

طراحی سیستم های خورشیدی ساختمان در ایران

تالیف: دکتر مجید رئوفی راد

طراحی سیستم های خورشیدی ساختمان در ایران

تالیف: دکتر مجید رئوفی راد

طراحی سیستم‌های خورشیدی ساختمان در ایران



شرکت ملی نفت ایران

شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت

www.ifco.ir

فرهنگ‌سازی و ارتباطات: ۸۸۶۰۴۷۹۳ نمابر ۸۸۶۰۴۹۶۴

همه حقوق چاپ و نشر برای شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت محفوظ است.

تألیف

دکتر مجید رئوفی‌راد

سرشناسه:	رئوفی راد، مجید
عنوان و پدیدآوران:	طراحی سیستم‌های خورشیدی ساختمان در ایران / مؤلف مجید رئوفی راد؛ [به سفارش] شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت.
مشخصات نشر:	تهران: فدک ایستاتیس ۱۳۸۵.
مشخصات ظاهری:	۴۲۰ ص. ۲۹×۲۲ س. م.
شابک:	978-964-8598-63-6
یادداشت:	فیپا
موضوع:	ساختمان‌سازی - ذخیره انرژی.
موضوع:	انرژی خورشیدی - سیستم‌های غیرفعال.
موضوع:	معماری - عوامل اقلیمی.
موضوع:	ساختمان‌ها - ذخیره انرژی.
شناسه افزوده:	شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت.
رده‌بندی کنگره:	۹ ر ۲ س / ۵ / ۱۶۳ TJ
رده‌بندی دیویی:	۶۹۷ / ۹
شماره کتابخانه ملی:	۳۵۰۹۶ - ۸۵ م

طراحی سیستم‌های خورشیدی ساختمان در ایران

انتشارات فدک ایستاتیس

به سفارش شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت

دکتر مجید رئوفی راد

۲۰۰۰ جلد

چاپ اول، اسفند ۱۳۸۵

978-964-8598-63-6

عنوان کتاب:

ناشر:

مؤلف:

شمارگان:

نوبت چاپ:

شابک ۱۳ رقمی:

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت	۱۵
درباره مؤلف	۱۶
پیشگفتار	۱۷
فصل اول: مقدمه	۱۹
فصل دوم: انرژی خورشید	۳۷
۱-۲- مشخصات نور خورشید در بالای جو زمین	۳۸
۱-۱-۲- مقدار ثابت خورشید	۳۹
۲-۱-۲- طیف خورشید در بالای جو	۴۰
۳-۱-۲- شدت تابش خورشید در بالای جو	۴۲
۴-۱-۲- شدت تابش خورشید بر روی یک سطح دلخواه در بالای جو	۴۳
۲-۲- مشخصات امواج خورشید در سطح زمین	۴۶
۱-۲-۲- اثر جو زمین	۴۶
۲-۲-۲- اندازه‌گیری طیف خورشید	۴۸
۳-۲-۲- شکل خورشید	۴۹
۳-۲- اندازه‌گیری شدت تابش خورشید	۵۱
۱-۳-۲- شدت تابش کل خورشید	۵۱
۲-۳-۲- شدت تابش مستقیم خورشید	۵۴
۳-۳-۲- شدت تابش پراکنده خورشید	۵۵
۴-۳-۲- اندازه‌گیری دیگر	۵۵
۴-۲- مقدار انرژی خورشیدی در نقاط مختلف ایران	۵۶
۵-۲- مدل‌های ریاضی شدت تابش خورشید	۶۰
۱-۵-۲- مدل نیمه سینوسی	۶۰
۲-۵-۲- مدل آسمان صاف	۶۰

۶۵	فصل سوم: محل خورشید
۶۵	۱-۳- زاویای هندسی خورشید نسبت به زمین
۶۶	۲-۳- زمان
۶۷	۱-۲-۳- زاویه ساعت
۶۷	۲-۲-۳- زمان واقعی خورشید
۶۹	۳-۲-۳- رابطه زمان
۷۲	۴-۲-۳- تبدیل زمان
۷۳	۳-۳- زاویه انحراف
۷۵	۴-۳- زاویه عرض جغرافیائی
۷۵	۵-۳- زاویای ناظر خورشید - زاویای فراز خورشید، قطبی یا سمت‌الراس و سمت خورشید
۸۱	۶-۳- مسیر هندسی خورشید
۸۵	۷-۳- تغییرات مهم روزانه و فصلی
۸۷	۸-۳- سایه و ساعت خورشیدی

۹۳	فصل چهارم: گردآوری انرژی خورشید
۹۳	۱-۴- زاویه تابش به دهانه ورودی گردآور
۹۴	۱-۱-۴- دهانه ورودی ثابت
۹۵	۲-۱-۴- دهانه ورودی با سیستم ردیابی یک بعدی
۹۸	الف - دهانه ورودی با محور افقی
۹۹	ب - دهانه ورودی با محور شیبدار
۱۰۰	ج - دهانه ورودی با محور خارج از مرکز
۱۰۲	۳-۱-۴- دهانه ورودی با سیستم ردیابی دوبعدی
۱۰۲	الف - ردیابی زاویای سمت و فراز
۱۰۲	ب - ردیابی زاویای سمت و فراز در مختصات قطبی (نصف‌النهار)
۱۰۴	۲-۴- شدت تابش در دهانه ورودی و انرژی رسیده به گردآور
۱۰۴	۱-۲-۴- شدت تابش در دهانه ورودی
۱۰۵	۲-۲-۴- مقدار انرژی رسیده به واحد سطح گردآور

۱۰۹	فصل پنجم: گردآورهای خورشیدی
۱۰۹	۱-۵- دریافت و افت انرژی در گردآورهای حرارتی
۱۱۱	۱-۱-۵- گرفتن انرژی تابشی
۱۱۳	۲-۱-۵- افت انرژی در گردآور

۱۱۶	۳-۱-۵ تعادل انرژی حرارتی
۱۱۶	۴-۱-۵ سطوح ویژه
۱۱۸	۵-۱-۵ افت انرژی از انتهای گردآور شلجمی خطی
۱۱۸	۲-۵ دریافت و افت انرژی در پیل (پنل) خورشیدی
۱۱۸	۱-۲-۵ دریافت انرژی تابشی
۱۱۹	۲-۲-۵ افت انرژی
۱۱۹	۳-۲-۵ تعادل انرژی حرارتی
۱۱۹	۴-۲-۵ بازدهی خورشیدی
۱۲۲	۳-۵ بازدهی گردآور
۱۲۳	۱-۳-۵ بازدهی تابشی
۱۲۳	۲-۳-۵ گردآورهای سطح
۱۲۴	۳-۳-۵ گردآورهای متمرکز کننده
۱۲۵	۴-۳-۵ متمرکز کننده‌های غیر مصور
۱۲۵	۴-۵ مدل‌های تعیین بازده گردآور
۱۲۷	۱-۴-۵ منحنی $\Delta T/I$ گردآورهای سطح
۱۲۸	۲-۴-۵ منحنی غیر خطی $\Delta T/I$ گردآورهای سهموی خطی
۱۳۰	۳-۴-۵ مدل‌های T ثابت هلیوستات و سهموی بشقابی
۱۳۰	۴-۴-۵ پیل خورشیدی
۱۳۲	۵-۵ اندازه‌گیری بازدهی گردآور
۱۳۲	۱-۵-۵ اندازه‌گیری بازدهی گردآور حرارتی
۱۳۵	۲-۵-۵ اندازه‌گیری بازدهی پیل خورشیدی

۱۳۷	فصل ششم: گردآور سطح
۱۳۷	۱-۶ شرح گردآور سطح
۱۳۷	۱-۱-۶ صفحه جذب کننده
۱۳۹	۲-۱-۶ صفحه پوشش
۱۴۰	۲-۶ مزایا
۱۴۰	۱-۲-۶ عدم نیاز به سیستم پیگرد
۱۴۱	۲-۲-۶ استفاده از تابش پراکنده
۱۴۱	۳-۲-۶ هزینه
۱۴۲	۳-۶ بازده گردآور
۱۴۲	۱-۳-۶ امتداد

۱۴۳	..... اندازه گیری بازده	۶-۳-۲
۱۴۴	..... بازده متعارف	۶-۳-۳
۱۴۵	..... مقایسه با سهموی خطی	۶-۳-۴
۱۴۶	..... انواع کاربرد	۶-۴
۱۴۶	..... انواع دیگر	۶-۵
۱۴۶	..... لوله‌های خلاء	۶-۵-۱
۱۴۶	..... استخر خورشیدی	۶-۵-۲

۱۴۹	..... فصل هفتم: آبگرمکن‌های خورشیدی	
۱۵۰	..... اصول آبگرمکن خورشیدی	۷-۱
۱۵۰	..... گردآور	۷-۱-۱
۱۵۰	..... مخزن ذخیره آبگرم	۷-۱-۲
۱۵۱	..... انواع آبگرمکن خورشیدی	۷-۲
۱۵۲	..... سیستم گردش اجباری	۷-۲-۱
۱۵۶	..... آبگرمکن با گردش طبیعی	۷-۲-۲
۱۵۷	..... آبگرمکن خورشیدی یکپارچه	۷-۲-۳
۱۵۸	..... محاسبه سطح گردآور خورشیدی آبگرمکن	۷-۳

۱۵۹	..... فصل هشتم: اپتیک متمرکز کننده	
۱۵۹	..... چرا تمرکز	۸-۱
۱۵۹	..... نسبت تمرکز	۸-۱-۱
۱۶۱	..... هندسه سهموی	۸-۲
۱۶۱	..... سهمی	۸-۲-۱
۱۶۴	..... سهموی خطی	۸-۲-۲
۱۶۵	..... سهموی بشقابی	۸-۲-۳
۱۶۸	..... اپتیک سطوح سهموی و کروی	۸-۲
۱۷۰	..... دیاگرام دوبعدی شعاع تابش	۸-۳-۱
۱۷۲	..... سهموی با کانون خطی	۸-۳-۲
۱۷۶	..... سهموی با کانون نقطه‌ای	۸-۳-۳
۱۷۶	..... بازتاب انرژی به جذب کننده	۸-۴
۱۷۷	..... بازتاب امواج موازی	۸-۴-۱
۱۸۰	..... بازتاب امواج غیر موازی	۸-۴-۲

۱۸۰	..... ۸-۴-۳ اثر انواع خطا
۱۸۳	..... ۸-۵- بازتاب به یک نقطه ثابت (برج نیرو)
۱۸۵	..... ۸-۶- اصول بازتاب وشکست
۱۸۶	..... ۸-۶-۱ آئینه‌ها
۱۹۰	..... ۸-۶-۲ عدسی‌ها
۱۹۱	..... ۸-۶-۳ بازتاب داخلی کل
۱۹۱	..... ۸-۶-۴ بازتاب دی الکتریک و اندوهای ضد بازتاب
۱۹۴	..... ۸-۷- اپتیک عدسی‌های فرنل
۱۹۶	..... ۸-۸- نتیجه‌گیری

فصل نهم: گردآورهای متمرکز کننده..... ۱۹۷

۱۹۷	..... ۹-۱- طراحی گیرنده
۱۹۹	..... ۹-۱-۱- اندازه گیرنده
۲۰۱	..... ۹-۱-۲- افت حرارت در گیرنده
۲۰۶	..... ۹-۱-۳- بهینه کردن اندازه گیرنده
۲۰۹	..... ۹-۲- متمرکز کننده سهموی ترکیبی
۲۱۳	..... ۹-۳- گردآور سهموی خطی
۲۱۹	..... ۹-۴- گردآور سهموی بشقابی
۲۲۴	..... ۹-۵- نکات دیگری در مورد متمرکز کننده‌ها
۲۲۴	..... ۹-۵-۱- گردآور با آئینه ثابت
۲۲۸	..... ۹-۵-۲- جذب کننده ثابت و بازتاب کننده متحرک
۲۳۲	..... ۹-۵-۳- آئینه ثابت و کانونهای پراکنده
۲۳۷	..... ۹-۶- مقایسه انرژی متوسط روزانه جذب شده در گردآورهای متمرکز کننده

فصل دهم: طراحی سیستم طبیعی گرمایش برای ساختمان..... ۲۳۹

۲۴۰	..... ۱۰-۱- شرایط آسایش
۲۴۵	..... ۱۰-۲- روش طراحی سیستمهای گرمایش طبیعی خورشید
۲۴۵	..... ۱۰-۲-۱- روش طراحی سیستم گرمایش با دریافت مستقیم انرژی خورشید
۲۴۷	..... ۱۰-۲-۲- روش طراحی سیستم گرمایش با دریافت غیر مستقیم انرژی خورشید
۲۴۷	..... الف - دریافت غیر مستقیم انرژی خورشید از طریق دیوار جاذب
۲۴۸	..... ب - دریافت غیر مستقیم انرژی خورشید از طریق گلخانه
۲۴۹	..... ج - دریافت غیر مستقیم انرژی خورشید از طریق حوض حرارتی

۲۵۰	د - دریافت غیر مستقیم انرژی خورشید از طریق مخزن ذخیره سنگ یا آب
۳-۱۰-۲۵۱	نکات مهم در طراحی سیستم طبیعی گرمایش
۲۵۱	۱-۳-۱۰ محل ساختمان
۲۵۱	۲-۳-۱۰ شکل و جهت ساختمان
۲۵۲	۳-۳-۱۰ دیوارهای شمالی
۲۵۳	۴-۳-۱۰ طراحی فضاهای داخلی ساختمان
۲۵۴	۵-۳-۱۰ راههای ورودی
۲۵۴	۶-۳-۱۰ جدارهای نورگذر
۲۵۵	۴-۱۰ روابط ساده تجربی - علمی
۲۵۵	۱-۴-۱۰ روابط ساده برای طراحی سیستم طبیعی با دریافت مستقیم انرژی خورشید
۲۶۱	۲-۴-۱۰ روابط ساده برای طراحی سیستم طبیعی با دریافت غیر مستقیم انرژی خورشید
	۳-۴-۱۰ روابط ساده برای طراحی سیستم طبیعی با دریافت غیر مستقیم انرژی خورشید
۲۶۴	از طریق گلخانه متصل به ساختمان
۲۶۶	۴-۴-۱۰ روابط تقریبی برای طراحی سیستم طبیعی با دریافت غیر مستقیم از حوضچه در بام
۲۶۷	۵-۴-۱۰ روابط تقریبی برای طراحی سیستم طبیعی ترکیبی
۲۶۷	۵-۱۰ ذخیره روز ابری

فصل یازدهم: طراحی سیستم طبیعی سرمایش برای ساختمان

۲۷۱	۱-۱۱ - شرایط آسایش و منابع بار حرارتی
۲۷۳	۲-۱۱ - طراحی سیستم‌های سرمایش طبیعی برای ساختمان
۲۷۴	۱-۲-۱۱ - سیستم کنترل حرارت ورودی
۲۷۶	الف - سیستم سایه با ایجاد فضای سبز
۲۷۷	ب - سیستم نسیم هوا
۲۷۹	ج - سیستم سایه با طراحی سایبان
۲۸۷	۲-۲-۱۱ - سیستم سرمایش از طریق جابجایی هوای سرد شب
۲۹۷	۳-۲-۱۱ - سیستم سرمایش از طریق تابش به آسمان
۲۹۷	الف - حوضچه پشتبامی
۲۹۸	ب - بام‌های کروی
۳۰۱	۴-۲-۱۱ - بادگیرها
۳۰۲	الف - نحوه کار بادگیر
۳۰۵	ب - مزایای سیستم بادگیر نسبت به سیستم کولر آبی و سیستم تهویه مطبوع
۳۰۶	۵-۲-۱۱ - سیستم ترکیبی

- الف - بادگیر و بام کروی ۳۰۶
- ب - بادگیرها و کانالهای تحت الارضی ۳۰۷
- ج - بادگیر، کانال تحت الارضی و آبنا ۳۰۸

فصل دوازدهم: سیستم‌های مکانیکی خورشیدی ۳۱۳

- ۱-۱۲ - سیستم‌های مکانیکی گرمایش و سرمایش خورشیدی از طریق هواساز و گردآور خورشیدی دلخواه ۳۱۳
- ۲-۱۲ - نحوه عملکرد چیلر جذبی در سیستم خورشیدی ۳۱۴
- ۳-۱۲ - نمونه سیستم گرمایش و سرمایش با استفاده از گردآورهای خورشیدی از نوع لوله خلاء ۳۱۵
- ۱-۳-۱۲ - سیستم مکانیکی گرمایش خورشیدی از طریق فن کویل ۳۱۵
- ۲-۳-۱۲ - سیستم مکانیکی سرمایش خورشیدی از طریق فن کویل ۳۱۶
- ۴-۱۲ - طریقه محاسبه بهره حرارتی سیستم خورشیدی گرمایش و آبگرم مصرفی ۳۱۸

فصل سیزدهم: انبارهای خشک کن خورشیدی، گلخانه‌های خورشیدی و سردخانه‌های هوای سرد شب ۳۲۳

- ۱-۱۳ - انبارهای خشک کن خورشیدی ۳۲۳
- ۱-۱-۱۳ - فشار اشباع، رطوبت و نمودار رطوبی ۳۲۴
- ۲-۱-۱۳ - مورد استعمال نمودار رطوبی ۳۲۸
- ۳-۱-۱۳ - فرآیند خشک شدن ۳۲۹
- ۴-۱-۱۳ - خشک کردن غلات ۳۳۲
- ۵-۱-۱۳ - طرح دستگاه خشک کن ۳۳۲
- ۲-۱۳ - گلخانه‌های خورشیدی ۳۳۹
- ۱-۲-۱۳ - کنترل شرایط داخل گلخانه ۳۴۰
- ۲-۲-۱۳ - گلخانه‌های خانگی ۳۴۳
- ۳-۱۳ - سردخانه‌های هوای سرد شب ۳۴۷
- ۱-۳-۱۳ - سردخانه‌های نگهداری سیب زمینی و پیاز ۳۴۷
- ۲-۳-۱۳ - سیلوهای غلات یا حیوانات ۳۵۲

فصل چهاردهم: آب شیرین کن خورشیدی ۳۵۵

- ۱-۱۴ - تولید آب شیرین به روش تقطیر ۳۵۷
- ۱-۱-۱۴ - آب شیرین کن‌های تقطیری یک مرحله‌ای ۳۵۸
- ۲-۱-۱۴ - آب شیرین کن‌های تقطیری چند مرحله‌ای ۳۵۹
- ۳-۱-۱۴ - آب شیرین کن‌های دو کاره ۳۶۳
- ۴-۱-۱۴ - آب شیرین کن لوت ۳۶۴

فصل پانزدهم: موتور الکتریکی خورشیدی و موتور حرارتی خورشیدی	۳۶۷
۱-۱۵ - موتور الکتریکی خورشیدی	۳۶۷
۲-۱۵ - موتور حرارتی خورشیدی	۳۶۸
۱-۲-۱۵ - کاربرد موتور حرارتی خورشیدی	۳۶۹
۲-۲-۱۵ - انواع موتور حرارتی خورشیدی	۳۷۰
الف - موتورهای بخار آب خورشیدی	۳۷۰
ب - موتورهای هوای گرم خورشیدی	۳۷۰

فصل شانزدهم: طرح کویر سبز	۳۷۷
۱-۱۶ - هدف	۳۷۷
۲-۱۶ - شرایط طبیعی مناسب در مناطق گرم و خشک کویری ایران	۳۷۷
۳-۱۶ - مسائل و مشکلات طرح	۳۷۸
۴-۱۶ - اهم پروژه‌هایی که در طرح کویرسبز پیش‌بینی می‌شود	۳۷۸
۱-۴-۱۶ - پیش‌بینی حوضچه‌های مناسب برای ذخیره آب شیرین و آب شور	۳۷۹
۲-۴-۱۶ - نیروگاه‌های بادی برای پمپاژ آب شور و شیرین	۳۸۲
۳-۴-۱۶ - استفاده از شنهای کویر و آبشور در ساخت و ساز	۳۸۷
۴-۴-۱۶ - آبشیرین کن‌های ظرفیت بالا	۳۸۸
۵-۴-۱۶ - نیروگاه‌های خورشیدی	۳۹۰
۶-۴-۱۶ - توربین‌های آبی کوچک توربین‌های آبی برای بازیابی انرژی	۳۹۳
۷-۴-۱۶ - میکرو توربین‌های گازی بعنوان سیستم کمکی	۳۹۶

مراجع	۴۰۳
-------	-----

واژه نامه	۴۰۷
-----------	-----

شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت

شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت در سال ۱۳۷۹ در وزارت نفت جمهوری اسلامی ایران تاسیس گردید. مهمترین وظیفه شرکت، اجرای اهداف و سیاست‌های کشور در بخش انرژی شامل اعمال صرفه‌جویی و کاهش مصرف سوخت، منطقی کردن مصرف انرژی، حفاظت از محیط‌زیست و کاهش آلودگی هوا و سیاست‌گذاری به منظور بهره‌برداری بهینه و مناسب از انواع حامل‌های انرژی و تغییر الگوی مصرف سوخت کشور می‌باشد. شرکت ملی بهینه‌سازی مصرف سوخت از چهار بخش اصلی بهینه‌سازی مصرف سوخت در ساختمان، حمل و نقل، صنعت و طرح ملی CNG تشکیل شده که با توجه به مشکلات متعدد کشور در زمینه تامین و تولید سوخت مصرفی خودروها و افزایش روز افزون مصرف بنزین در کشور، طرح ملی CNG شامل قسمت‌های تبدیل ناوگان CNG، احداث جایگاه‌های دولتی و خصوصی و پشتیبانی پروژه می‌باشد.

خط مشی و سیاست‌های اصلی شرکت در هر یک از بخش‌های مذکور به منظور مصرف انرژی و رفع عوامل عدم کارایی انرژی به شرح زیر می‌باشد.

- ۱- فرهنگ‌سازی، آموزش، تبلیغ و اطلاع‌رسانی
- ۲- تدوین مقررات و استانداردها و نظارت مستمر بر رعایت استانداردها
- ۳- روش‌های حمایتی شامل معافیت‌های مالیاتی - یارانه‌ها و توسعه فن‌آوری
- ۴- قیمت‌گذاری و وضع مالیات
- ۵- تحقیق، توسعه و نمایش آن
- ۶- دولت به عنوان الگوی صحیح مصرف
- ۷- سازماندهی بهینه‌سازی مصرف انرژی

در بخش تحقیقات هدف اصلی توسعه، اصلاح، جمع‌آوری و تبادل اطلاعات در زمینه بهره‌وری انرژی با گروه‌های مختلف جامعه می‌باشد. اعلام نتایج و انتشار فعالیت‌ها، حلقه ارتباطی بین تحقیقات، توسعه و بازار مصرف می‌باشد. این نتایج نشان می‌دهد که فناوری‌های بهبود انرژی علاوه بر اینکه افزایش رفاه نسبی و شرایط آسایش مناسب‌تری را فراهم می‌کنند، در بلندمدت به دلیل صرفه‌جویی در هزینه‌های انرژی مصرفی، اقتصادی نیز می‌باشند. در نهایت ارائه نتایج، مصرف‌کنندگان را به استفاده از فناوری‌های بهبود انرژی در سطح کلان تشویق و دلگرم می‌کند. بر این اساس کتاب‌ها و بروشورهای متعددی در شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت تهیه و توزیع می‌گردد، کتاب حاضر از سری کتاب‌هایی است که به صورت تخصصی برای بالا بردن سطح آگاهی از فناوری‌ها و روش‌های بهینه‌سازی مصرف انرژی توسط این شرکت منتشر شده است.

درباره مؤلف

دکتر مجید رئوفی‌راد مشاور حقیقی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، محاسب و طراح سیستم‌های مکانیکی است. او با استفاده از بورس شرکت نفت، مهندسی مکانیک را از دانشکده فنی تهران در سال ۱۳۴۹ و سپس با استفاده از بورس صنایع دکترای دینامیک سیالات را از دانشگاه لندن در سال ۱۳۵۵ دریافت نمود. وی اولین مشعل گازی ساخت ایران را در سال ۱۳۶۰ با نام «ایران‌ترم» به بازار عرضه کرده و اولین کتاب در انرژی خورشیدی در ایران را در سال ۱۳۶۴ تألیف نمود. او بعد از طراحی سیستم‌های مکانیکی و طبیعی برای بناهایی متعلق به میراث فرهنگی کشور، نحوه محاسبه بار توسط سیستم طبیعی در ساختمان را بنام خود در اداره ثبت اختراعات ایران در سال ۱۳۸۰ به ثبت رساند. پس از آن به تألیف کتاب حاضر که رموز سیستم‌های طبیعی را در میراث معماری کشور آشکار می‌نماید همت گماشت. او بعنوان مدرس با دانشگاه‌های تهران، امیرکبیر، شهید عباسپور همکاری داشته و امروزه بعنوان محاسب و طراح با مهندسين مشاور معمار، تاسيسات زیربنائی، صنعتی، نیروگاهی و پژوهشگاه نیرو همکاری دارد.

که دل را به نامش خرد داد راه

بنام خداوند خورشید و ماه

فروزنده ماه و ناهید و مهر

جز او را مدان کردگار سپهر

پیشگفتار:

کتاب حاضر با "نام طراحی سیستمهای خورشیدی ساختمان در ایران" با هدف آشنائی و راهگشائی در طراحی سیستمهای خورشیدی برای ساختمان تهیه شده است. امید آن است که با همکاری دست اندرکاران و اندیشمندان استفاده از انرژی خورشید در کاربریهای مختلف در کشورمان محقق شود. برای طراحی باید محاسبه کرد و خط کشید و برای محاسبه نیاز به مشخص نمودن مبانی محاسباتی و تعیین معلومات مسئله است. لذا قسمت اول کتاب به تعیین مبانی و معلومات در انرژی خورشیدی در محدوده کشور ایران اختصاص یافته است. به تجربه ثابت شده است که اگر اصول و مبانی اولیه محکمتر باشد، نتیجه زحمات بعدی پر ثمرتر خواهد بود. لذا حتی المقدور دقت لازم برای این منظور بعمل آمده است. قسمت بعدی کتاب به استفاده از این مبانی، یعنی طراحی سیستمهای خورشیدی اختصاص داده شده است. مؤلف پس از مطالعه سیستمهای طبیعی خورشیدی پیشنهادی در مدارک خارجی و با اندک آگاهی از میراث فرهنگی کشورمان، این بیت شعر را به یاد آورد که:

یار در خانه و ما گرد جهان میگردیم

آب در کوزه و ما تشنه لبان میگردیم

اگر به معماری گذشته در کشورمان نیک نظر کنیم دانش فراوانی خواهیم یافت و با سهولتی بیش از دیگران میتوانیم از آن منتفع شویم. ایران از بنیان گزاران استفاده از سیستمهای طبیعی همچون آسیاب بادی، بادگیر، بامهای کروی، هوای سرد شب، سردآب، سردخانه و غیره است. در تکنولوژیهای جدید ساختمان، استفاده از سیستمهای طبیعی دارای برتری نسبی است. بام دو جداره بر روی قلب نیروگاههای هسته‌ای و سردخانه‌های مواد کشاورزی از آن جمله‌اند. امروزه با استفاده از حسگرهای متعارف و مکانیزمهای کنترل می‌توان سیستمهای طبیعی را با دقت دلخواه از فاصله دور کنترل نمود.

امید است که کتاب حاضر بتواند در توسعه طراحی سیستمهای خورشیدی برای ساختمان در ایران مفید بوده و با پیاده شدن طرح عظیم کویر سبز که به اجمال در فصل شانزدهم کتاب حاضر آمده است، انرژی جوانان برای بهره‌گیری از انرژیهای طبیعت در کشور بکار افتد.

در اینجا لازم میدانم تا از مدیران محترم شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت، بخصوص آقای مهندس رسول آخرتی که مشوق مؤلف در تألیف کتاب حاضر بوده است، تشکر نمایم.

مؤلف

تهران - خرداد ماه ۱۳۸۵

فصل ۱: طراحی سیستمهای خورشیدی ساختمان در ایران



شکل ۱-۱: سیستم ترکیبی سرمایش طبیعی شامل: هوای سرد شب و سیستم تبخیری با آبنا، شرایط آسایش را در ساختمان تخت جمشید در ۲۵۰۰ سال قبل تأمین می کرده است.

۱-۱: مقدمه

اولین گردآور خورشیدی برای تولید سرما به نام بادگیر با سیستم طبیعی کنترل دما توسط معماران ایرانی ساخته شده است. این سیستم طبیعی سرمایش خورشیدی دارای برجستگی های متعدد نسبت به سیستم های خنک کننده دیگر بوده و نمایشگر تکنیک برجسته آن است. با مقایسه ای که در فصل ۱۱ انجام شده، مزایای بادگیر در تأمین شرایط آسایش در ساختمان، نه تنها نسبت به کولر آبی بلکه نسبت به سیستم تهویه مطبوع مکانیکی برای مناطق گرم و خشک ایران نشان داده شده است. ① بامهای کروی تکنیک دیگر ایرانیان در تأمین شرایط آسایش در ساختمان با استفاده از تابش گرما به آسمان است. ایجاد احجام و افزایش سطوح داخلی ساختمان فنون دیگر ایرانیان در تأمین آسایش با استفاده از هوای سرد شب و ذخیره بار برودتی است. ② امروزه در صورت لزوم، حسگرها و تجهیزات کنترل الکتریکی و هیدرولیکی و نیوماتیکی می توانند با استفاده از باطری خورشیدی در خدمت این سیستمهای کهن درآیند. با تنظیم حسگر برای شدت نور، دما، رطوبت و سرعت باد دلخواه، حسگر فرمان لازم را به تجهیزات کنترل الکتریکی و هیدرولیکی و نیوماتیکی ارسال نموده و سپس این تجهیزات، دریچه هائی را باز و بسته کرده و مقدار جریان هوا، نور و رطوبت را در داخل ساختمان تنظیم می نمایند.

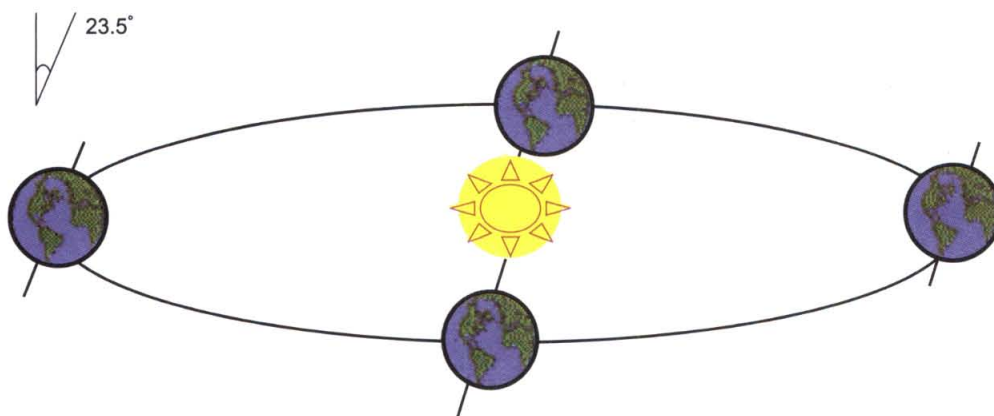
تغییرات فاحش دما در شبانه روز در مناطق گرم و خشک ایران، به عنوان عامل تعدیل کننده دما در داخل ساختمان نقش مهمی داشته، و از دیر باز به صورت مختلف توسط معماران ایرانی برای تأمین شرایط آسایش در ساختمان مورد استفاده قرار می گرفته است. استفاده از زیر زمینها، بامهای کروی، ایجاد سطوح زیاد در داخل ساختمان و ساخت سکوها، طاقچه ها و ستونها و خلاصه استفاده زیاد از مصالح بنائی در داخل ساختمان از جمله شگردهای معماران بوده است. ③

مثلاً دربنای تخت جمشید دیوارها، ستونها و سقف، منبع ذخیره سرما در شب بوده، و در روز بکمک عبور جریان آب و وجود آبنا، افزایش دما در ساختمان تا شامگاهان به تأخیر می افتاده است. بدین ترتیب توسط یک "سیستم ترکیبی طبیعی" شرایط آسایش از جهت دما و رطوبت در ساختمان فراهم بوده است. در فصل ۱۱ با استفاده از اصل اول ترمودینامیک این مورد برای سیستم سرمایش پروژه ساختمان دیوانخانه زندیه شیراز که دارای سیستم طبیعی ای به مراتب ضعیف تر از ساختمان تخت جمشید است، ثابت شده است.

هدف از این کتاب تهیه اطلاعات لازم برای طراحی جامع سیستمهای طبیعی و مکانیکی خورشیدی است، تا بدین وسیله امکان طراحی سیستمهای خورشیدی با کاربریهای مختلف در کشور فراهم شود. بنابراین در این کتاب ابتدا نحوه تعیین دقیق مقدار انرژی خورشیدی در هر نقطه از کشور تعیین شده و سپس اصول طراحی سیستمهای خورشیدی ملاحظه خواهد شد. این اصول گردآوری انرژی خورشیدی را توسط سیستمهای طبیعی نیز شامل می شود. با اطلاعات ارائه شده در این کتاب، سعی بر آنست که طراح قادر به طراحی سیستم خورشیدی با اندازه بهینه شود. در این فصل گذری کوتاه به فصل ۲ الی ۱۶، بشرح زیر خواهیم داشت:

۱-۲: خورشید منبع انرژی

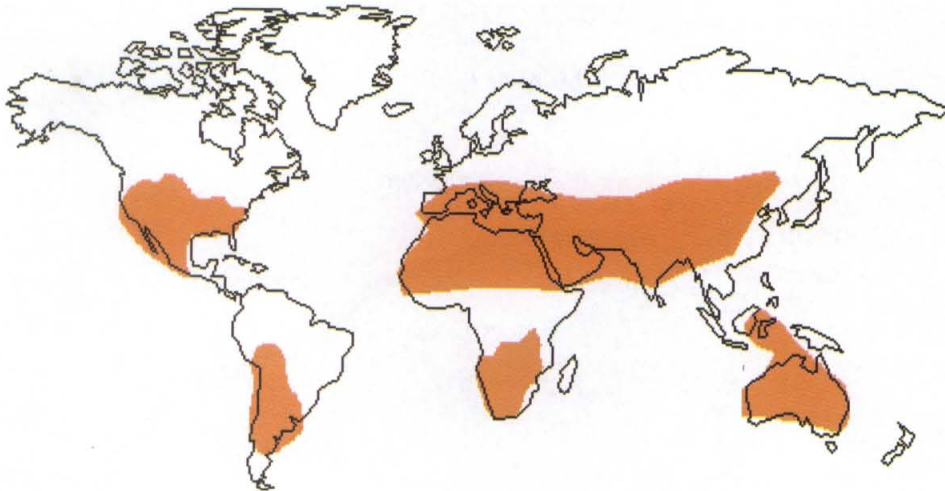
خورشید تنها منبع انرژی های تجدید پذیر، در مرکز منظومه شمسی قرار دارد. انرژی خورشید در ۲۴ ساعت شبانه روز و در ۳۶۵ روز سال به صورت امواج الکترو مغنتیک به زمین می تابد.



شکل ۱-۲: خورشید به طور مداوم به زمین انرژی می رساند. زمین با گردش انتقالی و وضعی و انحراف محور گردش وضعی به بهترین صورت ممکن، با پدید آمدن روز و شب و فصول چهار گانه این انرژی را دریافت می کند.

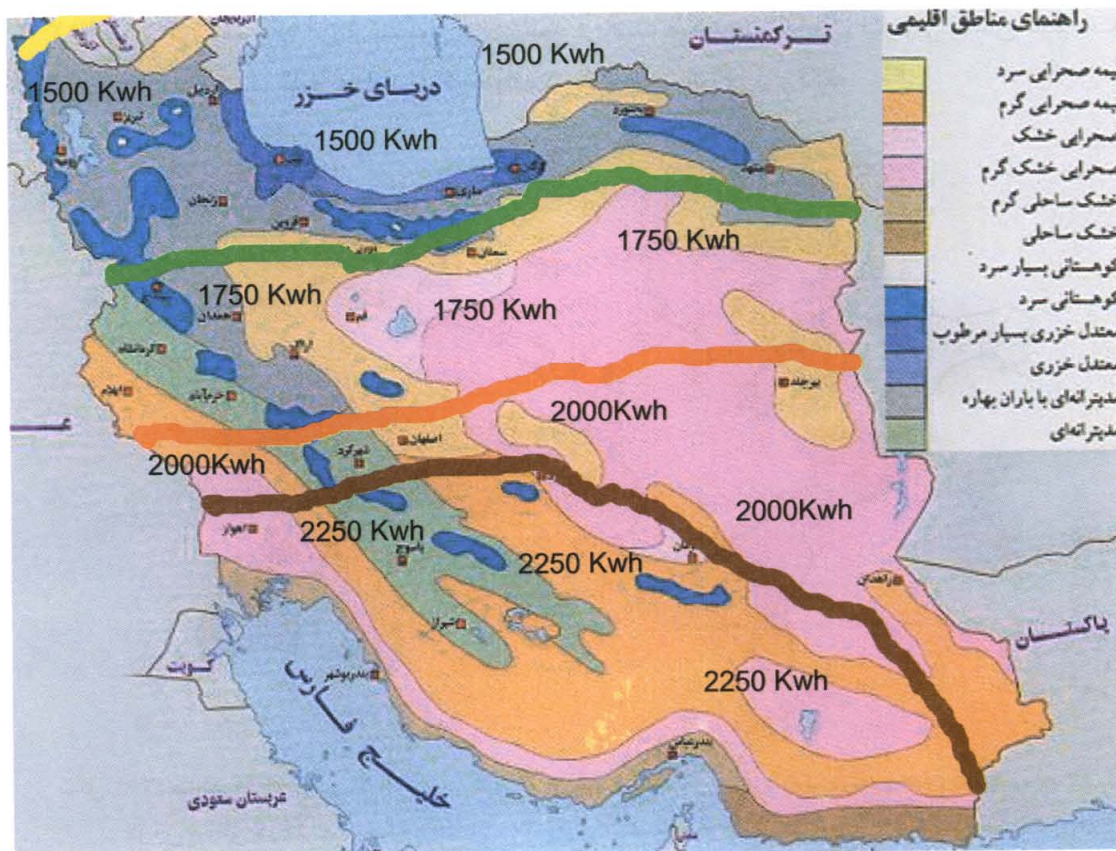
دانستن تعداد ساعات آفتابی و شدت تابش خورشید در محل پروژه از مهمترین اطلاعات مورد نیاز طراح سیستم خورشیدی است. با وجود آنکه شدت تابش خورشید در خارج از جو زمین تقریباً ثابت است، ولی شرایط جو زمین تاثیر زیادی بر انرژی رسیده از آن به نقاط مختلف در سطح کره زمین دارد. بعلاوه حرکت نسبی زمین و خورشید موجب می شود که یک واحد سطح در نقاط مختلف کره زمین با داشتن فواصل و امتداد مختلف نسبت به خورشید، تابش آن را با شدت متفاوتی دریافت نمایند.

در شکل ۳-۱ نقاطی از کره زمین که انرژی بیشتری از خورشید دریافت میکنند، با رنگ نارنجی نشان داده شده است. بطوریکه در شکل ملاحظه میشود، کلیه نقاط ایران در منطقه دریافت خوب انرژی قرار دارند.



شکل ۳-۱: مناطقی از کره زمین که انرژی بیشتری از خورشید دریافت می کنند با رنگ نارنجی نشان داده شده است. در این مناطق هر متر مربع سالیانه حداقل ۱۷۰۰ کیلووات ساعت انرژی از خورشیدی دریافت می کند.

نقشه مقدار متوسط ماهیانه یا سالیانه (شکل ۴-۱) انرژی خورشیدی رسیده به سطح ایران (تقریبی)، منبع مناسبی برای تعیین مقدار متوسط شدت تابش است. اما همانطور که در بالا گفته شد، شدت تابش خورشید در خارج از جو زمین ثابت است. این مقدار ثابت معادل ۱۳۶۷ وات بر متر مربع بر سطحی عمود بر امتداد اشعه است. ولی گردش وضعی زمین، و حرکت انتقالی آن در روی یک مدار بیضوی، و وجود اتمسفر زمین، موجب می شوند که قسمتی از انرژی رسیده به خارج از جو به سطح زمین نرسد. در فصل ۲، اثرات جو زمین بر طیف خورشید و نحوه کاهش انرژی رسیده به سطح زمین را مورد توجه قرار داده، به علاوه روشهای اندازه گیری شدت تابش خورشید و مقدار انرژی رسیده در هر نقطه دلخواه در هر دوره زمانی دلخواه ملاحظه خواهد شد.



شکل ۱-۴: نمودار تابش متوسط سالیانه خورشید بر حسب مقدار کیلووات ساعت بر هر مترمربع خاک ایران، خطوط مرزی مقادیر متوسط با رنگ جگری، قرمز، نارنجی و زرد نشان داده شده اند (خطوط مرزی تقریبی است).

۱-۳: محل خورشید

یک طراح علاوه بر اینکه مقدار انرژی رسیده از خورشید را باید برآورد نماید، باید بتواند محل خورشید را نیز در هر لحظه پیش بینی نماید. اطلاع از محل خورشید برای پیش بینی مقدار انرژی رسیده به سطح شیبدار و تنظیم ردیاب خورشید ضروری است. در فصل ۳ نحوه بدست آوردن روابط تعیین محل خورشید نسبت به هر نقطه از زمین ملاحظه خواهد شد. با استفاده از چهار عامل (عرض جغرافیائی، طول جغرافیائی، روز و زمان محلی) محل خورشید در هر لحظه از روز در آسمان قابل محاسبه است. شکل ۱-۵ تعداد ساعات آفتابی را برای تابستان نشان میدهد.

۱-۴: مقدار انرژی خورشید

در فصل ۴ مقدار انرژی خورشید با توجه به شدت تابش و زاویه تابش محاسبه می شود. مقدار انرژی دریافتی از خورشید توسط گردآور، متناسب با کسینوس زاویه بین سطح گردآور و امتداد امواج خورشید است. با دانستن محل گردآور و روابط مربوط به محل خورشید که در فصل ۳ نشان داده شده است، مقدار انرژی رسیده به گردآور ثابت و یا گردآور مجهز به ردیاب در فصل ۴

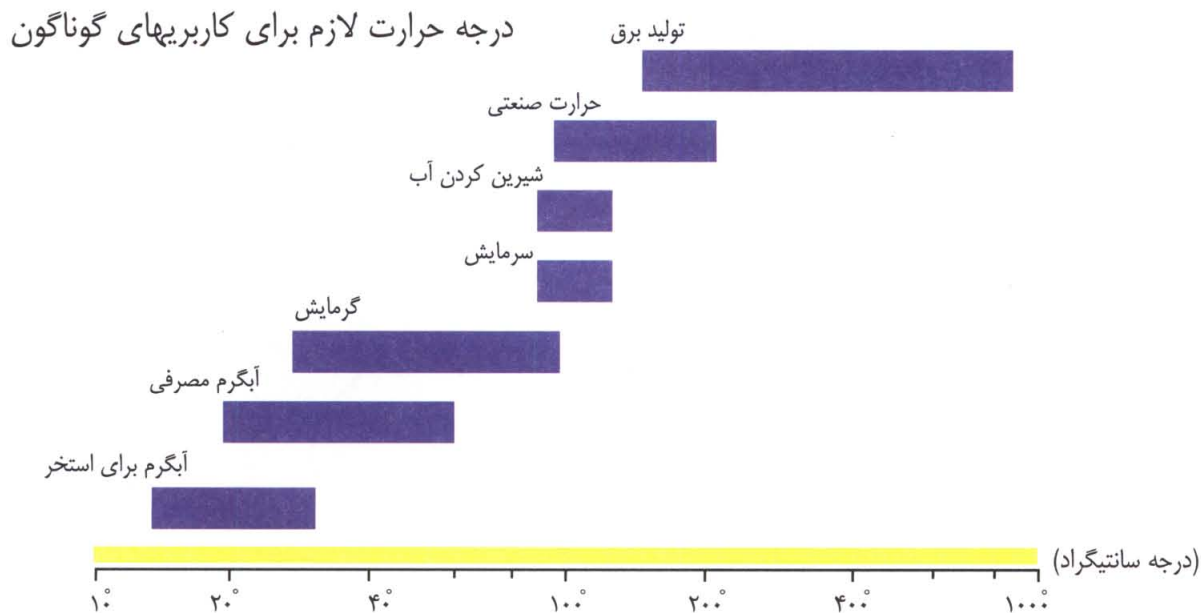
قابل برآورد می‌شود. از طرف دیگر در فصل ۴ تغییرات متوسط انرژی رسیده بر واحد سطح گردآور با شیب‌های مختلف برای واحد سطح گردآور در شهر تهران مورد توجه قرار می‌گیرد.



شکل ۱-۵: نمودار ساعات آفتابی در فصل تابستان

۱-۵: گردآورهای خورشیدی

قسمت اصلی یک سیستم انرژی خورشیدی گردآور خورشیدی آن است. با وجود آنکه خورشید منبع حیاتی انرژی در آینده است تکنولوژی انرژی خورشیدی هنوز جدید و بکر است. کار گردآور در سیستم حرارتی خورشید دریافت تابش خورشید و تبدیل آن به انرژی حرارتی است. در این کتاب در فصل ۵ گردآور مسطح خورشیدی برای تامین حرارت و گردآور متمرکز کننده برای تولید الکتریسیته، شبیه‌سازی ریاضی می‌شوند. گردآورهای خورشیدی با جذب یا متمرکز کردن نور خورشید حرارت را به یک سیال منتقل نموده، و درجه حرارت آنرا بالا می‌برد. سپس حرارت این سیال برای آبگرم مصرفی، گرمایش، سرمایش، شیرین کردن آب، تولید فضای سبز، و تولید الکتریسیته بکار می‌رود. ذخیره حرارتی، انرژی حرارتی لازم برای روزهای غیر آفتابی را تامین میکند. در فصل ۵ انواع گردآورهای خورشیدی مسطح، سهموی خطی و بشقابی، هلیوستات و پنل‌های سلول‌های نوری شرح داده شده و روابط لازم در مورد طراحی هریک ارائه می‌گردد. کار گردآورهای خورشیدی تبدیل انرژی تابشی به انرژی حرارتی با دمای دلخواه است. این حرارت معمولاً با توجه به دمای ایجاد شده (شکل ۱-۵)، برای گرم کردن آب استخر، آبگرم مصرفی ساختمان، گرمایش فضای مسکونی، سرمایش، آب شیرین کن و آبگرم صنعتی و بالاخره تولید برق به مصرف می‌رسد.

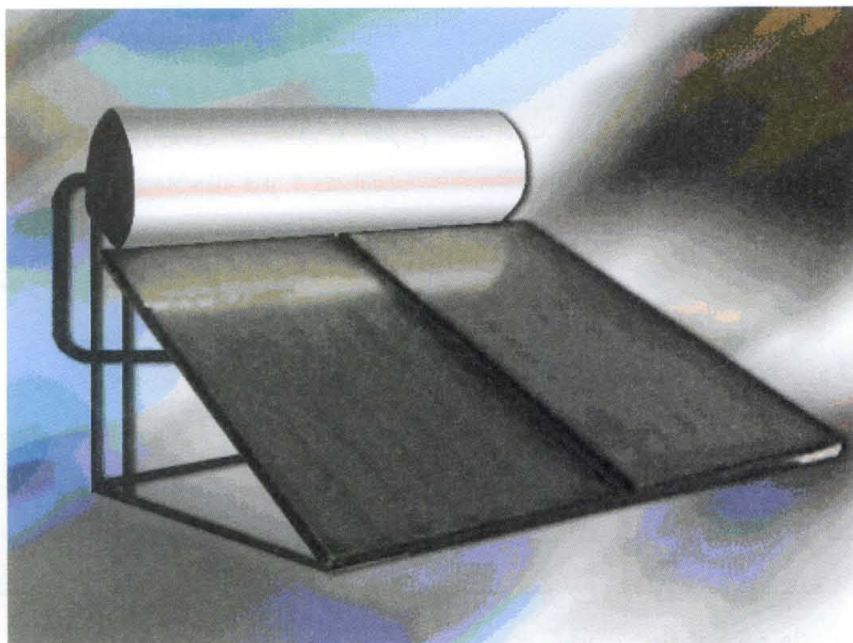


شکل ۱-۶: دمای لازم برای سیستم‌های خورشیدی از نوع مکانیکی

۱-۶: گردآور مسطح

گردآور مسطح، متداول‌ترین گردآور مکانیکی خورشیدی است. ساخت و عملکرد آن ساده است. این گردآور شامل یک صفحه سیاه است که در مقابل نور خورشید قرار گرفته و انرژی آفتاب جذب آن و تبدیل به انرژی حرارتی شده و صفحه را گرم می‌کند. با استفاده از لوله و یا کانال این حرارت توسط مایع یا گاز از صفحه به محل مصرف منتقل می‌شود. معمولاً یک یا چندین صفحه شفاف (پلاستیک یا شیشه) در جلوی صفحه جاذب قرار می‌گیرد، تا از افت حرارت به هوای محیط جلوگیری شود. یک صفحه عایق نیز در پشت گردآور قرار می‌گیرد تا از افت حرارت از پشت صفحه جاذب نیز جلوگیری شود. با این نوع گردآور می‌توان به درجه حرارتی تا ۱۲۵ درجه سانتیگراد دست یافت.

اهمیت گردآورهای مسطح از این جهت است که نه تنها تابش مستقیم بلکه تابش پراکنده و تابش بازتاب شده را نیز جذب می‌نماید. به ندرت ممکنست که گردآور مسطح مجهز به سیستم ردیاب خورشیدی شود. معمولاً با شیب به سمت جنوب به طور ثابت نصب می‌شوند، تا زاویه بین شعاع تابش و صفحه جاذب در وقت ظهر حداقل شود. این شیب موجب افزایش انرژی جذب شده در وقت ظهر و در کل روز می‌شود. شکل ۱-۷ گردآورهای مسطح، مربوط به یک آبگرمکن خورشیدی را نشان می‌دهد. مهمترین استفاده از گردآورهای مسطح آبگرمکن‌های خورشیدی است. آبگرمکن‌های خورشیدی رایج‌ترین شکل استفاده از انرژی خورشیدی است.



شکل ۷-۱: گردآور سطح گرمایی برای تامین آبگرم مصرفی.

باتری های خورشیدی (گردآورهای سطح نوری) نیز به صورت پنلهایی از سلولهای خورشیدی تشکیل شده که به صورت سری یا موازی به یکدیگر متصل شده اند. روی آنها از شیشه یا پلاستیک پوشیده می شود. انرژی خورشیدی تابیده شده به سلولها تولید انرژی الکتریکی با جریان مستقیم نموده که مستقیماً می تواند بار الکتریکی مورد نیاز را تامین نماید. پشت این گردآور بر خلاف گردآور سطح به عایق کاری حرارتی نیاز ندارد، و هر چه بیشتر خنک شود بازدهی آن افزایش می یابد.

باتری های خورشیدی نیز مانند گردآور سطح، تابش مستقیم، پراکنده و بازتاب شده را جذب می نماید. بطور کلی پنلهای سلولهای نوری با یک شیب به سمت جنوب بطور ثابت نصب میشوند (شکل ۹-۱). با وجود این گاهی برای تولید انرژی الکتریکی بیشتر به سیستم ردیاب مجهز میشوند.



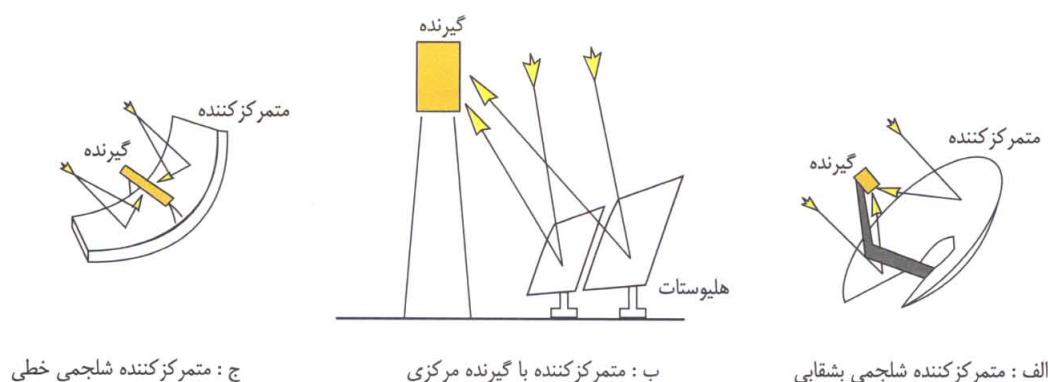
۷-۱: آبگرمکن های خورشیدی

اصول و انواع آبگرمکن های خورشیدی در فصل ۷ تشریح شده است. به علاوه در فصل ۷ نحوه حفاظت از آبگرمکن خورشیدی در مقابل یخ زدگی مورد ملاحظه قرار گرفته است.

۸-۱: اپتیک متمرکز کننده

در فصل ۸ اپتیک گرد آورهای متمرکز کننده مورد توجه قرار می گیرد. هنگامیکه درجه حرارت بالا مورد نیاز باشد، از گردآورهای متمرکز کننده استفاده می شود. در این گردآورها تابش خورشید پس از برخورد بر سطح یک آئینه بزرگ بر سطح کوچکتری منعکس شده و سپس به حرارت تبدیل می شود. بدین ترتیب سطح جذب کننده انرژی، کوچکتر از سطح آئینه های بازتاب کننده آفتاب بوده، و در نتیجه می تواند درجه حرارت بالاتری را تامین کند. اکثر گردآورهای متمرکز کننده فقط میتوانند تابش مستقیم را متمرکز کنند و بنابراین معمولاً باید خورشید را ردیابی کنند. سه نوع گردآور متمرکز کننده (شکل ۱-۱۰) که عمده‌تاً استفاده می شود، عبارتند از: گرد آورهای سهموی خطی، گردآور سهموی بشقابی، دریافت کننده های مرکزی. گردآور سهموی خطی از آئینه سهموی خطی به عنوان متمرکز کننده شار تابش خورشید استفاده نموده و مجهز به لوله عبور سیال مبدل بر روی محور کانونی است. این لوله انرژی خورشید را جذب کرده و سیال درون خود را گرم می کند. این سیال را سیال جاذب مینامیم. چون سطح لوله نصب شده در کانون نسبت به سطح آئینه سهموی کوچک است درجه حرارت تا ۴۰۰ درجه سانتیگراد می تواند افزایش یابد. افت انرژی با توجه به کوچک بودن سطح جذب کننده کاهش می یابد.

گردآور سهموی بشقابی شامل یک آئینه سهموی است که شار تابش خورشید را در نقطه کانونی خود متمرکز می نماید. جذب کننده انرژی در کانون آئینه قرار داشته و سیال مبدل از آن عبور می نماید. گردآور سهموی بشقابی معمولاً خورشید را حول دو محور ردیابی می کند.



شکل ۱-۱۰: سه نوع گردآور متمرکز کننده شار خورشید برای دستیابی به درجه حرارت بالا .

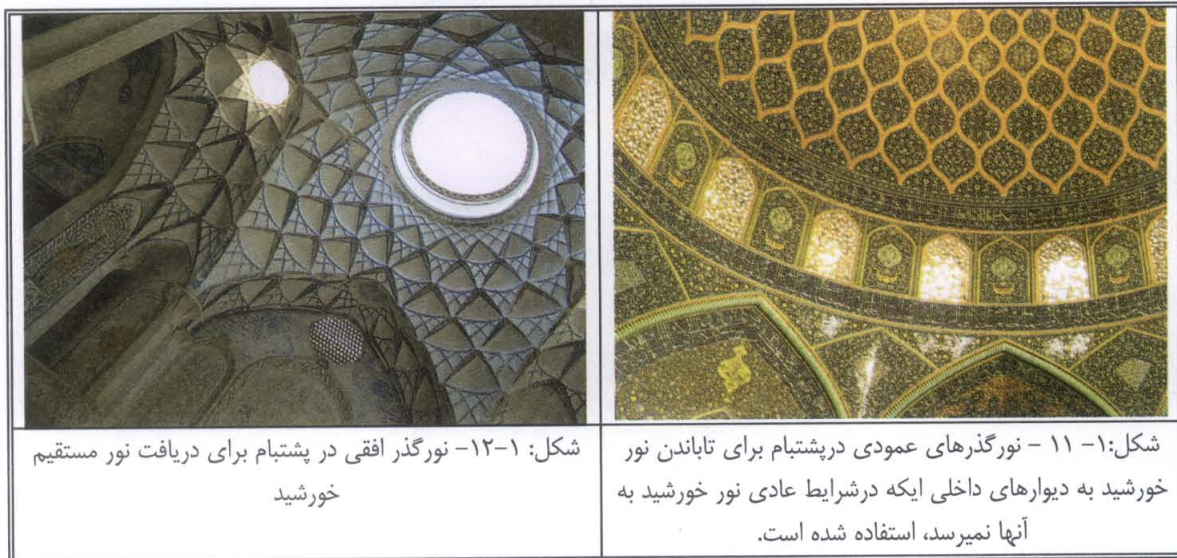
سیستم دریافت کننده مرکزی از آئینه هائی که در روی پایه های مستقل قرار گرفته اند و همگی نور خورشید را به یک جذب کننده که در بالای برجی نصب شده، بازتاب میکنند، تشکیل شده است. این آئینه ها معمولاً هلیوستات نامیده شده و خورشید را حول دو محور در طول روز ردیابی میکنند.

۹-۱: گردآورهای متمرکز کننده

در فصل ۹ مسائل ساخت و ساز و نکات اجرایی متمرکز کننده ها مورد بحث و بررسی قرار می گیرد.

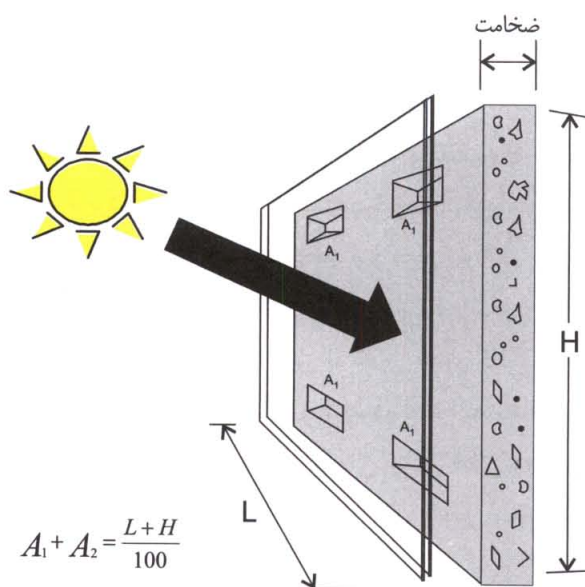
۱۰-۱: طراحی سیستم طبیعی گرمایش برای ساختمان

در فصل دهم نشان داده شده که اجزاء ساختمان مانند پنجره ، دیوار، کف و سقف و در صورت لزوم دیوارهای اضافی به عنوان عناصر کاشت (گردآوری)، داشت (جذب)، برداشت (انتقال) و انباشت (ذخیره)، انرژی خورشید در یک سیستم گرمایش طبیعی مورد استفاده قرار میگیرند. مقدار انرژی قابل جذب از خورشید با هر متر مربع نور گذر عمودی و افقی در هر نقطه از ایران قابل محاسبه است. مقدار بازده در ذخیره سازی انرژی توسط سیستم دریافت مستقیم (شکل ۱۰-۱ و شکل ۱۱-۱)، یا سیستم دریافت غیر مستقیم (شکل ۱۲-۱) انرژی خورشید نیز معین است. بنابراین با تأمین مقدار کافی نور گذر و گرد آور خورشیدی میتوان در بسیاری از مناطق ایران بی نیاز از سیستم گرمایش اضافی شد و یا ظرفیت آنرا به حداقل رساند. روابط ساده تجربی-علمی برای تعیین ابعاد نور گذر و ابعاد گردآور بر حسب متراژ فضای مسکونی نیز در فصل دهم ملاحظه خواهد شد. الگوریتم تعیین ظرفیت سیستم مکانیکی خورشیدی و یا سیستم متعارف در جمع بندی نهائی فصل مزبور آمده است.



دو عامل در تمام سیستمهای حرارتی طبیعی خورشیدی مشترک است. عامل اول: سطوح شفاف یا نیمه شفاف (مثلاً: شیشه یا پلاستیک)، رو بسمت خورشید برای ورود تابش خورشید (شکل: ۱)، و عامل دوم: اجزاء و مصالح ساختمانی برای جذب و ذخیره انرژی خورشید تا از آن انرژی در زمان معین استفاده شود. با در نظر داشتن این دو عامل روشهای مختلفی برای طراحی یک سیستم طبیعی گرمایش خورشیدی وجود دارد که ملاحظه خواهد شد. وجود سیستم طبیعی ضرورتاً با حذف سیستم مکانیکی

همراه نیست، بلکه سیستم طبیعی موجب میشود که حتی در سردترین نقاط ظرفیت سیستم مکانیکی خورشیدی و سیستم کمکی به حداقل کاهش یابد. شکل ۱-۱۳، تابش رسیده از خورشید [شکل ۱-۱۴: شدت تابش خورشید بریک متر مربع سطح عمودی رو به جنوب در زمستان (W/m^2) را بر سطوح عمودی جنوبی برای نقاط مختلف ایران] بر سطوح عمودی نشان می‌دهد. بطور متوسط می‌توان فرض نمود که برای گرمایش هر متر مربع از ساختمان ۱۰۰ وات مورد نیاز است. بنابر این می‌توان برآورد نمود که با انباشت انرژی خورشیدی ورودی از نور گذرها به داخل ساختمان چه مقدار از انرژی حرارتی مورد نیاز گرمایش را می‌توان تأمین نمود.



شکل ۱-۱۳: دیوار با مصالح ساختمانی - محل و اندازه دریچه‌ها ی گردش هوای گرم به فضای داخلی ملاحظه میشود.



شکل: ۱-۱۴ - شدت تابش خورشید بر یک متر مربع سطح عمودی رو به جنوب در زمستان (W/m^2)

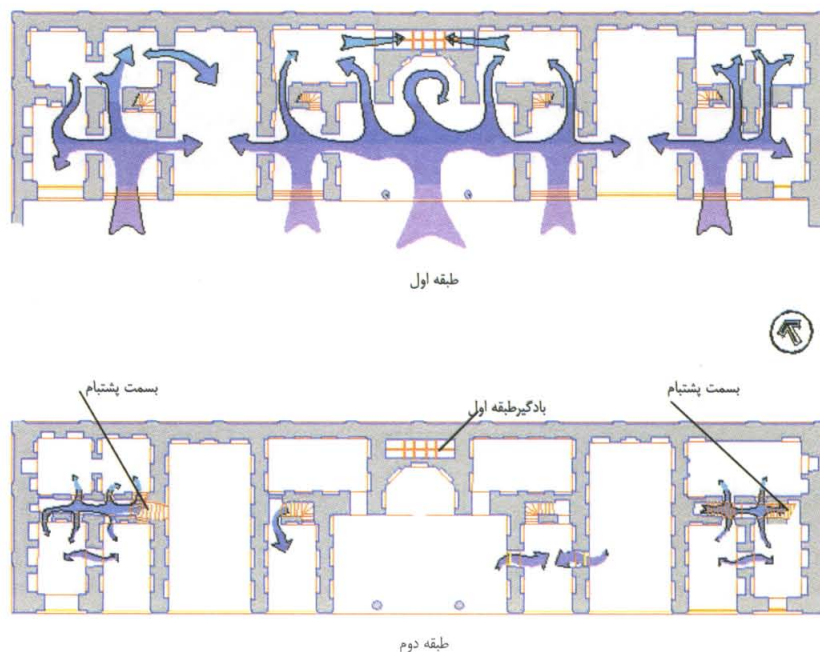
۱-۱۱: سرمایش در ساختمان

در فصل ۱۱ ابتدا بار گرمایی تجزیه و تحلیل شده ونحوه کاهش بار با روشهای ساده سنتی در ایران مورد توجه قرار می‌گیرد. سپس سیستم هوای سرد شب برای سرمایش در ساختمان با توجه به شرایط جغرافیائی [۲]، در شهرهای نزدیک به کویر، مانند: بم، یزد، کرمان، شیراز، بیرجند مورد توجه قرار گرفته است. بعنوان نمونه خلاصه محاسبات بار برودتی توسط سیستم هوای سرد شب برای عمارت دیوان زندیه شیراز (شکل ۱-۱۵) در آن فصل آورده شده است.



شکل ۱-۱۵: دیوانخانه زندیه شیراز

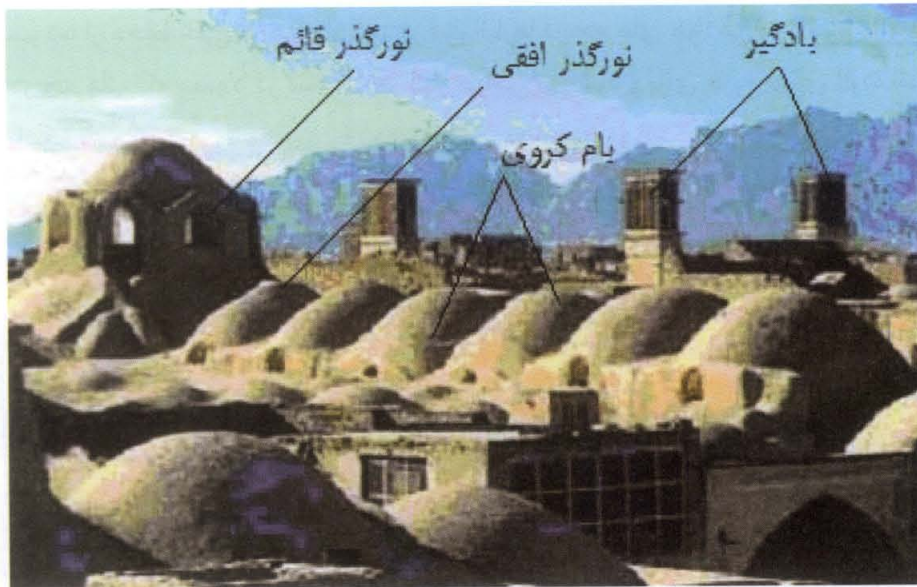
جریان هوای سرد شب در این ساختمان در شکل: ۱-۱۶ که پلان طبقه اول و دوم را نشان می‌دهد، ملاحظه می‌شود. در این فصل نشان داده شده که انتقال حرارت از طریق تابش به آسمان و جابجایی به مراتب بیش از هدایت یا رسانائی حرارت از پوسته خارجی ساختمان است.



شکل ۱-۱۶: جریان هوای سرد شب در طبقات اول و دوم ساختمان دیوانخانه زندیه در شیراز

در فصل ۱۱ همچنین بارهای حرارتی در بام کروی و بام مستوی مورد مقایسه قرار گرفته و برتری بامهای کروی (شکل ۱-۱۷) بر بامهای مسطح با استفاده از اصل اول ترمو دینامیک نشان داده شده است. سپس مزایای دیگر بامهای کروی آورده شده است. در این فصل عملکرد بادگیر بعنوان اولین گردآور خورشیدی سرمایش (شکل: ۱-۱۸) و مزایای آن نسبت به سیستمهای سرمایش متعارف شرح داده شده است. از طرف دیگر استفاده از بادگیر در ترکیب با سیستم های طبیعی دیگر از جمله حالتی که بادگیر با رطوبت زنی و کانال تحت الارضی همراه است مورد توجه قرار گرفته و فرآیند هر یک در روی نمودار رطوبتی نشان داده شده است.

۷



شکل ۱-۱۷: بامهای کروی و بادگیرها

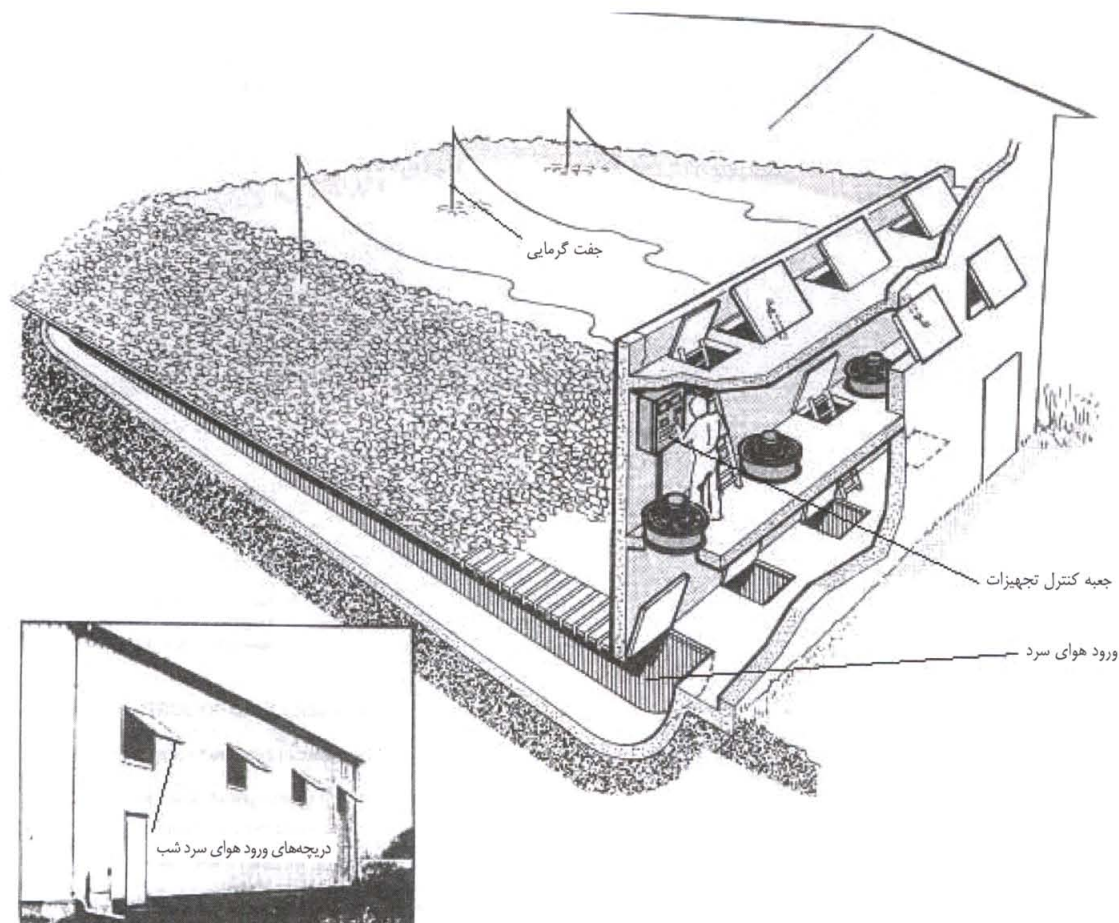


شکل ۱-۱۸: نمایش ورود جریان هوا به بادگیر

۱-۱۲: سردخانه های هوای سرد شب

در فصل سیزدهم ابتدا نحوه طراحی انبارهای خشک کن ، سپس نحوه طراحی گلخانه خورشیدی و در نهایت نحوه طراحی سیستم استفاده از هوای سرد شب (شکل ۱-۱۹) برای حفظ و نگهداری محصولات کشاورزی مورد توجه قرار می گیرد. در این فصل با توجه به بعضی از محصولات استراتژیک نحوه نگهداری آنها با این سرمایش تقریباً رایگان شرح داده میشود. به طوریکه در این فصل خواهیم دید نه تنها دما و رطوبت بلکه گردش هوا در سردخانه مورد نیاز است. علاوه بر گردش هوا، محصولات برای حفظ تازگی و طراوت (حیات بعد از برداشت) نیاز به اکسیژن دارند. در انبارهای محصولات استراتژیک بعلت نیاز به هوادهی با شدت جریان زیاد هوا می بایست از گردش اجباری هوا بهره گرفت. بنابراین به طوریکه در فصل سیزده خواهیم دید فن های قوی مورد استفاده قرار می گیرد. وجود فنهای قوی امکان تأمین هوای مورد نیاز محصول موجود در انبار

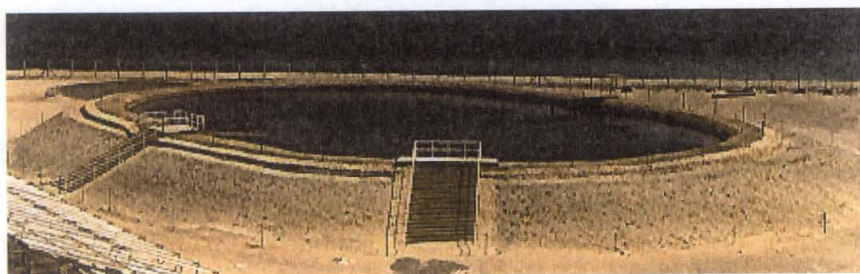
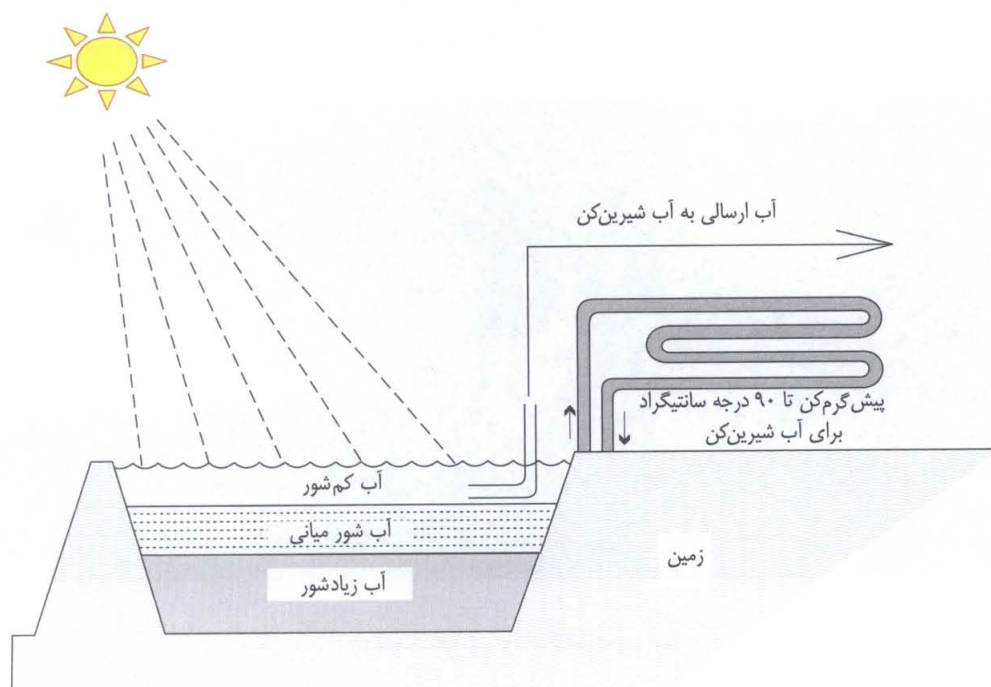
را در شرایط مینیمم دما از محیط خارج فراهم می‌کند. در این انبارها دریچه‌های هوادهی به داخل که مرتبط به کانال آدم رو است و همچنین دریچه‌هایی که معمولاً در سمت دیگر انبار طراحی می‌شود و برای خروج هوای آلوده است، همگی با سیستم هیدرولیک یا نیوماتیک باز و بسته می‌شوند.



شکل ۱-۱۹: تجهیزات تغذیه هوای سرد شب با بده زیاد هوا به داخل انبار، دریچه‌های خروج هوای آلوده در شکل دیده نمی‌شود.

۱-۱۳- آب شیرین کن خورشیدی

در این فصل ابتدا آب لازم برای مصارف مختلف و روشهای مختلف برای شیرین کردن آب به اجمال مورد توجه قرار گرفته و سپس روش تقطیری با شرح لازم مورد ملاحظه قرار می‌گیرد. این شرح شامل اهم آب شیرین کنهای نوع یک مرحله‌ای و چند مرحله‌ای تقطیری است. در خاتمه در این فصل طرح نوعی از آب شیرین کن که با استفاده از مصالح بنائی ساخته میشود، ملاحظه میگردد. این آب شیرین کن برای ظرفیت زیاد ساخته می‌شود و از پیش گرمکن خورشیدی (شکل ۱-۲۰) بهره می‌گیرد.

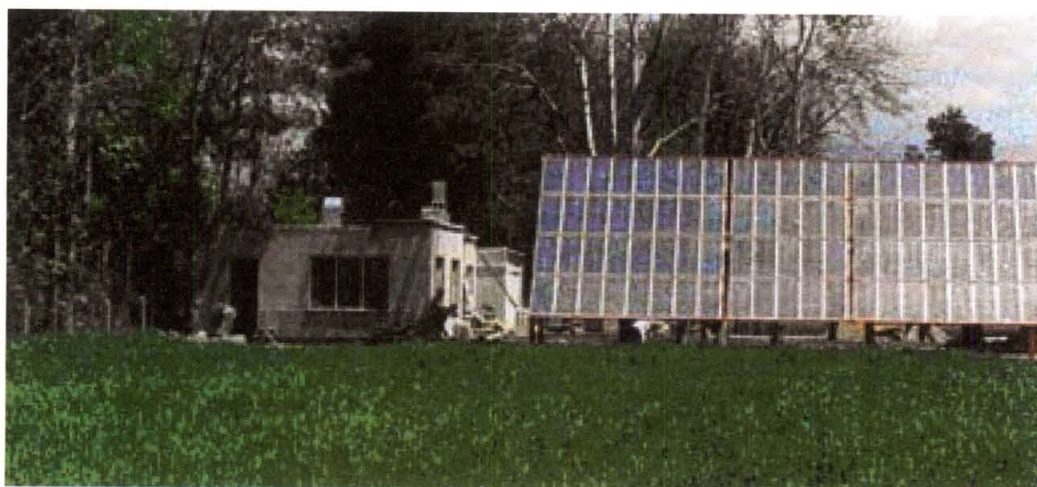


شکل: ۱-۲۰- حوضچه آب ورودی به پیش گرمکن آب شیرین کن و همچنین تغذیه آب شیرین کن.

۱-۱۴: موتور الکتریکی خورشیدی و موتور حرارتی خورشیدی

اگر انرژی الکتریکی با بازدهی معادل ۱۰٪ (راندمانی خوش بینانه ولی ممکن) تولید شود، در یک سطح معادل ۱۰ متر مربع می‌توان تا حدود یک کیلو وات الکتریسیته در زمان تابش خورشید تولید کرد. برای بهره‌گیری از این انرژی در زمان دلخواه نیاز به منبع ذخیره الکتریکی با هزینه زیاد است، ولی می‌توان انرژی تولیدی را با پمپاژ آب مورد نیاز در یک منبع هوایی همزمان به مصرف رسانده و هزینه ذخیره سازی را صرفه جوئی نمود.

در فصل پانزدهم شرح موتور الکتریکی خورشیدی که انرژی مورد نیاز خود را از پنل‌های خورشیدی تأمین میکند، ملاحظه خواهد شد. در یک تلمبه خانه فتو ولتائیک (شکل: ۱-۲۱) پنل‌های خورشیدی مستقیماً انرژی تابشی را به انرژی الکتریکی مورد نیاز موتور پمپ تبدیل می‌کنند. در تهران کارخانه فیبر نوری ساخت این پنل‌ها، یا باتری‌های خورشیدی را به عهده دارد.



شکل: ۱-۲۱: تلمبه خانه فتو ولتائیک در مهر شهر کرج

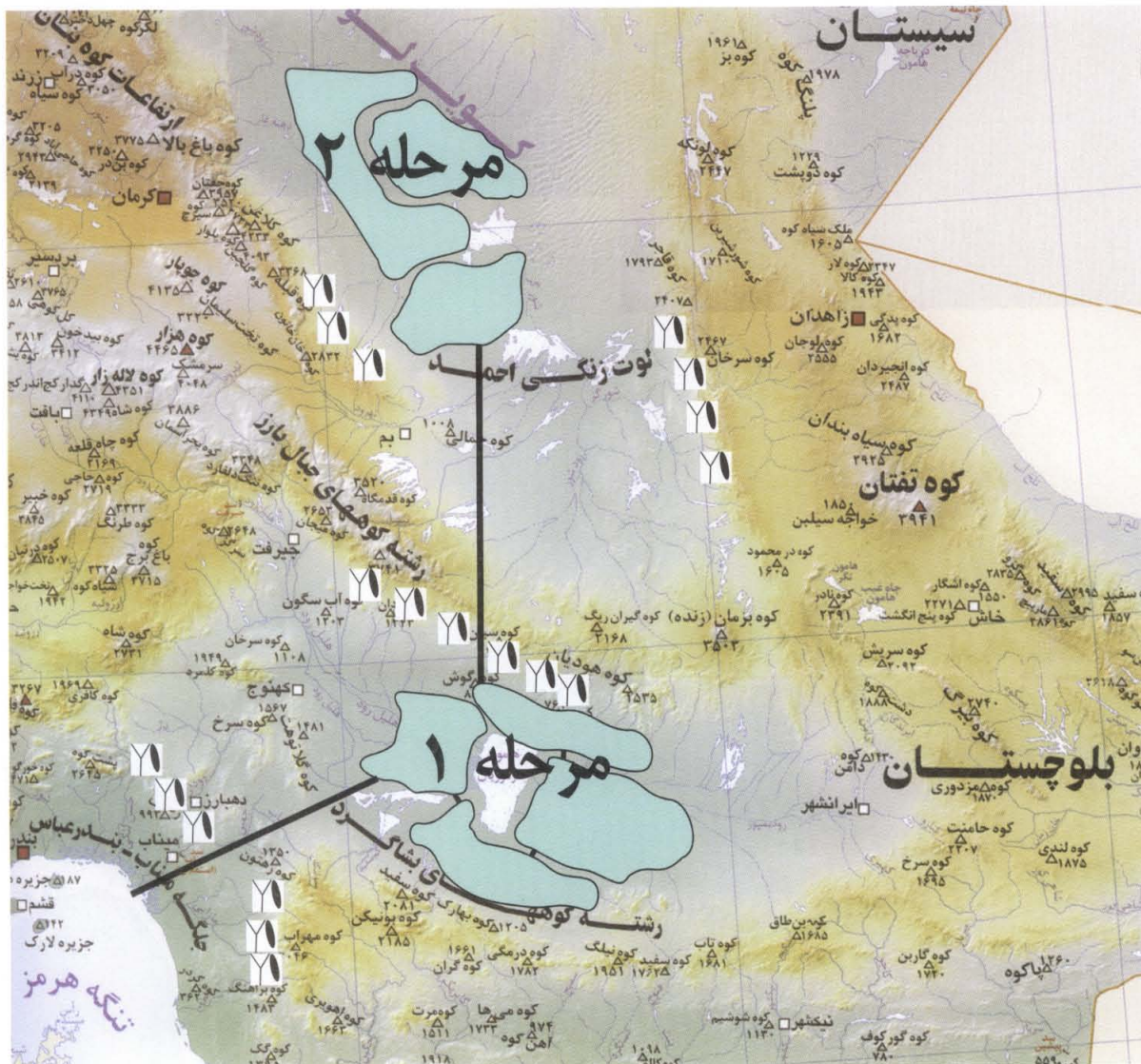
در فصل پانزدهم موتورهای حرارتی خورشیدی که انرژی مورد نیاز خود را از سیال مبدل می‌گیرند و عمدتاً با آئینه‌های متمرکز کننده کار می‌کنند با شرح مبسوط آورده شده است.

