جمهوری اسلامی ایران

دبیرخانه کارگروه ملی نجات دریاچه ارومیه

دفتر برنامه ریزی و تلفیق ستاد احیای دریاچه ارومیه

گزارش فاز اول
طراحی ابزارهای تحلیلی برای توسعه گلخانه‌های انرژی کارآمد، مدل‌های تقاضا و عرضه انرژی

مبتنی بر قرارداد

طراحی، نمونه‌سازی و ترویج گلخانه‌های انرژی کارآمد و سبز متناسب با شرایط اقلیمی و زیست‌بوم کشور

اسفند ۱۳۹۵

باسمه‌تعالی

گزارش فاز اول
طراحی ابزارهای تحلیلی برای توسعه گلخانه‌های انرژی کارآمد، مدل‌های تقاضا و عرضه انرژی

مبتنی بر قرارداد

طراحی، نمونه‌سازی و ترویج گلخانه‌های انرژی کارآمد و سبز متناسب با شرایط اقلیمی و زیست‌بوم کشور

تهیه‌کننده:

دفتر برنامه‌ریزی و تلفیق ستاد احیای دریاچه ارومیه

واحد مطالعات

دانشکده مهندسی انرژی

نویسنده:

رامین روشندل- عاطفه بهزادی فروغ- مجید آستانه- فرزین گلزار- امیراسماعیل حسن‌پور- بهاره حیدری- هما اسماعیلی

اسفند ۱۳۹۵

۱	عنوان سند	طراحی، نمونه‌سازی و ترویج گلخانه‌های انرژی کارآمد و سبز متناسب با شرایط اقلیمی و زیست‌بوم کشور		
۲	بندهای شرح خدمات	عنوان فعالیت	شماره بند	عنوان
		بخش اول	۲	طراحی ابزارهای تحلیلی برای توسعه گلخانه‌های انرژی کارآمد
۳	کد سند	OC07RN9512037		
۴	تهیه‌کننده	دفتر برنامه‌ریزی و تلفیق ستاد احیای دریاچه ارومیه- واحد مطالعات- دانشکده مهندسی انرژی		
۵	نویسندگان	رامین روشندل- عاطفه بهزادی فروغ- مجید آستانه- فرزین گلزار- امیراسماعیل حسن‌پور- بهاره حیدری- هما اسماعیلی		
۶	محتویات سند	گزارش حاضر حاصل فاز مقدماتی پروژه " طراحی، نمونه‌سازی و ترویج گلخانه‌های انرژی کارآمد و سبز متناسب با شرایط اقلیمی و زیست‌بوم کشور" می‌باشد. که نتایج فاز اول پروژه در نشستی در وزارت جهاد کشاورزی ارائه شده است.		
۷	تاریخ نشر	اسفند ۱۳۹۵		
۸	نوبت ویرایش	چهارم		

بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی شریف

دانشکده مهندسی انرژی

گزارش فاز اول

طراحی ابزارهای تحلیلی برای توسعه گلخانه های انرژی کارآمد،

مدل های تقاضا و عرضه انرژی

مجری: رامین روشندل **مشاور/ناظر: محمدباقر غفرانی**

مدیر فنی: عاطفه بهزادی فروغ

همکاران: مجید آستانه، فرزین گلزار، امیراسماعیل حسن‌پور، بهاره حیدری، هما اسماعیلی

ویراست ۴

اسفند ۱۳۹۵

پیشگفتار

گزارش حاضر، حاصل انجام فاز مقدماتی پروژه "طراحی، نمونه سازی و ترویج گلخانه‌های انرژی کارآمد متناسب با شرایط اقلیمی و زیست بوم کشور" می باشد. پیشنهاد اولیه این پروژه بر اساس مذاکرات جلسه تاریخ ۹۴/۳/۱۰ با حضور آقای دکتر تجریشی معاون پژوهشی دانشگاه صنعتی شریف، آقای دکتر غفرانی رئیس دانشکده مهندسی انرژی و آقای دکتر روشندل مجری پروژه مطرح شده است. شرح خدمات پروژه در تاریخ ۹۴/۹/۱ مورد موافقت اصولی قرارگرفته است. انجام پروژه در یک فاز مقدماتی و سه فاز اجرایی برنامه ریزی شده است:

فاز مقدماتی: *فناوری گلخانه های انرژی کارآمد و سبز – تجربیات بین‌المللی و ملی*

فاز اول: *طراحی ابزارهای تحلیلی برای توسعه گلخانه های انرژی کارآمد – مدل‌های تقاضا و عرضه انرژی*

فاز دوم: *تدوین دستورالعمل‌های اجرا و بهره‌برداری سیستم انرژی گلخانه‌های انرژی کارآمد*

فاز سوم: *توسعه شبکه ملی ترویج گلخانه‌های سبز*

گزارش حاضر شامل نتایج **فاز اول** پروژه است که در نشست مورخ ۹۴/۱۲/۳ در وزارت جهاد کشاورزی ارایه شد.

خلاصه مدیریتی

مقدمه

توجه به سه موضوع آب، غذا و انرژی نقش بسیار مهمی در روند توسعه پایدار دارد. از سوی دیگر برهمکنش‌های میان سیستم‌های عرضه و تقاضا در سه بخش آب، غذا و انرژی، موجب شده است تا در توسعه فناوری و مدیریت سیستم ها، اثرات متقابل این سه بخش در نظر گرفته شود. فناوری گلخانه‌ها در سال‌های اخیر به‌عنوان یک فناوری اثربخش شناخته شده است که به طور مستقیم بر سه بخش غذا، آب و انرژی اثر می‌گذارد. عملکرد بالاتر تولید محصول در گلخانه‌ها به طور مستقیم بر زنجیره تأمین غذا اثر می‌گذارد و مصرف کمتر آب به ازاء واحد تولید محصول، به طور هم‌زمان به کاهش تقاضای آب در بخش غذا منجر می‌شود.

ضرورت مدیریت انرژی در گلخانه ها

ملاحظاتی که در توسعه فناوری گلخانه ها باید مورد توجه جدی قرار گیرد عبارتند از:

۱) بالاتر بودن مصرف انرژی در کشت گلخانه ای نسبت به کشت آزاد، این مسئله می تواند گسترش گلخانه‌ها در مقیاس بزرگ را با مشکل توسعه زیرساخت‌های انرژی مواجه سازد. (هرچند به دلیل قیمت پائین سوخت‌های فسیلی در ایران، تأثیر هزینه انرژی در کل هزینه بهره‌برداری گلخانه‌ها زیاد نیست، اما افزایش قیمت حامل‌های انرژی در سال‌های اخیر موجب شده تا نقش هزینه‌های انرژی در هزینه‌های بهره‌برداری گلخانه‌ها افزایش یابد).

۲) تاثیر مستقیم طراحی و بهره برداری بهینه از گلخانه ها روی کمیت و کیفیت محصول، که امروزه با استفاده از مدل های رشد به اثبات رسیده است.

۳) چالش جدی اثرات زیست محیطی ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی، که می تواند با مفهوم کشاورزی پایدار در تقابل قرار گیرد.

بنابر ملاحظات بالا، کاربرد سیستم‌های انرژی کارا در توسعه گلخانه‌ها در کشور ضرورت می‌یابد. همچنین در توسعه فناوری گلخانه‌های انرژی کارآمد باید، تحلیل و بهینه‌سازی سیستم‌های انرژی در یک چارچوب جامع، که دربرگیرنده اثرات متقابل سه بخش اساسی تولید محصول (غذا)، سیستم تأمین آب و مدیریت پساب (آب) و سیستم انرژی (انرژی) باشد، مورد توجه جدی قرار گیرد.

ضرورت توسعه ابزار های تحلیلی

تنوع فناوری‌های انرژی مورد استفاده در گلخانه بر اساس منابع انرژی در دسترس و شرایط محیطی، ایجاب می‌کند تا پیش از به‌کارگیری سیستم انرژی در گلخانه، تحلیل‌های فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی در مورد سناریوهای محتمل صورت پذیرد. همچنین می‌بایستی قابلیت سیستم انرژی در پاسخگویی به تقاضا در شرایط مختلف (نوع محصول و شرایط اقلیمی) مورد ارزیابی قرار گیرد. به این منظور توسعه ابزارهای تحلیلی به عنوان یک عامل مؤثر برای طراحی سیستم انرژی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. ابزارهای تحلیلی، می‌توانند برای بهینه‌سازی و مدیریت انرژی در گلخانه‌های موجود نیز به کار برده شوند.

ابزار تحلیلی توسعه‌یافته می‌بایستی از توانمندی های زیر برخوردار باشد:

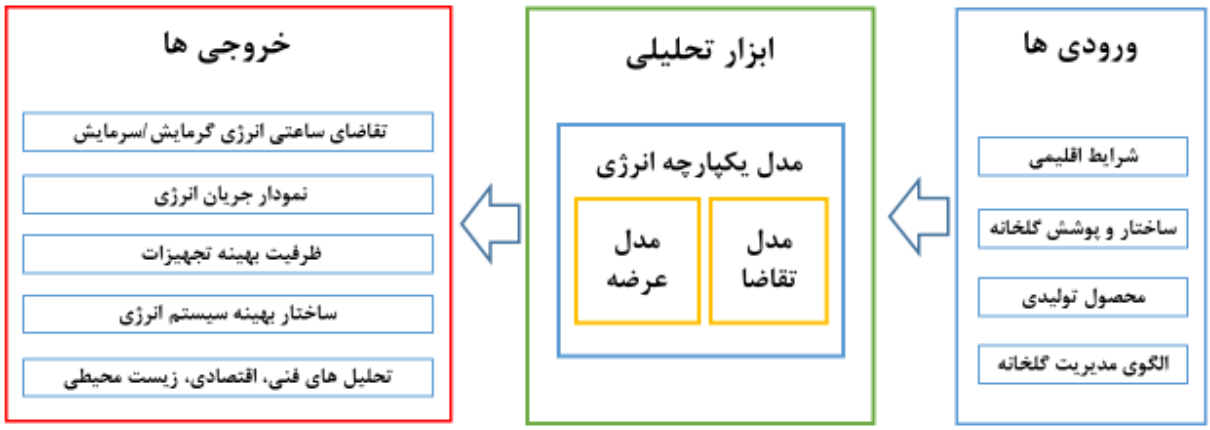
- بررسی تأثیر شرایط محیطی، نوع محصول، ساختار و پوشش گلخانه بر مصرف انرژی در گلخانه‌ها
- شناسایی گلوگاه‌های انرژی در ساختار سیستم انرژی گلخانه‌ها
- بررسی روش‌های مدیریت انرژی در گلخانه‌ها
- محاسبه هزینه – فایده و ارزیابی اقتصادی بکار گیری فناوری‌های انرژی کارآمد در گلخانه‌ها
- تعیین زیرساخت‌های مورد نیاز برای توسعه گلخانه‌ها

چارچوب ابزار تحلیلی توسعه یافته

در این فاز از پروژه، یک ابزار تحلیلی شامل مدل های تقاضا و عرضه انرژی توسعه داده شده است که می‌تواند برای طراحی پایه سیستم‌های انرژی در گلخانه‌ها بکار برده شود. با کمک این ابزار تحلیلی می‌توان:

- تقاضای انرژی گلخانه‌ها در اقلیم‌ها و شرایط آب و هوایی متفاوت را با توجه به ساختار گلخانه، نوع پوشش و دمای آسایش گیاه، برآورد نمود.
- اثر به‌کارگیری روش‌های مدیریت انرژی بر میزان مصرف انرژی گلخانه را مورد بررسی قرار داد.
- توجیه‌پذیری اقتصادی به‌کارگیری انواع سیستم‌های انرژی به‌کار گرفته شده در گلخانه‌ها ، مانند بویلر آبگرم، بخاری هوای گرم، سیستم‌های گرمایش تابشی، سیستم‌های سرمایشی تبخیری، سیستم‌های تولید هم‌زمان برق و حرارت و سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر را، در شرایط مختلف اقلیمی و برای محصولات مختلف، مورد تجزیه و تحلیل قرار داد.

برای آنکه ابزار تحلیلی توسعه داده شده، بتواند توانمندی‌های بالا را کسب کند باید مدل‌های تقاضا و عرضه انرژی گلخانه توسعه یافته و در چارچوب یک مدل یکپارچه انرژی مورد استفاده قرار گیرد. شکل (الف) چارچوب ابزار تحلیلی توسعه داده شده را نشان می دهد.

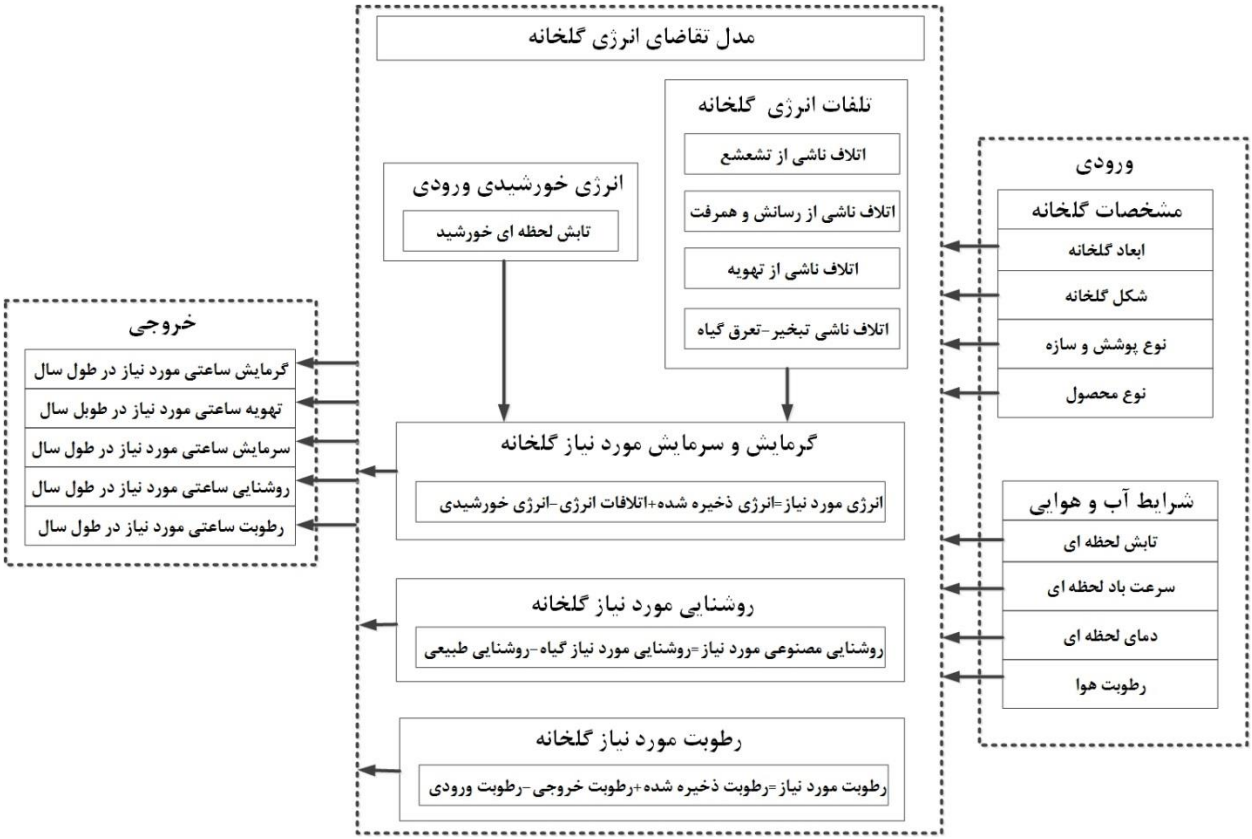


شکل (الف) چارچوب ابزار تحلیلی توسعه داده شده

مدل تقاضای انرژی : در این مدل ، میزان تقاضای انرژی برای گلخانه در شرایط مختلف اقلیمی و بر اساس نوع محصول و همچنین نوع ساختار و پوشش آن برآورد می‌شود.

مدل عرضه انرژی : بر اساس فناوری‌های بکار رفته در گلخانه برای تامین تقاضای انرژی آن توسعه داده می‌شود.

پارامترهای اقتصادی مانند هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه، قیمت حامل‌های انرژی و همچنین سطح زیرکشت گلخانه از مهم‌ترین عواملی هستند که بر مدل‌های تقاضا و عرضه انرژی، اثر می‌گذارند. شکل‌های (ب) و (ج) چارچوب کلی مدل‌های تقاضا و عرضه انرژی توسعه داده شده را نشان می‌دهد.



شکل (ب) چارچوب مدل تقاضای انرژی توسعه داده شده

شکل (ج) چارچوب مدل عرضه انرژی توسعه داده شده

پیاده سازی مدل های تقاضا و عرضه انرژی، مطالعات موردی در ایران

مدل های تقاضا و عرضه توسعه داده شده، بر روی دو گلخانه نمونه در منطقه مهاباد (آذربایجان غربی) و منطقه پاکدشت (تهران) اعمال شد و نتایج به دست آمده مورد بررسی قرار گرفت. به طور خلاصه مهم‌ترین نتایج حاصل از اجرای مدل های تقاضا و عرضه انرژی در مطالعات موردی انجام شده به شرح زیر است:

۱- اثر تغییر دمای آسایش گیاه و دمای منطقه بر تقاضای انرژی گلخانه : نتایج مدل تقاضای انرژی در مطالعات موردی نشان می‌دهد دمای آسایش گیاه که وابسته به نوع محصول است به شدت بر تقاضای انرژی در گلخانه اثر می‌گذارد. بر این اساس، یک درجه افزایش در دمای آسایش گیاه، منجر به ۴ درصد افزایش در مصرف سوخت گلخانه می‌شود. از سوی دیگر تغییرات آب و هوایی منطقه نیز منجر به تغییر تقاضای انرژی گلخانه می‌شود. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد هر درجه افزایش دمای منطقه، ۳ درصد تقاضای انرژی گلخانه را افزایش می‌دهد. لازم به ذکر است این نتایج برای گلخانه‌های مورد مطالعه در منطقه مهاباد با ساختار و پوشش مشخص به دست آمده است و برای سایر شرایط اقلیمی و یا ساختارهای دیگر گلخانه ممکن است نتایج متفاوتی به دست آید.

۲- اثر تغییر ساختار و نوع پوشش گلخانه بر تقاضای انرژی گلخانه : با وجود آنکه افزایش ارتفاع سقف گلخانه منجر به توزیع دمای بهتر می‌شود، اما میزان حجم هوایی را که باید گرم یا سرد شود افزایش می‌دهد. نتایج مدل تقاضا در مطالعه موردی انجام شده در مهاباد نشان می‌دهد که هر متر افزایش ارتفاع سقف گلخانه، ۲ درصد تقاضای انرژی سالانه گلخانه را افزایش می‌دهد. به این ترتیب به نظر می‌رسد با در نظر گرفتن تمهیدات ویژه مدیریت انرژی، مانند فن‌های توزیع‌کننده هوا و یا پرده‌های متحرک، افزایش تقاضای انرژی ناشی از افزایش ارتفاع سقف گلخانه در برابر مزیت های گلخانه‌های با سقف بلند قابل چشم پوشی است.

پوشش بکارگرفته شده در گلخانه نیز یکی از مهم‌ترین پارامترهای ساختاری گلخانه است. نتایج مدل تقاضا نشان می‌دهد استفاده از پوشش‌های شفاف پلی‌کربنات نسبت به پوشش‌های متداول پلی‌اتیلن تا ۲۴ درصد، تقاضای انرژی در گلخانه را بهبود می‌بخشد.

۳- کاربرد روش‌های مدیریت انرژی : در سال‌های اخیر، روش‌های بسیار زیادی برای مدیریت انرژی در گلخانه‌ها ارائه شده است. در این پروژه به عنوان نمونه، به‌کارگیری پرده‌های متحرک برای کاهش حجم هوای مؤثر در شب، مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که به‌کارگیری این روش تا ۲۱ درصد مصرف انرژی در گلخانه را کاهش می‌دهد.

۴- اثر قیمت حامل‌های انرژی بر طراحی سیستم انرژی گلخانه : با توجه به قیمت‌های کنونی گاز طبیعی و هزینه‌سرمایه‌گذاری اولیه فناوری‌های متداول، به‌کارگیری بخاری‌های هوای گرم با وجود راندمان پائین، هزینه

سالیانه کمتری نسبت به سیستم‌های گرمایش تابشی و یا بویلر های آبگرم دارد. اما با افزایش قیمت سوخت، اولویت بندی انتخاب فناوری‌ها تغییر می‌کند و فناوری‌های انرژی کارآمد، توجیه اقتصادی پیدا می‌کنند. به عنوان مثال درصورتی‌که قیمت گاز طبیعی ۲۰ درصد افزایش یابد، هزینه سالیانه سیستم‌های گرمایش تابشی از بخاری‌های هوای گرم کمتر خواهد شد و به این ترتیب سیستم‌های گرمایش تابشی توجیه اقتصادی بیشتری نسبت به سایر فناوری‌های متداول خواهند داشت.

۵- به‌کارگیری سیستم‌های تولید هم‌زمان برق و حرارت : توجیه‌پذیری به‌کارگیری سیستم‌های تولید هم‌زمان، به سه پارامتر هزینه سرمایه‌گذاری اولیه، قیمت سوخت خریداری‌شده و قیمت واحد برق مازاد فروخته‌شده به شبکه بستگی دارد. در شرایط کنونی به‌کارگیری سیستم‌های تولید هم‌زمان برای هر دو گلخانه مورد مطالعه توصیه نمی‌شود. نتایج مدل عرضه برای گلخانه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهدمهم‌ترین عامل، در به‌کارگیری سیستم‌های تولید هم‌زمان، هزینه سرمایه‌گذاری اولیه است. درصورتی‌که ظرفیت سیستم تولید هم‌زمان افزایش یابد هزینه واحد ظرفیت سیستم کاهش می‌یابد. بر اساس مطالعات انجام شده، درصورتی‌که سطح زیر کشت گلخانه، حداقل چهار هکتار باشد و قیمت گاز طبیعی خریداری شده واحد تولید هم‌زمان، ۵۰ درصد قیمت کنونی در نظر گرفته شود (و یا هزینه برق خریداری شده ۲۰ درصد افزایش یابد) به‌کارگیری سیستم‌های تولید هم‌زمان توجیه اقتصادی خواهد داشت.

۶- به‌کارگیری سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر : پتانسیل منابع انرژی تجدیدپذیر مانند انرژی خورشیدی در ایران قابل توجه است اما هزینه بالای سرمایه‌گذاری اولیه فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر و قیمت پائین حامل‌های انرژی فسیلی، مانع از توجیه‌پذیری اقتصادی آن‌هامی‌شود. نتایج مدل عرضه نشان می‌دهد درصورتی‌که هزینه فرصت گاز طبیعی در نظر گرفته شود (۳۰ سنت به ازاء هر مترمکعب) کاربرد سیستم‌های گرمایش خورشیدی متداول (کلکتور خورشیدی) برای گلخانه‌های مورد مطالعه توجیه‌پذیر خواهد بود. لازم به ذکر است، اعمال جریمه‌های زیست‌محیطی و یا ارائه مشوق‌های اقتصادی برای به‌کارگیری منابع انرژی تجدیدپذیر در گلخانه، می‌تواند روند نفوذ فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر را تسریع بخشد.

در پایان باید به این نکته اشاره شود که نتایج به دست آمده به شرایط اقلیمی، نوع محصول کشت شده در گلخانه و فرضیات اقتصادی اعمال شده وابسته می‌باشد و تعمیم آن به سایر گلخانه ها نیازمند در نظر گرفتن شرایط منطقه مورد نظر و اجرای مجدد مدل‌ها بر اساس پارامترهای مربوط است.

فهرست مطالب

۱- مقدمه: ضرورت توسعه و به‌کارگیری مدل‌ها و ابزارهای تحلیلی ۱
۲- مدل مفهومی تقاضا و عرضه انرژی در گلخانه ۴
۲-۱- مدل تقاضای انرژی در گلخانه ۵
۲-۲- مدل عرضه انرژی در گلخانه ۱۱
۳- توسعه مدل‌های تقاضا و عرضه انرژی در گلخانه ۱۴
۴- پیاده‌سازی و اعتباربخشی مدل‌های تقاضا و عرضه انرژی- مطالعات موردی در ایران ۱۸
۴-۱- مشخصات گلخانه مهاباد ۱۸
۴-۲- نتایج مدل تقاضای انرژی برای گلخانه مهاباد ۲۲
۴-۳- نتایج مدل عرضه انرژی برای گلخانه مهاباد ۲۷
۴-۴- امکان‌سنجی به‌کارگیری فناوری‌های مختلف در سیستم عرضه انرژی گلخانه مهاباد ۳۰
۴-۵- مطالعه موردی گلخانه‌ای در پاکدشت ۴۶
۴-۶- نتایج مدل تقاضای انرژی در گلخانه پاکدشت ورامین ۵۲
۴-۷- نتایج مدل عرضه انرژی در گلخانه پاکدشت ورامین ۵۶
۵- جمع‌بندی ۶۵
مراجع ۶۸
پیوست (۱) : مجموعه معادلات به‌کاررفته در مدل تقاضا و عرضه ۶۹
پ.۱- معادلات حاکم بر مدل تقاضای انرژی گلخانه‌ها ۶۹
پ.۲- معادلات حاکم بر مدل عرضه انرژی گلخانه‌ها ۷۳
پ.۲-۱- سیستم گرمایش بخاری هوای گرم ۷۳
پ.۲-۲- سیستم گرمایش بویلر آب گرم ۷۵
پ.۲-۳- سیستم گرمایش تابشی ۷۷
پ.۲-۴- سیستم تولید هم‌زمان برق و گرما ۷۹
پ.۲-۵- سیستم کلکتور خورشیدی و بویلر پشتیبان، فن تهویه هوا، برق شبکه ۸۱

۱- مقدمه: ضرورت توسعه و به‌کارگیری مدل‌ها و ابزارهای تحلیلی

توجه به سه موضوع آب، غذا و انرژی نقش بسیار مهمی در روند توسعه پایدار دارد. از سوی دیگر برهمکنش‌های میان سیستم‌های عرضه و تقاضا در سه بخش آب، غذا و انرژی، موجب شده است تا در توسعه فناوری و مدیریت سیستم ها، اثرات متقابل این سه بخش در نظر گرفته شود. فناوری گلخانه‌ها در سال‌های اخیر به‌عنوان یک فناوری اثربخش شناخته شده است که به طور مستقیم بر سه بخش غذا، آب و انرژی اثر می‌گذارد. عملکرد بالاتر تولید محصول در گلخانه‌ها به طور مستقیم بر زنجیره تأمین غذا اثر می‌گذارد و مصرف کمتر آب به ازاء واحد تولید محصول، به طور هم‌زمان به کاهش تقاضای آب در بخش غذا منجر می‌شود.

تنوع فناوری‌های انرژی مورد استفاده در گلخانه بر اساس منابع انرژی در دسترس و شرایط محیطی، ایجاب می‌کند تا پیش از به‌کارگیری سیستم انرژی در گلخانه، تحلیل‌های فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی در مورد سناریوهای محتمل صورت پذیرد. همچنین می‌بایستی قابلیت سیستم انرژی در پاسخگویی به تقاضا در شرایط مختلف (نوع محصول و شرایط اقلیمی) مورد ارزیابی قرار گیرد. به این منظور توسعه ابزارهای تحلیلی به عنوان یک عامل مؤثر برای طراحی سیستم انرژی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. ابزارهای تحلیلی، می‌توانند برای بهینه‌سازی و مدیریت انرژی در گلخانه‌های موجود نیز به کار برده شوند. ابزار تحلیلی توسعه‌یافته می‌بایستی قادر به انجام موارد زیر باشد:

- بررسی تأثیر شرایط محیطی، نوع محصول، ساختار و پوشش گلخانه بر مصرف انرژی در گلخانه‌ها

تقاضای انرژی در گلخانه‌ها تابع شرایط محیطی، نوع محصول، ساختار و پوشش آن است. شرایط اقلیمی در یک منطقه مشخص نظیر تابش خورشید، دمای محیط و سرعت باد به شدت بر روی میزان انرژی ورودی به گلخانه و اتلاف انرژی از محیط گلخانه تأثیرگذار خواهند بود. از طرف دیگر پتانسیل‌های محیطی یک منطقه، امکان استفاده از برخی از فناوری‌های تبدیل انرژی را فراهم می‌نماید و از سویی به‌کارگیری برخی دیگر از فناوری‌ها را با محدودیت مواجه می‌کند. بنابراین شرایط محیطی در برآورد میزان انرژی

مورد نیاز برای رشد گیاه و انتخاب نوع سیستم تأمین‌کننده انرژی مؤثر خواهد بود. همچنین ساختار گلخانه و پوشش آن به شدت بر روی تقاضای انرژی گلخانه و امکان کاهش اتلافات ناشی از آن تأثیر بسزایی خواهند داشت. بنابراین ابزار تحلیلی توسعه داده شده می‌بایستی توانایی در نظر گرفتن تأثیر شرایط محیطی بر مصرف انرژی در گلخانه‌ها را داشته باشد.

- شناسایی گلوگاه‌های انرژی در ساختار سیستم انرژی گلخانه‌ها

پیش از هرگونه اقدام به منظور بهبود وضعیت انرژی گلخانه‌ها، بایستی گلوگاه‌ها و اتلافات انرژی در گلخانه به‌درستی تشخیص داده شوند. پس از آن راهکارهای بهبود مصرف انرژی ارزیابی شده و به منظور اجرا اولویت‌بندی خواهند شد. به این ترتیب شناسایی گلوگاه‌های انرژی در گلخانه از اهمیت بالایی برخوردار است.

- بررسی روش‌های مدیریت انرژی در گلخانه‌ها

روش‌های مدیریت انرژی در گلخانه‌ها به سه دسته کلی راهکارهای کم‌هزینه، با هزینه متوسط و پرهزینه تقسیم می‌شوند. بنابراین ابزار تحلیلی توسعه داده‌شده بایستی توانایی ارزیابی راهکارهای مختلف بهبود مصرف انرژی در گلخانه‌ها را داشته باشد و بتواند میزان صرفه‌جویی انرژی مربوط به هر راهکار را برآورد کند.

- محاسبه هزینه – فایده و ارزیابی اقتصادی بکار گیری فناوری‌های انرژی کارآمد در گلخانه‌ها

یک روش مدیریت انرژی و یا یک فناوری تبدیل انرژی زمانی مورد استفاده قرار خواهد گرفت که از نظر اقتصادی مقرون به‌صرفه باشد. بنابراین این ابزار تحلیلی می‌بایستی امکان بررسی راهکارهای مدیریت انرژی و یا سناریوهای مختلف تأمین تقاضای انرژی در گلخانه‌ها با استفاده از تحلیل هزینه- فایده را داشته باشد.

