وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی
AERI

گزارش تحلیلی

اثر ارتفاع گلخانه بر خرد اقلیم و مصرف سوخت گلخانه‌ها

قاسم زارعی، صادق صادقی، سیدمعین الدین رضوانی
وداود مومنی

۱۴۰۳

جمهوری اسلامی ایران

وزارت جهاد کشاورزی

سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

گزارش تحلیلی

اثر ارتفاع گلخانه بر خُرداقلیم و مصرف سوخت گلخانه‌ها

پژوهش و نگارش:

قاسم زارعی، صادق صادقی، سیدمعین‌الدین رضوانی و داود مؤمنی

شماره ثبت: ٦٦٣٣٨

وزارت جهاد کشاورزی

سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

عنوان گزارش:	اثر ارتفاع گلخانه بر خُرداقلیم و مصرف سوخت گلخانه‌ها
نگارش:	قاسم زارعی، صادق صادقی، سیدمعین‌الدین رضوانی و داود مؤمنی
محل اجراء:	استان‌های البرز، مرکزی، همدان و اصفهان
تاریخ شروع :	۱۴۰۳/۲/۱
مدت اجراء:	۵ ماه
ناشر:	مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی
شمـــارگان:	-
سال انتشار:	۱۴۰۳

AERI

کتابخانه

موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
چکیده	۱
مقدمه	۳
شناخت و تبیین مسئله	۵
اهداف از این نوشتار	۶
نقد، بررسی و تحلیل جامع موضوع	۷
تاریخچه پیدایش گلخانه‌ها	۷
بررسی سوابق موضوع	۱۰
نتیجه‌گیری	۲۲
مثال کاربردی برای بررسی اثر ارتفاع در مصرف سوخت گلخانه	۲۶
الف- گلخانه با ارتفاع از زیر ناودان ۲/۵ متر و ارتفاع نهائی گلخانه ۴/۵ متر	۲۷
ب- گلخانه ارتفاع از زیر ناودان ۵ متر و ارتفاع نهائی گلخانه ۷/۵ متر	۲۸
فهرست منابع	۳۳
چکیده انگلیسی	۳۶

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل ۱- آمار گلخانه‌های کشور در سال ۱۴۰۱	۴
شکل ۲- اختلاف دما بین داخل و خارج گلخانه به‌عنوان تابعی از ارتفاع گلخانه	۱۲
شکل ۳- شدت افزایش نیاز گرمایشی گلخانه با افزایش ارتفاع آن	۱۳
شکل ۴- توزیع دما در گلخانه براساس تعداد دهانه‌های آن	۱۴
شکل ۵- چهار مدل گلخانه با ارتفاع‌های مختلف	۱۵
شکل ۶- توزیع ضریب فشار باد (C_p) در مقطع مرکزی برای باد عرضی	۱۵
شکل ۷- گلخانه مورد آزمون در خصوص تاثیر ارتفاع گلخانه و چیدمان دریچه‌ها در تهویه	۱۸
شکل ۸- تغییرات میانگین روزانهٔ دمای گلخانه‌های با ارتفاع متفاوت و بیرون گلخانه	۲۰
شکل ۹- تغییرات حداقل روزانهٔ دمای گلخانه‌های با ارتفاع متفاوت و بیرون گلخانه	۲۰
شکل ۱۰- تغییرات حداکثر روزانهٔ دمای گلخانه‌های با ارتفاع متفاوت و بیرون گلخانه	۲۰
شکل ۱۱- تغییرات میانگین روزانهٔ رطوبت نسبی گلخانه‌های با ارتفاع متفاوت و بیرون گلخانه	۲۱
شکل ۱۲- مشخصات هندسی گلخانه نمونه مورد محاسبه	۲۶
شکل ۱۳- مقایسه ظاهری دو گلخانه نمونه با مساحت یکسان و ارتفاع‌های متفاوت	۲۷
شکل ۱۴- مقایسهٔ شاخص‌های مختلف در دو گلخانه با ارتفاع‌های متفاوت	۳۱

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول ۱- اثر ارتفاع گلخانه و میزان تهویه بر ارتفاع گیاه گوجه‌فرنگی	۱۷
جدول ۲- فرضیات و جدول فاکتورهای مورد استفاده در حالت اول (گلخانه با ارتفاع از زیر ناودان ۲/۵ متر و ارتفاع نهائی گلخانه ۴/۵ متر)	۲۹
جدول ۳- فرضیات و جدول فاکتورهای مورد استفاده در حالت دوم (گلخانه با ارتفاع از زیر ناودان ۵ متر و ارتفاع نهائی گلخانه ۷/۵ متر	۳۰
جدول ۴- مقایسهٔ اختلاف شاخص‌های مختلف در دو گلخانه با ارتفاع‌های متفاوت	۳۱

چکیده

گلخانه‌ها سازه‌های بسیار پیچیده‌ای هستند که هدف از ساخت و راه‌اندازی آنها، فراهم کردن شرایط ایده‌آل برای رشد گیاهان و تولید رضایت‌بخش و اقتصادی محصولات کشاورزی در طول سال در آنها است. بدیهی است در این سازه‌ها بایستی فاکتورهای رشد نور، دما، رطوبت‌نسبی و ترکیب هوا (CO_2) در حد مورد نیاز تأمین و در سطوح بهینه، نگهداری شوند. بنابراین یک گلخانه استاندارد بایستی عوامل مهم آب و هوایی را تا حد امکان در محدودهٔ تعیین شده حفظ کند، از راندمان تهویه کافی برخودار باشد، استحکام ساختاری کافی در مقابل انواع بارهای وارده (باد، برف و ....) داشته باشد، انعطاف‌پذیری و رفتار مکانیکی خوب نسبت به گیاهان کشت شده داشته باشد و نیز هزینه‌های ساخت، بهره‌برداری و نگهداری آن کم باشد. کشت‌های گلخانه‌ای به‌طور پیوسته در حال رشد بوده و به‌شدت با بخش‌های دیگر کشاورزی در سراسر جهان در حال رقابت هستند. از سوی دیگر، شدت مصرف انرژی در کشت‌های گلخانه‌ای به‌دلیل لزوم فراهم آوردن شرایط محیطی مناسب و کنترل شده برای گیاهان، بالاتر از زراعت و باغبانی است. در اکثر نقاط جهان، باغبانی در محیط‌های کنترل شده، شاخه‌ای سودآور از کشاورزی است. با این حال، شرایط محلی و اقلیمی بر طراحی گلخانه تأثیر می‌گذارند و باعث ایجاد طیف وسیعی از سازه‌ها و پوشش‌های گلخانه‌ای می‌شوند. آب و هوا عامل اصلی تأثیرگذار بر ویژگی‌های ساختاری و عملکردی گلخانه‌ها است. هدف از طراحی گلخانه بهره‌گیری از شرایط اقلیمی خارجی برای بهبود خرد اقلیم داخلی است. به‌همین دلیل، طراحی کلی گلخانه به‌شدت تحت تأثیر آب و هوا و عرض جغرافیایی مکان مورد نظر است. علاوه‌بر این، بارهای مختلف وارد شده به گلخانه‌ها، به شرایط آب و هوایی منطقه بستگی دارند. نیازهای کلی محصول و شرایط آب و هوایی محلی، الزامات خاصی را بر ساختار گلخانه تحمیل می‌کنند. با این‌حال، سنت‌های ملی تأثیر قوی و گاهی گمراه کننده بر طراحی گلخانه دارند. به‌طورکلی، ارتفاع متوسط گلخانه حجم آن را مشخص می‌کند. حجم زیاد گلخانه منجر به واکنش آهسته و تدریجی محیط داخلی به تغییرات شرایط آب و هوایی خارجی می‌شود. بنابراین گلخانه‌های مرتفع‌تر، نوسانات کمتری را در آب و هوای داخلی خود نشان می‌دهند. از سوی دیگر، گلخانه‌های مرتفع‌تر مصرف انرژی را افزایش داده و به دلیل وارد شدن بارهای باد بزرگ‌تر، از نظر پایداری به سازه محکم‌تری نیاز دارند. به‌همین دلیل ارتفاع گلخانه

معمولاً با توجه به این دو عامل رقیب، انتخاب می‌شود. گلخانهٔ مرتفع مزایای مهم دیگری نیز دارد. به‌عنوان مثال: راندمان تهویه آن در اثر پدیدهٔ دودکش، بیشتر است. همچنین فضای بیشتری را برای نصب تجهیزات کنترل آب و هوا مانند پرده‌های حرارتی یا سایه‌انداز، سامانه‌های مه‌پاش، نور مصنوعی و غیره را فراهم می‌کند. به‌همین دلایل، روند فعلی فناوری گلخانه‌ها در دنیا به‌سمت ساخت و بهره‌برداری گلخانه‌های مرتفع‌تر است. به‌طورکلی تأثیر ارتفاع گلخانه بر شرایط اقلیمی داخل گلخانه‌ها و نیز مصرف سوخت آنها، حدود دو دهه است که همواره در ایران مورد بحث قرار دارد و درخصوص لزوم برخورداری گلخانه‌ها از ارتفاع بلندتر، موافقان و مخالفین جدی وجود دارند. به‌همین دلیل در این نوشتار به بررسی، مستندسازی و تحلیل فنی تأثیر ارتفاع گلخانه بر شرایط اقلیمی داخل گلخانه‌ها و همچنین نیاز گرمایشی و در نتیجه، میزان مصرف سوخت در آنها پرداخته شده است.

واژه‌های کلیدی: سازهٔ گلخانه، گرمایش، مصرف انرژی، بهینه‌سازی، کنترل اقلیم

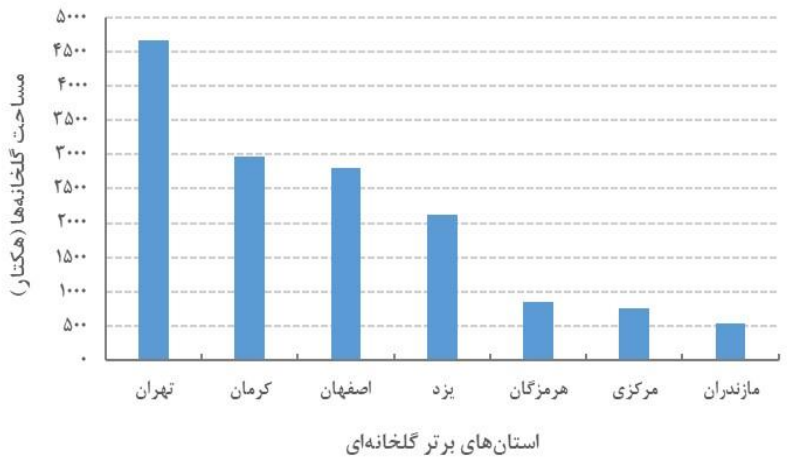
مقدمه

امروزه تولید محصولات کشاورزی در جهان برای تأمین غذا نسبت‌به گذشته دشوارتر شده است. افزایش جمعیت و نیاز روزافزون به مواد غذایی در کنار ریسک بالای فعالیت‌های کشاورزی، مسائل مهمی هستند که باید برای یافتن راه‌حل‌های مطلوب برای آنها، روش‌های نوین و مؤثری را جستجو کرد. ایجاد گلخانه برای تولید محصولات کشاورزی به‌دلایل متعددی مانند امکان کنترل عوامل اقلیمی، کاهش اثرات سوء پدیده‌های اقلیمی، استفاده مؤثرتر از منابع آب و خاک، امکان کاربرد مناسب‌تر سایر نهاده‌ها و امکان تولید خارج از فصل، جایگاه ویژه‌ای به این نوع از تولید داده است به‌طوری‌که کشت گلخانه‌ای به‌عنوان یک روش تولید متفاوت با بهره‌وری زیاد، در سال‌های اخیر به‌ویژه در مناطق کم‌آب نظیر ایران، مورد توجه جدی قرار گرفته و در حال توسعه است (زارعی و مومنی، ۱۳۹۶).

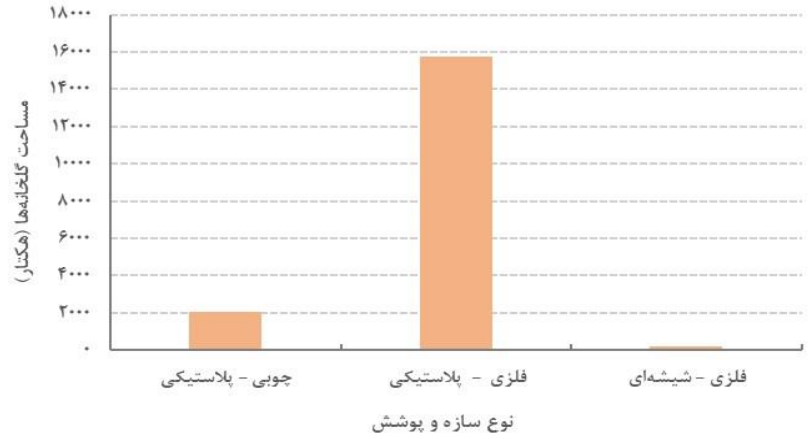
بر اساس آمار منتشر شده، مساحت گلخانه‌های کشور در سال ۱۴۰۱ برابر ۱۸۲۴۰/۴۳ هکتار بوده است. از این سطح، ۱۳۹۴۸/۳ هکتار سبزی و صیفی، ۳۳۳۲/۴ هکتار گل و گیاهان زینتی، ۱۹۶/۱ هکتار کشت نشای مکانیزه و ۸۰۳/۵ هکتار سایر محصولات گلخانه‌ای بوده است (شکل ۱). همچنین وضعیت گلخانه‌های کشور از نظر سازه و پوشش در همین سال حاکی از آن است که ۲۰۵۹/۲۲ هکتار از گلخانه‌ها چوبی – پلاستیکی، ۱۵۷۲۱/۷۸ هکتار از گلخانه‌ها فلزی – پلاستیکی، ۲۸۲/۵۲ هکتار از گلخانه‌ها فلزی– شیشه‌ای و ۱۷۶/۹۱ هکتار از نوع سایبان‌های کشاورزی بوده‌اند. از سوی دیگر در این سال، هفت استان گلخانه‌ای کشور از نظر مساحت به‌ترتیب عبارت بودند از تهران ۴۶۵۹/۸ هکتار، کرمان ۲۹۷۳/۰ هکتار، اصفهان ۲۸۰۵/۲ هکتار، یزد ۲۱۱۴/۲ هکتار، هرمزگان ۸۵۰/۰ هکتار، مرکزی ۷۵۶/۱ هکتار و مازندران ۵۴۰/۸ هکتار (بی‌نام، ۱۴۰۲).

