طراحی و ساخت سامانه متمرکزکننده خورشیدی مجهز به لنز فرسنل خطی برای گرمایش گلخانه

داود مؤمنی[۱]، احمد بناکار*[۲]، برات قبادیان[۳]، سعید مینایی[۳]، مهدی منتظری[۴]

۱- دانشجوی دکترای گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی و محقق بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی جیرفت
۲- استادیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس،ah_banakar@modares.ac.ir
۳- دانشیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس
۴- دانشجوی دکترای گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی

چکیده

کشت‌های گلخانه‌ای به دلیل ماهیت تولید خارج از فصل یکی از پرمصرف‌ترین بخش‌های مصرف کننده انرژی در بخش کشاورزی هستند که عمده منبع تأمین کننده انرژی آن، سوخت‌های فسیلی هستند. با توجه به معایب مصرف سوخت‌های فسیلی و قوانین بازدارنده مصرف آن در سال‌های آینده بایستی مطالعه در خصوص جایگزینی درصدی از آن با سوخت‌های تجدیدپذیر بصورت تدریجی صورت گیرد. در این تحقیق مطالعات لازم برای استفاده از یک سامانه متمرکز کننده خورشیدی مجهز به لنز فرسنل خطی باقابلیت تنظیم برای کل مناطق ایران، در گلخانه‌های دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس صورت گرفته است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که استفاده از این سامانه در کشت‌های گلخانه‌ای امکان‌پذیر است.

واژه‌های کلیدی: گلخانه، لنز فرسنل خطی، متمرکز کننده خورشیدی.

مقدمه

محدودیت آب و خاک، ازدیاد جمعیت، افزایش نیاز به مواد غذایی، استفادهٔ بیشتر از زمان و ... توجه دانشمندان را به این نکته معطوف ساخته است تا کمبود غذا را با افزایش محصول در واحد سطح جبران نمایند. یکی از این تکنیک‌ها بهره‌برداری از کشت‌های گلخانه‌ای است. گلخانه محیط کشتی است که در آن با بهره‌گیری از زمین و تحت کنترل قراردادن اکثر شرایط لازم برای رشد گیاه مانند نور، رطوبت، تهویه، دما و نیاز غذایی محصول مورد نظر بدست می‌آید. بررسی توسعه گلخانه‌ها در دنیا در کمیته بین‌المللی CIPA در هشت منطقه شمال اروپا، جنوب اروپا، شرق اروپا، خاورمیانه، آسیا، آفریقا، آمریکا و استرالیا نشان داده است. مهمترین عوامل توسعه گلخانه‌ها در دنیا عواملی مانند عواملِ اقتصادی کنترل اقلیم، مصرف انرژی و سیاست دولتمردان بوده است. این نوع کشت در ایران از حدود سه دهه پیش شروع شده و با سرعت فزاینده‌ای روبه‌رشد است(Anonymous, 2007). کشت محصولات گلخانه‌ای تقریباً در هر جا مقدور است، چون هر جایی که شرایط محیطی مساعد نباشد می‌توان شرایط مطلوب را

