پخش بار بین تجهیزات تولیدی پیاده‌سازی شده و نتیجه بهینه‌سازی، تخمینی از هزینه‌های بهره‌برداری تحمیل‌شده، میزان گازهای گلخانه‌ای انتشاریافته و تبادل انرژی بهینه هاب‌ها می‌باشد [9].

برهمن و همکارانش [10] به ارائه‌ی یک مدل هاب انرژی برای بخش خانگی ارائه دادند. در این مدل حامل‌های برق، گاز طبیعی و تابش خورشید در نظر گرفته‌شده بود. از این مدل برای تقاضای برق، حرارت و خنک کاری یک بندر استفاده شد. برای مدیریت انرژی در هاب تابع

هدف کمینه کردن هزینه کل انرژی بود. این هزینه‌های شامل هزینه‌های تجهیزات و اثرات زیست‌محیطی در نظر گرفته شد؛ که اثرات زیست‌محیطی خود شامل هزینه‌های گازهای NO_x ، CO_2 و SO_x بود.

محمدی و همکارانش [11] بر اساس مفهوم هاب به بررسی مزایای ادغام گزینه‌هایی مانند مدیریت منابع انرژی توزیع‌شده، منابع انرژی تجدیدپذیر، سیستم‌های ذخیره‌سازی پرداختند و بر اساس آن به توسعه‌ی یک سیستم هوشمند پرداختند.

معروف مشات و همکارانش [12] به بررسی مدل پیچیده‌ای از هاب انرژی برای بررسی یک سیستم که موجب کاهش بالقوه انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شد، پرداختند. مفهوم هاب منجر به کاهش 3 درصدی انتشار CO_2 گردید. این سیستم منجر شد تا مصرف سوخت در سیستم 13 درصد کاهش یابد و عملکرد سیستم تا 29 درصد نیز افزایش یابد.

مقدم و همکارانش [13] یک مدل برنامه‌نویس غیرخطی برای یک هاب انرژی برای یک مدت کوتاه مدت 24 ساعته ارائه دادند. هدف از این سیستم برآورده ساختن تقاضای خنک کاری، گرمایش و الکتریسیته به صورت روزانه برای یک ساختمان مسکونی می‌باشد. بهینه‌سازی صورت گرفته شده بر اساس حداکثر سود ناشی از این سیستم صورت پذیرفت. نتایج این بررسی نشان داد که استفاده از پمپ‌های حرارتی می‌تواند در خنک کاری و گرمایش ساختمان مؤثر واقع شود و موجب افزایش سود گردد.

الرفائی^۱ و همکارانش [14] هاب انرژی را بر اساس منابع تجدیدپذیر ارائه دادند تا بر اساس آن به تولید هیدروژن به عنوان جایگزینی برای انرژی مصرفی یکی نیروگاه زغال‌سنگی مورد استفاده قرار گیرد. افزودن هیدروژن به گاز طبیعی به عنوان سوخت برای نیروگاه‌های ترکیبی چرخه هزینه‌های اضافی را کاهش می‌دهد و درآمد سالانه را کاهش خواهد داد. اما میزان تولید گازهای آلاینده افزایش می‌یابد. نتایج این تحقیق نشان داد که می‌توان در این سیستم با قیمت برق 12 دلار برای هر کیلووات ساعت رسید و زمانی که $3/7\%$ هیدروژن به سوخت اضافه گردد میزان

¹ AlRafea

افزایش درآمد سالانه بهبود می‌یابد.

توگوا¹ و همکارانش [15] مدل فرآیند شبیه‌سازی، یکپارچه هاب انرژی را مورد بررسی قرار دادند در این کار به تجزیه و تحلیل سیستم‌های موجود در سیستم، به بررسی تکنولوژی‌های موجود و سیستم کنترلی برای به حداکثر رساندن استفاده از حرارت زائد از نیروگاه‌های حرارتی زغال‌سنگ و کارخانه‌ها پرداخته شد. نتایج نشان داد که سیستم بازیافت حرارت، مزایای زیست‌محیطی بیشتری نسبت به سیستم دیگ بخار فردی ارائه می‌دهد. با بهره‌مندی از این سیستم، مصرف سوخت به میزان 16/05 TJ/year کاهش می‌یابد، درحالی‌که کل انتشار CO₂ به میزان 12/04 تن در سال کاهش می‌یابد. به‌طور کلی می‌توان برای جمع‌بندی این بخش به تقسیم‌بندی مقالات هاب انرژی به تفکیک صورت گرفته‌شده در جدول 1-2 پرداخت. در این جدول پژوهش‌های صورت گرفته‌شده بر اساس حامل‌های انرژی، ماتریس فاکتور تبدیل، آنالیزهای صورت گرفته‌شده و در صورت بهینه‌سازی تابع هدف آن‌ها مشخص ساخت.

¹ Togawa

جدول (2-1) بررسی مقالات مرتبط با هاب انرژی

سال	نویسندگان	حامل های هاب انرژی							ماتریس تبدیل	آنالیزهای صورت گرفته شده						کاربرد	بهینه سازی
		Power	Heating	Cooling	Water	Hydrogen	Natural gas	Variable	Constant	Reliability	Environmental	Eenergy	Economical	Energy	Residential	Industrial	توابع بهینه سازی
2007	گیدل و همکارانش [16]																هزینه و انتشار
2014	اوپنس و همکارانش [17]																انتشار
2014	شریف و همکارانش [18]																هزینه
2015	رستگار و همکارانش [19]																هزینه
2015	معروف مشات و همکارانش [20]																هزینه
2015	معروف مشات و همکارانش [12]																هزینه و انتشار
2015	برهمند و همکارانش [10]																هزینه و انتشار
2016	نجفی و همکارانش [21]																هزینه
2017	مجیدی و همکارانش [22]																هزینه و انتشار
2018	دواتگران و همکارانش [23]																هزینه
2018	امیری و همکارانش [24]																هزینه و انتشار

هزینه																تئودر ^۱ و همکارانش [25]	2018
هزینه																غفار پور و همکارانش [26]	2018
هزینه																آقامحمدی و همکارانش [27]	2018

Teodoro¹

2-2-2- سیستم‌های تولید هم‌زمان / چندمنظوره

در خصوص سیستم‌های یکپارچه و استفاده از تلفات حرارتی می‌توان به کار سلیمی و عمیدپور [102] اشاره نمود که بر اساس منحنی R-curve به بررسی ادغام سیستم‌های مختلف آب‌شیرین‌کن پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که بر اساس مشخصه‌ی سیستم و نقطه‌ی عملکردی آن که قبل و یا بعد از نقطه‌ی ایتیم در منحنی R-Curve قرار دارد اضافه نمودن هر یک از سیستم‌های RO و MED به واسطه‌ی مصرف انرژی الکتریسیته و حرارتی (به ترتیب) در بهبودی وضعیت سیستم جامع نقش مؤثری دارند. چرانجوی¹ و همکارانش [103] به بررسی سیستم یکپارچه برای یک نیروگاه بخار خورشیدی پرداختند که در بخش کندانسور آن MED قرار دارد. این تحقیق برای یک معدن که نیاز به آب شیرین دارد صورت پذیرفته است تا بتوان به صورت هم‌زمان به تولید آب و برق پردازد. استولیدف² و همکارانش [104] در یک جزیره‌ی کوچک با بهره‌مندی از انرژی‌های خورشیدی باهدف افزایش پایداری سیستم به تولید آب شیرین پرداخت. در این بخش از سیستم‌های فتوولتائیک و یک سیستم متمرکز کننده همراه یک سیکل ارگانیک رانکین برای سیستم RO و MED مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این ادغام کاهش مصرف سوخت از لحاظ اقتصادی نسبت به شیوه‌ی سنتی بود. مختاری و همکارانش [43] برای منطقه‌ی خلیج فارس شیوه‌ی شیرین‌سازی GT+MED+RO را بر اساس آنالیز انرژی و ترمواکنومیک پیشنهاد دادند. این سیستم بر اساس تولید هم‌زمان برق و آب طراحی شده بود که توانست قیمت نهایی آب تولیدی را کاهش دهد. وکیل شهزاد³ و همکارانش [105] بر اساس محدودیت آب در منطقه‌ی خلیج فارس یک ترکیب از سیستم جذبی و RO پیشنهاد کردند که بر اساس منابع حرارتی دماپایین صنایع و یا استفاده از خورشید منجر شد تا سیستم پیشنهادی دارای بیشترین بازدهی 81 درصد و مصرف انرژی 1.76 کیلووات ساعت به ازای مترمکعب را داشته

Chiranjeevi T. Srinivas¹

Marco Astolfi²

Muhammad Wakil Shahzad³

باشد. ازهر^۱ و همکارانش [106] بر اساس یک سیکل خورشیدی متصل به یک سیکل رانکین به تولید توان، آب شیرین و سرمایش به صورت یکپارچه پرداختند. این سیستم بر اساس حرارت صنعتی، انرژی خورشیدی، انرژی زمین گرمایی و حرارت دریا^۲ کار می کند. نعمتی^۳ و همکارانش با استفاده از تلفات حرارتی از یک موتور دیزل بزرگ در یک کشتی برای شیرین سازی آب دریا بهره بردند بر اساس مرز پرتو در بهینه سازی صورت گرفته شده میزان راندمان مجموعه به 37 درصد و میزان هزینه تخریب انرژی برابر 60 دلار به ازای گیگاژول به دست آورد [70]. کسائین^۴ و همکارانش [107] به مطالعه سیستم تولید هم زمان پرداختند. در این مقاله بر اساس انرژی خورشید به تحلیل اقتصادی سیستم های هیبریدی برای تولید هم زمان از جمله آب و برق پرداخته شد. ال امام^۵ و دینسر^۶ [108] به بررسی و ارزیابی یک سیستم مجتمع^۷ جدید بر اساس منبع خورشیدی را مورد بررسی قرار دادند. این سیستم شامل چیلر جذبی، سیکل ارگانیک رانکین، الکترولایز برای تولید هیدروژن و سیستم آب شیرین پرداختند. در این سیستم بر اساس آنالیزهای انرژی، انرژی و اقتصادی به بررسی عملکرد آن پرداخته شد. به نما^۸ و همکارانش [109] با استفاده از انرژی زمین گرمایی به بررسی سیستم سه منظوره^۹ الکتریسیته، آب داغ و آب شیرین پرداختند. کیانفرد و همکارانش [110] نیز از انرژی زمین گرمایی برای تولید چند منظوره استفاده نمودند. این سیستم شامل تولید هیدروژن، آب شیرین بر اساس تکنولوژی RO و تولید برق با استفاده از سیستم PEM^{۱۰} و ORC^{۱۱} می باشد. نتایج تحلیل های انرژی و اقتصادی نشان داد سیکل ORC دارای بیشترین تخریب انرژی و بازگشت سرمایه 5/6 سال می باشد. با توجه به

¹ Azhar et al

² Ocean Thermal

³ ArashNemati

⁴ Kasaeian

⁵ El-Emam

⁶ Dincer

⁷ integrated

⁸ Behnama

⁹ trigeneration

¹⁰ Protein-energy malnutrition

¹¹ Organic Rankine Cycle

توسعه‌ی ORC، پترجان^۱ و همکارانش به بررسی و مقایسه پیکربندی‌های این سیکل و کاربردهای آن پرداختند [111]. سلیمی و عمیدپور [112] به مدل‌سازی ICE^۲ تولید آب شیرین پرداختند. نتایج این بررسی نشان داد که استفاده از تلفات حرارتی و تولید بخار برای سیستم MED می‌تواند در روز 26/78 m³/d آب شیرین نمود. اولوی^۳ و همکارانش [113] سیستم SOFC^۴-GT+ORC-RO را مدل‌سازی نمودند سیستم بر اساس کاهش هزینه‌ها و افزایش راندمان انرژی توسط الگوریتم ژنتیک بهینه‌سازی شد. نتایج این سیستم نشان داد که بازگشت سرمایه این سیستم کمتر از 6 سال می‌باشد. باچیلو^۵ و همکارانش [114] سیکل ORC را با آب‌شیرین‌کن MED بخار سوپرهیت وارد سیکل ORC شده و حرارت خود را تا دمای اشباع به این سیستم داده و وارد فرآیند MED می‌شود. در پیکربندی دیگر ORC همراه با ریکوپراتور حرارت خروجی از توربین وارد ریکوپراتور شده و آب ورودی به MED را پیش گرم می‌نماید. لای^۶ و همکارانش [115] سیستم موتور استرلینگ را به سیستم RO در دو حالت همراه با ERD^۷ و بدون آن مورد بررسی قرار دادند. بالاترین ریکاوری در این سیستم برابر 3 درصد تخمین زده شد و مقدار $SEC^8 = 2,5 \text{ m}^3/\text{kWh}$ محاسبه شد.

Pethurajan¹

ICE: Internal Cooling Elements²

Eveloy³

Solid oxide fuel cell⁴

Baccioli⁵

Lai⁶

Energy Recovery Device⁷

Specific Energy Consumption⁸

فصل 3:

مدل سازی هاب های انرژی

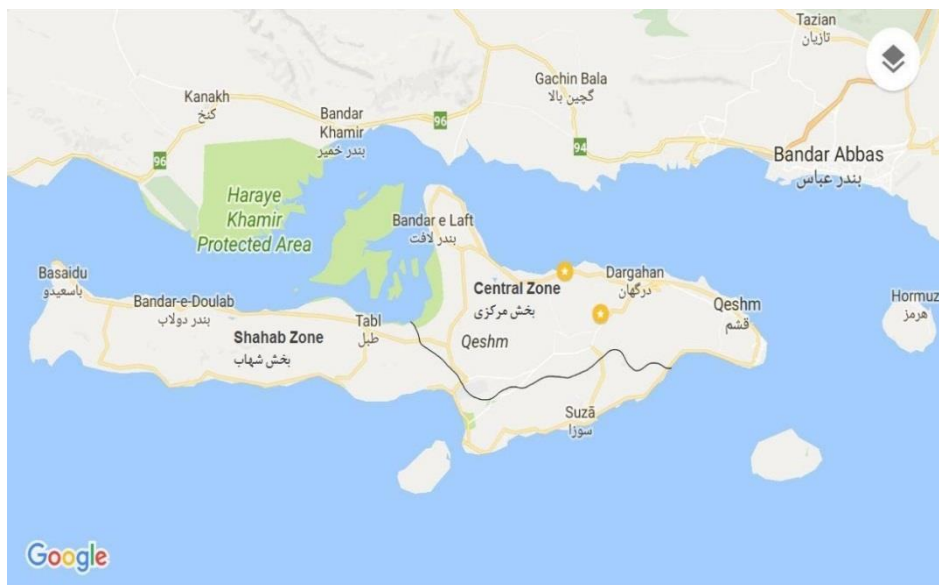
3-1- مقدمه

بر اساس مفهوم هاب که در فصل قبل به توصیف آن پرداخته شد در این بخش با توجه به مورد مطالعاتی انتخاب شده به بررسی هاب خانگی پرداخته می شود. در این بخش معادلات در نظر گرفته شده در هر بخش بر اساس نوع هاب تجزیه و تحلیل روابط و همچنین معادلات اساسی آن ارائه می شود.

3-2- مطالعه موردی

3-2-1- توصیف وضعیت موجود

جزیره قشم با وسعتی معادل 1491 کیلومتر و جمعیتی نزدیک به 150 هزار نفر در استان هرمزگان قرار دارد. این جزیره شامل 86 روستا می باشد که 11 روستا از تأسیسات آبرسانی آن هم به صورت ناقص (تا حد 40٪) برخوردار بوده و در حال حاضر آب مصرفی بیش از 90 درصد روستاییان به وسیله تانکر تأمین می گردد [116].



شکل 1-3 جزیره قشم و دو بخش مرکزی و شهاب [117]

در سال 1395 جمعیت کل جزیره قشم 148993 نفر بوده که 76077 نفر مرد و 72916 نفر زن و مجموعاً 40506 خانوار را تشکیل می‌دهند. این جزیره دارای دو بخش اصلی مرکزی و شهاب می‌باشد که بخش مرکزی دارای 104955 نفر و 28874 خانوار و همچنین بخش شهاب دارای 38115 نفر جمعیت و 9902 خانوار است [118].

