بررسی گلخانه‌های مبتنی بر انرژی خورشیدی و انتخاب سازه بهینه به کمک فرآیند تحلیل سلسله مراتبی

مصطفی جعفریان[1*]، امین قبادپور[2]، کریم جعفریان[3]

۱- دانشجوی دکتری رشته مهندسی مکانیک بیوسیستم گرایش انرژی‌های تجدیدپذیر، دانشگاه تهران و مدرس دانشگاه فنی حرفه‌ای-آموزشکده فنی پسران شیروان

۲- دانشجوی دکتری رشته مهندسی مکانیک بیوسیستم گرایش انرژی‌های تجدیدپذیر، دانشگاه تهران

۳- دانشجوی دکتری رشته مهندسی مکانیک گرایش تبدیل انرژی، دانشگاه صنعتی شاهرود

* ایمیل نویسنده مسئول: m.jafarian@ut.ac.ir

چکیده

امروزه استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر به عنوان منبع انرژی جایگزین، کاربردهای زیادی پیدا کرده است. در میان انرژی‌های تجدیدپذیر، انرژی خورشیدی چون پاک، بی‌خطر، بی‌پایان و رایگان است، کاربرد ویژه‌ای دارد. در گلخانه‌های کشاورزی از انرژی خورشیدی برای تأمین گرما استفاده زیادی می‌شود. تاکنون گلخانه‌های مبتنی بر انرژی خورشیدی در ابعاد کوچک و بزرگ و با سازه‌های گوناگون ساخته شده‌اند. سازه‌ها و پوشش‌های گلخانه از مهم‌ترین و اساسی‌ترین قسمت‌های گلخانه هستند که طراحی آن‌ها بر اساس اصول مهندسی موجب افزایش عمر مفید پوشش‌ها و نیز کاهش تلفات انرژی و نهایتاً تولید محصول با کیفیت و کمیت بالا می‌شود. در این مقاله انواع سازه‌های رایج گلخانه‌های خورشیدی معرفی شده‌اند و به کمک تکنیک فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، سازه بهینه انتخاب شده است. از بین سه سازه رایج گلخانه خورشیدی شامل محصور، نیمه محصور و الحاقی، با چهار معیار عملکرد گرمایشی، راحتی ساخت، دریافت نور خورشید و قیمت تمام شده، ساختار سلسله مراتبی تشکیل شد و با استفاده از نرم افزار Expert Choice گلخانه خورشیدی الحاقی به عنوان سازه بهینه معرفی شد.

واژه‌های کلیدی: انرژی‌های تجدیدپذیر، گلخانه‌های خورشیدی، گلخانه خورشیدی الحاقی، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی

سالنامه آماری فائو[1] بیان می‌کند که به علت افزایش زمین‌های زیر کشت، تولید محصولات کشاورزی در جهان، به بیش از سه برابر ۵۰ سال قبل افزایش یافته است. با توجه به نیاز روزافزون بشر به مواد غذایی و افزایش بی رویه جمعیت جهان، استفاده بهینه از منابع طبیعی در جهان امروز بیش از پیش مورد توجه محققان قرار گرفته است. از آنجا که زمین‌های قابل کشت کشاورزی کم است، استفاده بهینه حداکثری از این زمین‌ها اهمیت فراوان دارد. کشت گلخانه ای امکان استفاده از زمین کشاورزی را در تمام فصول سال ایجاد نموده است. استفاده از گلخانه برای تولید محصولات کشاورزی به دلیل ایجاد امکاناتی از قبیل کنترل عوامل تأثیر گذار محیطی همچون تغییرات دمایی، کشت محصول در هر منطقه آب و هوایی، کنترل آفات و بیماری‌ها، جلوگیری از پدیده های سرمازدگی و گرمازدگی، استفاده بهینه از آب و خاک، راندمان بالای تولید، دوام محصول پس از برداشت، کاربرد مناسب کود و سم و در نهایت تولید محصول در خارج از شرایط زمانی و قیمت بالاتر محصول برای فروش در خارج از فصل، جایگاه ویژه ای به این نوع از تولید داده و کشت گلخانه ای به عنوان یک روش متفاوت با بازده بالا در سال‌های اخیر رو به گسترش است (دودانگه، ۱۳۹۰).