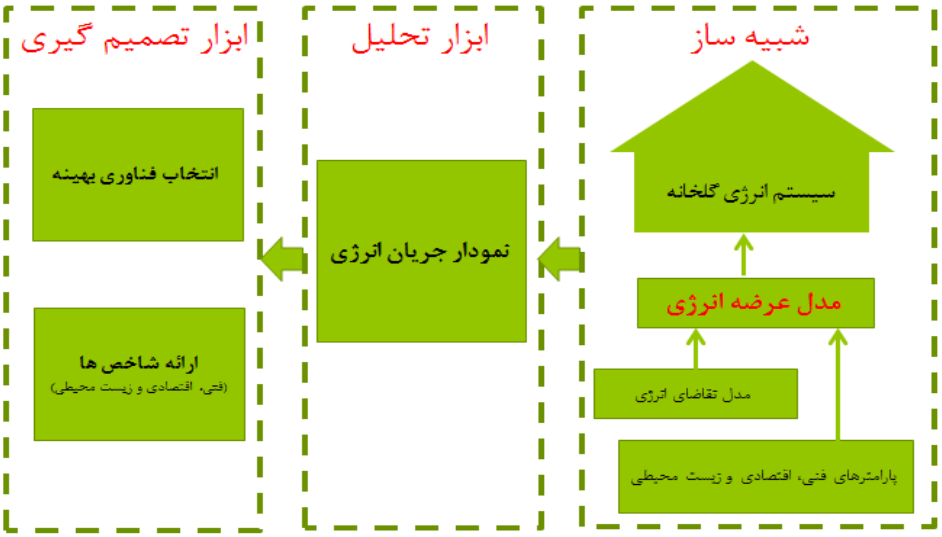
- تعیین زیرساخت‌های مورد نیاز برای توسعه گلخانه‌ها

تعیین زیرساخت‌های منابع انرژی (گاز، برق) از مهم‌ترین الزامات توسعه پایدار گلخانه‌ها در کشور است. بنابراین ابزار تحلیلی توسعه داده‌شده می‌بایستی توانایی تخمین زیرساخت‌های مورد نیاز به منظور پیاده‌سازی طرح در منطقه مشخص را داشته باشد.

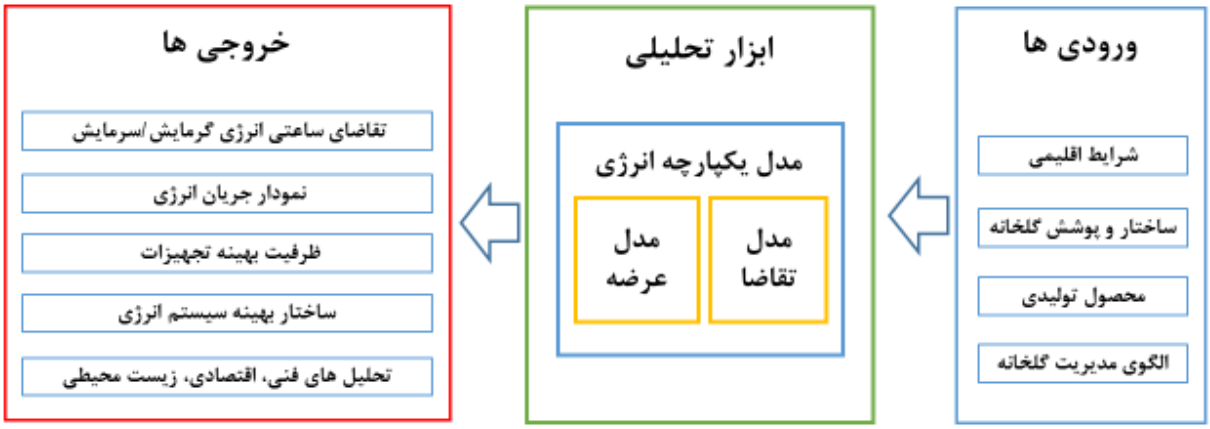
برای آنکه ابزار تحلیلی توسعه داده شده، بتواند توانمندی های بالا را کسب کند باید مدل های تقاضا و عرضه انرژی گلخانه توسعه یافته و در چارچوب یک مدل یکپارچه انرژی مورد استفاده قرار گیرد. پارامترهای اقتصادی مانند هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه، قیمت حامل‌های انرژی و همچنین سطح زیر کشت گلخانه از مهم‌ترین عواملی هستند که بر مدل‌های تقاضا و عرضه انرژی، اثر می‌گذارند.

۲- مدل مفهومی تقاضا و عرضه انرژی در گلخانه

برای تحلیل و طراحی سیستم انرژی گلخانه از دو مفهوم تقاضا و عرضه انرژی استفاده می‌شود. در بخش تقاضا، میزان خدمات انرژی مورد نیاز بر اساس شرایط اقلیمی، مشخصات ساختاری و نوع محصول گلخانه تعیین می‌شود درحالی‌که در بخش عرضه، مجموعه‌ای از فناوری‌ها و ارتباطات آن‌ها با ظرفیت مشخص به منظور تأمین این تقاضا ارائه می‌شود. با برهم‌کنش زیر مدل‌های عرضه و تقاضای انرژی، مدل شبیه‌ساز شکل می‌گیرد. نتایج مدل شبیه‌ساز انرژی گلخانه توسط نمودار جریان انرژی تحلیل می‌شود و با ارائه شاخص‌های فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی عملکرد سیستم انرژی معرفی‌شده مورد بررسی قرار می‌گیرد. شاخص‌های محاسبه شده در مدل تحلیل به عنوان متغیرهای تصمیم‌گیری جهت انتخاب فناوری بهینه به مدل تصمیم‌گیری داده می‌شوند و مدل تصمیم‌گیری با توجه به اولویت‌های تصمیم‌گیرنده، سیستم عرضه انرژی مناسب را انتخاب می‌کند. با توجه به مطالب ذکر شده چارچوب شبیه‌ساز مورد نظر در این پروژه بر اساس مدل‌های تقاضا و عرضه انرژی شکل می‌گیرد. چارچوب مورد استفاده در پروژه حاضر، به صورت کلی در شکل (۱-الف) و به صورت جزئی همراه با ورودی و خروجی مدل‌های تقاضا و عرضه انرژی در شکل (۱-ب) ارائه شده است. در ادامه به بررسی مدل‌های تقاضای انرژی در گلخانه پرداخته می‌شود.



شکل ۱-الف: چارچوب کلی تحلیل و طراحی سیستم انرژی گلخانه‌ها



شکل ۱-ب: جزئیات چارچوب تحلیل و طراحی سیستم انرژی گلخانه‌ها

۲-۱- مدل تقاضای انرژی در گلخانه

تقاضای انرژی در گلخانه‌ها به معنی تعیین میزان خدمات انرژی مورد نیاز برای برآورده کردن شرایط مناسب برای رشد گیاهان است. خدمات انرژی مورد نیاز در گلخانه‌ها شامل: گرمایش، سرمایش، تهویه، روشنایی و تجهیزات آبیاری می‌باشند. در برخی گلخانه‌ها علاوه بر موارد فوق، برای سیستم‌های پایش و کنترل و یا امور دفتری، انرژی صرف می‌شود که به عنوان یک مقدار ثابت به مقادیر فوق اضافه می‌شود. مدل تخمین تقاضای انرژی گلخانه به گلخانه دار کمک می‌کند تا نتایج عملکرد و فرآیند تصمیم‌گیری خود را در زمینه مصرف انرژی پیش‌بینی، مقایسه و بهینه‌سازی کند، بدون اینکه هزینه و ریسک تغییر فرآیندهای جاری و اجرای جدید را متحمل شود. استفاده از مدل تقاضای انرژی به عنوان یک ابزار پشتیبانی از تصمیمات مدیریت و کاهش ریسک فرآیند تصمیم‌گیری به وسیله ارزیابی و تحلیل راهبردهای مختلف طراحی و بهبود عملکرد سیستم، می‌تواند نقش بسیار مهمی در مدیریت انرژی گلخانه‌ها داشته باشد. مدل تقاضای انرژی گلخانه، حالت ساده‌شده‌ای از یک سیستم پیچیده ترکیبی (فنی – زیستی) در محیط گلخانه است. ارزش یک مدل به توانمندی‌های آن در ارائه پاسخ‌های کارا برای حل مشکل مورد نظر است و هدف اصلی مدل تقاضای انرژی گلخانه، فراهم آوردن بنیانی جهت پیش‌بینی میزان خدمات انرژی مورد نیاز برای طراحی پایه سیستم انرژی گلخانه است. مدل تقاضای انرژی به‌گونه‌ای پدیده‌ها یا مکانیزم‌های

دینامیک اتلاف انرژی را نشان می‌دهد که می‌تواند مسائل موجود در سیستم انرژی گلخانه را بیش از آنکه تبدیل به مشکل شوند، نشان دهد. غالباً پیچیدگی موجود در سیستم انرژی گلخانه واقعی به صورتهای زیر نمود پیدا می‌کند:

- حالت عدم اطمینان در سیستم: مدل تقاضای انرژی، مکانیزمی منصف و سودمند را برای تحلیل عدم اطمینان فراهم می‌آورد بدون آنکه محدودیتی برای سیستم ایجاد کند.
- رفتار پویا: رفتار سیستم در طول زمان ثابت نیست و متغیرهای اصلی موجود مانند اتلافات حرارت نیز در طول زمان متغیرند. برای تشخیص علت تغییرات و کنترل آن‌ها بایستی از مدل پویا و متناسب تغییرات، استفاده شود.
- مکانیزم‌های بازخورد: رفتارهای انجام‌شده و تصمیمات اتخاذشده در یک مرحله از یک فرآیند، قسمت‌های دیگر فرآیند را به طور مستقیم یا غیرمستقیم تحت تأثیر قرار می‌دهد و شناسایی این اثرات و علل آن‌ها بسیار ضروری است.

برای اخذ تصمیم درست در هر مرحله از فعالیت‌های یک سیستم، موارد ذکر شده فوق بسیار تأثیرگذار است. با استفاده از مدل تقاضای انرژی گلخانه می‌توان اثرات هر یک از عوامل یادشده را آزمایش و پیش‌بینی کرد. شبیه‌سازی در حقیقت آزمایش کردن یک سیستم واقعی با مدل است. زیرا آزمایش کردن روی یک سیستم واقعی مشکلات زیادی در پی دارد و هزینه‌های جبران‌ناپذیری را اعمال می‌کند. به‌این‌ترتیب امکان بررسی راهکارهای مختلف کاهش تقاضای انرژی در گلخانه پیش از به‌کارگیری آن‌ها در گلخانه فراهم می‌شود.

در مدل توسعه داده شده سعی شده است که کلیه پارامترها و مکانیزم‌های تأثیرگذار بر تقاضای انرژی گلخانه در نظر گرفته شوند و این امر موجب شده است که مدل مذکور قابلیت‌های ویژه‌ای داشته باشد که در ادامه ابعاد مختلف قابلیت مدل توضیح داده می‌شوند.

۱) توجه به نوع محصول: از آن‌جا که هر محصول برای رشد نیاز به شرایط خاص خود است، بنابراین نوع محصول در میزان تقاضای گلخانه بسیار تاثیرگذار است. یکی از قابلیت‌های این مدل، در نظر گرفتن محدوده دمایی مناسب رشد محصول مورد نظر در طول شبانه روز، میزان رطوبت و کربن‌دی‌اکسید برای ماه‌های مختلف سال است.

۲) توجه به شرایط آب و هوایی محل احداث گلخانه: قابلیت دیگر مدل تقاضای انرژی، توجه به شرایط آب و هوایی محل احداث گلخانه نظیر تابش خورشید، دمای هوا، سرعت باد و نوسانات آب و هوایی است. این مدل متناسب با انرژی تابشی رسیده از خورشید به گلخانه در طول شبانه‌روز، میزان کمبود انرژی حرارتی در فصول سرد سال و همچنین مازاد انرژی حرارتی در فصول گرم سال را مشخص می‌کند. همچنین تابش روزانه خورشید، میزان نیاز به نور مصنوعی را تعیین می‌کند. سرعت باد منطقه از دیگر پارامتر تأثیرگذار بر تقاضای انرژی گلخانه است چرا که باد تأثیر بسزایی بر اتلاف حرارتی سطوح گلخانه دارد. دمای هوای بیرون گلخانه پارامتر دیگری است که بر تقاضای انرژی گلخانه تأثیر دارد.

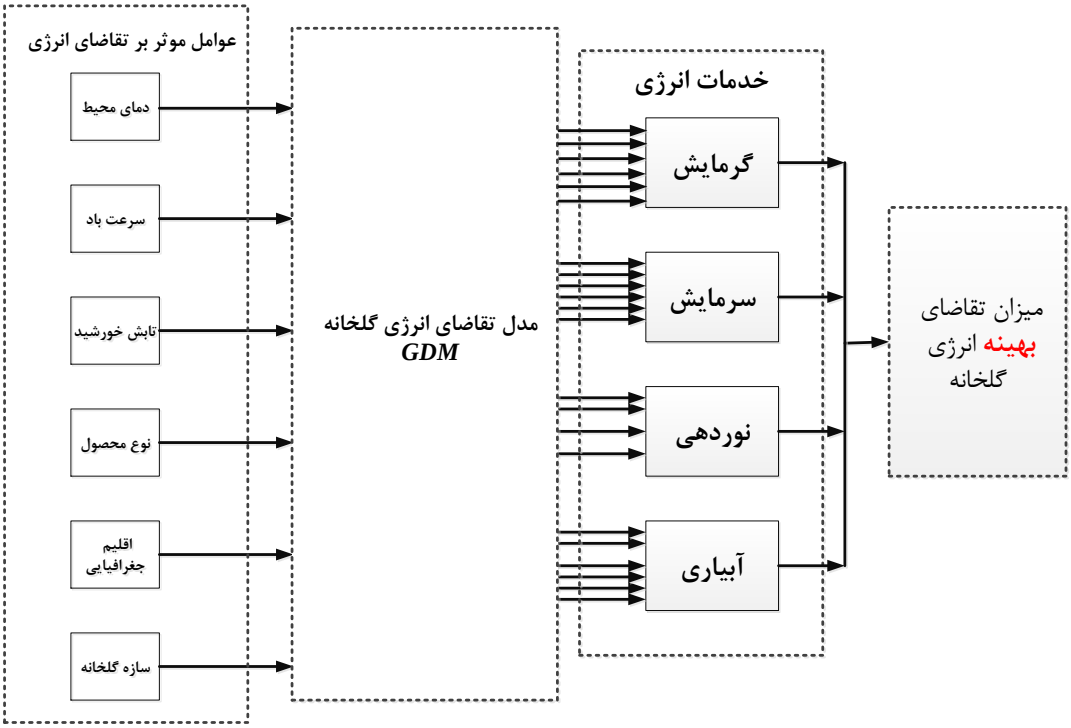
بنابراین مدل مذکور میزان انرژی تابشی خورشید، سرعت باد منطقه و دمای محیط را به‌صورت لحظه‌ای در نظر گرفته و تأثیر این عوامل را بر تقاضای انرژی مدنظر قرار می‌دهد.

۳) توجه به جنس پوشش و سازه گلخانه: ازآنجاکه پوشش و سازه گلخانه به‌صورت مستقیم با هوای بیرون در تماس می‌باشند، بنابراین جنس آن‌ها در اتلافات حرارتی و میزان عبور نور خورشید به داخل گلخانه تأثیرگذار می‌باشند. معیارهای انتخاب و استاندارد پوشش‌های گلخانه‌ای، شامل میزان عبور پرتوهای نور خورشید، میزان رسانندگی یا مقاومت حرارتی، تأثیرات متقابل سازه و پوشش، استحکام، طول عمر، قابلیت احتراق و معیارهای دیگر مانند ضریب انبساط، سازگاری مواد و ترکیبات شیمیایی است.

۴) توجه به مکانیزم‌های مختلف انتقال حرارت: در مدل توسعه داده شده کلیه مکانیزم های انتقال حرارت از قبیل انتقال حرارت به هوای بیرون گلخانه از طریق تشعشع، رسانش و جابه‌جایی، انتقال حرارت به خاک گلخانه از

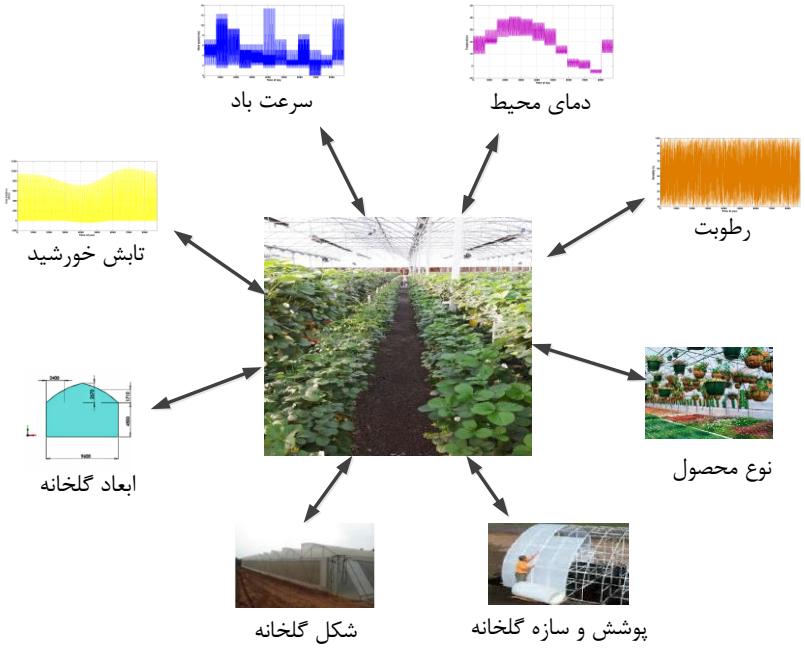
طریق رسانش، اتلاف حرارت از طریق تعرق، اتلاف حرارت محسوس و نهان از طریق تهویه هوای گلخانه در نظر گرفته‌شده‌اند.

ساختار کلی مدل تقاضای انرژی توسعه داده شده شامل سه قسمت کلی است: ورودی، معادلات حاکم و خروجی. ورودی‌های مدل شامل پارامترهای ثابت و متغیر تأثیرگذار بر میزان تقاضای انرژی گلخانه می‌باشند. معادلات حاکم رابطه میان ورودی‌های مدل و خروجی‌های مدل را مشخص می‌کند. به بیان دیگر، معادلات حاکم همان روابط ریاضی هستند که تأثیر عوامل تأثیرگذار بر تقاضای انرژی را به‌صورت لحظه‌ای در نظر می‌گیرد و تحت عنوان مدل تقاضای انرژی گلخانه بیان می‌شود. ساختار کلی مدل تقاضای انرژی در شکل (۲) نشان داده شده است.



شکل ۲: ساختار مدل تقاضا

ورودی‌های مدل را به‌طورکلی می‌توان دو دسته ورودی‌های مربوط به مشخصات گلخانه و ورودی‌های مربوط به شرایط آب و هوایی تقسیم کرد. در شکل (۳) انواع ورودی‌ها به‌طورکلی ارائه‌شده‌اند.



شکل ۳: ورودی‌های مدل تقاضای انرژی

همان‌گونه که در بخش قبل بیان شد، ابعاد و شکل گلخانه در میزان تقاضای انرژی بسیار تأثیرگذار است. بنابراین ابعاد گلخانه جزء اولین ورودی‌های مدل است که شامل طول، عرض و ارتفاع گلخانه است. همچنین شکل گلخانه جزء ورودی‌های مدل است که متناسب با اینکه چه نوع گلخانه‌ای مدنظر است، ابعاد سقف گلخانه می‌تواند متفاوت باشد و با انتخاب شکل گلخانه و ابعاد و شیب سقف گلخانه برای مدل، حجم و سایر پارامترهای گلخانه توسط مدل محاسبه می‌شود. جنس پوشش مورد استفاده و همچنین سازه گلخانه از دیگر ورودی‌های مدل است که در تعیین میزان تقاضای انرژی بسیار تأثیرگذار است. نوع محصولی که قرار است در گلخانه کشت شود لازم است برای مدل مشخص باشد. از آن‌جا که هر محصول نیاز به شرایط دما و رطوبت خاص خود می‌باشد، نوع محصول و محدوده دمایی مناسب رشد محصول به عنوان ورودی باید برای مدل مشخص شود. ورودی‌هایی که تا اینجا بحث شدند بیش‌تر ابعاد و ویژگی‌های گلخانه را مشخص می‌کنند و معمولاً در طول زمان ثابت هستند. اما ورودی‌های دسته دوم مربوط به شرایط آب و هوایی است که به‌صورت لحظه‌ای در حال تغییر می‌باشند. اولین ورودی از این دسته میزان تابش خورشید منطقه است که به گلخانه می‌رسد. میزان تابش خورشید نه تنها در طول شبانه‌روز متفاوت است، بلکه در ماه‌ها و فصول مختلف سال متفاوت است. مدل توسعه داده شده با در نظر گرفتن طول جغرافیایی

منطقه قادر خواهد بود میزان تابش خورشید را تخمین بزند. این در حالی است که مدل قادر خواهد میزان تابش واقعی منطقه را به عنوان ورودی از داده‌های هواشناسی دریافت کند. سرعت باد دیگر پارامتر محیطی است که در اتلافات حرارتی جابجایی بسیار تأثیرگذار است. دمای لحظه‌ای و رطوبت هوای بیرون گلخانه نیز ورودی‌های مدل هستند. شایان ذکر است که تابش خورشید، سرعت باد، دما و رطوبت منطقه چهار پارامتر محیطی هستند که به‌صورت لحظه‌ای برای مدل مشخص می‌شوند.

۲-۲- مدل عرضه انرژی در گلخانه

سیستم عرضه انرژی در گلخانه‌ها به مجموعه‌ای از فناوری‌ها و روش‌های به‌کارگیری آن‌ها به منظور تأمین تقاضای انرژی در گلخانه گفته می‌شود. بر اساس نوع سیستم تبدیل انرژی به کار گرفته‌شده در گلخانه، سیستم عرضه انرژی در این پروژه به سه سناریوی کلی سیستم‌های انرژی متداول، سیستم‌های تولید هم‌زمان و سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر تقسیم شده است.

سناریوی اول سیستم‌های متداول در تأمین تقاضای انرژی گلخانه‌ها هستند و به عنوان حالت مبنا در نظر قرار می‌گیرند. در این سناریو سه سیستم گرمایشی متداول شامل : بخاری هوای گرم، بویلر آب گرم و سیستم گرمایش تابشی در نظر گرفته شده است. برای سرمایش نیز سیستم فن و پد به عنوان سیستم سرمایشی متداول در نظر گرفته‌شده است. دسته دوم فناوری‌های تولید هم‌زمان برق و گرما بر اساس موتورهای گازسوز می‌باشند و دسته سوم به فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر اختصاص دارد که با توجه به پتانسیل‌های محیطی به صورت بهینه مورد استفاده قرار خواهند گرفت. در سناریوی سوم، کاربرد آبگرمکن‌های خورشیدی به عنوان یک سیستم تجدیدپذیر مورد بررسی قرار گرفته است.

هریک از سیستم‌های عرضه انرژی معرفی شده با توجه به دیدگاه‌های مختلف مزایا و معایب خود را دارند و بنابراین ارائه شاخص‌های گوناگون از دیدگاه انرژی، محیط‌زیست و اقتصاد که سه رکن اساسی در توسعه سیستم‌های انرژی پایدار هستند، ضروری به نظر می‌رسد.

هدف نهایی ارائه مدل عرضه، ارائه شاخص‌هایی است که برای سناریوهای مختلف با توجه به وضعیت کنونی کشور ارائه می‌گردند و به عنوان ابزاری در اختیار تصمیم‌گیرنده قرار خواهند گرفت. تصمیم‌گیرنده با توجه به اولویت‌بندی معیارهای مختلف براساس اسناد بالادستی و مصوبه‌های لازم‌الاجرا در کشور، اقدام به انتخاب و طراحی سیستم عرضه انرژی در گلخانه‌ها خواهد نمود.

بخشی از مهم‌ترین ویژگی‌های مدل توسعه داده شده به شرح زیر می‌باشند:

- کمک به طراحی بهینه سیستم عرضه انرژی گلخانه‌ها براساس رویکرد توسعه پایدار
- بررسی به‌کارگیری سناریوهای مختلف بر شاخص‌های فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی
- ارائه یک ابزار تصمیم‌گیری به منظور انتخاب سیستم عرضه انرژی گلخانه‌ها
- استفاده از روش هاب انرژی[1] در مدل‌سازی سیستم عرضه انرژی گلخانه‌ها
- ارائه کمی نمودار جریان انرژی بر مبنای سناریوهای مختلف توسعه داده شده به منظور شناسایی پتانسیل‌های صرفه‌جویی انرژی

همان‌گونه که در شکل (۴) نشان داده شده است، مدل توسعه داده شده از سه سطح کلی تشکیل شده است. سطح اول پارامترهایی هستند که به صورت برون‌زا به مدل داده می‌شوند. این پارامترها شامل متغیرهای ورودی مانند مشخصات فناوری، پارامترهای اقتصادی و زیست‌محیطی و همچنین تقاضای گرمایش، سرمایش و الکتریسیته براساس مدل تقاضا می‌باشند. سطح دوم مرتبط با مدل‌سازی و بهینه‌سازی سیستم عرضه انرژی گلخانه است و سطح سوم خروجی‌های مدل هستند که شامل ظرفیت فناوری‌ها، میزان مصرف منابع انرژی مقادیر شاخص‌های مختلف و ارائه ساختار بهینه سیستم عرضه انرژی می‌باشند. مدل عرضه انرژی به صورت کاملاً انعطاف‌پذیر توسعه داده شده است و قابلیت اجرای سناریوهای مختلف در هر یک از زیرسیستم‌ها را دارا است. به‌عنوان‌مثال در سناریوی دوم که به سیستم‌های تولید هم‌زمان اختصاص دارد می‌توان سیستم‌های مختلفی بر اساس نوع محرک اولیه تعریف نمود و مدل را برای آن نوع محرک اجرا کرد و درنهایت نتایج حاصل از مدل‌سازی این سیستم‌ها را با یکدیگر مقایسه نمود.

[1] Energy Hub

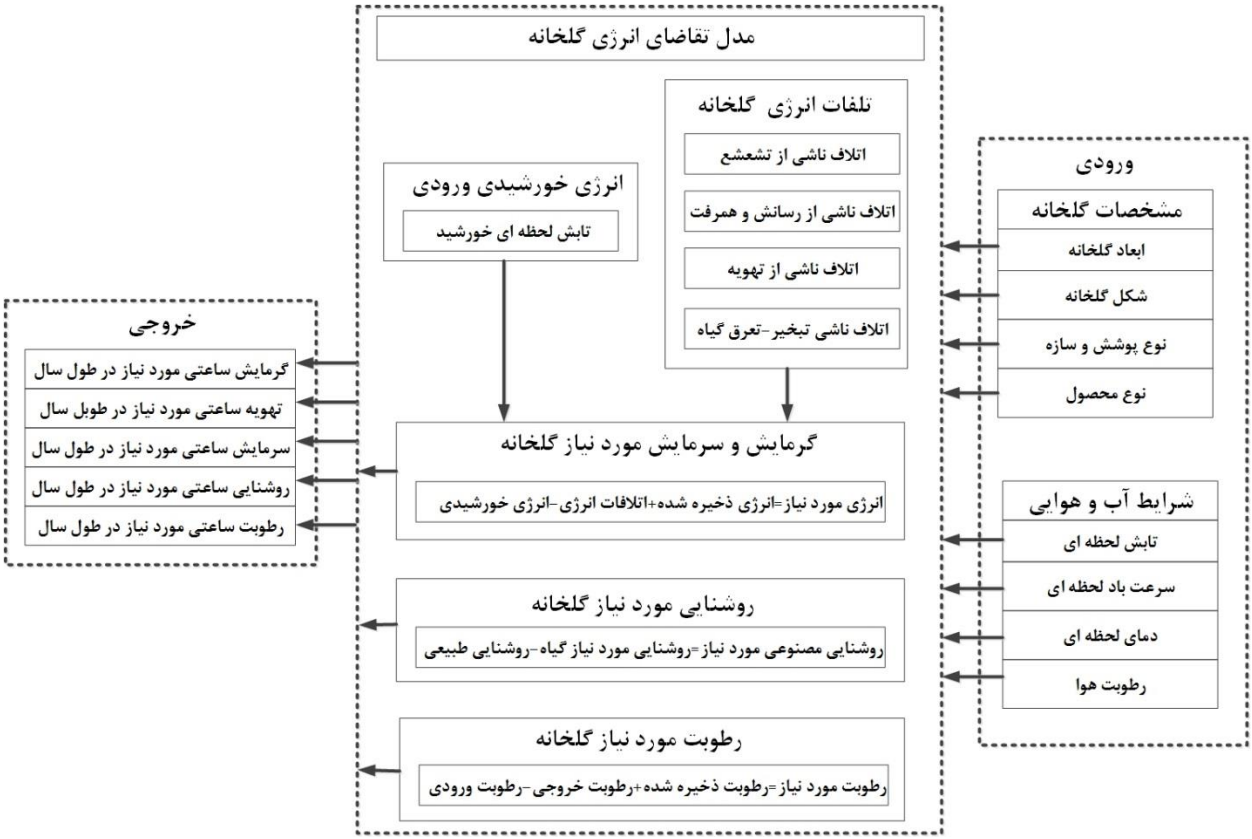
شکل (۴): چارچوب مدل عرضه انرژی گلخانه

۳- توسعه مدل‌های تقاضا و عرضه انرژی در گلخانه

برای طراحی پایه سیستم انرژی گلخانه نیاز به یک ابزار تحلیلی است که با کمک آن بتوان سناریوهای مختلف را برای پاسخگویی به تقاضای انرژی گلخانه از نظر فنی و اقتصادی موردبررسی قرار داد. مهم‌ترین اجزاء این ابزار تحلیلی مدل‌های عرضه و تقاضای انرژی هستند که ادامه به تشریح روند آن پرداخته می‌شود.

برای محاسبه تقاضای انرژی، انرژی خورشیدی ورودی به گلخانه از کل انرژی اتلاف شده از گلخانه کاسته می‌شود. چنانچه انرژی تلف‌شده کمتر از انرژی خورشیدی ورودی به گلخانه باشد، حرارت مازاد باعث افزایش دمای درون گلخانه می‌شود و می‌بایست از طریق سیستم‌های سرمایش یا تهویه از محیط گلخانه خارج شود. چنانچه انرژی تلف‌شده بیش از انرژی خورشیدی باشد، به منظور نگه‌داشتن دمای گلخانه در محدوده دمایی مناسب، نیاز به گرمایش است. به‌این‌ترتیب نیاز به گرمایش و سرمایش برای گلخانه مشخص می‌شود. در این پروژه از موازنه انرژی دینامیک به منظور تخمین گرمایش و سرمایش مورد نیاز استفاده می‌شود به‌گونه‌ای که در طول سال، نیاز به انرژی را به تفکیک و برای هر ساعت مشخص می‌کند.