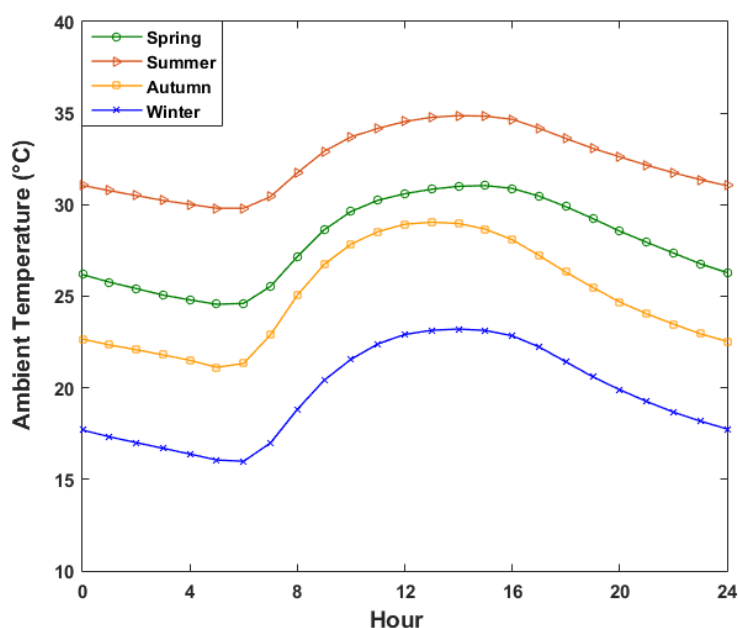
جدول (3-1) شهرها و آبادی‌های جزیره قشم به تفکیک جمعیت و خانوار [118]

جزیره	بخش	شهر	آبادی	جمعیت	خانوار
جزیره قشم	مرکزی	قشم	-	40678	11945
		درگهان	-	14525	3845
		حومه	طولا	5874	1588
			لافت	4668	1216
			کوه ای	4243	1191
			رمچا	3681	960
			گیاهدان	3152	841
			گورزین	1822	479
			تمیان	1199	329
			دفاری	544	142
			جمال آباد	280	78
			حمیری	93	25
			کابلی	53	13

		رمکان	هله	5828	1531
			رمکان	4473	1135
			توریان	2339	625
			پی پشت	2423	625
			کوشه	2193	517
			زینی	1572	418
			خالدین	1396	364
			گر به دان	1100	272
			کاروان	952	246
			جی جیان	727	198
			باغ بالا	283	81
			تم سستی	287	74
			منصورآباد	281	70
			گردوا	163	38
			بنگالی	112	26
	شهاب	دولاب	شهری	1453	404
			روستایی	9138	2321
		سوزا	شهری	5707	1539
			روستایی	6974	1864
		صلخ	شهری	3109	777
			روستایی	10792	2736
		هنگام	روستایی	521	146
		لارک	روستایی	421	115
	هرمز	هرمز	-	5891	1698

با توجه به شکل 3-1، جزیره قشم از دو قسمت مرکزی و شهاب تشکیل شده است که اطلاعات جمعیت آن در جدول 3-1 آمده است. به دلیل اختلاف مسافتی که بین بخش مرکزی و بخش شهاب وجود داشته که موجب هزینه‌های بالای شبکه انتقال می‌شود، در این مطالعه بخش قشم که از جمعیت بالاتری برخوردار است به عنوان مورد مطالعاتی تعیین شده است [119].

به منظور محاسبه هر چه دقیق‌تر نتایج حاصل از معادلات می‌توان تغییرات هرکدام از شرایط محیطی تأثیرگذار بر روی مدل‌سازی هاب انرژی را با بالاترین دقت ممکن برای ساعات مختلف در طول سال ارائه نمود.



شکل (2-3) تغییرات دمای محیط در فصل‌های مختلف سال به ازای هر ساعت [120]

از آنجایی که تغییرات دمای هوای محیط در طول روز و همچنین در فصول مختلف سال متفاوت است، تغییرات آن بر اساس مرجع [120] در ساعات مختلف یک سال در شکل 2-3 آمده است. عملکرد سیستم‌های انرژی متأثر از تغییرات شرایط محیطی بوده که یکی از مهم‌ترین پارامترهای آن تغییرات دما می‌باشد.

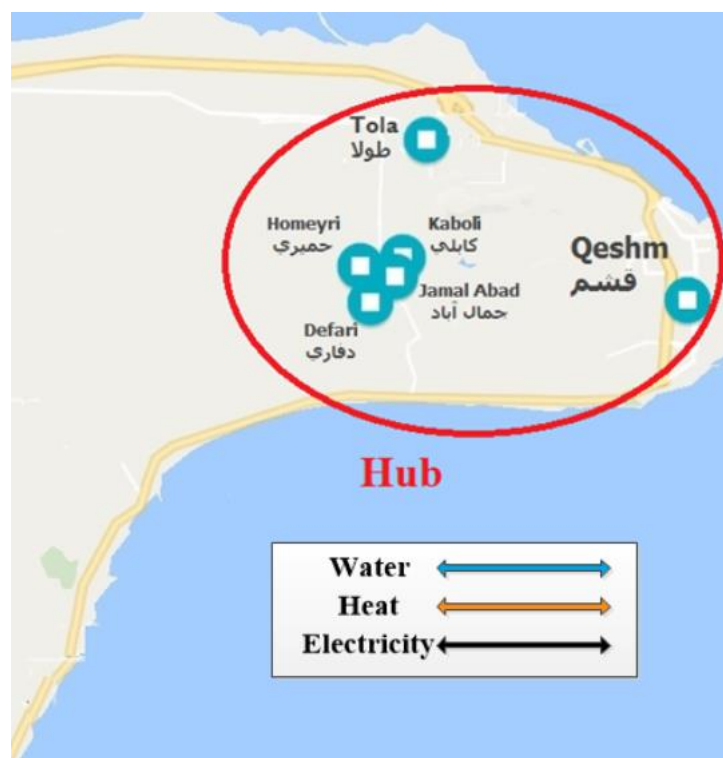
همچنین هزینه حامل‌های انرژی در جدول 2-3 نشان داده شده است که معیار محاسبات بین هاب‌های انرژی خواهد بود.

جدول (2-3) هزینه‌های حامل‌های انرژی در هاب انرژی

مقدار	واحد	حامل انرژی
0/4	\$/m ³	گاز [121]
0/068	\$/kWh	حرارت [122]
0/09	\$/kWh	الکتریسیته [122]

3-2-2- معرفی شرایط عملکردی هاب های انرژی خانگی

بخش شرقی از جزیره قشم در شکل 3-5 نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می-شود جمعیت در این منطقه به طور نامتوازن پراکنده شده‌اند. برای بیان مفهوم هاب خانگی و پرداختن به این موضوع مناطقی که دارای تمرکز جمعیت می‌باشد به عنوان نمونه انتخاب و بر اساس آن به بیان معادلات حاکم پرداخته خواهد شد. در هاب اول همانطور که مشخص است شهرهای قشم، طولا، حمیری، دفاری، جمال‌آباد و کابلی قرار دارد. جمعیت این بخش به طور کل برابر 45522 نفر می‌باشد که قشم با بیشترین و کابلی با کمترین خانوار در این هاب قرار دارند. به منظور بررسی سایر هاب ها نیز تراکم جمعیت و نزدیکی به آب دریا بررسی و هاب های 2 و 3 به وجود خواهد آمد.



شکل (3-3) شماتیک هاب های انرژی در بخش خانگی جزیره قشم

همانطور که در شکل 3-3 ملاحظه می‌شود، هاب های انرژی با بخش‌های مسکونی و

روستایی در اطراف آن قرار دارد و فاصله کوتاهی داشته و ارتباط سایر حامل‌های انرژی در آن بین را بیش‌ازپیش تسهیل می‌بخشد. به‌منظور تعیین هاب انرژی خانگی، می‌بایست هر روستا و یا شهر را با جمعیت‌های مختلف در نظر گرفت. از آنجایی که پراکندگی روستاها زیاد است، شبکه‌ی به وجود آمده از هاب‌های انرژی می‌بایست بهترین تکنولوژی برای تولید و انتقال حامل‌های انرژی را داشته باشد. هاب‌های انرژی خانگی به همراه شهرهای مصرف‌کننده حامل‌های آن در جدول 3-3 نشان داده شده است.

جدول (3-3) مشخصات هر شهر در هاب انرژی [118]

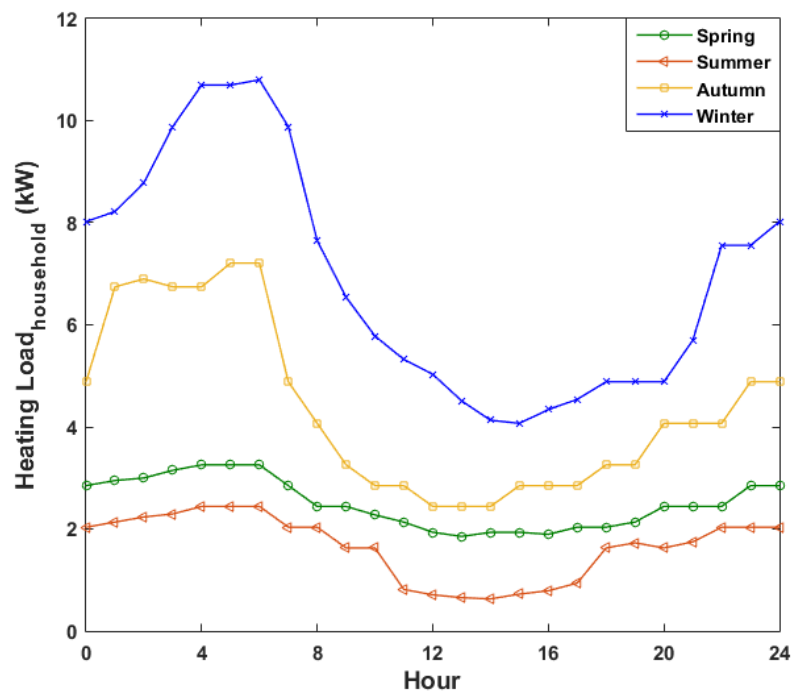
نوع	شهر	تعداد خانوار	جمعیت
هاب	قشم	11945	40678
	تولا	1588	5874
	دفاری	142	544
	حمیری	25	93
	جمال آباد	78	280
	کابلی	13	53

مجموع جمعیت تمامی شهرهای هاب انرژی در جدول 3-4 نشان داده شده است..

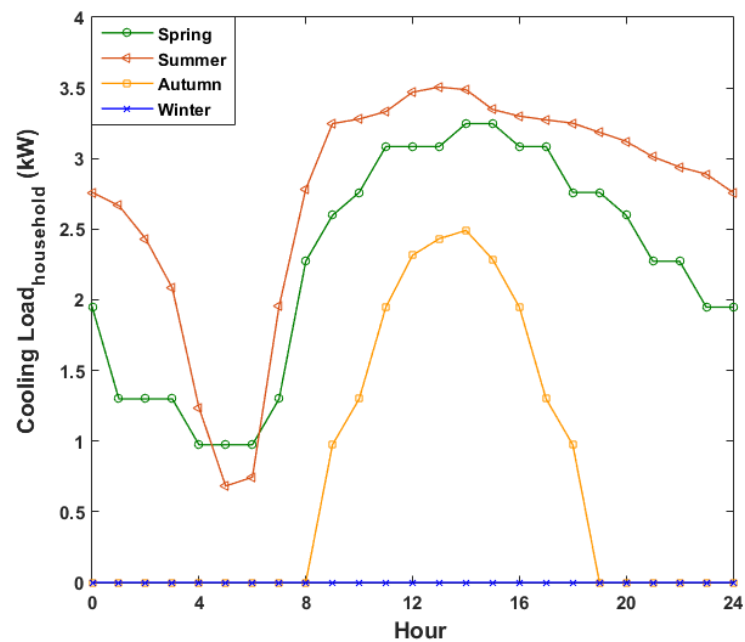
جدول (3-4) مشخصات جمعیت هر هاب انرژی

شماره هاب	تعداد خانوار	جمعیت
هاب	13791	47522

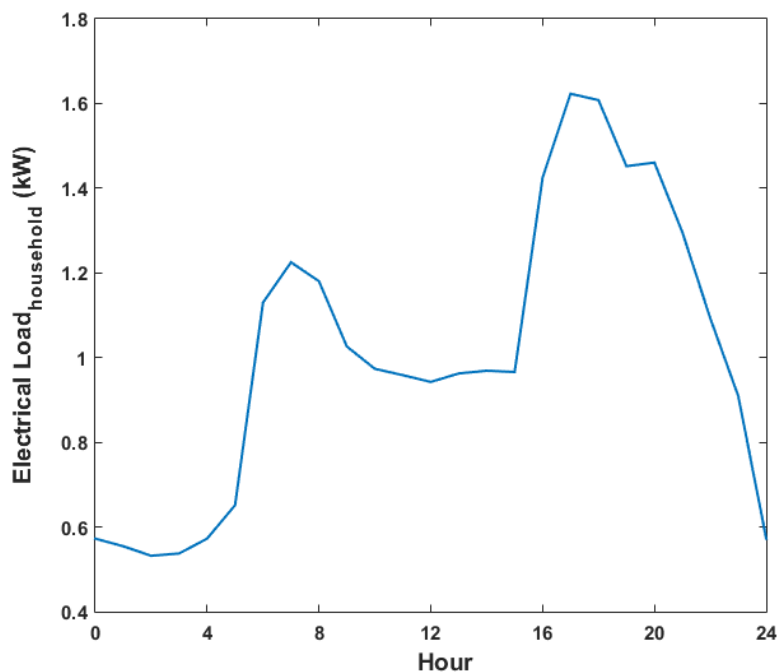
برای بررسی هاب خانگی میانگین تغییرات بارهای مصرفی حرارتی، الکتریکی، سرمایش در ساعات مختلف شبانه‌روز از میانگین یک روز از هر فصل سال در نظر گرفته شده است. همان‌طور که در شکل 3-4 نشان داده شده است این تغییرات برای میزان مصرف حرارت هر خانوار در ساعات مختلف روز و به ازای فصول مختلف ذکر شده است.



شکل 4-3 تغییرات بار حرارتی ساختمان به ازای هر خانوار در فصل‌های مختلف سال به ازای هر ساعت [124]



شکل 5-3 تغییرات بار سرمایشی ساختمان به ازای هر خانوار در فصل‌های مختلف سال به ازای هر ساعت [124]



شکل 3-6 تغییرات بار الکتریکی ساختمان به ازای هر خانوار در فصل‌های مختلف سال به ازای هر ساعت [126]

در شکل 3-4 الی 3-6 بار حرارتی، سرمایشی و الکتریکی ساختمان به ازای هر خانوار به ازای فصول مختلف و در متوسط ساعات یک شبانه‌روز آن نشان داده شده است. در شکل 3-4 واضح است که بار حرارتی ساختمان در زمستان بیشترین مقدار را به‌منظور تأمین مصارف گرمایشی دارا می‌باشد. از طرفی این مقدار در طول ساعات شب بیشتر از روز خواهد بود که ارتباط مستقیم این مقادیر با دمای محیط را نشان می‌دهد. مقادیر نشان داده شده از مرجع [124] محاسبه شده که با توجه به موقعیت آب و هوایی قشم میزان مصرف گرمایش و آب گرم هر خانوار را نشان می‌دهد. این نتایج با مقادیر موجود در مرجع [125] که مصارف گرمایشی هر نفر را به تفکیک نیاز مصرفی آن نشان می‌دهد، اعتبار سنجی شد. برای شکل 3-5 مشخص است که در فصل تابستان بیشترین نیاز سرمایشی وجود خواهد داشت؛ درحالی‌که فصل زمستان هیچ‌گونه نیاز سرمایشی ندارد. همین‌طور در ساعات روز تقاضای سرمایشی بیشتر از شب گزارش شده است. این نتایج از مرجع [124] استخراج شده و با مرجع [125] اعتبار سنجی شده است. در

شکل 3-6 نیاز الکتریکی حاصل از مصارف تجهیزات داخلی و روشنایی هر خانوار در ساعات مختلف روز در نظر گرفته شده است (نیاز سرمایشی را شامل نمی شود). این مصارف با توجه به نوع مصرف کننده و ضریب هم زمانی مصرف تجهیزات الکتریکی طبق مرجع [126] می باشد و برای ساعات مختلف روز ارائه شده است.

3-2-3- مدل سازی کلی هاب انرژی

هدف اصلی از این پایان نامه، انجام بهره برداری در هاب انرژی می باشد. عوامل بسیاری می توانند در بهره برداری از یک هاب انرژی تأثیرگذار باشند که از جمله آنها می توان به موارد زیر اشاره نمود:

بارهای خروجی: واضح است که تنوع بارهای خروجی اعم از بارهای الکتریکی و حرارتی و نحوه تغییرات آنها در طول دوره زمانی مورد نظر برای بهره برداری (در ساعات گوناگون شبانه روز و یا در ایام مختلف هفته و یا در ماه های گوناگون سال) تأثیر مستقیمی بر نحوه بهره برداری از هاب های انرژی دارد. از آنجایی که بارهای خروجی و نحوه رفتار آنها معمولاً در اختیار بهره بردار هاب نبوده و از طرف مصرف کنندگان اعمال می شود، لذا در فرایند بهینه سازی بهره برداری از هاب های انرژی نیز تنوع بارهای خروجی و تغییرات آنها در طول دوره بهره برداری را به عنوان یک عامل خارجی از پیش تعیین شده در نظر گرفته و آنها را به عنوان متغیر در فرایند بهینه سازی دخالت داده نمی شود [11].