۱-۱۵: طرح کویر سبز

با توجه به شرایط طبیعی ویژه در مناطق گرم و خشک ایران که در فصل یازده نیز مورد توجه قرار گرفته است، طرحی بنام کویر سبز در فصل ۱۶ پیشنهاد شده است. اهمیت مناطق کویری ایران نه صرفاً بعثت دارا بودن بالاترین شدت انرژی خورشید و انرژی باد در ایران است، بلکه به جهت امکان بهره‌برداری از منبع گرم و سرد بطور طبیعی و همزمان در منطقه است.

هدف از این طرح - آماده سازی مناطق کویری برای تولید آب شیرین، انرژی و محصولات کشاورزی است.

دامنه گسترش این طرح همانطور که در شکل: ۱-۲۲ ملاحظه میشود در پایان مرحله ۲ بسیار عظیم (مثلاً: به مراتب بزرگتر از "دلتا ورک در هلند") است. لازمه چنین طرحی توسعه تکنولوژی، توسعه ساخت و ساز ساختمانی و در نهایت اشتغال زائی در سطوح مختلف است. در فصل شانزدهم شرایط مناسب مناطق گرم و خشک کویری ایران طبقه بندی شده و اهم پروژه هائی که در طرح باید دیده شود به اختصار شرح داده شده است.



شکل ۱-۲۲: طرح کویر سبز از دو مرحله به ترتیب مرحله "۱": هامون جازموریان و مرحله "۲": کویر لوت تشکیل شده است.

از جمله دهها نکات برجسته این طرح استفاده از آب شور خروجی از آب شیرین کن برای استفاده دو منظوره، یعنی ساخت و ساز شهرکهای مسکونی و سیستم سرمایش طبیعی در تأمین شرایط آسایش در این شهرکهاست. نکته دیگر استفاده دو منظوره از انرژی باد توسط توربین های بادی، برای پمپاژ آب شور به استخرهای مطابق برای تغذیه آب شیرین کنها و بعلاوه ذخیره سازی انرژی باد بصورت انرژی پتانسیل برای استفاده در توربین های آبی (تقریباً شبیه نیروگاه سیاه بیشه) است.

فصل ۲: انرژی خورشید

خورشید تنها منبع انرژی های تجدید پذیر، در مرکز منظومه شمسی قرار دارد. انرژی خورشید در ۲۴ ساعت شبانه روز و در ۳۶۵ روز سال به صورت امواج الکترو مغنتیک به زمین می‌تابد.

درجه حرارت سطح خارجی خورشید حدود ۶۰۰۰ درجه کلوین است. قسمت کوچکی از انرژی خورشید به ما در زمین می‌رسد زیرا، اولاً: این انرژی در تمام جهات منتشر شده و یک قسمت جزئی از آن بعد از طی فاصله بین زمین و خورشید به سطح خارج اتمسفر زمین می‌رسد. ثانیاً: با گردش زمین حول محورش، هر وسیله برای دریافت انرژی خورشید در روی زمین صرفاً در روز (تقریباً نصف شبانه‌روز) انرژی خورشید را دریافت می‌کند. ثالثاً از امواج رسیده به خارج جو زمین، تا رسیدن آنها به سطح زمین حدود ۳۰٪ دیگر از آن تلف می‌شود. بعلاوه شرایط آب و هوا می‌تواند انرژی رسیده به زمین را بیش از درصد فوق بازهم کاهش دهد.

مقدار انرژی که به واحد سطح زمین در واحد زمان می‌رسد، بنام "شدت تابش خورشید" نامیده می‌شود. واحد اندازه گیری شدت تابش خورشید وات بر متر مربع (W/m^2) است. شدت تابش مقداری لحظه ای است و با زمان می‌تواند تغییر نماید. ماکزیمم شدت تابش برای تعیین شرایط پیک انرژی دریافتی سیستم بکار می‌رود. اگر مکانیزم ذخیره سازی در طراحی سیستم مورد نظر باشد، طراح می‌بایست از تغییرات شدت تابش خورشید نسبت به زمان آگاه باشد، تا بتواند طراحی سیستم را بهینه کند.

بعلاوه، طراح سیستم خورشیدی لازمست بداند چه مقدار انرژی خورشیدی در روز، ماه یا سال به سیستم خورشیدی رسیده است. جمع مقدار انرژی رسیده، مقدار تابش خواهد بود. مقدار تابش با واحد ژول بر متر مربع (J/m^2) و یا بیشتر با واحد (Wh/m^2) اندازه گیری می‌شود. همانطور که در بخش بعد شرح داده خواهد شد، مقدار تابش و یا مقدار تشعشع بطور ساده جمع انرژی امواج رسیده در طول یک زمان دلخواه است.

در این فصل ابتدا مشخصات تابش خورشید در خارج از جو زمین، سپس مقدار آن با روش ریاضی در روی سطح زمین تشریح می‌گردد. آنگاه روشی که به کمک آن طراح می‌تواند مقدار انرژی رسیده به یک محل دلخواه را محاسبه نماید ملاحظه خواهد شد. در صورتیکه اطلاعات هواشناسی موجود باشد، بهتر است از آن برای بهینه نمودن طراحی سیستم خورشیدی استفاده نمود.

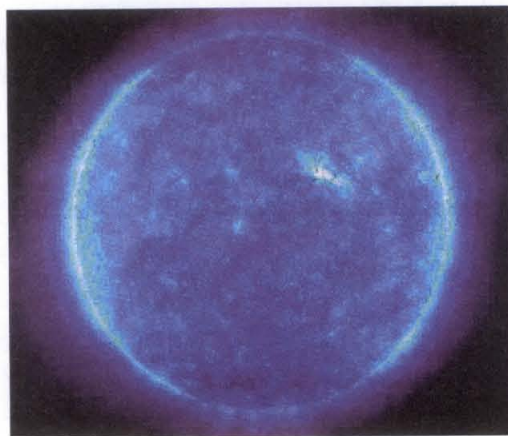
برای آنکه طراح سیستم خورشیدی شدت تابش رسیده به دهانه ورودی گردآور را پیش بینی نماید باید بداند که چه مقدار تابش خورشید به واحد سطح در آن نقطه می‌رسد و امتداد این تابش چگونه است. لذا ابتدا محل خورشید در آسمان باید مشخص شود (روابط لازم برای این منظور در فصل ۳ آورده شده است). سپس از ترکیب شدت تابش، امتداد تابش و امتداد گردآور نسبت به خورشید، طراح مقدار انرژی رسیده به گردآور را برآورد مینماید.

۱-۲- مشخصات نور خورشید در بالای جو زمین

منبع اصلی انرژی ما خورشید، در مقایسه با سایر ستارگان، ستاره ای با اندازه، عمر و نوری متوسط است که در روی یکی از بازوهای کهکشان راه شیری (شکل ۱-۲) قرار دارد. روشنایی این ستاره را نیز با توجه به دمای سطحی آن که معادل ۶۰۰۰ درجه کلوین است در مقایسه با گروهی از ستارگان با دمای ۱۶۰۰۰ درجه کلوین و گروهی دیگر با دمای ۳۰۰۰ درجه کلوین میتوان بطور نسبی متوسط دانست.



شکل ۱-۲: محل خورشید و منظومه شمسی در راه شیری



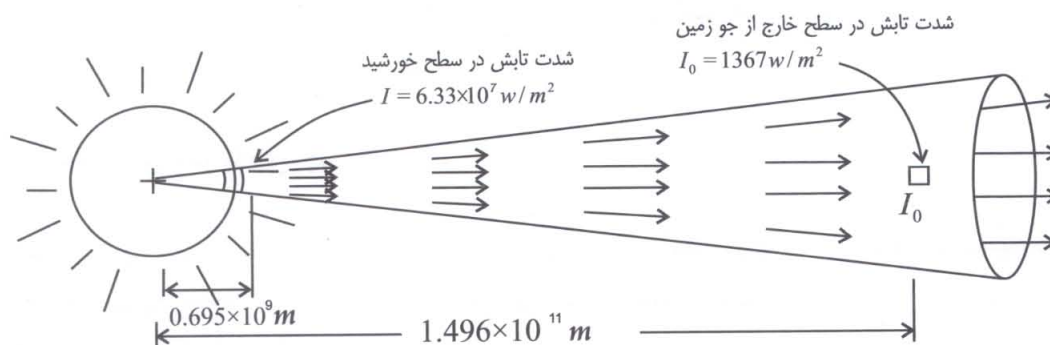
شکل ۲-۲: سطح خارجی خورشید

حدس بر آنست که در خورشید گازهای هیدروژن و هلیوم ترکیب شده و در اثر پدیده ذوب اتمی انرژی ای با شدت $3.86 \times 10^{26} W$ در بدنه خورشید آزاد میشود.

قسمت اعظم انرژی الکترومگنتیک رسیده به زمین از پوسته خارجی خورشید (شکل ۲-۲) بنام فتوسفر است. قطر تقریبی خورشید $1.39 \times 10^9 m$ بوده و در فاصله $1.496 \times 10^{11} m$ ($1.000 AU$) از زمین قرار دارد.

۲-۱-۱: ثابت خورشید

شدت تابش خورشید در سطح خارجی آن حدود $6.33 \times 10^7 W/m^2$ است. اما چون تابش منتشر شده و مقدار آن با نسبت مربع فاصله کاهش مییابد، بنابراین با توجه به فاصله زمین از خورشید (شکل ۲-۳)، شدت تابش خورشید که مقدار انرژی رسیده به یک متر مربع از سطح عمود بر تابش خورشید در خارج جو زمین در واحد زمان است، معادل 1367 وات بر مترمربع تعیین میشود. در این کتاب آنرا با I_{sc} نشان داده و مقدارش بصورت زیر محاسبه میشود:



شکل ۲-۳: کاهش شدت تابش انرژی از سطح خورشید به سطح خارج از جو زمین

$$I_{sc} = 6.33 \times 10^7 \times [0.695 \times 10^9 / 1.496 \times 10^{11}]^2 = 1367 \quad W / m^2$$

مقدار ثابت خورشید بر حسب واحدهای متعارف در جدول ۱-۲ نشان داده شده است.

جدول ۱-۲ : مقدار ثابت خورشید بر حسب واحدهای مورد استفاده متعارف در مدارک خورشیدی

$I_{sc} =$	1367 W/m ²
$I_{sc} =$	136.7 mW/cm ²
$I_{sc} =$	0.1367 W/ cm ²
$I_{sc} =$	1.367 x 10 ⁶ erg/cm ² s
$I_{sc} =$	127.0 W/ft ²
$I_{sc} =$	0.03267 cal/ cm ² s
$I_{sc} =$	1.960 cal/ cm ² min.
$I_{sc} =$	433.4 Btu/ft ² hr
$I_{sc} =$	0.1204 Btu/ft ² s

در مدارک و کتابهای قدیمی خارجی و ایرانی مقدار ثابت خورشید ۱۳۵۳ وات بر متر مربع ذکر شده که میبایست به مقدار ۱۳۶۷ وات بر متر مربع اصلاح گردد. این مقدار نه تنها توسط محاسبه مشخص می شود، بلکه بعلاوه اندازه گیری های دقیق صورت گرفته در خارج از جو زمین نیز به اثبات رسیده است.

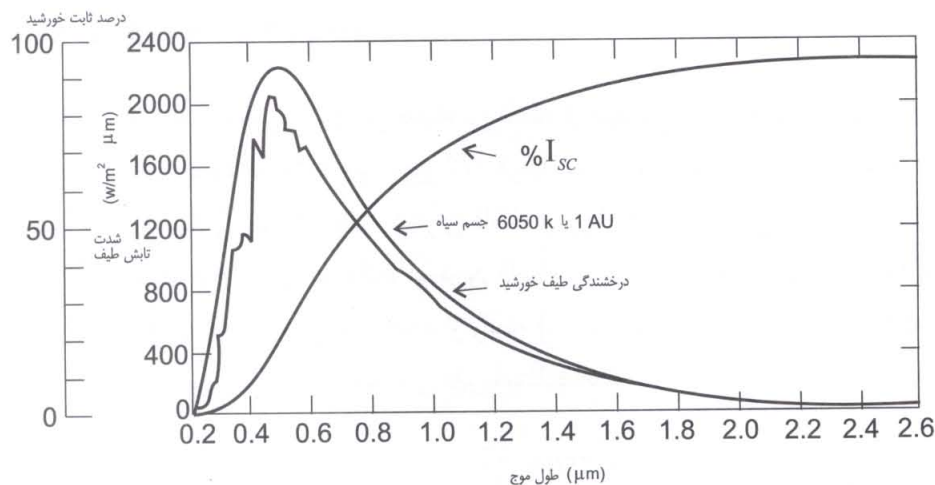
اندازه ظاهری زاویه قرص خورشید بکمک قطر فتوسفر و فاصله زمین تا خورشید قابل محاسبه است. در فاصله 1.000 AU اندازه زاویه ای قرص خورشید ۹/۳ میلی رادیان (۰/۵۵۳ درجه) است. با تغییر فاصله زمین از خورشید در طول سال، اندازه ظاهری زاویه خورشید به میزان ۱/۷٪ تغییر می کند.

۲-۱-۲: طیف خورشید در بالای جو

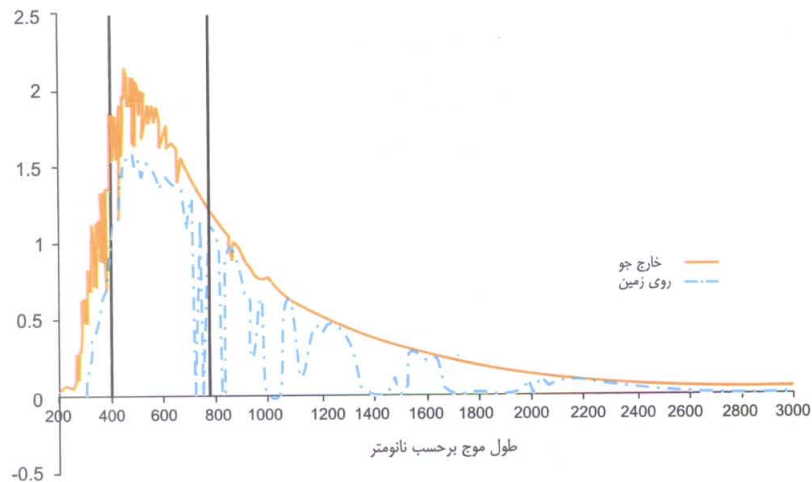
طیف خورشید قبل از ورود به اتمسفر زمین در شکل ۲-۴ نشان داده شده است. در این شکل طیف جسم سیاه در ۶۰۵۰ درجه کلوین نیز ملاحظه میشود. منحنی نسبت درصد فلوی خورشیدی، که نمایشگر جمع انرژی حاصل از کوتاهترین طول موج تا طول موج انتخابی است نیز در این شکل دیده می شود.

ذکر این نکته جالب است که ۴۵ درصد از امواج رسیده از خورشید به جو زمین از امواج قابل رویت اند که طول موج آنها در محدوده بین ۰/۳ تا ۰/۷ میکرون قرار دارد. کمی بیش از ۱ درصد از انرژی خورشید در محدوده طول موج کوتاه (شامل : اشعه

ایکس X و ماورای بنفش UV و ۵۴ درصد بقیه انرژی در ناحیه مادون قرمز (IR) است. بطوریکه در بخش بعد شرح داده خواهد شد. طیف خورشید بعد از ورود به جو زمین تا رسیدن به سطح زمین دچار تغییر می‌شود.



"الف"



"ب"

شکل ۲-۴: طیف خورشید قبل و بعد از ورود به جو زمین

اطلاع از مقدار انرژی امواج مختلف خورشید، طراح را در برآورد، سهم انرژی طول موجهای مختلف در کل انرژی دریافتی از خورشید قادر ساخته و در نتیجه طراحی سیستم خورشیدی را بهینه می‌نماید.

مثال: فرض کنیم یک گردآور با پوشش شیشه، ۹۰٪ از انرژی با طول موج کمتر از یک میکرون را از دهانه ورودی خود عبور داده و طول موجهای بزرگتر را عبور ندهد. با توجه به شکل ۲-۴ "الف" ملاحظه می شود که ۶۹/۵ درصد از امواج رسیده از خورشید با طول موج کمتر از یک میکرون میباشد، بنابراین مقدار انرژی رسیده به گیرنده قابل محاسبه است.

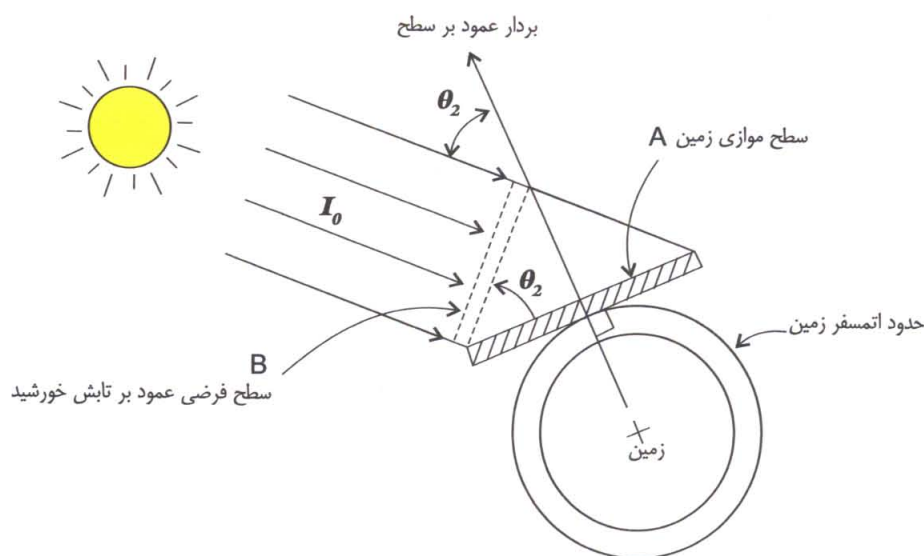
۳-۱-۲: شدت تابش خورشید در خارج جو

میدانیم شدت نور در یک نقطه نسبت عکس با مجذور فاصله آن نقطه از منبع نور دارد. چون مدار گردش زمین بدور خورشید کمی بیضوی است، شدت تابش رسیده به خارج جو زمین ۳/۴ درصد نسبت به مقدار ثابت خورشید تغییر میکند، بطوریکه ماکزیمم آن در نزدیک "نقطه حضیض" یعنی در حالت کمترین فاصله زمین از خورشید (۳ الی ۵ ژانویه و یا ۱۳ الی ۱۵ دیمه) و مقدار مینیمم آن در نزدیک "نقطه اوج"، یعنی در حالت دورترین فاصله زمین از خورشید (۵ جولای یا ۱۴ تیرماه) رخ میدهد. تغییرات شدت تابش برای روزهای مختلف سال با استفاده از رابطه (۲-۱) قابل محاسبه است. مقدار شدت تابش که از این رابطه بدست می آید، با دقت خوب برای محاسبات مهندسی قابل استفاده است.

$$I_o = I_{sc} \left[1 + 0.034 \cos \left(\frac{360N}{365.25} \right) \right] \quad W / m^2 \quad (1-2)$$

در این رابطه I_o مقدار تابش در خارج جو زمین و N شماره روز (با شروع از اول ژانویه یا ۱۱ دی) است.

یک صفحه مسطح درست در خارج جو زمین و موازی سطح زمین فرض میکنیم. هنگامیکه این صفحه رو به خورشید و عمود بر شعاع تابش آن قرار دارد، مقدار شدت تابش رسیده به آن معادل I_o ، مقدار تابش ماکزیمم ممکن بر صفحه است. اگر صفحه بر شعاع تابش عمود نباشد، شدت تابش رسیده به آن به اندازه کسینوس زاویه بین خط عمود بر صفحه و امتداد شعاع مرکزی تابش خورشید، (شکل ۲-۶) کاهش می نماید.



شکل ۲-۶: اثر کسینوس مربوط به کاهش شدت تابش خورشید

ملاحظه میشود که مقدار انرژی رسیده به هر دو صفحه یکسان است. در حالیکه سطح A بزرگتر از سطح B تصویر آن در امتداد عمود بر شعاع مرکزی خورشید است. بنابراین شدت تابش رسیده به یک سطح موازی سطح زمین در خارج از جو ($I_{o,h}$) با رابطه (۲-۲) قابل محاسبه است.

$$I_{o,h} = I_o \cos \theta_z \quad (W/m^2) \quad (2-2)$$

در این رابطه I_o شدت تابش در خارج از جو زمین، و θ_z زاویه بین دو سطح است، این زاویه که در فصل ۳ شرح داده خواهد شد، زاویه خط الراس نام دارد. کاهش مقدار شدت تابش با کسینوس زاویه بین شعاع مرکزی خورشید و قائم بر سطح، اثر کسینوس نامیده میشود. اثر کسینوس در بهینه نمودن جهت گردآور خورشیدی بسیار مهم است. این اثر را در فصل ۴ کتاب مورد توجه قرار می دهیم.

بعلت گردش زمین حول محورش و اثر کسینوس، شدت تابش در روی سطح افقی در خارج از جو زمین مداوماً در حال تغییر بوده و این تغییرات هر روز تکرار می شود.

۲-۱-۴: مقدار تابش بر روی سطحی به مساحت واحد

مقدار انرژی خورشید بر روی سطحی به مساحت واحد در خارج از جو در طول یک زمان مشخص با انتگرال گیری (یا جمع بندی) شدت تابش در طی آن زمان بدست میآید. با این انتگرال گیری، مقدار تابش رسیده به سطحی به مساحت واحد بدست میآید. در این کتاب این مقدار تابش با I_o نشان داده شده و واحد آن واحد انرژی تقسیم بر واحد سطح، یعنی: (J/m^2) است.

اغلب نیاز است که کل انرژی رسیده به یک سطح در طول یک روز در خارج از جو $H_{o,h}$ محاسبه شود. این مقدار را میتوان با انتگرال گیری از شدت تابش خورشید در خارج از جو بین طلوع تا غروب آن بدست آورد.

$$H_{o,h} = \int_{sunrise}^{sunset} I_{o,h} dt \quad (J/m^2) \quad (3-2)$$

در این رابطه: t نمایش زمان و واحد آن ثانیه است.

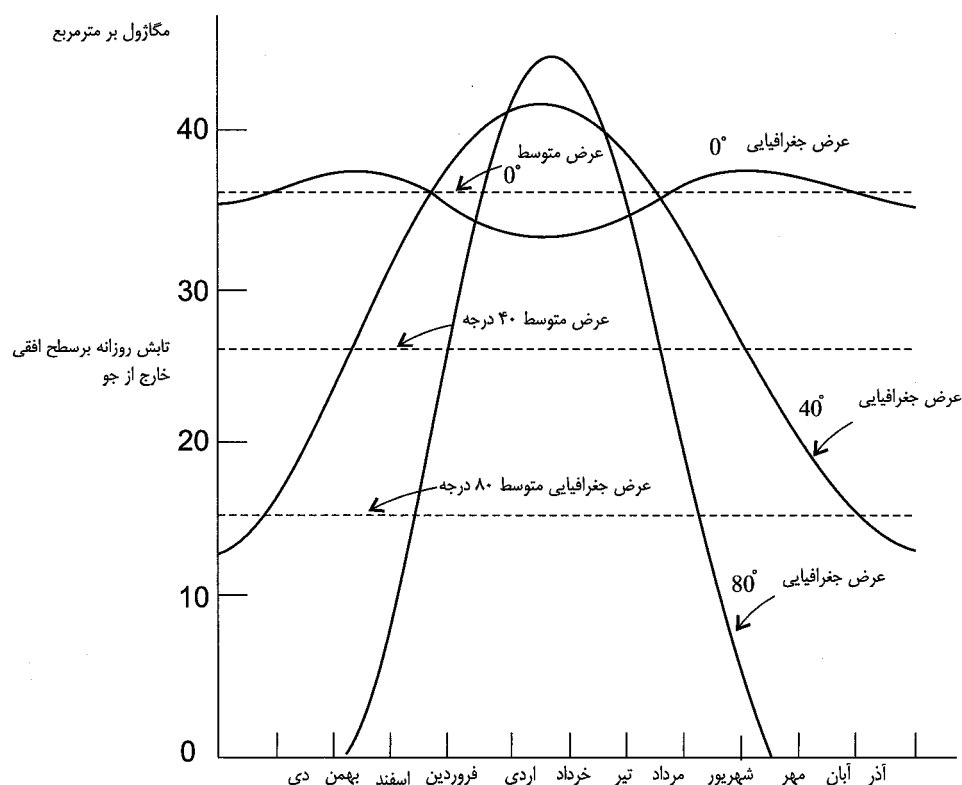
با استفاده از رابطه بدست آمده برای زاویه بین سطح موازی زمین و خورشید، میتوان رابطه زیر را برای مقدار تابش روزانه رسیده به یک سطح موازی زمین در خارج از جو بدست آورد.

$$H_{o,h} = \frac{86400 I_o}{\pi} (\omega_s \sin \phi \sin \delta + \cos \delta \cos \phi \sin \omega_s) \quad (J/m^2) \quad (4-2)$$

زاویای ϕ و δ (عرض جغرافیائی و انحراف) در بخش ۳-۱ شرح داده شده اند. زاویه ساعت غروب، ω_s در رابطه: (۳-۱۹) برحسب تابعی از زاویای ϕ و δ آورده شده است، که بر حسب رادیان در رابطه مزبور جایگزین می شوند.

در شکل ۷-۲ مقادیر تابش روزانه خورشید بر یک سطح افقی در خارج از جو در طول سال توسط رابطه: (۲-۴) برای سه عرض جغرافیائی در طول سال ترسیم شده است. این شکل نکات جالبی را در مورد انرژی خورشیدی رسیده به زمین نشان میدهد. بالاترین مقدار تابش روزانه در بزرگترین عرض جغرافیائی انتخابی رخ میدهد. این تابش ماگزیمم در زمانی که هرگز خورشید غروب نمیکند رخ میدهد.

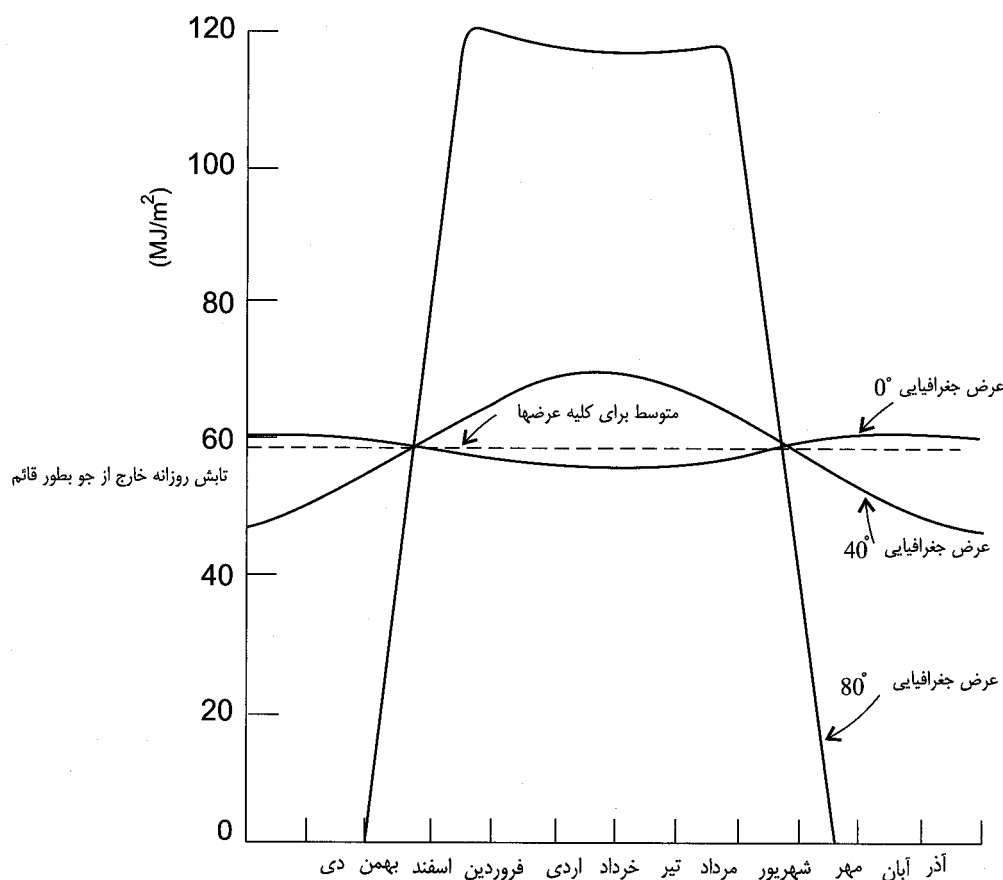
نکته جالب دیگر آنکه در خط استوا بالاترین تابش روزانه در پائیز و بهار رخ میدهد نه در تابستان که ممکنست انتظار برود. ماگزیمم تابش در تابستان فقط در مدار بالای $23/5^\circ$ درجه رخ میدهد. کل انرژی جمع شده در طول سال بصورت مقدار متوسط تابش خورشید در شکل ۲-۷ نشان داده شده است. همانطور که انتظار میرود جمع سالیانه تابش روزانه خورشید بر روی یک سطح افقی در استوا ماگزیمم است. سطوح واقع در عرض بیشتر قسمتی از انرژی موجود را بعلت اثر کسینوس که قبلاً گفته شد از دست میدهند.



شکل ۷-۲: تغییرات سالیانه تابش روزانه خورشید بر روی یک سطح افقی خارج از جو زمین در نیمکره شمالی برای عرض جغرافیائی صفر، 40° و 80° درجه

اگر سطحی در خارج از جو زمین همواره رو بسمت خورشید و برشعاع مرکزی آن عمود باشد، مقدار تابش روزانه بر آن سطح مطابق شکل : ۲-۸ در طول سال تغییر میکند. بطوریکه در این شکل ملاحظه میشود با زیاد شدن عرض جغرافیائی مقدار انرژی دریافتی آن در تابستان افزایش و در زمستان کاهش مییابد.

نتیجه جالب از شکل ۲-۸ آنستکه مقدار انرژی سالیانه دریافتی توسط صفحه ایکه همواره عمود بر شعاع مرکزی خورشید قرار گرفته، تابع عرض جغرافیائی نبوده و در کلیه عرضهای جغرافیائی یکسان است.



شکل ۲-۸: تغییرات سالیانه مقدار تابش روزانه بر سطحی که در خارج از جو زمین، در قسمت نیمکره شمالی قرار گرفته و همواره عمود برشعاع مرکزی خورشید آنرا تعقیب میکند.

زیرا در اینحالت هر نقطه از ۴۳۸۰ ساعت آفتاب بر خوردار میشود. بنابراین بغیر از تغییرات جزئی ناشی از شدت تابش دربالای اتمسفر که حدود ۶ درصد در زمستان بیشتر از تابستان است، مقدار تابش سالیانه خارج از جو در هر نقطه در زمین یکسان است.

بعلاوه ملاحظه میشود که مقدار متوسط روزانه تابش عمود خیلی نزدیک به حاصلضرب ۱۲ (طول متوسط روز) در مقدار ثابت خورشید است، که ۵۹/۱ مگاژول بر متر مربع میشود. از مقایسه شکل ۷-۲ (صفحه افقی بازمین) و شکل ۲-۸ (صفحه عمود بر شعاع مرکزی) نتیجه میشود که: اثر کسینوس در طول سال موجب ۳۹ درصد کاهش تابش خورشید بر صفحه افقی در خط استوا میشود، درحالیکه کاهش تابش در عرض ۴۰ درجه ۵۲ درصد و در عرض ۸۰ درجه ۷۴ درصد است.

در بخشهای فوق مقدار تابش خورشید را بر صفحات فرضی در خارج از جو زمین مورد توجه قرار دادیم، تا خواننده با منبع انرژی خورشید و مکانیک سیستم خورشید-زمین آشنا شود. حال در قسمت بعدی اثرات اتمسفر زمین (مانند: اثرات بخار آب، گاز کربنیک، ابر، دود، مه و ذرات معلق) را بر روی امواج خورشید مورد توجه قرار میدهم.

۲-۲: مشخصات امواج خورشید در سطح زمین

همچنانکه امواج خورشید وارد اتمسفر زمین میشود، توسط آن هم جذب شده (موجب گرم شدن اتمسفر زمین شده)، هم منعکس شده (بهمین دلیل زمین توسط فضانوردان قابل مشاهده است)، و هم پخش شده (بهمین دلیل این کتاب را در سایه یک درخت میتوان خواند) و هم بطور مستقیم منتقل میشود (دلیل وجود سایه). در سطح زمین، خورشید دارای شدت کمتر، و رنگی و شکلی متفاوت از آن چیزی است که بالای جو دیده میشود.

۲-۲-۱: اثر جو زمین

جو زمین موجب کاهشی حدود ۳۰ درصد در یک روز کاملاً صاف، تا ۹۰ درصد در یک روز کاملاً ابری در انرژی خورشیدی ورودی به آن میشود. شکل ۲-۹ اطلاعاتی در مورد مقدار درصد بیشینه و کمینه، جذب و پراکنده شدن طیف خورشید را توسط عناصر مختلف موجود در جو زمین نشان میدهد.

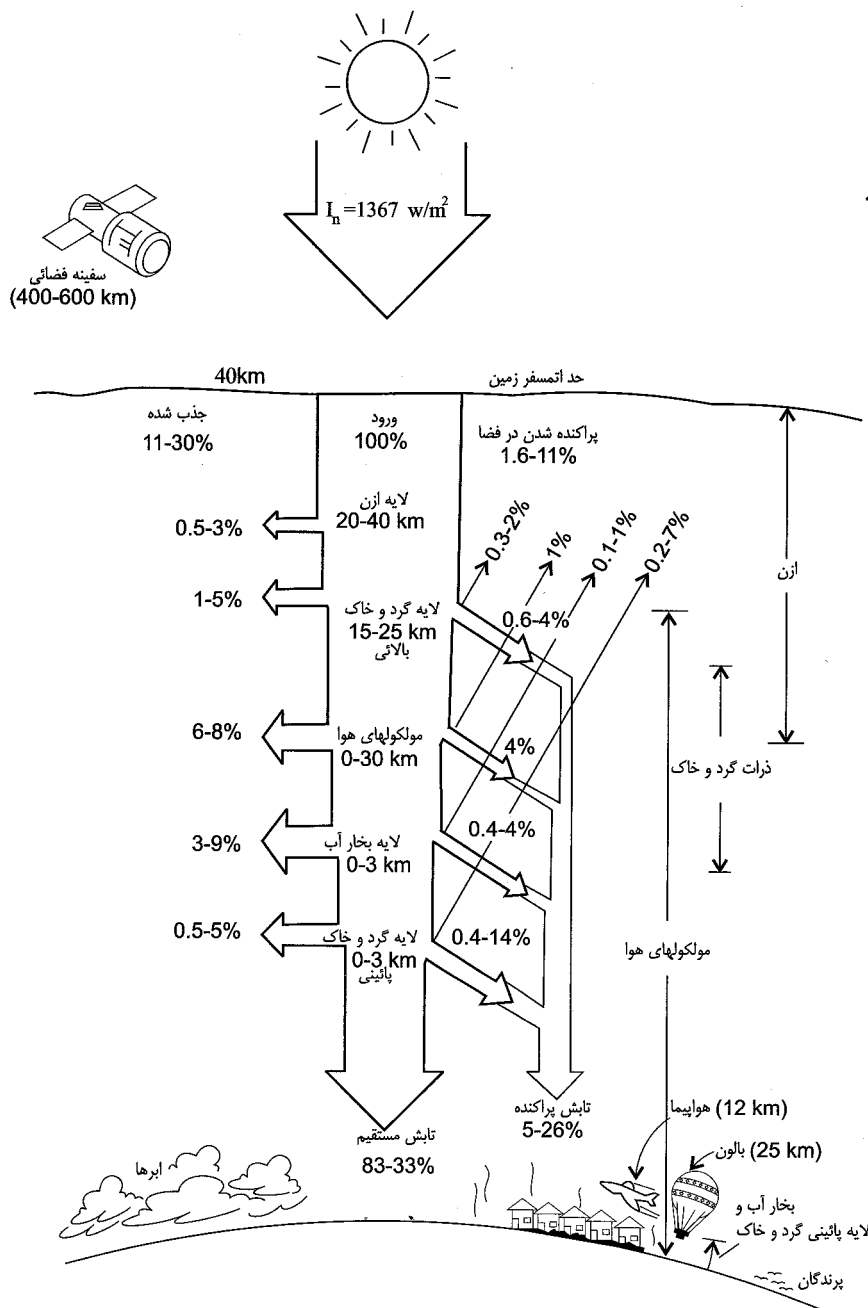
بر روی سطح زمین، ما تابش مستقیم را مستقیماً از سمت قرص خورشید، و تابش پراکنده خورشید را از کلیه جهات آسمان دریافت مینمائیم. در بخشهای زیر، پسوند b برای تابش مستقیم و پسوند d برای تابش پراکنده استفاده خواهیم کرد. مجموع تابش مستقیم و تابش پراکنده را تابش کل نامیده و با پسوند t نشان خواهیم داد.

در یک هوای صاف مقدار تابش مستقیم حدود ۸۰ تا ۹۰ درصد تابش کل رسیده به زمین است. موانعی که در سر راه تابش مستقیم قرار گیرند ایجاد سایه میکنند. در یک روز خیلی ابری و مه آلود که خورشید قابل رویت نیست، مقدار تابش مستقیم صفر بوده و سایه ای وجود نخواهد داشت. از نظر طراح سیستم خورشیدی درجه حرارت بالا، تابش مستقیم دارای اهمیت ویژه‌ای است، زیرا میتوان آنرا توسط متمرکز کننده ها مانند عدسی و آئینه بر روی یک سطح کوچک متمرکز نمود، در صورتیکه از تابش پراکنده چنین استفاده ای مقدور نیست.

تابش پراکنده عاملی است که دیدن در سایه را امکان پذیر میکند. اگر قسمتی از تابش خورشید پراکنده نمیشد، و یا تابش پراکنده وجود نداشت، آسمان همیشه سیاه بود و ستارگان همواره قابل مشاهده بودند.

بطوریکه در شکل ۲-۹ نشان داده شده است تابش پراکنده ناشی از منحرف شدن تابش خورشیدی توسط نیتروژن، اکسیژن، ملکولهای آب، ذرات بخار آب، و ذرات گرد و غبار در جو است. مقدار این پراکندگی بستگی به مقدار رطوبت و گرد و غبار در جو و همچنین ارتفاع محل ناظر نسبت به سطح دریا دارد.

چون امکان متمرکز کردن تابش پراکنده وجود ندارد، صرفاً گردآور مسطح (غیر متمرکز کننده) و بعضی گردآورهای متمرکز کننده از نوع درجه حرارت پائین (که دارای زاویه دریافت بزرگی هستند) میتوانند تابش پراکنده را گردآوری کنند. همچنین تعداد کمی از گردآورهای مورد استفاده در صنایع قادر به بهره گیری از تابش پراکنده هستند.



شکل ۲-۹: حدود مقادیر جذب و پخش انرژی خورشید بعد از ورود به جو زمین

وجود تغییرات زیاد در مقدار عناصر موجود در اتمسفر زمین به ویژه ذرات آب در آن (مانند: ابرها) که تابش مستقیم نور خورشید را تضعیف کرده و مقدار تابش پراکنده را تغییر می‌دهند، از ناشناخته‌ترین پارامترها در طراحی سیستم خورشیدی است.

۲-۲-۲: اندازه‌گیری طیف خورشید

در بخش ۱-۱-۲ طیف خورشید شرح داده شد. علاوه بر کاهش شدت تابش، طیف خورشید نیز در اتمسفر تا رسیدن به سطح زمین دچار تغییر می‌شود. فرآیندهایی که رخ می‌دهد شامل: شکست و انکسار توسط آب و ذرات گرد و غبار، و پخش و جذب توسط ازن، بخار آب و گاز کربنیک است. این فرآیندها نه تنها بستگی به شرایط موقتی اتمسفر، بلکه به مسافتی که نور در اتمسفر طی می‌کند نیز دارد.

مسافت طی شده برحسب واحد جرم هوا اندازه‌گیری می‌شود. واحد جرم هوا بطور ساده نسبت مسافت طی شده در اتمسفر به مسافتی است که خورشید درست در بالای سر قرار می‌گیرد.

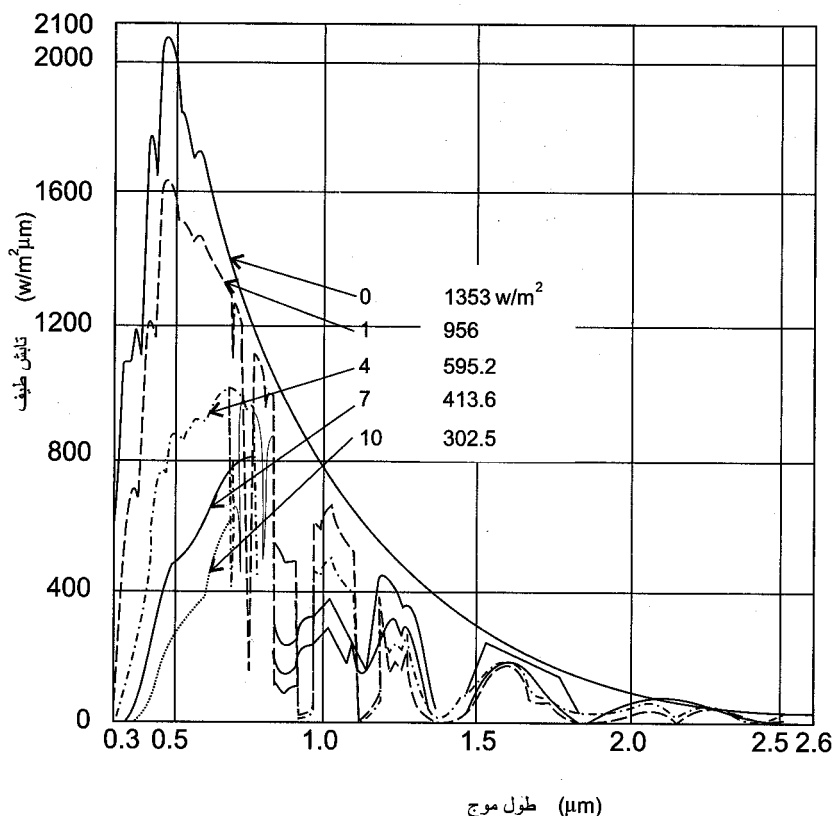
لذا، به تابشی که درست از بالای سر ناظری واقع در ساحل دریا می‌رسد، گفته می‌شود که تابش از هوایی با جرم "۱" واحد عبور نموده است. تابشی که از امتداد خط الراسی با زاویه ۶۰ درجه می‌رسد، مسافتی دو برابر مسیر عمود را طی می‌کند و در نتیجه از جرم هوایی معادل "۲" واحد جرم عبور مینماید. برای تخمین جرم هوا برای زاویه خط الراس دلخواه از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$air - mass = \frac{1}{\cos \theta_z + 0.50572(96.07995 - \theta_z)^{-1.6364}} \quad (2-5)$$

در این رابطه مقدار زاویه خط الراس θ_z برحسب درجه داده می‌شود. در غروب آفتاب (θ_z مساوی ۹۰ درجه)، و عبارت فوق مقدار ۳۷/۹۲ را می‌گیرد و بهمین دلیل در غروب خورشید، مقدار ناچیزی نور خورشید به سطح زمین می‌رسد

در نقاطی با ارتفاع بیش از سطح دریا، جرم هوای محاسبه شده توسط رابطه ۲-۵ با ضریب نسبت فشار محل پروژه به فشار کنار دریا کاهش می‌یابد.

مقدار اثر اتمسفر زمین بر روی طیف خورشید [۱۶] در شکل ۲-۱۰، برای اجرام مختلف اتمسفر (که در حقیقت جانشین مسافت طی شده در اتمسفر است) نشان داده شده است.



شکل ۲-۱۰: طیف خورشید برای اجرام مختلف هوا، در منطقه ای که هوا دارای ۲۰ میلی‌متر فشار بخار آب، ۳/۴ میلی‌متر ازن و کاملاً صاف بوده است.

بطوریکه در شکل ۲-۱۰ ملاحظه می‌شود، کاهش درطیف مادون قرمز (طول موج بزرگتر از ۰/۷ میکرون)، بعثت بخار آب و گاز کربنیک، کاهش طول موج آبی و بنفش کم‌رنگ (طول موج ۰/۳-۰/۴ میکرون) بعثت ذرات معلق و کاهش و پراکندگی در نور ماوراء بنفش (طول موج کمتر از ۰/۳ میکرون) بعثت لایه ازن قابل ملاحظه است. بهمین علت طلوع و غروب خورشید بنظر قرمز می‌آید، زیرا نور خورشید در این زمان میبایست از جرم هوایی معادل ۳۰ عبور نماید. برای جرمهای کم هوا (مانند: بالای کوهستانها در نزدیک زمان ظهر)، مقدار امواج نوری کوتاه و ماوراء بنفش فراوان بوده و بنابر این در ارتفاعات برای حفاظت چشم، میبایست از عینک دودی استفاده شود. عکسهای گرفته شده در این مناطق کمی آبی رنگ میشود.

۲-۳-۲: شکل خورشید

در هنگام استفاده از گردآورهای متمرکز کننده با ضریب تمرکز بالا (مانند سیستم دریافت کننده مرکزی) با توجه به دریافت انرژی مستقیماً از سوی خورشید دو نکته را باید در نظر داشت، ۱- در طول قطر قرص خورشید و هاله اطراف آن شدت تابش متغیری موجود است، و ۲- تابش رسیده از فاصله فقط چند درجه از قرص خورشید (تابش از هاله اطراف قرص خورشید) دارای انرژی قابل ملاحظه ای است.

طراح سیستم دریافت کننده مرکزی و کوره خورشیدی به استفاده از انرژی هاله اطراف قرص خورشید نیز علاقمند هست. مطالعه تابش هاله اطراف قرص خورشید (ایجاد شده بوسیله پراکندگی یا تفرق جوی) اخیراً اهمیت یافته است، زیرا استفاده از متمرکز کننده هائی که انرژی هاله اطراف قرص خورشید را علاوه بر تابش مستقیم از قرص دریافت میکنند، به مراتب بازدهی بهتری نسبت به متمرکز کننده هائی که صرفاً تابش قرص را دریافت میکنند، دارند. یعنی: حتی در یک آسمان صاف هم بین مقدار انرژی دریافت شده توسط یک پیرانومتر (که در بخش بعدی شرح داده خواهد شد) با ۵ درجه زاویه پذیرش و مقدار انرژی که توسط یک متمرکز کننده که صرفاً تابش رسیده از قرص خورشید (۰/۵ درجه زاویه پذیرش) را دریافت میکند اختلاف فاحش وجود دارد.

اطلاعات مربوط به شکل خورشید معمولاً تحت عنوان تغییرات تابش و با تابع $B(\theta)$ مطرح میشود، که دارای واحد: $(W/m^2 sr)$ بوده، و آن تابش رسیده از یک ناحیه دلخواه از سطح نورانی (مثلاً خورشید) تحت "زاویه ایکه آن ناحیه به رأس ناظر" در زمین میسازد تعریف میشود. زاویه θ نشانگر آنستکه تابش تابعی از زاویه سطح کروی است که از مرکز سطح کروی (خورشید) اندازه گیری میشود. یک استرادیان، زاویه کروی است که به سطحی به مساحت مجذور شعاع آن کره منتهی شود، با این ترتیب در هر نیمکره 2π استرادیان، و یک زاویه کروی به اندازه یک استرادیان یک مخروط با زاویه رأس $1/144$ رادیان ($65/54$ درجه) است. برای بدست آوردن زاویه رأس مخروط v محاط شده در زاویه کروی σ ، رابطه زیر بکار میرود:

$$\sigma = 4\pi \sin^2\left(\frac{v}{4}\right) \quad (sr) \quad (6-2)$$

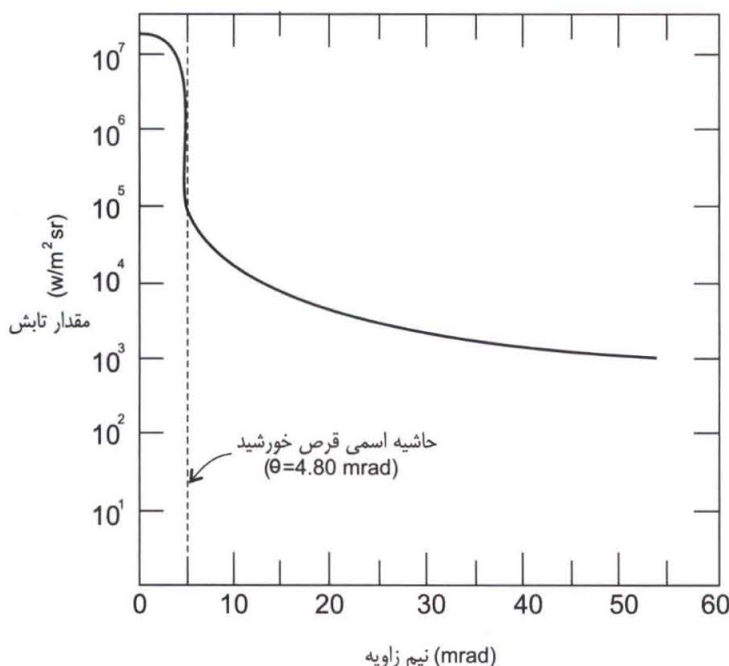
برای مقادیر کوچک v مانند اندازه زاویه ای خورشید از زمین داریم:

$$\sigma = \frac{\pi v^2}{4} \quad (sr) \quad (7-2)$$

مقدار میبایست بر حسب رادیان باشد. بر طبق این رابطه، اگر قرص خورشید مخروطی با زاویه رأس $9/6$ میلی رادیان ($0/55$ درجه) را بسازد، مقدار آن معادل زاویه توپر $7.238 \times 10^{-5} sr$ است.

با وجود آنکه تابش هاله دور خورشید با تغییر شرایط اتمسفر تغییر میکند، معذالک تغییرات تابش مطابق شکل: ۲-۱۱ پیشنهاد شده است. زاویه θ از مرکز قرص خورشید اندازه گیری شده و مساوی نصف زاویه کل قرص خورشید θ ، که در بخشهای بعدی ملاحظه خواهد شد میباشد. تابش از یک ناحیه با انتگرال گیری از تغییرات تابش در محدوده مورد نظر بشکل زیر بدست میآید:

$$I_{b,n} = 2\pi \int B(\theta) \theta d\theta \quad (W/m^2) \quad (8-2)$$



شکل ۲-۱۱: تغییرات استاندارد تابش کل خورشید شامل: قرص خورشید و تابش هاله دور آن است.

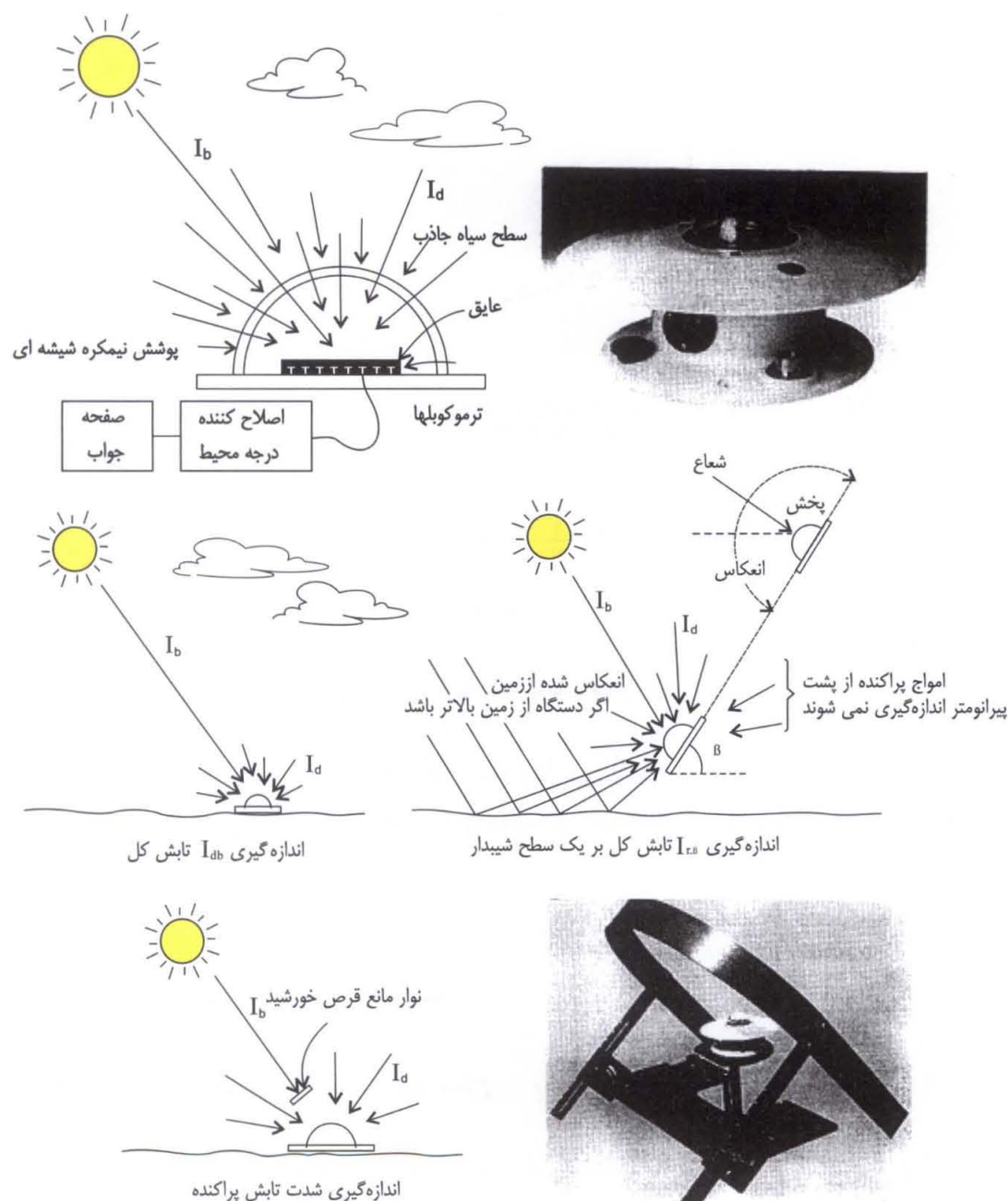
مثال: با فرض مقدار ثابت $1.2 \times 10^7 \text{ W/m}^2 \text{sr}$ برای تغییرات تابش $B(\theta)$ در طول قرص خورشید (از صفر تا $4/80$ میلی رادیان) و فرض عدم وجود تابش از هاله دور خورشید تابش رسیده از خورشید 869 وات بر متر مربع محاسبه میشود.

۳-۲: اندازه گیری "شدت تابش" خورشید

۳-۲-۱: "شدت تابش کل" خورشید - شید سنج

شیدسنج ابزار اصلی اندازه گیری شدت تابش کل خورشید است، این دستگاه انرژی رسیده از خورشید در تمام جهات (یعنی از: 2π استرادیان) در نیمکره بالای صفحه دستگاه را اندازه گیری میکند. این اندازه گیری شامل مجموع تابش مستقیم و تابش پراکنده خورشید بوده و بنام شدت تابش کل نامیده می شود.

در متعارف ترین نوع شید سنج ها از توده جفت گرمائی که عبارت از یک سری جفت گرمائی (ترموکوپل) است، استفاده میشود که به یک سطح سیاه جاذب وصل شده است. بطوریکه در شکل ۲-۱۲ نشان داده شده است، **بکمک یک پوشش و یک عایق حرارت به ترتیب از افت حرارتی این سطح جاذب از طریق جابجائی و از طریق هدایت (رسانائی) جلوگیری شده است.** هنگامیکه شید سنج در مقابل نور خورشید قرار گیرد، سطح درجه حرارتی متناسب با مقدار انرژی تابیده شده به آن را میگیرد. برای مدرج کردن دستگاه از یک دستگاه دقیق و مدرج شده می توان استفاده نمود و آنرا برحسب شدت تابش کل رسیده از خورشید مدرج نمود.



شکل ۲-۱۲: شید سنج و استفاده از آن برای اندازه گیری شدت تابش: کل در حالت افقی، کل در حالت شیددار، و شدت تابش پراکنده.

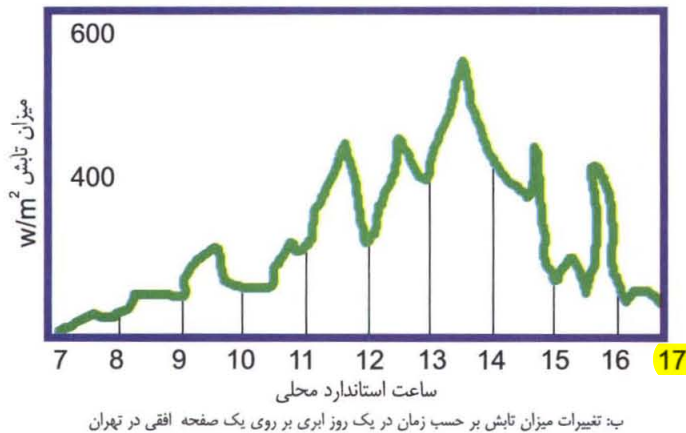
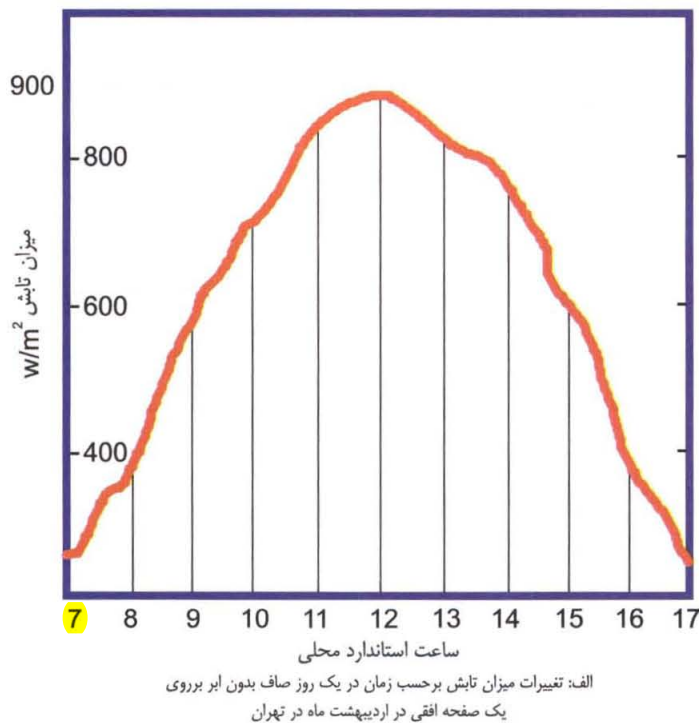
یک شیدسنج که خوب طراحی شده کلیه امواج طیف را گرفته و مقداری که نشان میدهد نسبت به تابش مستقیم خورشید متناسب با کسینوس زاویه بین شعاع مرکزی خورشید و خط عمود بر سطح جاذب است.

استفاده متعارف شیدسنج برای اندازه گیری شدت تابش خورشید بر سطح افق است. برای اندازه گیری با شیدسنج باید آنرا در امتداد افق و کاملاً بالاتر از محیط اطراف قرارداد، بطوریکه نیمکره محوطه دید آن کاملاً صاف و بدون هیچ سایه از درخت و یا ساختمانهای اطراف باشد.

برای یک شید سنج که بطور افقی قرار گرفته است، شدت تابش مستقیم عمودی به اندازه کسینوس زاویه برخورد کاهش مییابد، که در این حالت زاویه θ_z خط الراس است. شدت تابش کل در افق عبارت است از:

$$I_{t,h} = I_{b,n} \cos \theta_z + I_{d,h} \quad (W/m^2) \quad (9-2)$$

در این رابطه: $I_{b,n}$ ، نمایش تابش مستقیم از قرص خورشید، $I_{d,h}$ ، نمایش تابش پراکنده بر روی سطح افق است. شکل ۲-۱۳ شدت تابش کل اندازه گیری شده توسط یک شید سنج افقی را برای یک روز ابری و یک روز صاف در تهران نشان می دهد. نمودار تابش در روز صاف نمایشگر آنستکه زمان طلوع خورشید قبل از ساعت ۷ بامداد بوده است، و ساعت غروب خورشید هم بعد از ساعت ۵ بعد از ظهر است. بعلاوه ملاحظه می شود که منحنی تغییرات شدت تابش تقریباً نیمه سینوسی است.

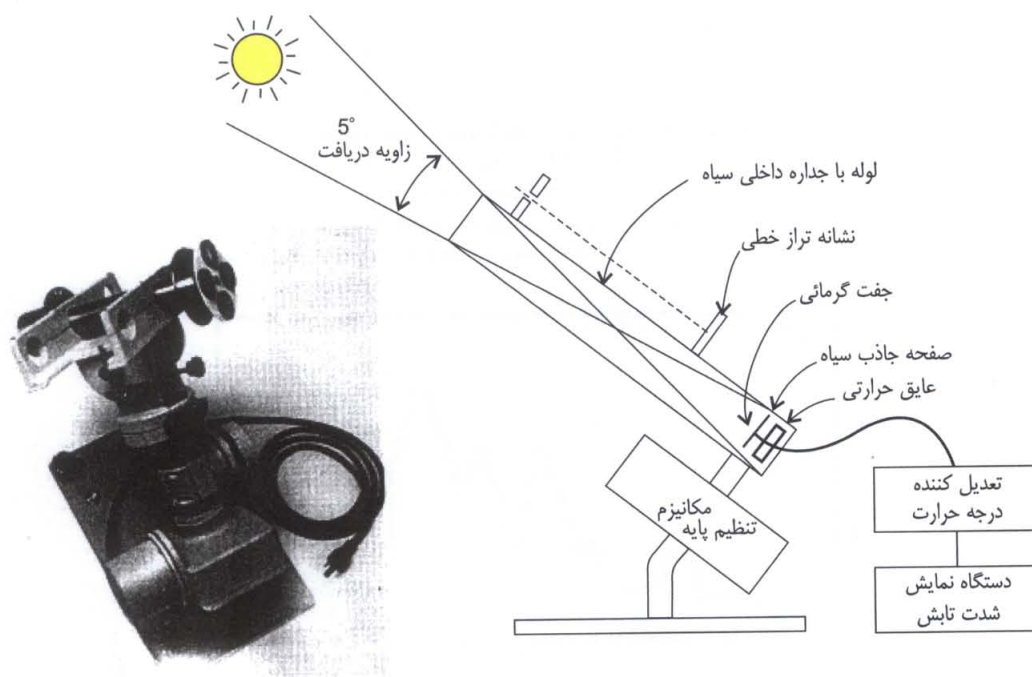


شکل ۲-۱۳: تغییرات شدت تابش کل بر روی سطح افق برای یک روز ابری و یک روز صاف در تهران [۱].

شید سنج را برای اندازه گیری شدت تابش کل بر روی سطوح شیبدار نیز میتوان استفاده نمود، هرچند بعضی از مطالعات از احتمال تغییر کالیبراسیون شید سنج در حالت شیبدار سخن گفته اند. بجای استفاده از سطح جاذب سیاه با یک سری ترموکوپل، استفاده از سلول فتولتائیک انتخاب مناسبی است. جریان اتصال کوتاه تولیدی توسط این سلولها متناسب با شدت تابش وارد بر سطح است. بعلاوه حساسیت دستگاه به تغییرات تابش زیاد است. البته دو عامل دقت پیرانومتر با سلول فتولتائیک (سلول سلیکون یا سلول خورشیدی) را محدود میکند. این دو عامل عبارتند از : ۱- عدم پاسخگوئی دقیق سلول سلیکون به اثر کسینوس ۲- سلول خورشیدی در مقابل طیف قرمز و نزدیک مادون قرمز حساس بوده، ولی به رنگ آبی و بنفش و امواج مادون قرمز با طول موجهای بلندتر از $1/2$ میکرون حساسیت ندارد. این مطلب در شکل ۲-۵ نشان داده شده است. با وجود این مشکلات، با سلول سلیکون شید سنج های دقیقی ساخته شده که بکمک ابزار پخش کننده و فیلتره کننده، از بازدهی قابل قبول برخوردارند.

۲-۳-۲ : شدت تابش مستقیم - آذر سنج

برای اندازه گیری شدت تابش مستقیم خورشید، از آذر سنج استفاده میشود. این دستگاه اندازه گیری که در شکل ۲-۱۴ نشان داده شده است، عمده‌تاً همان شید سنج است که توده جفت گرمائی آن در انتهای یک لوله بلند که بسمت خورشید نشانه رفته قرار دارد. لوله طوری طراحی میشود که نسبت منظر آن تابش از یک مخروط حدود ۵ درجه را دریافت کند. وجود مکانیزم دو محور متحرک دستگاه را قادر میسازد که قرص خورشید را در محدوده مخروط قابل قبول دستگاه قرار دهد.



شکل ۲-۱۴ : دستگاه آذر سنج برای تعیین اندازه گیری شدت تابش مستقیم خورشید بکار می رود.

اندازه زاویه ای قرص خورشید معادل 0.5° درجه است، در حالیکه اندازه زاویه دریافت شیدسنج 5° درجه است. در نتیجه مقدار تابشی که یک شیدسنج معمولی نشان می‌دهد نه تنها مربوط به تابش مستقیم رسیده از قرص خورشید، بلکه شامل تابش رسیده از هاله دور آن نیز می باشد.

۳-۳-۲: شدت تابش پراکنده

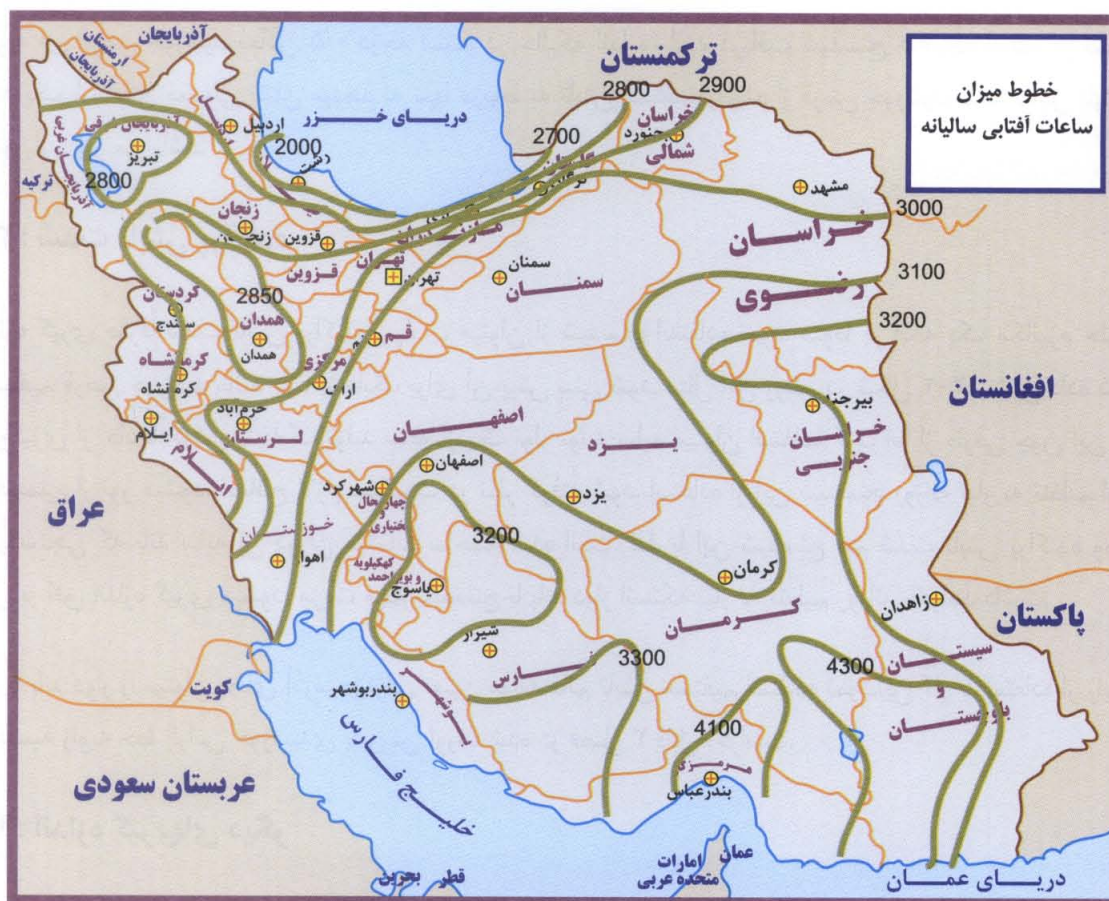
برای اندازه گیری صرفاً شدت تابش پراکنده $I_{d,h}$ ، میتوان از شیدسنج استفاده نمود، منوط بر آنکه یک مکانیزم جلوگیری از تابش مستقیم قرص خورشید مانند یک بشقابک برای آن پیش بینی شود. مثال این روش در شکل ۲-۱۲ نشان داده شده است. برای جلوگیری از جابجا کردن بشقابک تولید سایه از یک نوار تولید سایه میتوان استفاده کرد. اما از طرفی چون این نوار مانع رسیدن قسمتی از نور میشود، اصلاح لازم میبایست در نظر گرفته شود. استفاده از این شیدسنج روزانه نیاز به تنظیم اولیه دارد. اخیراً، شیدسنجی که باند سایه آن دوران مینماید ساخته شده است. لذا، با این شیدسنج هم شدت تابش پراکنده و هم شدت تابش کل بر افق اندازه گیری میشود. مزیت مهم شیدسنج با باند دوار آنستکه نیاز به تنظیم روزانه نخواهد داشت.

شیدسنج با باند دوار را میتوان بجای آذرسنج برای تعیین مولفه قائم تابش مستقیم استفاده نمود. این کار با استفاده از رابطه (۲-۹) و محاسبه زاویه خط الراس خورشیدی با روش آورده شده در فصل ۳ قابل اجراست.

۴-۳-۲: اندازه گیریهای دیگر

تعداد ساعات آفتابی در مراکز هواشناسی علاوه بر اندازه گیری مقدار تابش کل و تابش مستقیم خورشید که توسط شیدسنج و آذرسنج صورت میگیرد، جمع آوری اطلاعات مربوط به تعداد ساعات آفتابی و ارائه جداول مربوط به آن نیز متداول است. ساعات آفتابی عبارت از طول زمان تابش خورشید است که توسط ثبات تابش اندازه گیری میشود. این دستگاه اندازه گیری، شامل عدسی است که نور را بر روی یک مقوای حساس متمرکز نموده و مسیر نقطه تمرکز را میسوزاند. امروزه در اکثر نقاط حس کننده های نوری شروع وخاتمه آفتاب را ثبت میکنند. این دستگاه از نظر مهندسی دارای اهمیت کمتری است، زیرا با وجود مشخص نمودن آستانه تابش ولی شدت آن را معلوم نمی نماید. با وجود این سعی شده که این اطلاعات به شدت تابش متوسط روزانه یا ماهیانه مرتبط شوند، تا از آن برای برآورد انرژی رسیده استفاده نمود. شکل ۲-۱۵ خطوط میزان تعداد ساعات آفتابی سالیانه را در ایران نشان میدهد. ملاحظه میشود که تقریباً تعداد ساعات آفتابی سالیانه از سمت جنوب شرقی ایران به سمت شمال غربی آن کاهش می یابد.

پوشش ابر: منبع دیگر اطلاعات شدت تابش خورشید، با مشاهده و درج پیاپی میزان پوشش ابر است. زمان تواتر اینکار میبایست حداقل هر ساعت در ایستگاه هواشناسی باشد. از اطلاعات پوشش ابر همراه با اطلاعات دیگر هواشناسی نیز میتوان برای پیش بینی شدت تابش استفاده نمود، بدون آنکه نیاز به اندازه گیری شدت تابش لازم باشد. ایجاد ارتباط مشابه با استفاده از تصاویر اطلاعاتی ماهواره ای نیز امکان پذیر است. اخیراً سعی بر پیش بینی دقیق شدت تابش خورشید از اطلاعات انعکاس خورشید از زمین است.



شکل ۲-۱۵: خطوط میزان تعداد ساعات آفتابی سالانه را در ایران نشان می دهد.

۲-۴: مقدار انرژی خورشیدی در نقاط مختلف ایران: پایگاههای اطلاعاتی تابش خورشید

هنگام طراحی سیستم خورشیدی، بهترین روش برای پیش بینی بازده تولید انرژی، دانستن شدت تابش خورشید در محل نصب سیستم در طول عمر سیستم است. لذا سوابق اطلاعات هواشناسی دارای اهمیت زیادی برای پیش بینی عملکرد سیستم خواهد بود.

۲-۴-۱: اطلاعات هواشناسی

اطلاعات هواشناسی نمونه، از سوابق اطلاعاتی نزدیکترین ایستگاه هواشناسی برای ۱۲ ماه سال برای محل پروژه تهیه میشود. بنابراین اطلاعات مربوط به هر ماه میانگین اطلاعات موجود مربوط به آن ماه در ایستگاه هواشناسی در سالهای مختلف است. روش دیگر انتخاب، مقدار مربوط به ماهی است که مقدار متوسط را بین کلیه سالها داشته باشد. مثلاً برای تعیین مقدار تابش خورشید مربوط به ماه آبان، بین ۳۰ سال اطلاعات موجود برای یک محل مقدار انرژی خورشید مربوط به ماه آبان که مقدار تابش خورشید مقدار متوسط را دارد، بعنوان نمونه انتخاب می نماییم. به همین ترتیب این کار برای ماههای دیگر اجرا میشود.

سپس ممکنست به منظور یکنواخت کردن تغییرات بین ماهها یک تغییرات جزئی صورت گیرد. آنگاه براساس این اطلاعات میتوان تغییرات ساعتی را برای کلیه اطلاعات مربوط به تابش خورشید برای سال نمونه تولید نمود. در ایران چون ما اطلاعات ۳۰ ساله مربوط به تابش خورشید را فعلاً نداریم، لذا با استفاده از اطلاعات موجود در مورد تعداد ساعات آفتابی و پوشش ابر در ایستگاههای هواشناسی میتوانیم اطلاعات هواشناسی را برای سال نمونه هر یک از ایستگاهها تهیه کنیم.

۲-۴-۲: شاخص وضوح

اگر سطوح تابش خورشید برای ایستگاهها تهیه شود از آنها بکمک برون یابی ویا درون یابی میتوان اطلاعات مربوط به نقاط همجوار را بدست آورد. مراجع مربوط به این فصل میتواند برای این منظور مفید باشد. روش تهیه نقشه های خطوط طراز تابش خورشید و ارائه اطلاعات تابش خورشید در نقاط مختلف با استفاده از شاخص وضوح $\overline{K_T}$ که عبارت از نسبت تابش بر سطح افق در محل پروژه به تابش بر سطح افق خارج از جو در بالای محل پروژه است، صورت میگیرد.

$$\overline{K_T} = \frac{H_{t,h}}{H_{o,h}} \quad (۱۰-۲)$$

در حالیکه $H_{o,h}$ را میتوان از رابطه (۲-۴) بدست آورد.

۲-۴-۳: منبع اطلاعاتی تابش خورشید در اروپا ودنیا

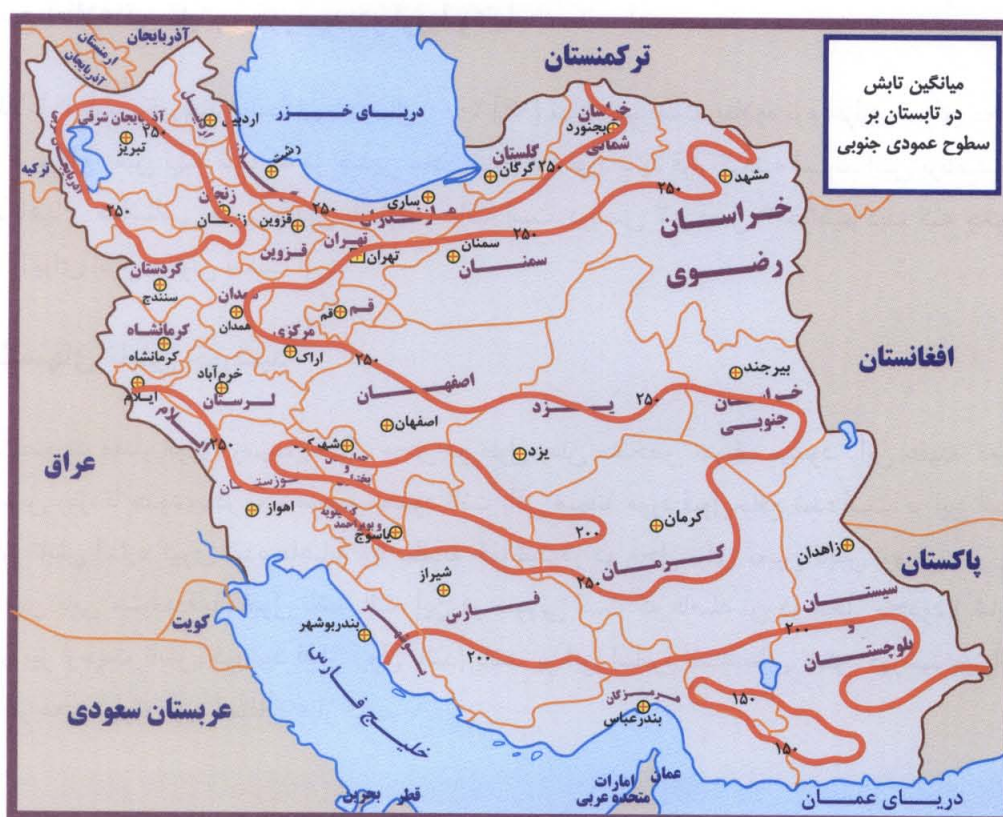
یک اطلس اطلاعات تابش خورشید توسط اروپا در سال ۲۰۰۰ [۱۶] تهیه شده است، بعلاوه نرم افزاری برای محاسبه ساعتی تابش خورشید بر سطح زمین تهیه شده که در چندین محل نتایج آن مورد تأیید قرار گرفته است. این برنامه با وارد کردن اطلاعات ایستگاههای هواشناسی جدید چندین بار توسعه یافته است. در فصل ۳ و فصل ۴ خواهیم دید، که چگونه اطلاعات تابش خورشید را برای ایران میتوان بدست آورد.

۲-۴-۴: اطلسهای تابش خورشید

تابش خورشید بصورت مقدار انرژی رسیده به یک محل در طول زمان مشخص تعریف میشود. این عقیده که تابش متوسط خورشید در چندین روز، تا حدودی در یک منطقه محدود ثابت باقی میماند مورد قبول واقع شده است. بر این اساس استفاده از اطلاعات مقدار تابش اندازه گیری شده ماهیانه ویا سالیانه خورشید در دو محل برای تعیین تابش خورشید در یک محل بین آنها با روش درون یابی میتواند قابل قبول باشد. البته این در صورتی است که فاصله آن دو محل محدود (شاید فاصله حتی صدها کیلو متر نیز از جهت تابش خورشید قابل قبول باشد) باشد. بر این اساس نقشه های تابش خورشید میتواند برای تعیین تابش خورشید در محل پروژه مورد استفاده قرار گیرد.