معمولاً ارتفاع گلخانه به‌صورت فاصله از سطح زمین تا زیر ناودان (ارتفاع مفید) یا بلندترین نقطهٔ گلخانه (سقف یا تاج) تعریف می‌شود. هر چه ارتفاع گلخانه بیشتر باشد، ضریب فشار پویای باد (اثر وزش باد) بر آن نیز بیشتر خواهد شد. ارتفاع گلخانه رابطهٔ مستقیمی با تهویه دارد. مطالعات نشان می‌دهند با ارتفاع ۵ متر، دمای هوای گلخانه ۳ درجه سلسیوس خنک‌تر از زمانی است که ارتفاع گلخانه ۳ متر است. ارتفاع بیشتر باعث می‌شود سرمای هوای بیرون کمتر روی گیاهان و محصولات کشت شدهٔ داخل گلخانه، تأثیر بگذارد. آمار موجود حاکی از آن است در مناطقی از ایران مانند جیرفت، سرمازدگی روی برخی محصولات گلخانه‌ای به‌ویژه خیار، تأثیرات مخربی گذاشته است. در چنین شرایطی تجربه نشان داده هر چه فرم سازه گلخانه به مربع نزدیکتر باشد (ارتفاع بیشتر باشد)، جابجایی هوا بهتر صورت می‌گیرد و هزینه‌های مربوط به احداث و بهره‌برداری از سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی گلخانه‌ها کاهش می‌یابند (برزگر و یادگاری، ۱۳۸۹).

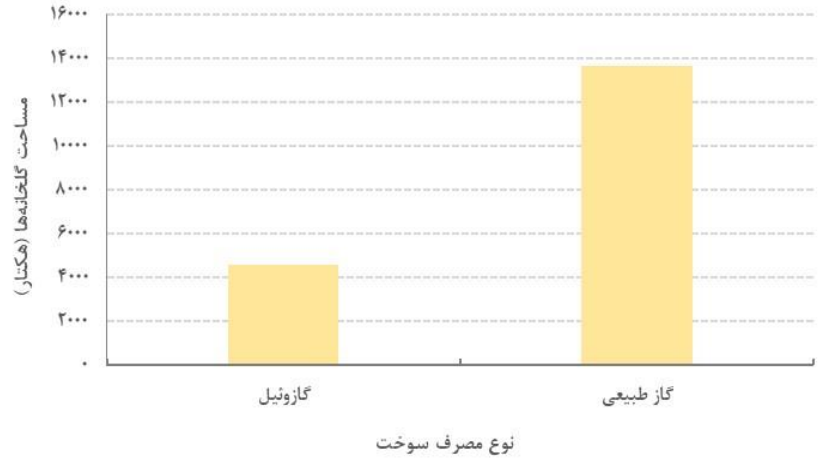
الف- وضعیت گلخانه‌های کشور از نظر نوع کشت



ب- وضعیت گلخانه‌های کشور در استان‌های برتر



ج- وضعیت گلخانه‌های کشور از نظر جنس سازه و پوشش



د- وضعیت گلخانه‌های کشور از نظر نوع سوخت مصرفی برای گرمایش

شکل ۱- آمار گلخانه‌های کشور در سال ۱۴۰۱

شناخت و تبیین مسئله

ارتفاع سازۀ گلخانه یکی از مهم‌ترین شاخص‌های فنی طراحی آن محسوب می‌شود. ارتفاع یک سازۀ گلخانه‌ای به‌طور مستقیم بر تهویه طبیعی، پایداری خرد اقلیم داخلی آن، مقاومت در برابر وزش بادهای شدید و مدیریت تولید محصول (هزینه‌های تولید و میزان مصرف انرژی) آن تأثیر می‌گذارد. اصولاً تشدید اثر طبیعی دودکش[1] به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین پیامدهای افزایش ارتفاع گلخانه شناخته می‌شود. این پدیده طبیعی به‌دلیل افزایش اختلاف فشار بین هوای گرم و سرد ایجاد شده و موجب صعود آسان‌تر هوای گرم به ارتفاع بالاتر و نیز جانشینی هوای خنک در محدوده کانوپی گیاهان می‌گردد. اساس این‌کار، انجام تهویه غیرفعال[2] در گلخانه‌ها است. در گلخانه‌ها، این خاصیت در سازه‌های با ارتفاع بیش از ۳/۵ متر (از زیر ناودان)، قابل دست‌یابی است. از طرف دیگر یک گلخانۀ بلند و دارای تهویه سقفی مناسب، می‌تواند به ایجاد محیط رشد (خرد اقلیم) یکنواخت‌تر و پایدارتر برای محصول منجر شود. همچنین در طول فصل گرم، یک گلخانه با ساختار بلندتر، مانع از به دام افتادن هوای گرم و مرطوب زیان‌آور در اطراف محصول (کانوپی گیاه) خواهد شد (DPI, 2021).

بسیاری از مشکلاتی که گیاهان گلخانه‌ای با آن مواجه می‌شوند را می‌توان به‌طور مستقیم و یا غیرمستقیم به پتانسیل و مدیریت خرد اقلیم و فضای اطراف گیاهان نسبت داد. تنظیم و کنترل بهتر محیط رشد و خرد اقلیم نیز مستقیماً بر چگونگی مدیریت سایر مشکلات در گلخانه تأثیر می‌گذارد و به تعبیری می‌توان بخش قابل توجهی از کاهش عملکرد در محصولات گلخانه‌ای را به مدیریت نامناسب درجه حرارت و رطوبت‌نسبی، نسبت داد. مدیریت موثر آفات و بیماری‌ها با استفاده از راهبردهای مدیریت غیرشیمیایی نیز به کنترل خوب محیط رشد و خرد اقلیم بستگی دارد (زارعی و همکاران، ۱۴۰۰).

به‌دلایل فوق‌الذکر، ارزش و اهمیت ارتفاع در سازه را نمی‌توان نادیده انگاشت. بر این اساس می‌توان گفت که ارتفاع سازه به‌عنوان یکی از شاخص‌های فنی و تکنولوژی گلخانه، اهمیت به‌سزایی دارد که متأسفانه اغلب نادیده گرفته می‌شود. از سوی دیگر در سال‌های اخیر و با افزایش قیمت حامل‌های انرژی، افزایش ارتفاع گلخانه به‌عنوان یک چالش در بحث مصرف سوخت گلخانه‌ها مطرح است که هر از گاهی موضوع بحث و تبادل نظر

[1]- Chimney Effect
[2]- Passive Ventilation

بهره‌برداران و کارشناسان امور گلخانه قرار می‌گیرد. هدف این گزارش نیز، بررسی، تحلیل و پاسخ‌گویی به پرسش‌ها و ابهاماتی است که در این زمینه مطرح شده و یا می‌شوند.

از جمله عوامل بسیار مهم در ساخت و بهره‌برداری گلخانه، ارتفاع آن است. در اصل، ارتفاع گلخانه تعیین کننده حجم و میزان تهویه (تبادلات دمایی، گازی و رطوبتی) در آن است. افزایش حجم داخل گلخانه به‌دلیل بلند بودن ارتفاع آن، سبب می‌شود که تغییرات در شرایط درون گلخانه به‌هنگام تغییرات در شرایط بیرون گلخانه، تدریجی باشد و به همین دلیل دامنه نوسانات دمایی، گازی و رطوبتی در آن کمتر رخ دهد (زارعی و همکاران، ۱۳۹۶). هم اکنون در ساخت گلخانه‌ها در مناطق گرمسیری، به‌منظور تهویه مناسب‌تر، تمایل به افزایش ارتفاع وجود دارد. به‌دلیل اهمیت ارتفاع، این عامل یکی از شاخص‌های مهم در تقسیم‌بندی گلخانه‌ها از نظر میزان استفاده از فناوری‌های روز جهان در آنها است. در این دسته‌بندی، گلخانه‌های دارای فناوری‌های میانه دارای ارتفاع ۴/۵-۴ متر از زیر ناورانی ولی گلخانه‌های دارای فناوری‌های بالا، دارای ارتفاع حداقل ۵ متر از زیر ناورانی، معرفی شده‌اند (Kipp, 2010). از سوی دیگر در گلخانه‌های طرح ونلو (هلندی) که با آرایش شرقی - غربی ساخته شده باشند، در نسبت‌های $H/W > 0.5$، میزان نورگیری مستقیم گلخانه از تابش خورشیدی بیشتر می‌گردد. در این رابطه H ارتفاع گلخانه و W عرض یک دهانه از گلخانه هستند (Hanan, 1998). همچنین متخصصان برای گلخانه‌های واقع در شرایط آب و هوایی دریای مدیترانه، ۹ ویژگی لازم را تعیین و معرفی کرده‌اند که یکی از آنها، بزرگ‌تر در نظر گرفتن حجم گلخانه‌ها تا حد امکان است (von Elsner et al., 2000). بدیهی است این مهم با پیش‌بینی تعداد دهانه‌های بیشتر برای یک واحد گلخانه‌ای و یا افزایش ارتفاع آن، قابل تحقق است.

اهداف این نوشتار

- بررسی و تحلیل اثر افزایش ارتفاع سازه بر کمیت و کیفیت خرد اقلیم گلخانه‌ها
- بررسی و تحلیل اثر افزایش ارتفاع سازه بر مصرف سوخت گلخانه‌ها
- ارائه توصیه‌های فنی و کاربردی برای افزایش ارتفاع گلخانه‌ها بدون افزایش محسوس در مصرف سوخت آنها

نقد، بررسی و تحلیل جامع

اصولاً گلخانه یک محیط کنترل شده برای کشت انواع گیاهان در خارج از فصل و با بهره‌وری بالا است. در واقع گلخانه به ساختمان یا سازه‌ای (فلزی یا چوبی) اطلاق می‌شود که با مواد شفاف برای تنظیم دما و عبور نور طبیعی جهت رشد و نمو گیاهان پوشانده شده است (عبائی و وزوائی، ۱۳۸۴). در تعریف بهتر، گلخانه یک محیط کنترل شده برای رشد گیاه است که با توجه به شرایط اقلیمی، به انواع تجهیزات و تأسیسات کنترل شرایط محیطی (سیستم‌های گرمایشی، سرمایشی، تهویه و ....) مجهز شده است (سعیدی راد، ۱۳۹۹). این ساختمان معمولاً به‌طور مصنوعی گرم می‌شود و با دیگر سازه‌های مناسب پرورش گیاهان مانند شاسی‌های سرد و بسترهای گرم متفاوت است زیرا به اندازهٔ کافی برای کارکردن و تردد افراد در داخل آن، بلند است. بنابر این از تعریف بالا می‌توان دریافت که برای تولید محصولات گلخانه‌ای، اولین نکتهٔ دارای اهمیت، در نظر گرفتن استانداردهای فنی و پایه برای احداث سازه و پوشش گلخانه‌ای مناسب است که امکان مدیریت عوامل محیطی مورد نظر برای تولید محصول در آن امکان‌پذیر باشد.

تاریخچه پیدایش گلخانه‌ها

ایدهٔ رشد گیاهان در محیط‌های کنترل شده از زمان رومی‌ها وجود داشته است. تیبریوس امپراتور روم عادت به خوردن خیار تازه داشت. از این‌رو باغبانان رومی از روش‌های مصنوعی (مشابه سیستم گلخانه‌ای) برای پرورش خیار استفاده می‌کردند تا هر روز از سال، آن‌را برای سفرهٔ امپراتور فراهم نمایند. آنها برای این‌کار، خیارها را در گاری‌های چرخدارای می‌کاشتند که هر روز در زیر نور خورشید قرار می‌گرفتند و سپس برای گرم نگه داشتن آنها در شب، به محیط بسته می‌بردند (Bostock and Riley, 1856; Walter, 1920).

اولین توصیف از گلخانه‌های گرم در رساله‌ای در مورد دامداری توسط یک پزشک سلطنتی در کشور کره در طول دههٔ ۱۴۵۰ میلادی منتشر شده است. در فصلی از این کتاب که در آن در مورد کشت سبزیجات در زمستان گردآوری شده است، حاوی دستورالعمل‌های دقیق در مورد ساخت گلخانه‌ای است که قادر به پرورش سبزیجات، گل‌ها و پیش‌رس کردن میوه در محیطی با تأمین گرمای مصنوعی (با استفاده از روش اوندول[1] یا

[1]- Endol

همان سیستم سنتی گرمایش از کف در کشور کره) باشد و برای حفظ گرما و رطوبت از دیوارهای کاه گِلی و پنجره‌های روغنی نیمه‌شفاف (هانجی[1]) استفاده می‌شد که اجازه نفوذ نور برای رشد گیاه را می‌داد. ساختار گلخانه‌هائی با سیستم اندول برای تأمین گرمای مورد نیاز جهت پرورش درختان مرکبات در زمستان سال ۱۴۳۸ طراحی و ساخته شده است (Yoon and Woudstra, 2003).

مفهوم امروزی گلخانه در قرن هفدهم در کشورهای هلند و سپس انگلستان ایجاد شد. البته تأمین گرمای مناسب و متعادل در این گلخانه‌های اولیه، مشکلات جدی داشت. اولین گلخانه با سیستم گرمایش "اجاق گاز" در بریتانیا و در باغ فیزیک شهر چلسی در سال ۱۶۸۱ تکمیل شد (Minter, 2003). امروزه هلند دارای بسیاری از بزرگترین گلخانه‌های جهان است که برخی از آنها به قدری وسیع هستند که می‌توانند سالانه هزاران تن سبزی و صیفی تولید کنند. می‌توان گفت که آزمون و خطاها برای طراحی گلخانه‌های بهتر، در قرن هفدهم در اروپا ادامه یافت زیرا با استفاده از فناوری‌های جدیدتر، شیشه‌های بهتری تولید شدند و نیز تکنیک‌های ساخت سازه نیز تکمیل و بهبود یافتند. گلخانهٔ موجود در کاخ ورسای در کشور فرانسه، نمونه‌ای از بزرگی و ظرافت آنها است. این گلخانه بیش از ۱۵۰ متر طول، ۱۳ متر عرض و ۱۴ متر ارتفاع دارد.

روزگار طلایی گلخانه در انگلستان در دوران ملکه ویکتوریا بود، جایی که بزرگترین گلخانه‌هایی که تا کنون تصور شده بود، ساخته شدند. گلخانه‌هایی که ارتفاع کافی برای پرورش درختان بزرگ را داشتند و اغلب "نخل خانه[2]" نامیده می‌شدند. محل این سازه‌ها معمولاً در باغ‌ها و پارک‌های عمومی بودند که مرحله‌ای از توسعهٔ معماری شیشه و آهن در قرن نوزدهم محسوب می‌شدند و به‌طور گسترده در ایستگاه‌های راه آهن، بازارها، نمایشگاه‌ها و سایر ساختمان‌های بزرگ که نیاز به فضای داخلی بزرگ و باز داشتند، استفاده می‌شدند. یکی از اولین نمونه‌های آنها در باغ گیاه شناسی شهر بلفاست در کشور ایرلند است. این ساختمان توسط چارلز لانیون طراحی شد و توسط ریچارد ترنر در سال ۱۸۴۰ میلادی ساخته و تکمیل گردید.

[1]- Hanji
[2]- Palm House

در قرن بیستم، طرح گنبد ژئودزیک، به انواع گلخانه‌ها اضافه شد. نمونه قابل توجهٔ این سازه، پروژهٔ باغ عدن[1] در منطقهٔ کورنوال انگلستان است. سازه‌های گلخانه‌ای قوسی[2] و یا گنبدی[3] در دههٔ ۱۹۶۰ زمانی که ورق‌های عریض از جنس پلی‌اتیلن به‌طور گسترده در دسترس قرار گرفتند، ابداع شدند. گلخانه‌هایی از پروفیل‌های آلومینیومی، لوله‌های فولادی گالوانیزهٔ مخصوص، یا حتی لوله‌های آب فولادی یا پی وی سی، ارائه شدند به‌طوری‌که هزینه‌های ساخت آنها به‌شدت کاهش یافت. این موضوع باعث شد که گلخانه‌های بیشتری در مزارع کوچکتر و مراکز فروش محصولات باغبانی ساخته شوند. دوام پوشش‌های پلی‌اتیلن شفاف زمانی که مهار کننده‌های موثرتر طیف فرابنفش در دههٔ ۱۹۷۰ به آنها اضافه شدند، به‌شدت افزایش یافت. این افزدونی‌ها عمر مفید پوشش گلخانه را از یکی دو سال، به سه و چهار سال یا بیشتر افزایش دادند.

