



روزآمد : ۹۷/۰۲/۲۵

دانشگاه صنعتی شریف - دانشکده مهندسی انرژی

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



دانشگاه صنعتی شریف

دانشکده مهندسی انرژی

گزارش فاز مقدماتی

فناوری گلخانه‌های انرژی کارآمد و سبز

تجربیات بین‌المللی و ملی

مشاور/ناظر: محمدباقر غفرانی

مجری: رامین روشندل

مدیر فنی: عاطفه بهزادی فروغ

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

ویراست ۵

اردیبهشت ۱۳۹۶



روزآمد : ۹۷/۰۲/۲۵

دانشگاه صنعتی شریف - دانشکده مهندسی انرژی

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



پیش‌گفتار

قرارگیری دریاچه ارومیه در آستانه بحرانی زیست‌محیطی در مقیاس بین‌المللی در سال‌های منتهی به سال ۱۳۹۲ شمسی و مطالبات مردم شریف منطقه، هیأت محترم وزیران را بر آن داشت که در اولین جلسه خود در دولت یازدهم، طی مصوبه شماره ۴۹۵۰۳/۱۱۱۱۴۶ مورخ ۱۳۹۲/۰۵/۲۸، تشکیل کارگروه نجات دریاچه ارومیه را به تصویب رسانند که پس از بررسی‌های گروه‌های کارشناسی، ۱۹ طرح اولویت‌دار جهت نجات دریاچه ارومیه در جلسه ۱۳۹۲/۰۷/۱۶ کارگروه نجات دریاچه ارومیه تصویب گردید.

به منظور تمرکز و تسریع در روند اقدامات مرتبط با احیای دریاچه ارومیه، پیشنهاد تشکیل «کارگروه ملی نجات دریاچه ارومیه» در جلسه مورخ ۱۳۹۲/۱۱/۰۲ هیأت محترم وزیران مطرح و به موجب اختیارات اصل ۱۳۸ قانون اساسی، طبق مصوبه شماره ۴۹۵۰۳/۱۷۰۰۹۲ مورخ ۱۳۹۲/۱۱/۱۲، مقرر گردید که ریاست کارگروه بر عهده معاون اول محترم رئیس‌جمهور باشد و جناب آقای دکتر عیسی کلانتری به عنوان دبیر کارگروه و مدیر اجرایی احیای دریاچه ارومیه تعیین گردیدند. ۷ وزیر، ۲ معاون رئیس‌جمهور و ۳ استاندار حوضه آبریز نیز به عنوان اعضای این کارگروه معرفی شدند.

در گام بعدی، ستاد احیای دریاچه ارومیه ضمن ایجاد کمیته‌های تخصصی شش‌گانه، ۲۰ کارگروه تخصصی، انجام مطالعات تطبیقی و ایجاد شوراهای منطقه‌ای، ضمن برگزاری ۹۸ جلسه متنوع کارشناسی و مدیریتی و بهره‌گیری از نظرات بیش از ۷۵۰ نفر از متخصصان داخلی و بین‌المللی در بازه زمانی ۱۳۶ روزه (از ۱۳۹۲/۱۱/۰۲ تا ۱۳۹۳/۰۳/۱۷)، اقدام به تدوین و اجرای یک نقشه راه جامع در راستای احیای دریاچه ارومیه نمود که نقشه راه مذکور در جلسه مورخ ۱۳۹۳/۰۴/۰۸ به ریاست رئیس‌جمهور محترم جناب آقای دکتر روحانی، ارائه و مورد تصویب قرار گرفت و دستور شروع عملیات اجرایی راه‌کارهای مصوب توسط ایشان صادر گردید. کارگروه ملی نجات دریاچه ارومیه نیز طی مصوبه شماره ۴۹۵۰۳/۵۷۵۴۲ مورخ ۱۳۹۳/۰۵/۲۵ به طور رسمی مسئولیت مطالعه و طراحی طرح نجات دریاچه ارومیه را به دانشگاه صنعتی شریف سپرد.

در کنار دستاوردهای میدانی متعدد حاصل از طرح ملی نجات دریاچه ارومیه از جمله قرار گرفتن دریاچه در مسیر احیای پایدار و رفع مخاطرات بهداشتی و سلامتی، نقش محوری دانشگاه‌های ملی و استانی در کلیه امور مطالعه و پایش، شاخصه‌ای کم‌نظیر در پروژه بوده که توانسته است ضمن خلق تعاملی پویا و چندسویه با دستگاه‌های اجرایی، روح اقدامات علمی-پژوهشی را در کالبد همه پروژه‌های ذیل طرح، جاری نمایند.

لذا با هدف شفاف‌سازی اقدامات مطالعاتی و پژوهشی انجام شده و نیز به منظور فراهم شدن امکان استفاده مجامع علمی در رشته‌های مختلف دانشگاهی از آب (هیدرولوژی، آب زیرزمینی، هیدرولیک و هیدرودینامیک)، محیط‌زیست، اکولوژی و لیمنولوژی گرفته تا اقتصاد و جامعه‌شناسی از دانش بومی تولید شده در این طرح ملی، کلیه مطالعات انجام شده توسط دبیرخانه کارگروه در کتابخانه مرکزی دانشگاه صنعتی شریف در دسترس پژوهشگران محترم قرار گرفته است. یقیناً تدارک مطالعه و پژوهش در این منابع بومی ارزشمند که حاصل سال‌ها تلاش مجدانه محققان تراز اول داخلی و بین‌المللی بوده، سرآغازی خواهد بود برای تداوم نهضت علمی شکل گرفته و به زودی با بروز جهشی علمی در بستر استثنایی پدید آمده، شاهد شکوفا شدن برکات این گردش آزاد اطلاعات در اقصی نقاط کشور خواهیم بود.

کلیه تعابیر، نتایج و تفاسیری که در این اثر ذکر شده‌اند، محصول تلاش‌های نویسندگان (یا نویسندگان) آن بوده و لزوماً منعکس‌کننده دیدگاه‌های دبیرخانه کارگروه ملی نجات دریاچه ارومیه نیست. لذا مسئولیت صحت کلیه اطلاعات و نتایجی که توسط این اثر در دسترس عموم قرار می‌گیرد، به عهده نویسندگان (یا نویسندگان) آن می‌باشد.



روزآمد : ۹۷/۰۲/۲۵

دانشگاه صنعتی شریف - دانشکده مهندسی انرژی

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



پیشگفتار

گزارش حاضر، حاصل انجام فاز مقدماتی پروژه "طراحی، نمونه‌سازی و ترویج گلخانه‌های انرژی کارآمد متناسب با شرایط اقلیمی و زیست بوم کشور" می‌باشد. 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 قرار گرفته است. انجام پروژه در یک فاز مقدماتی و سه فاز اجرایی برنامه ریزی شده است:

فاز مقدماتی: فناوری گلخانه‌های انرژی کارآمد و سبز - تجربیات بین‌المللی و ملی

فاز اول: طراحی ابزارهای تحلیلی برای توسعه گلخانه‌های 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 مقدماتی پروژه است که در نشست مورخ ۹۴/۱۲/۳ در وزارت جهاد کشاورزی ارائه شد.



روزآمد : ۹۷/۰۲/۲۵

دانشگاه صنعتی شریف - دانشکده مهندسی انرژی

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



خلاصه مدیریتی

مقدمه

گلخانه مکانی است که در آن شرایط محیطی شامل دما، نور و رطوبت، قابل کنترل است و هدف از احداث آن، پرورش محصولات در خارج از فصل مربوط، استفاده از بذر و خاک باکیفیت همراه با صرفه‌جویی در میزان مصرف آب و دستیابی به حداکثر سوددهی است. مهم‌ترین مزایای به‌کارگیری گلخانه‌ها در بخش کشاورزی عبارت‌اند از:

- افزایش عملکرد محصول: در کشت گلخانه‌ای عملکرد تولید محصول به‌طور متوسط شش برابر نسبت به کشت روباز افزایش می‌یابد.
- کاهش مصرف سموم دفع آفات: در کشت گلخانه‌ای به‌طور متوسط ۸۰٪ کمتر، از سموم دفع آفات استفاده می‌شود.
- کاهش مصرف آب: مصرف آب در کشت گلخانه‌ای به‌طور متوسط ۵۰٪ نسبت به کشت متداول کاهش می‌یابد.

علاوه بر موارد بالا، مدیریت کشت، امکان کنترل کیفیت محصول، امکان باغبانی پیوسته بدون فصل، سازگاری آسان با نوع محصول، ایجاد فرصت‌های شغلی و ارتقاء امنیت غذایی از دیگر مزایای به‌کارگیری گلخانه‌ها به‌شمار می‌روند. باوجود مزایای یادشده، یکی از مهم‌ترین چالش‌های توسعه و بهره‌برداری از گلخانه‌ها، تأمین انرژی مورد نیاز آنها برای ایجاد شرایط مناسب رشد گیاه در محیط گلخانه می‌باشد.

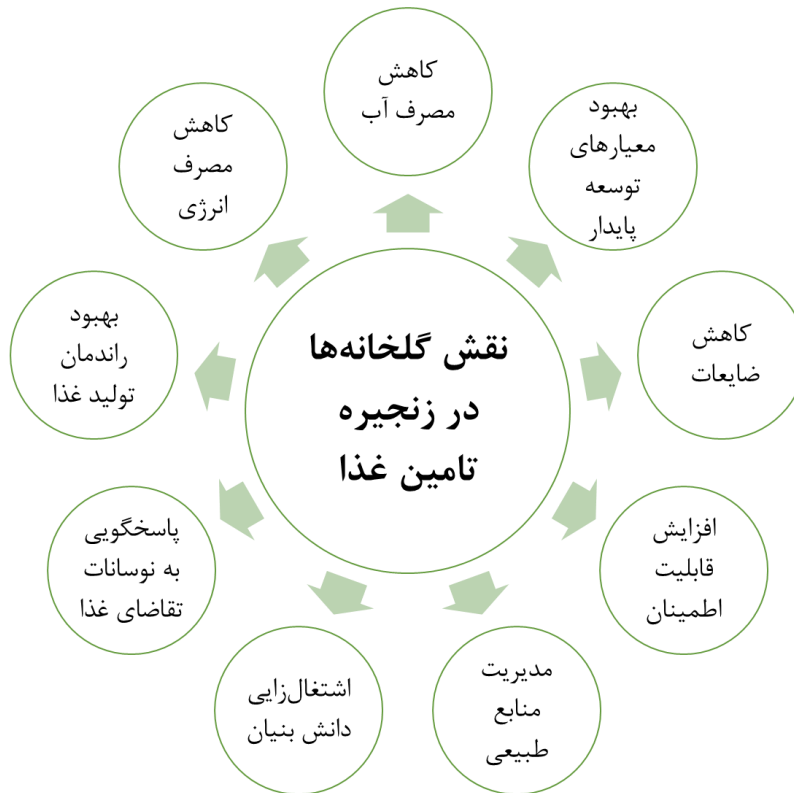
گلخانه‌ها انواع مختلفی دارند و هر نوع گلخانه برای کاربرد مشخصی بکار برده می‌شود. در این پروژه، انواع گلخانه بر اساس شکل سازه، جنس سازه، جنس پوشش، نوع محصول تولیدی و دمای گلخانه مورد طبقه‌بندی و مطالعه قرار گرفته است.

نقش گلخانه‌های انرژی کارآمد در کشاورزی پایدار

بکارگیری حامل‌های انرژی فسیلی در تأمین نیاز انرژی گلخانه، منجر به ایجاد اثرات زیست محیطی نامطلوب می‌شود که در تقابل با مفهوم کشاورزی پایدار قرار دارد. همچنین، بخش عمده‌ای از هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه ساخت گلخانه‌های جدید، مربوط به سیستم انرژی گلخانه می‌باشد. از سوی دیگر، نحوه بهره‌برداری از سیستم

انرژی در گلخانه‌های موجود نیز به طور مستقیم بر کمیت و کیفیت محصول تولید شده در گلخانه اثر می‌گذارد. بنابراین تحلیل جریان انرژی و بهینه‌سازی سیستم‌های انرژی در گلخانه‌های جدید و یا گلخانه‌های موجود در جهت توسعه کشاورزی پایدار ضرورت می‌یابد.

در سال‌های اخیر، توسعه مفهوم گلخانه‌های انرژی کارآمد در جهت کاهش مصرف انرژی در گلخانه‌ها مطرح شده است. گلخانه‌های انرژی کارآمد، گلخانه‌هایی هستند که با به‌کارگیری فناوری‌های انرژی کارا و یا سیستم‌های مدیریت انرژی، منابع انرژی را به‌طور منطقی مصرف می‌نمایند و نیازهای انرژی گلخانه را به‌طور بهینه پاسخ می‌گویند. به این ترتیب، توسعه گلخانه‌های انرژی کارآمد می‌تواند نقش موثری در روند کشاورزی پایدار داشته باشند. شکل (الف) جایگاه گلخانه در بهبود زنجیره غذا را نشان می‌دهد.



شکل (الف): جایگاه گلخانه در بهبود زنجیره غذا



اهمیت مدل‌های تحلیل تقاضا و عرضه انرژی در گلخانه‌ها

مدل تقاضای انرژی، میزان انرژی مورد نیاز گلخانه (شامل: گرمایش، سرمایش، تهویه، روشنایی و آبیاری) را برای ایجاد شرایط مناسب رشد گیاه، با توجه به شرایط محیطی، نوع محصول، اقلیم آب‌وهوایی و نوع سازه گلخانه محاسبه می‌کند. همچنین با استفاده از مدل تقاضای انرژی می‌توان، تاثیر بکارگیری روش‌های مدیریت انرژی بر میزان کاهش مصرف انرژی گلخانه را مورد بررسی قرار داد.

مهمترین هدف از توسعه مدل عرضه انرژی، بررسی و تحلیل بکارگیری فناوری‌های انرژی گلخانه و ارتباطات میان آنها برای پاسخگویی به تقاضای انرژی می‌باشد. به این ترتیب، مدل عرضه انرژی، یکی از ابزارهای مورد نیاز برای طراحی گلخانه‌های انرژی کارآمد است.

مطالعات تطبیقی و تجربیات بین‌المللی و ملی در توسعه گلخانه‌های انرژی کارآمد و سبز

مطالعات تطبیقی در زمینه گلخانه‌های انرژی کارآمد در چهار بخش متمایز انجام شده است.

در بخش اول، توسعه مبانی نظری در دانشگاه‌ها و مراکز پژوهشی در زمینه گلخانه‌های انرژی کارآمد مورد توجه قرار گرفته است. مطالعات انجام شده نشان می‌دهد، طراحی گلخانه‌های انرژی کارآمد و سبز بر اساس مفهوم کشاورزی پایدار (بر اساس شاخص‌های پایداری) انجام شده است. همچنین، بکارگیری روش‌های مدیریت انرژی و سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت، از مهمترین زمینه‌های پژوهشی در سال‌های اخیر می‌باشد.

یکی دیگر از راهبردهای دستیابی به مفهوم کشاورزی پایدار، به‌کارگیری منابع انرژی تجدیدپذیر در ساختار سیستم انرژی گلخانه‌ها است. مطالعات انجام شده نشان می‌دهد در حال حاضر بکارگیری روش‌های غیرفعال خورشیدی (بر اساس ساختمان و ساختار گلخانه) از توجیه‌پذیری فنی - اقتصادی بهتری نسبت به سیستم‌های فعال (استفاده از تجهیزات فتوولتائیک و کلکتورهای خورشیدی) برخوردار می‌باشد. همچنین کاربرد سیستم‌های پایش لحظه‌ای وضعیت گلخانه یک الزام اساسی در گلخانه‌های مدرن است.

در بخش دوم، رویکرد شرکت‌های فعال در زمینه طراحی، ساخت، نصب و بهره‌برداری از گلخانه‌های انرژی کارآمد مورد بررسی قرار گرفته است. شرکت‌های موفق در زمینه ساخت گلخانه‌ها، با پوشش کل زنجیره ساخت گلخانه، ضمن کاهش هزینه‌های تولید، کیفیت و عملکرد گلخانه را بهبود داده‌اند.



در بخش سوم، استانداردها و دستورالعمل اجرایی موجود، مورد بررسی قرار گرفته‌اند. استانداردهای تدوین شده، ضوابط و معیارهای حداقلی برای ساختار و پوشش گلخانه و همچنین تجهیزات مورد استفاده در گلخانه را ارائه می‌کنند. چند استاندارد ملی مانند "مبانی وضوابط توسعه گلخانه‌ها، مبانی وضوابط طراحی" و "گلخانه‌های تجاری- معیار مصرف انرژی در فرآیندهای تولید" مورد مطالعه قرار گرفته است. مهم‌ترین استاندارد بین‌المللی در زمینه گلخانه‌ها، استاندارد¹ NGMA می‌باشد که در اغلب کشورها، مبنایی برای طراحی گلخانه و تجهیزات مرتبط با آن است. در این استاندارد، بسیاری از ملاحظات اقلیمی، کشت محصولات خاص و همچنین کاربرد مدل‌های عرضه و تقاضا در طراحی گلخانه مورد توجه قرار نگرفته است. این نکته، لزوم توسعه ابزارهای تحلیلی بومی بر اساس شرایط اقلیمی را نشان می‌دهد.

بخش چهارم، به بررسی روند توسعه گلخانه‌ها، در ایران و چند کشور موفق در این زمینه شامل، هلند، آمریکا و چین می‌پردازد. تجربه هلند نشان می‌دهد، سیاستگذاری موثر دولت در روند خصوصی‌سازی، ایجاد بستر مناسب برای کسب و کار گلخانه‌ای و ارائه سازوکارهای حمایتی مناسب، مهم‌ترین عوامل پیشبرد اهداف کشاورزی پایدار می‌باشند. همچنین ایجاد مراکز چند منظوره آموزش، پژوهش و ترویج کسب و کار گلخانه‌ای (مانند مرکز چندمنظوره دانشگاه راتکرز آمریکا) می‌تواند به عنوان راهبردی خلاق و مؤثر در جهت ترویج گلخانه‌ها مطرح شود. در ایران نیز طرح توسعه گلخانه‌ها، یکی از مهم‌ترین اولویت‌های وزارت جهاد کشاورزی است و حمایت از توسعه گلخانه‌ها در تبصره ۱۵ برنامه ششم توسعه (۱۳۹۵-۱۳۹۹) مورد تاکید قرار گرفته است.

¹ National Greenhouse Manufacturers Association



فهرست مطالب

۱- مقدمه: جایگاه فناوری گلخانه در حل بحران آب، غذا و انرژی.....	۱
۲- آشنایی با فناوری گلخانه.....	۴
۲-۱- تعریف گلخانه.....	۴
۲-۲- انواع گلخانه.....	۵
۲-۳- اجزاء گلخانه.....	۱۲
۲-۴- مزیت‌های بکارگیری گلخانه.....	۱۵
۳- سیستم‌های انرژی در گلخانه.....	۱۸
۳-۱- تقاضای انرژی در گلخانه.....	۱۸
۳-۲- سیستم عرضه انرژی در گلخانه.....	۲۳
۴- مطالعات تطبیقی و تجربیات بین‌المللی در توسعه گلخانه‌های انرژی کارآمد و سبز.....	۳۳
۳-۱- مقالات و نشریات علمی.....	۳۳
۳-۲- شرکت‌های فعال.....	۵۴
۳-۳- استانداردها، دستورالعمل‌ها و گزارش‌ها.....	۵۶
۴-۴- روند توسعه گلخانه‌ها در ایران و جهان.....	۶۸
۵- خلاصه و رهیافت.....	۷۸
مراجع.....	۷۸



روزآمد : ۹۷/۰۲/۲۵

دانشگاه صنعتی شریف - دانشکده مهندسی انرژی

طراحی، نمونه سازی و ترویج گلخانه های انرژی کارآمد و سبز متناسب با شرایط اقلیمی و زیست بوم کشور





۱- مقدمه: جایگاه فناوری گلخانه در حل بحران آب، غذا و انرژی

مهم‌ترین چالش جامعه بشری در قرن ۲۱، توسعه پایدار است و سه بحران آب، غذا و انرژی نقش بسیار مهمی در روند توسعه پایدار دارند. طبق گزارش سازمان ملل در حال حاضر ۷۴۲ میلیون نفر دچار سوءتغذیه هستند، ۷۸۰ میلیون نفر به آب سالم و ۱,۲ میلیارد نفر به انرژی الکتریکی دسترسی ندارند. این در حالی است که طبق پیش‌بینی آژانس بین‌المللی انرژی‌های تجدیدپذیر تا سال ۲۰۵۰، تقاضای غذا به میزان ۶۰ درصد، آب به میزان ۵۵ درصد و انرژی به میزان ۸۰ درصد افزایش می‌یابد.

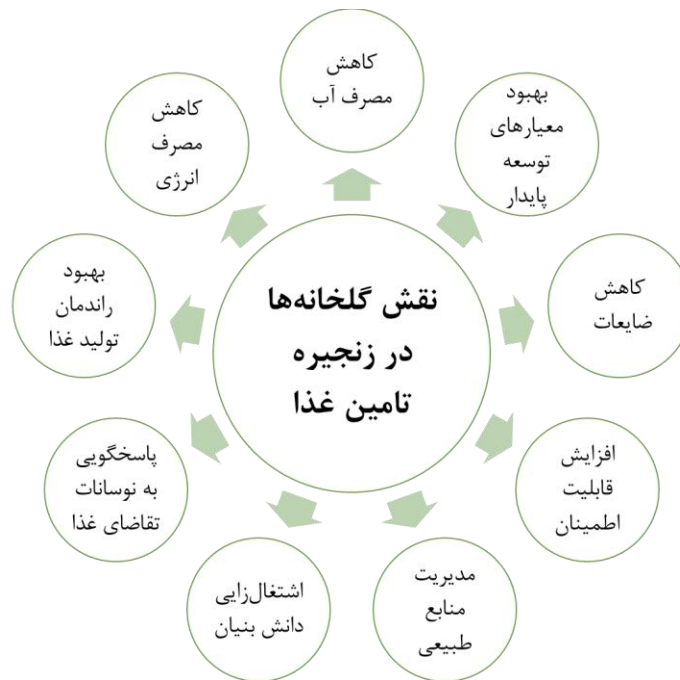
برهمکنش‌های میان سیستم‌های انرژی، آب و غذا اجتناب‌ناپذیر است:

آب - غذا: جهت زراعت و تولید غذا، آب مصرف می‌شود. مصرف آب در زنجیره غذا بسیار چشمگیر است. حدود ۸۵ درصد آب مصرف‌شده در دنیا به زنجیره غذا مربوط است.

غذا - انرژی: در کلیه فرآیندهای زنجیره غذا مانند زراعت، گلخانه‌ها، انتقال، انبارداری، توزیع و طبخ غذا انرژی مصرف می‌شود. توجه به اینکه ضروری است که حدود ۳۰ درصد کل مصرف انرژی در دنیا مربوط به زنجیره غذا است. از سوی دیگر بسیاری از منابع غذایی می‌توانند برای تأمین تقاضای انرژی مورد استفاده قرار گیرند. به‌عنوان مثال از دانه‌های گیاهی، پسماندها و ضایعات می‌توان برای تولید انرژی (زیست‌توده) استفاده نمود. ۲/۷ میلیارد نفر در دنیا از چوب درختان برای پخت‌وپز و گرمایش استفاده می‌کنند که این مسئله می‌تواند بر امنیت غذایی تأثیر بگذارد.

آب - انرژی: مصرف آب برای استخراج، فراورش و تبدیل انرژی (آب برای انرژی) و مصرف انرژی برای استخراج، تصفیه و انتقال آب (انرژی برای آب)، نشان‌دهنده ارتباط متقابل آب و انرژی هستند.

ارتباط میان سه بخش آب، غذا و انرژی، موجب شده تا روند توسعه فناوری‌ها با در نظر گرفتن اثرات متقابل این سه بخش صورت پذیرد. به عبارت دیگر، ظرفیت‌سازی، طراحی، بهره‌برداری، مدیریت و سیاست‌گذاری در توسعه فناوری‌ها باید بر اساس نگرش ارتباط بین بخش‌ها و زیربخش‌های مختلف نظام آب، غذا و انرژی صورت پذیرد. فناوری گلخانه می‌تواند به‌طور مستقیم بر سه بخش غذا، آب و انرژی اثر بگذارد. عملکرد بالاتر تولید محصول در گلخانه به‌طور مستقیم بر زنجیره تأمین غذا اثر می‌گذارد درحالی‌که مصرف کمتر آب به‌ازاء واحد تولید محصول در گلخانه‌ها به کاهش تقاضای آب در بخش غذا منجر می‌شود. شکل ۱ جایگاه فناوری گلخانه در بهبود زنجیره غذا را نشان می‌دهد.



شکل ۱: جایگاه گلخانه در بهبود زنجیره غذا

با این وجود، مصرف انرژی در کشت گلخانه‌ای بالاتر از کشت آزاد است که این نکته می‌تواند توسعه کشت گلخانه‌ای را با محدودیت زیرساخت‌های انرژی مواجه سازد. از سوی دیگر اثرات زیست‌محیطی ناشی از مصرف سوخت‌های



فسیلی در گلخانه یک مشکل جدی است که در سال‌های اخیر مورد توجه بیشتری قرار گرفته است. این مسائل، منجر به طرح مفهوم گلخانه انرژی کارآمد شده است. گلخانه انرژی کارآمد، گلخانه‌ای است که منابع انرژی را به صورت منطقی بکار می‌گیرد و از فناوری‌های انرژی با راندمان بالا استفاده می‌کند.

در این فاز از پروژه تلاش شده است با جمع‌آوری اطلاعات کامل و جامع، مبانی نظری مورد نیاز برای تحلیل و بهینه‌سازی انرژی در گلخانه‌ها ارائه شود. برای این منظور در بخش اول، کلیات فناوری گلخانه (تعاریف، انواع، اهمیت و ضرورت) ارائه می‌شود. در بخش دوم، مطالعات تطبیقی بین‌المللی در مورد فناوری گلخانه‌ها ارائه خواهد شد. این مطالعات شامل مقالات علمی، گزارش‌ها، استانداردها و تجارب کشورهای مختلف در زمینه توسعه گلخانه می‌باشد. در پایان مهم‌ترین نتایج این مطالعات ارائه و جمع‌بندی خواهد شد.



۲- آشنایی با فناوری گلخانه

فناوری گلخانه، محیط مناسب و کنترل‌شده‌ای را برای رشد گیاهان در تمام فصل‌های سال فراهم می‌آورد و گیاهان را از آسیب‌های احتمالی ناشی از سرمای زمستان، گرمای تابستان و بارش‌های برف و باران حفاظت می‌کند. سیستم‌ها و تجهیزات مورد استفاده در گلخانه، امکان تطبیق شرایط محیط گلخانه را با نیازهای گیاهان فراهم می‌کند.

۲-۱- تعریف گلخانه

گلخانه، عبارت است از محلی که در آن شرایط محیطی، شامل دما، نور و رطوبت، قابل کنترل است. هدف از احداث آن، پرورش محصولات در خارج از فصل مربوطه با استفاده از بذر و خاک باکیفیت همراه با صرفه‌جویی در مصرف آب و دستیابی به حداکثر سوددهی است [۳].

بر اساس یک تعریف دیگر، گلخانه به فضای محدودی اطلاق می‌شود که قابلیت کنترل شرایط محیطی مناسب را برای رشد گیاهان از نواحی مختلف در طی فصول مختلف سال داشته باشد. طبق این تعریف، عملکرد گلخانه، فراهم کردن شرایط محیطی لازم و موردنیاز برای یک محصول معین است [۴].

با در نظر گرفتن دیدگاه کاربردی، گلخانه بخش محدودی از فضا است که در آن کلیه عوامل محیطی قابل کنترل بوده و برای کشت‌های متراکم و تولید محصول خارج فصل و یا خارج از محیط طبیعی گیاه احداث می‌گردد [۵].

