

تجربه جهانی گلخانه‌های خودکفا



پنل‌های خورشیدی دومنظوره به‌گونه‌ای طراحی شده‌اند که قادرند طیف نوری قابل جذب در فرایند فتوسنتز (آبی و قرمز) را از خود عبور داده و در عین حال بخش غیرقابل استفاده (مثل مادون قرمز) توسط گیاهان را جذب و در فرایند تولید انرژی برق مورد استفاده قرار دهند. این فرایند ضمن تولید برق به تعدیل دمای گلخانه نیز کمک می‌نماید.



منصور حبیبی

کارشناس مطالعات امکان‌سنجی طرح‌های سرمایه‌گذاری



چالش تأمین غذای کافی برای جمعیت رو به رشد جهان، منجر به انقلاب سبز در اواسط قرن بیستم گردید. دانشمندان در طی دهه‌های گذشته همواره تلاش نموده‌اند تا با بهره‌گیری از فناوری‌های نوین در کشاورزی، نظیر استفاده از ارقام اصلاح‌شده، کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها و مکانیزاسیون کشت و تولید، میزان تولید محصول در واحد سطح را افزایش دهند. در طی فرایند گذار از کشاورزی گسترده^۱ به کشاورزی متمرکز^۲، کشت گلخانه‌ای به نماد کشاورزی مدرن تبدیل شده است. تولید محصولات کشاورزی در قالب زیرساخت‌های متمرکز نظیر گلخانه‌ها موجب افزایش فزاینده مصرف انرژی به ازای تولید هر واحد محصول گردیده است. از یک‌سو با توجه به بهره‌گیری از سیستم‌های هوشمند در گلخانه‌ها به‌منظور کنترل دقیق عوامل تولید و ارتقاء کمیت و کیفیت محصولات، تأمین پایدار انرژی الکتریسیته به یکی از چالش‌های کشت‌های گلخانه‌ای تبدیل گردیده است. از سوی دیگر به دلیل مصرف بالای آب در بخش کشاورزی و محدودیت تأمین آن به دلیل تغییرات اقلیمی در بسیاری از نقاط دنیا، شیوه‌های مؤثر در افزایش راندمان مصرف آب در گلخانه‌ها و بهره‌گیری از تکنولوژی‌های

مدرن جهت استحصال مجدد منابع آب اتلاف شده در فرایندهای آبیاری و تبخیر و تعرق در اولویت دست‌اندرکاران و فعالان بخش کشاورزی قرار گرفته است. کشورهای پیشرو در صنعت کشاورزی، توانسته‌اند با بهره‌گیری از این تکنولوژی‌ها، گام‌های مؤثری در تحقق خودکفایی گلخانه‌ها در تأمین انرژی و تولید پایدار محصولات کشاورزی، بردارند. از مهم‌ترین سیستم‌های پیاده‌سازی شده در گلخانه‌ها جهت کاهش وابستگی به منابع انرژی بیرونی می‌توان به سیستم‌های نیروگاه خورشیدی، نیروگاه CHP، مبدل حرارتی، تصفیه زه آب آبیاری، تلفیقی نیروگاه خورشیدی و شیرین سازی آب دریا، زمین‌گرایی با بهره‌گیری از حرارت و منابع آب گرم اعماق زمین و ذخیره انرژی حرارتی گلخانه اشاره نمود. در این مقاله تلاش گردیده تا تعدادی از این سیستم‌ها معرفی و نتایج حاصل از پیاده‌سازی آن‌ها تشریح گردد.

مقدمه

با گسترش فرایند جهانی‌سازی، رابطه تنگاتنگ بین منابع غذایی و منابع انرژی پیچیده‌تر می‌شود. پیش‌بینی‌ها بیانگر این حقیقت است که با تداوم روند کنونی افزایش جمعیت که سالانه معادل ۸۳

میلیون نفر می‌باشد، جمعیت جهان تا سال ۲۰۵۰ به حدود ۹ میلیارد و هشتصد میلیون نفر خواهد رسید. این افزایش جمعیت مستقیماً منجر به افزایش تقاضا برای کالاهای ملموس خواهد گردید، به‌طوری‌که انتظار می‌رود نیاز غذایی در سطح جهان، بیش از ۱۰۰ درصد نسبت به مقدار کنونی افزایش یابد. از سوی دیگر کمبود منابع انرژی، تولید مواد غذایی کافی برای بیش از ۲ میلیارد نفر از ساکنین این کره خاکی را با چالش جدی مواجه نموده است.

