







دانشکده فنی و مهندسی  
گروه مهندسی صنایع

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد  
مهندسی صنایع - مدیریت سیستم و بهره‌وری

**اولویت بندی راهکارهای کاهش مصرف انرژی در گلخانه  
های استان یزد با هدف ارائه الگوی گلخانه انرژی محور**

استاد راهنما : دکتر حسن خادمی زارع

استاد مشاور: دکتر محمد حسین ابویی - دکتر علی مصطفایی پور

پژوهش و نگارش : علی محمد رضائی ابرندآبادی

بهمن ماه 1391



# تقدیم

به همسر

و

فرزندم

که در تمام دوران تحصیل مرا تحمل نمودند و ساعت‌هایی را که  
متعلق به آنها بود، برای انسجام امور پایان نامه در اختیار من قرار دادند.



## تقدیر و تشکر

بدینوسیله از تلاش و حمایت‌های استاد گرامی جناب آقای دکتر حسن خادمی زارع که در این تحقیق مرا یاری نمودند تقدیر و تشکر می‌نمایم. همچنین از مشاورین محترم جناب آقای دکتر محمد حسین ابویی و دکتر علی مصطفایی پور که راهنمای من در این پروژه بودند، همچنین از حمایت سرکار خانم فاطمه حکیمی تقدیر می‌گردد.

رضائی





## چکیده:

پیشرفت روز افزون بشر همه جوانب زندگی انسانها را متأثر ساخته است و مهمترین بخش آن که تأمین مایحتاج زندگی است، می باشد. روشهای مختلف برآورده کردن نیازهای غذایی انسانها کاربرد پیدا نموده است. در بخش کشاورزی، کشت سنتی جای خود را به کشاورزی مدرن و کشت گلخانه ای داده است. نخستین بحث در کشت گلخانه ای ایجاد شرایط غیر طبیعی و قرار دادن گیاهان در محیط طبیعی رشدشان است و این موضوع مستلزم صرف انرژی است. مسئله تأمین انرژی مناسب از یک سو، قیمت محصولات کشاورزی، محیط زیست و مسائل متعدد دیگر در اینجا بروز می یابد و کاهش مصرف انرژی در گلخانه با هدف کاهش بهای تمام شده محصولات کشاورزی و ممانعت از سوختن مواد خام و فرآورده های فسیلی به عنوان مواد با ارزش طبیعی و جلوگیری از آلودگی محیط زیست به یکی از موضوعات مورد توجه محققین تبدیل گشته است.

در این تحقیق نیز با هدف کاهش مصرف انرژی در گلخانه های استان یزد، انواع روشهای کاهش انرژی مورد بررسی قرار گرفته است و راهکارهایی که امروزه در دنیا برای تأمین انرژی مورد نیاز گلخانه استفاده می شود لیست شده است. در ادامه سعی شده است بر اساس اطلاعات موجود در مطالعات متعدد این لیست مورد ارزیابی قرار گرفته و بر اساس معیارهای تعریف شده جهت ارزیابی، هر یک از این سیستم ها ارزیابی و اولویت بندی گردد. که در این راه از روشهای تصمیم گیری چند معیاره بهره گیری شده است و تکنیک های تصمیم گیری به خدمت گرفته شده تا روش مناسب برای کاهش بر اساس معیارهای مناسب تصمیم گیری بدست آید.

برای استفاده از تکنیکهای تصمیم گیری این نکته مد نظر قرار گرفته که تکنیک مناسب انتخاب گردد، تکنیکی که بتواند کمترین خطا را در محاسبات داشته باشد و بهترین نتایج را تولید نماید. لذا در این تحقیق به یک مدل بسنده نشده است و سعی گردیده که از تلفیق تکنیک ها بهره گیری شود و در نهایت به جواب مطلوب برسد. در تکنیک های انتخابی نیز از جدیدترین تکنیک ها بهره گیری شده است.