به صورت کنترل‌شده برای رشد گیاه فراهم نمود. محصولاتی مانند خیار، گوجه‌فرنگی، فلفل، طالبی، توت‌فرنگی، کدو، بادمجان، برخی سبزیجات و انواع گل‌های زینتی در گلخانه‌های ایران تولید می‌شوند. با این وجود، برای احداث گلخانه تجاری بایستی به عوامل اقتصادی تولید نظیر هزینهٔ تولید و کمیت محصول نیز توجه کرد(شکوهیان، ۱۳۸۰ و حسندخت، ۱۳۸۴). یکی از پارامترهایی که برای تولید محصول کافی در گلخانه بایستی کنترل شود، درجه حرارت مطلوب گیاه است. برای آن‌که گلخانه‌ها دمای مطلوب داشته باشد باید با همان سرعتی که گرما از دست می‌دهد فضای آن را گرم نمود(حسندخت،۱۳۸۴; شکوهیان،۱۳۸۰ ومؤمنی،۱۳۹۰). عمده مصرف انرژی در گلخانه‌های ایران صرف گرمایش گلخانه می‌گردد که اغلب با استفاده از سوخت‌های فسیلی تأمین می‌شود(مؤمنی،۱۳۹۰). از طرف دیگر ترازنامهٔ انرژی ایران نشان می‌دهد که مصرف سوخت‌های فسیلی در کشور از اواخر پاییز رو به فزونی می‌گذارد. این نکته باعث می‌شود تا اوج مصرف در گلخانه با اوج مصرف در کشور برهم منطبق گردد. این امر مسائلی مانند صف‌های طولانی جایگاه‌های تحویل سوخت و قاچاق سوخت را به خصوص در مناطق مرزیِ کمتر توسعه یافته و فاقد انبارهای ذخیره به دنبال دارد. از طرف دیگر مسائل زیست محیطی مصرف سوخت‌های فسیلی، قوانین و پروتکل‌های بازدارنده، محدود بودن منابع و عمر ذخایر سوخت‌های فسیلی، گران شدن سوخت و ... باعث شده است تا ضرورت توجه به انرژی-های تجدیدپذیر بیش از گذشته اهمیت یابد.

یکی از این منابع انرژی تجدیدپذیر، انرژی خورشیدی است. انرژی تابیده شده به سطح زمین تقریبا معادل ۷×۱۰^{۱۷} کیلووات ساعت در سال است؛ یعنیدر حدود ۱۰۰۰ برابر نیاز یک جامعه ۱۰ میلیاردی است. پس اگر با هدف استفاده از ۵٪ این انرژی برنامه ریزی گردد، ۵۰ برابر نیاز بشر، انرژی خواهیم داشت. انرژی خورشیدی با وجود محاسنی مانند پاک بودن و گستردگی در سراسر دنیا محدودیت‌هایی نیز دارد. مواردی مانند دائم نبودن، فشرده نبودن، نیاز به تکنولوژی خاص داشتن، گران بودن و ... از جمله این موارد است. مطالعه جدّی در مورد استفاده از منبع خورشید جهت گرمایش گلخانه در دو دهه اخیر شروع شده است که از این مطالعات تعداد زیادی سیستم گرمایش خورشیدی توسعه پیدا کرده است که تنها چند نمونه از آن در دنیا عملی شده است. به عنوان نمونه سیستم‌های گرمایش خورشیدی غیرفعال با پلاستیک‌های پرشده از آب و سیستم‌های اسپری کننده آب بر بالای گلخانه تنها سیستم‌های خورشیدی هستند که توسط برخی از گلخانه‌داران مناطق مدیترانه‌ای بهینه شده‌اند یا در ژاپن که سیستم تبادل هوا–زمین نیز کاربرد عملی یافته است(Grafiadellis and Traka-mavrona, 2011).

اطّلاعات موجود در پایگاه سازمان انرژی‌های نو ایران(سانا) نشان می‌دهد که در ایران به طور متوسط ۵/۵ کیلووات ساعت انرژی خورشیدی در هر متر مربع در روز بر سطح زمین می‌تابد و ۳۰۰ روز آفتابی در ۹۰٪ خاک کشور وجود دارد.یعنی این که ایران یکی از کشورهای با پتانسیل بالا در زمینه انرژی خورشیدی است(بی‌نام، ۱۳۹۲). با توجه به این‌که ایران، پتانسیل بالایی در جذب انرژی خورشیدی دارد، لذا در این تحقیق، مطالعه بر روی جایگزینی درصدی از سوخت مصرفی با انرژی خورشیدی برای تأمین بخشی از نیاز گرمایش گلخانه صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق در ابتدا نیاز گرمایشی یک واحد گلخانه خیار، در دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس محاسبه شد. مقدار گرمای لازم برای گرم نگه داشتن گلخانه برابر مقدار گرمای تلف شده از گلخانه است. مقدار حرارت از دست رفته از گلخانه بستگی به نوع پوشش گلخانه، مساحتی از گلخانه که در معرض هواست، سرعت باد، وضعیت گلخانه، دمای بیرون گلخانه و دمای مورد نیاز برای گیاه مورد نظر دارد. این میزان گرما با فرمول۱ محاسبه شد.