بخش کشاورزی به‌تنهایی حدود ۷۰ درصد از مصرف آب در سطح جهان را به خود اختصاص داده است که همین امر بیانگر میزان وابستگی این بخش به تغییرات اقلیمی و منابع آب شیرین می‌باشد. از سوی دیگر، تغییرات اقلیمی و کاهش منابع آبی می‌تواند برای کشورهایی که بخش اعظم تولید برق آن‌ها وابسته به نیروگاه‌های برق آبی می‌باشد، چالش‌برانگیز باشد. وجود ارتباط تنگاتنگ بین منابع انرژی نظیر آب و برق با بخش کشاورزی، تلاش‌های جهانی برای افزایش راندمان مصرف انرژی به ازای تولید هر واحد محصول کشاورزی را به‌شدت افزایش داده است. با توجه به اینکه گلخانه و کشت گلخانه‌ای به‌عنوان نماد کشاورزی مدرن شناخته می‌شود و از مزیت‌های بسیاری نظیر کاهش مصرف منابع انرژی و امنیت و پایداری در تولید محصولات غذایی برخوردار می‌باشد، در نتیجه، محققین و دانشمندان همواره تلاش می‌کنند تا با بهره‌گیری از تکنولوژی‌های روز دنیا و سیستم‌های هوشمند، گلخانه‌ها را به سیستم‌های نیمه‌بسته و بسته‌ای تبدیل کنند که قابلیت تولید پایدار با بیشترین راندمان و کمترین اتلاف انرژی را داشته باشند.

سیستم‌های مدرن تولید و مدیریت منابع انرژی در گلخانه‌ها

چالش کمبود منابع و تغییرات اقلیمی، احداث گلخانه‌های خودکفا را در اولویت محققین و سیاست‌گذاران حوزه کشاورزی





از مهم‌ترین سیستم‌های پیاده‌سازی شده در گلخانه‌ها جهت کاهش وابستگی به منابع انرژی بیرونی می‌توان به سیستم‌های نیروگاه خورشیدی، نیروگاه CHP، مبدل حرارتی، تصفیه زه آب آبیاری، تلفیقی نیروگاه خورشیدی و شیرین سازی آب دریا، زمین‌گرمایی با بهره‌گیری از حرارت و منابع آب گرم اعماق زمین و ذخیره انرژی حرارتی گلخانه اشاره نمود.

قرار داده است. گلخانه‌های خودکفا با بهره‌گیری از سیستم‌های تولید و ذخیره انرژی خورشیدی، آبیاری قطره‌ای، تصفیه و بازچرخانی زه آب گلخانه، جمع‌آوری و استفاده از آب نزولات آسمانی در فرایند تولید، سیستم ذخیره انرژی و سایر فناوری‌ها، ضمن تولید انرژی، با مدیریت تکنولوژی محور، میزان مصرف منابع انرژی را به حداقل رسانده و راندمان مصرف انرژی به ازای هر واحد تولید محصول را به میزان قابل‌توجهی افزایش می‌دهند. طبیعتاً توسعه احداث و بهره‌برداری از چنین گلخانه‌هایی، تولید پایدار محصولات کشاورزی و امنیت غذایی جامعه بشری در دهه‌های آتی تضمین خواهد گردید. در ادامه سیستم‌های نوین طراحی و پیاده‌سازی شده در جهت تحقق خودکفایی گلخانه‌ها معرفی و تبیین گردیده‌اند.

* استفاده از پنل‌های خورشیدی نیمه شفاف و شفاف جهت تولید انرژی برق

استفاده از پنل‌های خورشیدی در گلخانه‌ها می‌تواند وابستگی این واحدهای تولیدی به منابع انرژی بیرونی را به میزان چشمگیری کاهش دهد. با توجه به نیازمندی گیاهان به نور جهت رشد و تکمیل فازهای رویشی و زایشی خود و در نهایت تولید محصول باکیفیت، استفاده از پنل‌های خورشیدی شفاف می‌تواند ضمن فراهم‌سازی امکان عبور نور کافی از سقف و دیواره‌های گلخانه جهت انجام فرایند فتوسنتز در گیاهان، تولید انرژی الکتریسیته از انرژی تابشی خورشید را میسر سازد. پنل‌های خورشیدی دومنظوره به‌گونه‌ای طراحی شده‌اند که قادرند طیف نوری قابل جذب در فرایند فتوسنتز (آبی و قرمز) را از خود عبور داده و در عین حال