امروزه صنعت تولیدات گلخانه‌ای نسبت به آنچه که تا پیش از جنگ جهانی دوم، به آن پرداخته می‌شد، دستخوش تغییرات زیادی شده است. عوامل متعددی در تسریع این تحولات دخیل بوده‌اند. کمبود نفت در خلال دهه‌ی ۱۹۷۰ موجبات تحقیقات جهانی در زمینه‌ی استفاده‌ی بهینه از انرژی و روی آوردن به انرژی‌های تجدیدپذیر را فراهم آورد. از آن تاریخ به بعد مطالعات فراوانی بر روی امکان استفاده از پوشش‌های گلخانه‌ای مؤثر در نگهداری گرما، بخاری‌ها و دیگ‌های بخار مناسب سیستم حرارتی گرم کننده‌ی کف گلخانه و نحوه طراحی سازه گلخانه به عمل آمد (جعفریان و همکاران، ۱۳۹۱).

کشت گلخانه ای به دلیل تولید خارج از فصل دارای مصرف بالای انرژی است. نتایج اکثر مطالعات انجام شده در زمینه مصرف انرژی محصولات گلخانه ای نشان می‌دهد بیشترین سهم انرژی مصرفی مربوط به سوخت‌های فسیلی می‌باشد که برای گرم کردن گلخانه صرف می‌شود. بعد از سوخت فسیلی بیشترین سهم انرژی مصرفی مربوط به الکتریسیته می‌باشد (حیدری و همکاران، ۱۳۹۲). با توجه به تجدید ناپذیری، محدودیت و آلایندگی سوخت فسیلی، جایگزینی آن با انرژی خورشیدی بسیار مفید خواهد بود. انرژی خورشیدی با داشتن سه ویژگی اساسی بهترین گزینه رقابتی با سوخت‌های فسیلی در گلخانه است؛ که عبارتند از پایان ناپذیری، دسترسی آسان و غیر آلاینده بودن.

گلخانه خورشیدی به طرحی از انواع گلخانه گفته می‌شود که در آن از انرژی خورشید استفاده بهینه می‌گردد تا استفاده از انرژی‌های فسیلی حذف و یا کاهش یابد (دودانگه، ۱۳۹۰). گلخانه های خورشیدی اصولاً برای جمع آوری انرژی خورشیدی در طول روزهای آفتابی و ذخیره گرمای خورشید و بهره برداری در طول شب و یا زمان ابری بودن هوا طراحی شده‌اند.

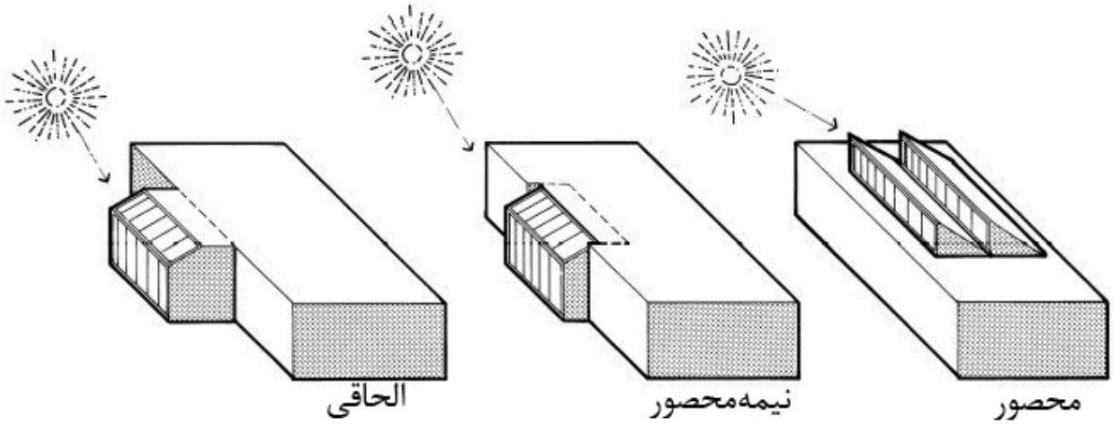
گلخانه های خورشیدی عموماً به دو نوع غیر فعال و فعال تقسیم می‌شوند. گلخانه های خورشیدی غیر فعال (passive) برای بهره برداران کوچک گزینه مناسبی است، چون هزینه اجرای آن‌ها کمتر است. در مناطق با آب و هوایی سردتر و مناطق با دوره