در محاسبه داده های مورد نیاز تحقیق سعی شده است که بر اساس اطلاعات موجود کلیه فاکتورها مورد محاسبه قرار گیرد تا بتوان قضاوت دقیقی را انجام داد. هر چه داده ها دقیق تر باشد می توان انتظار داشت که نتایج بهتری را در تصمیم گیری داشته باشیم، لذا در این تحقیق هر یک از معیارهای تصمیم گیری محاسبه گردیده است و در نهایت تصمیم گیری بر اساس آن صورت گرفته، علاوه بر آن در این تحقیق از برنامه ریزی آرمانی نیز بهره برده شده است و در نهایت با توجه به اطلاعات و تکنیک های تصمیم گیری اولویت بندی مناسب با توجه به شرایط استان یزد و بر اساس نظرات خبرگان و اطلاعات محاسبه شده، انجام گرفته است .

**کلمات کلیدی:** سیستم‌های گرمایش گلخانه، گلخانه‌ها، تکنیک TOPSIS، تکنیک AHP، تکنیک VIKOR، معیارهای تصمیم‌گیری، تصمیم‌گیری بر اساس معیارهای چند گانه، معیار اقتصادی، کیفیت، آلودگی زیست محیطی

## فهرست :

۰	فصل اول کلیات تحقیق:	
۱	مقدمه:	1.1
۲	اهمیت تحقیق:	1.2
۵	تعریف مسئله و بیان موضوع اصلی تحقیق:	1.3
۶	سوالات تحقیق:	1.4
۶	اهداف تحقیق:	1.5
۸	مراحل تحقیق:	1.6
۱۰	خلاصه:	1.7
۱۱	فصل دوم مرور بر ادبیات:	
۱۲	مقدمه:	2.1
۱۵	اهمیت انرژی در گلخانه:	2.2
۱۵	استفاده از مخازن آب:	2.3
۱۸	ذخیره گرما در بستر سنگی [14]:	2.3.2
۲۰	ذخیره گرما در مواد متغییر فازی [14]:	2.3.3
۲۱	سیستم های مبدل حرارتی هوای زمین [14]:	2.3.4
۲۲	عایق متحرک/صفحه گرمایی [14]:	2.3.5
۲۳	دیوار شمالی [14]:	2.3.6
۲۴	کلکتورهای هوای زمین [14]:	2.3.7
۲۶	تأثیر شکل گلخانه در کاهش مصرف انرژی [11]:	2.3.8
۲۸	استفاده از پرده حرارتی (THERMAL CURTAIN) [18]:	2.3.9
۳۱	استفاده از مالچ برای کاهش مصرف انرژی [2]:	2.3.10
۳۲	استفاده از سفره آب زیر زمینی [13]:	2.3.11
۳۳	استفاده از گلخانه های طبقاتی [19]:	2.3.12
۳۴	گلخانه خورشیدی فتوولتائیک (PV) [8]:	2.3.13
۳۶	استفاده از مواد فازی در دیوار شمالی [4]:	2.3.14
۳۸	ترکیب مبدل هوای زمین و پنل خورشیدی [9]:	2.3.15

۳۹.....	استفاده از بخاری های تابشی مادون قرمز در گلخانه [26]:	2.3.16
۴۰.....	گلخانه های زیر زمینی یا زیر سطحی:	2.3.17
۴۱.....	سیستم گرمایش معمولی:	2.3.18
۴۵.....	جمع بندی روشهای مختلف کاهش مصرف سوخت:	2.4
۴۸.....	الگوهای تصمیم گیری چند معیاره:	2.5
۵۰.....	خلاصه منابع مهم تحقیق:	2.6
۵۱.....	خلاصه:	2.7
۵۲.....	فصل سوم روش تحقیق:	
۵۳.....	مقدمه:	3.1
۵۳.....	عوامل مؤثر در انتخاب گلخانه انرژی محور:	3.2
۵۷.....	فرضیات تحقیق:	3.3
۵۹.....	فرضیات برای کاهش اثرات غیر انرژی در محاسبات:	3.4
۶۲.....	متدولوژی انجام تحقیق:	3.5
۶۲.....	روش MCDM (تصمیم گیری با معیارهای چندگانه):	3.6
۶۳.....	تصمیم گیری با معیارهای چندگانه (MCDM):	3.7
۶۳.....	MADM مدل‌های ریاضی چند شاخصه:	3.7.1
۷۱.....	نحوه انتخاب روش MADM:	3.7.2
۷۳.....	تصمیم گیری با اهداف چندگانه MODM:	3.7.3
۷۳.....	خلاصه:	3.8
۷۵.....	فصل چهارم تحلیل اطلاعات:	
۷۶.....	مقدمه:	4.1
۷۶.....	استفاده از روش AHP:	4.2
۷۷.....	اندازه گیری معیارها:	4.3
۷۸.....	معیار اقتصادی:	4.3.1
۸۸.....	کیفیت:	4.3.2
۹۰.....	آلودگی زیست محیطی:	4.3.3
۹۵.....	جمع بندی پارامترها:	4.4