بخش غیرقابل استفاده (مثل مادون‌قرمز) توسط گیاهان را جذب و در فرایند تولید انرژی برق مورد استفاده قرار دهند. این فرایند ضمن تولید برق به تعدیل دمای گلخانه نیز کمک می‌نماید.

پنل‌های فتوولتائیک ارگانیک^۳ (OPV)، پنل‌های خورشیدی تولید شده با تکنولوژی روز دنیا می‌باشند که با توجه به مزیت‌های آن‌ها، در حال حاضر در ساخت گلخانه‌های خورشیدی مورد استفاده قرار می‌گیرند. این پنل‌ها، برخلاف پنل‌های سنتی که از سیلیکون یا مواد نیمه‌رسانای معدنی ساخته شده‌اند، از مولکول‌ها یا پلیمرهای آلی ساخته می‌شوند. استفاده از این نوع پنل‌ها به دلیل مزیت‌های مورد اشاره در زیر، در حال گسترش می‌باشد:

- دارای سطوح شفاف و نیمه شفاف با قابلیت عبور نور کافی،
- دارای انعطاف‌پذیری مناسب جهت نصب در سطوح خمیده نظیر سطح کمان‌های انحنادار گلخانه‌ها،
- دارای وزن سبک‌تر نسبت به پنل‌های سیلیکونی و تحمیل بار کمتر به سازه گلخانه‌ها،
- هزینه تولید و قیمت کمتر.

این نوع پنل‌ها، علی‌رغم مزیت‌های مذکور، بازدهی تبدیل انرژی آن‌ها کمتر بوده و در عین حال دارای عمر مفید کوتاه‌تری می‌باشند.

نکته اساسی در پیاده‌سازی چنین سیستمی این است که پنل‌های خورشیدی می‌بایست به‌گونه‌ای نصب گردند که تأثیر منفی بر رشد گیاهان کشت شده نداشته باشند. در برخی از سیستم‌ها، پنل‌ها روی سقف گلخانه‌ها به‌صورت متحرک نصب می‌شوند و با تغییر

زاویه در طی روز، امکان دسترسی گیاهان به نور کافی را فراهم می‌سازند. نتایج بررسی‌های صورت گرفته نشان می‌دهد که گلخانه‌ها با بهره‌گیری از این سیستم می‌توانند تا ۵۰ درصد از انرژی برق موردنیاز خود جهت کارکرد سیستم‌های آبیاری، تهویه، سرمایش و سایر تجهیزات را تأمین نموده و در عین حال هزینه‌های عملیاتی خود را کاهش دهند.

گلخانه‌های خورشیدی به‌طور موفقیت‌آمیزی در کشورهای پیشرو در صنعت گلخانه‌ای نظیر هلند، پیاده‌سازی گردیده است. چنین تأسیساتی ضمن تأمین انرژی پاک برای گلخانه‌ها، وابستگی گلخانه‌ها به شبکه برق سراسری کشورها را کاهش داده و در نهایت موجب پایدارتر شدن فرایند تولید گردیده است. در کشوری نظیر اسپانیا که دارای روزهای آفتابی بیشتری نسبت به کشورهای اروپای شمالی می‌باشد، گلخانه‌های خورشیدی توسعه بیشتری پیدا کرده است. سیاست‌گذاری‌های اتحادیه اروپا و مقامات کشورهای اروپایی در خصوص کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در راستای حفاظت از محیط‌زیست و اعطای مشوق‌های گوناگون به تولیدکنندگان انرژی‌های پاک، منجر به توسعه گلخانه‌های خورشیدی در اروپا گردیده است.