[1] FAO Statistical Yearbook

گلخانه های خورشیدی فعال (active) از انرژی جانبی برای جابجایی هوای گرم شده توسط خورشید یا آب از سطوح جمع کننده یا ذخیره ساز به مناطق دیگر گلخانه استفاده می‌کنند. هنوز استفاده از پنل های فتوولتائیک به عنوان گرم کن الکتریکی برای گلخانه‌ها توجیه اقتصادی ندارد، مگر اینکه محصولی با ارزش بالا تولید شود. هر یک از سیستم‌های خورشیدی، دارای قابلیت‌هایی هستند، و در صورت طراحی و کاربرد اصولی آن‌ها، امکان کاهش بار حرارتی را فراهم می‌سازند. بدیهی است برای استفاده‌ی بهینه از این سیستم‌ها در معماری، باید بررسی و مطالعه لازم برای تعیین بهترین گزینه صورت گیرد (گیلانی و همکاران، ۱۳۹۰).

گلخانه های خورشیدی غیر فعال، انرژی خورشیدی را بدون استفاده از تجهیزات مصرف کننده انرژی نظیر فن، پمپ یا کنترل کننده، جمع آوری و ذخیره می‌کنند، تا در زمان مناسب مورد استفاده قرار گیرد. زمانی که گردآوری انرژی و کاهش هزینه های تجهیزات و اجرا جزو اولویت‌های اصلی طراحی محسوب می‌شوند، این سیستم‌ها در میان دیگر سیستم‌های خورشیدی کارآمدترین سیستم‌ها خواهند بود (گیلانی و همکاران، ۱۳۹۰). این سیستم‌ها در انواع دریافت مستقیم (Direct Gain)، دریافت غیر مستقیم(Indirect Gain) و دریافت مجزا(Isolated Gain) طبقه بندی می‌شوند.

سه شیوه‌ی متفاوت برای ارتباط ساختاری گلخانه‌ی خورشیدی با ساختمان وجود دارد. گلخانه های خورشیدی بر این مبنا به انواع الحاقی(Attached)، نیمه محصور(Semi-Enclosed)، و محصور (Enclosed) دسته بندی می‌شوند.



شکل۱- سه روش رایج در طراحی سازه گلخانه خورشیدی

گلخانه خورشیدی نوع الحاقی خارج از خطوط دیوار ساخته می‌شوند، با توجه به ساختارش، فضای مناسبی را برای نشاء کردن، کاشت گیاهان علفی و مقادیر محدودی از گیاهان خوراکی ایجاد می‌کند. گلخانه خورشیدی نوع نیمه محصور، دو یا سه ضلعش به وسیله اتاق مجاورش محصور شده است و گلخانه خورشیدی نوع محصور به وسیله ساختمان از تمام جهات محصور شده است.

در رابطه با نحوه کارکرد گلخانه های خورشیدی تا کنون پژوهش‌های زیادی انجام شده است.

موتارد و فیسوره برای نحوه‌ی توزیع و انعکاس امواج تابشی با طول موج بلند در داخل گلخانه‌ی متصل با فرض دمای

گلخانه مدلی ارائه نمودند. آن‌ها نتایج شبیه سازی مدل خود را با استفاده از نتایج حاصل از اندازه گیری یک نمونه‌ی واقعی صحه گذاری نمودند. با استفاده از مدل آن‌ها می‌توان دمای هوا، دمای سطوح گلخانه و شار گرما به فضاهای مجاور گلخانه را به دست آورد (Mottard and Fissore, 2007). اولیوتی و همکاران در پژوهش خود، مدل ساده ای، را برای ارزیابی میزان جذب انرژی خورشیدی در گلخانه، با استفاده از برنامه‌ی شبیه ـ سازی درب لت[1] ارائه کردند. مهم‌ترین متغیرهای بررسی شده شامل عرض جغرافیایی، جهت گیری، هندسه و ویژگی‌های بصری سطوح مات و شیشه ای بود. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که با استفاده از مدل پیشنهادی آن‌ها می‌توان میزان انرژی خورشیدی جذب شده در گلخانه را با دقت کافی تخمین زد (Oliveti *et al*., 2008).