۹۵	محاسبه وزن پارامترها نسبت به یکدیگر:	4.5
۹۷	انجام روش TOPSIS :	4.6
۱۰۵	انجام روش VIKOR :	4.7
۱۱۱	مقایسه روشهای TOPSIS، AHP و VIKOR	4.8
۱۱۵	برنامه ریزی آرمانی:	4.9
۱۱۸	خلاصه:	4.10
۱۲۰	فصل پنجم نتیجه گیری	
۱۲۱	مقدمه:	5.1
۱۲۱	تجزیه تحلیل و نتایج تحقیق:	5.2
۱۲۵	خلاصه نتایج حاصل از تحقیق	5.3
۱۲۶	پیشنهاد مطالعات آینده	5.4
۱۷۰	شرح واژگان تحقیق:	
۱۷۲	مراجع:	

## فهرست جداول:

جدول شماره 1-2: خلاصه منابع مهم تحقیق	2.1	۵۰
جدول 3-1: فرضیات تحقیق	3.1	۶۱
جدول شماره 4-1: محاسبات مربوط به NPW	4.1	۸۴
جدول شماره 4-2: حداقل نرخ جذب کننده (با فرض $0NPW$ )	4.2	۸۶
جدول 4-3: مقایسه حداقل نرخ جذب کننده در سالهای متفاوت	4.3	۸۷
جدول 4-4: محاسبه انحراف معیار استاندارد درجه حرارت	4.4	۹۱
جدول 4-5: محاسبه میزان CO2 برای گاز طبیعی در مصارف کشاورزی	4.5	۹۵
جدول 4-6: میزان آلودگی زیست محیطی بر حسب کیلوگرم CO2 تولید شده	4.6	۹۶
جدول 4-7: جمع بندی معیارهای محاسبه شده برای تصمیم گیری	4.7	۹۷
جدول 4-8: وزن معیارهای تصمیم گیری	4.8	۹۸
جدول 4-9: اولویت بندی بر اساس روش TOPSIS	4.9	۱۰۳
جدول ۱۰-۴: ماتریس تصمیم نرمال شده	4.10	۱۰۷
جدول 4-11: ماتریس وزن دار	4.11	۱۰۸
جدول 4-12: محاسبه بیشترین و کمترین مقدار هر ستون	4.12	۱۰۹
جدول 4-13: تفریق مقادیر ماکزیمم مینیمم از ستونهای جدول	4.13	۱۰۹
جدول 4-14: ارائه شاخص مطلوبیت و شاخص نارضایتی	4.14	۱۱۰
جدول 4-15: رتبه بندی گزینه ها	4.15	۱۱۱
جدول 4-16: اولویت بندی بر اساس B/C	4.16	۱۱۲