سرمایه‌گذاری اولیه بالا و همچنین طراحی و منطبق سازی سیستم پنل‌های خورشیدی با سازه‌های گلخانه‌ای موجود از عمده‌ترین چالش‌های تحقق گلخانه‌های خورشیدی در اروپا به‌شمار می‌رود. در حال حاضر دولت‌ها تلاش می‌کنند تا با بهره‌گیری از تکنولوژی روز دنیا و تولید انبوه پنل‌های خورشیدی، هزینه مالی اجرای گلخانه‌های خورشیدی را



در مناطق ساحلی و یا نزدیک به آب‌های شور که دارای اقلیم خشک بوده و با محدودیت دسترسی به منابع آب شیرین مواجه می‌باشند، بهره‌گیری از انرژی خورشیدی جهت تبخیر آب دریا و نمک‌زدایی جهت استفاده در فرایند کشت‌های گلخانه‌ای، به عنوان یکی از راهکارهای نوین جهت کاهش حداکثری تلفات آب در گلخانه‌های هوشمند و بهبود حداکثری میزان بهره‌وری آب ارائه گردیده است. در این فرایند آب شور وارد شده به محیط گلخانه ابتدا توسط انرژی خورشیدی بخار و سپس دوباره به آب تازه تبدیل می‌شود.

به میزان قابل توجهی کاهش داده و فعالان کشت گلخانه‌ای را به پیاده‌سازی چنین سیستم‌های ترغیب نمایند، شکل شماره (۱).

* سیستم تولید همزمان برق و حرارت (نیروگاه CHP)

در طی سالیان گذشته، پیاده‌سازی نیروگاه‌های CHP جهت تولید همزمان برق و حرارت در گلخانه‌های مدرن به دلیل مصرف بالای انرژی موردتوجه قرار گرفته است. کارایی پیاده‌سازی چنین سیستمی در برخی از کشورهای اروپایی نظیر هلند به اثبات رسیده است. اجرای چنین سیستمی از سوی کشورهای اروپایی شمالی که به دلیل میانگین دمای سالانه کمتر، به تجهیزات گرمایشی بیشتری جهت تولید محصولات گلخانه‌ای خود نیازمند می‌باشند، مورد استقبال بیشتری قرار گرفته است. اجرای این سیستم می‌تواند با سیستم نیروگاه خورشیدی تلفیق گردیده و راندمان تولید و مصرف برق و حرارت موردنیاز در گلخانه را به میزان چشمگیری افزایش دهد. همچنین امکان پیاده‌سازی سیستم‌های خورشیدی حرارتی (با استفاده از کلکتورهای خورشیدی) جهت تأمین مستقیم و یا غیرمستقیم گرمایش موردنیاز گلخانه، وجود دارد.

* سیستم تأمین گرمایش گلخانه از انرژی زمین گرمایی

انرژی زمین گرمایی روشی برای گرم کردن مناطق گلخانه‌ای با استفاده از منابع حرارتی طبیعی در زیرزمین است. این سیستم‌ها با بهره‌گیری از دمای ثابتی که از اعماق زمین می‌آید، گلخانه‌ها را به‌طور طبیعی و کارآمد گرم می‌کنند. سیستم‌های گرمایش

زمین گرمایی در گلخانه‌ها که انرژی را مستقیماً از پوسته زمین می‌گیرند، هم هزینه‌های انرژی را کاهش می‌دهند و همچنین به واسطه کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، راهکاری مؤثر برای حفاظت از محیط زیست به‌شمار می‌رود. مراکز تحقیقاتی در نقاط مختلف دنیا تلاش نموده‌اند تا با بهره‌گیری از انرژی زمین گرمایی عمیق، گام‌های مؤثری را در راستای تأمین انرژی پایدار و خودکفایی سیستم‌های کشت گلخانه‌ای به منابع انرژی بیرونی (شبکه برق سراسری و سوخت‌های فسیلی) بردارند. موسسه فناوری کارلسروهه در آلمان استفاده از انرژی زمین گرمایی جهت کربن‌زدایی بخش گرمایش مسکونی و صنعتی را در برنامه تحقیقاتی خود قرار داده است. نمونه بارز دیگر شرکت دویی وستین توماتن^۴ در کشور هلند می‌باشد که پروژه تأمین گرمایش گلخانه‌های تحت مالکیت خود از طریق انرژی زمین گرمایی را با موفقیت پیاده‌سازی نموده است. گرمایش گلخانه‌های گوجه‌فرنگی این شرکت از سیستم زمین گرمایی و از طریق لوله‌های قهوه‌ای خاکستری که در کل گلخانه توزیع شده‌اند تأمین می‌گردد.