میهالاکاکو و فرانته در پژوهشی به بررسی تأثیر عواملی از قبیل جهت گیری گلخانه، مصالح شیشه ای به کار رفته، شرایط مرزی کف گلخانه و سیستم لوله های زیرزمینی بر روی عملکرد حرارتی گلخانه در چهار شهر اروپایی پرداختند. آن‌ها از برنامه‌ی شبیه سازی ترنسیس استفاده نمودند و در نهایت نتیجه گرفتند که گلخانه‌ی خورشیدی از نوع متصل به ساختمان به میزان قابل توجهی دمای فضای داخل گلخانه را در ایام سرد سال، بالاتر نگه می‌دارد. ضمن اینکه در بیشتر مواقع، باعث بیش از حد گرم شدن فضای داخل گلخانه در اوقات گرم سال می‌شود (Mihalakakou And Ferrante, 2000). لازم به توضیح است که در این پژوهش آورده شده است که این پدیده زمانی رخ می‌دهد که عملکرد گلخانه در اوقات گرم و سرد سال یکسان باشد و نیز هیچ نوع تجهیزاتی برای خروج هوای گرم در ایام گرم سال، وجود نداشته باشد.

میهالاکاکو در پژوهش دیگری در ادامه‌ی این پژوهش، تأثیر سه روش سرمایش غیرفعال در گلخانه خورشیدی، شامل وجود سایه‌بان‌ها، لوله های زیرزمینی و تهویه‌ی شبانه را برای جلوگیری از بیش از حد گرم شدن گلخانه در تابستان، به کمک نرم افزار شبیه سازی ترنسیس بررسی نمود. نتایج تحقیق این محقق نشان داد که با استفاده از هر سه روش، می‌توان رفتار حرارتی ساختمان متصل به گلخانه را بهبود بخشید، اما تأثیرگذارترین روش برای سرمایش در اوقات گرم سال، به‌کارگیری هر سه روش است (Mihalakakou., 2002).

اسپوستی و همکاران در پژوهشی دیگر برای بررسی عملکرد حرارتی گلخانه‌ی خورشیدی، دو گلخانه واقعی نوع الحاقی به ساختمان و یک گلخانه شاهد(مرجع) ساختند. آن‌ها در جدار جنوبی یکی از نمونه های مورد آزمایش، پنجره‌ای با شیشه‌ی دوجداره و در جدار جنوبی یکی دیگر از نمونه‌ها، گلخانه ای با پنجره ای مشابه نمونه‌ی قبلی طراحی نمودند و عملکرد این نمونه‌ها را با عملکرد نمونه‌ی مرجع که جدار جنوبی آن دارای عایق حرارتی بود، مقایسه کردند. مقایسه‌ی مصرف انرژی سه نمونه‌ی ساخته شده نشان داد رفتار دو گلخانه تقریباً مشابه نمونه‌ی مرجع بود. این پدیده، به دلیل مه آلود بودن هوا، در کل دور اندازه گیری رخ داده بود (Esposti., 1990).

مواد و روش‌ها

برای انتخاب ساختار بهینه گلخانه خورشیدی، از بین ساختارهای رایج نیاز به تحلیل قوی و توجه به تمام جزئیات دارد که در این

[1] DEROB-LTH

از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی این انتخاب انجام شده است.

تکنیک فرآیند تحلیل سلسله مراتبی

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی(AHP[1]) تکنیکی است که برای تصمیم گیری و انتخاب یک گزینه از میان گزینه های متعدد تصمیم گیری، با توجه به معیارهایی که تصمیم گیرنده تعیین می‌کند، به کار می‌رود (مهرگان، ۱۳۸۸). تکنیک AHP توسط توماس ال ساعتی در سال ۱۹۸۰ ابداع شد. این تکنیک بر اساس مقایسه های زوجی عمل می‌کند و برای تصمیم گیری‌های چند معیاره پیچیده به کار می‌رود. این تکنیک به دلیل ویژگی‌های ریاضی و جواب‌های ملموس مورد استقبال پژوهشگران زیادی قرار گرفته است (Triantaphyllou And mann, 1995). در این تکنیک درباره اهمیت هر معیار مقایسه های زوجی بین معیارها توسط شخص تصمیم گیرنده صورت می‌گیرد و از نتایج این مقایسه‌ها ماتریس‌هایی ایجاد می‌شود. افراد خبره و متخصص که درباره اهمیت نسبی عناصر نسبت به هدف کلی تسلط دارند به وزن دهی معیارها می‌پردازند. مقیاس وزن دهی مطابق جدول ۱ شامل اعداد صحیح در بازه ۱ تا ۹ می‌باشد، که عدد یک نشان دهنده اهمیت برابر دو معیار دارد و عدد ۹ نشان دهنده اهمیت بسیار زیاد معیار اول نسبت به معیار دوم است (دوره گر زواره، ۱۳۹۱).