برای موازنه انرژی اتلافات ساعتی و انرژی خورشیدی ساعتی بسیار حائز اهمیت هستند. اتلافات انرژی در گلخانه به روش‌های متفاوتی صورت می‌پذیرد که مهم‌ترین آن‌ها عبارت‌اند از انتقال حرارت رسانش و جابه‌جایی از طریق پوشش گلخانه، انتقال حرارت تشعشعی، اتلاف حرارت از طریق تهویه، اتلاف حرارت از طریق تبخیر و تعرق گیاهان و ... . مکانیزم های اتلاف حرارت وابسته به پارامترهای مختلفی از قبیل دمای هوای بیرون گلخانه، دمای هوای درون گلخانه، جنس پوشش گلخانه، حجم گلخانه، سرعت باد منطقه و نوع محصول است که به عنوان ورودی به مدل تقاضای انرژی داده می‌شود. مدل تقاضای انرژی، میزان اتلاف انرژی در گلخانه و همچنین انرژی خورشیدی ورودی به گلخانه را در هر ساعت برای گلخانه محاسبه کرده و میزان نیاز به گرمایش و سرمایش برای هر ساعت تخمین می‌زند. روش‌شناسی مدل تقاضای توسعه داده شده در شکل (۵) نمایش داده شده است. معادلات حاکم بر مدل تقاضای انرژی در گلخانه در پیوست گزارش آورده شده است.

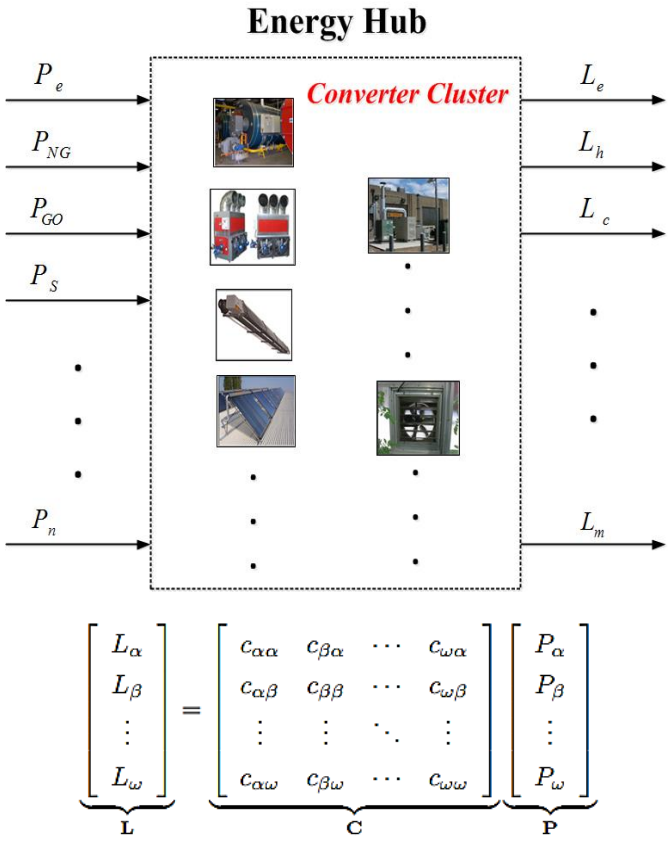


شکل ۵: چارچوب مدل تقاضای انرژی گلخانه

به منظور مدل‌سازی ساختار سیستم عرضه انرژی گلخانه‌ها، در این پروژه از مفهوم هاب انرژی[۲] استفاده شده است. این روش به منظور انتخاب ساختار بهینه سیستم انرژی در محیط چند حاملی انرژی مورد استفاده قرار می‌گیرد. به منظور ارزیابی سناریوهای مختلف، هاب انرژی متناظر با آن طراحی می‌شود. نمودار هاب انرژی برای بررسی هر سناریو از سه بخش تشکیل‌شده است. سطح اول این نمودار منابع انرژی مورد استفاده هستند. سطح دوم به فناوری‌های تبدیل انرژی و سطح سوم به تقاضای انرژی گلخانه -که همان خروجی‌های مدل تقاضا هستند- اختصاص دارند. شکل (۶) نمودار هاب انرژی گلخانه را به صورت کلی و جامع نشان می‌دهد. همان‌گونه که این شکل نشان می‌دهد، ماتریس L که تقاضای انرژی در گلخانه است توسط ماتریس C که ماتریس اتصال‌دهنده[۳] نامیده می‌شود به ماتریس P که میزان مصرف منابع انرژی است، ارتباط داده می‌شود. این ماتریس ضرایب

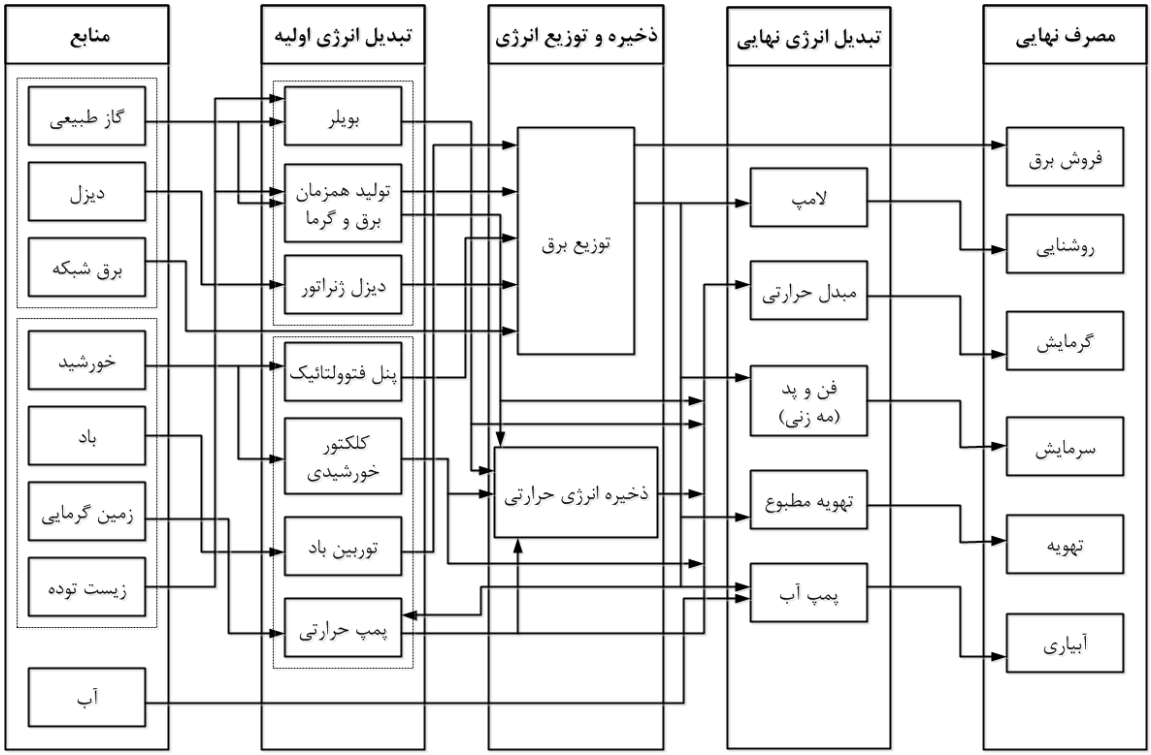
[2] Energy Hub
[3] Coupling Matrix

تکنولوژیکی تجهیزات مختلف گلخانه براساس طرح مورد بررسی را شامل می‌شود و به عبارتی نقشه جریان انرژی از منابع انرژی ورودی به سمت تقاضای سیستم را ترسیم می‌نماید.



شکل (۶): نمودار قطب انرژی برای سیستم عرضه انرژی گلخانه

پس از مدل‌سازی سیستم عرضه انرژی براساس مفهوم هاب انرژی، می‌توان برای سیستم انرژی گلخانه نمودار جریان انرژی را ارائه داد. شکل (۷) نمودار جریان انرژی را به صورت کیفی و جامع برای گلخانه نشان می‌دهد. به‌این‌ترتیب، با کمک این روش‌شناسی و براساس المان‌های موجود در هر سناریو، گلوگاه‌های انرژی، پتانسیل صرفه‌جویی انرژی و راهکارهای بهبود سیستم عرضه انرژی در هر سناریو قابل تشخیص خواهند بود.



شکل (۷): نمودار جریان انرژی کیفی گلخانه

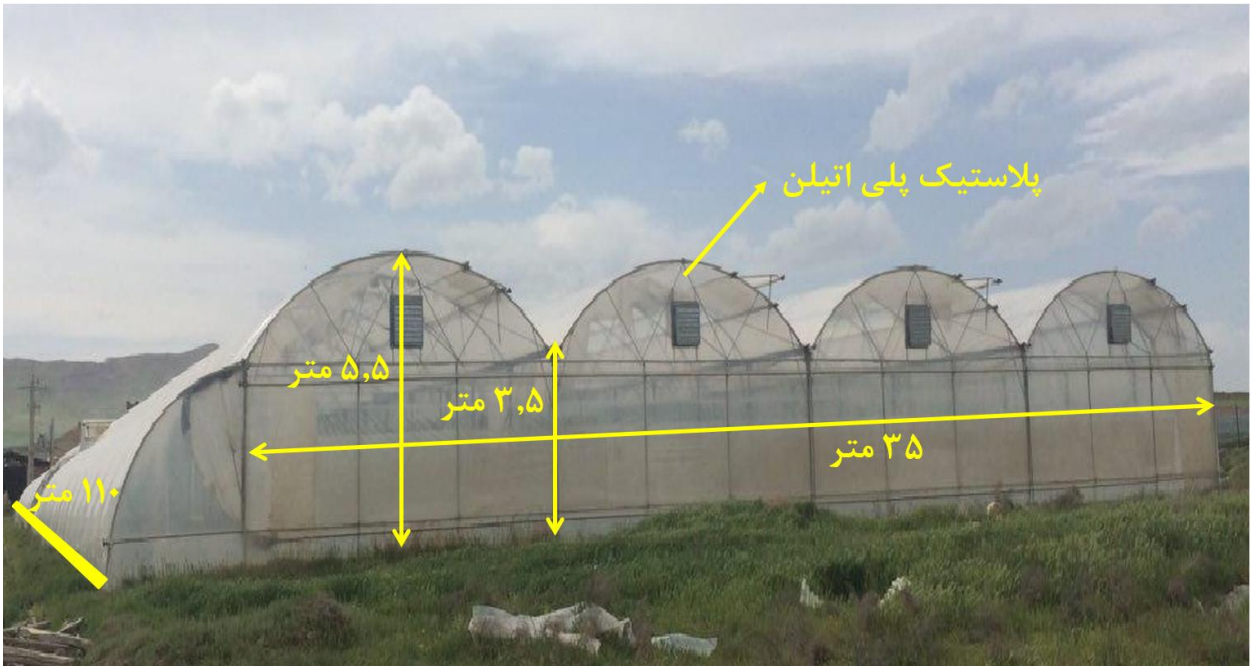
در نهایت پس از ارائه شاخص‌های مختلف فنی، زیست‌محیطی و اقتصادی، فناوری‌های مختلف با یکدیگر مقایسه شده و معیارهای تصمیم‌گیری نهایی در اختیار تصمیم‌گیرنده قرار خواهند گرفت.

۴- پیاده‌سازی و اعتباربخشی مدل‌های تقاضا و عرضه انرژی- مطالعات موردی در ایران

برای اعتبار سنجی و پیاده‌سازی مدل‌های تقاضا و عرضه انرژی، دو گلخانه نمونه در شهر مهاباد در استان آذربایجان غربی و شهر پاکدشت در استان تهران در نظر گرفته شد. اطلاعات مورد نیاز از این دو گلخانه جمع‌آوری شد و به عنوان ورودی به مدل‌های توسعه داده شده وارد شد. در ادامه مشخصات و نتایج به‌دست‌آمده برای هر دو گلخانه به تفکیک آورده شده است.

۴-۱- مشخصات گلخانه مهاباد

اولین گلخانه موردبررسی، گلخانه‌ای واقع در منطقه مهاباد است که نمای کلی آن در شکل (۸) و خصوصیات کلی آن در جدول (۱) ارائه شده است.



شکل ۸: نمای کلی گلخانه مهاباد

جدول ۱: مشخصات جغرافیایی و ساختاری گلخانه مهاباد

پارامتر	توضیحات
طول جغرافیایی	۴,۴۳ درجه
عرض جغرافیایی	۳۶,۴۶ درجه
طول گلخانه	۱۱۰ متر
عرض گلخانه	۳۵ متر
ارتفاع گلخانه	۴ متر
جنس سازه	آهن گالوانیزه
جنس پوشش دیواره	پلی کربنات
جنس پوشش سقف	پلاستیک پلی‌اتیلن
جهت گلخانه	شرقی-غربی

محصول مورد کشت در این گلخانه خیار است که دمای مناسب رشد برای هوای گلخانه در حدود ۱۸ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد، و برای ریشه آن حدود ۲۰ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد است و نمونه‌هایی از این محصول در شکل (۹) ارائه شده است.

شکل (۹): گیاه خیار سبز، گیاه مورد کشت در گلخانه مهاباد

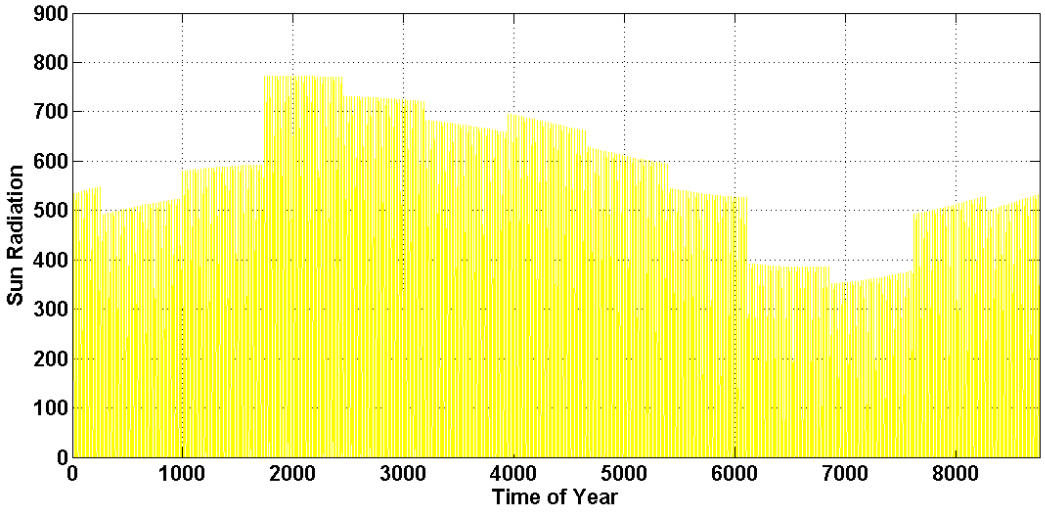
به منظور تأمین گرمایش هوای گلخانه، از سیستم بخاری هوای گرم استفاده می‌شود. نمایی از سیستم گرمایش مورد استفاده در شکل (۱۰) نشان داده شده است.

شکل (۱۰): بخاری هوای گرم مورد استفاده در گلخانه مهاباد

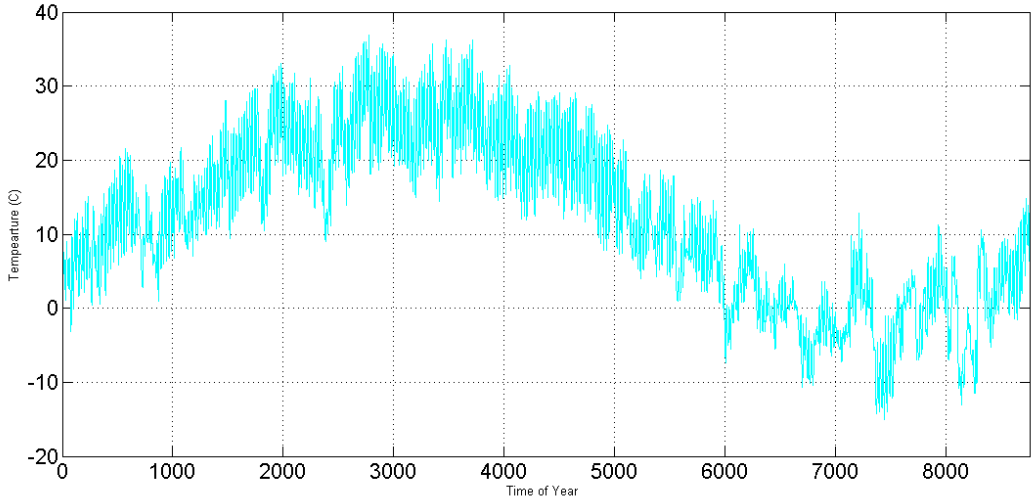
به منظور تهویه هوای درون گلخانه از فن تهویه و به منظور توزیع یکنواخت حرارت در هوای گلخانه از فن‌های توزیع حرارت استفاده می‌شود که نمایی از این فن‌ها در شکل (۱۱) نشان داده شده است.

شکل (۱۱): فن تهویه هوا و فن توزیع حرارت گلخانه مهاباد

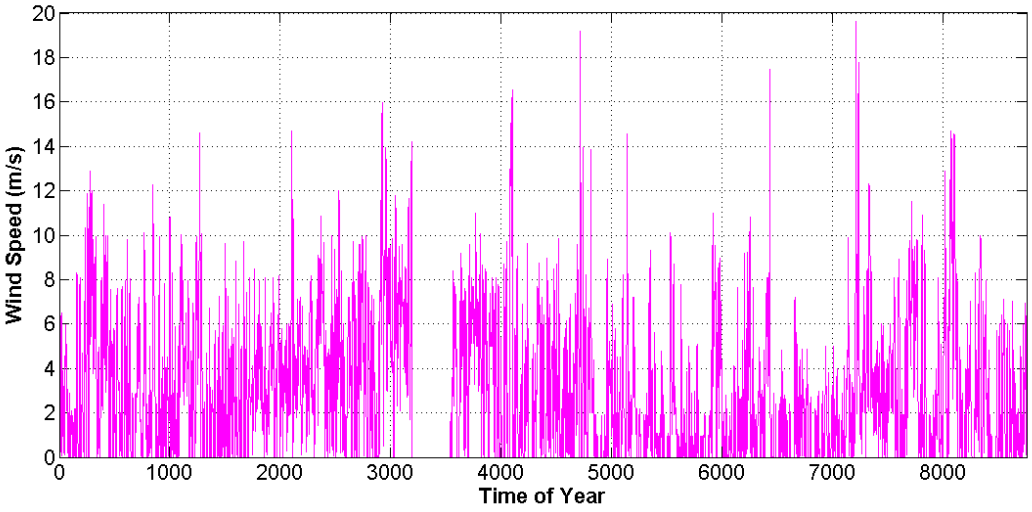
همان‌گونه که قبلاً ذکر شد، شرایط آب و هوایی محل احداث گلخانه، بر تقاضای گلخانه بسیار تأثیرگذار است. تابش لحظه‌ای خورشید، دمای هوا و سرعت باد برای محل گلخانه به مدت یک سال در شکل (۱۲-۱۴) ارائه شده است.



شکل ۱۲: تابش خورشید در منطقه مهاباد

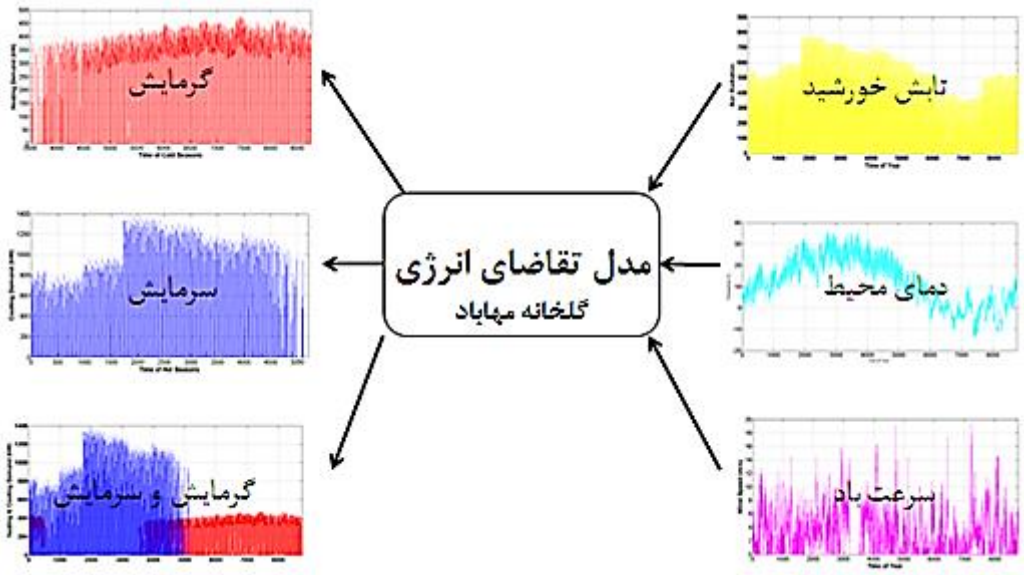


شکل ۱۳: دمای هوا در منطقه مهاباد



شکل ۱۴: سرعت باد در منطقه مهاباد

مدل تقاضای انرژی با دریافت اطلاعات آب و هوایی و مشخصات گلخانه، تقاضای انرژی سالانه را برای فصول گرم و سرد سال تعیین می‌کند. در شکل (۱۵) فرایند مدل تقاضای انرژی برای گلخانه مهاباد نشان داده شده است.

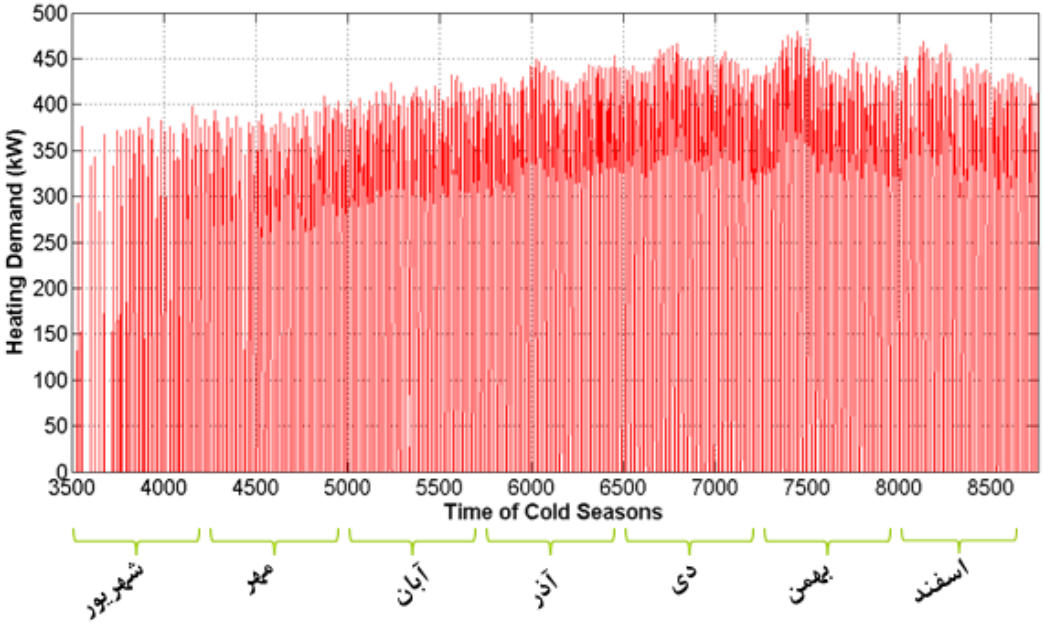


شکل ۱۵: فرایند مدل تقاضای انرژی برای گلخانه مهاباد

۴-۲- نتایج مدل تقاضای انرژی برای گلخانه مهاباد

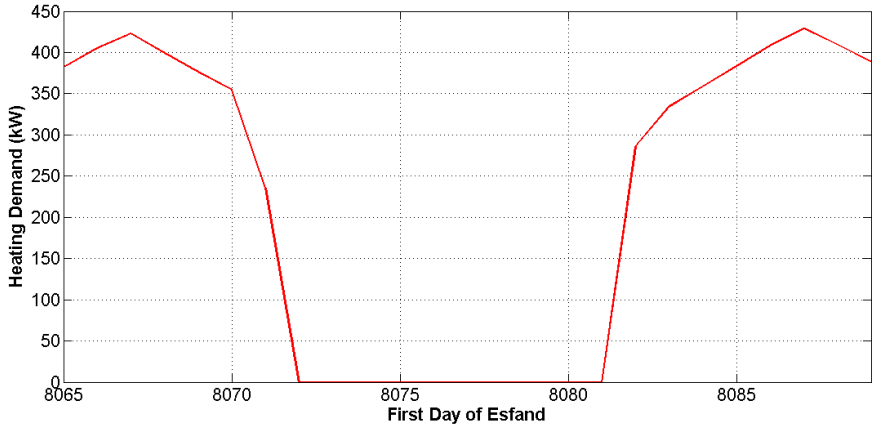
میزان تقاضای مورد نیاز گلخانه، با توجه به اطلاعات آب و هوایی منطقه، نوع محصول، جنس سازه و پوشش و ... با استفاده از مدل تقاضای توسعه داده شده، محاسبه شده است.

در شکل (۱۶) میزان تقاضای گرمایش در فصول سرد سال برای گلخانه مورد نظر رسم شده است. در شش ماه دوم سال به‌تدریج نیاز به گرمایش افزایش‌یافته است و در ماه بهمن به بیشینه مقدار خود رسیده است.



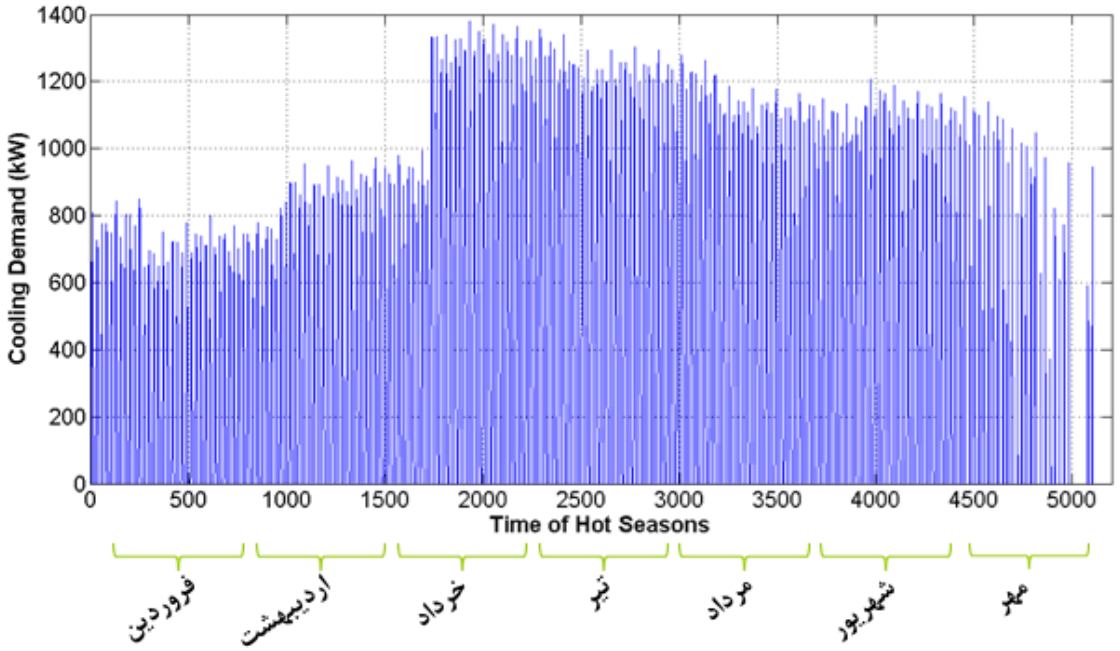
شکل (۱۶): تقاضای گرمایش برای ماه‌های سرد سال

در شکل (۱۷) تقاضای گرمایش برای اولین روز اسفند برای ۲۴ ساعت رسم شده است. همان‌گونه که مشخص است قبل از طلوع آفتاب نیاز به گرمایش محسوس است. به‌تدریج میزان نیاز به گرمایش کاهش‌یافته و در میانه روز و در حضور تابش خورشید نیاز به گرمایش صفر می‌شود. همچنین پس از غروب خورشید به‌تدریج نیاز به گرمایش افزایش می‌یابد.



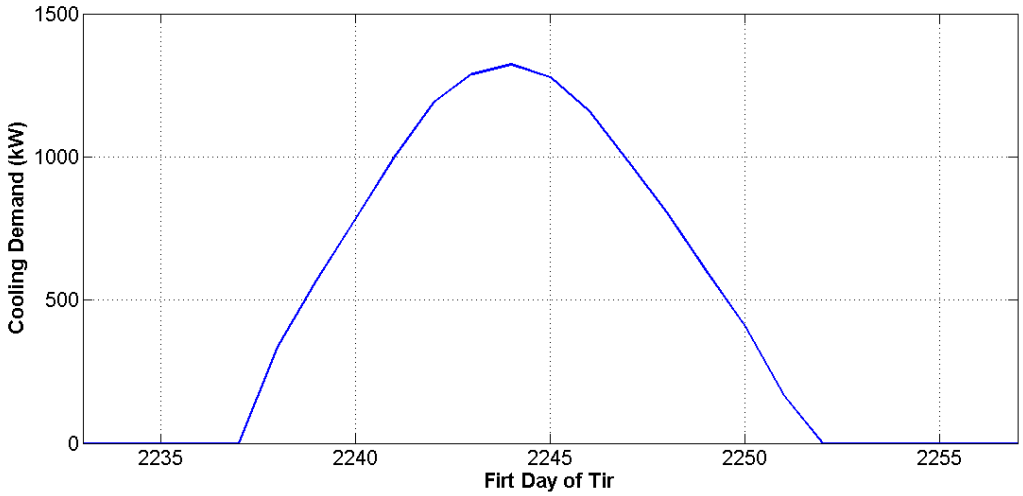
شکل ۱۷: تقاضای گرمایش برای اولین روز اسفند

شکل (۱۸) میزان تقاضای سرمایش گلخانه برای ماه‌های گرم سال نشان می‌دهد. برخلاف تقاضای گرمایش، شش ماه دوم سال نیاز به سرمایش صفر است ولی در شش ماه اول سال نیاز به سرمایش محسوس است. همان‌گونه که مشخص است در ماه‌های میانی نیاز به سرمایش بیشتر است.



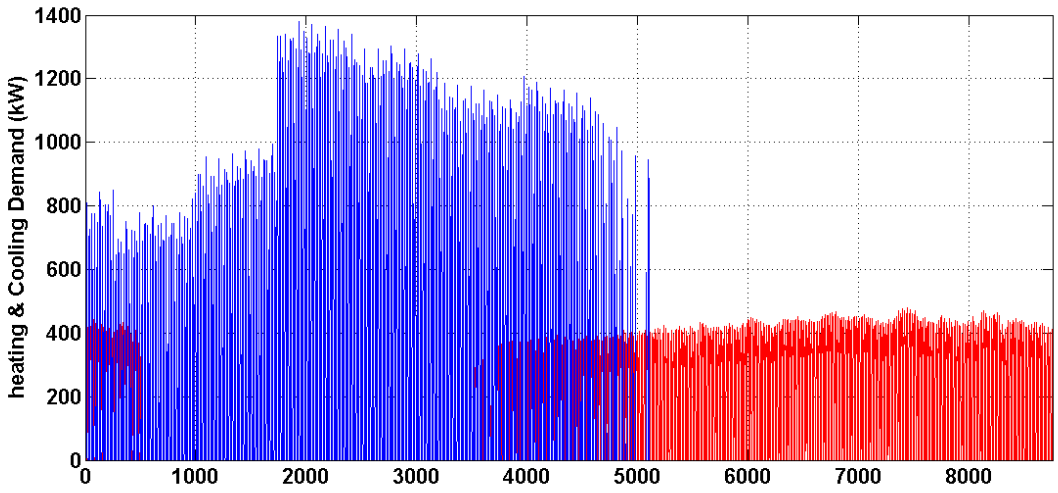
شکل (۱۸): تقاضای سرمایش گلخانه برای ماه‌های گرم سال

در شکل (۱۹) تقاضای سرمایش برای اولین روز تیر برای ۲۴ ساعت رسم شده است. قبل از طلوع آفتاب و بعد از غروب آفتاب نیاز به سرمایش صفر است. با طلوع خورشید به‌تدریج میزان نیاز به سرمایش افزایش‌یافته و در میانه روز و در حضور تابش خورشید نیاز به سرمایش به بیشینه مقدار خود می‌رسد.



