

## ارزیابی بازده مصرف سوخت سامانه‌های گرمایشی متداول در گلخانه‌ها (مطالعه موردی: گلخانه‌های استان البرز)

داود مؤمنی<sup>۱</sup>

### چکیده

کشت‌های گلخانه‌ای یکی از روش‌های تولید در کشاورزی است که وابستگی زیادی به انرژی دارند؛ بنابراین بهبود بازده مصرف سوخت در سامانه‌های گرمایشی گلخانه‌ها، تأثیر خوبی بر انرژی مصرفی بخش گلخانه در کشور و کاهش آلاینده‌های محیط‌زیست خواهد داشت. در این مطالعه برای تعیین بازده مصرف سوخت سامانه‌های گرمایشی متداول در گلخانه‌ها، داده-برداری در شش گلخانه تولید محصولات سبزی و صیفی در شهرستان چهارباغ استان البرز انجام شد. بدین منظور در ابتدا ظرفیت سامانه گرمایشی محاسبه شد. سپس با استفاده از آمار هواشناسی بلندمدت، نمودار تناسب اقلیمی رسم گردید تا مدت زمان روشن بودن سامانه مشخص گردد. تعیین بازده احتراق با روش غیرمستقیم و بر پایه اندازه‌گیری گازهای احتراق شامل کربن مونواکسید، اکسیژن، کربن دی‌اکسید، هیدروکربن‌های سوخته نشده و اکسیدهای نیتروژن انجام شد. همچنین ابعاد و نحوه نصب دودکش در این گلخانه‌ها بررسی شد. به منظور تحلیل نتایج، تصاویر حرارتی در گلخانه‌ها نیز ثبت گردید. نتایج نشان داد که گلخانه‌های احداث شده در مناطق داده‌برداری شده در استان البرز به ۶ ماه گرمایش نیاز دارند تا تولید مطلوب در آن‌ها صورت گیرد. انتخاب ظرفیت مشعل در سامانه گرمایشی بدون توجه به نیاز گرمایشی گلخانه صورت گرفته و میانگین بازده مشعل‌های به کار رفته در گلخانه‌ها، ۸۵ درصد بود. بررسی وضعیت آلاینده‌های سامانه‌های گرمایشی نیز نشان داد که درصد آلودگی کربن مونواکسید و کربن دی‌اکسید در گلخانه‌های استان البرز به ترتیب ۰/۰۶ و ۳/۰۸۵ درصد بود. در خصوص هیدروکربن‌های سوخته نشده و اکسیدهای نیتروژن نیز گلخانه‌های استان البرز، شاخص ۹/۱ و ۱۳/۳۶ ppm را شامل می‌شدند. وضعیت اکسیژن خروجی از سامانه‌های گرمایشی نیز ۲۳/۱۷۳ درصد بود. بررسی فنی سامانه‌های گرمایشی نصب شده در این مناطق و تصاویر حرارتی ثبت شده نشان داد که عواملی مانند به کارگیری سامانه‌های گرمایشی غیراستاندارد، نصب نادرست آن‌ها در گلخانه و استفاده از گلخانه‌های غیراستاندارد از مهمترین عوامل ایجاد این آلاینده‌ها بودند.

**واژه‌های کلیدی:** گلخانه، سامانه گرمایشی، گازهای آلاینده، محیط‌زیست.

ارجاع: مؤمنی د. ۱۴۰۱. ارزیابی بازده مصرف سوخت سامانه‌های گرمایشی متداول در گلخانه‌ها (مطالعه موردی: گلخانه‌های استان البرز). نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی. ۲۳: ۴۷-۴۱. <https://dx.doi.org/10.22034/JRMAM.2022.10023.511>

۱- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران.

\* نویسنده مسئول: [D.momeni@ari.ir](mailto:D.momeni@ari.ir)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۲۸

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۰۹

## مقدمه

بررسی ترازنامه انرژی ایران در بازه زمانی ۱۳۹۳-۱۳۸۶ نشان می‌دهد که حمل و نقل، بیشترین سهم در تولید گازهای  $CH_4$ ،  $CO$  و  $NO_x$  و بخش نیروگاهی بیشترین میزان انتشار  $SO_2$  و  $CO_2$  در بین بخش‌های مصرف و تولیدکننده انرژی را به خود اختصاص داده‌اند. از بین منابع سوخت فسیلی نیز نفت کوره، نفت گاز و بنزین، بیشترین سهم آلاینده‌ها و انتشار گازهای  $NO_x$ ،  $SO_2$ ،  $CO$ ،  $CH_4$  و  $NO$  را به خود اختصاص داده‌اند. همچنین گاز طبیعی در مقایسه با سایر سوخت‌های فسیلی، سوختی پاک به‌شمار می‌رود و کمترین مقدار آلاینده‌گی را داراست؛ ولی با توجه به حجم بالای مصرف، ۵/۵۶ درصد از کل انتشار کربن‌دی‌اکسید مربوط به آن است که از نظر اثر گلخانه‌ای و چالش تغییرات اقلیمی، قابل توجه است. بررسی وضعیت انرژی و محیط‌زیست در بخش‌های مختلف مصرف‌کننده انرژی، نشان می‌دهد که در بخش کشاورزی، عمده انتشار گازهای آلاینده و گلخانه‌ای، ناشی از مصرف نفت‌گاز بوده است (Anonymous, 2017).