* سیستم تأمین دی‌اکسید کربن گلخانه از نیروگاه CHP

مطالعات صورت گرفته بیانگر آن است که واکنش گیاهان نسبت به مقادیر مختلف دی‌اکسید کربن تا سطح ۱۴۰۰ پی پی ام متفاوت می‌باشد؛ اما مسئله اثبات شده این است که در صورت مساعد بودن سایر فاکتورهای محیطی رشد، افزایش دی‌اکسید کربن تا مقادیر بالای ۱۰۰۰ پی پی ام می‌تواند افزایش عملکرد محصول را در پی داشته باشد.

با توجه به پایین بودن میزان گاز دی‌اکسید کربن آزاد در هوا که در دامنه ۲۰۰ الی ۴۰۰ پی پی ام قرار دارد، تأمین مقادیر بالاتر دی‌اکسید کربن در راستای ارتقای راندمان فتوسنتز و افزایش عملکرد در گیاهان گلخانه‌ای موردتوجه محققین بوده است. یکی از جدیدترین نوآوری‌ها، استفاده از گازهای حاصل از نیروگاه CHP در تأمین دی‌اکسید کربن گلخانه‌ها می‌باشد. در این فرایند، گازهای خروجی از آگروز توربین جمع‌آوری گردیده، دی‌اکسید کربن موجود در آن استخراج شده و متناسب با نوع کشت در گلخانه توزیع می‌گردد.

اروپای شمالی در پیاده‌سازی ایده استفاده از محصول جانبی دی‌اکسید کربن به‌عنوان محرک رشد گیاهان پیشگام بوده است. این گلخانه‌ها با پیاده‌سازی تلفیقی سیستم‌های CHP و استحصال دی‌اکسید کربن توانسته‌اند محصولات گوناگونی نظیر انواع صیفی‌جات، گل‌های شاخه بریده و زینتی را تولید نمایند. طبق برآوردهای صورت گرفته، تأمین سطوح بالاتر دی‌اکسید کربن، می‌تواند سرعت رشد گیاهان را ۱۰ الی ۱۵ درصد افزایش دهد. بر اساس مشاهدات عینی صورت گرفته، پیاده‌سازی تلفیقی این سیستم‌ها توانسته میزان تولید را حتی در برخی موارد تا ۴۰ درصد افزایش دهد. چنین افزایش عملکردی، هزینه سرمایه‌گذاری اولیه جهت پیاده‌سازی چنین سیستم‌هایی را توجیه‌پذیر می‌سازد.

* بهره‌گیری از سیستم‌های بازچرخانی و کاهنده مصرف آب

در حال حاضر، از سیستم‌های آبیاری هوشمند جهت آبیاری کشت‌های گلخانه‌ای استفاده می‌شود. این سیستم‌ها بسته به سیستم کشت مورد استفاده (خاکی، هیدروپونیک،