بر اساس یک تعریف بنیادی دیگر، گلخانه، ساختاری با دیواره‌ها و سقف است که به‌طور عمده از مواد شفاف مانند شیشه ساخته شده است و در آن گیاهان در شرایط آب‌وهوایی تنظیم‌شده متناسب با نیازشان برای رشد، پرورش داده می‌شوند [۶]. این ساختارها بر اساس اندازه از "کوچک محلی" تا "سازه‌های صنعتی" طبقه‌بندی می‌شوند. قسمت درونی یک گلخانه که در معرض نور خورشید قرار می‌گیرد، به‌صورت چشمگیری گرم‌تر از دمای محیط



بیرونی خواهد شد که باعث می‌شود در آب‌وهوای سرد از گیاهان درون گلخانه حفاظت کند. بسیاری از گلخانه‌های شیشه‌ای یا گرم‌خانه‌ها، امکانات ویژه‌ای برای رشد انواع گیاهان دارند. گلخانه‌های شیشه‌ای شامل تجهیزاتی مانند انواع پوشش‌ها، تجهیزات گرمایش، سرمایش و روشنایی هستند که در گلخانه‌های جدید ممکن است به‌وسیله سیستم‌های رایانه‌ای (کنترل هوشمند) برای بهینه نگه‌داشتن شرایط برای رشد گیاهان، کنترل شود.

در سال‌های اخیر ارتباط گلخانه‌ها با موضوع امنیت غذایی مورد توجه بیشتری قرار گرفته است. بر این اساس، کشت گلخانه‌ای روشی است که در آن عوامل محیطی در گلخانه قابل کنترل بوده و می‌تواند برای کشت‌های مترکم و تولید محصول خارج از فصل و یا خارج از محیط طبیعی با توجه به کم‌آبی و بازده تولید مناسب در جهت توسعه مفهوم امنیت غذایی بکار برده می‌شود [۷]. با این وجود، مهمترین مزیت گلخانه امکان تولید محصولات کشاورزی در تمام طول سال (year round production) می‌باشد.

۲-۲- انواع گلخانه

با توجه به وجود معیارهای مختلف، دسته‌بندی گلخانه‌ها در مراجع مختلف بر اساس شاخص‌های متفاوتی انجام شده است. به طور خلاصه، گلخانه‌ها بر اساس شکل سازه، جنس سازه و پوشش، دمای درون گلخانه و نوع محصول تولید شده در گلخانه دسته بندی می‌شوند.

دسته بندی بر اساس شکل سازه گلخانه

(۱) گلخانه یک‌طرفه : این نوع گلخانه، معمولاً در کنار دیوارهای موجود و در جهت جنوب ساخته می‌شود

(شکل ۲).



شکل ۲: گلخانه یک طرفه

(۲) گلخانه دوطرفه : از دو جهت به طور کامل از نور آفتاب بهره مند است. این گلخانه، برای کشت و پرورش بسیاری از گیاهان، ایده آل و مناسب است، زیرا از تابش خورشید به طور کامل استفاده می کند.



شکل ۳: گلخانه دوطرفه

(۳) گلخانه نیمه دوطرفه : این گلخانه، شبیه گلخانه دوطرفه است با این تفاوت که سقف آن از دو شیب نامساوی (۳۵ تا ۵۵ درجه) پوشانده شده است.



شکل ۴: گلخانه نیمه دوطرفه

۴) گلخانه A شکل^۱: شکل این گلخانه مانند حرف A می باشد. ارتفاع گلخانه در بالاترین نقطه سقف ۲/۵ تا ۳/۵ متر، عرض آن ۳ تا ۶ متر و زاویه شیب سقف آن ۳۵ تا ۵۵ درجه می باشد.

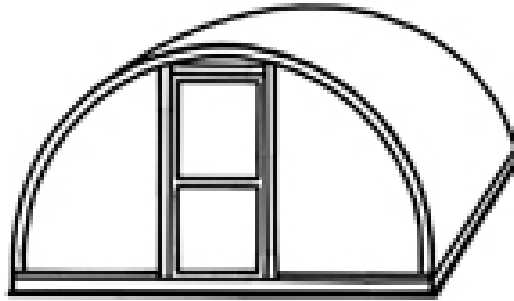


شکل ۵: گلخانه A شکل

۵) گلخانه های نیم استوانه ای^۲: مشخصه ظاهری این گلخانه، سازه کمانی شکل آن می باشد. این گلخانه دارای ابعاد متنوع و مناسب برای بسیاری از اقلیم ها و محصولات است و با نام های تجاری مختلف عرضه می شوند. فرم ظاهری سازه از نظر انحنا در طرفین، ممکن است محدودیت هایی برای رشد گیاهان کناری ایجاد نماید که لازم است در زمان احداث آن با توجه به گیاه مورد نظر ارتفاع مناسب دیواره های جانبی مدنظر قرار گیرد.

¹ A- shaped

² Quonset



شکل ۶: گلخانه نیمه استوانه‌ای

۶) گلخانه جوی پشته‌ای^۱ (متصل بهم): گلخانه جوی پشته‌ای دارای یک قسمت برجسته (پشته) و یک قسمت فرورفته (جوی) است. در این نوع گلخانه، دیواری که اغلب مابین بخش‌های مختلف گلخانه وجود دارد و فضای داخل را به چندین قسمت تقسیم می‌کند، برداشته می‌شود. بنابراین به اسکلت کمتری نیاز دارد و دارای یک فضای داخلی واحد است. تعداد واحدهایی که به هم متصل می‌شوند بستگی به نوع و مقیاس کشت دارد. از مزایای این نوع گلخانه، هزینه‌های بهره‌برداری و انرژی کمتر است.



شکل ۷: گلخانه جوی پشته‌ای

¹ Furrow & Ridge or Gutter Connected



دسته بندی بر اساس جنس سازه و پوشش

دوام گلخانه بر اساس اینکه جنس سازه آن از چوب و یا لوله‌های فلزی گالوانیزه، آلومینیوم، پلی‌ونیل‌فلوراید و یا پلی‌ونیل‌کلراید (P.V.C) باشد متفاوت است. گلخانه‌ها بر اساس جنس سازه به دو دسته سنتی و مدرن تقسیم می‌شوند. در گلخانه‌های سنتی، اسکلت اصلی از چوب با پوشش پلاستیک است. ارتفاع سقف، در این گلخانه‌ها، ۲ تا ۳ متر و فاقد سیستم گرمایی و تهویه مناسب است. به دلیل ارتفاع پایین سقف، مناسب کشت محصولاتی نظیر خیار و گوجه‌فرنگی نیست. مزیت این گلخانه‌ها، قیمت ارزان احداث آن است. به دلیل نامناسب بودن محیط داخلی برای رشد گیاهان، معمولاً عملکرد آنها در مقایسه با گلخانه‌های مدرن بسیار کمتر است.

سازه گلخانه‌های مدرن معمولاً از فلز با پوشش پلاستیک‌های ضد اشعه ماوراءبنفش (UV) ساخته می‌شود و دارای سیستم گرمایشی و تهویه مناسب است. ارتفاع سقف این نوع گلخانه‌ها بیش از ۴ متر است. به دلیل فراهم بودن شرایط مناسب رشد گیاه، عملکرد آنها، نسبت به گلخانه‌های سنتی بهتر است.

از نظر نوع پوشش، گلخانه‌ها به دو دسته گلخانه‌های شیشه‌ای و پلاستیکی طبقه‌بندی شوند. پلاستیک‌هایی که اغلب مورد استفاده قرار می‌گیرند، فیلم‌های پلی‌اتیلن و صفحات چندلایه‌ای از مواد پلی‌کربنات یا اکریلیک هستند.



دسته بندی بر اساس نوع محصول تولیدی

- (۱) گلخانه‌های کشت سبزی و صیفی : شامل محصولاتی نظیر خیار، گوجه‌فرنگی، توت‌فرنگی، فلفل، بادمجان، طالبی، سبزیجات برگی (ریحان- شاهی) است.
- (۲) گلخانه‌های کشت گل و گیاهان زینتی : برای تولید انواع گل‌های شاخه‌بریده (رُز- ژربرا- گلابول- داودی) و گل‌های آپارتمانی بکار می‌رود.
- (۳) سالن‌های گلخانه‌ای تولید قارچ : برای تولید انواع قارچ‌های خوراکی (دکمه‌ای و صدفی) مورد استفاده قرار می‌گیرند.

دسته بندی بر اساس دمای گلخانه

- (۱) گلخانه سرد : جهت حفاظت گیاهان از سرمای شدید و یخبندان مورد استفاده قرار می‌گیرد.
- (۲) گلخانه نیمه گرم : برای نگهداری گیاهان حساس به سرمای زمستان (گیاهانی که دمای کمتر از ۱۰ درجه سانتی‌گراد برای آن‌ها مضر است) کاربرد دارد.
- (۳) گلخانه گرم : مخصوص تولید سبزی و صیفی در خارج از فصل است.
- (۴) گلخانه گرم و مرطوب : مشابه گلخانه گرم است ولی رطوبت آن در حد اشباع تنظیم می‌شود. بیشینه و کمینه دما در گلخانه‌های مختلف در زمستان و تابستان در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱: بیشینه و کمینه دما در گلخانه‌های مختلف

تابستان		زمستان		نوع گلخانه
بیشینه دمای روز	کمینه دمای شب	بیشینه دمای روز	کمینه دمای شب	
۲۴	۱۸	۱۳ - ۱۸	۷ - ۱۳	سرد
۳۰	۲۴	۱۸ - ۲۱	۱۳	نیمه گرم
۳۰ - ۳۸	۲۴	۲۴	۱۸	گرم

جدول ۲، دسته بندی انواع گلخانه بر اساس معیارهای مختلف را نشان می دهد.

جدول ۲: دسته‌بندی انواع گلخانه

یک طرفه	شکل سازه
دو طرفه	
نیمه دو طرفه	
شکل A	
نیم استوانه ای	
جوی پشته‌ای	جنس سازه
سنتی	
مدرن	
شیشه‌ای	نوع پوشش
پلاستیکی	
سرد	دمای هوای داخل
نیمه گرم	
گرم	
گرم و مرطوب	
سبزی و صیفی	نوع محصول
گل و گیاهان زینتی	
قارچ دکمه‌ای و صدفی	



۲-۳- اجزاء گلخانه

مهم‌ترین اجزاء تشکیل‌دهنده گلخانه عبارت‌اند از [۳]:

- سازه گلخانه
- پوشش گلخانه
- سکوه‌های گلخانه
- راهروها
- هواکش‌های گلخانه
- اتاق کار گلخانه

سازه گلخانه

سازه گلخانه، پوشش شفاف گلخانه را نگه می‌دارد. این سازه، باید محکم و درعین‌حال سبک بوده و تا حد امکان، سایه‌اندازی کمتری داشته باشد. علاوه بر این، نکاتی مانند قیمت مناسب، دوام و سازگاری نیز باید در نظر گرفته شود. در حال حاضر سازه گلخانه‌های پلاستیکی و شیشه‌ای اکثراً از آهن گالوانیزه و یا آلومینیوم ساخته می‌شود که سبک است و کمتر جلوی عبور نور را می‌گیرد. در انتخاب سازه گلخانه نکات زیر باید در نظر گرفته شود :

۱- هرچه گلخانه بزرگ‌تر باشد کنترل شرایط محیطی در آن سخت‌تر است.

۲- در صورتی که سطح زیرکشت گلخانه زیاد باشد می‌بایستی گلخانه را به قطعات کوچک تقسیم شود تا امکان کنترل دما و تهویه مناسب در آن فراهم شود.

۳- هر چه شیب سقف بیشتر باشد استحکام گلخانه بیشتر خواهد شد. در گلخانه‌هایی که ارتفاع آن‌ها بیشتر است محیط اطراف بوته‌ها سالم‌تر بوده و گیاه بهتر رشد می‌کند.

۴- گلخانه را نباید عمود بر باد شدید احداث نمود بهترین حالت آن است که طول گلخانه در امتداد جهت وزش بادهای محلی باشد.

پوشش شفاف گلخانه

معیارهای انتخاب پوشش‌های گلخانه‌ای، شامل ضریب عبور نور خورشید، مقاومت حرارتی، تأثیرات متقابل سازه و پوشش، استحکام، طول عمر، قابلیت احتراق، ضریب انبساط، سازگاری مواد و ترکیبات شیمیایی است. مهم‌ترین ویژگی پوشش گلخانه، توانایی عبور نور و حرارت خورشید است. اما، هیچ‌گاه انتقال نور از این پوشش‌ها به صورت کامل انجام نمی‌شود و معمولاً مقداری از نور جذب پوشش گلخانه گردیده و یا از آن منعکس می‌شود. پوشش‌های گلخانه از جنس‌های مختلفی مانند پلی‌اتیلن، پلی‌کربنات، فایبرگلاس پلی‌استر و یا P.V.C تولید می‌شوند. بین پوشش‌های مختلف، پوشش‌های شیشه‌ای از لحاظ عبور نور و پوشش‌های پلاستیکی، از نظر کاهش تلفات حرارتی از بقیه بهتر هستند. پوشش‌های شیشه‌ای، تهویه مختصری در گلخانه ایجاد می‌نماید و به دلیل خارج کردن رطوبت اضافی کمتر از پوشش پلاستیک عرق می‌کند. معمولاً پوشش گلخانه‌های کم‌مانی که جهت کشت گیاهان جالیزی استفاده می‌شود از جنس پلی‌اتیلن ساخته می‌شود. پلی‌اتیلن از نظر شیمیایی خنثی است و بسته به نوع آن ۱۰٪ نور کمتری در مقایسه با شیشه از آن عبور خواهد کرد. در صورت استفاده از پوشش دولایه باید بین دولایه ۱۰ سانتی‌متر فاصله وجود داشته باشد و لایه داخل بدون هیچ‌گونه درز و شکافی سرتاسر سقف را بپوشاند. در غیر این صورت هوای مرطوب بین دولایه نفوذ کرده و عرق حاصل، باعث مخلوط شدن با غبار بین دولایه گردیده و پوشش را کدر می‌سازد. در نتیجه، نور کمتری به بوته می‌رسد و رشد گیاه کاهش می‌یابد. در زیر، خلاصه‌ای از خصوصیات و ویژگی‌های پوشش‌های گلخانه آورده شده است:

- پلاستیک معمولی (پلی‌اتیلن) : نور را نسبتاً خوب عبور می‌دهد اما دوام آن کم است.



- P.V.C: دوام آن بیشتر از پلی‌اتیلن است نور را هم بیشتر عبور می‌دهد اما به تدریج کدر شده و در مقابل تابش خورشید گرم‌تر از پلی‌اتیلن می‌شود.
- پلی‌استر: به اندازه شیشه نور را از خود عبور می‌دهد و شفاف باقی می‌ماند اما گران است.
- فایبرگلاس: دوام آن بسیار زیاد است ولی به تدریج و در طول چند سال شفافیت خود را از دست می‌دهد. در ضمن بسیار گران هم است.
- پلی‌کربنات: بهترین پوشش برای گلخانه است اما هزینه بالاتری دارد.

راهروهای گلخانه

راهروهای گلخانه باید به اندازه‌ای باشند که برای رفت‌وآمد کارگران و وسایل کار مشکل ایجاد نکند. معمولاً عرض راهروها را ۶۰ تا ۷۰ سانتی‌متر در نظر می‌گیرند.

هواکش‌های گلخانه

برای تهویه گلخانه، دریچه‌هایی در طرفین یا در سقف گلخانه قرار می‌دهند که با دست یا به‌طور خودکار بازو بسته می‌شود. سیستم تهویه، از ضروری‌ترین اجزاء گلخانه است که به‌وسیله‌ی آن می‌توان دما و رطوبت را تنظیم نمود. معمولاً به ازاء هر ۱۰۰ مترمربع یک فن نصب می‌کند. سیستم متداول تهویه هوا (سرمایش) در گلخانه، سیستم فن و پد^۱ است. معمولاً، در عرض گلخانه، یک صفحه پوشالی (پوشال معمولی و یا سلولزی) قرار می‌دهند که بر روی آن آب‌پاشیده می‌شود. در طرف مقابل آن، از فن‌های مکش، جهت خروج هوای گلخانه استفاده می‌شود. این سیستم به‌وسیله‌ی ترموستات‌ها به‌طور خودکار کار می‌کند.

¹ Pad & fan



اتاق کار گلخانه

هر گلخانه یا مجموعه‌ای از گلخانه‌ها نیاز به یک اتاق کار جهت نگهداری وسایلی از قبیل گلدان‌ها، حشره‌کش‌ها، قارچ‌کش‌ها، کودهای شیمیایی، خاک، شن، پرلیت، میز درجه‌بندی و بسته‌بندی دارد.

سکوها

سکوها به منظور استفاده بهتر از شرایط دمایی داخل گلخانه مورد استفاده قرار می‌گیرند که در ساختار آنها چوب، آجر، سیمان و فلز بکار برده می‌شود. سکوها، معمولاً از جنس تیرهای چوبی فاصله‌دار یا شبکه‌های فلزی ساخته می‌شوند. ارتفاع این سکوها بین ۷۵ تا ۹۰ سانتی‌متر است. فاصله‌دار بودن این سکوها، امکان تهویه هوا در اطراف گیاهان و استفاده بهینه از حشره‌کش‌ها را فراهم می‌سازد.

۲-۴- مزیت‌های بکارگیری گلخانه

۱- **افزایش عملکرد محصول** : به کارگیری گلخانه‌ها موجب می‌شود تا محصول بیشتری در واحد سطح تولید شود. مهم‌ترین دلیل این افزایش محصول، ایجاد شرایط مناسب برای رشد گیاهان است. در گلخانه‌ها بدلیل ایجاد شرایط محیطی مناسب در طول شبانه روز و دوره کشت، میزان تولید محصول به ازای واحد سطح، حدود شش برابر (در برخی منابع تا ۳۰ برابر هم گزارش شده است) بیشتر از واحد سطح فضای باز می‌باشد.

۲- **کاهش مصرف سموم دفع آفات** : سموم دفع آفات یکی از عوامل آلودگی خاک و آب‌های سطحی به شمار می‌روند. در واقع سموم دفع آفات و حشره‌کش‌ها اثرات زیانباری بر روند توسعه کشاورزی پایدار خواهند داشت و یکی از مهم‌ترین چالش‌ها در این زمینه به شمار می‌روند. برای نیل به هدف امنیت غذایی، علاوه بر کمیت تولید، توجه به کیفیت و سلامت مواد غذایی اهمیت بالایی دارد. امروزه، تولیدکنندگان محصولات غذایی در گلخانه‌ها با بکارگیری روش‌های کنترل رطوبت تلاش می‌کنند تا میزان مصرف سموم دفع آفات را به حداقل برسانند.



۳- کاهش مصرف آب : به دلیل استفاده از فناوری‌های پیشرفته در آبیاری و همچنین کاهش تبخیر آب، بهره‌وری مصرف آب در گلخانه بالاتر است. در برخی موارد، مصرف آب در کشت گلخانه‌ای تا ۵۰٪ نسبت به کشت آزاد کاهش نشان می‌دهد. همچنین در کشت گلخانه‌ای با استفاده از سیستم آبیاری قطره‌ای در گلخانه‌ها، علاوه بر صرفه‌جویی در مصرف آب، از رشد علف‌های هرز جلوگیری می‌شود [۵]. تحقیقات نشان می‌دهند که بهره‌وری بیش‌تر مصرف آب در کشت گلخانه‌ای به عوامل مختلفی از جمله نوع پوشش گلخانه و شرایط فصلی و محیطی بستگی دارد.

۴- امکان کنترل کیفیت محصول : در گلخانه‌ها به دلیل کنترل شرایط محیطی، امکان تضمین کیفیت محصولات تولیدی وجود دارد. کشت گلخانه‌ای توان رقابت محصولات تولیدی با محصولات کشت متداول را ارتقاء می‌دهد و امکان صادرات محصولات کشاورزی و ورود به بازارهای بین‌المللی را فراهم می‌کند.

۵- مدیریت کشت : مدیریت شرایط محیطی در گلخانه‌ها موجب می‌شود تا امکان کشت‌های متنوع در فصل‌های مختلف سال ایجاد شود. بر این اساس امکان پاسخ‌گویی به تقاضای محصولات مختلف در هر زمان از سال فراهم خواهد شد. این نکته موجب خواهد شد تا از نوسانات قیمت محصولات کشاورزی در بازار جلوگیری شود.

۶- باغبانی پیوسته بدون فصل : با کمک گلخانه‌ها می‌توان تغییرات فصلی در طول سال و تأثیرات ناشی از آن‌ها مدیریت کرد. در صورت به‌کارگیری گلخانه‌ها، تغییرات دمای محیط، بارندگی یا خشک‌سالی‌های طولانی مدت منجر به ایجاد مسائل جدی در رابطه با کشت گلخانه‌ها نخواهد شد. بنابراین، برنامه‌ریزی پرورش و رشد گیاهان وابسته به نوسانات آب‌وهوا نبوده و انعطاف بیشتری را در مورد نوع محصولات مورد بهره‌برداری در اختیار تولیدکنندگان محصولات غذایی قرار می‌دهد.



۷- انطباق یا سازگاری آسان با نوع محصول: گلخانه‌ها، زمین‌های کشت چندمنظوره هستند و می‌توان محصولات مورد نیاز مانند سبزیجات، میوه‌ها، گل‌ها و سایر انواع گیاهان را بدون نگرانی درباره ادغام انواع مختلف محصولات، در آن‌ها رشد داد [۱۴]. گلخانه‌ها می‌توانند با طراحی متناسب با تقاضا، امکان کشت گیاهان خاص را فراهم سازند.

۸- ایجاد فرصت‌های شغلی: توسعه گلخانه‌ها می‌تواند موقعیت‌های شغلی مناسبی را برای جوانان و کارآموخندگان کشاورزی فراهم آورد [۱۵]. به این ترتیب، کارآفرینی دانش بنیان، یکی از مهمترین مزایای توسعه گلخانه‌ها به شمار می‌رود.

۹- ارتقاء امنیت غذایی: با توجه به پیوستگی تولید محصولات غذایی در طول سال، گسترش گلخانه‌ها موجب ارتقاء امنیت غذایی جامعه خواهد شد.

۳- سیستم‌های انرژی در گلخانه

هدف کلی گلخانه، ایجاد شرایط مطلوب (دما، رطوبت، روشنایی) برای رشد مناسب گیاه است. برای ایجاد این شرایط، نیاز به مصرف انرژی است. چنانچه تأمین انرژی گلخانه به صورت مناسب انجام نپذیرد، یا شرایط مطلوب رشد به وجود نمی‌آید یا اینکه هزینه انرژی گلخانه باعث افزایش هزینه تولید محصول می‌شود. بنابراین مصرف انرژی در گلخانه باید به‌درستی مدیریت شود. برای تحلیل انرژی در گلخانه از مدل‌های تقاضا و عرضه انرژی استفاده می‌شود. ارتباط میان مدل‌های انرژی در گلخانه‌ها به صورت مفهومی در شکل ۸ نشان داده شده است.



شکل ۸: ارتباط انرژی و گلخانه

۳-۱- تقاضای انرژی در گلخانه

تقاضای انرژی در گلخانه‌ها به معنی تعیین میزان خدمات انرژی مورد نیاز (گرمایش، سرمایش، تهویه، روشنایی و تجهیزات الکتریکی) برای برآورده کردن شرایط مناسب برای رشد گیاهان است. در ادامه، مجموعه‌ای از خدمات انرژی مورد نیاز در گلخانه‌ها معرفی شده و مورد بررسی قرار گرفته‌اند.



۱- **گرمایش** : گرمایش گلخانه یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در بالا بردن راندمان تولید و دستیابی به محصولی باکیفیت بالاتر است. میزان گرمایش یک گلخانه، به دمای مطلوب، موقعیت، مساحت و ساختار آن بستگی دارد. حدود ۲۵ درصد نیاز گرمایش روزانه گلخانه از خورشید تأمین می‌شود. برای محاسبه تقاضای گرمایش یک گلخانه، باید فرآیندهای انتقال حرارت شامل هدایت، جابجایی، تابش و همچنین تلفات حرارتی ناشی از نفوذ هوا و تهویه را مورد بررسی قرار داد.

۲- **نوردهی** : در اغلب نواحی تولید گلخانه‌ای در جهان، شدت نور در طی زمستان کمتر از مقدار بهینه مورد نیاز برای گیاهان است. نوردهی تکمیلی می‌تواند میزان فتوسنتز و در نتیجه رشد گیاه را افزایش دهد. معمول‌ترین لامپ‌های مورد استفاده لامپ‌های سدیم فشار بالا (HPS) از انواع لامپ‌های HID هستند. لامپ‌های HPS کارایی بالایی دارند و می‌توانند انرژی الکتریکی را با راندمان بالا به تابش مرئی مورد نیاز برای فرآیند فتوسنتز تبدیل کند.

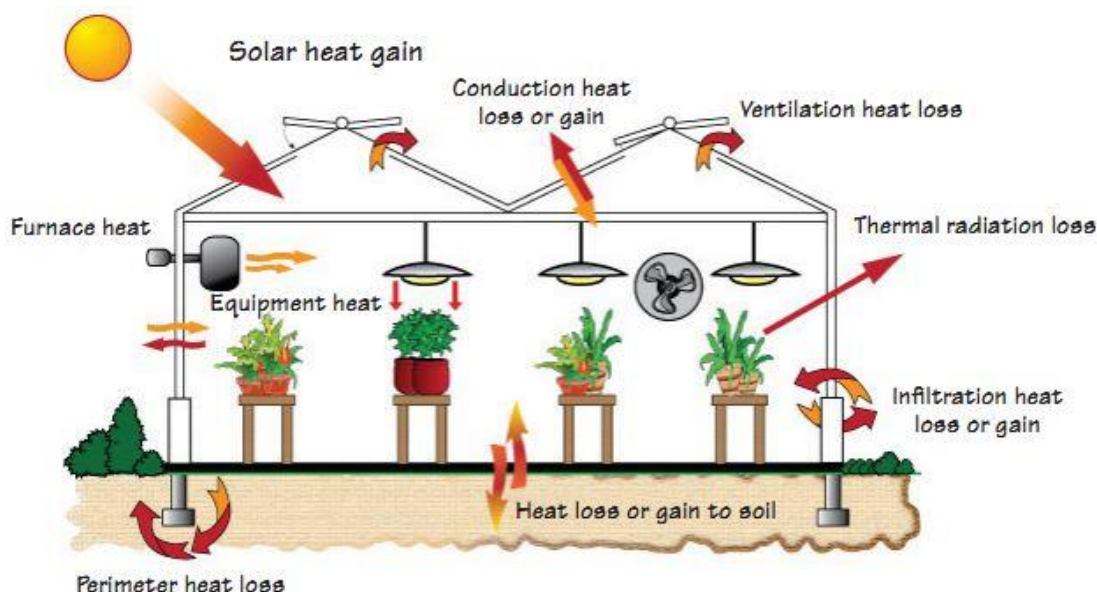
۳- **سرمایش** : انرژی جذب شده تابش خورشید می‌تواند دمای گلخانه را در ساعت‌های گرم روز به شدت افزایش دهد و موجب پژمردگی گیاهان و در نتیجه کاهش عملکرد گلخانه شود. از این رو در اقلیم‌های گرم، بکارگیری سیستم‌های سرمایش در گلخانه یک ضرورت اجتناب‌ناپذیر است.

۴- **تهویه هوا** : کیفیت هوای گلخانه، به طور مستقیم بر عملکرد آن اثر می‌گذارد. تهویه هوا، می‌تواند دمای داخل گلخانه را در روزهای آفتابی کاهش دهد. مزیت دیگر به‌کارگیری سیستم‌های تهویه، حذف هوای گرم و مرطوب و جایگزین کردن آن با هوای خشک است. رطوبت بالا وقتی که روی سطوح سردتر قرار گیرد تبدیل به مایع شده و منجر به ایجاد بیماری می‌شود.

۵- آبیاری: انتقال و توزیع آب در گلخانه مستلزم مصرف انرژی است. روش‌های متنوعی برای آبیاری در گلخانه‌ها وجود دارد. برای دستیابی به مناسب‌ترین روش و سیستم آبیاری در گلخانه باید مواردی چون مقدار و کیفیت آب، نیاز آبی محصول، شرایط و نوع سیستم آبیاری و سطح گلخانه مطالعه و بررسی شوند.