شکل ۲-۱۶: میانگین شدت تابش خورشید بر سطح افقی در تابستان $\text{Cal/cm}^2 \cdot \text{day}$



شکل ۲-۱۷: میانگین شدت تابش خورشید بر سطح عمودی جنوبی در تابستان $\text{Cal/cm}^2 \cdot \text{day}$



شکل ۲-۱۸: میانگین شدت تابش خورشید بر سطح افقی در زمستان $Cal/cm^2 \cdot day$



شکل ۲-۱۹: میانگین شدت تابش خورشید بر سطح عمودی جنوبی در زمستان $Cal/cm^2 \cdot day$

میانگین تابش خورشید بر سطح افقی و سطح عمودی جنوبی در تابستان و زمستان در ایران به ترتیب درشکلهای ۱۶-۲ الی ۱۹-۲ نشان داده شده است. بطوریکه ملاحظه میشود، مقادیر شدت تابش بر سطح افقی بیش از مقادیر شدت تابش بر سطح عمودی جنوبی در تابستان است، در حالیکه در زمستان مقادیر شدت تابش بر سطح عمودی جنوبی بیش از مقادیر شدت تابش بر سطح افقی است. این مطلب بعلاوه زاویه تابش خورشید در تابستان و زمستان در محدوده کشور ایران است.

۵-۲: مدلهای ریاضی تعیین شدت تابش خورشید

برای تعیین شدت تابش خورشید علاوه بر روشی که در فصل ۴ ملاحظه خواهد شد، از دو مدل ساده بشرح زیر نیز میتوان استفاده نمود.

۱-۵-۲: مدل ساده نیمه سینوسی

برای پیش بینی عملکرد یک سیستم انرژی خورشیدی تعیین یک مدل ساده برای شدت تابش خورشید در هوای صاف، تنها چیزی است که لازم است. مدل شدت تابش نیمه سینوسی یک چنین مدلی است. تنها اطلاعات لازم برای این مدل شامل: زمان طلوع و غروب آفتاب و بعلاوه میزان شدت تابش در ظهر خورشیدی است. در آنصورت به کمک رابطه (۱۱-۲) مقدار شدت تابش کل محاسبه میشود.

$$I = I_{noon} \sin \left[\frac{180 \times (t - t_{sunrise})}{t_{sunset} - t_{sunrise}} \right] \quad (W/m^2) \quad (11-2)$$

در این رابطه t زمان بر حسب ساعت (۲۴ ساعت). چون مدل مقدار منفی بعد از غروب ایجاد میکند، لذا پیش بینی لازم در برنامه کامپیوتری باید صورت گیرد.

مثال: با فرض طلوع آفتاب در ساعت ۶ و ساعت غروب آفتاب ۱۸ در تهران (منحنی شکل ۱۳-۲) باشد و بعلاوه مقدار شدت تابش کل در ظهر خورشیدی معادل ۹۰۰ وات بر متر مربع باشد. مقدار شدت تابش برای ساعت ۹ صبح در تهران برای آن روز توسط مدل نیمه سینوسی بصورت زیر قابل محاسبه است.

$$I = 900 \times \sin \left[\frac{180 \times (9 - 6)}{18 - 6} \right] = 636 \quad W/m^2$$

۲-۵-۲: مدل آسمان صاف

در آسمان صاف و هوای پاکیزه، شدت تابش مستقیم بر اساس افت عبور از اتمسفر بصورت رابطه (۱۲-۲) مطرح میشود [2].

$$I_{b,n} = I_0 \left[a_0 + a_1 e^{-\frac{1}{\cos \theta_z}} \right] \quad (W/m^2) \quad (12-2)$$

در این رابطه I_0 تابش در خارج از جو بوده و مقدار آن از رابطه (۱۲-۲) بدست می‌آید. θ_z نیز مقدار زاویه سمت خورشید (شرح θ_z در فصل ۳ ملاحظه شود) است.

مقدار آورده شده در کروشه بعنوان درصد عبور شدت تابش مستقیم در نظر گرفته میشود. پارامترهای a_0 ، a_1 و k به ترتیب برای هوای صاف (قابلیت دید تا ۲۳ کیلومتر) و هوای غبار آلود شهری (قابلیت دید تا ۵ کیلومتر) بصورت تابعی از ارتفاع محل مورد نظر توسط روابط (۱۳-۲) و (۱۴-۲) داده شده اند.

روابط تجربی داده شده برای پارامترهای فوق تا ارتفاع ۲۵۰۰ متری از سطح دریا مناسب هستند، و برای ارتفاع بیشتر میبایست مورد بازنگری قرار گیرند.

Estimation of Clear
Sky Radiation

$$\begin{aligned} a_0 &= 0.4237 - 0.00821(6 - A)^2 \\ a_1 &= 0.5055 + 0.00595(6.5 - A)^2 \\ k &= 0.2711 + 0.01858(2.5 - A)^2 \end{aligned}$$

(۱۳-۲)

درحالیکه A ارتفاع محل بر حسب کیلومتر است.

$$\begin{aligned} a_0 &= 0.2538 - 0.0063(6 - A)^2 \\ a_1 &= 0.7678 + 0.0010(6.5 - A)^2 \\ k &= 0.249 + 0.081(2.5 - A)^2 \end{aligned} \quad (14-2)$$

اگر بجای شدت تابش مستقیم، شدت تابش کل خورشید در افق مورد نظر باشد، مقدار شدت تابش پراکنده نیز باید برآورد شده و مطابق رابطه (۹-۲) با آن جمع شود. برای تعیین شدت تابش پراکنده [۱۸] از رابطه (۱۵-۲) میتوان استفاده کرد.

$$I_{d,h} = I_0 \cos \theta_z \left[0.2710 - 0.2939(a_0 + a_1 e^{-k \sec \theta_z}) \right] \quad (W/m^2) \quad (15-2)$$

عناصر مختلف در این رابطه مشابه رابطه (۱۲-۲) میباشد.

بطوریکه ملاحظه شد با دو روش ساده "نیمه سینوسی" و یا با روش ساده "آسمان صاف" میتوان مقدار تقریبی شدت تابش خورشید در هر ساعت را در یک روز با هوای صاف در هر نقطه، با داشتن پاره ای اطلاعات محاسبه نمود. بنابر این با استفاده از مقادیر متوسط ماهیانه شدت تابش کل در شهرهای مختلف ایران جدول شماره ۲-۱ ب، در ماههای مختلف سال، میتوان بطور تقریبی شدت تابش ساعتی را برآورد نمود. مثلاً برای روش نیمه سینوسی بکمک مقدار متوسط شدت تابش و زمان

تقریبی ۶ صبح برای طلوع و ۶ عصر برای غروب خورشید، مقدار شدت تابش در ظهر خورشیدی (نقطه ماگزیمم منحنی سینوسی) قابل محاسبه بوده و سپس با استفاده از رابطه (۲-۱۱) مقدار شدت تابش در هر ساعت از ۶ صبح تا ۶ بازظهر برای هر شهر ایران در هر ماه سال محاسبه میشود. این مقادیر برای برآوردهای مهندسی در طراحی سیستمهای ساده حرارتی خورشیدی کافی است.

جدول شماره ۲-۱ - الف: متوسط ماهیانه شدت تابش مستقیم بر سطح افقی در شهرهای مختلف ایران
($\text{Cal/cm}^2.\text{day}$) در ماههای مختلف سال

نام شهر	ژ	ف	م	آ	م	ج	ج	ا	س	ا	ن	د	متوسط سالانه
بندرانزلی	۶۷	۸۸	۱۱۳	۲۰۲	۳۱۶	۳۶۵	۳۸۴	۳۰۵	۲۲۵	۱۱۸	۸۲	۶۱	۱۹۴
رشت	۶۲	۶۹	۸۶	۱۷۷	۳۰۴	۳۰۱	۳۲۱	۲۵۰	۱۸۷	۱۳۲	۸۴	۵۹	۱۶۹
رامسر	۸۵	۱۰۷	۱۰۲	۱۸۰	۲۶۲	۲۹۷	۳۰۴	۲۲۶	۱۶۳	۱۱۵	۹۸	۷۰	۱۶۷
بایلسر	۱۰۰	۱۲۷	۱۴۵	۲۲۱	۳۲۲	۳۷۴	۳۶۲	۳۰۲	۲۲۳	۱۶۴	۱۱۸	۸۴	۲۱۷
خوی	۷۴	۱۱۳	۱۸۶	۲۵۲	۳۱۱	۳۹۳	۴۳۰	۴۳۴	۳۲۶	۲۱۸	۱۱۳	۷۳	۲۴۴
تبریز	۸۳	۱۳۷	۱۹۴	۲۶۳	۳۸۱	۵۲۷	۵۲۱	۴۷۲	۳۸۲	۲۴۰	۱۴۳	۸۳	۲۸۶
ارومیه	۷۴	۱۳۴	۱۷۸	۲۶۴	۳۷۵	۵۲۰	۵۳۰	۴۸۷	۳۷۶	۲۳۲	۱۳۵	۸۲	۲۸۲
سقز	۷۹	۱۳۷	۱۸۴	۲۵۴	۳۸۶	۴۸۸	۴۹۴	۴۶۸	۳۸۶	۲۸۳	۱۴۷	۷۸	۲۸۲
تهران	۱۲۸	۱۹۴	۲۳۰	۳۲۷	۴۰۳	۵۲۰	۵۰۸	۴۷۷	۳۹۵	۲۷۹	۱۷۷	۱۱۸	۳۱۳
همدان	۹۸	۱۴۷	۲۱۳	۲۷۱	۳۸۰	۵۲۸	۵۰۸	۴۶۸	۳۷۵	۲۶۲	۱۵۳	۱۰۰	۲۹۲
کرمانشاه	۱۰۳	۱۴۹	۲۲۳	۲۸۶	۳۹۶	۵۴۹	۵۳۵	۴۸۹	۴۰۰	۲۷۰	۱۵۸	۱۰۶	۳۰۵
کاشان	۱۰۸	۱۸۰	۲۱۹	۲۸۴	۳۵۱	۳۷۶	۳۹۸	۴۱۵	۳۵۹	۲۳۷	۱۵۲	۱۱۷	۲۶۶
خرم آباد	۱۳۰	۱۹۰	۲۳۵	۲۸۷	۴۰۸	۵۱۷	۵۲۰	۴۷۳	۳۹۸	۳۰۰	۱۷۱	۱۱۵	۳۱۴
شهرکرد	۱۳۹	۲۱۰	۲۷۲	۳۰۹	۴۴۸	۵۱۷	۴۸۹	۴۸۳	۴۲۴	۳۲۳	۱۹۸	۱۵۴	۳۳۰
شاهرود	۱۲۸	۱۸۶	۲۴۱	۳۱۸	۴۰۳	۴۹۵	۴۹۱	۴۸۴	۳۸۸	۲۷۶	۱۷۹	۱۱۸	۳۱۰
مشهد	۱۲۱	۱۵۶	۱۷۱	۲۷۲	۴۰۹	۵۳۶	۵۲۸	۵۰۳	۳۹۷	۲۶۶	۱۷۲	۱۱۰	۳۰۳
سیزوار	۱۱۸	۱۸۵	۲۱۳	۳۰۷	۴۱۹	۴۹۳	۵۰۵	۴۸۶	۳۹۳	۲۸۳	۱۷۶	۱۱۳	۳۰۸
سمنان	۱۳۹	۱۹۳	۲۳۱	۳۱۰	۳۹۸	۴۹۵	۵۰۱	۴۷۸	۳۹۲	۲۸۵	۱۸۸	۱۲۴	۳۱۲
تربت حیدریه	۱۲۴	۱۶۲	۲۰۳	۳۲۹	۴۱۸	۵۲۳	۵۳۳	۵۰۸	۴۰۳	۲۸۹	۱۹۰	۱۱۰	۳۱۶
طیس	۱۵۸	۲۱۳	۲۷۵	۳۳۷	۴۴۱	۵۱۱	۵۱۰	۴۷۷	۴۲۰	۳۲۶	۲۰۰	۱۳۹	۳۳۴
بیرجند	۱۵۸	۲۰۹	۲۶۷	۳۴۰	۴۴۲	۵۱۹	۵۳۲	۴۹۴	۴۳۲	۳۳۰	۲۰۶	۱۵۸	۳۴۱
اصفهان	۱۷۷	۲۳۲	۳۱۲	۳۵۹	۴۲۵	۵۴۸	۵۱۴	۴۸۸	۴۲۴	۳۲۷	۲۰۸	۱۵۸	۳۴۸
یزد	۱۵۳	۲۲۸	۲۸۰	۳۱۹	۴۱۳	۴۷۳	۴۸۹	۴۹۹	۴۳۰	۳۳۶	۲۱۵	۱۵۷	۳۳۳
اهواز	۱۴۶	۲۰۰	۲۴۳	۳۰۱	۳۸۶	۴۷۵	۴۷۲	۴۶۷	۴۱۵	۲۹۶	۱۹۴	۱۶۴	۳۱۳
زابل	۱۶۵	۲۲۴	۲۷۶	۳۶۳	۴۵۲	۵۱۴	۵۰۰	۴۷۴	۴۱۵	۳۳۶	۲۳۱	۱۵۹	۳۴۲
آبادان	۱۶۴	۲۲۸	۲۹۵	۳۳۵	۴۰۴	۴۸۵	۴۷۰	۴۵۸	۴۱۴	۳۱۵	۱۸۸	۱۵۰	۳۲۵
کرمان	۱۶۸	۲۳۲	۲۹۶	۳۲۱	۴۳۵	۴۹۴	۴۸۸	۴۷۳	۴۱۱	۳۱۹	۲۳۸	۱۷۵	۳۳۷
شیراز	۱۸۷	۲۵۴	۳۰۴	۳۵۲	۴۸۸	۵۵۴	۵۲۰	۴۸۶	۴۴۵	۳۶۱	۲۴۰	۱۸۵	۳۶۵
زاهدان	۱۶۵	۲۳۳	۲۷۹	۳۳۶	۴۲۹	۴۷۸	۴۷۹	۴۷۷	۴۲۵	۳۲۲	۲۴۴	۱۸۳	۳۳۸
بم	۲۰۵	۲۵۰	۳۱۰	۳۶۷	۴۷۲	۵۱۱	۵۰۱	۴۸۷	۴۳۴	۳۶۶	۲۶۷	۲۱۷	۳۶۶
پوشهر	۲۰۵	۲۳۰	۳۱۱	۳۶۱	۴۶۴	۵۲۹	۵۰۵	۴۷۷	۴۳۶	۳۳۹	۲۴۰	۱۸۰	۳۵۷
بندرعباس	۲۱۰	۲۷۱	۳۱۱	۳۶۹	۴۹۰	۴۸۴	۴۰۸	۴۱۷	۳۹۸	۳۵۹	۲۷۴	۲۱۶	۳۵۱
ایرانشهر	۲۳۰	۲۷۳	۳۲۹	۳۹۰	۴۷۸	۴۴۶	۴۰۵	۴۳۶	۴۳۱	۳۸۲	۳۰۱	۲۳۵	۳۶۱
چابهار	۲۴۱	۳۰۴	۳۶۳	۴۳۱	۴۹۲	۴۷۷	۴۰۰	۳۷۳	۳۸۲	۳۷۶	۲۹۷	۲۴۳	۳۶۲

جدول شماره ۲-۱- ب : متوسط ماهیانه شدت تابش کل بر سطح افقی در شهرهای مختلف ایران
(Cal/cm².day) در ماههای مختلف سال

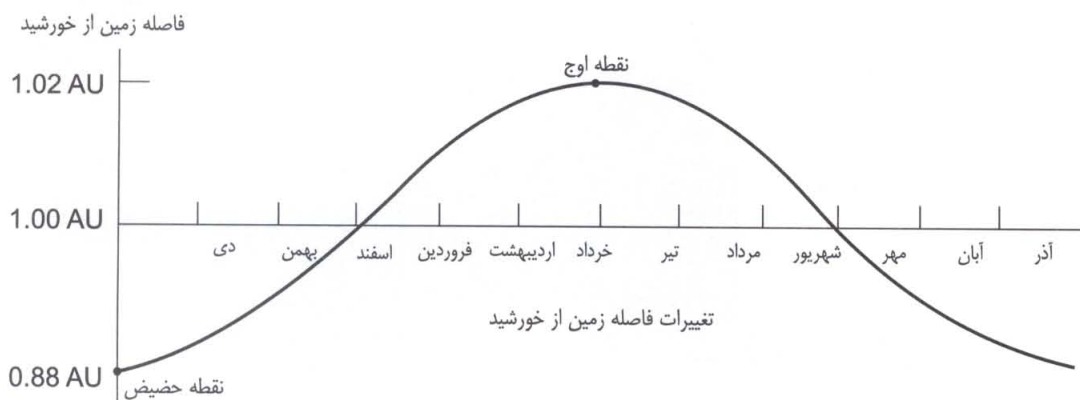
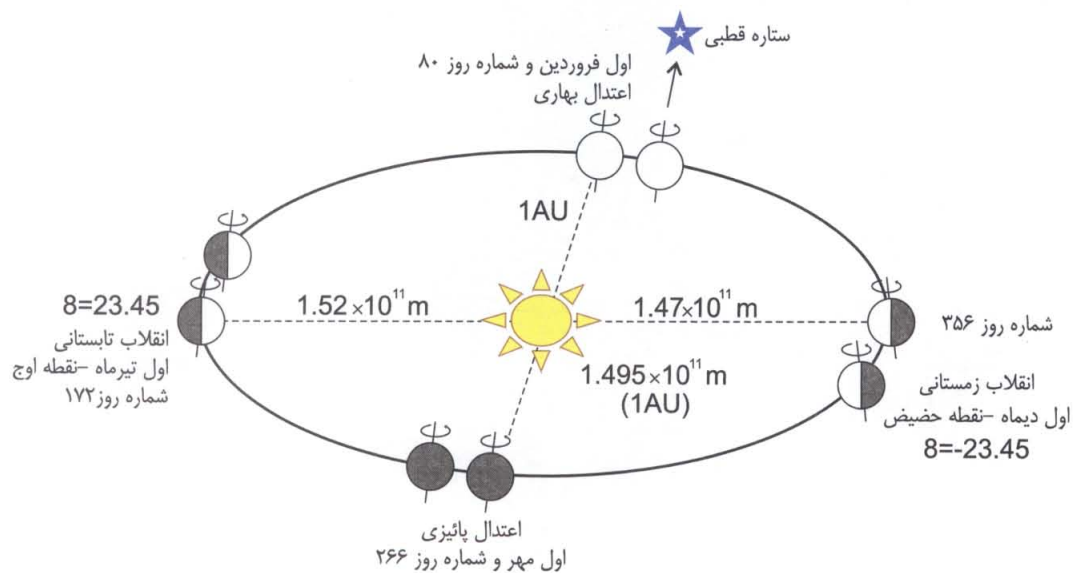
نام شهر	ز	ف	م	آ	م	ج	ج	ا	س	ا	ن	د	متوسط سالیانه
بندر انزلی	۱۷۱	۲۱۴	۲۶۵	۳۷۱	۴۸۶	۵۳۹	۵۴۹	۴۶۲	۳۶۶	۲۵۰	۱۹۰	۱۶۰	۳۳۵
رشت	۱۶۹	۲۰۳	۲۴۷	۳۵۳	۴۷۹	۴۸۹	۵۰۰	۴۲۳	۳۳۸	۲۶۰	۱۹۱	۱۵۹	۳۱۸
رامسر	۱۸۲	۲۲۸	۲۵۹	۳۵۵	۴۴۷	۴۸۶	۴۸۶	۴۰۵	۳۲۲	۲۵۰	۲۰۱	۱۶۷	۳۱۶
پایلسر	۱۸۹	۲۴۱	۲۹۰	۳۸۷	۴۹۲	۵۴۷	۵۳۱	۴۶۳	۳۶۶	۲۸۳	۲۱۳	۱۷۳	۳۴۸
خوی	۱۷۱	۲۲۸	۳۱۷	۴۰۶	۴۸۲	۵۶۲	۵۸۵	۵۵۹	۴۲۸	۳۱۵	۲۰۶	۱۶۲	۳۶۹
نیریز	۱۷۶	۲۴۳	۳۲۳	۴۱۴	۵۳۶	۶۶۴	۶۵۵	۵۸۸	۴۷۹	۳۲۹	۲۲۳	۱۶۷	۴۰۰
ارومیه	۱۷۴	۲۴۳	۳۱۱	۴۱۸	۵۳۱	۶۵۸	۶۶۱	۶۰۰	۴۷۶	۳۲۷	۲۱۹	۱۷۰	۳۹۹
سقز	۱۸۰	۲۴۹	۳۱۸	۴۱۱	۵۴۱	۶۳۵	۶۳۲	۵۸۹	۴۸۵	۳۶۵	۲۳۲	۱۷۲	۴۰۱
تهران	۲۱۰	۲۸۸	۳۵۲	۴۶۷	۵۵۴	۶۵۹	۶۴۵	۵۹۷	۴۹۴	۳۶۵	۲۵۲	۱۹۵	۴۱۳
همدان	۱۹۵	۲۵۷	۳۴۰	۴۲۵	۵۳۶	۶۶۴	۶۴۵	۵۹۰	۴۸۰	۳۵۵	۲۴۱	۱۸۸	۴۱۰
کرماتشاه	۲۰۲	۲۶۱	۳۵۰	۴۳۷	۵۲۸	۶۷۹	۶۶۴	۶۰۶	۵۰۰	۳۶۴	۲۴۵	۱۹۵	۴۲۱
کاشان	۲۰۶	۲۸۳	۳۴۸	۴۳۶	۵۱۳	۵۴۹	۵۵۸	۵۵۰	۴۷۱	۳۳۹	۲۳۳	۲۰۱	۳۹۱
خرم آباد	۲۱۹	۳۹۱	۳۶۰	۴۳۸	۵۶۰	۶۷۲	۶۵۲	۵۹۴	۵۰۰	۳۸۴	۲۵۷	۲۰۲	۴۲۷
شهرکرد	۲۲۹	۳۰۹	۳۹۰	۴۵۶	۵۹۰	۶۵۵	۶۳۱	۵۲۲	۴۰۵	۲۷۹	۲۲۹	۲۳۰	۴۴۲
شاهرود	۲۰۶	۲۸۰	۳۵۸	۴۶۰	۵۵۴	۶۴۱	۶۲۹	۶۰۲	۴۸۷	۳۶۰	۲۵۰	۱۹۱	۴۱۸
مشهد	۲۰۲	۲۶۱	۳۰۹	۴۲۵	۵۵۹	۶۷۲	۶۵۷	۶۱۶	۴۹۳	۳۵۴	۲۴۶	۱۸۸	۴۱۵
سبزوار	۲۰۱	۲۸۰	۳۳۹	۴۵۱	۵۶۷	۶۳۹	۶۴۰	۶۰۳	۴۹۱	۳۶۶	۲۴۹	۱۸۹	۴۱۸
سمنان	۲۱۶	۲۸۸	۳۵۳	۴۵۴	۵۵۰	۶۳۹	۶۴۰	۵۹۷	۴۹۲	۳۶۹	۲۵۹	۲۰۴	۴۲۲
تربت حیدریه	۲۰۳	۲۶۶	۳۳۳	۴۶۸	۵۶۵	۶۶۰	۶۶۴	۶۲۱	۵۰۰	۳۷۴	۲۶۲	۱۹۳	۴۲۶
طبرس	۲۳۴	۳۰۶	۳۸۹	۴۷۶	۵۸۶	۶۵۲	۶۴۴	۵۹۷	۵۱۶	۴۰۲	۲۷۴	۲۱۵	۴۴۱
بیرجند	۲۲۸	۳۰۶	۳۸۵	۴۷۸	۵۸۵	۶۵۸	۶۶۴	۶۱۰	۵۲۸	۴۰۷	۲۸۱	۲۲۹	۴۴۷
اصفهان	۲۵۱	۳۳۳	۱۱۸	۴۹۳	۵۷۳	۶۸۰	۶۵۰	۶۰۵	۵۲۱	۴۰۶	۲۸۳	۲۳۰	۴۵۳
یزد	۲۴۰	۳۳۳	۳۹۶	۴۶۴	۵۶۳	۶۲۰	۶۲۰	۶۱۸	۵۲۷	۴۱۵	۲۹۱	۲۳۳	۴۴۳
اهواز	۲۳۸	۳۰۶	۳۷۱	۴۵۰	۵۴۲	۶۲۱	۶۱۶	۵۹۳	۵۱۷	۳۸۹	۲۸۱	۲۴۱	۴۳۰
زابل	۲۵۱	۳۳۳	۳۹۶	۴۹۸	۵۹۲	۶۵۱	۶۳۷	۵۹۸	۵۱۷	۴۱۸	۳۰۶	۲۳۱	۴۵۲
آبادان	۲۵۳	۳۲۸	۴۱۱	۴۷۷	۵۵۵	۶۳۱	۶۱۴	۵۸۷	۵۱۸	۴۰۶	۲۷۸	۲۳۵	۴۴۱
کرمان	۲۵۴	۳۳۲	۴۱۲	۴۶۹	۵۷۹	۶۳۸	۶۲۷	۵۹۸	۵۱۶	۴۰۹	۳۱۱	۲۵۰	۴۵۰
شیراز	۲۶۹	۳۴۶	۴۲۰	۴۹۳	۶۲۳	۶۸۳	۶۵۵	۶۰۸	۵۴۲	۴۴۱	۳۱۶	۲۶۰	۴۷۱
زاهدان	۲۵۶	۳۳۲	۴۰۱	۴۸۱	۵۷۷	۶۲۴	۶۲۳	۶۰۱	۵۲۷	۴۲۰	۳۱۹	۲۵۹	۴۵۲
بم	۲۸۲	۳۴۵	۴۲۵	۵۰۶	۶۱۰	۶۴۹	۶۳۹	۶۰۹	۵۳۹	۴۴۶	۳۳۶	۲۸۲	۴۷۲
بوشهر	۲۸۳	۳۳۱	۴۲۶	۵۰۱	۶۰۴	۶۶۳	۶۴۲	۶۰۱	۵۴۰	۴۳۵	۳۱۸	۲۶۰	۴۶۷
بندرعباس	۲۹۵	۳۶۶	۴۳۰	۵۰۸	۶۲۲	۶۲۸	۶۵۵	۵۵۴	۵۱۵	۴۴۷	۳۴۹	۲۸۹	۴۶۴
ایران شهر	۳۰۷	۳۶۸	۴۴۳	۵۲۴	۶۱۳	۵۹۹	۵۶۱	۵۶۹	۵۳۹	۴۶۴	۳۶۷	۳۰۰	۴۷۱
چابهار	۳۲۱	۳۹۷	۴۷۳	۵۵۷	۶۲۶	۵۸۸	۵۵۸	۵۲۳	۵۰۵	۴۶۶	۳۷۰	۳۱۵	۴۷۵

فصل ۳: محل خورشید

هدف از این فصل ارائه روابط لازم و کافی برای محاسبه محل دقیق خورشید است، با این روابط طراح قادر است موقعیت خورشید را در هر لحظه در طول سال پیش بینی نماید.

۳-۱: زوایای هندسی خورشید نسبت به زمین

زمین به دور خورشید بر روی یک مدار بیضوی می‌گردد، و همانطور که در فصل ۲ گفته شد، فاصله آن از خورشید معادل $1.496 \times 10^{11} m$ است، که یک واحد نجومی ($1.000 AU$) خوانده می‌شود. زمین در اول تیر و یا اول تابستان دورترین فاصله ($1.52 \times 10^{11} m$) را از خورشید دارد، در این حالت خورشید در نقطه اوج نسبت به زمین قرار گرفته است. کوتاهترین فاصله بین زمین و خورشید در نقطه حضیض ۱۲ دیماه (یعنی شروع زمستان) است، که در این حالت فاصله زمین و خورشید $1.47 \times 10^{11} m$ است. در شکل ۳-۱ این فواصل نشان داده شده است. فصول نشان داده شده در شکل مربوط به نیمکره شمالی زمین که ایران در آن قرار گرفته می‌باشد.



شکل ۳-۱: تغییرات فاصله زمین و خورشید در صفحه مدار گردش زمین بدور خورشید

زمین هر ۲۴ ساعت یکبار بدور محور خود گردش (حرکت وضعی) میکند. این محور زاویه $23/45^\circ$ درجه با خط عمود بر صفحه مدار گردش (حرکت انتقالی) آن حول خورشید میسازد. محور زمین در حرکت انتقالی خود به دور خورشید همواره در یک محدوده قوس 45° دقیقه از امتداد ستاره قطبی قرار دارد. انحراف محور زمین علت پدید آمدن فصول در زمین در هنگام گردش آن بدور خورشید است.

۲-۳: زمان

گذشت زمان با گردش زمین حول محور آن اندازه گیری می شود. امروزه مقیاس اندازه گیری زمان، زمان بین المللی نام دارد و مبنای اندازه گیری آن نصف النهار اصلی (نصف النهارگذرنده از گرینویچ) است. این زمان ۲۴ ساعت و بر اساس زمان میانگین شبانه روز است، صفر شروع این زمان در نیمه شب قرار دارد. برای تعیین زمان مربوط به هر نقطه طول جغرافیائی آن نقطه لازم است. شکل ۲-۳ طول جغرافیائی مربوط به شرقی ترین و غربی ترین نقطه در ایران را نشان می دهد.



شکل ۲-۳: خطوط طول و عرض جغرافیائی نشان داده شده در سطح کشور

شبانه روز میانگین خورشیدی بر اساس متوسط شبانه روز ظاهری خورشیدی محاسبه می شود. شبانه روز خورشیدی حدود ۴ دقیقه از شبانه روز نجومی طولانی تر است. زمان یک شبانه روز نجومی مساوی ۲۳ ساعت و ۵۶ دقیقه و ۴/۰۹۰۵۳ ثانیه شبانه روز میانگین است. بنابراین از طرف دیگر یک ثانیه میانگین مساوی ۱/۰۰۲۷۳۷۹۰۹ ثانیه نجومی است (در اینجا از بحث در مورد تغییرات بسیار جزئی گردش وضعی زمین ناشی از بیضوی بودن مسیر گردش انتقالی آن در اینجا فعلاً صرف نظر می شود).

۳-۲-۱: زاویه ساعت (ω)

برای بررسی گردش زمین حول محورش، از مفهوم زاویه ساعت استفاده میشود. همانطور که در شکل ۳-۳ نشان داده شده، زاویه ساعت فاصله زاویه ای بین نصف النهار ناظر و نصف النهاری است که صفحه اش از خورشید میگذرد. با این تعریف مبنای زاویه ساعت در ظهر خورشیدی (یعنی هنگامی که زاویه ساعت صفر است، خورشید درست در بالای سرنایز قرار دارد) است. در این زمان گفته میشود که خورشید کاملاً در جنوب (برای نیمکره شمالی) و یا کاملاً در شمال (برای نیمکره جنوبی) قرار گرفته است، در این حالت صفحه نصف النهار ناظر از خورشید میگذرد. زاویه ساعت هر ساعت ۱۵ درجه افزایش می یابد.

۳-۲-۲: زمان واقعی خورشید

زمان واقعی خورشید براساس زمان ۲۴ ساعت بوده، و ساعت ۱۲ زمانی است که خورشید دقیقاً در سمت جنوب است. زمان خورشیدی برای تعیین امتداد اشعه خورشید در یک نقطه دلخواه زمین بکار گرفته میشود. زمان خورشیدی بستگی به طول جغرافیائی محل پروژه داشته و متفاوت با ساعت محلی است. برای طراح سیستم خورشیدی این زمان دارای اهمیت است. این زمان که بر اساس دیدن خورشید توسط ناظر زمینی است بنام زمان واقعی خورشید می نامیم.

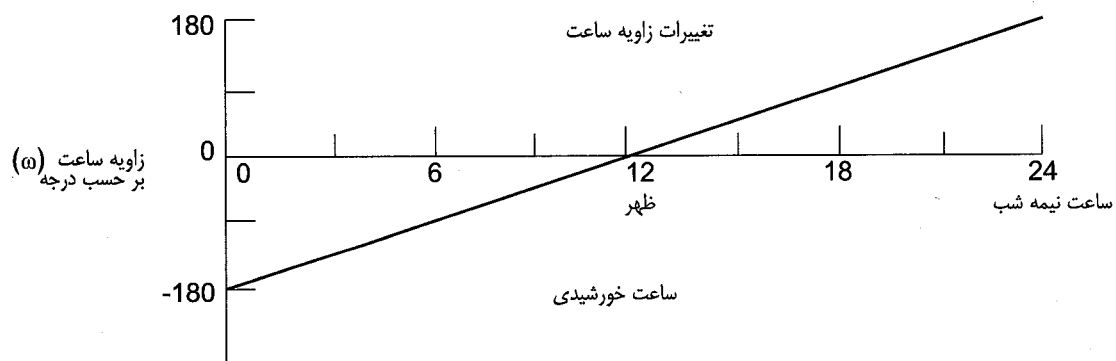
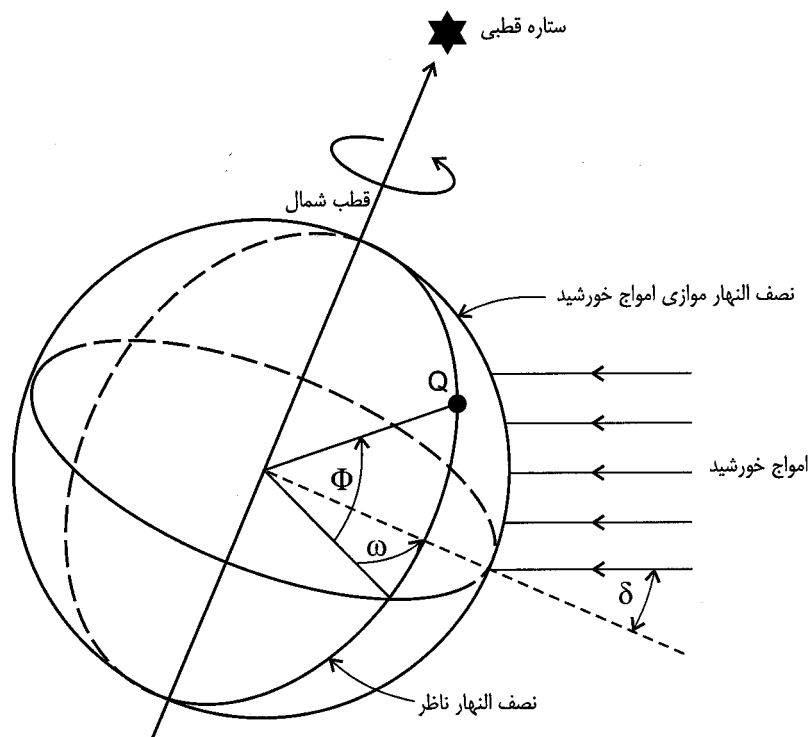
زمان واقعی خورشیدی برای تعریف گردش وضعی زمین نسبت به خورشید بکار میرود. عبارتی که برای محاسبه زاویه ساعت از روی زمان واقعی خورشیدی بکار میرود، عبارتست از:

$$\omega = 15(t_s - 12) \quad \text{درجه} \quad (۱-۳)$$

در حالیکه در این رابطه t_s زمان واقعی خورشیدی برحسب ساعت است.

مثلاً برای ساعت ۳ بعد از ظهر خورشیدی، زمان واقعی خورشیدی ۱۵ بوده و زاویه ساعت مقدار ۴۵ درجه را دارد. وقتی ۲ ساعت و ۲۰ دقیقه به ظهر باقی است، ساعت ۹ و ۴۰ دقیقه خورشیدی بوده زاویه ساعت ۳۲۵ درجه است.

برای طراحی سیستم خورشیدی در اکثر مواقع ساعت محلی اهمیت نداشته، و لازم است که اطلاعات بر حسب زمان واقعی خورشید ارائه شود. با وجود این در پاره ای موارد مانند: تعیین انرژی مورد نیاز، تعیین بازدهی سیستم، تعیین جنوب واقعی، و روشهای پیگیری خورشید، اطلاعات دقیق در مورد اختلاف بین زمان خورشیدی و زمان محلی نیز لازم است.



شکل ۳-۳: زاویه ساعت (ω) به زاویه بین نصف النهار موازی امواج خورشید و نصف النهار ناظر گفته می شود.

۳-۲-۳ - رابطه زمان

اختلاف بین زمان میانگین خورشید و زمان واقعی برای روزهای مختلف در شکل ۳-۳ نشان داده شده است. این اختلاف رابطه زمان (EOT) نامیده میشود. از آنجائیکه زمان خورشیدی بر اساس قرار گیری خورشید در ساعت ۱۲ ظهر است، جمع اختلاف بین زمان میانگین خورشیدی و زمان واقعی به ± ۱۷ دقیقه بالغ میشود که نسبت به زمان میانگین در گردش سالانه است.

مقدار دقت لازم در تعیین رابطه زمان به هدف طراح در تعیین بازدهی سیستم، و یا تعیین روابط پیگیری خورشید بستگی دارد. با رابطه (۲-۳) مقدار تقریبی زمان برحسب دقیقه با دقت ۳۰ ثانیه در ساعات روز محاسبه می شود [۱۹].

$$EOT = 0.258 \cos x - 7.416 \sin x - 3.648 \cos 2x - 9.228 \sin 2x \quad (۲-۳) \text{ دقیقه}$$

در این رابطه زاویه x برحسب تابعی از شماره روز N عبارتست از:

$$x = \frac{360(N-1)}{365.24} \quad \text{درجه} \quad (۳-۳)$$

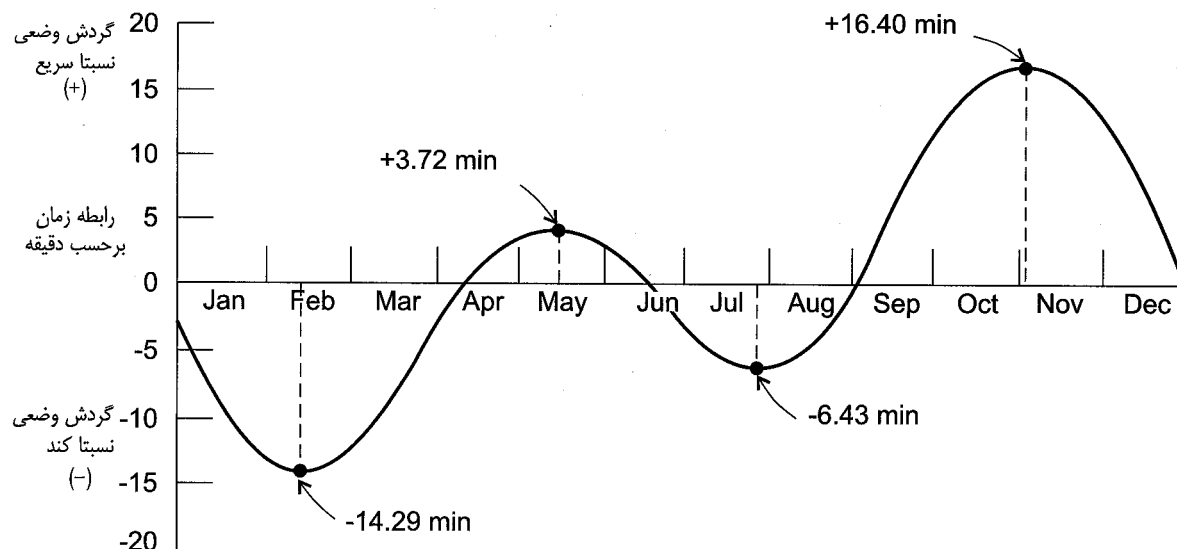
روزهای مهم سال از نظر طراح سیستم انرژی خورشیدی در جدول ۳-۱ نشان داده شده است. جدول ۳-۲ نیز روابط لازم برای تعیین سریع مقدار شماره روز N ، برای روز دلخواه از همراه شمسی را نشان می دهد. البته میتوان ضرایب رابطه (۲-۳) که یک رابطه محاسباتی است، را تغییر داد، بطوریکه شماره روز از اول فروردین شروع شود، ولی فعلاً در اینجا از این کار صرفنظر شده و صرفاً به تعیین روابطی برای تبدیل شماره روز از ماههای شمسی به ماههای میلادی قناعت میشود. این مورد در جدول ۳-۲ نشان داده شده است.

جدول ۳-۱: روزهای مهم سال از نظر انرژی خورشیدی

تغییر وضعیت خورشیدی	زمان	شماره روز
شروع اعتدال بهاری	اول فروردین	۸۰
شروع انقلاب تابستان	اول تیر	۱۷۳
شروع اعتدال پاییزی	اول مهر	۲۶۶
شروع انقلاب زمستان	اول دی	۳۵۶

جدول ۳-۲: روابط تبدیل روز از ماههای شمسی به شماره روز در ماههای میلادی

نام ماه شمسی	شماره روز N سال شمسی	نام ماه میلادی	شماره روز N سال میلادی	نکات مهم
دی (از روز ۱۱)	$d - ۱۰$	ژانویه	d	
بهمن	$d + ۲۰$			
اسفند	$d + ۵۰$	فوریه	$d + ۳۱$	
فروردین	$d + ۷۹$	مارچ	$d + ۵۹$	در سال کبیسه با اضافه ۱ می شود
اردیبهشت	$d + ۱۱۰$	آوریل	$d + ۹۰$	در سال کبیسه با اضافه ۱ می شود
خرداد	$d + ۱۴۱$	می	$d + ۱۲۰$	در سال کبیسه با اضافه ۱ می شود
تیر	$d + ۱۷۲$	جون	$d + ۱۵۱$	در سال کبیسه با اضافه ۱ می شود
مرداد	$d + ۲۰۳$	جولای	$d + ۱۸۱$	در سال کبیسه با اضافه ۱ می شود
شهریور	$d + ۲۳۴$	اگوست	$d + ۲۱۲$	در سال کبیسه با اضافه ۱ می شود
مهر	$d + ۲۶۵$	سپتامبر	$d + ۲۴۳$	در سال کبیسه با اضافه ۱ می شود
آبان	$d + ۲۹۵$	اکتبر	$d + ۲۷۳$	در سال کبیسه با اضافه ۱ می شود
آذر	$d + ۳۲۵$	نوامبر	$d + ۳۰۴$	در سال کبیسه با اضافه ۱ می شود
دی (تا روز ۱۰)	$d + ۳۵۵$	دسامبر	$d + ۳۳۴$	در سال کبیسه با اضافه ۱ می شود



شکل ۳-۴: نمودار تغییرات مقدار رابطه زمان (EOT) برای روزهای مختلف سال-این مقدار مساوی اختلاف بین زمان واقعی خورشید و زمان میانگین خورشید است.

مثال: روز ۲۲ بهمن، مشابه روز ۱۱ فوریه، شماره این روز ۴۲ است. بنابراین x از رابطه ۳-۳ مساوی ۴۰/۴۱ درجه است، و در نتیجه مقدار رابطه زمان (۴-۳) معادل ۱۴/۳۵ دقیقه است. یعنی در این روز تفاوت بین زمان میانگین خورشید و زمان واقعی خورشید بیش از ۱۴ دقیقه است و خورشید از ساعت محلی به مقدار یاد شده عقب است. لازم به ذکر است که برای استفاده از روابط ۲-۳ و ۳-۳ شماره روز در مورد ماههای شمسی با شبیه سازی از شماره روز در سال میلادی ساخته شده است، که البته این شماره، شماره واقعی روز سال شمسی نیست.

در اکثر مواقع، برای کنترل دقیق پیگیری خورشید توسط گردآورهای متمرکزکننده، تعیین دقیق تر زاویه مورد نیاز است. در این صورت بجای رابطه ۲-۳ برای رابطه زمان از رابطه ۴-۳، میتوان استفاده نمود [۲۰]، که مقدار خطای متوسط اظهار شده آن ۰/۶۳ ثانیه است. مقدار (EOT) برحسب دقیقه بوده و هنگامی که مثبت باشد زمان واقعی خورشید جلوتر از زمان میانگین خورشید بوده، و در صورتیکه منفی باشد زمان واقعی خورشید عقب تر از زمان میانگین خورشید است.

$$EOT = 60 \sum_{k=0}^5 \left\{ A_k \cos \left[\frac{360kn}{365.25} \right] + B_k \sin \left[\frac{360kn}{365.25} \right] \right\} \quad (4-3) \text{ دقیقه}$$

در این رابطه n تعداد روزها در هر چهار سال دوره کبیسه است، $n = 1$ مربوط به اول ژانویه سال اول و $n = 1461$ مربوط به روز ۳۱ دسامبر سال چهارم یک دوره کبیسه است. مقدار ضرایب A_k و B_k در جدول ۳-۳ داده شده است.

جدول ۳-۳: ضرایب آورده شده در رابطه: ۳-۴

$B_k (hr)$	$A_k (hr)$	k
0	2.0870×10^{-4}	0
-1.2229×10^{-1}	9.2869×10^{-3}	1
-1.5698×10^{-1}	-5.2258×10^{-2}	2
-5.1602×10^{-3}	-1.3077×10^{-3}	3
-2.9823×10^{-3}	-2.1867×10^{-3}	4
-2.3463×10^{-4}	-1.5100×10^{-4}	5

۳-۲-۴- تبدیل زمان

تبدیل بین زمان واقعی خورشید، t_s و ساعت محلی (LCT) نیاز به اطلاع از مختصات جغرافیائی محل، شماره روز سال، و موارد استفاده شده برای تنظیم ساعت محلی دارد. رابطه حاکم بر این تبدیل بصورت زیر است:

$$LCT = t_s - \frac{EOT}{60} + LC + D \quad \text{ساعت} \quad (۵-۳)$$

در این رابطه (EOT) رابطه زمان بر حسب دقیقه و LC تصحیح طول جغرافیائی بوده و مقدار آن عبارتست از:

$$LC = \{ (\text{طول جغرافیائی استاندارد زمان در ایران}) - (\text{طول جغرافیائی محل}) \} / ۱۵ \quad \text{ساعت} \quad (۶-۳)$$

مقدار D در رابطه (۵-۳) مساوی ۱ ساعت است اگر محل در منطقه ای باشد که یکساعت زمان صرفه جوئی روزانه منطقه‌ای اعمال شود، در غیر اینصورت مقدار آن صفر خواهد بود.

مثال ۳-۲: ساعت واقعی خورشیدی را برای ساعت استاندارد محلی ۱۰ در مشهد در روز ۱۱ خرداد ماه (اول ژوئن) محاسبه میکنیم.

حل: بنابر مفروضات مسئله:

$$N = ۱۵۲, \text{ درجه } ۵۹/۶۳ = \text{طول جغرافیائی مشهد},$$

درجه $۵۲/۵ = ۳/۵ \times ۱۵ = \text{طول جغرافیائی استاندارد در ایران است. بنابراین با استفاده از روابط (۲-۳) و (۳-۳) می توان نوشت:}$

$$x \equiv \frac{360 \times (152 - 1)}{365.242} \equiv 148.8 \quad \text{دقیقه}$$

$$EOT = 0.258 \cos x - 7.416 \sin x - 3.648 \cos 2x - 9.228 \sin 2x$$

$$EOT = 0.258 \times (-0.855) - 7.416 \times (0.5266) - 3.6480 \times 0.46096 - 9.228 \times (-0.88742)$$

$$EOT = 2.381 \quad (\text{از روی نمودار } 3-3 \text{ نیز بازا } N = 152 \text{ مقدار } 2/4 \text{ حاصل میشود) دقیقه}$$

$$LCT = t_s - \frac{EOT}{60} + LC + D \quad \text{ساعت}$$

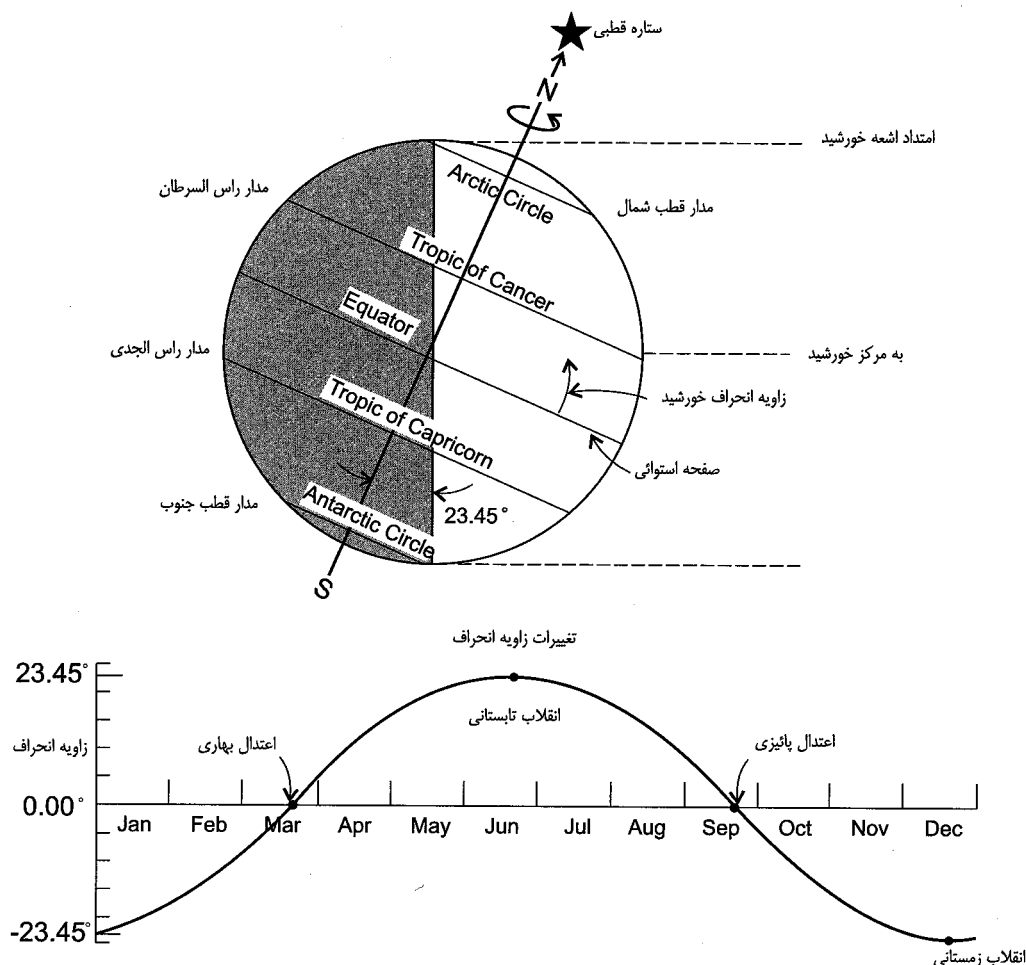
$$10 = t_s - \frac{2.381}{60} + \frac{59.63 - 52.5}{15} + 0$$

$$t_s = 9.5647 \quad \text{ساعت}$$

و یا ساعت واقعی خورشیدی عبارت از: ساعت ۹ و ۳۴ دقیقه خورشیدی.

۳-۳: زاویه انحراف (δ)

صفحه ای که شامل استوای زمین است را صفحه استوائی مینامیم. زاویه ای که خط اتصال مرکز زمین و خورشید با صفحه استوائی میسازد، مطابق آنچه در شکل ۳-۵ نشان داده شده، زاویه انحراف (δ) نامیده میشود. هنگامی که قسمت شمالی محور زمین به سمت خورشید انحراف داشته، و زاویه انحراف $23/5$ درجه است، این زمانی از سال (حدود اول تیر ماه) است که خورشید در بالاترین نقطه قرارگیری در آسمان در هنگام ظهر ملاحظه میشود. این زمان "انقلاب تابستانی" نامیده شده و شروع فصل تابستان در نیمکره شمالی است. همچنان که زمین به گردش خود حول خورشید حدود ۳ ماه ادامه میدهد، در حدود اول مهرماه به نقطه ای میرسد که خط ارتباطی زمین و خورشید در صفحه استوائی قرار میگیرد. در این زمان در ظهر خورشیدی، خورشید درست بالای سرمان است. این حالت، زمان اعتدال پاییزی نامیده میشود، زیرا در هر نقطه از زمین، طول زمان مشاهده خورشید (طول روز) درست ۱۲ ساعت، و طول زمانی که خورشید دیده نمیشود (طول شب) نیز درست ۱۲ ساعت است. در طول سال دوبار چنین حالتی وجود دارد. زمان دیگر اعتدال در حدود اول فروردین بوده و اعتدال بهاری نامیده میشود. در نقاط اعتدال زاویه انحراف (δ) صفر است.



شکل ۳-۵: تغییرات زاویه انحراف (δ). مقادیر زاویه انحراف در زمان انقلاب تابستانی و انقلاب زمستانی یعنی هنگامیکه $\delta = 23/5^\circ$ درجه است قابل توجه است. همچنین مقدار آن مربوط به مدار راس السرطان و راس الجدی که فصل مشترک اشعه عمود خورشید با سطح زمین است توجه شود. در شکل بالا حالت ۲۴ ساعت روز و ۲۴ ساعت شب برای مدارهای قطب شمال و قطب جنوب که فصل مشترک زمین با شعاعهای انتهائی رسیده به آن از خورشید است نیز قابل توجه است.

انقلاب زمستانی حدود اول دی ماه رخ میدهد و این نقطه ای است که انحراف صفحه استوائی نسبت به امتداد خورشید- زمین به نحوی است که قسمت جنوبی محور زمین بسمت خورشید انحراف دارد. در این زمان از سال میگوئیم ظهر خورشیدی در پائین ترین محل خود در آسمان قرار دارد. این هنگامی است که زاویه انحراف بزرگترین مقدار منفی خود (یعنی: $-23/5^\circ$) را گرفته است. ذکر این نکته لازم است که منفی بودن زاویه انحراف قراردادی است. برای ستاره شناسی مقادیر دقیق زاویه انحراف لازم است ولی برای طراحی اکثر سیستمهای خورشیدی دقت یک درجه برای اندازه زاویه انحراف کافی است. یکی از روابط تعیین زاویه انحراف با این دقت [۲۱] رابطه (۳-۷) است:

$$\sin \delta = 0.39795 \cos[0.98563(N - 173)] \quad (7-3)$$

در این رابطه مقدار آرگومان کسینوس بر حسب درجه بوده و شماره روز از جدول (۱-۳) بدست می‌آید. تغییرات سالیانه زاویه انحراف در شکل ۳-۴ نشان داده شده است.

۳-۴: زاویه عرض جغرافیائی (ϕ)

زاویه عرض جغرافیائی (ϕ) زاویه بین خط متصل بین نقطه دلخواه از سطح زمین به مرکز زمین، و صفحه استوائی است. فصل مشترک صفحه استوائی با سطح زمین مداری است که خط استوا مینامیم و مبنای صفر عرض جغرافیائی است. محور دوران زمین سطح زمین را در عرض جغرافیائی ۹۰ درجه (قطب شمال) و ۹۰- (قطب جنوب) قطع میکند. به این ترتیب هر نقطه در روی کره زمین را میتوان با طول و عرض جغرافیائی آن مشخص نمود.

عرضهای جغرافیائی مهم دیگر مربوط به مدار راس السرطان (با عرض جغرافیائی ۲۳/۴۵+) و مدار راس الجدی (با عرض جغرافیائی ۲۳/۴۵-) است. این مقادیر نمایشگر انحراف ماگزیمم قطب شمال و قطب جنوب نسبت به خورشید است. دو عرض مهم دیگر جغرافیائی مربوط به مدار قطب شمال (با عرض جغرافیائی ۶۶/۵۵+) و مدار قطب جنوب (با عرض جغرافیائی ۶۶/۵۵-) است. یک نقطه از هریک از این دومدار در محل فصل مشترک سطح زمین با خطی که از مرکز زمین گذشته و در صفحه خط المکزین زمین- خورشید با محور زمین قرار داشته و عمود بر امتداد خط المکزین زمین- خورشید هنگامیکه محور زمین ماگزیمم انحراف را نسبت به خط المکزین دارد رسم شده، قرار دارند. همانطور که در شکل ملاحظه میشود، مدار مناطق گرمسیری (مدار راس السرطان و مدار راس الجدی) نمایشگر مکان هندسی نقاطی است که خورشید در ظهر مستقیماً در بالای سر دیده می‌شود، و مدار قطب شمال و مدار قطب جنوب مکان هندسی نقاطی با کوچکترین عرض جغرافیائی است، که دارای ۲۴ ساعت شب یا روز هستند. این شرایط در روزهای انقلاب تابستانی و زمستانی رخ می‌دهد.

۳-۵: زوایای ناظر خورشید- زوایای فراز خورشید، قطبی یا سمت الراس و سمت خورشید

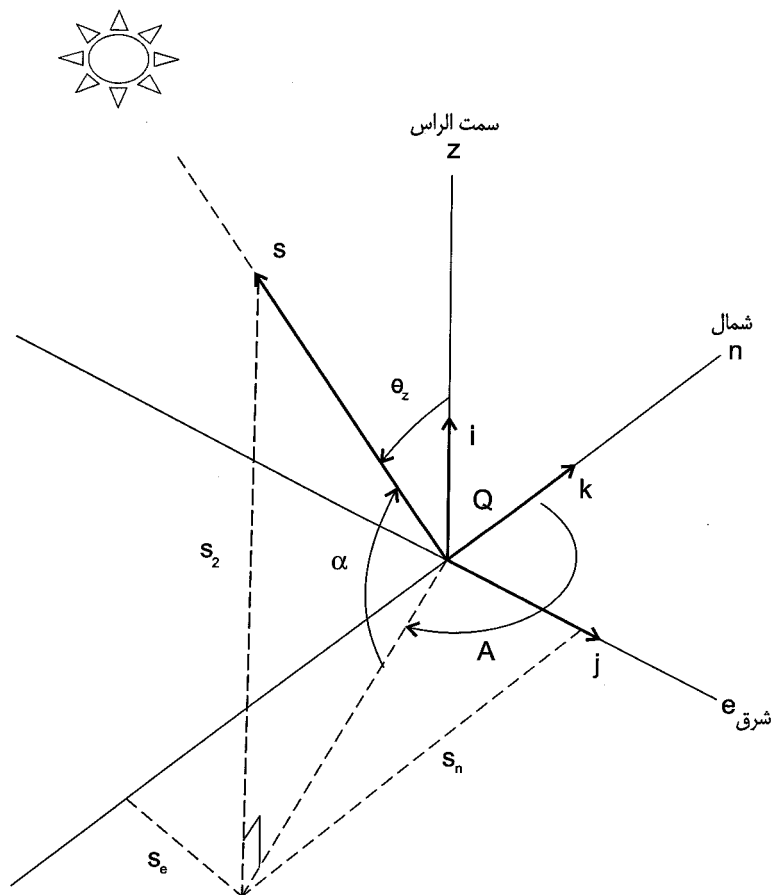
هنگامی که ما خورشید را از یک نقطه دلخواه از زمین نگاه میکنیم، علاقمندیم که موقعیت خورشید را نسبت به یک دستگاه محوره‌ای مختصات در زمین که مرکز آن در نقطه دید ما و نه در مرکز زمین قرار دارد بدانیم. یک دستگاه محوره‌ای مختصات متعارف در روی زمین محوره‌ای مختصات قائمی است که سطح افق آن شامل یک محور شمالی-جنوبی و یک محور شرقی-غربی است. محل خورشید نسبت به این مختصات را میتوان با دو زاویه فراز خورشید و سمت الراس خورشید که به ترتیب شرح داده خواهند شد، تعیین نمود. چون خورشید نه به صورت یک نقطه، بلکه بصورت یک قرص با اندازه ای مشخص در آسمان مشاهده می‌شود، بنابراین تمام زوایائی که در اینجا شرح داده خواهد شد، نسبت به مرکز این قرص، یعنی نسبت به شعاع مرکزی از خورشید اندازه گیری می‌شود.

زاویای فراز خورشید، قطبی یا سمت الراس و سمت خورشید-زاویه فراز خورشید (α)، زاویه بین شعاع مرکزی خورشید با صفحه افق ناظر است. شکل ۳-۵ ملاحظه شود. به جای زاویه فراز، ممکنست از زاویه قطبی یا خط الراس θ_z که متمم زاویه فراز است، یعنی

$$\theta_z = 90^\circ - \alpha \quad \text{درجه} \quad (۳-۸)$$

استفاده نمود.

زاویه سمت خورشید (A) زاویه ایست که: در روی سطح افق از امتداد محور شمال در جهت عقربه های ساعت، تا تصویر شعاع مرکزی خورشید روی صفحه افق اندازه گیری می شود.



شکل ۳-۶: مختصات قائم در روی زمین، ناظر Q در مبدأ مختصات، شعاع مرکزی خورشید در امتداد بردار \vec{S} و \vec{i} ، \vec{j} ، \vec{k} بردارهای یکه محورهای مختصات. زاویای فراز خورشید، قطبی، و سمت خورشید در شکل ملاحظه می شود.

تعاریف قراردادی دیگری نیز برای زاویه سمت وجود دارد. یکی از قراردادهائی که بیشتر متداول است، اندازه گیری زاویه سمت از نقطه جنوبی محور مختصات بجای اندازه گیری از شمال یا انتخاب جهت مثبت در جهت خلاف عقربه های ساعت است.

همانطور که گفته شد برای طراحی یک سیستم خورشیدی محاسبه زوایای فراز خورشید، و سمت خورشید برای هر نقطه دلخواه در روی زمین در هر زمان دلخواه دارای کمال اهمیت است. این کار با استفاده از سه زاویه تعریف شده در بخش ۳-۱ که عبارتند از: عرض جغرافیائی، زاویه ساعت، و زاویه انحراف عملی است.

برای محاسبه زوایای فراز و سمت، ابتدا یک بردار یکه برای امتدادی مانند \vec{S} (شکل ۳-۶) که از مبدأ مختصات Q از دید ناظر بسمت خورشید نشانه رفته است را مطابق رابطه زیر تعریف میکنیم:

$$\vec{S} = S_z \vec{i} + S_e \vec{j} + S_n \vec{k} \quad (۹-۳)$$

در این رابطه \vec{i} ، \vec{j} ، \vec{k} بردارهای یکه در امتداد محورهای مختصات e, z و n است. بنابراین اگر مولفه‌های (کسینوس دیرکتورهای) بردار یکه \vec{S} را نسبت به محورهای مختصات e, z و n به ترتیب با S_e ، S_z و S_n نشان دهیم، این مقادیر برحسب زاویه فراز و زاویه سمت بصورت زیر خواهند بود:

$$\begin{aligned} S_z &= \sin \alpha \\ S_e &= \cos \alpha \sin A \\ S_n &= \cos \alpha \cos A \end{aligned} \quad (۱۰-۳)$$

به همین ترتیب بردار "یکه ای" را که به سمت خورشید نشانه رفته است را میتوان در مرکز زمین مطابق شکل ۳-۶ تعریف نمود. اگر مرکز مختصات قائم جدید در مرکز زمین اختیار شود، محور m بصورت خطی که استوا را در نقطه ایکه نصف النهار ناظر واقع در Q میگذرد قطع میکند. محور e عمود بر محور m و همچنین در صفحه استوائی واقع است. آنگاه محور قائم سوم p میتواند منطبق بر محور دوران زمین باشد. حال یک بردار جهت جدید، \vec{S}' که بسمت خورشید نشانه رفته است را بوسیله کسینوس دیرکتورهایش S'_m ، S'_e و S'_p و نسبت به محورهای مختصات m ، e و p تعریف مینمائیم. با نوشتن کسینوس دیرکتورهای این بردار بر حسب زاویه انحراف و زاویه ساعت داریم:

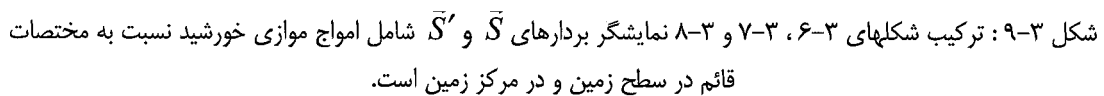
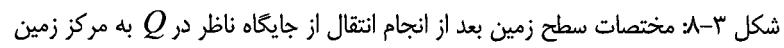
$$\begin{aligned} S'_m &= \cos \delta \cos \omega \\ S'_e &= \cos \delta \sin \omega \\ S'_p &= \sin \delta \end{aligned} \quad (۱۱-۳)$$

توجه کنیم که مقدار S'_e در ربع دایره نشان داده شده در شکل ۷-۳ منفی است.

و زاویه انحراف (δ) نشان داده شده اند.

براساس قانون دست راست در جهت منفی است. این مطلب را با علائم ماتریسی بصورت زیر میتوان نمایش داد :

(12-3)



رابطه (۱۲-۳) را به صورت زیر میتوان نوشت:

$$\begin{aligned} S_z &= S'_m \cos \phi + S'_p \sin \phi \\ S_e &= S'_e \\ S_n &= S'_p \cos \phi - S'_m \sin \phi \end{aligned} \quad (13-3)$$

با جانشین کردن روابط (۳-۱۰) و (۳-۱۱) برای کسینوس دیرکتورها سه رابطه زیر بدست می‌آید.

$$\sin \alpha = \sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \omega \cos \phi \quad (14-3)$$

$$\cos \alpha \sin A = -\cos \delta \sin \omega \quad (15-3)$$

$$\cos \alpha \cos A = \sin \delta \cos \phi - \cos \delta \cos \omega \sin \phi \quad (16-3)$$

از رابطه (۱۴-۳) مقدار زاویه فراز خورشید (α) را بر حسب عرض جغرافیائی محل (ϕ)، زاویه ساعت (ω) یا زاویه زمان، و زاویه انحراف (δ) خورشید (از: رابطه ۷-۳ و جدول ۲-۳) بصورت زیر میتوان نوشت:

$$\alpha = \sin^{-1}(\sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \omega \cos \phi) \quad \text{درجه} \quad (17-3)$$

مقدار زاویه سمت (A) از هر یک از دو رابطه (۱۵-۳) و (۱۶-۳) با جایگزین کردن زاویه فراز در آنها بدست می‌آید.

زاویه سمت میتواند در هریک از چهار ربع مثلثاتی بر حسب محل، زمان شبانروز، و فصل سال میتواند قرار گیرد. از آنجائیکه توابع آرک-سینوس و آرک-کسینوس میتواند در دو ربع دایره مثلثاتی جواب داشته باشد، میبایست برای اطمینان از پاسخ صحیح بدست آمده از روابط (۱۵-۳) و (۱۶-۳)، برای مقدار زاویه سمت، آزمایش لازم بعمل آید، تا مشخص شود جواب بدست آمده در کدام ربع واقع است. در حالیکه چنین آزمایشی برای زاویه فراز لازم نیست زیرا این زاویه در یک ربع مثلثاتی قرار میگیرد.

روش مناسب برای حل معادله (۱۵-۳) آزمایش جواب است، تا بدانیم جواب مربوط به زمان قبل و یا بعد از ظهر خورشیدی است. در این صورت مشخص میشود که جواب رابطه (۱۵-۳) در کدام طرف از (قسمت شمال و یا قسمت جنوب) محور شرق به غرب قرار دارد.

دو روش برای تعیین زاویه سمت خورشیدی (A) با آزمایش لازم بصورت زیر داده شده است. تعیین زاویه سمت، باتوجه به علامت متعارف انتخابی برای زاویه سمت در این کتاب است، و آن عبارت از اندازه گیری زاویه سمت از شمال در جهت عقربه‌های ساعت است. با حل رابطه (۱۵-۳) A' جواب آزمایش نشده عبارتست از:

$$A' = \sin^{-1} \left[\frac{-\cos \delta \sin \omega}{\cos \alpha} \right] \quad \text{درجه} \quad (18-3)$$

$$\cos \omega \geq \left[\frac{\tan \delta}{\tan \phi} \right] \quad \text{حال اگر:}$$

$$A = 180^\circ - A' \quad \text{باشد، در آنصورت:}$$

در غیر اینصورت، یعنی اگر:

$$\cos \omega < \left[\frac{\tan \delta}{\tan \phi} \right]$$

$$A = 360^\circ + A' \quad \text{جواب زاویه سمت عبارتست از:}$$

شرح ترسیمی این آزمایش در بخش بعدی این فصل ملاحظه خواهد شد.

با حل رابطه (۳-۱۶)، A'' جواب آزمایش نشده عبارتست از:

$$A'' = \cos^{-1} \left[\frac{\sin \delta \cos \phi - \cos \delta \cos \omega \sin \phi}{\cos \alpha} \right] \quad \text{درجه} \quad (۳-۱۹)$$

$$A = 360^\circ - A'' \quad \text{حال اگر: } \sin \omega > 0 \quad \text{باشد، در آنصورت:}$$

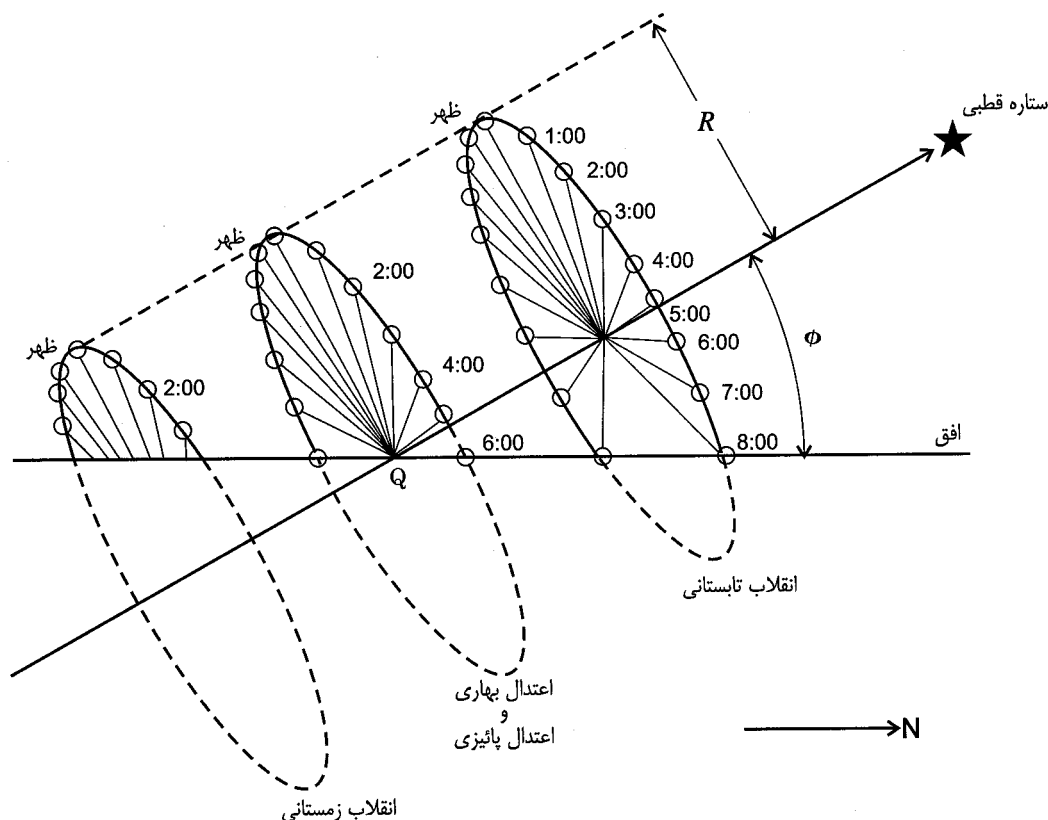
$$A = A'' \quad \text{و در غیر اینصورت، یعنی اگر: } \sin \omega \leq 0 \quad \text{باشد، در آنصورت:}$$

بدین ترتیب، با روابط فوق که در آن مقادیر زاویه فراز و زاویه سمت برحسب عرض جغرافیائی، زاویه انحراف و زاویه ساعت بدست آمده اند، محل خورشید در آسمان برحسب تابعی از شماره روز، زمان و عرض جغرافیائی (N ، (ϕ) ، (ω)) تعیین میشود.

۳-۶- شکل هندسی مسیر خورشید

از نظر یک ناظر مسیر حرکت خورشید را در آسمان میتوان بر روی یک استوانه فرض نمود. انتخاب این مسیر برای بررسی حرکت خورشید و بدست آوردن روابط لازم برای آزمایش تعیین زوایای خورشید که مورد نیاز برای رابطه (۳-۱۸) می باشد، بمنظور اطمینان از محل واقعی خورشید در آسمان مفید است.

حرکت خورشید را میتوان با سرعت ۱۵ درجه در ساعت حول استوانه با شعاع قاعده R در نظر گرفت. مرکز دوران خورشید حول محور قطبی در فصول مختلف سال همانطور که در شکل ۳-۱۰، نشان داده شده است متغیر بوده، و از محل دید ناظر عبور نموده و شبی معادل عرض جغرافیائی (ϕ) بسمت ستاره شمالی (ستاره قطبی) دارد.



شکل ۳-۱۰: مسیر خورشید از دیدگاه ناظر در نقطه Q در فصول مختلف

مرکز این استوانه منطبق بر ناظر در نقطه Q مرکز مدار مسیر خورشید در روز اعتدال بهاری و یا پاییزی قرار دارد. در روزهای دیگر سال فاصله مرکز مدار مسیر خورشید از ناظر در نقطه Q معادل $(R \tan \delta)$ است. بنابراین حدود جابجائی این مرکز در روی محور ستاره قطبی نسبت به ناظر معادل: $\pm 0.424 R$ است. ملاحظه میشود که در فصل زمستان قسمت عمده مدار گردش خورشید در زیر سطح افق قرار گرفته و تعداد ساعاتی که خورشید توسط ناظر در Q دیده نمیشود افزایش یافته و ارتفاع خورشید در آسمان در ظهر به پائین ترین نقطه خود در آسمان می رسد.

در نقطه اعتدال، خورشید از نظر ناظر درست در ساعت ۶ صبح (زمان خورشیدی) طلوع نموده و با سرعت ثابت در مداری که با امتداد قائم زاویه ای معادل طول جغرافیائی را میسازد در آسمان گردش میکند. درست نصف مدار در بالای افق بوده و درست ۱۲ ساعت خورشید توسط ناظر دیده میشود. در ظهر ناظر ملاحظه میکند که زاویه خط الراس معادل زاویه عرض جغرافیائی است. خورشید درست در ساعت ۶ بعداز ظهر با زاویه سمت درست ۲۷۰ درجه غروب می کند.

در تابستان، مرکز مدار گردش خورشید بالاتر از محل ناظر بوده و موجب افزایش تعداد ساعات آفتابی (دیده شدن خورشید توسط ناظر در نقطه Q)، افزایش زوایای فراز خورشید شده، و خورشید در صبح و بعد از ظهر در قسمت شمال آسمان طلوع کرده و غروب می کند.

با توجه به آنکه انحراف محور قطبی با تغییر عرض جغرافیائی تغییر میکند، ملاحظه میشود که در عرضهای جغرافیائی معینی انقلاب تابستانی کاملاً بالای سطح افق قرار دارد. میتوان نشان داد که این اتفاق برای عرضهای جغرافیائی بزرگتر از $65/55$ درجه، که بالای مدار قطب شمال است رخ میدهد. در روی خط استوا محور قطبی بطور افقی قرار داشته و درست نصف مدار در قسمت بالای سطح افق و نصف مدار در پائین صفحه افق قرار دارد (یا میتوان فرض نمود که استوانه مسیر حرکت خورشید بطور افقی قرار دارد)، این بدین معنی است که 12 ساعت شب و 12 ساعت روز در هر شبانه روز در طول سال وجود دارد (و یا در هر روز سال 12 ساعت خورشید توسط ناظر واقع در روی خط استوا، در صورتیکه آسمان ابری نباشد، دیده میشود).

با توجه به موارد فوق و تغییرات عرض جغرافیائی ایران از جنوب تا شمال کشور، نتیجه میگیریم، که با صرفنظر کردن از کم و زیاد شدن ابر در مناطق مختلف کشور، هرچه از جنوب به شمال کشور حرکت کنیم از تعداد ساعات آفتابی در زمستان کاسته شده و بر تعداد ساعات آفتابی در تابستان اضافه میشود. این موارد در شرق ایران با وضوح بیشتری وجود داشته و در نمودارهای نشان داده شده در شکل‌های ۳-۱۱ و ۳-۱۲ آمار هوا شناسی تعداد ساعات آفتابی نیز قابل مشاهده است. خاطر نشان میشود که در آمار هواشناسی ابر و عوامل دیگر جوی نیز در نظر گرفته شده است. این مورد در شرق ایران با وضوح بیشتری موجود است.



شکل ۳-۱۱: نمودار تعداد ساعات آفتابی در فصل زمستان



۱۴

در تابستان مسیر خورشید در روی مداری به شعاع R و دارای مرکزی در Y بالاتر از محل ناظر در نقطه Q (همانطور که در شکل ۳-۹ نشان داده شد است) است. نقطه X محل تلاقی عمود بر افق در نقطه Q با صفحه مدار خورشید است. تصویر محل خورشید S بر روی خط واصل بین X و Y در صفحه $n-Z$ مقدار $(R \cos \omega)$ است. که در آن (ω) زاویه ساعت است. به این ترتیب اگر:

$$R \cos \omega \angle XY \quad \text{متر} \quad (۲۰-۳)$$

خورشید در قسمت شمالی آسمان خواهد بود.

فاصله XY را میتوان با روابط مثلثاتی از روی شکل ۳-۱۲ بصورت: $XY = R \frac{\tan \delta}{\tan \phi}$ نوشت. با جایگزین کردن مقدار آن در رابطه (۲۰-۳) داریم:

$$\cos \omega \angle \frac{\tan \delta}{\tan \phi} \quad (۲۱-۳)$$

این آزمایش نشانگر صحت جوابهای مناسب انتخابی از رابطه (۳-۱۸) به منظور حصول اطمینان از آنکه زاویه سمت خورشیدی در ربع دایره مناسب قرار گرفته است، میباشد.

۳-۷- زمانهای مهم روزانه و فصلی

اغلب طراح مایل است که زمان طلوع و غروب آفتاب، طول روز، و زاویه فراز ماگزیمم را پیش بینی کند. روابط لازم برای این موارد با جایگزینی های لازم در روابط حاصل شده در بخش ۳-۲ بدست میآید.

زاویه ساعت برای غروب و طلوع خورشید با جایگزینی زاویه افق برای زاویه فراز در رابطه (۳-۱۷) بدست میآید. بنابراین اگر سطح افق محلی سطحی کاملاً مسطح باشد، زاویه فراز خورشید در هنگام غروب صفر بوده و در نتیجه زاویه ساعت ω_s در هنگام غروب می شود:

$$\omega_s = \cos^{-1}(-\tan \delta \tan \phi) \quad \text{درجه} \quad (۲۲-۳)$$

حال اگر: $(\tan \delta \tan \phi) \geq 1$ باشد، در آن صورت غروب خورشید در آنروز در محل ناظر وجود نخواهد داشت.

همینطور اگر: $(\tan \delta \tan \phi) \leq 1$ باشد، در آنصورت طلوع خورشید در آنروز در محل ناظر وجود نخواهد داشت.

دو حالت فوق زمانی رخ میدهد که قدر مطلق عرض جغرافیائی بیش از ۶۶/۵۵ باشد، یعنی محل در بالای مدار قطب شمال و یا در پائین مدار قطب جنوب واقع باشد.

برای سایر مقادیر عرض جغرافیائی با مشخص شدن زاویه ساعت در غروب خورشید و جایگزین نمودن آن در روابط (۳-۱۸) و (۳-۱۹)، زاویه سمت طلوع و غروب خورشید بدست می‌آید. طول زمان روز نیز از رابطه (۳-۲۳) بدست می‌آید.

$$\text{تعداد ساعات روز} = \frac{2\omega_s}{15} \quad (۳-۲۳)$$

در این رابطه ω_s برحسب درجه است. جالب است بدانیم، که با وجود تغییر ساعات روز از یک روز به روز دیگر (غیر از نقاط واقع بر روی خط استوا یعنی نقاطی که در آنها $\tan \phi = 0$)، معذالک همواره تعداد ۴۳۸۰ ساعت روز در سال (غیر از سال کبیسه) در کلیه نقاط کره زمین وجود دارد.

محدودیت‌های دیگری که ممکنست بدست آید، مقدار ماگزیمم و مینیمم زاویه فراز خورشید در هنگام ظهر است. با جانشین کردن مقدار ($\omega = 0$) از رابطه (۳-۱۷) داریم:

$$\alpha_{\max} = 90^\circ - |\phi - \delta| \quad \text{درجه}$$

$$\alpha_{\min} = 90^\circ - |\phi + \delta| \quad \text{درجه}$$

(۳-۲۴)

در حالیکه $\phi - \delta$ نمایشگر مقدار مطلق تفاوت دو زاویه است. رابطه (۳-۲۴) نمایشگر آنستکه: در ظهر خورشیدی زاویه خط الراس خورشید (متمم زاویه فراز خورشید)، در محل پروژه که مساوی عرض جغرافیائی محل، در هنگام شروع اعتدال بهاری یا پاییزی است، و مقدارش به اندازه $\pm ۲۳/۴۵$ درجه از انقلاب تابستانی تا انقلاب زمستانی تغییر می‌کند.

مثال: زمان طلوع و غروب آفتاب، تعداد ساعت روز، زاویه فراز ماگزیمم و محل طلوع و غروب آفتاب در آسمان را در عرض جغرافیائی ۳۵ درجه در انقلاب تابستانی (اول تیر ماه) بدست بیاوریم. میدانیم در انقلاب تابستانی زاویه انحراف معادل: $+۲۳/۴۵$ درجه است. در نتیجه زاویه ساعت (از رابطه: ۳-۲۲)، مساوی $۱۰۷/۶۸$ درجه میشود. بنابراین: زمان طلوع ساعت ۴ و ۴۹ دقیقه و ۱۷ ثانیه، و زمان غروب ساعت ۱۹ و ۱۰ دقیقه و ۴۳ ثانیه است. تعداد ساعات روز $۱۴/۳۶$ ساعت است. زاویه فراز خورشید $۷۸/۴۵$ درجه بدست می‌آید. خورشید در زاویه سمت $۶۰/۹۴$ درجه (شمال شرقی) طلوع و در زاویه سمت $۲۹۹/۰۶$ درجه (شمال غربی) غروب می‌کند.