به منظور به صفر رساندن مصرف سوخت‌های فسیلی در گلخانه، مطالعه‌ای در سال ۲۰۰۰ انجام شد. محققان در این مطالعه ترکیبی از گلخانه‌های با ترکیب انرژی کم، بازیافت و ذخیره انرژی را بررسی نمودند و کاربرد مواد ساختمانی جدید و پمپ گرمایی را توصیه نمودند (Saye *et al.*, 2000).

مطالعه انجام شده بر روی گلخانه‌های پلاستیکی دو جداره مجهز به سیستم تبادل حرارتی لوله‌های زمینی و ذخیره انرژی نشان داد که دمای داخل این گلخانه‌ها در زمستان، ۸ درجه سلسیوس و اختلاف دما با خارج گلخانه، ۱۱ درجه سلسیوس بوده و کاهش هزینه‌های انرژی در این روش معنی‌دار بوده است (Pan *et al.*, 1999).

بررسی روند توسعه گلخانه‌های با پوشش پلاستیکی در دنیا نیز در هشت منطقه شمال اروپا، جنوب اروپا، شرق اروپا، خاورمیانه، آسیا، آفریقا، آمریکا و استرالیا نشان داد که مهم‌ترین عوامل توسعه گلخانه‌ها در دنیا، عوامل اقتصادی کنترل اقلیم و مصرف انرژی در گلخانه و تصمیم‌گیری دولت‌مردان بوده است. با وجود تفاوت در علل توسعه گلخانه‌ها در این کشورها، نقطه مشترک آن‌ها، بهینه‌سازی مصرف انرژی در گلخانه‌ها بوده است (Anonymous, 2007). به همین دلیل ضروری است که در کنار نگاه توسعه‌ای به این نوع کشت، چالش‌های این

محدودیت آب و خاک و ازدیاد جمعیت جهان، توجه دانشمندان را به پیدا کردن روش‌هایی جهت افزایش تولید در واحد سطح معطوف ساخته است تا کمبود غذا را جبران کنند. یکی از این روش‌ها، بهره‌برداری از گلخانه‌ها است که در حال حاضر در حدود ۲۰۰۰۰ هکتار گلخانه در ایران احداث شده است. پیش‌بینی می‌شود سطح فعلی گلخانه‌ها در افق توسعه‌ای کشور تا سال ۱۴۰۴ به حدود ۵۸۰۰۰ هکتار برسد (Anonymous, 2018).

با توجه به وابستگی این نوع تولید به انرژی‌های فسیلی، توسعه غیراصولی آن باعث خواهد شد تا مصرف انرژی فسیلی در بخش کشاورزی و به دنبال آن آلاینده‌های محیط‌زیستی نیز افزایش یابند و با توجه به قوانین بین‌المللی بازدارنده و سخت‌گیرانه موجود، مصرف این سوخت‌ها مستلزم پرداخت جریمه در سال‌های آتی خواهد شد. از سوی دیگر با توجه به محدود بودن عمر ذخایر سوخت‌های فسیلی، هم‌پوشانی با اوج مصرف خانگی، افزایش جمعیت و افزایش درخواست انرژی در سایر بخش‌ها، افزایش سطح زیرکشت گلخانه‌ها و تلاش برای افزایش عملکرد محصول در واحد سطح که افزایش مصرف انرژی در این بخش را به دنبال خواهد داشت باید به بازده مصرف سوخت در گلخانه‌ها توجه کرد.