عوامل مؤثر بر تقاضای انرژی

بر اساس مفهوم موازنه انرژی در گلخانه مقدار حرارت لازم برای گرم کردن گلخانه معادل گرمای تلف‌شده در گلخانه است. انرژی گرمایی به سه طریق از گلخانه خارج می‌شود: هدایت، جابجایی و تابش. عوامل مؤثر بر این مکانیزم‌های انتقال حرارت، از جمله مهم‌ترین عوامل مؤثر بر تقاضای انرژی در گلخانه می‌باشند. در شکل ۹ مکانیزم‌های انتقال حرارت در گلخانه ارائه شده است.

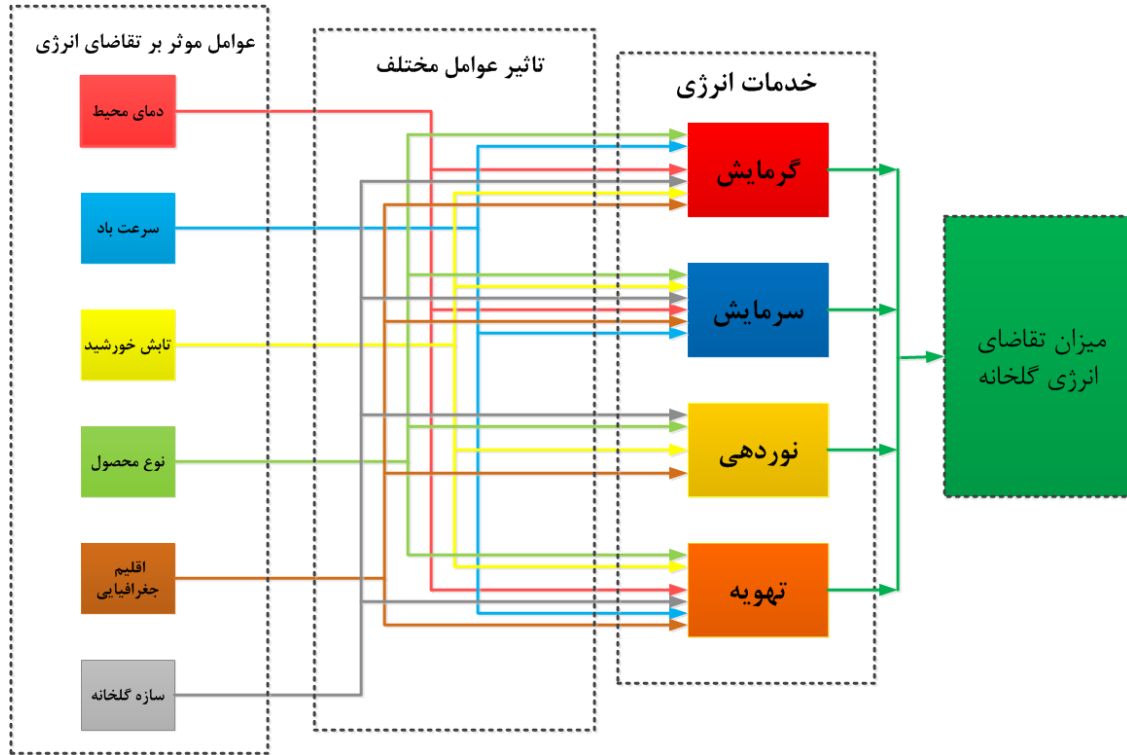


شکل ۹: مکانیزم‌های انتقال حرارت در گلخانه

بر این اساس، مهم‌ترین عوامل مؤثر بر تقاضای گرمایش (و یا سرمایش) گلخانه عبارت‌اند از:



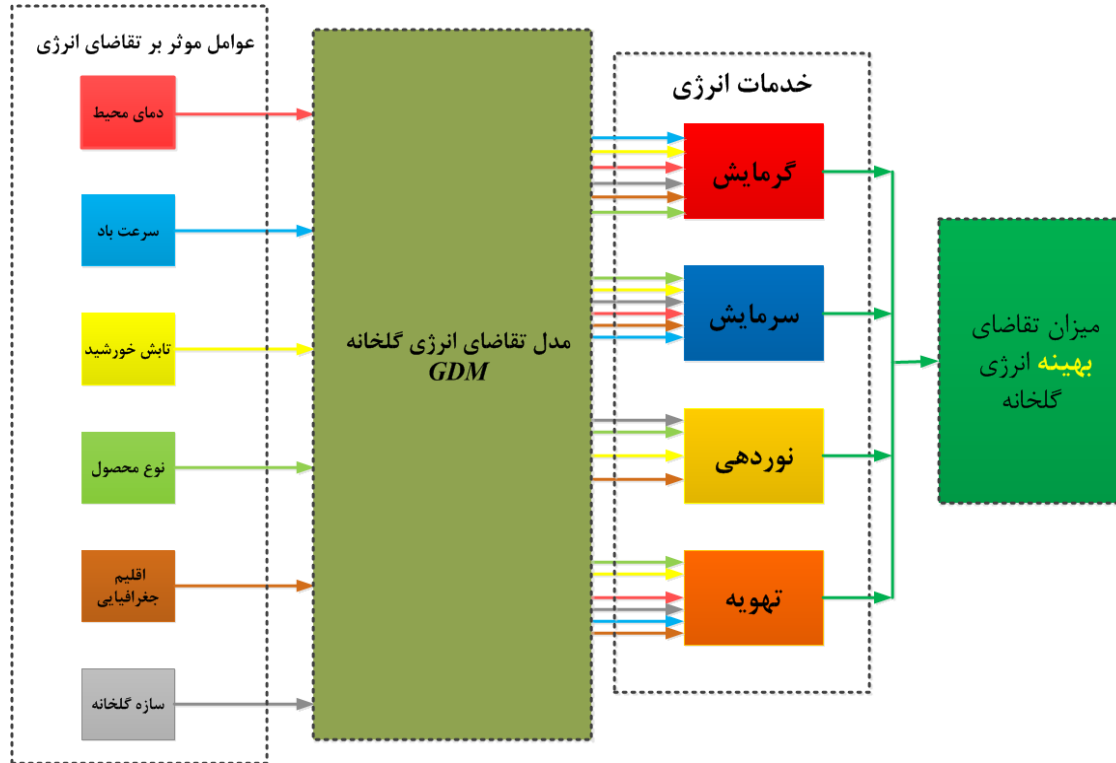
- ۱- **دمای محیط** : دمای محیط یکی از عوامل موثر بر میزان تلفات حرارتی در گلخانه است. هرچه دمای محیط کمتر باشد، میزان تلفات حرارتی بیشتر بوده و تقاضای حرارت افزایش می‌یابد.
 - ۲- **سرعت باد منطقه** : سرعت باد منطقه، بر میزان تلفات حرارتی از طریق مکانیزم جابجایی اثر می‌گذارد. هرچه سرعت باد منطقه بیشتر باشد، نیاز به تهویه اجباری کاهش می‌یابد (تهویه به صورت طبیعی انجام می‌شود).
 - ۳- **تابش خورشید** : شدت تابش خورشید و زاویه آن در طول سال، بر میزان تقاضای گرمایش گلخانه و نور مورد نیاز برای رشد گیاهان اثر می‌گذارد.
 - ۴- **نوع محصول** : یکی از مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار بر انرژی مورد نیاز گلخانه، دمای مناسب رشد گیاه موردنظر است. از آنجاکه محدوده دمای مناسب برای هر نوع گیاه، متفاوت است، انتخاب نوع محصول و شرایط مناسب رشد آن بر تقاضای گرمایش گلخانه اثر می‌گذارد.
 - ۵- **اقلیم جغرافیایی** : پارامترهای اقلیمی مانند میزان بارندگی (برف و باران) در تقاضای انرژی گلخانه تأثیرگذار است. میزان بارندگی در منطقه موردنظر بر رطوبت گلخانه اثر می‌گذارد.
 - ۶- **سازه گلخانه** : بسته به اینکه سازه گلخانه از جنس چوب، فلز یا پلاستیک باشد، میزان تلفات حرارتی متفاوت است. نوع پوشش نیز میزان تلفات حرارتی را تحت تأثیر قرار می‌دهد.
- در شکل ۱۰ اثر عوامل موثر در تقاضای انرژی بر خدمات انرژی مورد نیاز گلخانه ارائه شده است.



شکل ۱۰: عوامل مؤثر بر تقاضای انرژی گلخانه

به دلیل پیچیدگی روابط میان عوامل مؤثر بر تقاضای انرژی گلخانه، نیاز به توسعه مدل تقاضای انرژی در گلخانه وجود دارد. در شکل ۱۱ بررسی عوامل مؤثر بر تقاضای انرژی با در نظر گرفتن مدل تقاضای انرژی ارائه شده است.

مدل تقاضای انرژی با در نظر گرفتن هم‌زمان کلیه عوامل مؤثر و اثرات متقابل آن‌ها بر یکدیگر، امکان محاسبه نیاز انرژی گلخانه و همچنین بررسی و تحلیل روش‌های مدیریت انرژی در آن را فراهم می‌سازد.



شکل ۱۱: عوامل مؤثر بر تقاضای گلخانه با در نظر گرفتن مدل تقاضای انرژی

۳-۲- سیستم عرضه انرژی در گلخانه

سیستم عرضه انرژی، به مجموعه‌ای از فناوری‌ها و روش‌های به‌کارگیری آن‌ها گفته می‌شود که به‌منظور تأمین تقاضای انرژی مصرف‌کننده نهایی (تأمین تقاضای انرژی گلخانه) مورد استفاده قرار می‌گیرند. در بخش‌های زیر به توضیح مختصری در مورد انواع سیستم‌های عرضه انرژی متداول به‌منظور تأمین تقاضای انرژی گلخانه‌ها پرداخته می‌شود.

سیستم‌های گرمایشی

یک سیستم گرمایشی متداول که برای تأمین تقاضای گرمایش گلخانه بکار برده می‌شود شامل سیستم تأمین سوخت، مشعل سوخت، مبدل حرارتی، سیستم توزیع گرما و واحد کنترل است. سیستم‌های گرمایشی معمولاً به

دو دسته مرکزی و محلی تقسیم می‌شوند. در سیستم مرکزی، بویلر در یک ساختمان مجزا و خارج گلخانه احداث می‌شود و حرارت تولیدشده توسط سیستم توزیع به گلخانه منتقل می‌شود. در سیستم محلی حرارت به‌طور مستقیم در فضای گلخانه آزاد می‌شود [۲۱].

سیستم‌های گرمایش مرکزی در کشورهای اروپایی بسیار مرسوم است [۲۴] درحالی‌که در اقلیم‌های گرم‌تر سیستم‌های گرمایش محلی به دلیل هزینه اولیه کمتر نسبت به سیستم گرمایش مرکزی متداول می‌باشند. سیستم‌های گرمایش مرکزی در مقیاس‌های خیلی بزرگ اقتصادی‌تر هستند [۲۱]. برخی از مزایای سیستم‌های گرمایش مرکزی عبارت‌اند از:

- یک واحد مرکزی انعطاف‌پذیری بیشتری برای استفاده از منابع انرژی جایگزین از خود نشان می‌دهد.
- این سیستم‌ها بخش کمتری از فضای گلخانه را اشغال می‌نمایند چون واحد مرکزی در یک ساختمان مجزا قرار دارد.
- در بار جزئی عملکرد سیستم کمتر مورد تأثیر قرار می‌گیرد.
- تعمیرات و کنترل این واحدها آسان‌تر و ارزان‌تر است.
- چون احتراق در محیط خارج گلخانه رخ می‌دهد، احتراق غیر مناسب منجر به آسیب دیدن محصول، به دلیل حضور مواد سمی موجود در گاز احتراق نظیر اتیلن نمی‌شود.
- به‌رحال در مقیاس پائین، سیستم گرمایش مرکزی به دلیل نیاز به سیستم توزیع حرارت، نسبت به سیستم‌های گرمایش محلی در هر گلخانه گران‌تر خواهد بود.

سه نوع دسته‌بندی اولیه برای تجهیزات گرمایشی متداول در گلخانه‌ها موجود می‌باشند [۲۴]:

الف) سیستم‌های بخاری هوای گرم



ب) سیستم‌های بویلر آب گرم

ج) سیستم‌های گرما تابشی (مادون قرمز)

در سیستم‌هایی که بر اساس بخار و آب گرم کار می‌کنند، سیال گرم‌کننده معمولاً از طریق سیستم تأمین‌کننده اصلی و شبکه لوله‌های عایق‌بندی شده به گلخانه ارسال می‌شوند. این لوله‌ها به یک شبکه ثانویه از لوله‌ها که در داخل گلخانه نصب شده‌اند متصل می‌گردند. آب در شبکه لوله‌های ثانویه به گردش درمی‌آید و حرارت از طریق همرفت و تشعشع به محصول تحویل داده می‌شود. چرخش هوا توسط فن‌ها می‌تواند به یکنواخت سازی دما در گلخانه کمک نماید و اتلاف انرژی را کاهش دهد. نصب فن‌های جریان هوای افقی که هوا را با سرعت ۰/۳ تا ۰/۶ متر بر ثانیه جابجا می‌کنند اختلاف دما در محوطه کشت را محدود می‌نماید.

اخیراً، سیستم‌های تولید هم‌زمان با مقیاس متوسط و پایین در گلخانه‌های تجاری مرسوم شده‌اند. آن‌ها از موتورهای احتراق داخلی و یا توربین‌های گازی به‌منظور به حرکت درآوردن ژنراتور و تولید برق علاوه بر گرما استفاده می‌کنند. این سیستم‌ها می‌تواند برای تولید برق پراکنده مورد استفاده قرار گیرند. حرارت تولیدشده از طریق شبکه لوله‌ها به گلخانه منتقل می‌شود و گازهای خروجی موتور از طریق لوله‌های سوراخ‌دار به‌منظور تأمین دی‌اکسید کربن مورد نیاز در محیط گلخانه توزیع می‌شوند. به علت این‌که غنی‌سازی دی‌اکسید کربن در طول روز مزیت بیشتری دارد، سیستم‌های تولید هم‌زمان در طول روز وارد مدار می‌شوند و حرارت مازاد بر تقاضا، ذخیره می‌شود و در طول شب از آن استفاده می‌شود. برق تولیدشده توسط این سیستم‌ها، به‌منظور تأمین روشنایی تکمیلی مورد استفاده قرار می‌گیرد و یا به شبکه فروخته می‌شود [۲۱].

سیستم‌های حرارتی خورشیدی نیز می‌توانند به‌منظور تولید انرژی گرمایی با دمای پایین برای سیستم‌های گرمایش گلخانه‌ای مورد استفاده قرار گیرند [۲۱]. به دلیل ماهیت نوسانی تابش خورشید و با توجه به اندازه



سیستم ذخیره گرما، معمولاً از یک سیستم تأمین توان کمکی نیز استفاده می‌شود. در این حالت، یک مشعل کمکی با استفاده از سوخت زیست‌توده و یا سوخت‌های فسیلی بکار برده می‌شود. همچنین پمپ‌های حرارتی الکتریکی که با سیستم‌های فتوولتائیک یا توربین‌های باد کار می‌کنند می‌توانند به‌عنوان سیستم کمکی حرارتی مورد استفاده قرار گیرند.

تهویه

سیستم‌های تهویه یکی از مهم‌ترین تجهیزات بکار گرفته‌شده در گلخانه‌ها می‌باشند. هدف از به‌کارگیری سیستم‌های تهویه، جلوگیری از افزایش بیش از حد دما و رطوبت است. این امر با تعویض هوای گرم و مرطوب گلخانه با هوای خنک‌تر و خشک‌تر محیط امکان‌پذیر است. در برخی موارد تهویه به دلیل کمبود دی‌اکسید کربن در محیط گلخانه صورت می‌گیرد. علاوه بر این، تهویه، غلظت گازهای آلاینده در محیط گلخانه را کاهش می‌دهد و در مواردی که سیستم‌های گرمایشی در محیط گلخانه قرار دارند موجب می‌شود احتراق سوخت با بازدهی بالاتری انجام پذیرد [۲۱].

از سوی دیگر، فقدان تهویه در یک روز تابستانی باعث از دست رفتن محصول و پژمردگی آن به دلیل دمای بالا و درنهایت آسیب دیدن بافت آن می‌شود. تهویه در گلخانه به دو صورت اجباری و طبیعی انجام می‌شود. تهویه اجباری معمولاً با استفاده از فن‌ها صورت می‌گیرد که توانایی جابجایی مقادیر بالای هوا با افت فشار نسبتاً پایین را دارا می‌باشند. فن‌ها عموماً در دیواره‌های جانبی گلخانه به دلیل محدودیت‌های سازه و حداقل نمودن سایه تعبیه می‌شوند. میزان تهویه با واحد تغییر حجم یا جرم هوا بر ساعت یا نرخ جریان بر واحد سطح گلخانه (مترمکعب بر ثانیه بر مترمربع) تعیین می‌شود.



تهویه طبیعی بوسیله میدان فشاری ایجادشده توسط باد در اطراف گلخانه و یا نیروی شناوری ناشی از هوای مرطوب و گرم گلخانه انجام می‌شود که در زیر به آن‌ها اشاره شده است:

(۱) **تهویه طبیعی با نیروی شناوری** : اختلاف دما و رطوبت بین داخل و خارج گلخانه، نیرویی ایجاد می‌کند که منجر به ایجاد جریان می‌شود. تمایل طبیعی هوای گرم و مرطوب به بالا رفتن و تجمع در بخش بالاتر فضا منجر به ایجاد لایه‌بندی پایدار می‌شود و تأثیر بسزایی در الگوی جریانی در گلخانه دارد. فاکتور تعیین‌کننده در لایه‌بندی عمودی، محل پنجره‌ها است. پنجره عمودی در بالای یک گلخانه به هوای گرم و مرطوب اجازه خارج شدن می‌دهد و هوای سرد و خشک از بیرون جایگزین آن می‌شود. هوای ورودی با یک رژیم آشفته به سمت پایین حرکت می‌کند و با هوای فضای گلخانه مخلوط می‌شود. این نوع تهویه، تهویه مخلوطی نامیده می‌شود. اگر دو دریچه تهویه در بالا و پایین گلخانه تعبیه شوند، هوای گرم و مرطوب از طریق دریچه بالایی خارج می‌شود و هوای سرد و خشک از دریچه پایینی وارد می‌شود. این نوع تهویه، تهویه جایگزینی نامیده می‌شود [۲۵]. بنابراین تهویه طبیعی، به‌وسیله پنجره‌های سقفی یا جانبی گلخانه قابل تنظیم است. تعداد و اندازه پنجره‌ها و مکانیزم بازنمودن آن‌ها متفاوت است. دریچه‌های تهویه سقفی می‌توانند ثابت یا خودکار باشند. دریچه‌های تهویه ثابت در عین حال که به تهویه کمک می‌نمایند، از نفوذ باران و تگرگ به داخل گلخانه جلوگیری می‌کند.

(۲) **تهویه با نیروی باد** : اثر وزش باد بر تهویه گلخانه وابسته به شکل گلخانه و پنجره‌های آن و مجاورت آن با سایر سازه‌ها است. در حالت عمومی فشار در سمت بادگیر گلخانه بالاتر و در سمت بادپناه و سقف آن پایین‌تر است. باد باعث ایجاد یک توزیع فشار در گلخانه می‌شود که تحت تأثیر سرعت باد و میزان آشفستگی آن است.



سرمایش

سیستم‌های سرمایشی یکی از مهم‌ترین اجزاء سیستم عرضه انرژی در گلخانه‌ها می‌باشند. در برخی از فصول سال به دلیل افزایش دمای محیط و ایجاد اثر گلخانه‌ای، دما محیط گلخانه افزایش خواهد یافت و این امر باعث کاهش کیفیت محصول می‌شود. بنابراین استفاده از سیستم‌های سرمایشی در فصول گرم سال به منظور تأمین دمای بهینه رشد گیاه ضروری است.

یکی از روش‌های تأمین سرمایش گلخانه‌ها استفاده از سیستم‌های خنک‌سازی مکانیکی شامل چیلرهای جذبی و تراکمی است. هزینه سرمایه‌گذاری اولیه و بهره‌برداری این سیستم‌ها بالا می‌باشد. بنابراین اکثر گلخانه‌های تجاری از سیستم‌های سرمایش تبخیری که بسیار ارزان‌تر است استفاده می‌نمایند [۲۱]. در ادامه تعدادی از سیستم‌های ایجاد سرمایش با تبخیر آب معرفی می‌گردند.

۱- **آب‌پاشی**: اسپری کردن آب روی سقف گلخانه و یا سایبان با استفاده از آب‌پاش، سطح آزاد آب را افزایش می‌دهد و بنابراین نرخ تبخیر افزایش می‌یابد. فرآیند تبخیر، باعث خنک‌سازی سطح و در نتیجه هوای مجاور آن می‌شود. مزیت این امر، هزینه پایین آن است. مشکل اصلی این روش ایجاد شرایطی مطلوب برای شیوع بیماری‌های قارچی است. همچنین آب‌پاشی باعث ته‌نشینی ذرات روی سطح برگ‌ها و میوه‌ها می‌شود، خصوصاً زمانی که کیفیت آب پایین است [۲۱].

۲- **فن و پد**: این روش بر مبنای قرار دادن فن‌ها روی یک دیواره و پد مرطوب در سمت مخالف است. هوای بیرون با عبور از پد به داخل گلخانه مکیده می‌شود و مرطوب و خنک می‌شود. این هوا در گلخانه جریان می‌یابد، بخار آب و حرارت را جذب می‌نماید و توسط فن‌های جانبی خارج می‌شود. بازده این روش حدود ۸۰ تا ۹۰ درصد است. بهره‌برداری از آن بسیار ساده است و ریسک مرطوب شدن شاخ و برگ گیاهان را کاهش می‌دهد. اثر



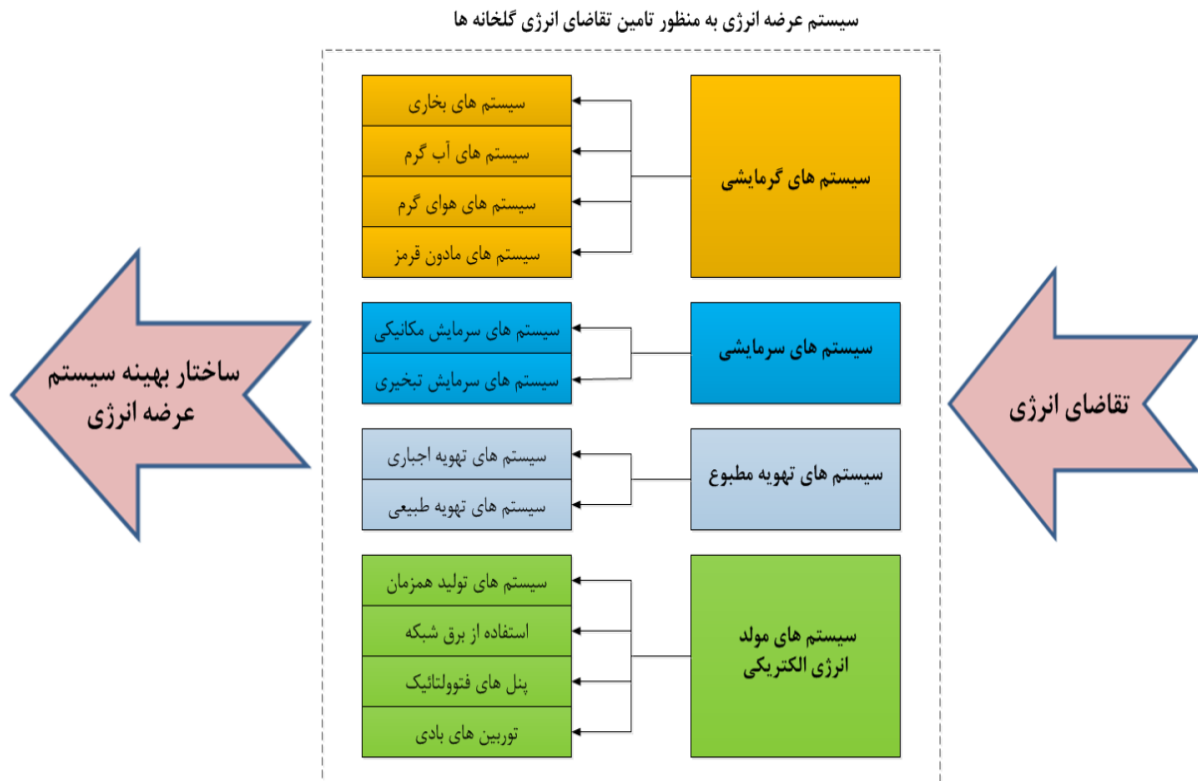
سرمایشی این روش نسبت به روش مه‌زنی کمتر است و تولید پساب می‌کند. روش فن و پد به آب تمیز برای مرطوب نگه‌داشتن پد ها نیاز دارد که باوجود محدودیت منابع آبی یک چالش محسوب می‌شود.

۳- **مه‌زنی** : روش مه‌زنی بر اساس تبدیل آب به شکل قطرات ریز با قطر ۲ تا ۶۰ میکرومتر است. این امر تبادل گرم و حرارت بین آب و هوا را به دلیل افزایش سطح تماس افزایش می‌دهد. به دلیل اندازه کوچک ذرات، این قطرات با جریان هوا به‌خوبی حرکت می‌کنند، و در نهایت تبخیر می‌شوند. به این ترتیب روش مه‌زنی، تبخیر کارآمد آب را به دنبال دارد به طوری که شاخ و برگ گیاه خشک باقی می‌ماند [۲۶]. اکثر سیستم‌های مه‌زنی، بر پایه نازل‌های فشارقوی با هزینه پایین و کارایی سرمایشی بالا کار می‌کنند [۲۶]. در این گونه سیستم‌ها پیشنهاد می‌شود دریچه‌های سقفی یکنواخت باشند، فن‌ها در دیواره‌های جانبی تعبیه شوند و نازل‌ها به‌طور یکنواخت در ارتفاع سازه توزیع شوند. هوایی که از طریق دریچه‌های سقفی وارد گلخانه می‌شود، قطرات آب را با خود می‌برد و آب در جهت جریان تبخیر می‌شود. در نتیجه هوا با تبخیر آب در ورودی و با حرکت در گلخانه خنک می‌شود و حرارت اضافی را جذب می‌نماید. چنین آرایشی در گلخانه باعث یکنواختی شرایط محیطی در بازه مطلوب، کنترل مناسب و ساده شرایط و کاهش اثر باد، احداث گلخانه در واحدهای بزرگ و در نتیجه بهره‌وری بهتر از زمین و کاهش بسزای هزینه بر واحد سطح سازه می‌گردد. مشکل اصلی روش مه‌زنی شامل مشکلات فنی نازل‌ها به دلیل گرفتگی و کنترل مناسب اسپری آب و عملکرد فن است.

۴- **استفاده از سایبان** : ایجاد سایه در گلخانه یک روش کارآمد برای کنترل دمای بالا است. این روش به‌طور مستقیم بار حرارتی گلخانه را کاهش می‌دهد و از شدت تابش پرتوهای خورشید بر روی شاخ و برگ گیاهان می‌کاهد. طراحی سایبان باید با توجه به نیاز نوری گیاه انجام شود. بکارگیری سایبان به همراه تهویه مناسب اغلب به‌عنوان یک روش کارآمد برای سرمایش گلخانه‌ها محسوب می‌شود [۲۱].

۵- استفاده از رنگ‌ها : به‌کارگیری رنگ‌هایی که نسبت به نور به‌صورت انتخابی عمل می‌کنند در بسیاری از گلخانه‌ها متداول می‌باشند. این رنگ‌ها بر روی سقف گلخانه اسپری می‌شوند تا از شدت تابش خورشید کاسته شود. کاربرد این رنگ‌ها شدت نور را زمانی که میزان تابش زیاد نیست نیز کاهش می‌دهد که این مسئله منجر به کاهش رشد گیاه و تولید محصول می‌شود. به‌کارگیری این رنگ‌ها بایستی به‌صورت پراکنده و عمدتاً در مناطقی که پوشش گلخانه در تماس با تابش مستقیم خورشید است نصب شوند. مزیت برخی از رنگ‌ها این است که در پایان فصل گرم می‌توانند پاک شوند.

شماتیک کلی سیستم‌های متداول عرضه انرژی گلخانه‌ها به‌صورت یک طرح مفهومی کلی در شکل ۱۲ ترسیم شده است.