از سوی دیگر، گلخانه‌های چند دهانه[4] با توجه به داشتن مزایای بیشتر، در دهه‌های ۱۹۸۰ و ۱۹۹۰ رایج‌تر شدند. این گلخانه‌ها توسط یک ناودان مشترک یا ردیفی از ستون‌های نگهدارنده به‌هم متصل شدند به‌طوری‌که با افزایش قابل ملاحظهٔ نسبت مساحت کف به سطوح خارجی گلخانه (دیواره‌ها و سقف)، نیاز گرمایشی در آنها کاهش یافت. گلخانه‌های متصل به ناودان یا چند دهانه در حال حاضر نیز رایج هستند که معمولاً با پوشش پلی‌کربنات سخت یک لایه، دو لایه و پلی‌اتیلن شفاف تک لایه یا دو لایه با هوای دمیده شده در بین آنها، پوشانده می‌شوند تا راندمان گرمایش آنها افزایش یابد.

اولین گلخانهٔ ساخته شده در ایران مربوط به سال ۱۳۳۵ می‌باشد که توسط آلمانی‌ها وارد کشور شد و یک گلخانهٔ شیشه‌ای با اسکلت فلزی بود. این گلخانه برای کارهای پژوهشی مورد استفاده قرار می‌گرفت. کشت گلخانه‌ای به‌صورت تجاری از سال ۱۳۵۲ هجری شمسی از کشورهای اروپایی به‌ویژه هلند، با انگیزهٔ تولید گیاهان زینتی وارد کشور شد. در ایران نیز در دو دههٔ اخیر توجه جدی به تولید انواع سبزی و صیفی، برخی محصولات باغبانی و نیز گل و گیاهان زینتی در گلخانه‌ها صورت گرفته است. به‌عبارت دیگر، تولید در گلخانه‌های پیشرفته (صنعتی) ایران نسبتاً نوپا است و به همین دلیل منابع انسانی و تخصصی موجود در این زمینه

---

[1]- Eden
[2]- Arch
[3]- Qothic
[4]- Multi Span

در کشور کامل نیستند. بدیهی است که با شکل‌گیری سرمایهٔ انسانی و توسعهٔ اصولی آن، صنعت گلخانه و تولیدات گلخانه‌ای در کشور در آینده پویاتر نیز خواهد شد و تولیدات و فرصت‌های شغلی بیشتری نیز ایجاد خواهد کرد. امروزه با سیاست‌های جدید دولت، شهرک‌ها و مجتمع‌های گلخانه‌ای در سراسر کشور توسعه پیدا کرده‌اند. علاوه‌بر این شهرک‌ها، گلخانه‌های منفرد و خارج از شهرک‌ها نیز از طرف بخش خصوصی احداث و در حال بهره‌برداری هستند. استقبال گسترده فارغ التحصیلان کشاورزی و بخش خصوصی از این موضوع، نوید بخش تشکیل سرمایهٔ انسانی عظیمی است که در زمینهٔ صنعت نوپای گلخانه در ایران در حال شکل‌گیری است (زارعی و همکاران، ۱۳۸۷).

بررسی سوابق موضوع

افزایش گرما در گلخانه‌ها به‌صورت طبیعی، از طریق جذب تابش خورشیدی انجام می‌شود. طول موج‌های کوتاه نور خورشید که از طریق پوشش شفاف وارد گلخانه می‌شوند، جذب اشیاء و گیاهان موجود در گلخانه شده و سپس به‌صورت طول موج‌های بلند بازتاب می‌شوند. طول موج‌های بلند نمی‌توانند به‌همان سرعت که امواج کوتاه‌تر از شیشه (پوشش گلخانه) وارد شدند، از پوشش عبور کرده و خارج شوند و این موضوع منجر به حبس این امواج (گرما) و افزایش دمای گلخانه می‌شود که همان اثر گلخانه‌ای نامیده می‌شود زیرا حجم هوای موجود در گلخانه تا جای ممکن به جذب انرژی گرمایی خورشید ادامه می‌دهد. در گذشته از گلخانه‌های با سقف کوتاه با ایدهٔ حفظ گرما در نزدیکی کانوپی گیاه استفاده می‌شد اما به‌تدریج و با پیشرفت در طراحی و درک بهتر از فیزیک و هندسهٔ گلخانه‌ها، سازه‌های دارای ارتفاع سقف بلندتر با هدف افزایش حجم هوای داخل گلخانه، جایگزین سازه‌های کوتاه پیشین شدند. در واقع با افزایش حجم هوا، سازه‌های گلخانه‌ای می‌توانند تغییرات و افت و خیز دما و رطوبت‌نسبی را بهتر مهار (تعدیل) کنند.

هر چه حجم هوای داخل گلخانه بیشتر باشد، توانایی هوا در بافر[1] تغییر دما بیشتر می‌شود. یادآوری یک آزمایش ساده به درک این موضوع کمک می‌کند. اگر دو ظرف سربستهٔ آب هم‌اندازه را روی یک اجاق گاز در

[1]- Buffer

نظر بگیریم به‌طوری‌که یک ظرف نیمه‌پر و ظرف دیگر پر باشد، اگر هر دو شعله را به یک اندازه تنظیم کنیم، ظرف نیمه‌پر خیلی سریعتر به‌جوش می‌آید. ظرف نیمه‌پر به‌دلیل محتوای آب (سیال) کمتر، ظرفیت (نیاز) حرارتی کمتری دارد. همین پدیده در مورد حجم‌های گلخانه‌ای نیز رخ می‌دهد. اصولاً گلخانه‌های مدرن، از ارتفاع (سقف‌های) بلندتر برای کمک به تغییرات دما و در نتیجه افزایش نسبت حجم به سطح، استفاده می‌کنند. همچنین خاصیت شناوری هوا می‌تواند ابزار موثری در جابجائی و تهویه هوا به‌دلیل صعود هوای گرم و مرطوب باشد. در واقع اگر تهویه سقفی در دسترس باشد، افزایش ارتفاع یک اثر مکشی در گلخانه ایجاد نموده و سبب می‌گردد تا هوای گرم با سرعت بیشتری از سقف خارج و هوای خنک‌تر و تازه، جایگزین آن شود. این موضوع به‌ویژه در گلخانه‌های واقع در مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری، کارساز است. ناگفته نماند که افزایش ارتفاع تا حدودی نیز به بالا رفتن مصرف سوخت گلخانه خواهد انجامید اما نسبت به مزایایی که دارد، قابل چشم‌پوشی است.

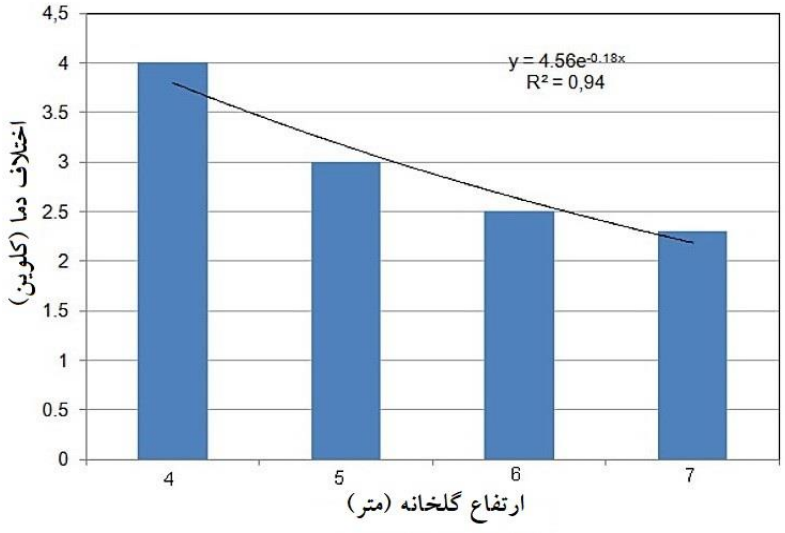
جیاکوملی[1] (۲۰۰۴) در طراحی گلخانه برای تامین نیازهای محیطی محصولات گلخانه‌ای، گزارش کرده است که برای بهبود یکنواختی اقلیم گلخانه، سازه بلندتر بهتر است (Giacomelli et al., 2004). او در گلخانه-های متصل به ناودان یا چند دهانه، حداقل ارتفاع ۳ تا ۳/۷ متر از کف تا ارتفاع زیر ناودان را توصیه کرده است. او اضافه کرده است که بسیاری از سازه‌های اخیر دارای ارتفاع زیر ناودان حدود ۴/۳ متر یا بیشتر هستند. این طرح‌ها، حجم هوای داخلی زیادی را برای گلخانه فراهم می‌کنند که به بهبود شرایط محیطی داخل گلخانه کمک می‌کند. حجم بیشتر به‌ویژه برای حفظ دمای هوای مطلوب در فصول گرم نیز مفید است زیرا هوای گرم شده توسط تابش خورشید در فضای زیرسقف مرتفع جمع می‌شود و به هوای خنک‌تر اجازه می‌دهد تا در محدوده کانوپی گیاهان باقی بماند. همچنین وی اظهار کرده که باید در نظر داشت که ارتفاع اضافه شده برای یک گلخانهٔ بلند، انرژی مورد نیاز برای گرمایش را به‌طور قابل توجهی افزایش نخواهد داد و بنابر این منطقی خواهد بود که این تغییر در گلخانه رخ دهد. در گزارش او آمده است که علاوه‌بر کنترل بهتر آب و هوا در یک گلخانه بلندتر، ممکن است ارتفاع بیشتر برای به‌کارگیری تجهیزات گلخانه‌ای مانند پرده‌های ذخیرهٔ انرژی و

[1]- Giacomelli

سایه‌انداز، چراغ‌های تأمین نور تکمیلی و ارتفاع مناسب برای کشت گیاهان بلند مانند گوجه‌فرنگی و فلفل دلمه، مورد نیاز باشد و در صورت استفاده از سامانه‌های مه پاش و آبیاری بالاسری[1] (گلخانه‌های نشاء) یا تولید گیاهان (گل‌های) سبدی آویز، ارتفاع بلندتر نیاز خواهد بود.

جن (۲۰۱۸) در ملاحظات مربوط به طراحی و ساخت گلخانه تولید گوجه‌فرنگی در مناطق نیمه‌خشک آریزونا، عنوان کرده است که برای تأمین حجم بافر مورد نیاز برای جبران نوسانات محیطی زیاد روزانه و نیز سیستم‌ها و تاسیسات مدرن و همچنین جهت افزایش ظرفیت تبادل هوا در سایه‌اندازی و سرمایش تبخیری، افزایش ارتفاع سازه گلخانه‌ها اجتناب‌ناپذیر است (Gene, 2018).

فاتناسی و همکاران (۲۰۱۵) در مطالعهٔ اثر متقابل افزایش ارتفاع و ضریب تعداد دهانه‌های گلخانه در انیستیتو ملی تحقیقات فرانسه، اثرات افزایش ارتفاع زیر ناودان شامل ارتفاع‌های ۵، ۵/۵، ۶، ۶/۵، ۷ و ۷/۵ متر و همچنین تعداد دهانه‌های ۱، ۲، ۳ و ۱۰ اسپن را با شبیه‌سازی به روش دینامیک سیالات محاسباتی (CFD)، تحلیل کردند. در این تحلیل، مشخص شد افزایش ارتفاع می‌تواند اختلاف دمای درون و بیرون گلخانه را بین ۲ تا ۴ درجهٔ سلسیوس کاهش دهد (شکل ۲) که البته همبستگی کاهش دما و ارتفاع خطی نبود و در واقع بیشترین اختلاف بین ارتفاع ۴ تا ۵/۵ متر اتفاق افتاد (Fatnassi et al., 2017).

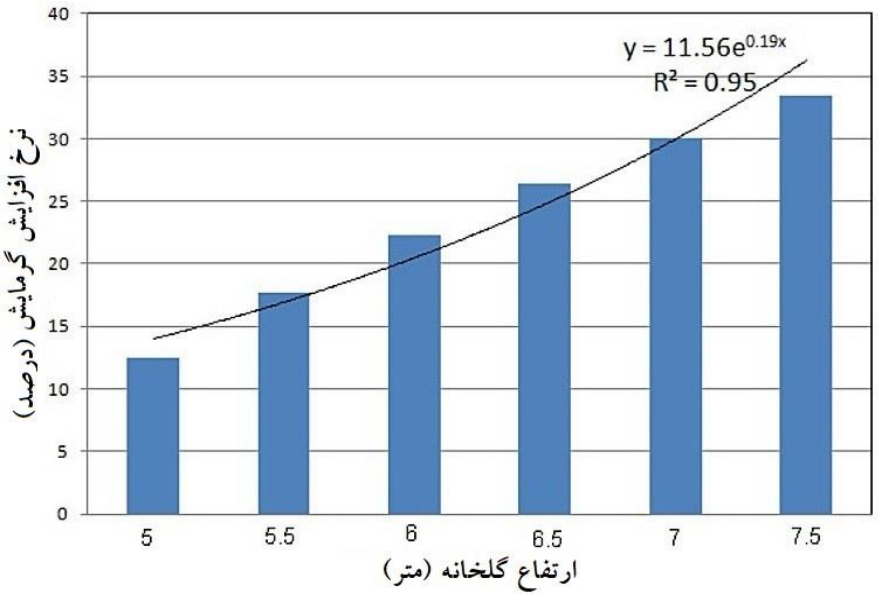


شکل ۲- اختلاف دما بین داخل و خارج گلخانه به‌عنوان تابعی از ارتفاع گلخانه (Fatnassi et al., 2017)