## فهرست نمودارها و اشکال :

شکل 1-1: مراحل مختلف تحقیق	۹	1.1
شکل 2-1: تیوپهای لاستیکی بین ردیفهای گیاهان	۱۶	2.1
شکل 2-2: استفاده از تانکر آب در دیوار شمالی گلخانه	۱۷	2.2
شکل 2-3: بستر سنگی و تجهیزات وابسته در گلخانه	۱۸	2.3
شکل 2-4: سیستم مبدل حرارتی هوای زمین	۲۱	2.4
شکل 2-5: دیوار شمالی برای گرمایش گلخانه	۲۳	2.5
شکل 2-6: کلکتور هوای زمین و متعلقات وابسته	۲۴	2.6
شکل 2-7: اشکال مختلف ایجاد گلخانه	۲۶	2.7
شکل 2-8: استفاده از پرده حرارتی در گلخانه	۲۸	2.8
شکل 2-9: استفاده از سفره آب زیر زمینی برای گرمایش گلخانه	۳۲	2.9
شکل 2-10: گلخانه های طبقاتی و نحوه تابش خورشید	۳۴	2.10
شکل 2-11: استفاده از پنل فتوولتائیک در گلخانه	۳۶	2.11
شکل 2-12: استفاده از مواد فای در دیوار شمالی	۳۷	2.12
شکل 2-13: ترکیب فتوولتائیک و مبدل گرمایی هوای زمین	۳۸	2.13
شکل 2-14: استفاده از بخاری های تابشی	۴۰	2.14
شکل 2-15: نمونه یک گلخانه زیر سطحی	۴۱	2.15
شکل 2-16: تلفیق روشهای AHP و TOPSIS	۴۹	2.16
شکل 3-1: وضعیت فاصله در روش TOPSIS	۶۸	3.1
شکل 3-2: فلوجارت انتخاب روش تصمیم گیری	۷۳	3.2
شکل 4-1: ساختار سلسله مراتبی در AHP	۷۶	4.1
نمودار 4-1: مقایسه حداقل نرخ جذب کننده برای طول عمرهای متفاوت	۸۹	4.1
نمودار 4-2: اولویت بندی بر اساس روش AHP	۹۹	3.1
نمودار 4-3: اولویت بندی گلخانه ها بر اساس روش TOPSIS	۱۰۵	4.1
نمودار 4-4: وضعیت معیارها نسبت به یکدیگر	۱۰۶	4.2
نمودار 4-5: آنالیز حساسیت برای روش TOPSIS	۱۰۷	4.3
نمودار 4-6: مقایسه اولویت بندی به روشهای AHP و TOPSIS	۱۱۳	4.4
نمودار 4-7: اولویت بندی بر اساس روش AHP پس از تغییر متغیر	۱۱۵	4.5
نمودار 4-8: مقایسه روشهای TOPSIS و VIKOR	۱۱۶	4.6
شکل 4-2: حل مدل توسط نرم افزار LINGO	118	4.2

## فصل اول:

.....

## کلیات تحقیق

.....



## 1.1 مقدمه:

با پیشرفت روز افزون بشر و رشد جمعیت جهان، دو مسئله از دغدغه های امروز دانشمندان، محققان، مدیران و به بطور کلی دولتها می باشد که عبارتست از تأمین غذای مورد نیاز انسانها و استفاده بهینه از منابع موجود. استفاده بهینه از منابع موجود عمدتاً به علت محدود بودن منابع است. برای تأمین غذای مورد نیاز انسانها راهکارهای زیادی توسط افراد و گروههای مختلف ارائه شده است. در بخش کشاورزی، گلخانه ها یکی از راه حل‌های اساسی برای حل مشکلات منابع غذایی جهان می باشد. گلخانه ها توانسته اند که در بخش کوچکی امکان دسترسی به حجم بالایی از مواد غذایی از جمله میوه ها و سبزیجات را فراهم نمایند. در بخش منابع از جمله انرژی نیز راه حل‌های متنوع و خلاقانه ارائه شده است. نکته حائز اهمیت در گلخانه ها تأمین منبع انرژی گلخانه است. انرژی مورد نیاز برای ایجاد اقلیم مناسب رشد گیاهان، خصوصاً در فصل زمستان و تابستان که درجه حرارت بسیار بالا و یا بسیار پایین است و گیاهان به درجه حرارت متعادل برای رشد نیاز دارند. نکته مهم این است که چگونه می توان انرژی کمتری را برای تولید صرف نمود و قیمت تمام شده را در پایین ترین مقدار خود نگاه داشت. با توجه به افزایش قیمت انرژی این مسئله حساس تر شده است.