جدول۱- مقایس وزن‌دهی عددی در تکنیک فرآیند تحلیل سلسله مراتبی

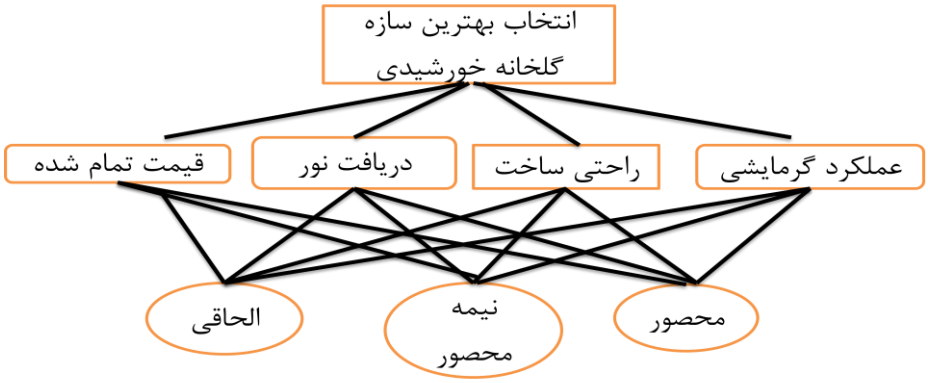
ترجیحات (قضاوت شفاهی)		مقدار عددی
کاملاً مرجح یا کاملاً مهم‌تر یا کاملاً مطلوب‌تر	Extremely preferred	۹
ترجیح با اهمیت یا مطلوبیت خیلی قوی	Very strongly preferred	۷
ترجیح با اهمیت یا مطلوبیت قوی	Strongly preferred	۵
کمی مرجح یا کمی مهم‌تر یا کمی مطلوب‌تر	Moderately preferred	۳
ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت یکسان	Equally preferred	۱
ترجیحات بین فواصل فوق		۸،۶،۴،۲

در این تحقیق، به منظور تعیین معیارهای تشکیل دهنده فرآیند سلسله مراتبی از تلفیق معیارهای تأثیر گذار در ساخت، کاربرد، قیمت و بهره برداری از گلخانه خورشیدی استفاده شد. پس از تشکیل ساختار سلسله مراتبی برای مشخص کردن وزن هر معیار، مقایسه دو به دو صورت گرفت و پرسش نامه ای شامل مقایسات زوجی معیارها طراحی گردید. این پرسش نامه توسط چندین کارشناس خبره در زمینه مدیریت، ساخت و همچنین بهره برداری گلخانه تکمیل شد. این کارشناسان به پیشنهاد سازمان جهاد کشاورزی خراسان شمالی انتخاب شدند. از آنها خواسته شد تا بر اساس دانش و تخصص خود ابتدا معیارها را بر اساس هدف و سپس پارامترها را برا اساس معیارها مقایسه نموده و امتیاز دهند و بر این مبنا اطلاعات ورودی این پژوهش حاصل شد. پس از تکمیل پرسش نامه‌ها، جهت تحلیل داده‌ها از نرم افزار Expert Choice نسخه ۱۱ استفاده شد.

[1] Analytic hierarchy process

ساخت سلسله مراتبی

از بین سه سازه رایج گلخانه خورشیدی شامل محصور، نیمه محصور و الحاقی، با چهار معیار عملکرد گرمایشی، راحتی ساخت، دریافت نور خورشید و قیمت تمام شده، ساختار سلسله مراتبی مطابق شکل ۲ تشکیل شد.



شکل۲-ساختار خوشه ای هدف، معیارها و گزینه های مورد مطالعه

پس از تشکیل ساختار خوشه ای، سلسله مراتب باید پالایش شود، در گام اول ماتریس مقایسه زوجی برای هر معیار به طور جداگانه تشکیل داده شد. این مقایسه‌ها از طریق پرسشنامه ای که قبلاً توضیح داده شد صورت گرفته است. با توجه به نتیجه مقایسه‌ها که بر اساس جدول شماره ۱ انجام شد، اعدادی بین ۱ تا ۹ تخصیص داده شد.