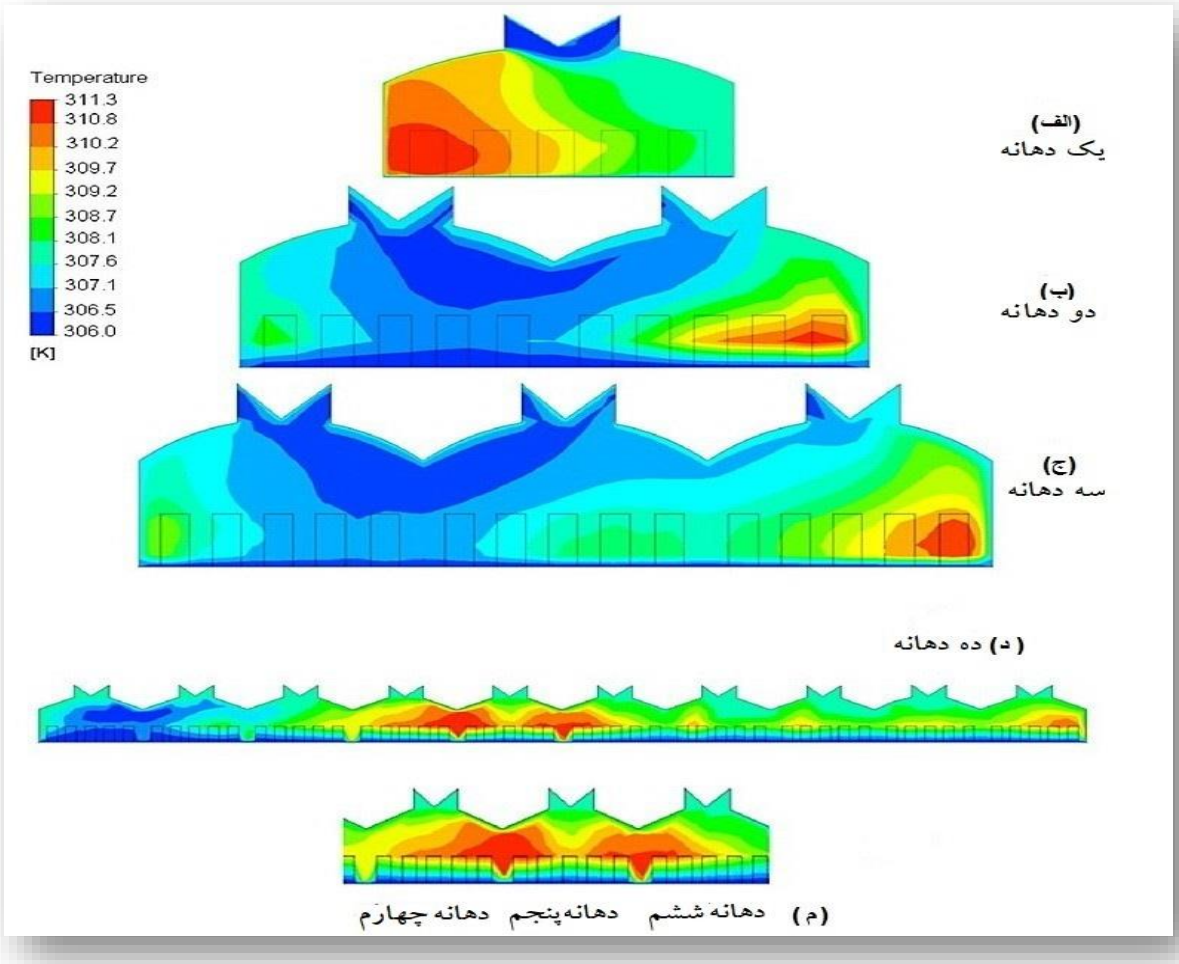
[1]- Boom Irrigation

همچنین در این تحلیل، اثر افزایش ارتفاع در افزایش نیاز گرمایشی گلخانه نیز بررسی شد. نتایج نشان دادند که به ازای هر نیم متر افزایش در ارتفاع گلخانه از زیر ناودان از ۵ به ۵/۵، ۶ به ۶/۵، ۷ به ۷/۵، تقریباً افزایشی ۵ درصدی در نیاز گرمایشی گلخانه را شاهد هستیم (شکل ۳). البته در همین گزارش اشاره شده است که برای کاستن از این سیر افزایشی، استفاده از پرده‌های ذخیرهٔ انرژی کارساز خواهد بود و نیز تأکید شده است که با توجه به تحلیل انجام شده، افزایش بی‌دلیل ارتفاع ناودان به بیش از ۵ تا ۵/۵ متر، منطقی به‌نظر نمی‌رسد. در واقع می‌توان گفت که منافع حاصل از افزایش ارتفاع ستون بیش از ۵/۵ متر در زیر ناودان در مقایسه با سرمایه‌گذاری مالی که برای این افزایش ارتفاع گلخانه انجام می‌گیرد، بسیار کم است (تقریباً ۰/۹ یورو در هر مترمربع از گلخانه به ازای افزایش هر متر ارتفاع از زیر ناودان).

نتایج در ارتباط با اثر افزایش تعداد دهانه‌ها بر عملکرد تهویه طبیعی گلخانه و افزایش دمای گلخانه نیز نشان دادند (شکل ۴) که همگنی دما از ۱ به ۱۰ دهانه (اسپن)، بهبود یافته است (شکل‌های ۴- الف تا ۴- د). البته در چیدمان ۱۰ دهانه به بالا برای گلخانه، مشاهده شد که یک باند (توده) هوای مرده و گرم در فاصله دهانه‌های ۴، ۵ و ۶ اتفاق می‌افتد که توصیه شده با تغییر در جهت قرارگیری پنجره‌ها (روبه باد و یا پشت به باد) در این چند دهانه می‌توان این مشکل را برطرف نمود (شکل ۴- م).



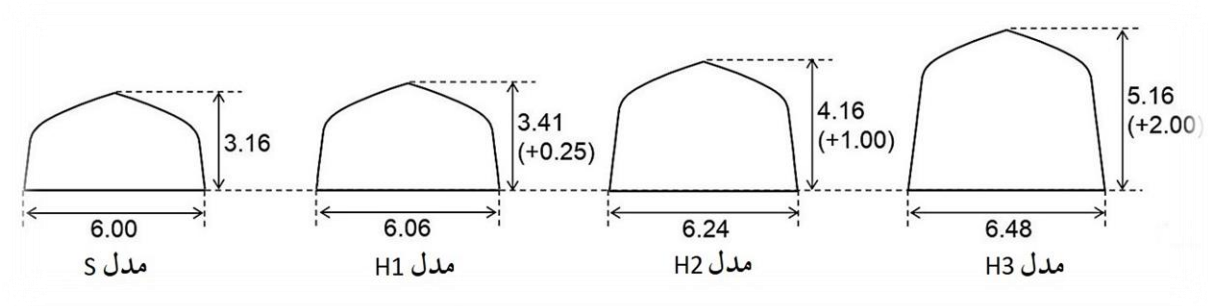
شکل ۳- شدت افزایش نیاز گرمایشی گلخانه با افزایش ارتفاع آن (Fatnassi et al., 2017)



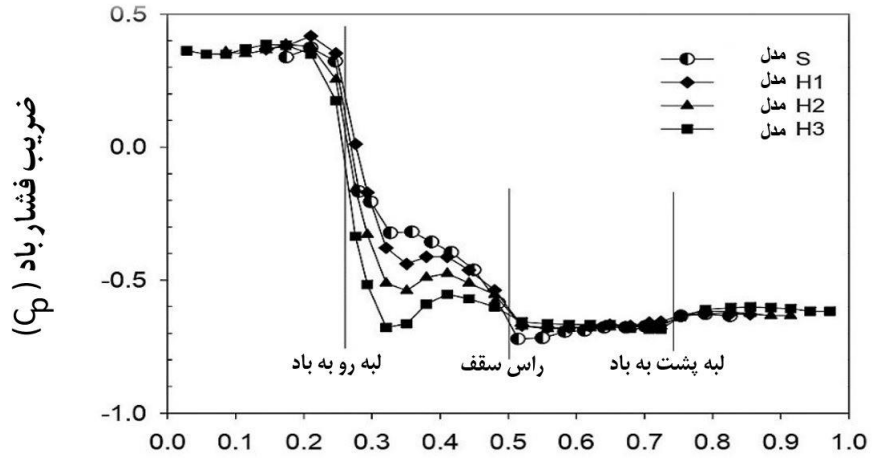
شکل ۴- توزیع دما در گلخانه براساس تعداد دهانه‌های آن: به‌ترتیب (الف) ۱ دهانه، (ب) ۲ دهانه، (ج) ۳ دهانه، (د) ۱۰ دهانه و (م) دهانه‌های ۴، ۵ و ۶ گلخانهٔ ۱۰ دهانه برحسب درجهٔ کلوین (Fatnassi et al., 2017)

مورایاما و همکاران (۲۰۱۵) مطالعه‌ای روی تأثیر ارتفاع نهایی گلخانه‌ها (با سازه لوله‌ای) بر ضرایب فشار باد در دانشگاه توکیو روی چهار گلخانه هر یک به ابعاد ۵۰ متر طول و ۶ متر عرض، انجام دادند. گلخانه شاهد دارای ارتفاع نهایی ۳/۱۶ متر بود که با سه تیمار با ارتفاع‌های ۳/۴۱، ۴/۱۶ و ۵/۱۶ متر، مقایسه شد (شکل ۵). برای این مطالعه، نمونه‌ها (ماکت‌هائی) با مقیاس ۱:۲۰ تهیه و در تونل باد قرار داده شدند. نسبت انسداد مدل با توجه به مقطع تونل باد از ۳/۳ درصد تا ۵/۴ درصد متغیر بود. انسداد به اندازه‌ای کوچک بود که تأثیر آن بر توزیع فشار نادیده گرفته شد. مدل‌ها نیز از صفحات رزین ABS ساخته شده بودند. نتایج آنها نشان دادند که

مقدار ضریب $C_{p\,min}$[1] به ارتفاع گلخانه (H) بستگی دارد. زمانی که ارتفاع گلخانه مدل ۳/۱۶ متر بود، مقدار این ضریب ۳/۳۶- و زمانی که ارتفاع گلخانه مدل ۵/۱۶ متر بود، مقدار این ضریب ۴/۰۳- بود (شکل ۶). بنابراین نتیجه گرفته شد که ارتفاع گلخانه به‌طور مستقیم بر ضریب فشار باد روی سقف و به دنبال آن افزایش مکش هوای داخل گلخانه (به‌علت منفی بودن مقدار عددی ضریب فشار باد) و در نتیجه کیفیت تهویه، تاثیر مستقیم دارد (Moriyama et al., 2017).



شکل ۵- چهار مدل گلخانه با ارتفاع‌های مختلف برحسب متر (Moriyama et al., 2017)



شکل ۶- توزیع ضریب فشار باد (C_p) در مقطع مرکزی برای باد عرضی (θ=0°)

(Moriyama et al., 2017)

[1]- ضریب فشار باد C_p یا C_{pi} ضریبی است که با در نظر گرفتن پارامترهایی چون شکل عمومی گلخانه، زاویه وزش باد نسبت به سطوح گلخانه و نیز ارتفاع گلخانه، تأثیر آن‌ها را در افزایش یا کاهش فشار یا مکش باد وارد بر سازه لحاظ می‌کند. ضریب فشار C_p در واقع تأثیر شکل سازه را در محاسبه بار باد وارد بر سازه، در نظر می‌گیرد.

فتناسی و همکاران (۲۰۱۷) مطالعه‌ای را در گلخانه‌ای از نوع تونلی با دریچه‌های سقف پروانه‌ای انجام داند که در آن رفتار حرارتی گلخانه به‌ترتیب در چهار ارتفاع مختلف از زیر ناودانی ۴، ۵، ۶ و ۷ متر به‌صورت عددی ارزیابی شد. در این پژوهش مشخص شد که با افزایش ارتفاع از ۴ به ۵ متر، دمای داخل گلخانه تقریباً ۲ درجه سلسیوس کاهش می‌یابد، در حالی که وقتی ارتفاع از ۶ به ۷ متر افزایش می‌یابد، مقدار دما تنها ۰/۲ درجه سلسیوس کاهش می‌یابد. با توجه به این نتایج، محققان فوق به این نتیجه رسیدند که اثر افزایش ارتفاع گلخانه بر دمای هوا به وضوح مجانب‌وار[1] است. بنابراین، افزایش ارتفاع گلخانه باید به‌عنوان یک نسبت حاصل از سود ناشی از کنترل عوامل اقلیمی در مقابل هزینه اقتصادی انجام کار، مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد (Fatnassi et al., 2017).

فابیو و همکاران (۲۰۱۸) در مطالۀ تأثیر ارتفاع گلخانه بر رابطۀ گیاه - اقلیم به‌عنوان پارامتر رشد و نمو در گیاه نعناع در کشور کلمبیا، با بررسی خرد اقلیم تولید شده در سه گلخانه با سه ارتفاع متفاوت، نتیجه‌گیری کردند که کاهش یک متری در حداقل ارتفاع تونل، منجر به افزایش دمای حداقل به اندازۀ ۰/۳۷ درجه سلسیوس، افزایش دمای میانگین تا ۱/۴۲ درجه سلسیوس و افزایش دمای بیشینه تا ۳/۵۶ درجه سلسیوس شد که این تفاوت در سطح اطمینان ۹۵ درصد، معنی‌دار بود. در مورد رطوبت نسبی نیز، کاهش یک متری در حداقل ارتفاع سازه منجر به کاهش حداقل رطوبت نسبی به میزان ۶/۹ درصد و میانگین رطوبت نسبی ۲/۹۶ درصد شد. رابطۀ معکوس بین رطوبت نسبی و دما به دلیل همبستگی منفی زیاد بین این دو متغیر با سه روش همبستگی آماری برای سطح اطمینان ۹۵ درصد نشان داد که یک رابطۀ خطی معنی‌دار بین اثر متقابل رطوبت و دما و میزان محصول نعناع در هر یک از گلخانه‌ها وجود دارد (Fabio and Diego, 2016).

در بررسی ارتفاع بهینه برای گلخانه‌ها، بولارد و فتناسی (۲۰۰۵) با استفاده از یک مطالعۀ CFD دو بعدی روی یک گلخانه قوسی ۸ دهانه، دریافتند که وقتی ارتفاع بالای ناودان گلخانه از ۳ به ۵ متر افزایش می‌یابد، گرادیان حرارتی بین داخل و خارج از ۳/۵ به ۲/۰ درجۀ سلسیوس کاهش می‌یابد. این نتیجه بدین معنی است

[1]- Asymptotic

که ارتفاع گلخانه به‌طور مثبت بر پدیده تهویه طبیعی تأثیر می‌گذارد و اجازه می‌دهد تا شرایط حرارتی بهتری در داخل گلخانه ایجاد شود (Boulard and Fatnassi, 2005).

سانزوا (۲۰۲۰) در ارزیابی عملکرد فن‌آوری گلخانه‌ای در مناطق ساحلی گرم و مرطوب کشور کنیا، گزارش کرده است که در مقایسه سه ارتفاع گلخانه ۴، ۴/۵ و ۵ متری مطابق با جدول (۱)، مشخص شد که افزایش ارتفاع گلخانه و میزان تهویه، باعث افزایش معنی‌داری در اندازهٔ میوه و عملکرد محصول گوجه‌فرنگی در سطح ۵ درصد شد (Luciana, 2020).