$$L = L_{cover} + L_{frame} + L_{wind} \qquad (۱)$$

L=تلفات کل $(kcal.h^{-1})$

L_{cover}= تلفات پوشش $(kcal.h^{-1})$

L_{frame}= تلفات سازه $(kcal.h^{-1})$

L_{wind}= تلفات باد $(kcal.h^{-1})$

که هر یک از این تلفات بصورت زیر محاسبه گردید:

تلفات پوشش:این تلفات میزان گرمای از دست رفته از سطح پوشش گلخانه را نشان می‌دهد و برای بدست آوردن آن از فرمول۲ استفاده شد.

$$L_{cover} = U \cdot A \cdot (T_{inside} - T_{outside}) \qquad (۲)$$

L_{cover} = تلفات پوشش $(kca\ .h^{-1})$

U = ضریب انتقال $(kcal.h^{-1}.m^{-2}.{}^{\circ}C^{-1})$

A = مساحت پوشش (m^2)

T_{inside} = دمای مورد نظر از گلخانه برای رشد گیاه $(°C)$

$T_{outside}$ = کمینه دمای خارج گلخانه $(°C)$

تلفات سازه: برای نگهداری پوشش گلخانه به یکسری قاب، شاسی، ناودانی، ستون و... نیاز است که بایستی تلفات آنها نیز لحاظ گردد. بدین منظور مقدار تلفات بدست آمده از فرمول۲ را در فاکتور ساخت (C) ضرب کرده و مقدار آن محاسبه شد.

$$L_{frame} = C \cdot L_{cover} \qquad (۳)$$

تلفات باد:هر چه سرعت وزش باد در محل احداث گلخانه بیشتر باشد تلفات بیشتر می‌شود. به همین دلیل در جاهایی که سرعت باد از $۲۴kmh^{-1}$ زیادتر شود مقدار تلفات بدست آمده با فرمول۴ را در ضریب باد ضرب کرده و مقدار تلفات باد محاسبه می‌گردد.

$$L_{wind} = 0.018NV\ (T_{inside} - T_{outside}) \qquad (۴)$$

L_{wind}=تلفات باد $(kcal.h^{-1})$

N=تعداد تبادلات هوای داخل گلخانه بر ساعت

V= حجم داخل گلخانه (m^3)

در جدول۱اطّلاعات جغرافیایی محل انجام تحقیق آورده شده است.

جدول۱– اطّلاعات جغرافیایی محل انجام تحقیق

عرض جغرافیایی	35° 44 ´
طول جغرافیایی	51° 10 ´
ارتفاع از سطح دریا	1305.2 m
کمینه دما	-12.2 °C
بیشینه سرعت باد	90 $km.h^{-1}$
فاکتور سرعت باد	$kcal.m^{-3}$.1.16°C

طراحی و ساخت سامانه گرمایش خورشیدی: برای تمرکز تابش‌های خورشیدی از روش‌های مختلفی می‌توان استفاده کرد که با توجه به محاسن لنزهای فرسنل نسبت به لنزهای معمولی مانند تمرکز بهتر و وزن کمتر از آن استفاده شد. با توجه به نبود تکنولوژی ساخت لنز فرسنل خطی در ایران، با سه شرکت آلمانی، ایتالیایی و چینی مذاکراتی جهت ساخت لنز مورد نظر صورت گرفت که در نهایت شرکت چینیChampionTechnology Co.ساخت لنز با مشخصات ذکر شده در جدول۲را بر عهده گرفت. پس از آن برای لنز ساخته شده، شاسی مناسب طراحی و ساخته شد. زاویه قرارگیری لنز روی پایه‌های دستگاه به گونه‌ای طراحی و ساخته شد که قابلیت تنظیم دستی برای هر عرض جغرافیایی در نیم‌کره شمالی را داشته باشد (شکل۱).