حامل های انرژی ورودی: همانند بارهای خروجی، حامل های انرژی ورودی هاب نیز در نحوه بهره برداری از آن تأثیرگذارند. تنوع حامل های انرژی ورودی به هاب و محدودیت هایی که در شبکه بالادست برای تحویل حامل های انرژی به هاب وجود دارد و همچنین تغییرات قیمت آنها در طول دوره زمانی مورد نظر برای بهره برداری (در ساعات گوناگون شبانه روز و یا ایام مختلف هفته و یا در ماه های گوناگون سال)، همگی از عواملی هستند که ارتباط مستقیمی با نحوه بهره برداری از هاب انرژی دارند. از آنجاکه کلیه عوامل مذکور معمولاً در اختیار بهره بردار هاب

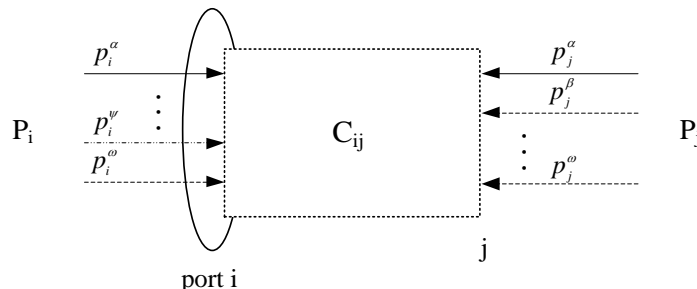
انرژی نبوده و از طرف سیستم و شبکه‌های بالادست اعمال می‌شود، لذا در فرایند بهینه‌سازی بهره‌برداری از هاب های انرژی نیز تنوع حامل‌های انرژی ورودی و تغییرات قیمت آن‌ها در طول دوره بهره‌برداری را به‌عنوان یک عامل خارجی از پیش تعیین‌شده در نظر گرفته به‌عنوان متغیر در فرایند بهینه‌سازی دخالت داده نمی‌شود [11].

تجهیزات درون هاب انرژی: نحوه بهره‌برداری از هاب انرژی ارتباط کاملاً تنگاتنگی با نوع تجهیزات درون هاب دارد. آنچه در فرایند بهینه‌سازی بهره‌برداری هاب انرژی موردنظر است، تعیین میزان حامل‌های انرژی ورودی به هاب در طول دوره بهره‌برداری و نیز تعیین نحوه توزیع این حامل‌ها در بین عناصر گوناگون مبدل و یا ذخیره‌ساز انرژی درون هاب می‌باشد. در این فرایند، هدف موردنظر تأمین بارهای گوناگون و متغیر خروجی هاب انرژی، در ضمن حداقل نمودن هزینه‌های بهره‌برداری و تأمین بار می‌باشد. قیود گوناگونی نظیر محدودیت‌های موجود در ظرفیت عناصر هاب نیز بایستی مدنظر قرار گیرند. با توجه به توضیحات فوق، اینکه در ساختار هاب تنها از عناصر مبدل انرژی نظیر توربین و واحدهای تولید هم‌زمان استفاده‌شده باشند، به‌طور کلی نحوه بهره‌برداری از هاب انرژی را تغییر می‌دهد. علاوه بر این در مورد هریک از مبدل‌ها و یا ذخیره‌سازها نیز، اینکه از بین انواع مختلف هر تجهیز (که هر یک دارای راندمان و ظرفیت گوناگون هستند) کدام یک را در هاب قرار داده شود بر روی نحوه بهره‌برداری از هاب تأثیر مستقیمی می‌گذارد. بنابراین ارتباط تنگاتنگی بین بهره‌برداری ساختاری و بهینه‌سازی بهره‌برداری از هاب انرژی وجود دارد به‌طوری‌که برای انجام بهینه‌سازی بهره‌برداری در هاب های انرژی و دستیابی به پاسخ بهینه عمومی می‌بایست در حد موردنیاز بهینه‌سازی ساختاری و بهره‌برداری هاب به‌طور کامل تفکیک داده شوند. این امر باعث می‌شود از پاسخ بهینه عمومی فاصله بگیریم. زیرا در این شرایط بایستی یک ساختار ثابت و از پیش تعیین‌شده را برای تأمین بارهای خروجی هاب در نظر گرفته، سپس به بهینه‌سازی بهره‌برداری آن عناصر از پیش تعیین‌شده پرداخته شود. در حالتی که اگر عناصر درون هاب را نیز به‌عنوان متغیر در فرایند بهینه‌سازی وارد شود، بهترین عناصر ممکن برای تأمین بارهای خروجی انتخاب‌شده و به‌صورت هم‌زمان نحوه

بهره‌برداری از آن عناصر نیز به صورت بهینه تعیین می‌شود. به این ترتیب دستیابی به یک پاسخ بهینه عمومی تضمین می‌گردد [128].

در فضاهای چند حاملی که دارای حامل‌های چندگانه انرژی می‌باشند، ترکیبی از چند شبکه (شبکه برق و گاز) و هاب‌های انرژی مورد بررسی قرار می‌گیرند. تفاوت بین شبکه و هاب انرژی در این است که هاب‌ها حامل‌های مختلف را با یکدیگر ترکیب می‌کنند در صورتی که شبکه‌ها به صورت مستقل از یکدیگر طراحی و بهره‌برداری می‌شوند. در این قسمت به بهینه‌سازی پخش بار درون هاب‌های انرژی پرداخته می‌شود و مدل‌سازی بهره‌برداری از هاب‌ها از طریق روابط ریاضی مشخص می‌گردد. به طور کلی برای بررسی سیستم‌هاب‌های انرژی نیاز به مطالعه مدل‌های زیر می‌باشد.

تبدیل انرژی بین درگاه‌های مختلف هر هاب انرژی، معمولاً با استفاده از یک ماتریس تزویج (C) نشان داده می‌شود. ارتباط بین درگاه‌های مختلف ورودی و خروجی برای یک هاب به صورت نمونه در شکل زیر نشان داده شده است [11].



شکل 3-7 ارتباط بین درگاه‌های ورودی و خروجی یک هاب انرژی دارای یک ماتریس تزویج C_{ij}

توان‌های تبدیلی در درگاه‌های i و j به ترتیب توسط بردارهای P_i و P_j قابل بیان است و این بردارها توان طبق رابط زیر توسط ماتریس تزویج به یکدیگر مرتبط می‌شوند. در این رابطه، C_{ij} ها آرایه‌های ماتریس تزویج می‌باشند که با توجه به خصوصیات عناصر موجود، ورودی‌ها و خروجی‌های هاب را به یکدیگر مرتبط می‌نمایند [11].

$$\underbrace{\begin{bmatrix} p_j^\alpha \\ \vdots \\ p_j^\omega \end{bmatrix}}_{p_j} + \underbrace{\begin{bmatrix} C_{ij}^{\alpha\alpha} & \dots & C_{ij}^{\omega\alpha} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ C_{ij}^{\alpha\omega} & \dots & C_{ij}^{\omega\omega} \end{bmatrix}}_{C_{ij}} \underbrace{\begin{bmatrix} p_i^\alpha \\ \vdots \\ p_i^\omega \end{bmatrix}}_{p_i} = 0 \quad (3-1)$$

دو خصوصیت مهم زیر در آرایه‌های ماتریس تزویج وجود دارند:

1. بر اساس قانون بقای انرژی از تبدیل یک صورت انرژی به صورت دیگر هیچ انرژی تولید نمی‌شود بلکه در فرایند تبدیل بعضاً تلفاتی نیز رخ می‌دهد، بنابراین همه آرایه‌های ماتریس تزویج طبق رابطه زیر بین مقدار بیشینه و کمینه خود قرار می‌گیرند.

$$0 \leq C_{ij}^{\alpha\beta} \leq 1 \quad \forall (i, j) \in \rho \quad \text{و} \quad \alpha, \beta \in \varepsilon \quad (3-2)$$

در این رابطه داریم:

$$(i, j) \in \rho = \{(1,2), (3,4), \dots\}, \quad \alpha, \beta \in \varepsilon = \{Heating, Cooling, Electrical\} \quad (3-3)$$

2. طبق قانون بقای انرژی مجموع همه خروجی‌های تبدیل شده از یک ورودی مشخص، باید کمتر و یا مساوی مقدار ورودی باشد. بنابراین مجموع آرایه‌های هر ستون در ماتریس تزویج باید مطابق رابطه زیر کمتر یا مساوی یک باشد [11].

$$0 \leq \sum_{\beta \in \varepsilon} C_{ij}^{\alpha\beta} \leq 1 \quad \forall (i, j) \in \rho, \quad \alpha \in \varepsilon \quad (3-4)$$

در صورتی که بارهای خروجی از هاب را با L و حامل‌های ورودی به هاب را با P نشان دهیم، می‌توان رابطه قبل را به صورت زیر بازنویسی کرد:

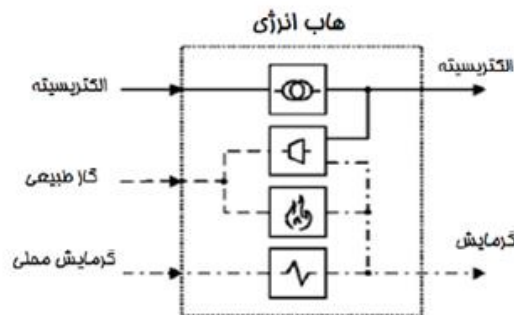
$$\underbrace{\begin{bmatrix} L_{\alpha} \\ \vdots \\ L_{\omega} \end{bmatrix}}_L = \underbrace{\begin{bmatrix} C_{\alpha\alpha} & \cdots & C_{\omega\alpha} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ C_{\alpha\omega} & \cdots & C_{\omega\omega} \end{bmatrix}}_C \underbrace{\begin{bmatrix} p_{\alpha} \\ \vdots \\ p_{\omega} \end{bmatrix}}_p \quad (3-5)$$

تا زمانی که عناصر ماتریس تزویج که به عنوان راندمان تجهیزات مبدل درون هاب شناخته می‌شوند، مقداری ثابت و مستقل از توان ورودی به هاب داشته باشند رابطه 3-5 یک رابطه خطی است؛ ولی با در نظر گرفتن وابستگی راندمان تجهیزات به انرژی ورودی، این رابطه غیرخطی خواهد بود.

از آنجاکه یک نوع انرژی ورودی به هاب ممکن است به چند قسمت تقسیم شده و وارد مبدل‌های گوناگونی درون هاب شود، ضرایبی به نام ضرایب پخش تعریف می‌شوند که بیانگر میزان انرژی ورودی تخصیص یافته به هر یک از مبدل‌های درون هاب می‌باشد. در هاب‌های دارای چند ورودی و چند خروجی، مقدار عناصر ماتریس تزویج علاوه بر راندمان تجهیزات مبدل، به ضرایب پخش نیز بستگی دارند.

مثلاً در شکل 3-13 با تعریف ضریب پخش ν برای گاز طبیعی ورودی، نشان داده می‌شود که ν برابر گاز طبیعی، وارد واحد تولید هم‌زمان برق و حرارت و $(1-\nu)$ برابر آن وارد کوره حرارتی می‌شود. بنابراین واضح است که برای این ضریب پخش بایستی رابطه 3-6 برقرار باشد [16].

$$0 \leq \nu \leq 1 \quad (3-6)$$



شکل 3-8 طرحی قیاسی از هاب جهت مدل‌سازی ضرایب پخش و بهینه‌سازی بهره‌برداری از هاب [8]

به عنوان نمونه، با استفاده از رابطه 3-5 و در نظر گرفتن شکل 3-13، ماتریس تزویج برای این هاب به صورت نشان داده شده در رابطه 3-7 در خواهد آمد.

$$\begin{bmatrix} L_e \\ L_h \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \eta_T & g\eta_{CHP,e} & 0 \\ 0 & g\eta_{CHP,h} + (1-g)\eta_F & \eta_H \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_\alpha \\ p_g \\ p_h \end{bmatrix} \quad (3-7)$$

بنابراین به طور کلی می توان رابطه زیر را برای ضرایب پخش بیان کرد:

$$0 \leq v_{ai} \leq 1 \quad \forall \alpha \in \varepsilon = \{Heating, Natural Gas, Electrical, \dots\}, \quad \forall i \in \{1, 2, \dots, n-1\} \quad (8-)$$

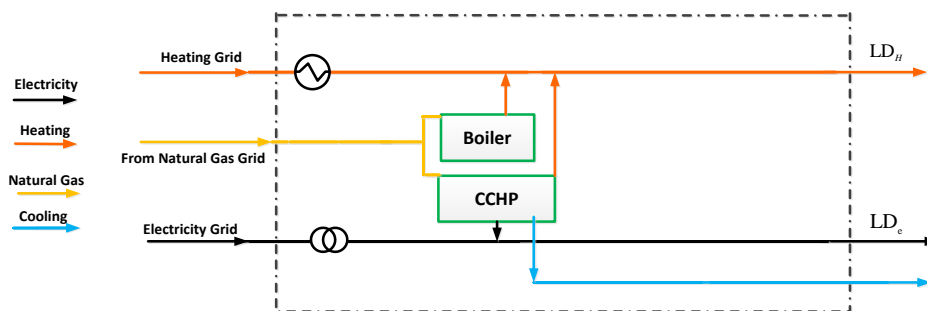
مسئله مهم دیگر انتخاب بهینه المان ها از میان مجموعه ای از مبدل ها و عناصر ذخیره سازی داده شده، جهت قرار دادن در هاب های انرژی و تأمین بار مورد نیاز می باشد [16].

3-2-4- معادلات بخش هاب خانگی

در این بخش معادلات اجزای داخلی هاب خانگی به منظور مدل سازی ترمودینامیکی آن بیان می شود. هدف از مدل سازی ترمودینامیکی استفاده از معادلات انرژی، پیوستگی و معادلات وابسته به هر کدام از اجزای یک سیستم انرژی است که رفتار آن را در شرایط مختلف نشان می دهد. در این معادلات علاوه بر وابستگی سیستم های انرژی به مشخصات کلی فرایند مانند راندمان و ظرفیت تجهیز، به مشخصات داخلی سیکل ترمودینامیکی آن که مشخصه دما، فشار و دبی هر کدام از قسمت های آن می باشد پرداخته می شود. معادلات انرژی

بر اساس اجزاء در نظر گرفته شده در هاب خانگی به مدل سازی سیستم مذکور و در نهایت بررسی سیستم جامع متشکل از کلیه انرژی های ورودی و تجهیزات درون هاب پرداخته می شود. در هاب انرژی خانگی که در شکل 3-14 نشان داده شده است از سوخت فسیلی برای تأمین تقاضای انرژی بهره گرفته می شود. در نتیجه هاب خانگی شامل تجهیزات: بویلر، مولد تولید

هم‌زمان برق و حرارت (میکروتوربین)، چیلرهای جذبی و تراکمی می‌باشد.



شکل 9-3 شماتیکی از هاب خانگی و اجزاء آن

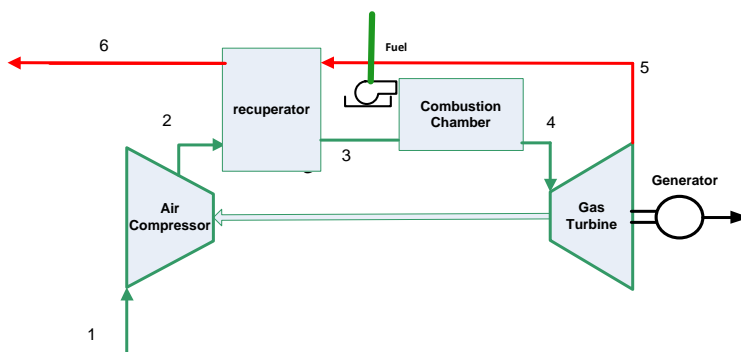
در شکل 3-14 بویلر و سیستم تولید هم‌زمان مصرف گاز طبیعی امکان تولید حرارت را دارا می‌باشند. مجموع حرارت تولیدی پس از تأمین مصارف تجهیزات داخلی هاب انرژی و تقاضای هاب امکان فروش به شبکه را خواهد داشت. مصارف حرارتی شامل MED چیلر جذبی برای تولید سرمایش می‌باشد. تولید الکتریسیته نیز توسط سیستم تولید هم‌زمان برق و حرارت تأمین می‌شود. بخشی از این الکتریسیته تولیدی می‌تواند درون هاب و توسط تجهیزاتی همچون سیستم چیلر الکتریکی مصرف شود. همچنین با توجه به اینکه در کار حاضر اجزاء متناسب با بار و شرایط محیطی، ضریب تبدیل متفاوتی دارند. مدل‌سازی اجزاء موجود در هاب در ادامه بر اساس معادلات حاکم بر آن بیان خواهد شد. بر اساس این معادلات ضرایب تبدیل هر جزء تعیین و درنهایت با حل کل معادلات هاب انرژی، میزان حامل انرژی ورودی به هر جزء تعیین خواهد شد.