در اینجا برای نمونه، ماتریس مقایسه زوجی برای سه سازه گلخانه خورشیدی نسبت به ۴ معیار مطرح شده آورده می‌شود و برای مابقی مراحل به ذکر نتایج بسنده می‌شود.

ابتدا معیار عملکرد گرمایشی را بررسی می‌کنیم، در این معیار و سایر معیارها بایستی مقدار عددی ارجحیت هر سه سازه گلخانه خورشیدی مورد مطالعه دو به دو مشخص شود.

جدول ۲- محاسبه وزن نسبی انواع گلخانه های خورشیدی از نظر عملکرد گرمایشی

	گلخانه محصور	گلخانه نیمه	گلخانه الحاقی
گلخانه الحاقی	۴	۲	۱
گلخانه نیمه محصور	۲	۱	۱/۲
گلخانه محصور	۱	۱/۲	۱/۴

همانطور که مشاهده می شود، قطر اصلی ماتریس برابر یک است، چون مطابق جدول ۱، هر سازه در مقام مقایسه با خودش ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت یکسان دارد.

سازه های مختلف گلخانه های خورشیدی در جدول ۳، ۴ و ۵ به ترتیب با معیارهای راحتی ساخت، دریافت نور و قیمت تمام شده با یکدیگر مقایسه شده اند.

جدول ۳- محاسبه وزن نسبی انواع گلخانه های خورشیدی از نظر راحتی ساخت

	گلخانه محصور	گلخانه نیمه	گلخانه الحاقی
گلخانه الحاقی	۱/۵	۱/۳	۱
گلخانه نیمه محصور	۱/۲	۱	۳
گلخانه محصور	۱	۲	۵

جدول ٤- محاسبه وزن نسبی انواع گلخانه های خورشیدی از نظر دریافت نور

	گلخانه محصور	گلخانه نیمه	گلخانه الحاقی
گلخانه الحاقی	۵	۳	۱
گلخانه نیمه محصور	۲	۱	۱/۳
گلخانه محصور	۱	۱/۲	۱/۵

جدول ٥- محاسبه وزن نسبی انواع گلخانه های خورشیدی از نظر قیمت تمام شده

	گلخانه محصور	گلخانه نیمه	گلخانه الحاقی
گلخانه الحاقی	۳	۴	۱
گلخانه نیمه محصور	۲	۱	۱/۴
گلخانه محصور	۱	۱/۲	۱/۳

در نهایت، سطح بالاتر مقایسه، یعنی مقایسه معیارها نسبت به یکدیگر انجام می‌شود. در این مرحله، خود معیارها، دو بـه دو نسـبت به هم مقایسه می‌شوند. نتیجه بر اساس پرسشنامه مذکور که که قبلا توضیح داده شد، استخراج شد که مطابق جدول ۶ می‌باشد.

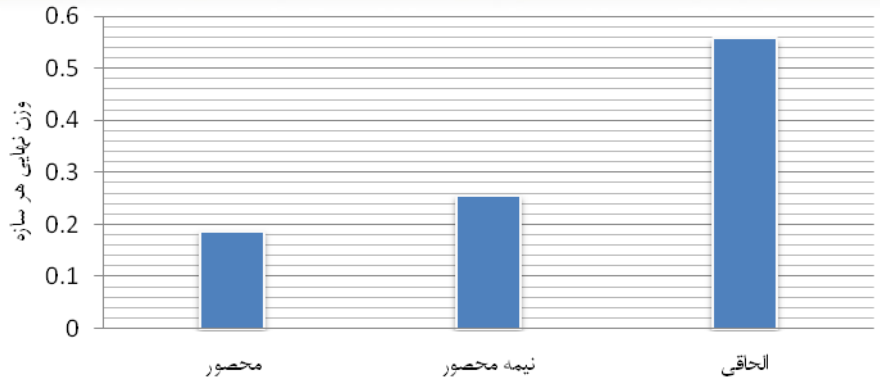
جدول ٦- ماتریس مقایسه زوجی معیارها

	قیمت تمام شده		راحتی	عملکرد
عملکرد گرمایشی	۱	۲	۳	۱
راحتی ساخت	۱/۴	۱/۲	۱	۱/۳
دریافت نور	۱	۱	۲	۱/۲
قیمت تمام شده	۱	۱	۴	۱