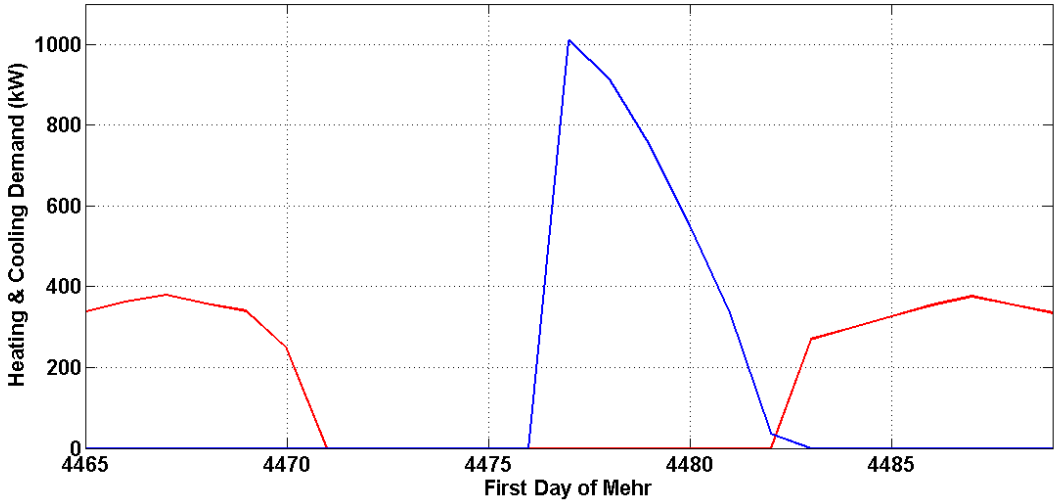
شکل ۱۹: تقاضای سرمایش برای اولین روز تیر

برای مقایسه تقاضای گرمایش و سرمایش در طول سال، در شکل (۲۰) تقاضای سالانه گرمایش و سرمایش در یک نمودار ارائه شده است. این شکل نشان می‌دهد که در ماه‌هایی که تغییر فصل در آن‌ها رخ می‌دهد، گلخانه در طول روز متناسب با تابش خورشید می‌تواند هم به گرمایش و هم به سرمایش نیاز داشته باشد.



شکل (۲۰): مقایسه تقاضای گرمایش و سرمایش سالانه

شکل (۲۱) نیاز گرمایش و سرمایش گلخانه در طول ۲۴ ساعت در اولین روز ماه مهر رسم شده است. این شکل نشان می‌دهد که در این روز قبل از طلوع خورشید و بعدازآن، گلخانه نیاز به گرمایش دارد. اما در میانه روز و در زمان حضور خورشید، نیاز به سرمایش محسوس است.



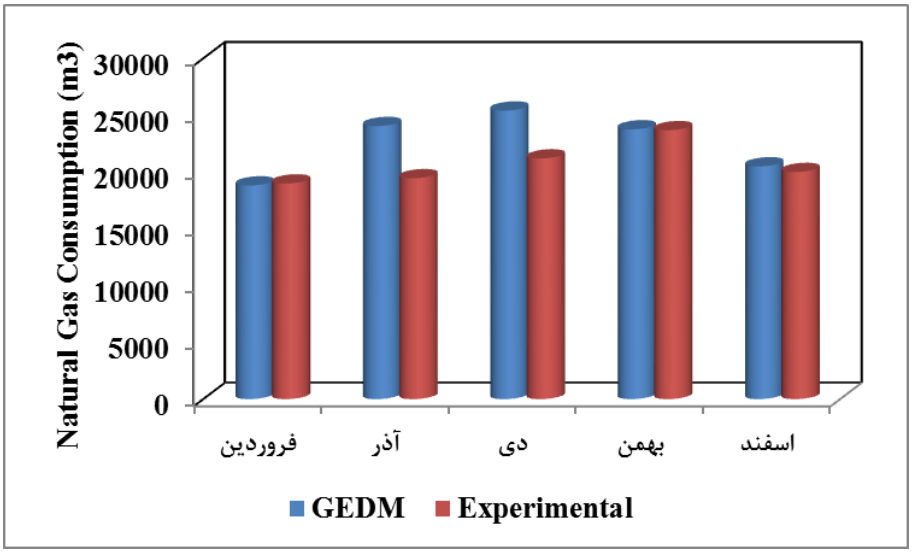
شکل (۲۱): نیاز گرمایش و سرمایش گلخانه در طول ۲۴ ساعت در اولین روز مهرماه

میزان مصرف سوخت این گلخانه حدود ۱۰۱۰۹۰مترمکعب گاز طبیعی در سال بر اساس اطلاعات قبض گاز است. محاسبات مدل توسعه داده شده، میزان تقاضای گاز طبیعی را ۱۲۰۳۰۰ مترمکعب در سال برآورد می‌کند.

جدول ۲: مقایسه نتایج مدل تقاضای انرژی گلخانه با مصرف گاز گلخانه مهاباد

نتایج	مقدار مرجع	ویژگی‌های مرجع
۱۲۰۳۰۰m^3 /ha.year	۱۰۱۰۹۰ m^3/ha.year	گلخانه مهاباد

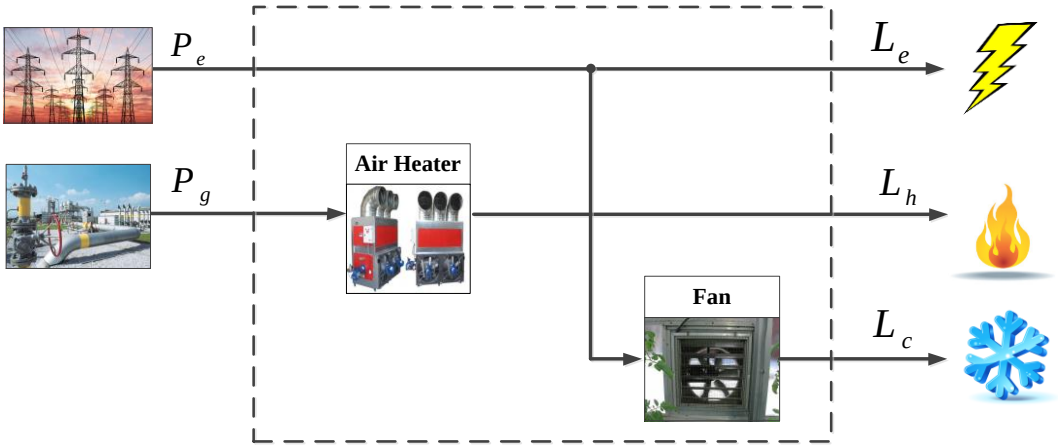
شکل (۲۲) میزان واقعی مصرف ماهانه گاز گلخانه با نتایج به‌دست‌آمده از مدل تقاضای انرژی گلخانه با یکدیگر مقایسه می‌کند.



شکل ۲۲: مقایسه مصرف واقعی ماهانه گاز با نتایج مدل تقاضا

۴-۳- نتایج مدل عرضه انرژی برای گلخانه مهاباد

این گلخانه در حال حاضر به منظور تأمین تقاضای گرمایش مورد نیاز رشد گیاه از شش عدد بخاری هوای گرم با ظرفیت ۲۲۰۰۰۰ کیلوکالری بر ساعت با سوخت گاز طبیعی استفاده می‌نماید. همچنین به منظور تأمین تقاضای سرمایش گلخانه از شش عدد فن تهویه هوا با ظرفیت ۱ کیلووات استفاده‌شده است و برق مورد نیاز تجهیزات الکتریکی گلخانه از طریق برق شبکه تأمین می‌گردد. ساختار هاب انرژی این سیستم در شکل (۲۳) نشان داده شده است.



شکل (۲۳): ساختار هاب انرژی وضعیت موجود گلخانه مهاباد

شکل (۲۴) شماتیک سیستم بخاری هوای گرم را نشان می‌دهد.

شکل (۲۴): شماتیک سیستم بخاری هوای گرم

مزایای استفاده از این سیستم به منظور تأمین گرمایش مورد نیاز گلخانه عبارت‌اند از:

- هزینه سرمایه‌گذاری پایین
- نصب ساده
- قابلیت افزایش ظرفیت
- نصب در محل گلخانه

همچنین برخی از معایب این سیستم عبارت‌اند از:

- مصرف بالای سوخت به دلیل بازدهی پایین
- توزیع غیریکنواخت دما
- انتشار گازهای آلاینده و کاهش کیفیت و بهره‌وری محصول

ارزیابی فنی، زیست‌محیطی و اقتصادی این طرح در جداول (۳و ۴) نشان داده شده است.

جدول (۳): نتایج فنی و زیست‌محیطی مدل‌سازی طرح بخاری هوای گرم، شبکه برق و فن تهویه هوا

نوع سیستم انرژی	نوع سوخت	میزان مصرف سوخت سالانه	میزان انتشار دی‌اکسید کربن سالانه
بخاری هوای گرم- فن تهویه هوا	گاز	۱۲۰۳۰۰ مترمکعب	۲۳۴ تن
	گازوئیل	۱۱۳۹۰۰ لیتر	۳۳۰ تن

جدول (۴): نتایج اقتصادی مدل‌سازی طرح بخاری هوای گرم، شبکه برق و فن تهویه هوا

نوع سیستم انرژی	نوع سوخت	کلیه هزینه‌ها برحسب میلیون ریال می‌باشند				
		هزینه سرمایه‌گذاری سالانه	هزینه تعمیر و نگهداری سالانه	هزینه مصرف سوخت	هزینه مصرف برق	کل هزینه سالانه
بخاری هوای گرم- فن تهویه هوا	گاز	۱۵	۱۲/۴	۱۲۰/۳	۳۴	۱۸۱/۳
	گازوئیل	۱۵	۱۲/۴	۳۴۱/۷	۳۴	۴۰۲/۷

۴-۴- امکان‌سنجی به‌کارگیری فناوری‌های مختلف در سیستم عرضه انرژی گلخانه مهاباد

یکی از مهم‌ترین قابلیت‌های مدل عرضه، فراهم نمودن امکان مقایسه و تحلیل گزینه‌های مختلف تأمین تقاضای انرژی گلخانه‌ها است. در این پروژه پنج سناریو بر اساس سیستم‌های انرژی متداول، سیستم تولید هم‌زمان برق و حرارت و سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر موردبررسی قرار گرفته است. در ادامه نتایج به‌کارگیری این سیستم‌های در تأمین تقاضای گلخانه‌ها ارائه شده است. لازم به ذکر است در کلیه سناریوها برای سرمایش از سیستم فن و پد استفاده شده است و گلخانه به شبکه سراسری برق متصل است.

جایگزینی سیستم گرمایش بویلر آب گرم بجای بخاری هوای گرم

یکی از طرح‌هایی که در سال‌های اخیر مدنظر قرار گرفته است، استفاده سیستم بویلر آب گرم مرکزی است. استفاده از این سیستم به دلیل بازدهی بالاتر نسبت به بخاری هوای گرم، میزان مصرف سوخت را کاهش می‌دهد. شکل (۲۵) شماتیک سیستم بویلر مرکزی آب گرم را نشان می‌دهد.

شکل (۲۵): شماتیک سیستم بویلر آب گرم

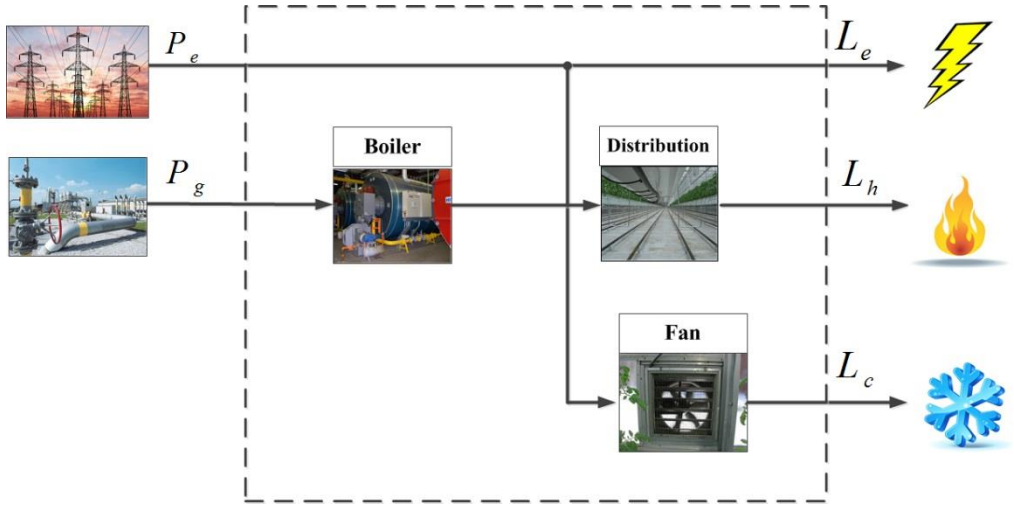
مزایای استفاده از این سیستم به منظور تأمین گرمایش مورد نیاز گلخانه عبارت‌اند از:

- توزیع یکنواخت دما در گلخانه
- صرفه‌جویی در مصرف سوخت به دلیل راندمان بالاتر این سیستم نسبت به سیستم متداول بخاری هوای گرم
- وقوع فرآیند احتراق سوخت در خارج محل گلخانه و کاهش انتشار مواد آلاینده در محیط گلخانه

همچنین برخی از معایب این سیستم عبارت‌اند:

- هزینه سرمایه‌گذاری بالاتر نسبت به بخاری هوای گرم
- نیاز به سیستم انتقال و توزیع گرما

در این طرح فرض شده است سرمایش گلخانه مانند وضعیت موجود در گلخانه و از طریق فن تهویه هوا صورت گیرد. با توجه به موارد ذکر شده ساختار هاب انرژی سیستم انرژی گلخانه در این طرح مطابق شکل (۲۶) ترسیم‌شده است.



شکل (۲۶): ساختار هاب انرژی سناریوی بویلر آب گرم

در این حالت نتایج تحلیل‌های فنی، زیست‌محیطی و اقتصادی این طرح در جداول (۵ و ۶) نشان داده شده است.

جدول (۵): نتایج فنی و زیست‌محیطی مدل‌سازی سناریوی بویلر آب گرم

نوع سیستم انرژی	نوع سوخت	میزان مصرف سوخت سالانه	میزان انتشار دی‌اکسید کربن سالانه
بویلر آب گرم- فن تهویه	گاز	۹۹۰۰۰ مترمکعب	۱۹۶ تن
	گازوئیل	۹۳۸۰۰ لیتر	۲۷۲ تن

جدول (۶): نتایج اقتصادی مدل‌سازی سناریوی بویلر آب گرم

نوع سیستم انرژی	نوع سوخت	کلیه هزینه‌ها برحسب میلیون ریال می‌باشند				
		هزینه سرمایه‌گذاری سالانه	هزینه تعمیر و نگهداری سالانه	هزینه مصرف سوخت	هزینه مصرف برق	کل هزینه سالانه
بویلر آب گرم- فن تهویه	گاز	۳۱/۵	۲/۷	۹۹	۳۴	۱۹۱/۵
	گازوئیل	۳۱/۵	۲/۷	۲۸۱/۴	۳۴	۳۷۳/۹

همان‌گونه که نتایج نشان می‌دهد، میزان مصرف سوخت در این طرح نسبت به وضعیت موجود گلخانه ۱۸٪ کاهش‌یافته است.

جایگزینی سیستم گرمایش تابشی به‌جای بخاری هوای گرم

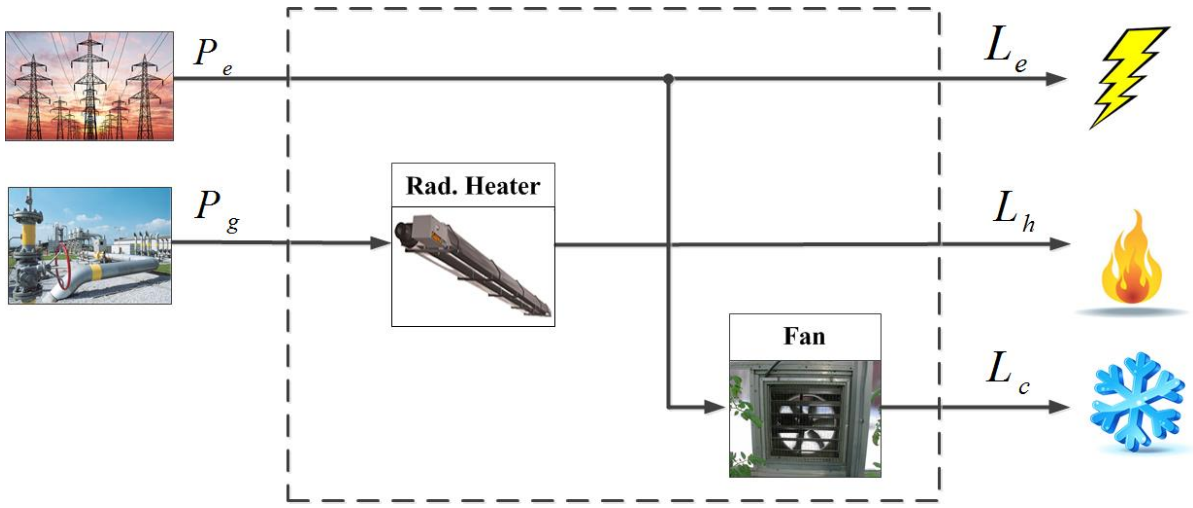
یکی دیگر از طرح‌هایی که در سال‌های اخیر در گلخانه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد، استفاده از سیستم گرمایش تابشی است. شکل (۲۷) شماتیک سیستم گرمایش تابشی را نشان می‌دهد.

شکل (۲۷): شماتیک سیستم گرمایش تابشی

مزایای استفاده از این سیستم به منظور تأمین گرمایش مورد نیاز گلخانه عبارت‌اند از:

- کاهش مصرف سوخت
- کاهش بیماری‌های گیاهی
- کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری
- گرمایش یکنواخت در سطح گلخانه

همچنین هزینه سرمایه‌گذاری بالا اشکال اصلی این سیستم است. ساختار هاب انرژی سیستم انرژی گلخانه براساس این طرح مطابق شکل (۲۸) ترسیم شده است.



شکل (۲۸): ساختار هاب انرژی سناریوی سیستم گرمایش تابشی

نتایج مدل‌سازی این طرح حاکی از آن است که به منظور تأمین گرمایش گلخانه بر اساس این طرح نیاز به ۱۲ عدد سیستم گرمایش تابشی با ظرفیت ۳۴۴۰۰ کیلوکالری بر ساعت است. نتایج فنی، زیست‌محیطی و اقتصادی این طرح در جداول (۷ و ۸) نشان داده شده است.

جدول (۷): نتایج فنی و زیست‌محیطی مدل‌سازی سناریوی سیستم گرمایش تابشی

نوع سیستم انرژی	نوع سوخت	کلیه هزینه‌ها برحسب میلیون ریال می‌باشند				
		هزینه سرمایه‌گذاری سالانه	هزینه تعمیر و نگهداری سالانه	هزینه مصرف سوخت	هزینه مصرف برق	کل هزینه سالانه
گرمایش تابشی- فن تهویه	گاز	۵۲	۱۳/۳	۸۹	۳۴	۱۸۸/۳
	گازوئیل	۵۲	۱۳/۳	۲۵۲	۳۴	۳۵۱/۳

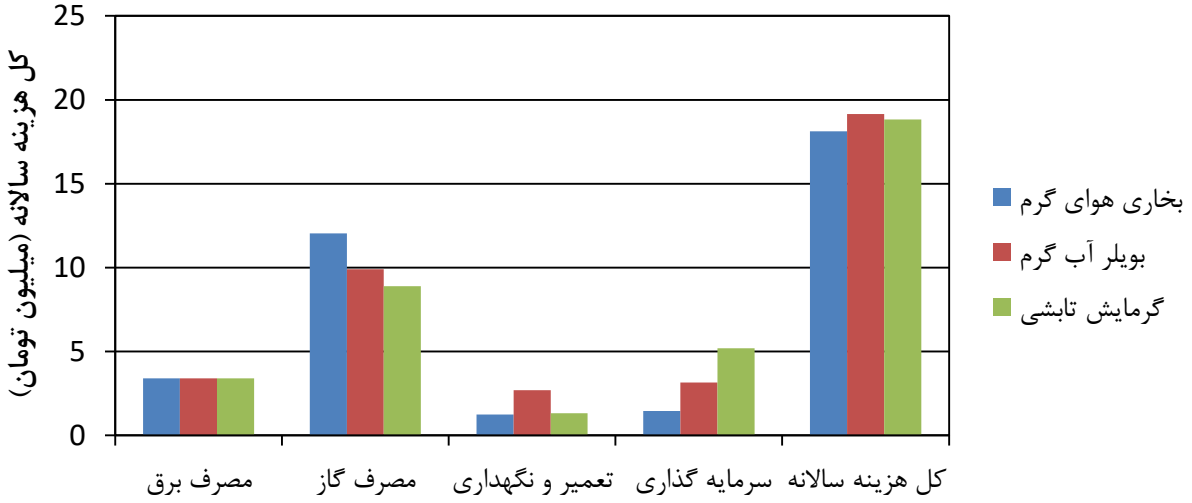
جدول (۸): نتایج اقتصادی مدل‌سازی سناریوی سیستم گرمایش تابشی

نوع سیستم انرژی	نوع سوخت	میزان مصرف سوخت سالانه	میزان انتشار دی‌اکسید کربن سالانه
گرمایش تابشی- پد و فن	گاز	۸۹۰۰۰ مترمکعب	۱۷۷ تن
	گازوئیل	۸۳۹۳۳ لیتر	۲۴۳ تن

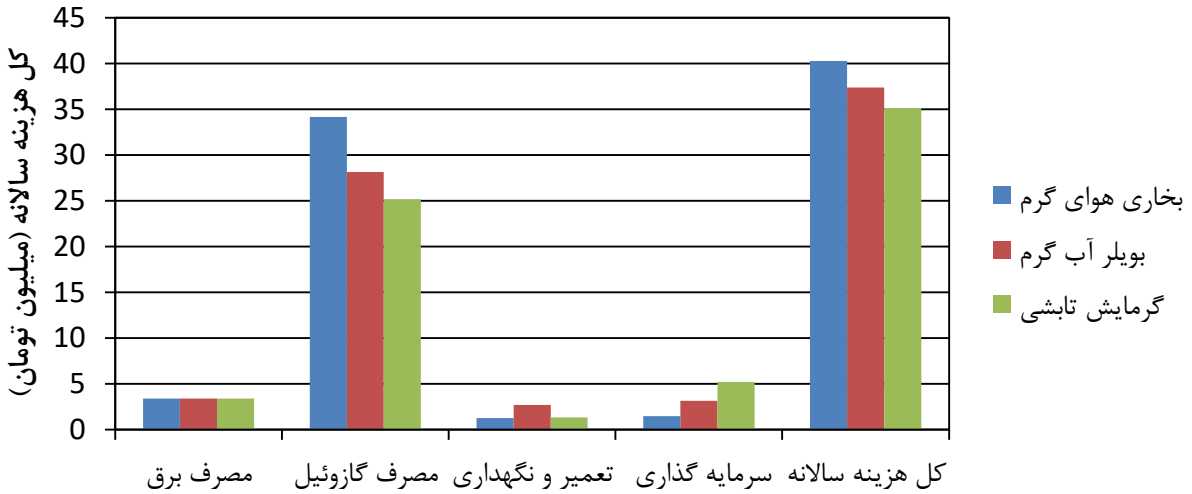
همان‌گونه که نتایج نشان می‌دهد، میزان مصرف سوخت در این حالت نسبت به وضعیت موجود گلخانه ۲۶٪ کاهش‌یافته است. بسیاری از گلخانه‌های موجود در کشور از سناریوهایی که تاکنون بررسی شدند استفاده می‌نمایند و تفاوت عمده آن‌ها در میزان تقاضای گرمایش آن‌ها است. گلخانه مهاباد همان‌گونه که ذکر گردید از سیستم بخاری هوای گرم به منظور تأمین تقاضای گرمایش استفاده می‌نماید. دو طرح بویلر آب گرم و سیستم گرمایش تابشی جزء سیستم‌های گرمایشی متداول می‌باشند که امکان‌سنجی استفاده از آن‌ها برای گلخانه مهاباد موردبررسی قرار گرفت. شکل‌های (۲۹) و (۳۰) برآورد اقتصادی استفاده از این سه سناریوی متداول با استفاده از سوخت گاز و گازوئیل را مقایسه می‌کند.

همان‌گونه که از شکل (۲۹) مشخص است، با تعرفه فعلی گاز طبیعی سیستم بخاری هوای گرم، سیستم گرمایش تابشی و بویلر آب گرم به ترتیب کمترین هزینه کل سالانه را دارا می‌باشند. این شکل بیان می‌کند که با توجه به قیمت پایین گاز طبیعی در حال حاضر استفاده از و هزینه سرمایه‌گذاری پایین‌تر (باوجود راندمان انرژی پایین‌تر) ارجحیت داشته است. اما تفاوت قیمت گاز طبیعی با گازوئیل تفاوت معناداری در نتایج ایجاد کرده است. با توجه به شکل (۳۰) با توجه به قیمت بالاتر گازوئیل نسبت به گاز طبیعی، کل هزینه سالانه سیستم گرمایش تابشی (با وجود هزینه سرمایه‌گذاری بالاتر) نسبت به دو سیستم دیگر پایین‌تر بوده است و سیستم بخاری هوای گرم به دلیل مصرف بالای سوخت بالاترین هزینه کل سالانه را به خود اختصاص داده است. بنابراین از این دو نمودار می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش قیمت حامل‌های انرژی، استفاده از سیستم‌های تبدیل انرژی با بازدهی بالاتر

هرچند که هزینه سرمایه‌گذاری بالاتری دارند، هزینه کل سالانه کمتری خواهند داشت و توجیه‌پذیری استفاده از آن‌ها افزایش خواهد یافت.



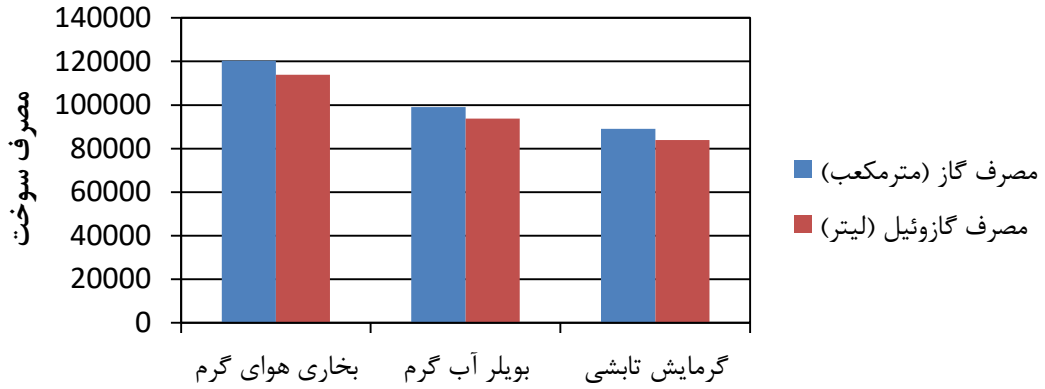
شکل (۲۹): مقایسه نتایج اقتصادی طرح‌های متداول تأمین تقاضای انرژی گلخانه مهاباد با سوخت گاز طبیعی



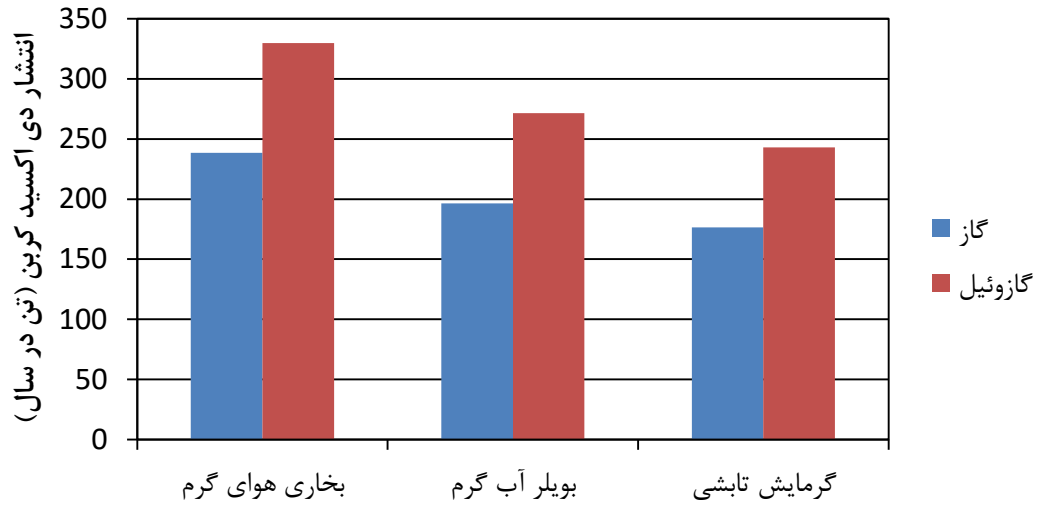
شکل (۳۰): مقایسه نتایج اقتصادی طرح‌های متداول تأمین تقاضای انرژی گلخانه مهاباد با سوخت گازوئیل

شکل‌های (۳۱) و (۳۲) میزان مصرف سوخت و انتشار دی‌اکسیدکربن برای سه طرح متداول را نشان می‌دهند. همان‌گونه که از این دو نمودار مشخص است، طرح‌های گرمایش تابشی، بویلر آب گرم و بخاری هوای گرم به ترتیب کمترین میزان مصرف سوخت و انتشار دی‌اکسیدکربن را به خود اختصاص داده‌اند. علت این امر آن است

که سیستم گرمایش تابشی بیشترین بازدهی انرژی و سیستم بخاری هوای گرم کمترین بازدهی انرژی را دارا می‌باشند.