➤ مدل‌سازی ترمودینامیکی سیکل میکرو توربین

سیکل میکرو توربین بر پایه‌ی سیکل برایتون کار می‌کند. سیکل برایتون تشکیل شده است از: یک کمپرسور برای افزایش فشار، محفظه احتراق و یک توربین گاز. فرضیات زیر برای مدل‌سازی

ترمودینامیکی در نظر گرفته شده است:

- هوا به صورت گاز ایده آل در نظر گرفته شده است.
 - گرمای ویژه‌ی هوا در فشار ثابت (C_p) و گرمای ویژه‌ی هوا در حجم ثابت (C_v) به صورت متغیر با دما در نظر گرفته شده است.
 - کمپرسورها و توربین‌ها گاز دارای بازده می‌باشند.
- برای مدل‌سازی ترمودینامیکی هریک از اجزا سیکل توربین گاز (0) از قانون اول ترمودینامیک استفاده می‌شود.



شکل 3-10 شماتیک سیکل پایه میکروتوربین به عنوان محرک اولیه در واحد تولید سه‌گانه

مدل‌سازی کمپرسور

با در نظر گرفتن یک حجم کنترل در اطراف کمپرسور، هوا با فشار محیط و دمای محیط (T_1) وارد کمپرسور می‌شود. دمای خروجی کمپرسور (T_2) تابعی از بازده آیزنتروپیک کمپرسور (η_{ac})، نسبت فشار کمپرسور (r_{ac}) و نسبت گرمای ویژه است. با در نظر گرفتن حجم کنترل برای کمپرسور دمای خروجی کمپرسور و کار کمپرسور به صورت زیر محاسبه می‌شود [140]:

$$T_2 = T_1 \left\{ 1 + \frac{1}{\eta_{AC}} \left[r_c^{\frac{\gamma_a - 1}{\gamma_a}} - 1 \right] \right\} \quad (3-9)$$

$$\dot{W}_{AC} = \dot{m}_a C_{p,a} (T_2 - T_1) \quad (3-10)$$

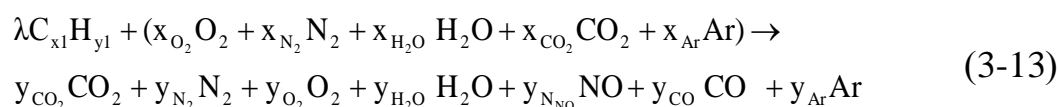
که در فرمول 0 \dot{m}_a دبی هوای عبوری از کمپرسور و $C_{p,a}$ گرمای ویژه هوا در فشار ثابت است که از فرمول زیر به دست می‌آید [140]:

$$C_{p,a}(T) = 1.04841 - \left(\frac{3.8371T}{10^4}\right) + \left(\frac{9.4537T^2}{10^7}\right) - \left(\frac{5.49031T^3}{10^{10}}\right) + \left(\frac{7.9298T^4}{10^{14}}\right) \quad (3-11)$$

مدل‌سازی محفظه احتراق

با در نظر گرفتن 0، هوا با فشار و دما در نقطه 3 وارد محفظه احتراق می‌شود. در محفظه احتراق سوخت با دبی \dot{m}_f و انرژی برابر ارزش حرارتی پایین سوخت (LHV) وارد محفظه احتراق می‌شود و باعث افزایش دمای خروجی از محفظه احتراق می‌گردد. با نوشتن قانون بقا انرژی برای محفظه احتراق خواهیم داشت [140]:

$$\dot{m}_a h_3 + \dot{m}_f LHV = \dot{m}_g h_4 + (1 - \eta_{cc}) \dot{m}_f LHV \quad (3-12)$$



$$\frac{P_4}{P_3} = (1 - \Delta P_{cc}) \quad (3-14)$$

$$\begin{aligned} y_{CO_2} &= (\lambda x_1 + x_{CO_2} - y_{CO_2}) \\ y_{N_2} &= (x_{N_2} - y_{NO}) \end{aligned} \quad (3-15)$$

$$y_{H_2O} = (x_{H_2O} + \frac{\lambda \times y_1}{2})$$

$$y_{O_2} = x_{O_2} - \lambda \times x_1 - \frac{\lambda \times y_1}{4} - \frac{y_{CO}}{2} - \frac{y_{NO}}{2}$$

$$y_{Ar} = x_{Ar}$$

$$\lambda = \frac{n_{fuel}}{n_{air}}$$

مدل‌سازی توربین گاز

گازهای داغ حاصل از احتراق در نقطه 4 با دما و فشار P_4 , T_4 وارد توربین گاز می‌شود. شرایط خروجی توربین گاز در نقطه 5، نشان داده شده است. با نوشتن معادله بقا انرژی برای توربین گاز، دما در نقطه 5، کار توربین گاز و کار خالص سیکل توربین گاز به دست می‌آید. این معادلات در زیر نشان داده شده‌اند [140]:

$$T_5 = T_4 \left\{ 1 - \eta_{GT} \left[1 - \left(\frac{P_5}{P_4} \right)^{\frac{1-\gamma_g}{\gamma_g}} \right] \right\} \quad (3-16)$$

$$\dot{W}_{GT} = \dot{m}_g C_{p,g} (T_4 - T_5) \quad (3-17)$$

$$\dot{W}_{net} = \dot{W}_{GT} - \dot{W}_{AC} \quad (3-18)$$

$$\dot{m}_g = \dot{m}_f + \dot{m}_a \quad (3-19)$$

که در رابطه 3-57 $C_{p,g}$ گرمای ویژه گازهای حاصل از احتراق در فشار ثابت می‌باشند که از فرمول زیر به دست می‌آید [25].

$$C_{p_g}(T) = 0.991615 + \left(\frac{6.99703T}{10^5} \right) + \left(\frac{2.7129T^2}{10^7} \right) - \left(\frac{1.22442T^3}{10^{10}} \right) \quad (3-20)$$

مدل‌سازی رکوپراتور

هدف استفاده از رکوپراتور که یک مبدل حرارتی گاز به گاز است، کاهش مصرف سوخت و بهبود راندمان حرارتی می‌باشد که از انرژی گازهای گرم خروجی از توربین برای پیش گرم کردن هوای ورودی به محفظه احتراق استفاده می‌کند. موازنه انرژی در رکوپراتور با در نظر گرفتن اتلافات حرارتی به صورت رابطه 3-61 می‌باشد [140]:

$$\dot{m}_a C_{p,a} (T_2 - T_1) = \dot{m}_g C_{p,g} (T_5 - T_6) \eta_{rec} \quad (3-21)$$

با در نظر گرفتن افت فشار در مراحل مختلف، فشار ورودی به محفظه احتراق و خروجی

توربین را به صورت زیر به دست می آید:

$$\frac{P_3}{P_2} = (1 - \Delta P_{a,rec}) \quad (3-22)$$

$$\frac{P_6}{P_5} = (1 - \Delta P_{g,rec}) \quad (3-23)$$

در روابط 3-62 و 3-63، $\Delta P_{g,rec}$ و $\Delta P_{a,rec}$ افت فشار در رکوپراتور به ترتیب با سیال عامل هوا و گازهای داغ پس از احتراق است [140].

همچنین برای مدل سازی، فرضیات زیر نیز در نظر گرفته شده اند:

- 1- هوای جریان یافته در فرآیند به صورت گاز ایده آل در نظر گرفته شده است.
- 2- سوخت احتراقی در محفظه ی احتراق، گاز طبیعی است.
- 3- تمامی اجزاء به صورت عایق فرض شده اند. در واقع از نرخ انتقال حرارت هر یک از اجزاء با محیط در مقایسه با نرخ انتقال حرارت با سیال درون فرایند، صرف نظر شده است.
- 4- تمامی خواص هوا و آب به صورت تابعی از دما و فشار در نظر گرفته شده اند.

چیلرهای جذبی و الکتریکی

چیلرها از جمله تجهیزات بسیار مهم در سرمایش هستند که به طور کلی می توان آن ها را به دو دسته چیلرهای تراکمی و چیلرهای جذبی تقسیم کرد. به طور کلی چیلرهای تراکمی از انرژی الکتریکی و چیلرهای جذبی از انرژی حرارتی به عنوان منبع اصلی برای ایجاد سرمایش استفاده می کنند. مهم ترین مشخصه سیستم سرمایش جذبی در مقایسه با سیستم سرمایش معمولی، عدم نیاز به کمپرسور است. در سیستم سرمایش جذبی $\text{LiBr-H}_2\text{O}$ ، آب به عنوان مبرد و لیتیم بروماید به عنوان واسطه انتقال عمل می کند. ضریب عملکرد (COP) سیستم سرمایش جذبی به صورت نسبت بار حرارتی اواپراتور (سرمایش تولیدی) به بار حرارتی ژنراتور تعریف می شود. همچنین ضریب عملکرد سیستم سرمایش تراکمی به صورت نسبت میزان سرمایش تولیدی توسط چیلر به الکتریسیته مصرفی در آن تعریف می شود.

در ادامه ضریب عملکرد این دو چیلر در بارهای جزئی بیان شده است [141].

چیلر جذبی:

$$\frac{COP_{PL}}{COP_{nom}} = \frac{PL}{0.75(PL)^2 + 0.0195(PL) + 0.213} \quad (3-24)$$

چیلر الکتریکی:

$$\frac{COP_{PL}}{COP_{nom}} = 1.819(PL) - 0.819(PL)^2 \quad (3-25)$$

↪ بویلر

اگرچه در سامانه‌های تولید هم‌زمان حرارت و توان، حرارت تولیدشده توسط محرک اصلی برای گرمایش بکار می‌رود اما این امکان وجود دارد که حرارت تولیدی توسط محرک کافی نباشد و یا اینکه اقتصادی نباشد که برای دستیابی به میزان حرارت موردنیاز، محرک اولیه را بزرگ‌تر در نظر گرفت. ازاین‌رو در سامانه‌های تولید هم‌زمان باید از یک بویلر پشتیبان استفاده کرد و کمبود حرارت را تأمین نمود. با کاهش بار بویلر و کار کردن در بار جزئی، بازدهی حرارتی بویلر کاهش و توسط رابطه‌ی زیر ارزیابی می‌شود [141]:

$$\frac{\eta_{th,PL}}{\eta_{th,nom}} = 0.0951 + 1.525(PL) - 0.6249(PL)^2 \quad (3-26)$$

↪ هاب خانگی

در این بخش به بیان معادلات هاب خانگی پرداخته می‌شود. جدول 3-5 معادلات هاب خانگی را بیان می‌کند. در این معادلات بر اساس بالانس انرژی در هر حامل انرژی و بر اساس ضرایب تصمیم به مدل‌سازی سیستم پرداخته می‌شود. در این مدل‌سازی برای حل معادلات نیاز به معادلات کمکی می‌باشد که متناسب با ضرایب تخصیص دیمنند به حل دستگاه معادلات پرداخته شده است.

جدول (3-5) معادلات حاکم در خصوص هاب انرژی خانگی

ردیف	معادله	مجهولات	مقادیر مشخص	متغیرهای تصمیم
1	$Pe_{CHP} + P_E - Pe_{comp,chiller} - LD_e = 0$	$Pe_{CHP}, P_E, Pe_{comp,chiller}$	LD_e	-
2	$Pe_{CHP} = v_{CHP}(P_E - Pe_{comp,chiller})$	-	-	v_{CHP}
3	$Q_{CHP} + Q_{PV/T} + Q_b + P_H - Q_{MED} - Q_{a,chiller} - LD_H = 0$	$Q_{a,chiller}, Q_{CHP}, Q_b, P_H$	LD_H	-
4	$Q_b = v_{Boi}(Q_{CHP} + P_H - Q_{a,chiller})$	-	-	v_{Boi}
5	$Q_{CHP} = \frac{(1 - \eta_{CHP})}{\eta_{CHP}} Pe_{CHP}$	-	η_{CHP}	-
6	$LD_c = Q_{comp,chiller} + Q_{a,chiller}$		LD_c	
7	$Q_{a,chiller} = v_{a,chiller} \cdot Q_{comp,chiller}$			$v_{a,chiller}$

فصل 4:

ارائه بحث و تحلیل نتایج

1-4- مقدمه

نتایج در این بخش هاب انرژی خانگی که متشکل از چند روستا و تجهیزات بین آن می‌باشد بررسی می‌شود. برای این منظور پس از مدل سازی هرکدام از تجهیزات به کار رفته در هاب انرژی در نظر گرفته شده، با توجه به تقاضای حرارتی، برودتی و الکتریکی مصرف کننده ها تعداد میکروتوربین، بویلر و چیلر های لازم بدست آمد و برای کلیه ساعات شبانه روز تحلیل هایی بر روی آن انجام شد.

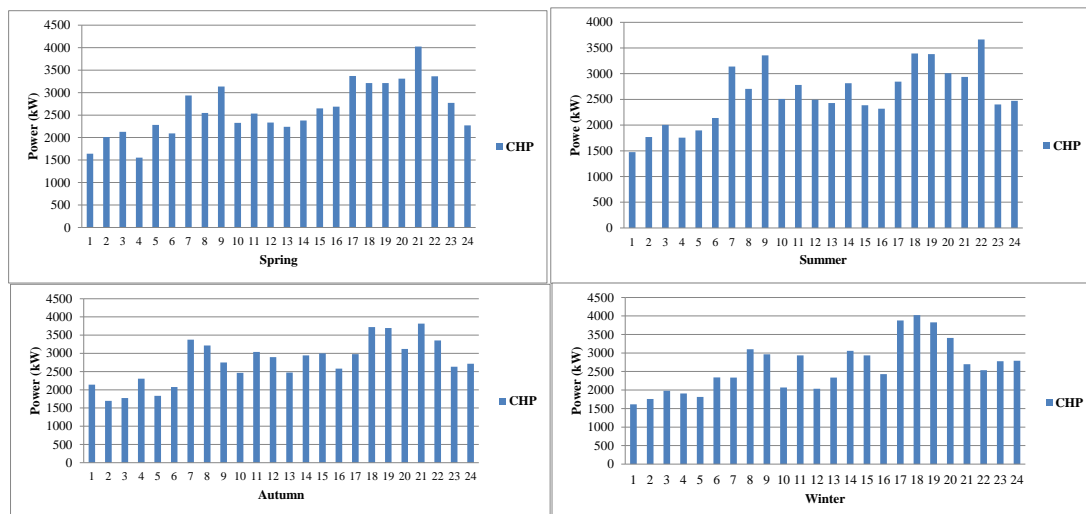
2-4- نتایج برای مدل هاب انرژی

در ادامه بر اساس ظرفیت سنجی صورت گرفته شده؛ نتایج حاصل از بررسی این سیستم‌ها در شرایط خارج از نقطه‌ی طراحی مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. باید توجه داشت که برای هر ساعت و بر اساس راندهای تجهیزات در شرایط خارج از نقطه‌ی طراحی تقاضای موردنظر هاب برآورده خواهد کرد. نتایجی که در ادامه بیان می‌شود حاصل بررسی هر هاب در شرایط خارج از نقطه‌ی طراحی می‌باشد که با دیگر هاب ها در تعامل است.