جمعیت جهان روز به روز رو به افزایش است، حجم بالای جمعیت خصوصاً جمعیت شهری نیاز به مواد غذایی را روز افزون کرده است. با اضافه شدن جمعیت منابع رو به کاهش می باشند، خصوصاً زمینهای قابل کشاورزی و از همه اینها مهمتر انرژی می باشد. این تغییرات باعث شده است که کشاورزی از حالت سنتی به کشاورزی مدرن و از حالت کشت در فضای طبیعی، کشتهای گلخانه ای معمول گردد. در کشت گلخانه ای در حقیقت فضای مورد نیاز کشت در اقلیمی غیر متعارف به وجود می آید و سعی شده است تا شرایط مورد نیاز رشد گیاهان مهیا شود. این امر مستلزم صرف هزینه و انرژی است که کم شدن منابع انرژی موجود و افزایش هزینه ها در انرژی سبب شده است در جهت ثابت نگه داشتن هزینه های تولید، کارشناسان به فکر کاهش هزینه ها خصوصاً هزینه های مربوط به انرژی باشند. که در اینجا دو دیدگاه مطرح می گردد:

1) کاهش میزان سوخت یا انرژی مصرفی از طریق استفاده از پوششهای متفاوت در گلخانه و

دیگر راههای کاهش مصرف انرژی

2) استفاده از انرژیهای نو و انرژیهای که غیر معمول بوده اند و یا استفاده از انرژیهای

تجدیدپذیر یا منابع انرژی تجدید پذیر

در هر مورد مطالعات متعددی صورت گرفته و مسئله از جنبه های مختلف آن بررسی شده

است و روشهای مختلف مورد تحلیل قرار گرفته و میزان کاهش مصرف انرژی در مقابل افزایش هزینه های تولید مورد بررسی قرار گرفته است.

## 1.2 اهمیت تحقیق:

این تحقیق از این جهت اهمیت دارد که راهکارهای مختلف کاهش مصرف سوخت در گلخانه ها را مورد بررسی قرار می دهد. راههای مختلفی برای کاهش مصرف سوخت در دنیا وجود دارد که تحقیقات کشاورزی سعی کرده اند که این روشها را در ساختار گلخانه ها وارد نمایند و از آن برای کاهش انرژی مصرفی استفاده نمایند. این تحقیق روشهای مختلفی را بررسی نموده که در ادامه مورد اشاره قرار خواهند گرفت. در این تحقیق سعی شده است که یک گلخانه بعنوان نمونه از نظر مصرف انرژی از بین گلخانه های موجود انتخاب گردد که کمترین میزان مصرف انرژی را داشته باشد و از نظر اقتصادی نیز مقرون به صرفه باشد و بتواند در مدت زمان معقولی اجرا گردد.

در بخش تحقیقات برای کاهش مصرف سوخت مطالعات متعددی صورت گرفته است و پوششهای مختلف گلخانه از جمله پلی اتیلن، شیشه، و دیگر موارد مورد بررسی قرار گرفته است. علاوه بر پوشش، شکل ظاهری گلخانه و مسائل مختلف در طراحی اولیه گلخانه مورد توجه قرار گرفته است و باعث تنوع گلخانه ها در سراسر دنیا شده است. علاوه بر اینها چارچوب گلخانه و مواد تشکیل دهنده آن مورد بررسی های متنوعی قرار گرفته و مواد مختلف برای ایجاد گلخانه ذکر شده است.

در بخش دیگر برای استفاده از انرژی های نو، انواع روشهای استفاده از انرژی ارائه گردیده که می توان به استفاده از انرژی خورشید، انرژی زمین و راههای مختلف دیگر استفاده از انرژی های تجدید پذیر اشاره نمود که در بخش بعد هرکدام از آنها به صورت مبسوط شرح داده شده است. از روشهای تلفیقی نیز برای کاهش مصرف انرژی بهره برده شده است و سعی شده دو یا چند روش با هم تلفیق گردد.