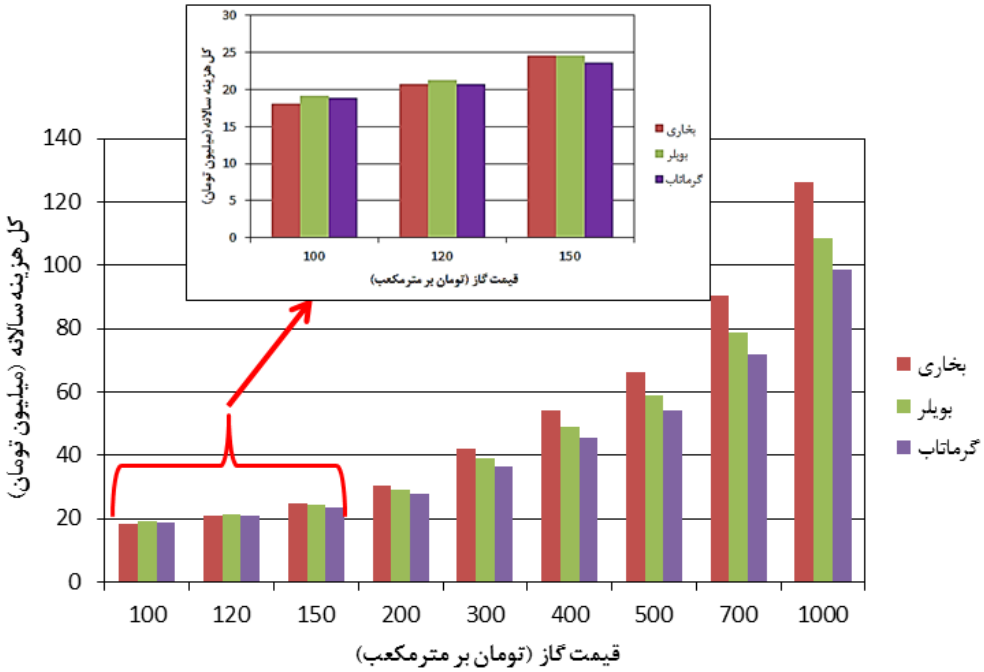
شکل (۳۱): مقایسه نتایج فنی طرح‌های متداول تأمین تقاضای انرژی گلخانه مهاباد



شکل (۳۲): مقایسه نتایج زیست‌محیطی طرح‌های متداول تأمین تقاضای انرژی گلخانه مهاباد

قیمت گاز طبیعی پارامتری است که بسیار وابسته به زمان و مکان است. همان‌گونه که در بخش قبل توضیح داده شد، با توجه به قیمت بالاتر گازوئیل نسبت به گاز طبیعی، استفاده از فناوری‌های با بازدهی بالاتر توجیه اقتصادی بیشتری نسبت به فناوری‌های با بازدهی پایین‌تر داشت. بنابراین به نظر می‌رسد افزایش قیمت گاز طبیعی اولویت انتخاب اقتصادی فناوری‌ها را دستخوش تغییر کند. همان‌گونه که شکل (۳۳) نشان می‌دهد، با تعرفه فعلی گاز

طبیعی (۱۰۰۰ ریال به ازای هر مترمکعب) فناوری بخاری هوای گرم کمترین هزینه کل سالانه را به خود اختصاص داده است. اما با افزایش ۲۰ درصدی قیمت گاز طبیعی اولویت اقتصادی استفاده از فناوری‌ها تغییر خواهد کرد و سیستم گرمایش تابشی کمترین هزینه کل سالانه را خواهد داشت و بخاری هوای گرم -که در حال حاضر گزینه برتر اقتصادی است- بیشترین هزینه کل سالانه را خواهد داشت.



شکل (۳۳): تأثیر قیمت گاز طبیعی بر انتخاب فناوری بهینه اقتصادی

امکان‌سنجی استفاده از سیستم تولید هم‌زمان برق

سیستم‌های تولید هم‌زمان برق و گرما به منظور تولید هم‌زمان انرژی حرارتی و الکتریکی در ساختمان‌های مسکونی کاربرد بسیاری دارند. همان‌گونه که قبلاً در بخش مطالعات تطبیقی ذکر گردید گلخانه‌های مختلفی در مناطق مختلف دنیا استفاده از این سیستم را در گلخانه‌ها موردمطالعه قرار داده‌اند. شکل (۳۴) شماتیک سیستم تولید هم‌زمان برق و گرما را نشان می‌دهد.

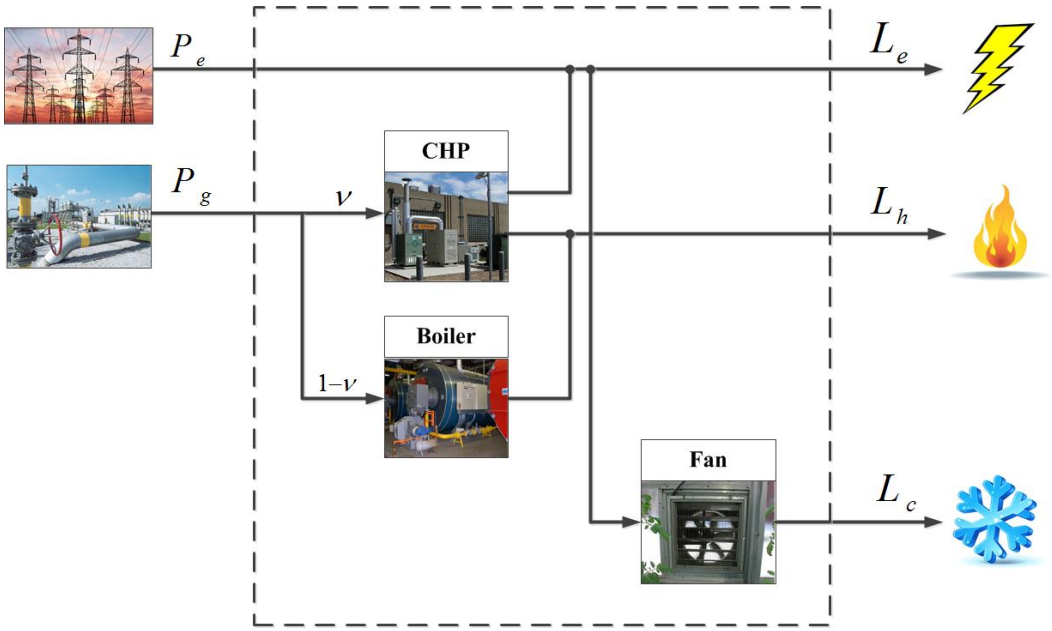
شکل (۳۴): شماتیک سیستم تولید هم‌زمان برق و گرما

مزایای استفاده از این سیستم به منظور تأمین گرمایش مورد نیاز گلخانه عبارت‌اند از:

- تولید هم‌زمان برق و گرما
- فروش برق مازاد به شبکه در کنار تأمین تقاضای گرمایش گلخانه
- کاهش بار شبکه برق
- تأمین گرمایش مجموعه‌ای از گلخانه‌ها در مقیاس بالا

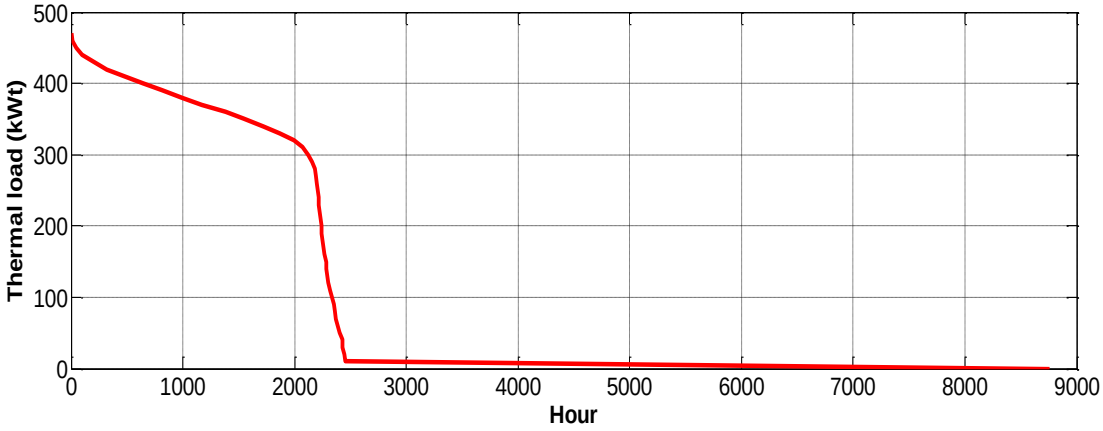
همچنین هزینه سرمایه‌گذاری و تعمیر و نگهداری بالا عیب اصلی این سیستم است.

ساختار هاب انرژی سیستم انرژی گلخانه بر مبنای مولد تولید هم‌زمان برق و گرما مطابق شکل (۳۵) ترسیم شده است.



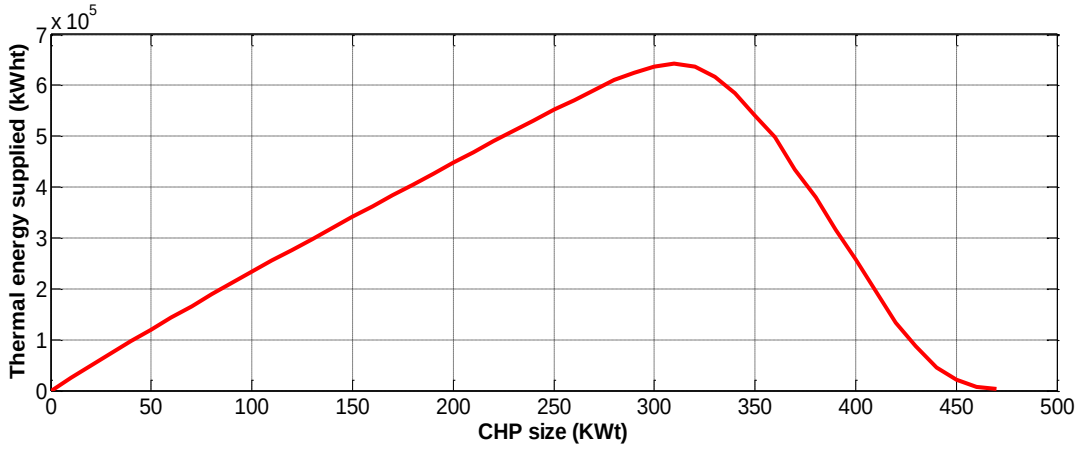
شکل (۳۵): ساختار هاب انرژی طرح سیستم تولید هم‌زمان، شبکه برق و فن تهویه

به منظور محاسبه ظرفیت سیستم تولید هم‌زمان برق و گرما، از یک روش بهینه بر اساس منحنی تجمعی بار حرارتی گلخانه استفاده‌شده است. این روش تحت عنوان روش بزرگ‌ترین مستطیل شناخته‌شده و در سال ۲۰۰۳ توسط کاردونا ارائه شده است که به منظور طراحی ظرفیت محرک اولیه در سیستم تولید هم‌زمان، منحنی تجمعی بار حرارتی مجموع برحسب تعداد ساعات سالانه طوری که مقادیر بار از حداکثر به حداقل مرتب شده باشد، رسم می‌گردد. با مشخص کردن حداکثر مساحت تشکیل شده زیر منحنی (بزرگ‌ترین مستطیل)، حداکثر بار حرارتی که باید توسط محرک اولیه تأمین گردد، مشخص می‌شود. مساحت بزرگ‌ترین مستطیل، حداکثر انرژی حرارتی است که سیستم می‌تواند سالانه در بار کامل تأمین کند. عرض و طول بزرگ‌ترین مستطیل، به ترتیب مشخص‌کننده سایز محرک اولیه و مدت زمان عملکرد سیستم تولید هم‌زمان در بار کامل است. این روش از بزرگ یا کوچک بودن بیش از حد ظرفیت محرک اولیه جلوگیری می‌کند. شکل (۳۶) منحنی تجمعی بار حرارتی مجموع را بر اساس تقاضای گلخانه نشان می‌دهد.



شکل (۳۶): منحنی تجمعی بار حرارتی مجموع بر اساس تقاضای گلخانه

همچنین بر اساس شکل (۳۷) ظرفیت بهینه سیستم تولید هم‌زمان انتخاب می‌شود.



شکل (۳۷): انتخاب ظرفیت بهینه سیستم تولید هم‌زمان

بر اساس این روش و مطابق شکل (۳۷) ظرفیت حرارتی سیستم تولید هم‌زمان ۳۱۰ کیلووات حرارتی برآورد شده است. شایان ذکر است که در مواقعی که تقاضای حرارتی گلخانه مازاد بر بیشینه ظرفیت محرک باشد، بویلر کمکی با حداکثر ظرفیت ۱۴۶۰۰۰ کیلوکالری بر ساعت به مدار خواهد آمد و میزان مازاد تقاضا بر ظرفیت محرک را پوشش خواهد داد. نتایج فنی، زیست‌محیطی و اقتصادی این طرح در جداول (۹ و ۱۰) نشان داده شده است.

جدول (۹): نتایج فنی و زیست‌محیطی به‌کارگیری سیستم تولید هم‌زمان برق و حرارت

نوع سیستم انرژی	نوع سوخت	میزان مصرف سوخت سالانه	میزان انتشار دی‌اکسید کربن سالانه
مولد تولید هم‌زمان- فن تهویه هوا	گاز	۱۶۲۶۰۰ مترمکعب	۳۲۳ تن
	گازوئیل	۱۵۴۰۰۰ لیتر	۴۴۶ تن

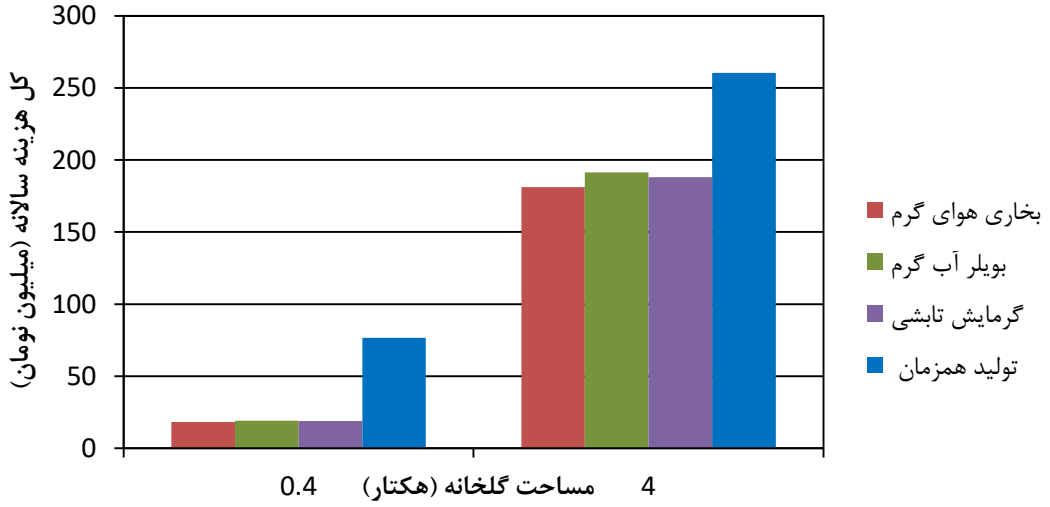
جدول (۱۰): نتایج اقتصادی مدل‌سازی به‌کارگیری سیستم تولید هم‌زمان برق و حرارت

نوع سیستم انرژی	نوع سوخت	کلیه هزینه‌ها برحسب میلیون ریال می‌باشند					
		هزینه سرمایه‌گذاری سالانه	هزینه تعمیر و نگهداری سالانه	هزینه مصرف سوخت	هزینه مصرف برق	میزان فروش برق	کل هزینه سالانه
مولد تولید هم‌زمان- فن تهویه	گاز	۸۶۸/۴	۱۸۰	۱۶۲/۶	۳۴	۴۷۸/۴	۷۶۶/۶
	گازوئیل	۸۶۸/۴	۱۸۰	۴۶۲	۳۴	۴۷۸/۴	۱۰۶۶

همان‌گونه که نتایج اقتصادی این طرح نشان می‌دهد، با توجه به قیمت بالای سرمایه‌گذاری مولد تولید هم‌زمان در مقیاس‌های زیر ۱ مگاوات، این طرح برای شرایط فعلی گلخانه مهاباد که سطح زیر کشت آن زیر ۱ هکتار است، از دیدگاه اقتصادی قابل رقابت با سایر طرح‌های متداول که در بخش قبلی بررسی شدند، نیست. همان‌گونه که در بخش نتایج ذکر گردید، برای سطح زیر کشت ۱ هکتار نیاز به سیستم تولید هم‌زمان با ظرفیت معادل ۳۱۰ کیلووات حرارتی بود. اما به دلیل هزینه بالای سرمایه‌گذاری اولیه، سیستم تولید هم‌زمان در این مقیاس قابل رقابت با طرح‌های متداول نبوده است. در این بخش به منظور یافتن نقطه بهینه استفاده از سیستم تولید هم‌زمان برق و گرما، بر روی سطح زیر کشت گلخانه تحلیل حساسیت صورت گرفته است. بدیهی است با افزایش سطح زیر کشت گلخانه، تقاضای گرمایش افزایش یافته و ظرفیت مورد نیاز سیستم تولید هم‌زمان نیز افزایش خواهد یافت. این

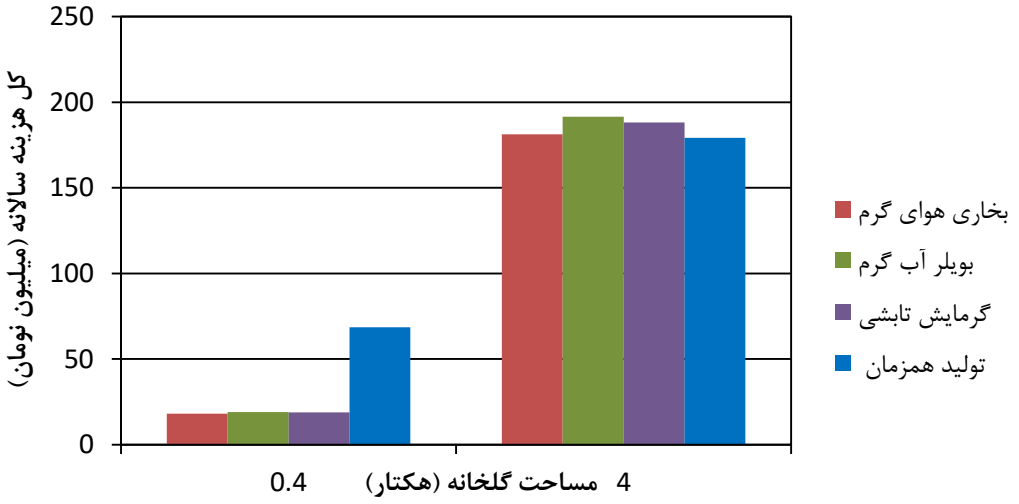
افزایش ظرفیت باعث کاهش هزینه به واحد توان مولد تولید هم‌زمان خواهد گردید و نقطه‌ای وجود خواهد داشت که سیستم تولید هم‌زمان توجیه اقتصادی پیدا خواهد کرد.

همان‌گونه که شکل (۳۸) نشان می‌دهد، با افزایش سطح زیر کشت گلخانه به ۴ هکتار، ظرفیت مولد تولید هم‌زمان به ۲ مگاوات خواهد رسید. در این نقطه هزینه سرمایه‌گذاری مولد به ۴۰۰ دلار به کیلووات کاهش خواهد یافت. اگرچه در این حالت اختلاف هزینه کل سالانه سیستم تولید هم‌زمان با طرح‌های متداول کاهش‌یافته است، اما همچنان سیستم تولید هم‌زمان قابل‌رقابت با طرح‌های متداول نیست.

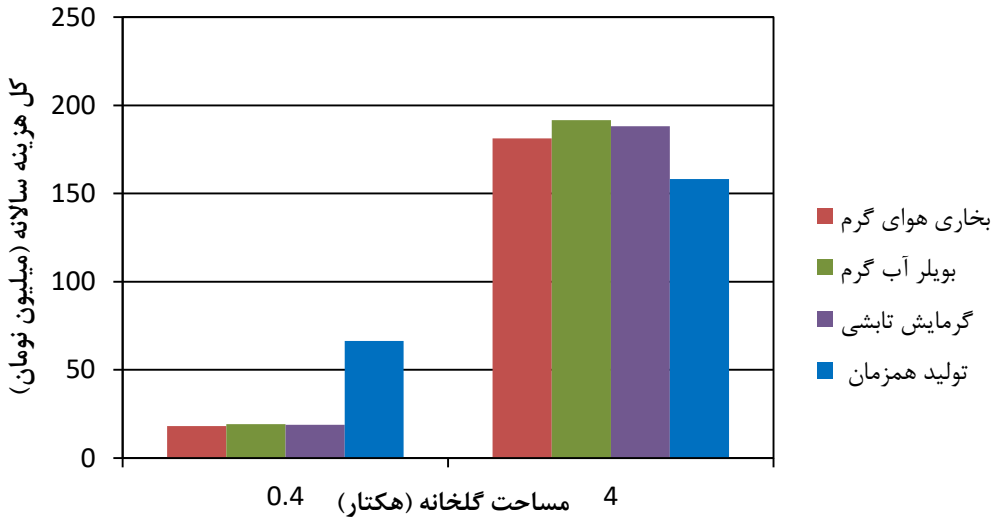


شکل (۳۸): تأثیر افزایش سطح زیر کشت گلخانه بر نتایج اقتصادی سیستم تولید هم‌زمان

حال چنانچه شکل (۳۹) نشان می‌دهد، اگر هزینه سوخت ورودی به سیستم تولید هم‌زمان ۵۰ درصد کاهش یابد و یا مطابق شکل (۴۰) هزینه فروش برق به شبکه به سیستم ۲۰ درصد افزایش یابد، هزینه کل سالانه سیستم تولید هم‌زمان نسبت به سایر طرح‌های متداول کمتر خواهد شد. با افزایش سطح زیر کشت گلخانه نیز، سیستم تولید هم‌زمان توجیه‌پذیری اقتصادی خود را حفظ خواهد نمود.



شکل (۳۹): تأثیر کاهش ۵۰ درصدی قیمت سوخت بر توجیه اقتصادی سیستم تولید هم‌زمان

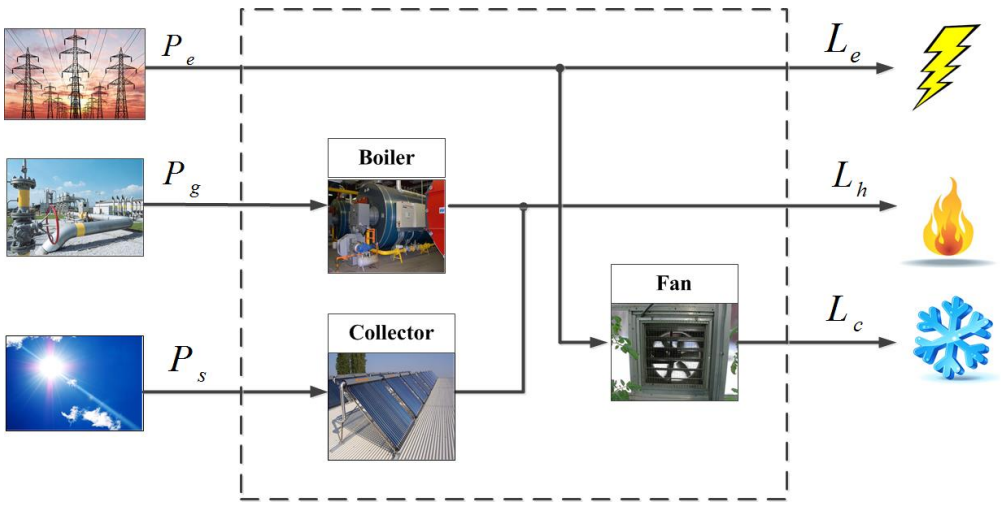


شکل (۴۰): تأثیر افزایش ۲۰ درصدی قیمت فروش برق بر توجیه اقتصادی سیستم تولید هم‌زمان

امکان‌سنجی استفاده از سیستم کلکتور خورشیدی

استفاده بهینه از پتانسیل انرژی‌های تجدیدپذیر در محیط می‌تواند در هزینه مصرف سوخت یک سیستم انرژی صرفه‌جویی ایجاد کند و اقتصاد سیستم را بهبود بخشد. همچنین استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر به دلیل کاهش

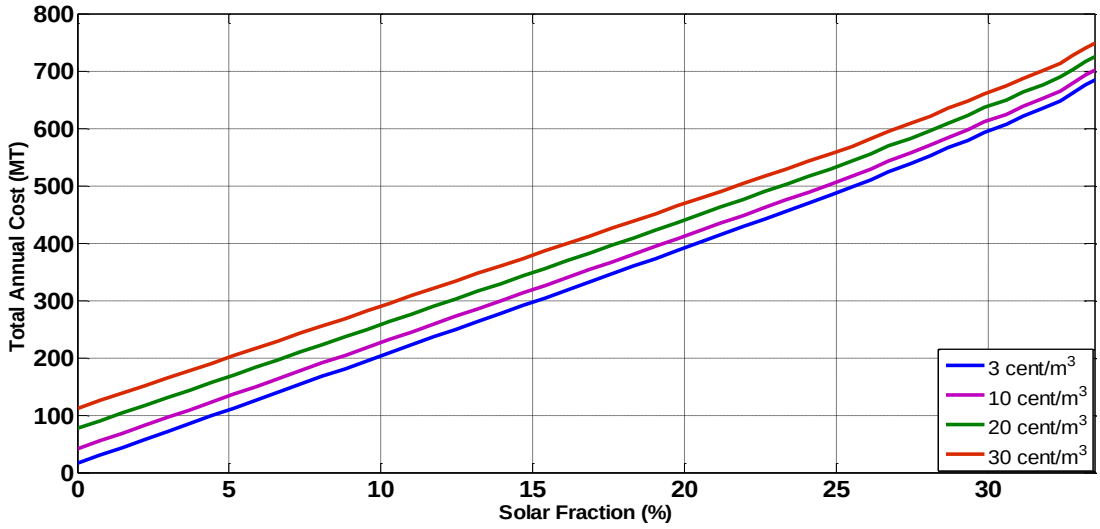
مصرف سوخت، میزان انتشار آلاینده‌ها به محیط را کاهش داده و معیارهای توسعه پایدار از دیدگاه زیست‌محیطی را برای یک سیستم عرضه انرژی بهبود می‌بخشد. با توجه به هزینه سرمایه‌گذاری بالای سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر و تعرفه پایین حامل‌های انرژی در کشور، در حال حاضر استفاده از سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر به منظور پوشش دادن کل تقاضای انرژی گلخانه توصیه نمی‌شود. اما تحت شرایط خاص می‌توان بخشی از تقاضای انرژی گلخانه را با توجه به پتانسیل‌های محیطی انرژی‌های تجدیدپذیر پوشش داد. به‌عنوان‌مثال به دلیل پتانسیل بالای انرژی خورشیدی در ایران در این پروژه امکان‌سنجی استفاده از کلکتور خورشیدی به منظور تأمین بخشی از تقاضای گرمایش گلخانه مورد مطالعه قرار گرفته است. در این حالت فرض شده است کلکتور خورشیدی در کنار بویلر آب گرم مورد استفاده قرار گیرد و مصرف سوخت بویلر را کاهش دهد. محدودیت اصلی استفاده از این سیستم علاوه بر هزینه سرمایه‌گذاری بالای آن، نیاز به فضای نسبتاً زیادی برای نصب کلکتورهای خورشیدی است که استفاده از این سیستم را با چالش روبه‌رو می‌کند. ساختار هاب انرژی سیستم انرژی گلخانه براساس این طرح مطابق شکل (۴۱) ترسیم شده است.



شکل (۴۱): ساختار هاب انرژی سناریوی سیستم کلکتور خورشیدی

همان گونه که شکل (۴۲) نشان می‌دهد، با قیمت فعلی کلکتور خورشیدی (۱۷۰ دلار بر مترمربع) با افزایش میزان مشارکت انرژی خورشیدی در تأمین تقاضای گرمایش گلخانه، هزینه کل سالانه سیستم افزایش می‌یابد. شایان

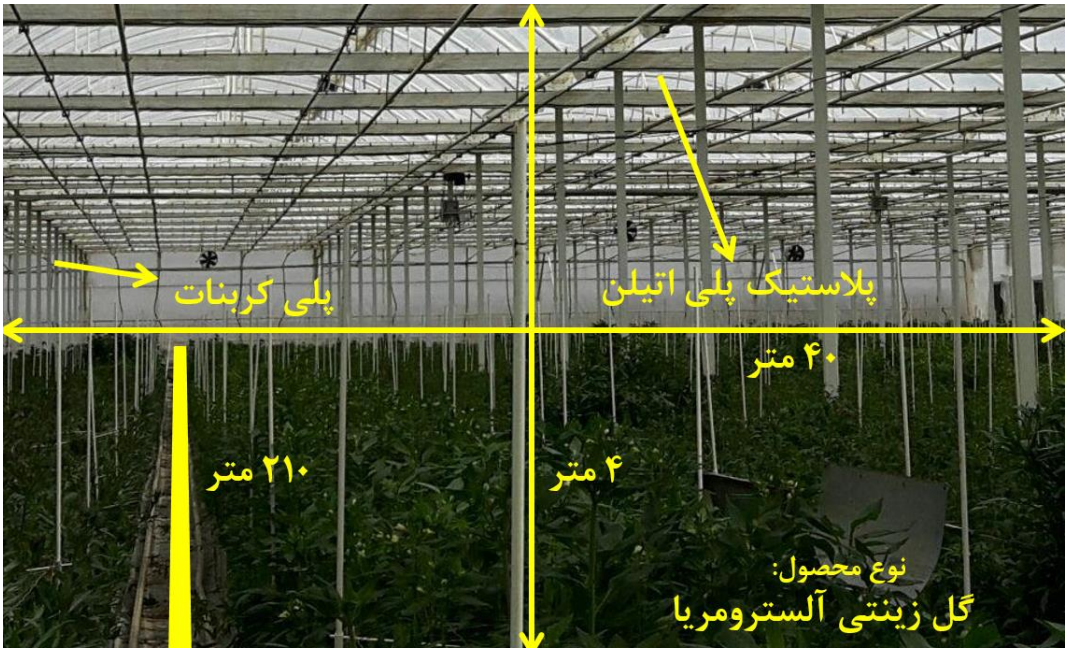
ذکر است که نقطه شروع نمودار در میزان مشارکت صفر درصدی انرژی خورشیدی، هزینه کل سالانه سیستم بویلر مرکزی را نشان می‌دهد که قبلاً نتایج مرتبط با آن ارائه گردیده است. بنابراین با قیمت فعلی کلکتور خورشیدی و تعرفه گاز طبیعی استفاده از این سیستم مقرون به صرفه نیست. لازم به ذکر است، هزینه کاهش دی‌اکسید کربن، ۹۳ میلیون ریال به ازای هر تن در نظر گرفته شده است.



شکل (۴۲): تأثیر تغییرات قیمت گاز طبیعی بر هزینه سالانه سیستم و مشارکت انرژی خورشیدی

۴-۵- مطالعه موردی گلخانه‌ای در پاکدشت

دومین گلخانه مورد بررسی، گلخانه‌ای واقع در پاکدشت ورامین است که نمای کلی آن در شکل (۴۳) و خصوصیات کلی آن در جدول (۱۱) ارائه شده است.