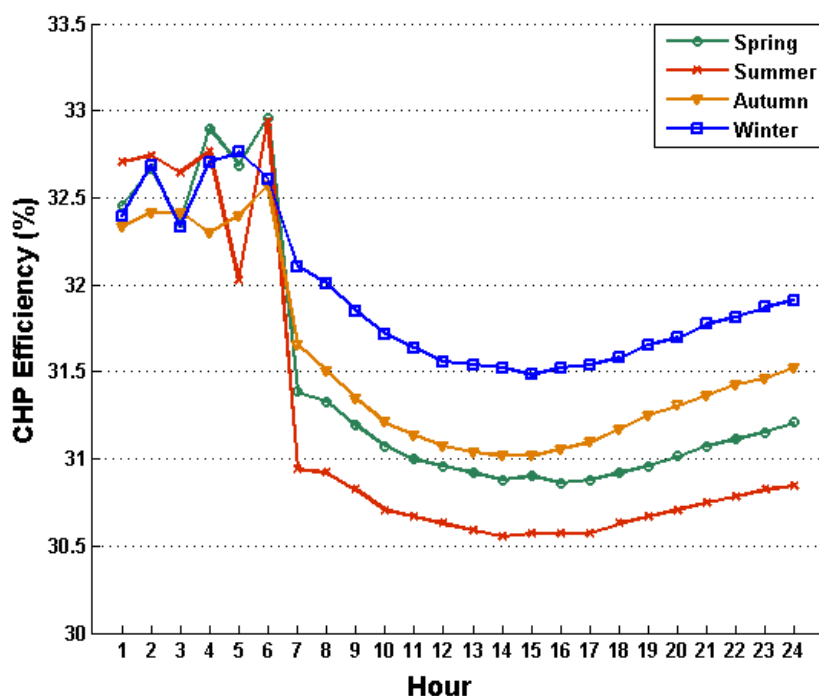
جدول (4-1) مشخصات تجهیزات تولیدکننده، مصرف‌کننده حامل‌های انرژی در هاب

نوع تجهیز	تعداد	ظرفیت تولید هرکدام (kg/s ,kW)	ظرفیت کل (kg/s ,kW) (برق (kW)	حرارت (kW)	سرمایش (kW)	گاز طبیعی (kg/s)
میکروتوربین	21	203	4269	4269	9251	*	0/0134
بویلر	9	607	5465	*	5465	*	0/0158
چیلر جذبی	26	747	19417	*	14936	19417	*
چیلر تراکمی	17	2019	34335	8627	*	34335	*

در بررسی شرایط خارج از نقطه‌ی طراحی هاب شکل (4-1) تولید توان هاب را در سیستم نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود ظرفیت CHP (منظور از CHP میکروتوربینی است که تکنولوژی تولید هم‌زمان دارد) در ساعات اولیه روز با توجه به کمبود تقاضا کم می‌باشد. این امر در ساعات و فصول مختلف برای راندمان CHP به‌وضوح در شکل (4-2) نشان داده شده است. با قرارگیری سیستم CHP در حالت بار جزئی، از راندمان سیستم کاسته شده است. این امر منجر به کاهش تولید سیستم CHP می‌شود. از طرفی با افزایش دمای محیط، راندمان حرارتی سیستم کاهش یافته است. از دیگر نکات مورد توجه افزایش توان تولیدی در ساعات شب می‌باشد. با توجه به اوج مصرف در ساعات 16 تا 22 مشاهده می‌شود که بخش زیادی از تولید سیستم‌ها در این بخش صورت پذیرفته شده است.



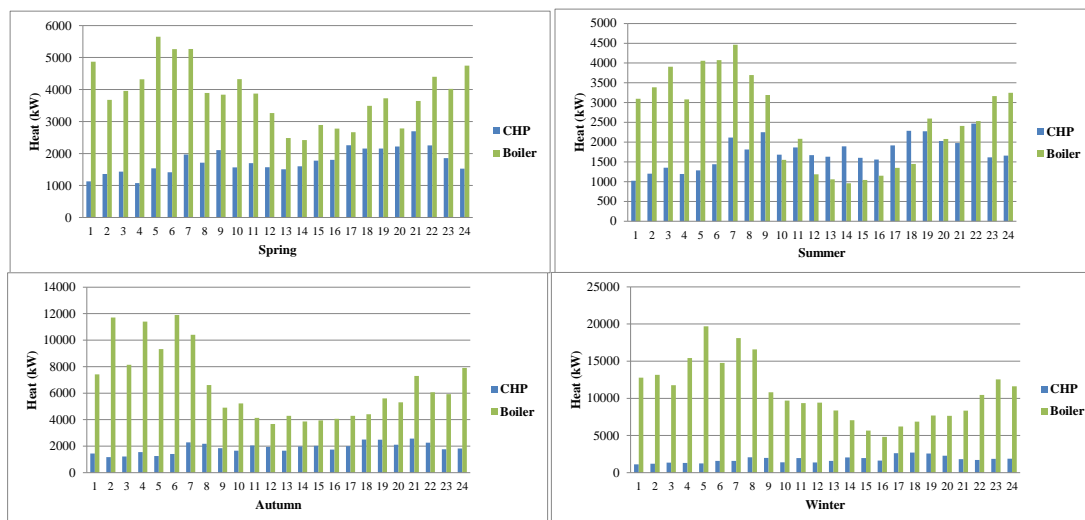
تولید توان هاب در طی یک روز منتخب در ماه‌های مختلف



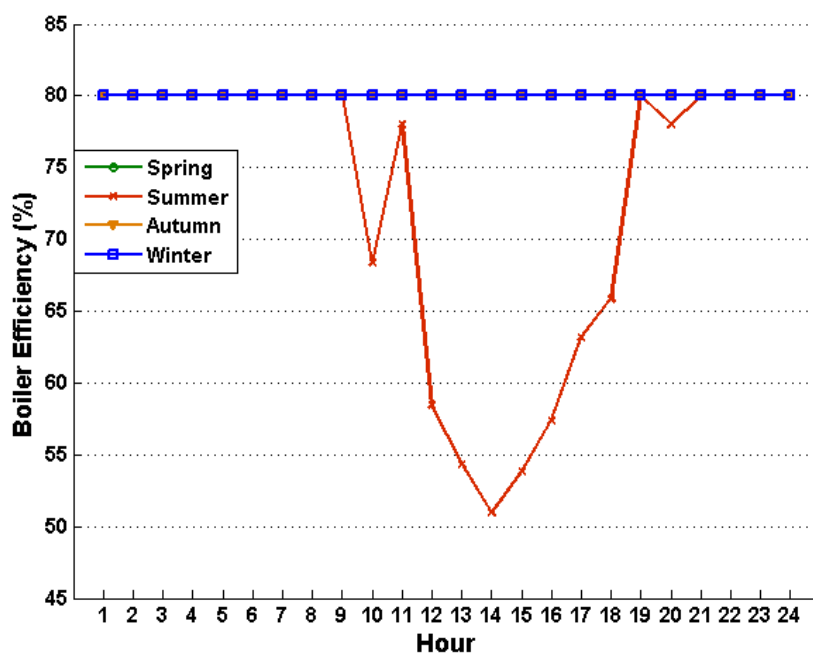
شکل 1-4 تغییرات راندمان حرارتی سیستم CHP در طول روز منتخب برای هر فصل

شکل (3-4) تولید حرارت در هاب را نشان می‌دهد. با افزایش حرارت منتقل شده از سیستم CHP به هاب مشاهده می‌شود؛ بویلر که تنها تأمین‌کننده‌ی مستقل حرارت هاب می‌باشد، تولید آن کاهش می‌یابد. کاهش دیمند حرارتی از ظرفیت در نظر گرفته شده برای بویلرها، منجر به بهره‌برداری بویلرها در حالت بار نسبی می‌شود که این امر تنها در تابستان به وقوع پیوسته است. شکل (4-4) راندمان حرارتی بویلر را در زمان و فصول مختلف سال نشان می‌دهد.

برای هاب در بخش تولید حرارت مشاهده می‌شود که به واسطه‌ی بالا بودن دیمند حرارتی برای مصرف‌کننده‌هایی از قبیل: بار مصرفی حرارتی بخش مسکونی، سرمایش و... حرارت موردنیاز با کمبود مواجه شده است که باید بخشی از این حرارت از بویلر تأمین شود. در این هاب به‌طور میانگین در طول سال 19 درصد از تولید حرارت مختص بویلر می‌باشد و 81 درصد از حرارت از سیستم CHP تأمین می‌شود. انتخاب بویلر مناسب منجر به آن شده است که ظرفیت و تولید CHP کاهش یابد و این کاهش خود را در تقاضای حرارت نشان می‌دهد و باعث کمتر شدن سهم اختصاص داده شده به میکروتوربین برای تأمین گرمایش می‌باشد.



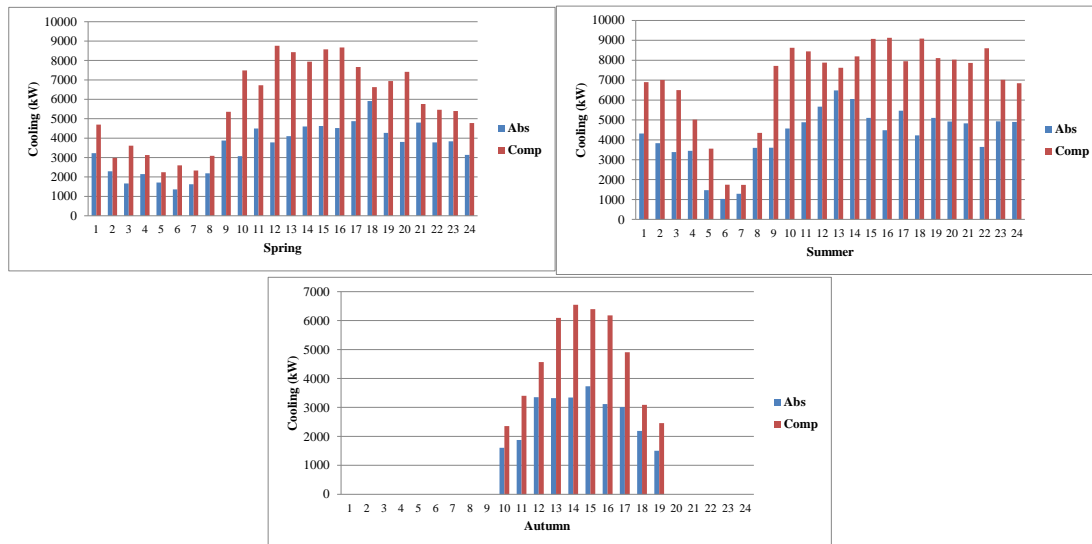
شکل 2-4 تولید حرارت هاب در سیستم جامع در طی یک روز منتخب در ماه‌های مختلف



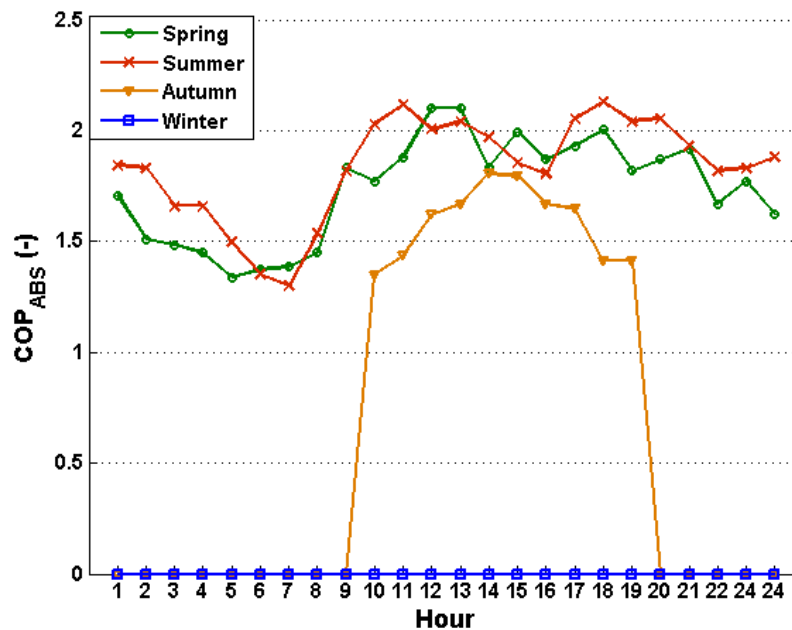
شکل 3-4 تغییرات راندمان حرارتی بویلر در طول سال و ساعات مختلف روز منتخب

برای تأمین تقاضای سرمایش هاب از دو تکنولوژی چیلر تراکمی و جذبی استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که سهم استفاده از تراکمی از چیلر جذبی بیشتر می‌باشد. در ساعاتی که برق تولیدی از سیستم CHP افزایش یافته است؛ سهم چیلر تراکمی در تولید تقاضای سرمایش افزایش یافته

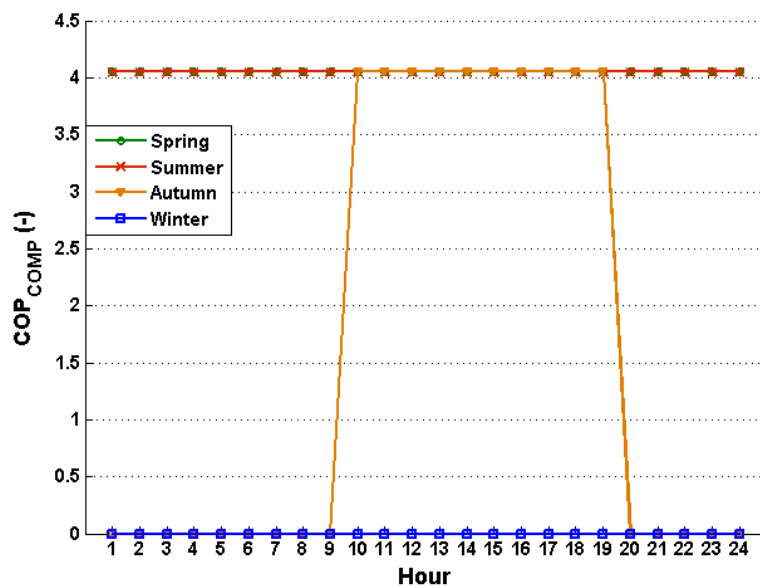
است. مشاهده می‌شود سیستم چیلر جذبی در حالت بار نسبی قرار گرفته است و چیلر تراکمی در تمام شرایطی که در مدار است با COP طراحی در حال بهره‌برداری می‌باشد (شکل 4-4) و شکل (4-7).



شکل 4-4 تولید سرمایش هاب در سیستم جامع در طی یک روز منتخب در ماه‌های مختلف

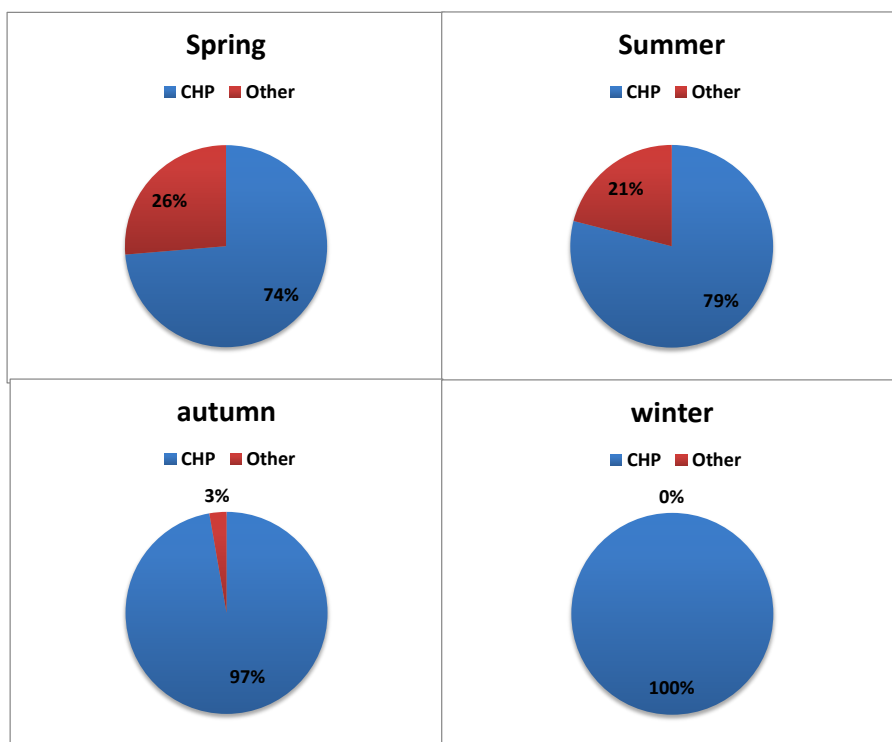


شکل 4-5 تولید سرمایش هاب در سیستم جامع در طی یک روز منتخب در ماه‌های مختلف



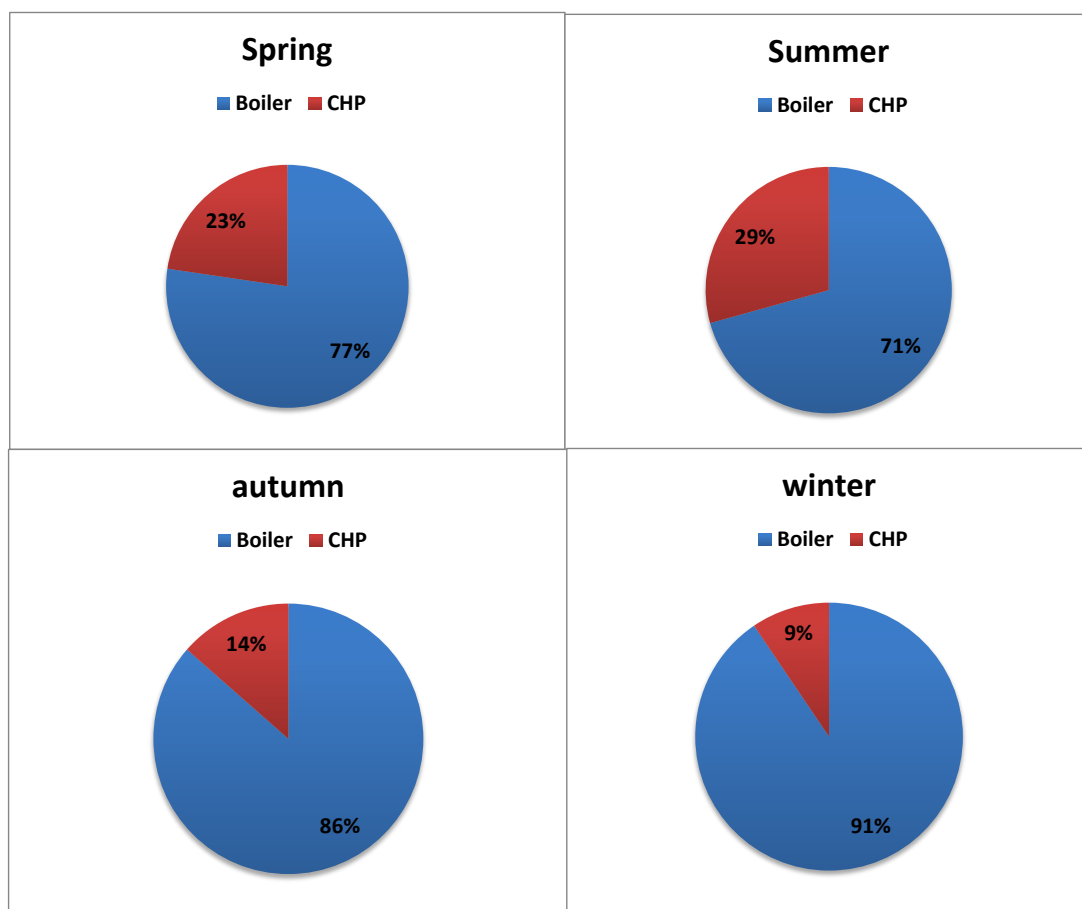
شکل 4-6 تولید سرمایش هاب در سیستم جامع در طی یک روز منتخب در ماه‌های مختلف