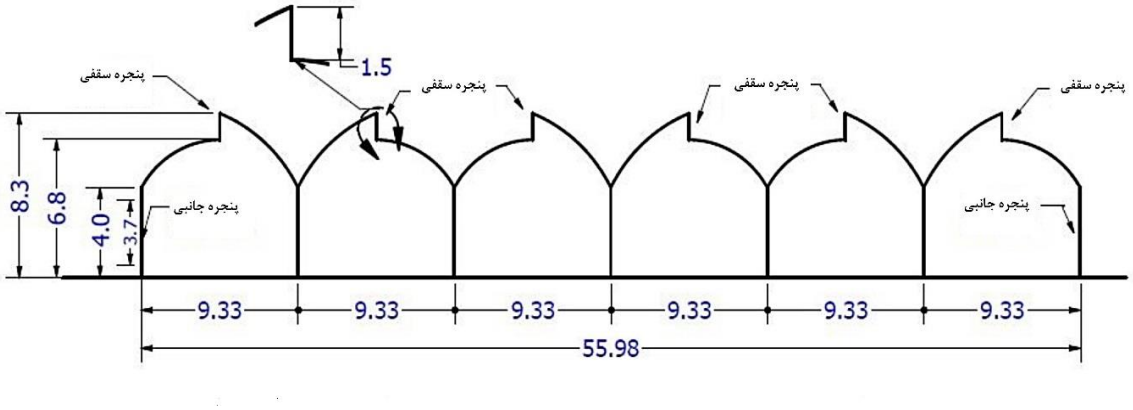
جدول ۱- اثر ارتفاع گلخانه و میزان تهویه بر ارتفاع گیاه گوجه‌فرنگی*

ارتفاع گلخانه (متر)	تهویه (درصد) ۲۵	۵۰	۷۵
	سانتیمتر		
٤/٠	۷۲/۸^{ab}	۷۳/۰^{ab}	٦۸/۸^{b}
٤/٥	۷۳/۰^{ab}	٦۹/۲^{b}	٦۷/۸^{b}
٥/٠	۷۲/۸^{ab}	٦۷/۲^{b}	۷٦/۷^{a}

۵/۹۹= حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۵

*- حروف مشابه در میانگین‌های ارائه شده با احتمال خطای ۵ ٪ اختلاف معنی‌دار ندارند.

ویل آگران و همکاران (۲۰۲۱) مطالعه‌ای را در خصوص تاثیر ارتفاع گلخانه بر تهویه و خرد اقلیم درون گلخانه انجام دادند. هدف از این مطالعه، تجزیه و تحلیل اثر ارتفاع بر تغییرات دما و جریان هوا با افزایش ارتفاع از زیر ناودان یک گلخانه چند دهانهٔ کلمبیایی با استفاده از روش CFD بود (شکل ۷). به نظر آنها با توجه به این‌که تعیین ابعاد گلخانه با تهویهٔ غیرفعال یکی از تصمیماتی است که تولیدکنندگان یا سازندگان گلخانه بر اساس ویژگی‌های زمین موجود و هزینهٔ اقتصادی ساخت سازه اتخاذ می‌کنند، معیارهای طراحی در موارد معدودی مورد بررسی دقیق قرار می‌گیرند و عموماً ابعاد گلخانه بر اساس نوع محصول و شرایط آب و هوایی محلی تعیین می‌شود و در این میان یکی از ابعادی که معمولاً در معرض دست‌کاری بیشتر است، ارتفاع تا زیر ناودان و ارتفاع کلی سازه است، زیرا گلخانه‌های با ارتفاع کمتر، هزینه کمتری دارند و این امر باعث شده است که برخی از کشورها با اقلیم گرمسیری، گلخانه‌هایی بسازند که به دلیل ویژگی‌های معماری آنها، شرایط خرد اقلیمی نامناسبی برای تولید محصولات کشاورزی دارند (Villagran et al., 2021).



شکل ۷- گلخانه مورد آزمون در خصوص تاثیر ارتفاع گلخانه و چیدمان دریچه‌ها در تهویه

نتایج عددی شبیه‌سازی آنها نشان دادند که افزایش ارتفاع گلخانه بسته به چیدمان دریچه‌های مورد استفاده و سرعت باد، موجب کاهش دمای گلخانه بین ۰/۱ تا ۱۱/۷ درجه سلسیوس می‌گردد. به همین ترتیب، مشخص شد که درصد تهویه در چیدمان ترکیبی پنجره جانبی و سقفی[1] (RS) شاخص اصلاح[2] (RI) بالاتری (بین ۱۴۴ تا ۴۴۹ درصد) در مقایسه با تهویه جانبی تنها (S) و تهویه سقفی تنها (R) را به دست می‌دهد. این شاخص بیانگر تعداد دفعات عوض شدن حجم هوای داخل گلخانه در یک ساعت است. حداقل RI در گلخانه با کمترین ارتفاع، مساحت تهویه و سرعت باد به‌دست آمد ($5/89\ Vol\ h^{-1}$) در حالی که حداکثر RI در گلخانه با بالاترین ارتفاع، مساحت تهویه و سرعت باد به‌دست آمد ($72/3\ Vol\ h^{-1}$). بر اساس این مطالعه و در ارتباط با اثر ارتفاع گلخانه روی تهویه، اثرات فردی پیش‌بینی‌ها نشان دادند که افزایش ارتفاع گلخانه به‌طور موثری منجر به کاهش دمای درون گلخانه می‌شود، در حالی که سرعت هوای درون گلخانه به میزان کمی تحت تاثیر ارتفاع قرار می‌گیرد.

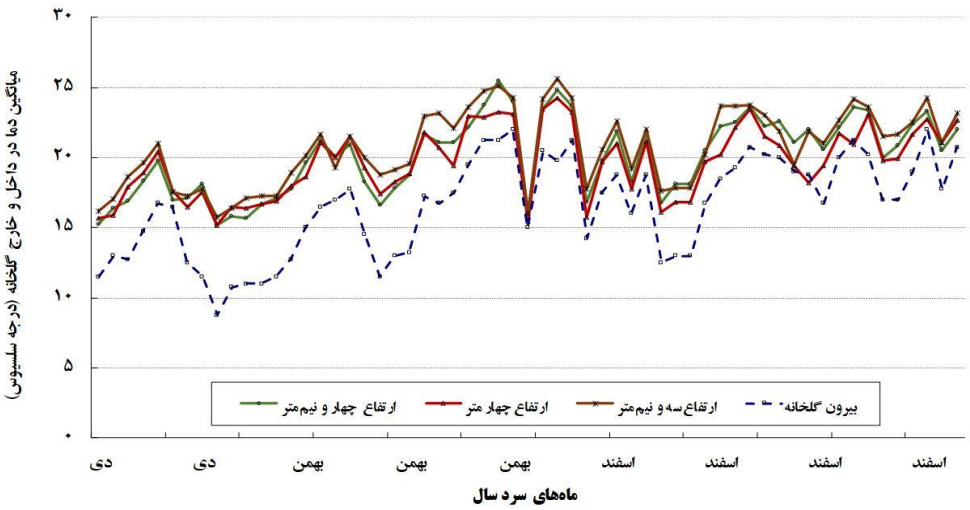
بنابر اظهارات شرکت‌های گلخانه‌ساز معتبر و مطرح جهان، در سال‌های اخیر، روند ساخت سازه‌های گلخانه‌ای بلندتر به‌ویژه گلخانه‌های شیشه‌ای[3] از ارتفاع ۳ متر به ۷ متر، افزایش یافته است. این‌کار به منظور ایجاد یک حائل هوا در بالای محصولات داربستی برای کمک به حذف گرما و ایجاد یک آب و هوای پایدارتر و معتدل‌تر در بالای گیاهان کشت شده در گلخانه‌ها است (NETAFIM, 2023 and RICHEL, 2024).

[1]- Roof-Side Vents
[2]- Renewal Index (RI, $Vol\ h^{-1}$)
[3]- Glasshouses

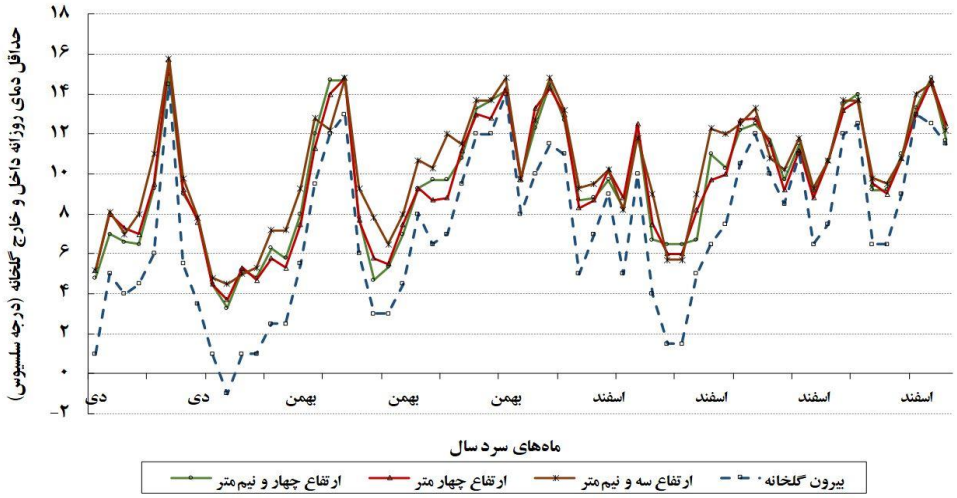
فرقانی و صادقی (۱۳۸۲)، با مقایسه طرح‌ها و تیپ‌های مختلف گلخانه‌ای و بررسی مزایا و معایب هر کدام از آنها، به جزء مواردی مانند ریشه‌زائی قلمه‌ها و یا تولید نشاء که سطح پائین‌تری از تأمین نور و تهویه را لازم دارند، به‌کارگیری سازه‌های گلخانه‌ای دارای ارتفاع بلند همراه با حجم هوای زیاد و کنترل نور و سایبان را توصیه کرده‌اند (فرقانی و صادقی، ۱۳۸۲).

رضوی (۱۳۸۲) با بررسی اثر فرم و نوع سازهٔ گلخانه در کمیت و کیفیت محصولات تولید شده، گزارش کرده است که افزایش ارتفاع گلخانه به هم پیوسته از ۳/۹ متر به ۴/۹ متر (۱/۲۶ برابر)، باعث افزایش مصرف سوخت تنها به اندازهٔ ۷ درصد (و تقریباً معادل ۰/۹ یک گلخانه تونلی با ارتفاع ۳/۹ متر) می‌شود. در حالی‌که حجم هوائی تقریباً معادل ۱/۳ برابر (و تقریباً معادل ۱/۵ برابر یک گلخانه تونلی با ارتفاع ۳/۹ متر) به وجود آورده و مقاومت گلخانه در برابر تغییرات درجه حرارت محیط را تا حدود ۱/۲ برابر (و ۱/۶ برابر نسبت به یک گلخانهٔ تونلی با ارتفاع ۳/۹ متر) بیشتر می‌کند. همچنین راندمان تولید محصول در گلخانه‌های به هم پیوستهٔ بلندتر، بهتر است (رضوی، ۱۳۸۲).

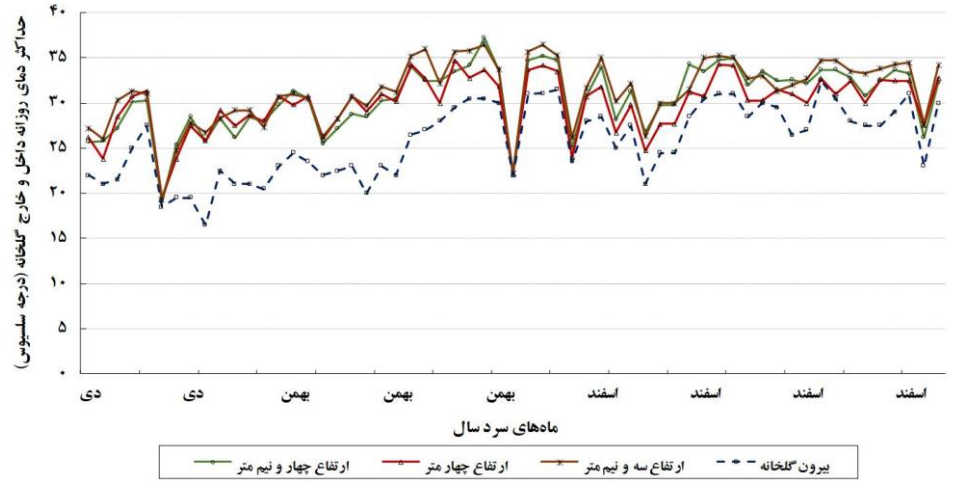
مومنی و همکاران (۱۳۸۷) ضمن مقایسهٔ اثر سه ارتفاع گلخانه ۳/۵، ۴/۰ و ۴/۵ متری روی عملکرد خیار در شهرستان جیرفت، گزارش کرده است که به رغم وجود تفاوت در دما و رطوبت نسبی داخل سه گلخانه بررسی شده، بین عملکرد محصول، تعداد میوه و نیز تعداد دفعات سم پاشی بین سه گلخانه، تفاوت معنی‌داری مشاهده نگردید. همچنین با افزایش ارتفاع گلخانه (حجم گلخانه)، میانگین روزانه دمای گلخانه کاهش یافته است (نمودار شکل ۸)، با افزایش ارتفاع گلخانه، دمای حداقل روزانه گلخانه افزایش یافته است (نمودار شکل ۹)، با افزایش ارتفاع گلخانه، حداکثر دمای روزانهٔ گلخانه کاهش یافته است (نمودار شکل ۱۰) و با افزایش ارتفاع گلخانه، میزان میانگین روزانهٔ رطوبت نسبی آن کاهش یافته است (شکل ۱۱). بدیهی است بر اثر افزایش حداقل روزانهٔ دمای گلخانه‌های با ارتفاع زیاد در ماه‌های سرد سال، نیاز گرمایشی آنها کاهش خواهد یافت. همچنین با کاهش دمای حداکثر روزانهٔ گلخانه‌های با ارتفاع زیاد در ماه‌های گرم سال، نیاز سرمایشی آنها (مصرف برق و آب به واسطهٔ استفادهٔ کمتر از سامانه‌های سرمایش تبخیری) کاهش خواهد یافت (مومنی و همکاران، ۱۳۸۷).



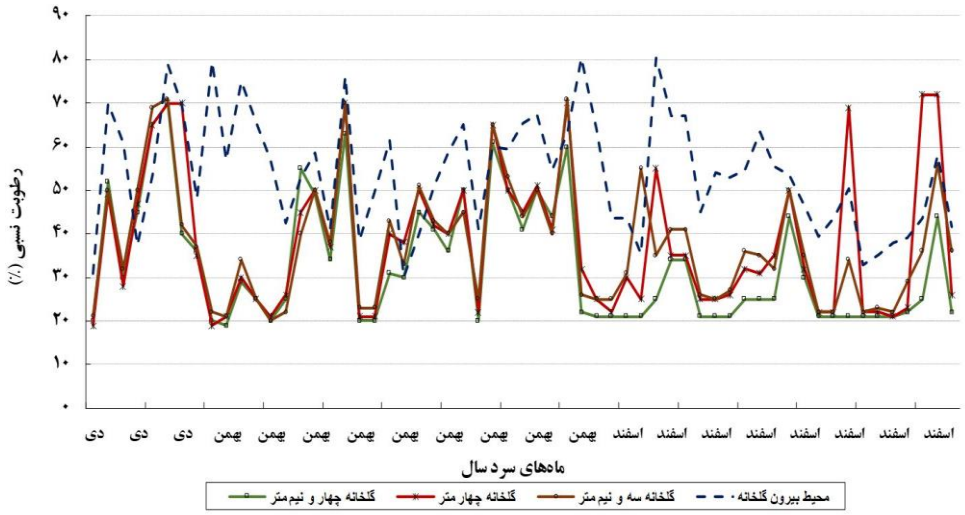
شکل ۸- تغییرات میانگین روزانهٔ دمای گلخانه‌های با ارتفاع متفاوت و بیرون گلخانه



شکل ۹- تغییرات حداقل روزانهٔ دمای گلخانه‌های با ارتفاع متفاوت و بیرون گلخانه



شکل ۱۰- تغییرات حداکثر روزانهٔ دمای گلخانه‌های با ارتفاع متفاوت و بیرون گلخانه



شکل ۱۱- تغییرات میانگین روزانهٔ رطوبت نسبی گلخانه‌های با ارتفاع متفاوت و بیرون گلخانه

زارعی (۱۳۹۹) گزارش کرده است که براساس تجربیات و مستندات موجود، استفاده از سازه‌های دارای ارتفاع زیاد (تا ۹ متر) و نیز برخوردار از شدت تهویه طبیعی بسیار بالا، موجب کاهش استفاده از سامانه‌های سرمایش تبخیری (پد و فن یا مه‌پاش‌ها) در منطقه‌های ساحلی گرمسیر جنوب ایران خواهد شد. این موضوع مهم به‌سهم خود باعث کاهش هزینه‌های تولید، کاهش مصرف دو نهاده مهم آب و انرژی در گلخانه‌های این مناطق خواهد شد. همچنین ساختن گلخانه با ارتفاع بالا، امکان کاشت درختان گرمسیری (خاص این مناطق مانند موز، انبه، پاپایا و مانند این‌ها) را نیز فراهم خواهد کرد (زارعی، ۱۳۹۹).