مقادیر دیگر ماگزیمم و مینیمم که مرتبط با انقلاب تابستانی و انقلاب زمستانی است را میتوان با جایگزین کردن حدود زاویه انحراف که عبارتند از $\pm ۲۳/۴۵$ در روابط مربوطه بدست آورد. چون طراح سیستم خورشیدی برای تخمین انرژی دریافتی سیستم نیاز به دانستن زمان طلوع و غروب خورشید دارد روابط فوق دارای اهمیت زیادی است.

۳-۸- سایه و ساعت خورشیدی

حال که روابط لازم برای تعیین امتداد نور خورشید در هر لحظه، در هر روز و در هر محل معین شد، میتوانیم دو کاربرد جالب نور خورشید را که برای گروهی از طراحان با ارزش است، مورد توجه قرار دهیم.

۳-۸-۱- استفاده از سایه

یکی از استفاده‌های مهم پیش بینی محل خورشید و امتداد نور آن، امکان پیش بینی محل یک سایه است. زیرا نور بطور مستقیم حرکت میکند تصویر یک مانع بر روی زمین را به کمک روابط ساده هندسی میتوان بدست آورد.

شکل ۳-۱۲ یک ستون عمودی را بر روی سطح مسطح نشان میدهد. در اینجا مسئله تعیین طول و امتداد سایه ستون عمودی بر روی زمین است.

تعیین طول سایه ستون OP و زاویه سمت سایه به همان روش تعیین زاویه فراز و زاویه سمت انجام میشود، مثلاً نسبت به شمال با در نظر گرفتن جهت مثبت در جهت عقربه‌های ساعت، برای طول سایه خواهیم داشت:

$$OS = \frac{OP}{\tan \alpha} \quad \text{متر} \quad (3-25)$$

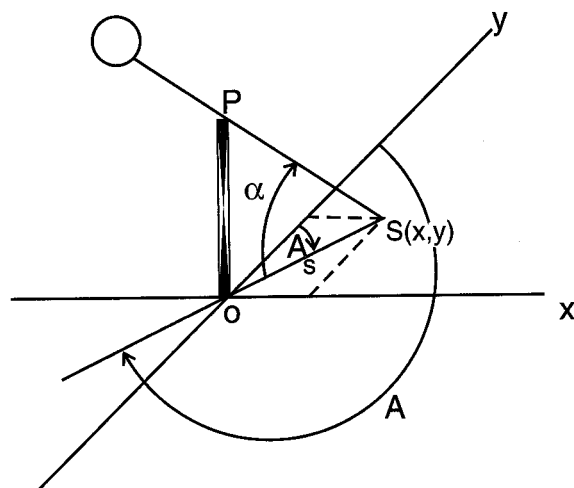
و برای زاویه سمت سایه داریم:

$$A_s = A - 180^\circ \quad \text{درجه} \quad (3-26)$$

در سیستم مختصات قائم، همانطور که در شکل (۳-۱۴) نشان داده شده است، با در نظر گرفتن مبدأ مختصات در مرکز قاعده ستون، و شمال بعنوان جهت مثبت امتداد Y و شرق جهت مثبت امتداد X ، روابط مربوط به مختصات نوک سایه ستون عمودی OP عبارت است از:

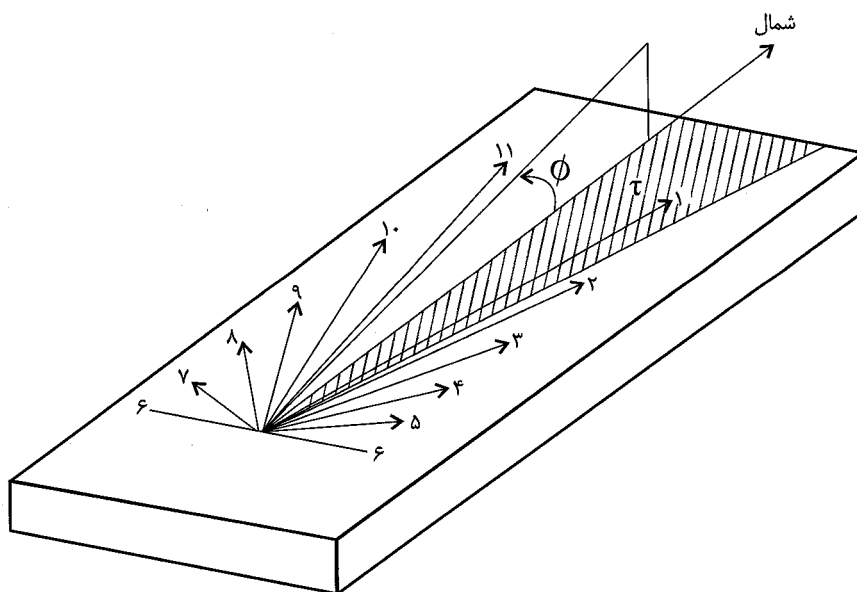
$$X = OP \left[\frac{\sin(A - 180^\circ)}{\tan \alpha} \right] \quad \text{متر} \quad (3-27)$$

$$Y = OP \left[\frac{\cos(A - 180^\circ)}{\tan \alpha} \right] \quad \text{متر} \quad (3-28)$$



شکل ۳-۱۴: X و Y نمایشگر مختصات نوک سایه ایجاد شده از ستون OP ، و A_s زاویه سمت سایه را نشان می‌دهد.

ساده ترین ساعت خورشیدی از یک صفحه افقی با یک شاخص عمودی در جهت قطب شمال ساخته میشود (شکل ۳-۱۵). برروی صفحه افقی برای هر ساعت روز یک خط نشانه کشیده میشود. شاخص نمایش ساعت ظهر خورشیدی است. شاخص دارای شیبی معادل عرض جغرافیائی ϕ محل میباشد، بطوریکه ارتفاع آن بسمت شمال زیاد میشود.



شکل ۳-۱۵: یک ساعت ساده خورشیدی که بطور افقی نصب میشود.

برای بدست آوردن رابطه ای برای امتداد خطوط زمان بر روی این صفحه افقی، فرض میکنیم زاویه (δ) صفر است (یعنی روز اعتدال). با استفاده از روابط (۲۷-۳) و (۲۸-۳) مختصات نوک سایه شاخص و سپس توسط : روابط (۱۴-۳)، (۱۵-۳) و (۱۶-۳) رابطه (۲۹-۳) برای تعیین امتداد سایه برای یک عرض جغرافیائی معین در ساعات مختلف بدست می آید.

$$\tan \tau = \tan \omega \sin \phi \quad (29-3)$$

جدول ۳-۳ حدود تغییرات، نقطه مبنا و علامت قراردادی زوایای شرح داده شده در این فصل را نشان می دهد.

جدول ۳-۳ : علائم متعارف و مقادیر زوایای خورشیدی

نام	علامت	مبنا	جهت مثبت	حدود	شماره رابطه	شماره شکل
زوایای بین خورشید و زمین						
عرض جغرافیائی	ϕ	خط استوا	نیمکره شمالی	+/- ۹۰ درجه	---	۳-۲
زاویه انحراف	δ	اعتدال	تابستان	+/- ۲۳/۴۵ درجه	(۳-۷)	۳-۵
زاویه ساعت	ω	ظهر	بعداز ظهر	+/- ۱۸۰ درجه	(۳-۱)	۳-۳
زوایای بین ناظر و خورشید						
فراز	α	افقی	بالا	۰ تا ۹۰ درجه	(۳-۱۷)	۳-۶
سمت الراس	θ_z	عمودی	افق	۰ تا ۹۰ درجه	(۳-۸)	۳-۶
سمت خورشید	A	از شمال	عقربه های ساعت	۰ تا ۳۶۰ درجه	(۳-۱۸) (۳-۱۹)	۳-۶
زوایای سایه و ساعت خورشیدی						
سمت سایه	A_s	از شمال	عقربه های ساعت	۰ تا ۳۶۰ درجه	(۳-۲۹)	۳-۱۴
شاخص سایه	τ	ظهر	بعداز ظهر	+/- ۱۸۰ درجه	(۳-۲۹)	۳-۱۵

نکاتی در مورد تبدیل محوره‌ای مختصات

تبدیل محوره‌ای مختصات، معمولاً روشی است که برای ارتباط یک سطح با امواج خورشید بکار می‌رود. میدانیم که یک بردار \vec{V} را با استفاده از بردارهای یک‌ه یک مختصات قائم بصورت زیر می‌توان نشان داد:

$$\vec{V} = V_x \vec{i} + V_y \vec{j} + V_z \vec{k} \quad (30-3)$$

در حالیکه \vec{i} ، \vec{j} و \vec{k} به ترتیب بردارهای یک‌ه در امتداد محوره‌ای x ، y و z همچنین V_x ، V_y و V_z مقادیر عددی این بردار در امتداد محوره‌ای مختصات قائم اند. بردار را در یک مختصات جدید با محوره‌ای x' ، y' و z' که دارای بردارهای یک‌ه \vec{i}' ، \vec{j}' و \vec{k}' میباشد بصورت زیر میتوان نوشت:

$$\vec{V} = V_{x'} \vec{i}' + V_{y'} \vec{j}' + V_{z'} \vec{k}' \quad (31-3)$$

حال میبایست ضرایب عددی $V_{x'}$ ، $V_{y'}$ و $V_{z'}$ را تعیین نمود. این کار با استفاده از جبر ماتریسی انجام میشود. ماتریس ستون ضرایب عددی $V_{x'}$ ، $V_{y'}$ و $V_{z'}$ از حاصلضرب ماتریس ستونی که عناصر آن ضرایب عددی بردار در مختصات اولیه در ماتریس دوران بصورت زیر بدست می‌آید:

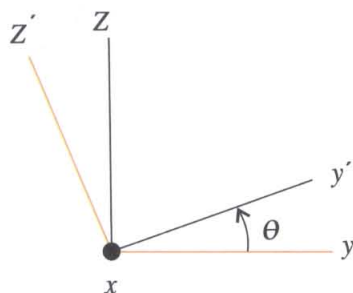
$$\begin{bmatrix} V_{x'} \\ V_{y'} \\ V_{z'} \end{bmatrix} = |A_{ij}| \cdot \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \end{bmatrix} \quad (32-3)$$

مقدار A_{ij} در شکل ۳-۱۴ برای دوران حول محور x ، y یا z نشان داده شده است.

ماتریسهای نشان داده شده برای مختصات قائم و شگامی که مقدار مثبت دوران، θ از قانون دست راست تبعیت میکند، صادق‌اند.

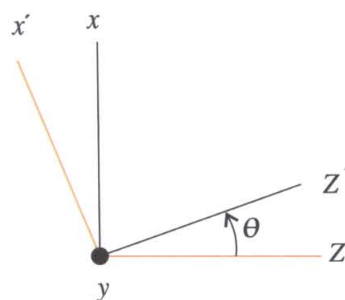
x : دوران حول محور

$$A_{ij} = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & \sin \theta \\ 0 & -\sin \theta & \cos \theta \end{vmatrix}$$



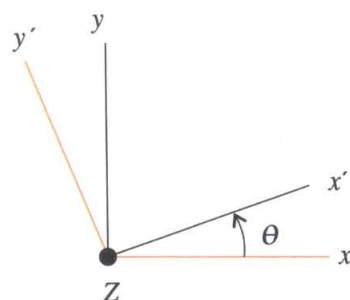
y : دوران حول محور

$$A_{ij} = \begin{vmatrix} \cos \theta & 0 & -\sin \theta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \theta & 0 & \cos \theta \end{vmatrix}$$



z : دوران حول محور

$$A_{ij} = \begin{vmatrix} \cos \theta & \sin \theta & 0 \\ -\sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$



شکل ۳-۱۴: نمایش ماتریس‌های دوران باندازه زاویه θ ، حول هر یک از محورهای مختصات قائم.

فصل ۴: گردآوری انرژی خورشید

اندازه گیری و محاسبه شدت تابش خورشید و مقدار انرژی رسیده از خورشید در فصل ۲ مورد توجه قرار گرفت. در همان فصل اثر کسینوس و یا افت کسینوس که عبارت از تفاضل انرژی دریافتی توسط صفحه عمود بر شعاع مرکزی خورشید و صفحه موازی سطح زمین است، معرفی شد.

برای محاسبه انرژی خورشیدی گردآوری شده، دانستن زاویه بین شعاع مرکزی خورشید و امتداد عمود بر سطح گردآور ضروری است. هنگامیکه دهانه گردآور عمود بر امتداد شعاع مرکزی خورشید قرار ندارد، قسمتی از انرژی خورشید دریافت نشده و تلف می‌شود.

در این فصل، روابط لازم برای تعیین زاویه بین خط عمود بر گردآور و شعاع مرکزی خورشید را بدست می‌آوریم. این روابط ابتدا برای گردآور ثابت و سپس برای گردآور مجهز به سیستم ردیاب خورشید بدست می‌آید. با استفاده از این روابط امتداد بهینه گردآور در هر لحظه تعیین میشود. لذا اگر مجهز به سیستم ردیاب باشد خود را در امتداد بهینه قرار میدهد.

۴-۱: زاویه تابش در دهانه ورودی گردآور θ_i

در فصل ۳ ابتدا زوایای هندسی خورشید نسبت به مرکز زمین (ϕ ، δ و ω) تعیین گردید و سپس زوایای موقعیت خورشید نسبت به مرکز دید یک ناظر در زمین (فراز α و سمت A) مشخص شد. آنگاه روابط حاکم بین این دو زاویه، با زوایای هندسی خورشید نسبت به مرکز زمین، روابط (۳-۱۴)، (۳-۱۵) و (۳-۱۶) بدست آمد. حال به محاسبه زاویه بردار عمود بر سطح یا دهانه ورودی گردآور با شعاع مرکزی خورشید (θ_i) که بنام "زاویه تابش" نامیده میشود میپردازیم. دانستن مقدار این زاویه برای طراحی سیستم خورشیدی برای تعیین مقدار انرژی لازم است. زیرا مقدار انرژی دریافتی گردآور با کسینوس این زاویه کاهش مییابد. زاویه مهم دیگر زاویه ردیابی (ρ) است که در این فصل مورد توجه قرار میگیرد. اکثر گردآورهای با درجه حرارت متوسط و بالا نیاز به سیستم ردیابی خورشید دارند، تا با گردش حول یک محور یا حول دو محور بردار عمود بر دهانه ورودی گرد آور را در امتداد شعاع مرکزی خورشید قرار دهند. بعبارت دیگر زاویه ردیابی مقدار دوران لازم برای تنظیم امتداد عمود بر گردآور در امتداد شعاع مرکزی خورشید است.

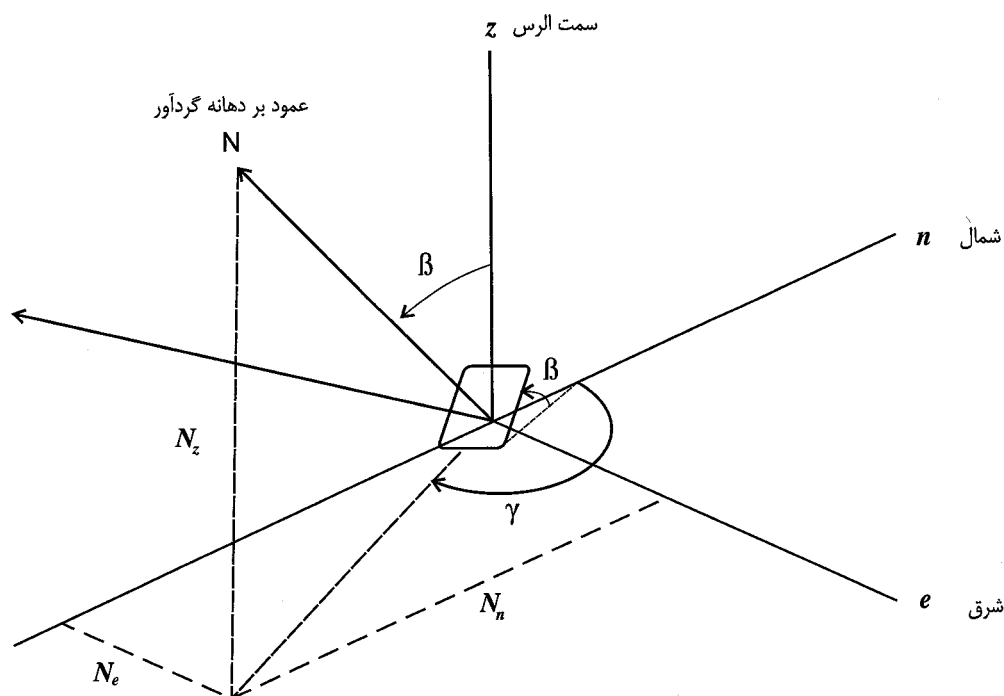
در این بخش ابتدا روابط لازم برای تعیین زاویه تابش برای گردآور با محور ثابت و سپس گردآور با سیستم ردیاب خورشید حول یک محور برای انواع دهانه بدست آمده، و سپس روابط لازم برای ردیاب خورشید حول دو محور بدست آورده خواهد شد. علاقمندان به تهیه نرم افزارهای ردیاب خورشیدی بهتر است ابتدا مقایسه های انجام شده در این مورد را مورد مطالعه قرار دهند.

۴-۱-۱: گردآورهای ثابت

کسینوس زاویه تابش برای یک سطح دلخواه را میتوان بر اساس امتداد عمود بر دهانه، یا امتداد عمود بر سطح گردآور، زاویه فراز و زاویه سمت خورشید تعریف نمود. این رابطه از حاصلضرب داخلی و یا حاصلضرب عددی بردار یک امتداد شعاع مرکزی خورشید \vec{S} و بردار یک عمود بر سطح گردآور \vec{N} بدست می‌آید. بردار یک \vec{S} با رابطه (۳-۹)، و باکسینوس دیرکتورها بصورت رابطه (۳-۱۰) که تابعی از زوایای فراز و سمت خورشید است، در فصل ۳ تعریف شد.

برای تعیین مولفه‌های بردار \vec{N} که در محورهای مختصات شکل ۴-۱، نشان داده شده به ترتیب زاویه شیب دهانه ورودی گردآور را با β و زاویه سمت آن را با γ نشان می‌دهیم، تعیین علامت برای γ مشابه تعیین علامت برای زاویه سمت خورشید (A) بوده، یعنی مبنای شروع زاویه از شمال، و در جهت حرکت عقربه‌های ساعت مثبت در نظر گرفته میشود. بنابراین مولفه‌های یک بردار \vec{N} در طول محورهای Z ، e و n به ترتیب عبارتند از:

$$\begin{aligned} N_z &= \cos \beta \\ N_e &= \sin \beta \sin \gamma \\ N_n &= \sin \beta \cos \gamma \end{aligned} \quad (۴-۱)$$



شکل ۴-۱: قرار گیری گردآور ثابت به نحوی است که: دهانه ورودی آن با شیب β و زاویه سمت γ می‌باشد. در این شکل بردار یک عمود بر سطح، و بردار یک شعاع مرکزی خورشید نیز نشان داده شده است.

کسینوس زاویه بین شعاع مرکزی خورشید و عمود بر دهانه ورودی مساوی حاصلضرب داخلی دو بردار یک خط عمود بر سطح دهانه گردآور (یعنی: \vec{N}) و بردار یک امتداد شعاع مرکزی خورشید (یعنی: \vec{S}) است.

$$\cos \theta_i = \vec{S} \cdot \vec{N} \quad (2-4)$$

با جایگزین کردن مقادیر بردارهای یکه از روابط (۳-۱۰) و (۴-۱)، مقدار کسینوس زاویه تابش برای دهانه ورودی ثابت عبارت است از:

$$\cos \theta_i = \sin \alpha \cos \beta + \cos \alpha \sin \beta \cos(\gamma - A) \quad (3-4)$$

در این رابطه همانطور که در فصل ۳ گفته شد، α زاویه فراز خورشید است.

گاهی بهتر است که بجای زاویه فراز و زاویه سمت خورشید در رابطه (۳-۴) مقادیر زاویای: عرض جغرافیایی، انحراف و ساعت را جایگزین نمود. این کار با استفاده از روابط (۳-۱۴)، (۳-۱۵)، و (۳-۱۶) صورت میگیرد، و در نتیجه خواهیم داشت:

$$\begin{aligned} \cos \theta_i = & \cos \beta (\sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi \cos \omega) + \cos \delta \sin \omega \sin \beta \sin \gamma + \\ & \sin \beta \cos \gamma (\sin \delta \cos \phi - \cos \delta \cos \omega \sin \phi) \end{aligned} \quad (4-4)$$

حالت‌های ویژه برای رابطه (۳-۴) عبارتند از:

حالت ۱: گردآور با دهانه ورودی افقی بوده، یعنی هنگامیکه زاویه شیب β صفر است. رابطه (۳-۴) خواهد شد:

$$\cos \theta_i = \sin \alpha \quad (5-4)$$

حالت ۲: گردآور با دهانه ورودی قائم باشد، در آن صورت رابطه (۳-۴) خواهد شد:

$$\cos \theta_i = \cos \alpha \cos(\gamma - A) \quad (6-4)$$

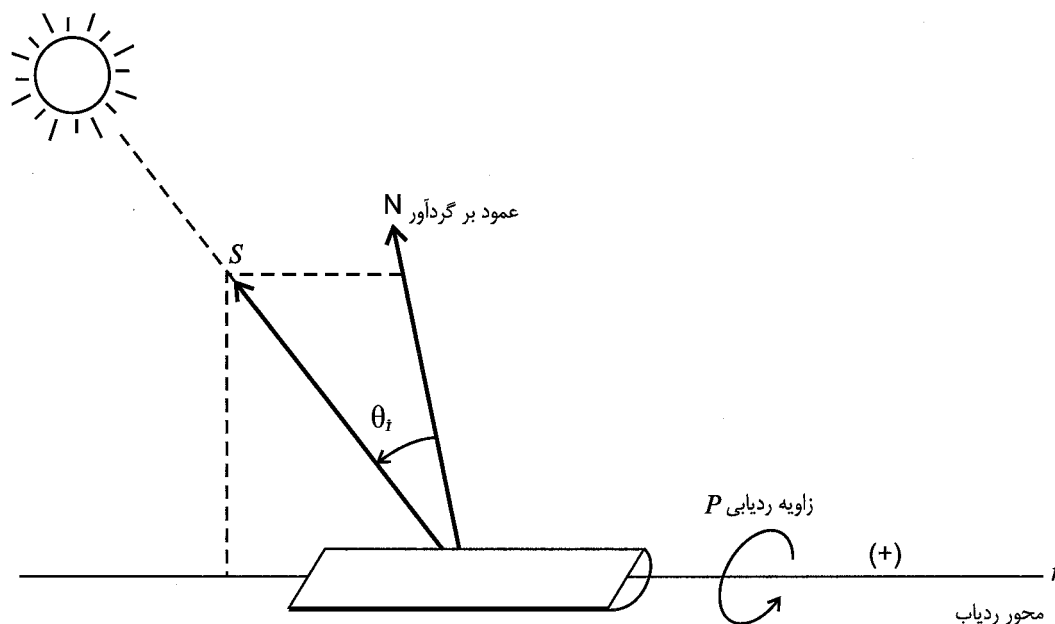
حالت ۳: دهانه ورودی شیبدار و بسمت جنوب قرار دارد، در آن صورت رابطه (۳-۴) بصورت زیر در میآید:

$$\cos \theta_i = \sin \alpha \cos \beta - \cos \alpha \sin \beta \cos A \quad (7-4)$$

۴-۱-۲: دهانه ورودی با سیستم ردیابی حول یک محور

بعضی از گردآورهای متمرکز کننده به دستگاه ردیاب خورشید با دوران حول یک محور مجهز می شوند. دستگاه ردیاب، گردآور را حول یک محور آنقدر دوران میدهد که شعاع مرکزی خورشید و خط عمود بر دهانه ورودی در یک صفحه قرار گیرند. شکل ۲-۴ چگونگی دوران دهانه ورودی گردآور را حول محور r و قرار دادن بردار یکه \vec{S} را در صفحه محور دوران و خط عمود

بر صفحه نشان میدهد. زاویه تابش θ_i نیز در شکل نشان داده شده است. زاویه ردیابی نمایشگر دوران لازم حول محور دوران است. هنگامیکه بردار \vec{N} عمود بر سطح دهانه است، زاویه ρ مساوی صفر است.

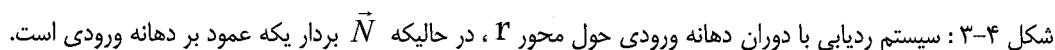


شکل ۴-۲: ردیابی با دوران حول یک محور، هنگامیکه \vec{r} محور دوران است. با دوران، شعاع یک خورشید (\vec{S})، در صفحه ایکه توسط محور دوران و خط عمود بر دهانه ورودی (\vec{N})، ساخته میشود قرار میگیرد.

برای نوشتن مقادیر θ_i و ρ بر حسب امتداد گردآور و زوایای خورشید، ابتدا مولفه های بردار شعاع مرکزی خورشید (\vec{S}) را از مختصات Z ، e و n (رابطه (۳-۱۰)) به مختصات قائم جدیدی که در آن محور دنبال کننده r ، موازی زمین و یکی از محورهای مختصات آن باشد تبدیل میکنیم. دو محور دیگر طوری انتخاب میشوند که یکی از آن دو (محور b)، موازی سطح زمین باشد. شکل ۴-۳ مختصات جدید را که در آن محور u ، محور سوم است، نشان میدهد. ذکر این نکته لازمست که با گردش خط عمود بر دهانه ورودی در صفحه $b-u$ ، محورهای مختصات ثابت باقی میماند.

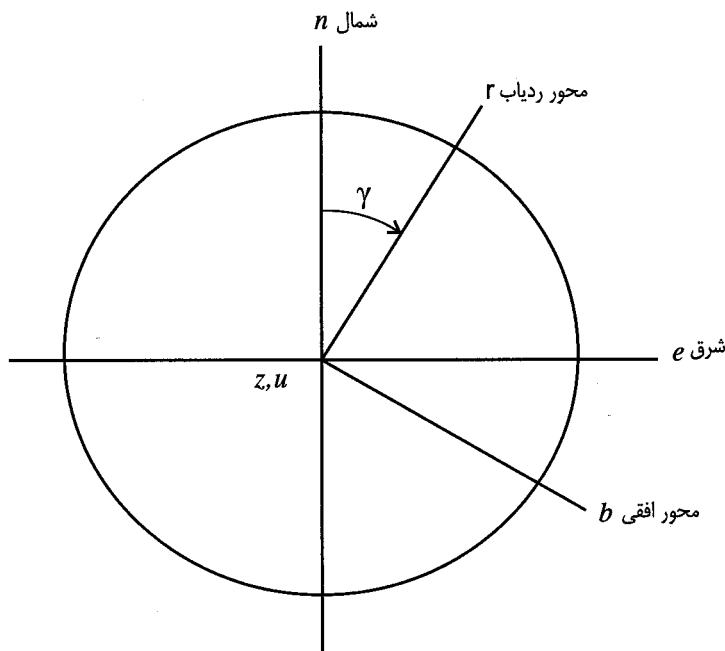
با استفاده از شکل میتوان مقادیر ρ و θ_i را بر حسب کسینوس دیرکتورهای بردار یک شعاع مرکزی خورشید (\vec{S})، با مولفه های S_u ، S_b و S_r در طول محورهای u ، b و r نشان داد. زاویه ردیابی خورشید عبارت است از:

$$\tan \rho = \frac{S_b}{S_u} \quad (۴-۸)$$


$$\cos \theta_i = \left\{ \begin{array}{c} \sqrt{S_b^2 + S_u^2} \\ or \\ \sqrt{1 - S_r^2} \end{array} \right\} \quad (9-4)$$

الف- ردیابی با محور افقی: برای ردیابی محورهای مختصات Z ، e و n را حول محور Z به اندازه زاویه γ دوران داده میشود. در این حالت مولفه های یک برادر بشکل رابطه (۴-۱۰) نوشته میشود. برادر یک خورشید بصورت رابطه (۳-۱۰) است. چون محور ردیاب باید موازی سطح زمین باقی بماند، این دوران مطابق شکل ۴-۴ حول محور Z انجام میشود. توجه شود که دوران بر اساس قانون دست راست و در جهت منفی است.

$$\begin{pmatrix} S_u \\ S_b \\ S_r \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \gamma & -\sin \gamma \\ 0 & \sin \gamma & \cos \gamma \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} S_z \\ S_e \\ S_n \end{pmatrix} \quad (1.14)$$



شکل ۴-۴ محوره‌های مختصات Z ، e و n با دوران حول محور Z به اندازه زاویه γ بر محوره‌های مختصات u ، b و r منطبق می‌شود، به این دوران از بالای سطح زمین نگاه شده است.

با حل و جانشین نمودن رابطه (۴-۸)، زاویه ردیاب برای حالت کلی که گردآور حول یک محور افقی خورشید را دنبال میکند بصورت زیر بدست می‌آید:

$$\tan \rho = \frac{\sin(A - \gamma)}{\tan \alpha} \quad (۴-۱۱)$$

با جایگزین کردن این رابطه در رابطه (۴-۹)، زاویه برخورد عبارتست از:

$$\cos \theta_i = (1 - \cos^2(\alpha) \cos^2(A - \gamma))^{\frac{1}{2}} \quad (۴-۱۲)$$

یک حالت اجرائی برای این رابطه که اکثراً اتفاق می‌افتد، هنگامی است که محور دنبال کننده در امتداد شمال - جنوب قرار می‌گیرد، در این حالت داریم:

$$\tan \rho = \frac{\cos A}{\tan \alpha} \quad (۴-۱۳)$$

و

$$\cos \theta_i = (1 - \cos^2(\alpha) \cos^2(A))^{\frac{1}{2}} \quad (۴-۱۴)$$

هنگامیکه محور ردیاب در امتداد شرق به غرب قرار گیرد، روابط (۴-۱۱) و (۴-۱۲) بصورت زیر در می آیند:

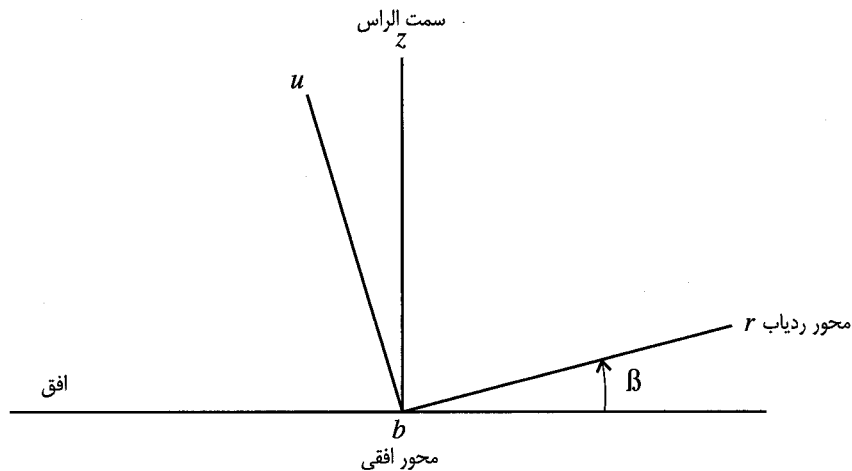
$$\tan \rho = -\frac{\cos A}{\tan \alpha} \quad (۱۵-۴)$$

9

$$\cos \theta_i = (1 - \cos^2(\alpha) \sin^2(A))^{1/2} \quad (۱۶-۴)$$

محور ردیاب شیبدار: یک دنبال کننده با محور افقی x مانند بخش قبل را در نظر گرفته و آنرا از حالت افقی به اندازه زاویه β مطابق شکل ۴-۵ شیب می دهیم. مجدداً با تعیین کسینوس دیرکتورهای های بردار یک شعاع مرکزی خورشید در مختصات جدید، ماتریس ستونی را که حل معادله (۴-۱۰) را میدهد بدست آورده و آنگاه آنرا در جهت مثبت به اندازه زاویه β دوران می دهیم. کسینوس دیرکتورها با حل رابطه (۴-۱۷) بدست می آید.

$$\begin{bmatrix} S_u \\ S_b \\ S_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \beta & 0 & -\sin \beta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \beta & 0 & \cos \beta \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} S_z \\ S_e \cos \gamma - S_n \sin \gamma \\ S_e \sin \gamma + S_n \cos \gamma \end{bmatrix} \quad (۱۷-۴)$$



شکل ۴-۵: دوران مختصات گردآور حول محور افقی b

با جایگزینی جواب رابطه (۴-۱۷) در روابط (۴-۸) و (۴-۹)، روابط زیر برای مقدار زاویه ردیابی و زاویه برخورد بدست می آید.

$$\tan \rho = \frac{\cos \alpha \sin(A - \gamma)}{\sin(\alpha - \beta) + \sin \beta \cos \alpha [1 - \cos A - \gamma]} \quad (۱۸-۴)$$

9

$$\rho = -A$$

$$\theta_i = \alpha$$

9

$$(20-4)$$

در حالیکه بطور قراردادی زاویه ردیابی در خلاف عقربه های ساعت حول سمت الراس است.

ب - گردآور با محور ردیابی عمودی و انحراف دهانه: در بعضی حالات دهانه گردآور نسبت به محور ردیاب عمودی به اندازه زاویه μ انحراف دارد. در این حالت زاویه ردیابی و زاویه تابش عبارتند از:

$$\rho = -A$$

$$\cos \theta_i = \cos(\alpha - \mu)$$

9

$$(21-4)$$

اگر محور ردیابی در صفحه دهانه منطبق شود زاویه μ مساوی صفر خواهد بود.

ج - محور ردیابی دارای شیبی معادل عرض جغرافیائی است: هنگامی که محور ردیابی نسبت به افق به اندازه عرض جغرافیائی (ϕ) شیب داشته، و در امتداد جنوب قرا گیرد، در آنصورت موازی محور زمین بوده و بسمت ستاره قطبی خواهد بود. اینحالت استقرار، بنام استقرار نصف النهاری نامیده میشود. حل روابط (4-18) و (4-19) با جایگزین کردن زاویه عرض جغرافیائی (ϕ) بجای زاویه شیب (β)، و سپس جایگزین کردن زاویه فراز و زاویه سمت، از روابط (3-17) و یکی از روابط (3-18) یا (3-19)، بر حسب عرض جغرافیائی، انحراف، و زاویه ساعت صورت می گیرد.

یک روش ریاضی ساده تر، دوران محورهای مختصات e, z و n حول محور e به اندازه زاویه ϕ عرض جغرافیائی است. به این ترتیب مولفه های یکه بردار شعاع مرکزی خورشید در مختصات u, b و r بدست می آید.

$$\begin{vmatrix} S_u \\ S_b \\ S_r \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \cos \phi & 0 & -\sin \phi \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \phi & 0 & \cos \phi \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} S_z \\ S_e \\ S_n \end{vmatrix} \quad (22-4)$$

ابتدا مولفه های بردار \vec{S} را از رابطه (3-10) نوشته و مقادیر زاویای فراز و سمت خورشید، در آنها را با زوایای عرض جغرافیائی، انحراف و ساعت از روابط (3-14)، (3-15) و (3-16)، جایگزین می کنیم. آنگاه این مولفه های S_z ، S_e و S_n در رابطه (4-22) جایگزین می شوند. سپس ρ و θ_i از روابط (4-8) و (4-9) بدست می آید، بدینترتیب مقادیر زاویه ردیاب و زاویه تابش برای مختصات قطبی خواهد شد:

$$\rho = \omega$$

$$\theta_i = \delta$$

9

(۲۳-۴)

چون (θ_i) ، زاویه ساعت درست به ازای هر ۱۵ درجه یک ساعت تغییر میکند، از یک سرعت ثابت برای دوران دهانه حول محور ردیابی میتوان استفاده نمود. با اضافه زاویه تابش، که عبارت از زاویه انحراف در طول سال فقط ۲۳/۴۵ درجه تغییر مینماید، در نتیجه می نیمم کسینوس زاویه برخورد معادل ۰/۹۱۷ است. نتیجه آنکه گردآور با یک محور دنبال کننده و افت کسینوس ماگزیمم ۸/۳٪ در روزهای اول تابستان و زمستان خواهد بود.

نکته مهم دیگر آنستکه زاویه انحراف خیلی به آرامی تغییر نموده و ماگزیمم تغییر مربوط به حدود اوائل بهار و پائیز و به مقدار ۰/۴ درجه در روز است. این مطلب نیاز به تنظیم زاویه بین دهانه گردآور و محور ردیابی را هر چند روز یکبار محتمل مینماید.

۳-۱-۴: دهانه ورودی با دو محور ردیابی

در گردآور با دو محور ردیابی دهانه ورودی همواره عمود بر شعاع مرکزی خورشید است. در نتیجه اثر کسینوس نقشی نداشته یعنی همواره داریم:

$$\cos \theta_i = 1.0 \quad (24-4)$$

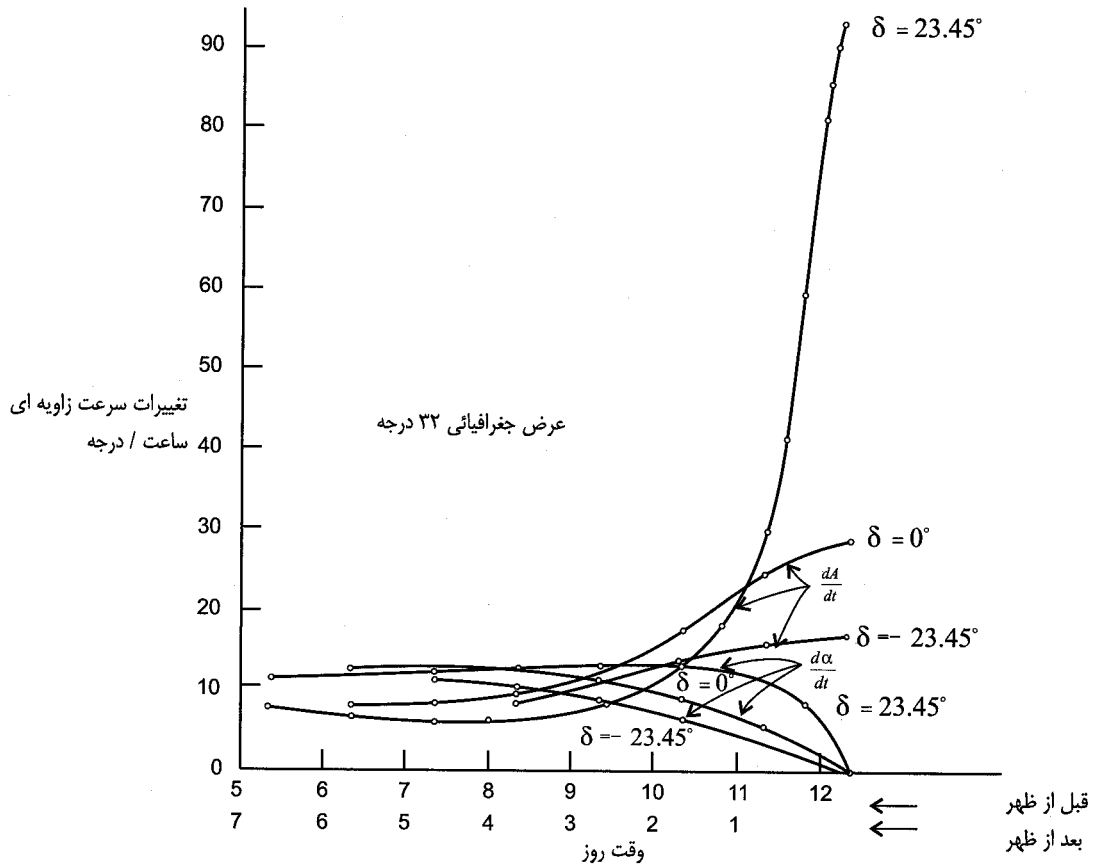
برای ردیابی خورشید بطور کامل، دوران حول دو محور همیشه لازم است. معمولاً از دو نوع ردیاب که عبارتند از: الف: سیستمهای ردیابی زوایای سمت و فراز و ب: سیستمهای ردیابی قطبی و یا نصف النهاری استفاده میشود.

الف: ردیابی زوایای سمت و فراز : با چنین ردیابی دهانه گردآور باید بتواند حول محور سمت الراس و یک محور موازی سطح زمین دوران نماید. زاویه ردیاب حول محور سمت الراس همان زاویه سمت (A) ، و زاویه ردیابی ρ حول محور افقی زاویه فراز α است، که هریک از این زوایا به ترتیب در روابط $(3-17)$ ، $(3-18)$ و $(3-19)$ نشان داده شده اند. نکته قابل توجه از نظر طراح دستگاه ردیابی، مقدار تغییر هر یک از این زوایا در واحد زمان و یا سرعت گردش دستگاه است. برای سیستم ردیابی سمت و فراز مقدار تغییر هیچ کدام از زوایای سمت یا فراز ثابت نبوده وبستگی به محل، زمان روز و فصل دارد. رابطه لازم برای سرعت گردش حول محور افقی با گرفتن دیفرانسیل از رابطه $(3-17)$ نسبت به زمان بدست میآید. اگر از تغییرات خیلی آهسته زاویه انحراف صرفنظر کنیم، نتیجه عبارت است از:

$$\frac{d\alpha}{dt} = \frac{-\cos \phi \sin \delta \sin \omega \left(\frac{d\omega}{dt} \right)}{\cos \alpha} \quad (25-4)$$

سرعت زاویه ای گردش حول محور عمودی نیز از رابطه (۱۸-۳) بطور مشابه بدست می‌آید، و آن عبارتست از:

$$\frac{dA}{dt} = \frac{-\cos \delta}{\cos A \cos^2 \alpha} (\cos \delta \sin^2 \omega \tan \alpha \cos \phi - \cos \alpha \cos \omega) \left(\frac{d\omega}{dt} \right) \quad (۴-۲۶)$$



شکل ۴-۷: تغییرات سرعت زاویه ای ردیاب در جهت زاویه سمت و فراز خورشید برای سه روز ویژه. در این مثال عرض جغرافیائی ۳۲ درجه بوده است.

شکل ۴-۷ تغییرات سرعت گردش (سرعت‌های زاویه ای) را برای زمانهای خاص نشان میدهد. بطوریکه ملاحظه میشود، در اول تیر (نقطه انقلاب تابستانی) در ساعت ۱۲ ظهر سرعت زاویه ای چرخش حول محور عمودی خیلی زیاد میشود. این مطلب را باید در طراحی مکانیزمها و کنترل سیستم ردیابی مورد توجه قرار داد.

ردیابی قطبی (نصف النهاری): برای این سیستم، یک محور دوران در امتداد محور گردش زمین، درحالیکه بسمت ستاره قطبی نشانه رفته است. درنتیجه شیبی نسبت به افق معادل عرض جغرافیائی محل خواهد داشت. همانطور که در بخش قبل گفته شد، زاویه دنبال کننده حول محور قطبی مساوی ω زاویه ساعت خورشید است. محور دیگر دوران، عمود بر این محور قطبی است. زاویه ردیابی حول این محور (که محور انحراف نامیده میشود) زاویه انحراف δ است.

سرعت زاویه ای گردش حول محور قطبی ثابت و معادل ۱۵ درجه در ساعت است. سرعت زاویه ای (نرخ چرخش) حول محور انحراف خیلی آهسته بوده، و احتمال نیاز به تنظیم دستگاه در مورد مقدار افزایش جزئی یا کاهش جزئی در دوحرك متوالی را زیاد میکند. سرعت زاویه ای بستگی به زمان سال داشته و با دیفرانسیل گرفتن از رابطه (۳-۷) نسبت به زمان بدست می‌آید. نتیجه عبارت است از:

$$\frac{d\delta}{dt} = \frac{0.01634}{\cos \delta} \sin[0.98563(N-173)] \quad \text{deg/hour} \quad (4-27)$$

از این رابطه مقدار ماگزیمم سرعت زاویه ای برابر ۰/۰۱۶۳ درجه در ساعت (۰/۲۸ میلی رادیان در ساعت) در نقاط اعتدال حاصل میشود. با سیستم نوری بسیاری از گردآورهای متمرکز کننده، میتوان تنظیم پله ای را جانشین حرکت دائم دنبال کننده نمود.

۴-۲: شدت تابش در دهانه و مقدار انرژی دریافتی گردآور

سطح ورود تابش خورشید به گردآور را دهانه گردآور نامیده ایم. مساحت این سطح با اندازه گیری ابعاد آن مشخص میشود. نور خورشید با ورود به این دهانه یا متمرکز شده و یا مستقیماً (مانند گردآور مسطح) جذب میشود.

۴-۲-۱: شدت تابش در دهانه گردآور

میزان انرژی ورودی تقسیم بر مساحت دهانه گردآور، شدت تابش در دهانه نامیده میشود. این مقدار معمولاً شامل: شدت تابش مستقیم و شدت تابش پراکنده است. مقدار زاویه تابش (یعنی: زاویه بین عمود بر دهانه و شعاع مرکزی خورشید) به ساعت روز، شماره روز سال، محل و امتداد دهانه، و بعلاوه، ثابت یا متحرک بودن دهانه بستگی دارد. در طراحی گردآورهای متمرکز کننده، معمولاً شدت تابش مستقیم مورد توجه است، زیرا اکثر گردآورهای متمرکز کننده فقط تابش مستقیم را متمرکز میکنند. در صورتیکه برای طراحی گردآورهای مسطح، طراح تابش کل به دهانه را مورد توجه قرار میدهد، زیرا گردآور مسطح هم تابش مستقیم و هم تابش پراکنده را جذب مینماید.

شدت تابش مستقیم ورودی به دهانه گردآور: شدت تابش در دهانه گردآور عبارت از انرژی رسیده به واحد سطح دهانه گردآور در واحد زمان است. شدت تابش را میتوان به روشهای آورده شده در فصل ۲ اندازه گیری نمود. در فصل ۲ بخش ۱-۲، انرژی رسیده به یک سطح افقی در خارج از جو زمین تعریف شد، و ملاحظه گردید که مقدار انرژی رسیده به سطح متناسب با کسینوس زاویه بین خط عمود بر سطح و شعاع مرکزی خورشید کاهش مییابد. این اثر را بنام اثر کسینوس و یا افت کسینوس نامیده و با رابطه (۲-۲) برای تابش بر سطح افقی در خارج از جو نشان دادیم. اگر صرفاً هدف تابش مستقیم باشد (همانطور که برای اکثر گردآورهای متمرکز کننده است)، مقدار شدت تابش مستقیم در دهانه گردآور ($I_{b,a}$) از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$I_{b,a} = I_{b,n} \cos \theta_i \quad W/m^2 \quad (4-28)$$

در این رابطه $I_{b,n}$ شدت تابش مستقیم و θ_i زاویه تابش است.

شدت تابش کل ورودی به دهانه گردآور : شدت تابش کل ورودی به دهانه گردآور شامل شدت تابش مستقیم بعلاوه شدت تابش پراکنده و شدت تابش بازتاب شده به آن است. در حالیکه شدت تابش مستقیم همانی است که با رابطه (۲۸-۴) نشان داده شد. شدت تابش پراکنده و شدت تابش بازتاب شده مساوی تابش پراکنده و بازتاب شده به واحد سطح دهانه گردآور در واحد زمان از نیمکره روبروی دهانه است (با توجه به آنکه ضریب دید صفحه ای با شیب β نسبت به آسمان برابر $\frac{(1 + \cos \beta)}{2}$ می‌باشد و ضریب دید همین صفحه نسبت به زمین برابر $\frac{(1 - \cos \beta)}{2}$ می‌باشد). بنابراین مقدار شدت تابش کل از رابطه: (۲۹-۴) بدست می‌آید.

$$I_{b,a} = I_{b,n} \cos \theta_i + \left[I_{d,h} \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + \rho I_{t,h} \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \right] \quad W / m^2 \quad (29-4)$$

در این رابطه $I_{d,h}$ شدت تابش پراکنده، $I_{t,h}$ شدت تابش کل رسیده به سطح افقی، β زاویه شیب دهانه نسبت به افق و ρ ضریب بازتاب سطوح محیط اطراف دهانه است.

۲-۲-۴: مقدار انرژی رسیده به واحد سطح دهانه گردآور

مقدار تابش مستقیم به واحد سطح دهانه گردآور در مدت زمان دلخواه عبارت از جمع (انتگرال) شدت تابش مستقیم به واحد سطح آن در آن زمان است. بنابراین رابطه (۳۰-۴) تابش مستقیم رسیده به واحد سطح گردآور در خارج از جو (از سپیده دم تا غروب) را برای یک روز نشان می‌دهد. مقدار تابش مستقیم $I_{b,a}$ قبلاً در رابطه (۳-۲) دیده شد.

$$H_{b,a} = \int_{sunrise}^{sunset} I_{b,a} dt \quad J / m^2$$

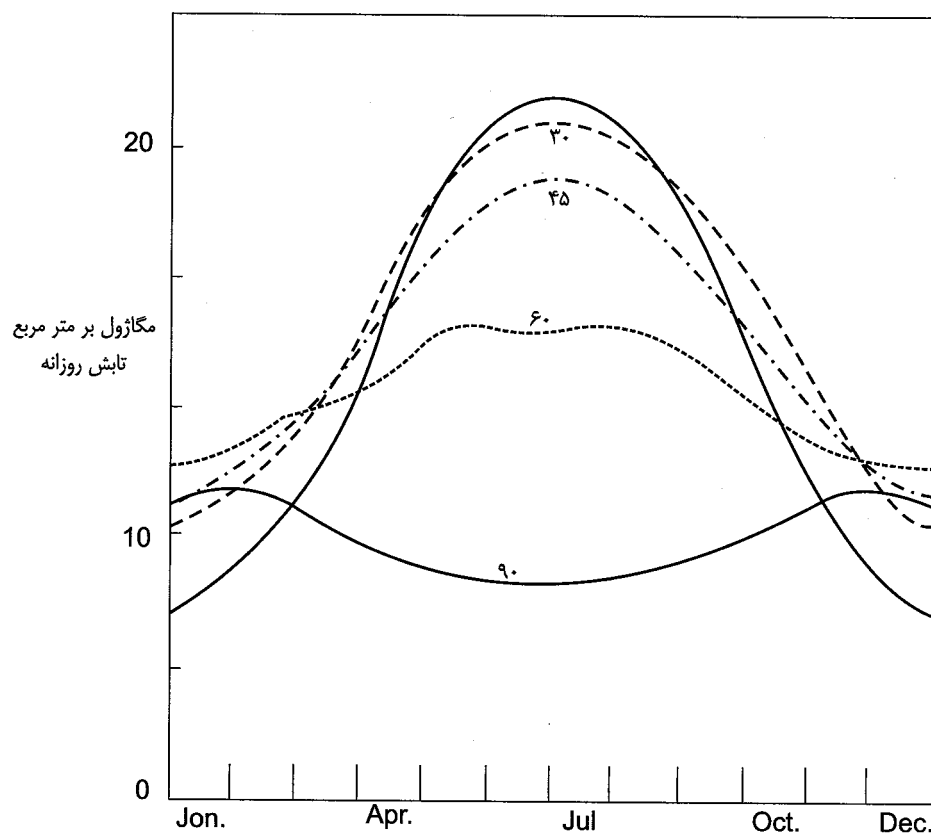
بهمین ترتیب تابش کل به واحد سطح دهانه گردآور عبارت از جمع (انتگرال) شدت تابش کل رسیده به واحد سطح دهانه گردآور در طول یک زمان معین، که معمولاً یک روز کامل است. بنابراین با انتگرال گیری از رابطه (۲۹-۴) در فاصله زمانی بین طلوع و غروب خورشید از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$H_{t,a} = \int_{sunrise}^{sunset} I_{t,a} dt \quad J / m^2 \quad (31-4)$$

گاهی تابش رسیده به گردآور در طول مدت یک ماه و یا طول مدت یک سال مورد نیاز است. این مقادیر با جمع مقادیر انرژی‌های روزانه در مدت زمان مورد نظر بدست می‌آید.

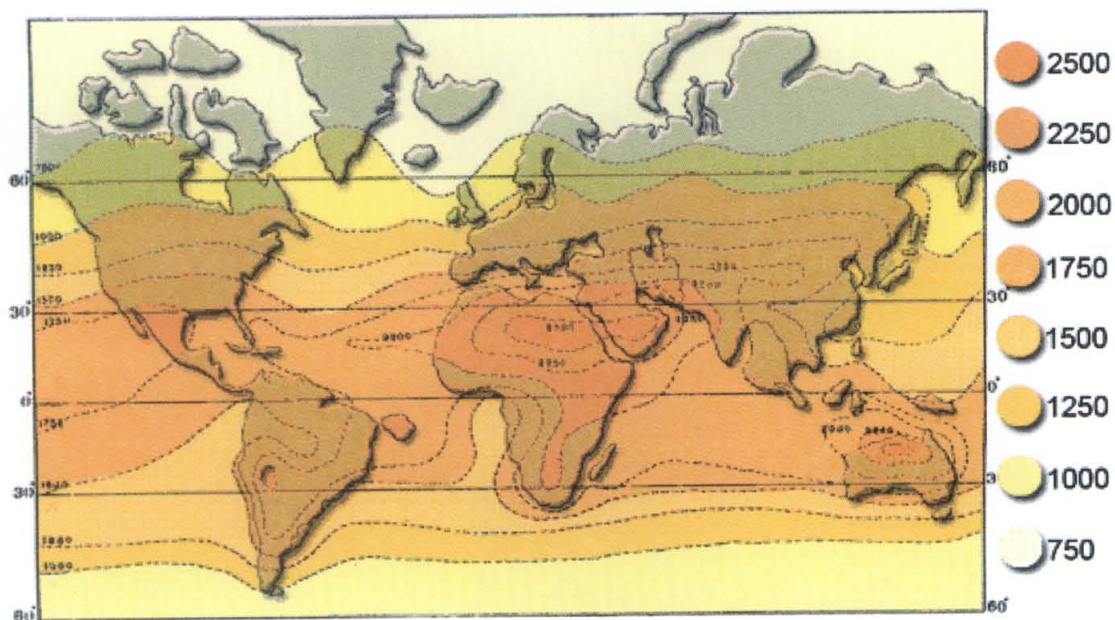
مثال: شکل: ۴-۸ مقدار انرژی گردآوری شده، متوسط ماهانه تابش روزانه تهران ($\phi = 35/68$) را برای زوایای شیب مختلف گردآور، نشان می‌دهد [۱].

این منحنی‌ها با فرض ضریب بازتاب $\rho = 0.2$ و $\gamma = 0$ تهیه گردیده است. از نمودارهای نشان داده شده در شکل: ۴-۸، نتیجه میشود که انرژی رسیده (معادل سطح زیر منحنی) به گردآور ثابت در حالت زاویه شیب 30° درجه (نزدیک به عرض جغرافیائی تهران) مقدار ماکزیمم را دارد.

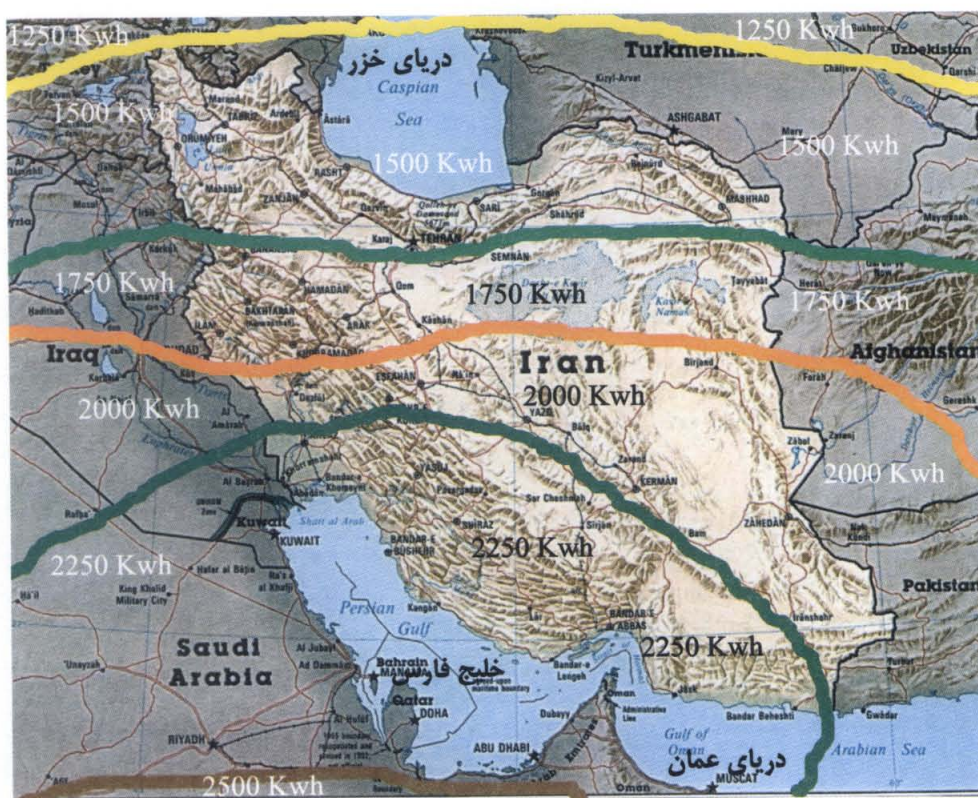


شکل ۴-۸: تغییرات متوسط روزانه تابش برای گردآور با شیب ثابت (β) در طول سال برای تهران (عرض جغرافیائی $\phi = 35/68$)، منگامیکه ضریب بازتاب زمین (ρ) مساوی 0.2 فرض شود.

همانطور که قبلاً ذکر شد گاهی مقدار انرژی رسیده به زمین در یک ماه و یا در یک سال مورد نیاز است. شکل: ۴-۹ مقدار انرژی خورشیدی رسیده به هر متر مربع از زمین را در سال نشان میدهد. در شکل ۴-۱۰ مقیاس مربوط به ایران بزرگ شده است.



شکل ۴-۹: نمودار تابش متوسط سالیانه خورشید بر حسب مقدار کیلووات ساعت بر مترمربع بر نقاط مختلف کره زمین



شکل ۴-۱۰: نمودار تابش متوسط سالیانه خورشید بر حسب مقدار کیلووات ساعت بر مترمربع در نقاط مختلف ایران

فصل ۵: گردآورهای خورشیدی

گردآور خورشیدی انرژی خورشیدی را به انرژی حرارتی (گردآورهای حرارتی) ویا الکتریکی (پنلهای سلولهای نوری یا پیل خورشیدی) تبدیل مینماید. در فصل ۴ روابط لازم برای پیش بینی مقدار انرژی خورشیدی رسیده به یک گردآور ملاحظه شد. بعلاوه اثر شیب و اثر ردیاب در بهینه کردن تابش ورودی مورد توجه قرار گرفت. در این فصل چگونگی جذب و تبدیل انرژی خورشیدی را به انرژی حرارتی یا الکتریکی مورد مطالعه قرار میدهیم.

بنابراین ابتدا گردآورهای حرارتی و سپس پیلهای خورشیدی مورد توجه قرار میگیرند. بعلاوه رابطه بقای انرژی برای گردآورهای حرارتی و رابطه تعادل برای پیل خورشیدی بدون در نظر گرفتن جزئیات مربوط به فرآیندهای الکتروفیزیک درون سلولها بدست خواهد آمد.

بابررسی مدلهای ساده و بدون وارد شدن در جزئیات، مقدار انرژی خروجی از گردآورهای مختلف پیش بینی شده و مدلی انتخاب میشود که برای کلیه گردآورها قابل استفاده باشد، لذا گردآور را مستقل از شکل آن مورد مطالعه قرار داده تا شبیه سازی عمومیت داشته و برای کلیه گردآورها استفاده گردد.

هرچند شبیه سازی ریاضی برای تعیین بازدهی گردآور بدون ذکر طرح آن ممکن است عجیب بنظر برسد، ولی ملاحظه خواهد شد که با داشتن بعضی مشخصه های ترمودینامیکی وبدون داشتن جزئیات شکل گردآور شبیه سازی ریاضی آن امکان پذیر است. معمولاً، بازدهی گردآور با استفاد از نتایج بدست آمده از کار دستگاه شبیه سازی شده تعیین میشود. در این فصل مدلهای ساده بازده گردآورهای مورد توجه قرار گرفته و این مدلها برای شرایط کاری مختلف تعمیم داده شده است. برای بازدهی پیل خورشیدی نیز یک مدل ساده آورده شده است. این مدل مانند مدل گردآور حرارتی بر اساس نتایج آزمایش کار دستگاه در شرایط متفاوت باشرایط استاندارد میباشد.

۵-۱: دریافت و افت انرژی در گردآورهای حرارتی

برای اجرای رابطه بقای انرژی بر روی یک گردآور حرارتی، معمولاً جذب کننده انرژی خورشید نسبت به محیط خارج عایق حرارتی میشود. رابطه تعادل انرژی برای جذب کننده گردآور عبارت است از:

$$\dot{Q}_{useful} = \dot{E}_{opt} - \dot{Q}_{loss} \quad (W) \quad (1-5)$$

در حالیکه:

$$\dot{Q}_{useful} : \text{قدرت حرارتی مفید خروجی از جذب کننده در واحد زمان } (W)$$

$$\dot{E}_{opt} : \text{انرژی تابشی (امواج باطول موج کوتاه) رسیده به جذب کننده در واحد زمان } (W)$$

$$\dot{Q}_{loss} : \text{افت حرارتی از جذب کننده در واحد زمان } (W)$$

قدرت حرارتی مفید برای یک گردآور حرارتی خورشیدی، مقدار انرژی است که در واحد زمان از گردآور خارج شده، و معمولاً بر حسب انرژی اضافه شده به سیال مبدل که از گیرنده و یا جذب کننده عبور میکند آورده میشود، یعنی بصورت:

$$\dot{Q}_{useful} = \dot{m} C_p (T_{out} - T_{in}) \quad (W) \quad (2-5)$$

در این رابطه:

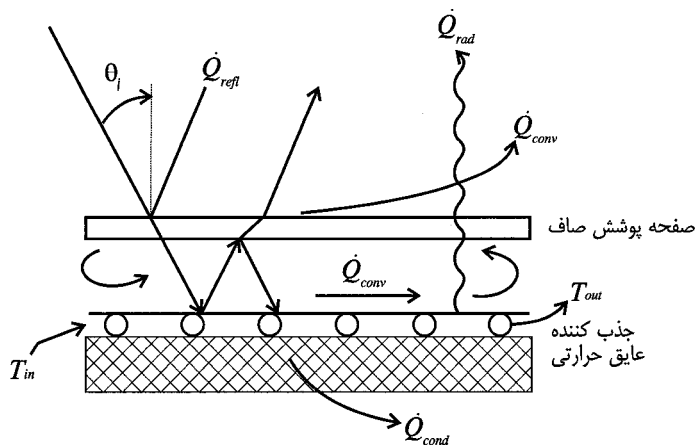
\dot{m} - دبی جرمی سیال مبدل، برحسب کیلوگرم بر ثانیه (kg/s)

C_p - گرمای ویژه سیال مبدل، برحسب ژول بر کیلوگرم بر درجه کلون ($J/kg \cdot K$)

T_{out} - درجه حرارت سیال مبدل در هنگام خروج از جذب کننده، برحسب درجه کلون (K)

T_{in} - درجه حرارت سیال مبدل در هنگام ورود به جذب کننده، برحسب درجه کلون (K)

مقادیر مختلف در روی شکل ۵-۱ نشان داده شده است.



شکل ۵-۱: مقادیر مربوط به تعادل انرژی برای گیرنده و یا جذب کننده گردآور

۵-۱-۱: دریافت انرژی

مقدار انرژی تابشی‌ای که در واحد زمان به سطح گردآور برخورد میکند را ظرفیت آن سیستم خورشیدی (تابش کل رسیده برای گردآور مسطح و تابش مستقیم برای گردآور متمرکز کننده) مینامیم. چون معمولاً سطح گیرنده درست عمود بر تابش خورشید قرار نمیگیرد، مقدار تابش رسیده به سیستم با در نظر گرفتن زاویه برخورد مطابق بند ۴-۱ در فصل ۴ کاهش مییابد.

سطحی از گردآور که انرژی تابشی به آن وارد میشود، را سطح دهانه گردآور مینامیم. بنابراین برای ظرفیت گردآور (انرژی رسیده به دهانه گردآور) میتوان نوشت:

$$\dot{E}_{inc} = I_a A_a \quad (W) \quad (3-5)$$

در این رابطه:

I_a - شدت تابش ورودی به دهانه گردآور (شدت تابش کل یا شدت تابش مستقیم)، بر حسب: (W/m^2)

A_a - سطح دهانه گردآور بر حسب: (m^2)

انرژی رسیده به دهانه گردآور تا رسیدن به گیرنده دچار افت‌های متعددی میشود. این افت‌ها بستگی به طرح و نوع هر گردآور دارد. در این فصل افت‌های را مهم مورد توجه قرار میدهم. در فصول دیگر کتاب برای طرح‌های ویژه‌ای که آورده میشود، افت‌های ویژه و ناچیز مربوط به هر یک نیز ذکر خواهد شد. مقدار انرژی (امواج باطول موج کوتاه) رسیده به جذب کننده یا گیرنده در واحد زمان، مساوی حاصلضرب ظرفیت خورشیدی سیستم در ضرایب متعددی است، که همگی کمتر از "واحد" اند. ظرفیت نهائی انرژی گردآور را بصورت زیر میتوان نشان داد:

$$E_{opt} = \Gamma \rho \tau \alpha I_a A_a \quad (W) \quad (4-5)$$

در این رابطه:

Γ - ضریب سطح بازتاب (ضریب انرژی بازتاب شده به جذب کننده)

ρ - ضریب بازتاب هر یک از سطوح بازتاب کننده میانی

τ - ضریب عبور صفحه شفاف (شیشه یا پلاستیک پوشش یا پنجره)

α - ضریب جذب کننده

دو ضریب اول صرفاً مربوط به گردآورهای متمرکز کننده است. ضریب سطح بازتاب (Γ) بستگی به شکل و اندازه سطح بازتاب و بعلاوه، جذب کننده دارد. این ضریب را میتوانیم با عنوان "ضریب سرریز" یعنی ضریب مربوط به انرژی تابشی بازتاب شده

ولی برخورد نشده به جذب کننده نیز بنامیم. لذا این ضریب برای یک متمرکز کننده که خوب طراحی نشده خیلی کمتر از یک خواهد بود. روش محاسبه این ضریب را در فصل ۸ مربوط به "اپتیک متمرکز کننده" خواهیم دید.

ضریب بازتاب ρ نمایشگر کیفیت سطح بازتاب استفاده شده در گردآور است. برای یک متمرکز کننده که خوب طراحی شده این ضریب ۰/۹۵ یا بیشتر است. در آئینه‌های با لایه نقره ضریب بازتاب تا ۰/۹۴ میرسد و صفحات بازتاب کننده جدید آلومینیومی دارای ضریب بازتاب حدود ۰/۸۶ هستند.

ضریب عبور τ عبارت از نسبت عبور هر لایه شفاف در سر راه آفتاب تا جذب کننده گردآور است. مثلاً: ضریب عبور صفحات پوشش پلاستیک یا شیشه بر روی جذب کننده گردآور مسطح، که به منظور کاهش افت جابجائی بکار برده میشود. در گردآور سهموی خطی بوسیله یک لوله شیشه ای که جذب کننده را احاطه نموده، افت جابجائی کاهش داده میشود. در جذب کننده حفره ای درجه حرارت بالا، از پوشش شیشه کوارتز برای جدا نگه داشتن گاز داخل جذب کننده از هوای خارج و تحت فشار قرار دادن گاز داخل حفره و کاهش افت جابجائی استفاده میشود. ولی از طرف دیگر، پوشش شفاف مقدار انرژی رسیده به جذب کننده یا گیرنده را با نسبت ضریب عبور τ کاهش میدهد. بنابراین استفاده از پوشش برای کاهش افت جابجائی حرارتی میبایست حداقل جبران کاهش عبور انرژی به جذب کننده را بنماید.

ضریب عبور در رابطه (۴-۵) معادل ضریب عبور کل (حاصلضرب کلیه ضرایب عبور) که در حقیقت برآیند کلیه ضرایب عبور است. ضریب عبور پوشش به طول موج اشعه نیز بستگی دارد. مثلاً شیشه قسمت عمده امواج قابل رویت را از خود عبور میدهد، ولی قسمت عمده امواج مادون قرمز را عبور نمیدهد. بنابراین یک جذب کننده با پوشش شیشه قسمت عمده امواج طول موج کوتاه خورشید را دریافت کرده و از خروج قسمت عمده امواج طول موج بلند از جذب کننده به خارج جلوگیری مینماید. بهمین دلیل گلخانه‌ها در هنگام شب حرارتی را که از دست میدهند ناچیز است. انیدرید کربنیک (گاز کربنیک) نیز همین خاصیت را به اتمسفر زمین میدهد. بهمین دلیل افزایش انیدرید کربنیک موجب "اثر گلخانه ای" شده این اثر ایجاد مانع در مقابل بالا رفتن دود و هوای گرم از نزدیک سطح زمین مینماید. لذا با گازی کردن اتومبیل‌های بنزینی میتوان انتظار داشت که اثر گلخانه ای به مقدار قابل ملاحظه در تهران و شهرهای بزرگ کشور کاهش یابد.

از طرف دیگر، پوشش پلاستیک دارای ضریب عبور بالا برای امواج با طول موج بلند است. لذا از گردآور خورشیدی با پوشش پلاستیک برای سرمایش در شب استفاده میشود. زیرا افت تابش به آسمان از گردآور با پوشش پلاستیک افزایش مییابد. بهمین دلیل گلخانه‌ها در مناطق گرمسیر از پوشش پلاستیک بجای شیشه استفاده میکنند. زیرا در گلخانه‌ها در مناطق گرمسیر بدون افت حرارت از گلخانه در شب، درجه حرارت متوسط آن بیش از اندازه بالا رفته و در آن صورت فضای گلخانه برای رشد گیاه مناسب نخواهد بود.

ضریب جذب α نمایش نسبت انرژی جذب شده به انرژی رسیده به سطح را، نشان میدهد (ما بقی بازتاب شده). یک سطح سیاه با ضریب جذب خوب میتواند تا حد ۰/۹۸ خاصیت جذب انرژی را داشته باشد. ذکر این نکته لازم است که این خصوصیت مربوط به امواج قابل رویت طیف خورشید است. برای اکثر سطوح جذب مقدار جذب تابعی از طول موج انرژی تابشی است. گردآورهای با سطوح ویژه برای امواج قابل رویت ضریب جذب بیشتری داشته و در نتیجه افت تابش آنها کاهش مییابد.

بطور خلاصه هنگام نوشتن رابطه تعادل انرژی برای یک صفحه جذب کننده، چهار عامل مهم در کاهش انرژی خورشیدی رسیده به جذب کننده موثرند، این عوامل عبارت از: بازتاب ناقص بازتاب کننده، شکل هندسی ناقص، ضریب عبور پائین سطوح شفاف میانی و ضریب جذب پائین جذب کننده است.

۵-۱-۲: افت حرارت از گردآور

همینکه تابش خورشید (امواج کوتاه طیف) راه خود را تا سطح جذب کننده گردآور باز میکند، درجه حرارت جذب کننده به درجه حرارتی بیش از درجه حرارت محیط (اتمسفر) افزایش مییابد. از این زمان افت حرارت از جذب کننده به محیط خارج شروع میشود. افت حرارت به هر سه صورت جابجائی، تشعشع و هدایت انجام میشود. هر سه افت حرارتی فوق تابعی از اختلاف درجه حرارت جذب کننده و محیط خارج است.

$$\dot{Q}_{loss} = \dot{Q}_{loss, convection} + \dot{Q}_{loss, radiation} + \dot{Q}_{loss, conduction} \quad (W) \quad (5-5)$$

چون گردآور خورشیدی برای گرم کردن سیال مبدل طراحی میشود، یک تعادل بین حرارت انتقال یافته توسط سیال مبدل و افت حرارتی ناشی از تشعشع، جابجائی و هدایت بصورت رابطه (۴-۱) وجود دارد. از آنجائی که افت حرارت با افزایش اختلاف درجه حرارت جذب کننده و محیط خارج افزایش مینماید، تعادل بین انتقال حرارت سیال مبدل و افت حرارت از جذب کننده، درجه حرارت کار، گردآور را تعیین مینماید.

هرچه سیال مبدل حرارت بیشتری را انتقال دهد، دمای جذب کننده کاهش بیشتری یافته و افت حرارت کاهش مینماید. اگر سیال به مقدار کافی حرارت جذب کننده را منتقل ننماید، درجه حرارت آن افزایش یافته و پیرو آن افت جذب کننده بیشتر میشود. این وضعیت بخصوص در مورد گردآور متمرکز کننده خطرناک است، زیرا اگر انتقال حرارت توسط سیال مبدل قطع شود، افزایش درجه حرارت میتواند جذب کننده را ذوب نماید.

افت جابجائی - افت حرارت جذب کننده گردآور از طریق جابجائی متناسب با سطح آن و اختلاف درجه حرارت جذب کننده با هوای محیط است. رابطه حاکم بصورت زیر نوشته میشود:

$$\dot{Q}_{loss, convection} = h_c A_r (T_r - T_a) \quad (W) \quad (6-5)$$

در این رابطه داریم:

$$h_c - \text{متوسط ضریب انتقال حرارت از طریق جابجائی } (W / m^2 \cdot K)$$

$$A_r - \text{مساحت سطح گیرنده یا جذب کننده } (m^2)$$

$$T_r - \text{درجه حرارت متوسط گیرنده } (K)$$

$$T_a - \text{درجه حرارت هوای محیط } (K)$$

در مقایسه با روابط دیگر افت حرارت، رابطه فوق مدل ساده و روشنی است. معمولاً افت حرارت‌های مختلفی از طریق جابجائی به محیط اطراف وجود دارد. برای مثال گردآور مسطح خورشیدی اغلب یک لایه پوشش شیشه بین جذب کننده و هوای خارج دارد. یک فرآیند جابجائی بین جذب کننده گرم و پوشش شیشه، و فرآیند جابجائی دیگری بین پوشش شیشه و هوای خارج وجود دارد. بعلاوه چون جریان باد ضریب افت جابجائی را افزایش میدهد باید در محاسبات افت اثر آن اعمال شود.

در مورد متمرکز کننده سهموی بشقابی، جذب کننده معمولاً در داخل یک حفره قرار دارد. به این ترتیب در مقابل جریان هوا حفاظت میشود.

بالاخره، آنکه درجه حرارت جذب کننده T_r یک مقدار ثابت یا قابل اندازه گیری نیست. درجه حرارت جذب کننده در نزدیک محل ورودی سیال مبدل کمتر از نزدیک خروجی سیال مبدل بوده و هر دو کمتر از سطوح میانی که با سیال مبدل در تماس نیستند، میباشد. بعلاوه از آنجائیکه جابجائی عبارت از: انتقال حرارت از سطح است و به دمای سطح انتقال حرارت بستگی دارد، لذا، این دما بیشتر به رنگ سیاه یا لایه ویژه جاذب در روی جذب کننده بستگی دارد.

با توجه به این عوامل بنظر معقول میرسد که انتقال حرارت از طریق جابجائی، متناسب با مساحت سطح و اختلاف درجه حرارت متوسط سطح با درجه حرارت محیط باشد.

از آنجائی که افت جابجائی افت اصلی را در اکثر گردآورهای خورشیدی تشکیل میدهد، مخترعین و طراحان راه حل‌های مختلفی را برای کاهش این افت در طرح خود اعمال مینمایند. مثلاً استفاده از چند لایه پوشش شفاف برای گردآور مسطح، یا استفاده از لوله‌های شیشه‌ای در جذب کننده‌های خطی و خلأ نمودن فضای میانی، و همچنین متمرکز نمودن انرژی خورشیدی از سطح بازتاب کننده بزرگ به سطح جذب کننده کوچک، و قراردادن جذب کننده در داخل یک حفره با پوشش شیشه‌ای، شماری از این راه حل‌ها برای کاهش افت جابجائی است.

افت از طریق تشعشع - افت حرارت از طریق تابش (تشعشع) برای گردآورهایی که درجه حرارت کار آنها فقط به مقدار ناچیز از محیط بالا تر است، مهم بوده، و برای گردآورهای با درجه حرارت بالا افت اصلی را تشکیل میدهد. شکل ۵-۲ این حالت گذرا را برای یک سطح عمودی سیاه در هوا نشان میدهد. میزان افت حرارت از طریق تابش متناسب با ضریب انتشار سطح و تفاضل درجه چهار درجه حرارت است. رابطه نمایش این افت عبارت است از:

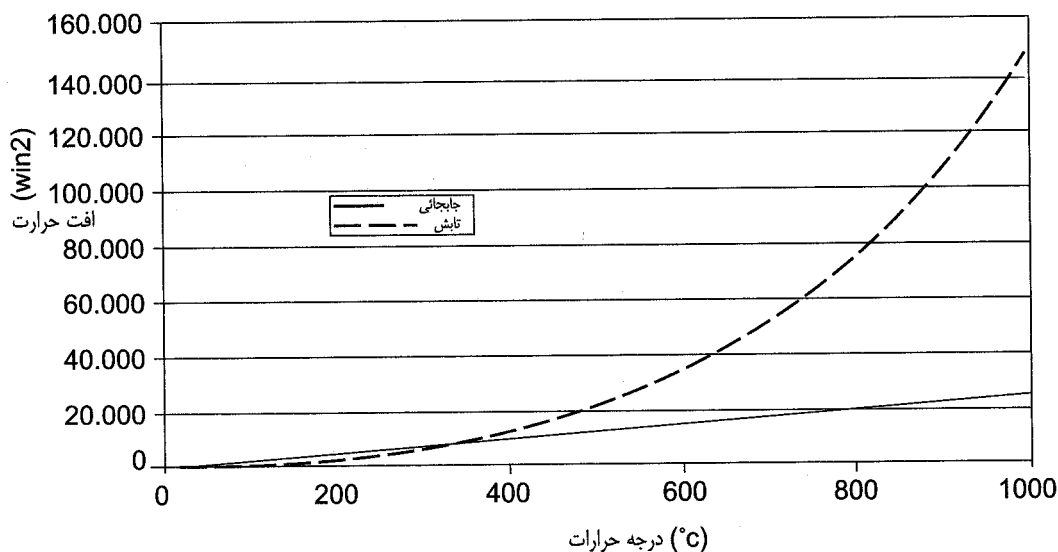
$$Q_{loss, radiation} = \varepsilon \sigma A_r (T_r^4 - T_{sky}^4) \quad (W) \quad (7-5)$$

در حالیکه:

ε - ضریب انتشار سطح جذب کننده

σ - ضریب ثابت استفان بولتزمان ($5.670 \times 10^{-8} W / m^2 K^4$)

T_{sky} - معادل درجه حرارت جسم سیاه در آسمان (K)



شکل ۵-۲: مقایسه افت حرارت از طریق جابجایی و تابش برای سطح سیاه عمودی در هوای آزاد ۲۵ درجه سانتیگراد.

طراح سیستم خورشیدی قادر به کنترل ضریب انتشار جذب کننده است. معمولاً سطوحی که ضریب انتشارشان پائین است، ضریب جذب آنها نیز پائین بوده، و این موجب کاهش جذب انرژی خورشید مطابق رابطه (۴-۴) میشود. ولی روکش‌های ویژه‌ای نیز وجود دارد که در درجه حرارت نسبی پائین، ضریب انتشارشان پائین ولی ضریب جذبشان بالاست. در بخش ۵-۱-۴ این روکش‌ها مورد توجه قرار میگیرند.

مورد دیگر که میتوان افت ناشی از تابش را کاهش داد، کاهش سطح جذب کننده است. این کار مشابه با افت ناشی از جابجایی، بوسیله تمرکز انرژی خورشیدی و کم کردن سطح جذب کننده صورت میگیرد. یک مورد خاص و جالب که سطح تبادل حرارت تابش از دهانه جذب کننده کوچک بوده، در حالیکه سطح جذب کننده بزرگ میباشد، جذب کننده نوع حفره‌ای است.

چون گرد آورها معمولاً رو بسمت آسمان قرار میگیرند، با آسمان تبادل تابش دارند. درجه حرارت معادل درجه حرارت آسمان بستگی به وزن مخصوص هوا و مقدار رطوبت هوا دارد. هنگامی که رطوبت بالا و در نزدیک سطح دریا هستیم، درجه حرارت آسمان را میتوان معادل درجه حرارت هوای محیط در نظر گرفت. در حالیکه در رطوبت نسبی کم و یا ارتفاع زیاد درجه حرارت آسمان معادل ۶ تا ۸ درجه کمتر از درجه حرارت هوای محیط است. ذکر این نکته مناسب است که در صورت عدم وجود اتمسفر (مانند: خارج از جو زمین) درجه حرارت آسمان به صفر درجه کلوین میل مینماید.

افت هدایت - آخرین شکل افت حرارت که باید در طراحی گردآور مورد توجه قرار گیرد، افت ناشی از هدایت حرارت است. مقدار هدایت حرارت به جنس و ضخامت مواد و بعلاوه سطح انتقال حرارت بستگی دارد. رابطه این افت عبارت است از:

$$\dot{Q}_{loss,conduction} = \bar{k} \bar{\Delta x} A_r (T_r - T_a) \quad (W) \quad (۸-۵)$$

در حالیکه در این رابطه :

$$\bar{k} - \text{متوسط ضریب هدایت حرارت، بر حسب : } (W/m \cdot K)$$

$$\Delta x - \text{متوسط ضخامت مواد عایق است.}$$

افت حرارت از طریق هدایت معمولاً در مقایسه با افت جابجائی و افت تابش کم است، و بهمین دلیل معمولاً با افت جابجائی مشترکاً مورد بررسی قرار میگیرد. حالت خاص در مورد افت از طریق هدایت زمانی است که جذب کننده به یک تکیه گاه فلزی و یا اسکلت فلزی چسبیده است.