از آنجایی که بخش کشاورزی به عنوان یک بخش استراتژیک که با تغذیه ارتباط دارد نیاز به توجه بیشتر در اجتناب از آسیب‌پذیری در مواقع بحرانی دارد، بایستی وابستگی این بخش را به منابع پر خطر انرژی، کمتر نمود. در دهه‌های ابتدایی توسعه گلخانه‌ها در ایران، عمده گلخانه‌های سبزی و صیفی کشور به کشت خیار اختصاص داشت، ولی گسترش کشت‌های گلخانه‌ای، تنوع تولید در گلخانه‌ها و نیاز به محصولات مختلف باعث شد تا سهم تولید خیار در گلخانه‌ها از ۶۱ درصد در سال ۱۳۹۰ به ۵۵ درصد در سال ۱۳۹۶ برسد (Momeni & Zarei, 2017). بررسی سطح گلخانه‌های احداث شده در کشور در کنار پراکنش جمعیت ایران نشان می‌دهد که توسعه گلخانه‌ها در ایران طی سال‌های گذشته، براساس اقلیم و پارامترهای مرتبط با آن نبوده و توسعه کشت‌های گلخانه‌ای به همین روش در سال‌های آتی، روند رو به رشد مصرف انرژی‌های فسیلی و آلاینده‌های محیط‌زیستی را به دنبال خواهد داشت (Momeni & Zarei, 2017).

### مواد و روش‌ها

در این مطالعه برای تعیین بازده مصرف سوخت سامانه‌های گرمایشی متداول در گلخانه‌ها، داده‌برداری در شش گلخانه تولید محصولات سبزی و صیفی در شهرستان چهارباغ استان البرز انجام شد. در این پژوهش گلخانه‌هایی انتخاب شدند که مطابق دستورالعمل‌های سازمان نظام مهندسی کشاورزی و منابع طبیعی ایران احداث شده بودند و در منطقه رواج داشتند و همگی دارای سامانه گرمایشی کوره هوای گرم بودند. مشخصات این گلخانه‌ها در جدول ۱، ذکر شده است.

در ابتدا ظرفیت سامانه گرمایشی محاسبه شد؛ سپس با استفاده از روش استاندارد FAO، نمودار تناسب اقلیمی رسم گردید تا مدت زمان روشن بودن سامانه گرمایشی مشخص گردد (Anonymous, 2018b). تعیین بازده احتراق با روش غیرمستقیم و بر پایه اندازه‌گیری گازهای احتراق شامل کربن‌مونواکسید، اکسیژن، کربن‌دی‌اکسید، هیدروکربن‌های سوخته نشده و اکسیدهای نیتروژن انجام شد. همچنین ابعاد و نحوه نصب دودکش‌ها در گلخانه‌ها بررسی گردید. به منظور تحلیل نتایج، تصاویر حرارتی در گلخانه‌ها نیز ثبت گردید.

برای محاسبه نیاز گرمایشی گلخانه، روش‌های مختلفی وجود دارد. با توجه به این که استاندارد ملی سازه‌های گلخانه‌ای در ایران در سال ۱۳۹۷ تدوین شد و یکی از جامع‌ترین روش‌ها برای استفاده در گلخانه‌های ایران است، در این مطالعه نیز از این استاندارد استفاده شد (Anonymous, 2018). طبق این استاندارد، تلفات گرمایی گلخانه برابر با تلفات صورت گرفته از سازه و پوشش گلخانه است که با تلفات ناشی از باد جمع شده باشد (معادله (۱)).

$$L = L_{\text{cover}} + L_{\text{frame}} + L_{\text{wind}} \quad (1)$$

که در آن  $L$  = تلفات کل (kcal.h-1)،  $L_{\text{cover}}$  = تلفات پوشش (kcal.h-1)،  $L_{\text{frame}}$  = تلفات سازه (kcal.h-1) و  $L_{\text{wind}}$  = تلفات باد (kcal.h-1)

روش محاسبه هر یک از این مقادیر در ادامه توضیح داده شده است.

تلفات پوشش: این تلفات میزان گرمای از دست رفته از سطح پوشش گلخانه را نشان می‌دهد و برای به دست آوردن آن از معادله (۲) استفاده گردید (Anonymous, 2018).

توسعه از منظر انرژی و محیط‌زیست نیز در نظر گرفته شوند.

بررسی ترانزنامه انرژی دنیا نشان داد که مصرف تمام منابع انرژی شامل سوخت‌های فسیلی مایع، گاز طبیعی و زغال‌سنگ تا سال ۲۰۳۵ روند صعودی خواهند داشت (Anonymous, 2021). در همین آمارنامه، مقدار آلاینده‌ی کربن‌دی‌اکسید ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی در کشورهای عضو و غیرعضو سازمان همکاری اقتصادی و توسعه<sup>۱</sup> نیز بررسی و گزارش گردیده است که با وجود این که کشورهای عضو این سازمان، مقدار آلاینده‌ی خود را در محدوده ثابتی نگه داشته‌اند ولی روند توسعه‌ای در کشورهای غیرعضو، باعث افزایش آلاینده‌ی محیط‌زیست خواهد شد (Anonymous, 2021).