خورشید یک منبع انرژی فنا ناپذیر است، در سالهای اخیر استفاده از انرژی خورشیدی مورد توجه زیادی قرار گرفته است و در بخشهای مختلف اقتصادی سعی شده است که از این منبع عظیم استفاده گردد. سلولهای فتوولتائیک این انرژی را به انرژی الکتریکی تبدیل می کنند که عمده برق تولید شده در این روش برق مستقیم با ولتاژ پایین است که برای مصارف محدودی از جمله روشنایی معابر و زیبا سازی در شهرها، از این روش استفاده می گردد و استفاده های بزرگ صنعتی و ... هنوز مقرون به صرفه نمی باشد و میزان برق تولیدی نیز بسیار پایین است. علاوه بر تولید انرژی الکتریکی، از انرژی خورشیدی در مبدلهای حرارتی خورشیدی برای تولید آب گرم استفاده زیادی می گردد. کارایی بالای این روش باعث پیشرفت زیاد آن شده است و استفاده از آبگرمکن های خورشیدی هم اکنون بسیار متداول گردیده است. آبگرم تولیدی در این روش برای استفاده های متعددی به کار می رود ولی از عمده ترین مشکلات این روش عدم امکان ذخیره سازی آن و عدم استفاده از این روش در مواقعی که آسمان ابری و یا شب می باشد، این در حالی است که در گلخانه ها عمدتاً گرمای مورد نیاز مربوط به شبهای زمستان می باشد.

یکی دیگر از منابع انرژی، که یک منبع عظیم انرژی است، زمین می باشد. زمین این امکان را ایجاد می کند که به منبع حرارت مناسب و ارزان دسترسی داشته باشیم. روشهای استفاده از گرمای زمین بسیار متفاوت است. گرمای زمین به چند شکل مورد استفاده قرار می گیرد که یکی از ساده ترین آنها استفاده گرمای سطح زمین است که در عمق ثابتی از زمین حرارت زمین در طول سال ثابت است که در زمستان و تابستان می توان از آن استفاده نمود و مهمترین روش استفاده از آن روشهای گرم یا سرد کردن هوا در عمق زمین و انتقال آن به سطح می باشد. در روش دیگر از گرمای اعماق زمین استفاده می شود. هرچه به جبه زمین نزدیکتر شویم درجه حرارت بالاتر می رود که می توان با حفاریهای بسیار عمیق و استفاده از آب از این گرما استفاده نمود و این گرما را به سطح زمین هدایت نمود که این روش مستلزم هزینه های بسیار سنگینی می باشد و در گلخانه ها که سطوح بسیار محدودی دارند از این روش استفاده نشده است و مقرون به صرفه نمی باشد. از روشهای دیگر استفاده از گرمای زمین استفاده از درجه حرارت آبهای سطحی یا بسترهای آب زیر زمینی می باشد. در بخش بعد روشهای مختلفی که برای گرم کردن و بالا بردن درجه حرارت گلخانه با استفاده از گرمای زمین تشریح گردیده است.

از منابع دیگر انرژی تجدید پذیر استفاده از انرژی باد می باشد. در سالهای اخیر خصوصاً در مناطقی که وزش باد همواره وجود دارد سعی شده است که از توربینهای بادی بزرگ برای تولید برق استفاده گردد. در این توربینها چرخش توربین با استفاده از نیروی باد صورت می گیرد و مستقیماً برق تولید می گردد. این روش هزینه اولیه زیادی را می طلبد و ایجاد یک نیروگاه بادی بسیار پرهزینه می باشد. هرچند در مطالعات متعدد در گلخانه ها به تأثیر باد اشاره شده است و سرعت و جهت باد در ایجاد گلخانه بسیار با اهمیت می باشد، حتی دانسیته هوا نیز در مطالعات مورد توجه بوده است ولی به استفاده از انرژی باد در ساخت گلخانه ها اشاره نشده است و فعلاً روش معمول استفاده از انرژی باد صرفاً ایجاد نیروگاههای بادی می باشد و استفاده دیگری از منبع انرژی در بخشهای دیگر نشده است. منابع دیگر انرژی نیز وجود دارد که از آن جمله می توان به انرژی اتمی، استفاده از انرژی دریا و ... اشاره نمود که این انرژی به علت گران بودن و هزینه اولیه بسیار بالا و نیاز به تکنولوژی و توان فنی بالا هنوز در بخشهای مختلف اقتصادی استفاده نمی شود و تنها استفاده از آنرا می توان، صنایع نظامی و تولید الکتریسیته نام برد. منابع جدید دیگر نیز هنوز استفاده گسترده از آنها معمول نمی باشد.