جدول۲– مشخصات لنز فرسنل بکار رفته در پروژه

وزن	ابعاد	ضخامت	گام شیار	فاصله کانونی
1.3kg	1000×1000mm	3mm	0.5mm	1500mm

مطالعات صورت گرفته توسط محققین نشان داده است که به منظور افزایش بازده دستگاه متمرکز کننده نیاز است که زاویه آن بصورت دوره‌ای در هر منطقه تنظیم گردد (Bakirci, 2012).لذا در طراحی و ساخت دستگاه این نکته مورد توجه قرار گرفت و دستگاه بصورتی طراحی و ساخته شد تا قابلیت تنظیم برای کل عرض جغرافیایی ایران را داشته باشد.برای ردیابی تابش-های خورشیدی نیز یک سیستم ردیاب روی شاسی قرار گرفت تا در طول روز سامانه بچرخاند(شکل۱). سپس قطر لوله جاذب حرارت با استفاده از فرمول‌های ۵ و۶ محاسبه شد(Duffie and Beckman, 2005).

$$D = 2 r \sin(\theta_s/2) \quad \text{.....(۵)}$$

$$r = 2f / (1+\cos\varphi) \quad (۶)$$

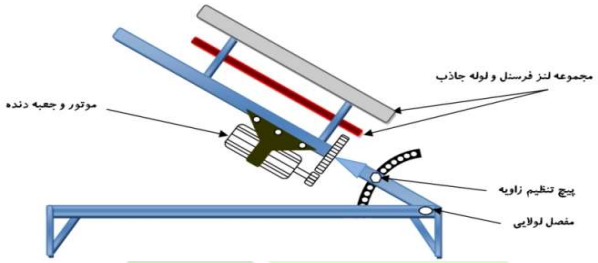
D = قطر لوله جاذب حرارت (متر)

r = شعاع محلی (متر)

θ_s = مقدار ثابت (0.53)

f = فاصله کانونی لنز متمرکزکننده (متر)

φ = زاویه دهانه لنز متمرکزکننده (درجه)



شکل۱– طرحواره مجموعه متمرکزکننده و ردیاب

نتایج و بحث

بررسی وضعیت عرض جغرافیایی ایران نشان می‌دهد ایران در محدوده ´۳ °۲۵ تا ´۴۷ °۳۹ شمالی قرار دارد. به همین دلیل مقدار بیشینه و کمینهX در شکل۲ برای کمترین و بیشترین عرض جغرافیایی محاسبه گردید و پایه‌های دستگاه به گونه‌ای طراحی و ساخته شدند تا به سادگی قابلیت تنظیم برای هر عرض جغرافیایی را داشته باشد. را داشته باشد. بدین ترتیب پایه‌های دستگاه قابلیت تنظیم از ارتفاع ۲/۲۵ متر برای جنوبی‌ترین نقطه کشور تا ۳ متر برای شمالی‌ترین نقطه کشور را دارند. پایه‌های قرارگیری لوله جاذب نیز بصورتی ساخته شد تا قابلیت تنظیم ماکرو و میکرو را داشته باشد تا در هر منطقه برای بهترین تمرکز بر روی لوله جاذب تنظیم شود.

شکل۲– ابعاد پایه های دستگاه متمرکز کننده لنز فرسنل خطی

پس از تهیه نقشه‌های فنی دستگاه، به منظور سهولت عملیات کارگاهی ماکت دستگاه در مقیاس ۱/۱۰ساخته شد(شکل ۳).