بررسی شاخص‌های کارایی مصرف انرژی تولید خیار در گلخانه‌های غالب استان تهران نشان داد عمده مصرف‌کننده انرژی در گلخانه، سامانه‌های گرمایشی هستند. نتایج تحقیق مشابه انجام شده در جنوب استان کرمان نیز نشان داد که کل انرژی مصرفی برای تولید خیار گلخانه‌ای در این منطقه معادل ۲۰۵۷۹۷۳ مگاژول بر هکتار است که از این مقدار ۱۷۵۱۸۲۹ مگاژول بر هکتار یعنی ۸۵/۱٪ صرف گرمایش گلخانه شده است. در این تحقیق، نسبت انرژی، بازده خالص انرژی و بهره‌وری انرژی به ترتیب ۰/۰۹، ۱۸۷۸۲۷۶- و ۰/۱۳ تعیین شد (Momeni, 2015). نتایج تحقیق انجام شده در استان خراسان رضوی نیز نشان داد که بخش اعظم مصرف انرژی (۹۵/۷۷ درصد) در تولید خیار گلخانه‌ای در شهرستان مشهد، مربوط به سوخت مورد نیاز برای گرمایش گلخانه است. همچنین شاخص‌های نسبت انرژی، بازده خالص انرژی و بهره‌وری انرژی در تولید خیار گلخانه‌ای شهرستان مشهد به ترتیب برابر ۰/۰۱۴، ۶۳۴۶۴۷۰- و ۰/۰۲۵ بدست آمد (Saeidirad, 2020).

کشت گلخانه‌ای، به دلیل ماهیت تولید در خارج فصل، دارای مصرف زیاد انرژی است. اهمیت انرژی سیستم گرمایش به ویژه در مناطقی که به دلیل زمستان سرد و طولانی، نیاز به گرمایش بیشتر بوده دوچندان است؛ بنابراین بهبود بازدهی مصرف سوخت سیستم گرمایش گلخانه‌ها، گام مؤثری بر انرژی مصرفی بخش گلخانه کشور خواهد گذاشت.

### بازده مصرف سوخت

برای تعیین بازده مصرف سوخت با استفاده از معادله (۵)، میزان انرژی گرمایی آزاد شده به وسیله سیستم گرمایش در داخل گلخانه به کل انرژی نهفته در سوخت محاسبه گردید.

$$\eta = \frac{Q_{in}}{Q_{fuel}} \times 100 \quad (5)$$

$\eta$ : بازده مصرف سوخت،  $Q_{in}$ : آهنگ گرمای آزاد شده به وسیله سیستم گرمایش در داخل گلخانه ( $\text{kcal.h}^{-1}$ )،  $Q_{fuel}$ : آهنگ گرمای نهفته در سوخت مصرفی در سیستم گرمایش گلخانه ( $\text{kcal.h}^{-1}$ )

مقایسه بازده احتراق با روش غیرمستقیم و بر پایه بررسی گازهای احتراق شامل کربن‌مونوکسید، اکسیژن، کربن‌دی‌اکسید، هیدروکربن‌های سوخته نشده و اکسیدهای نیتروژن صورت گرفت.

### دودکش مناسب (ابعاد و نحوه نصب)

سطح مقطع دودکش از معادله زیر قابل محاسبه است (Momeni et al., 2018):

$$A = \frac{V}{S} \quad (6)$$

$A$  = سطح مقطع دودکش بر حسب  $\text{m}^2$ ،  $V$  = حجم گاز حاصل از احتراق در دمای دودکش  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  و  $S$  = سرعت خروج گاز بر حسب  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

در این مطالعه، گلخانه‌هایی در شهرستان چهارباغ استان البرز انتخاب و در فصل زمستان سال ۱۳۹۹ که سامانه‌های گرمایشی در آن‌ها روشن بود، علاوه بر ثبت وضعیت گازهای خروجی دودکش شامل مقادیر کربن‌مونوکسید، کربن‌دی‌اکسید، هیدروکربن‌های سوخته نشده، اکسیژن و اکسیدهای نیتروژن، تصاویر حرارتی<sup>۲</sup> نیز ثبت شد. ثبت مقادیر گازهای خروجی، پس از حداقل یک ساعت کارکردن سیستم گرمایشی، با استفاده از دستگاه سنجش آلاینده<sup>۳</sup> مدل 550 Airex HG انجام شد. ثبت تصاویر نیز با استفاده از دوربین حرارتی تستو سری ۸۶۰ انجام شد.