نتایج و بحث

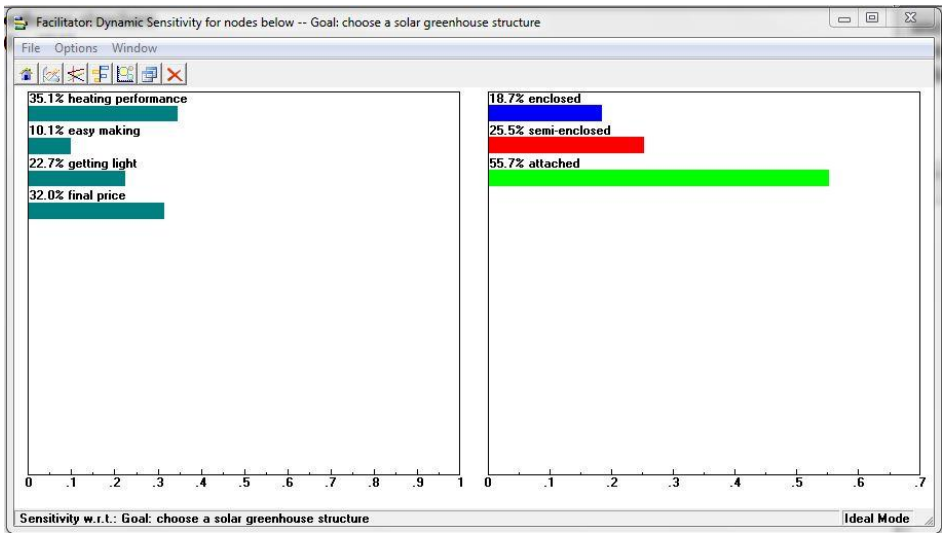
در این تحقیق به منظور یافتن بهترین سازه از بین سازه های رایج در گلخانه خورشیدی (سازه الحاقی، سازه محصور و سازه نیمه محصور) و بر اساس معیارهای چهارگانه عنوان شده (عملکرد گرمایشی، راحتی ساخت، دریافت نور و قیمت تمام شده)، پرسش نامه‌هایی توسط کارشناسان خبره تکمیل گردید و بر اساس آن ماتریس مقایسات زوجی به دست آمد. داده‌های به دست آمده از این قیاس‌ها وارد نرم افزار Expert Choice شد و وزن گزینه‌ها به دست آمد. هر گزینه‌ای که وزن بیشتر دارد، نسبت به سایر گزینه‌ها در اولویت است و پس از آن گزینه‌های با وزن‌های کمتر را می‌توان انتخاب کرد.

نرم افزار، بهترین سازه با در نظر گرفتن معیارها و وزن آن‌ها گلخانه خورشیدی با سازه الحاقی است.



شکل۳- وزن محاسبه شده برای هر سازه گلخانه خورشیدی

همانطور که از شکل ۳ برمی آید گلخانه خورشیدی با سازه الحاقی دارای وزن ۰/۵۶ است که به عنوان اولویت اول انتخاب می شود. پس از آن، گلخانه خورشیدی با سازه نیمه محصور و گلخانه خورشیدی با سازه محصور به ترتیب با وزن های ۰/۲۵ و ۰/۱۹ به عنوان اولویت‌های دوم و سوم در نظر گرفته می شوند. این نتیجه گیری با پژوهش میهالاکاکو و فرانته که در آن با نرم افزار ترنسیس عملکرد حرارتی گلخانه خورشیدی را بررسی کردند، مطابقت دارد(Mihalakakou And Ferrante, 2000).



شکل٤- خروجی نرم افزار Expert Choice بر اساس درصد وزنی

در شکل ۴ خروجی نرم افزار Choice Expert مشاهده می شود که در سمت راست درصد وزنی هر سازه گلخانه خورشیدی را نشان می دهد و در سمت چپ، میزان تاثیر هر معیار در انتخاب نهایی را با درصد بیان می کند.

شکل۵-یکی از خروجی نرم افزار Expert Choice

در نرم افزار Expert Choice خروجی های متعددی می توان استخراج کرد. به عنوان نمونه، میزان تغییرات هر سازه گلخانه خورشیدی در برابر هر کدام از معیار ها در شکل ۵ آورده شده است.