شکل۴۳: نمای داخلی گلخانه پاکدشت ورامین

جدول ۱۱: مشخصات گلخانه پاکدشت ورامین

پارامتر	توضیحات
طول جغرافیایی	۵۱،۸۹ درجه
عرض جغرافیایی	۳۵،۳۵ درجه
طول گلخانه	۲۱۰ متر
عرض گلخانه	۴۰ متر
ارتفاع گلخانه	۴ متر
جنس سازه	آهن گالوانیزه
جنس پوشش دیواره	پلی کربنات
جنس پوشش سقف	پلاستیک پلی‌اتیلن
جهت گلخانه	شمال- جنوب

محصول مورد کشت در این گلخانه گل زینتی آلسترومریا است. دمای مناسب رشد برای هوای گلخانه در حدود ۱۴ تا ۲۶ درجه سانتی‌گراد، و برای ریشه آن حدود ۱۴ تا ۱۸ درجه سانتی‌گراد است. نمونه‌هایی از این گل زینتی در شکل (۴۴) ارائه شده است.

شکل ۴۴: گل زینتی آلسترومریا، گیاه مورد کشت در گلخانه پاکدشت ورامین

به منظور تأمین گرمایش هوای گلخانه، از سیستم بویلر آب گرم و شوفاژ استفاده می‌شود. بویلر مورد استفاده در این گلخانه دارای ظرفیت ۴۰۰۰۰۰۰ کیلوکالری بر هکتار است. نمایی از این بویلر در شکل (۴۵) نشان داده شده است.

شکل ۴۵: نمایی از بویلر آب گرم مورد استفاده در پاکدشت ورامین

آب گرم تولیدی در بویلر از طریق لوله‌های شوفاژ که در کف گلخانه میان ردیف گیاهان قرار داده شده است، به هوای درون گلخانه منتقل می‌شود. شکل (۴۶) نمایی از سیستم شوفاژ در گلخانه ارائه می‌دهد.

شکل ۴۶: نمایی از سیستم شوفاژ گلخانه پاکدشت ورامین

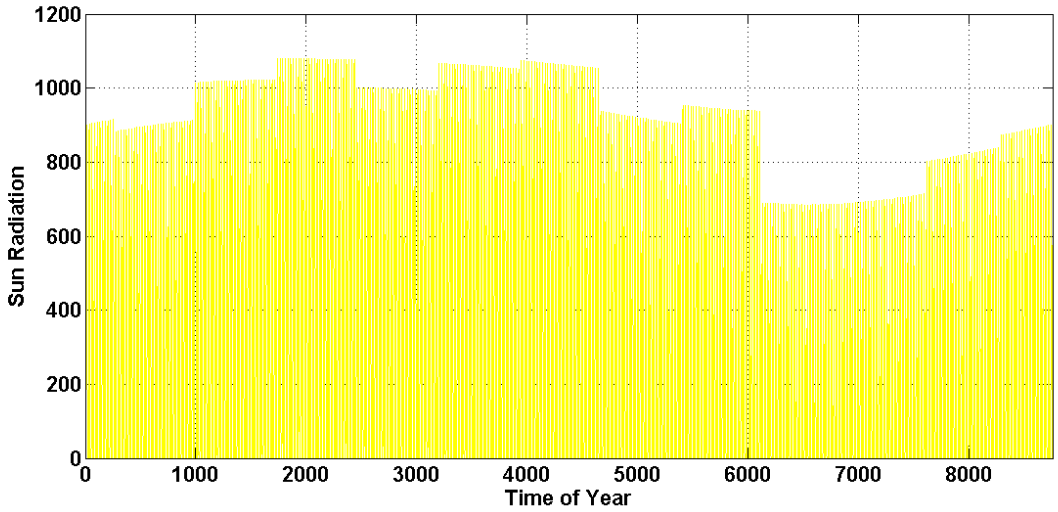
به منظور خنک‌سازی هوای درون گلخانه از سیستم فن و پد استفاده می‌شود. نمایی از سیستم فن و پد در شکل (۴۷) نمایش داده شده است.

شکل ۴۷: نمایی از سیستم فن و پد مورد استفاده در گلخانه پاکدشت ورامین

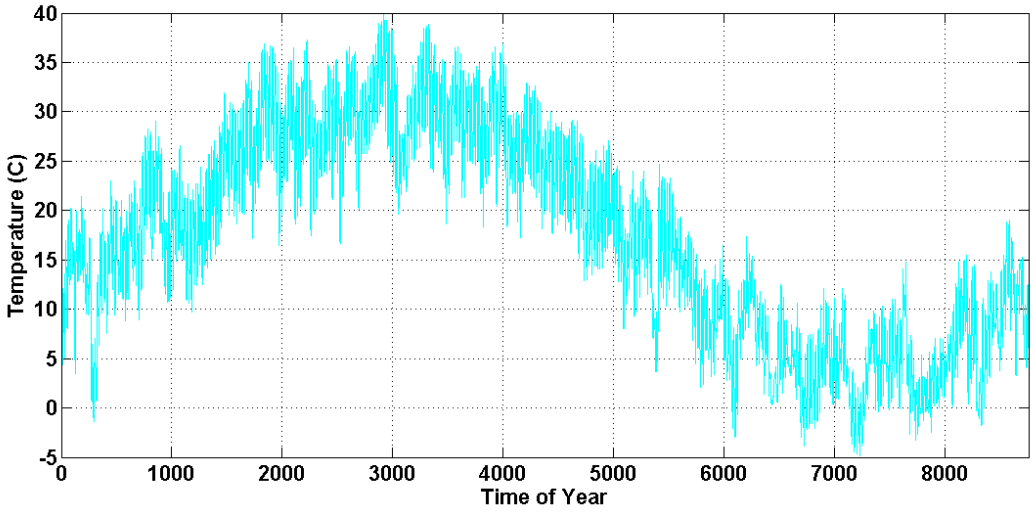
همچنین به منظور تهویه هوای درون گلخانه از فن تهویه و به منظور توزیع یکنواخت حرارت در هوای گلخانه از فن توزیع حرارت استفاده می‌شود که نمایی از آن در شکل (۴۸) نشان داده شده است.

شکل ۴۸: فن تهویه هوا و فن توزیع حرارت گلخانه پاکدشت ورامین

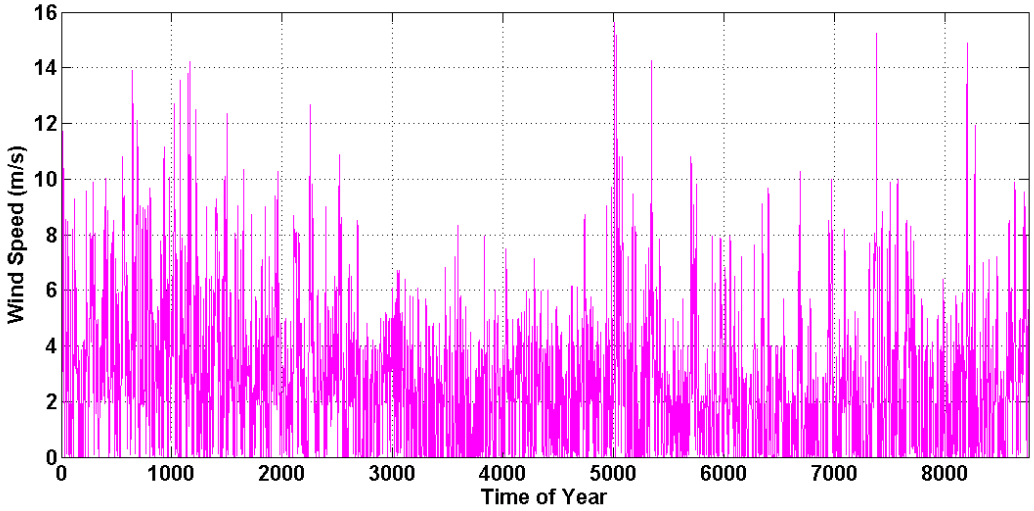
همان‌گونه که قبلاً ذکر شد، شرایط آب و هوایی محل احداث گلخانه، بر تقاضای گلخانه اثر می گذارد. تابش لحظه‌ای خورشید، دمای هوا و سرعت باد برای محل گلخانه به مدت یک سال در شکل (۴۹-۵۱) ارائه شده است.



شکل ۴۹: تابش خورشید در منطقه پاکدشت ورامین

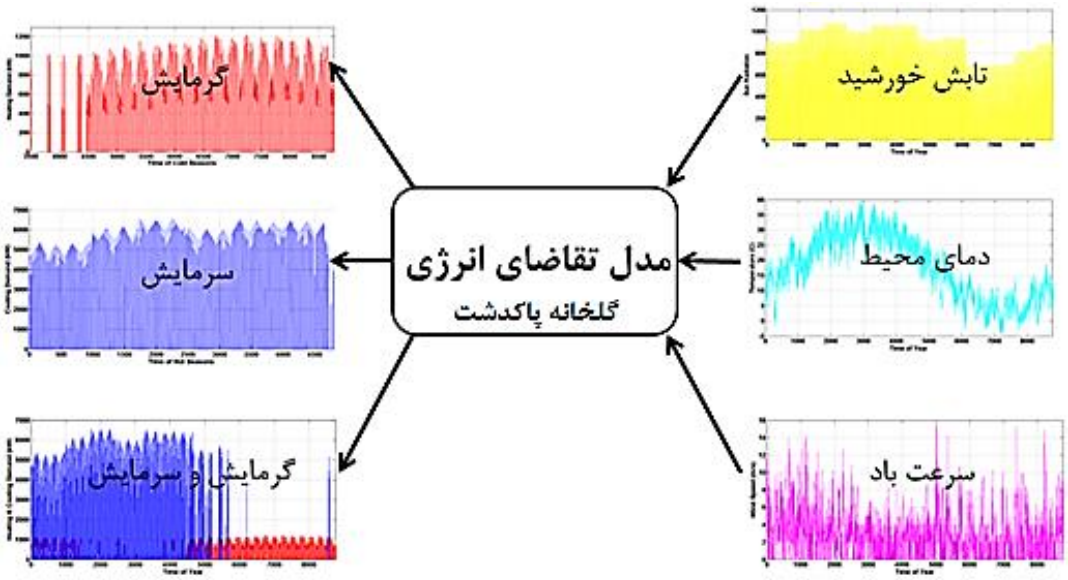


شکل ۵۰: دمای هوا در منطقه پاکدشت ورامین



شکل ۵۱: سرعت باد در منطقه پاکدشت ورامین

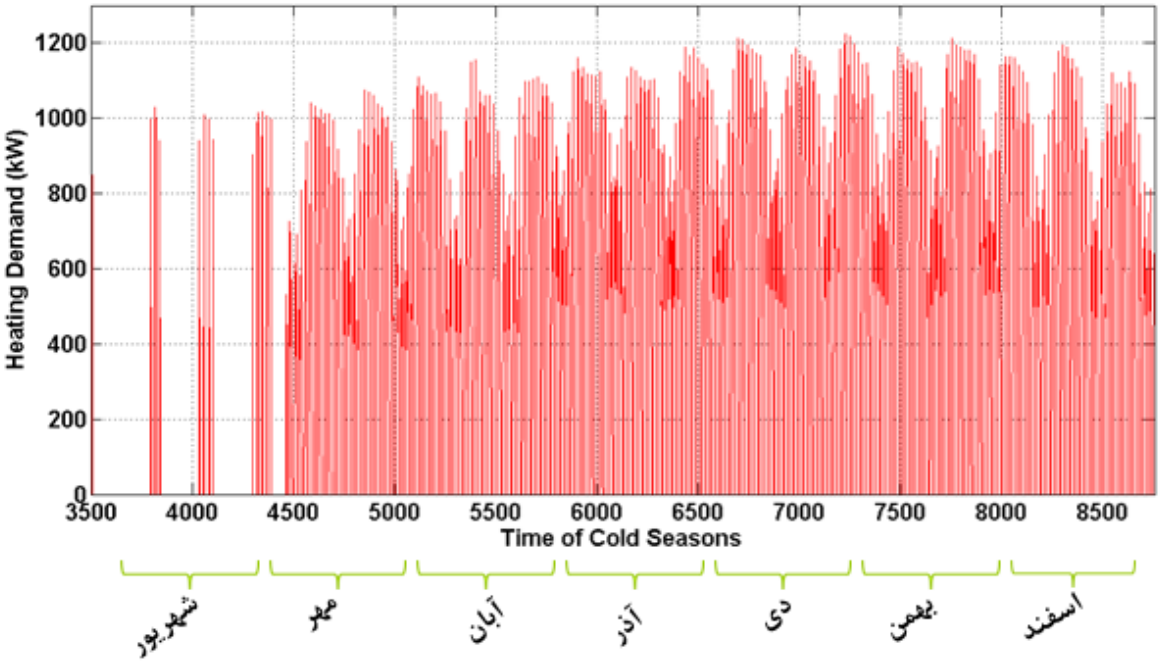
مدل تقاضای انرژی با دریافت اطلاعات آب و هوایی و مشخصات گلخانه، تقاضای انرژی سالانه را برای فصول گرم و سرد سال تعیین می‌کند. در شکل (۵۲) فرآیند مدل تقاضای انرژی برای گلخانه پاکدشت ورامین نشان داده شده است.



شکل ۵۲: ورودی‌های مدل تقاضای انرژی برای گلخانه پاکدشت ورامین

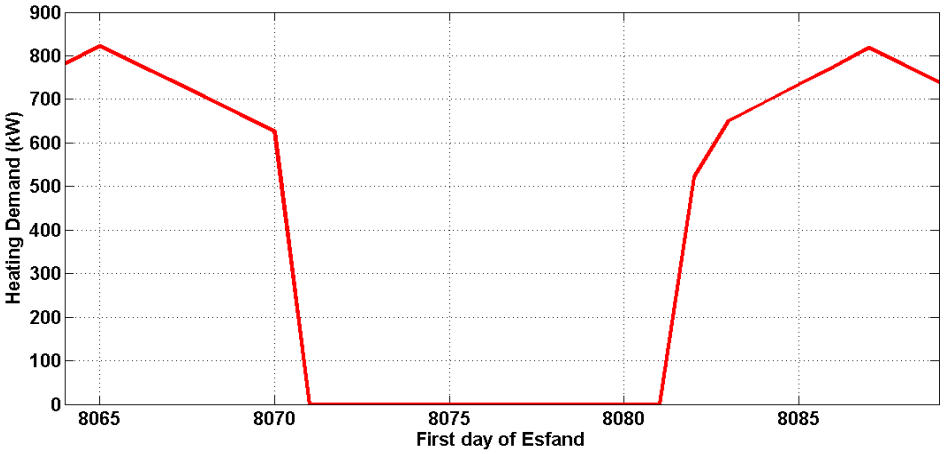
۴-۶- نتایج مدل تقاضای انرژی در گلخانه پاکدشت ورامین

میزان تقاضای مورد نیاز گلخانه، با توجه به اطلاعات آب و هوایی منطقه، نوع محصول، جنس سازه و پوشش با استفاده از مدل تقاضای توسعه داده شده، محاسبه شده است. در شکل (۵۳) میزان تقاضای گرمایش در فصول سرد سال برای گلخانه مورد نظر رسم شده است. همان‌گونه که مشخص است در شش ماه دوم سال به تدریج نیاز به گرمایش افزایش یافته است و در ماه بهمن به بیشینه مقدار خود رسیده است.



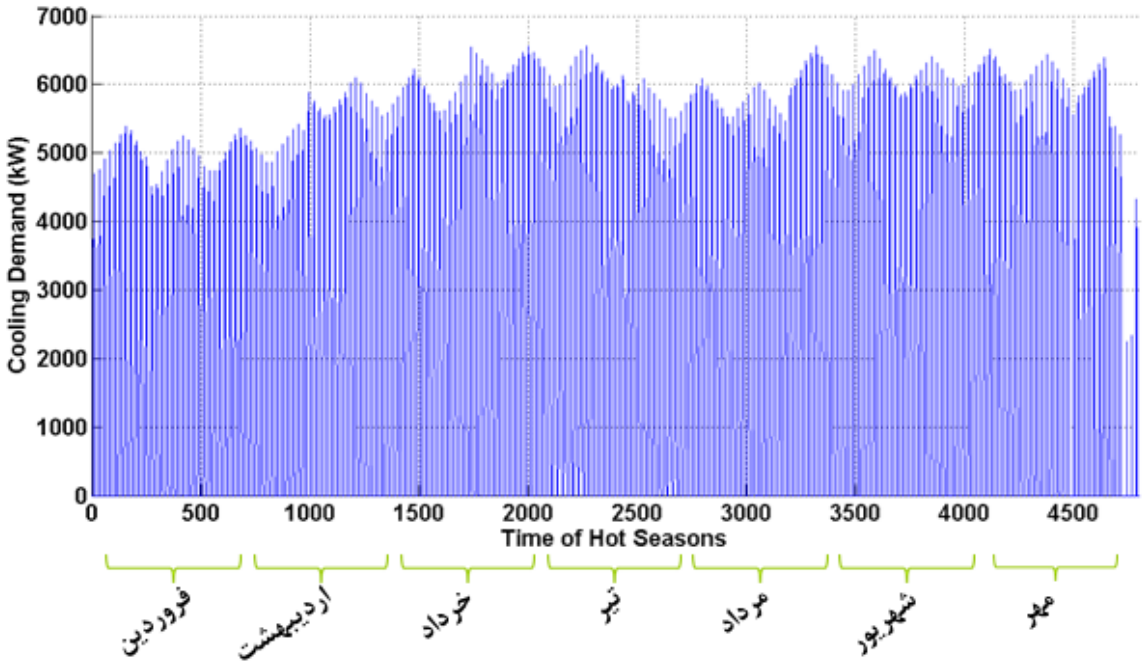
شکل (۵۳): تقاضای گرمایش برای ماه‌های سرد سال

در شکل (۵۴) تقاضای گرمایش برای اولین روز اسفند برای ۲۴ ساعت رسم شده است. همان‌گونه که مشخص است قبل از طلوع آفتاب نیاز به گرمایش محسوس است. به تدریج میزان نیاز به گرمایش کاهش یافته و در میانه روز و در حضور تابش خورشید نیاز به گرمایش صفر می‌شود. همچنین پس از غروب خورشید به تدریج نیاز به گرمایش افزایش می‌یابد.



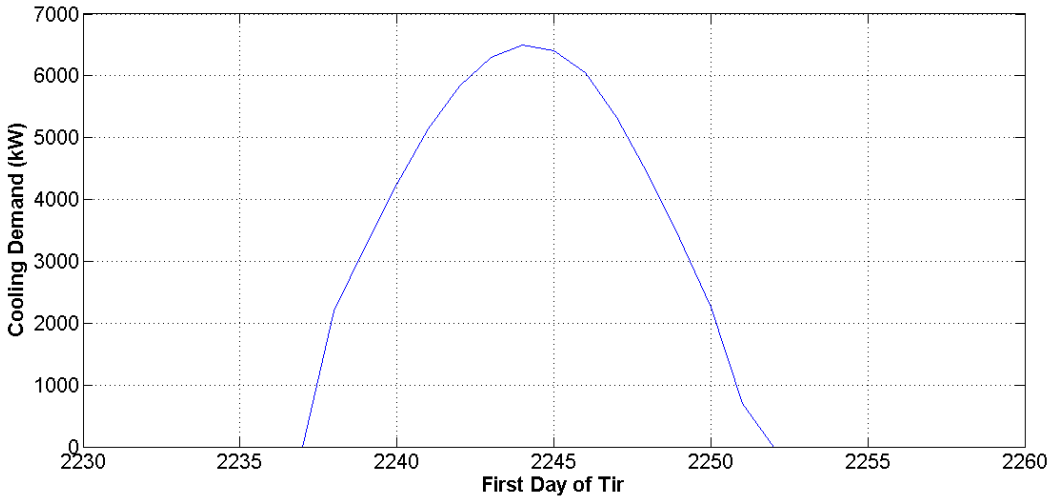
شکل ۵۴: تقاضای گرمایش برای اولین روز اسفند

شکل (۵۵) میزان تقاضای سرمایش گلخانه برای ماه‌های گرم سال نشان می‌دهد. برخلاف تقاضای گرمایش، شش ماه دوم سال نیاز به سرمایش صفر است ولی در شش ماه اول سال نیاز به سرمایش محسوس است. همان‌گونه که مشخص است در ماه‌های میانی نیاز به سرمایش بیشتر است.



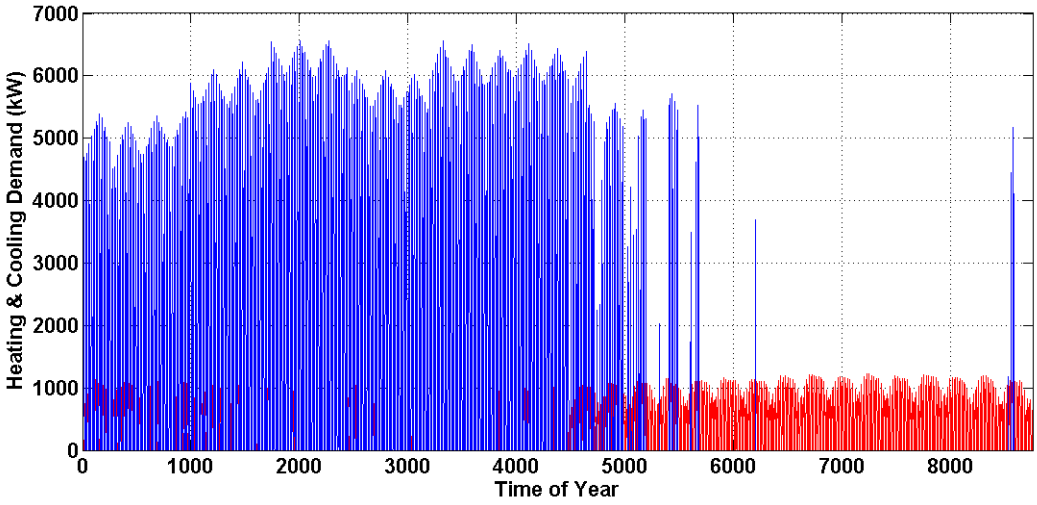
شکل (۵۵): تقاضای سرمایش گلخانه برای ماه‌های گرم سال

در شکل (۵۶) تقاضای سرمایش برای اولین روز تیر برای ۲۴ ساعت رسم شده است. همان‌گونه که مشخص است قبل از طلوع آفتاب و بعد از غروب آفتاب نیاز به سرمایش صفر است. با طلوع خورشید به‌تدریج میزان نیاز به سرمایش افزایش‌یافته و در میانه روز و در حضور تابش خورشید نیاز به سرمایش به بیشینه مقدار خود می‌رسد.



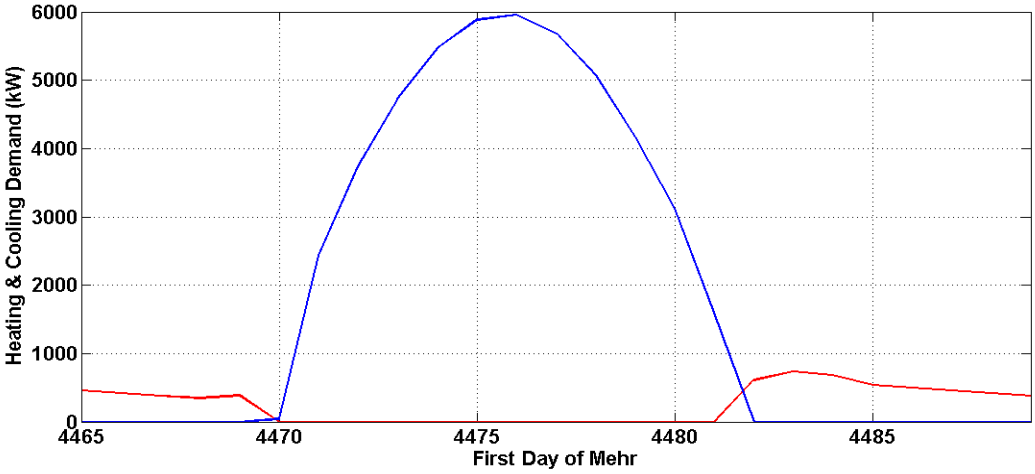
شکل ۵۶: تقاضای سرمایش برای اولین روز تیر

برای مقایسه تقاضای گرمایش و سرمایش در طول سال، در شکل (۵۷) تقاضای سالانه گرمایش و سرمایش در یک نمودار ارائه شده است. این شکل نشان می‌دهد که در ماه‌هایی که تغییر فصل در آن‌ها رخ می‌دهد، گلخانه در طول روز متناسب با تابش خورشید می‌تواند هم به گرمایش و هم به سرمایش نیاز داشته باشد.



شکل (۵۷): مقایسه تقاضای گرمایش و سرمایش سالانه

در شکل (۵۸) نیاز گرمایش و سرمایش گلخانه در طول ۲۴ ساعت در اولین روز ماه مهر رسم شده است. این شکل نشان می‌دهد که در این روز قبل از طلوع خورشید و بعد از آن، گلخانه نیاز به گرمایش دارد. اما در میانه روز و در زمان حضور خورشید، نیاز به سرمایش محسوس است.



شکل (۵۸): نیاز گرمایش و سرمایش گلخانه در طول ۲۴ ساعت در اولین روز مهرماه

میزان مصرف سوخت این گلخانه حدود ۲۵۰۰۰۰مترمکعب گاز طبیعی در سال بر اساس اطلاعات خود اظهاری مالک گلخانه است. محاسبات مدل توسعه داده شده، میزان تقاضای گاز طبیعی را ۲۸۶۰۰۰ مترمکعب در سال برآورد می‌کند.

جدول ۱۲: مقایسه نتایج مدل تقاضای انرژی با مصرف گاز گلخانه پاکدشت ورامین

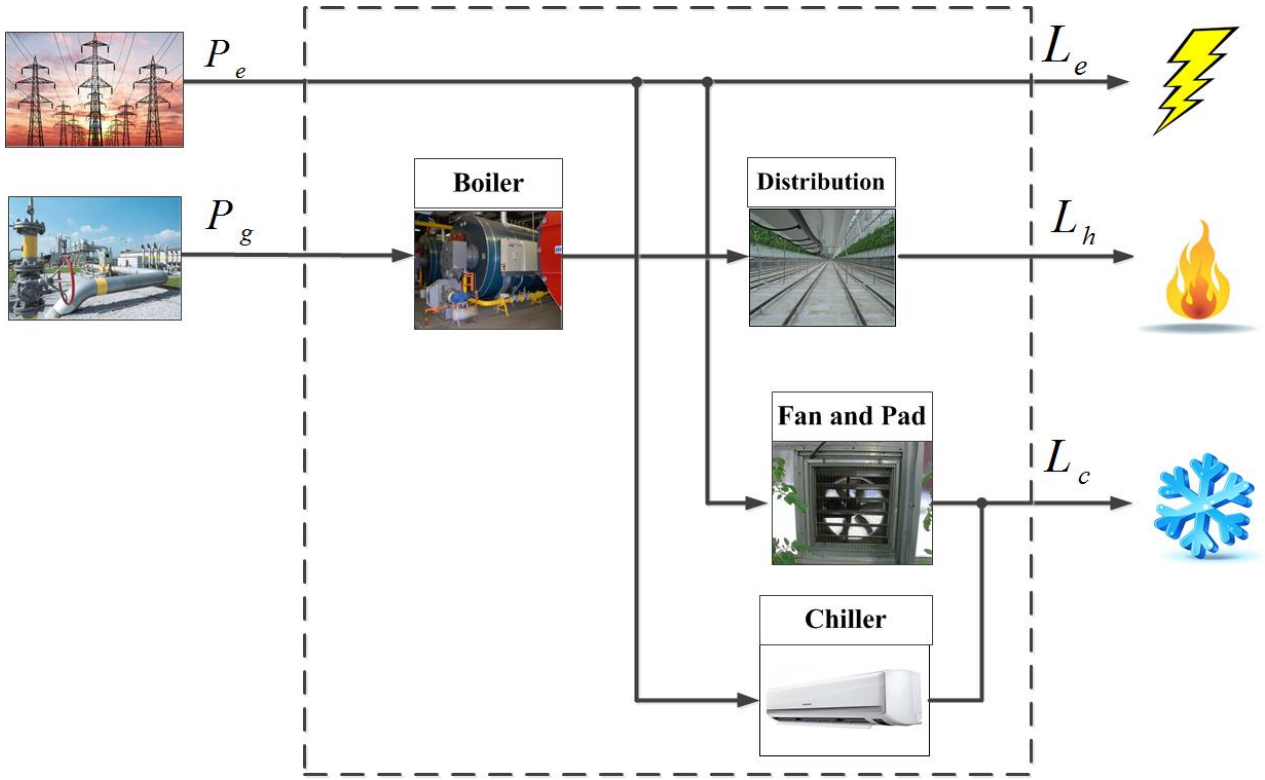
نتایج	مقدار مرجع	ویژگی‌های مرجع
۲۸۶۰۰۰m^3/ha.year	*۲۵۰۰۰۰ m^3/ha.year	گلخانه پاکدشت ورامین

*اطلاعات خود اظهاری

۴-۷- نتایج مدل عرضه انرژی در گلخانه پاکدشت ورامین

این گلخانه در حال حاضر به منظور تأمین تقاضای گرمایش مورد نیاز رشد گیاه از یک بویلر آب گرم مرکزی با ظرفیت ۴۰۰۰۰۰۰ کیلوکالری بر ساعت با سوخت گاز طبیعی به همراه سیستم توزیع شوفاژ استفاده می‌نماید.

همچنین به منظور تأمین تقاضای سرمایش گلخانه از سیستم سرمایش تبخیری فن و پد استفاده شده است. اگرچه روش‌های مختلفی به منظور تأمین تقاضای سرمایش گلخانه نظیر سیستم‌های سرمایش مکانیکی مانند چیلرهای تراکمی و جذبی وجود دارند اما اغلب گلخانه‌داران معتقدند که سیستم سرمایش فن و پد چه از لحاظ فنی و چه از دیدگاه اقتصادی گزینه برتر است. بنابراین در گلخانه مورد مطالعه نیز از تعداد ۶۰ فن با ظرفیت ۱/۱ کیلووات جهت پاسخ گوئی به تقاضای سرمایش گیاه در محل گلخانه و از چیلرهای تراکمی به منظور تأمین دمای مورد نیاز سردخانه نگهداری گل‌ها استفاده شده است. در این گلخانه نیز برق مورد نیاز فن‌های سیستم سرمایش و تجهیزات الکتریکی گلخانه از طریق برق شبکه تأمین شده است. ساختار هاب انرژی این طرح در شکل (۵۹) نشان داده شده است.