شکل ۱۲: سیستم عرضه انرژی به‌منظور تأمین تقاضای گلخانه‌ها



روزآمد : ۹۷/۰۲/۲۵

دانشگاه صنعتی شریف - دانشکده مهندسی انرژی

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



جدول ۳ به صورت خلاصه مجموعه سیستم‌های مختلف عرضه انرژی متداول و سیستم‌های مورد بررسی در مطالعات موردی برای تأمین تقاضای انرژی در گلخانه‌ها را بیان می‌کند.



جدول ۳: دسته‌بندی انواع مختلف فناوری‌های عرضه انرژی در گلخانه‌ها

مرجع	فناوری‌های مورد استفاده	سیستم عرضه انرژی
۲۴	بویلرهای مولد بخار و آب گرم	سیستم‌های گرمایشی
۲۷	سیستم‌های تولید هم‌زمان برق و گرما	
۲۸	سیستم‌های حرارتی خورشیدی	
۲۹	سیستم‌های پمپ حرارتی زمین‌گرمایی	
۳۰	مبدل‌های گرمای نهان	
۳۱	استفاده از مواد تغییر فاز دهنده	
۲۱	سیستم‌های سرمایش مکانیکی	سیستم‌های سرمایشی
۳۲	سیستم تبادل حرارت با مخازن زیرزمینی	
	نصب سایبان	
۲۱	استفاده از رنگ‌های کاهش‌دهنده شدت نور	
	سیستم‌های آب‌پاشی	
۳۳	سیستم فن و بالشتک	
۳۴	سیستم‌های مه‌زنی	
۳۵	فن‌های دور ثابت	سیستم‌های تهویه اجباری
	فن‌های دور متغیر	
۲۱ و ۲۷	نصب دریچه‌های دیواره جانبی	سیستم‌های تهویه طبیعی
	دریچه ثابت	
	دریچه تمام خودکار	
۲۹	سیستم‌های تولید هم‌زمان برق و گرما	سیستم‌های مولد انرژی الکتریکی
	به‌کارگیری برق شبکه	
۲۱	پنل‌های فتوولتائیک	توربین‌های بادی
	توربین‌های بادی	

۴- مطالعات تطبیقی و تجربیات بین‌المللی در توسعه گلخانه‌های انرژی کارآمد و سبز

مطالعات انجام شده در زمینه گلخانه‌های انرژی کارآمد و سبز را می‌توان به‌طور کلی در چهار حوزه "مقالات و نشریات علمی، شرکت‌های فعال، استانداردها و دستورالعمل‌ها و تجربیات توسعه گلخانه‌ها" دسته‌بندی کرد.

۳-۱- مقالات و نشریات علمی

افزایش جمعیت جهان و مصرف انرژی محققان و دانشمندان را به انجام تحقیقات و ارائه راه‌کارهایی در زمینه تولید مقدار مناسب غذا و انرژی وادار کرده است. به‌علاوه به دلیل تغییرات آب‌وهوایی و کمبود منابع آبی، توسعه تولیدات گلخانه‌ای در بخش کشاورزی بسیار مورد توجه قرار گرفته و هم‌اکنون مقالاتی در مورد مباحث مرتبط با گلخانه‌ها از جمله موضوع انرژی (گرمایش، سرمایش و روشنایی گلخانه‌ها) که سهم قابل‌توجهی در هزینه‌های عملکردی گلخانه دارد، منتشر شده است [۴۳ و ۴۴]. در بسیاری از کشورها، سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی بیشترین هزینه را در تولیدات گلخانه‌ای چه در بخش سرمایه‌گذاری چه در بخش بهره‌برداری محسوب می‌شوند. یکی از منابع جامع در این زمینه کتاب مهندسی گلخانه می‌باشد که در سال ۱۹۸۹ توسط آلدریچ و بارتک نگارش شده است. در این کتاب، تمام جوانب گلخانه از انتخاب نوع زمین و محل احداث گرفته تا نوع سازه و معیارهای انتخاب مواد پوششی متفاوت مورد بررسی قرار گرفته است. در مورد مصرف انرژی در گلخانه، در این کتاب تنها به معرفی تجهیزات تأمین انرژی گرمایشی و سرمایشی و راه‌حل‌های مهندسی برای کاهش مصرف سوخت اکتفا شده است [۵۱].

تقاضای انرژی در گلخانه

تقاضای حرارت در گلخانه، به‌صورت معمول با احتراق سوخت‌های فسیلی (دیزل، نفت، گاز) که دی‌اکسیدکربن زیادی تولید می‌کنند و یا با استفاده از گرم‌کن‌های برقی که مصرف بالای انرژی الکتریکی دارند، تأمین



می‌شود [۴۵]. مقالات منتشرشده در زمینه گلخانه‌ها با رویکردهای کلی: تخمین تقاضای انرژی در گلخانه، بررسی روش‌های صرفه‌جویی در مصرف انرژی گلخانه و میزان اثربخشی آن‌ها، کاربرد فناوری‌های انرژی کارآمد در جهت بهبود سیستم عرضه انرژی در گلخانه و به‌کارگیری منابع انرژی تجدیدپذیر، هستند. تخمین تقاضای انرژی در گلخانه‌ها با رویکردها و روش‌های مختلف مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است که در ادامه به بررسی آن‌ها پرداخته می‌شود.

کاریس و همکاران در سال ۱۹۸۴ میلادی میزان انرژی مصرفی ماهانه توسط گلخانه در اقلیم‌های مختلف آب‌وهوایی در یونان را مورد بررسی قرار دادند و با ارائه معادلات حاکم، مدلی را برای تخمین انرژی مورد نیاز ماهانه توسعه دادند [۵۰].

خدمات برنامه‌ریزی کانادا^۱ در سال ۲۰۰۶ با ارائه گزارشی جامع، نحوه محاسبه انرژی حرارتی مورد نیاز گلخانه را مورد بررسی قرار دارند. این گزارش تمام پارامترهای تأثیرگذار بر تقاضای حرارت را با جزئیات بررسی نموده و ثابت‌های انتقال حرارت برای مواد مختلف که در ساختار گلخانه استفاده می‌شود را ارائه داده است [۵۵].

استینس در سال ۲۰۰۸ مصرف انرژی گلخانه را مورد مطالعه قرارداد. ایشان در این کار تمرکز بسیاری بر راه‌حل‌های کاهش مصرف انرژی و استفاده از سوخت‌های مناسب‌تر جهت کاهش مصرف انرژی داشته است [۵۶].

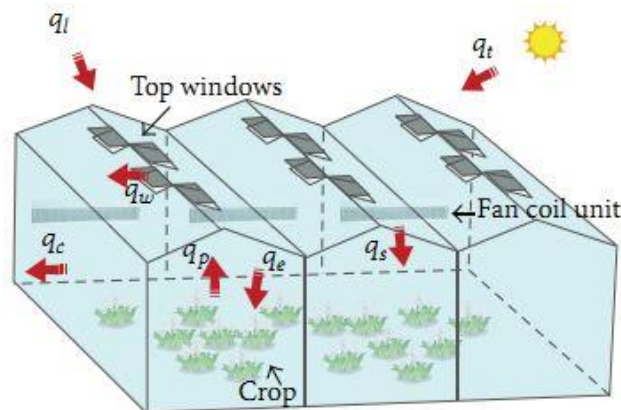
پیرا و همکاران در سال ۲۰۰۹ به پیش‌بینی میزان مصرف انرژی گلخانه‌ها با استفاده از مدل‌های شبکه عصبی پرداخته است. در سال‌های اخیر مدل‌های شبکه عصبی به‌عنوان یک روش‌شناسی کارا برای تخمین و پیش‌بینی میزان تقاضای انرژی شناخته‌شده‌اند، چراکه قابلیت یادگیری تابعیت پیچیده و غیرخطی پارامترها را دارند. آن‌ها می‌توانند مدل‌های غیرخطی را تخمین بزنند بدون آنکه تابعیت دقیق روابط مشخص باشد.

¹ Canada Plan Service

در گلخانه‌ها میزان مصرف انرژی بسیار وابسته به دما و رطوبت است. از آنجایی که در گلخانه‌های هوشمند، عملکرد تجهیزات کنترلی مختلف مانند فن‌ها و گرم‌کن‌ها بر اساس این پارامترها تعیین می‌شود، بنابراین می‌توان از شبکه عصبی برای تخمین دما و رطوبت نسبی گلخانه استفاده نمود. ورودی این مدل سرعت باد، دمای هوای بیرون، رطوبت نسبی و تابش خورشید است. این مدل شرایط محیطی و داخلی را به‌عنوان ورودی می‌گیرد و دمای هوای درون گلخانه و رطوبت نسبی آن را به‌عنوان خروجی پیش‌بینی می‌کند. دمای هوای گلخانه، رطوبت نسبی پیش‌بینی‌شده و زمان و میزان مصرف انرژی که اطلاعات تاریخی هستند، به‌عنوان ورودی به مدل دیگر شبکه عصبی وارد شده و میزان مصرف انرژی در زمان‌های مختلف خروجی این مدل است [۵۸].

جعفری در سال ۲۰۱۳ تأثیر اقلیم‌های متفاوت آب‌وهوایی بر میزان مصرف انرژی گلخانه‌ها در کشور ایران مورد بررسی قرار داده است. ایشان شهر آستارا را به‌عنوان مطالعه موردی انتخاب نموده است و مسائل مربوط به اقلیم و مصرف انرژی در آن شهر را مورد بررسی قرار داده است [۶۱].

چن و همکاران در سال ۲۰۱۵ مدلی برای تخمین تقاضای گلخانه ارائه دادند. در این پژوهش از موازنه انرژی در فضای گلخانه به‌منظور تخمین تقاضا استفاده شده است. چنانچه فضای گلخانه را مانند آنچه در شکل ۱۳ ارائه شده است، تصور کنید کلیه مکانیزم‌های انتقال حرارت در گلخانه قابل مشاهده است [۶۲].



شکل ۱۳: مکانیزم‌های انتقال حرارت در فضای گلخانه



موازنه انرژی در فضای گلخانه تحت تأثیر پارامترهای مختلفی قرار می‌گیرد که شامل پارامترهای داخلی گلخانه مانند جریان حرارت و رسانش و نفوذ بخار آب و پارامترهای خارجی شامل تابش خورشید، دمای هوا می‌باشند. موازنه حرارتی در گلخانه به‌عنوان نرخ تغییرات دمایی تعریف می‌شود و میزان انرژی که می‌بایست تأمین شود تا دمای مناسب گلخانه حفظ گردد.

مدیریت انرژی در گلخانه

دسته دیگر مقالات به بررسی روش‌های کاهش مصرف انرژی در گلخانه‌ها و میزان اثربخشی آن‌ها بر کاهش تقاضای انرژی پرداختند. این مقالات در ادامه مورد بررسی قرار می‌گیرند.

پاشایی و همکاران در سال ۱۳۸۵ به بررسی و تعیین میزان مصرف انرژی برای تولید گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای در گلخانه‌های استان کرمانشاه پرداختند. ایشان در این مقاله برای مقایسه عملکرد گلخانه‌ها از نظر میزان مصرف انرژی از ممیزی انرژی استفاده نمودند. ایشان با معرفی شاخص‌های انرژی در بخش کشاورزی از قبیل نسبت انرژی، بازده خالص انرژی و بهره‌وری انرژی به مقایسه عملکرد گلخانه‌های استان کرمانشاه از نظر مصرف انرژی پرداختند. پژوهش ایشان از نظر بررسی میزان مصرف انرژی گلخانه‌های ساخته‌شده بسیار کاربردی است [۴۶].

کوهی و شهرکی در سال ۱۳۸۶ در اولین کارگاه فنی ارتقاء کارایی مصرف آب با کشت محصولات گلخانه‌ای به بررسی سیستم‌های گرمایش، برودتی و تهویه گلخانه پرداختند. ایشان در پژوهش خود با تمرکز بر روش‌های اتلاف حرارتی به بررسی فاکتورهای مهم اتلاف حرارت پرداخته و پیشنهادهایی جهت بهبود طراحی و ساخت گلخانه‌ها دادند. ایشان همچنین تأثیر استفاده از سازه‌های متفاوت با در نظر گرفتن مواد مختلف را مورد بررسی قرار دادند

[۴۷].



مزیدی شرف‌آبادی در سال ۱۳۸۹ به مطالعه یک طرح گلخانه پیشرفته و بررسی سیستم سرمایش، گرمایش و تهویه مطبوع آن پرداختند. ایشان در این راستا به طراحی ساختار گلخانه توجه ویژه‌ای داشته و روابط میان ابعاد گلخانه و همچنین ویژگی‌های سازه‌های پیشرفته و مدرن در ساخت گلخانه را مورد بررسی قرار دادند [۴۸].

احمدی و بناکار در سال ۱۳۹۰ در اولین کنفرانس بین‌المللی رویکرد نوین نگهداشت انرژی به موضوع مصرف انرژی در گلخانه‌ها و راهکارهای افزایش کارایی انرژی مصرفی پرداختند. ایشان نیز با اشاره به مصرف انرژی زیاد گلخانه‌ها درصدد ارائه راه‌حل‌های مناسب و مهندسی جهت کاهش میزان انرژی مصرفی گلخانه‌ها درآمدند [۴۹].

رابرتس و همکاران در سال ۱۹۹۸ مواد مختلف مورد استفاده در ساخت گلخانه و تأثیر آن‌ها بر انرژی مورد نیاز برای روشنایی گلخانه را مورد بررسی قرار دادند. اگرچه پژوهش ایشان بیشتر جنبه پیشنهاد در راستای انتخاب بهتر مواد بوده است، اما راه‌کاری جامع برای انتخاب مواد برای روشنایی مناسب ارائه نداده است [۵۳].

فولر و همکاران در سال ۲۰۰۲ تأثیر عایق‌بندی در میزان تقاضای حرارتی گلخانه را بررسی کردند. ایشان از عایق‌های متفاوت با هزینه‌های مختلف استفاده نموده و چارچوب کلی برای انتخاب نوع عایق در گلخانه‌ها ارائه دادند. تصمیم‌گیرندگان با استفاده از کار آن‌ها متناسب با قیمت سوخت و قیمت نوع عایق، سیستم عایق‌بندی گلخانه را به صورت بهینه انتخاب نمایند [۵۴].

لاتیمر در سال ۲۰۰۹ به موضوع هزینه بالای انرژی مصرفی در گلخانه‌ها پرداخته است. ایشان نیز برای کاهش مصرف انرژی و هزینه ناشی از آن به ارائه پیشنهادهایی در این زمینه پرداخته است [۵۷].

سانفورد در سال ۲۰۱۱ به مرور کلی روش‌های جدید کاهش هزینه‌ها از طریق کاهش مصرف انرژی در گلخانه‌ها پرداخته است [۵۹].



سرویس حفاظت از منابع طبیعی امریکا^۱ در سال ۲۰۱۳ یک گلخانه نمونه در نیوجرسی را مورد مطالعه قرار داده و کلیه مسائل مربوط به کارآمد بودن این گلخانه از نظر مصرف انرژی را مورد بررسی قرار داده است [۶۰]. تابش حرارتی، مکانیزم غالب در اتلاف حرارت از گلخانه در طول شب مخصوصاً در آسمان صاف است [۶۹]. به‌منظور کاهش این نوع اتلاف، صفحات حرارتی به هنگام غروب روی محصولات کشیده می‌شوند و هنگام طلوع خورشید برداشته می‌شوند. این روش اتلاف حرارتی در طول شب را ۳۵ تا ۶۰ درصد کاهش می‌دهد [۷۰]. علاوه بر کاهش تابش حرارتی، این صفحات که نسبت به هوا نشت ناپذیر هستند، حجم هوای گلخانه که نیاز به گرمایش دارد را کاهش می‌دهد و یک شکاف هوای اضافی بین محصول و سقف گلخانه ایجاد می‌کند که انتقال حرارت به محیط را کاهش می‌دهد [۷۱]. بنابراین دمای هوای داخل گلخانه بیشتر از زمانی خواهد بود که صفحات حضور ندارند. چون صفحات تابش حرارتی را کاهش می‌دهند، اتلاف حرارتی تابشی از محصول کاهش یافته و دمای آن افزایش می‌یابد.

وکس و همکاران در سال (۲۰۱۰) متذکر شدند که یکی دیگر از روش‌های صرفه‌جویی انرژی استفاده از پوشش‌های دولایه است. این نوع پوشش می‌تواند دولایه شیشه همراه با یک لایه هوا بین آن‌ها یا دولایه پوشش پلاستیکی که توسط دمنده هوا متورم شده است، باشد. هدف از این ایده، افزایش مقاومت حرارتی هدایتی پوشش گلخانه است. اگرچه این روش حدود ۴۰ درصد صرفه‌جویی را به دنبال دارد اما به دلیل کاهش سطح نور در طول روز و کاهش بازدهی تولید محصول و تأخیر در تولید آن، چندان پذیرفته شده نیست [۲۱].

تیتل در سال (۲۰۰۴) به‌منظور کنترل سرعت چرخش فن‌ها از فن‌های سرعت متغیر استفاده نمود که منجر به حدود ۲۵ تا ۳۰ درصد در مصرف انرژی صرفه‌جویی شد [۳۵]. در واقع کاهش سرعت می‌تواند مصرف انرژی به ازای حجم هوای جابجا شده را بیش از ۷۰ درصد کاهش دهد. همچنین تولید توان فن با استفاده از سیستم‌های

¹ Natural Resources Conservation Service



فتوولتائیک جالب به نظر می‌رسد. هرچند این سیستم‌ها هزینه سرمایه‌گذاری را بالا می‌برند، اما در مناطقی که دسترسی به شبکه برق امکان‌پذیر نیست، مطلوب می‌باشند [۷۲].

سیستم عرضه انرژی در گلخانه

دسته دیگر از مقالات با رویکرد استفاده از کاربرد فناوری‌های انرژی کارآمد در جهت بهبود سیستم عرضه انرژی منتشر شده‌اند که در ادامه بررسی خواهند شد.

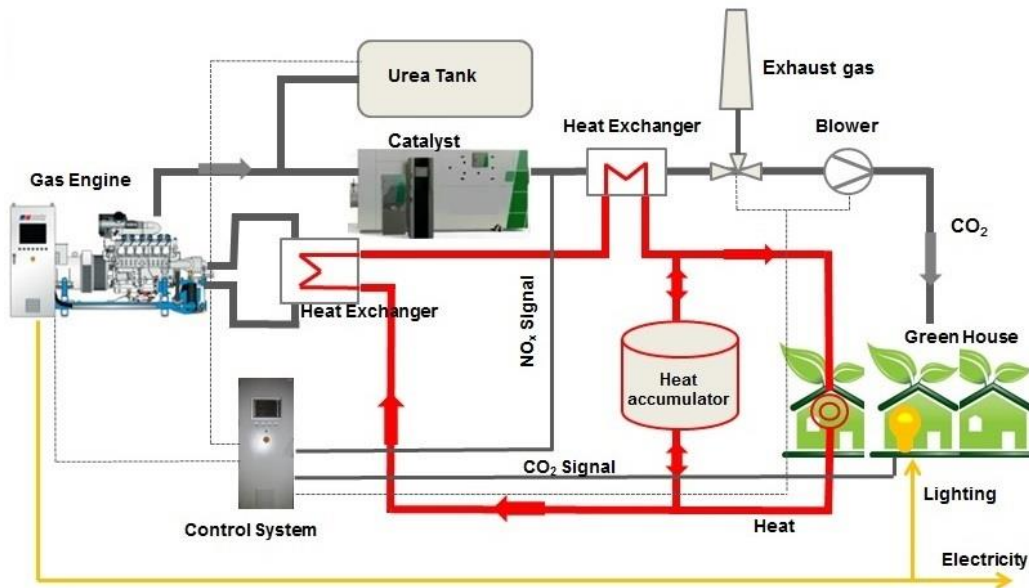
یک دیدگاه که به صورت دینامیک محیط گلخانه را بر مبنای منابع در دسترس برای فتوسنتز کنترل می‌کند توسط اوتوسن و همکارانش در سال (۲۰۰۶) توسعه داده شده است. در این مطالعه نشان داده شد که بین ۲۵ تا ۴۸ درصد صرفه‌جویی انرژی بدون تحت تأثیر قرار دادن کیفیت محصول و زمان تولید با به‌کارگیری سیستم‌های پایش و کنترل لحظه‌ای به‌منظور تنظیم دما و غلظت دی‌اکسید کربن قابل دستیابی بوده است [۶۳].

گرمایش کف به‌منظور تأمین حرارت مورد نیاز گیاه گزینه مطلوبی است [۶۴]. ماسه، بتن متخلخل، بتن جامد و یا شن می‌توانند به‌عنوان مواد تشکیل‌دهنده کف استفاده شوند. برای سیستم گرمایش از کف لوله‌ها ۱۰ سانتی‌متر زیر بتن متخلخل یا ۳۰ سانتی‌متر زیرزمین دفن می‌شوند. گرمایش از کف معمولاً برای نگهداشتن واحد در دمای مطلوب کافی نیست و تجهیزات توزیع گرما نیز همچنان نیاز است.

به‌منظور بهبود عملکرد سیستم‌های تولید هم‌زمان برق و گرما، دی‌زورات [۶۶] از یک مدل شبیه‌سازی به‌منظور تعیین میزان صرفه‌جویی انرژی با استفاده از تجهیزات ذخیره‌کننده گرما در اندازه‌های متفاوت استفاده نموده است.

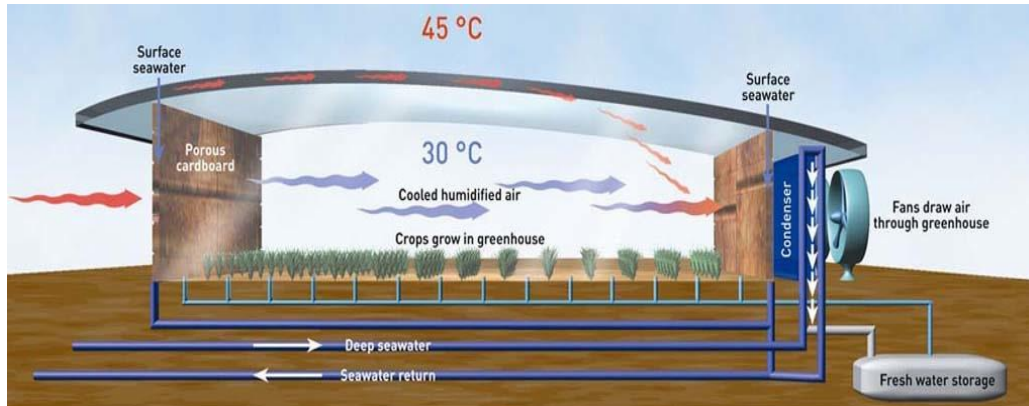
هامر و لانگتون در سال (۲۰۰۵) به‌منظور بررسی تأثیر بازدهی و هزینه به‌کارگیری واحدهای تولید هم‌زمان بر اساس میکروتوربین در تولید گیاهان زینتی گلخانه‌ای از روش‌های شبیه‌سازی استفاده کرده‌اند. در این مطالعه

علاوه بر میکروتوربین سیستم ذخیره گرمایی و یک بویلر کمکی نیز در نظر قرار گرفته شده است. نتایج حاصل از تحلیل انرژی در این سناریو با حالت تولید گرمایش توسط بویلرهای مرسوم و استفاده از برق شبکه به منظور تأمین روشنایی مورد نیاز مقایسه گردیده است. نتایج حاصل از این پژوهش بیان می‌کند که استفاده از سیستم تولید هم‌زمان بین ۳۰ تا ۴۲ درصد در هزینه‌های جاری صرفه‌جویی داشته است. استفاده از سیستم میکروتوربین میزان انتشار دی‌اکسید کربن را بین ۲۵ تا ۳۵ درصد کاهش داده است. شکل ۱۴ شماتیک تأمین برق، گرمایش و دی‌اکسید کربن برای یک گلخانه توسط سیستم تولید هم‌زمان را نشان می‌دهد [۶۷].



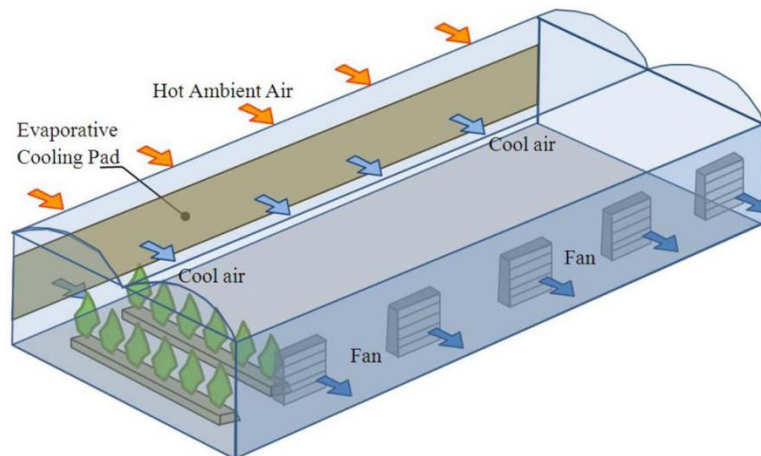
شکل ۱۴: سیستم تولید هم‌زمان به منظور تأمین گرمایش، برق و دی‌اکسید کربن گلخانه

داویس و همکاران در سال (۲۰۰۶) در یک مطالعه موردی از آب دریا به جای آب تمیز در سرمایه‌گذاری تبخیری کارا استفاده نموده است [۳۵]. شکل ۱۵ چنین سیستمی را تشریح می‌کند.



شکل ۱۵: استفاده از آب دریا در سیستم سرمایش گلخانه

پدها به دو دسته عمودی و افقی تقسیم‌بندی می‌شوند. در مناطقی که گردوغبار وجود دارد، پدهای افقی مناسب‌تر می‌باشند. اختلاف دمای بین ۳ تا ۷ درجه سلسیوس بین سیستم‌های فن و پد معمول است. زمانی که سیستم در مدار است، بایستی دریچه‌های تهویه بسته باشند. از طرفی به منظور جلوگیری از ایجاد مناطق گرم در گلخانه، پدها بایستی به صورت پیوسته باشند. شماتیک سیستم فن و پد در شکل ۱۶ نشان داده شده است.



شکل ۱۶: سیستم فن و پد در سرمایش گلخانه



اربل و همکاران در سال (۲۰۰۳) یک سیستم مه زنی در ترکیب با تهویه اجباری ارائه دادند. نتایج حاکی از آن است که دما و رطوبت گلخانه به ترتیب ۲۸ درجه سانتی‌گراد و ۸۰ درصد در اواسط یک روز تابستانی درحالی‌که دما و رطوبت محیط برابر ۳۶ درجه سانتی‌گراد و ۲۵ درصد بوده‌اند، قابل‌دستیابی بوده است. بر این اساس، شرایط هوای داخل گلخانه کاملاً یکنواخت گزارش شده است [۳۴].

یک سیستم آب‌پاشی به‌منظور جمع‌آوری انرژی از پوشش گلخانه در زمان‌هایی که حرارت مازاد وجود دارد توسط دی زوارت در سال (۲۰۰۵) ارائه داده شد. او نشان داد که چنین سیستمی بیش از ۵۰۰ مگاژول حرارتی به ازای هر مترمربع در هر سال جمع‌آوری می‌کند که فرصتی برای صرفه‌جویی همین مقدار سوخت فسیلی معادل با ۱۶ مترمکعب گاز طبیعی به ازای مترمربع در هر سال است [۷۳].

همان‌گونه که تاکنون دیده شد، در سال‌های اخیر تمرکز اکثر پژوهشگران بر روی توسعه فناوری‌ها و روش‌های پایدار برای طراحی سیستم عرضه انرژی، در جهت تأمین تقاضای انرژی گلخانه‌ها بوده است. این روش‌ها در تبدیل گلخانه‌های مرسوم به گلخانه‌های با مصرف انرژی نزدیک به صفر تأثیر بسزایی داشته‌اند. همچنین در روش‌هایی که طراحی گلخانه‌ها از مراحل ابتدایی آن به مهندسی انرژی سپرده می‌شود، سازه گلخانه به نحوی طراحی می‌شود که از حداکثر پتانسیل‌های محلی در راستای کاهش استفاده از منابع فسیلی استفاده شود.