مشخصات کلی گلخانه‌های بررسی شده در این مطالعه در جدول ۱ ذکر شده است.

$$L_{cover} = U \cdot A \cdot (T_{inside} - T_{outside}) \quad (2)$$

که در آن:  $U$  = ضریب انتقال حرارت پوشش  $= T_{inside}$ ،  $A$  = مساحت پوشش ( $\text{m}^2$ )،  $\text{kcal.h}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{°C}^{-1}$  دمای داخل گلخانه  $(\text{°C})$  و  $T_{outside}$  = دمای داخل گلخانه  $(\text{°C})$ .

تلفات سازه: علاوه بر تلفات حرارتی که از پوشش گلخانه خارج می‌شود، مقداری گرما هم بر اثر سایر اجزای گلخانه تولید می‌شود که بایستی تلفات آن‌ها نیز محاسبه گردد. برای محاسبه آنها، مقدار تلفات به دست آمده از معادله (۲) در ضریب ساخت گلخانه، ضرب و مقدار تلفات سازه با استفاده از معادله (۳) محاسبه شد (Anonymous, 2018).

$$L_{frame} = C \cdot L_{cover} \quad (3)$$

که در آن:  $C$  = ضریب ساخت گلخانه (بدون بعد). تلفات باد: برای محاسبه افت حرارتی ناشی از وزش باد و خروج هوای گرم از درز و شکاف‌های گلخانه، از معادله (۴) استفاده گردید:

$$L_{wind} = 0.018 \cdot F_{wind} \cdot N \cdot V \cdot (T_{inside} - T_{outside}) \quad (4)$$

که در آن  $\text{°C}^{-1} \cdot \text{kcal} \cdot \text{m}^{-3}$  ضریب سرعت باد بر حسب  $= V$ ،  $F_{wind}$  = تعداد دفعات تبادل هوای درون گلخانه و  $N$  = حجم گلخانه بر حسب  $\text{m}^3$ .

### تعیین تناسب اقلیمی مناطق برای احداث و بهره‌برداری از گلخانه‌ها

یکی از روش‌های معتبر برای تعیین تناسب اقلیمی هر منطقه به منظور احداث گلخانه‌ها و تولید محصولات گلخانه‌ای، استفاده از نمودار اقلیم سنجی FAO<sup>۱</sup> است. مطابق این دستورالعمل، در صورتی که میانگین دمای روزانه منطقه پایین‌تر از ۱۲ درجه سلسیوس باشد، گلخانه نیازمند گرمایش خواهد بود. در صورتی که میانگین دمای روزانه بیش از ۲۷ درجه سلسیوس باشد بایستی گلخانه را خنک نمود. در محدوده دمای ۱۲ تا ۲۲ درجه سلسیوس، نیازی به استفاده از سیستم گرمایشی نیست و تهویه طبیعی، نیاز گلخانه را تأمین می‌کند. حداقل مقدار انرژی تابشی ورودی به منطقه در دوره رشد محصول باید بیشتر از ۸/۳۹ مگاژول بر مترمربع در روز باشد و اگر کمتر از این مقدار باشد نیاز به نور تکمیلی وجود دارد.

2- Thermovision

3- Automatic emission analyzer HG 550, Airex.

1- Food and agriculture organization of the united nations, FAO

در محدوده دمای ۱۲ تا ۲۲ درجه سلسیوس، معمولاً نیازی به استفاده از تاسیسات گرمایشی و سرمایشی نیست و تهویه طبیعی نیاز گلخانه را تأمین می‌کند لذا در ۴ ماه از سال تنها با تهویه طبیعی می‌توان در گلخانه‌ها تولید داشت. در مواقعی که میانگین دمای روزانه بیش از ۲۲ درجه سلسیوس باشد بایستی گلخانه را خنک نمود؛ بنابراین برای تداوم تولید محصول در گلخانه‌ای سبزی و صیفی در این منطقه برای ۲ ماه سال، استفاده از سامانه‌های سرمایش تبخیری لازم است.