۵-۱-۳: رابطه تعادل انرژی

برای اینکه یک رابطه (۵-۹) برای انرژی مفید تولیدی توسط گردآور براساس تعادل انرژی برای جذب کننده بدست آورده شود، میتوان از ترکیب روابط (۴-۱) الی (۴-۸) استفاده نمود. رابطه (۵-۹) در فصول بعد هنگام بحث در مورد چگونگی طرح گردآورها و علل آن مورد توجه بیشتر قرار خواهد گرفت.

$$\dot{Q}_{useful} = \dot{m}C_p(T_{out} - T_{in}) = \Gamma\rho\tau\alpha I_a A_a - A_r[h'(T_r - T_a) + \epsilon\sigma(T_r^4 - T_{sky}^4)] \quad (W) \quad (5-9)$$

در این رابطه :

$$h' - \text{ضریب مشترک جابجائی و هدایت } (W/m^2 \cdot K) \text{ است.}$$

این رابطه نشان میدهد که میزان انرژی مفید تولیدی توسط گردآور، مساوی انرژی خورشیدی (طول موج کوتاه) جذب شده توسط جذب کننده منهای افت حرارتی آن است. در این رابطه افت جابجائی و افت هدایت را جهت سادگی با هم ترکیب کرده‌ایم.

۵-۱-۴: سطوح ویژه

تا این مرحله از درک مکانیزم های دریافت و افت انرژی خورشید، دو مشخصه مهم گردآور خورشیدی که عبارت از : ضریب جذب α و ضریب انتشار ϵ باشد را موردتوجه قرار دادیم. گروهی از سطوح که در آنها این دو مشخصه بهینه شده باشد توسعه یافته که به آنها سطوح ویژه میگوئیم. دانستن مشخصات این سطوح مهم است.

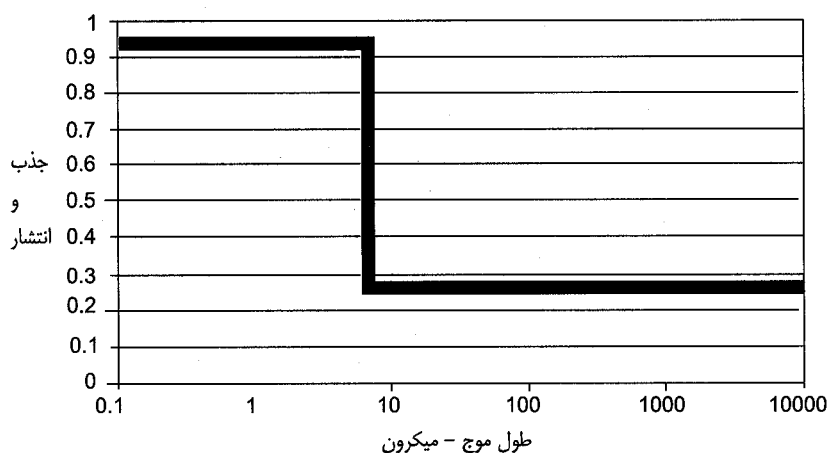
با توجه به رابطه (۵-۹)، نتیجه میشود که برای گردآوری بیشتر انرژی خورشیدی، میباید ضریب جذب (α) بالا و ضریب انتشار ϵ پائین باشد. ولی بر اساس تئوری انتقال حرارت میدانیم که حداقل برای سطوح سیاه و سطوح خاکستری ضریب جذب برابر ضریب انتشار است. ولی طبق قانون کیرشف این دو ضریب صرفاً برای یک طول موج با هم برابرند. یعنی :

$$\alpha_\lambda = \epsilon_\lambda \quad (5-10)$$

سطوح ویژه دارای جذب بالا برای طول موجهای پائین (امواج قابل رویت) بوده، و برای طول موجهای بلند (حرارتی یا مادون قرمز) دارای ضریب جذب و انتشار پائین اند. ولی آنها با قانون کیرشف مغایر نبوده، و جذب بالا و انتشار پائین در حقیقت بدین معنی است که جذب بالا برای تابش طول موج کوتاه و انتشار پائین برای تابش طول موج بلند دارند. در نتیجه سطح ویژه انرژی خورشیدی را خوب جذب میکند، ولی انرژی حرارتی را خوب تابش نمیکند.

در شکل ۳-۵ خاصیت سطح ویژه نشان داده شده است. در شکل فرض شده است که سطح دارای 0.95 ضریب جذب برای امواج کمتر از 5 میکرون و 0.25 برای امواج بلندتر باشد. چون 99.5% انرژی خورشیدی در امواج زیر 5 میکرون همانطور که در فصل ۲ بخش ۲-۱-۲ گفته شد، قرار دارد، ضریب موثر این سطح عبارت 0.945 است. ضریب انتشار این سطح فرضی بستگی به دمای آن دارد. اگر دمای این سطح فرضی 80 درجه سانتیگراد که معمولاً دمای گردآور آبگرمکن خورشیدی است، باشد، در آنصورت 99.1% انرژی تابشی آن با طول موج بالای میکرون بوده و ضریب انتشار این سطح معادل 24.8% است.

از طرف دیگر اثر بکار گیری سطوح ویژه در مورد "جذب کننده های دمای بالا" کمتر محسوس است. اگر درجه حرارت جذب کننده 700 درجه سانتیگراد یعنی مشابه دمای معمول برای گیرنده گردآور سهموی بشقابی باشد، حدود 43.6% از تابش آن با طول موجهای بیش از 5 میکرون بوده و ضریب انتشار آن 64.5% است.



شکل ۳-۵: خصوصیات تابشی یک سطح ویژه فرضی

جذب کننده های با پوشش های ویژه ترکیبی دارای ضریب جذب بالا برای طیف خورشید و ضریب انتشار پائین برای امواج مادون قرمزند.

پوششهای زیادی بر روی گردآور آزمایش شده است، که احتمالاً مهمترین آنها کرم سیاه است. ابتدا پوششی معادل 25 میکرون نیکل سفید به صورت الکتریکی روی گیرنده فولادی رسوب داده شده و سپس پوشش نازک دیگری (ضخامت 2 الی 3 میکرون) از کرم سیاه بصورت الکتریکی بر روی آن رسوب داده میشود.

فلز کرم پوشش داده شده بصورت ذرات میکروسکوپی بر روی جذب کننده، موجب میشود که این ذرات بخاطر شکل هندسی‌اشان، بطور موثر نور تابیده شده را محبوس نموده و پوشش برنگ سیاه دیده شود. با وجود آنکه پوشش کرم سیاه در

ناحیه طول موجهای قابل رویت بشدت جذب کننده است، ولی در ناحیه طیف مادون قرمز شفاف بوده و ضریب انتشار آن در این ناحیه پائین است. در نتیجه مجموعه پوشش نیکل روشن و کرم سیاه دارای ضریب جذب بالا (مساوی ۰/۹۵) و ضریب انتشار پائین (کمتر از ۰/۲۵) در ناحیه مادون قرمز است.

۵-۱-۵: افت انتهائی در سهموی خطی

آخرین افتی را که باید مورد توجه قرار داد، صرفاً مربوط به سهموی خطی بوده و به آن افت انتهائی گفته میشود. این افت ناشی از آن قسمت از تابش است که خارج از محل جذب کننده بازتاب میشود. این افت بستگی به زاویه تابش دارد. در فصل ۹ این افت مورد توجه قرار میگیرد.

۵-۲: میزان دریافت و افت در پیل خورشیدی

رابطه تعادل به طراح پیل خورشیدی اطلاعات کمی میدهد. با وجود این چون بازدهی سلول با افزایش درجه حرارت کاهش مییابد، بنابراین اگر میزان افت حرارت از پیل بجای کاهش، افزایش نماید بهتر است.

رابطه تعادل برای سلولهای نوری در پیل خورشیدی بصورت زیر نوشته میشود:

$$P_{elect} = i \cdot v = \dot{E}_{opt} - \dot{Q}_{loss} \quad (W) \quad (۱۱-۵)$$

در این رابطه :

i - جریان الکتریکی از سلول (آمپر)

v - اختلاف پتانسیل دو طرف سلول (ولت)

مفهوم مقدار اشعه تابیده شده به سلول \dot{E}_{opt} و مقدار افت انرژی حرارتی از سلول \dot{Q}_{loss} مشابه با مفهوم آن در رابطه (۵-۱) است.

مقدار انرژی مفید تولید شده از جهت فیزیکی دارای محدودیت بوده و بسته به نوع و طرح سلول این مقدار بین ۱ تا ۳۰ درصد انرژی تابیده شده تغییر مینماید. لازمه انجام فرآیند آنستکه بین ۷۰٪ الی ۹۹٪ از انرژی تابیده شده بصورت حرارت تلف شود.

۵-۲-۱: انرژی تابشی دریافتی

همانطور که رابطه (۴-۴) برای درک افتهای گردآور حرارتی مفید بود، همانطور هم برای محاسبه تلف های انرژی در یک سلول نوری قابل استفاده است. در مورد پیل نوری با تمرکز تابش نور، انرژی تابیده بر روی سلول توسط ضریب بازتاب ρ ، مربوط به سطوح بازتاب میانی و Γ ، ضریب انرژی بازتاب شده بر روی سلول کاهش مییابد. ضریب انتشار τ صفحه پوشش پیل نیز

علاوه بر حفاظت از سطح سلول و جلوگیری از تماس اکسیژن و رطوبت با اتصالات الکتریکی، موجب کاهش انرژی تابیده به سطح سلول میشود.

۵-۲-۲: افت حرارت

افت حرارتی از پیل مشابه گردآور حرارتی از سه طریق: جابجائی، تابش و هدایت انجام میشود. بهینه کردن ضرایبی که موجب افزایش افت حرارت شده بدون آنکه درجه حرارت را بالا ببرند در طراحی پیل حائز اهمیت است. در گردآورهای متمرکز کننده سلولی بالا بردن افت حرارت با توجه به کوچک بودن سطح سلولی دشوار است.

۵-۲-۳: تعادل انرژی

رابطه کامل برای تعادل انرژی در مورد یک سلول نوری در یک پیل خورشیدی مانند رابطه (۴-۹) با جایگزین کردن درجه حرارت سلول (T_c) بجای درجه حرارت جذب کننده (T_r) بصورت زیر نوشته میشود:

$$P_{elect} = i \cdot v = \Gamma \rho \tau \alpha I_a A_a - A_c [h'(T_c - T_a) + \epsilon \sigma (T_c^4 - T_{sky}^4)] \quad (W) \quad (۱۲-۵)$$

در این رابطه:

T_c - درجه حرارت سلول (K)

A_c - مساحت سطح سلول (m^2)

است.

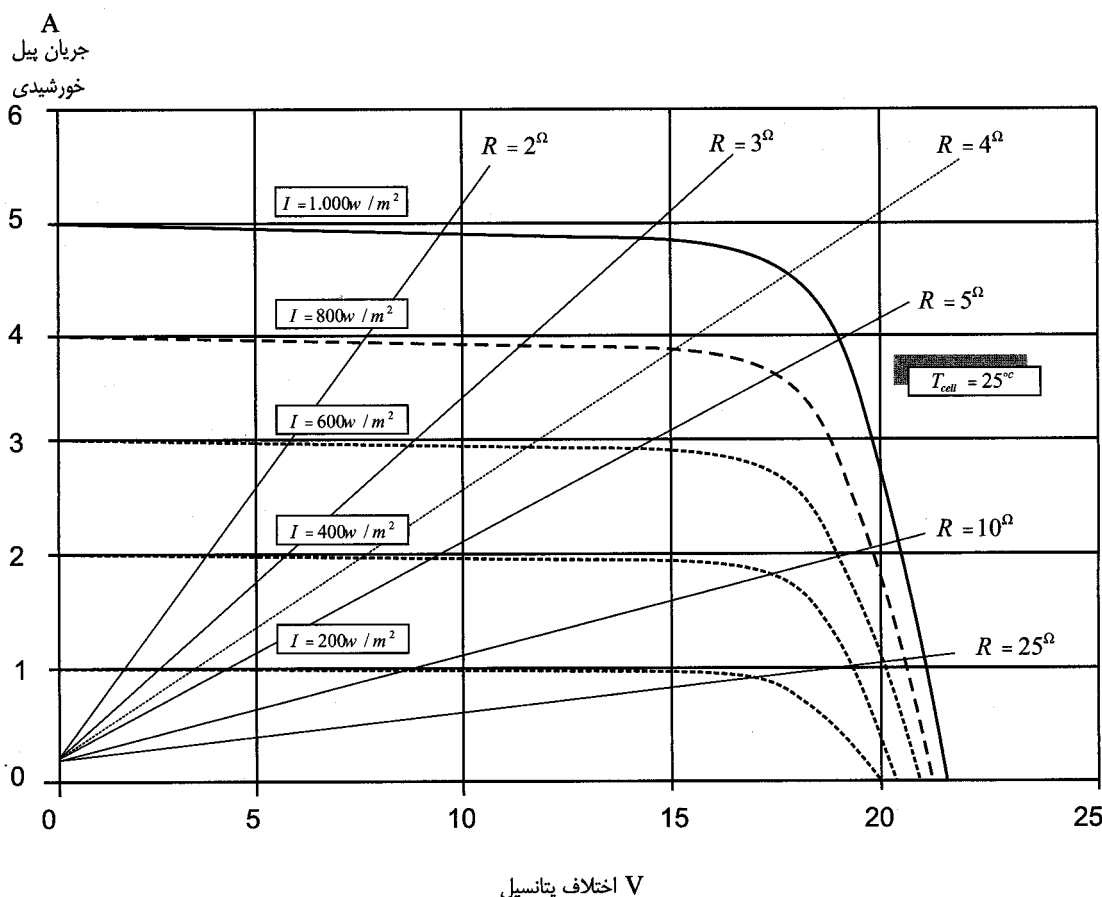
۴-۲-۵: بازدهی پیل خورشیدی

بازدهی پیل خورشیدی را برحسب ولتاژ و جریان خروجی میتوان نوشت. قدرت الکتریکی خروجی حاصلضرب این دو متغیر است. ولتاژ و جریان با شدت تابش خورشید و درجه حرارت سلول تغییر میکنند. این تغییرات در شکلهای زیر نشان داده شده و بر اساس اطلاعات بدست آمده از پیل های تجارتي با سطح ۰/۶۵ مترمربع است. طراح سیستم خورشیدی در هر مورد باید کاتالگهای فنی پیلهای خورشیدی مورد استفاده را ملاک کار طراحی خود قرار دهد.

منحنی جریان - ولتاژ

بازده اصلی در یک پیل خورشیدی توسط منحنی "جریان - ولتاژ" در شکل ۵-۴ نشان داده شده است. در شکل تابع جریان در طول پیل برای مقادیر مختلف ولتاژ کشیده شده است. چون ولتاژ حاصلضرب جریان و مقاومت است، خطوط مقاومت ثابت نیز برای شناخت بهتر در شکل نشان داده شده است.

در مقادیر کم مقاومت، جریان ماکزیمم شده و ولتاژ (اختلاف پتانسیل) در دو طرف سلول بسمت صفر میل میکند. این حالت معادل وضعیت اتصال کوتاه در دو سر سلول است، و جریان خروجی در این حالت جریان اتصال کوتاه (I_{sc})، نامیده میشود. این جریان تابع اندازه سلول نوری و تعداد سلول‌هایی است که بصورت سری متصل شده اند.



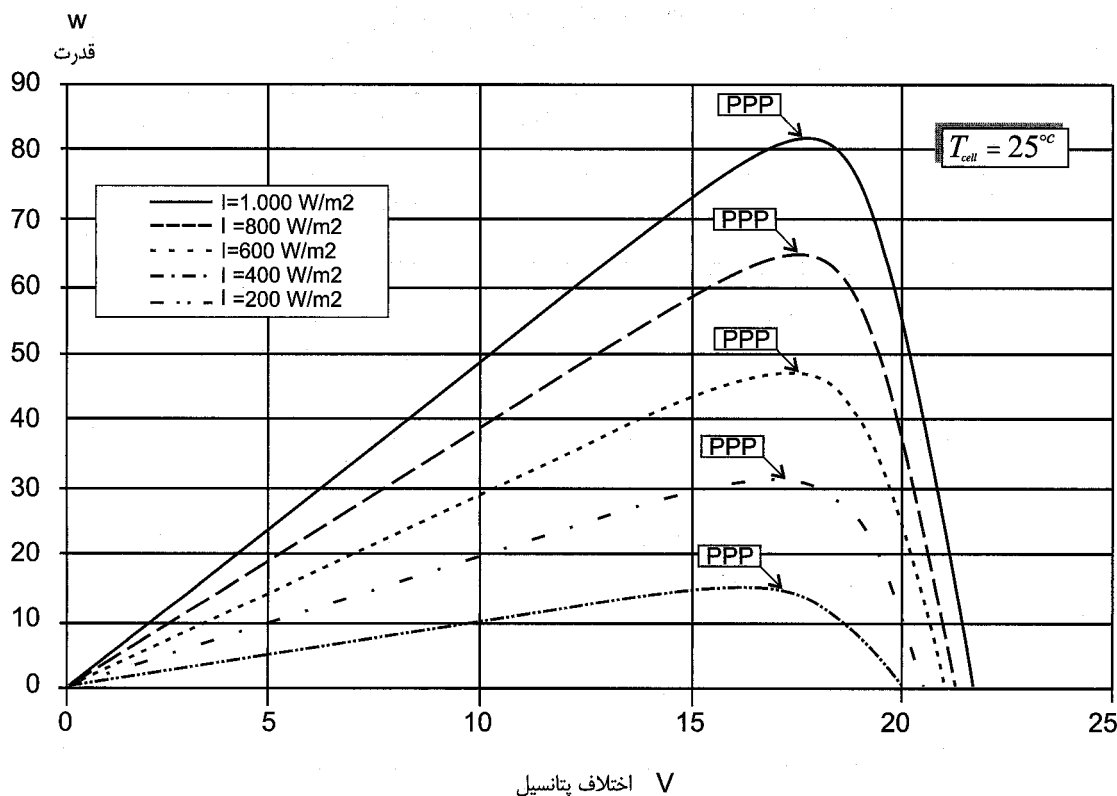
شکل ۴-۵: جریان خروجی از پیل خورشیدی بصورت تابعی از ولتاژ در طول پیل نشان داده شده است. منحنی‌های ولتاژ جریان برای مقادیر مختلف تابش نشان داده شده است. منحنی‌های مقاومت ثابت نیز در شکل آورده شده است. منحنی‌ها برای ۲۵ درجه سانتیگراد دمای محیط و جرم هوای ۱/۵ است.

از طرف دیگر ملاحظه میشود که این جریان اتصال کوتاه مستقیماً متناسب با شدت تابش خورشید است. این خصوصیت دلیل امکان استفاده از سلول را بعنوان مبدل در اندازه‌گیری شدت تابش خورشید هم‌طور که در فصل ۲ ملاحظه شد، روشن مینماید.

با افزایش مقاومت، جریان به مقدار جزئی کاهش یافته، این کاهش جزئی ادامه مییابد تا حدی که سلول دیگر نمیتواند جریان بالایی خود را حفظ نماید و جریان به صفر سقوط میکند. نقطه‌ای که جریان به صفر سقوط میکند، نمایشگر مقاومت بینهایت و مدار باز است. ولتاژ پیل در جریان صفر بنام ولتاژ مدار باز V_{oc} نامیده شده و نمایشگر ولتاژ بدون بار است. بطوریکه ملاحظه میشود ولتاژ مدار باز فقط بمقدار جزئی (غیر از حالت شدت تابش خیلی پائین) بصورت تابعی از شدت تابش خورشید تغییر می‌نماید.

یک سلول نوری به تنهائی ولتاژ مدار بازی حدود ۰/۵۵ ولت ایجاد مینماید. ولتاژ پیل تابع تعداد سلولهای است که در آن بطور سری متصل شده اند. در مورد پیلی که ذیلاً تشریح میشود باید حدود ۳۶ سلول باشد که بهم بطور سری متصل شده اند و ولتاژ ۲۰ ولت را تولید میکنند.

نقطه پیک قدرت - برای تعیین بازدهی یک پیل خورشیدی پارامتر اصلی مورد نیاز نه ولتاژ است و نه جریان بلکه قدرت الکتریکی است. از آنجائیکه قدرت حاصلضرب ولتاژ در جریان است، ملاحظه میشود که در دو انتهای منحنی های $I-V$ قدرت صفر است. معذالک هرچه بار مقاومت از شروع حالت جریان اتصال کوتاه افزایش مییابد، ولتاژ اضافه شده تا اینکه جریان بطور ناگهانی تا نقطه مدار باز میافتد. در طول منحنی یک نقطه است که مقدار بیشینه قدرت تولید میشود. این نقطه درست در محل شروع کاهش ناگهانی جریان است. این نقطه بنام "نقطه پیک قدرت" (PPP) نامیده میشود. شکل ۵-۵ تغییرات قدرت خروجی مربوط به پیل شکل ۴-۵ را نشان میدهد.

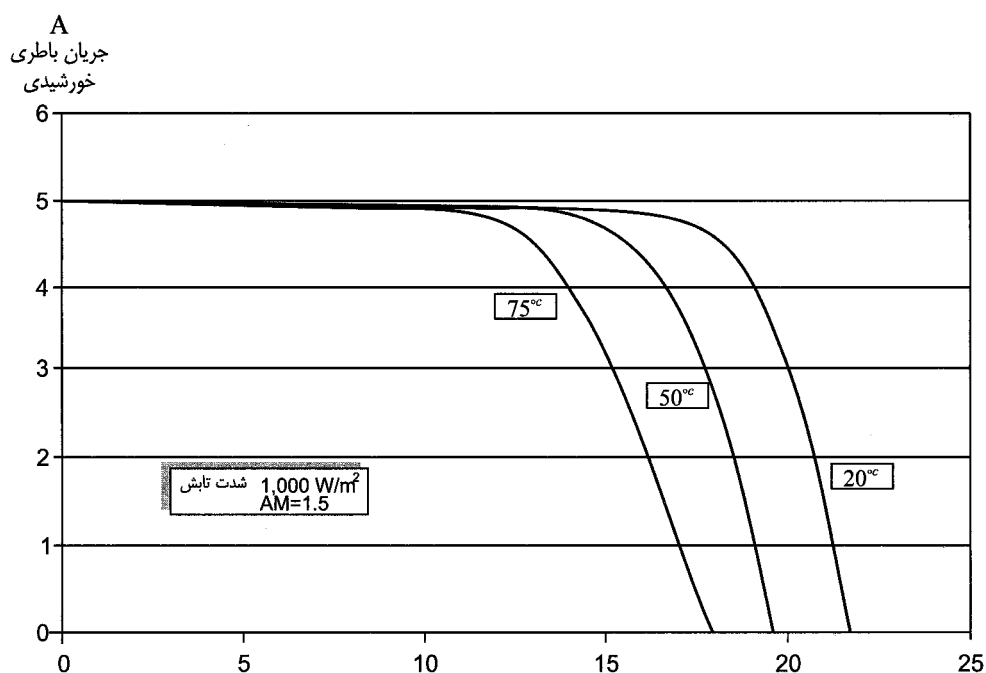


شکل ۵-۵: قدرت خروجی پیل نوری در شدت تابش مختلف. علامت (PPP) برای نقطه پیک قدرت بکار رفته است. منحنی ها برای هوایی با دمای ۲۵ درجه سانتیگراد و جرم ۱/۵ میباشد.

بطوریکه ملاحظه میشود قدرت بیشینه در حدود ۸۰٪ ولتاژ بیشینه مدار باز برای ردیف زیادی از شدت تابش اتفاق میافتد. برای اینکه قدرت خروجی بیشینه توسط پیل خورشیدی تامین شود، باید مقاومت بار مناسب انتخاب شود. همینطور که در شکل ۴-۵ دیده میشود، مقاومت بار با کاهش شدت تابش باید افزایش نماید تا قدرت بیشینه خروجی از پیل برقرار باشد.

افت درجه حرارت سلول - یک خصوصیت مهم سلول نوری کاهش ولتاژ خروجی با افزایش درجه حرارت است. شکل ۵-۶ این خصوصیت را برای پیل خورشیدی مربوط به شکل ۴-۵ و ۵-۵ نشان می‌دهد.

اطلاعات ارائه شده مربوط به جرم هوای $1/5$ ($AM = 1/5$) است. مفهوم جرم هوا در فصل ۲ بخش ۲-۲-۲ شرح داده شد. جرم هوا نشانه‌ای از طول مسیر حرکت شعاع تابش در اتمسفر است. جرم هوای معادل "۱" یعنی خورشید درست در بالای سر بوده و امواج خورشید از ضخامت معادل یک اتمسفر می‌گذرند. جرم هوا تقریباً عکس کسینوس زاویه خط الراس است. بنابراین جرم هوای $1/5$ ، هنگامی است که شعاع تابش دارای زاویه خط الراس $48/2$ درجه یا زاویه فراز آن $41/8$ درجه است.



شکل ۵-۶: اثر درجه حرارت سلول بر روی خروجی پیل، منحنی‌های نشان داده شده مربوط به شدت تابش ۱۰۰۰ وات بر متر مربع و جرم هوای $1/5$ است.

۵-۳ بازده گردآور

در این قسمت ابتدا بازده گردآور را تعریف نموده و سپس روش اندازه‌گیری آن ملاحظه خواهد شد. با این روش اندازه‌گیری یک مدل ریاضی برای پیش‌بینی خروجی گردآور تهیه می‌شود. این روش برای گردآور مسطح و گردآورهای کانونی، اعم از آنکه حرارتی و یا پیل خورشیدی باشند قابل استفاده است.

بازده گردآور خورشیدی η_{col} ، اعم از گردآور حرارتی و یا پیل خورشیدی، بصورت نسبت انرژی مفید گرفته شده از گردآور به انرژی رسیده به سطح دهانه گردآور تعریف می‌شود. بطور ساده بازده گردآور با رابطه زیر:

$$\eta_{col} = \frac{Q_{useful}}{A_a I_a} \quad (۱۳-۵)$$

نمایش داده میشود که در آن:

$$Q_{\text{useful}} - \text{میزان انرژی خروجی } (W)$$

$$A_a - \text{سطح دهانه گردآور } (m^2)$$

$$I_a - \text{شدت تابش مؤثر در دهانه گردآور } (W/m^2)$$

انرژی مفید خروجی از گردآور با توجه به نوع گردآور تغییر مینماید. انرژی مفید خروجی از گردآور حرارتی مقدار حرارت داده شده به سیال مبدل مطابق با رابطه (۵-۲) است. در حالیکه انرژی مفید پیل خورشیدی قدرت الکتریکی نشان داده شده با رابطه (۵-۱۱) است. حاصلضرب شدت تابش مؤثر در دهانه گردآور (I_a)، در مساحت آن (A_a) مقدار انرژی بیشینه ای است که گردآور میتواند بگیرد.

۵-۳-۱: بازده نوری

گاهی از مفهوم دیگری بنام بازده نوری برای گردآور استفاده میشود. بازده نوری یک گردآور عبارت از نسبت انرژی خورشیدی (امواج کوتاه) رسیده به جذب کننده، تقسیم بر انرژی خورشیدی رسیده به دهانه گردآور است. بنابراین بازده نوری با تقسیم رابطه (۵-۴) بر رابطه (۵-۳) بدست میآید.

$$\eta_{\text{opt}} = \Gamma \rho \tau \alpha \quad (۵-۱۴)$$

۵-۳-۲: گردآورهای مسطح

از آنجائیکه گردآور مسطح (حرارتی و پیل خورشیدی) قادر به دریافت هم تابش مستقیم و هم تابش پراکنده است، تابش مؤثر در دهانه گردآور عبارت از تابش کل رسیده به آن است.

$$I_a = I_{t,a} \quad (W/m^2) \quad (۵-۱۵)$$

در این رابطه $I_{t,a}$ عبارت از تابش کل رسیده به دهانه است.

روابط مربوط به شدت تابش کل رسیده به دهانه گردآور در فصل ۴ بخش ۴-۲-۱ ملاحظه شد، و بطور کلی از رابطه (۴-۲۹) میتوان استفاده نمود. حالت‌های مختلف برای امتداد محور ردیابی خورشید در بخش ۴-۱ مورد بحث قرار گرفت، که میتوان برای تعیین زاویه گردآور مورد استفاده قرار گیرد. رابطه (۴-۲۹) شامل تابش مستقیم، پراکنده و بازتاب است.

با جایگزین کردن انرژی مفید در رابطه (۵-۱۳)، روابط زیر را برای بازده گردآور مسطح حرارتی و پیل خورشیدی خواهیم داشت:

برای گردآورهای مسطح حرارتی:

$$\eta_{col} = \frac{\dot{m}C_p(T_{out} - T_{in})}{I_{t,a}A_a} \quad (۱۶-۵)$$

و برای گردآور مسطح پیل خورشیدی:

$$\eta_{col} = \frac{i \cdot v}{I_{t,a}A_a} \quad (۱۷-۵)$$

۵-۳-۳: گردآورهای متمرکز کننده

گردآورهای متمرکز کننده فقط تابش مستقیم را متمرکز میکنند. بنابراین تابش مؤثر در دهانه گردآور تابش مستقیم، ضربدر کسینوس زاویه تابش است. برای گردآورهایی با دو محور ردیابی زاویه تابش صفر است.

$$I_a = I_{b,a} \quad (W/m^2) \quad (۱۸-۵)$$

در این رابطه $I_{b,a}$ تابش مستقیم بر دهانه گردآور است.

روابط مربوط به تابش مستقیم در فصل ۴ بخش ۴-۲-۱ ملاحظه شد، که برای حالت کلی از رابطه (۴-۲۸) میتوان استفاده نمود. حالت‌های مختلف برای امتداد محور ردیابی خورشید در بخش ۴-۱ مورد توجه قرار گرفت و از آن برای تعیین زاویه تابش استفاده میشود. رابطه (۴-۲۸) شامل تابش مستقیم، پراکنده و بازتاب است.

با جایگزین کردن انرژی مفید در رابطه (۵-۱۳)، بازده گردآورهای حرارتی و پیل خورشیدی به ترتیب بصورت روابط زیر بدست می‌آید:

برای گردآورهای متمرکز کننده حرارتی:

$$\eta_{col} = \frac{\dot{m}C_p(T_{out} - T_{in})}{I_{b,n} \cos \theta_i A_a} \quad (۱۹-۵)$$

و برای گردآور متمرکز کننده پیل خورشیدی:

$$\eta_{col} = \frac{i \cdot v}{I_{b,n} \cos \theta_i A_a} \quad (۲۰-۵)$$

۵-۳-۴: متمرکز کننده های غیر مصور

متمرکز کننده های غیر مصور ، به گردآورهای متمرکز کننده ای گفته میشود که با ردیابی حداقل میتوانند انرژی رسیده به دهانه را بر روی جذب کننده بازتاب نمایند. از انواع این متمرکز کننده باید از "سهموی وی شکل"، "متمرکز کننده مخروطی" و "متمرکز کننده سهموی مرکب" (CPC) نام برد. متمرکز کننده های غیر مصور تا حدودی از تابش پراکنده نیز استفاده میکنند، بنابراین شدت تابش مؤثر I_a شامل: هم تابش مستقیم کاهش یافته توسط کسینوس زاویه تابش بوده، و هم تابش پراکنده محاط شده در دهانه متمرکز کننده در بر میگیرد. بنابراین داریم:

$$I_a = A_a [I_{b,n} \cos \theta_i + I_{d,aa} + I_{r,aa}] \quad (W/m^2) \quad (5-21)$$

در حالیکه علائم $I_{d,aa}$ و $I_{r,aa}$ ، عبارتند از تابش پراکنده آسمان و تابش پراکنده بازتاب که در محدوده زاویه قابل قبول متمرکز کننده های غیر مصور است. محاسبه مقادیر این عوامل خارج از محدوده این کتاب است، ولی مقادیرشان را با نصب آدرسنگ در دهانه ورودی متمرکز کننده های غیر مصور میتوان بدست آورد.

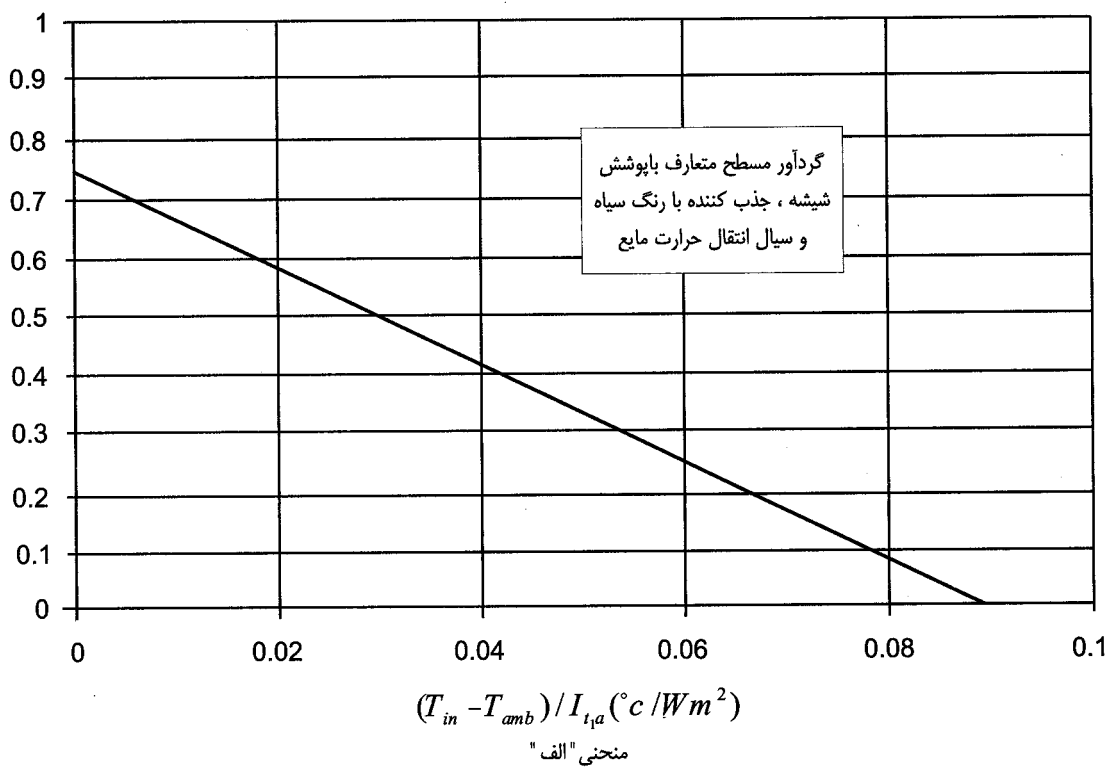
۵-۴: مدلهای تعیین بازده گردآور

برای طراح سیستم خورشیدی مدلهای تعیین بازده گردآور که بکمکشان بتوان مقدار خروجی گردآور را تحت شرایط تابش ، درجه حرارت کار و آب و هوای مختلف پیش بینی نمود حائز اهمیت است. این مدلها در نرم افزارهایی که جهت پیش بینی انرژی خروجی گردآور تهیه میشود قابل استفاده است.

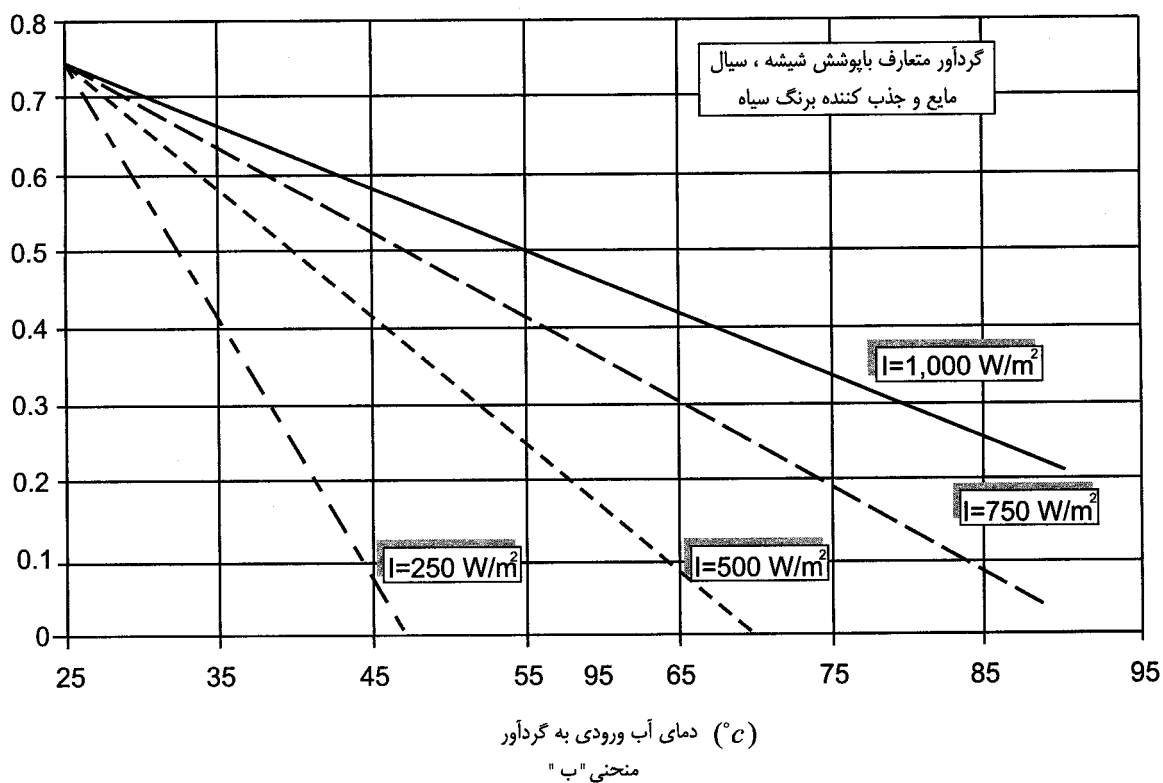
یک مدل بازده گردآور که آنرا "مدل ساده" مینامیم، اکثر مواقع مورد استفاده قرار میگیرد، مدل ساده در حقیقت مدل تغییرات درجه حرارت بر حسب شدت تابش است. این مدل طراح را قادر به پیش بینی انرژی مفید خروجی برای شدت تابش مختلف، با در نظر گرفتن درجه حرارت محیط و درجه حرارت کار سیستم مینماید. با وجود نیاز این مدل به ساده نمودن، برای گردآور مسطح در درجه حرارت پائین خوب کار میکند. برای استفاده از این مدل در گردآورهای درجه حرارت بالا بطوریکه در قسمت بعد خواهیم دید نیاز به تغییراتی است. مدل ساده برای پیلهای خورشیدی قابل استفاده نیست.

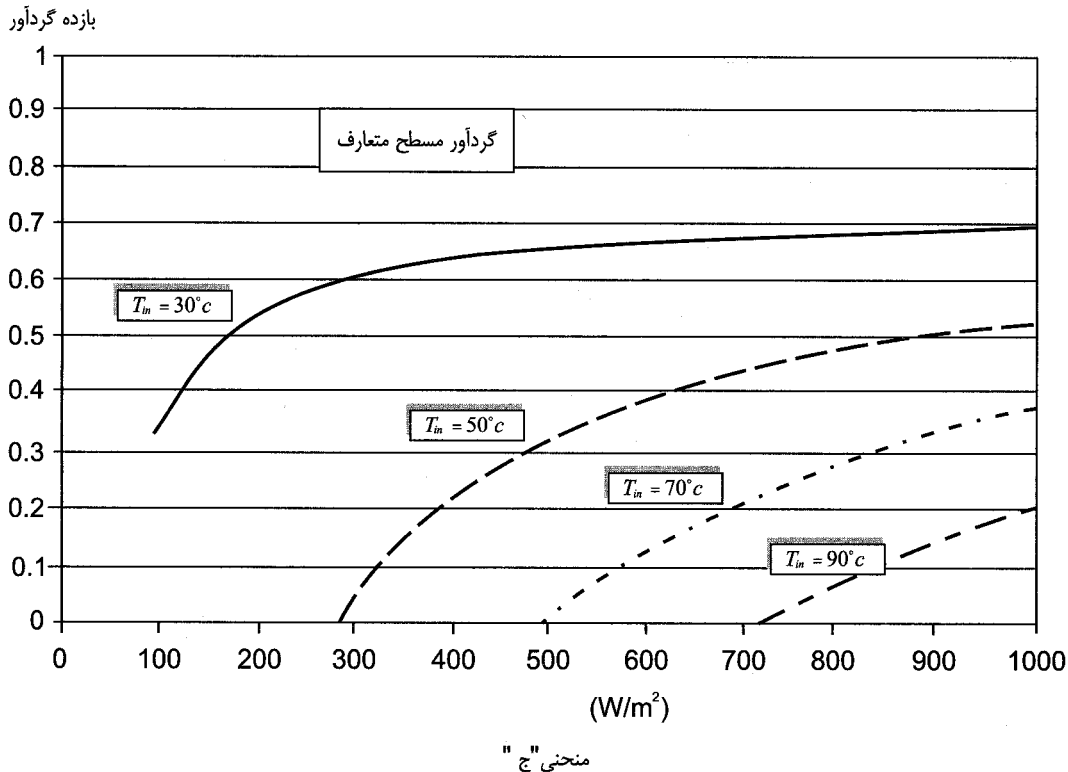
شکل ۵-۷ بازده گردآورهای مسطح متعارف را نشان میدهد. نمودارهای "الف" و "ب" نشان میدهند که انرژی مفید تولیدی با افزایش درجه حرارت سیال ورودی به گردآور کاهش مییابد. همانطور که انتظار میرود هرچه شدت تابش بیشتر باشد، میزان انرژی مفید تولیدی بیشتر است. منحنی "ب" تغییرات درجه حرارت ورودی را برای مقادیر ثابت شدت تابش رسیده به گردآور نشان میدهد. در منحنی "ج" بجای انرژی مفید تولیدی، بازده گردآور نشان داده شده است. منحنی "ج" نشان میدهد، هنگامیکه درجه حرارت ورودی مساوی درجه حرارت محیط است، بازده مستقل از شدت تابش خورشید است. این نقطه بازده نوری را معین می‌کند.

بازده گردآور



بازده گردآور





شکل ۵-۷: بازده یک گردآور مسطح حرارتی متعارف (یک پوشش شیشه ، جذب کننده برنگ سیاه ، آب بعنوان سیال مبدل و درجه حرارت محیط ۲۵ درجه سانتیگراد). منحنی "الف" نشان میدهد که بازده تابعی از متغیر $\Delta T / I$ است. منحنی های "ب" و "ج" برای یک گردآور (صفحه ۱۲۶) نشان میدهد که چگونه بازده گردآور با درجه حرارت سیال ورودی به مبدل و شدت تابش تغییر میکند. منحنی های "ب" و "ج" از منحنی "الف" بدست آمده است

۵-۴-۱: تغییرات درجه حرارت بر حسب شدت تابش (منحنی $\Delta T / I$) در گردآورهای مسطح

برای گردآورهای مسطحی که در درجه حرارت پائین (تقریباً کمتر از ۹۰ درجه سانتیگراد) کار میکنند، رابطه (۴-۹) با توجه به شرایط زیر بصورت رابطه (۵-۲۲) ساده میشود.

الف: چون تابش رسیده دارای بازتاب نیست مقادیر Γ و ρ حذف میشوند.

ب: مساحت دهانه ورودی مساوی مساحت جذب کننده است ($A_a = A_r$)

ج: افت تابش را با افت جابجائی و افت هدایت میتوان ترکیب نموده و بنام ضریب افت کلی بصورت U_L نمایش داد. واحد آن بر حسب وات بر مترمربع بر درجه حرارت کلونین ($W / m^2 K$) است.

د: درجه حرارت سیال ورودی به گردآور T_{in} ، جایگزین درجه حرارت متوسط جذب کننده \bar{T}_r نمود. اگر انرژی مفید تقسیم بر انرژی رسیده با ضریب خروج حرارت و بصورت F_R ، نشان داده شده است. بعلاوه بجای $(\bar{T}_r - \bar{T}_a)$ ، مقدار $(T_{in} - T_a)$ جایگزین گردیده است.

$$\eta_{col,n} = \frac{\dot{Q}_{useful}}{I_{t,a} A_a} = F_R \tau \alpha - F_R U_L \left[\frac{T_{in} - T_a}{I_{t,a}} \right] \quad (5-22)$$

بعلاوه فرض میشود که مقادیر F_R ، τ ، α ، U_L برای یک گردآور با دبی مشخص، ثابت است. در نتیجه بازده یک تابع خطی از سه مشخصه شرایط کاری گردآور شده که شامل: شدت تابش ($I_{t,a}$)، درجه حرارت ورودی (T_{in}) به گردآور و درجه حرارت محیط (T_a) است.

دو نقطه مهم کارکرد در منحنی "الف" شکل ۵-۷ ملاحظه میشود، نقطه اول بازده ماگزیمم گردآور است، که بازده نوری نامیده میشود. این حالت زمانی رخ میدهد که درجه حرارت سیال ورودی مساوی درجه حرارت محیط میشود. برای این حالت، مقدار $\Delta T / I$ مساوی صفر است.

این نقطه کار بخشی از روش اندازه گیری بازده گردآور بشمار میرود. نقطه کار مهم دیگر در این نمودار محل تلاقی خط با محور $\Delta T / I$ است. این نقطه کاری وقتی بدست میآید که انرژی مفید از گردآور خارج نمیشود، این شرط هنگامی رخ میدهد که جریان سیال مبدل متوقف میشود (مثلاً هنگام قطع پمپ سیرکولاسیون).

در این حالت انرژی تابشی ورودی مساوی افت حرارت میشود و در نتیجه موجب افزایش درجه حرارت جذب کننده تا برقرارشدن تعادل میگردد. این نقطه کاری "اختلاف دمای ماگزیمم" و یا "درجه حرارت ایستا" نامیده میشود. برای یک گردآور که کاملاً عایق شده است درجه حرارت ایستا خیلی بالا رفته و موجب جوشیدن سیال مبدل، و در حالت گردآور متمرکز کننده احتمال دارد که جذب کننده ذوب شود.

منحنی های "ب" و "ج" از منحنی "الف" $\Delta T / I$ نتیجه میشود. منحنی "ب" نشان میدهد که در سطوح مختلف شدت تابش (بازده) گردآور تابعی از دمای آب ورودی است. بعلاوه ملاحظه میشود که هرچه درجه حرارت ورودی به گردآور پائین تر باشد انرژی بیشتری از گردآور حاصل میشود. در طراحی سیستم خورشیدی لازم است که آب و یا سیال مبدل تا حد پائین دمای مورد نیاز سیستم گرم شود.

منحنی "ج" شکل ۵-۷ رابطه بین خروجی سیستم را با سطح تابش نشان میدهد. بطوریکه ملاحظه میشود سیستمهایی که در دمای پائین کار میکنند (مانند سیستم های گرمایش آب استخر) میتوانند از شدت تابش های خیلی پائین خورشید استفاده کنند. سیستمهایی که با درجه حرارت بالا تر کار میکنند، مثل آبگرمکن خورشیدی نیاز به شدت تابش بیشتر دارند. بررسی بیشتر منحنی های "ب" و "ج" اکثر جنبه های مهم طراحی سیستمهای حرارتی را معلوم میکند.

۵-۴-۲: سهموی خطی، منحنی غیر خطی تغییرات دما و شدت تابش $\Delta T / I$

برای گردآور سهموی که در دمای بالا کار میکند، فرضهای فوق باید اصلاح شود. برای آنکه دمای مبنای افت حرارت با دقت بیشتری تعیین شود، دمای متوسط جذب کننده بصورت دمای متوسط سیال در ورود و خروج از گردآور، رابطه (۵-۲۳) تعریف می شود:

$$T_r = \frac{T_{in} + T_{out}}{2} \equiv \bar{T}_f \quad (K) \quad (23-5)$$

در این رابطه:

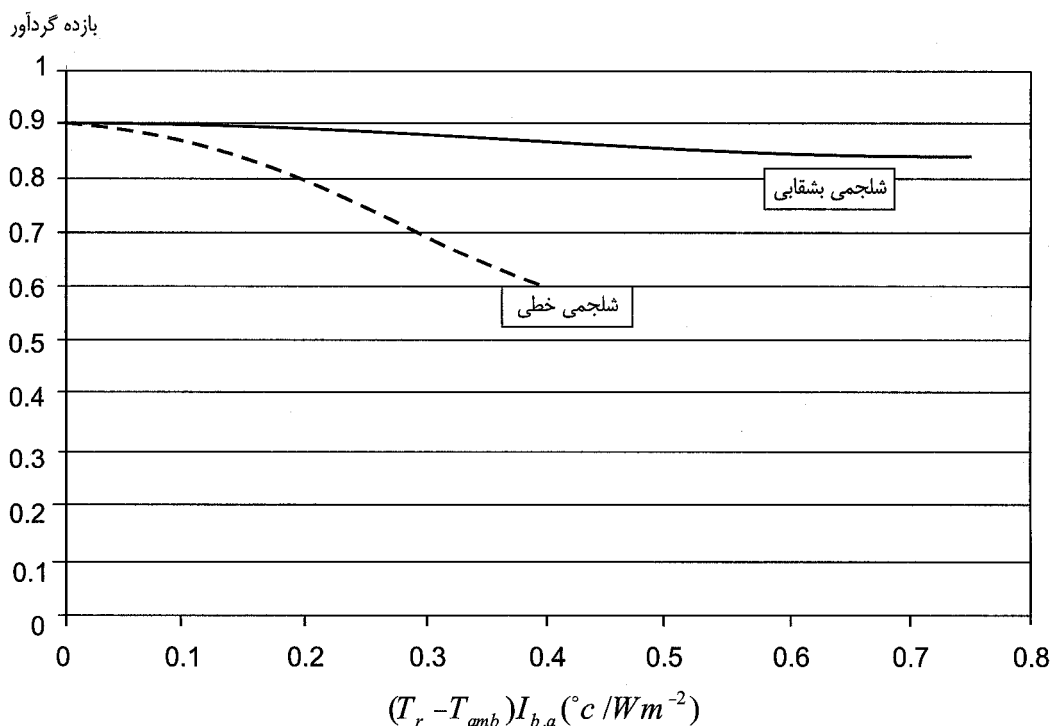
T_{in} - درجه حرارت ورودی به گردآور برحسب درجه کلوین (K)

T_{out} - درجه حرارت خروجی از گردآور برحسب درجه کلوین (K)

آزمایش نشان می‌دهد که منحنی های $\Delta T / I$ کاملاً غیر خطی هستند. بنابراین منحنی های $\Delta T / I$ باید بصورت ریاضی اصلاح شوند. این عمل با بسط رابطه (۲۱-۴) بصورت زیر انجام میشود:

$$\eta_{col} = \frac{\dot{Q}_{useful}}{I_{b,n} A_a \cos \theta_i} = K_i \eta_{opt} - a \frac{(\bar{T}_f - T_a)}{I_{b,n} \cos \theta_i} - b \frac{(\bar{T}_f - T_a)^2}{I_{b,n} \cos \theta_i} \quad (24-5)$$

ضرایب a و b بوسیله انتخاب منحنی مناسب برای نتایج آزمایش بدست می‌آیند. اضافه نمودن جمله $\Delta T^2 / I_a$ به رابطه (۲۲-۵)، بر اساس این واقعیت است که U_L مستقل از دما است (در حقیقت بستگی U_L به دما خیلی پیچیده است). در اینجا سعی بر استفاده از نتایج آزمایش برای انتخاب منحنی مناسب خواهد بود. شکل ۵-۸ منحنی های متعارف را برای دونوع متمرکز کننده نشان می‌دهد.



شکل ۵-۸: بازده گردآور متعارف سهموی خطی و گردآور متعارف سهموی بشقابی

۵-۴-۳: سهموی بشقابی و گیرنده های مرکزی - مدل‌های دمای ثابت

در صورتیکه گردآور در دمای ثابتی کار کند، و برای کار در آن دما طراحی شده باشد. نیاز چندانی به تعیین بازده آن تحت دمای مختلف کار نیست. سیستم‌های سهموی بشقابی و گیرنده مرکزی در این گروه قرار میگیرند.

اگر دمای کار گردآور ثابت و بطور قابل ملاحظه بالا تر از دمای محیط باشد، مقدار افت حرارت در رابطه (۵-۹) ثابت بوده، و در این صورت مقدار انرژی مفید تفاضل مقدار انرژی تابشی گردآوری شده و این افت حرارت ثابت خواهد بود. در نتیجه با رسیدن به آستانه سطح کمینه شدت تابش، حرارت خروجی بطور خطی متناسب با شدت تابش خورشید خواهد بود.

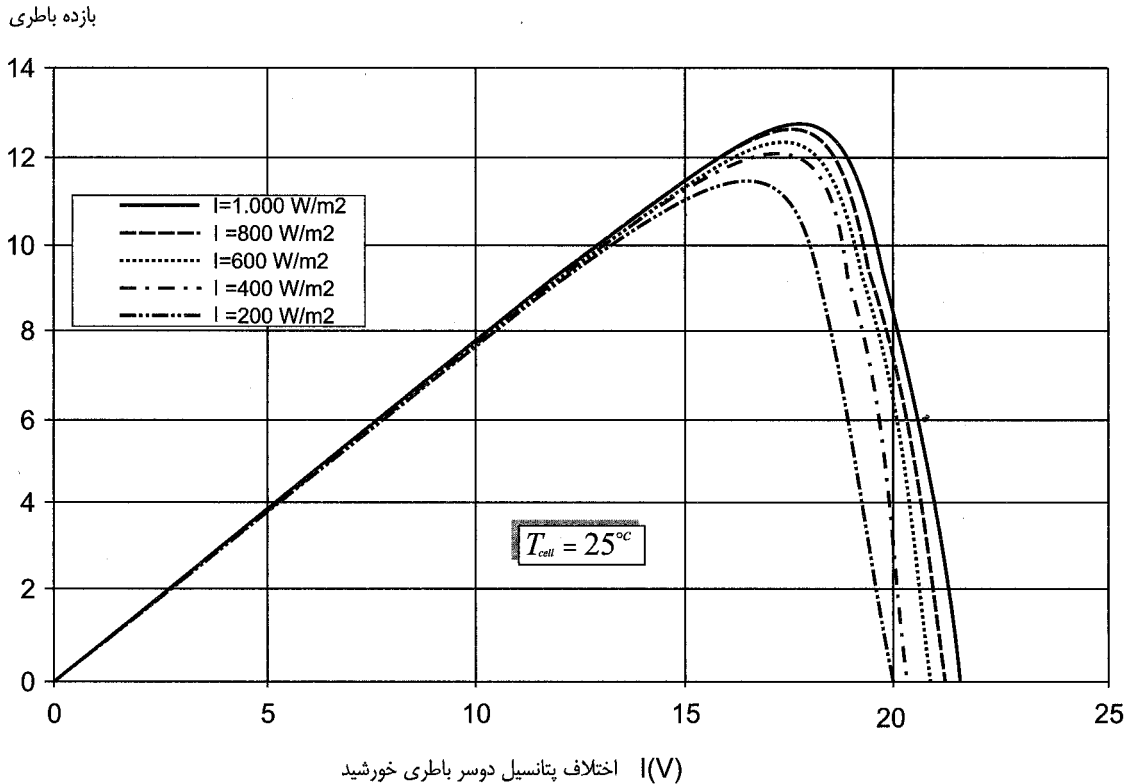
$$\eta_{col} = \frac{\dot{Q}_{useful}}{I_{b,n} A_a} = \eta_{opt} - \frac{const.}{I_{b,n}} \quad (5-25)$$

۵-۴-۴: پیل خورشیدی

بازده پیل‌های خورشیدی یا پیل‌های متمرکز خورشیدی برحسب تابعی از بار مقاوم و درجه حرارت سلول تعریف میشوند. روابط لازم برای بازده پیل مسطح خورشیدی و پیل متمرکز خورشیدی به ترتیب عبارتند از: (۵-۱۷) و (۵-۲۰) که قبلاً ملاحظه شد. معمولاً بازده پیل نوری بر اساس نتایج آزمایش آن مشخص میشود. یک منحنی بازده بصورت تابعی از ولتاژ در طول پیل خورشیدی برای شدت تابش های مختلف در شکل ۵-۹ نشان داده شده است. این منحنی از منحنی تغییرات ولتاژ شدت تابش $(I - V)$ که در شکل ۵-۴ ملاحظه شد، بدست آمده و برای سلول با دمای ۲۵ درجه سانتیگراد و جرم هوای ۱/۵ میباشد.

نقاط پیک قدرت که در بخش ۵-۲-۴ شرح داده شد، در این ترسیم به خوبی مشهود است. البته در اینجا هدف دانستن تغییرات بازده است. ذکر این نکته نیز مهم است که بازده پیل تقریباً برای کلیه سطوح شدت تابش یکسان باقی میماند، و برخلاف آنچه در شکل ۵-۵ برای قدرت ملاحظه شد، بازده مقدار خیلی جزئی با کاهش شدت، تابش کاهش مییابد. اثر افزایش دمای سلول بر روی بازده پیل خورشیدی در شکل ۵-۱۰ نشان داده شده است. بطوریکه ملاحظه میشود افت قابل ملاحظه با افزایش دما وجود دارد.

تمام عواملی که در بالا مورد توجه قرار گرفت باید در مدل بازده پیل خورشیدی یا بازده گردآور آورده شود. بازده پیل خورشیدی تابع: سطح شدت تابش، درجه حرارت سلول و جرم هواست. جرم هوا بر روی پخش طیف رسیده همانطور که در فصل ۲ بخش ۲-۲-۲ گفته شد و در شکل ۵-۲ نشان داده شد موثر است. این چنین مدلی برای بازده پیل خورشیدی بصورت رابطه زیر تعریف میشود:



شکل ۵-۹: بازده پیل خورشیدی برای چندین شدت تابش مختلف. سلول با دمای ۲۵ درجه سانتیگراد بوده و جرم هوا ۱/۵ می باشد.

$$\eta_{col} = \eta_{std} \left[\frac{\eta_G}{\eta_{std}} \right] \left[\frac{\eta_{G,T}}{\eta_G} \right] \left[\frac{\eta_{G,E(\lambda)}}{\eta_G} \right] \quad (۵-۲۶)$$

در این رابطه :

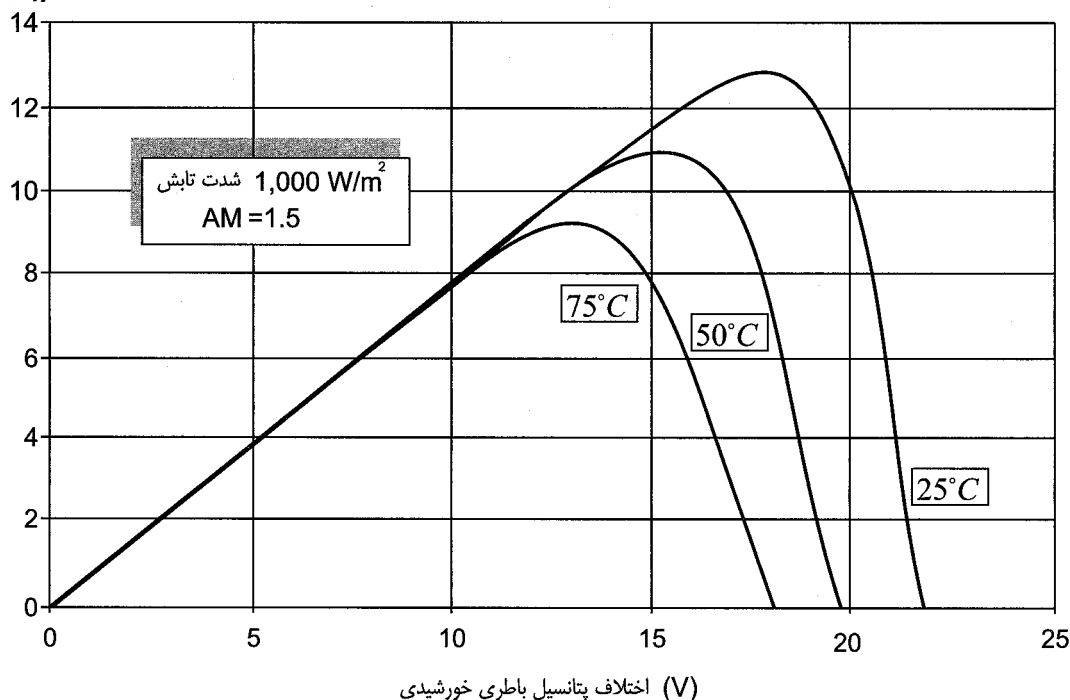
η_{std} - بازده پیل خورشیدی در شدت تابش، درجه حرارت و جرم هوای استاندارد است.

$$\left[\frac{\eta_G}{\eta_{std}} \right] - \text{نسبت بازده پیل خورشیدی در شدت تابش معین به بازده در شدت تابش استاندارد}$$

$$\left[\frac{\eta_{G,T}}{\eta_G} \right] - \text{نسبت بازده پیل خورشیدی در دمای معین به بازده در شدت تابش معین}$$

$$\left[\frac{\eta_{G,E(\lambda)}}{\eta_G} \right] - \text{نسبت بازده پیل خورشیدی در جرم هوای معین به بازده آن در شدت تابش معین}$$

بازده باطری
خورشیدی



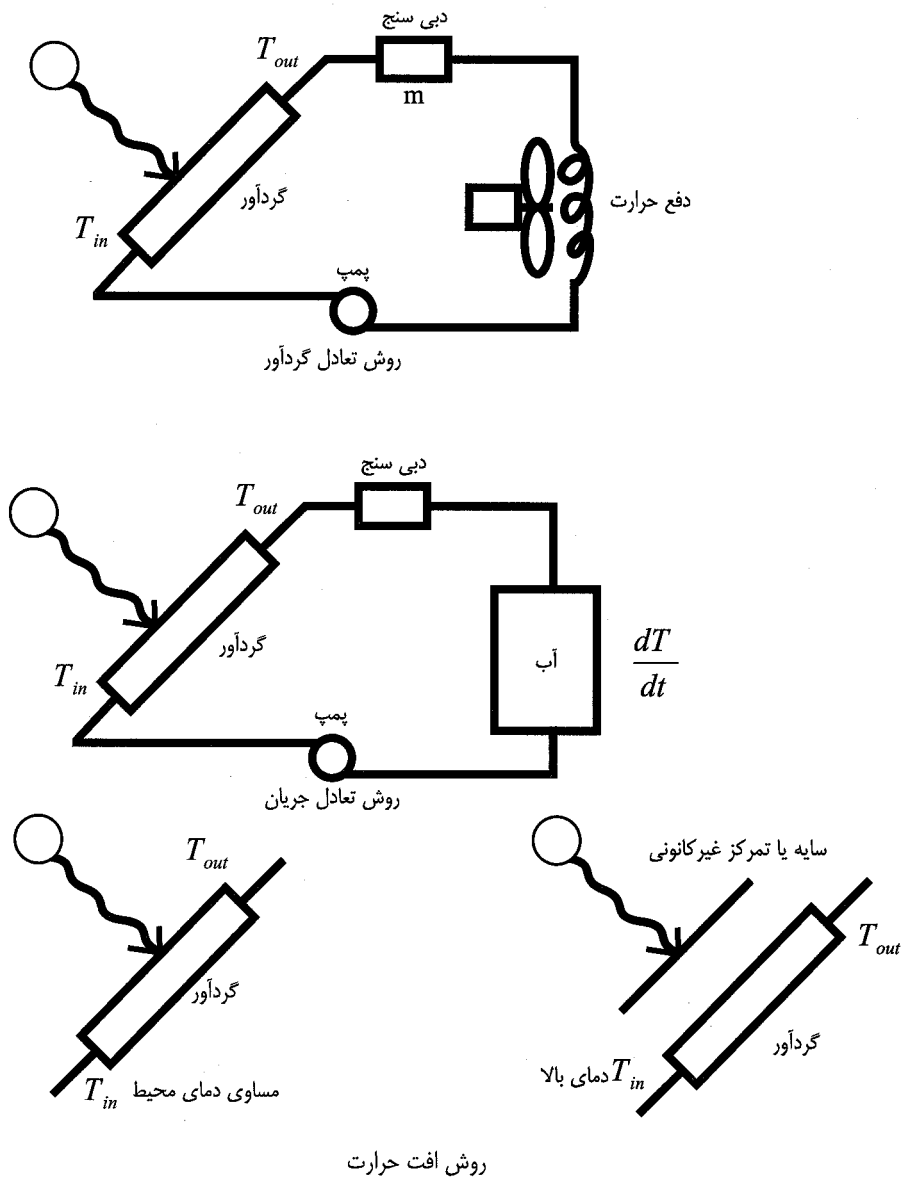
شکل ۵-۱۰: بازده پیل نوری در شدت تابش ۱۰۰۰ وات بر متر مربع برای چندین دمای مختلف سلول، جرم هوا ۱/۵ است.

۵-۵: اندازه گیری بازده گردآور

سه روش آزمایش را در اینجا ملاحظه میکنیم. آزمایش را میبایست در روز یکه هوا صاف و شدت تابش ثابت است انجام داد. قبل از انجام اندازه گیری، سیال مبدل در جذب کننده گردش نموده تا دمای آن تا دمای آزمایش بالا برود. در مورد تست گردآور سهموی خطی، سرعت سیال در لوله جذب کننده باید به حدی باشد که در آن جریان درهم ایجاد نماید تا انتقال حرارت بین سیال و لوله گیرنده به خوبی صورت گیرد. اندازه گیری باید زمانی انجام شود که جریان پایدار است، این نشانگر تغییرات ثابت دمای سیال مبدل در حین عبور از جذب کننده است.

۵-۵-۱: اندازه گیری بازده حرارتی

سه روش برای اندازه گیری بازده گردآور حرارتی مورد توجه قرار میگیرد. این سه روش عبارتند از: تعادل انرژی، تعادل جریان و تعادل افت فشار. شمای تجهیزات لازم برای اندازه گیری در شکل ۵-۱۱ نشان داده شده است.



شکل ۱۱-۵: سه روش برای اندازه گیری بازده گردآور حرارتی

روش تعادل گردآور - معمول ترین روش اندازه گیری بازده برای گردآور مسطح و سهموی خطی در شکل ۵-۱۲ الف نشان داده شده است. در این روش سیستم باید مجهز به ترمومترهای دقیق جهت اندازه گیری دمای سیال در ورود به گردآور و خروج از آن و همچنین دبی سنچ دقیق برای اندازه گیری دبی سیال مبدل باشد.

بعلاوه نیاز به یک سیستم کمکی گرمایش و سرمایش برای ثابت نگهداشتن دمای سیال ورودی به مبدل است. مقدار انتقال انرژی به سیال مبدل تحت شرایط پایدار از رابطه (۵-۲) بدست می‌آید.

روش تعادل جریان - در بعضی حالات امکان اندازه گیری درجه حرارت سیال در ورود و خروج از گردآور و یا اندازه گیری دبی آن وجود ندارد. در اینصورت بجای اجرای رابطه تعادل انرژی بر روی گردآور ، یک حلقه کامل مشابه شکل ۵-۱۲ ب، شامل : گردآور، پمپ و منبع که کاملاً ایزوله حرارتی شده اند مورد استفاده قرار میگیرد. رابطه تعادل انرژی برای این سیستم عبارت است از:

$$\dot{Q}_{useful} = mC_p \frac{dT}{dt} - \dot{W}_{pump} \quad (W) \quad (27-5)$$

در این رابطه :

m - جرم سیال در کل سیستم بر حسب کیلوگرم (Kg)

$\frac{dT}{dt}$ - میزان افزایش دما در مخزن در واحد زمان (K/s)

\dot{W}_{pump} - قدرت پمپ در سیستم (W)

برای اجرائی بودن این روش مقدار سیال باید به اندازه کافی زیاد باشد، که دمای سیال مبدل بسرعت افزایش ننماید، تا امکان یک حالت تقریباً پایدار موجود باشد.

روش اندازه گیری افت حرارت - روش سوم بیشتر برای سیستم گردآور متمرکز کننده استفاده میشود و لازمست که با دو آزمایش یک نقطه برای بازده بدست آید. شکل ۵-۱۲ ج مربوط به این روش است. ابتدا انرژی نوری گردآوری شده و نشان داده شده در رابطه (۵-۴) اندازه گیری میشود. در سیستم از سیالی با دمائی نزدیک به دمای محیط استفاده میشود. چون افت حرارت از گردآور ، مطابق رابطه (۵-۹) ، متناسب با اختلاف دمای سیال و دمای محیط است ، در نتیجه افت حرارت وجود نخواهد داشت.

آزمایش دوم با بکار انداختن گردآور در دمای معمولی بدون دریافت انرژی از خورشید انجام میشود. در اینحالت میتوان دهانه گردآور را از سمت خورشید برگرداند. در این شرایط بعلاو اختلاف دمای جذب کننده و محیط حرارت آن افت مینماید. اگر این آزمایش برای چند دمای مختلف جذب کننده صورت گیرد، رابطه غیر خطی بین افت حرارت و اختلاف دما بدست میآید. بنابراین برای میزان انرژی مفید گردآور در دمای دلخواه خواهیم داشت:

$$\dot{Q}_{useful} = \dot{m}C_p \left[(T_{out} - T_{in})_{T_{fluid}=T_{amb.}} - (T_{out} - T_{in})_{I_a=0} \right] \quad (W) \quad (28-5)$$

در اینجا نیز مشابه با هر آزمایش دیگری خطاهائی وجود دارد، که بر روی نتایج بدست آمده از این روش موثر است. مهمترین خطای آزمایش از آنجا ناشی میشود که در حالت اول انرژی تابشی گیرنده را گرم کرده و سپس سطح جذب کننده سیال مبدل را گرم میکند. در حالیکه در مرحله دوم که جذب کننده رو به خورشید قرار ندارد سطح جذب کننده خنک تر از سیال مبدل است. در نتیجه آزمایش افت حرارتی را نشان میدهد که پائین تر از حالت واقعی کار سیستم است.

تصحیح کننده زاویه برخورد - اکثر آزمایشات گردآور خورشیدی (شکل ۵-۱۱) با استفاده از سیستم ردیاب که دهانه گردآور را عمود بر شعاع مرکزی خورشید قرار می‌دهد، انجام میشود. اما گردآور مسطح خورشیدی معمولاً بطور ثابت در محل نصب شده، در نتیجه زاویه برخورد خورشید با گردآور در طول روز همانطور که در بخش ۴-۱-۱ شرح داده شد، تغییر میکند.

اما گردآور سهموی خطی معمولاً خورشید را حول یک محور ردیابی میکند، و زاویه برخورد آن همانستکه در بخش ۴-۱-۲ شرح داده شد. عدم وجود زاویه برخورد صفر نه تنها موجب کاهش مقدار تابش در دهانه گردآور میشود، بلکه بر روی بازده گردآور نیز بعثت تغییر خصوصیات سطح در اثر تغییر زاویه برخورد و ایجاد سایه داخلی نیز تاثیر میگذارد.

بازده نوری - تعیین بازده نوری که با رابطه (۵-۱۴) تعریف شده، برای گردآورهای ردیاب کننده به سهولت اجرا میشود، لازمه اش درجه حرارت ثابت برای سیال ورودی به آنست، در حالیکه یکبار گردآور "رو به خورشید" قرار دارد و بار دیگر "پشت به خورشید" قرار دارد. بازده گردآور در هنگامیکه "رو به خورشید" قرار دارد با تغییرات مثبت افت حرارت نسبت به شدت تابش و مساحت سطح دهانه همراه بوده و نتیجه بازده نوری است. این آزمایش برای گردآور مسطح با گذاشتن و برداشتن یک صفحه کدر بر روی جذب کننده قابل اجراست.

۵-۲: اندازه گیری بازده پیل خورشیدی

بعثت پاسخ سریع سلولهای خورشیدی به تابش، پیلهای خورشیدی و پیلهای متمرکز خورشیدی در هنگام آزمایش مشکلات مختلف مربوط به گردآورهای حرارتی که در بالا به آن اشاره شد را ندارند.

بطور کلی در آزمایش این نوع گردآور نیاز به بار متغیر و اندازه گیری جریان و اختلاف پتانسیل دو سر پیل خورشیدی است. با نصب یک زوج حرارتی (ترموکوپل) در روی پیل خورشیدی دمای سلولها تعیین میشود. بجای استفاده از یک مقاومت متغیر در سر راه پیل خورشیدی، میتوان دو سر آنرا به یک خازن بزرگ وصل نمود. آنگاه با اندازه گیری همزمان ولتاژ و جریان منحنی جریان - ولتاژ قابل ترسیم است.

فصل ۶: گردآور مسطح

گردآورهای مسطح برای سیستمهای مکانیکی خورشیدی مانند: سیستم آبگرمکن و سیستم گرمایش که به دمای پائین نیاز دارند بهترین نوع گردآور است. امروزه انواع گردآور مسطح بصورت تجارتي وجود دارد و ساخت آنها به سهولت امکان پذیر است. از این نوع گردآور بعنوان پیش گرمکن برای سیستمهای درجه حرارت بالا نیز میتوان استفاده نمود.

در این فصل عملکرد و بازدهی انواع گردآور مسطح که از نظر یک طراح سیستم خورشیدی دارای اهمیت است مورد توجه قرار میدهیم. با این آگاهی طراح سیستم خورشیدی میتواند تصمیم بگیرد که در طرح از گردآور مسطح استفاده بشود یا نشود. بعلاوه اطلاعات لازم برای انتخاب صحیح گردآور مسطح بدست میآورد.

ساختمان گردآور مسطح در شکل ۶-۱ نشان داده شده است. همانطور که در شکل نشان داده شده است، قسمتهای اصلی عبارتند از: ۱- جذب کننده، ۲- صفحه پوشش شفاف یا نیمه شفاف و ۳- جعبه عایق.

۱- جذب کننده معمولاً یک صفحه فلزی برای هدایت حرارتی به سیال مبدل است. تعدادی لوله یا کانال به صفحه جذب کننده وصل شده و یا یک پارچه با آن ساخته شده است. سطح آن با رنگ سیاه ویژه و یا با عملیات شیمیائی پوشش داده شده تا انرژی خورشید را بهتر جذب کند و در صورت امکان افت انرژی از طریق انتشار از آن کمتر شود.

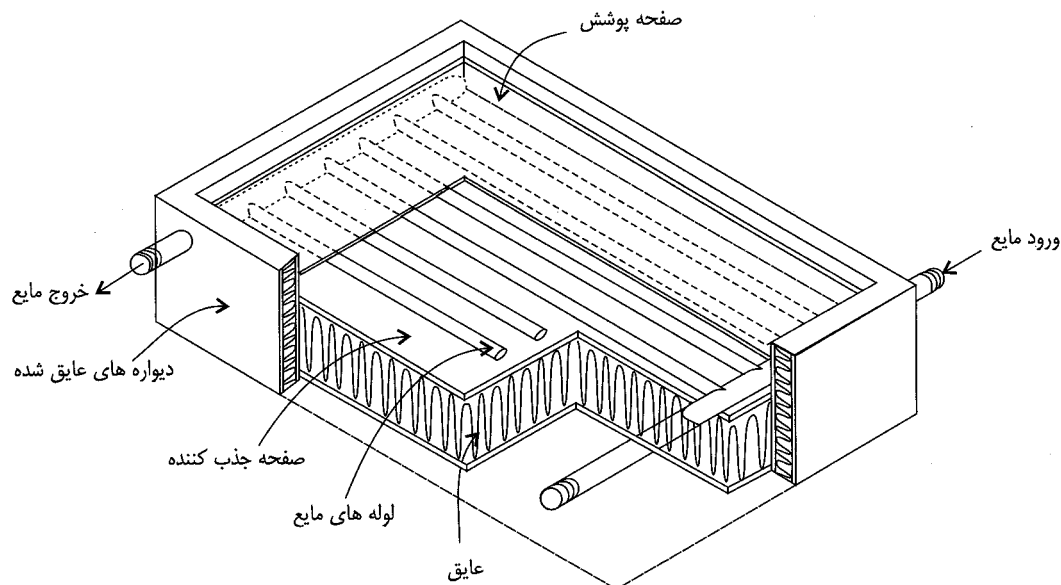
۲- صفحات شیشه روی گردآور اجازه میدهند که نور خورشید از آن عبور کند و در عین حال فضای بالای جذب کننده را (بعلمت جلوگیری از: خروج امواج مادون قرمز، جابجائی هوای گرم به خارج گردآور و ورود هوای سرد بداخل گردآور) عایق مینماید.

۳- جعبه عایق بدنه گردآور، درزبندی و عایقکاری لازم برای کاهش افت حرارت از اطراف و پشت گردآور را فراهم مینماید.

۶-۱-۱: صفحه جذب کننده

عنصر اصلی در گردآور مسطح صفحه جذب کننده است. این صفحه که در دهانه ورودی گردآور قرار مگیرد باید سه کار برای گردآور انجام دهد. الف: حداکثر حرارت خورشید را دریافت کند، ب- این حرارت را به سیال مبدل انتقال دهد و ج- کمترین افت حرارت را از جذب کننده به محیط خارج انتقال دهد.

جذب: نوری که از پوشش شفاف گردآور مسطح عبور میکند، برخلاف جذب کننده گردآور متمرکز کننده مستقیماً توسط صفحه گیرنده جذب میشود. روی جذب کننده با رنگ تیره با ضریب جذب بالا بطور یکنواخت پوشیده میشود. این لایه امواج کوتاه آفتاب (قابل رویت) را از هر طرف بخوبی جذب مینماید. معمولاً این لایه سیاه رنگ حدود ۹۵ درصد از انرژی خورشید را جذب مینماید.



شکل ۶-۱: یک گردآور متعارف با سیال مایع

انتقال حرارت از جذب کننده : عمل دوم جذب کننده انتقال حرارت دریافتی به سیال مبدل است، بطوریکه تغییرات دمای آن با سیال مبدل می نیمم باشد. این کار معمولاً با هدایت حرارت جذب شده به لوله ها یا کانالها که حاوی سیال انتقال حرارت اند صورت میگیرد. سیال انتقال حرارت ممکنست مایع (آب یا آب و ضد یخ) یا گاز (هوا) باشد. نکته مهم در کیفیت جذب کننده آنست که انتقال حرارت را به نحوی تسهیل کند که اختلاف دمای سطح جذب کننده و سیال مبدل زیاد نباشد، در غیر اینصورت افت حرارت از جذب کننده زیاد میشود. افزایش میزان انتقال حرارت از طریق افزایش دبی سیال مبدل و بهبود کیفیت صفحه جذب کننده قابل اجراست.

هنگامیکه یک مایع بعنوان سیال مبدل است، بطوریکه معمولاً نیز این چنین است ، مشکل خاص برای انتقال حرارت از سطح جذب کننده به مایع مبدل وجود دارد. جذب کننده با سیال مایع معمولاً از یک ورق فلزی که لوله هائی با فاصله ۱۰ الی ۲۵ سانتیمتر از هم بر روی آن بشکلی نصب شده (جوش داده شده، پرس شده یا در بدنه آن پیش بینی شده) قرار دارد. صفحه جذب کننده حرارت آفتاب را جذب کرده و مانند پره متصل به لوله این حرارت را به سیال مبدل میرساند. نکات زیر در طراحی خوب یک جذب کننده صفحه - لوله اهمیت دارند :

۱- پره (یا صفحه جذب کننده) باید از موادی با ضریب هدایت بالا ساخته شود.

۲- ضخامت پره باید به اندازه کافی ضخیم باشد، تا اختلاف دمای موردنیاز برای انتقال حرارت به لوله را کاهش دهد.

۳- فاصله لوله ها از هم نباید از حدی زیادتیر باشد والا اختلاف دمای زیادی بین نوک پره (فاصله وسط بین دو لوله متوالی) و لوله ایجاد میشود.

۴- ضخامت دیواره لوله ها باید کم و هدایت حرارتی آن زیاد باشد.

۵- برای کاهش مقاومت حرارتی لوله‌ها باید به صفحه جذب کننده لحیم شده و یا جوش داده شوند.

۶- برای جلوگیری از خوردگی شیمیایی لوله و صفحه جذب کننده باید از یک جنس باشند.

هنگامیکه سیال انتقال حرارت هوا است، معمولاً پشت صفحه جذب کننده یک سطح از کانال هوا را تشکیل داده و از این صفحه حرارت به هوای پشت آن انتقال مییابد. در این حالت برای جذب کننده یک صفحه نازک با ضریب هدایت خوب از یک صفحه ضخیم برای انتقال حرارت بهتر است. کانال هوا باید طوری طراحی شود که از پشت صفحه جذب کننده هوا با سرعت بالا و دبی کافی عبور نموده، و انتقال حرارت زیاد و افت فشار کم باشد. اگر انتقال حرارت از جذب کننده خوب انجام نشود، دمای آن بالا رفته و افت حرارت افزایش مییابد. از طرف دیگر افت زیاد فشار در دوطرف گردآور مصرف برق فن دمیدن هوا را افزایش میدهد.

انتشار : چون دمای سطح جذب کننده بیش از دمای محیط است، در نتیجه سطح آن قسمتی از حرارت گرفته را به محیط از طریق انتشار، تابش مجدد مینماید. این افت تابعی از ضریب انتشار سطح برای تابش امواج طول موج بالا (مادون قرمز) در درجه حرارت پائین است. نکته مهم در این مورد آنستکه اکثر اندودهایی که ضریب بالای جذب آفتاب (امواج طول موج کوتاه تابش) را دارند، افت امواج طول موج بلند نیز از آنها بالاست. این خاصیت برای اکثر رنگهای تیره سیاه وجود دارد.