در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی همواره می‌توان میزان سازگاری تصمیم را محاسبه نمـود. در صورتیکـه شاخص ناسازگاری از ۱/۰ بیشتر باشد، سطح ناسازگاری مجموعه وزن‌ها غیر قابل قبول بوده و رتبه‌بندی وزن‌ها بایستی مجدداً تکرار گردند (Armacost *et al.*, 1999).

نرخ ناسازگاری محاسبه شده در این تحقیق ۰/۰۹ به دست آمد، چون این مقدار کمتر از ۰/۱ است، قابل قبول است. (Canada *et al.*, 1996)

نتیجه گیری کلی

روش AHP صرفا یک روش محاسباتی نیست، بلکه با استفاده از مبنای علمی به جمع بندی نظرات و تجربیات کارشناسان خبره می پردازد. در این تحقیق با استفاده از روش AHP، از بین سه سازه مرسوم گلخانه خورشیدی مرسوم، بهترین سازه یعنی گلخانه خورشیدی الحاقی انتخاب شد. این انتخاب با در نظر گرفتن معیارهای عملکرد گرمایشی، راحتی ساخت، دریافت نور و قیمت تمام شده انجام شده است.

منابع

جعفریان، م. جعفریان، ک و آق خانی، م. ۱۳۹۱. بهینه سازی سیستم تهویه گلخانه‌ها برای شرایط آب و هوای بومی ایران (مطالعه موردی: شهرستان مشهد). هفتمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون)، شیراز، دانشگاه شیراز

حیدری، م. امید، م. اکرم، ا و مبلی، ح. ۱۳۹۲. مصرف انرژی در محصولات کشاورزی و دامی ایران: مطالعه مروری، هشتمین

دودانگه، م. ۱۳۹۰. بررسی و ارزیابی گلخانه های خورشیدی در مقابل گلخانه های فسیلی، مطالعه موردی استان‌های قزوین و البرز. دانشکده اقتصاد و حسابداری. دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی.

دوره گرزواره، ر. ۱۳۹۱. اولویت بندی بهسازی اکولوژیکی در پارک ملی خجیر. دانشکده منابع طبیعی. دانشگاه صنعتی اصفهان.

گیلانی، س. محمدکاری، ب. ۱۳۹۰. بررسی عملکرد گرمایشی گلخانه های خورشیدی در ساختمان‌های مسکونی اقلیم سرد نمونه‌ی موردی: شهر اردبیل. مجله علمی پژوهشی مهندسی مکانیک مدرس. دوره ۱۱ شماره ۲. صفحه۱۴۷-۱۵۷

مهرگان، م. ۱۳۸۸. پژوهش عملیاتی پیشرفته. نشر کتاب دانشگاهی. تهران.

Armacost, R., J. Hosseini and J. Pet-Edwards. 1999. Using the Analytic hierarchy process as a two-phase integrated decision approach for large nominal groups. Group Decis. Nego. 8: 535-555.

Canada, J. R., W. G. Sullivan and J. A. White. 1996. Capital Investment Analysis for Engineering and Management. Prentice-Hall, New Jersey.

Esposti W., Meroni I., Scamoni F., Tirloni P., Pollastro C., and Lacci R.; "Experimental Analysis of the Energy Performance of an Attached Sunspace"; Energy and Buildings; No. 14, 1990, pp 221-224.

FAO Statistical Yearbook, 2013. http://www.fao.org/docrep/018/i3107e/i3107e00.htm

Mihalakakou G. and Ferrante A.; "Energy Conservation and Potential of a Sunspace: Sensitivity Analysis"; Energy Conversion & Management; No. 41, 2000, pp 1247-1264.

Mihalakakou G.; "On the Use of Sunspace for Space Heating/Cooling in Europe"; Renewable Energy; No. 26, 2002, pp 415-429.

Mottard Jean-Michel and Fissore Adelqui; "Thermal Simulation of an Attached Sunspace and its Experimental Validation"; Solar Energy; No. 81, 2007, pp 305-315.

Oliveti G., De Simone M., and Ruffolo S.; "Evaluation of the Absorption Coefficient for Solar Radiation in Sunspaces and Windowed Rooms"; Solar Energy; No. 82, 2008, pp 212-219.

Triantaphyllou, E. and Mann, S.H., 1995**.** Using the analytic hierarchy process for decision making in engineering applications: some challenges. International Journal of Industrial Engineering: Applications and Practice. Vol. 2, No. 1, pp: 35-44.