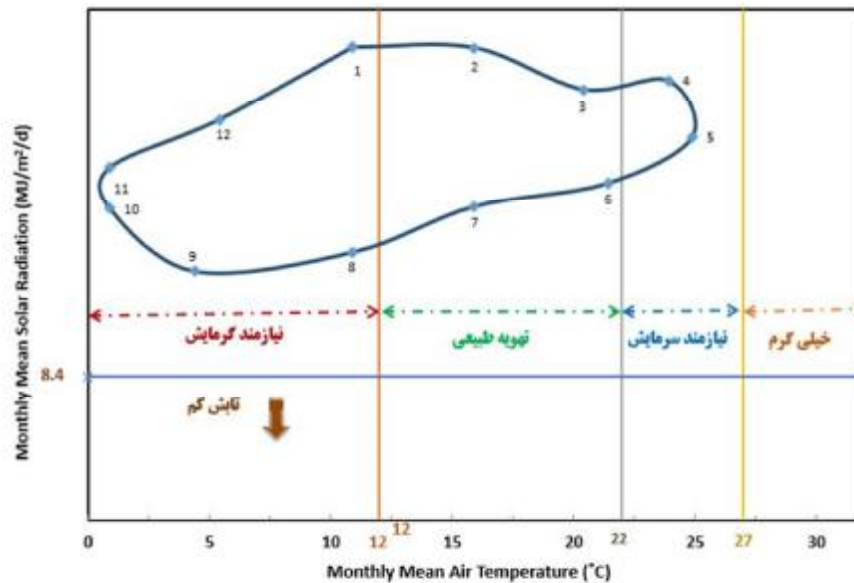
با توجه به این که اگر تابش کمتر از ۸/۳۹ مگاژول بر مترمربع در روز باشد نیاز به نور تکمیلی وجود دارد در مناطق مذکور در کل ماه‌های سال، کمبودی از نظر دریافت تشعشع خورشیدی و تأمین روشنایی مورد نیاز برای گیاهان گلخانه‌ای ندارند.

#### جدول ۱- مشخصات گلخانه‌های بررسی شده در این مطالعه

نوع گلخانه	قوسی
ارتفاع نهایی (متر)	۴/۵
ارتفاع ستون (متر)	۴
عرض دهانه (متر)	۵/۵
طول گلخانه (متر)	۴۰
نوع سیستم گرمایشی	حرارت موضعی (مشعل گرمایشی)

#### نتایج و بحث

تحلیل شرایط آب و هوایی منطقه چهارباغ در استان البرز مطابق شکل ۱ نشان می‌دهد که دمای منطقه در ۶ ماه از سال پایین‌تر از ۱۲ درجه سلسیوس است لذا در صورت احداث گلخانه سبزی و صیفی در این منطقه، برای ۶ ماه از سال نیاز به سیستم‌های گرمایشی وجود خواهد داشت.



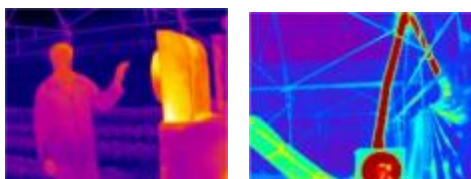
شکل ۱- نمودار تناسب اقلیمی چهارباغ استان البرز برای احداث و بهره‌برداری از گلخانه‌ها (میانگین تشعشع - میانگین دما)

نتایج محاسبه شده برای نیاز گرمایشی گلخانه (جدول ۲) و مقایسه آن با ظرفیت گرمایشی کوره‌های حرارتی بکار رفته در گلخانه‌ها نشان داد که هیچ یک از سامانه‌های گرمایشی نصب شده در گلخانه‌ها، مطابق نیاز گرمایشی گلخانه انتخاب نشده‌اند و گلخانه‌داران به صورت غیرفنی و تجربی، نسبت به خرید این سامانه‌های گرمایشی اقدام کرده‌اند.

به دلیل عدم تطابق اندازه مشعل با نیاز گرمایشی مورد نیاز گلخانه، آهنگ گرمای آزاد شده توسط سیستم

با توجه به شرایط اقلیمی هر منطقه، نوع محصول و گلخانه و با استفاده از معادلات (۱) تا (۵) نیاز گرمایشی گلخانه محاسبه گردید که نتایج آن در جدول ۲ ذکر شده است. طبق اطلاعات اقلیمی بلندمدت، کمینه دمای ثبت شده برای شهرستان چهارباغ ۱۳- درجه سلسیوس بوده است. با توجه به این دما و ویژگی‌های گلخانه‌های رایج سبزی و صیفی در این منطقه از لحاظ ابعاد، جنس پوشش و عمر سازه، نیاز حرارتی محاسبه شده برای این منطقه ۲۳۳۱۹۸/۷ کیلوکالری بر ساعت محاسبه شد.