شکل (۵۹): ساختار هاب انرژی وضعیت موجود گلخانه پاکدشت ورامین

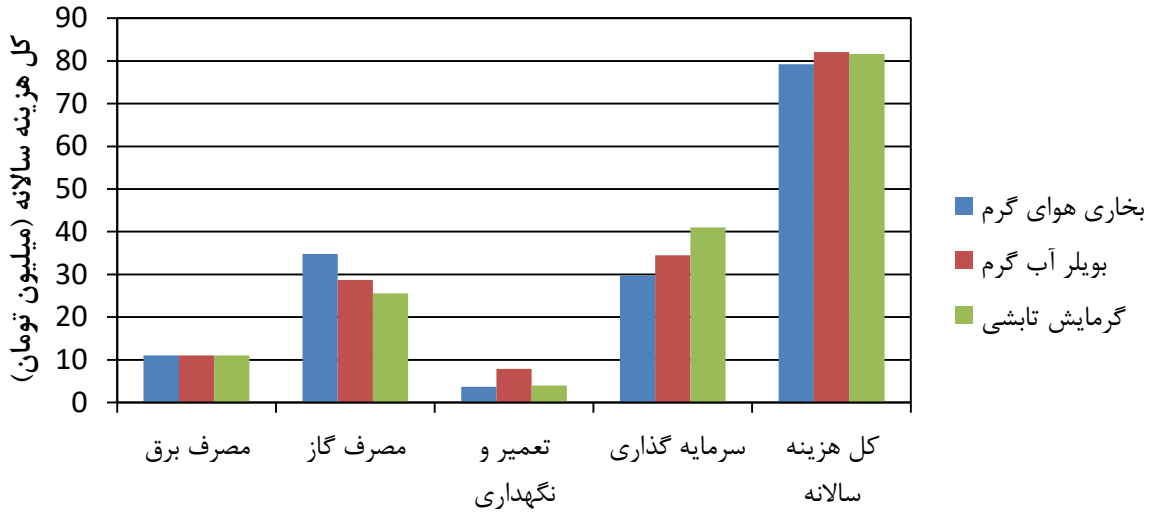
بر اساس معادلات حاکم و ورودی‌های مدل نتایج مدل‌سازی این طرح در جدول (۱۳) ذکر گردیده است.

جدول (۱۳): نتایج مدل‌سازی وضعیت موجود گلخانه پاکدشت ورامین

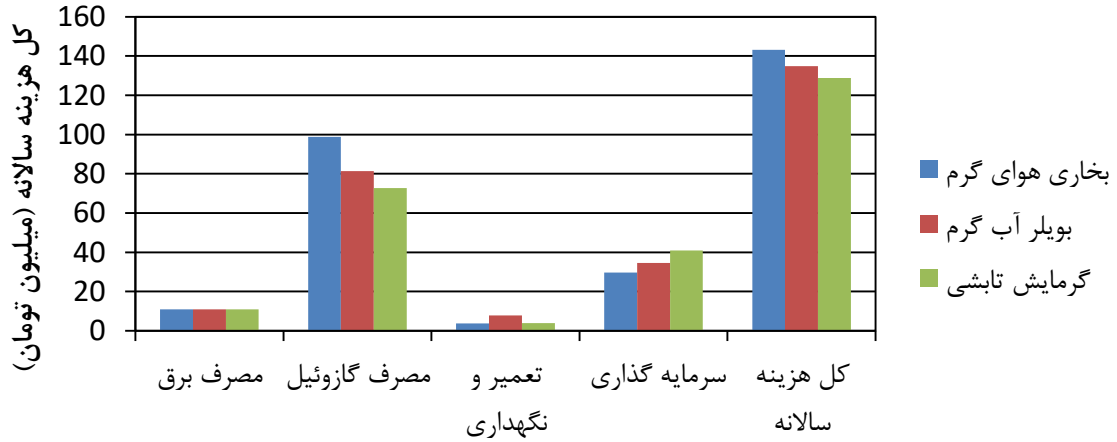
نوع سیستم انرژی	نوع سوخت	میزان مصرف سوخت سالانه	میزان انتشار دی‌اکسید کربن سالانه	کل هزینه سالانه
بویلر آب گرم- پد و فن	گاز	۲۸۷۰۰۰ مترمکعب	۵۷۰ تن	۸۲۱ میلیون ریال
	گازوئیل	۲۷۱۳۳۳ لیتر	۷۸۶ تن	۱۳۴۸ میلیون ریال

گلخانه پاکدشت ورامین از سیستم بویلر آب گرم به منظور تأمین تقاضای گرمایش استفاده می‌نماید. دو طرح بخاری هوای گرم و گرمایش تابشی جزء سیستم‌های گرمایشی متداول می‌باشند که نتایج جایگزینی آن‌ها با سیستم موجود در گلخانه پاکدشت ورامین در این بخش مورد بررسی قرار خواهد گرفت. شکل‌های (۶۰) و (۶۱) برآورد اقتصادی استفاده از این سه طرح متداول با استفاده از سوخت گاز و گازوئیل را نشان می‌دهد.

همان‌گونه که از شکل (۶۰) مشخص است، با تعرفه فعلی گاز طبیعی سیستم بخاری هوای گرم، گرمایش تابشی و بویلر آب گرم به ترتیب کمترین هزینه کل سالانه را دارا می‌باشند. این شکل بیان می‌کند که با توجه به قیمت پایین گاز طبیعی در حال حاضر استفاده از سیستم با بازدهی پایین‌تر و هزینه سرمایه‌گذاری پایین‌تر ارجحیت داشته است. اما با توجه به شکل (۶۱) با توجه به قیمت بالاتر گازوئیل نسبت به گاز طبیعی، کل هزینه سالانه سیستم گرمایش تابشی نسبت به دو سیستم دیگر پایین‌تر بوده است و سیستم بخاری هوای گرم بالاترین هزینه کل سالانه را به خود اختصاص داده است. بنابراین از این دو نمودار می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش قیمت حامل‌های انرژی، استفاده از سیستم‌های تبدیل انرژی با بازدهی بالاتر هرچند که هزینه سرمایه‌گذاری بالاتری دارند، با در نظر گرفتن هزینه‌های عملیاتی، هزینه کل سالانه کمتری خواهند داشت و توجیه‌پذیری استفاده از آن‌ها افزایش خواهد یافت.



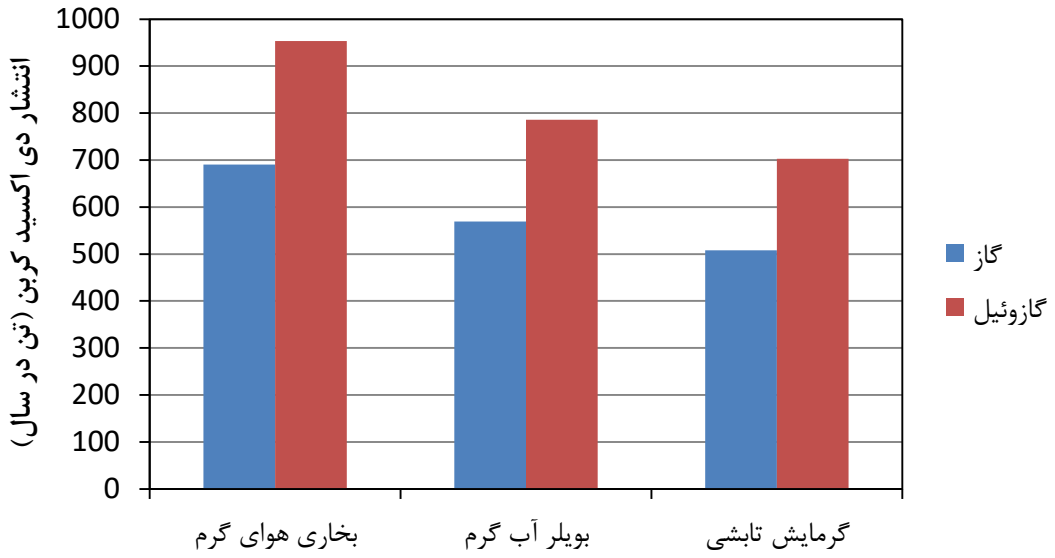
شکل (۶۰): مقایسه نتایج اقتصادی طرح‌های متداول تأمین تقاضای انرژی گلخانه پاکدشت ورامین با سوخت گاز طبیعی



شکل (۶۱): مقایسه نتایج اقتصادی طرح‌های متداول تأمین تقاضای انرژی گلخانه پاکدشت ورامین با سوخت گازوئیل

شکل‌های (۶۲) و (۶۳) میزان مصرف سوخت و انتشار دی‌اکسید کربن برای سه طرح متداول را نشان می‌دهند. همان‌گونه که از این دو نمودار مشخص است، طرح‌های گرمایش تابشی، بویلر آب گرم و بخاری هوای گرم به ترتیب کمترین میزان مصرف سوخت و انتشار دی‌اکسید کربن را به خود اختصاص داده‌اند. علت این امر آن است که سیستم گرمایش تابشی بیشترین بازدهی انرژی و سیستم بخاری هوای گرم کمترین بازدهی انرژی را دارا می‌باشند.

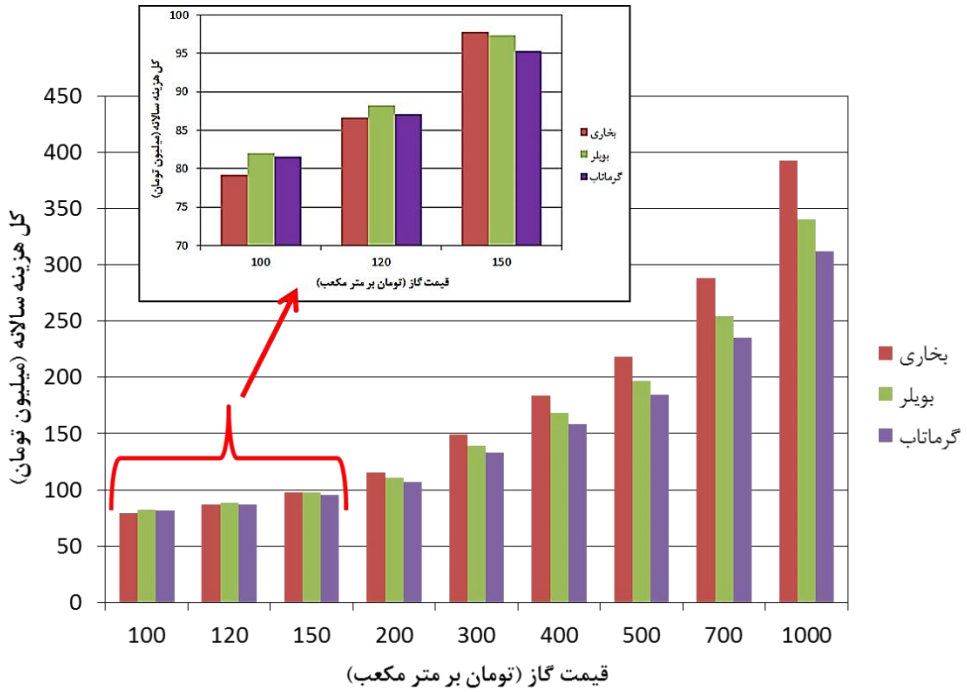
شکل (۶۲): مقایسه نتایج فنی طرح‌های متداول تأمین تقاضای انرژی گلخانه پاکدشت ورامین



شکل (۶۳): مقایسه نتایج زیست‌محیطی طرح‌های متداول تأمین تقاضای انرژی گلخانه پاکدشت ورامین

همان‌گونه که در بخش قبل توضیح داده شد، با توجه به قیمت بالاتر گازوئیل نسبت به گاز طبیعی، استفاده از فناوری‌های با بازدهی بالاتر توجیه اقتصادی بیشتری نسبت به فناوری‌های با بازدهی پایین‌تر داشت. بنابراین به نظر می‌رسد افزایش قیمت گاز طبیعی اولویت انتخاب اقتصادی فناوری‌ها را دستخوش تغییر کند. همان‌گونه که شکل (۶۴) نشان می‌دهد، با تعرفه فعلی گاز طبیعی (۱۰۰۰ ریال به ازای هر مترمکعب) فناوری بخاری هوای گرم

کمترین هزینه کل سالانه را به خود اختصاص داده است. اما با افزایش ۵۰ درصدی قیمت گاز طبیعی اولویت اقتصادی استفاده از فناوری‌ها تغییر خواهد کرد و سیستم گرمایش تابشی کمترین هزینه کل سالانه را خواهد داشت و بخاری هوای گرم -که در حال حاضر گزینه برتر اقتصادی است- بیشترین هزینه کل سالانه را خواهد داشت.

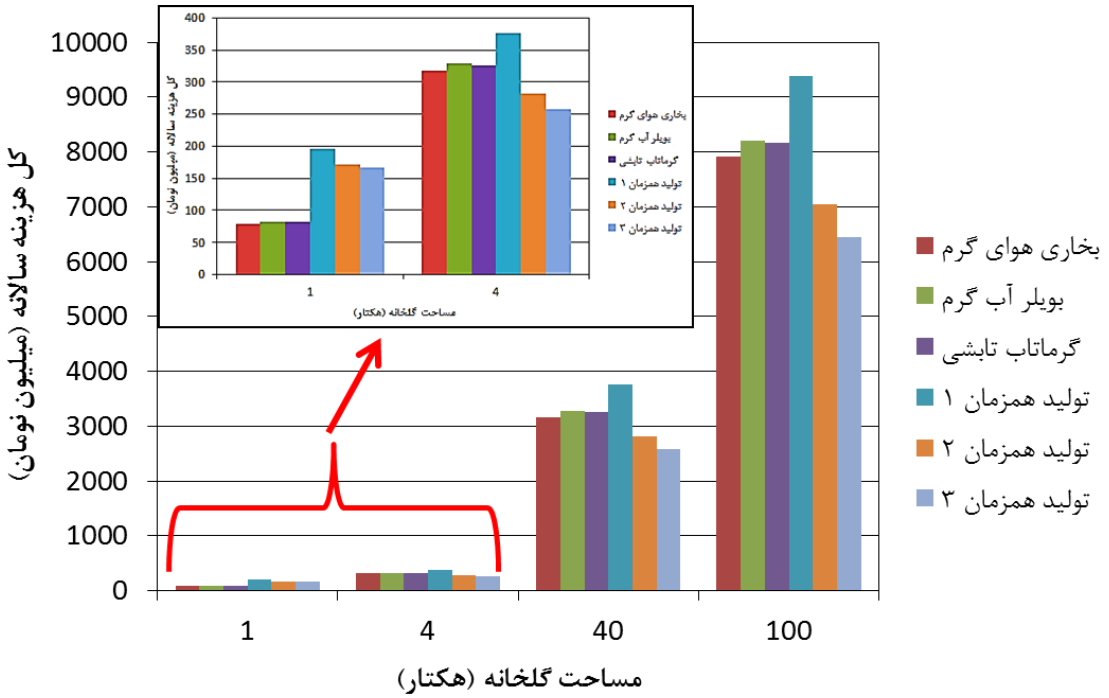


شکل (۶۴): تأثیر قیمت گاز طبیعی بر انتخاب فناوری بهینه اقتصادی

امکان‌سنجی استفاده از سیستم تولید هم‌زمان برق و گرما

همان‌گونه که شکل (۶۵) نشان می‌دهد، با شرایط فعلی گلخانه پاکدشت ورامین با سطح زیر کشت حدود ۱ هکتار استفاده از سیستم تولید هم‌زمان برق و گرما به دلیل هزینه سرمایه‌گذاری بالا توجیه اقتصادی نخواهد داشت. با افزایش سطح زیر کشت گلخانه به ۴ هکتار، ظرفیت مولد تولید هم‌زمان به ۲ مگاوات خواهد رسید. در این نقطه هزینه سرمایه‌گذاری مولد به ۴۰۰ دلار به کیلووات کاهش خواهد یافت. حال چنانچه شکل (۶۵) نشان می‌دهد، اگر مطابق طرح سیستم تولید هم‌زمان ۲ هزینه سوخت ورودی به سیستم ۵۰ درصد کاهش یابد و یا مطابق طرح

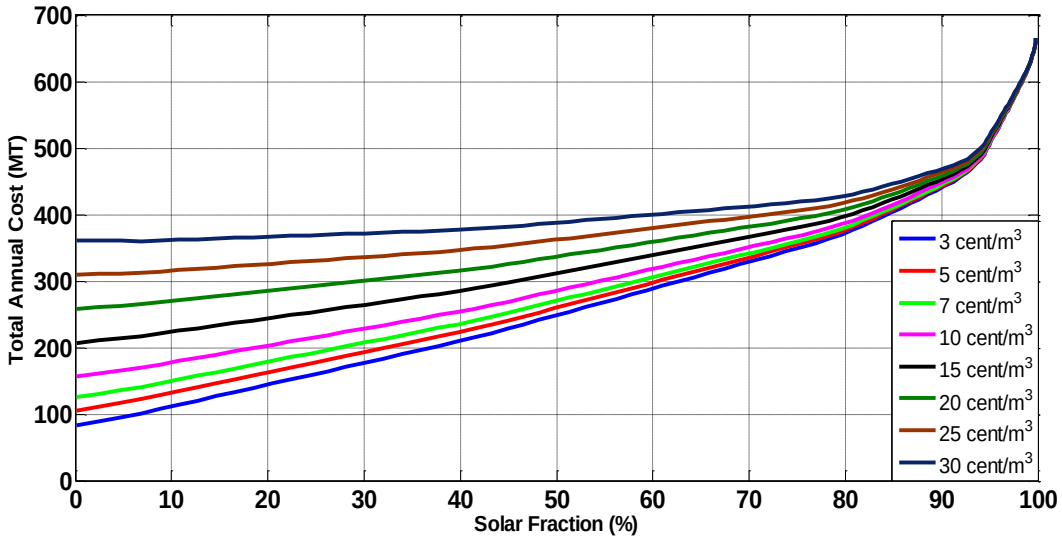
سیستم تولید هم‌زمان ۳ هزینه فروش برق به شبکه به سیستم ۲۰ درصد افزایش یابد، هزینه کل سالانه سیستم تولید هم‌زمان نسبت به سایر طرح‌های متداول کمتر خواهد شد. با افزایش سطح زیر کشت گلخانه نیز، سیستم تولید هم‌زمان توجیه‌پذیری اقتصادی خود را حفظ خواهد نمود.



شکل (۶۵): تأثیر افزایش سطح زیر کشت گلخانه بر نتایج اقتصادی سیستم تولید هم‌زمان

امکان‌سنجی استفاده از سیستم کلکتور خورشیدی

همان‌گونه که شکل (۶۶) نشان می‌دهد، با قیمت فعلی کلکتور خورشیدی (۱۷۰ دلار بر مترمربع) با افزایش میزان مشارکت انرژی خورشیدی در تأمین تقاضای گرمایش گلخانه، هزینه کل سالانه سیستم افزایش می‌یابد. شکل (۶۶) اثر افزایش قیمت گاز طبیعی بر اقتصاد این طرح را نشان می‌دهد. همان‌گونه که نتایج نشان می‌دهند استفاده از انرژی خورشیدی زمانی امکان‌پذیر خواهد بود که قیمت گاز طبیعی به ۳۰ سنت به ازای هر مترمکعب افزایش یابد. در این حالت سهم استفاده بهینه از انرژی خورشیدی ۱۰ درصد خواهد بود.



شکل (۶۶): تأثیر تغییرات قیمت گاز طبیعی بر هزینه سالانه سیستم و مشارکت انرژی خورشیدی

مقایسه نتایج مدل تقاضای انرژی برای دو گلخانه مهاباد و پاکدشت ورامین نشان می‌دهد که شرایط آب و هوایی بر میزان انرژی مورد نیاز گلخانه بسیار مؤثر است و سیستم عرضه انرژی برای هر گلخانه، می‌بایست متناسب با تقاضای انرژی همان گلخانه و شرایط آب و هوایی منطقه احداث گلخانه طراحی شود. بنابراین یک سیستم انرژی که در یک گلخانه نمونه پاسخگوی تقاضای انرژی است، دلیل بر آن نیست که در سایر گلخانه‌ها در سایر شرایط آب و هوایی نیز عملکرد مناسبی داشته باشد و هر گلخانه می‌بایستی به‌صورت مجزا مورد بررسی قرار گیرد. جدول (۱۴) به طور خلاصه نتایج کلیدی دو گلخانه موردمطالعه را مقایسه می‌نماید.

جدول (۱۴): مقایسه نتایج گلخانه مهاباد و پاکدشت ورامین

نوع سیستم	توضیحات
متداول	در صورت استفاده از گازوئیل، کل هزینه سالانه نسبت به گاز طبیعی در گلخانه مهاباد ۱۲۰ درصد و در گلخانه پاکدشت ورامین ۸۰ درصد افزایش می‌یابد.
	در صورت استفاده از فناوری گرمایش تابشی، میزان مصرف سوخت نسبت به بخاری هوای گرم ۳۰ درصد کاهش می‌یابد.
	در صورت افزایش قیمت گاز طبیعی به ۱۲۰۰ ریال بر مترمکعب در مهاباد و ۱۵۰۰ ریال بر مترمکعب در پاکدشت ورامین، فناوری گرمایش تابشی انتخاب بهینه اقتصادی خواهد بود.
تولید هم‌زمان	در صورت افزایش سطح زیر کشت گلخانه به ۴ هکتار، با کاهش ۵۰ درصدی قیمت سوخت یا افزایش ۲۰ درصدی قیمت فروش برق سیستم تولید هم‌زمان برق و گرما توجیه اقتصادی پیدا می‌کند.
	حداکثر میزان کاهش هزینه سیستم تولید هم‌زمان نسبت به سیستم‌های متداول در گلخانه مهاباد ۱۳ درصد و در گلخانه پاکدشت ورامین ۱۸ درصد است.
تجدیدپذیر	هزینه کاهش انتشار دی‌اکسید کربن با استفاده از کلکتورهای خورشیدی در گلخانه مهاباد ۹۳ میلیون ریال و در گلخانه پاکدشت ورامین ۵ میلیون ریال بر تن است.
	در صورت افزایش قیمت گاز طبیعی به ۳۰ سنت بر مترمکعب استفاده از فناوری کلکتور خورشیدی توجیه اقتصادی پیدا می‌کند.

۵- جمع‌بندی

مدل های تقاضا و عرضه توسعه داده شده، بر روی دو گلخانه نمونه در منطقه مهاباد (آذربایجان غربی) و منطقه پاکدشت (تهران) اعمال شد و نتایج به دست آمده مورد بررسی قرار گرفت. به طور خلاصه مهم‌ترین نتایج حاصل از اجرای مدل های تقاضا و عرضه انرژی در مطالعات موردی انجام شده به شرح زیر است:

۱- اثر تغییر دمای آسایش گیاه و دمای منطقه بر تقاضای انرژی گلخانه : نتایج مدل تقاضای انرژی در مطالعات موردی نشان می‌دهد دمای آسایش گیاه که وابسته به نوع محصول است به شدت بر تقاضای انرژی در گلخانه اثر می‌گذارد. بر این اساس، یک درجه افزایش در دمای آسایش گیاه، منجر به ۴ درصد افزایش در مصرف سوخت گلخانه می‌شود. از سوی دیگر تغییرات آب و هوایی منطقه نیز منجر به تغییر تقاضای انرژی گلخانه می‌شود. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد هر درجه افزایش دمای منطقه، ۳ درصد تقاضای انرژی گلخانه را افزایش می‌دهد. لازم به ذکر است این نتایج برای گلخانه‌های مورد مطالعه در منطقه مهاباد با ساختار و پوشش مشخص به دست آمده است و برای سایر شرایط اقلیمی و یا ساختارهای دیگر گلخانه ممکن است نتایج متفاوتی به دست آید.

۲- اثر تغییر ساختار و نوع پوشش گلخانه بر تقاضای انرژی گلخانه : با وجود آنکه افزایش ارتفاع سقف گلخانه منجر به توزیع دمای بهتر می‌شود، اما میزان حجم هوایی را که باید گرم یا سرد شود افزایش می‌دهد. نتایج مدل تقاضا در مطالعه موردی انجام شده در مهاباد نشان می‌دهد که هر متر افزایش ارتفاع سقف گلخانه، ۲ درصد تقاضای انرژی سالانه گلخانه را افزایش می‌دهد. به این ترتیب به نظر می‌رسد با در نظر گرفتن تمهیدات ویژه مدیریت انرژی، مانند فن‌های توزیع‌کننده هوا و یا پرده‌های متحرک، افزایش تقاضای انرژی ناشی از افزایش ارتفاع سقف گلخانه در برابر مزیت های گلخانه‌های با سقف بلند قابل چشم پوشی است.

پوشش بکارگرفته شده در گلخانه نیز یکی از مهم‌ترین پارامترهای ساختاری گلخانه است. نتایج مدل تقاضا نشان می‌دهد استفاده از پوشش‌های شفاف پلی‌کربنات نسبت به پوشش‌های متداول پلی‌اتیلن تا ۲۴ درصد، تقاضای انرژی در گلخانه را بهبود می‌بخشد.

۳- کاربرد روش‌های مدیریت انرژی : در سال‌های اخیر، روش‌های بسیار زیادی برای مدیریت انرژی در گلخانه‌ها ارائه شده است. در این پروژه به عنوان نمونه، به‌کارگیری پرده‌های متحرک برای کاهش حجم هوای مؤثر در شب، مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که به‌کارگیری این روش تا ۲۱ درصد مصرف انرژی در گلخانه را کاهش می‌دهد.

۴- اثر قیمت حامل‌های انرژی بر طراحی سیستم انرژی گلخانه : با توجه به قیمت‌های کنونی گاز طبیعی و هزینه‌سرمایه‌گذاری اولیه فناوری‌های متداول، به‌کارگیری بخاری‌های هوای گرم با وجود راندمان پائین، هزینه سالیانه کمتری نسبت به سیستم‌های گرمایش تابشی و یا بویلر های آبگرم دارد. اما با افزایش قیمت سوخت، اولویت بندی انتخاب فناوری‌ها تغییر می‌کند و فناوری‌های انرژی کارآمد، توجیه اقتصادی پیدا می‌کنند. به عنوان مثال درصورتی‌که قیمت گاز طبیعی ۲۰ درصد افزایش یابد، هزینه سالیانه سیستم‌های گرمایش تابشی از بخاری‌های هوای گرم کمتر خواهد شد و به این ترتیب سیستم های گرمایش تابشی توجیه اقتصادی بیشتری نسبت به سایر فناوری های متداول خواهند داشت.

۵- به‌کارگیری سیستم‌های تولید هم‌زمان برق و حرارت : توجیه‌پذیری به‌کارگیری سیستم‌های تولید هم‌زمان، به سه پارامتر هزینه سرمایه‌گذاری اولیه، قیمت سوخت خریداری‌شده و قیمت واحد برق مازاد فروخته‌شده به شبکه بستگی دارد. در شرایط کنونی به‌کارگیری سیستم‌های تولید هم‌زمان برای هر دو گلخانه مورد مطالعه توصیه نمی‌شود. نتایج مدل عرضه برای گلخانه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد مهم‌ترین عامل، در به‌کارگیری سیستم‌های تولید هم‌زمان، هزینه سرمایه‌گذاری اولیه است. درصورتی‌که ظرفیت سیستم تولید هم‌زمان افزایش یابد هزینه واحد ظرفیت سیستم کاهش می‌یابد. بر اساس مطالعات انجام شده، درصورتی‌که سطح زیر کشت گلخانه، حداقل چهار هکتار باشد و قیمت گاز طبیعی خریداری شده واحد تولید هم‌زمان، ۵۰ درصد قیمت کنونی در نظر گرفته شود (و یا هزینه برق خریداری شده ۲۰ درصد افزایش یابد) به‌کارگیری سیستم‌های تولید هم‌زمان توجیه اقتصادی خواهد داشت.

۶- به‌کارگیری سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر : پتانسیل منابع انرژی تجدیدپذیر مانند انرژی خورشیدی در ایران قابل توجه است اما هزینه بالای سرمایه‌گذاری اولیه فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر و قیمت پائین حامل‌های انرژی فسیلی، مانع از توجیه‌پذیری اقتصادی آن‌ها می‌شود. نتایج مدل عرضه نشان می‌دهد درصورتی‌که هزینه فرصت گاز طبیعی در نظر گرفته شود (۳۰ سنت به ازاء هر مترمکعب) کاربرد سیستم‌های گرمایش خورشیدی متداول (کلکتور خورشیدی) برای گلخانه‌های مورد مطالعه توجیه‌پذیر خواهد بود. لازم به ذکر است، اعمال جریمه‌های زیست‌محیطی و یا ارائه مشوق‌های اقتصادی برای به‌کارگیری منابع انرژی تجدیدپذیر در گلخانه، می‌تواند روند نفوذ فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر را تسریع بخشد.

در پایان باید به این نکته اشاره شود که نتایج به دست آمده به شرایط اقلیمی، نوع محصول کشت شده در گلخانه و فرضیات اقتصادی اعمال شده وابسته می باشد و تعمیم آن به سایر گلخانه ها نیازمند در نظر گرفتن شرایط منطقه مورد نظر و اجرای مجدد مدل ها بر اساس پارامتر های مربوط می باشد.

مراجع

[1] Atia, D., Fahmy, F., Ahmed, N., Dorrah, H.; "Optimal sizing of a solar water heating system based on a genetic algorithm for an aquaculture system". Mathematical and Computer Modelling 55(2012)1436–1449.

[2] Cardona, E.; Piacentino, A.; "A methodology for sizing a trigeneration plant in mediterranean areas". Applied Thermal Engineering 23 (2003) 1665–1680.

[3] Jiang-Jiang, W.; Chun-Fa, Z.; You-Yin, J.; "Multi-criteria analysis of combined cooling, heating and power systems in different climate zones in China". Applied Energy 87 (2010) 1247–1259.

[4] Maerefat, M., Shafie, P.; "Design of CCHP system for office buildings in Tehran and thermodynamical, environmental and economical evaluation in comparison to conventional system". Modares Mechanical Engineering 14 (2014) 124–134.

[5] Sanaye, S., Aghaei Meybodi, M.; "Selecting the prime movers and nominal powers in combined heat and power systems". Applied Thermal Engineering 28 (2008) 1177–1188.

[6] http://www.bbk-iran.com/

[7] http://www.garmataab.com/product/

[8] http://www.packmangroup.com/main/?&lang_id=fa

[9] http://rooyesh.org/

پیوست (۱) : مجموعه معادلات به‌کاررفته در مدل تقاضا و عرضه

پ.۱- معادلات حاکم بر مدل تقاضای انرژی گلخانه‌ها

مهم‌ترین تقاضای انرژی گلخانه نیاز به گرمایش، تهویه و سرمایش است. بنابراین مکانیزم های اتلاف حرارت و انتخاب روابطی که این اتلافات را به‌درستی انعکاس دهند بسیار حائز اهمیت است. در پژوهش کانکسی و همکاران در سال ۲۰۱۳، میزان حرارت مورد نیاز گلخانه با استفاده از رابطه (پ.۱) محاسبه می‌شود (کانکسی و همکاران، ۲۰۱۳):

$$Q = Q_K - Q_G \qquad (پ.۱)$$

در رابطه (۱)، Q کل توان حرارتی مورد نیاز، Q_K کل اتلافات حرارت از گلخانه و Q_G تابش انرژی خورشید به داخل گلخانه است. Q_G از رابطه (پ.۲) محاسبه می‌شود:

$$Q_G = I_0 \times A_r \times \eta_s \qquad (پ.۲)$$

در رابطه (۲) نیز I_0 شدت تابش روزانه خورشید ($\mathrm{W/m^2}$)، A_r مساحت سقف گلخانه و η_s بازده تبدیل انرژی خورشید به انرژی مورد استفاده در گلخانه است.