از آنجا که بخش اعظم تقاضای گلخانه‌ها مربوط به تقاضای انرژی گرمایشی آن‌ها است، لذا اکثر سیستم‌های متداول عرضه‌کننده انرژی بر این بخش تمرکز داشته‌اند. تنها روش‌های متداول تأمین‌کننده تقاضای انرژی الکتریکی گلخانه‌ها، استفاده از سیستم‌های تولید هم‌زمان برق و گرما و یا برق شبکه است. سایر روش‌ها شامل به‌کارگیری انرژی‌های تجدید پذیر در بخش بعدی بررسی می‌گردند.



بکارگیری منابع انرژی تجدیدپذیر در گلخانه

تأثیرات زیست‌محیطی منفی، منابع محدود سوخت‌های فسیلی و مصرف بالای انرژی و غذا باعث شده است که منابع انرژی پایدار مورد توجه قرار گیرد [۴۴].

یکی از این منابع، منابع انرژی خورشیدی است که به‌عنوان یک انتخاب سبز و پایدار مطرح می‌شود. بررسی انواع فناوری‌های کاربرد انرژی خورشیدی در سیستم‌های کنترل شرایط محیط گلخانه‌ای (سرمايش، گرمایش و روشنایی) که شامل سیستم‌های فتوولتائیک، کلکتورهای خورشیدی و پمپ‌های آبی فتوولتائیک است، در سال‌های اخیر در مقالات مختلفی مورد بررسی قرار گرفته است و معیارهای اقتصادی این سیستم‌ها و چالش‌های پیش روی توسعه آن‌ها ارائه شده‌اند.

در حال حاضر قیمت سوخت‌ها فسیلی در حال افزایش است [۷۴]، در نتیجه، یکی از چالش‌های پیش رو برای گلخانه‌ها، یافتن راه‌کارهایی است که بهره‌گیری از آن‌ها موجب بهبود بازده انرژی سیستم‌ها و به‌طور هم‌زمان کاهش مصرف انرژی نهایی و انتشارات دی‌اکسید کربن شود [۷۵].

انرژی در جهان مدرن امروز یکی از چالش‌های اصلی در زمینه رشد اقتصادی است و در این میان، انرژی خورشیدی یکی از منابعی است که بیشتر از سایر منابع انرژی تجدیدپذیر در بخش کشاورزی و سایر بخش‌های صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. بنابراین نگرانی‌های موجود در بحث امنیت انرژی می‌تواند با استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر مانند انرژی خورشیدی، در جهت کاهش انتشارات دی‌اکسید کربن و هزینه‌های سوخت کنترل شود. علاوه بر این، افزایش میزان توجه به موضوع امنیت غذا، حفظ محیط‌زیست و مصرف منطقی انرژی از ضروری‌ترین و مهم‌ترین مسائل در توسعه گلخانه‌ها است.



در چند دهه اخیر انرژی خورشیدی به علت بهبود فناوری و همچنین سیاست‌های حمایتی انرژی‌های تجدیدپذیر، افزایش یافته است. هرچند که فناوری‌های انرژی خورشیدی هزینه سرمایه‌گذاری نسبتاً بالایی دارند، اما از طرفی آن‌ها نیاز به سوخت ندارند، انتشار کربن بسیار کمی دارند، منابع آن‌ها پایدار هستند و هزینه تعمیرات و نگهداری کمی دارند [۷۶].

بیورن و همکارانش در سال (۲۰۱۵)، راهبرد مدیریت انرژی را به‌منظور کمینه کردن مصرف انرژی گلخانه تجاری پرورش گل سرخ به‌ویژه برای سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی پیشنهاد دادند [۷۷].

بوت و همکاران در سال (۲۰۰۵) یک گلخانه خورشیدی به‌منظور تولید محصول و بدون استفاده از سوخت‌های فسیلی توسعه دادند. بر اساس روش‌شناسی توسعه داده‌شده ابتدا سیستم گلخانه به‌گونه‌ای طراحی می‌گردد که حداقل نیاز به انرژی را داشته باشد، مرحله بعد متعادل نمودن دسترس‌پذیری منابع انرژی محیطی با تقاضای انرژی سیستم است و درنهایت سیستم به‌صورت لحظه‌ای کنترل خواهد شد. عایق بودن پوشش گلخانه اولین اقدام در راستای کاهش مصرف انرژی محسوب می‌شود. درعین حال پوشش گلخانه بایستی نسبت به عبور نور خورشید شفاف باشد. مقدار انرژی صرفه‌جویی شده نسبت به زمانی که صرفاً از سوخت‌های فسیلی استفاده شود، تا به اینجا ۴۰ درصد بوده است. گام بعدی، کاهش سوخت‌های فسیلی با دریافت انرژی خورشید در زمان تابستان با استفاده از مبدل‌های حرارتی و ذخیره آن در مخازن زیرزمینی در دمای متوسط، و استفاده از این حرارت در زمستان با استفاده از پمپ‌های حرارتی است. میزان انرژی صرفه‌جویی شده بیش از ۶۰ درصد گزارش شده است. شماتیک سیستمی یک گلخانه خورشیدی در شکل ۱۷ نشان داده شده است [۲۹].

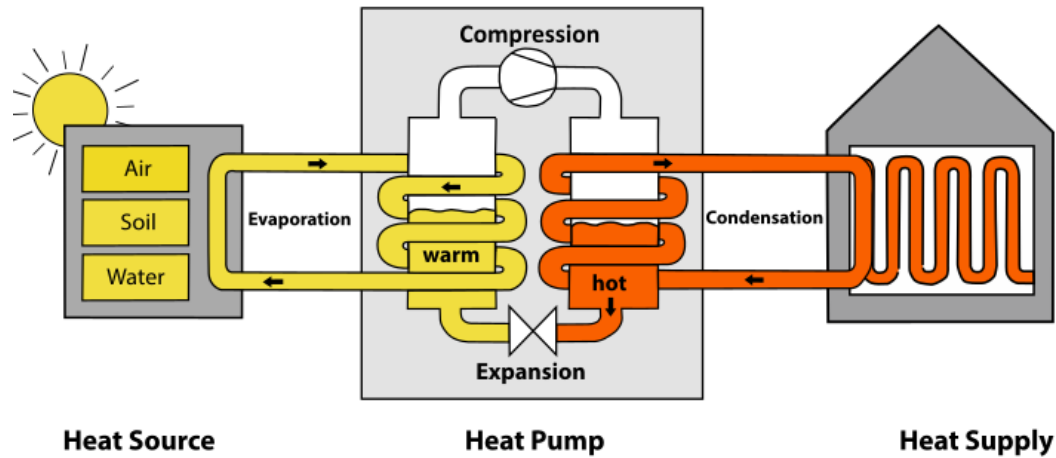


شکل ۱۷: نمونه یک نوع گلخانه خورشیدی

مدل جدیدی از مبدل گرمای نهان به‌منظور کاهش رطوبت نسبی هوا و گرمایش گلخانه توسط اساف در سال (۲۰۰۳) ارائه گردیده است. در این روش هوا در تماس مستقیم محلول نمک قرار می‌گیرد. با تماس هوای مرطوب با نمک، بخار روی نمک میعان می‌یابد. گرمای چگالش نمک را گرم می‌نماید و نمک گرم شده هوایی که رطوبت نسبی آن کاهش یافته را گرم می‌نماید و به محیط گلخانه ارسال می‌کند [۳۰].

مواد تغییر فاز دهنده نیز به‌منظور صرفه‌جویی انرژی در گرمایش گلخانه استفاده می‌شوند [۳۱]. در این روش حرارت در طول روز ذخیره می‌شود و در طول شب مورد استفاده قرار می‌گیرد. در یک مطالعه موردی با استفاده از این روش ۷ درصد در مصرف سوخت صرفه‌جویی شده است.

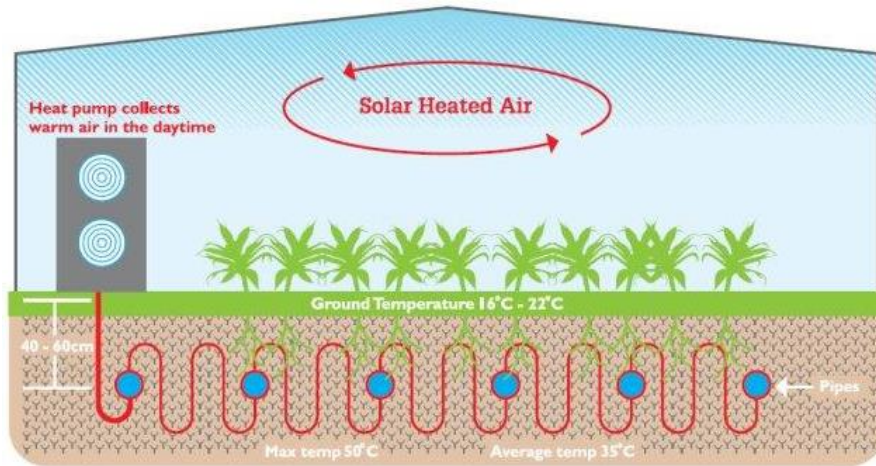
انرژی زمین‌گرمایی نیز به‌صورت گسترده‌ای برای گرمایش گلخانه‌ها استفاده شده است. حدود ۳۰ کشور در سطح جهانی از روش زمین‌گرمایی برای گرمایش گلخانه‌ها استفاده می‌نمایند. در حال این سیستم‌ها مشکلاتی نظیر هزینه بالای حفر چاه، لوله‌کشی، پمپاژ و مکان نامناسب حفر چاه خواهند داشت [۶۸]. شماتیک کلی چنین سیستمی در شکل ۱۸ نشان داده شده است.



شکل ۱۸: شماتیک استفاده از انرژی زمین‌گرمایی در گرمایش گلخانه‌ها

در مطالعه صورت گرفته توسط وولگاراکي و همکاران در سال (۲۰۰۸) با استفاده از ۹۰۰ مترمربع کلکتور خورشیدی و حجم ذخیره ۵۵۲ مترمکعب، حدود ۴۰ درصد از کل بار حرارتی با استفاده از انرژی خورشید تأمین شده است [۲۸].

در مطالعه صورت گرفته توسط کوزای و همکاران در سال (۱۹۸۹) حرارت خورشیدی مازاد در طول روز با چرخش هوای گرم در لوله‌های دفن شده در زمین ذخیره می‌شود. حرارت ذخیره‌شده از خاک به هوا در طول شب که نیاز به گرمایش است، آزاد می‌شود. شکل ۱۹ شماتیک این سیستم را نشان می‌دهد [۶۵].



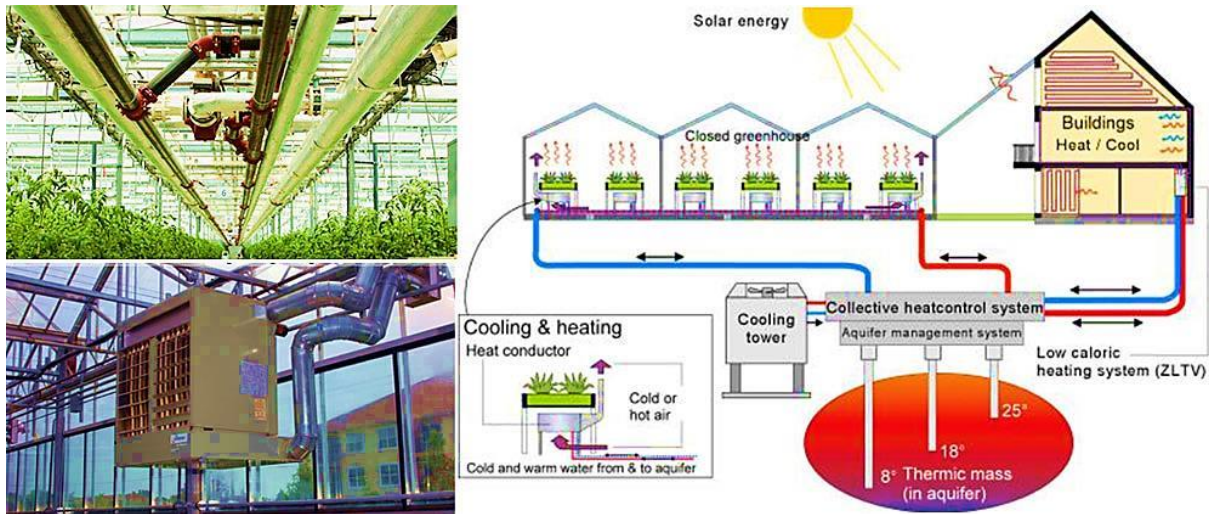
شکل ۱۹: ذخیره‌سازی حرارت مازاد خورشید در زیرزمین

آرگیوری و همکاران در سال ۱۹۹۴ یک گلخانه با مصرف انرژی کم با استفاده از انرژی خورشیدی طراحی و بهره‌برداری نمودند. نکته حائز اهمیت در کار آن‌ها، بررسی دقیق تغییرات دمایی و تابش خورشید در طول ماه و استفاده از آن در طراحی گلخانه بوده است [۵۲].

به‌صورت کلی دو نوع گلخانه خورشیدی وجود دارد که از انرژی خورشیدی برای اهداف گرمایشی استفاده می‌کنند. نوع اول، گلخانه‌های غیرفعال که بدون تجهیزات مکانیکی و به‌طور مستقیم از نور طبیعی خورشید بهره می‌برند [۴۴]. نوع دوم، گلخانه‌های فعال هستند که با تجهیزات خورشیدی مجهز شده‌اند و از کلکتورهای خورشیدی به همراه سیستم ذخیره‌ساز حرارت مستقل استفاده می‌کنند [۷۸ و ۷۹]. انرژی خورشید می‌تواند به‌وسیله جمع کردن و ذخیره‌سازی انرژی حرارتی در تابستان در یک گلخانه بسته، برای گرمایش گلخانه‌ها در زمستان نیز مورد استفاده قرار گیرند.

باکر و همکاران در سال (۲۰۰۶) یک سیستم سرمایش گلخانه با ذخیره حرارتی در یک مخزن آب زیرزمینی برای گلخانه کاملاً بسته را تشریح کرد. سیستم سرمایش بر مبنای استفاده از مبدل فاین وایر طراحی شده است و تأثیر

سیستم بر روی شرایط محیطی نظیر توزیع دما و رطوبت در گلخانه شبیه‌سازی شده و بر مبنای آن برای انتخاب چینهایی نهایی تصمیم‌گیری صورت گرفته است. شماتیک چنین سیستمی در شکل ۲۰ نشان داده شده است [۷۵].



شکل ۲۰: شماتیک استفاده از مخازن زیرزمینی در تأمین گرمایش یا سرمایش گلخانه

ستی و همکاری‌شان در سال (۲۰۱۳) گزارش کرده‌اند که استفاده از انرژی زمین‌گرمایی به‌وسیله سیستم‌های مبدل‌های حرارتی تیوپی زمین، سیستم‌های حرارتی لوله‌گرمایی و سیستم‌های پمپ‌های حرارتی با منبع زمینی می‌توانند بارهای حرارتی را به میزان ۷۰-۲۰ درصد کاهش دهند [۷۸]. استفاده مؤثر از سیستم‌ها پمپ گرمایی با منبع زمینی با فناوری مناسب در گلخانه‌های جدید، می‌تواند نقش مهمی را در آینده برای گرمایش، سرمایش و رطوبت‌سازی گلخانه‌ها ایفا کند [۸۰].

یانگ و همکاری‌شان در سال (۲۰۱۳) یک سیستم گرمایشی و سرمایشی که از انرژی حرارتی اضافی هوا و انرژی حرارتی آب زیرزمینی به‌عنوان منبع انرژی استفاده می‌کردند، طراحی نمودند. سیستم پمپ حرارتی آن‌ها شامل مخزن‌های ذخیره‌ساز حرارت دما پایین و بالا، واحدهای فن‌کوئل در گلخانه‌ها و منابع آبی زیرزمینی است [۸۱].



ایسن و همکارانش در سال (۲۰۱۳) به‌کارگیری منابع انرژی تجدید پذیر (بایوگاز، خورشید) برای گرمایش یک گلخانه در ترکیه شامل یک کلکتور خورشیدی صفحه تخت با محلول ضد یخ ۲۰٪ را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان می‌داد که انرژی خورشیدی می‌تواند در زیرزمین ذخیره شود و سپس از آن برای بالا بردن دمای شن‌ها و یا گرم کردن راکتورهای بایوگاز استفاده کند. همچنین سیستم‌های انرژی خورشیدی به‌عنوان سیستم‌های مستقل از شبکه امکان گرم کردن ذخیره‌ساز تا دمای بالا، متناسب با نیاز را نیز خواهد داشت [۸۲].

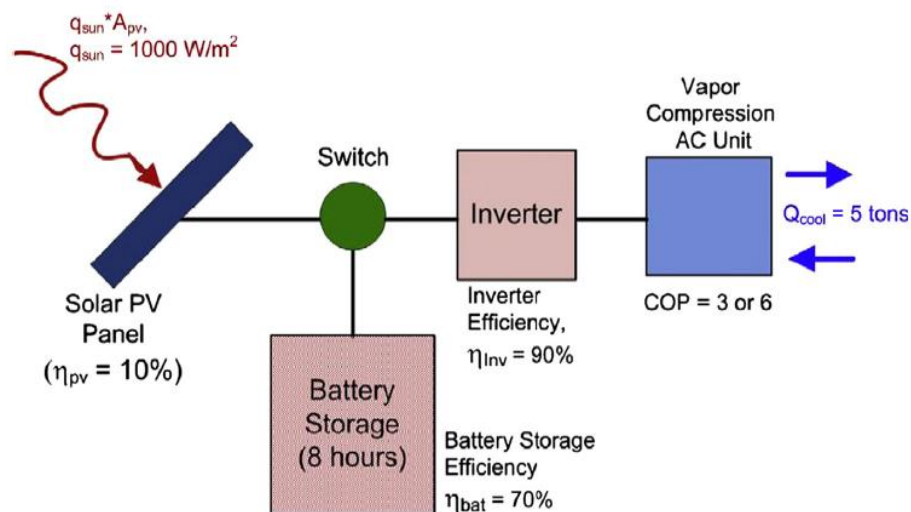
مهرپویا و همکارانش در سال (۲۰۱۵) عملکرد بهینه سیستم ترکیبی کلکتور خورشیدی و پمپ حرارتی زمین‌گرمایی را به‌منظور پاسخگویی مناسب به بار حرارتی برای گلخانه‌ها از نقطه نظر اقتصادی و فنی مورد بررسی قرار دادند. نتیجه آن‌ها نشان می‌داد که مدل انتخاب شده ضریب عملکرد فصلی متوسط برابر با ۴/۱۴ دارد. همچنین آن‌ها در کار خود ابعاد کلکتور و سایر تجهیزات مورد استفاده را نیز محاسبه کردند [۸۳].

یک سیستم سرمایشی گلخانه برای کاهش انرژی حرارتی انباشته شده از درون به بیرون گلخانه با استفاده از فناوری‌های مانند تهویه (طبیعی و اجباری)، کولرهای تبخیری (سیستم‌های فن-پد، سرمایش سقفی) مورد استفاده قرار می‌گیرد.

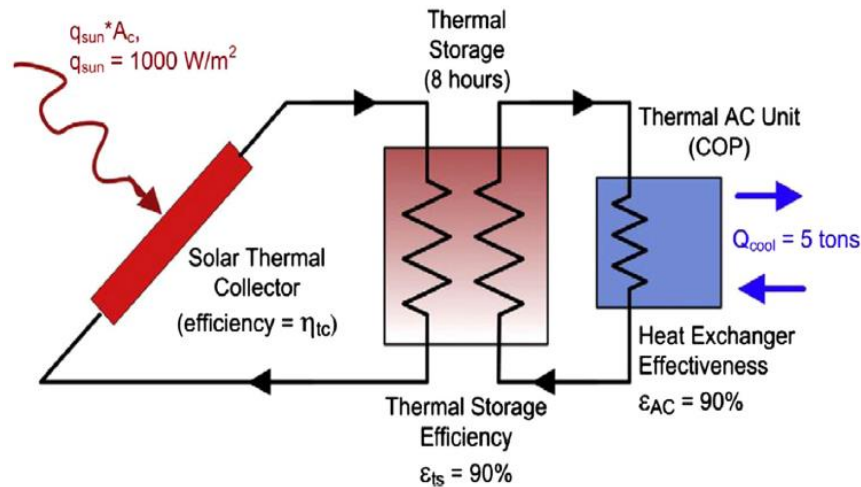
سلانگر و همکارانش در سال (۲۰۰۷) یک سیستم هیبریدی فتوولتائیک به‌منظور سرمایش یک گلخانه مورد بررسی قرار دادند. سیستم مورد بررسی آن‌ها شامل ۴۸ پانل فتوولتائیک ۱۸/۷۵ وات، یک مبدل، یک شارژ کنترلر و یک بانک باتری (شامل ۱۲ عدد باتری) است. بار مورد نظر تقاضای آن‌ها شامل ۲ فن برای سرمایش گلخانه با توان الکتریکی ۴۰۰ وات برای ۵ ساعت عملکرد در طول روز در نظر گرفته شده است. آن‌ها دریافتند که سیستم فتوولتائیک می‌تواند به‌عنوان برای تأمین الکتریسیته لازم برای تقاضای مورد نیاز بدون خریداری برق اضافه از شبکه مورد استفاده قرار گیرد [۸۴].

گنگولی و همکارانش در سال (۲۰۱۰) یک سیستم توان ترکیبی گلخانه شامل پانل‌های فتوولتائیک، الکترو لایزر و استک‌های پیل سوختی غشا پلیمری را بررسی و طراحی کردند. آن‌ها دریافتند که ۵۱ ماژول فتوولتائیک با توان ۷۵ وات با ۳/۳ کیلووات الکترو لایزر و ۲ استک پیل سوختی ۴۸۰ وات می‌تواند انرژی مورد نیاز یک گلخانه ۹۰ مترمربعی را با سیستم تهویه فن- بالشتک تأمین کند [۸۵].

شماری از فناوری‌های سرمایه‌ی خورشیدی مانند تکنولوژی‌های تهویه هوا بر اساس فتوولتائیک و سیستم‌های حرارتی خورشیدی وجود دارند. فناوری تهویه هوا بر اساس سیستم‌های فتوولتائیک از سیکل تهویه هوا بر اساس بخار فشرده متداول که انرژی الکتریکی ورودی به آن از طریق فتوولتائیک تأمین می‌شود، استفاده می‌کند. شماتیک این دو نوع سیستم سرمایه‌ی خورشیدی در شکل ۲۱ و شکل ۲۲ نشان داده است [۸۶].



شکل ۲۱: شماتیک سیستم سرمایه‌ی فتوولتائیک [۸۶]

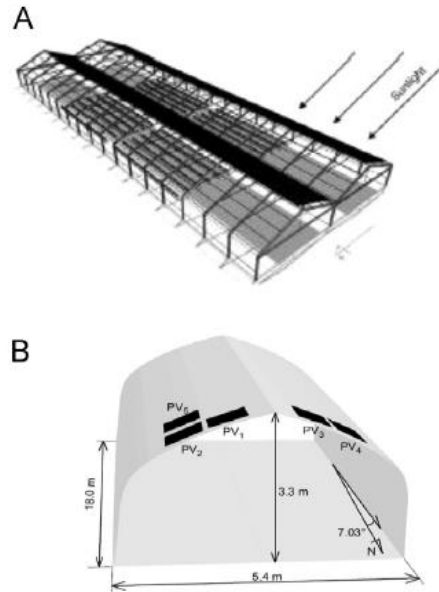


شکل ۲۲: شماتیک سیستم سرمایشی حرارتی خورشیدی [۸۶]

به‌طور معمول، گیاهان مختلف، مقادیر متفاوتی از روشنایی را برای رشد بهینه خود نیاز دارند. گیاهان به‌صورت عمده بر اساس وابستگی رشد آن‌ها به‌شدت روشنایی مورد نیاز، به گیاهان انرژی بالا یا روز طولانی و گیاهان انرژی پایین یا روز کوتاه دسته‌بندی می‌شوند. برای تأمین این انرژی الکتریکی مورد نیاز برای روشنایی، استفاده از سیستم‌های فتوولتائیک در سقف گلخانه‌ها نه‌تنها بار انرژی را کاهش می‌دهد بلکه انرژی مورد نیاز برای روشنایی مصنوعی در زمستان و تهویه اجباری را در تابستان فراهم می‌کند [۸۷].

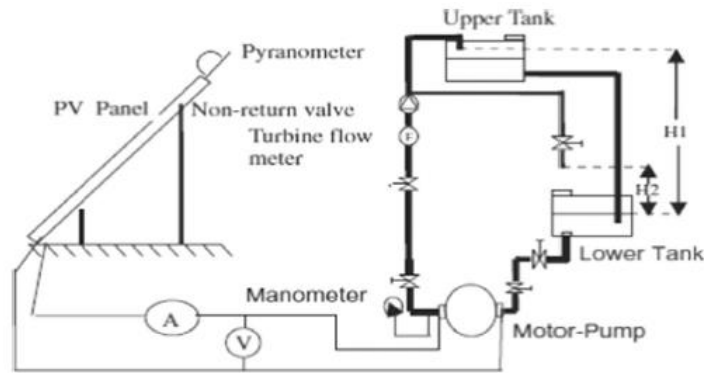
کوسو و همکارانش در سال (۲۰۱۴) اثر سایه بر روی آرایه‌های فتوولتائیک را در یک گلخانه شرقی-غربی با هدف تولید سیب‌زمینی که ۵۰ درصد از پشت‌بام با پانل‌های فتوولتائیک پوشیده شده بود، را مورد بررسی قرار دادند. در عین حال آن‌ها روشنایی طبیعی را در کنار توان روشنایی اضافی که توسط پانل‌ها تولید می‌شود را مورد استفاده قرار دادند و با یکدیگر ترکیب کردند که شماتیک سیستم آن‌ها در شکل ۲۳ نشان داده شده است. آن‌ها دریافتند که نصب پانل‌های فتوولتائیک دسترسی به تابش خورشید را در درون گلخانه به میزان ۶۴ درصد کاهش می‌دهد. بنابراین طراحی بهینه سیستم فتوولتائیک هم برای تأمین انرژی و هم برای تولید محصولات باکیفیت امری ضروری

است. [۸۸]



شکل ۲۳: نصب پانل‌های فتوولتائیک در بام گلخانه در ایتالیا. 50 (A) درصد مساحت سقف به‌وسیله گلخانه پوشیده شده است. 5/1 (B) درصد مساحت سقف به‌وسیله گلخانه پوشیده شده است.

استفاده از سیستم‌های فتوولتائیک برای کاربرد آبیاری در دهه گذشته و به‌خصوص در نواحی بیابانی و دورافتاده که منبع تولید برق در دسترس نیست، افزایش یافته است. مطالعات سیستم‌های پمپ آب فتوولتائیک مرتبط با کاربردهای آبیاری به‌صورت چشمگیری افزایش یافته است و به‌منظور دستیابی به مدیریت کارآمدتر تقاضای آب در مناطق دورافتاده و بیابانی، دبی آب مورد نیاز پیش‌بینی می‌شود. یکی از روش‌های ممکن برای توسعه این سیستم‌ها در شکل ۲۴ نشان داده شده است [۸۹].



شکل ۲۴: دیاگرام شماتیک سیستم پمپ آب خورشیدی [۸۹]

به‌صورت خلاصه، انرژی خورشیدی در گلخانه‌های کشاورزی در سیستم‌های کنترل محیطی به‌ویژه سیستم‌های گرمایش، سرمایش، روشنایی و آبیاری مورد استفاده قرار می‌گیرند که هر یک به‌صورت مختصر بیان شدند. در میان سیستم‌های گرمایشی خورشیدی، سیستم‌های گرمایش خورشیدی عملکرد کلی بهتری را از خود نشان می‌دهند. همچنین استفاده از این سیستم‌های خورشیدی باعث کاهش تولید انتشارات گاز کربن دی‌اکسید خواهد شد. اما درعین حال برای کمینه کردن هزینه این سیستم‌ها و همچنین تأمین انواع تقاضا، طراحی بهینه این سیستم‌ها خورشیدی متناسب با نوع گلخانه و موقعیت اقلیمی آن امری مهم و ضروری می‌باشد.