نتایج مطالعات سایر محققان نیز این نکات را تأیید می‌کند. در بررسی پتانسیل‌های صرفه‌جویی سوخت و کاهش گازهای آلاینده در سیستم احتراق موتورخانه‌های خانگی نتایج مشابهین تحقیق را نشان می‌دهد (Khoshnevisan, et al., 2009). آن‌ها با استفاده از دستگاه آنالیز گاز، وضعیت احتراق در موتورخانه‌های خانگی را بررسی کردند و با انجام تنظیمات مشعل، علاوه بر صرفه‌جویی در مصرف سوخت، گازهای آلاینده را نیز کاهش دادند. نتایج سایر تحقیقات نیز همین نتایج را نشان داده که احتراق نامناسب سوخت در مشعل‌ها یکی از دلایل عمده آلودگی هوا در مناطق صنعتی است (Rahimi ahar et al., 2011). تحلیل انتشار مواد آلاینده و گازهای گلخانه‌ای در بخش انرژی کشور توسط سایر محققان نیز نتایج مشابهی را نشان می‌دهد. استاندارد نبودن سوخت‌های فسیلی، قیمت پایین سوخت، فقدان الگوی مصرف و بازده پایین از جمله آن‌ها هستند (Sattari et al., 2008).



شکل ۲- تصاویر حرارتی ثبت شده در گلخانه‌های استان البرز

### نتیجه‌گیری

به طور کلی نتایج این مطالعه نشان داد که اندازه‌ی مشعل بکار رفته در سامانه گرمایشی، بدون توجه به نیاز گرمایشی گلخانه‌ها صورت گرفته است. این مورد باعث بیش باری یا احتراق ناقص در مشعل گردیده که نتیجه آن در بررسی وضعیت آلاینده‌ی گازهای خروجی از سامانه‌های گرمایشی گلخانه دیده می‌شود. بالا بودن آلودگی کربن مونواکسید و کربن دی‌اکسید در گلخانه‌ها و

گرمایشی در داخل گلخانه نسبت به گرمای نهان سوخت مصرف شده در مشعل سامانه گرمایشی کمتر است؛ به طوری که نتایج این بررسی نشان داد که میانگین بازده مشعل‌های بکار رفته در گلخانه‌های این منطقه ۸۵ درصد بوده است.

بررسی‌های تکمیلی در خصوص وضعیت آلاینده‌ی سامانه‌های گرمایشی نیز نشان داد که درصد آلودگی کربن مونواکسید و کربن دی‌اکسید در گلخانه‌های استان البرز به ترتیب ۰/۰۶ و ۳/۰۸۵ درصد بود. در خصوص هیدروکربن‌های سوخته نشده و آلاینده اکسیدهای نیتروژن نیز این گلخانه‌ها، شاخص ۹/۱ و ۱۳/۳۶ پی‌پی‌ام داشتند. وضعیت اکسیژن خروجی از سامانه‌های گرمایشی نیز ۲۳/۱۷۳ درصد بود.

### جدول ۲- نیاز گرمایشی محاسبه شده برای گلخانه

۱۳-	کمیته دمای بیرون گلخانه (درجه سلسیوس)
۲۳۳۱۹۸/۷	نیاز گرمایشی گلخانه محاسبه شده (کیلوکالری بر ساعت)
۸۴/۹	بازده مشعل (درصد)

### جدول ۳- وضعیت آلاینده‌ی سامانه‌های گرمایشی

۰/۰۶	کربن مونواکسید (درصد)
۳/۰۸۵	کربن دی‌اکسید (درصد)
۹/۱	هیدروکربن‌های سوخته نشده (پی‌پی‌ام)
۲۳/۹۹	اکسیژن خروجی (درصد)
۲/۷	اکسیدهای نیتروژن (پی‌پی‌ام)

به منظور بررسی علل این آلاینده‌ی، علاوه بر بررسی فنی سامانه‌های گرمایشی، نحوه احتراق آن و چگونگی نصب در گلخانه، با استفاده از دوربین مخصوص حرارتی همه گلخانه‌ها ثبت شدند. نمونه‌ای از این تصاویر در شکل ۲ دیده می‌شود.

بالا بودن دمای دودکش و غیریکنواخت بودن دمای کل گلخانه، نشان از احتراق نامناسب یا بیش باری بر مشعل و همچنین توزیع نامناسب حرارت ایجاد شده در گلخانه دارد.

در بررسی علل افزایش آلاینده‌ی‌ها در گلخانه‌ها، علاوه بر موارد ذکر شده، مواردی مانند استفاده از سامانه‌های گرمایشی غیراستاندارد، استفاده از سازه‌های گلخانه‌های غیراستاندارد از لحاظ پوشش و دریچه‌ها، جانمایی و نصب نامناسب سامانه گرمایشی در گلخانه اثرگذار بوده است.