شکل۳- ماکت دستگاه متمرکزکننده خورشیدی مجهز به لنز فرسنل خطی در مقیاس ۱/۱۰

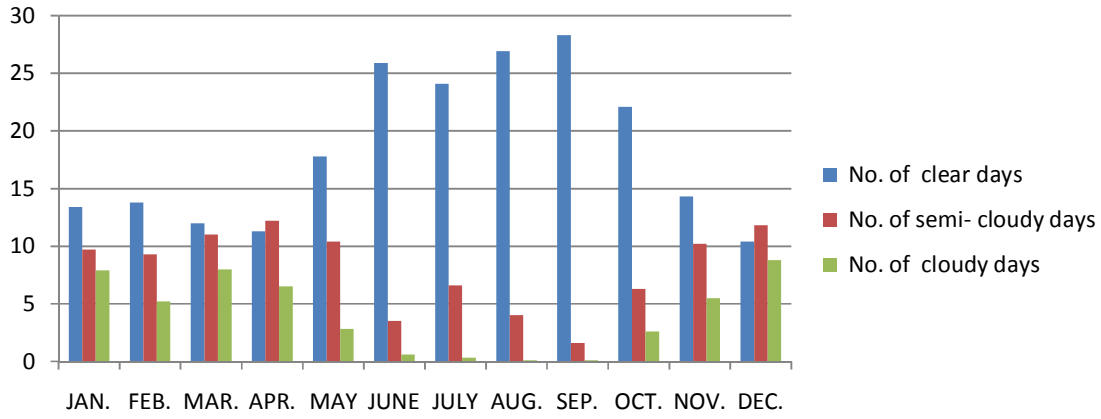
برای سهولت حمل و نقل، دستگاه بصورت پیچ و مهره طراحی و ساخته شد. به همین دلیل پس از اولین مونتاژِ دستگاه بصورتِ خال جوش، محل قرارگیری پیچ و مهره‌ها با مته ریز مشخص شده و پس از دمونتاژ دستگاه، با استفاده از دریل ثابت کارگاهی عملیات سوراخ‌کاری با دقت انجام شد. بعد از مونتاژ مجدد دستگاه با پیچ و مهره و رفع نقص‌های موجود، کلیه اتصالات کدگذاری گردید تا عملیات مونتاژ راحت‌تر و سریع‌تر صورت گیرد. سپس با انتقال دستگاه به کارگاه نقاشی و انجام مقدمات لازمشامل سنباده زدن، شستشو با تینر، ضدزنگ، زیررنگ و رنگ آمیزی نهایی دستگاه انجام شد (شکل۴).

شکل۴- پایه‌های دستگاه متمرکزکننده در کارگاه جوشکاری و نقاشی

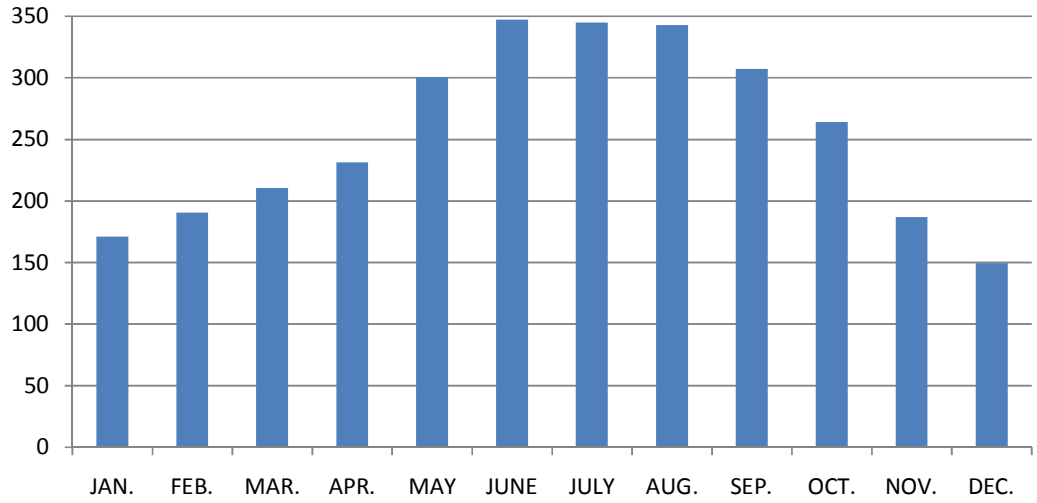
محاسبات مربوط به اندازه لوله متمرکزکننده با استفاده از فرمول‌های ۵و ۶ انجام شد و قطر لوله متمرکزکننده ۰/۰۱۵ متر بدست آمد.