شکل شماره (۱) نمونه‌ای از تلفیق کشت گلخانه‌ای و نیروگاه خورشیدی در کشور آلمان

ایروپوونیک و ...) با آنالیز محتوای رطوبتی اندام‌های گیاه و وضعیت عناصر غذایی در گیاهان تحت کشت، حجم آب موردنیاز را تعیین و در اختیار گیاهان قرار می‌دهند. کشورهای پیشرو در کشت گلخانه‌ای نظیر هلند و اسپانیا، با طراحی سیستم‌های آبیاری بسته، تلاش نموده‌اند تا میزان اتلاف آب را به حداقل ممکن کاهش دهند. در این سیستم‌ها، زه آب خروجی از بسترهای کشت و یا زهکش‌های زیرسطحی (در کشت خاکی) تحت تیمار قرار گرفته و مجدداً جهت آبیاری گیاهان مورد استفاده قرار می‌گیرد. از سوی دیگر، در حدود ۹۰ درصد آبی که در گلخانه‌ها مصرف می‌شود، به دو فرایند تبخیر و تعرق و خنک‌سازی محیط تخصیص می‌یابد. حجم زیادی از آب استفاده شده در گلخانه‌ها بدون استفاده و به‌صورت هوای مرطوب توسط هواکش‌ها به بیرون هدایت می‌شود که قابل بازیافت بوده و امکان مصرف دوباره آن با تقطیر به چرخه ورودی آب گلخانه وجود دارد. نتایج تحقیقات صورت گرفته بیانگر این حقیقت است که با استفاده از مبدل حرارتی می‌توان ۱۰ تا ۳۰ درصد از آب مصرف شده برای آبیاری و سرمایش را بازیافت نمود. در این روش با توجه به اینکه در گلخانه‌ها امکان نگهداشت خروجی هوای مرطوب وجود ندارد، لذا می‌بایست طول دستگاه و شدت جریان هوا در مبدل حرارتی به صورتی تعیین گردد تا در این فاصله امکان میعان آب وجود داشته باشد. تحقیقات صورت گرفته نشان می‌دهد که با افزایش سطح انتقال حرارت در واحد مبدل حرارتی امکان استحصال درصد بیشتری از رطوبت موجود در هوا، وجود خواهد داشت. چنین سیستمی در حال حاضر در کشورهای توسعه‌یافته نظیر آلمان، اسپانیا، فرانسه و سایر کشورهای پیشگام در بهره‌گیری از سیستم‌های نوین در کشت‌های گلخانه‌ای، پیاده‌سازی گردیده است. البته نکته حائز اهمیت این است که با توجه به سرمایه‌گذاری موردنیاز، در حال حاضر چنین سیستم‌هایی صرفاً برای

گلخانه‌های بزرگ و دارای تولید تجاری قابل اجرا می‌باشد.

* سیستم استحصال آب شیرین از آب شور دریا با بهره‌گیری از انرژی خورشیدی

در مناطق ساحلی و یا نزدیک به آب‌های شور که دارای اقلیم خشک بوده و با محدودیت دسترسی به منابع آب شیرین مواجه می‌باشند، بهره‌گیری از انرژی خورشیدی جهت تبخیر آب دریا و نمک‌زدایی جهت استفاده در فرایند کشت‌های گلخانه‌ای، به‌عنوان یکی از راهکارهای نوین جهت کاهش حداکثری تلفات آب در گلخانه‌های هوشمند و بهبود حداکثری میزان بهره‌وری آب ارائه گردیده است. در این فرایند آب شور وارد شده به محیط گلخانه ابتدا توسط انرژی خورشیدی بخار و سپس دوباره به آب تازه تبدیل می‌شود. تحقیقات و اقدامات اجرایی صورت گرفته در راستای پیاده‌سازی این سیستم در کشور اسپانیا، نتایج مطلوبی را به همراه داشته است. تلفیق سیستم‌های انرژی خورشیدی فتوولتائیک با سیستم نمک‌زدایی آب دریا به روش اسمز معکوس، توانسته هزینه تولید آب را به کمتر از ۰/۳۶ یورو در هر مترمکعب کاهش دهد. III

منابع

- کمالی، پیام. و همکاران. (۱۳۹۹). «بررسی امکان تولید آب از هوای مرطوب در مدل گلخانه‌ای مجهز به مبدل حرارتی»، نشریه مدیریت آب و آبیاری، نشریه مدیریت آب و آبیاری، شماره ۲.
- حسین نژاد، احمد. سبوحی، یدالله. زارعی، قاسم. شایگان، جلال الدین. (۱۴۰۲). «تحلیل ترمودینامیک کاهش تلفات انرژی در گلخانه‌های با سیستم کشت هیدروپونیک از طریق فرایند بازچرخانی زهاب و تشکیل هرم کیفیت آب»، نشریه علمی مهندسی و مدیریت انرژی، سال سیزدهم، شماره اول.
- Zou H, et all. Next-generation Water-Saving strategies for greenhouses using a nexus approach with modern technologies. Nature communications, (2025)16:2091.
- Hassan, S, et all. Smart Greenhouse Powered by Solar Energy. Solid State Technology, 64.
- Gorjian Sh, Tavakkoli H, Ghoobadian B. Solar Powered Greenhouses. International Conference on Sustainable Energy Technologies, Istanbul, TURKIYE, 4-7 Sep. 2011.
- Tataraki, K. Giannini, E. Kavvadias, K. Maroulis, Z. Cogeneration Economics for Greenhouse in Europe. Energies. 1 July 2020
- Noor, u. (2024). Solar Energy and Greenhouse Heating, 8msolar.com.