۳-۲- شرکت‌های فعال

در دهه اخیر با توجه به اهمیت گلخانه‌ها، تعداد شرکت‌های فعال در زمینه گلخانه و مباحث مختلف مرتبط با آن‌ها در حال افزایش است. در این قسمت، فهرست تعدادی از شرکت‌های فعال در زمینه گلخانه به همراه شرح مختصری از خدمات آن‌ها ارائه شده است.

شرکت بین‌المللی گلخانه مگااستور (IGC):^۱

خدمات ارائه شده در این شرکت تجاری شامل ساخت و نصب گلخانه با توجه به انواع ویژگی آن‌ها از جمله جنس دیواره‌های گلخانه، تأمین لوازم جانبی داخل گلخانه‌ها، تأمین مواد و تجهیزات مورد نیاز برای رشد گیاهان و همچنین نصب سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی است. سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی ارائه شده توسط این شرکت شامل گرم‌کن‌های برقی، فن‌های تهویه هوا، شاترهای درونی پنجره‌ها، کولرهای تبخیری، سیستم‌های کنترل مه آلودگی و گردوغبار، فن‌های گردش هوا، سیستم‌های کنترل و مانیتورینگ شرایط گلخانه (دما، رطوبت) است [۹۰].

شرکت گلخانه کدر^۲

خدمات این شرکت شامل تولید، طراحی و نصب گلخانه‌های تجاری با کیفیت بالا است. جنس دیواره‌های این گلخانه‌ها شامل یک پلاستیک نه لایه است که دارای امنیت بالا و هزینه نگهداری پایین تری نسبت به شیشه است و برای شرایط آب‌وهوایی متفاوت، مناسب است. شش گلخانه توسط این شرکت به‌عنوان مطالعه موردی طراحی و نصب شده است. سیستم‌های تهویه هوا در لحظه طراحی و نصب چهارچوب و بدنه ساختمان گلخانه تعبیه می‌شوند. این سیستم تهویه بر اساس یک کنترل‌کننده بنا شده است. به‌گونه‌ای بر اساس نیاز به‌صورت دستی یا خودکار

¹ International GreenHouse Company, GreenHouse Megastore

² Keder GreenHouse



پره‌های آن می‌تواند به میزان ۱۳۰۰ میلی‌متر پایین بیایند و حداکثر میزان تهویه و سرعت باد را داشته باشند. این سیستم نیز می‌تواند بر اساس نوع دمای مورد تقاضا به صورت اتوماتیک کنترل شود [۹۱].

شرکت گلخانه تجاری برادران روف (RBI)^۱

خدمات این شرکت شامل: طراحی مهندسی، ساخت و نصب گلخانه‌های پرورش گل‌ها، سبزیجات و جلبک‌ها است. این شرکت از روش‌های توسعه گلخانه‌های پایدار شامل روش‌های افزایش طول عمر گلخانه، استفاده از تجهیزات با بازده بالای انرژی و نیاز تعمیراتی پائین برای طراحی گلخانه استفاده می‌کند. علاوه بر ساختار گلخانه، نصب سیستم‌های سرمایش و گرمایش، سیستم‌های تهویه، سیستم‌های روشنایی و سایبان‌ها، سیستم‌های نظارت و پایش لحظه‌ای شرایط گلخانه نیز جزء خدمات این شرکت محسوب می‌شود [۹۲].

شرکت نوآوری‌های خورشیدی در گلخانه^۲

خدمات این شرکت شامل نصب گلخانه‌های با ابعاد و جنس‌های متفاوت است. جنس چارچوب مورد استفاده برای این گلخانه‌های آلومینیوم است. ویژگی اصلی گلخانه‌های نصب‌شده توسط این شرکت، شیشه‌ای کردن تمام دیوارهای گلخانه است که این در دو حالت انجام می‌شود: جنس دیوارها از پلی‌کربنات است که سبک‌تر از شیشه‌ها می‌باشند و یا جنس دیوارها به صورت متداول از شیشه است. مزیت اصلی این گلخانه‌ها استفاده از نور خورشید است. همچنین سیستم‌های پایش لحظه‌ای و کنترل محیط گلخانه، سیستم فن، روشنایی، تهویه و سرمایش و گرمایش تعبیه شده‌اند [۹۳].

¹ ROUGH BROTHERS. INC, Commercial GreenHouse

² Solar Innovations



شرکت ساخت گلخانه آگراتک!

این شرکت وظیفه ساخت و نصب ساختار گلخانه‌ها را دارد. ویژگی اصلی گلخانه‌های طراحی شده توسط این شرکت، سیستم سایه قابل دنبال کردن است. مزیت این سیستم نسبت به سیستم‌های سایه ثابت این است که در این سیستم‌های متحرک، بعد از بارش باران سقف قابلیت باز شدن را دارد تا رطوبت مورد نیاز کنترل شود، سیستم‌های سایه ثابت باعث می‌شوند سرعت رشد گیاهان کمتر شود در حالی که با باز شدن سقف این گلخانه‌ها، نور به گیاهان رسیده و باعث رشد بهتر آن‌ها می‌شود [۹۴].

همان‌طور که از مطالب ارائه شده در زمینه کار شرکت‌ها دیده می‌شود، شرکت‌های فعال در زمینه گلخانه بر روی بحث تأمین تقاضای انرژی تأکید می‌کنند و بر این اساس تجهیزات انرژی کارآمد را در خدمات خود برای استفاده در گلخانه‌ها معرفی می‌کنند و ارائه می‌دهند. اما همان‌طور که دیده می‌شود، هیچ‌کدام از این شرکت‌ها، بر اساس یک دیدگاه جامع و روش‌شناسی مدون در زمینه تعیین تقاضای انرژی و شناسایی پارامترهای مؤثر بر آن‌ها و همچنین طراحی سیستم عرضه بهینه متناسب با شرایط اقلیمی مختلف راه‌کاری را ارائه نداده و صرفاً به ارائه مجموعه‌ای از تجهیزات مشخص اکتفا کرده‌اند.

۳-۴ - استانداردها، دستورالعمل‌ها و گزارش‌ها

استانداردها، دستورالعمل‌ها و گزارش‌های اجرایی که اغلب در سطح ملی و بین‌المللی و بر اساس سیاست‌های بلندمدت پیش رو در زمینه مباحث مهم و مورد توجه منتشر می‌شود، نقش مؤثر و چشمگیری در جهت پیشبرد فعالیت‌ها خواهد داشت. در مورد فناوری گلخانه‌ها نیز در سال‌های اخیر، توجه به اهمیت موضوع، استانداردها و ضوابط و دستورالعمل‌های اجرایی برای توسعه فعالیت در این حوزه چه در سطح ملی و چه در سطح بین‌المللی منتشر شده است که می‌تواند زیرساخت مناسبی برای ترویج گلخانه‌ها ایجاد کند. همان‌طور که ذکر شد، این

¹ AGRATECH: GreenHouse Manufacture



استانداردها و دستورالعمل‌ها را می‌توان در سطح ملی و بین‌المللی تفکیک کرد که در ادامه، این مطالعات تقسیم‌بندی شده‌اند.

استانداردها، دستورالعمل‌ها و گزارش‌های ملی

در سالهای اخیر توجه ویژه‌ای به تدوین استاندارد ها و دستورالعمل‌های اجرایی در جهت توسعه گلخانه‌ها در کشور انجام گرفته است. در این بخش به طور خلاصه به مهمترین اقداماتی که در این زمینه انجام شده است، اشاره می‌شود.

۱- کارگاه فنی ارتقاء کارایی مصرف آب با کشت محصولات گلخانه‌ای : در سال ۱۳۸۶ ، اولین کارگاه فنی ارتقاء کارایی مصرف آب با کشت محصولات گلخانه‌ای با محوریت "سازه‌ها و پوشش‌های گلخانه‌های موجود و لزوم انتخاب مناسب آن با توجه به نیاز و اقلیم کشور" برگزار شد [۱۱]. در گزارش منتشرشده از این کارگاه، ابتدا لزوم و ضرورت بهره‌گیری از گلخانه‌های پیشرفته بیان شده است. بر این اساس، در جهان امروز به‌منظور کنترل شرایط محیطی در تولید محصولات کشاورزی، با بهره‌گیری از گلخانه‌های پیشرفته، بسیاری از مشکلات مربوط به امنیت غذایی تحت کنترل درآمده است. در این گزارش، با توجه به تأثیری که فناوری‌های به‌کاررفته در گلخانه بر توان کنترل عوامل محیطی دارند، برخی از عوامل تأثیرگذار از جمله نوع سازه و پوشش به‌کاررفته در گلخانه مورد توجه قرار گرفته است. لازم به ذکر است، به دلیل گستردگی و تنوع اقلیمی در ایران، مطالعه و بررسی انواع سازه و پوشش گلخانه‌ای جهت ارائه الگوی صحیح منطقه‌ای یک امر ضروری است. در حال حاضر، در بسیاری از مناطق کشور از الگوی یکسان سازه و پوشش استفاده می‌شود که در اکثر آن‌ها تناسب علمی میان فاکتورهای اقلیمی، نوع محصول، نوع سازه و پوشش مناسب به چشم نمی‌خورد. به‌این‌ترتیب، در تعداد زیادی از این گلخانه‌ها، هزینه‌های مصرفی در زمینه تأمین انرژی برای سرمایش، گرمایش و یا به عبارتی کنترل عوامل محیطی، غیرمتعارف است. به‌صورت کلی در این گزارش اجزاء سازه گلخانه‌ای، انواع پوشش‌های اغلب تجاری رایج در جهان



(شامل پلی‌اتیلن، پلی‌فیلیم، پلی‌کربنات، آکرلیک و فایبرگلاس) به همراه مهم‌ترین انواع گلخانه (گلخانه‌های لبه‌دار و گلخانه‌های نیمه استوانه‌ای) ارائه شده است [۱۱].

۲- مبانی و ضوابط توسعه گلخانه‌ها، مبانی و ضوابط طراحی: گزارش "مبانی و ضوابط توسعه گلخانه‌ها، مبانی و ضوابط طراحی" در سال ۱۳۸۷ توسط معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس‌جمهور تدوین شد [۱]. با توجه به اینکه در سال‌های اخیر توسعه کشت محصولات گلخانه‌ای ضرورت یافته است، معاونت نظارت راهبردی ریاست جمهوری حسب وظیفه قانونی وفق ماده ۲۳ قانون برنامه‌بودجه و آیین‌نامه استانداردهای اجرایی طرح‌های عمرانی مصوب ۳۰ تیرماه ۱۳۵۲ هیئت‌وزیران و در چارچوب نظام فنی اجرایی کشور با پیشنهاد معاونت امور تولیدات گیاهی وزارت جهاد کشاورزی، تدوین ضوابط طراحی و دستورالعمل و مقررات اجرایی گلخانه‌های کشور را در دستور کار خود قرار داده است. در این گزارش مبانی و ضوابط طراحی گلخانه‌ها، ضوابط انتخاب سیستم‌های گلخانه‌ای که شامل قسمت‌های زیر است، به تفصیل بیان شده است [۱]:

- ضوابط معماری و کالبدی گلخانه
- معیارهای انتخاب و استاندارد پوشش‌های گلخانه‌ای
- ضوابط طراحی سازه‌های گلخانه‌ای
- تجهیزات داخلی گلخانه
- ساختمان‌های جانبی

در قسمت اول (ضوابط معماری و کالبدی گلخانه) به این نکته اشاره شده است که معماری و یا ساخت کالبدی گلخانه به چند عامل اصلی بستگی دارد که عبارت‌اند از:

- نوع محصول (اهداف تولید)



- شرایط اقلیمی (شرایط اقلیمی ویژه منطقه)
- شرایط مالی بهره‌بردار (میزان سرمایه‌گذاری ممکن)

طبقه‌بندی محصولات گلخانه‌ای که یکی از معیارهای معماری و کالبدی گلخانه است، بر اساس گزارش ارائه شده انجام شده است. با نگاهی به تنوع محصولات گلخانه‌ای، تهیه و ارائه یک فرمول ثابت و دقیق به منظور انتخاب نوع سازه و تجهیزات گلخانه‌ای مورد نیاز، مستلزم بررسی و مطالعه وسیع‌تری است و عملاً هنگامی که تنوع آب‌وهوایی نیز در این فرمول وارد گردد، پیچیدگی قضیه بسیار بیشتر خواهد شد. در این راستا، در این گزارش، برای روشن نمودن ارتباط نوع محصول با سازه و تجهیزات، ماتریس انتخاب تجهیزات ارائه شده است. در ماتریس ارائه شده بر اساس نوع محصول و اقلیم مربوط، می‌توان تیپ گلخانه موردنظر، سازه و تجهیزات مرتبط با آن را انتخاب کرد. با توجه به تنوع محصولات گلخانه‌ای و دامنه وسیع آن‌ها از لحاظ نیازهای اکوسیستمی به‌ویژه موضوع کنترل عوامل نور، دی‌اکسید کربن، رطوبت و دما، این گیاهان در گروه‌های زیر دسته‌بندی شده‌اند:

- گروه A- سبزی‌های گلخانه‌ای
- گروه B- موز
- گروه C- گیاهان زینتی
- زیرگروه C₁- گل‌های شاخه بریده
- زیرگروه C₂- گیاهان آپارتمانی گل‌دار
- زیرگروه C₃- گیاهان زینتی فضای سبز
- توت فرنگی



اصولاً اکثر محصولات که در گلخانه‌ها تولید می‌شوند متعلق به مناطق گرمسیر یا به تعبیر دیگر جزء گونه‌های گرمسیری هستند. دمای مورد نیاز برای رشد این محصولات ۱۷ تا ۲۷ درجه سانتی‌گراد است. درنهایت در این گزارش، با توجه به سطح فناوری، تجارب موجود کشور و با توجه به تنوع فعالیت و ضوابط اقلیمی، پنج تیپ گلخانه معرفی شده است. بهره‌برداران می‌توانند بر اساس نیاز و شرایط، هریک از تیپ‌های معرفی شده را انتخاب کنند. برای انتخاب تیپ گلخانه‌ای، علاوه بر ضوابط عمومی (محصول و شرایط اقلیمی)، عوامل دیگری نیز باید مدنظر قرار گیرند. سرعت باد و رطوبت نسبی هوا در منطقه از دیگر عوامل تأثیرگذار بر عملکرد گلخانه محسوب می‌شوند. بر این اساس کل مناطق ایران به ۳ ناحیه A و B و C تقسیم می‌شوند که ناحیه A خود به ۵ زیر ناحیه، ناحیه B به ۵ زیر ناحیه و ناحیه C (ساحلی) به ۶ زیر ناحیه تقسیم می‌شوند. در این گزارش، متناسب هریک از تیپ‌های گلخانه‌ای، متناسب با ضوابط اقلیمی، زیر نواحی اقلیمی و گروه محصول (هدف تولید) در جدول ۴ زیر ارائه شده است.

جدول ۴: تیپ‌های پیشنهادی گلخانه بر اساس اقلیم و نوع محصول انتخابی [۱]

ناحیه محصول	ناحیه A					ناحیه B					ناحیه C					
	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	C1	C2	C3	C4	C5	C6
گروه A	تیپ ۵	تیپ ۱	تیپ ۲	تیپ ۲ و ۴	تیپ ۲	تیپ ۵ و ۱	تیپ ۵ و ۲	تیپ ۲	تیپ ۲ و ۳	تیپ ۲ و ۴	تیپ ۲	تیپ ۵ و ۲	تیپ ۲	تیپ ۲ و ۱	تیپ ۲	تیپ ۲ و ۱
گروه B	-	-	-	-	-	تیپ ۲	تیپ ۵	تیپ ۱	-	-	تیپ ۲	تیپ ۵	-	-	-	تیپ ۲
گروه C1	تیپ ۱	تیپ ۵	تیپ ۱	تیپ ۲	تیپ ۵	تیپ ۱	تیپ ۵	تیپ ۲ و ۵	تیپ ۲	تیپ ۲	تیپ ۲	تیپ ۱	تیپ ۳	تیپ ۳	تیپ ۴	تیپ ۱ و ۲
گروه C2	تیپ ۱ و ۵	تیپ ۱ و ۵	تیپ ۱	تیپ ۲	تیپ ۳	تیپ ۱ و ۲	تیپ ۲ و ۱	تیپ ۵	تیپ ۳	تیپ ۲ و ۳	تیپ ۱	تیپ ۲	تیپ ۳	تیپ ۲ و ۳	تیپ ۳	تیپ ۱ و ۲
گروه C3	تیپ ۵	تیپ ۵	تیپ ۱	تیپ ۲	تیپ ۴	تیپ ۱	تیپ ۵	تیپ ۲ و ۳	تیپ ۲	تیپ ۲	تیپ ۵	تیپ ۱	تیپ ۲	تیپ ۳	تیپ ۴	تیپ ۱ و ۲
توت فرنگی *	تیپ ۱	تیپ ۱ و ۲	تیپ ۲	تیپ ۲	تیپ ۲	تیپ ۲	تیپ ۵	تیپ ۱	تیپ ۲	تیپ ۲	تیپ ۴	-	-	-	-	-

جدول ۵: معرفی انواع تیپ گلخانه

تیپ گلخانه	مشخصات سازه	ویژگی‌ها
تیپ ۱	سازه تونلی با اسکلت فولادی پرتابل	دارای پرده محافظ گرما و سیستم سایه‌بان
تیپ ۲	سازه تونلی با سقف دندان‌اره‌ای، اسکلت از لوله‌های فولادی، ارتفاع و تهویه مناسب مناطق مرطوب	دارای پرده محافظ گرما و سیستم سایه‌بان
تیپ ۳	فرم آرگ، لوله‌های فولادی، دارای بادشکن کناری، تهویه مناسب مناطق باد خیز	دارای پرده محافظ گرما و سیستم سایه‌بان
تیپ ۴	خرپای تونلی پیش ساخته، لوله‌های فولادی، دارای بادشکن کناری مناسب برف خیز	دارای پرده محافظ گرما
تیپ ۵	تونلی با اسکلت فولادی، ارتفاع و تهویه مناسب مناطق گرم	دارای پرده محافظ گرما و سیستم سایه‌بان



در قسمت دوم، به تعیین معیارهای انتخاب و استاندارد پوشش‌های گلخانه‌ای پرداخته می‌شود. بر این اساس، عوامل تأثیرگذار بر انتخاب نوع پوشش عبارت‌اند از: میزان گذر پرتوهای خورشیدی، میزان حفظ انرژی، تأثیرات متقابل سازه و پوشش، استحکام، طول عمر، قابلیت احتراق و سایر عوامل (ضریب انبساط، سازگاری مواد و ترکیبات شیمیایی). معیارها و ضوابطی برای طراحی تجهیزات داخلی مختلف گلخانه در این مبانی ارائه شده است. با توجه به اینکه گلخانه باید بتواند محیط کنترل شده‌ای برای نور، حرارت و رطوبت کافی جهت تولید گیاه فراهم کند، گلخانه نیاز به سیستمی جهت افزایش نور (به‌ویژه در ساعات اولیه صبح) دارد و به همین منظور هنگام بنای گلخانه باید ارتفاع ساختمان‌ها و درختان اطراف گلخانه در نظر قرار گرفته شوند. همچنین آب، سوخت و دسترسی به انرژی الکتریکی می‌تواند شرایط محیطی مناسبی را جهت نیل به نتایج مطلوب ایجاد کنند. تجهیزات مورد بررسی در این گزارش مبانی و ضوابط، شامل سیستم‌های تهویه (مکنده‌های هوا در دیواره‌های انتهایی، دمنده‌های هوایی در دیواره‌های انتهایی، سیستم مه پاش، سیستم تهویه طبیعی)، سرمایش گلخانه و ضوابط مربوط به آن‌ها، سیستم سرمایش، گرمایش گلخانه و ضوابط مربوط به آن، محاسبه و طراحی روشنایی، معیارهای انتخاب و طراحی سیستم آبیاری در گلخانه‌ها است.

۳- دستورالعمل اجرایی نظام گلخانه‌ای کشور : وزارت جهاد کشاورزی (ستاد مرکز واگذاری وظایف به بخش غیردولتی)، "دستورالعمل اجرایی نظام گلخانه‌ای - کشور" را با هدف اصلاح و بهبود فرآیندها با رویکرد واگذاری وظایف تصدی‌گری به بخش غیردولتی در مردادماه سال ۸۹ تدوین کرده است. این دستورالعمل به صورت کلی شامل دستورالعمل‌ها، فرآیندها، فرم‌ها و تفاهم‌نامه‌ها در زمینه گلخانه‌ها است [۴۰]. در این گزارش ذکر شده است که محدودیت منابع آب کشاورزی و نیازمندی روزافزون جمعیت کشور به محصولات گیاهی از یک طرف و شرایط مطلوب تابش نور خورشید و افزایش هزینه‌های تولید از طرف دیگر ضرورت توجه ویژه به تولید محصولات گلخانه‌ای را به‌عنوان یکی از راه‌کارهای تأمین نیازهای جامعه، اجتناب‌ناپذیر نموده است، به‌گونه‌ای



که فراهم آوردن امکانات و تسهیلات لازم به‌منظور تسریع در فرآیندهای مربوط به صدور مجوزهای نظام گلخانه‌های کشور به‌عنوان استراتژی معاونت امور تولیدات گیاهی قلمداد می‌شود. در این میان ضمن واگذاری امور اجرایی گلخانه‌ها به سازمان نظام‌مهندسی کشاورزی و منابع طبیعی، دستورالعمل اجرای نظام گلخانه‌های کشور تدوین گردیده است.

۴- گلخانه‌های تجاری-معیار مصرف انرژی در فرآیندهای تولید : سازمان ملی استاندارد ایران در سال ۱۳۹۰ استاندارد را با عنوان "گلخانه‌های تجاری-معیار مصرف انرژی در فرآیندهای تولید" با هدف تعیین معیار مصرف انرژی در واحدهای گلخانه‌های تجاری موجود و جدید بر اساس نوع محصول غالب و سطح زیر کشت در شرایط اقلیمی منتشر کرده است [۴۱]. این استاندارد در خصوص گلخانه‌های فلزی که شامل تجهیزات ذیل است، کاربرد دارد:

- سیستم گرمایش گلخانه
- سیستم سرمایش و تهویه
- سیستم آبیاری
- سیستم روشنایی و کنترل

در این استاندارد علاوه بر اصلاحات و تعاریف تعیین‌شده در استاندارد شماره ۸۰۴۶، واژه‌ها و اصلاحاتی جدید تعریف‌شده و روابط مختصر و ساده‌ای در مورد هر یک از شاخص‌های مربوط به مصرف انرژی ارائه شده است. این شاخص‌ها شامل مصرف انرژی ویژه حرارتی، مصرف انرژی ویژه الکتریکی و مصرف انرژی ویژه کل می‌باشند که هر یک از این شاخص‌ها به تفکیک گلخانه‌های موجود و جدید به‌صورت جداگانه معرفی شده‌اند. همچنین در این استاندارد بخش‌های مختلف مصرف‌کننده انرژی در گلخانه بیان‌شده و توضیحات مختصری در مورد هر یک از این بخش‌های انرژی بر داده شده است. این بخش‌ها شامل سیستم گرمایش، سیستم سرمایش و تهویه، سیستم آبیاری،



سیستم روشنایی و کنترل است. همچنین معیار مصرف انرژی و دسته‌بندی اقلیمی گلخانه‌ها به صورت مختصر توضیح داده شده است و جداول تناسب اقلیمی بر اساس نوع محصول و معیار مصرف انرژی نیز ارائه شده است.

۵- دستورالعمل تولید نشاء مکانیزه سبزی و صیفی در سطح تجاری : وزارت جهاد کشاورزی، معاونت امور تولیدات گیاه (دفتر امور سبزی، گیاهان زینتی و دارویی)، مؤسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر (بخش تحقیقات سبزی و صیفی)، مؤسسه تحقیقات خاک و آب و سازمان حفظ نباتات دستورالعملی را تحت عنوان "دستورالعمل تولید نشاء مکانیزه سبزی و صیفی در سطح تجاری" در گلخانه‌ها را در سال ۹۲ ارائه دادند [۴۲]. در این دستورالعمل ابتدا، شرایط حقوقی برای احداث گلخانه‌ها ذکر شده است و سپس در شرایط تولید سازه و تأسیسات مورد نیاز برای احداث و راه‌اندازی گلخانه‌ها به تفکیک آب، برق، سوخت، ساختار گلخانه، پوشش‌های گلخانه، تهویه طبیعی، سیستم‌های تهویه و خنک‌کن‌های تبخیری، سیستم‌های گرمایشی، تجهیزات آبیاری و نوردهی بیان شده است.

استانداردها، دستورالعمل‌ها و گزارش‌ها بین‌المللی

در جهان امروز و با توجه به رشد جمعیت و نیاز روزافزون به محصولات کشاورزی و همچنین در نظر گرفتن ملاحظات آب‌و‌خاک، توجه به توسعه و پیشرفت گلخانه‌ها امری ضروری تلقی می‌شود. به همین خاطر، دستورالعمل‌ها و استانداردها و گزارش‌هایی نیز در سطح بین‌المللی برای توسعه و رواج طراحی و بهره‌برداری بهینه از گلخانه‌ها در سال‌های اخیر منتشر شده است. مهم‌ترین و اصلی‌ترین استاندارد بین‌المللی در زمینه گلخانه‌ها، استاندارد NGMA است که در اغلب کشورها مبنایی برای طراحی گلخانه و تجهیزات مرتبط با آن از جمله تجهیزات انرژی بر در آن مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱۳]. انجمن ملی تولیدکنندگان گلخانه‌ها (NGMA)، یک انجمن داوطلبانه از تولیدکنندگان برجسته گلخانه در آمریکا است. اهداف و فعالیت‌های این انجمن نه تنها در جهت تأمین منافع اعضای آن، بلکه در جهت رشد صنایع کشاورزی تجاری نیز می‌باشد. در طول سه دهه گذشته، اعضای



NGMA پیشرفت چشمگیری در زمینه معرفی سیستم‌ها، مواد و اجزای ساختاری جدید و پیشرفته داشته‌اند. در این مدت آن‌ها باعث بهبود در نوع مواد پوششی، تجهیزات گرمایشی و سرمایشی و سیستم‌های کنترل محیطی شده‌اند. NGMA به‌صورت پیوسته برای پاسخگویی به نیازهای موجود در صنعت کشاورزی فعالیت می‌کند. امروزه بسیاری از استانداردهای موجود در زمینه نصب گلخانه‌ها توسط اعضای NGMA برای پاسخگویی به این نیازها تدوین شده‌اند. این اعضا در زمینه حل مسائل و مشکلات کنونی گلخانه‌سازان و گلخانه‌داران فعالیت می‌کنند. بسیاری از این استانداردها توسط اعضای شرکت‌های مختلف عضو این انجمن توسعه داده شده است و شامل استانداردهای کیفیت ساختمان گلخانه و طراحی سیستم‌های کنترل دمای گلخانه است.

NGMA، اولین استاندارد سازه‌های گلخانه‌ای در پنجم نوامبر سال ۱۹۶۸ تدوین کرد. بعد از گذشت هفت سال از آن تاریخ یعنی در ۱۲ نوامبر ۱۹۷۵، نسخه بازبینی‌شده آن با انجام اصلاحات جدید منتشر شد. هردوی این نسخه‌ها، مبنای تعریف چگونگی بارگذاری سازه‌های گلخانه‌ای در سراسر کشور آمریکا شد. سال‌ها تجربه در زمینه ساخت سازه‌های گلخانه‌ای با تمرکز بر ویژگی‌های منحصربه‌فرد این سازه‌ها در پاسخ به حجم بالای ساخت‌وساز و نیاز به استاندارد، منجر به تدوین مجموعه استانداردهایی شد که تاریخچه موفقیت‌آمیز اجرای گلخانه در طول پنجاه سال گذشته، مؤید آن است. مباحث مطرح‌شده در استاندارد NGMA به تفکیک در ادامه آورده شده است.