$$r = 2f / (1+\cos\varphi) = 2\times1.5 / (1+\cos36.9) = 1.67$$

$$D = 2\, r \sin(\theta_s/2) = 2\times1.67 \times \sin(0.53/2) = 0.015$$



شکل۵ – تعداد روزهای آفتابی محل انجام تحقیق



شکل۶– تعداد ساعات آفتابی ماهانه محل انجام تحقیق

برای محاسبه مقدار حرارت تلف شده علاوه بر محاسبه مقدار سطوح خارجی گلخانه، از آمار بلند مدت هواشناسی منطقه چیتگر و اطّلاعات فیزیولوژیکی خیار استفاده شد و با استفاده از فرمول‌های۱، ۲، ۳ و ۴ مقدار گرمای مورد نیاز برای گرم نگه‌داشتن گلخانه در طول یک فصل محاسبه گردید که به منظور جلوگیری از حجیم شدن مقاله، تنها محاسبات مربوط به یک روز

زمستانی در جدول۳ آورده شد. جدول۴ نیز حجم تقریبی آب مورد نیاز برای گرمایش گلخانه را در دماهای مختلف لوله جاذب نشان می‌دهد. با توجه به تغییرات صاف بودن آسمان و میزان تابش خورشید در ماه‌های مختلف (شکل‌های ۵ و ۶)، دمای لوله جاذب متفاوت خواهد بود که نتایج محاسبات در جدول۴ذکر شده است.

جدول۳- میزان تلفات گرمایی محاسبه شده در گلخانه در یک روز زمستانی.

مجموع تلفات	مجموع تلفات	تلفاتاباد	تلفاتسازه	تلفات پوشش	کمینه دما	
kj	kcal	kcal	kcal	kcal	(سلسیوس)	ساعت
۸۶۰۸	۲۰۵۶	۱۸۰	۱۸۶	۱۶۹۰	۴	۹ –۱۰
۷۸۳۸	۱۸۷۲	۱۶۲	۱۷۰	۱۵۴۰	۵	۱۰–۱۱
۷۰۳۸	۱۶۸۱	۱۴۴	۱۵۲	۱۳۸۵	۶	۱۱ –۱۲
۲۱۹۴	۵۲۴	۶۳	۴۶	۴۱۵	۱۱	۱۲ –۱۳
۳۹۱۹	۹۳۶	۸۱	۸۵	۷۷۰	۱۰	۱۳ –۱۴
۵۴۶۴	۱۳۰۵	۱۱۲	۱۱۸	۱۰۷۵	۸	۱۴ –۱۵
۶۲۶۰	۱۴۹۵	۱۳۰	۱۳۵	۱۲۳۰	۷	۱۵– ۱۶

جدول ۴– حجم تقریبی آب مورد نیاز در هر ساعت برای گرم کردن گلخانه.