یک گروه از روکشها، که اکثراً با دادن یک لایه اندود فلزی بر روی جذب کننده تولید میشود، سطحی ایجاد میکند که امواج کوتاه جذب کننده بتواند خوب، ولی طول موج بلند را کم انتشار دهد. شرح کار این اندودها در فصل ۵ ملاحظه شد. بطوریکه در بخش ۳-۳-۶ ملاحظه میشود گردآورهای مسطح با روکشهای ویژه وقتی در دمای کاری بالا هستند افت کمتری خواهند داشت. اما بهر حال اندودهای ویژه به ندرت ضریب جذیشان بخوبی اندودهای معمولی مانند رنگهای سیاه کدر است. بنابراین کاهش افت حرارت باید از نظر اقتصادی، جبران افزایش هزینه اندود ویژه و کاهش ضریب جذب را بنماید.

۶-۱-۲: صفحات پوشش

برای کاهش افت جابجائی معمولاً جذب کننده با یک یا دو سطح شفاف یا نیمه شفاف پوشیده میشود. در صورت عدم وجود پوشش شفاف بر روی جذب کننده، نه تنها افت جابجائی اجباری ناشی از جریان باد وجود خواهد داشت، بلکه بعلت آنکه دمای جذب کننده نسبت به دمای محیط بالاتر است، افت جابجائی طبیعی نیز بیشتر است. پوشش شفاف بر روی هوای بالای جذب کننده مانند تله عمل نموده و در نتیجه از جابجائی به خارج و قسمتی از افت جلوگیری میکند. ولی افت حرارت از طریق جابجائی هوا بین سطح جذب کننده و سطح داخلی پوشش شفاف هنوز وجود دارد. لایه هوای محبوس شده در پشت پوشش شفاف موجب کاهش افت حرارت میشود.

تعداد صفحات پوشش -گردآورهای تجارتي با تعداد صفحات پوشش بین یک تا سه یا حتی بیشتر ساخته شده اند. گردآورهای بدون پوشش برای دمای کاری نزدیک به درجه حرارت محیط دارای بازده بالا هستند. زیرا انرژی ورودی توسط بازتاب و جذب صفحه پوشش تلف نمیشود. البته در دمای کاری بیشتر از دمای محیط و هنگامیکه شدت تابش پائین است اگر پوشش استفاده نشود، مقدار انرژی تلف شونده در حین کار قابل ملاحظه خواهد بود. کاربرد متعارف گردآورهای بدون پوشش گرمایش استخرهای شناس است که به دمائی کمتر از ۱۰ درجه سانتیگراد نسبت به دمای محیط نیاز دارند. افزایش تعداد پوشش موجب

افزایش دمای کاری گردآور (یا امکان رسیدن به دمای مورد نیاز به ازای شدت تابش پائین تر) میشود. یک یا دو پوشش متعارف بوده ولی سه پوشش به ندرت استفاده شده است. هرچند پوشش اضافی افت جابجائی را کاهش میدهد، ولی هزینه را بالا برده، و افت ناشی از جذب و بازتاب را افزایش میدهد.

در نواحی ای با عرض جغرافیائی متوسط و تابش متوسط، گردآورهای بدون پوشش برای کاربرد تا دمای ۳۲ درجه سانتیگراد، گردآورهای با یک پوشش برای کاربردهائی با دمای تا ۷۰ درجه سانتیگراد و گردآورهای با دو پوشش برای کاربردهای بیش از دمای ۷۰ درجه سانتیگراد استفاده میشوند. همانطور که در فصل ۵، ملاحظه شد، بازده گردآور با افزایش شدت تابش افزایش نموده ولی با افزایش دمای کار، کاهش مینماید.

مواد - در اکثر گردآورها بعلت مقاومت عالی شیشه در مقابل عوامل جوی، از آن بعنوان پوشش گردآور استفاده میشود. معمولاً شیشه ایکه برای این منظور استفاده میشود، دارای مقدار آهن پائین بوده و ضخامت آن ۳ تا ۶ میلیمتر است. سطح شیشه ممکنست صاف یا نقش دار باشد، که در آنصورت به ترتیب شفاف یا نیمه شفاف خواهد بود. هر دو نوع شیشه دارای ضریب عبور ۹۰ درصد است.

هنگامیکه نیاز به دو پوشش است، گاهی از پوشش پلاستیک بعنوان پوشش دوم استفاده میشود. استفاده از پلاستیک در زیر شیشه، موجب حفاظت پلاستیک در مقابل هوای محیط میشود. بعلاوه شیشه امواج ماورائی بنفش را از خود عبور نداده و در نتیجه صفحه پلاستیک از اثر مخرب اشعه ماورائی بنفش بر پلاستیک در امان میماند. معمولاً از صفحات سخت اکریلیک یا پلیمرهای فایبر گلاس تقویت شده مانند پلی وینیل فلوراید استفاده میشود. بعضی از انواع این صفحات پوشش پلاستیکی دارای ضریب عبوری نزدیک به شیشه با آهن پائین هستند. نقطه ضعف این نوع گردآور، احتمال زیاد گرم شدن صفحه پلاستیک ناشی از دماهای مربوط به حالت سکون (یعنی: هنگامیکه جریان سیال از جذب کننده قطع شود) است.

۶-۲: مزایا

گردآورهای مسطح تابش رسیده از کلیه جهات (هم تابش مستقیم و هم تابش پراکنده) را جذب میکنند. این خصوصیت خوب گردآور مسطح آن را بی نیاز از ردیابی خورشید نموده است. ولی به هر حال افت کسینوس در آنها وجود دارد و بدیهی است که اگر خورشید را ردیابی کنند انرژی بیشتری جذب خواهند کرد.

۶-۲-۱: حالت عدم ردیابی خورشید

در اینحالت بعلت تصمیم طراح بر عدم نیاز به ردیابی خورشید، گردآور مسطح را میتوان در محل خود بطور محکم نصب نمود و برای استحکام بیشتر اسکلت استقرار آنرا به اسکلت استقرار دیگر گردآورها متصل نمود. در اینحالت بعلت عدم وجود مکانیزمهای متحرک، سیستم بدون پیچیدگی است. البته همانطور که در فصل ۵ دیدیم، بعلت اثر کسینوس، انرژی دریافتی در طول روز یک سطح ثابت کمتر از انرژی دریافتی آن هنگامی است که همان سطح خورشید را حول یک یا دو محور ردیابی نماید. برای افزایش جذب انرژی میتوان گردآور مسطح خورشیدی را در فواصل زمانی جابجا کرده یا بر روی یک پایه که امکان حرکت حول یک محور یا حول دو محور را دارد، نصب نمود.

۶-۲-۲: استفاده از تابش پراکنده

گفتیم که گردآور سطح هم از تابش مستقیم و هم از تابش پراکنده استفاده میکند. این مطلب تا حدودی جبران افت انرژی ناشی از اثر کسینوس را مینماید. با وجود آنکه مقدار تابش پراکنده حدود ۱۰ درصد مقدار تابش مستقیم در یک روز صاف است، در یک روز ابری تقریباً کل تابش خورشید بصورت تابش پراکنده است.

جدول ۶-۱، مقادیر انرژی دریافتی سالیانه را برای گردآور سطح "با ردیابی خورشید حول دو محور، بدون ردیابی خورشید" و "گردآور متمرکزکننده با ردیابی خورشید حول دومحور" برای دو نقطه با عرض جغرافیائی مختلف نشان میدهد.

جدول ۶-۱: مقایسه انرژی گردآوری شده توسط یک گردآور سطح و یک گردآور متمرکزکننده

خصوصیات گردآور		متوسط سالیانه انرژی دریافتی روزانه (MJ/M^2)
		عرض جغرافیائی ۳۵ درجه
		عرض جغرافیائی ۴۵ درجه
گردآور سطح با ردیابی خورشید حول دو محور (تابش مستقیم باضافه تابش پراکنده)		۳۱
		۱۹/۵
گردآور سطح با شیب ثابت (تابش مستقیم باضافه تابش پراکنده)		۲۳
		۱۵
گردآور متمرکزکننده با ردیابی خورشید حول دومحور (فقط تابش مستقیم)		۲۶/۵
		۱۴

برای هر دو نقطه گردآور سطح با ردیابی خورشید حول دو محور انرژی بیشتری گردآوری میکند. با وجود این در عرض جغرافیائی ۳۵ درجه برای یک گردآور سطح ثابت افت کسینوس بیش از انرژی دریافت از تابش پراکنده است. در صورتیکه برای عرض جغرافیائی ۴۵ درجه افت کسینوس تقریباً معادل انرژی دریافتی از تابش پراکنده است. ذکر این نکته لازمست که جدول ۶-۱ نمایشگر مقادیر نسبی انرژی قابل گردآوری است. بنابراین نوع گردآور و همچنین اضافه کردن سیستم ردیاب خورشید با توجه به هزینه و دمای مورد نیاز انتخاب میگردد.

۶-۲-۳: هزینه

امروزه هزینه ساخت گردآور سطح کمتر از هزینه گردآور متمرکز کننده است. یکی از علل آن عدم نیاز گردآور سطح به سیستم ردیابی خورشید است. علت دیگر سهولت نسبی ساخت آن است.

بعلت ارزانی تولید انرژی در درجه حرارت پائین گاهی از گردآور سطح بعنوان پیش گرمکن در سیستم با دمای بالا استفاده میشود. شکل زیر مربوط به یک کارخانه غذائی در یک کشور خارجی است که از گردآورهای سطح خورشیدی بعنوان پیش گرمکن استفاده نموده است.



شکل ۶-۲: گردآورهای مسطح بعنوان پیش گرمکن در پشتمان یک کارخانه مواد غذایی.

۶-۳: بازدهی گردآور

۶-۳-۱: جهت

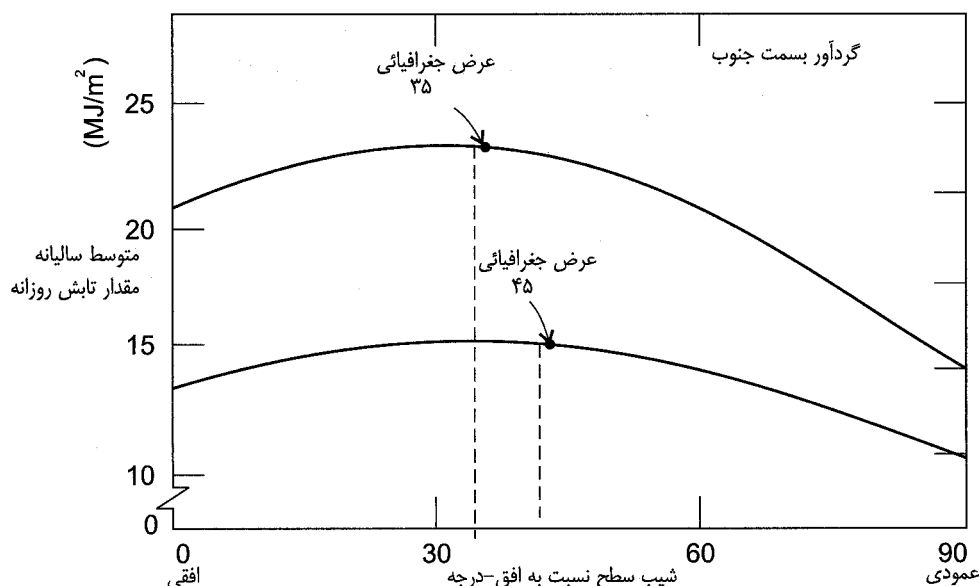
تعیین جهت گردآور مسطح در طراحی سیستم خورشیدی دارای اهمیت بوده و طراح باید در مورد استقرار گردآور بطور افقی و یا مقدار زوایای سمت و شیب گردآور تصمیم بگیرد.

زاویه سمت - روشن ترین زاویه سمت برای گردآور ثابت در نیمکره شمالی سمت جنوب است. این سمت موجب گردآوری انرژی مساوی در قبل از ظهر و بعد از ظهر میشود. دلایل مختلف ممکنست وجود داشته باشد که طراح این سمت را انتخاب نکند. ممکنست صرفاً بخاطر جهت ساختمان یا زمین زاویه سمت انتخابی نسبت به جنوب انحراف داشته باشد. کاربری گردآور نیز ممکنست در انتخاب سمت دیگری غیر از جنوب موثر واقع شوند. اگر انرژی بیشتر در عصر نیاز باشد بهتر است گردآورها بسمت غرب منحرف باشند. هنگامی که درخت یا ساختمانی سد راه رسیدن نور خورشید از سمت جنوب به گردآور باشد، یا هنگامی که ابر صبحگاهی مانع تابش خورشید باشد، انحراف گردآورها از سمت جنوب ضروری است. تحقیقات تا امروز نشان داده که ۲۰ درجه انحراف در طرفین جنوب واقعی تأثیر چندانی در مقدار انرژی گردآوری شده ندارد.

شیب - برای یک گردآور مسطح ثابت، معقول ترین شیب نسبت به سطح افق شیبی معادل زاویه عرض جغرافیائی منطقه است. در این زاویه اگر گردآور بسمت جنوب باشد، دو بار در سال (نقاط تعادل - حدود اول بهار و اول پائیز) کاملاً عمود بر شعاع مرکزی خورشید قرار میگیرد. بعلاوه در طول سال در هنگام ظهر خورشید حداکثر بین ۲۳/۵ درجه در بالا و پائین امتداد عمود بر آنست.

با وجود این شرایط پروژه ممکنست موجب شود که طراح شیبی بیشتر یا کمتر از مقدار فوق انتخاب نماید. مثلاً اگر پشتمان شیبدار و با شیبی حداکثر ۱۵ درجه بیشتر یا کمتر از عرض جغرافیائی محل باشد، نصب گردآور با شیبی معادل شیب بام مناسب است. اگر نصب گردآور برای گرمایش باشد نصب با زاویه شیب بیشتر از عرض جغرافیائی مناسب است. بالعکس اگر هدف اصلی از نصب گردآور استفاده برای سیستم سرمایش باشد، در آنصورت شیب کمتر از عرض جغرافیائی مناسب است.

همانطور که در مورد تغییر در زاویه سمت گفته شد در مورد شیب نیز ایجاد سایه ناشی از درخت یا ساختمان ممکنست موجب افزایش شیب گردآور برای استفاده بهتر در زمستان شود.



شکل ۳-۶: تغییرات شدت تابش کل برحسب تغییرات شیب سطح. مقدار بازتاب زمین در مقدار شدت تابش معادل ۲۰٪ فرض شده است.

در شکل ۳-۶ مقدار متوسط تابش روزانه برای دو محل با عرض جغرافیائی ۳۵ و ۴۵ نشان داده شده است. بطوریکه ملاحظه میشود برای هر دو عرض جغرافیائی نقطه ماکزیمم شدت تابش هنگامی است که شیب کمی از عرض جغرافیائی کمتر است. این بعلت آنستکه در زمستان در هر دو محل مقدار ابر زیاد است. نکته قابل ملاحظه دیگر آنستکه با تغییرات زاویه شیب مقدار شدت تابش مؤثر بطور جزئی تغییر مینماید. بعلاوه ملاحظه میشود که تأثیر زاویه شیب شدید نیست و در صورتیکه هزینه نصب بطور قابل ملاحظه کاهش یابد، نصب گردآور بطور افقی منطقی است.

۲-۳-۶: اندازه گیری بازده

بازده گردآور مسطح را همانطور که در فصل ۵ ملاحظه شد با اندازه گیری میتوان تعیین نمود نتایج بدست آمده از آزمایش گردآور برای بازده آن، به منظور بدست آوردن ضریب اختلاف دمای گردآور و محیط نسبت به شدت تابش استفاده شد. برای بازده گردآور مسطح، درجه حرارت و شدت تابش، با مقادیری که برای گردآور متمرکز کننده بکار میرود متفاوت است.

دمای مورد استفاده برای تعیین بازده گردآور مسطح، دمای سیال ورودی به گردآور است، نه دمای متوسط مانند آنچه در مورد گردآور متمرکز کننده اعمال میشود. با وجود آنکه استفاده از دمای ورودی سیال برای شبیه سازی رابطه بازده، بررسی را ساده تر میکند ولی در عین حال رابطه را تابعی از دبی سیال قرار میدهد. بنابراین در هر رابطه شبیه سازی شده دبی جریان را باید ثابت نمود. در صورت تغییر دبی باید از رابطه دیگری استفاده شود. مقدار دبی توصیه شده برای اندازه گیری بازده گردآور مسطح با سیال مایع ۰/۰۲ کیلوگرم در ثانیه از هر متر مربع و برای گردآور با سیال هوا ۰/۰۱ مترمکعب بر ثانیه بر متر مربع است.

چون گردآور مسطح هم تابش مستقیم و هم تابش پراکنده را جذب میکند، تابش کل در تعیین رابطه بازده گردآور مسطح بکار میرود. شدت تابش کل مقدار بازتاب از زمین را نیز شامل میشود. شدت تابش کل از رابطه (۴-۲۹) بدست می‌آید در حالیکه زاویه شیب β است.

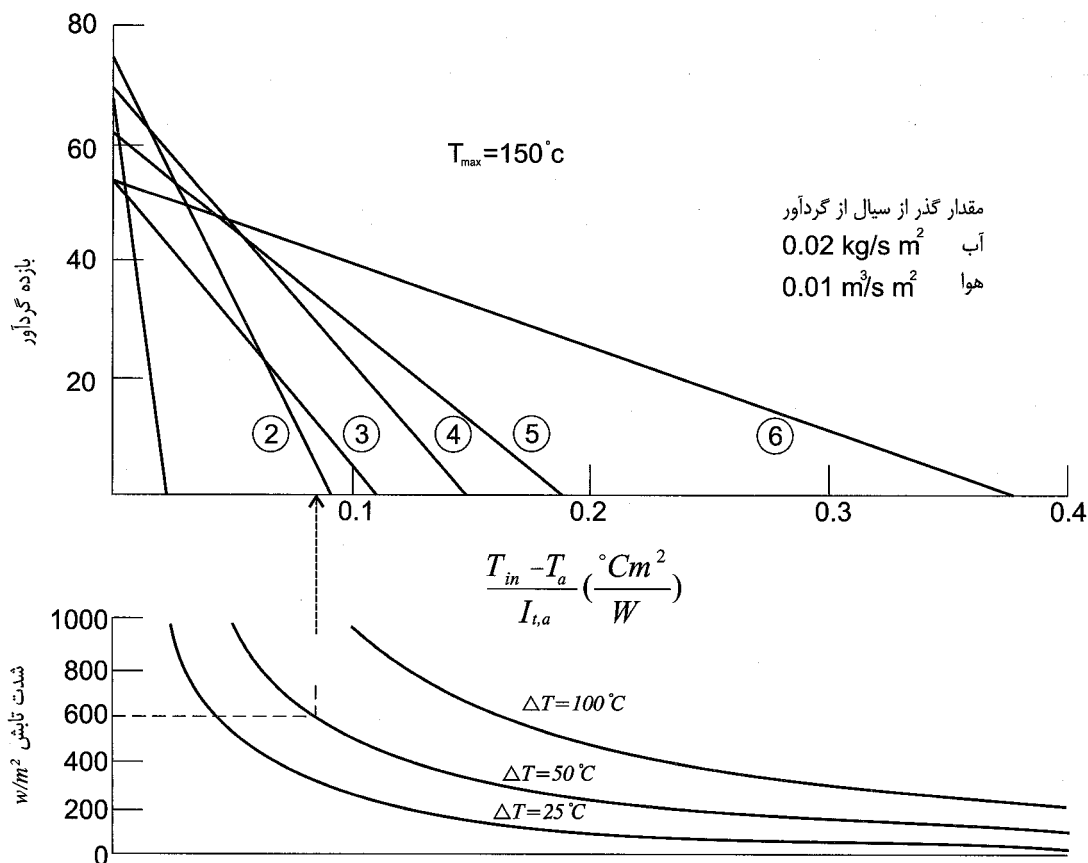
با توجه به فصل ۵ بازده گردآور برای گردآور غیر متمرکز کننده بصورت رابطه زیر درمی‌آید:

$$\eta_{col} = F_R \eta_{opt} - F_R U_L \left[\frac{T_{in} - T_a}{I_{t,a}} \right] \quad (۱-۶)$$

عناصر بازده نوری η_{opt} و ضریب انتقال حرارت U_L در فصل ۵، و شدت تابش کل دهانه $I_{t,a}$ در رابطه ۴-۲۹ در فصل ۴ قبلاً تعریف شدند. عنصر F_R عبارت از بازده دفع حرارت از گردآور بوده و بستگی به فاصله لوله‌های جذب کننده، و دبی سیال انتقال حرارت از آن دارد.

۳-۳-۶: بازده چند نوع گردآور مسطح تجارتي

شکل ۴-۶ بازده چند نوع گردآور مسطح را نشان میدهد. این گردآورها از نوع گردآور بدون پوشش، که برای دماهای خیلی پائین بکار میرود شروع شده و به گردآور با دو پوشش و جذب کننده با سطح اندود ویژه ختم میشود. بازده گردآور از نوع لوله خلاء نیز که شرح آن در بخش بعدی آورده شده در این مقایسه دیده میشود.



شماره گردآور	سیال جذب کننده	تعداد پوشش	اندود سطح جذب کننده	$F_R \eta_{opt}$	$F_R U_l$
۱	آب	۰	رنگ سیاه	۰/۶۸	۳۴/۰
۲	آب	۱	رنگ سیاه	۰/۷۴	۸/۲
۳	هوا	۱	کروم سیاه	۰/۵۲	۴/۸
۴	آب	۱	کروم سیاه	۰/۷۰	۴/۷
۵	آب	۲	کروم سیاه	۰/۶۱	۳/۲
۶	آب	-	لوله خلاء	۰/۵۴	۱/۴

شکل ۴-۶: بازده چند نوع گردآور مسطح خورشیدی تجارتي

محور افقی دوم برای ساده نمودن شرح نمودار است. بطوریکه ملاحظه میشود محور افقی برحسب نسبت تفاوت درجه حرارت (ورود به جذب کننده و محیط محل نصب) تقسیم بر شدت تابش کل است، این عناصر را میتوان در روی یک نمودار با محور افقی جداگانه نشان داد.

با وجود آنکه گردآور مسطح در شدت تابش بالا یا در دمای بالای محیط ممکنست در دمای خیلی بالا کار کند، اما همینکه شدت تابش یا دمای محیط پائین بیاید یا زاویه برخورد زیاد شود، بازده گردآور کاهش مییابد. بطوریکه در شکل ۴-۶ ملاحظه میشود، هنگامیکه اختلاف دما ۵۰ درجه سانتیگراد بوده و شدت تابش به ۶۰۰ وات در متر مربع کاهش نماید، بازده هر سه گردآور "۱"، "۲" و "۳" تا حد غیر قابل استفاده کاهش مینماید. این نمودار نتیجه گیری قبلی مبنی بر اینکه گردآورهای مسطح برای کاربردهائی که افزایش دما نسبت به محیط کمتر از ۵۰ درجه سانتیگراد مناسب است را تأیید میکند. البته در مورد لوله‌های خلاء استثناء ملاحظه شده، و بنظر میرسد که این لوله‌ها تا افزایش دمای دوبرابر نیز قابل استفاده اند. ولی هنوز به اندازه کافی نتایج کاری برای این نوع گردآور وجود ندارد، تا در مورد بازده گردآور با چنین افزایش دمائی مطمئن شد.

۴-۳-۶: مقایسه گردآور مسطح با گردآور سهموی خطی

اطلاعات هواشناسی برای یک دوره طولانی جهت مقایسه عملکرد گرد آور مسطح و گردآور سهموی خطی مورد استفاده قرار گرفته است [۲۵]، تا معلوم شود در چه درجه حرارت کاری گردآور سهموی بیش از گردآور مسطح سالیانه انرژی جذب مینماید.

گردآور مسطح مورد مقایسه دارای یک پوشش شیشه، و جذب کننده ای با اندود ویژه بوده است. طرز قرارگیری گردآور مسطح، افقی و سمت رو به جنوب، با زاویه شیب مساوی عرض جغرافیائی و برای گردآور سهموی خطی، دوحالت ردیابی خورشید حول محور شمالی- جنوبی و حول محور شرقی- غربی در نظر گرفته شده است.

نتیجه بدست آمده نشان داده است که برای درجات حرارت کمتر از ۷۰ درجه سانتیگراد گردآور مسطح بسمت جنوب با شیب عرض جغرافیائی محل و گردآور سهموی با قرارگیری محور ردیاب در امتداد شمالی- جنوبی تقریباً مشابه و دارای بالاترین مقدار انرژی گردآوری شده در طول سال هستند. این موضوع برای طراح سیستم آبگرم مصرفی با استفاده از گردآور مسطح حائز اهمیت است.

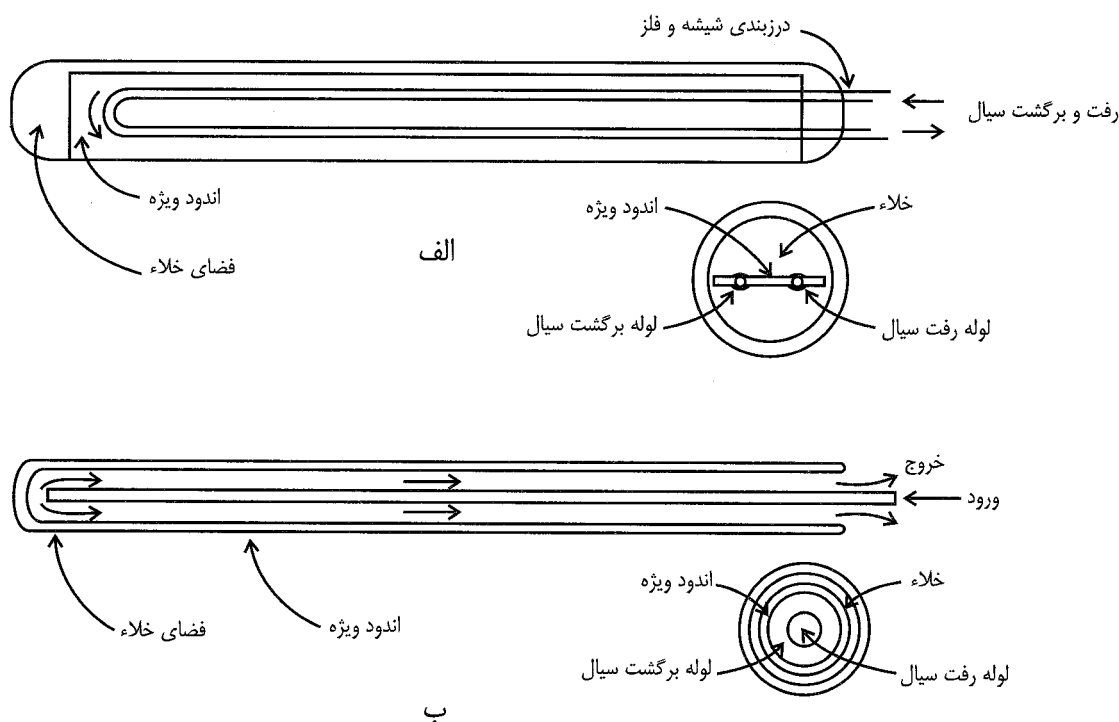
۵-۶: انواع دیگر گردآور مسطح

۱-۵-۶: گردآورهای لوله ای خلاء

در یک کوشش برای طراحی گردآور مسطح با بازدهی بالا و تولید انبوه، گردآور لوله خلاء ساخته شده است. این نوع گردآور از لوله های شیشه ای که هوای داخل آن تخلیه شده ساخته میشود. بعلت تخلیه هوای بین لوله شیشه و جذب کننده این نوع گردآور دارای افت کم انتقال حرارت از طریق جابجائی، حتی برای دمای بالا است. افت اصلی در این گردآور افت تابش از جذب کننده است. پائین بودن افت حرارت این نوع گردآور از روی بالا بودن دمای کار آن حتی در شدت تابش پائین در شکل ۴-۶ قابل ملاحظه است.

در شکل ۵-۶ دو نمونه لوله های خلاء دیده میشود. در نمونه "الف" صفحه مسطح جذب کننده با یک لوله آب خم شده و متصل به آن در یک لوله خلاء قرار دارد. انرژی خورشید جذب آب یا سیال دیگری که در لوله جریان دارد میشود.

در نمونه "ب" از لوله های هم محور استفاده شده است، بطوریکه سطح لوله میانی با موادی با ضریب جذب بالا اندود شده و فاصله آن تا لوله خارجی از هوا تخلیه شده است. سیال انتقال حرارت از یک لوله مرکزی وارد شده و از لوله میانی که بصورت غلاف آنرا احاطه نموده خارج میشود. این گردآور میتواند دمای بالا با بازدهی بالا ایجاد نماید. اما متأسفانه این نوع گردآور بعلت فروسائی مواد درزبندی ناشی از انبساط و انقباض و محدودیت اندودها، معمولاً در دمای پائین تر از دمای قابل دسترسی توسط آن استفاده میشود.

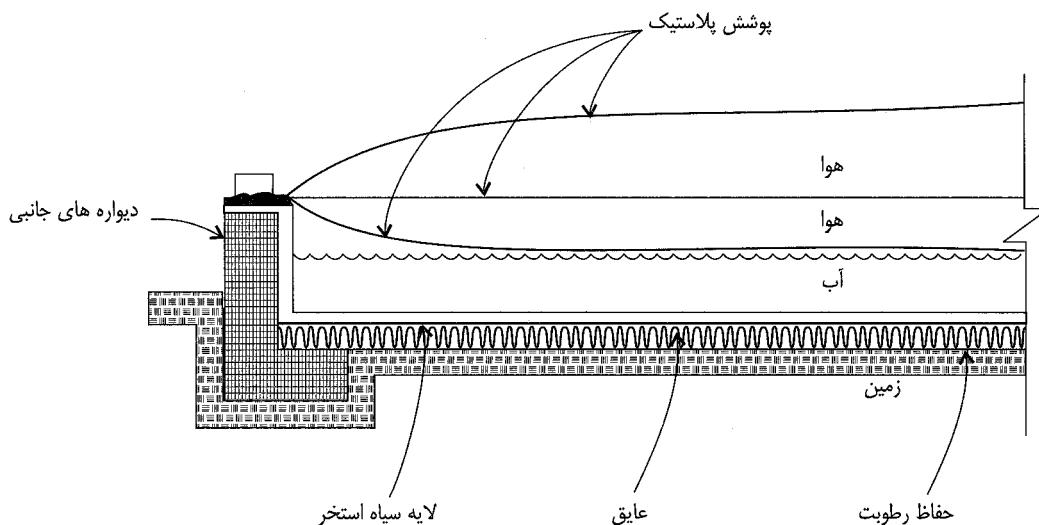


شکل ۵-۶: دو طرح مختلف لوله خلاء، قطر لوله معمولاً ۵ تا ۱۰ سانتیمتر است.

۶-۵-۲: استخر خورشیدی

بنظر میرسد که استخر خورشیدی ارزاترین نوع گردآور است. قیمت این نوع گردآور با افزایش اندازه آن بشدت کاهش مییابد. دو نوع استخر خورشیدی ساده وجود دارد که عبارتند از: حوض کم عمق و استخر نمک. هر دو نوع استخر مشابه گردآور مسطح هستند، زیرا متمرکز کننده ای نبوده، و استخر تابش مستقیم و پراکنده را جذب کرده و کاربری محدود به درجه حرارت‌های پائین است.

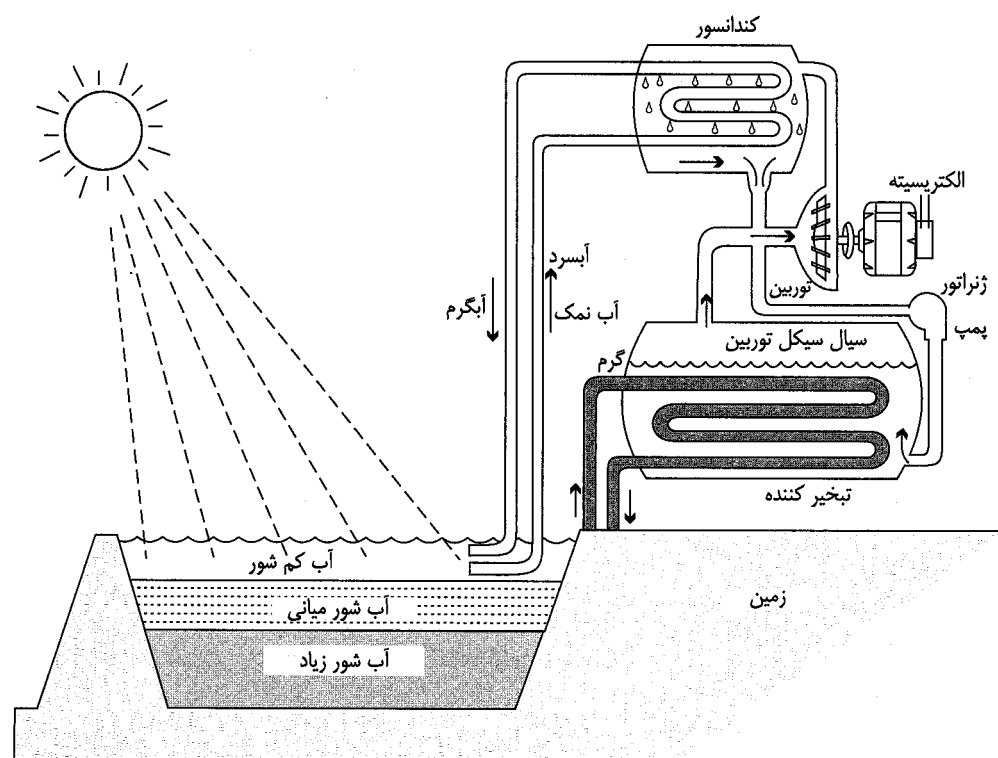
استخر کم عمق - در این استخر از لایه ای نایلون سیاه که بر روی صفحات عایق بر روی زمین مسطح قرار میگیرند، استفاده میشود. در بالای استخر حداقل یک لایه پوشش نیمه شفاف قرار میگیرد. هنگامیکه آفتاب کافی وجود دارد آب از یک منبع زمینی بداخل حوض پمپ میشود. آب داخل استخر میتواند تا دمای ۶۰ درجه سانتیگراد گرم شود. بعد از رسیدن آب استخر به این دما آنرا میتوان برای مصرف به یک مخزن آبگرم پمپ نمود. شکل ۶-۶ یک نمونه از چنین استخری را نشان میدهد. بطوریکه ملاحظه میشود چند لایه پوشش پلاستیک بر روی استخر قرار گرفته است. در یک نمونه ساخته شده ابعاد حوض ۴ متر در ۲۰۰ متر بوده است. محدودیت عرض بعلت محدودیت عرض نایلون یک تکه در بازار است.



شکل ۶-۶: گردآور خورشیدی استخر کم عمق

استخر آب شور [۲۶] در این نوع استخر سطح آب بدون پوشش مییابد. با برخورد انرژی خورشید به استخر آب لایه زیرین گرم شده، در نتیجه سبک و آماده حرکت بسمت بالا میشود، و ضمناً امکان جذب نمک بیشتری را پیدا میکند. آب لایه روئی در مجاورت هوا سرد شده، سنگین شده و بسمت پائین حرکت میکند. تدریجاً، بالانس گرما و شوری در استخر ایجاد میشود. به تدریج گرما و شوری بیشتری در لایه زیرین استخر مطابق شکل: ۶-۷ جمع میشود. در اینحالت وزن مخصوص آب شور از پائین به بالا کاهش مییابد. همین تغییرات وزن مخصوص از جابجائی طبیعی حرارت توسط ذرات آب جلوگیری نموده و حرارت را در کف استخر محبوس میکند. شاید بتوان گفت که در مقابل انتقال حرارت بسمت بالا یک عایق حرارت تدریجاً ایجاد میشود.

در عمل سه لایه اصلی در استخر آب شور ایجاد میشود که عبارتند از: ۱- لایه سطحی با شوری کم، که معمولاً به ضخامت حدود ۰/۲ الی ۰/۴ متر است؛ ۲- لایه با تغییرات شوری تدریجی شوری که آنرا آبشور میانی مینامیم و همانطور که در شکل نشان داده شده در زیر لایه آب با شوری کم قرار دارد، ضخامت این لایه معمولاً حدود ۱ الی ۱/۵ متر است؛ ۳- لایه آب زیاد شور که دارای شوری همگن بوده و محل ذخیره گرما و تمرکز نمک است. ارتفاع این لایه معمولاً حدود ۱ الی ۳ متر طراحی میشود. ذکر این نکته لازمست که دمای تولیدی توسط استخر نمک ۹۰ درجه سانتیگراد است.



شکل ۶-۷: تولید الکتریسیته با استفاده از استخر آبشور

از حرارت ذخیره شده در ته استخر برای کاربردهای مختلف میتوان استفاده کرد. حد نهائی این استفاده تولید برق است که در شکل ۶-۷ نشان داده شده است. بطوریکه ملاحظه میشود، آبشور گرم به یک مبدل حرارت پمپ شده و بعد از دفع حرارت به سیال سیکل توربین به استخر برمیگردد. سیکل رانکین برای تولید برق بکار رفته است. آب خنک کردن تقطیرکننده از لایه سطحی گرفته شده و بعد از خنک کردن تقطیر کننده به همان لایه بر میگردد.

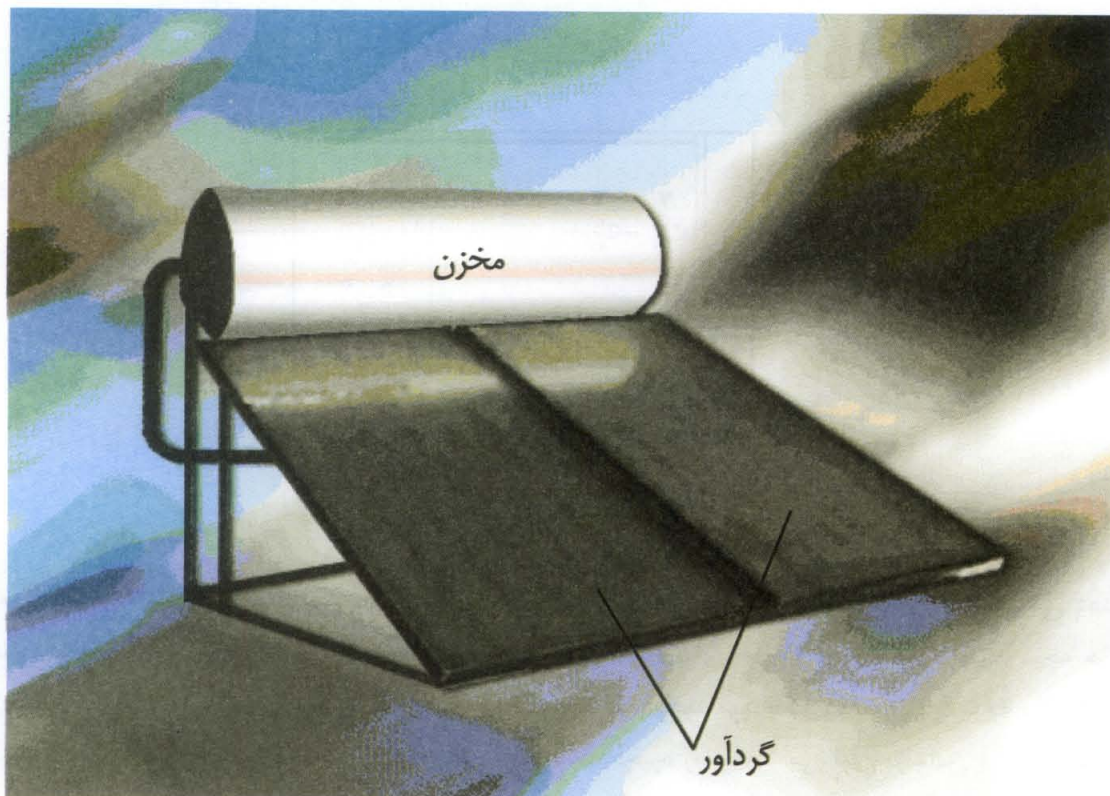
ساخت استخر آبشور وقتی اقتصادی است که زمین مسطح ارزان و آبشور موجود باشد. از استخر کم عمق میتوان بعنوان پیش گرمکن برای استخر آبشور استفاده نمود. در فصل ۱۶ که طرح کویر سبز تشریح شده است، استخر آبشور برای تولید آب شیرین و تولید برق مورد توجه قرار گرفته است. استخر نمک برای کاهش مرحله ای شوری آب در طرح کویر سبز توصیه میشود. برای جلوگیری از تبخیر آب از استخر نمک بهتر است سطح آن با یک یا دو لایه نایلون منطبق بر سطح آب پوشش شود، تا کل انرژی خورشید صرفاً برای گرم کردن آب شور صرف شود. بدین ترتیب نه تنها انرژی خورشید برای تبخیر هدر نمیرود، بلکه آب مورد نیاز نیز هدر نخواهد رفت. لذا برای سهولت بهتر است عرض استخر معادل عرض نایلون موجود در بازار باشد.

فصل ۷: آبگرمکن های خورشیدی

آبگرم در تمام طول سال و صرف نظر از شرایط محیط خارج مورد نیاز می باشد . تولید آبگرم مصرفی اقتصادی ترین روش استفاده از انرژی خورشیدی است . انرژی خورشیدی را می توان مستقیماً برای تولید آبگرم مصرفی به کار گرفت .

در آبگرمکن خورشیدی از آب یا مایع ضد یخ مثل مخلوط آب و گلیکول بعنوان سیال مبدل استفاده شده، و معمولاً گردآورها در پشتبام نصب میشوند. در آب گرمکنهای خورشیدی نیز مانند آبگرمکن های متعارف یک مخزن ذخیره برای آبگرم وجود دارد. در بعضی از آبگرمکن های خورشیدی برای گردش آب در گردآور از پمپ استفاده میشود.

آبگرمکن های خورشیدی در هر نوع آب و هوا قابل استفاده هستند. بازدهی آبگرمکن با توجه به شدت تابش خورشید و درجه حرارت آب ورودی به گردآور تغییر مینماید. هر چه آب ورودی به آن سردتر باشد، بازدهی آبگرمکن بیشتر میشود، زیرا همانطور که در فصل ۵ ملاحظه شد، بازدهی گردآور با کاهش درجه حرارت ورودی بالا میرود.



شکل: (۷-۱) - یک سیستم آبگرم برای نصب روی پشت بام با مخزن افقی

طراح آبگرمکن خورشیدی علاوه بر نکاتی که برای بهینه کردن دستگاه آبگرمکن انجام میدهد باید توصیه های لازم در مورد نحوه استفاده از دستگاه برای کاهش مصرف را نیز (مانند: استفاده از سرشیرهای کاهش مصرف و تنظیم ترموستات برای دمای مورد نیاز) بنماید.

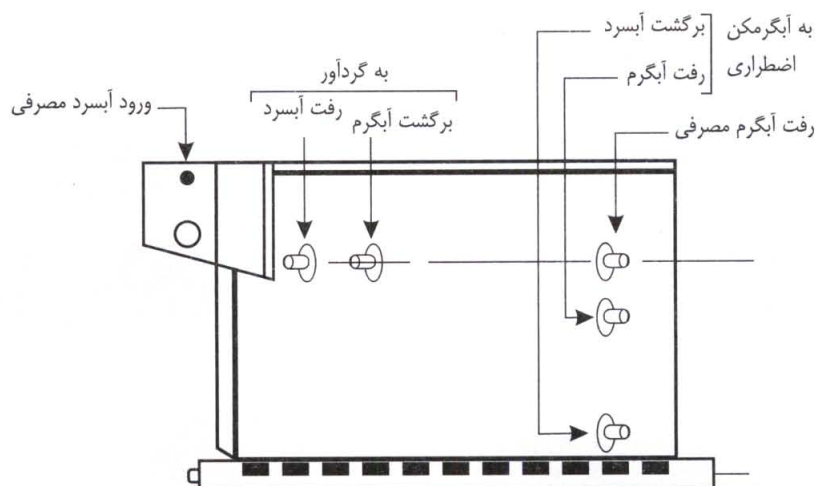
۷-۱: اصول آبگرمکن خورشیدی

آبگرمکن خورشیدی همانطور که در شکل ۷-۱ ملاحظه میشود، از دو قسمت اصلی گردآور و مخزن ذخیره آبگرم تشکیل شده است. در آبگرمکن خورشیدی بر حسب نوع آن ممکن است از پمپ نیز استفاده بشود.

۷-۱-۱: گردآور

در آبگرمکن ممکنست از انواع گردآورهای خورشیدی [۱] مانند: گردآور مسطح، لوله‌های خلاء و گردآور متمرکز کننده استفاده نمود، ولی با توجه به فصل ۵ و ۶، استفاده از گردآور مسطح برای آبگرمکن‌های خانگی توصیه میشود.

۷-۱-۲: مخزن ذخیره آبگرم



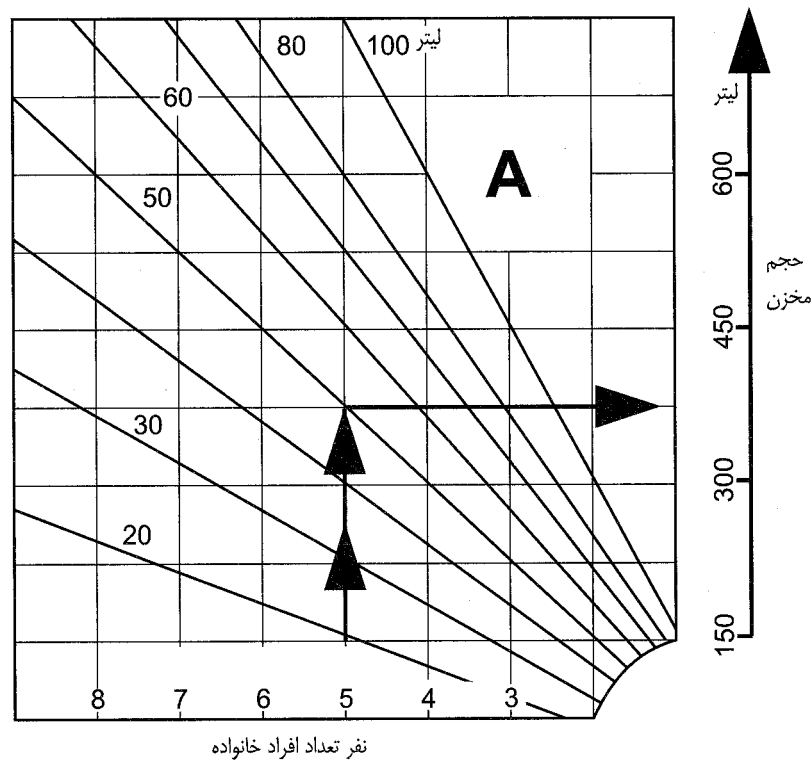
شکل ۷-۲: یک نمونه مخزن قائم

مخزن ذخیره، آبگرم را برای مصرف در زمان دلخواه ذخیره مینماید. شکل ۷-۲ یک تانک ذخیره را نشان می‌دهد. تانک ذخیره معمولاً برای نگهداری ۱/۵ تا ۲ روز ذخیره آبگرم طراحی می‌شود. برای حمام و دوش معمولاً آب با درجه حرارت بین ۳۷ تا ۴۳ درجه سانتیگراد لازم است. برای شستشوی لباسها نیز به علت وجود مواد پاک کننده آب ۶۰ درجه سانتیگراد مناسب است. لذا ترموستات فرمان دهنده به سیستم کمکی در روی تانک ذخیره را معمولاً می‌توان براساس فوق و مطابق دلخواه تنظیم نمود. مخزن ذخیره را بر حسب طراحی دستگاه آبگرمکن، می‌توان بطور افقی یا قائم نصب کرد. در شکل ۷-۱ یک نمونه از نصب مخزن ذخیره بطور افقی و در شکل ۷-۴ نمونه دیگری بطور قائم نشان داده شده است. محل مخزن ذخیره آبگرم عموماً پشتبام، ولی با توجه به سیستم انتخابی (بطوریکه در بند سیستم‌های آبگرمکن ملاحظه خواهد شد) و مشخصات پروژه، طراح میتواند محل دیگری برای آن انتخاب نماید.

مخزن آبگرمکن خورشیدی را میتوان با مخزن آبگرمکن متعارف سری نموده و از آن بعنوان "پیش گرمکن" هم استفاده نمود. در اینحالت آبگرمکن خورشیدی آب را پیش از ورود به آبگرمکن متعارف گرم مینماید.

معمولاً ظرفیت مخزن $1/5$ برابر مصرف روزانه در نظر گرفته میشود. در ایران میزان مصرف آبگرم در ساختمانهای مسکونی معادل 50 لیتر آبگرم با دمای 60 درجه در نظر گرفته میشود. مقادیر مصرف برای ساختمانهای دیگر مطابق استاندارد ایران بیشتر و یا کمتر از این مقدار است. بنابراین مخزن لازم برای یک خانواده 5 نفری با در نظر گرفتن 50 لیتر آبگرم برای هر نفر، هم از طریق محاسبه و یا استفاده از شکل ۳-۷ معادل 375 لیتر میشود.

$$5 \times 50 \times 1/5 = 375 \text{ لیتر}$$



شکل ۳-۷: نمودار تعیین ظرفیت مخزن آبگرم برحسب میزان مصرف

۲-۷: انواع آبگرمکن خورشیدی

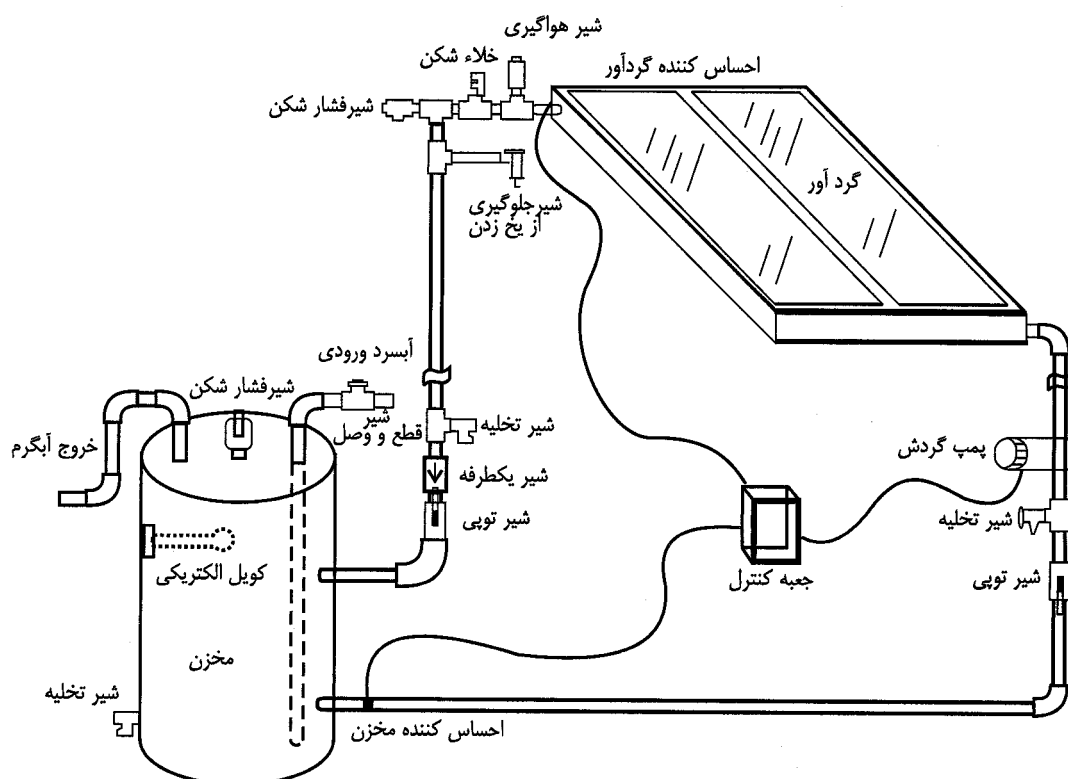
آبگرمکن خورشیدی ممکنست با گردش اجباری سیال مبدل و یا با گردش طبیعی سیال مبدل باشد. در سیستم با گردش اجباری، گردش سیال مبدل توسط یک پمپ صورت میگیرد؛ در حالیکه سیستم با گردش طبیعی، پمپ ندارد. ظرفیت حرارتی آبگرمکن خورشیدی به نوع، اندازه، شدت تابش و تعداد ساعات آفتابی، شیب گردآور، امتداد گردآور و طراحی سیستم لوله کشی آن بستگی دارد.

آبگرمکن خورشیدی از نظر جریان سیال مبدل به دو گروه حلقه باز (سیستم مستقیم)، شکل ۴-۷ و حلقه بسته (سیستم غیر مستقیم)، شکل ۸-۷ تقسیم میشود. در حلقه باز از آب مصرفی (آب شرب) بعنوان سیال مبدل استفاده میشود. در حلقه بسته از سیال مبدل مانند آب و ضد یخ استفاده میشود.

۷-۲-۱: سیستم گردش اجباری

در سیستم گردش اجباری از پمپ الکتریکی برای گردش آب در گردآور، استفاده میشود. این سیستم معمولاً از سیستم گردش طبیعی گرانتر بوده ولی قابل اطمینان تر است. این سیستم انعطاف پذیر تر از سیستم گردش طبیعی است، زیرا منبع ذخیره آب را در هر نقطه ای میتوان نصب نمود و لازم نیست که نزدیک و بالاتر از گردآور قرار گیرد. سیستم گردش اجباری را میتوان به دو گروه: الف: سیستم گردش اجباری با حلقه باز، و ب: سیستم گردش اجباری با حلقه بسته تقسیم نمود.

الف: سیستم گردش اجباری با حلقه باز: در این سیستم اجباری از پمپ برای گردش آب مصرفی به گردآور استفاده میشود (شکل ۷-۲). این نوع طراحی مؤثر و دارای هزینه اجرای پائین بوده ولی در صورتیکه آب سخت یا اسیدی باشد که موجب گرفته شدن یا خورده شدن سریع گردآور شود، توصیه نمیشود.



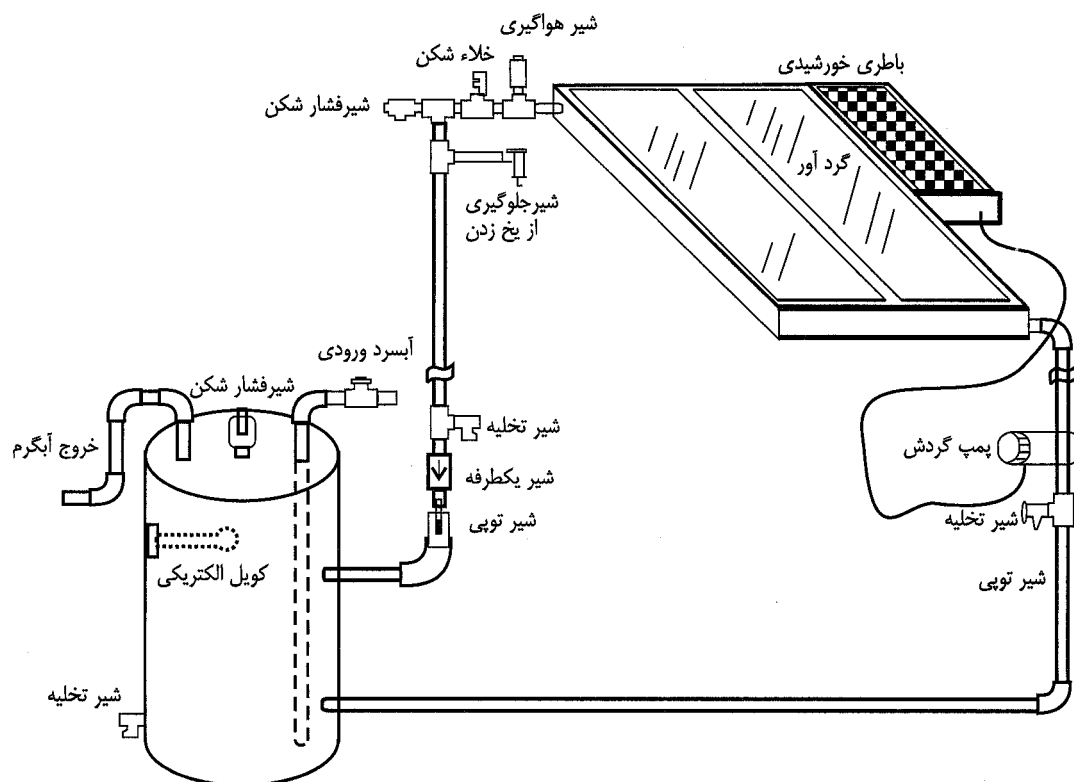
شکل ۷-۲: آبگرمکن با سیستم گردش اجباری در حلقه باز

این نوع سیستم برای مناطق با تعداد کمی روزهای یخبندان مناسب است. ولی برای مناطق با تعداد روزهای زیاد یخبندان نباید استفاده شود.

در این سیستم پمپ آب را از مخزن به گردآور برده و بر میگردد. این سیستم بنام سیستم مستقیم نیز نامیده میشود، زیرا انرژی خورشید مستقیماً آب مصرفی که بین گردآور و مخزن گردش مینماید را گرم میکند. در این سیستم هیچ نوع ضد یخ استفاده نمیشود.

آبگرمکن مجهز به یک کنترل کننده اختلاف دماست، که بر اساس اختلاف دمای آب خروجی از گردآور و دمای آب سرد در مخزن فرمان قطع یا وصل پمپ را میدهد. مثلاً هنگامیکه دمای آب در گردآور بین ۸ تا ۱۰ درجه بیش از دمای آب در مخزن باشد، فرمان کار به پمپ داده شود، و هنگامیکه اختلاف دما به ۲ تا ۳ درجه میرسد فرمان قطع پمپ داده میشود. باین ترتیب هنگامی که پمپ کار میکند، آب همیشه در حال گرم شدن است.

یک شیر حفاظتی پاچشی که در نزدیک گردآور نصب میشود از گردآور در صورت یخبندان حفاظت میکند. هرگاه دمای محیط به نزدیک دمای یخبندان برسد، شیر حفاظتی باز شده و خروج آبگرم از گردآور صورت میگیرد. باید امکان تخلیه دستی، آب گردآور را نیز بکمک شیر تویی، شیر یکطرفه و شیرهای تخلیه در بالای مخزن نیز فراهم نمود.



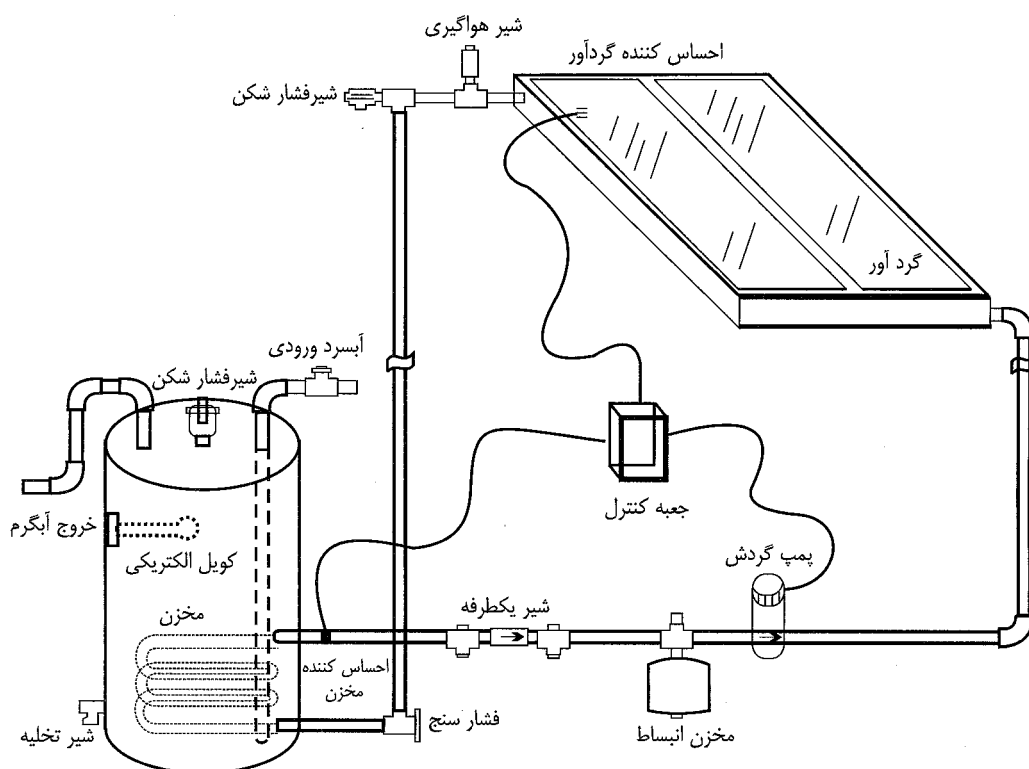
شکل ۵-۷: آبگرمکن خورشیدی با سیستم گردش اجباری، حلقه باز و باتری خورشیدی

برای حفاظت در مقابل یخبندان از سیستم‌های با "گردش مجدد" میتوان استفاده کرد. هنگامیکه دمای آب گردآور به یخ زدن نزدیک میشود، سیستم کنترل فرمان شروع کار پمپ را برای چند دقیقه میدهد تا گردآور را با آب منبع گرم کند. این سیستم برای مناطقی که تعداد روزهای یخبندان دو تا سه روز باشد توصیه میشود، زیرا استفاده از این نوع حفاظت با مصرف برق و تلف ذخیره حرارتی همراه است. البته اگر برق قطع شود، پمپ کار نکرده و آب در سیستم یخ میزند. برای حفاظت سیستم مجهز به شیر حفاظت از یخ زدگی نیز میشود.

پمپها در آبگرمکن های خورشیدی دارای قدرت کمی هستند، و میتوان از پمپ با جریان مستقیم (DC)، در حالیکه سیستم مجهز به یک باتری خورشیدی شده (شکل ۵-۷) استفاده نمود. مزیت این سیستم در آنستکه در هنگام قطع برق شهری کار

آبگرمکن خورشیدی متوقف نمیشود. بعلاوه پمپ وقتی کار میکند که هوا آفتابی است. در نتیجه آب وقتی هوا آفتابی است از گردش دور عبور مینماید. معمولاً یک شیر حفاظت از یخ زندگی مطابق شکل در سیستم پیش بینی میشود.

ب: سیستمهای گردش اجباری با حلقه بسته: این گروه از سیستمهای اجباری از پمپ برای گردش مایع مبذل (معمولاً: مخلوط آب و گلیکول)، و در یک حلقه بسته استفاده میکنند (شکل: ۶-۷). مبذل حرارت را از گردآور به منبع ذخیره آب مصرفی انتقال میدهد. سیستم حلقه بسته گلیکول حفاظت خوبی را در مقابل یخ زدگی تامین میکند. اما محلول ضد یخ نسبتاً گران بوده و بسته به کیفیت آن و درجه حرارت سیستم، میبایست هر چند سال (بین ۳ تا ۱۰ سال) یکبار عوض شود.



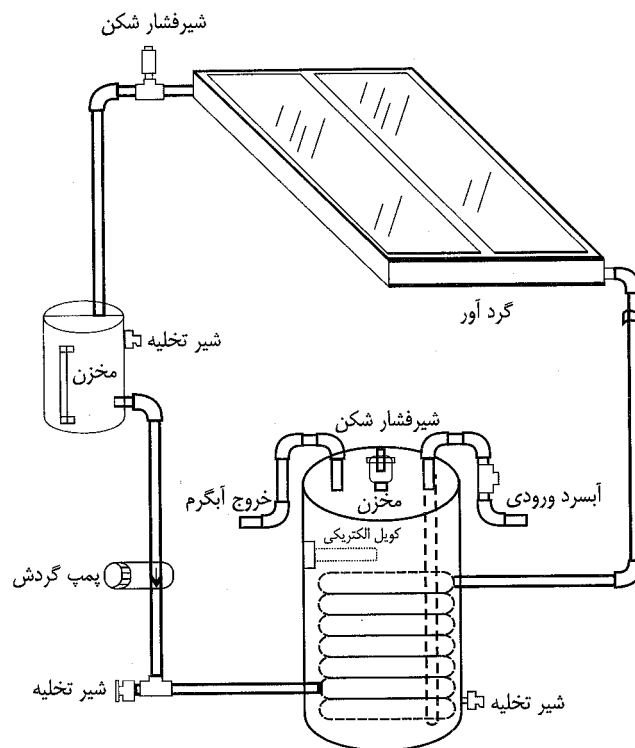
شکل ۷-۶: آنگرمکن، یا سیستم گردش اجباری در حلقه بسته

“آبگرمکن خورشیدی با حلقه بسته (گرمایش غیر مستقیم آب مصرفی) برای مناطقی که روزهای یخبندان زیاد است مناسب است. در این سیستم محلول ضد یخ در گردآور گردش نموده، و مبدل حرارت را از محلول ضد یخ به آب مصرفی انتقال میدهد. اگر محلول ضد یخ سمی باشد، باید از مبدل دو لایه استفاده شود. مبدل مطابق شکل: ۶-۷ میبایست در قسمت پائین مخزن نصب شود. محلول مبدل در یک حلقه بسته به گردآور میمپ میشود.

در نمونه نشان داده شده حلقه بسته شامل گردآور، لوله های اتصال، پمپ، منبع انبساط و مبدل است. لوله مبدل در نیمه پائین منبع ذخیره، حرارت را از محلول مبدل به آب مصرفی در منبع ذخیره انتقال میدهد. در نتیجه محلول با آب مصرفی تماس

ندارد. هدایت سیستم توسط یک کنترل کننده اختلاف درجه حرارت مشابه سیستم "الف" تأمین میشود. یعنی بکمک احساس کننده های روی گردآور و منبع، کنترل کننده شروع کار یا قطع کار پمپ را فرمان میدهد. برای محلول ضد یخ، میتوان از آب و ضد یخ استفاده نمود.

نمونه دیگر این گروه، "سیستم گردش اجباری و برگشت ثقلی" (شکل ۷-۷) است. در این سیستم از آب بعنوان سیال مبدل در حلقه گردآور استفاده میشود. یک پمپ آب را در گردآورها به گردش در میآورد. آب به صورت ثقلی از گردآور به مخزن ذخیره و مبدل تخلیه میشود. هیچ شیرری در مسیر وجود ندارد. هنگامی که پمپ کار نمیکند، گردآورها خالی است، در نتیجه در هنگام یخبندان سیستم یخ نمیزند، و هنگامیکه حرارت در مخزن ذخیره خیلی بالا رود سیستم عملاً قطع میشود.



شکل ۷-۷: آبگرمکن خورشیدی با سیستم برگشت ثقلی در حلقه بسته

برای گردآور شیب کمی باید پیش بینی نمود تا کلیه آب آن خارج شود. یک آبنا شیشه ای به منبع تخلیه ثقلی متصل میشود، تا ارتفاع آب و تخلیه آب گردآور به داخل آن را نشان دهد. هنگام شروع تابش خورشید در روز پمپ از کنترل کننده اختلاف دما فرمان میگیرد (سیستم کنترل مشابه شکل ۶-۷ بوده، ولی در شکل ۷-۷ نشان داده نشده است). آب جمع شده در مخزن ذخیره در حلقه بسته بین گردآور و مبدل در انتهای مخزن گردش میکند. مبدل حرارت گرفته شده از گردآور را به آب داخل مخزن منتقل میکند.

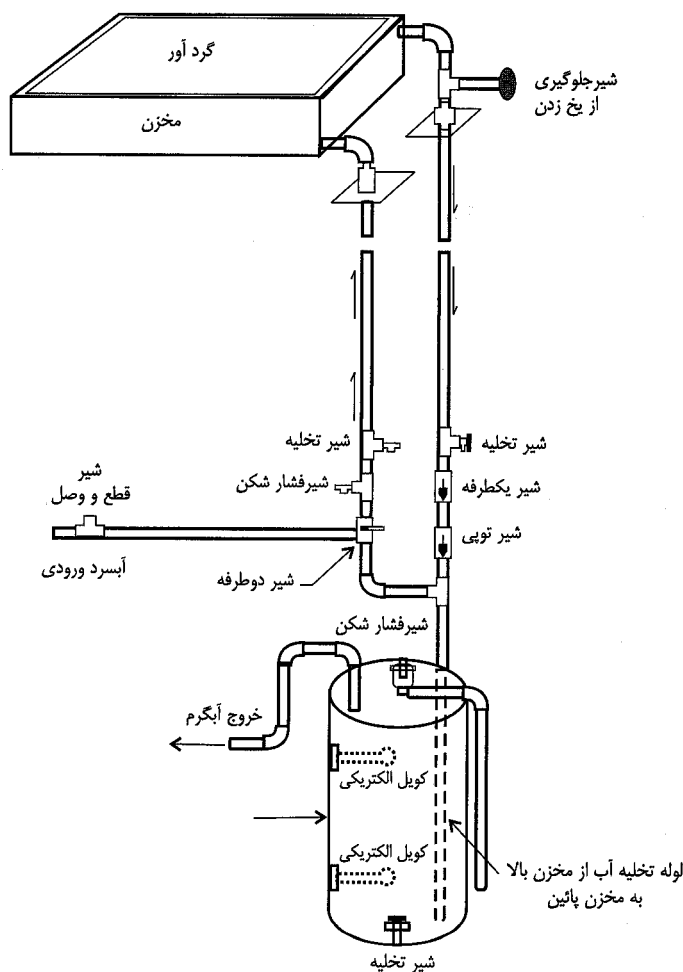
در این سیستم بهتر است، که از آب مقطر در حلقه بسته، بعنوان سیال مبدل استفاده شود، تا احتمال رسوب در گردآور و لوله ها از بین برود.

سیستم جابجائی طبیعی نیاز به پمپ و کنترل ندارد. آب سرد با فشار آب شهری وارد مخزن در پشتبام میشود. با شروع مصرف آبگرم در ساختمان، آبگرم شده در مخزن گردآور در پشتبام به مخزن در طبقه همکف، ارسال میشود. این سیستم مجهز به یک شیر حرارتی برای حفاظت گردآور و اتصالات حفاظت در یخبندان است. بطوریکه در شکل: ۷-۵ دیده میشود با شیرهای تخلیه و قطع و وصل میتوانیم در یخبندان طولانی گردآور و مخزن پشتبام را بکلی تخلیه و از مدار خارج کنیم.

۷-۲-۳: آبگرمکن خورشیدی یکپارچه

یک نمونه ساده تر آبگرمکن با گردش طبیعی در شکل ۷-۹ نشان داده شده، در این نمونه گردآور و مخزن بطور یکپارچه و بصورت یک گردآور که مخزن را نیز شامل میشود درآمده است.

در آبگرمکن خورشیدی یکپارچه، یک یا چند مخزن ذخیره، در یک جعبه که عایق شده است قرار میگیرد. یک وجه این جعبه که رو به خورشید قرار میگیرد از صفحه شفاف ساخته میشود. این نوع آبگرمکن ارزان و شامل قطعات کمی است و در نتیجه نگهداری آن آسان و احتمال بروز خرابی در آن ناچیز است. این نوع آبگرمکن در پشتبام یا روی شیروانی (البته سازه زیر آبگرمکن باید تحمل وزن آن را داشته باشد) قابل نصب میباشد. سمت رو به خورشید آبگرمکن را میتوان با لایه ای با ضریب جذب بالا پوشاند.



شکل (۷-۶) - آبگرمکن خورشیدی با مخزن و گردآور افقی یکپارچه و گردش طبیعی آب مصرفی

۷-۳: محاسبه سطح گردآور خورشیدی آبگرمکن

برای محاسبه سطح گردآور خورشیدی مورد نیاز برای آبگرمکن از اصل بقای انرژی، با مساوی قراردادن انرژی حرارتی آبگرم مصرفی روزانه و انرژی حرارتی رسیده به آب در آبگرمکن استفاده می‌نمائیم.

الف: انرژی حرارتی مصرفی روزانه (Q) از رابطه: (۷-۱) قابل محاسبه است.

$$Q = MC(T_2 - T_1) \quad (۷-۱)$$

در این رابطه:

M : جرم آبگرم برحسب کیلوگرم که از حاصلضرب تعداد افراد خانواده در مقدار مصرف آبگرم هرنفر (۵۰ کیلوگرم) در ضریب اطمینان مصرف (۱/۵) محاسبه میشود (مشابه محاسبه ظرفیت مخزن، ولی برحسب کیلوگرم)

C : گرمای ویژه آب با دقت لازم معادل "۱" کیلوکالری بر کیلو گرم بر درجه سانتیگراد است.

T_1 : دمای آب ورودی به آبگرمکن، در صورتیکه معلوم نباشد ۱۰ درجه سانتیگراد در نظر گرفته میشود.

T_2 : دمای آب خروجی از آبگرمکن طبق استاندارد ۶۰ درجه سانتیگراد در نظر گرفته میشود. آبگرم مصرفی در حمام معمولاً ۴۵ درجه سانتیگراد، آبگرم مصرفی ماشین رختشور و ماشین ظرفشور معمولاً ۶۰ درجه سانتیگراد است.

ب: انرژی حرارتی رسیده به آب در آبگرمکن معادل: حاصلضرب تابش کل روزانه در محل پروژه (رابطه: ۴-۳۱ در فصل ۴ در صورتیکه شیب گردآور β باشد، در صورتیکه گردآور بطور افقی قرار گیرد از جدول: ۴-۱ میتوان استفاده نمود) به جذب کننده و بازده گردآور (تعیین بازده گردآور مسطح در فصل ۶ ملاحظه شود)، است. بطور تقریبی برای هر ۶ لیتر ظرفیت مخزن آبگرمکن معادل ۰/۱ مترمربع سطح گردآور لازمست. شیب مناسب برای گردآورهای آبگرمکن معادل زاویه عرض جغرافیائی است، و سمت مناسب قرارگیری آن، در سمت جنوب است.

در خاتمه ذکر این نکته لازمست، که میتوان با استفاده از مصالح بنائی آبگرمکن هائی با ظرفیت حرارتی بالا ساخت. برای مثال از استخرهای آبشور بعنوان مخزن ذخیره گرما بصورت یک سیستم اجباری برای آبگرم مصرفی با کمک مبدل استفاده نمود. فصل ۵ و فصل ۱۶ ملاحظه شود.

فصل ۸: اپتیک متمرکز کننده

در فصول قبل ملاحظه شد که چگونه تابش مستقیم و پراکنده انرژی خورشید توسط کل سطح گردآور سطح گردآوری میشود و با استفاده از این گردآور چگونه آبگرمکن خورشیدی ساخته میشود. اما گردآورهای متمرکز کننده با سطح بزرگ بازتاب کننده تابش خورشید را بر روی سطح کوچک جذب کننده متمرکز مینمایند. هدف از این کار بالا بردن دمای حرارت ذخیره شده است. افزایش دما برای فرآیندهای متعددی ضروری است. در بخشهای زیر مفهوم تمرکز انرژی خورشید برای سیستمهای: متمرکز کننده خطی، متمرکز کننده بشقابی، متمرکز کننده مرکزی و عدسیهای فرنل شبیه سازی ریاضی خواهد شد.

۸-۱: چرا تمرکز

عملکرد هر گردآور حرارتی خورشید را میتوان بصورت تعادل بین انرژی خورشیدی جذب شده با انرژی حرارتی انتقال یافته و تلف شده توسط آن بیان نمود. اگر مکانیزمی برای خارج کردن حرارت از گردآور وجود نداشته باشد، در آنصورت افت حرارتی گردآور باید مساوی انرژی خورشیدی جذب شده باشد.

افزایش دمای دریافت کننده تا زمانیکه افت جابجائی و تابش از دریافت کننده مساوی انرژی خورشیدی جذب شده گردد، ادامه مییابد. درجه حرارتی که این اتفاق رخ میدهد بنام دمای سکون گردآور مینامیم.

برای کنترل درجه حرارت گردآور در دمائی کمتر از دمای سکون، حرارت آن باید انتقال داده شود. این حرارت انتقال یافته را برای سیستم خورشیدی میتوان استفاده نمود. از مقدار حرارتی که از گردآور مشخص خارج میشود، دمای آنرا میتوان محاسبه نمود. برای آنکه مقدار حرارت انتقالی از انرژی جذب شده افزایش نماید، مقدار تلف انرژی را باید کاهش داد.

با کاهش دمای کار دریافت کننده تاحد دمای محیط (مانند گردآورهای سطح با درجه حرارت پائین) و یا ساخت گردآور به نحوی که در دمای بالا افت انرژی افزایش نیابد، میتوان افت حرارتی را کاهش داد. معمول ترین روش برای کاهش افت حرارت در درجه حرارت بالا کاهش سطح گرم (مانند: سطح جذب کننده) است، زیرا افت حرارت با کاهش سطح حرارت نسبت مستقیم دارد. در گردآورهای متمرکز کننده با بازتاب (یا شکست) تابش رسیده به سطحی بزرگ (دهانه گردآور) بر روی سطحی کوچک (جذب کننده) سطح تلف انرژی کاهش مییابد. با کاهش افت حرارت گردآورهای متمرکز کننده در درجه حرارت بالا نیز مقدار انرژی مفید قابل ملاحظه ای را میتوانند تامین نمایند. علت دیگر استفاده از گردآور متمرکز کننده آنستکه معمولاً هزینه ساخت سطح بازتاب کننده کمتر از هزینه ساخت سطح جذب کننده (یا گیرنده) است. لذا، بوسیله مقدار بزرگی سطوح بازتاب کننده نسبتاً ارزان در یک مزرعه خورشیدی میتوان مقدار قابل ملاحظه انرژی خورشید را بر روی سطح کوچکی متمرکز نمود. البته در اینحالت گردآور متمرکز کننده خورشیدی باید مجهز به سیستم ردیاب تابش مستقیم خورشید باشند، که هزینه زیادی در بر خواهد داشت.

۸-۱-۱: ضریب تمرکز

کلمه "ضریب تمرکز" برای تعیین شدت تابشی که توسط گردآور می‌توان بدست آورد، بکار میرود. عموماً دو تعریف متفاوت برای ضریب تمرکز استفاده میشود. این تعاریف عبارتند از:

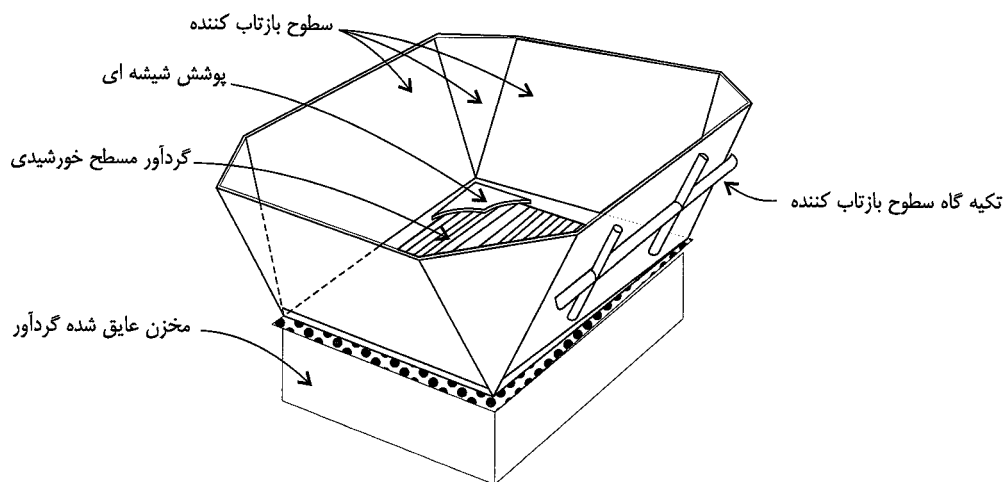
ضریب تمرکز نوری (CR_o): متوسط شدت تابش (I_r) بر واحد سطح گیرنده (A_r)، تقسیم بر شدت تابش در روی دهانه گردآور است.

$$CR_o = \frac{\frac{1}{A_r} \int I_r dA_r}{I_a} \quad (۱-۸)$$

ضریب تمرکز هندسی (CR_g): سطح دهانه گردآور تقسیم بر سطح گیرنده (A_r)

$$CR_g = \frac{A_a}{A_r} \quad (۲-۸)$$

ضریب تمرکز نوری مستقیماً بستگی به کیفیت بازتاب کننده و یا عدسی دارد؛ با وجود این، در اکثر گردآورها سطح جذب کننده بزرگتر از تصویر ایجاد شده توسط متمرکز کننده است. در اینحالت افت حرارتی بزرگتر از مقداری است که ممکنست از طریق ضریب تمرکز نوری بدست آید. چون ضریب تمرکز هندسی بستگی به سطح جذب کننده دارد، اغلب مورد استفاده قرار میگیرد زیرا به افت حرارت (فصل ۵ ملاحظه شود) مربوط میشود. اگر تابش بر دهانه گردآور و گیرنده هر دو در تمام سطح مربوطه همگن باشند، در آنصورت ضریب تمرکز نوری و هندسی با هم برابرند.