در بخش انتقال حامل‌های انرژی بین هاب‌ها به بررسی هاب پرداخته می‌شود. شکل (4-8) تأمین برق هاب را در طول فصول مختلف سال نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در فصول گرم سال بخشی از برق از خارج هاب تأمین می‌شود. مشاهده می‌شود که در دو فصل اول سال بیش از 70 درصد از برق این هاب توسط سیستم CHP تأمین می‌شود و باقی آن از انرژی برق در شبکه فراهم می‌شود.



شکل 4-7 درصد مشارکت تجهیزات و داد و ستد با خارج در تأمین برق هاب در فصول مختلف

تحلیل درصد استفاده از حرارت هاب نیز در شکل (9-4) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که بخش اعظم تأمین حرارت کل مجموعه هاب بر عهده بویلر می‌باشد. به طوریکه در زمستان نزدیک 90 درصد را به خود اختصاص می‌دهد. در فصول گرم سال به واسطه‌ی افزایش تقاضای برق، میکروتوربین وارد مدار شده و به تأمین برق می‌پردازد. این امر منجر می‌شود که بخش حرارتی بالاتری توسط میکروتوربین تولید شود به طوریکه در تابستان نزدیک به 30 درصد از حرارت هاب توسط میکروتوربین تأمین می‌شود.



شکل 4-8 درصد مشارکت تجهیزات و دیگر هاب‌ها در تأمین حرارت هاب در فصول مختلف

فصل 5:

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری، نوآوری‌ها و

پیشنهادهای برای ادامه‌ی کار

1-5- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

برای ترکیب سیستم‌های تولید برودت، برق و حرارت و بهینه‌سازی آن، یک استراتژی عملیاتی مدرن به نام هاب انرژی مورد استفاده قرار گرفت. پس از تعیین مطالعه موردی سیستم یکپارچه هاب های انرژی به‌منظور تأمین نیازهای انرژی آن لحاظ شد. طرح موردنظر با مصرف سالانه تقاضای گرما و برق از شبکه، می‌بایست در کلیه شرایط محیطی طول سال با شرایط عملکردی هم‌راستا باشد. بنابراین به‌منظور دستیابی به این موضوع، هاب انرژی ضمن ظرفیت سنجی تجهیزات و مبدل‌های مورد استفاده در آن به تعیین جریان‌های انرژی ورودی به هاب پرداخته شد. سپس بررسی هاب انرژی که کاربری کاملاً مسکونی دارد انجام شد. شرایط عملکردی در این هاب به قرار زیر می‌باشد:

در هاب در ساعات ابتدایی روز ظرفیت میکروتوربین کاهش یافته است. این اتفاق موجب قرارگیری میکروتوربین با کارکرد در بار جزئی می‌شود. در ساعاتی از روزهای تابستان بویلر در بار جزئی خود قرار دارد. در این هاب به‌طور میانگین در طول سال 35 درصد از تولید حرارت مختص بویلر می‌باشد و باقی آن تولید CHP است و این کاهش خود را در تقاضای حرارت نشان می‌دهد. سهم استفاده از چیلر تراکمی نسبت به چیلر جذبی بیشتر می‌باشد. از طرفی در ساعاتی که حرارت تولید از سیستم بویلر افزایش یافته است سهم چیلر جذبی در تولید تقاضای سرمایش افزایش یافته است. در زمستان بیش از 90 درصد از برق این هاب توسط سیستم CHP و حدود 10 درصد از انرژی برق در این هاب از انرژی شبکه فراهم می‌شود.

2-5- نوآوری‌ها

در این تحقیق هاب انرژی به‌عنوان یک مفهوم جدید در نظر گرفته می‌شود که به‌صورت

سیستماتیک و جامع گرایانه نیازهای انرژی هر دو بارهای متغیر و ثابت را در نظر می‌گیرد. در زیر برخی از نوآوری‌های مهم این رساله ذکر شده است.

- مصرف‌کنندگان مسکونی نیاز به انواع مختلف حامل‌های انرژی توسط تجهیزات مختلف دارند. ترکیب تجهیزات با در نظر گرفتن تقاضای انرژی برق، حرارت و برودت به عنوان حامل‌های انرژی در مفهوم هاب انرژی بر اساس معیارهای مختلف، یکی از مهم‌ترین نوآوری‌های این تحقیق به شمار می‌آید.
- در ادامه نوآوری تحقیق می‌توان به استفاده از انرژی‌ها به گونه‌ای یاد کرد که نه تنها پارامترهای محیطی به صورت ساعت به ساعت در طول سال بر روی آن تأثیرگذار است، بلکه به منظور تعیین ضرایب تبدیل و بهره‌وری تجهیزات در ماتریس تزویج هاب انرژی، متغیرهای طراحی این تجهیزات به گونه‌ای انتخاب می‌شود تا بهینه‌ترین شرایط را برای هاب انرژی به همراه داشته باشد. این نکته برای تجهیزات دیگری همچون میکروتوربین و... نیز صادق می‌باشد.
- هاب‌های انرژی در این تحقیق امکان انتقال جریان‌های مازاد انرژی را از یک هاب به دیگری به منظور استفاده مطلوب از انرژی دارا می‌باشند. بردار انرژی می‌تواند به شکل برق، لحاظ شود و مقادیر آن با توجه به هدف تعیین شود.
- در این تحقیق با لحاظ کردن دو سطح از مدل‌سازی سیستم یکپارچه به صورت طراحی و خارج از طرح و همچنین لحاظ کردن متغیرهای تصمیم محیطی و تقاضاهای انرژی به صورت بازه یکپارچه و به منظور تعیین تعداد و ظرفیت تجهیزات انرژی در سطح اول در نظر گرفته شده است؛ و در ادامه لحاظ کردن متغیرهای تخصیص تقاضای انرژی سطح دوم، الگوریتم جدیدی را در توسعه مدل هاب انرژی معرفی کرده است.
- این تحقیق، با مدل‌سازی شبکه هاب انرژی با تأکید بر توسعه زیرساخت‌های آب در سیستم انرژی شهری، امکان آن را می‌دهد تا یک رویکرد جدید برای مدیریت انرژی سیستم‌های انرژی شهری آینده به دست آورد. با توجه به ماهیت یکپارچه جریان‌های انرژی، پتانسیل مدل‌سازی و بهینه‌سازی جریان‌های مختلف انرژی به طور هم‌زمان وجود

دارد. تولید و استفاده از الکتریسیته، گاز طبیعی، سرمایش و حرارت و همچنین استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر تحقیق انجام شده را گامی بزرگ در جهت توسعه مدل‌های هوشمند انرژی شهری تبدیل کرده است.

3-5- پیشنهاد برای ادامه کار

کارهای زیر در راستا و ادامه این کار پیشنهاد می‌شود:

- لحاظ کردن جریان دی‌اکسید کربن به عنوان حامل انرژی در استفاده از هاب انرژی
- استفاده از سیستم یکپارچه هاب انرژی در مورد مطالعاتی‌ها برای دیگر صنایع با مصارف هیدروژن، سوخت بایو و...
- استفاده از دیگر محرک‌ها همچون پیل سوختی، موتور استرلینگ و... برای تولید توان در هاب
- استفاده تجهیزات ذخیره سال سرمایشی و تکنولوژی‌های جدید ذخیره‌سازی برق همچون تبدیل برق به گاز
- پتانسیل سنجی استفاده از زباله و بایوگاز برای تولید هم‌زمان برودت، حرارت و توان
- استفاده از روش‌های شناسایی سیستم همچون شبکه‌های عصبی به منظور تخمین پارامترهای بهینه‌ی سیستم تولید هم‌زمان در شرایط مختلف
- مقایسه‌ی نتایج بهینه با و بدون در نظر گرفتن ذخیره‌سازی انرژی
- اضافه نمودن مخزن ذخیره‌ی سرمایش به سیستم تولید هم‌زمان برودت، حرارت و توان

مراجع

- [1] M. Ourahou, W. Ayrir, B. EL Hassouni et al., Review on smart grid control and reliability in presence of renewable energies: Challenges and prospects, *Mathematics and Computers in Simulation* (2018), <https://doi.org/10.1016/j.matcom.2018.11.009>
- [2] Geidl M. Integrated modeling and optimization of multi-carrier energy systems [Ph.D. thesis]. ETH Zurich; 2007.
- [3] www.doe.ir (سازمان حفاظت محیط زیست - زمان دسترسی 1397)
- [4] news.moe.gov.ir (پایگاه اطلاع رسانی وزارت نیرو - زمان دسترسی 1397)
- [5] United States Environmental Protection Agency, www.epa.gov. (Access time:2018)
- [6] T. J. Kotas, *The Exergy Method in Thermal plant Analysis*, Reprint edn. Krieger, Malabar.
- [7] M. Mohammadi, Y. Noorollahi, B. Mohammadi-ivatloo, H. Yousefi, Energy hub: From a model to a concept – A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017,80, 1512-1527.
- [8] Berger, Matthias, Validierung des Energy Hub Konzepts mittels einer Fallstudie in Baden-Dättwil, Doctoral Thesis, ETH ZÜRICH, 2011.
- [9] Göran Andersson, Vision of Future Energy Networks (VoFEN), ETH Zürich, December 2009.
- [10] Faeze Brahman, Masoud Honarmand, Shahram Jadid, Optimal electrical and thermal energy management of a residential energy hub, integrating demand response and energy storage system, *Energy and Buildings* 90 (2015) 65–75.
- [11] Mohammad Mohammadi, Younes Noorollahi, Behnam Mohammadi-ivatloo, Mehdi Hosseinzadeh, Hossein Yousefi, Sasan Torabzadeh Khorasani, Optimal management of energy hubs and smart energy hubs – A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 89 (2018) 33–50
- [12] Azadeh Maroufmashat, Ali Elkamel, Michael Fowler, Sourena Sattari, Ramin Roshandel, Amir Hajimiragha, Sean Walker, Evgeniy Entchev, Modeling and optimization of a network of energy hubs to improve economic and emission considerations, *Energy* 93 (2015) 2546e2558.
- [13] Iman Gerami Moghaddam, Mohsen Saniei, Elaheh Mashhour, A comprehensive model for self-scheduling an energy hub to supply cooling, heating and electrical demands of a building, *Energy* 94 (2016) 157e170.
- [14] Kamal AlRafea, Michael Fowler, Ali Elkamel, Amir Hajimiragha, Integration of renewable energy sources into combined cycle power plants through electrolysis

generated hydrogen in a new designed energy hub, international journal of hydrogen energy (2016) 1-11.

[15] Takuya Togawa, Tsuyoshi Fujita, Liang Dong, Minoru Fujii, Makoto Ooba, Feasibility assessment of the use of power plant-sourced waste heat for plant factory heating considering spatial configuration, Journal of Cleaner Production 81 (2014) 60e69.

[16] Geidl M, Koeppel G, Favre-Perrod P, Klöckl B .The Energy Hub – A Powerful Concept for Future Energy Systems. Third Annual Carnegie Mellon Conference on the Electricity Industry 2007:13 – 14.

[17] Evins R, Orehounig K, Dorer V, Carmeliet J. New formulations of the energy hub model to address operational constraints. Energy 2014; 73:387–98.

[18] Sharif A, Almansoori A, Fowler M, Elkamel A, Alrafea K. Design of an energy hub based on natural gas and renewable energy sources. International Journal Energy Research 2014; 38:363–73.

[19] Rastegar M, Fotuhi-Firuzabad M. Load Management in a Residential Energy Hub with Renewable Distributed Energy Resources, Energy and Buildings 2015;107:234-242.

[20] Maroufmashat A, Fowler M, Khavas SS, Elkamel A, Roshandel R, Hajimiragha A. Mixed integer linear programming based approach for optimal planning and operation of a smart urban energy network to support the hydrogen economy. International Journal of Hydrogen Energy 2015;41: 7700-7716.

[21] Najafi A, Falaghi H, Contreras J, Ramezani M. Medium-term energy hub management subject to electricity price and wind uncertainty. Applied Energy 2016; 168:418–433.

[22] Majidi M, Nojavan S, Zare K, A cost-emission framework for hub energy system under demand response program, Energy 2017;134:157-166.

[23] Davatgaran V, Saniei M, Mortazavi S. Optimal bidding strategy for an energy hub in energy market, Energy 2018;148:482-493.

[24] Amiri S, Honarvar M, sadegheih A. Providing an Integrated Model for Planning and Scheduling Energy Hubs and Preventive Maintenance, Energy 2018;163:1093-1114.

- [25] Ramos-Teodoro J, Rodríguez F, Berenguel M, Torres J, Heterogeneous resource management in energy hubs with self-consumption: Contributions and application example, *Applied Energy* 2018;229:537–550.
- [26] Ghaffarpour R, Mozafari B, Ranjbar A, Torabi T. Resilience oriented water and energy hub scheduling considering maintenance constraint, *Energy* 2018;158:1092–1104.
- [27] Aghamohamadi M, Samadi M, Rahmati I. Energy Generation Cost in Multi-Energy Systems; an Application to a Nonmerchant Energy Hub in Supplying Price Responsive Loads, *Energy* 2018;161:878–891.
- [28] M. Li, Optimization of Multi-Stage Hybrid RO-PRO Membrane Processes at the Water-Energy Nexus, *Chemical Engineering Research and Design* 137 (2018) 1–9.
- [29] A. Siddiqin, L.D. Anadon, The water–energy nexus in Middle East and North Africa, *Energy Policy* 39 (2011) 4529–4540.
- [30] M. Wakil Shahzad, M. Burhan, L. Angb, K.C. Ng, Energy-water-environment nexus underpinning future desalination sustainability, *Desalination* 413 (2017) 52–64
- [31] J.L. Fuentes-Bargues, Analysis of the process of environmental impact assessment for seawater desalination plants in Spain, *Desalination* 347 (2014) 166–174.
- [32] H. Shemer, R. Semiat, Sustainable RO desalination – Energy demand and environmental impact, *Desalination* 424 (2017) 10–16.
- [33] C. Sommariva, H. Hogg, K. Callister, Environmental impact of seawater desalination: relations between improvement in efficiency and environmental impact, *Desalination* 167 (2004) 439–444.
- [34] T. Mezher, H. Fath, Z. Abbas, A. Khaled, Techno-economic assessment and environmental impacts of desalination technologies, *Desalination* 266 (2011) 263–273
- [35] N. Voutchkov, Overview of seawater concentrate disposal alternatives, *Desalination* 273 (2011) 205–219.
- [36] S. Burn, M. Hoang, D. Zarzo, F. Olewniak, E. Campos, B. Bolto, O. Barron, Desalination techniques — A review of the opportunities for desalination in agriculture, *Desalination* 364 (2015) 2–16.