حداکثرحجم تقریبی آب مورد نیاز در هر ساعت برای گرم کردن گلخانه (لیتر)	دمای آب گرم شده توسط لنز فرسنل خطی (سلسیوس)
۸۰	۴۰
۶۵	۴۵
۵۵	۵۰
۵۰	۵۵
۴۵	۶۰
۴۰	۶۵
۳۶	۷۰
۳۳	۷۵
۳۰	۸۰

نتیجه گیری کلی

با توجه به معایب مصرف سوخت‌های فسیلی از یک‌طرف و قوانین و محدودیت‌های مصرف آن در سال‌های آتی از طرف دیگر، ضرورت توجه به منابع تجدیدپذیر انرژی یک الزام است نه انتخاب. یکی از این منابع، انرژی خورشیدی است که در ایران به وفور وجود دارد، لذا تکنولوژی‌های استفاده از آن در کشور بایستی بومی سازی گردد. نتایج این تحقیق نشان داد که می‌توان از این منبع انرژی در یکی از پرمصرف‌ترین بخش‌های مصرف‌کننده انرژی در کشاورزی یعنی کشت‌های گلخانه‌ای که به دلیل تولید در خارج از فصل، مصرف انرژی در آن بالاست، استفاده نمود.

منابع

۱– بی‌نام. ۱۳۹۲.سایت سازمان انرژی‌های نو ایران.www.suna.org.ir .
۲– حسندخت، م. مدیریت گلخانه (تکنولوژی تولید محصولات گلخانه‌ای). انتشارات مرز دانش.۱۳۸۴. ۳۲۰ص.
۳– خلجی‌اسدی، م.، ترابیان اصفهانی، ف. و ریاحی، ا. ۱۳۸۹. مهندسی فرایندهای حرارتی خورشیدی. انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات.
۴– مؤمنی، د. ۱۳۹۰. بررسی شاخص‌های مصرف انرژی تولید خیار در گلخانه‌های منطقه جیرفت و کهنوج. گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی.
۵– شکوهیان، ع. ۱۳۸۰. پرورش خیارهای گلخانه‌ای. انتشارات باغ اندیشه.
6. Anonymous. 2007 International training workshop on protected agriculture. Department of international cooperation. Ministry of Science and Technology. China.

7.Anonymous. 2013. National greenhouse manufacturers' association standard for heat loss in greenhouse structure

8. Chemisana, D., Lamnatou, CHR. andTripanagnostopoulos, Y. 2011.The effect of Fresnel lens –solar absorber systems in greenhouse. The proceeding of international symposium on advanced technologies and management towards sustainable greenhouse ecosystems. Greece.

9. Duffie, J. and Beckham, W.A. 2005. Solar engineering of thermal processes. John Wiley & Sons Inc. ISBN: 139780471-698678.

10. Grafiadellis, I. and Traka-mavrona, E. 2011. Heating greenhouse with solar energy: new trends and developments. International Symposium on Advanced Technologies and Management towards Sustainable Greenhouse Ecosystems. Greece.

Design and Manufacturing of a Solar Concentrator with Linear FresnelLens for Greenhouse

Davood Momeni[1] Ahmad banakar[2*] Barat Ghobadian[3] Saeed Minaei[3] and Mehdi Montazeri[4]

1- PhD Student, Department of Mechanics of Agricultural Machinery, TarbiatModares University, Tehra & Researcher of Agriculture Research Center of Jiroft,
2- Assistant Professor, Department of Mechanics of Agricultural Machinery, TarbiatModares University, Tehran, ah_banakar@modares.ac.ir
3- Associate Professor, Department of Mechanics of Agricultural Machinery, TarbiatModares University, Tehra
1- PhD Student, Department of Mechanics of Agricultural Machinery, TarbiatModares University, Tehra

Abstract

Greenhouse culture is one of the high energy consumption sectors in agriculture that uses fossil fuels. Due to disadvantages of fossil fuel consumption and preventing laws and protocols,it must be replaced gradually by renewable fuels.In this research, one solar concentrator with linear Fresnel lens was designed for greenhouse heating. This system was manufactured in TarbiatModares university however is adjustable for all regions in Iran. Results of this research showed that this system can be used in greenhouse cultures.

Keywords: Greenhouse, Linear Fresnel Lens, Solar concentrator.