کریمی و شریفی (۱۳۹۹) در بررسی مدیریت تلفیقی بیماری‌های مربوط به محصولات سبزی و جالیزی در گلخانه‌ها، به اهمیت ویژگی‌های سازه‌ها و تجهیزات گلخانه‌ای جهت پیشگیری از وقوع بیماری‌های گلخانه‌ای تاکید داشته‌اند. از نظر آنها، ارتفاع گلخانه‌ها از زیر ناودانی باید بیشتر از ۴ متر باشد تا تهویه در آنها بهتر انجام شده و همچنین از تجمع رطوبت و گرما در سطح رویش گیاهان که موجب حملهٔ قارچ‌های هوا زاد می‌شوند، جلوگیری به‌عمل آیند (کریمی و شریفی، ۱۳۹۹).

نتیجه‌گیری

براساس نتایج به‌دست آمده در پژوهش‌های مرتبط که در قسمت بررسی منابع به برخی از آنها اشاره شدند، فارغ از این که شکل سطح مقطع گلخانه چه باشد؟ نکات ذیل اهمیت دارند:

- ✓ افزایش ارتفاع گلخانه (دارای محدودیت) به‌صورت محسوسی در افزایش کیفیت خرد اقلیم گلخانه نقش مثبتی ایفاء می‌کند. گرچه محدودیت ارتفاع را نمی‌توان به‌صورت یک قانون مطرح کرد، در گلخانه‌های پوشش پلاستکی و شیشه‌ای ارتفاع تا ۱۱ متر زیر سقف هم مطرح است (مثلاً گلخانه‌های تیپ گنبدی شرکت ریشل فرانسه و یا گلخانه‌های طرح ونلوی هلندی). اما از دیدگاه اقتصادی و هم برکنش آن با اقلیم داخل گلخانه، ارتفاع ۵ تا ۶ متر از زیر ناودان و ۷ تا ۸ متر تا تاج (سقف) به‌عنوان وضعیت بهینه برای مناطق نیمه‌خشکی نظیر ایران، قابل پیشنهاد هستند.
- ✓ به‌طور کلی اطلاعات موجود در مورد پارامتر ارتفاع گلخانه متغیر هستند و بسیاری از مطالعات مرتبط انجام شده، افزایش ارتفاع سازه‌های مورد استفاده در شرایط آب و هوایی گرمسیری و نیمه‌گرمسیری را توصیه می‌کنند (Munar and Aldana, 2019; Cemek et al., 2017). با این حال، اندازهٔ ارتفاع سازه‌ها تا حد خاصی تعریف نشده‌اند و بسته به انواع گلخانه‌ها و انواع شرایط آب و هوایی، متفاوت هستند (Choab et al., 2019; Ghoulem et al., 2019).
- ✓ اصولاً ایده‌آل آن است که یک دستورالعمل فنی همراه با یک نرم‌افزار طراحی در دسترس طراحان سازه‌های گلخانه باشند تا به آنها امکان دهد محدودهٔ پارامترهای فنی گلخانه (طول، عرض و ارتفاع) را انتخاب و نتیجه آن‌را با مدل‌سازی و شبیه‌سازی بارهای وارده، ارزیابی و تحلیل کنند تا بدین‌ترتیب بتوانند ابعاد هندسی مناسب برای گلخانه‌ها را تعریف و انتخاب کنند. این ابزار طراحی باید قابلیت اجرا در انواع گلخانه‌ها و در سناریوهای مختلف عملیاتی را داشته باشد (Villagrán et al., 2021).
- ✓ با عنایت به این که اثر افزایش ارتفاع گلخانه بر کنترل دمای هوای داخل آن به وضوح مجانب‌وار[1] (دور شونده) است. بنابراین، افزایش ارتفاع گلخانه باید به عنوان یک نسبت حاصل از سود ناشی از کنترل عوامل اقلیمی در مقابل هزینه‌های اقتصادی انجام کار، مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد (Fatnassi et al., 2017).

[1]- Asymptotic

بهبود کیفیت خرد اقلیم گلخانه‌ها بر اثر افزایش ارتفاع آنها، از جنبه‌های گوناگون قابل بررسی هستند که از جمله ارزشمندترین آنها، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱- افزایش ارتفاع از زیر ناودان گلخانه (ارتفاع مفید) سبب افزایش حجم گلخانه و به دنبال آن افزایش حجم هوای بافری در بالای تاج گیاهان خواهد شد. افزایش ظرفیت بافری هوا در گلخانه به پایداری بیشتر دما و رطوبت خواهد انجامید و هوای گلخانه ایستادگی بیشتری در برابر تغییرات ناگهانی دما و رطوبت نشان خواهد داد. نتیجه حاصل این خواهد بود که کانوپی محصول (گیاهان) شرایط اقلیمی مناسب‌تری را تجربه کنند و این امر به نوبه خود سبب تولید محصول سالم‌تر، تبخیر و تعرق کمتر و کنترل بهتر آفات و بیماری‌ها در گلخانه‌ها می‌گردد.

۲- افزایش ارتفاع از زیر ناودان در گلخانه سبب پیشگیری از ماندگاری هوای داغ در محدوده کانوپی گیاهان کشت شده، می‌گردد. در واقع افزایش ارتفاع موجب بالا رفتن ابر حرارتی ایجاد شده در اطراف گیاهان و محدوده کانوپی و کاهش دمای دست‌کم ۳ تا ۵ درجه‌ای در این منطقه خواهد شد. نکته قابل تعمق در این خصوص، آن است که افزایش دمای کانوپی در گلخانه‌های کوتاه‌تر سبب واکنش گیاه و بسته شدن روزنه‌ها خواهد شد که به دنبال آن تبادل گازها از جمله دی اکسید کربن در گیاه با اختلال رو به رو می‌گردد، تبخیر و تعرق متوقف می‌شود، تعادل جذب کلسیم به هم می‌خورد و در نهایت اختلال در فرآیند فتوسنتز و خسارت‌های فیزیولوژیک رخ می‌نمایند و ادامهٔ این ماجرا، هزینه‌های قابل توجهی را به تولیدکننده تحمیل خواهد کرد.

۳- افزایش ارتفاع از زیر ناودان در گلخانه، تناوب تهویه در گلخانه را کاهش داده و سبب کاهش هدر رفت انرژی و آب جهت تهویه و سرمایش خواهد شد. هنگامی‌که ارتفاع گلخانه کوتاه باشد، دمای گلخانه با فاصله زمانی کوتاه‌تری نسبت به مقدار تنظیم شده تغییر کرده و فرمان تهویه صادر می‌گردد که به پیروی از آن، دریچه‌ها باز می‌شوند یا سیستم سرمایش به‌کار خواهد افتاد (فن و پد یا مه پاش) و یا این‌که در فصل سرد دستور گرمایش بیشتر صادر شده و این امر تا حدود قابل توجهی هزینه مصرف برق، سوخت و آب و حتی استهلاک بیشتر قطعات مکانیکی و تاسیسات را در پی خواهد داشت.

۴- افزایش ارتفاع گلخانه از زیر ناودان می‌تواند تا حدود زیادی از بروز خسارت سرمازدگی محصول در شب‌های سرد پیشگیری نماید. اساساً بیشترین نفوذ سرما به گلخانه از قسمت سقف رخ می‌دهد. با افزایش ارتفاع سقف گلخانه، ریزش سرما از سقف به سمت پایین، زمان بیشتری طول می‌کشد که این امر اجازه هم دمایی بیشتری را به هوای سرد مورد نظر داده و بنابراین خسارت کمتری متوجه محصول کشت شده در گلخانه، خواهد شد.

۵- افزایش ارتفاع گلخانه از زیر ناودان سبب افزایش نورگیری (نور بیشتر صبح گاهی و عصرگاهی به خاطر سطح بیشتر دیوارها) و کاهش سایه‌اندازی اجزای سازه گلخانه روی محصول می‌گردد. این موضوع به‌ویژه در مناطق دارای محدودیت تابش و ساعات روشنایی (استان‌های شمالی کشور و یا مناطق پربارش کشور)، یک مزیت محسوب می‌شود.

۶- افزایش ارتفاع گلخانه از زیر ناودان امکان بهره‌گیری از تکنولوژی گلخانه‌های پیشرفته‌تر را فراهم خواهد کرد که از جمله آنها می‌توان به امکان افزایش ارتفاع بوته‌ها (محصولات داربستی) و به‌کارگیری تجهیزات مختلف سقفی مانند پرده‌های چند لایه، سامانه‌های مه پاش و سیستم بوم اسپری در گلخانه‌های تولید نشاء، اشاره نمود.

همچنین از جمله ایراداتی که به افزایش ارتفاع گلخانه وارد هستند نیز می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱- افزایش ارتفاع گلخانه از زیر ناودان سبب افزایش احتمال صدمه‌پذیری سازه و پوشش گلخانه در برابر وزش بادهای شدید می‌شود. برای جبران این ضعف، عملیاتی نظیر افزایش اندازه و ضخامت لوله و یا قوطی استفاده شده در ستون‌ها، کاهش فاصلهٔ ستون‌ها (کناری و داخلی) از یکدیگر، تقویت سایر اجزای تشکیل دهندهٔ سازه و همچنین ایجاد باد شکن‌های طبیعی و یا مصنوعی در اطراف گلخانه، مد نظر قرار می‌گیرند.

۲- افزایش ارتفاع گلخانه از زیر ناودان سبب افزایش حجم هوای داخل آن و به دنبال آن، افزایش نیاز حرارتی (افزایش مصرف سوخت) گلخانه خواهد شد. نکته قابل توجه در این خصوص این است که اساساً نیاز گرمایی سوخت گلخانه بر پایه اتلاف گرمای ایجاد شده به صورت همرفتی از طریق پوشش و جا به جایی به خاطر تهویه گلخانه برآورد می‌گردد.

با توجه به رابطهٔ ۱ برای محاسبهٔ اتلاف گرمای ایجاد شده به صورت همرفتی و به دنبال آن برآورد گرمایش و سوخت مورد نیاز، افزایش حجم هوا تأثیر سرنوشت‌سازی در این ارتباط ندارد و آنچه اهمیت دارد، افزایش سطح تبادل یا همان سطح پوشش گلخانه است.

$$q_{rc} = UA_c\,(t_i - t_o) \qquad (۱)$$

که در آن؛

q_{rc}: اتلاف گرمای حاصل از پوشش (وات)

U: ضریب انتقال حرارت ماده پوششی گلخانه (وات بر مترمربع)

A_c: مجموع سطح پوشش گلخانه (مترمربع)

t_i: دمای تعیین شده برای درون گلخانه (درجه سلسیوس)

t_o: میانگین کمینه دمای سالیانه در منطقه (درجه سلسیوس)

هستند.

عامل دوم در اتلاف گرمای گلخانه، جا به جایی هوا بین درون و بیرون گلخانه یا همان تهویه خواهد بود که متناسب با شرایط اقلیمی منطقه و مدیریت محصول کشت شده، تعداد دفعات تعویض هوا در گلخانه در یک ساعت (بین یک تا چند بار در ساعت)، متفاوت خواهد بود. این عامل از طریق رابطهٔ ۲ به شرح ذیل، برآورد می‌گردد:

$$q_i = 1800\,V\,N\,(t_i - t_o) \qquad (۲)$$

که در آن؛

q_i: اتلاف گرما به خاطر جا به جایی هوا (وات)

V: حجم هوای جا به جا شده (مترمکعب)

N: تعداد دفعات تعویض هوا (بر ساعت)

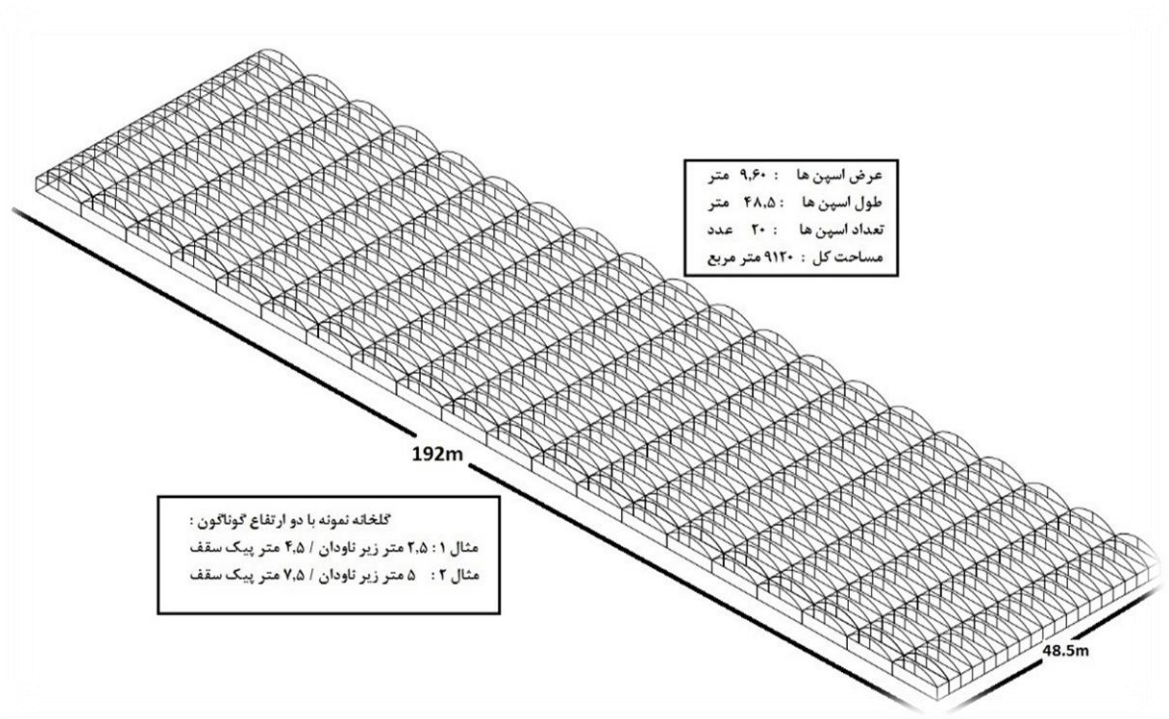
t_i: دمای تعیین شده برای درون گلخانه (درجه سلسیوس)

t_o: میانگین کمینه دمای سالیانه در منطقه (درجه سلسیوس)