- [37] S. Lattemann, M.D. Kennedy, J.C. Schippers, G. Amy, Sustainable water for the future: water recycling versus desalination chapter 2 global desalination situation, *Sustain. Water Future* 2 (2010) 7–39.
- [38] S. Lattemann, M.D. Kennedy, J.C. Schippers, G. Amy, *Sustainability Science and Engineering*, Elsevier B.V., 2010
- [39] AcuaMed, La desalación en España, Sostenibilidad para zonas vulnerables (Desalination in Spain. Sustainability for vulnerable areas), Ministry of Environment, Rural and Marine. Spain Government, 2011.
- [40] N Voutchkov, Energy use for membrane seawater desalination – current status and trends, *Desalination* 431 (2018) 2–14.
- [41] S.M. Shalaby, Reverse osmosis desalination powered by photovoltaic and solar Rankine cycle power systems: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 73 (2017) 789–797
- [42] K.C. Ng, M. Wakil Shahzad, Sustainable desalination using ocean thermocline energy, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 82 (2018) 240–246.
- [43] H. Mokhtari, M. Sepahvand, A. fasihfar, Thermoeconomic and exergy analysis in using hybrid systems (GT+MED+RO) for desalination of brackish water in Persian Gulf, *Desalination* 399 (2016) 1–15.
- [44] R. Salcedo, E. Antipova, D. Boer, L. Jiménez, G. Guillén-Gosálbez, Multi-objective optimization of solar Rankine cycles coupled with RO desalination considering economic and life cycle environmental concerns, *Desalination* 286 (2012) 358–371.
- [45] H. Sharon, K.S. Reddy, A review of solar energy driven desalination technologies, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 41 (2015) 1080–1118
- [46] Peters GP, , R.M. Andrew, T. Boden, J.G. Canadell, P. Ciais, C.L. Quéré, G. Marland, M.R. Raupach, C. Wilson, The challenge to keep global warming below 2 °C, *Nat Clim Change* 3 (2013) 4–6.
- [47] R.J. Francey, C.M. Trudinger, M. van der Schoot, R.M. Law, P.B. Krummel, R.L. Langenfelds, L. Paul Steele, C.E. Allison, A.R. Stavert, R.J. Andres, C. Rödenbeck, Atmospheric verification of anthropogenic CO₂ emission trends, *Nat Clim Change* 3 (2013) 520–4.

- [48] D. Manolakosa, G. Papadakisa, Essam Sh. Mohameda, S. Kyritsisa, K. Bouzianas, Design of an autonomous low-temperature solar Rankine cycle system for reverse osmosis desalination, *Desalination* 183 (2005) 73–80.
- [49] A.M. Delgado-Torres, L. García-Rodríguez, Double cascade organic Rankine cycle for solar-driven reverse osmosis desalination, *Desalination* 216 (2007) 306–313.
- [50] A.M. Delgado-Torres, L. García-Rodríguez, Preliminary assessment of solar organic Rankine cycles for driving a desalination system, *Desalination* 216 (2007) 252–275
- [51] L. García-Rodríguez, A.M. Delgado-Torres, Solar-powered Rankine cycles for fresh water production, *Desalination* 212 (2007) 319–327.
- [52] D. Manolakosa, G. Papadakisa, S. Kyritsisa, K. Bouzianas, Experimental evaluation of an autonomous low-temperature solar Rankine cycle system for reverse osmosis desalination, *Des alination* 203 (2007) 366–374
- [53] J.C. Bruno, J. Lo´pez-Villada, E. Letelier, S. Romera, Alberto Coronas, Modelling and optimisation of solar organic rankine cycle engines for reverse osmosis desalination, *Applied Thermal Engineering* 28 (2008) 2212–2226
- [54] D. Manolakosa, E.Sh. Mohameda, I. Karagiannis, G. Papadakis, Technical and economic comparison between PV-RO system and RO-Solar Rankine system. Case study: Thirasia island, *Desalination* 221 (2008) 37–46
- [55] D. Manolakos, G. Kosmadakis, S. Kyritsis, G. Papadakis, On site experimental evaluation of a low-temperature solar organic Rankine cycle system for RO desalination, *Solar Energy* 83 (2009) 646–656.
- [56] D. Manolakos, G. Kosmadakis, S. Kyritsis, G. Papadakis, Identification of behaviour and evaluation of performance of small scale, low-temperature Organic Rankine Cycle system coupled with a RO desalination unit, *Energy* 34 (2009) 767–774
- [57] G. Kosmadakis, D. Manolakos, S. Kyritsis, G. Papadakis, Economic assessment of a two-stage solar organic Rankine cycle for reverse osmosis desalination, *Renewable Energy* 34 (2009) 1579–1586
- [58] G. Kosmadakis, D. Manolakos, S. Kyritsis, G. Papadakis, Comparative thermodynamic study of refrigerants to select the best for use in the high-temperature

stage of a two-stage organic Rankine cycle for RO desalination, *Desalination* 243 (2009) 74–94

[59] G. Kosmadakis, D. Manolakos, G. Papadakis, Parametric theoretical study of a two-stage solar organic Rankine cycle for RO desalination, *Renewable Energy* 35 (2010) 989–996.

[60] B.F. Tchanche, Gr. Lambrinos, A. Frangoudakis, G. Papadakis, Exergy analysis of micro-organic Rankine power cycles for a small scale solar driven reverse osmosis desalination system, *Applied Energy* 87 (2010) 1295–1306.

[61] A.S. Nafey, M.A. Sharaf, L. García-Rodríguez, Thermo-economic analysis of a combined solar organic Rankine cycle–reverse osmosis desalination process with different energy recovery configurations, *Desalination* 261 (2010) 138–147.

[62] G. Kosmadakis, D. Manolakos, S. Kyritsis, G. Papadakis, Design of a two stage Organic Rankine Cycle system for reverse osmosis desalination supplied from a steady thermal source, *Desalination* 250 (2010) 323–328

[63] S. Karellas, K. Terzis, D. Manolakos, Investigation of an autonomous hybrid solar thermal ORC-PV RO desalination system. The Chalki island case, *Renewable Energy* 36 (2011) 583e590.

[64] A.M. Delgado-Torres, L. Garcia-Rodriguez, Design recommendations for solar organic Rankine cycle (ORC)–powered reverse osmosis (RO) desalination, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16 (2012) 44– 53.

[65] B. Peñate, L. García-Rodríguez, Seawater reverse osmosis desalination driven by a solar Organic Rankine Cycle: Design and technology assessment for medium capacity range, *Desalination* 284 (2012) 86–91.

[66] C. Li, G. Kosmadakis, D. Manolakos, E. Stefanakos, G. Papadakis, D.Y. Goswami, Performance investigation of concentrating solar collectors coupled with a transcritical organic Rankine cycle for power and seawater desalination co-generation, *Desalination* 318 (2013) 107–117.

[67] C. Li, S. Besarati, Y. Goswami, E. Stefanakos, Huijuan Chen, Reverse osmosis desalination driven by low temperature supercritical organic rankine cycle, *Applied Energy* 102 (2013) 1071–1080.

[68] D. Geng, Y. Du, R. Yang, Performance analysis of an organic Rankine cycle for a reverse osmosis desalination system using zeotropic mixtures, *Desalination* 381 (2016) 38–46

- [69] H. Mokhtari, H. Ahmadisedigh, I. Ebrahimi, Comparative 4E analysis for solar desalinated water production by utilizing organic fluid and water, *Desalination* 2016; 377: 108-22.
- [70] A. Nemati, M. Sadeghi, M. Yari, Exergoeconomic analysis and multi-objective optimization of a marine engine waste heat driven RO desalination system integrated with an organic Rankine cycle using zeotropic working fluid, *Desalination* 422 (2017) 113–123.
- [71] O.N. Igobo, P.A. Davies, Isothermal Organic Rankine Cycle (ORC) driving Reverse Osmosis (RO) Desalination: experimental investigation and case study using R245fa working fluid, *Applied Thermal Engineering* (2018), doi: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.02.056>
- [72] E. Arab Chadegania, M. Sharifishourabib, F. Hajiarab, Comprehensive assessment of a multi-generation system integrated with a desalination system: Modeling and analyzing, *Energy Conversion and Management* 174 (2018) 20–32
- [73] R. Rautenbach, B. Arzt, gas turbine waste heat utilization for distillation, *Desalination* 52 (1985) 105-122.
- [74] M.J. Sail, A. Korchani, Cogeneration applied to water desalination: Simulation of different technologies, *Desalination* 125 (1999) 223-229.
- [75] S.E. Aly, Gas turbine total energy vapour compression desalination system, *Energy Conversion & Management* 40 (1999) 729-741.
- [76] J. Gunzbourg, D. Larger, Cogeneration applied to very high efficiency thermal seawater desalination plants, *Desalination* 125 (1999) 203-208.
- [77] A.M. El-Nashar, Cogeneration for power and desalination - state of the art review, *Desalination* 134 (2001) 7-28.
- [78] E. Cardona, A. Piacentino, Optimal design of cogeneration plants for seawater desalination, *Desalination* 166 (2004) 411-426.
- [79] G.T. Vlachos, J.K. Kaldellis, Application of gas-turbine exhaust gases for brackish water desalination: a techno-economic evaluation, *Applied Thermal Engineering* 24 (2004) 2487–2500.
- [80] Y. Wang, N. Lior, Performance analysis of combined humidified gas turbine power generation and multi-effect thermal vapor compression desalination systems -

Part 1: The desalination unit and its combination with a steam-injected gas turbine power system, *Desalination* 196 (2006) 84–104.

[81] Y. Wang, N. Lior, Performance analysis of combined humidified gas turbine power generation and multi-effect thermal vapor compression desalination systems Part 2: The evaporative gas turbine based system and some discussions, *Desalination* 207 (2007) 243–256.

[82] Y. Wang, N. Lior, Fuel allocation in a combined steam-injected gas turbine and thermal seawater desalination system, *Desalination* 214 (2007) 306–326.

[83] T. Rensonnet, J. Uche, L. Serra, Simulation and thermo-economic analysis of different configurations of gas turbine (GT)-based dual-purpose power and desalination plants (DPPDP) and hybrid plants (HP), *Energy* 32 (2007) 1012–1023.

[84] J.R. Lara, G. Noyes, M.T. Holtzapple, An investigation of high operating temperatures in mechanical vapor-compression desalination, *Desalination* 227 (2008) 217–232.

[85] M. Shakouri, H. Ghadamian, R. Sheikholeslami, Optimal model for multi effect desalination system integrated with gas turbine, *Desalination* 260 (2010) 254–263.

[86] C. Luo, N. Zhang, N. Lior, H. Lin, Proposal and analysis of a dual-purpose system integrating a chemically recuperated gas turbine cycle with thermal seawater desalination, *Energy* 36 (2011) 3791–3803.

[87] S.E. Shakib, S.R. Hosseini, M. Amidpour, C. Aghanajafi, Multi-objective optimization of a cogeneration plant for supplying given amount of power and fresh water, *Desalination* 286 (2012) 225–234.

[88] S.E. Shakib, M. Amidpour, C. Aghanajafi, Simulation and optimization of multi effect desalination coupled to a gas turbine plant with HRSG consideration, *Desalination* 285 (2012) 366–376.

[89] S.R. Hosseini, M. Amidpour, S.E. Shakib, Cost optimization of a combined power and water desalination plant with exergetic, environment and reliability consideration, *Desalination* 285 (2012) 123–130

[90] H.S. Kim, H.C. NO, Thermal coupling of HTGRs and MED desalination plants, and its performance and cost analysis for nuclear desalination, *Desalination* 303 (2012) 17–22.

- [91] IJ Esfahani, JT Kim, CK Yoo, A cost approach for optimization of a combined power and thermal desalination system through exergy and environmental analysis, *Industrial & Engineering Chemistry Research* 52 (2013), 11099-11110.
- [92] M. Meratizaman, S. Monadizadeh, M. Amidpour, Introduction of an efficient small-scale freshwater-power generation cycle (SOFC–GT–MED), simulation, parametric study and economic assessment, *Desalination* 351 (2014) 43–58.
- [93] V. Gadhamshetty, V. Gnaneswar Gude, N. Nirmalakhandan, Thermal energy storage system for energy conservation and water desalination in power plants, *Energy* 66 (2014) 938-949.
- [94] J. Esfahani, C.K. Yoo. Feasibility study and performance assessment for the integration of a steam-injected gas turbine and thermal desalination system, *Desalination* 332 (2014) 18–32.
- [95] A.S. Hanafi, G.M. Mostafa, A. Fathy, A. Waheed, Thermo-Economic Analysis of Combined Cycle MED-TVC Desalination System, *Energy Procedia* 75 (2015) 1005 – 1020.
- [96] A. Almutairi, P. Pilidis, N. Al-Mutawa, M. Al-Weshahi, Energetic and Exergetic Analysis of Cogeneration Power Combined Cycle and ME-TVC-MED Water Desalination Plant: Part-1 Operation and Performance, *Applied Thermal Engineering* 103 (2016) 77-91.
- [97] M. Ameri, M. Jorjani, Performance assessment and multi-objective optimization of an integrated organic Rankine cycle and multi-effect desalination system, *Desalination* 392 (2016) 34–45.
- [98] R. Ahmadi , S.M. Pourfatemi, S. Ghaffari, Exergoeconomic optimization of hybrid system of GT, SOFC and MED implementing genetic algorithm, *Desalination* 411 (2017) 76–88.
- [99] M. Javidmehr, F. Joda, A. Mohammadi, Thermodynamic and economic analyses and optimization of a multigeneration system composed by a compressed air storage, solar dish collector, micro gas turbine, organic Rankine cycle, and desalination system, *Energy Conversion and Management* 168 (2018) 467–481.
- [100] M. Moghimi, M. Emadi, A. Mirzazade Akbarpoor, M.R Mollaei, Energy and exergy investigation of a combined cooling, heating, power generation and seawater desalination system, *Applied Thermal Engineering* 140 (2018) 814-827.

- [101] P. Sharan, T. Neises, C. Turchi, Optimal feed flow sequence for multi-effect distillation system integrated with supercritical carbon dioxide Brayton cycle for seawater desalination, *Journal of Cleaner Production* 196 (2018) 889-901.
- [102] MohsenSalimiMajidAmidpour, Investigating the integration of desalination units into cogeneration systems utilizing R-curve tool, *Desalination* Volume 419, 1 October 2017, Pages 49-59.
- [103] C.ChiranjeeviT.Srinivas , Augmented desalination with cooling integration Dessalement augmenté avec refroidissement, *International Journal of Refrigeration* Volume 80, August 2017, Pages 106-119
- [104] MarcoAstolfi, SimoneMazzola, PaoloSilvaEnnioMacchi, A synergic integration of desalination and solar energy systems in stand-alone microgrids, *Desalination* Volume 419, 1 October 2017, Pages 169-180
- [105] Muhammad WakilShahzadMuhammadBurhanKim ChoonNg, Pushing desalination recovery to the maximum limit: Membrane and thermal processes integration, *Desalination*, Volume 416, 15 August 2017, Pages 54-64.
- [106] Muhammad ShujaAzharGhausRizviIbrahimDincer, Integration of renewable energy based multigeneration system with desalination, *Desalination* Volume 404, 17 February 2017, Pages 72-78.
- [107] Kasaeian A., Nouri G., Ranjbaran P., Wen D. Solar collectors and photovoltaics as combined heat and power systems: A critical review, *Energy Conversion and Management* 2018; 156: 688–705.
- [108] El-Emam R.S., Dincer I. Investigation and assessment of a novel solar-driven integrated energy system, *Energy Conversion and Management* 2018; 158: 246–255.
- [109] Behnama P., Arefic A., Shafii M.B. Exergetic and thermoeconomic analysis of a trigeneration system producing electricity, hot water, and fresh water driven by low-temperature geothermal sources, *Energy Conversion and Management* 2018; 157; 266–276.
- [110] Kianfard H., Khalilarya S., Jafarmadar S. Exergy and exergoeconomic evaluation of hydrogen and distilled water production via combination of PEM electrolyzer, RO desalination unit and geothermal driven dual fluid ORC, *Energy Conversion and Management* 2018; 177: 339–349.

[111] Pethurajan V., Sivan S., Joy G.C. Issues, comparisons, turbine selections and applications – An overview in organic Rankine cycle, *Energy Conversion and Management* 2018; 166: 474–488.

[112] Salimi M., Amidpour M. Modeling, simulation, parametric study and economic assessment of reciprocating internal combustion engine integrated with multi-effect desalination unit, *Energy Conversion and Management* 2017; 138: 299–311.

[113] Eveloy V., Rodgers P., Al Alili A. Multi-objective optimization of a pressurized solid oxide fuel cell – gas turbine hybrid system integrated with seawater reverse osmosis. *Energy* 2017; 123: 594-614.