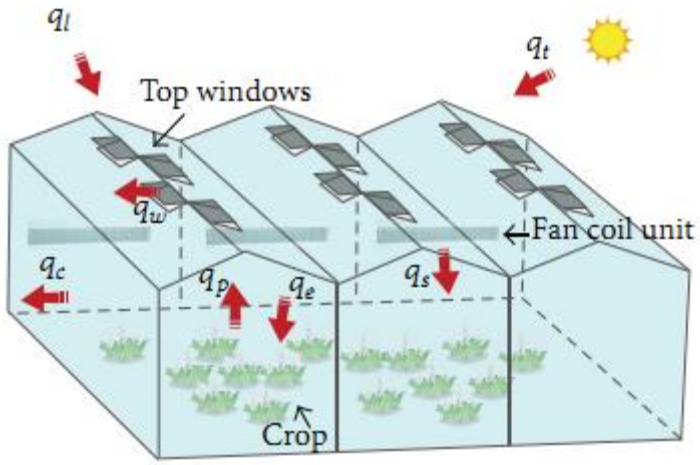
میزان اتلاف حرارت از رابطه (پ.۳) محاسبه می‌شود:

$$Q_K = \sum A_0 \times U \times (t_i - t_o) \qquad (پ.۳)$$

در رابطه (پ.۳) $\sum A_0$ کل مساحت پوشش گلخانه، U ضریب کلی انتقال حرارت و $(t_i - t_o)$ اختلاف دمای هوای درون گلخانه و بیرون گلخانه است.

اگرچه روش تخمین تقاضای گلخانه مورد استفاده در پژوهش کانکسی، روشی رایج در پژوهش‌های علمی است، اما کلیه مکانیزم های انتقال حرارت و پارامترهای تأثیرگذار را در نظر نمی‌گیرد.

چن و همکاران (۲۰۱۵) مدلی کامل‌تر برای تقاضای انرژی حرارتی گلخانه ارائه دادند که مکانیزم های مختلف اتلاف حرارت در شکل زیر نشان داده شده است.



شکل پ.۱: مکانیزم انتقال حرارت در گلخانه با استفاده از مدل ارائه شده در پژوهش چن و همکاران (۲۰۱۵)

موازنه کلی انرژی حرارتی در گلخانه در رابطه (پ.۴) ارائه شده است:

$$q_s(t) = \rho_a.V.C_a \frac{dT_i(t)}{dt} + q_l(t) + q_c(t) + q_w(t) + q_e(t) + q_p(t) - q_t(t) \qquad (پ.۴)$$

در رابطه (پ.۴)، $q_s(t)$ انرژی حرارتی مورد نیاز برحسب زمان، ρ_a چگالی هوای گلخانه، V حجم گلخانه، C_a گرمای ویژه هوا، $T_i(t)$ دمای هوای درون گلخانه برحسب زمان، $q_l(t)$ اتلاف حرارت به دلیل تشعشع با طول موج بلند برحسب زمان، $q_c(t)$ اتلاف حرارت از طریق پوشش گلخانه، $q_w(t)$ اتلاف حرارت از طریق تهویه برحسب زمان، $q_e(t)$ اتلاف حرارت از طریق تعرق گیاهان، $q_p(t)$ اتلاف حرارت از طریق انتقال حرارت جابجایی بین هوای گلخانه و خاک و برگ گیاهان و $q_t(t)$ گرمای ناشی از تابش خورشید به داخل گلخانه است.

$q_l(t)$ از رابطه (پ.۵) محاسبه می‌شود:

$$q_l(t) = \varepsilon_{12} A_s \sigma (T_i(t)^4 - T_{sky}(t)^4) \qquad (پ.۵)$$

که A_s مساحت پوشش گلخانه، σ ثابت استفان-بولتزمن، T_{sky} دمای آسمان برحسب زمان و ε_{12} ضریب نشر ترکیبی بین پوشش و آسمان است و برای محاسبه آن از رابطه (پ.۶) استفاده می‌شود:

$$\varepsilon_{12} = (\varepsilon_1^{-1} + \varepsilon_2^{-1} - 1)^{-1} \qquad (پ.۶)$$

همچنین T_{sky} از طریق رابطه (پ.۷) محاسبه می‌شود:

$$T_{sky}(t) = 94 + 12.6\ln(e_0) - 13k + 0.341T_O(t) \qquad (پ.۷)$$

در رابطه (پ.۷) e_0 فشار بخارآب هوای بیرون گلخانه و k ضریب صافی آسمان است.

$q_c(t)$ از رابطه (پ.۸) محاسبه می‌شود:

$$q_c(t) = U.A_s.(T_i(t) - T_o(t)) \qquad (پ.۸)$$

همچنین $q_p(t)$ و $q_e(t)$ از روابط (پ.۹-پ.۱۱) محاسبه می‌شوند:

$$q_p(t) = A_g \rho C_p LAI(\frac{(T_v(t) - T_i(t))}{r_a}) \qquad (پ.۹)$$

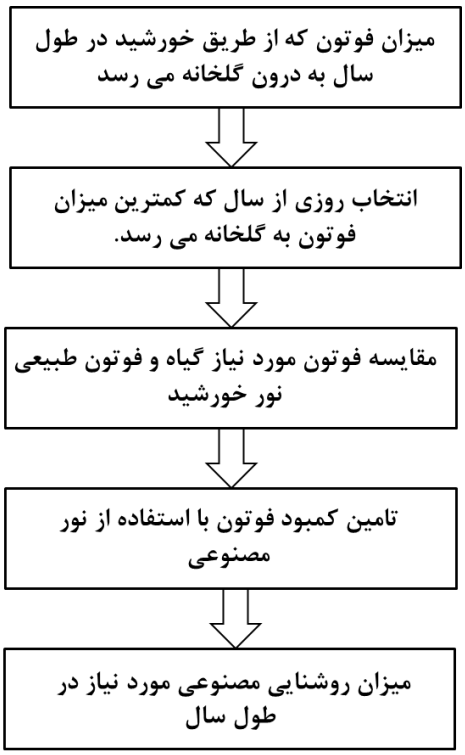
$$q_e(t) = A_g.\lambda.E(t) \qquad (پ.۱۰)$$

$$\lambda E(t) = \frac{I_a(t).\tau_a.\Delta + 2LAI(\frac{\rho c_a}{r_s})(e_s(t) - e_a(t))}{\Delta + \gamma(1 + \frac{r_c}{r_a})} \qquad (پ.۱۱)$$

λ گرمای نهان تبخیر، $T_v(t)$ دمای کانوپی گیاه بر حسب زمان، LAI ضریب سطح برگ، A_g مساحت زمین، $E(t)$ سرعت تعرق گیاهان برحسب زمان، $e_s(t)$ فشار بخار اشباع هوا، $e_a(t)$ فشار بخارآب در هوا، γ ثابت سایکورومتری و Δ شیب نمودار فشار بخار اشباع است.

در بخش معادلات حاکم، روابط مربوط به انواع مکانیزم های اتلاف حرارت از گلخانه و همچنین دریافت انرژی از تابش خورشید توضیح داده شد. مجموع دریافت و اتلاف انرژی توسط گلخانه میزان انرژی لازم جهت گرمایش، تهویه و یا سرمایش گلخانه را مشخص می‌کند. با استفاده از موازنه مطرح شده، میزان انرژی مورد نیاز در هر لحظه برای تأمین گرمایش، تهویه و سرمایش گلخانه مشخص می‌شود.

میزان روشنایی از دیگر پارامترهای تأثیرگذار و البته انرژی بر گلخانه محسوب می‌شود. برای تعیین میزان روشنایی مصنوعی از الگوریتم زیر استفاده می‌شود:



شکل پ.۲: الگوریتم تعیین میزان روشنایی مصنوعی مورد نیاز

پ.۲- معادلات حاکم بر مدل عرضه انرژی گلخانه‌ها

پ.۲-۱- سیستم گرمایش بخاری هوای گرم

جدول (پ.۱) روابط مورد نیاز به منظور مدل‌سازی سیستم عرضه انرژی بر مبنای سیستم گرمایش بخاری هوای گرم، و استفاده از برق شبکه را بر اساس روش پیشنهادی توسط معرفت و همکاران (۲۰۱۴) به همراه توضیحات مرتبط با آن‌ها را ارائه می‌دهد. شایان ذکر است که متغیرهای Q_c ، Q_h و E_{req} در این روابط به ترتیب بیانگر میزان تقاضای سرمایش، گرمایش و برق برای گلخانه بر اساس مدل تقاضای انرژی در گلخانه می‌باشند. سایر پارامترهای مورد استفاده در این روابط در بخش پارامترهای ورودی به طور کامل معرفی شده‌اند و مقادیر آن‌ها برای یک مورد نمونه ذکر گردیده است.

جدول (پ.۱): معادلات حاکم طرح بخاری هوای گرم، شبکه برق و فن تهویه هوا

نوع سیستم	نحوه محاسبه پارامتر	توضیحات
بخاری هوای گرم، شبکه برق و فن تهویه هوا	$E_{fp} = \frac{Q_c}{COP_{fp}}$	برق مورد نیاز فن
	$E_{grid}^{shp} = E_{req} + E_{fp}$	برق مورد نیاز گلخانه
	$F_b^{shp} = \frac{Q_{hc}}{\eta_b}$	سوخت مورد نیاز

ورودی‌های مدل به سه دسته ورودی‌های فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی تقسیم می‌شوند که در روابط حاکم مورد استفاده قرار گرفته و شاخص‌هایی فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی بر مبنای آن‌ها محاسبه می‌شوند. مقادیر ورودی‌ها برای طرح مورد بررسی بر مبنای پژوهش معرفت و همکاران (۲۰۱۴)، سایت بازار بزرگ کشاورزی ایران که ارائه کننده مشخصات کامل و هزینه تجهیزات گلخانه‌ای در کشور است و سایت شرکت رویش تجهیز پارسه، تولید و عرضه‌کننده کلیه تجهیزات نصب، راه‌اندازی و بهره‌برداری از گلخانه در جداول (پ.۲ – پ.۴) ارائه شده است.

جدول (پ.۲): پارامترهای فنی مدل‌سازی طرح بخاری هوای گرم، شبکه برق و فن تهویه هوا

نوع متغیر	نوع سیستم عرضه انرژی	نام متغیر		نشانه	مقدار
پارامترهای فنی	بخاری هوای گرم، شبکه برق و فن تهویه هوا	گرمایش	بازده بخاری هوای گرم	η_b	۰/۷
		سرمایش	ضریب عملکرد فن	COP_{fp}	۵۰

جدول (پ.۳): پارامترهای زیست‌محیطی مدل‌سازی طرح بخاری هوای گرم، شبکه برق و فن تهویه هوا

نوع متغیر	نوع سیستم عرضه انرژی	نام متغیر	نشانه	مقدار	واحد
پارامترهای زیست‌محیطی	(بخاری هوای گرم، شبکه برق و فن تهویه هوا)	ضریب انتشار دی‌اکسید کربن برای گازوئیل	μ_e	۲۷۰	gr/kWh
		ضریب انتشار دی‌اکسید کربن برای گاز طبیعی	μ_f	۲۲۰	gr/kWh

جدول (پ.۴): پارامترهای اقتصادی مدل‌سازی طرح بخاری هوای گرم، شبکه برق و سیستم فن و پد

نوع متغیر	نوع سیستم عرضه انرژی	نام متغیر		نشانه	مقدار	واحد
پارامترهای اقتصادی	(بخاری هوای گرم، شبکه برق و فن تهویه هوا)	هزینه سرمایه‌گذاری	بخاری هوای گرم	$cost_b$	۷	$/kW
			فن تهویه	$cost_{fp}$	۲۸۶	$/kW
		هزینه عملیاتی	تعرفه خرید برق از شبکه	$cost_e$	۵۰۰	Rials/kWh
			تعرفه خرید گاز	$cost_f^{shp}$	۱۰۰۰	Rials/m^3
			تعرفه خرید گازوئیل	$cost_f^{shp}$	۳۰۰۰	Rials/lit
		هزینه تعمیر و نگهداری	بخاری هوای گرم	$cost_m^b$	۰/۷	$/kW
	نرخ تنزیل			j	۱۰	%
	طول عمر سیستم			n	۲۰	years

پ.۲-۲- سیستم گرمایش بویلر آب گرم

جدول (پ.۵) روابط مورد نیاز به منظور مدل‌سازی سیستم عرضه انرژی بر مبنای سیستم گرمایش بویلر آب گرم، فن تهویه و برق شبکه بر اساس روش پیشنهادی توسط معرفت و همکاران (۲۰۱۴) به همراه توضیحات مرتبط با آن‌ها را ارائه می‌دهد. شایان ذکر است که متغیرهای Q_c ، Q_h و E_{req} در این روابط به ترتیب بیانگر میزان تقاضای سرمایش، گرمایش و برق برای گلخانه بر اساس مدل تقاضای انرژی در گلخانه می‌باشند. سایر پارامترهای مورد استفاده در این روابط در بخش پارامترهای ورودی به طور کامل معرفی شده اند و مقادیر آن‌ها برای یک مورد نمونه ذکر گردیده است.

جدول (پ.۵): معادلات حاکم طرح بویلر آب گرم، شبکه برق و فن تهویه

نوع سیستم	نحوه محاسبه پارامتر	توضیحات
بویلر آب گرم، شبکه برق و فن تهویه	$E_{fp} = \frac{Q_c}{COP_{fp}}$	برق مورد نیاز فن
	$E_{grid}^{shp} = E_{req} + E_{fp}$	برق مورد نیاز گلخانه
	$Q_{hc} = \frac{Q_h}{\eta_{hc}}$	حرارت مورد نیاز سیستم انتقال
	$F_b^{shp} = \frac{Q_{hc}}{\eta_b}$	سوخت مورد نیاز

ورودی‌های مدل به سه دسته ورودی‌های فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی تقسیم می‌شوند که در روابط حاکم مورد استفاده قرار گرفته و شاخص‌هایی فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی بر مبنای آن‌ها محاسبه می‌شوند. مقادیر ورودی‌ها برای طرح مورد بررسی بر مبنای پژوهش معرفت و همکاران (۲۰۱۴) و اطلاعات مندرج در سایت شرکت پاکمن تولید کننده انواع مختلف دیگ‌های آب گرم و بخار در جداول (پ.۶ – پ.۸) ارائه شده است.

جدول (پ.۶): پارامترهای فنی مدل‌سازی طرح بویلر آب گرم، شبکه برق و فن تهویه

نوع متغیر	نوع سیستم عرضه انرژی	نام متغیر		نشانه	مقدار
پارامترهای فنی	بویلر آب گرم، شبکه برق و فن تهویه	گرمایش	بازده بویلر آب گرم	η_b	۰/۸۵
			بازده انتقال گرما	η_{hc}	۰/۸
		سرمایش	ضریب عملکرد فن	COP_{fp}	۵۰

جدول (پ.۷): پارامترهای زیست‌محیطی مدل‌سازی طرح بویلر آب گرم، شبکه برق و فن تهویه

نوع متغیر	نوع سیستم عرضه انرژی	نام متغیر	نشانه	مقدار	واحد
پارامترهای زیست‌محیطی	(بویلر آب گرم، شبکه برق و فن تهویه)	ضریب انتشار دی‌اکسید کربن برای گازوئیل	μ_e	۲۷۰	gr/kWh
		ضریب انتشار دی‌اکسید کربن برای گاز طبیعی	μ_f	۲۲۰	gr/kWh

جدول (پ.۸): پارامترهای اقتصادی مدل‌سازی طرح بویلر آب گرم، شبکه برق و فن تهویه

نوع متغیر	نوع سیستم عرضه انرژی	نام متغیر		نشانه	مقدار	واحد
پارامترهای اقتصادی	(بویلر آب گرم، شبکه برق و فن تهویه)	هزینه سرمایه‌گذاری	بویلر آب گرم گازسوز	$cost_b$	۱۵	$/kW
			فن	$cost_{fp}$	۲۸۶	$/kW
		هزینه عملیاتی	تعرفه خرید برق از شبکه	$cost_e$	۵۰۰	Rials/kWh
			تعرفه خرید گاز	$cost_f^{shp}$	۱۰۰۰	Rials/m^3
			تعرفه خرید گازوئیل	$cost_f^{shp}$	۳۰۰۰	Rials/lit
		هزینه تعمیر و نگهداری	بویلر آب گرم گازسوز	$cost_m^b$	۰/۰۰۲۷	$/kWh
	نرخ تنزیل			j	۱۰	%
	طول عمر سیستم			n	۲۰	years

پ.۲-۳- سیستم گرمایش تابشی

جدول (پ.۹) روابط مورد نیاز به منظور مدل‌سازی سیستم عرضه انرژی بر مبنای سیستم گرمایش تابشی، فن تهویه و برق شبکه بر اساس روش پیشنهادی توسط معرفت و همکاران (۲۰۱۴)، به همراه توضیحات مرتبط با آن‌ها را ارائه می‌دهد. شایان ذکر است که متغیرهای Q_c ، Q_h و E_{req} در این روابط به ترتیب بیانگر میزان تقاضای سرمایش، گرمایش و برق برای گلخانه بر اساس مدل تقاضای انرژی در گلخانه می‌باشند. سایر پارامترهای مورد استفاده در این روابط در بخش پارامترهای ورودی به طور کامل معرفی شده اند و مقادیر آن‌ها برای یک مورد نمونه ذکر گردیده است.

جدول (پ.۹): معادلات حاکم طرح گرمایش تابشی، شبکه برق و فن تهویه

نوع سیستم	نحوه محاسبه پارامتر	توضیحات
گرمایش تابشی، شبکه برق و فن تهویه	$E_{fp} = \frac{Q_c}{COP_{fp}}$	برق مورد نیاز فن
	$E_{grid}^{shp} = E_{req} + E_{fp}$	برق مورد نیاز گلخانه
	$F_b^{shp} = \frac{Q_{hc}}{\eta_b}$	سوخت مورد نیاز

ورودی‌های مدل به سه دسته ورودی‌های فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی تقسیم می‌شوند که در روابط حاکم مورد استفاده قرار گرفته و شاخص‌هایی فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی بر مبنای آن‌ها محاسبه می‌شوند. مقادیر ورودی‌ها برای طرح مورد بررسی بر مبنای پژوهش معرفت و همکاران (۲۰۱۴)، سایت بازار بزرگ کشاورزی ایران و سایت شرکت ایران مشعل، مجری پروژه‌های تأسیساتی تحت لیسانس کمپانی بزرگ اروپایی امبیراد در جداول (پ.۱۰ – پ.۱۲) ارائه شده است.

جدول (پ.۱۰): پارامترهای فنی مدل‌سازی طرح گرمایش تابشی، شبکه برق و فن تهویه

نوع متغیر	نوع سیستم عرضه انرژی	نام متغیر		نشانه	مقدار
پارامترهای فنی	گرمایش تابشی، شبکه برق و فن تهویه	گرمایش	بازده گرمایش تابشی	η_b	۰/۹۵
		سرمایش	ضریب عملکرد فن	COP_{fp}	۵۰

جدول (پ.۱۱): پارامترهای زیست‌محیطی مدل‌سازی طرح گرمایش تابشی، شبکه برق و فن تهویه

نوع متغیر	نوع سیستم عرضه انرژی	نام متغیر	نشانه	مقدار	واحد
پارامترهای زیست‌محیطی	(گرمایش تابشی ، شبکه برق و فن تهویه)	ضریب انتشار دی‌اکسید کربن برای گازوئیل	μ_e	۲۷۰	gr/kWh
		ضریب انتشار دی‌اکسید کربن برای گاز طبیعی	μ_f	۲۲۰	gr/kWh

جدول (پ.۱۲): پارامترهای اقتصادی مدل‌سازی طرح گرمایش تابشی ، شبکه برق و فن تهویه

نوع متغیر	نوع سیستم عرضه انرژی	نام متغیر		نشانه	مقدار	واحد
پارامترهای اقتصادی	(گرمایش تابشی ، شبکه برق و فن تهویه)	هزینه سرمایه‌گذاری	گرمایش تابشی	$cost_b$	۲۷	$/kW
			فن	$cost_{fp}$	۲۸۶	$/kW
		هزینه عملیاتی	تعرفه خرید برق از شبکه	$cost_e$	۵۰۰	Rials/kWh
			تعرفه خرید گاز	$cost_f^{shp}$	۱۰۰۰	Rials/m^3
			تعرفه خرید گازوئیل	$cost_f^{shp}$	۳۰۰۰	Rials/lit
		هزینه تعمیر و نگهداری	گرمایش تابشی	$cost_m^b$	۰/۷	$/kW
	نرخ تنزیل			j	۱۰	%
	طول عمر سیستم			n	۲۰	years

پ.۲-۴- سیستم تولید هم‌زمان برق و گرما

جدول (پ.۱۳) روابط مورد نیاز به منظور مدل‌سازی سیستم عرضه انرژی بر مبنای سیستم تولید هم‌زمان برق و گرما و بویلر پشتیبان، فن تهویه و برق شبکه بر اساس روش پیشنهادی توسط ونگ جیانگ جیانگ (۲۰۱۰) و معرفت و همکاران (۲۰۱۴)، به همراه توضیحات مرتبط با آن‌ها را ارائه می‌دهد. شایان ذکر است که متغیرهای Q_c ، Q_h و E_{req} در این روابط به ترتیب بیانگر میزان تقاضای سرمایش، گرمایش و برق برای گلخانه بر اساس مدل تقاضای انرژی در گلخانه می‌باشند. سایر پارامترهای مورد استفاده در این روابط در بخش پارامترهای ورودی به طور کامل معرفی شده‌اند و مقادیر آن‌ها برای یک مورد نمونه ذکر گردیده است.

جدول (پ.۱۳): معادلات حاکم طرح سیستم تولید هم‌زمان، شبکه برق و فن تهویه

نوع سیستم	نحوه محاسبه پارامتر	توضیحات
سیستم تولید هم‌زمان (موتور گازسوز، بویلر کمکی و فن تهویه)	$E_{fp} = \frac{Q_c}{COP_{fp}}$	برق مورد نیاز فن
	$E_{grid}^{CHP} = E_{req} + E_{fp} - E_{CHP}$	برق مبادله شده با شبکه
	$F_{on-site} = \frac{Q_{CHP}}{\eta_h^{CHP}} + \frac{Q_b}{\eta_b}$	سوخت مورد نیاز

ورودی‌های مدل به سه دسته ورودی‌های فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی تقسیم می‌شوند که در روابط حاکم مورد استفاده قرار گرفته و شاخص‌هایی فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی بر مبنای آن‌ها محاسبه می‌شوند. مقادیر ورودی‌ها برای طرح مورد بررسی بر اساس مقادیر انتخاب شده در پژوهش معرفت و همکاران (۲۰۱۴)، ونگ جیانگ جیانگ (۲۰۱۰) و صنایع و همکاران (۲۰۰۸) در جداول (پ.۱۴ – پ.۱۶) ارائه شده است.

جدول (پ.۱۴): پارامترهای فنی مدل‌سازی سیستم تولید هم‌زمان، شبکه برق و فن تهویه

نوع متغیر	نوع سیستم عرضه انرژی	نام متغیر	نشانه	مقدار
پارامترهای فنی	سیستم تولید هم‌زمان (موتور گازسوز، بویلر کمکی و فن تهویه)	الکتریسیته	بازده الکتریکی موتور گازسوز	η_e^{CHP}	۰/۳۳
		گرمایش	بازده حرارتی موتور گازسوز	η_h^{CHP}	۰/۴۸
			بازده بویلر آب گرم	η_b	۰/۸۵
		سرمایش	ضریب عملکرد فن	COP_{fp}	۵۰

جدول (پ.۱۵): پارامترهای زیست‌محیطی مدل‌سازی سیستم تولید هم‌زمان، شبکه برق و فن تهویه

نوع متغیر	نوع سیستم عرضه انرژی	نام متغیر	نشانه	مقدار	واحد
پارامترهای زیست‌محیطی	سیستم تولید هم‌زمان (موتور گازسوز، بویلر کمکی و فن تهویه)	ضریب انتشار دی‌اکسید کربن برای گازوئیل	μ_e	۲۷۰	gr/kWh
		ضریب انتشار دی‌اکسید کربن برای گاز طبیعی	μ_f	۲۲۰	gr/kWh

جدول (پ.۱۶): پارامترهای اقتصادی مدل‌سازی سیستم تولید هم‌زمان، شبکه برق و فن تهویه

نوع متغیر	نوع سیستم عرضه انرژی		نام متغیر	نشانه	مقدار	واحد
پارامترهای اقتصادی	سیستم تولید هم‌زمان (موتور گازسوز، بویلر کمکی و فن تهویه)	هزینه سرمایه‌گذاری	موتور گازسوز	$cost_{CHP}$	-۴۰۰ ۸۰۰	$/kW
			بویلر آب گرم گازسوز	$cost_b$	۱۵	$/kW
			فن	$cost_{fp}$	۲۸۶	$/kW
		هزینه عملیاتی	تعرفه خرید برق از شبکه	$cost_e$	۵۰۰	Rials/kWh
			تعرفه خرید گاز	$cost_f^{CHP}$	۱۰۰۰	Rials/m^3
			تعرفه فروش برق به شبکه	$cost_{exp}$	۱۰۰۰	Rials/kWh
		هزینه تعمیر و نگهداری	موتور گازسوز	$cost_m^{CHP}$	$f(E_{nom})$	$/kWh
			بویلر آب گرم گازسوز	$cost_m^b$	۰/۰۰۲۷	$/kWh
	نرخ تنزیل			j	۱۰	%
	طول عمر سیستم			n	۲۰	years

پ.۲-۵- سیستم کلکتور خورشیدی و بویلر پشتیبان، فن تهویه هوا، برق شبکه

جدول (پ.۱۷) روابط مورد نیاز به منظور مدل‌سازی سیستم عرضه انرژی بر مبنای سیستم کلکتور خورشیدی و بویلر پشتیبان، فن تهویه و برق شبکه بر اساس روش‌شناسی توسعه داده شده توسط آتیا و همکاران (۲۰۱۲) و معرفت و همکاران (۲۰۱۴)، به همراه توضیحات مرتبط با آن‌ها را ارائه می‌دهد. شایان ذکر است که متغیرهای Q_c ، Q_h و E_{req} در این روابط به ترتیب بیانگر میزان تقاضای سرمایش، گرمایش و برق برای گلخانه بر اساس مدل تقاضای انرژی در گلخانه می‌باشند. سایر پارامترهای مورد استفاده در این روابط در بخش پارامترهای ورودی به طور کامل معرفی شده‌اند و مقادیر آن‌ها برای یک مورد نمونه ذکر گردیده است.

جدول (پ.۱۷): معادلات حاکم طرح سیستم کلکتور خورشیدی و بویلر پشتیبان، شبکه برق و فن تهویه

نوع سیستم	نحوه محاسبه پارامتر	توضیحات
کلکتور خورشیدی و بویلر پشتیبان، شبکه برق و فن تهویه	$E_{fp}=\frac{Q_c}{COP_{fp}}$	برق مورد نیاز فن
	$E_{grid}^{shp}=E_{req}+E_{fp}$	برق مورد نیاز گلخانه
	$Q_u=F_R A_c\left[I_c(\tau\alpha)-U_L(T_{ci}-T_a)\right]$	گرمای مفید خروجی کلکتور
	$M_T(C_p)_{water}\frac{dT_T}{dt}=\dot{Q}_{collector}-\dot{Q}_{load}$	دمای تانک ذخیره
	$Q_{aux}=M_T(C_p)_{water}(60-T_T)$	حرارت مورد نیاز بویلر پشتیبان
	$F_b^{shp}=\frac{Q_{aux}}{\eta_b}$	سوخت مورد نیاز
	$f(\%)=100\frac{(Q_{Load})_{Yearly}-(Q_{aux})_{Yearly}}{(Q_{Load})_{Yearly}}$	سهم سالانه انرژی خورشیدی

ورودی‌های مدل به سه دسته ورودی‌های فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی تقسیم می‌شوند که در روابط حاکم مورد استفاده قرار گرفته و شاخص‌هایی فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی بر مبنای آن‌ها محاسبه می‌شوند. مقادیر ورودی‌ها برای طرح مورد بررسی برمبنای مقادیر انتخاب شده در پژوهش آتیا و همکاران (۲۰۱۲) در جداول (پ.۱۸ – پ.۲۰) ارائه شده است.

جدول (پ.۱۸): پارامترهای فنی مدل‌سازی سیستم کلکتور خورشیدی و بویلر پشتیبان، شبکه برق و فن تهویه

نوع متغیر	نوع سیستم عرضه انرژی	نام متغیر		نشانه	مقدار
پارامترهای فنی	کلکتور خورشیدی و بویلر پشتیبان، شبکه برق و فن تهویه	بازده بویلر	گرمایش	η_b	۰/۸۵
		ضریب کلکتور		$F_R(\tau\alpha)$	۰/۷۱۶
		ضریب انتقال حرارت		$F_R U_L$	W/C.m^{2}۵/۴۷
		ضریب عملکرد فن	سرمایش	COP_{fp}	۵۰

جدول (پ.۱۹): پارامترهای زیست‌محیطی مدل‌سازی سیستم کلکتور خورشیدی، شبکه برق و فن تهویه

نوع متغیر	نوع سیستم عرضه انرژی	نام متغیر	نشانه	مقدار	واحد
پارامترهای زیست‌محیطی	کلکتور خورشیدی و بویلر پشتیبان، شبکه برق و فن تهویه	ضریب انتشار دی‌اکسید کربن برای گازوئیل	μ_e	۲۷۰	gr/kWh
		ضریب انتشار دی‌اکسید کربن برای گاز طبیعی	μ_f	۲۲۰	gr/kWh

جدول (پ.۲۰): پارامترهای اقتصادی مدل‌سازی سیستم کلکتور خورشیدی و بویلر پشتیبان، شبکه برق و فن تهویه

نوع متغیر	نوع سیستم عرضه انرژی		نام متغیر	نشانه	مقدار	واحد
پارامترهای اقتصادی	کلکتور خورشیدی و بویلر پشتیبان، شبکه برق و فن تهویه	هزینه سرمایه‌گذاری	بویلر آب گرم	$cost_b$	۱۵	$/kW
			کلکتور خورشیدی	$cost_c$	۱۷۰	$/m^2
			فن	$cost_{fp}$	۲۸۶	$/kW
		هزینه عملیاتی	تعرفه خرید برق از شبکه	$cost_e$	۵۰۰	Rials/kWh
			تعرفه خرید گاز	$cost_f^{shp}$	۱۰۰۰	Rials/m^3
			تعرفه خرید گازوئیل	$cost_f^{shp}$	۳۰۰۰	Rials/lit
		هزینه تعمیر و نگهداری	بویلر آب گرم	$cost_m^b$	۰/۰۰۲۷	$/kW
	نرخ تنزیل			j	۱۰	%
	طول عمر سیستم			n	۲۰	years