- Khoshnevisan, S., Jamali, M., Safari, M., Riahi, M. & Ghorbani, M. (2009). Fuel saving potentials and emission reductions in home engine combustion systems. *7<sup>th</sup> National Energy Conference*. Tehran. I.R. of IRAN. (In Persian).
- Momeni, D. (2015). *Investigation of energy efficiency indices of cucumber production in greenhouses of Jiroft and Kahnooj*. Final report of the research project of the Institute of Agricultural Technical and Engineering Research. (In Persian).
- Momeni, D. & Zarei, G. (2017). *Challenges of developing greenhouse crops in Iran from the perspective of energy and the environment*. Analytical analysis in Iranian agricultural management and engineering. AERI press. 185 p. (In Persian).
- Momeni, D., Rezvani, M. and Zarei, G. (2018). *Handbook of managing heating energy consumption in greenhouses*. AREEO press.
- Pan, Q., Z. D. Huang, C. W. Ma & Y. C. Li. (1999). Study on the energy conservation of Huabei-type multispan plastic greenhouse and its operation. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 15(2): 155-159.
- Rahimi ahar, Z., Rahimi ahar, L. & Moradi, M. (2011). Investigating the effect of preheating the inlet air to the burner and the possibility of reducing pollutants. *The Application of Chemistry in Environment*, 9(3): 17-29. (In Persian).
- Saeidirad, M. (2020). *Investigation of energy efficiency indices of cucumber production in greenhouses of Mashhad*. Final report of the research project of the Institute of Agricultural Technical and Engineering Research. (In Persian).
- Sattari, S., Naseri, A. & Farahmandpoor, B. (2008). Analysis of emissions of pollutants and greenhouse gases in the country's energy sector. *National Conference on Fuel, Energy and Environment*. (In Persian).
- Saye, A., van Loon, W. K. P., Bot, G. P. A., de Zwart, H. F., Teitel, M. (ed.) & Bailey, B. J., (2000). The solar greenhouse: a survey of energy saving methods. *Proceedings of the international conference and British-Israeli workshop on greenhouse techniques towards the 3<sup>rd</sup> millennium*, Haifa, Israel, 5-8 September, 1999, Acta Horticulturae, 534: 131-138.
- Sherafati, K. (2008). *Investigation of energy efficiency indices of cucumber production in greenhouses of Tehran*. Final report of the research project of the Institute of Agricultural Technical and Engineering Research. (In Persian).
- همچنین خروج هیدروکربن‌های سوخته نشده و اکسیدهای نیتروژن از دودکش گلخانه، آلودگی‌های محیط‌زیست را به همراه خواهد داشت. بررسی فنی سامانه‌های گرمایشی نصب شده در این مناطق و تصاویر حرارتی ثبت شده نشان داد که عواملی مانند استفاده از سامانه‌های گرمایشی غیراستاندارد، استفاده از سازه‌های گلخانه‌های غیراستاندارد از لحاظ پوشش و دریچه‌ها، جانمایی و نصب نامناسب سامانه گرمایشی در گلخانه به این امر کمک کرده‌اند.
- اگر چه بخش کشاورزی و گلخانه در ایران، مصرف‌کننده بزرگی در بخش انرژی کشور نیستند و در نتیجه انتشار آلاینده‌ها از آن در حال حاضر در سطح بالایی قرار ندارد ولی با توجه به توسعه گلخانه‌ها در کشور و توجه به مسائل محیط‌زیستی ضروری است که با مدیریت و بهینه‌سازی مصرف انرژی از انتشار آلاینده‌های زیست محیطی آن کاست. انجام تحقیقات مشابه در سایر اقلیم‌های مشابه، مطالعه و معرفی سازه‌های گلخانه‌ای با مصرف انرژی پائین‌تر، مطالعه روش‌های کاهش مصرف انرژی در گلخانه مانند استفاده از سیستم‌های ذخیره انرژی، مطالعه جایگزینی بخشی از سوخت مصرفی فسیلی با منابع انرژی تجدیدپذیر، مطالعه بر روی بهینه‌سازی سازه‌های گلخانه‌ای و سیستم‌های گرمایشی گلخانه‌های موجود نیز پیشنهاد می‌گردد.

### سپاسگزاری

از حمایت‌های معاونت محترم امور باغبانی وزارت جهاد کشاورزی و موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی که در انجام این تحقیق یاریگرمان بودند سپاسگزاریم.

### منابع

- Anonymous. (2017). *Iran energy outlook*. Available on <https://isn.moe.gov.ir/>. (In Persian).
- Anonymous. (2018a). *Agricultural Statistics of Iran*. Available on <https://maj.ir/>. (In Persian).
- Anonymous. (2018b). *Greenhouse structures and equipments*, Part 1: Greenhouse structures. ICS: 65.040.30. Iranian National Standardization Organization. I.R. of IRAN. (In Persian).
- Anonymous. (2021). *World energy outlook*. Available on <https://www.iea.org>.