[114] Baccioli A., Antonelli M., Desideri U., Grossi A. Thermodynamic and economic analysis of the integration of Organic Rankine Cycle and Multi-Effect Distillation in waste-heat recovery applications. *Energy* 2018; 16: 456-469

[115] Lai X., Long R., Liu Z., Liu W. Stirling engine powered reverse osmosis for brackish water desalination to utilize moderate temperature heat. *Energy* 2018; 165: 916-930.

[116] برگرفته از آمار و اطلاعات خبرگزاری ها، مصاحبه ها و بازدیدهای میدانی - زمان دسترسی 1395.

[117] web mapping service developed by Google, www.google.com/maps. (Access time: 2016)

[118] www.amar.org.ir (درگاه ملی آمار، سایت آمار ایران- زمان دسترسی 1397)

[119] یوسف کر، حمیدرضا کشفی، افشین تکدستان، محمدهادی مهدینژاد، بهرام امیرخانلو، مکان یابی احداث مجتمع های آب شیرین کن در روستاهای جزیره قشم و اولویت بندی آنها، کنفرانس ملی بهره‌برداری از آب دریا، دانشگاه شهید باهنر کرمان، 1390

[120] The Typical Weather Anywhere on Earth (www.weatherspark.com)

[121] Natural gas price statistics (www.ec.europa.eu)

[122] Handbook for performing feasibility studies of alternative energy systems, Report NO.: SENTRO/D4/2008/WP4

[123] Pricing and tariffs (www.powerwater.com), The political economy of water tariff design in developing countries (Access time: 2018).

[124] مطالعه جامع الگوی مصرف انرژی در مناطق روستایی، سازمان بهینه‌سازی مصرف سوخت (شناسه: 082840422)

[125] تدوین استاندارد معیار مصرف و برچسب انرژی ساختمان، شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت (Doc. (RPT-PTR-EG-037EL-01-89-00 No.:

[126] احد کاظمی، بررسی سیستم‌های قدرت، دانشگاه پیام نور

[127] گزارش آنالیز شیمیایی آب خلیج فارس توسط آزمایشگاه آب و بخار پوهشگاه نیرو (کد گزارش: CA96253)

[128] Mohammadi S, Moradi-Dalvand M, Ghasemi H, Ghazizadeh M.S. Optimal Design of Multicarrier Energy Systems Considering Reliability Constraints. IEEE Transaction on Power Delivery 2015; 30:878-886.

[129] Chorak A, Palenzuela P, Alarcón-Padilla D.C, Abdellah A. B. Experimental characterization of a multi-effect distillation system coupled to a flat plate solar collector field: empirical correlations. Applied Thermal Engineering 2017; 120:298-313.

[130] Y. Lu, A. Liao, Y. Hu, The design of RO systems with multiple-feed and multipleproduct, Desalination 307 (2012) 42–50.

[131] N.M. Al-Bastaki, A. Abbas, Predicting the performance of RO membranes, Desalination 132 (2000) 181–187

[132] Guideline for drinking Water Quality, Fourth edition incorporation the first addendum, World Health Organization. 2017.

[133] James F. Manwell, Jon G. McGowan, Anthony L. Rogers, Wind Energy Explained: Theory, Design and Application, 2nd Edition, February 2010.

[134] Mevin Chandel, G.D. Agrawal, Sanjay Mathur, Anuj Mathur, Techno-economic analysis of solar photovoltaic power plant for garment zone of Jaipur city, Case Studies in Thermal Engineering 2 (2014) 1–7

[135] B.J.Huang, T.H.Lin, W.C.Huang and F.S.Sun, Performance avaluation of Solar Photovoltaic/thermal System, Solar Energy, Vol. 70, No. 5, pp. 443-448, (2001).

[136] F. Sarhaddi, S. Farahat, H. Ajam, A. Behzadmehr, M. Mahdavi Adeli, An improved thermal and electrical model for a solar photovoltaic thermal (PV/T) air collector, Applied Energy, Vol. 87, pp. 2328-2339, (2010).

[137] H.A. Zondag, D.W. De Vries, W.G.J. Van Helden, R.J.C. Van Zolingen, A.A. Van Steenhoven, The yield of different combined PV-thermal collector designs, Solar Energy, Vol. 74, pp. 253-269, (2003).

[138] John A. Duffie, William A. Beckman-Solar Engineering of Thermal Processes-Wiley (1991)

- [139] G. Iordanou, Flat-Plate Solar Collector for Water Heating with Improved Heat Transfer for Application in Climate Conditions of the Mediterranean Region, School of Engineering and Computing Science Durham University, (2009).
- [140] H. Barzegar Avval , P. Ahmadi, A. R. Ghaffarizadeh, M. H. Saidi, Thermo-economic-environmental multi-objective optimization of a gas turbine power plant with preheater using evolutionary algorithm, *International Journal of Energy Research*, 2011; 35:389–403.
- [141] Hassan Hajabdollahi, Evaluation of cooling and thermal energy storage tanks in optimization of multi-generation system, *Journal of Energy Storage* 4 (2015) 1–13
- [142] Mohammad Ameri , Pouria Ahmadi , Armita Hamidi, Energy, exergy and exergoeconomic analysis of a steam power plant: A case study, *International Journal of Energy Research*. 2009; 33:499–512
- [143] Bejan A, Tsatsaronis G, Moran M. Thermal design and optimization. New York: Wiley; 1996.
- [144] Sharqawy Mostafa H, Lienhard John H, Zubair Syed M. On exergy calculations of seawater with applications in desalination systems, *International Journal of Thermal Sciences* 2011;50:187-196.
- [145] Web Site of Cement Qeshm Factory, www.qeshmcement.com. (Access time: 2016)
- [146] Web Site of Iranian Cement Factories, www.irancement.com. (Access time: 2017)
- [147] Ameri M., Ahmadi P., Hamidi A. Energy, exergy and exergoeconomic analysis of a steam power plant: A case study, *International Journal of Energy Research* 2008; 33: 499-512
- [148] H. Mokhtari, M. Mostafavi Sani, Determination of optimum geothermal Rankine cycle parameters utilizing coaxial heat exchanger, *Energy*, 102, 260–275, 2016.
- [149] U.S. Battery Storage Market Trends, Energy Information Administration (EIA), 2018
- [150] Hajabdollahi H. Investigating the effects of load demands on selection of optimum CCHP-ORC plant. *Applied Thermal Engineering* 2015; 87:547-558.
- [151] Yawei Du, Lixin Xie , Jie Liu, Multi-objective optimization of reverse osmosis networks by lexicographic optimization and augmented epsilon constraint method, *Desalination* 333 (2014) 66–81.
- [152] Antonio Piacentino, Application of advanced thermodynamics, thermoeconomics and exergy costing to a Multiple Effect Distillation plant: In-depth analysis of cost formation process, *Desalination*, 371, 2015, 88-103.
- [153] International water association, water international, Volume 25, No. 1, 54-65
- [154] RENEWABLE ENERGY TECHNOLOGIES: COST ANALYSIS SERIES, International Renewable Energy Agency IRENA, Volume 1: Power Sector

- [155] Solar Photovoltaic Plant Operation and maintenance cost, Scottmadden, 2010
- [156] Breeze P. The Cost of Power Generation The current and future competitiveness of renewable and traditional technologies. 2010.
- [157] Hajabdollahi Z, Hajabdollahi F, Tehrani M, Hajabdollahi H. Thermo-economic environmental optimization of Organic Rankine Cycle for diesel waste heat recovery. Energy 2013; 63:1–10.
- [158] Ameri M, Mokhtari H, Mostafavi Sani M. 4E analyses and multi-objective optimization of different fuels application for a large combined cycle power plant. Energy 2018; 156:371-386.
- [159] Hajabdollahi H, Ganjehkaviri A, Nazri Mohd Jaafar M. Assessment of new operational strategy in optimization of CCHP plant or different climates using evolutionary algorithms. Applied Thermal Engineering 2015; 75:468-480.
- [160] Ghasemi A, Heidarnejad P, Noorpoor A.R. A novel Solar-Biomass Based Multi-Generation Energy System Including Water Desalination and Liquefaction of Natural Gas System: Thermodynamic and Thermoeconomic optimization. Journal of Cleaner Production 2018; 196:424-437.
- [161] www.mapnagroup.com (Access time: 2018)
- [162] ارزیابی فناوری میکروتوربین 200 کیلووات و محدوده سند راهبردی میکروتوربین 200 کیلووات همراه با سیستم تولید همزمان برق و حرارت، شورای عالی علوم، تحقیقات و فناوری، 1393، شماره گزارش: 3000/11ص
- [163] www.comfortfutures.com (Access time: 2017)
- [164] International Energy Agency, www.iea.org. (Access time:2018)
- [165] www.indexmundi.com/facts/indicators/EG.ELC.LOSS.ZS. (Access time:2018)

پیوست‌ها

پیوست (الف)

مدل سازی هوای محیط

برای مشخص نمودن پارامترهای ترمودینامیکی هوا نیاز به مدل سازی هوا می باشد در این تجزیه و تحلیل ترکیبات هوا مطابق جدول (5-1) در نظر گرفته شده است:

جدول (5-1) درصد ترکیبات مولی هوا [143]

درصد مولی (%)
75.67
20.35
3.03
0.0345
0.0007
0.0002
0.00005
0.91455

البته این مدل با توجه به درصد رطوبت در هوا متغیر می باشد

خواص ترمودینامیکی و فیزیکی هوا

خواص هوا که در محاسبات مربوط به انتقال حرارت مورد استفاده قرار گرفته است متغیر با دما و به صورت زیر مدل سازی شده است.

فشار محیط

یکی از دیگر پارامترهایی که در این مدل سازی مورد توجه قرار گرفته است و بیشتر بر روی چگالی هوا تأثیر می گذارد فشار محیط می باشد که در محاسبات بر اساس مدل رابطه 0 بیان شده است.

$$P_{atm} = \frac{(760 \times (1 - 226 \times 10^{-7} \times H)^{5.25})}{735} \quad (5-1)$$

که در این رابطه H بر حسب متر و P_{atm} بر حسب bar می باشد.

ظرفیت گرمایی [143]

در فرمول 2-6 واحد بر حسب $\frac{Kj}{Kmol.k}$ می باشد که برای تبدیل به $\frac{Kj}{kg.k}$ باید در جرم مولی هر گاز نیز تقسیم شود.

$$\bar{C}_p = a + bT + cT^2 + dT^3 \quad \frac{Kj}{Kmol.K} \quad (5-2)$$

که می توان ضرایب a, b, c و d را برای درصد ترکیبات مختلف هوا با توجه به جدول (5-2) تعیین نمود.

جدول (5-2) ضرایب برای محاسبه ی گرمای ویژه ی گازهای ایده آل

substance	Formula	a	b	c	d	Temperature range, k	Gas constant $\frac{Kj}{k.kg}$
Nitrogen	N ₂	28.90	-0.1571×10^{-2}	0.8081×10^{-5}	-2.873×10^{-9}	273 – 1800	0.2968
Oxygen	O ₂	25.48	1.520×10^{-2}	-0.7155×10^{-5}	1.312×10^{-9}	273 – 1800	0.2598
Carbon monoxide	CO	28.16	-0.1675×10^{-2}	0.5372×10^{-5}	-2.222×10^{-9}	273 – 1800	0.2968
Carbon dioxide	CO ₂	22.26	5.981×10^{-2}	-3.501×10^{-5}	7.469×10^{-9}	273 – 1800	0.1889
Water vapor	H ₂ O	32.24	0.1923×10^{-2}	1.055×10^{-5}	-3.595×10^{-9}	273 – 1800	0.4615
Nitric oxide	NO	29.34	-0.09395×10^{-2}	0.9747×10^{-5}	-4.187×10^{-9}	273 – 1500	0.2771
Nitrogen Dioxide	NO ₂	22.9	5.715×10^{-2}	-3.52×10^{-5}	7.87×10^{-9}	273 – 1500	0.1807

چگالی هوا

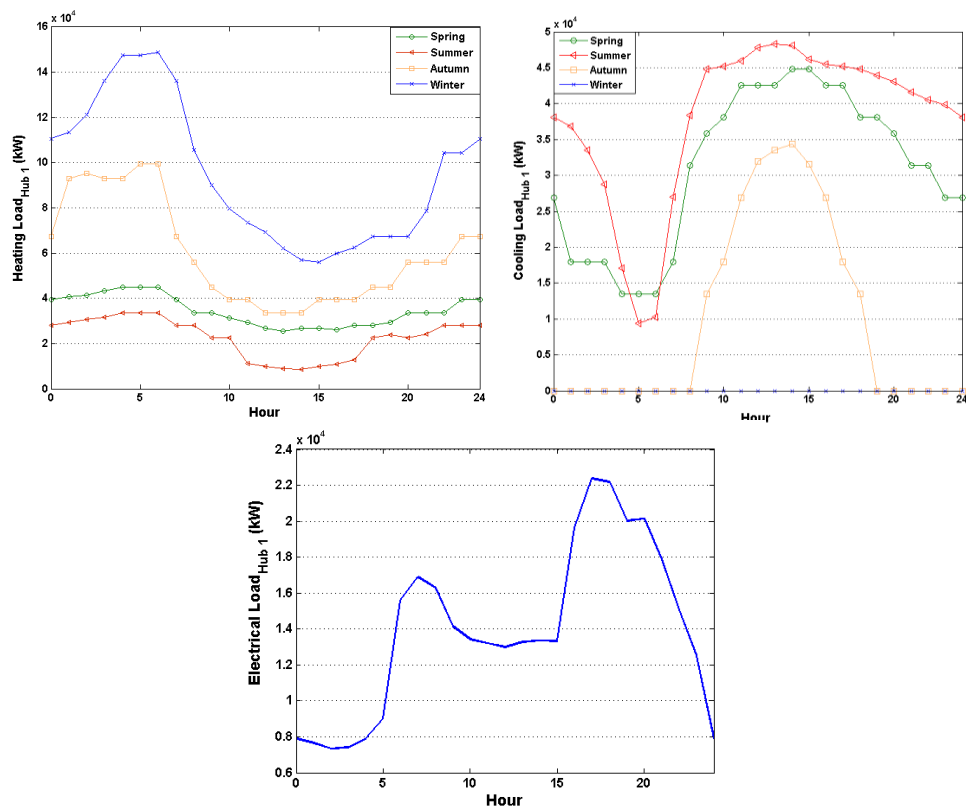
با توجه به قانون گازها با فرض ایده آل بودن آن که در رنج دمایی کارکرد نیروگاه برج خورشیدی فرض قابل قبولی می باشد، می توان چگالی هوا را به صورت رابطه 3-6 بیان نمود:

$$\rho(H, T) = \frac{P_{atm}(H)}{\frac{\bar{R}}{M_w} T} \quad (5-3)$$

که در این رابطه T بر حسب درجه کلونین، P_{atm} بر حسب kPa و تابعی از ارتفاع از سطح دریا می‌باشد و $\bar{R} = 8.314 \text{ KJ} / \text{Kmol.K}$ ثابت جهانی گازها که برابر M_w جرم مولکولی گاز می‌باشد. برای محاسبه ی آنتالپی و انتروپی هوا، مدل سازی خواص آب و بخار نیز می‌توان به [143] مراجعه نمود.

پیوست (ب)

تقاضای بارهای مصرفی در هاب انرژی



شکل 5-1

This thesis examines the performance of an energy-based heating, cooling, and power system for a Qeshm Island study sample consisting of household hubs. Initially, the target area for the study is set. East of Qeshm Island has been selected as a case study with suitable infrastructure conditions and variety of energy sources and uses with multiple energy carriers as well as the connection with open water. After determining the range of energy hubs, the energy consumption demand and environmental conditions are determined. In energy hubs, energy optimization is considered and initially selected for the implementation of the following energy hub model.

The supply of demand in the hub is coupled with the purchase of energy carriers 1) electricity, 2) heat, as well as its production by gas turbine boiler equipment. The cumulative hub, which is the connection between all energy hubs by electricity and heat carriers, shows that microturbine capacity has increased at peak power hours. On the other hand, the electrical efficiency of the system is affected by ambient temperature and decreases with increasing temperature. It has also added to its electrical efficiency by lowering the temperature in the cold seasons of the year. On the other hand, as the heat generated from the boiler system increases, the proportion of adsorbent chillers in cooling demand increases. The results show that only in summer the boiler is in relative load condition and in other conditions is its nominal load.

Keywords:

Energy hubs, annual cost, energy generators, cogeneration system, optimum consumption, multi-pregnancy systems.



Energy Institute of Higher Education

Modeling of home energy hubs consisting of microturbines and heating and cooling systems in Qeshm Island

By:
Mohammad Ali Mansouri

Supervisor:
Dr. vasefi

Feb 2020