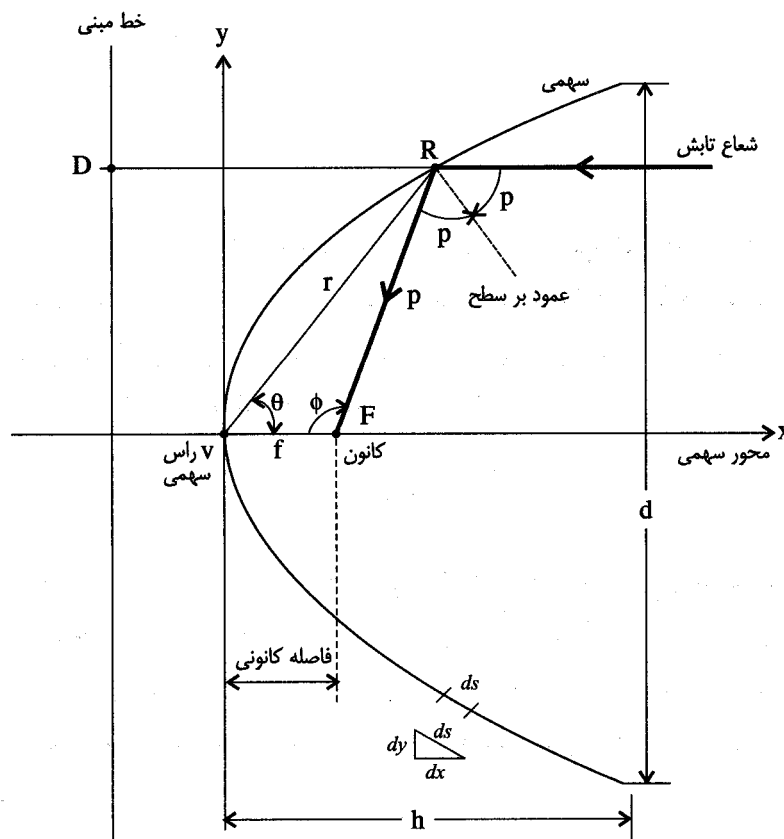
۸-۳: گردآور متمرکز کننده مسطح

شاید ساده ترین متمرکز کننده خورشیدی، گردآور متمرکز کننده مسطح باشد. یک نمونه از این چنین گردآوری در شکل ۸-۳ نشان داده شده است. این نوع متمرکز کننده، یک گردآور مسطح است که در اطراف آن آئینه های مسطح قرار گرفته و تابش خارج از پیرامون سطح متعارف گردآور مسطح را بر روی جذب کننده بازتاب مینماید. این نوع گردآور معمولاً برای کاهش سطح مسطح جذب کننده و پوشش آن که ساخت آن گران تمام میشود، بدین صورت ساخته میشود. گردآور متمرکز کننده مسطح مانند شکل ۸-۱ معمولاً از نظر ضریب تمرکز نوری و هندسی محدود به "۲" الی "۳" است. اگر ضریب تمرکز بالاتری مورد نیاز باشد، باید از آئینه های استوانه ای، کروی، سهموی و یا عدسی ها استفاده شود. در بخش ۸-۳ اپتیک آئینه های استوانه ای، کروی و سهموی و در بخش ۸-۷ اپتیک عدسیهای فرنل مورد توجه و بحث قرار خواهند گرفت.

۸-۲: هندسه سهموی

۸-۲-۱: سهمی

سهمی مکان هندسی نقاطی است که از یک خط ثابت و یک نقطه ثابت به یک فاصله اند. این مکان هندسی در حالیکه خط ثابت بنام خط مبنی و نقطه ثابت بنام کانون (F) نامیده شده در شکل ۸-۲ نشان داده شده اند. بدین ترتیب طول FR مساوی طول RD است. خطی که از کانون بر خط مبنی عمود میشود بنام محور نامیده میشود. سهمی محور خود را در نقطه V که بفاصله مساوی از کانون و خط مبنی میباشد و رأس نامیده میشود، قطع میکند.



شکل ۸-۲: سهمی

اگر مبدأ مختصات قائم در رأس سهمی و محور x منطبق بر محور سهمی قرار گیرد، معادله سهمی بصورت زیر نوشته میشود:

$$y^2 = 4fx \quad (m^2) \quad (3-8)$$

در این رابطه f فاصله کانونی، و مساوی فاصله رأس تا کانون، یعنی VF است. اگر مبدأ به نقطه کانون منتقل شود که معمولاً در مطالعات نوری (اپتیک) این چنین است، در حالیکه رأس در سمت چپ کانون قرار گرفته، معادل سهمی بصورت زیر درمیآید:

$$y^2 = 4f(x + f) \quad (m^2) \quad (4-8)$$

در مختصات قطبی، با تعریف متعارف r بعنوان فاصله از مبدأ مختصات و θ زاویه با محور x ، معادله سهمی در حالیکه رأس سهمی در مبدأ و محور سهمی منطبق بر محور x میباشد بصورت زیر نوشته میشود:

$$\frac{\sin^2 \theta}{\cos \theta} = \frac{4f}{r} \quad (5-8)$$

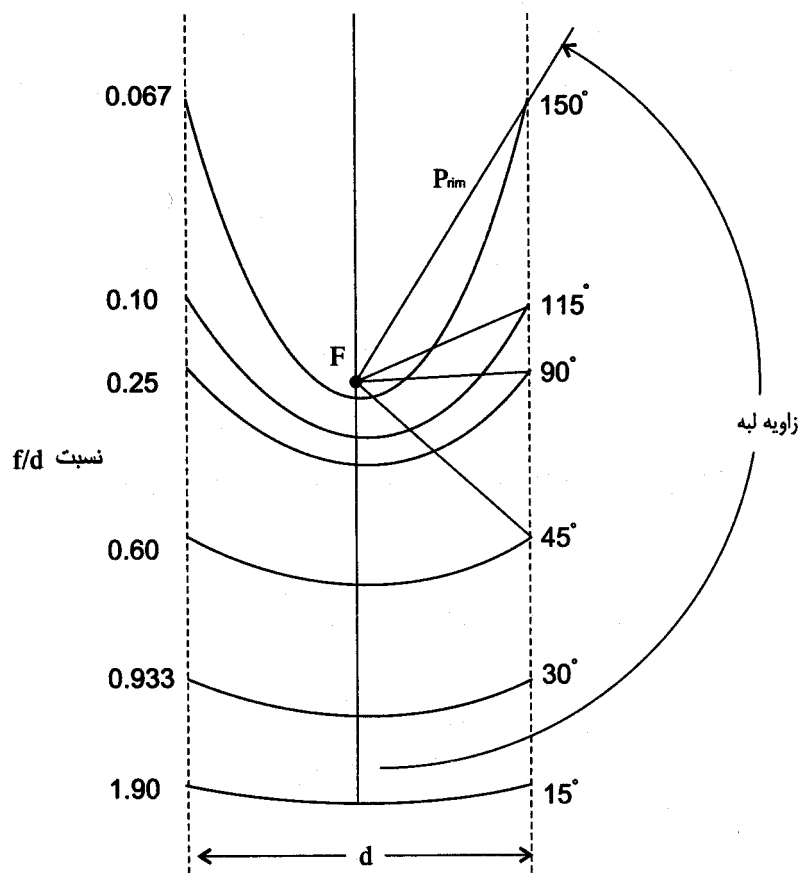
در مطالعات انرژی خورشیدی اغلب مفید تر است که معادله سهمی را هنگامیکه مبدأ مختصات در کانون قرار دارد، و بر حسب زاویه ψ در مختصات قطبی بنویسیم. زاویه ψ از خط VF و شعاع p عبارت از فاصله هر نقطه از سهمی از کانون F است. با انتقال مبدأ به کانون خواهیم داشت:

$$p = \frac{2f}{1 + \cos \psi} \quad (m) \quad (6-8)$$

از سطوح سهموی بعنوان سطوح بازتاب کننده گردآور متمرکز کننده خورشیدی بطور گسترده استفاده میشوند، زیرا زاویه ρ که خط موازی محور سهمی با خط عمود بر منحنی میسازد مساوی زاویه ایست که خط عمود با خط متصل به کانون از نقطه برخورد میسازد. بنابراین کلیه امواج خورشید که موازی محور سهمی باشند، براساس قانون آئینه ها (زاویه بازتاب مساوی زاویه تابش) از نقطه F کانون سهمی میگذرند. با توجه به شکل ۸-۲ میتوان نتیجه گرفت که:

$$\psi = 2\rho \quad (7-8)$$

با توجه به تعریف سهمی منحنی آن تا بینهایت ادامه دارد. متمرکز کننده های خورشیدی محدوده ای از منحنی سهمی را تشکیل میدهند. دامنه این محدوده برای هر متمرکز کننده بر حسب زاویه لبه متمرکز کننده ψ_{rim} و یا بر حسب نسبت فاصله کانونی به قطر دهانه f/d تعیین میشود. مقیاس (اندازه) منحنی بر حسب ابعاد خطی مانند قطر دهانه d و یا فاصله کانونی f تعیین میشود. این موارد در شکل ۸-۳ نشان داده شده، در این شکل ضمناً سهمی های متعددی که کانون مشترک و قطر دهانه یکسان دارند نیز ملاحظه میشود.



شکل ۸-۳: قسمتی از سهمی هائی که دارای کانون F مشترک و قطر دهانه مساوی هستند.

ملاحظه میشود که سهمی با زاویه لیه کوچک بطور نسبی نازک بوده و فاصله کانونی آن نسبت به قطر دهانه آن بزرگ است. بعد از آنکه منحنی سهمی انتخاب شد، ارتفاع h ، منحنی بصورت مقدار فاصله رأس سهمی از خطی است که دهانه سهمی را بهم وصل میکند. بر حسب فاصله کانونی و قطر دهانه، ارتفاع سهمی عبارتست از:

$$h = \frac{d^2}{16f} \quad (m) \quad (8-8)$$

بهمین روش زاویه لیه ψ_{rim} را بر حسب ابعاد سهمی میتوان بصورت زیر نوشت:

$$\tan \psi_{rim} = \frac{1}{(d/8h) - (2h/d)} \quad (8-9)$$

مشخصه دیگر سهمی که در درک طراحی متمرکز کننده ممکنست مفید واقع شود، طول کمان s است. این طول برای یک سهمی معین با انتگرال گیری از جزء کوچک منحنی طبق رابطه (۸-۳) بین رأس سهمی تا نقطه $x = h$ و $y = d/2$ بطوریکه در شکل ۸-۲ نشان داده شده، مییابند. نتیجه عبارت خواهد بود از:

$$s = \left[\frac{d}{2} \sqrt{\left(\frac{4h}{d} \right)^2 + 1} \right] + 2f \ln \left[\frac{4h}{d} + \sqrt{\left(\frac{4h}{d} \right)^2 + 1} \right] \quad (m) \quad (10-8)$$

در حالیکه d قطر دهانه (یا باز شدگی) سهمی مطابق شکل ۸-۲ و h فاصله راس تا دهانه است. مقدار سطح مقطع بین سهمی و خط عمود بر محور در دهانه از رابطه زیر محاسبه میشود:

$$A_r = \frac{2}{3} d \cdot h \quad (m^2) \quad (11-8)$$

این سطح را با سطح بازتاب یک سهمی خطی یا بشقابی یا دهانه آنها که روابط محاسبه آنها در بخش بعد ارائه خواهد شد نبایده اشتباه نمود.

روابط نوری مربوط به سهمی ممکنست به چندین صورت مطابق روابط زیر ارائه شود:

$$\tan \psi_{rim} = \frac{(f/d)}{2(f/d)^2 - \frac{1}{8}} \quad (12-8)$$

$$\tan(\psi_{rim}) = \frac{1}{4(f/d)} \quad (13-8)$$

$$\frac{f}{d} = \frac{1 + \cos \psi_{rim}}{4 \sin \psi_{rim}} \quad (14-8)$$

$$\frac{f}{d} = \frac{1}{4 \sin(\psi_{rim}/2)} \quad (15-8)$$

۸-۲-۲: سهمی خطی

سطحی که توسط حرکت یک سهمی در طول یک محور عمود بر صفحه آن ساخته میشود، بنام سطح سهمی استوانه ای نامیده میشود. متمرکز کننده های خورشیدی با این نوع سطح بازتاب را که در آن نقطه کانونی بصورت یک پاره خط کانونی درآمده است، سهمی خطی مینامیم. هنگامیکه سطح حاوی محورهای سهمی موازی امواج خورشید قرار گیرد. دهانه یک گردآور سهمی خطی بطول l و با ابعاد مقطع نشان داده شده در شکل ۸-۲، دارای مساحت زیر است.

$$A_a = l \cdot d \quad (m^2) \quad (16-8)$$

سطح بازتاب کننده با استفاده از طول منحنی بدست آمده توسط رابطه (۸-۱۰)، از رابطه زیر بدست میآید:

$$A_s = l \cdot s \quad (m^2) \quad (17-8)$$

فاصله کانونی f و زاویه لبه ψ_{rim} برای سهموی خطی از روابط (۸-۸) و (۹-۸) محاسبه میشود.

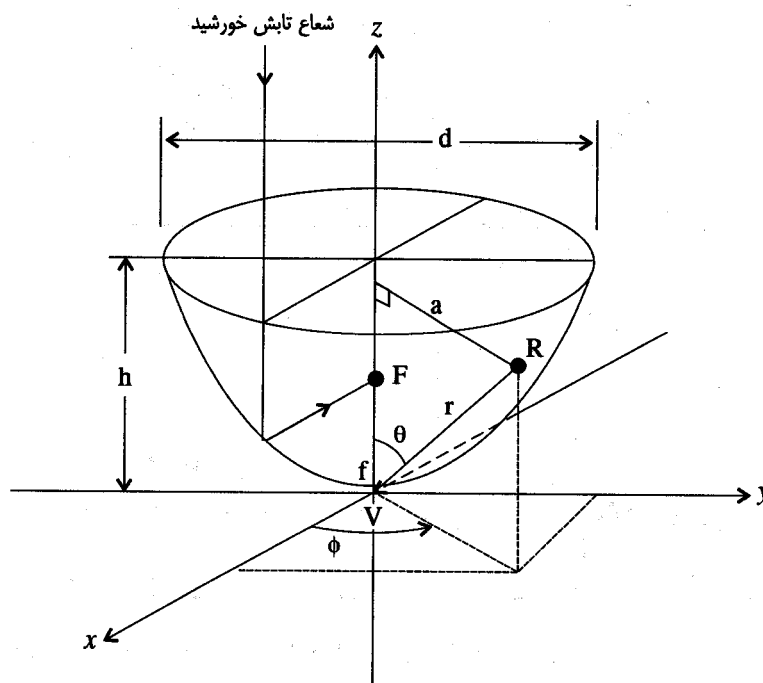
۸-۲-۳: سهموی بشقابی

سطحی که از دوران یک سهمی حول محور آن ساخته میشود بنام سهموی دورانی مینامیم. متمرکز کننده های خورشیدی ایکه سطح بازتاب کننده آنها یک سهموی دورانی است بنام متمرکز کننده سهموی بشقابی مینامیم. معادله سهموی بشقابی که در شکل ۸-۴، نشان داده شده، در مختصات قائم، و در حالیکه محور z محور تقارن است، بصورت زیر نوشته میشود:

$$x^2 + y^2 = 4fz \quad (m^2) \quad (18-8)$$

در حالیکه f فاصله کانونی مساوی VF است. در مختصات استوانه ای هنگامیکه a فاصله از محور z است معادله بصورت زیر در میآید:

$$z = \frac{a^2}{4f} \quad (m) \quad (19-8)$$



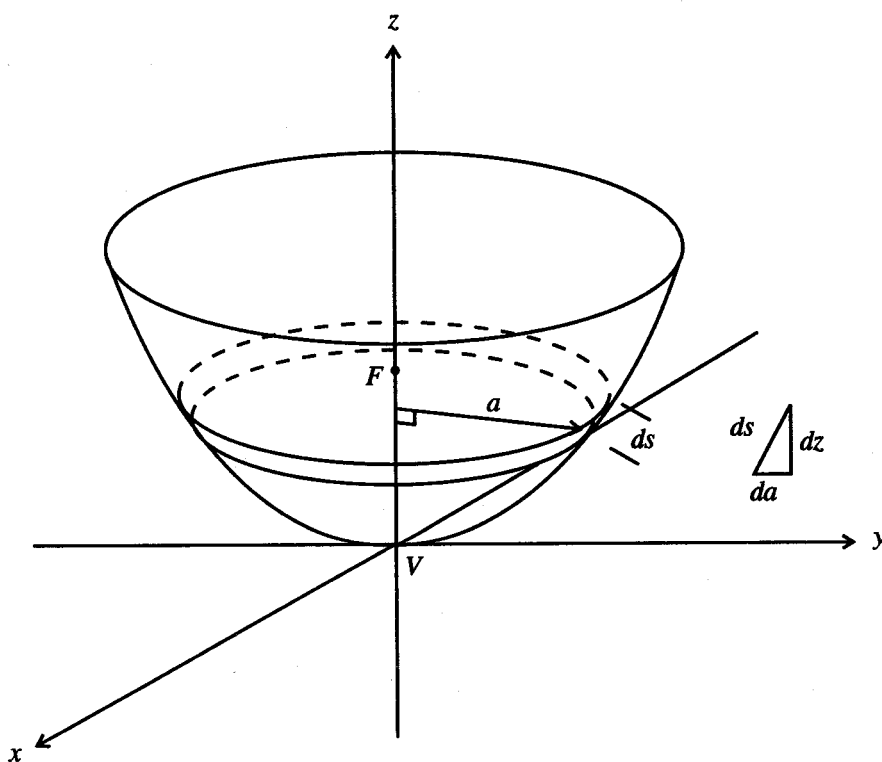
شکل ۸-۴: شکل هندسی سهموی بشقابی

در مختصات کروی، معادله سهموی بشقابی، هنگامیکه رأس آن V در مبدأ و r ، ϕ و θ مختصات یک نقطه R از سهموی بشقابی عبارتست از:

$$\frac{\sin^2 \theta}{\cos \theta} = \frac{4f}{r} \quad (20-8)$$

مساحت سطح سهموی بشقابی از انتگرال رابطه (۸-۱۹) در محدوده دلخواه بدست می‌آید. میتوانیم مساحت یک نوار نازک از سطح سهموی را مطابق شکل (۸-۵) بصورت زیر نشان داد:

$$dA_s = 2\pi a \sqrt{dz^2 + da^2} \quad (m^2) \quad (21-8)$$



شکل ۸-۵: عناصر لازم برای تعریف مساحت یک نوار نازک از سطح (بصورت دیفرانسیل) سهموی

با توجه به اینکه یک قوس کوچک ds را میتوان وتر مثلث قائم الزاویه ای، با اضلاع: ارتفاع dz و فاصله در امتداد شعاع da دانست. با بدست آوردن مشتق z نسبت به a از رابطه (۸-۱۹) و جایگزین کردن در رابطه (۸-۲۱) داریم:

$$dA_s = 2\pi a \left[\sqrt{\left(\frac{a}{2f} \right)^2 + 1} \right] da \quad (m^2) \quad (22-8)$$

سطح کل سهموی بشقابی A ، که فاصله کانونیش f و قطر دهانه اش d می باشد، با انتگرال گیری از رابطه (۸-۲۲) بدست می آید. نتیجه عبارت است از:

$$A_s = \int_0^{d/2} dA_s = \frac{8\pi f^2}{3} \left\{ \left[\left(\frac{d}{4f} \right)^2 + 1 \right]^{3/2} - 1 \right\} \quad (m^2) \quad (23-8)$$

سطح دهانه متمرکز کننده که مهمترین قسمت از نظر یک طراح برای پیش بینی بازدهی متمرکز کننده خورشیدی است، بکمک قر دهانه و با رابطه ساده زیر تعریف میشود:

$$A_a = \frac{\pi d^2}{4} \quad (m^2) \quad (24-8)$$

رابطه سطح دهانه متمرکز کننده را بر حسب فاصله کانونی و زاویه لبه سهموی میتوان بصورت رابطه: (۸-۲۵) نوشت. اینکار با استفاده از رابطه (۸-۶)، که شکل قطبی معادله سهموی است صورت میگیرد. بنابراین داریم:

$$A_a = \frac{\pi}{4} (2p \sin \psi_{rim})^2 = 4\pi f^2 \frac{\sin^2 \psi_{rim}}{(1 + \cos \psi_{rim})^2} \quad (m^2) \quad (25-8)$$

ضریب شار دریافتی را در فصل ۹ خواهیم دید. بطور ساده این مقدار عبارت از ضریب شار بازتاب شده از سطح سهموی در فاصله عرض شعاعی که " n " انحراف استاندارد از کل خطای زاویه ای دارد. اگر فرض شود که شار بازتاب شده بطور همگن گسترش یافته، نسبت شار دریافتی عبارت از سطح متعارف سهموی وقتی بین $-n/2$ و $+n/2$ از آن انتگرال گرفته شود. سری ای که در مورد این انتگرال نوشته میشود بصورت:

$$\Gamma = 1 - 2Q(x) \quad (26-8)$$

$$Q(x) = f(x)(b_1 t + b_2 t^2 + b_3 t^3 + b_4 t^4 + b_5 t^5) \quad \text{در حالیکه:}$$

$$t(x) = \frac{1}{1+rx} \quad \text{و} \quad f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}} \quad \text{و} \quad x = n/2$$

$$r = 0.2316419 \quad \text{و مقادیر ثابت عبارتند از:}$$

$$b_1 = 0.319381530$$

$$b_2 = 0.356563782$$

$$b_3 = 1.781477937$$

$$b_4 = 1.821255978$$

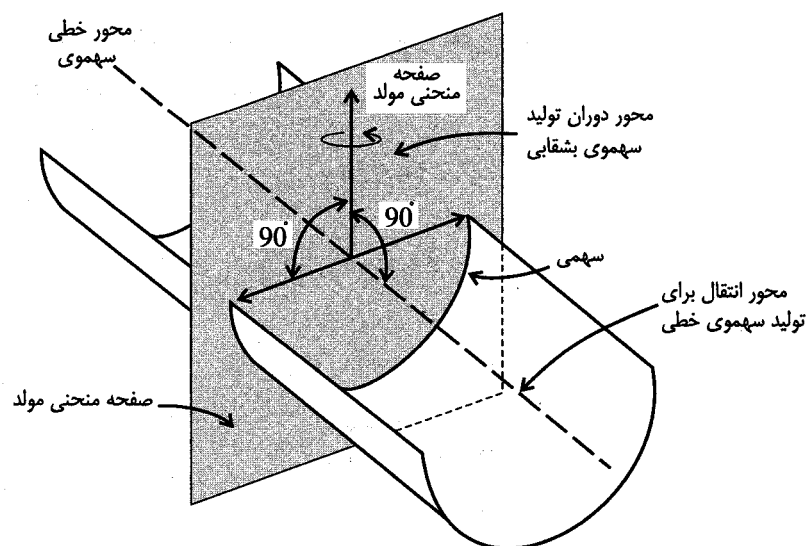
$$b_5 = 1.330274429$$

۳-۸: برخورد نور با سطوح سهموی و کروی

سطوح کروی و سهموی هردو در متمرکز کننده های حرارتی خورشیدی استفاده میشوند. هر چند در بعضی متمرکز کننده ها، بجای سهمی واقعی، بطور تقریبی از سطح کروی (یا بیشتر استوانه ای) استفاده میشود. بطوریکه در فصل ۹ نشان داده خواهد شد اپتیک سطح کروی اجازه استفاده از دهانه ثابت (بدون ردیابی خورشید) را میدهد. نظر به آنکه متمرکز کننده های خورشیدی عمدتاً با سطوح سهموی و کروی هستند، در این فصل به بررسی هندسی این سطوح میپردازیم.

برای تسهیل در شناخت نور در برخورد با (اپتیک) سطوح کروی و سهموی، لازمست "منحنی مولد" را برای هریک از این سطوح همانطور که در شکل ۸-۶ برای سهموی خطی نشان داده شد، در اینجا تعریف کنیم.

منحنی مولد "سهموی خطی" یا "استوانه ای" فصل مشترک صفحه عمود بر محور سهموی یا استوانه است. در صورتیکه منحنی مولد برای "سهموی بشقابی" یا "کروی بشقابی"، فصل مشترک صفحه گذرنده از محور "سهموی بشقابی" یا "کروی بشقابی"، با آن سطح است. در اینجا اصول اپتیک را در مورد آئینه های استوانه ای، کروی و سهموی از طریق ترسیم مسیر شعاع نور در محدوده منحنی مولد هریک مورد توجه قرار میدهیم. پس از آن اثر انتقال یا دوران منحنی مولد بمنظور بررسی شکل واقعی هندسی متمرکز کننده مورد بحث قرار خواهد گرفت.



شکل ۸-۶: سطح منحنی مولد

در اینجا قبل از بررسی مفهوم هر یک از متمرکز کننده ها، محدودیت های اولیه ای که هر یک از سطوح هندسی کروی و سهموی دارند مورد توجه قرار داده و اثر این محدودیت ها را بر طراحی اولیه متمرکز کننده ها مورد توجه قرار می‌دهیم.

معادله یک دایره (شکل ۸-۷) در مختصات قائم، در حالیکه مختصات مرکز آن در a ، b و شعاع آن r می‌باشد، به صورت زیر نوشته می‌شود:

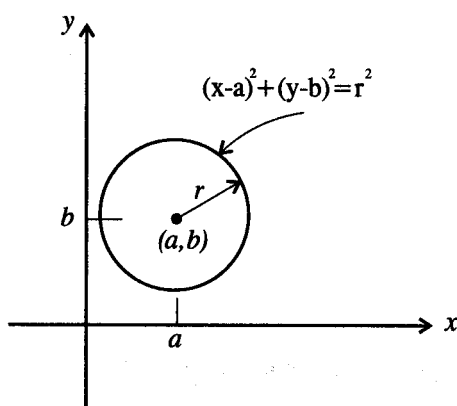
$$(x-a)^2 + (y-b)^2 = r^2 \quad (m^2) \quad (27-8)$$

هنگامی که مرکز دایره در مبدأ مختصات قرار گیرد، معادله بصورت زیر ساده می‌شود:

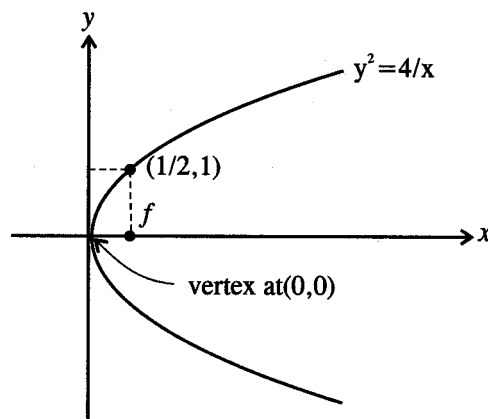
$$x^2 + y^2 = r^2 \quad (m^2) \quad (28-8)$$

معادله خط مماس بر این دایره در نقطه (x_1, y_1) عبارتست از:

$$x_1 x + y_1 y = r^2 \quad (m^2) \quad (29-8)$$



(a)



(b)

شکل ۸-۷: معادلات دایره و سهمی در مختصات قائم

یک سهمی (شکل ۸-۷b) را می‌توان بصورت فصل مشترک یک صفحه موازی محور یک مخروط با سطح مخروط (ولی نه شامل محور آن) تعریف نمود. بنابراین معادله سهمی با فاصله کانونی f ، در مختصات قائم عبارتست از:

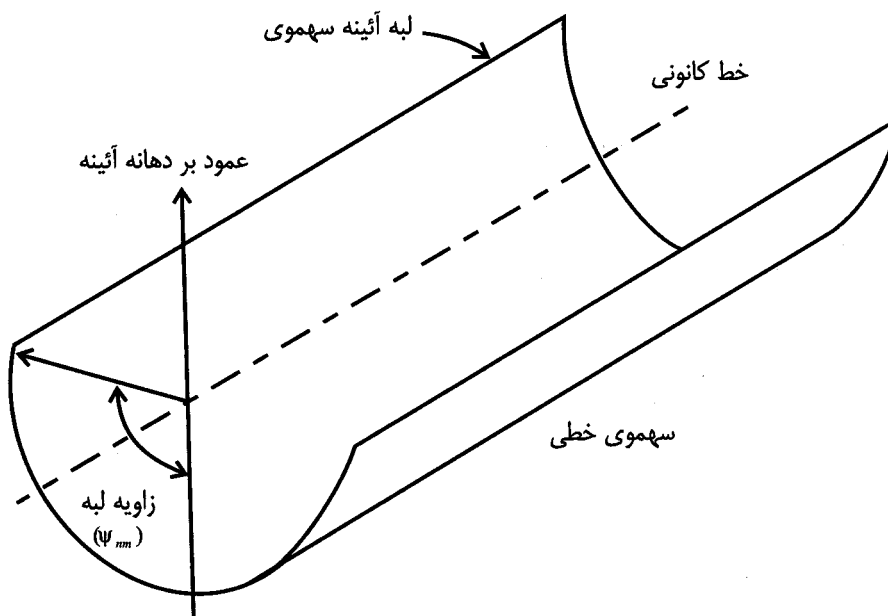
$$y^2 = 4fx \quad (m^2) \quad (30-8)$$

مختصات رأس سهمی با معادله فوق عبارت از: $(0,0)$ است. معادله خط مماس بر سهمی در نقطه (x_1, y_1) عبارتست از:

$$y_1 y = 4f(x_1 + x) \quad (m^2) \quad (31-8)$$

دانستن این معادلات اولیه بررسی خصوصیات آئینه های سهموی و کروی را تسهیل مینماید.

مشخصه دیگری بنام زاویه لبه برای بررسی آئینه های کروی و سهموی مفید است. زاویه لبه بصورت تصویری در شکل ۸-۸ برای یک سهموی خطی تعریف شده است. همین تعریف در مورد زاویه لبه در آئینه های بشقابی و کروی نیز صادق است.



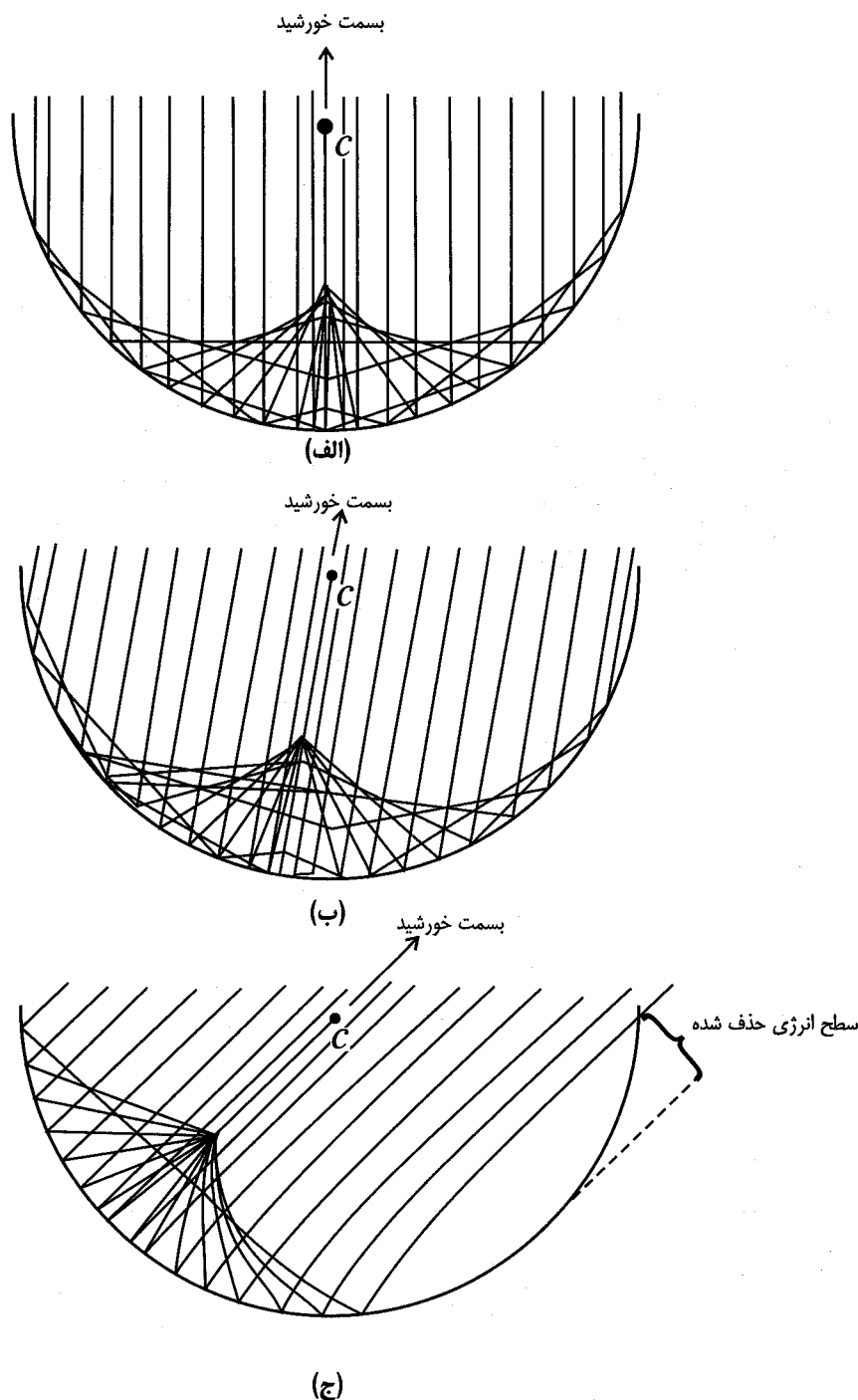
شکل ۸-۸: تعریف زاویه لبه

۸-۳-۱: ترسیم نمودارهای دوبعدی شعاع خورشید

بازتاب امواج موازی نور خورشید از آئینه های دوبعدی استوانه ای و سهموی در نمودارهای دوبعدی شکل ۸-۹ و شکل ۸-۱۰ نشان داده شده است. خصوصیات این دو نوع آئینه در مقابل امواج موازی عمود بر دهانه بازتاب کننده عبارتست از:

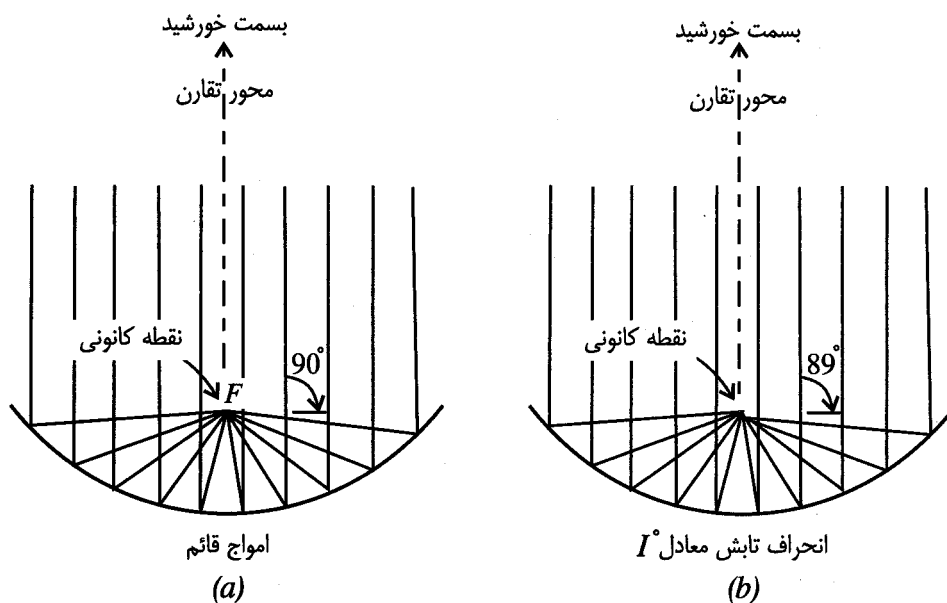
۱. بازتاب امواج به یک فاصله از مرکز دایره ، خط گذرنده از مرکز دایره و موازی امواج را در یک نقطه قطع میکنند (شکل ۸-۹ a).
۲. کلیه امواج بازتاب شده از آئینه سهموی، هنگامیکه موازی محور تقارن هستند، در یک نقطه تلاقی مینمایند (شکل ۸-۱۰ a ملاحظه شود).

یک آئینه کروی نسبت به محور دوران گذرنده از مرکز آن متقارن است. این بدین معنی است که اگر امواج خورشید (با فرض موازی بودن)، مانند شکل‌های ۸- b و ۸- c و ۹، عمود بر دهانه آئینه نباشد، بازتاب امواج به یک فاصله از مرکز، با یک انحناء، مشابه بند ۱ عمل میکند، یعنی محور گذرنده از مرکز و موازی امواج را در یک نقطه قطع میکنند.



شکل ۸-۹: نور در برخورد با سطح کروی (C مرکز دایره است)

آئینه سهموی برخلاف آئینه کروی، حول محور گذرنده از کانون دارای تقارن دورانی نیست. همانطور که در شکل ۸-۱۰ نشان داده شده است، اگر شعاع برخورد امواج موازی حتی کمی نسبت به عمود بر دهانه گردآور انحراف داشته باشد، پراکندگی امواج اتفاق می‌افتد، که موجب پخش تصویر در نقطه کانونی می‌شود. برای آنکه آئینه سهموی نور را در کانون بطور دقیق متمرکز کند، باید دقیقاً حرکت خورشید را ردیابی کند، بطوریکه محور (یا صفحه) تقارن آن موازی امواج خورشید باشد.

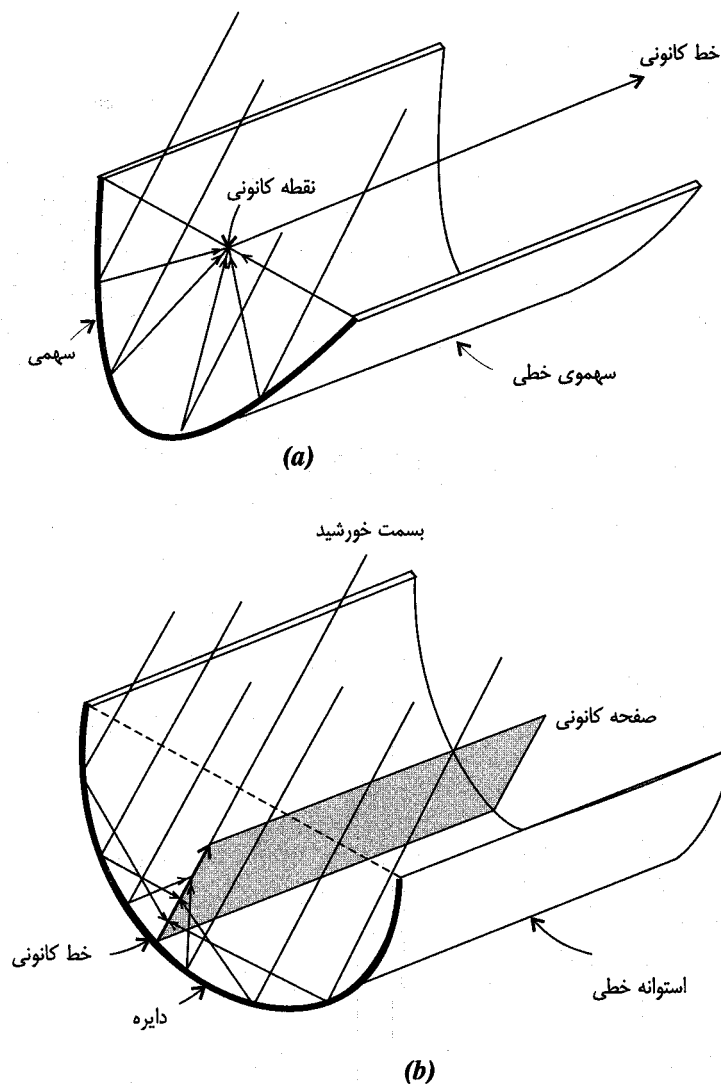


شکل ۸-۱۰: نور در برخورد با آئینه سهموی الف- امواج موازی محور تقارن ،
ب- امواج با یک درجه انحراف نسبت به محور تقارن

۸-۳-۲: سهموی خطی

برای ایجاد یک استوانه یا سهموی خطی آئینه دوبعدی نشان داده شده در شکل‌های ۸-۹ و ۸-۱۰ باید مانند شکل ۸-۱۱ عمود بر صفحه منحنی مولد انتقال پیدا کنند. نیاز آئینه سهموی به ردیابی خورشید مانند آئینه دوبعدی است که در بالا شرح داده شد.

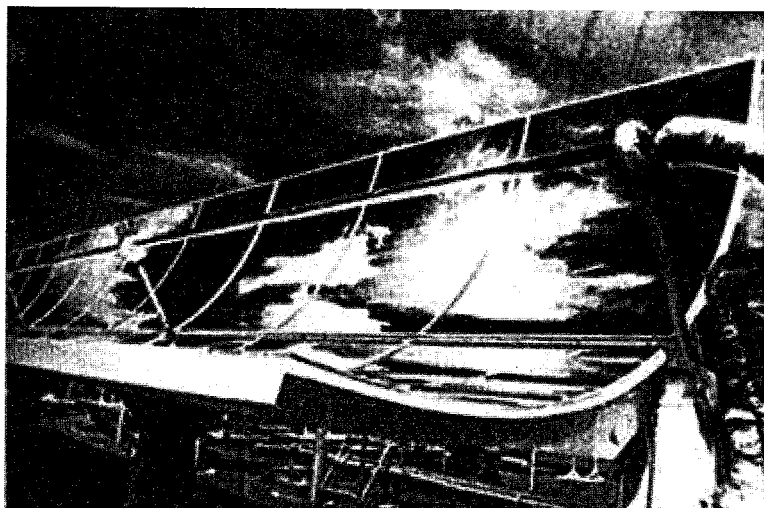
یک سهموی خطی بطوریکه در شکل ۸-۱۱ الف نشان داده شده یگ خط کانونی داشته و باید محور آن خورشید را همواره ردیابی کند تا بتواند تابش را بر روی خط کانونی متمرکز کند. زاویه مناسب ردیابی توسط موقعیت سهموی خطی نسبت به محل خورشید تعیین می‌شود. روابط ریاضی برای زاویه مناسب ردیابی در فصل ۴ ملاحظه شد. بطور کلی می‌توان گفت که ردیابی باید در امتداد محور گذرنده از رأس سهمی باشد بطوریکه نور خورشید، رسیده بر منحنی مولد عمود بر دهانه ورودی سهموی باشد.



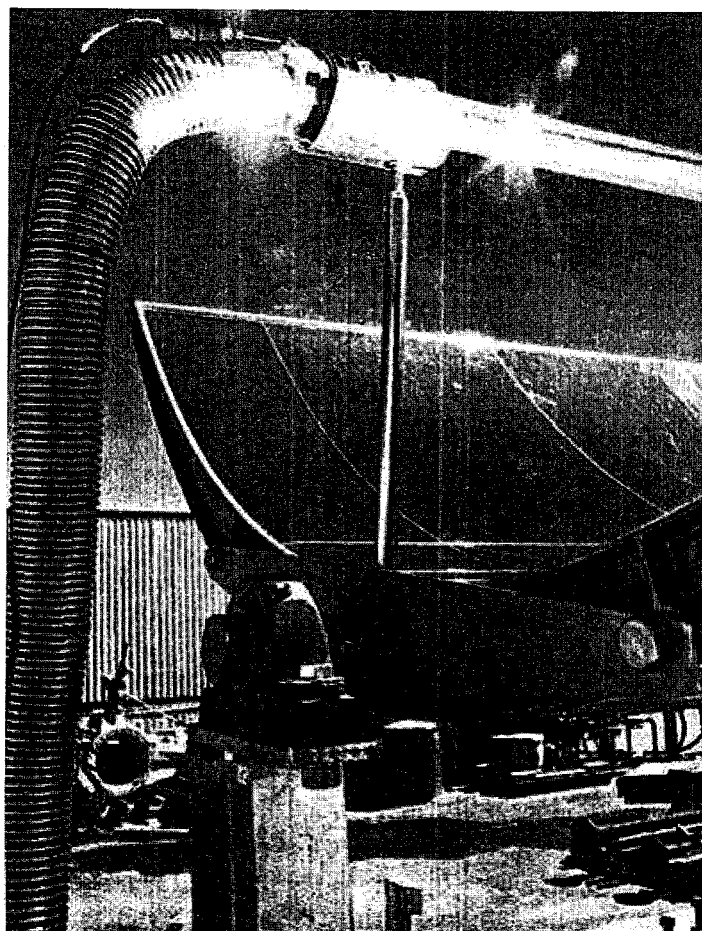
شکل ۸-۱۱: ایجاد آئینه های خطی الف - سهموی خطی ب- استوانه ای خطی.

اثر تابش غیر عمود، با انحراف θ در سهموی خطی، (با فرض آنکه سهموی برای تمرکز ردیابی لازم را انجام می‌دهد) آنستکه باز هم بازتاب نور بر روی محور کانونی سهموی خطی (لوله جذب کننده) جمع می‌شود ولی کمی در روی آن انتقال می‌یابد.

شکل ۸-۱۲ لوله جذب کننده را که توسط امواج بازتاب شده از تابش غیر عمود بر دهانه گردآور روشن شده نشان می‌دهد. در اینحالت، سهموی حول محور کانون اش خورشید را دقیقاً ردیابی نموده و نور را بر روی لوله جذب کننده یا خط کانونی متمرکز نموده است. بعلت تابش غیر موازی با صفحه منحنی مولد، تابش بازتاب شده، با وجود تمرکز بر روی لوله جذب کننده، به انتهای چپ لوله جذب کننده منتقل شده است. بدین ترتیب قسمتی از سمت راست لوله جذب کننده بعلت انتقال خطی تمرکز تابش بسمت چپ تیره می‌باشد. از طرف دیگر تمرکز بازتاب تابش از انتهای سمت چپ لوله جذب کننده می‌گذرد. این مورد در شکل ۸-۱۳ نشان داده شده است. بدین ترتیب قسمتی از تابش متمرکز شده، بجای رسیدن به لوله جذب کننده بر روی لوله خرطومی متصل به انتهای جذب کننده و احتمالاً فراتر تلف می‌شود. این انرژی تلف شده در انتهای گردآور را بنام افت انتها می‌نامیم.



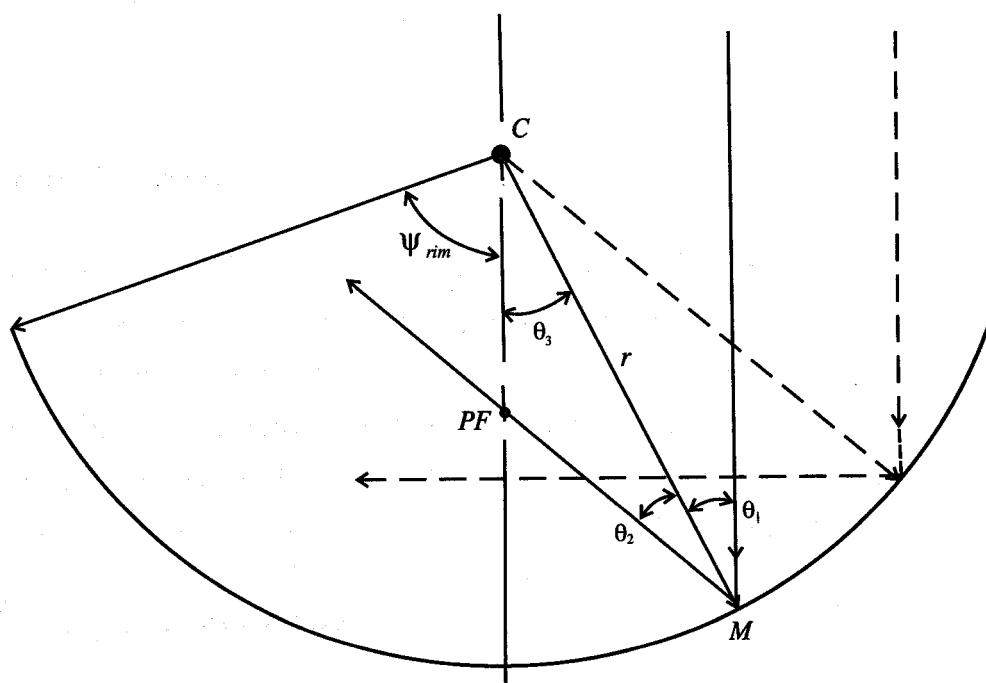
شکل ۸-۱۲: انتقال تمرکز بازتاب تابش در طول جذب کننده پعلت تابش غیر موازی با صفحه منحنی مولد سهموی خطی



شکل ۸-۱۳: افت انتهای سهموی خطی.

از آنجائیکه انتقال خطی موجب عدم تمرکز تابش نمیشود، استوانه خطی به هیچ عنوان نیاز به ردیابی خورشید ندارد. اما همانطور که در شکل ۸-۱۱ ب نشان داده شده است، استوانه خطی با زاویه لبه بزرگ دارای صفحه کانونی است. برای آنکه سطح تمرکز باریک باشد، استوانه خطی باید با زاویه لبه کوچک طراحی شود. مزیت شکل هندسی استوانه خطی نسبت به سهموی خطی در آنستکه نیاز به ردیابی خورشید در هیچ جهتی ندارد

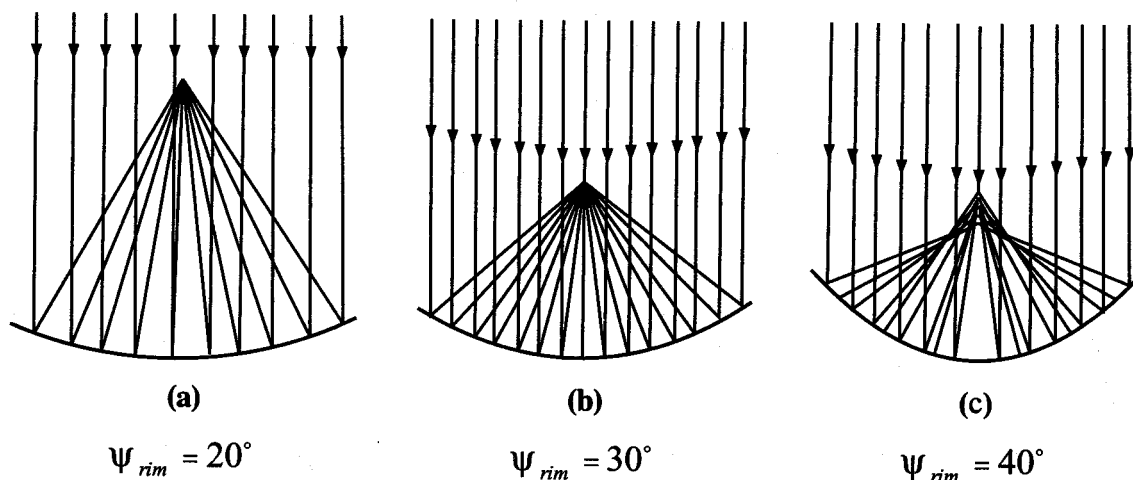
اثر زاویه لبه (ψ_{rim}) را بر روی کانون استوانه خطی را میتوان بر روی مسیر هریک از شعاعهای تابش با ورود آن به دهانه گردآور ملاحظه کرد. شکل ۸-۱۴ زوایای مربوطه را نشان میدهد. در سطح آئینه شعاع برخورد بازتاب میشود. چون در دایره شعاع واصل به نقطه تماس بر خط مماس در آن نقطه عمود است، در نتیجه: $\theta_1 = \theta_2$ است. از طرف دیگر چون شعاع تابش موازی محور تقارن منحنی است، پس: $\theta_3 = \theta_1 = \theta_2$ است. بنابراین مثلث $C-PF-M$ ، متساوی الساقین است، و برای مقادیر کوچک θ_3 مقدار $C-PF$ مساوی $r/2$ است.



شکل ۸-۱۴: زوایای بازتاب در آئینه استوانه ای (یا کروی)

نقطه PF بنام کانون میانی نامیده میشود. با افزایش θ_3 شعاع بازتاب محور تقارن را در زیر PF قطع میکند. این مطلب در شکل ۸-۱۴ با خط چین نشان داده شده است. باز شدن شعاع بازتاب با افزایش θ_3 را بنام انحراف کروی مینامیم.

برای کاربردهای عملی اگر زاویه لبه استوانه خطی کوچک نگهداشته شود (مثلاً کوچکتر از ۲۰ تا ۳۰ درجه) انحراف کروی کوچک بوده و به یک کانون تقریباً خطی (نوار باریک) دست خواهیم یافت. شکل ۸-۱۵ تمرکز را برای زوایای لبه مختلف برای آئینه های استوانه ای نشان میدهد.



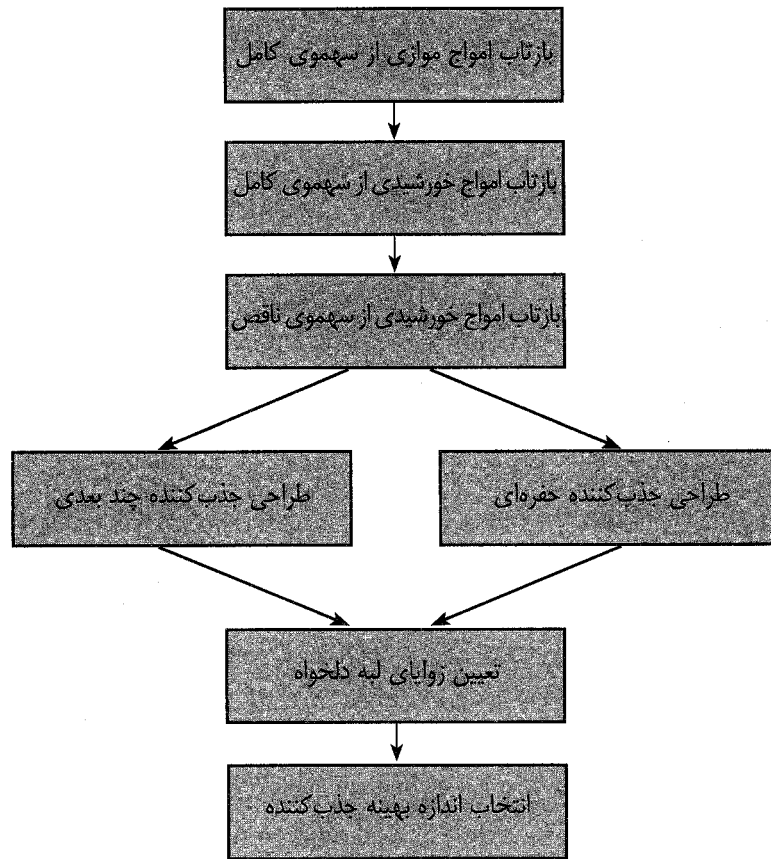
شکل ۸-۱۵: تمرکز امواج موازی نور با استفاده از آئینه‌های استوانه‌ای با زوایای لبه مختلف.

۸-۳-۳: سهموی‌های بشقابی

اگر منحنی‌های دویبعی نشان داده شده در شکل‌های ۸-۹ و ۸-۱۰ بجای انتقال (در امتداد عمود بر صفحه منحنی)، حول محور تقارن دوران نمایند، شکل‌های هندسی‌ای که ایجاد میشود، به ترتیب: کروی بشقابی و سهموی بشقابی نام گذاری میکنیم. سهموی بشقابی باید خورشید را در دو بعد ردیابی کند تا امتداد شعاع تابش همواره عمود بر دهانه گردآور بوده و در نتیجه نور در نقطه کانونی متمرکز شود. اما گردآور کروی بشقابی مانند استوانه‌ای بعثت تقارن کره (دایره)، همانطور که قبلاً مورد توجه قرار گرفت، نیاز به ردیابی خورشید ندارد. با وجود این جذب کننده باید سطح کانونی را پوشش دهد (شکل ۸-۹ ملاحظه شود). یک نمونه گردآور متمرکز کننده سهموی بشقابی همراه با یک نمونه گردآور کروی بشقابی در فصل ۹ نشان داده شد است.

۸-۴: بازتاب انرژی به جذب کننده

با وجود آنکه جزئیات طراحی هر گردآور سهموی نسبت به گردآورهای سهموی دیگر ممکنست متفاوت باشد، ولی خصوصیات نوری متمرکز کننده‌های سهموی مشترک است. در این بخش این خصوصیات را بازبینی نموده و فرآیند تمرکز انرژی تابشی را در جذب کننده مورد توجه قرار میدهم. نکات مربوط به افت حرارت در بخش ۹-۲ مورد توجه قرار میگیرد. در شکل ۸-۱۶ ترتیب بررسی مواردی که در مابقی این فصل آورده خواهد شد، بطور خلاصه ملاحظه میشود.



شکل ۸-۱۶: بررسی اپتیک متمرکزکننده های سهموی

در این بخش ابتدا بازتاب تابش امواج موازی، عمود بر دهانه گردآور مورد رسیدگی قرار گرفته است. هدف بدست آوردن یک رابطه ریاضی است که نشان دهد تابش بازتاب شده به کانون، تابعی از زاویه لبه است. سپس این بررسی با توجه به آنکه امواج خورشید واقعاً موازی نیستند اصلاح شده است. این بخش خطاهای زاویه ای (مانند: خطای شیب) سطح سهموی را در مقایسه با شکل سهموی کامل شامل میشود. انحراف شعاع بازتاب بعثت خطای شیب آئینه، ردیابی خورشید، و غیر موازی بودن امواج خورشید اطلاعات لازم برای بررسی کیفیت اصول بکار رفته را معلوم میکند.

با بررسی ضریب تمرکز اطلاعات مربوط به زاویه تقریبی لبه برای گردآور سهموی بدست می‌آید. مسائل مربوط به افت حرارت که در بخش ۲-۹ آورده شده دشواری طراحی دقیق جذب کننده را نشان میدهد.

۸-۴-۱: بازتاب امواج موازی

آئینه سهموی در شکل ۸-۱۷ را در نظر میگیریم. هنگامیکه یک شعاع نور با شدت I_b موازی محور سهمی بتابد، بطوریکه در شکل نشان داده شده بازتاب شده و از کانون F رد میشود. از آنجائیکه مورد نظر ما کل مقدار تابش منعکس شده از کل سطح آئینه است، بهتر است یک جزء از سطح بصورت دیفرانسیل dA_s را در نظر گرفته و پس از آن در روی کل سطح آئینه از آن انتگرال گرفته شود. مقدار سطح dA_s را بصورت زیر مینویان نوشت:

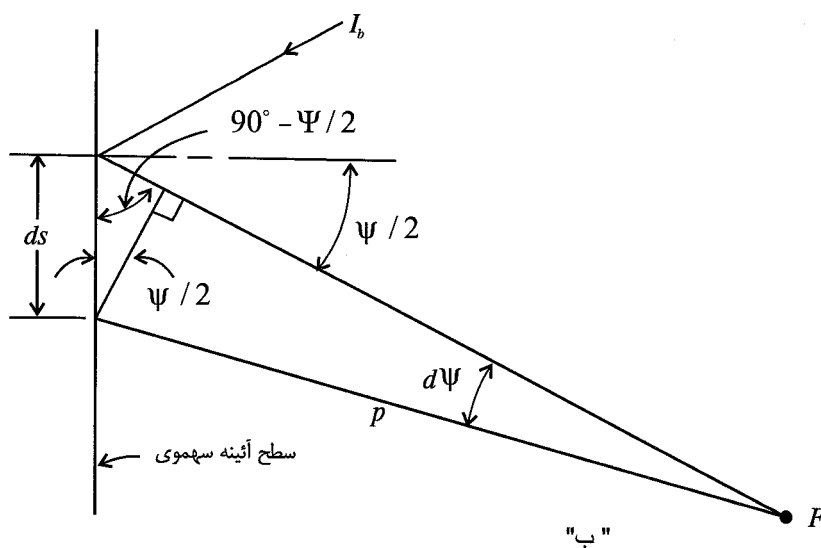
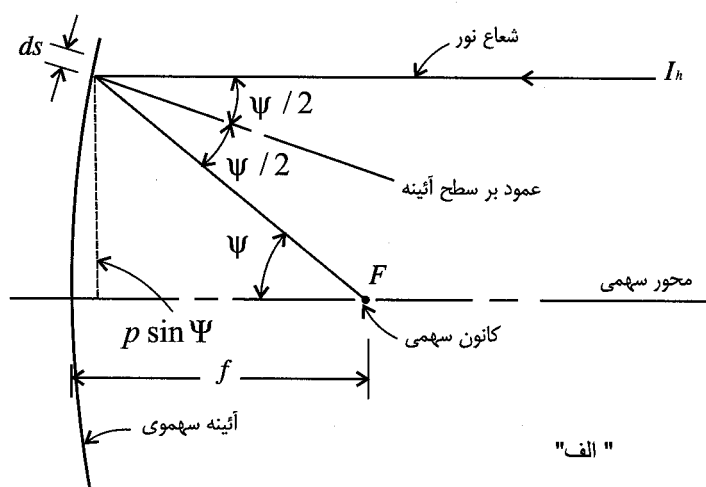
$$dA_s = l \cdot ds \quad (m^2) \quad (۳۲-۸)$$

در این رابطه داریم :

ds = طول قوس بسیار کوچک (دیفرانسیل) از سهمی

l = طول یک نوار باریک از سطح سهموی خطی در امتداد خط کانونی و یا یک حلقه نوار در سهموی بشقابی.

شکل ۸-۱۷ الف تصویر بزرگ شده شکل ۸-۱۷ است، که زوایای مربوط به ds را نشان میدهد.



شکل ۸-۱۷ : بازتاب شعاع نور از یک آئینه سهموی

با استفاده از شکل ۸-۱۷ ب، خواهیم داشت:

$$ds = \frac{p \sin(d\psi)}{\cos(\psi/2)} \quad (m) \quad (8-33)$$

چون زاویه $(d\psi)$ کوچک است، $\sin(d\psi) = d\psi$ ، در نتیجه رابطه (۸-۳۳) بصورت زیر ساده میشود:

$$ds = \frac{p(d\psi)}{\cos(\psi/2)} \quad (m) \quad (8-34)$$

بنابراین:

$$dA_s = \frac{lp d\psi}{\cos(\psi/2)} \quad (m^2) \quad (8-35)$$

شار کل بازتاب شده $(d\phi)$ از سطح جزئی به نقطه کانونی عبارت است از:

$$d\phi = dA_s I_b \cos(\psi/2) = lp I_b d\psi \quad (W) \quad (8-36)$$

با جانشین کردن p از رابطه ۸-۶ (بخش ۸-۲ ملاحظه شود) نتیجه میشود:

$$d\phi = \frac{2f I_b d\psi}{(1 + \cos\psi)} \quad (W) \quad (8-37)$$

رابطه (۸-۳۷) کلی بوده و هم برای سهموی خطی و هم برای سهموی بشقابی قابل استفاده است. با وجود این برای سهموی بشقابی میتوان مقدار l را با توجه به شکل ۸-۱۷ از رابطه زیر جانشین نمود.

$$l = 2\pi p \sin\psi = \frac{4\pi f \sin\psi}{(1 + \cos\psi)} \quad (m) \quad (8-38)$$

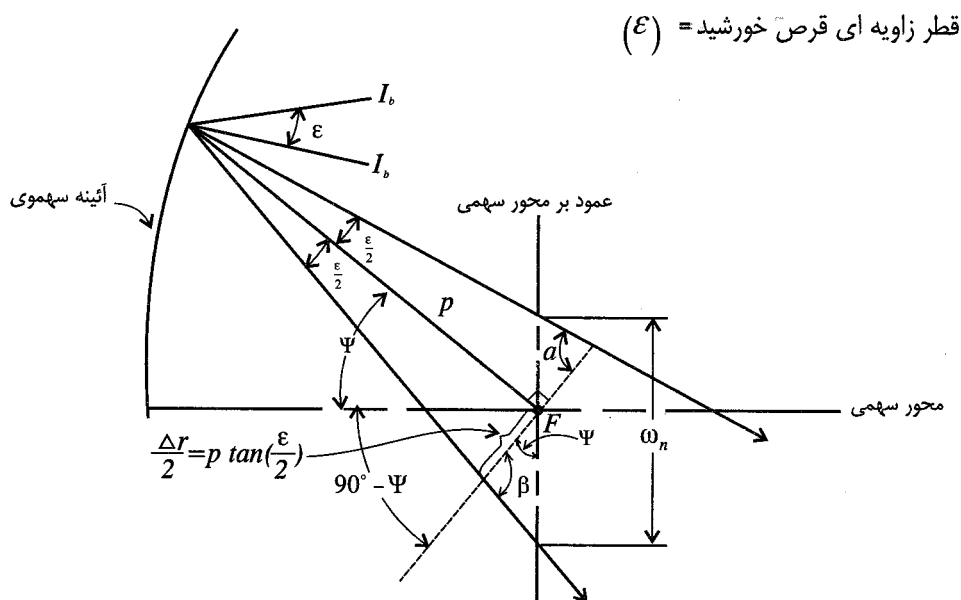
بدین ترتیب رابطه (۸-۳۷) برای سهموی خطی و سهموی بشقابی بصورت زیر نوشته میشود. پسوند های PT و PD به ترتیب مشخص کننده نوع گردآور سهموی خطی و بشقابی است.

$$d\phi_{PT} = \frac{2f I_b d\psi}{(1 + \cos\psi)} \quad (W) \quad (8-39 \text{ الف})$$

$$d\phi_{PD} = \frac{8\pi f^2 \sin\psi d\psi}{(1 + \cos\psi)^2} \quad (W) \quad (8-39 \text{ ب})$$

۸-۴-۲: بازتاب امواج غیر موازی

در بخش قبل بازتاب امواج موازی نور ملاحظه شد. ولی در حقیقت امواج خورشید کاملاً موازی نیست. بعلاوه اندازه زاویه ای قرص خورشید (حدود قوسی معادل ۳۳ دقیقه یا ۹/۶ میلی رادیان)، امواج رسیده به متمرکز کننده از خورشید موازی نیستند. بنابراین کلیه امواج بازتاب شده به نقطه کانونی (یا خط کانونی در مورد سهموی خطی)، در آن تشکیل یک تصویر با اندازه معین که مرکزش در کانون است را می‌دهند. تصویر قرص خورشید در کانون آئینه در شکل ۸-۱۸ نشان داده شده، در حالیکه (ε) اندازه زاویه ای قرص خورشید است.



شکل ۸-۱۸: بازتاب امواج غیر موازی از آئینه سهموی

عرض (گسترش امواج) Δr تصویر خورشید در روی صفحه عمود بر p و گذرنده از F همانطور که نشان داده شده عبارت است از:

$$\Delta r = 2p \tan\left(\frac{\varepsilon}{2}\right) \quad (m) \quad (۸-۴۰)$$

این مقدار مینیمم گسترش تصویر است. در صورت وجود هر خطا، مثل خطا در ساخت قوس واقعی آئینه موجب گسترش بیشتر تصویر خواهد شد.

۸-۴-۳: اثر خطاهای مختلف

علاوه بر اندازه زاویه ای خورشید، خطاهای مختلف ناشی از عدم تطابق آئینه نسبت به شکل واقعی سهمی (مثلاً خطای شیب)، بازتاب غیر دقیق امواج، خطا در ردیابی خورشید، خطاهای تنظیم جذب کننده همگی موجب افزایش بیشتر اندازه تصویر خورشید

میشوند. جهت مثبت یا منفی بودن این خطاها معمولاً آماری بوده و مقدار آن برحسب واحد استاندارد انحراف مطرح میشود. با وجود آنکه شدت تابش خورشید در طول قرص آن همگن نیست ولی میتوان آنرا همگن فرض کرده و در نتیجه خطای آنرا روی متمرکز کننده بطور مشابه دانست. آزمایش نشان داده خطای این فرض برای سهموی خطی و بشقابی قابل صرفنظر است. جدول ۸-۱ خطا را برای یک متمرکز کننده نمونه با مقدار معادل گسترش تصویر خورشید نشان میدهد.

این خطاها براساس "استاندارد گسترش یک" (1σ) بوده، با این تعریف که ۶۸ درصد اندازه گیریهای خطا در محدوده انحراف زاویه ای اشاره شده است.

جدول ۸-۱ خطا برای یک متمرکز کننده سهموی نمونه

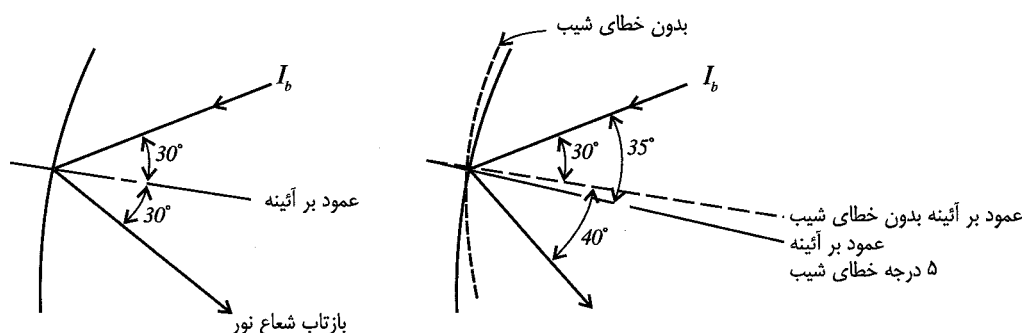
منبع خطا	اندازه موثر (1σ)	σ^2
خطای یک بعدی (σ_{1D})		
سازه (σ_{slope})	میلی رادیان $2/5 \times 2 = 5$	۲۵
ردیابی خورشید		
سنسور (σ_{sensor})	میلی رادیان ۲	۴
حرکت غیر همگن جذب کننده	میلی رادیان ۲	۴
تنظیم جذب کننده و غیره (σ_{rec})	میلی رادیان ۲	۴
		۳۷
	میلی رادیان $6/1 = (\sigma_{1D})$	
دو بعدی (σ_{2D})		
عدم دقت بازتاب (σ_{refl})	میلی رادیان $0/25 \times 2 = 0/5$	۰/۲۵
عرض خورشید (σ_{sun})	میلی رادیان ۲/۸	۷/۸۴
		$\sum \sigma_{2D}^2 = ۸/۰۹$
	میلی رادیان $2/8 = \sigma_{2D}$	
خطای موثر کل	$\sigma_{tot} = \sqrt{\sigma_{1D}^2 + \sigma_{2D}^2} = 6.7(mrad)$	

باید توجه کرد که عرض خورشید معادل 1σ (۲/۸ میلی رادیان) که در جدول ۸-۱ آورده شده است، کوچکتر از ۹/۶ میلی رادیان است که معمولاً برای عرض خورشید گزارش میشود. این بعلت اعمال یک استاندارد گسترش بر روی تصویر قرص خورشید است. بطوریکه در بندهای زیر ملاحظه میشود روش متعارف در یک تحلیل، استفاده از چند برابر "گسترش استاندارد یک" است.

بطوریکه ملاحظه میشود جدول ۸-۱ از دو قسمت اصلی تشکیل شده که عبارتند از: خطاهای یک بعدی و خطاهای دو بعدی. خطاهای یک بعدی آن خطاهایی است، که موجب گسترش شعاع نور در صفحه منحنی مولد میشود. این خطا تشکیل شده است از:

$$\sigma_{1D} = \left[(2\sigma_{slope})^2 + (\sigma_{sensor})^2 + (\sigma_{drive})^2 + (\sigma_{rec})^2 \right]^{1/2} \quad (mrad) \quad (41-8)$$

بطوریکه ملاحظه میشود خطای شیب در ۲ ضرب شده است. این بعلت مقدار تغییر بازتاب نور (رابطه ۸-۵۴) است، و این واقعیت است که با خطای شیب، زاویه سطح آئینه تغییر نموده در حالیکه گیرنده ثابت مانده است (شکل ۸-۱۹ ملاحظه شود).



الف

ب

شکل ۸-۱۹: اثر خطای شیب بر روی انحراف شعاع

شکل ۸-۱۹ الف بازتاب تابش را بدون خطای شیب نشان میدهد. اگر همانطور که در شکل ۸-۱۹ ب نشان داده شده است، خطای شیب معادل ۵ درجه باشد، شعاع بازتاب به اندازه ۱۰ درجه از بازتاب شکل الف (بدون انحراف) انحراف پیدا میکند. در حالت خطای ردیابی خورشید که جذب کننده با سطح آئینه حرکت مینماید، ضریب ۲ در رابطه (۸-۴۱) برای این نوع خطا ظاهر نمیشود. بعبارت دیگر ضریب ۲ هنگامی وجود دارد که خطا ناشی از حرکت آئینه بدون حرکت جذب کننده است.

خطای دو بعدی σ_{2D} هنگامی برای سهموی خطی رخ میدهد که شعاع تابش در صفحه منحنی مولد قرار نمیگیرد. زاویه عرض خورشید و بازتاب غیر دقیق در این گروه خطا قرار میگیرند. این گروه خطا با رابطه: (۸-۴۲) محاسبه میشود.

$$\sigma_{2D} = \frac{(\sigma_{sun}^2 + \sigma_{refl}^2)^{1/2}}{\cos \theta_i} \quad (mrad) \quad (42-8)$$

در این رابطه θ_i زاویه برخورد خورشید است. کل خطا از نوع، بصورت زیر خواهد بود:

$$\sigma_{tot} = \sqrt{\sigma_{1D}^2 + \sigma_{2D}^2} \quad (mrad) \quad (43-8)$$

در تابش عمود $\theta_i = 0$ است. بنابراین برای یک سهموی بشقابی مقدار (θ_i) همواره صفر است. با جایگزینی مقدار $(\varepsilon/2)$ با انحراف استاندارد کل $(\sigma_{tot}/2)$ مقدار Δr بدست میآید. بنابراین رابطه (۸-۴۰) بصورت زیر نوشته میشود:

$$\Delta r = 2p \tan \left(n \frac{\sigma_{tot}}{2} \right) \quad (m) \quad (44-8)$$

در رابطه فوق مقدار n شماره انحراف استاندارد است.

هنگامیکه مقدار n معادل ۲ (یعنی: $(\pm 1\sigma_{tot})$) در نظر گرفته شود میتوان انتظار داشت که ۶۸ درصد انرژی در محدوده انتخاب شده برای تصویر خورشید (نشان داده شده با p) قرار داشته باشد. اما معمولاً مقدار ضریب انحراف استاندارد ± 2 الی ۳ برای σ_{tot} در محاسبات انرژی خورشیدی در نظر گرفته میشود، تا اطمینان حاصل شود که ۹۵ درصد یا بیشتر از انرژی متمرکز شده، گرفته شده است.

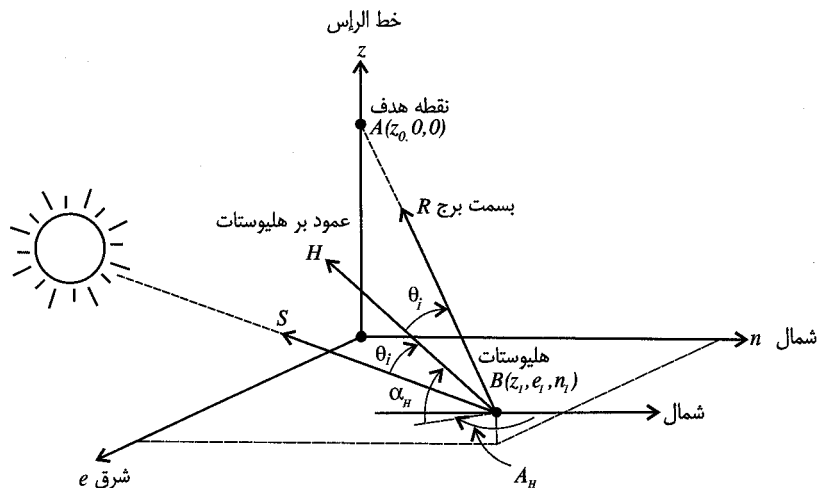
جدول ۲-۸: در صد اندازه گیری شده شار رسیده در فاصله مربوط به انحراف استاندارد (σ) داده شده

ضریب استاندارد		درصد
انحراف (σ)	n	مقدار انرژی در محدوده
± 1	۲	۶۸/۲۷
± 2	۴	۹۵/۴۵
± 3	۶	۹۹/۷۳

۵-۸: بازتاب به یک نقطه ثابت

در سیستم دریافت کننده مرکزی امواج خورشید که به یک مزرعه آئینه های متحرک برخورد میکنند، در یک نقطه ثابت در فضا بازتاب میشوند. زوایای ردیابی برای سطح بازتاب، همراه با زاویه برخورد با آن، بکمک روش برداری آورده شده در فصل ۴ محاسبه میشود.

شبیه سازی هندسی برای اینکار مطابق شکل ۸-۲۰ با استفاده از محورهای مختصات: سمت الرأس، غرب و شمال (Z, e, n) و با مبدأ مختصات O در پای نقطه نشانه (هدف) A حاصل میشود. در این شکل محل سطح بازتاب کننده با مختصات n_1, e_1, Z_1 و نشان داده شده و جذب کننده را با ارتفاع Z_0 در بالای مبدأ فرض میکنیم. (برای ملاحظه شبیه سازی هندسی در مختصات استوانه ای ماخذ [۴] ملاحظه شود)



شکل ۸-۲۰: بازتاب امواج خورشید توسط آئینه به یک هدف (جذب کننده)، نشان داده شده در یک مختصات قائم. بردار H عمود بر سطح آئینه است.

برای پیش بینی زاویه فراز (α_H) و زاویه سمت (A_H) آئینه، باید سه بردار یکه را مورد استفاده قرار دهیم. بردار یکه شعاع مرکزی خورشید (\vec{S}) ، که بسمت خورشید بوده و توسط رابطه (۹-۳) نشان داده شد. بردار یکه از آئینه به جذب کننده در نقطه (A) با رابطه زیر تعریف میشود:

$$\vec{R} = \frac{(z_0 - z_1)\vec{i} - e_1\vec{j} - n_1\vec{k}}{\left[(z_0 - z_1)^2 + e_1^2 + n_1^2\right]^{1/2}} \quad (۴۵-۸)$$

در این رابطه \vec{i} ، \vec{j} و \vec{k} به ترتیب بردارهای یکه در امتداد z ، e و n هستند. با تعریف رابطه (۴۵-۸) بردار \vec{R} بر حسب مؤلفه هایش بصورت زیر نیز نوشته میشود:

$$\vec{R} = R_z\vec{i} + R_e\vec{j} + R_n\vec{k} \quad (۴۶-۸)$$

سومین بردار یکه مورد نیاز، عبارت از بردار یکه عمود بر سطح بازتاب کننده است. مقدار آن بر حسب کسینوس دیرکتورهایش بصورت زیر نوشته میشود:

$$\vec{H} = H_z\vec{i} + H_e\vec{j} + H_n\vec{k} \quad (۴۷-۸)$$

خلاصه علائم قراردادی برای زاویه مورد استفاده در طراحی آئینه در جدول ۸-۳ ملاحظه میشود.

جدول ۸-۳: انتخاب علامت برای زاویای مهم آئینه

عنوان	علامت	صفر	جهت مثبت	حدود	شماره رابطه	شماره شکل
زوایای هلیوستات						
زاویه برخورد	θ_i	عمود بر سطح	بسمت سطح	۰ تا ۹۰ درجه	۴۹-۸	۲۰-۸
زاویه فراز سطح	α	افقی	بالا	۰ تا ۹۰ درجه	۵۱-۸	۲۰-۸
زاویه سمت سطح	A	بسمت شمال	جهت عقربه های ساعت	۰ تا ۳۶۰ درجه	۵۲-۸ یا ۵۳-۸	۲۰-۸

چون مطابق با قانون بازتاب در آئینه ها، زاویه بازتاب معادل زاویه برخورد تابش (θ_i) میباشد. برای زاویه بازتاب رابطه ای بر حسب بردار یکه شعاع مرکزی خورشید (\vec{S}) و بردار یکه بسمت جذب کننده (\vec{R}) بصورت زیر میتوان نوشت:

$$\cos 2\theta_i = \vec{S} \cdot \vec{R} \quad (۴۸-۸)$$

با استفاده از رابطه (۹-۳) و (۴۶-۸)، برای ضرب داخلی دو بردار میتوان نوشت:

$$\cos 2\theta_i = R_z \sin \alpha + R_e \cos \alpha \sin A + R_n \cos \alpha \cos A \quad (۴۹-۸)$$

از این رابطه، با دانستن محل خورشید و مختصات جذب کننده نسبت به سطح بازتاب، زاویه برخورد یا زاویه بازتاب بدست می‌آید.

بنابراین بردار یکه خط عمود (\vec{H}) را میتوان با جمع دو بردار یکه، شعاع تابش (\vec{S}) و بازتاب آن (\vec{R})، تقسیم بر مقدار عددی $2 \cos \theta_i$ بدست آورد. لذا خواهیم داشت:

$$\vec{H} = \frac{\vec{R} + \vec{S}}{2 \cos \theta_i} = \frac{(R_z + S_z)\vec{i} + (R_e + S_e)\vec{j} + (\vec{R}_n + \vec{S}_n)\vec{k}}{2 \cos \theta_i} \quad (50-8)$$

حال با جایگزین کردن رابطه (3-9) و نوشتن زاویه فراز (α_H) و زاویه سمت (A_H) در مختصات قائم با استفاده از شکل 3-9، خواهیم داشت:

$$\sin \alpha_H = \frac{R_z + \sin \alpha}{2 \cos \theta_i} \quad (51-8)$$

و

$$\sin A_H = \frac{R_z + \cos \alpha \sin A}{2 \cos \theta_i \cos \alpha_H} \quad (52-8)$$

برای زاویه سمت رابطه زیر نیز قابل استفاده است:

$$\cos A_H = \frac{R_n + \cos \alpha \cos A}{2 \cos \theta_i \cos \alpha_H} \quad (53-8)$$

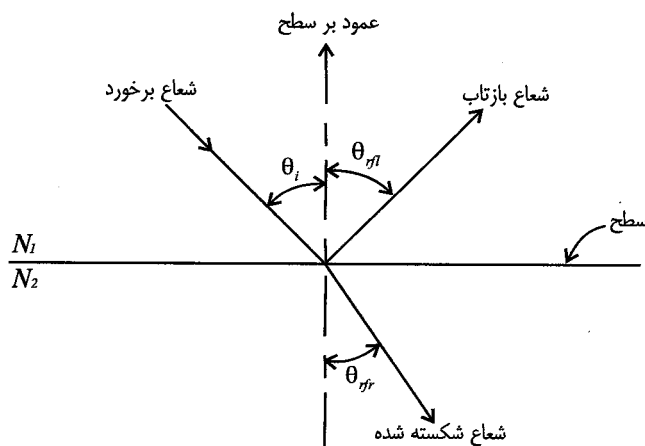
مثال: اگر جذب کننده در ارتفاع ۲۰۰ متر بالاتر از بازتاب کننده بالاتر از مبدأ مختصات بوده و از طرف دیگر بازتاب کننده دارای مختصات ۱۰۰ متر شرق و ۵۰ متر شمال نسبت به مبدأ مختصات باشد. با فرض زاویای فراز و سمت خورشید به ترتیب ۵۰ درجه و ۱۸۰ درجه، با استفاده از روابط (8-49)، (8-51) و (8-52) زاویه برخورد معادل ۱۸ درجه، و زاویه فراز و سمت بازتاب کننده به ترتیب عبارت از ۵۹/۵ درجه و ۲۰۶/۸۸ درجه خواهند بود.