- بارهای وارد بر سازه
- تهویه و سیستم‌های خنک‌کننده
- اتلاف انرژی و راه‌های جلوگیری از آن
- سیستم‌های گرمایشی
- توری‌های مورد استفاده در گلخانه
- پرده‌های حرارتی و سایه‌سازها



• سیستم‌های کنترل هوشمند

در استاندارد NGMA در مورد بارهای وارده بر سازه، نیازمندی‌های بار را برای طراحی ساختار گلخانه‌ها و همچنین برای اجزای آن فراهم می‌کند. بارهایی که در این استاندارد توصیف می‌شوند، مرتبط و متناسب با تنش‌ها و فشارهایی است که در طراحی‌های امروزه برای آلومینیوم، استیل، چوب، شیشه و یا هر ماده ساختاری متداول دیگر در ساختمان گلخانه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. بر اساس این استاندارد، الزاماتی که باید در طراحی یک گلخانه بر اساس بارهای وارد شده بر آن در نظر گرفت شامل امنیت سازه، کارآمدی سازه و تحلیل فنی سازه است. متناسب با هر یک از این بارها تمهیدات خاصی برای طراحی ساختار و اجزای گلخانه‌ها باید در نظر گرفت. بر اساس این استاندارد، بارهای وارده بر سازه که بر روی انتخاب تجهیزات گلخانه نیز تأثیر می‌گذارد، به صورت کلی به ۵ دسته تقسیم می‌شوند:

• بارهای غیرزنده یا دائم

• بارهای زنده

• بارهای بادی

• بارهای برفی

• بارهای ترکیبی: که ترکیبی از بارهای دائم، زنده، بادی و برفی است.

همچنین در این استاندارد انواع گلخانه از نظر شکل به همراه مزایا، معایب، نوع پوشش و کاربرد هر یک از این گلخانه‌ها بیان شده است. علاوه بر این، مباحثی مرتبط با اتلاف انرژی و راه‌های جلوگیری از آن پیشنهاد شده است که اجرای این راه‌کارها می‌تواند تا ۷۰ درصد در مصرف انرژی را کاهش دهد. این راه‌کارها شامل انتخاب پوشش مناسب بر اساس ضرایب انتقال حرارت آن‌ها، پوشش‌های دوجداره و پرده‌های حرارتی است. در مبحث تهویه در گلخانه‌ها، اصول تهویه گلخانه بر اساس تبادل هوا بین محیط داخل و خارج گلخانه و با هدف تبادل



دی‌اکسید کربن و اکسیژن و همچنین کنترل دما و رطوبت ارائه شده است. در ادامه اصول روش‌های تهویه گلخانه شامل تهویه طبیعی، اجباری و سرمایش توضیح داده می‌شوند. همچنین در این استاندارد بیان شده است که با توجه به مصرف انرژی زیاد گلخانه‌ها و مشکل تأمین انرژی آن‌ها، در حال حاضر بهبود مصرف انرژی در این گلخانه‌ها مورد توجه بسیار زیادی قرار گرفته است. یکی از راه‌کارهایی که برای کاهش مصرف انرژی در گلخانه‌ها و تولید محصول باکیفیت پیشنهاد شده است، استفاده از سیستم‌های مدیریت هوشمند در گلخانه‌ها است.

۴-۴- روند توسعه گلخانه‌ها در ایران و جهان

بیشترین نواحی تولید محصولات گلخانه‌ای اصلی در سراسر جهان شامل کشورهای اسپانیا، هلند، مکزیک، کانادا و ایالات متحده آمریکا است. هرکدام از این کشورها در نظر دارند سالانه تولیدات گلخانه‌ای خود را افزایش دهند و همچنین از سیستم‌هایی با فناوری بالاتر و پربازده‌تر و همچنین سیستم‌های مدیریت و پایش لحظه‌ای برای ارتقاء کیفیت و کمیت محصولات خود، استفاده کنند [۳۸].

بر اساس گزارش چشم‌انداز گلخانه‌ها که توسط مؤسسه تبادل دانش در مارس ۲۰۱۴ در آمریکا منتشر شده است، افزایش تعداد گلخانه‌ها و درآمد حاصل از فروش محصولات آن‌ها در ایالات متحده آمریکا در سال ۲۰۱۳ نسبت به سال ۲۰۱۲، ۵٪ افزایش داشته است. به دلیل رشد تقاضای محصولات کشاورزی در این کشور، پیش‌بینی می‌شود این روند رو به رشد باقی بماند [۳۶].

کشت گلخانه‌ای در هلند یکی از بازارهای پیشرو در جهان می‌باشد که از فناوری‌های مدرن و روش‌های پیشرفته پایش و مدیریت برای کنترل گلخانه و تولید محصول باکیفیت استفاده می‌کند. بر اساس گزارش چشم‌انداز ۲۰۱۹ بازار کشت گلخانه‌ای در هلند، پیش‌بینی می‌شود هر ساله در حدود ۲/۸ درصد رشد در تولید محصولات گلخانه‌ای تا سال ۲۰۱۹ ایجاد شود. همچنین بر اساس این گزارش، مهمترین عوامل اقتصادی تأثیرگذار بر این بازار، قیمت زمین، هزینه انرژی مصرفی و قیمت فروش محصولات باکیفیت می‌باشند [۳۷].

بر اساس گزارش وزارت کشاورزی و غذا در کانادا، صنعت کشت گلخانه‌ای با فناوری بالا، جزو بخش‌های موفق کشاورزی در این کشور محسوب می‌شود. کشت گلخانه‌ای در کانادا، به دلیل استفاده از فناوری‌های پیشرفته در کنترل آفات بیولوژیکی و به‌کارگیری سیستم‌های پایش و کنترل هوشمند در گلخانه‌ها، به‌عنوان یکی از پیشگامان این زمینه در دنیا مطرح می‌باشد [۳۸].

در ادامه این بخش از گزارش، تجربه چند کشور در روند توسعه گلخانه‌ها ارائه خواهد شد.



تجربه کشور هلند در توسعه گلخانه‌ها

بخش کشاورزی در اقتصاد کشور هلند نقش بسیار مهمی دارد به طوری که ۱۰٪ از تولید ناخالص داخلی این کشور به کشاورزی شامل زراعت، دامداری و تولید محصولات لبنی اختصاص دارد. توسعه کسب‌وکار کشاورزی در هلند منجر به افزایش ۱۰٪ اشتغال‌زایی شده است. این دو عامل، کشور هلند را به جایگاه بین‌المللی قدرتمند، در صادرات محصولات کشاورزی رسانده است. در پنجاه سال گذشته توسعه کسب‌وکار کشاورزی در هلند، شامل پنج مرحله به شرح زیر بوده است:

۱. دوران خودکفایی بعد از جنگ
۲. توسعه شرکت‌های تخصصی، دهه ۷۰
۳. تولید بر پایه علم کشاورزی، دهه ۸۰
۴. دوران گذار، دهه ۹۰
۵. کشاورزی پایدار، از سال ۲۰۰۰ تاکنون

مرحله اول: دوران خودکفایی بعد از جنگ : به علت مشکلات ایجادشده به علت جنگ و مشکلاتی که کشور در تأمین غذا داشت، برنامه توسعه کسب‌وکار کشاورزی با هدف خودکفایی غذایی، رفع گرسنگی و درآمدزایی از طریق افزایش تولید تدوین شد و توسعه یافت.



شکل ۲۵: مدل مثلثی توسعه، آموزش و تحقیق

در این برنامه دیدگاه آموزشی نیز مورد توجه قرار گرفت به طوری که نگرش پایین به بالا برای دستیابی به دانش تخصصی-عمومی برای تمام کشاورزان اهمیت یافت. همچنین مزارع آزمایشی و مراکز نمونه برای کشاورزان متخصص توسعه یافت و همکاری دولت با گروه‌های پژوهشی و مراکز مالی گسترش یافت.

مرحله دوم: توسعه شرکت‌های تخصصی در دهه ۷۰: در این مرحله، توسعه تخصصی بخش کشاورزی بر مبنای فرآیند بازار شکل گرفت، به طوری که کسانی که قدرت رقابت ندارند حذف شدند و در مقابل کسانی که قدرت رقابت داشتند در بازار باقی ماندند. سرمایه لازم برای ترویج و بازسازی سازوکارها از طرف دولت اختصاص داده می‌شد. در واقع نقش دولت در این مرحله، اهمیت دادن به شبکه بانکی به خصوص از طریق تسهیلات بانکی برای ترویج کسب و کار، ترویج کارآفرینی و مهارت‌ها و محدود کردن بازار، به شرکت‌های تخصصی، مبدع و خلاق بود.

مرحله سوم: تولید بر پایه علم کشاورزی در دهه ۸۰: در این مرحله، نقش دولت به تنظیم قوانین و مقررات و آگاهی دهی به بخش کشاورزی برای کاهش اثرات زیست‌محیطی محدود شد. مهم‌ترین ویژگی‌های این مرحله شامل: شروع استفاده از گلخانه‌ها و تولید انبوه، تشویق به استفاده از گاز طبیعی به جای نفت و زغال سنگ و حرکت به سمت تولید آلاینده‌های کمتر بود. مسئله قابل توجه در این مرحله، توجه به کاهش اثرات زیست‌محیطی بود که با در نظر گرفتن انتشارات زیست‌محیطی در کنار سایر شاخص‌ها و توابع هدف، محدودیت استفاده از منابع



و شروع تفاهم‌نامه‌ها، ورود تکنولوژی‌های جدید مانند سیستم‌های تولید هم‌زمان و استفاده از حرارت مازاد نیروگاه‌ها، امکان‌پذیر شد.

مرحله چهارم: دوران گذر در دهه ۹۰: این مرحله از توسعه کسب‌وکار کشاورزی در هلند، با توسعه خصوصی‌سازی خدمات کشاورزی، تبیین نقش وزارت کشاورزی در توسعه کشاورزی، هم‌سطح شدن دولت و بخش کشاورزی و توسعه بیشتر گلخانه‌ها، همراه بود. دولت از طریق ارائه چارچوب توسعه کشاورزی با معیارهای زیست‌محیطی و همچنین تبیین سیاست‌های صرفه‌جویی انرژی و ترویج دانش و نوآوری به‌جای فعالیت مستقیم، نقش خود را ایفا می‌کرد. نامطلوب بودن وابستگی سیاسی و اقتصادی به واردات گاز از روسیه، منجر به توسعه تکنولوژی و نوآوری در سیستم‌های انرژی گلخانه‌ها شد. این فناوری‌ها شامل استفاده از پوشش‌های دو لایه، پرده‌های صرفه‌جویی انرژی، به‌کارگیری حرارت زمین‌گرمایی، پوشش‌های خورشیدی و استفاده از فناوری‌های مدرن روشنایی بود.

مرحله پنجم: کشاورزی پایدار از سال ۲۰۰۰ تاکنون: کاربرد مفهوم کشاورزی پایدار مهم‌ترین ویژگی این مرحله می‌باشد. مفهوم کشاورزی پایدار در چارچوب تولید متناسب با نیاز جامعه و رشد اقتصادی همراه با بهبود وضعیت زیست‌محیطی و شرایط زندگی بر اساس کاهش مصرف آب، انرژی و آفت‌کش‌ها تبیین می‌شود. جهت نیل به این هدف، دولت دو مکانیزم اجرایی کاهش هزینه سرمایه‌گذاری در بخش انرژی (IRE) و توسعه بازارهای نوآورانه در فناوری‌های انرژی (MEI) را تدوین و اجرا نمود. بر اساس مکانیزم اول، دولت ۲۰٪ از هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه به‌کارگیری پرده‌های انرژی، سیستم‌های کنترل هوشمند گلخانه و سیستم‌های سرمایش و گرمایشی انرژی کارآمد را به‌طور مستقیم پرداخت می‌کند. در مکانیزم دوم، دولت با هدف توسعه بازارهای نوآورانه در فناوری‌های انرژی نهایی و همچنین دستیابی به فناوری گلخانه با انرژی صفر، ۴۰٪ از هزینه‌های توسعه فناوری‌های انرژی کارآمد را تأمین می‌کند. برنامه توسعه کسب‌وکار کشاورزی بر اساس توسعه پایدار، همچنان مهم‌ترین اولویت توسعه بخش کشاورزی در هلند می‌باشد.



مرکز چندمنظوره آموزش، پژوهش و توسعه کسب‌وکار - راتکرز آمریکا

انرژی یکی از معیارهای اصلی در مفهوم پایداری است درحالی‌که سیستم‌های عرضه و تقاضای انرژی متداول کنونی در تقابل با مفهوم پایداری هستند. به این ترتیب نیاز به توسعه فناوری‌های نوآورانه از طریق ساخت نمونه، گسترش و تجاری‌سازی آن‌ها در جهت دستیابی به کشاورزی پایدار به شدت وجود دارد. در مسیر کشاورزی پایدار چالش‌های زیادی وجود دارد که در زیر به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود:

- نبود الگوی مناسب در زمینه سیاست‌گذاری، آموزش، پژوهش و مدل‌های کسب‌وکار
- نبود زیرساخت مناسب در زنجیره عرضه حامل‌های انرژی‌های مختلف
- فقدان دانش و اطلاعات در زمینه ارتباط میان مصرف انرژی و مسائل زیست‌محیطی
- بالا بودن ریسک سرمایه‌گذاری فناوری‌های انرژی کارآمد و سبز
- خلأهای استانداردهای فنی
- هزینه تولید بالا و رقابت‌پذیر نبودن محصولات
- عدم قطعیت بازار

یکی از راهکارهای پیشنهادی برای غلبه بر این چالش‌ها، ایجاد همکاری هدفمند بین بخش‌های سیاست‌گذار دولتی و شرکت‌های خصوصی از طریق جامعه دانشمندان و پژوهشگران، انجمن‌های تجاری و حرفه‌ای، سازمان‌های زیست‌محیطی، بخش‌های مالی و سرمایه‌گذاری، صاحبان صنایع و سازمان‌های قانون‌گذار و دولتی است. توسعه ابزارهای مدل‌سازی و تحلیلی و توسعه نمونه‌های آزمایشی از دیگر راهکارهای موجود در این زمینه هستند. بر این اساس توسعه مراکز فناوری چندمنظوره با هدف آموزش، پژوهش و توسعه کسب‌وکار به‌عنوان یکی از راهکارهای



مؤثر جهت توسعه کشاورزی پایدار، مطرح شده است. این مراکز از طریق حمایت از تکنولوژی‌های نوآورانه، فراهم کردن محیط‌های کنترل شده و آزمایشی برای شروع کسب‌وکار، ایجاد زمینه مناسب برای تأیید اعتبار مدل‌ها، امکان اعتبارسنجی ابزارهای تحلیلی، تهیه اطلاعات قابل اعتماد برای شرکت‌های تخصصی، توسعه‌دهنده و مراکز دولتی، بسترسازی مناسب برای آموزش، پژوهش و توسعه و توسعه تخصص‌های کسب‌وکار، می‌توانند نقش بسیار مهمی در حل چالش‌های پیش روی روند توسعه پایدار داشته باشند.

مرکز چندمنظوره گلخانه‌ای برای اولین بار در سال ۲۰۰۱، به‌عنوان مرکز توسعه و پژوهش در دانشگاه راتکرز امریکا با اهداف زیر تأسیس شد:

- آموزش، پژوهش و توسعه فناوری‌های جدید و الگوهای کسب‌وکار و تبدیل شدن به مرجع قابل اعتماد اطلاعات تخصصی و دستورالعمل‌های اجرایی
- شتابدهی به روند توسعه همکاری‌های کلیدی میان شرکت‌های دانش‌بنیان، پژوهشگران دانشگاه راتکرز و دولت
- به‌کارگیری و استفاده از فناوری‌های نوآورانه زیست‌محیطی و انرژی در گلخانه‌ها
- رشد و توسعه کسب‌وکار فناوری‌های نوین در شرکت‌های نوپا در جهت ارتقا کیفیت محصولات تولیدی
- آموزش دانش آموزان، دانش‌پژوهان، شرکت‌های تخصصی در زمینه فناوری‌های جدید و ارتقاء نقش آن‌ها در توسعه اقتصاد سبز
- ایجاد محیطی آزمایشی برای به‌کارگیری سیستم‌های نوین به منظور تولید پایدار محصولات
- توسعه کسب‌وکار و تخصص‌های اجرایی به منظور تجاری‌سازی محصولات و تکنولوژی‌های جدید برای شرکت‌های نوپا در محیطی کنترل شده
- کاهش ریسک سرمایه‌گذاری و توسعه تبدیل ایده به کسب‌وکار



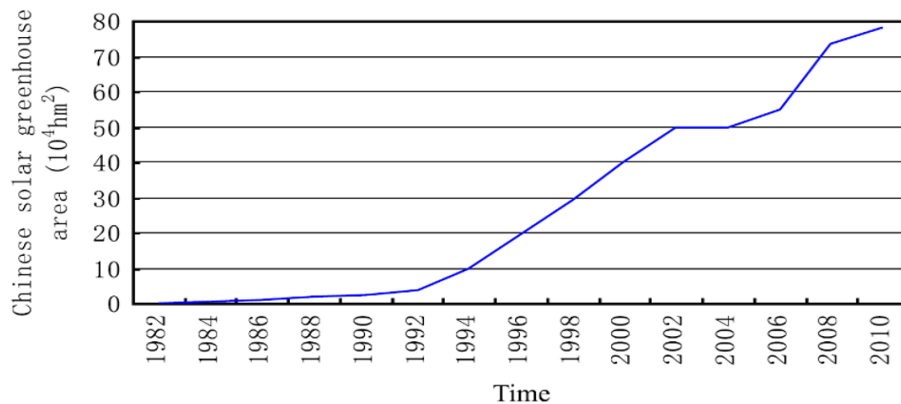
این مرکز با مساحت ۴۱۴۰ مترمربع، با استفاده از سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر نظیر میکروتوربین با گازهای لندفیل، و استفاده از سیستم‌های پایش و کنترل محیط گلخانه‌ای به صورت آنلاین کار می‌کند. سیستم‌های مورد استفاده در این مرکز شامل سیستم‌های تولید هم‌زمان برق و حرارت، سیستم‌های تهویه مطبوع و سیستم مه‌زنی برای کنترل رطوبت محیط گلخانه، سیستم‌های آبیاری و تصفیه آب و تجهیزات نوردهی متناسب با نوع گیاه، می‌باشد.

تجربه کشور چین در توسعه گلخانه‌های خورشیدی

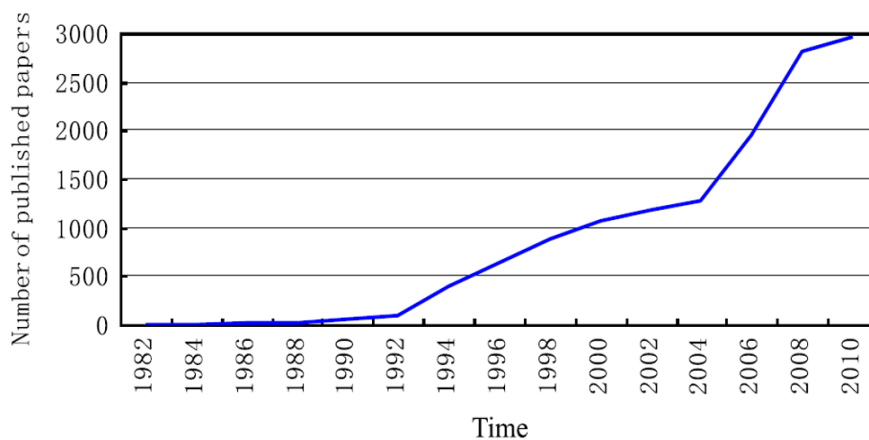
گلخانه‌های خورشیدی چینی (CSG)، بر اساس یک طراحی ویژه، برای رشد سبزیجات در زمستان حتی وقتی میانگین دمای روزانه/ماهانه در سه ماه سرد سال به کمتر از منهای ۱۰ درجه سانتی‌گراد می‌رسد بدون استفاده از گرمایش کمکی مورد استفاده قرار می‌گیرند. گلخانه‌های خورشیدی چینی کاملاً غیرفعال هستند یعنی از تجهیزات گرمایشی/سرمایشی متداول استفاده نمی‌کنند.

اولین گلخانه خورشیدی چینی که ساختار ساده‌ای داشت و فقط سبزیجات برگ‌دار را در طول زمستان تولید می‌کرد، در منطقه جنوبی در استان لیائونینگ چین در دهه ۱۹۳۰ توسعه داده شد. پس از گذشت زمان و استفاده پراکنده از گلخانه‌های خورشیدی در کشور چین، دولت این کشور طی سه برنامه ۵ ساله برنامه توسعه این نوع گلخانه را در دستور کار خود قرارداد. برنامه پنج‌ساله اول در سال‌های ۱۹۹۵-۱۹۹۰ با هدف توسعه شتابدار سطح گلخانه‌ها تدوین شد و به یک پروژه علمی و تکنولوژی کلیدی برای وزارت کشاورزی چین تبدیل شد. این برنامه منجر به رشد نزدیک به ۱۵ درصدی سطح این گلخانه‌ها در چین شد. برنامه توسعه بعدی مربوط به سال‌های ۲۰۰۰-۱۹۹۶ بود. این برنامه تحت عنوان پروژه کلیدی علمی و تکنولوژی برای وزارت علم و تکنولوژی چین و همچنین بنیاد ملی علوم طبیعی چین تعریف شد. با اجرای این طرح سطح زیرکشت گلخانه‌ها به بیش از ۲,۵ برابر گلخانه‌های موجود در نسبت به سال ۱۹۹۵ افزایش یافت. پس از این دوره، طی دهه اول ۲۰۰۰، ادامه روند توسعه

این گلخانه‌های خورشیدی پایدار، با کاهش ۵۰۰ میلیون تنی مصرف زغال‌سنگ و کاهش ۳۰۰ میلیون تنی تولید کربن دی‌اکسید در سال ۲۰۰۵ همراه شد. در پایان این دهه، برنامه ریزی هدفمند سیاستگذاران، سطح این گلخانه‌ها را به بیش از ۷۸۳۰۰۰ هکتار رساند. در این مرحله استانداردهای محلی توسعه یافت، اما همچنان نیاز به استانداردهای ساختمانی باکیفیت وجود داشت. از طرف دیگر طراحی سازه‌ها ضعیف بود و از مواد باکیفیت کم استفاده شده بود و نظارت کافی بر این گلخانه‌ها وجود نداشت.



شکل ۲۶: روند توسعه سطح گلخانه‌های خورشیدی در چین



شکل ۲۷: تعداد مقالات منتشر شده در مورد گلخانه‌های خورشیدی در چین در هر سال



جهت رفع مشکلات فوق، برنامه توسعه پنج‌ساله بعدی، ۲۰۱۵-۲۰۱۱ تدوین شد. این برنامه با عنوان پروژه توسعه کشاورزی حفاظت‌شده در چین و با هدف افزایش سطح گلخانه‌های چینی با تأکید بیش‌تر بر تئوری‌های طراحی و روش‌هایی برای بهبود ساختمان و اقدامات عملیاتی ارائه شد. نتایج رسمی از نتایج این طرح توسعه در دست نیست، ولی ایجاد چندین شرکت بین‌المللی متخصص در توسعه این گلخانه‌ها و از طرف دیگر مقالات علمی متعدد که اخیراً در مجلات بین‌المللی معتبر منتشر شده است نشان‌دهنده بهبود طرح‌های قبلی و توسعه گسترده‌تر این نوع از گلخانه‌ها است. در حال حاضر، این گلخانه‌ها به‌طور گسترده در مناطق مختلف کشور چین توسعه داده شده‌اند و برای تولید سبزیجات، میوه و گل‌های زینتی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

توسعه گلخانه‌ها در ایران

با توجه به بحران جدی آب در کشور، برنامه توسعه گلخانه‌ها و انتقال محصولات از فضای باز به گلخانه‌ها طی یک برنامه ۱۰ ساله با هدف ایجاد ۴۸۰۰۰ هکتار گلخانه در کشور، ۱۵۰۰۰ هکتار گلخانه در برنامه ششم توسعه و ۳۳۰۰۰ هکتار در برنامه هفتم توسعه، در دستور کار وزارت جهاد کشاورزی قرار دارد. با توجه به این که انتقال کشت سبزی و صیفی به گلخانه منجر به ۹۰ درصد صرفه جویی در مصرف آب می‌شود، در برنامه ششم و هفتم توسعه انتقال این محصولات به گلخانه در نظر گرفته شده است. از طرفی با توجه به مدیریت پذیرتر بودن گلخانه، کیفیت تولید محصولات بالا می‌رود و امکان صادرات را به وجود می‌آورد.

مطالعات پهنه‌بندی برای جانمایی گلخانه‌ها در وزارت کشاورزی و نهادهای مرتبط انجام شده و از طریق سایت معاونت باغبانی در دسترس است. نشریات فنی ۴۷۲ و ۴۷۴ تدوین و با همکاری سازمان مدیریت و برنامه ریزی منتشر شده است. آموزش‌هایی در زمینه مدیریت تولید در گلخانه و بهره‌برداری محصولات گلخانه‌ای با همکاری سازمان نظام مهندسی در حال انجام است. نظارت فنی بر واحدهای گلخانه‌ای با همکاری سازمان مهندسی



کشاورزی انجام شده است و تمام گلخانه‌ها نیازمند کارشناسی فنی هستند. صدور جواز سلامت محصول برای بعضی از گلخانه‌ها انجام شده است.

برای سرعت دادن به توسعه گلخانه‌ها تسهیلات بانکی با هماهنگی صندوق توسعه ملی فراهم شده است. با توجه به این که طرح توسعه گلخانه‌ها از طرح‌های اقتصاد مقاومتی است اعتبارات توسعه گلخانه‌ها بدون هیچ محدودیتی تامین شده است.

پروژه‌های بزرگی نظیر گلخانه ۷۵۰ هکتاری در سازمان عمران کرمان در حال تدوین است. هماهنگی اولیه پروژه ۱۰۰۰ هکتاری در جیرفت نیز انجام شده است و در فاز اولیه قرار است ۲۰۰ هکتار از آن به بهره برداری برسد. در منطقه جلغا نیز طرح مشابهی در حال توسعه است. وزارت جهاد کشاورزی ضمن تمرکز و حمایت از توسعه گلخانه‌های بزرگ، از گلخانه‌های کوچک (مقیاس ۳۰۰۰ متر مربع تا ۰,۵ هکتار) نیز حمایت می‌کند.

با توجه به مشکلات بازاریابی، طرح خوشه بندی گلخانه‌های کوچک با همکاری سازمان نظام مهندسی برای نظارت بر تولید و نوع محصول و اتصال محصول این گلخانه‌ها به صادرات در دست انجام است.

بالغ بر ۹۰۰ شهرک گلخانه‌ای در استان‌های مختلف با توجه به پهنه‌بندی انجام شده، با استفاده از منابع ملی و دولتی در حال واگذاری است. توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر در این شهرک‌ها قابل اجرا است.

بحث سازمان‌دهی سازندگان گلخانه‌ها، تدوین ضوابط و مشخصات فنی سازه‌ها و پوشش‌های گلخانه‌ای با همکاری سازمان استاندارد، در دست انجام است. یک گروه مطالعاتی برای طراحی سازه‌های گلخانه و متناسب سازی آن‌ها با نوع اقلیم کشور در حال پژوهش است، مثلا طرح احداث گلخانه ۱۰۰ هکتاری در چابهار با استفاده از آب دریای عمان و طرح مشابهی در هرمزگان، در خراسان نیز طرحی با استفاده از آب مرزی منطقه‌ای که در دست انجام است.



۵- خلاصه و رهیافت

مطالعات تطبیقی در زمینه گلخانه‌های انرژی کارآمد در چهار بخش متمایز انجام شده است.

در بخش اول، توسعه مبانی نظری در دانشگاه‌ها و مراکز پژوهشی در زمینه گلخانه‌های انرژی کارآمد مورد توجه قرار گرفته است. مطالعات انجام شده نشان می‌دهد، طراحی گلخانه‌های انرژی کارآمد و سبز بر اساس مفهوم کشاورزی پایدار (بر اساس شاخص‌های پایداری) انجام شده است. همچنین، بکارگیری روش‌های مدیریت انرژی و سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت، از مهمترین زمینه‌های پژوهشی در سال‌های اخیر می‌باشد.