علاوه بر موارد ذکر شده یکی از راههایی که همواره مورد توجه می باشد، ذخیره سازی انرژی است. همانگونه که اشاره شد می توان در مواقع آفتابی بودن هوا به منبع سرشار انرژی خورشیدی دسترسی داشت و یا در موقع وزش باد می توان از این انرژی بهره برد ولی با حذف منبع انرژی نمی توان به آنها دسترسی پیدا کرد که دانشمندان و محققان راههای مختلفی را برای ذخیره سازی به کار

برده اند که از معمول ترین روشها تبدیل انرژی های ذکر شده به انرژی الکتریکی و ذخیره آنها در خازن ها و باتری های قابل شارژ و یا انتقال آنها به مناطق دیگر و استفاده از آنها می باشد. روشهای دیگری نیز پیشنهاد شده است که در زیر به چند نمونه از آنها اشاره خواهیم داشت.

استفاده از مواد متغیر فازی<sup>۱</sup> یکی از روشهایی است که می توان به وسیله آن گرما را ذخیره نمود. در مواد فازی افزایش دما باعث تغییر فاز می شود و مواد فازی عمدتاً با دریافت دما به مایع تبدیل می شوند و به این شکل گرما به صورت گرمای نهان ذوب و گرمای ماده مذاب ذخیره می گردد. این گرما با تغییر درجه حرارت و سرد شدن و پایین آمدن دما به محیط بر می گردد و ماده فازی با از دست دادن حرارت مجدداً به صورت جامد در می آید. مواد فازی انواع مختلفی دارند که می توان به مواد طبیعی و مواد صنعتی و نیمه صنعتی اشاره نمود. موم از جمله موادی است که با دریافت دما به صورت مایع تبدیل می شود و با سرد شدن مجدداً به جامد تبدیل می گردد و طی این فرآیند گرما ذخیره و مجدداً آزاد می گردد. مواد دیگری نیز وجود دارد که این خاصیت را دارند. از این مواد برای بالا بردن درجه حرارت در گلخانه ها استفاده شده است که در بخش بعدی به تفصیل شرح داده شده است.

از روشهای دیگر ذخیره سازی استفاده از آب می باشد. در این روش از حجم زیادی آب استفاده می شود و در طول روز به روشهای مختلف آب گرم می شود و درجه حرارت آن بالا برده می باشد. با عایق کردن مخازن آب و جلوگیری از اتلاف حرارت و تبادل حرارت با محیط، آب گرم شده به محل مصرف هدایت و در آن محل انرژی ذخیره شده با محیط مورد نظر مبادله می گردد. از این روش به اشکال مختلف در گلخانه استفاده شده است و مخازن آب در محلهای مختلف از جمله دیوار شمالی قرار داده شده اند و با انواع روشها گرم شده و از آن در طول شب استفاده می گردد. با توجه به در دسترس بودن آب و استفاده از آن برای آبیاری گیاهان، این روش بسیار معمول بوده و مورد استفاده قرار گرفته است.

از روشهای دیگر ذخیره سازی گرم کردن موادی است که گرما را در خود نگه می دارند و استفاده از هوا برای گرم کردن آنها و یا دریافت گرما از آنها می باشد. در این روش بعنوان مثال سنگ که می تواند میزان زیادی گرما را در خود ذخیره کند از طریق دمیدن هوا در توده های ذخیره شده سنگی، گرما به قلوه سنگها انتقال می یابد. سنگها در طول روز با استفاده از هوای گرم، درجه حرارتشان افزایش می یابد و در طول شب با استفاده از جریان هوا و گرم شدن هوای عبوری از بین آنها می توان به این گرما دست یافت. هرچند هزینه این روش نسبتاً بالا است و ایجاد یک بستر سنگی برای ذخیره گرما نسبتاً هزینه بر می باشد ولی از این روش در گلخانه ها استفاده شده است و در زیر

---

<sup>۱</sup> Phase Change Material