هستند. ملاحظه می‌گردد که عامل اصلی مؤثر بر نیاز گرمایشی گلخانه، سطح پوشش آن است و اتلاف ناشی از تهویه و حجم گلخانه در رتبه بعدی قرار دارد. برای روشن شدن این موضوع نیاز گرمایشی و سوخت یک گلخانه نمونه در دو حالت از نظر ارتفاع در ادامه برآورد، شده است:

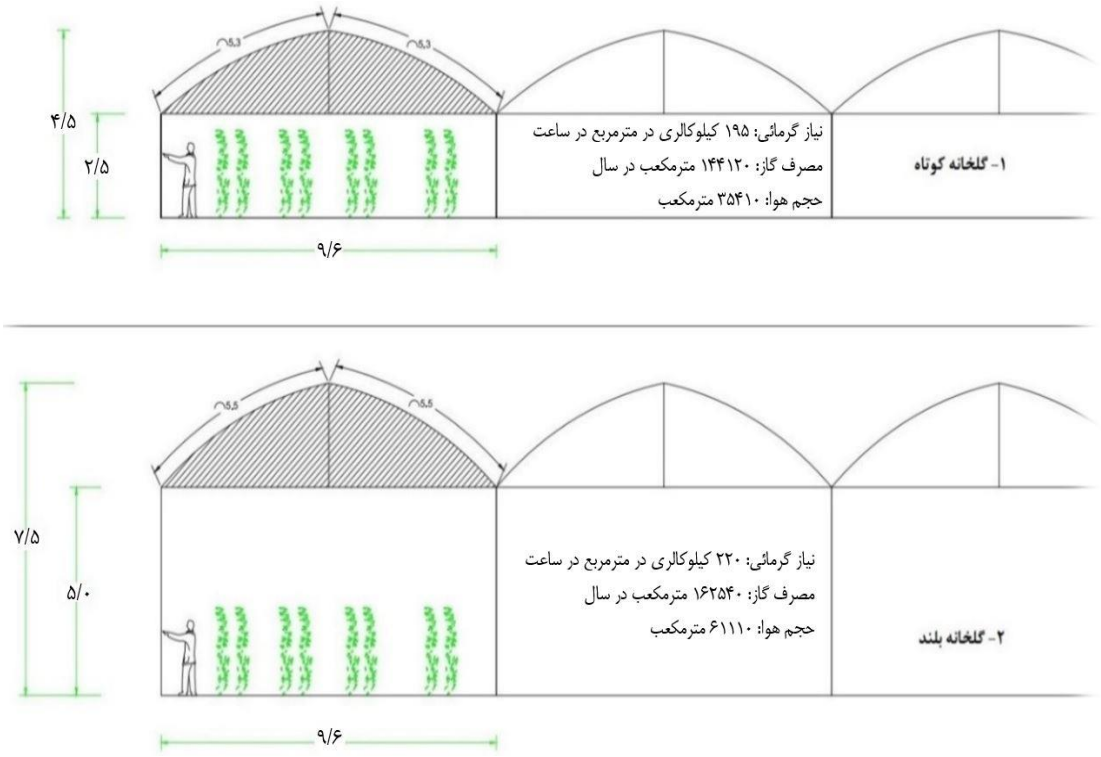
مثال کاربردی برای بررسی اثر ارتفاع در مصرف سوخت گلخانه

برای روشن‌تر و محسوس شدن تأثیر افزایش ارتفاع گلخانه بر میزان گرمایش و در نتیجه افزایش سوخت مصرفی گلخانه‌ها، یک مسئله نمونه در زیر مورد بررسی قرار گرفته است. در این مسئله یک گلخانه تجاری چند دهانهٔ تیپ گنبدی (گوتیک[1])، با اسکلت فولادی و پوشش پلی‌اتیلن شفاف تک لایه به ضخامت ۲۰۰ میکرون، به مساحت ۹۱۲۰ مترمربع با ۲۰ دهانه (عرض دهانه‌ها ۹/۶ متر و طول آنها ۴۸/۵ متر) در دو حالت محاسبه گردیده است (شکل ۱۲). در حالت اول گلخانه با ارتفاع از زیر ناودان ۲/۵ متر و ارتفاع نهائی ۴/۵ متر و در حالت دوم، گلخانه با ارتفاع از زیر ناودان ۵/۰ متر و ارتفاع نهائی ۷/۵ متر (شکل ۱۳).



شکل ۱۲- مشخصات هندسی گلخانه نمونه مورد محاسبه

[1] - Qutic



شکل ۱۳- مقایسه ظاهری دو گلخانه نمونه با مساحت یکسان و ارتفاع‌های متفاوت (ابعاد برحسب متر)

محاسبه نیاز گرمایشی این گلخانه‌های فرضی در هر دو حالت برای یک منطقه معتدل سرد، مانند شهرستان کرج با دمای مورد نیاز ۱۸ درجه سلسیوس برای درون گلخانه و دمای فرضی بیرون گلخانه منهای ۵ درجه سلسیوس (میانگین کمینه دمای ماهیانه) و بر اساس رابطه ارائه شده در نشریهٔ شماره ۴۰۶ انجمن مهندسین کشاورزی آمریکا[1] (ASAE)، انجام شده است. لازم به ذکر است این رابطه، در اغلب منابع نیز مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین فرضیات و فاکتورهای مورد استفاده در این رابطه در جدول‌های (۲) و (۳) آمده‌اند.

الف- گلخانه با ارتفاع از زیر ناودان ۲/۵ متر و ارتفاع نهائی گلخانه ٤/٥ متر

در این حالت یعنی گلخانه با ارتفاع کمتر، نیاز گرمایشی گلخانه برای شرایط فرض شده، حدود ۱۹۵ کیلو کالری بر ساعت بر مترمربع و نیز سوخت مورد نیاز گلخانه در طول سال نیز حدود ۱۶ مترمکعب گاز طبیعی بر مترمربع به دست آمده است (جدول ۴). در همین حال، حجم هوای داخل گلخانه نیز حدود ۳۵۰۰۰ مترمکعب محاسبه شده است (شکل ۳).

[1]- American Society of Agricultural Engineers

ب- گلخانه با ارتفاع از زیر ناودان ۵ متر و ارتفاع نهائی گلخانه ۷/۵ متر

در حالت دوم یعنی گلخانه با ارتفاع بلندتر، نیاز گرمایش گلخانه حدود ۲۲۰ کیلو کالری بر ساعت به ازای مترمربع گلخانه و سوخت مورد نیاز سالانه نیز حدود ۱۸ مترمکعب به ازای هر مترمربع گلخانه به‌دست آمده است (جدول ۳). در این حالت، حجم هوای گلخانه حدود ۶۱۰۰۰ مترمکعب است که در واقع نزدیک به دو برابر (۱/۷۴) حالت اول است (جدول ۴).

با توجه به نتایج محاسبات فوق، مشاهده می‌گردد که به ازای افزایش ارتفاع گلخانه از ۴/۵ به ۷/۵ متر (افزایش ۳۶ درصدی در ارتفاع)، تنها ۲ مترمکعب بر ساعت بر مترمربع گلخانه، افزایش مصرف سوخت (یعنی حدود ۱۱ درصد افزایش) در گلخانه خواهیم داشت در حالی که حجم هوای اضافه شده در گلخانه نزدیک به ۲۶۰۰۰ مترمکعب (۷۴ درصد) بوده است (جدول ۴ و نمودار شکل ۱۴). بنابر این روشن است که تأثیر سودمند افزایش ارتفاع گلخانه از ناحیهٔ بیشتر شدن حجم هوای بافر در مقابل هزینه تحمیل شده بر مصرف سوخت سالیانه، قابل اغماض است و این جدای از سودمندی‌های دیگری است که در ابتدای این گزارش تحلیلی از بابت افزایش ارتفاع گلخانه، مطرح و بحث شدند.

جدول ۲- فرضیات، فاکتورهای استفاده شده و نتایج مربوط به مصرف سوخت گلخانه در حالت اول

(گلخانه با ارتفاع از زیر ناودان ۲/۵ متر و ارتفاع نهائی گلخانه ۴/۵ متر)

$$h_c = A \times U(T_i - T_o)$$
$$h_{\inf} = 0.02M(T_i - T_o)$$
$$H = h_c + h_{\inf} + h_f$$
$$F = 1/2\frac{HDD(24)(h)}{C \times E \times t}$$

			Greenhouse Area (m²)		9120
A	14594.1		Greenhouse Cover Area		14594.1
U	6.2				
M	22800				
Ti	18		Span Width	9.6	
To	-5				
hc	2081118.66				
hinf	10488				
H	7111462.644	Btu/hr =	779.7656408	btu/hr/m2	
H	2091606.66	W/hr =	229.3428355	w/hr/m2	
H	1,777,865.66	kcal/hr=	194.9414102	kcal/hr/m2	

گاز طبیعی مورد نیاز سالیانه

F	5092607.52 ft³/year =	144120.79 m³/Year	15.8027185 m3/hr/m2/year			
HDD	2100	189.13 m3/hr	ظرفیت مورد نیاز			
h	7111462.644	L	48.5	(W.h1).2	3552	مساحت دیواره های عرضی
C	1000	W	192	(L.h1).2	242.5	مساحت دیواره های طولی
E	0.85	h1	2.5	R.L.n	10359.6	مساحت سقف
t	41.4	h2	2	A	14594.1	سطح کل پوشش گلخانه
C*E*t	35190	R	10.68	X	0	سطوح اضافی مانند راهرو وسط
Hdd*24'	3.58418E+11	n	20			
		SR	2592			

ANSI/ASAE EP406.4 JAN03
Heating, Ventilating and Cooling Greenhouses

$$q_{rc} = UA_c(t_i - t_o) \quad (1)$$

where:

- U is overall heat transfer coefficient (table 1), W/(m² ·°C) (BTU/[h·ft²· °F]);
- A_c is area of the cover, m² (ft²);
- t_i is greenhouse air temperature, °C (°F);
- t_o is outside air temperature, °C (°F).

Table 1 – Approximate overall heat transfer coefficients (*U*-values) for greenhouse glazing methods and materials

Greenhouse covering	*U*-value W/(m²·°C)	*U*-value Btu/(h·ft²·°F)
Single glass, sealed	6.2	1.1
Single glass, low emissivity	5.4	0.95
Double glass, sealed	3.7	0.65
Single plastic	6.2	1.1
Single polycarbonate, corrugated	6.2–6.8	1.1–1.2
Single fiberglass, corrugated	5.7	1.0
Double polyethylene	4.0	0.70
Double polyethylene, IR inhibited	2.8	0.50
Rigid acrylic, double-wall	3.2	0.56
Rigid polycarbonate, double-wall[1)]	3.2–3.6	0.56–0.63
Rigid acrylic, w/polystyrene pellets[2)]	0.57	0.10
Double polyethylene over glass	2.8	0.50
Single glass and thermal blanket[3)]	4.0	0.70
Double polyethylene and thermal blanket[3)]	2.5	0.44

[1)]Depending upon spacing between walls.
[2)]32 mm rigid acrylic panels filled with polystyrene pellets.
[3)]Only when blanket is closed and well sealed.

جدول ۳- فرضیات، فاکتورهای استفاده شده و نتایج مربوط به مصرف سوخت گلخانه در حالت دوم

(گلخانه با ارتفاع از زیر ناودان ۵ متر و ارتفاع نهائی گلخانه ۷/۵ متر)

$$h_c = A \times U(T_i - T_o)$$
$$h_{inf} = 0.02M(T_i - T_o)$$
$$H = h_c + h_{inf} + h_f$$
$$F = 1/2\frac{HDD(24)(h)}{C \times E \times t}$$

			○Greenhouse Area (m²)		9120
A	16395		Greenhouse Cover Area		16395
U	6.2				
M	45600				
Ti	18		Span Width	9.6	
To	-5				
hc	2337927				
hinf	20976				
H	8020270.2	Btu/hr =	879.4155921	btu/hr/m2	
H	2358903	W/hr =	258.6516447	w/hr/m2	
H	2,005,067.55	kcal/hr=	219.853898	kcal/hr/m2	

گاز طبیعی مورد نیاز سالیانه							
F	5743416	ft³/year =	162538.67 m³/Year		17.8222229 m3/hr/m2/year		
HDD	2100		213.31 m3/hr	ظرفیت مورد نیاز			
h	8020270.2		L	48.5	(W.h1).2	4800	مساحت دیواره های عرضی
C	1000		W	192	(L.h1).2	485	مساحت دیواره های طولی
E	0.85		h1	5	R.L.n	10670	مساحت سقف
t	41.4		h2	2.5	A	16395	سطح کل پوشش گلخانه
C*E*t	35190		R	11	X	0	سطوح اضافی مانند راهرو وسط
Hdd*24'	4.04222E+11		n	20			
			SR	2880			

ANSI/ASAE EP406.4 JAN03
Heating, Ventilating and Cooling Greenhouses

$$q_{rc} = UA_c(t_i - t_o) \quad (1)$$

where:

- U is overall heat transfer coefficient (table 1), W/(m² ·°C) (BTU/[h·ft²· °F]);
- A_c is area of the cover, m² (ft²);
- t_i is greenhouse air temperature, °C (°F);
- t_o is outside air temperature, °C (°F).

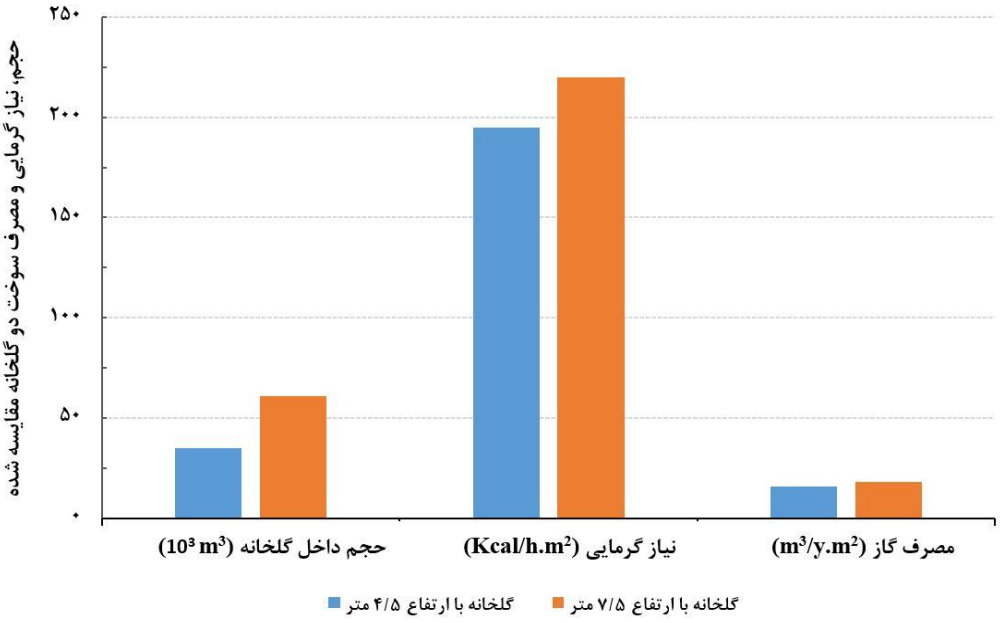
Table 1 – Approximate overall heat transfer coefficients (*U*-values) for greenhouse glazing methods and materials

Greenhouse covering	*U*-value W/(m²·°C)	*U*-value Btu/(h·ft²·°F)
Single glass, sealed	6.2	1.1
Single glass, low emissivity	5.4	0.95
Double glass, sealed	3.7	0.65
Single plastic	6.2	1.1
Single polycarbonate, corrugated	6.2–6.8	1.1–1.2
Single fiberglass, corrugated	5.7	1.0
Double polyethylene	4.0	0.70
Double polyethylene, IR inhibited	2.8	0.50
Rigid acrylic, double-wall	3.2	0.56
Rigid polycarbonate, double-wall[1)]	3.2–3.6	0.56–0.63
Rigid acrylic, w/polystyrene pellets[2)]	0.57	0.10
Double polyethylene over glass	2.8	0.50
Single glass and thermal blanket[3)]	4.0	0.70
Double polyethylene and thermal blanket[3)]	2.5	0.44

[1)] Depending upon spacing between walls.
[2)] 32 mm rigid acrylic panels filled with polystyrene pellets.
[3)] Only when blanket is closed and well sealed.