یکی دیگر از راهبردهای دستیابی به مفهوم کشاورزی پایدار، به‌کارگیری منابع انرژی تجدیدپذیر در ساختار سیستم انرژی گلخانه‌ها است. مطالعات انجام شده نشان می‌دهد در حال حاضر بکارگیری روش‌های غیرفعال خورشیدی (بر اساس ساختمان و ساختار گلخانه) از توجیه‌پذیری فنی - اقتصادی بهتری نسبت به سیستم‌های فعال (استفاده از تجهیزات فتوولتائیک و کلکتورهای خورشیدی) برخوردار می‌باشد. همچنین کاربرد سیستم‌های پایش لحظه‌ای وضعیت گلخانه یک الزام اساسی در گلخانه‌های مدرن است.

در بخش دوم، رویکرد شرکت‌های فعال در زمینه طراحی، ساخت، نصب و بهره‌برداری از گلخانه‌های انرژی کارآمد مورد بررسی قرار گرفته است. شرکت‌های موفق در زمینه ساخت گلخانه‌ها، با پوشش کل زنجیره ساخت گلخانه، ضمن کاهش هزینه‌های تولید، کیفیت و عملکرد گلخانه را بهبود داده‌اند.

در بخش سوم، استانداردها و دستورالعمل اجرایی موجود، مورد بررسی قرار گرفته‌اند. استانداردهای تدوین شده، ضوابط و معیارهای حداقلی برای ساختار و پوشش گلخانه و همچنین تجهیزات مورد استفاده در گلخانه را ارائه می‌کنند. چند استاندارد ملی مانند "مبانی وضوابط توسعه گلخانه‌ها، مبانی وضوابط طراحی" و "گلخانه‌های تجاری - معیار مصرف انرژی در فرآیندهای تولید" مورد مطالعه قرار گرفته است. مهم‌ترین استاندارد بین‌المللی در



زمینه گلخانه‌ها، استاندارد^۱ NGMA می باشد که در اغلب کشورها، مبنایی برای طراحی گلخانه و تجهیزات مرتبط با آن است. در این استاندارد، بسیاری از ملاحظات اقلیمی، کشت محصولات خاص و همچنین کاربرد مدل‌های عرضه و تقاضا در طراحی گلخانه مورد توجه قرار نگرفته است. این نکته، لزوم توسعه ابزارهای تحلیلی بومی بر اساس شرایط اقلیمی را نشان می‌دهد.

بخش چهارم، به بررسی روند توسعه گلخانه‌ها، در ایران و چند کشور موفق در این زمینه شامل، هلند، آمریکا و چین می‌پردازد. تجربه هلند نشان می‌دهد، سیاستگذاری موثر دولت در روند خصوصی‌سازی، ایجاد بستر مناسب برای کسب و کار گلخانه‌ای و ارائه سازوکارهای حمایتی مناسب، مهمترین عوامل پیشبرد اهداف کشاورزی پایدار می‌باشند. همچنین ایجاد مراکز چند منظوره آموزش، پژوهش و ترویج کسب و کار گلخانه‌ای (مانند مرکز چندمنظوره دانشگاه راتکرز آمریکا) می‌تواند به عنوان راهبردی خلاق و مؤثر در جهت ترویج گلخانه‌ها مطرح شود. در ایران نیز طرح توسعه گلخانه‌ها، یکی از مهمترین اولویت‌های وزارت جهاد کشاورزی است و حمایت از توسعه گلخانه‌ها در تبصره ۱۵ برنامه ششم توسعه (۱۳۹۵-۱۳۹۹) مورد تاکید قرار گرفته است.

¹ National Greenhouse Manufacturers Association



مراجع

[۱] "مبانی و ضوابط توسعه گلخانه‌ها، مبانی و ضوابط طراحی"، معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس‌جمهور، دفتر نظام فنی اجرایی، موسسه پژوهش‌های برنامه‌ریزی و اقتصاد کشاورزی، نشریه شماره ۴۷۴، ۱۳۸۷.

[2] Emam Hassanien. R. H, Li. M, Dong Lin. W, "Advanced applications of solar energy in agricultural greenhouses", Journal of Renewable and Sustainable Energy Reviews, 54 (2016) 989–1001.

[3] <http://mazraehdaran.com/%D8%A8%D8%A7%D8%BA%D8%A8%D8%A7%D9%86%DB%8C/202%D8%AA%D8%B9%D8%B1%DB%8C%D9%81DA%AF%D9%84%D8%AE%D8%A7%D9%86%D9%87>

[4] <http://daneshnameh.roshd.ir/mavara/mavaraindex.php?page=%d8%a8%d8%a7%d8%ba%d8%a8%d8%a7%d9%86%db%8c&SSOReturnPage=Check&Rand=0>

[5] <http://rahyaban.com/pages/view/pageid/128/lang/fa>

[6] "Greenhouse". Oxford English Dictionary (3rd Ed.). Oxford University Press. September 2005.

[7] <http://www.yjc.ir/fa/news/5195908> ای-کشت-گلخانه-ای-تحقق-امنیت-غذایی-با-مزیت-های-کشت-گلخانه-ای

[8] NRAES. 1990 Greenhouse Engineering Robb Hall. New York. U.S.A.

[9] F.A.O. 1990. Greenhouse and shelter structures for tropical reigns.

[10] <http://baghbanigroup.mihanblog.com/post/106>

[۱۱] حمید رضا قزوینی و مختار میرانزاده، "سازه‌ها و پوشش‌های گلخانه‌های موجود و لزوم انتخاب مناسب آن با توجه به نیاز و اقلیم کشور". اولین کارگاه فنی ارتقاء کارایی مصرف آب با کشت محصولات گلخانه‌ای، ۲۶ مهرماه ۱۳۸۶.

[12] D. G. Hessayon (1992). The Garden DIY Expert. Pbi Publications. p. 104. ISBN 0-903505-37-1.

[13] National Greenhouse Manufacturers Association (NGMA) Standards for design loads in greenhouse structures, voluntary association of prominent U.S. greenhouse manufacturers, 1996.

[14] <http://www.livestrong.com/article/124424-advantages-greenhouse/>



- [15] Growing for market, news, advice and resources for market farmers. Publication date: Dec 1, 2012.
- [16] <http://vivaan.co/greenhouse.html>
- [17] <http://www.irna.ir/fa/News/81861228>
- [18] Gafsi M; Lagagneux, B.; Nguyen, G.; Robin, P. Agricultural Systems 2006, 90, 226-242.
- [19] Aerni P. Ecological Economics 2009, 68, 1872-1882.
- [20] Bot, G.P.A. Computers and electronics in agriculture 2001, 30, 151-165.
- [21] Vox, G.; Teitel, M.; Pardossi, A.; Minuto, A.; Tinivella, F., Schettini, E. Sustainable Agriculture 2010, 978-1-60876-269-9, 1-79.
- [22] Bot, G. P. A. Acta Horticulturae 2004, 633, 29-33.
- [23] Short, T. H. Acta Horticulturae 2004, 633, 17-27.
- [24] Bakker, J. C.; Bot, G. P. A.; Challa, H.; Van de Braak, N. J. Greenhouse climate control: an integrated approach. Wageningen Press, Wageningen, the Netherlands, 1995, 279 pp.
- [25] Zhao, Y.; Teitel, M.; Barak, M. J Agr Eng Res 2001, 78, 431-436.
- [26] Arbel, A.; Yekutiali, O.; Barak, M. J Agr Eng Res 1999, 72, 129-136.
- [27] Critten, D. L.; Bailey, B. Agr Forest Meteorol 2002, 112, 1-22.
- [28] Voulgaraki, S.I.; Papadakis G. Acta Horticulturae 2008, 801, 757-764.
- [29] Bot, G. P. A.; van de Braak, N.; Challa, H.; Hemming, S.; Rieswijk, T.; van Straten, G.; Verloot, I. Acta Horticulturae 2005, 501-508.
- [30] Assaf, G.; Zieslin, N. Acta Horticulturae 2003, 614, 433-437.
- [31] Nishina, H.; Takakura, T.; Hashimoto, Y. Acta Horticulturae 1988, 230, 555-558.
- [32] Bakker, J. C.; de Zwart, H. F.; Campen, J. B. Acta Horticulturae 2006, 719, 263-270.
- [33] Davies, P. A.; Harris, I.; Knowles, P. R. Acta Horticulturae 2006, 797, 139-146.



- [34] Arbel, A.; Barak, M.; Shklyar, A. Biosyst Eng 2003, 84, 45-55.
- [35] Teitel, M.; Zhao, Y.; Barak, M.; Bar-lev, E.; Shmuel, D. Energ Convers Manage 2004, 45, 209-223.
- [36] Farm Credit East, Greenhouse / Nursery Outlook, Knowledge Exchange, March 2014.
- [37] Dutch greenhouse market outlook to 2019.
- [38] “An Overview of the BC Greenhouse Vegetable Industry”, Ministry of Agriculture, Food and Fisheries Industry Competitiveness Branch, November 2003.
- [39] Vox. G, Teitel. M, Pardossi. A, Minuto. A, Tinivella. F, Schettini. E, “Sustainable greenhouse system”, Nova Science publishers, 2010.
- [۴۰] "دستورالعمل اجرایی نظام گلخانه‌ای کشور"، وزارت جهاد کشاورزی (ستاد مرکز واگذاری وظایف به بخش غیردولتی)، ۱۳۸۹.
- [۴۱] "گلخانه‌های تجاری-معیار مصرف انرژی در فرآیندهای تولید" سازمان ملی استاندارد ایران، ۱۳۹۰.
- [۴۲] "دستورالعمل تولید نشاء مکانیزه سبزی و صیفی در سطح تجاری"، وزارت جهاد کشاورزی، معاونت امور تولیدات گیاه (دفتر امور سبزی، گیاهان زینتی و دارویی)، موسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر (بخش تحقیقات سبزی و صیفی)، موسسه تحقیقات خاک و آب و سازمان حفظ نباتات، سال ۱۳۹۲.
- [43] Beyhan, B, Paksoy. H, Daşgan. Y. “Root zone temperature control with thermal energy storage in phase change materials for soilless greenhouse applications”. Journal of Energ Convers Manag 2013; 74: 446-53.
- [44] Bot. G, VandeBraak. N, Challa, H, Hemming. S, Rieswijk. T. H, VanStraten. G, Verloot. I. “The solar greenhouse: state of the art in energy saving and sustainable energy supply”. ActaHortic (ISHS) 2005; 691: 501-8.
- [45] Chai. L, Ma. C, Ni. J. Q. “Performance evaluation of ground source heat pump system for greenhouse heating in northern China”. Biosyst Eng 2012; 111: 107-17.
- [۴۶] پاشایی، فرزام؛ رحمتی، محمد هاشم؛ پاشایی، پیام؛ ۱۳۸۵، بررسی و تعیین میزان مصرف انرژی برای تولید گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای در گلخانه‌های استان کرمانشاه؛ پنجمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون.



[۴۷] شهرکی، فرزاد؛ کوهی، نادر؛ ۱۳۸۶؛ سیستم‌های گرمایش، برودتی و تهویه گلخانه؛ اولین کارگاه فنی ارتقاء کارایی مصرف آب با کشت محصولات گلخانه‌ای

[۴۸] مزیدی شرف آبادی، محسن؛ مزیدی شرف آبادی، محمد؛ ۱۳۸۹؛ مطالعه یک طرح گلخانه پیشرفته و بررسی سیستم سرمایش، گرمایش و تهویه مطبوع آن؛ دومین همایش ملی تهویه و بهداشت صنعتی.

[۴۹] احمدی، نوراله؛ بناکار، احمد؛ ۱۳۹۰؛ مصرف انرژی در گلخانه‌ها و راه کارهای افزایش کارایی انرژی مصرفی.

[50] Caouris. Y. G, Kittas, C. 1989. Regional monthly estimation of greenhouse energy consumption, application to Greece, Solar & Wind Tech. Vol. 6, No, 3. pp. 225 233.

[51] Aldrich. K. J., B. Barteck, S. Biermann, G. 1994. Greenhouse engineering. Agriculture, Ecosystems and Environment, Vol. 86.

[52] ARGIRIOU, J., J. 1994, Design and operation of a low energy consumption passive solar agricultural greenhouse, Article ID 871075, 6 pages Hybrid Algorithms.

[53] Roberts W, J, Emeritus, 1998, Glazing Materials, Structural Design, and Other Factors Affecting Light Transmission in Greenhouses, Greenhouse Glazing & Solar Radiation Transmission Workshop.

[54] Fowler, P. A. Bucklin, R.A., Baird, C.D, Chapman, F.A. Watson., C.A, 2002, Comparison of Energy Needed to Heat Greenhouses and Insulated Frame Buildings Used in Aquaculture.

[55] Greenhouse heating requirement, 2006, Canada Plan Service, livestock housing systems, storages and equipment for Canadian Agriculture.

[56] Steenis E. v. 2008, Greenhouse Energy Consumption, USDA Forest Service Proceedings RMRS-P-58.

[57] Latimer, J, G. 2009, Dealing with the High Cost of Energy for Greenhouse Operations. Produced by Communications and Marketing, College of Agriculture and Life Sciences.

[58] Perea, M. Ruiz, H. Moreno, R. Miranda, M. Araiza, R. 2009, Greenhouse Energy Consumption Prediction using Neural Networks Models, International Journal of Agriculture & Biology, ISSN Print: 1560-8530; ISSN Online: 1814-9596.



- [59] Reducing greenhouse energy consumption-An overview, 2011, Energy efficiency in greenhouse.
- [60] Conserving Energy in greenhouse operations, 2013. Natural Resources Conservation service.
- [61] Jafari. M, 2013. Energy Consumption Impacted by Climate Change Application: Case Study Astara. Power, Control and Optimization, Lecture Notes in Electrical Engineering 239, DOI: 10.1007/978-3-319-00206-4_2, Springer International Publishing Switzerland.
- [62] Chen, J. Zhao, J. Xu, F, Hu, H. Ai, Q. Yang, J. 2015, Modeling of Energy Demand in the Greenhouse Using PSO-GA. Hindawi Publishing Corporation Mathematical Problems in Engineering Volume 2015, Article ID 871075, 6 pages Hybrid Algorithms.
- [63] Ottosen, C. O.; Rosenqvist, E. Fruit & Veg Tech 2006, 6(1), 12-14.
- [64] ASABE EP406.4 Standard. Heating, ventilating and cooling greenhouses. ANSI/ASAE EP406.4, American Society of Agricultural and Biological Engineers. MI, USA, 2007, pp 787-795.
- [65] Kozai, T. Acta Horticulturae 1989, 257, 169-182.
- [66] de Zwart, H. F. Acta Horticulturae 1997, 418, 209-216.
- [67] Hamer, P. J. C.; Langton, F. A. Acta Horticulturae 2005, 691, 633-639.
- [68] Hanan, J. J. Greenhouses: Advanced Technology for Protected Horticulture, CRC Press, NY, USA, 1998, 684 pp.
- [69] Silva, A. M.; Rosa, R. J Agr Eng Res 1987, 37, 155-162.
- [70] Bailey, B. J. J Agr Eng Res 1981, 26, 215-224.
- [71] Öztürk, H. H.; Başçetinçelik, A. Acta Horticulturae 1997, 443, 79-84.
- [72] Davies, P. A.; Hossain, A. K.; Lychnos, G.; Paton, C. Acta Horticulturae 2008, 797, 339-346.
- [73] de Zwart, H. F. Acta Horticulturae 2005, 691, 597-604.
- [74] Canakci. M, Yasemin. Emekli. N, Bilgin. S, Caglayan. N. "Heating requirement and its costs in greenhouse structures: a case study for Mediterranean an region of Turkey". Renew Sustain Energy Rev 2013; 24: 483-90.



- [75] Bakker. J. C. “Energy saving greenhouses”. *Chron Horticulture* 2009; 49: 19–23.
- [76] Fabrizio, E. “Energy reduction measures in agricultural greenhouses heating: Envelope, systems and solar energy collection”. *Energy Build* 2012; 53: 57–63.
- [77] Van Beveren. P. J. M, Bontsema. J, VanStraten. G, Van. Henten. E. J. “Minimal heating and cooling in a modern rose greenhouse”. *Appl Energy* 2015; 137: 97–109.
- [78] Sethi. V. P, Sumathy. K, Lee. C, Pal. D. S. “Thermal modeling aspects of solar greenhouse micro climate control: a review on heating technologies”. *Sol Energy* 2013; 96: 56–82.
- [79] Korecko. J, Jirka. V, Sourek. B, Cerveny. J. “Module greenhouse with high efficiency of transformation of solar energy, utilizing active and passive glass optical rasters”. *SolEnergy* 2010; 84: 1794–808.
- [80] Attar. I, Naili. N, Khalifa. N, Hazami. M, Lazaar. M, Farhat. A. “Experimental study of an air conditioning system to control a greenhouse micro climate”. *Energy Convers Manag* 2014; 79: 543–53.
- [81] Yang. S. H, Lee. S. D, Kim. Y. J, Rhee. J. Y. “Greenhouse heating and cooling with a heat pump system using surplus air and underground water thermal energy”. *Eng Agric Environ Food* 2013; 6: 86–91.
- [82] Esen. M, Yuksel. T. “Experimental evaluation of using various renewable energy sources for heating a greenhouse”. *Energy Build* 2013; 65: 340–51.
- [83] Mehrpooya. M, Hemmatabady. H, Ahmadi. M. H. “Optimization of performance of combined solar collector-geothermal heat pump systems to supply thermal load needed for heating greenhouses”. *Energy Convers Manag* 2015; 97: 382–92.
- [84] Al-Shamiry. F, Ahmad. D, Sharif. A. R. M, Aris. I, Janius. R, Kamaruddin. R. “Design and development of photovoltaic power system for tropical greenhouse cooling”. *Am J Appl Sci* 2007; 4: 386–9.
- [85] Ganguly. A, Misra. D, Ghosh. S. “Modeling and analysis of solar photovoltaic- electrolyzer- fuel cell hybrid power system integrated with a floriculture greenhouse”. *Energy Build* 2010; 42: 2036–43.
- [86] Allouhi. A, Kousksou. T, Jamil. A, Bruel. P, Mourad. Y, Zeraouli. Y. “Solar driven cooling systems: an updated review”. *Renew Sustain Energy Rev* 2015; 44: 159–81.



[87] Stephan. S, Bopp. G, Essam. R, Goetzberger. A, Obergfell. T, Reise. C. h. “Agro- photovoltaic (APV) agricultural production below optimized elevated photovoltaic systems”. Agrophotovoltaics in the MENA Region Profitable Applications for Egypt Workshop Heliopolis University Campus, 16. January 2014, Cairo, Egypt.

[88] Cossu. M, Murgia. L, Ledda. L, Deligios. P. A, Sirigu. A, Chessa. F. “Solar radiation distribution inside a greenhouse with south-oriented photovoltaic roofs and effects on crop productivity”. Appl Energy 2014; 133: 89–100.

[89] Mokeddem. A, Midoun. A, Kadri. D, Hiadsi. S, Raja. I. A. “Performance of a directly coupled PV water pumping system”. Energy Convers Manag 2011; 52: 3089–95.

[90] <http://www.greenhousemegastore.com/category/covering>

[91] [ouse.co.uk/Commercial_Growers.html](http://www.ouse.co.uk/Commercial_Growers.html)

[92] <http://www.roughbros.com/>

[93] <http://www.solarinnovations.com/commercial/commercial-greenhouses/>

[94] <http://www.agratech.com/greenhouses-commercial-greenhouse-manufacturer.html?id=27>

[۹۵] جهانگیر عابدی کوپایی، سید سعید اسلامیان، محمد جواد امیری. "کشت‌های گلخانه‌ای راهی برای افزایش کارایی مصرف

آب". اولین کنگره ملی هیدروپونیک و تولیدات گلخانه‌ای، ۲۸ الی ۳۰ مهر ۱۳۸۸، دانشگاه صنعتی اصفهان.

مجموعه داوری گزارش فناوری گلخانه‌های انرژی کارآمد و سبز

تجربیات بین‌المللی و ملی



روزآمد : ۹۷/۰۲/۲۵

دانشگاه صنعتی شریف - دانشکده مهندسی انرژی

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



دانشگاه صنعتی شریف

دانشکده مهندسی انرژی

گزارش فاز مقدماتی

فناوری گلخانه‌های انرژی کارآمد و سبز

تجربیات بین‌المللی و ملی

مشاور/ناظر: محمدباقر غفرانی

مجری: رامین روشندل

مدیر فنی: عاطفه بهزادی فروغ

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

ویراست ۵

اردیبهشت ۱۳۹۶

داوری دور اول نظرات داور اول

اظهار نظر در خصوص گزارشات "فاز مقدماتی" و "فاز اول" گلخانه‌های انرژی کار آمد و سبز

الف گزارش فاز مقدماتی (فن‌آوری گلخانه‌های انرژی کارآمد و سبز: تجربیات بین‌المللی و ملی)

در گزارش، شرح خدمات انجام مطالعات مشاهده نشد اما با توجه به عناوین بکار گرفته شده، این مجلد بیشتر به ارایه کلیات در زمینه‌های تعاریف، انواع، اجزا، دلایل احداث، انرژی‌های مورد استفاده در گلخانه‌ها و در نهایت ارایه خلاصه و رهیافت‌های موجود پرداخته است. البته اطلاعات جمع‌آوری شده در قالب یک فعالیت نیمه آکادمیک مفید ارایه شده که برخی از آنها نیز در بخش‌های مختلف گزارش و با ادبیات متفاوت دوباره تکرار شده‌اند. مهمترین نکات قابل توجه در خصوص این گزارش عبارتند از:

- فرمت ارایه گزارش از قالب مشخص و مرسوم کشور (تحقیقاتی و یا مشاوره‌ای) پیروی نمی‌کند.
- شماره اشکال و جداول به درستی مرتب نشده‌اند لذا خواننده در زمان خواندن و انطباق مطالب، با مشکلاتی رو به رو می‌گردد.
- تفکیک انواع گلخانه بر حسب محصولات تولیدی با توجه به نوع محصول، دستورالعمل‌های موجود و منابع اطلاعاتی و آمارنامه‌های وزارت جهاد کشاورزی تنظیم شود.
- صفحه "ج" ذیل عنوان افزایش عملکرد محصول و کاهش مصرف آب: عملکرد محصولات در گلخانه بالاتر نیست. بلکه کارایی مصرف آب در این محیطها نسبت به فضای باز بیشتر است. به عبارتی نیاز آبی یک هکتار گلخانه سبزی و صیفی مشابه یک هکتار مزرعه فضای باز سبزی و صیفی است ولی در یک هکتار گلخانه به دلایلی مانند سیستم‌های کشت متراکم‌تر، فضای محیطی مساعدتر و امکان تکرار کشت و ... بهره‌وری آب به ازای هر مترمکعب آب بالاتر است.
- صفحه ج و ذیل عنوان کاهش سموم دفع آفات: لطفاً عنایت شود که در گلخانه‌های معمولی بر عکس این موضوع مطرح است. به دلیل بالا بودن رطوبت‌نسبی و به منظور جلوگیری از شیوع بیماری‌های قارچی، مصرف سموم بالاتر است. البته در گلخانه‌های خاص و ایزوله با رعایت اصول کنترل بیولوژیک می‌توان به هدف کنترل سموم دست یافت. لذا لازم است این بخش با عنایت به این موضوع ویرایش شود.
- در شکل (الف) تحت عنوان جایگاه گلخانه در بهبود زنجیره غذا: عنوان "افزایش قابلیت اطمینان" مفهوم نیست.

- صفحه ۴ گزارش مقدماتی و ذیل بند ۲-۱: قید شده است که هدف از احداث گلخانه پرورش محصولات در خارج از فصل است، در حالی که گلخانه ها به دلیل برخورداری از کارایی مصرف بالای آب و محیط کنترل شده، در داخل فصول نیز توجیه پذیرند.
- صفحه ۱۸ بند ۱: میزان گرمایش گلخانه علاوه به موارد اشاره شده، به نوع محصول نیز بستگی دارد.
- صفحه ۱۸ بند ۴: حذف گازهای مضر نیز از دیگر مزایای تهویه در گلخانه است.
- مطالب ارایه شده در قسمت خلاصه و رهیافت (صفحات ۷۶ و ۷۷) عینا تکرار صفحات "خ" و "د" در بخش مدیریتی گزارش است، لذا نمی‌توانند به عنوان نتیجه مطالعات و یا نظر مطالعه‌کنندگان تلقی شوند.

ب- گزارش فاز اول (طراحی ابزارهای تحلیلی برای توسعه گلخانه‌های انرژی کارآمد: مدل تقاضا و عرضه انرژی)

- به منظور ارایه مدل‌های تقاضا و عرضه انرژی، شیوه بررسی در این گزارش مقداری از قالب تحقیقاتی (آکادمیک) فاصله گرفته و با انجام مطالعات میدانی، به صورت کاربردی تر ارایه شده‌اند. در این بررسی‌ها، دو گلخانه (یکی در مهاباد و دیگری در پاکدشت ورامین) مورد تدقیق قرار گرفت. دو گلخانه، در برخی جنبه‌ها شامل نیاز به سرمایش و گرمایش، میزان استفاده از نور خورشید در طول روز و شدت آن مشابه هستند. لازم است به منظور استفاده کاربردی در مقیاس کشور، شبیه‌ساز برای نواحی اقلیمی متفاوت نیز مورد آزمون قرار گیرند.
- موضوع فاز اول مطالعه، "طراحی ابزار" می باشد. این مسیر از مدلسازی شروع شده و به ساخت شبیه ساز ختم می‌شود. لذا سرفصل‌های اصلی در این مسیر شامل رویکرد، مولفه‌ها، الگوریتم و فلوچارت، دامنه کاربرد، مشخصات کالیبراسیون، خصوصیات داده‌های ورودی، ویژگی‌های نرم افزاری، انواع خروجی‌ها، زیر مدل‌ها، الگوریتم‌های جانبی، اعتبارسنجی، صحت‌سنجی، تحلیل حساسیت، مشخصات برنامه‌نویسی و ویژگی‌های سخت‌افزاری می‌بایست مورد توجه قرار گیرد.
- به نظر، مدل تقاضای انرژی مورد استفاده، بر پایه مدل چن و همکاران (۲۰۱۵) می‌باشد. در این صورت، روش برآورد و مقدار پارامترها، خصوصیات گلخانه آزمایشی، روش جمع‌آوری داده‌ها، دقت و ضعف‌های مدل اشاره گردد.
- در بحث کنترل گلخانه ها باید توجه داشت که نوع سیستم کنترل و پیاده سازی آن (عملگرها) در مصرف انرژی بسیار می تواند تاثیر گذار باشد. همچنین در تمامی سیستم‌های کنترلی همیشه تاخیر زمانی بین انرژی مورد تقاضا و انرژی عرضه شده وجود دارد. این مسائل در پروژه حاضر باید دیده شود.

- مدل تقاضای انرژی می بایستی پویا و بصورت لحظه‌ای و با تغییر پارامترها قابل برآورد باشد که در مطالعات حاضر اینگونه نیست.
- مدل عرضه انرژی بهینه با توجه به بررسی‌های فنی، اقتصادی و زیست محیطی، معرفی و پیشنهاد نشده است. بلکه هر یک از آنها بصورت جداگانه بررسی و معایب و مزایای آن برشمرده شده است. لیکن در پایان گزینه قطعی و نهایی برای استفاده کاربردی مشخص نگردیده است.
- امکان برآورد دقیق انرژی مورد نیاز گلخانه با توجه به تاثیر پارامترهای مختلف و تغییرات آن با خطا همراه بوده و پیشنهاد عرضه انرژی نیز به عوامل مختلفی بستگی دارد که توجیه آن به راحتی امکان پذیر نمی باشد.
- استفاده از انرژی های نو و بهره گیری از انرژی خورشیدی بعنوان منبع انرژی منحصر بفرد تجدید پذیر در محیط گلخانه ، علیرغم بالا بودن هزینه اولیه می بایستی در مطالعات حاضر جایگاه ویژه ای را پیدا نماید.
- تاثیر اقتصادی و هزینه تمام شده سیستم‌های عرضه انرژی در مطالعات حاضر بر تاثیرات فنی و زیست محیطی غالب شده است.

پاسخ به نظرات داور اول

با سلام و احترام

موضوع: پاسخ به اظهار نظر در خصوص گزارشات "فاز مقدماتی" و "فاز اول" گلخانه های انرژی کارآمد و سبز
به استحضار می رساند کلیه نظرات داور محترم در نسخه اصلاح شده اعمال شده است.