جدول ۴- مقایسهٔ اختلاف شاخص‌های مختلف در دو گلخانه با ارتفاع متفاوت

ارتفاع گلخانه (متر)	اختلاف (درصد)	حجم گلخانه (مترمکعب)	اختلاف (درصد)	نیاز گرمایشی (کیلو کالری در ساعت در مترمربع)	اختلاف (درصد)	مصرف گاز (مترمکعب در مترمربع در سال)	اختلاف (درصد)
۴/۵	–	۳۵۴۱۰	–	۱۹۵	–	۱۶	–
۷/۵	+ ۳۶	۶۱۱۱۰	+ ۷۴	۲۲۰	+ ۱۳	۱۸	+ ۱۳



شکل ۱۴- مقایسهٔ شاخص‌های مختلف در دو گلخانه با ارتفاع متفاوت

روند فعلی فناوری گلخانه‌ها در دنیا به سمت ساخت و بهره‌برداری از گلخانه‌های مرتفع‌تر است. گرچه گلخانه‌های مرتفع‌تر، نوسانات کمتری را در آب و هوای داخلی خود نشان می‌دهند، ولی در عوض مصرف انرژی را افزایش داده و به دلیل وارد شدن بارهای باد بزرگ‌تر، از نظر پایداری به سازه محکم‌تری نیاز دارند. به همین دلایل، ارتفاع سازهٔ گلخانه یکی از مهم‌ترین شاخص‌های فنی طراحی آن محسوب می‌شود و به‌طور مستقیم بر پایداری خرد اقلیم داخلی آن (گرمایش، سرمایش، تهویه طبیعی)، مقاومت در برابر وزش بادهای شدید و مدیریت تولید محصول (هزینه‌های تولید و میزان مصرف انرژی) آن تأثیر می‌گذارد. اکثر متخصصان گلخانه معتقد بر تأثیر سودمند افزایش ارتفاع گلخانه از ناحیهٔ بیشتر شدن حجم هوای بافر در مقابل هزینه تحمیل شده بر مصرف سوخت سالیانه، هستند و این جدای از سودمندی‌های دیگری است که در این گزارش تحلیلی از بابت افزایش ارتفاع گلخانه، مطرح شد.

گر چه تقسیم‌بندی دقیقی از ارتفاع گلخانه‌های موجود در کشور از نظر ارتفاع آنها در دست نیست ولی در یک تقسیم‌بندی تقریبی، می‌توان اذعان داشت کمتر از یک سوم گلخانه‌های ایران دارای ارتفاع مناسب و یا قابل قبول هستند (بی‌نام، ۱۴۰۲). علت این مهم به‌نظر می‌رسد ضمن ضعف مالی متقاضیان احداث گلخانه، نبود دانش فنی لازم در این خصوص و عدم الگوسازی مناسب در کشور باشد. نبود اطلاعات دقیق و آمار صحیح از وضعیت سازه‌ای، تجهیزاتی و تاسیساتی گلخانه‌های موجود کشور ضعف عمده‌ای است که نیاز به توجه دفاتر مرتبط، تخصیص اعتبار برای کسب و مستندسازی اطلاعات لازم در این خصوص دارد. در یک بررسی موردی در سه استان خوزستان، بوشهر و فارس در سال ۱۳۹۲، ۱۵ گلخانه در استان خوزستان، ۱۰ گلخانه در استان بوشهر و ۲۰ گلخانه در استان فارس به‌طور تصادفی انتخاب و از نظر شاخص‌های فنی از جمله ارتفاع گلخانه‌ها، بررسی شدند. از دیدگاه ارتفاع سازه گلخانه تا زیر ناودان و سقف، تمام گلخانه‌های بررسی شدهٔ استان خوزستان در دسته گلخانه‌هایی با فناوری میانه، به‌ترتیب ۱۰ ٪ و ۹۰ ٪ گلخانه‌های بررسی شدهٔ استان بوشهر، در دسته گلخانه‌هایی با فناوری پایین و میانه و نیز همه گلخانه‌های بررسی شده استان فارس در دسته گلخانه‌هایی با فناوری میانه قرار داشتند (زارعی، ۱۳۹۶).

فهرست منابع

برزگر، ر. و یادگاری، م. ۱۳۸۹. مدیریت تولید در گلخانه. مؤسسه آموزش عالی علمی –کاربردی جهاد کشاورزی. ۲۴۸ صفحه.

رضوی، م. ۱۳۸۲. بررسی اثر فرم و نوع سازهٔ گلخانه در کمیت و کیفیت محصول. مجموعه مقالات اولین سمپوزیوم بررسی وضعیت موجود سازه‌ها و اتوماسیون گلخانه‌ای در ایران و راهکارهای توسعه. ایستگاه ملی تحقیقات گل و گیاهان زینتی محلات. ۱۳-۱۲ خرداد. محلات. ۶۳ صفحه.

زارعی، ق.، ج، جوادی‌مقدم و ح. فریدی. ۱۴۰۰. اهمیت کنترل عامل‌های مؤثر در شرایط محیطی گلخانه‌های تجاری. مجله پژوهش‌های راهبردی در علوم کشاورزی و منابع طبیعی، (۶)۲: ۱۳۸-۱۲۳.

زارعی، ق. ۱۳۹۶. چالش‌های سازه‌ای گلخانه‌ها در ایران. مجله پژوهش‌های راهبردی در علوم کشاورزی و منابع طبیعی، (۲)۲: ۱۴۹-۱۶۲.

زارعی، ق. ۱۳۹۹. نقشهٔ راه توسعه گلخانه‌ها در منطقه‌های ساحلی جنوب کشور با اقلیم گرمسیری. مجله پژوهش‌های راهبردی در علوم کشاورزی و منابع طبیعی، (۵)۲: ۱۵۱-۱۳۶.

زارعی، ق.، دهقانی‌سانیج، ح.، بنی‌عامری، و.، عابدی،م.، بصیرت، م.، فامیل‌مومن، ر.، جعفری، ع.م .، شرافتی، ک.، پالوچ، ع.ا.، نخجوانی‌مقدم، م.م و حیدری ۱۳۸۷. برنامهٔ راهبردی تحقیقات گلخانه. مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی. شماره ۸۷/۶۵۸ . ۴۸۸ صفحه.

عبائی، منصور و وزوائی، ع. ۱۳۸۴. مدیریت گلخانه (ترجمه پاول، وی نلسون). سازمان پارک‌ها و فضای سبز تهران. ۲۳۵ صفحه.

فرقانی، حسن و صادقی، ص. ۱۳۸۲. مقایسه طرح‌ها مختلف گلخانه‌ای و بررسی مزایا و معایب هر کدام. مجموعه مقالات اولین سمپوزیوم بررسی وضعیت موجود سازه‌ها و اتوماسیون گلخانه‌ای در ایران و راهکارهای توسعه. ایستگاه ملی تحقیقات گل و گیاهان زینتی محلات. ۱۳-۱۲ خرداد ۱۳۸۲. محلات. ۶۳ صفحه.

کریمی، کژال و شریفی، ک. ۱۳۹۹. موازین و اصول بهداشت گیاهی و نحوهٔ کنترل آفات در گلخانه‌ها. دستورالعمل شماره ۹۹۱۲۱۱ سازمان حفظ نباتات. ۳۶ صفحه.

سعیدی‌راد، م.ح. ۱۳۹۹. اصول مهندسی سازه‌ها و تاسیسات گلخانه‌ای. انتشارات سروا. ۱۸۲ صفحه.

مومنی، داود، غفاری‌نژاد، س.ع.، آزادوار، م. و ساعی، م. ۱۳۸۷. بررسی اثر ارتفاع سازه گلخانه روی عملکرد خیار در منطقه جیرفت. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی. موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، شماره ۸۷/۱۵۵۷ ، ۴۰ صفحه.

Minter, S. 2003. The Apothecaries' Garden. Sutton. p. 4. ISBN 978-0750936385.

Moriyama, H., Sase, S., Uematsu, Y., Ishii, M. and Okushima, L., 2015. Influence of ridge height of pipe-framed greenhouses on wind pressure coefficients. Transactions of the ASABE, 58(3), pp.763-769.

NETAFIM. https://www.netafim.com/en/greenhouse/greenhouse-structures/

Pardossi, A., Tognoni, F. and Incrocci, L., 2004. Mediterranean greenhouse technology. Chronica horticulturae, 44(2), pp.28-34.

RICHEL. https://richel-group.com/produits/multi-span-greenhouses/

RICHEL. https://richel-group.com/sous_home/venlo-greenhouses/

SANZUA, L.J., 2021. Evakyatuing Performance of Greenhouse Technology in the hot humid Coastal Region of KENY (Doctoral dissertation, Pwani University)

Villagran Munar, E.A. and Bojacá Aldana, C.R., 2019. CFD simulation of the increase of the roof ventilation area in a traditional Colombian greenhouse: Effect on air flow patterns and thermal behavior. Int. J. Heat Technol. 37: 881–892.

Villagrán, E., Flores-Velazquez, J., Akrami, M. and Bojacá, C., 2021. Influence of the Height in a Colombian Multi-Tunnel Greenhouse on Natural Ventilation and Thermal Behavior: Modeling Approach. Sustainability, 13(24), p.13631.

Von Elsner, B., Briassoulis, D., Waaijenberg, D., Mistriotis, A., Von Zabeltitz, C., Gratraud, J., Russo, G. and Suay-Cortes, R., 2000. Review of structural and functional characteristics of greenhouses in European Union countries: Part I, design requirements. Journal of Agricultural Engineering Research, 75(1), pp.1-16.

Walter C. A. Ker. 1920. The Roman poet Martial also briefly mentions greenhouses or cold frames in. Epigrams (London: William Heinemann, 1920), Vol. 2, Book 8 (VIII), No. 14 (XIV), p. 13.

Yoon, S.J. and Woudstra, J., 2007. Advanced horticultural techniques in Korea: The earliest documented greenhouses. Garden History, pp.68-84.

The Effect of Greenhouse Height on Microclimate and Fuel Consumption of Greenhouses

Abstract

Greenhouses are very complex structures, the purpose of their construction and operation is to provide ideal conditions for the growth of plants and satisfactory and economical production of agricultural products throughout the year. It is obvious that the growth factors of light, temperature, relative humidity and air composition (CO_2) must be provided and maintained at optimal levels in these structures. Therefore, a standard greenhouse should maintain important weather factors as much as possible within the specified range, have sufficient ventilation efficiency, have sufficient structural strength against all types of incoming loads (wind, snow, etc.), have good flexibility, mechanical tolerance and behavior towards cultivated plants and have low costs of construction, operation and maintenance. Greenhouse crops are growing steadily and are competing fiercely with other agricultural sectors around the world. On the other hand, the intensity of energy consumption in greenhouse crops is higher than agriculture and horticulture due to the need to provide suitable and controlled environmental conditions for plants. In most parts of the world, horticulture in controlled environments is a profitable branch of agriculture. However, local and climatic conditions affect the design of the greenhouse and create many types of greenhouses structures and covers. Weather is the main factor influencing the structural and functional characteristics of greenhouses. The purpose of greenhouse design is to take advantage of the external climatic conditions to improve the internal microclimate. For this reason, the overall design of the greenhouse is strongly influenced by the climate and latitude of the desired location. In addition, the different loads entered into the greenhouses depend on the weather conditions of the region. The general needs of the product and the local weather conditions impose special requirements on the structure of the greenhouse. However, national traditions have a strong and sometimes misleading influence on greenhouse design. In general, the average height of the greenhouse determines its volume. The large volume of the greenhouse leads to a slow and gradual reaction of the internal environment to changes in external weather conditions. Therefore, higher greenhouses show less fluctuations in their internal climate. On the other hand, higher greenhouses increase energy consumption and require a stronger structure in terms of stability due to the introduction of larger wind loads. For this reason, the height of the greenhouse is usually chosen according to these two competing factors. The greenhouse with more height has several other important advantages. For example: its ventilation efficiency is higher due to the chimney phenomenon. It also provides more space for installing climate control equipment such as thermal curtains or shades, fogging systems, artificial light, etc. For these reasons, the current trend of greenhouse technology in the world is towards the construction and operation of greenhouses with more height. In general, the effect of the height of the greenhouse on the climatic conditions inside the greenhouses as well as their fuel consumption has been discussed in Iran for about two decades, and there are serious supporters and opponents regarding the need for the greenhouses to have a higher height. For this reason, in this report, the investigation, documentation and technical analysis of the effect of the height of the greenhouse on the climatic conditions inside the greenhouses, as well as the heating requirement and, as a result, the amount of fuel consumption in them, have been discussed.

Keywords: Greenhouse construction, Heating, Energy consumption, Optimization, Climate control

MINISTRY OF AGRICULTURE- JAHAD
AGRICULTURAL RESEARCH, EDUCATION AND EXTENSION ORGANIZATION
AGRICULTURAL ENGINEERING RESEARCH INSTITUTE

Report Title:	The Effect of Greenhouse Height on Microclimate and Fuel Consumption of Greenhouses
Written by:	Gh. Zarei, S. Sadeghi, S. M. Rezvani & D. Momeni
Location:	Alborz, Markazei, Hamedan and Isfahan Provinces
Start date:	2024
Duration:	5 Months
Publisher:	Agricultural Engineering Research Institute (AERI)
Tirage:	-
Date of issue:	2024

Islamic Republic of Iran
Ministry of Agriculture-Jahad
Agricultural Research, Education and Extension Organization
Agricultural Engineering Research Institute

Analytical Report:

The Effect of Greenhouse Height on Microclimate and Fuel Consumption of Greenhouses

Written by:

Gh. Zarei, S. Sadeghi, S. M. Rezvani & D. Momeni

NO.: 66338

آدرس: کرج، بلوار شهید فهمیده، کدپستی: ۳۱۳۵۹۱۳۵۳۳، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی
تلفن: ۳۲۷۰۵۳۲۰، ۳۲۷۰۵۲۴۲ و ۳۶۱۵۰۰۰۰ (۰۲۶)
دورنگار: ۳۲۷۰۶۲۷۷ (۰۲۶)، آدرس دسترسی: www.aeri.ir (بخش گزارش‌های تحلیلی)