۸-۶: اصول بازتاب و شکست نور

اثر برخورد نور با جسم شفاف در شکل ۸-۲۱ نشان داده شده است. یک قسمت از شعاع برخورد نموده با سطح جسم شفاف بطوریکه نشان داده شده، با زاویه ای مساوی زاویه تابش (θ_i) بازتاب میشود. قسمت دیگر به داخل جسم وارد میشود، ولی هنگام عبور از سطح امتدادش مطابق قانون شکست نور طبق رابطه زیر تغییر میکند:

$$N_1 \sin \theta_i = N_2 \sin \theta_{tr} \quad (54-8)$$

زوایا در این رابطه مطابق شکل ۸-۲۱ است.



شکل ۸-۲۱: برخورد نور با یک جسم، N_1 : ضریب شکست ماده ۱؛ N_2 : ضریب شکست ماده ۲.

همچنانکه نور از جسم عبور میکند، قسمتی از آن ممکنست جذب شود، و در نتیجه نور شکسته شده کاهش مییابد. قابلیت عبور نور از اجسام با ضریب عبور نور مطرح (τ) میشود. مشخصه‌های فیزیکی: بازتاب؛ شکست؛ و عبور خصوصیات اپتیکی گردآورهای متمرکز کننده خورشیدی بوده که در قسمتهای زیر مورد توجه قرار میگیرند.

۸-۶-۱: آئینه‌ها

کلیه سطوح شفاف از اصول مشابهی که در شکل ۸-۲۱ نشان داده شده، متابعت میکنند، مخصوصاً آنکه زاویه بازتاب (θ_{refl}) مساوی زاویه برخورد (θ_i) است. بنابراین اگر امتداد تابش خورشید را بدانیم با قرار دادن یک بازتاب کننده میتوان نور را به یک محل دلخواه بازتاب نمود. اگر سطح آئینه در سطح وسیعی صاف باشد شعاع بازتاب را با ترسیم منحنی مولد آئینه میتوان رسم نمود، در اینحالت شعاع بازتاب را میتوانیم "آئینه وار" بنامیم. ولی اگر بینظمی هائی در سطح وجود داشته باشد بطوریکه بازتاب نور را نشود با استفاده از منحنی سطح مشخص نمود، بازتاب را غیر آئینه وار مینامیم. بطور کلی برای یک متمرکز کننده بازتاب آئینه وار و غیر آئینه وار همزمان صورت میگیرد. برای برآورد قابلیت بازتاب نور یک سطح از ضریب بازتاب استفاده میشود. بر اساس مطالب فوق دو تعریف برای ضریب بازتاب میتوان نمود:

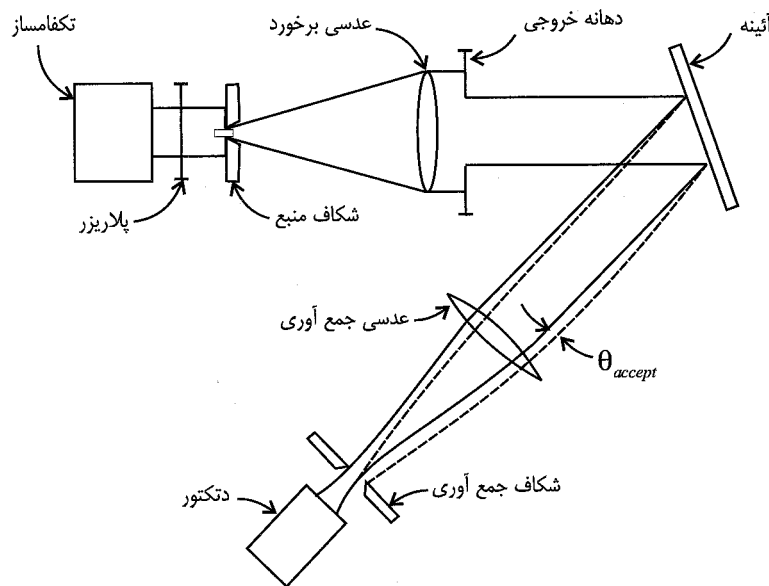
ضریب بازتاب آئینه وار: (ρ_s) مقدار نور بازتاب شده با زاویه (θ_{refl}) با عمود بر آئینه که مساوی زاویه برخورد نور (θ_i) با عمود بر آئینه است.

ضریب بازتاب غیر آئینه وار: (ρ_{ns}) مقدار نور بازتاب شده با زاویه (θ_{refl}) با عمود بر آئینه که مساوی زاویه تابش نور ورودی (θ_i) یا میانگین عمود بر آئینه نمیشد.

ضریب آئینه وار برای آن دسته از زوایای پذیرشی (θ_{accept}) است، که دستگاه اندازه گیری اجازه عبور آن امواج را میدهد. شکل ۸-۲۲ اندازه گیری بازتاب آئینه وار را نشان میدهد. رابطه ریاضی نشان دادن این مورد عبارتست از:

$$\rho_s = \frac{I_{r,a}}{I_b} \quad (۸-۵۵)$$

در این رابطه $I_{r,a}$ عبارت از بازتاب شدت تابش در محدوده زاویه قبول (θ_{accept}) و I_b عبارت از شدت تابش برخورد، نور است.

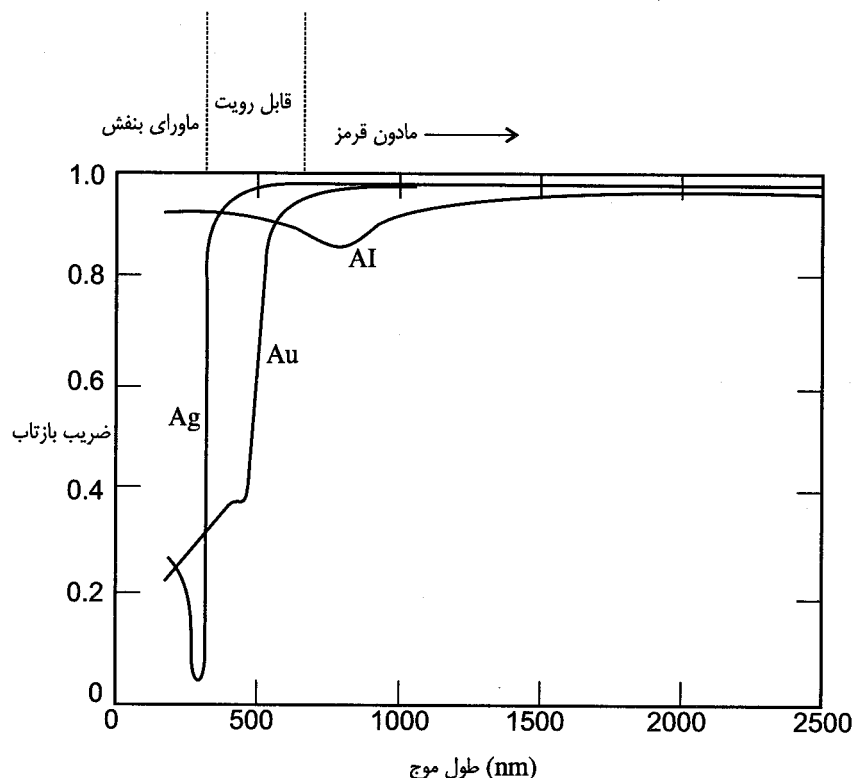


شکل ۸-۲۲: اندازه گیری بازتاب آئینه وار

بازتاب غیر آئینه وار با استفاده از ابزاری که امواج پراکنده در تمام جهات را جمع میکند اندازه گیری میشود.

یک نمونه کامل از بازتاب کننده آئینه وار عبارت از آئینه کاملاً صیقل شده است که یک تصویر صاف غیر مخدوش بازتاب مینماید. یک نمونه کامل از بازتاب کننده غیر آئینه وار برف است که هیچ تصویری بازتاب نمیکند. در بندهای زیر مشخصات آئینه ها از نظر متمرکز کردن انرژی خورشید از طریق بازتاب آئینه وار مورد بررسی قرار میگیرند.

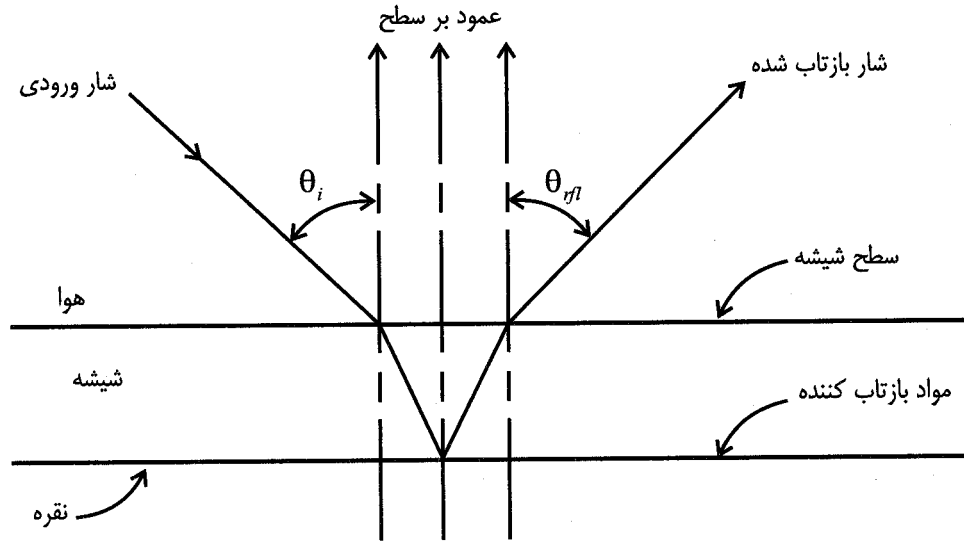
دانستن ضریب بازتاب آئینه وار یک متمرکز کننده خورشیدی برای طیف رسیده به سطح زمین دارای اهمیت زیادی است. لزومی ندارد که کلیه اجسامی که دارای بازتاب آئینه وار خوبی هستند، این خصوصیت را برای همه طول موجها بطور مساوی داشته باشند. طیف رسیده از خورشید به زمین در شکل ۲-۱۰ نشان داده شد. شکل ۸-۲۳ مقدار ضریب بازتاب را برای چند فلز بصورت تابعی از طول موج نشان میدهد. با توجه به این شکل ملاحظه میشود که چرا نقره در بسیاری از متمرکز کننده ها، بعنوان ماده بازتاب کننده استفاده میشود. طلا برای طول موجهای مادون قرمز ضریب بازتاب بالا دارد، از این نظر در مواردی بعنوان عایق حرارتی در مقابل تابش بکار میرود.



شکل ۸-۲۳: ضریب بازتاب چند ماده انتخابی. نقره Ag: آلومینیم Al: طلا Au.

آئینه‌هایی که در متمرکز کننده‌های خورشیدی بکار می‌روند، اغلب سطح پشتی یا سطح ثانویه (یعنی: سطح بازتاب در پشت یک صفحه شیشه یا پلاستیک قرار دارد) هستند. هنگامیکه نور از یک ماده می‌گذرد قسمتی از انرژی آن گرفته می‌شود. جذب نور توسط جسم شفاف عامل مهمی در طراحی آئینه مورد استفاده در متمرکز کننده خورشیدی است. شکل ۸-۲۴ برخورد نور با یک بازتاب کننده که در روی آن سطح شفاف شیشه قرار دارد نشان می‌دهد. چون شعاع نور از لبه حفاظتی باید دو بار بگذرد (یکبار در برخورد و یک بار در بازتاب) هر ماده‌ای که نور را جذب نماید، بطور قابل ملاحظه در کاهش انرژی خورشید موثر است. قابلیت هر ماده در مورد عبور نور بنام ضریب عبور مینامیم.

مانند ضریب بازتاب، ضریب عبور نیز یا آئینه وار و یا غیر آئینه وار (پراکنده) است. نوری که از ماده همگن مانند شیشه یا پلاستیک شفاف عبور مینماید، از رابطه شکست نور جسم شفاف (۸-۵۴) تبعیت مینماید. مواد نیمه شفاف مانند فایبرگلاس دارای ضریب عبور بالا بوده ولی بعلاوه یاف شیشه موجب پراکندگی نور میشود.

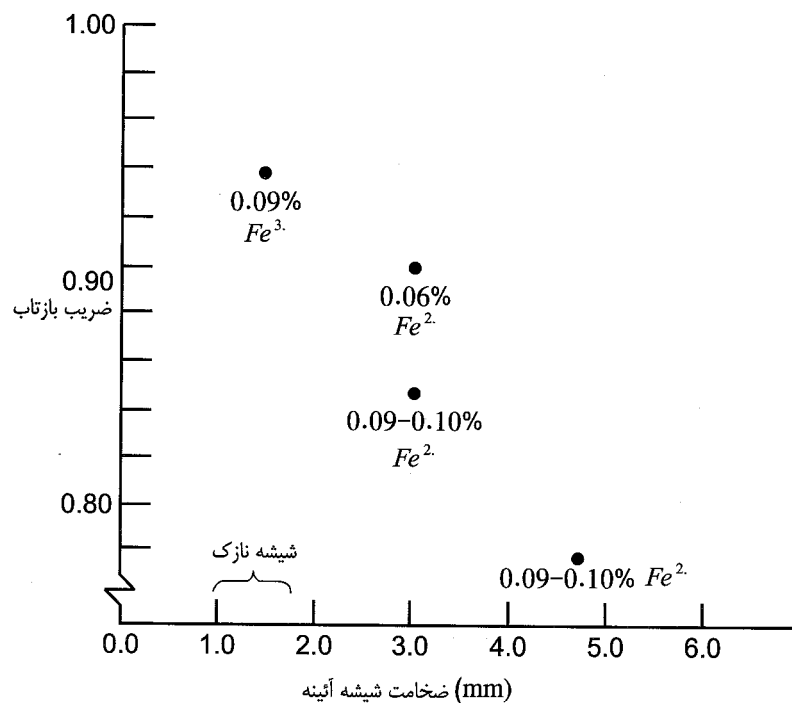


شکل ۸-۲۴: بازتاب کننده حفاظت شده

ضریب عبور (τ): نسبت شار تابش عبور نموده (I_{tr}) از ماده به کل شار تابشی (I) را بنام ضریب عبور مینامیم. بنابراین رابطه ضریب عبور عبارت است از:

$$\tau = \frac{I_{tr}}{I} \quad (۸-۵۶)$$

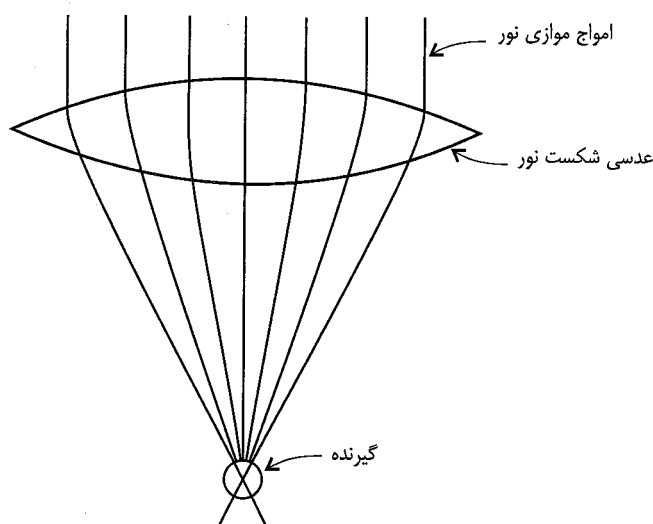
در متمرکز کننده های خورشیدی عموماً از موادی استفاده میشود که دارای ضریب عبور بالا هستند. معمولاً قابلیت عبور نور مواد بستگی به طول موج نور دارد. شکل ۸-۲۵ ضریب بازتاب نور را برای آئینه های که مقادیر مختلف آهن دو ظرفیتی Fe^{2+} دارند نشان میدهد. چون آهن دو ظرفیتی قسمت قابل رویت طیف نور را جذب مینماید، در نتیجه ضریب عبور نور (و ضریب بازتاب) با افزایش آهن کاهش مییابد. بنابراین استفاده از شیشه با آهن دو ظرفیتی کم (یعنی حدود ۰/۰۶ درصد یا کمتر) و یا ساخت شیشه به نحوی که آهن دو ظرفیتی آن به آهن سه ظرفیتی Fe^{3+} تبدیل شود تا جذب طیف خورشید توسط آن ناچیز باشد، دارای اهمیت زیادی است. بعلاوه استفاده از آئینه های با شیشه نازک که مسیر عبور نور در آن کاهش مییابد و در نتیجه جذب انرژی توسط شیشه کاهش مییابد دارای اهمیت است.



شکل ۸-۲۵: اثر وجود آهن در بازتاب آئینه، حدود ضخامت شیشه نازک نیز در شکل نشان داده شده است.

۸-۶-۲: عدسی‌ها

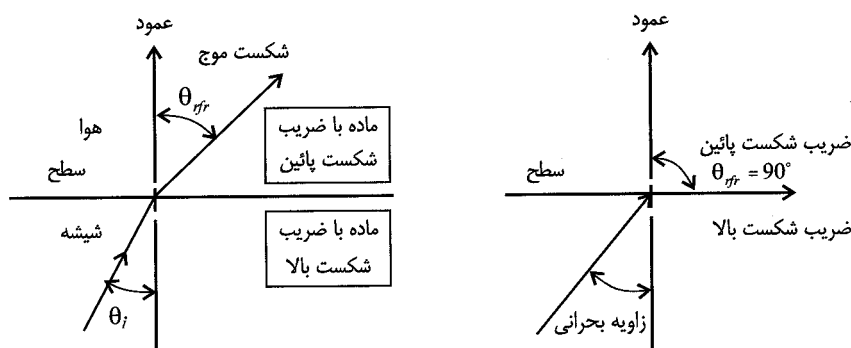
عدسی‌ها از قانون شکست نور پیروی می‌کنند. نور با برخورد به عدسی‌هایی از جنس شیشه و موادی مانند پلاستیک، ابتدا شکست شده، سپس در جسم عدسی انتقال یافته و دوباره در هنگام خروج از آن شکسته می‌شود. با قرار دادن صحیح عدسی، مطابق شکل ۸-۲۶ میتوان امواج موازی خورشید را بر روی یک جذب کننده متمرکز نمود.



شکل ۸-۲۶: عدسی متمرکز کننده

۸-۶-۳: بازتاب به داخل

یک نتیجه جالب قانون شکست نور بازتاب به داخل است. این بازتاب هنگامی رخ می‌دهد که نور از یک ماده با ضریب شکست بالا وارد یک ماده با ضریب شکست پایین می‌شود. مثلاً اگر عبور نور را از شیشه به هوا مطابق شکل ۸-۲۷ را در نظر بگیریم. بازتاب به داخل وقتی اتفاق می‌افتد که θ_{rfr} مساوی 90° درجه شود. بنابراین زاویه برخوردی را که بازتاب به داخل در آن صورت می‌گیرد از رابطه (۸-۵۴) می‌توان محاسبه نمود.



شکل ۸-۲۷: بازتاب کلی در داخل: الف: شکست نور؛ ب: بازتاب کلی در داخل

مثلاً برای عبور نور از شیشه به هوا، زاویه ای که در آن بازتاب به داخل صورت می‌گیرد، می‌توانیم بصورت زیر محاسبه کنیم:

$$N_{\text{glass}} \sin \theta_i = N_{\text{air}} \sin \theta_{rfr}$$

$$\theta_{rfr} = 90^\circ \quad \text{و} \quad N_{\text{glass}} = 1.5, \quad \text{و} \quad N_{\text{air}} = 1$$

$$\sin \theta_i = 0.67$$

$$\theta_i = 42^\circ$$

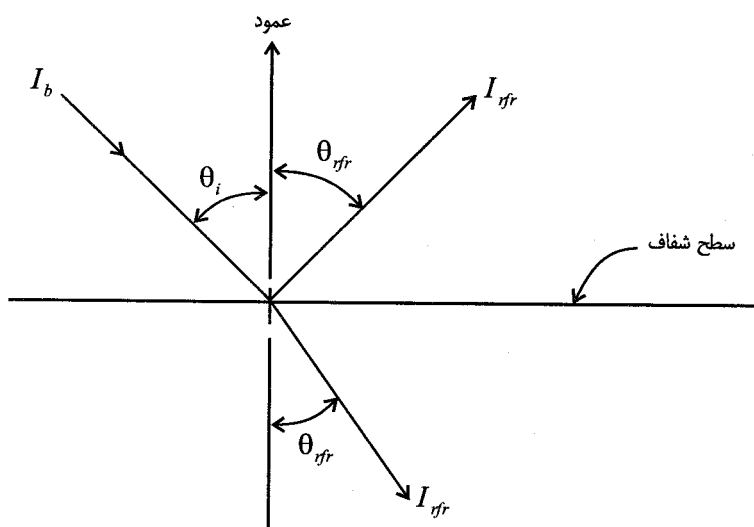
بنابراین برای زوایای مساوی و یا بزرگتر از 42° درجه، نوری که از شیشه با ضریب شکست $1/5$ به هوا با ضریب شکست ۱ وارد می‌شود، تحت بازتاب داخلی قرار می‌گیرد. این زاویه بنام زاویه بحرانی برای نور در عبور از مرز شیشه و هواست. باید توجه داشت که زاویه بحرانی برای عبور نور از ماده با ضریب شکست متوسط یا پائین به ماده با ضریب شکست بالا وجود ندارد.

۸-۶-۴: بازتاب و عدم بازتاب پوشش‌های دی الکتریک

در موضوع بازتاب که در بالا گفته شد، بحثی در مورد بازتاب از مرز مشترک شیشه و هوا نشد. در حالیکه بازتاب همانطور که همه در پنجره‌های شیشه‌ای دیده ایم وجود داشته و بنام بازتاب دی الکتریک آنرا مینامیم. رابطه لازم برای محاسبه شار بازتاب موج در فصل مشترک دو ماده [۲۷] با توجه به شکل ۸-۲۸ عبارتست از:

$$\frac{I_{rfl}}{I_b} = \frac{1}{2} \left\{ \left[\frac{\tan^2(\theta_i - \theta_{rfr})}{\tan^2(\theta_i + \theta_{rfr})} \right] + \left[\frac{\sin^2(\theta_i - \theta_{rfr})}{\sin^2(\theta_i + \theta_{rfr})} \right] \right\} \quad (۵۷-۸)$$

در این رابطه (θ_i) و (θ_{rfr}) در شکل ۲۸-۸ نشان داده شده اند.

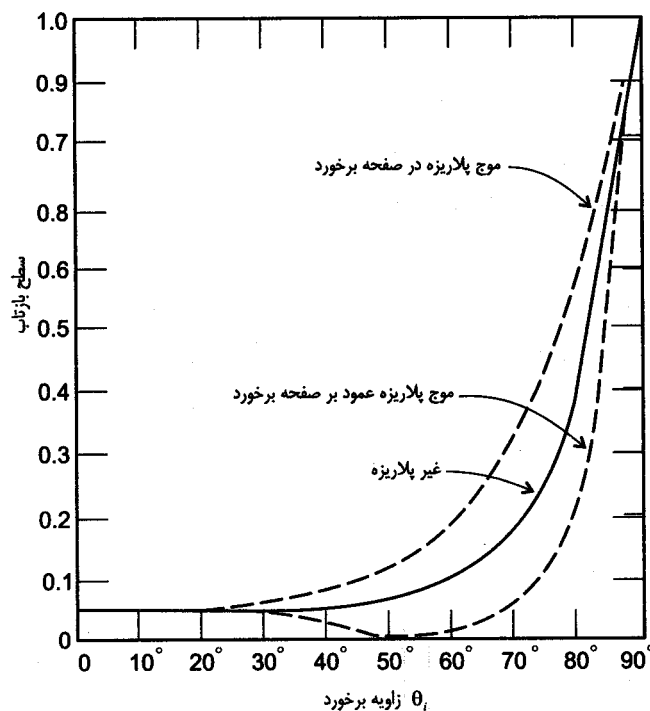


شکل ۲۸-۸: بازتاب دی الکتریک - زوایای بکار رفته در رابطه (۵۷-۸)

اولین جمله در رابطه (۵۷-۸) نسبت شعاع پلاریزه شده در صفحه برخورد، و جمله دوم نسبت شعاع پلاریزه نشده در صفحه عمود بر صفحه برخورد را نشان می‌دهد. شکل ۲۹-۸ نمودار بازتاب از فصل مشترک شیشه-هوا را بصورت تابعی از زاویه برخورد نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که در زاویه برخورد (θ_i) حدود ۵۷ درجه، مولفه پولاریزه بازتاب سطحی عمود بر صفحه برخورد بسمت صفر میل مینماید. این زاویه بنام زاویه پلاریزه نامیده می‌شود. در برخورد قائم رابطه (۵۷-۸) بصورت زیر ساده می‌شود:

$$\frac{I_{rfl}}{I_b} = \frac{(N_1 - N_2)^2}{(N_1 + N_2)^2} \quad (۵۸-۸)$$

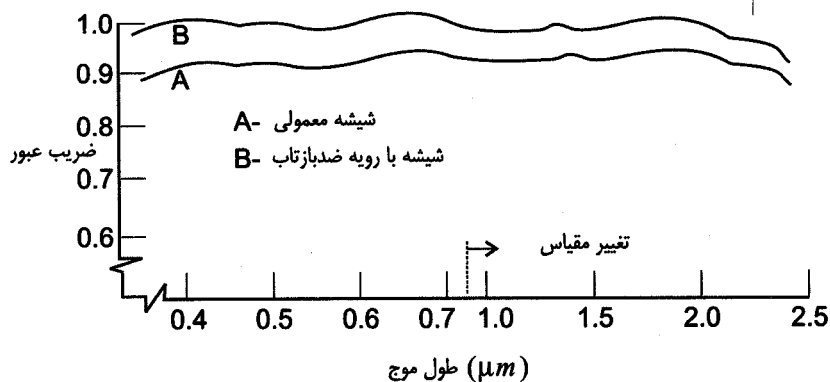
در این رابطه N_1 و N_2 ضرایب شکست دو ماده هستند.



شکل ۸-۲۹: اثر زاویه برخورد بر روی بازتاب دی الکتریک از فصل مشترک هوا- شیشه

روکشهای نوری که بنام رویه های ضد بازتاب نیز میتوان آنرا نامگذاری نمود برای کاهش بازتاب از فصل مشترک شیشه- هوا ساخته شده اند، تا ضریب عبور از شیشه افزایش نماید. این روکشها برای شیشه احاطه نموده متمرکز کننده های حرارتی بکار میروند.

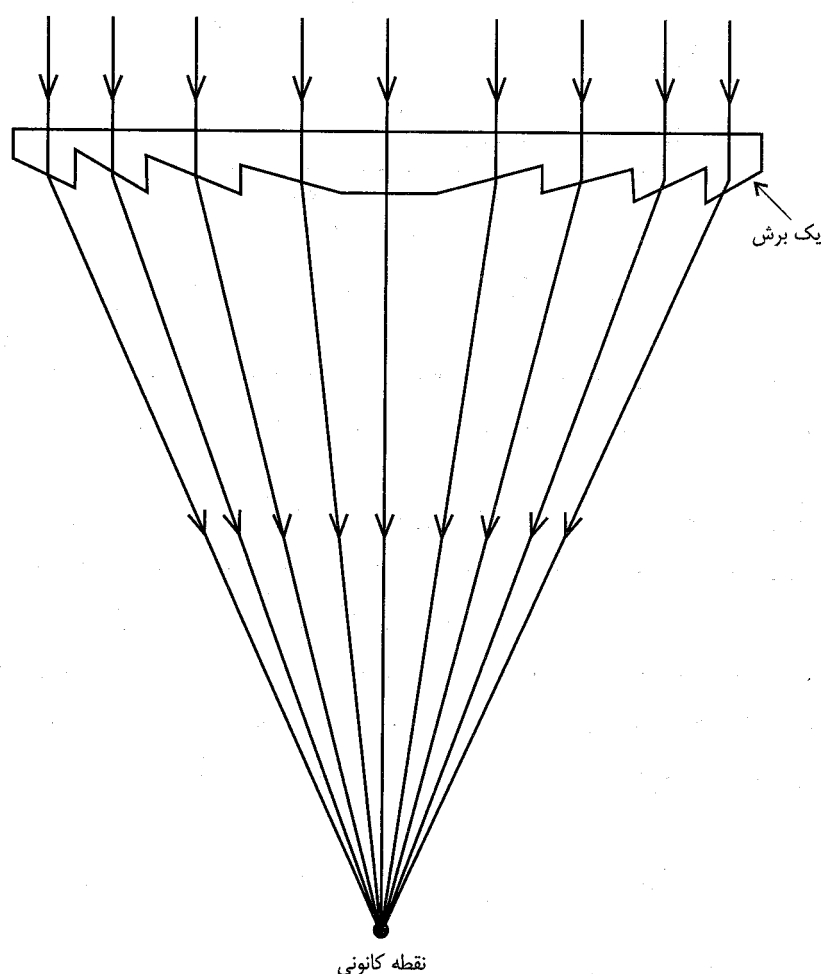
یک روش آماده کردن شیشه ضد بازتاب، ایجاد خوردگی در سطح آن است. مثلاً سطح شیشه از نوع آلکالی- بوروسیلیکیت را به کمک محلول اسید شامل: آمونیم فلوراید یا آمونیوم بی فلوراید میتوان ضد بازتاب نمود. این محلولها اکسیدهای قابل حل، در سطح شیشه را حل نموده و سطح خلل و فرج داری را برای شیشه ایجاد مینمایند. نتیجه کار ایجاد سطحی است که دارای ضریب بازتاب کوچک برای امواج قابل رویت و نزدیک مادون قرمز خواهد بود. از محلولهای اسید گرم نیز برای ایجاد خوردگی میتوان استفاده نمود. برای غلاف شیشه ای جذب کننده در متمرکز کننده خطی نیز میتوان خوردگی سطحی را اعمال نمود. شکل ۸-۳۰ ضریب عبور را برای شیشه بورو سیلیکیت که عملیات خوردگی روی آن انجام شده نشان میدهد.



شکل ۸-۳۰: ضریب عبور شیشه ، با رویه ضد بازتاب

۷-۸: اپتیک عدسی فرنل

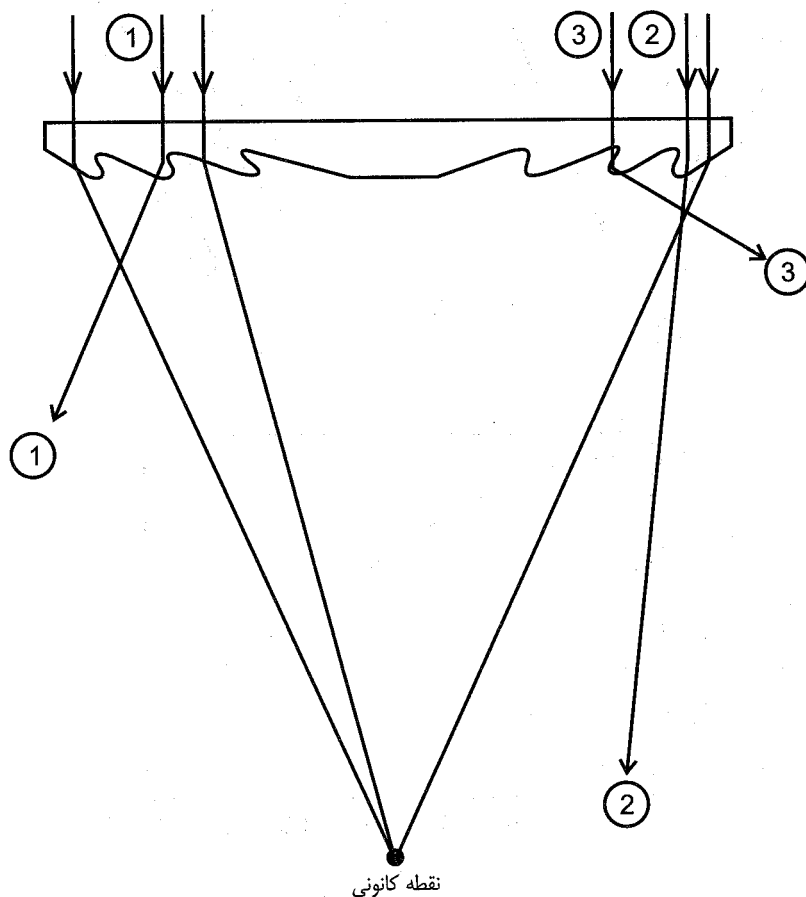
عدسی فرنل در گردآورهای خورشیدی که نور را از طریق شکست متمرکز میکنند، زیاد استفاده میشود. چون عدسی فرنل یک صفحه مسطح شبیه سازی شده به سطوح قوس دار است در نتیجه مواد مصرفی در آن و وزن آن نسبت به یک عدسی با سطوح قوس دار کم است. در نتیجه هزینه آن و افت عبور نور از آن کم است. یک عدسی فرنل ایده آل که امواج را در یک نقطه جمع نموده در شکل ۸-۳۱ نشان داده شده است. عدسی فرنل دارای برشهای سطحی زیاد برای شبیه سازی عدسی محدب است، هر چه تعداد این برشها بیشتر شود شبیه سازی بهتر خواهد بود. یک عدسی فرنل خطی بیش از ۱۰۰۰ برش در سانتیمتر دارد.



شکل ۸-۳۱: عدسی فرنل ایده آل

عوامل زیادی بر بازدهی عدسی فرنل اثر میگذارند. مهمترین این عوامل تیزی لازم برای این برشها است. در هر روش تولید همانطور که در شکل ۸-۳۲ نشان داده شده است، برشها با کمی قوس همراه هستند. هر شعاع (مانند شعاع شماره ۱) که به گوشه برش و یا به قسمت گودی برش (مانند شعاع ۲ و شعاع ۳) برخورد نماید، بر روی گیرنده درست متمرکز نمیشود. این امواج پراکنده موجب کاهش بازدهی عدسی فرنل میشود.

خاصیت دیگری که بازدهی عدسی فرنل را محدود میکند، دی الکتریک و بازتاب داخلی است (بند ۸-۶ ملاحظه میشود). با افزایش زاویه برخورد مقدار نور بازتاب ناشی از دی الکتریک افزایش مییابد. شکل ۸-۲۹ بازتاب نور از فصل مشترک شیشه - هوا را نشان میدهد. ملاحظه میشود که با نزدیک شدن زاویه برخورد به 42° درجه، بازتاب داخلی رخ میدهد. بنابراین عدسی فرنل در برشهای کناری کمتر از برشهای مرکزی تحت بازتاب داخلی قرار میگیرد.

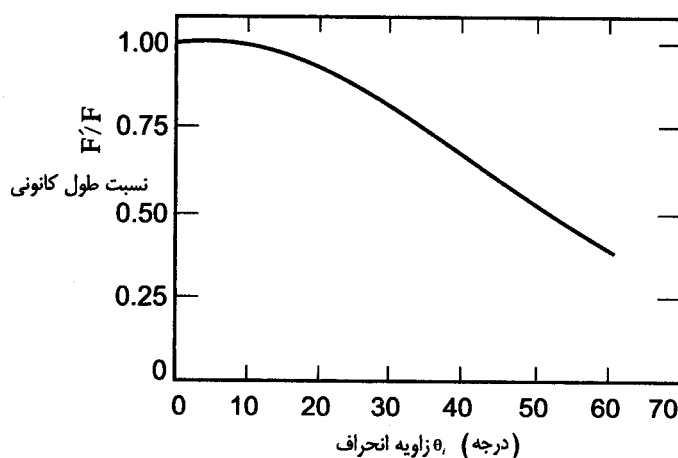
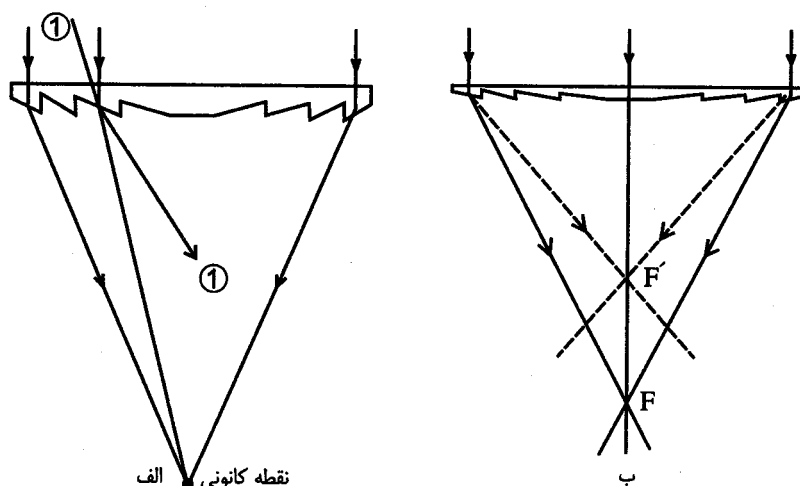


شکل ۸-۳۲: مشگلات تمرکز در عدسی فرنل

مهمترین عامل در محدودیت سیستم های شکست نور نیاز به ردیابی خورشید در دو امتداد است. این مورد برای متمرکز نمودن تصویر بر روی جذب کننده ای که نسبت به عدسی در محل ثابت قرار گرفته لازم است. این مورد برای عدسی های خطی نیز (شکل ۸-۳۳ الف) وجود دارد. با زاویه برخورد مایل در صفحه منحنی مولد، شکست امواج با تغییر تمرکز همراه است. لذا برای عدسی خطی فرنل حداقل ردیابی خورشید در امتداد یک محور لازم است.

یک اثر دقیق دیگر ناشی از شکست، هنگامی رخ میدهد که شعاع تابش نسبت به محور عدسی فرنل انحراف داشته باشد. این مورد در شکل ۸-۳۳ ب نشان داده شده است. نتیجه کلی برای عدسی ایجاد یک خط کانونی در بالای خط کانونی عادی است. برای اینکه تصویر ناشی از شکست نور بر روی گیرنده ای که دارای محل ثابت نسبت به عدسی است، ایجاد شود، لازمست که

دهانه عدسی فرنل (یا هر عدسی دیگر) در امتداد عمود بر تابش قرار گیرد. لازمه اینکار ردیابی خورشید در دو امتداد برای عدسی فرنل است.



شکل ۸-۳۳: برای عدسی فرنل ردیابی در امتداد دو محور لازم است. الف: اثر شعاع برخورد مایل در صفحه منحنی مولد، نسبت به دهانه گردآور؛ ب: اثر شعاع منحرف نسبت محور خطی عدسی. خط پر در صفحه کاغذ قرار دارد (کانون F). خط بریده خارج از صفحه کاغذ قرار دارد (کانون F') ج: تغییر در فاصله کانونی عدسی فرنل خطی، هنگامیکه شعاع برخورد نسبت به محور خطی عدسی انحراف دارد.

۸-۸: نتیجه گیری

نتیجه بررسی هندسه نوری برآئینه های استوانه ای و سهموی نشان میدهد که اپتیک سهموی ساخت سهموی خطی با زاویه بزرگ لبه را که صرفاً نیاز به ردیابی خورشید صرفاً در یک امتداد دارد را میسر مینماید، در حالیکه استوانه خطی با زاویه کوچک لبه نیاز به ردیابی خورشید برای تمرکز نور ندارد. البته ردیابی خورشید در دو امتداد بعثت کاهش اثر کسینوس، موجب افزایش شدت انرژی دریافتی میشود. مقدار این اثر بر روی سیستم های ردیابی در فصل ۴ تعیین شد.

فصل ۹: گردآورهای متمرکز کننده

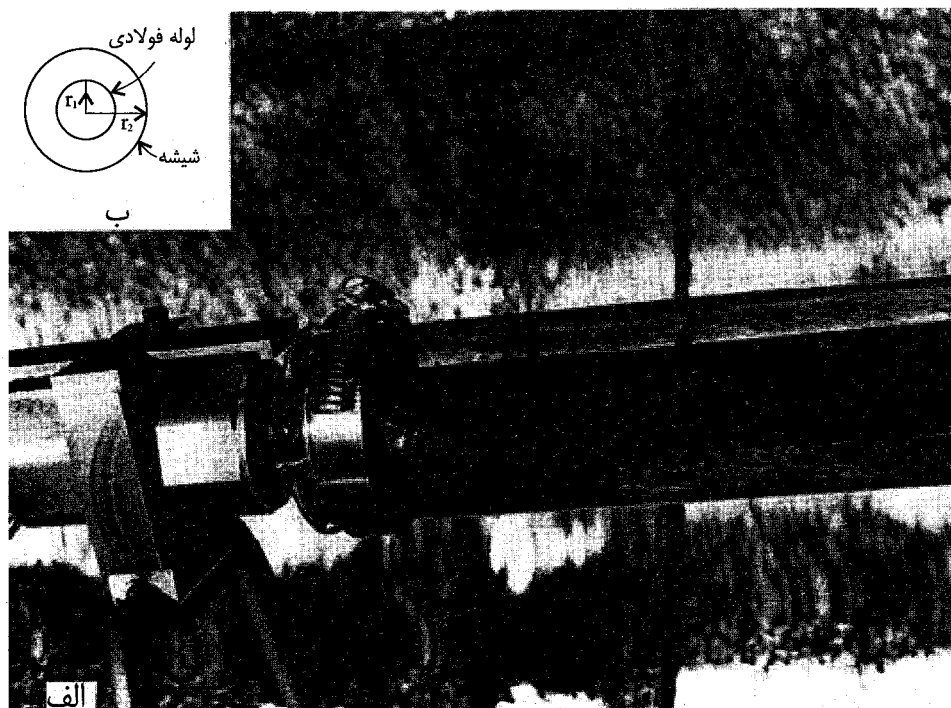
علم نور در مورد یک آئینه سهموی (همانطور که در فصل ۸ ملاحظه شد) بر این اصل استوار است که کلیه امواج موازی محور آن به یک نقطه بازتاب میشوند. بطور کلی یک سهموی خطی با حرکت انتقالی یک سهمی در امتداد عمود بر صفحه منحنی مبدل آن ایجاد میشود، در اثر این انتقال نقطه کانونی تبدیل به خط کانونی میشود. لذا، به این نوع گردآور، سهموی خطی گفته میشود. از طرف دیگر یک سهموی بشقابی از دوران یک سهمی حول محور خود ایجاد میشود، کانون در این حالت بصورت نقطه باقی میماند.

اگر یک جذب کننده در کانون گردآور سهموی نصب شود، نور منعکس شده جذب شده و به گرما (یا مستقیماً به الکتریسیته) تبدیل میشود. این دو عمل اصلی یعنی: بازتاب تابش به یک نقطه یا یک خط، و جذب توسط جذب کننده، فرایندی ایستکه در یک گردآور متمرکز کننده صورت میگیرد. مهندس طراح با دانستن این خصوصیات، گردآور خورشیدی را برای تولید حرارت یا الکتریسیته با بازدهی مطلوب طراحی مینماید. در این فصل اصول نوری و حرارتی که در طراحی گردآور متمرکز کننده موثرند مورد توجه قرار داده و با متمرکز کننده های نمونه از جمله متمرکز کننده سهموی ترکیبی آشنا خواهیم شد. این گردآور متمرکز کننده غیر مصور بوده و نیازی به ردیابی خورشید ندارد. در نهایت بازدهی هریک از انواع گردآورها را مورد توجه قرار داده و مقدار انرژی متوسط روزانه قابل جذب آنها را با هم مقایسه میکنیم.

کار جذب کننده، همانطور که نام آن مشخص است، جذب هر چه بیشتر تابش رسیده به آن و تبدیل آن به انرژی قابل استفاده (معمولاً حرارتی) است. همینکه انرژی به انرژی حرارتی تبدیل شد، این حرارت به سیال مبدل (مایع یا گاز) منتقل شده و توسط آن از جذب کننده برای مصرف منتقل میشود.

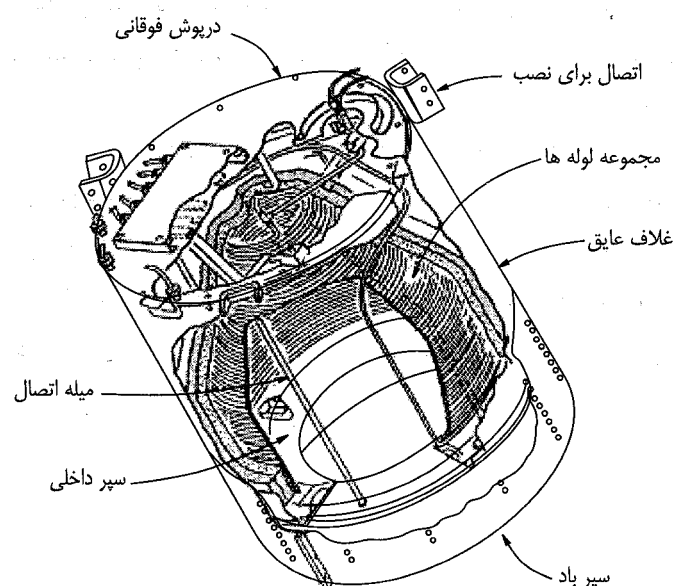
تا کنون آنچه مورد توجه قرار گرفته، در مورد بازتاب کننده تابش خورشید بوده، ولی صحبتی از شکل جذب کننده نشده است. بطور کلی جذب کننده از نظر شکل به دو گروه تقسیم میشوند، که عبارتند از: جذب کننده خطی و جذب کننده با سطح کانونی.

برای هریک از دو گروه فوق یک نمونه که بیشتر متداول است را در اینجا مورد بررسی قرار داده و از بحث از اختلافات جزئی در یک گروه خوداری میشود. این دو نمونه عبارتند از: جذب کننده خطی که بازتاب از کلیه جهت هارا دریافت نموده و جذب کننده با سطح کانونی یا حفره ای. شکل ۹-۱ تصویر یک جذب کننده خطی است، که همراه با آئینه های سهموی خطی استفاده میشود. این جذب کننده از یک لوله فولادی (معمولاً با سطحی با رویه ویژه- فصل ۸ ملاحظه شود) که با یک غلاف شیشه ای برای کاهش افت جابجائی مجهز شده است. این جذب کننده میتواند شعاع نوری را در هر جهتی قبول نماید.



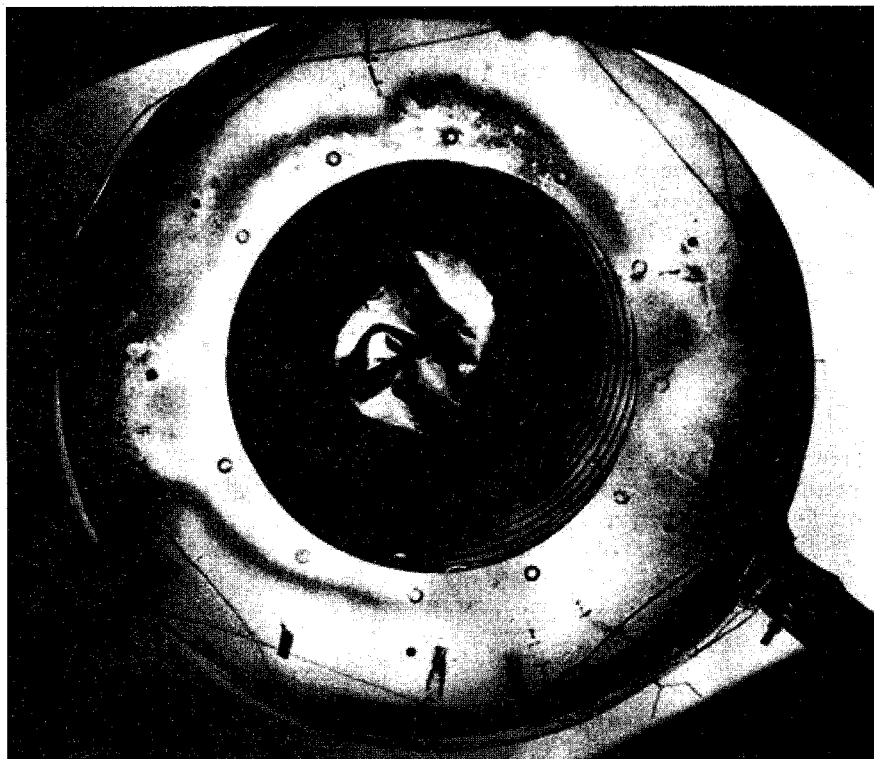
شکل ۹-۱: جذب کننده خطی، الف: جذب کننده خطی با امکان دریافت تابش در کلیه جهات؛ ب: مقطع مجموعه جذب کننده.

شکل ۹-۲ شمای یک جذب کننده حفره ای را نشان میدهد. بدیهی است که امواج در کلیه جهات قابل استفاده نبوده، و صرفاً امواجی که به دهانه ورودی داخل میشوند (درست در مقابل غلاف ورودی برای جذب کننده) توسط دیواره حفره (در این نمونه لوله های مارییچ) قابل جذب هستند.



شکل ۹-۲: جذب کننده حفره ای (سطح کانونی)

معمولاً سطح دهانه حفره نزدیک کانون سهموی و عمود بر محور آن قرار میگیرد. لذا در این حالت جذب کننده را جذب کننده صفحه کانونی میتوان نامید. با وجود آنکه حفره را میتوان بصورت خطی ساخته و با سهموی خطی مورد استفاده قرار داد، ولی معمولاً این نوع جذب کننده با سهموی بشقابی استفاده میشود. شکل ۹-۳: نگاهی به داخل یک جذب کننده حفره ای مانند آنکه در شکل ۹-۲ ترسیم شده میباشد.



شکل ۹-۳: نگاهی به داخل یک جذب کننده حفره ای، مانند آنکه در شکل ۹-۲ ترسیم شده است.

۹-۱-۱: اندازه جذب کننده

جذب کننده های خطی - اندازه مناسب برای این جذب کننده در فصل ۸ ملاحظه شد. قطر لوله جذب کننده معادل Δr مطابق رابطه (۸-۴۴) (مقدار $2r$ در شکل ۹-۱ ب نشان داده شده) است. یک جذب کننده با این اندازه کلیه امواج با مقدار خطای استاتیک در محدوده n را بازتاب مینماید. این رابطه برای سهولت استفاده بصورت زیر ساده شده است.

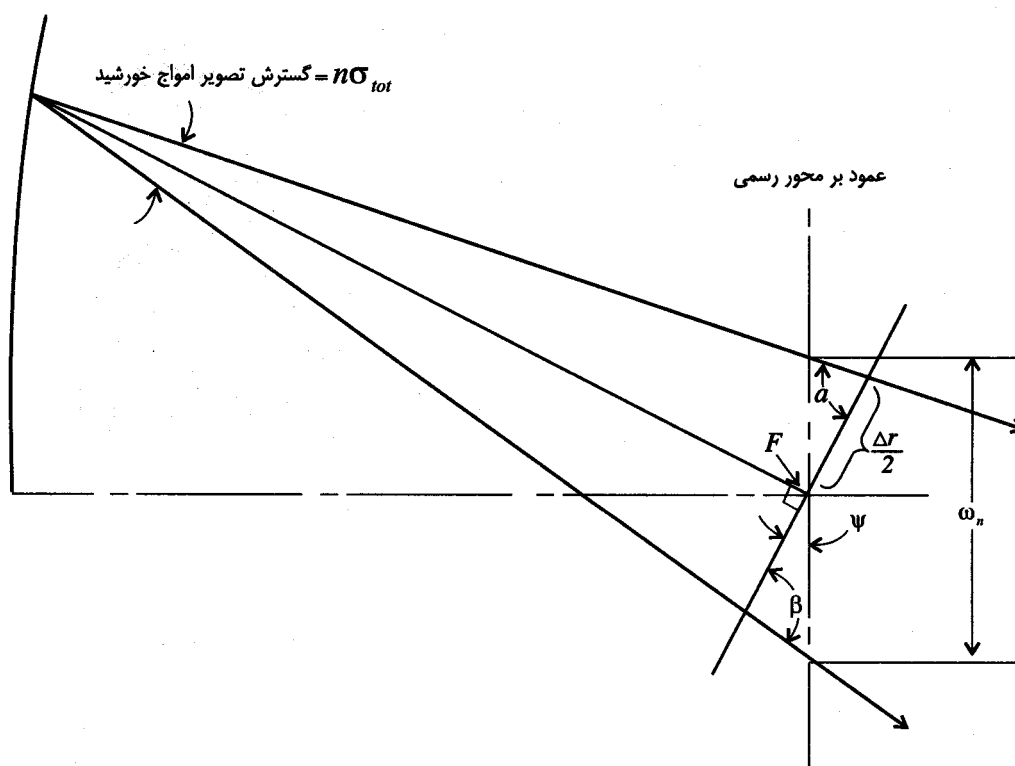
$$\Delta r = 2p \tan\left(n \frac{\sigma_{tot}}{2}\right) \quad (m) \quad (8-44)$$

در این رابطه p شعاع سهموی، n عدد انحراف استاندارد (مثلاً: درصد انرژی بازتاب شده از انرژی برخورد)، و σ_{tot} کل انحراف استاندارد مطابق با آنچه توسط رابطه (۸-۴۳) در بند ۸-۴ نشان داده شد.

بطوریکه در زیر شرح داده خواهد شد، مقدار n (یعنی: عدد انحراف استاندارد از گسترش موج که با جذب کننده ای به اندازه Δr قطع شده) در فرآیند بهینه کردن براساس تعادل انرژی جذب شده و افت حرارت از جذب کننده تعیین شده است. بطور ساده میتوان گفت که، یک جذب کننده بزرگتر امواج بیشتری را از بازتاب خورشید دریافت نموده، ولی حرارت بیشتری را از طریق تابش و رسانائی (هدایت) از دست میدهد.

جذب کننده های حفره ای - اندازه مناسب ورودی حفره (یعنی: دهانه آن) با استفاده از اصول نوری مشابه با آنچه برای بدست آوردن رابطه: (۸-۴۴) بکار گرفته شد و با این تفاوت که تصویر ایجاد شده در سطح کانونی، یعنی محل دهانه جذب کننده تشکیل میشود.

اگر گسترش ناشی از خطا کوچک باشد زوایای α و β (شکل ۹-۴) تقریباً ۹۰ درجه میشوند. در نتیجه عرض تصویر بر روی سطح کانونی عبارتست از:



شکل ۹-۴: اندازه گذاری دهانه حفره با توجه به گسترش شعاع ناشی از خطا

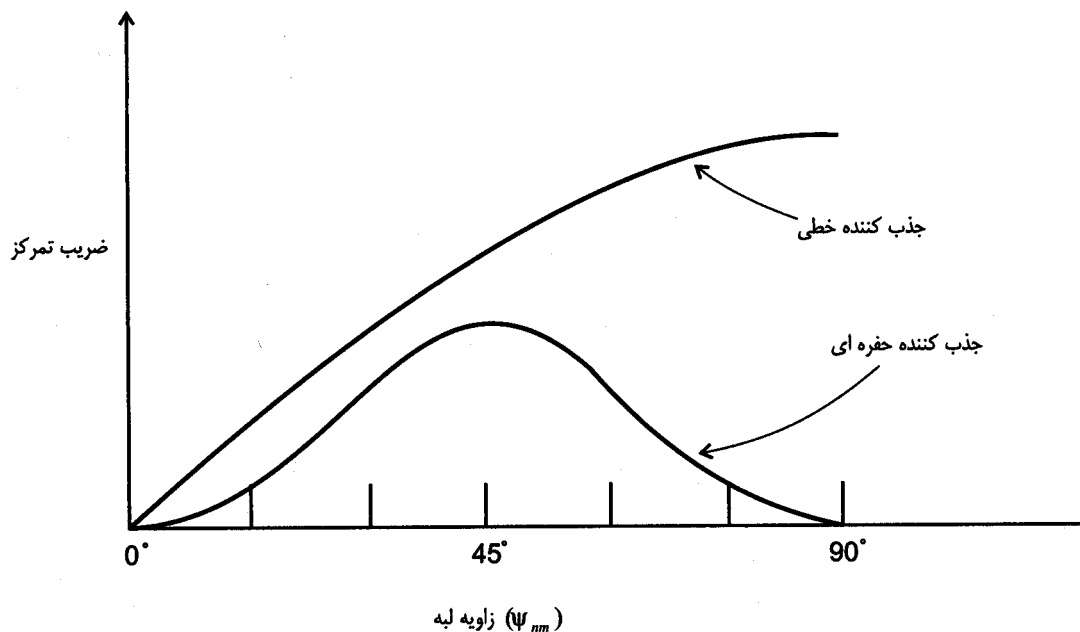
$$w_n = \frac{\Delta r}{\cos \psi} \quad (m) \quad (1-9)$$

با جایگزین کردن این مقدار در رابطه (۸-۴۴) رابطه زیر بدست می‌آید:

$$w_n = \frac{p \tan[n(\sigma_{tot}/2)] \Delta r}{\cos \psi} \quad (m) \quad (2-9)$$

انتخاب زاویه لبه متمرکز کننده - مطالعه اثر نوع متمرکز کننده بر روی زاویه لبه گردآور جالب توجه است. هدف از گردآور متمرکز کننده بازتاب انرژی خورشید به جذب کننده ای با سطح کمینه است، تا افت حرارت حداقل شود.

شکل ۵-۹ نمودار ضریب تمرکز را برای هم جذب کننده حفره و هم جذب کننده خطی بصورت تابعی از زاویه لبه نشان می‌دهد. ضریب تمرکز در هر دو مورد عبارت از سطح دهانه گردآور تقسیم بر سطح تصویر بر جذب کننده بطوریکه در روابط (۸-۴۴) و (۹-۲) نشان داده شده است. در نظر بگیرید که منحنی مربوط به گیرنده در همه جهات، با افزایش زاویه لبه تا ۹۰ درجه، بطور مداوم افزایش می‌یابد، در حالیکه برای جذب کننده با صفحه کانونی، تا زاویه لبه ۴۵ درجه افزایش یافته و سپس با توجه به کسینوس ψ در مخرج کسر در روابط (۹-۱) و (۹-۲) کاهش مینماید.



شکل ۵-۹: تغییرات ضریب تمرکز هندسی با زاویه لبه.

اثر این پدیده آنستکه اکثر متمرکز کننده هائی که دارای جذب کننده در همه جهات هستند دارای زاویه لبه ای نزدیک ۹۰ درجه می‌باشند. از طرف دیگر متمرکز کننده های با جذب کننده سطح کانونی دارای زاویه لبه نزدیک ۴۵ درجه هستند. شکل ۵-۹ نحوه تغییرات را برای هر دو جذب کننده نشان می‌دهد، ولی برای مقایسه اندازه نسبت تمرکز در این دو جذب کننده از این شکل نمیتوان استفاده کرد.

۹-۱-۲: افت حرارتی جذب کننده

جذب کننده خطی در همه جهات - افت حرارت از جذب کننده خطی در همه جهات (شکل ۹-۱) مساوی افت حرارت از سطح خارجی لوله غلاف شیشه ای است. این افت شامل افت جابجائی و افت تابش از غلاف شیشه ای به محیط اطراف است.

$$Q_{loss,g} = h_g A_g (T_g - T_a) + \varepsilon_g \sigma A_g F_{ga} (T_g^4 - T_{sky}^4) \quad (W) \quad (3-9)$$

در این رابطه داریم:

$$h_g = \text{ضریب افت حرارت از سطح خارجی غلاف شیشه ای بر حسب } (W/m^2 \cdot K)$$

$$A_g = \text{مساحت سطح خارجی بر حسب متر مربع } (m^2)$$

$$T_g = \text{درجه حرارت سطح خارجی غلاف شیشه ای بر حسب درجه حرارت کلونین } (K)$$

$$T_a = \text{درجه حرارت محیط بر حسب درجه حرارت کلونین } (K)$$

$$\sigma = \text{مقدار ثابت استفان بولتزمن مساوی } (5.670 \times 10^{-8} W/m^2 K^4)$$

$$\varepsilon_g = \text{ضریب پخش شیشه}$$

$$F_{ga} = \text{ضریب شکل تابش}$$

$$T_{sky} = \text{درجه حرارت آسمان بر حسب } (K) \text{ درجه حرارت کلونین (معمولاً در محاسبات ۶ درجه کمتر از درجه حرارت محیط در نظر گرفته میشود)}$$

اگر مقادیر کلیه متغیرها را بتوان برآورد نمود، افت حرارت از جذب کننده را میتوان محاسبه نمود. متأسفانه این کار را بسادگی نمیتوان انجام داد. درجه حرارت غلاف شیشه ای T_g تابعی از درجه حرارت لوله جذب کننده و متوجه انتقال شار حرارتی بین جذب کننده و غلاف شیشه ای است.

درجه حرارت غلاف شیشه ای با رابطه ساده زیر که در آن افت حرارت (در حالت پایدار) از غلاف شیشه ای از رابطه (۹-۳) با افت حرارت از لوله جذب کننده مساوی قرار داده شده، بدست میآید.

$$\dot{Q}_{loss,t} = \frac{\sigma A_1 (T_t^4 - T_g^4)}{(1/\varepsilon_t) + (A_t/A_g)[(1/\varepsilon_g) - 1]} + \frac{2\pi k_e l_t (T_t - T_g)}{\ln(r_2/r_1)} \quad (W) \quad (9-4)$$

در این رابطه داریم:

$$\varepsilon_t = \text{ضریب گسیل (انتشار) لوله جذب کننده}$$

$$T_t = \text{درجه حرارت سطح لوله گیرنده، بر حسب درجه حرارت کلونین } (K)$$

$$A_t = \text{مساحت سطح لوله جذب کننده، بر حسب متر مربع } (m^2)$$

l_r = طول لوله جذب کننده ، برحسب متر (m)

r_1, r_2 = شکل ۹-۱ ب ملاحظه شود (m)

k_e = ضریب هدایت حرارتی موثر (که شامل جابجائی نیز میشود) در طول لوله های متحدالمحور

$$(W / m \cdot K)$$

مشکل استفاده از رابطه (۹-۴) تخصیص مقداری برای k_e است. بدست آوردن روابط انتقال حرارت از طریق رسانائی و جابجائی از سمت لوله گیرنده به غلاف شیشه ای خارج از محدوده این کتاب میباشد. در صورت نیاز به این مورد از مراجع [۲۸]؛ [۲۹] و [۳۰] این فصل میتوان استفاده نمود.

برای فاصله لوله های متحدالمحور $(r_2 - r_1)$ مساوی ۱ سانتیمتر و عدد ریلی مساوی ۳۰۰۰-۴۰۰۰ مقدار k_e عبارت از $(W / m \cdot K)$ ۰/۰۴۶ است. جدول ۳-۸ مقادیر k_e / k_{air} (ضریب رسانائی هوا k_{air}) را برای مقادیر مختلف عدد ریلی نشان میدهد. درجه حرارت میانگین بین سطح لوله گیرنده و غلاف شیشه ای برای تعیین مقدار k_{air} بکار میرود. در اینجا ذکر این نکته لازمست که اگر لوله های جذب کننده از نوع خلاء شده باشد، در آنصورت جزء دوم سمت راست رابطه (۹-۴) صفر شده و صرفاً افت حرارت بصورت تابش خواهیم داشت.

جدول ۳-۸: تغییرات نسبت ضریب رسانائی فاصله هوایی لوله های متحدالمركز k_e به ضریب رسانائی k_{air} هوا برحسب عدد ریلی

$$Ra \text{ در } Ra = 794/33, k_e / k_{air} = 1.$$

Ra	(k_e/k_{air})	Ra	(k_e/k_{air})
1000	1.01859	10,000	1.62181
2000	1.10965	20,000	1.99668
3000	1.19208	30,000	2.25495
4000	1.27489	40,000	2.45820
5000	1.34809	50,000	2.62840
6000	1.40982	60,000	2.77617
7000	1.46467	70,000	2.90756
8000	1.51655	80,000	3.02640
9000	1.56918	90,000	3.13525
		100,000	3.23594

مقادیر تقریبی مناسب برای ضرایب بکار رفته در روابط (۳-۹) و (۴-۹) عبارتند از:

$$F_{ga} = 1.0, \quad \varepsilon_g = 0.92, \quad \varepsilon_t = 0.20$$

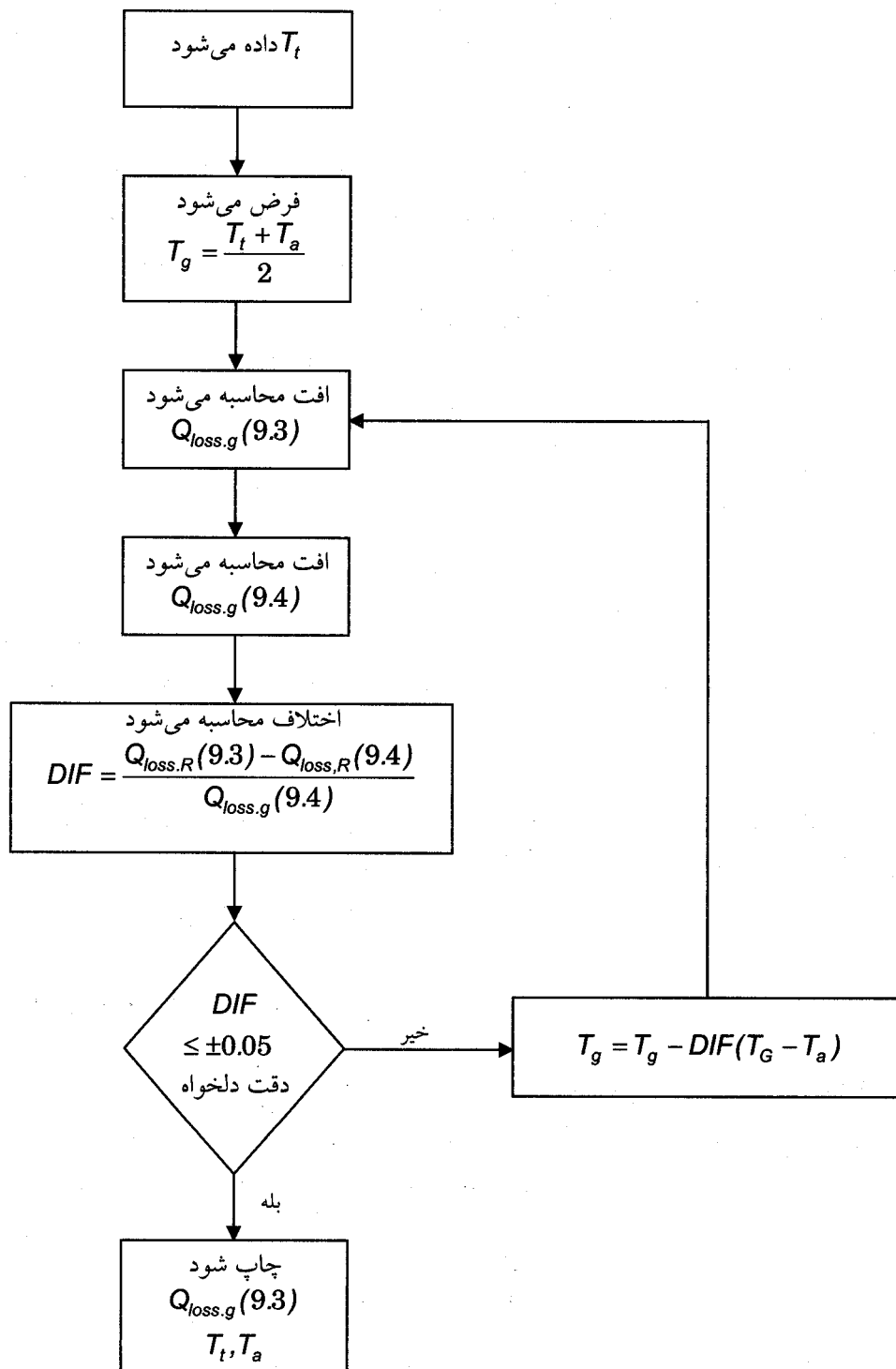
$$h_g = 0.314 \left[\frac{(T_g - T_a)}{2r_2} \right]^{0.27} \quad (W / m^2 \cdot K)$$

در این مقادیر واحد دما درجه حرارت کلوین و واحد r_2 متر است. حل روابط (۳-۹) و (۴-۹) با روش سعی و خطا بکمک کامپیوتر به اجرا در می‌آید. فلوچارت یک برنامه ساده در این مورد در شکل ۶-۹ نشان داده شده است. این برنامه با در نظر گرفتن یک درجه حرارت معین برای جذب کننده شروع می‌شود، و سپس افت حرارت مربوطه حساب می‌شود.

هرچند فرض بر آنستکه درجه حرارت سیال و جذب کننده مساوی است، ولی در حقیقت چنین نبوده و دمای سطح لوله ممکنست به مراتب بالاتر از دمای سیال باشد.

نقطه شروع محاسبه آنستکه دمای غلاف شیشه ای مساوی میانگین دمای جذب کننده و دمای محیط است. افت حرارت با رابطه (۳-۹) محاسبه می‌شود.

سپس از رابطه (۴-۹) افت حرارت از جذب کننده به غلاف شیشه ای محاسبه می‌شود. این افت حرارت باید مساوی افت حرارت از غلاف شیشه ای به محیط در شرایط دائم، یعنی رابطه (۳-۹) باشد. اگر دو مقدار افت حرارت مساوی نباشند، یک دمای جدید برای غلاف شیشه ای مطابق شکل ۶-۹ فرض شده و محاسبات تکرار می‌شود. این تکرار محاسبات آنقدر ادامه می‌یابد تا تفاضل دو افت حرارتی کمتر از مقدار دلخواه (در الگوریتم نشان داده شده در شکل ۶-۹ مقدار ۵٪ در نظر گرفته شده) شود. این روش کلی را برای هر جذب کننده که بصورت روکار و دارای یک غلاف شیشه ای باشد میتوان بکار برد.



شکل ۹-۶: نمودار مراحل منطقی محاسبه افت حرارت از غلاف شیشه ای جذب کننده

جذب کننده های حفره ای - افت حرارت از جذب کننده حفره ای از نوع نشان داده شده در شکل ۹-۲ را میتوان بطور مشابه محاسبه نمود.

جذب کننده حفره ای - افت حرارت از جذب کننده حفره ای نشان داده شده در شکل ۹-۲ نیز بطور مشابه قابل محاسبه است. هدف از استفاده از جذب کننده حفره ای کاهش شار برخورد نموده در یک نقطه با گسترش و همگن نمودن شار بالایی ایجاد شده در دهانه ورودی گیرنده بر روی یک سطح بزرگتر در حفره است. در یک حفره ایده آل که کاملاً عایق شده است، دمای داخلی در حفره همگن بوده و افت حرارت عمدتاً از طریق جابجائی و تابش از دهانه حفره صورت میگیرد. لذا رابطه (۹-۳) برحسب مشخصات حفره نوشته میشود. مثلاً A_g ، تبدیل به A_{cav} سطح دهانه حفره میشود. با باز نویسی رابطه (۹-۳) داریم:

$$\dot{Q}_{loss,cav} = h_{cav} A_{cav} (T_{cav} - T_a) + \varepsilon_{cav} \sigma A_g F_{cav,a} (T_{cav}^4 - T_{sky}^4) \quad (W) \quad (5-9)$$

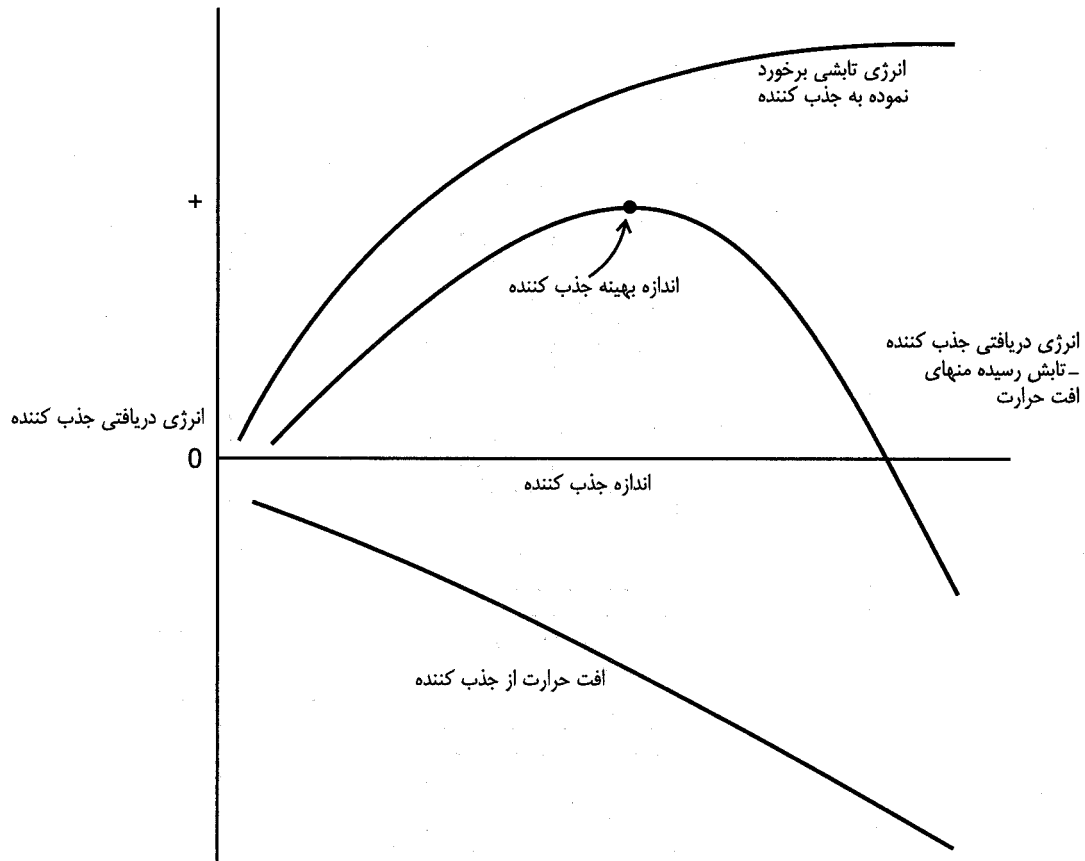
منظور از پسوند "cav"، مشخصات مربوط به حفره است. از آنجائیکه سطح ورودی به حفره در مقایسه با سطح گیرنده در جذب کننده نوع خطی، خیلی میتواند کوچکتر باشد، بنابراین افت حرارت به میزان قابل ملاحظه کاهش مییابد. در محاسبات متعارف، درجه حرارت حفره T_{cav} بطور همگن فرض میشود، و افت حرارت بصورت تابعی از درجه حرارت حفره محاسبه میشود.

استفاده از رابطه (۹-۵) دلالت بر این دارد که افت حرارت از عایق صفر است. در سیستمهای پیچیده جذب کننده از نوع حفره‌ای افت ناشی از هدایت حرارت از جذب کننده و تکیه گاه آن نیز [۳۱] معمولاً محاسبه شده است. مرجع [۱۸]، روشهای پیشرفته محاسباتی در این زمینه را مورد بازبینی قرار داده است.

۹-۱-۳: بهینه سازی اندازه جذب کننده

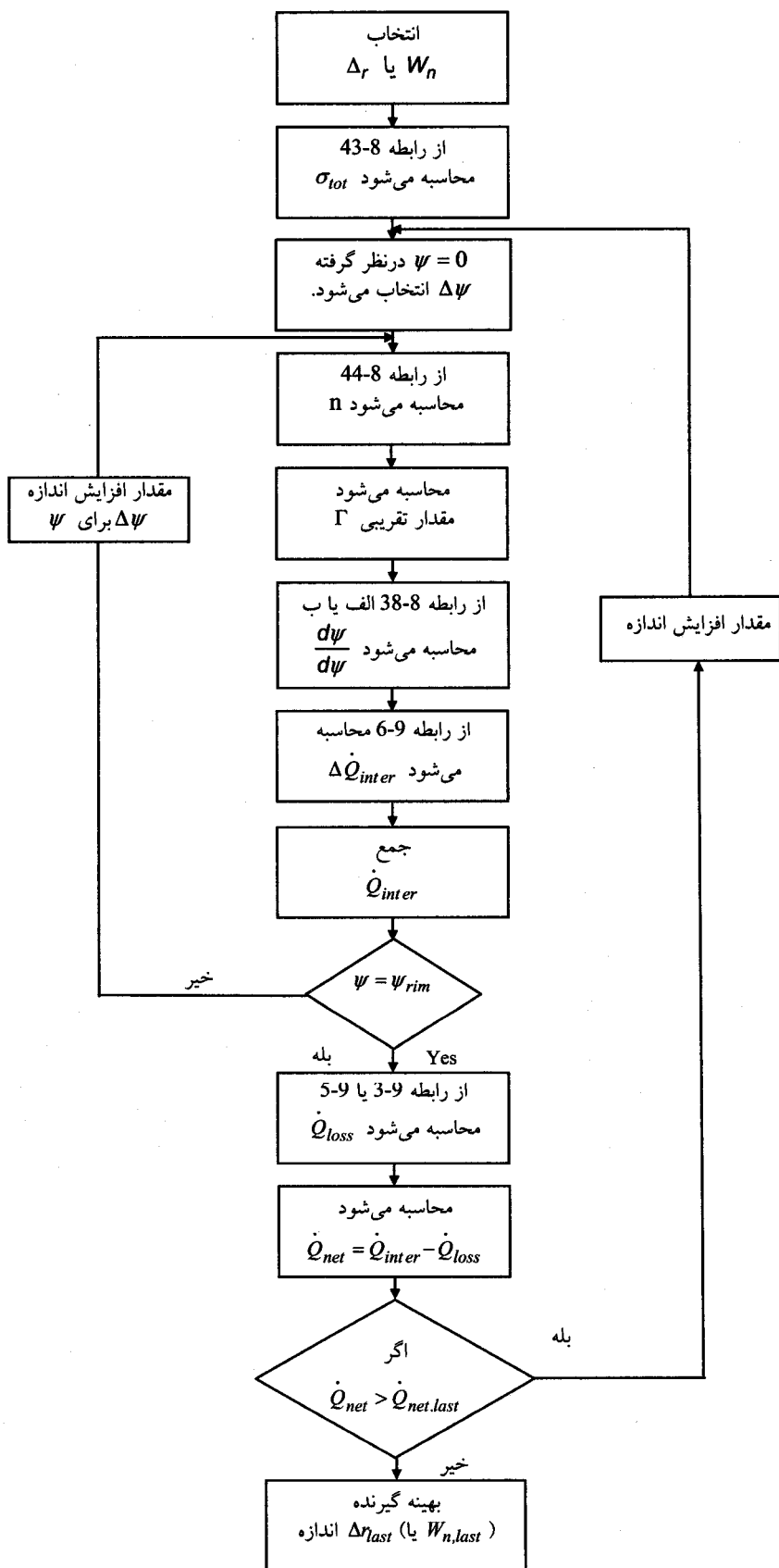
در این قسمت عواملی را که در تعیین اندازه جذب کننده (و در نتیجه در نسبت تمرکز) شرکت دارند مورد توجه قرار میدهم. همانطور که در بخش ۸-۴-۳ گفته شد دانش ما در مورد مقدار خطای یک متمرکز کننده در بصورت آماری است. اگر بخواهیم که درصد معینی از امواج بازتاب شده در محدوده $\Delta\theta$ قرار بگیرد، از رابطه (۸-۴۴) میتوان استفاده نمود. حال ببینیم چه درصد از امواج بازتاب مناسب است، که جذب شود.

بهینه نمودن در شکل ۹-۷ تشریح شده است. با افزایش اندازه جذب کننده، مقدار انرژی برخورد نموده به گردآور افزایش مینماید. در صورتیکه کلیه عوامل دیگر ثابت باقی بمانند، افت حرارت افزایش مینماید. جمع جبری انرژی رسیده به گردآور (مقدار مثبت) و افت حرارت از آن (بصورت مقدار منفی) دارای مقدار ماگزیمم در اندازه بهینه گردآور است. این نقطه بهینه برای اندازه گذاری جذب کننده است. چون افت حرارت تابعی از طرح جذب کننده نیز هست، لذا در اینجا دونوع از مهمترین انواع جذب کننده را برای تعیین نکات مهم طراحی مورد توجه قرار میدهم.



شکل ۹-۷: بهینه نمودن اندازه جذب کننده گردآور

حال که تمام عناصر لازم برای محاسبه اندازه بهینه جذب کننده معین شده است. یکبار دیگر، دو نمونه متعارف یعنی جذب کننده سهموی خطی در شکل ۹-۱ و جذب کننده حفره ای در شکل ۹-۲ که در بالا مورد بحث قرار دادیم در اینجا نیز مورد توجه قرار می‌دهیم. نمودار مراحل منطقی (الگوریتم) برای یک برنامه کامپیوتری که اندازه بهینه را بکمک آن تعیین نماییم در شکل ۹-۸ نشان داده شده است. نظر اصلی محاسبه انرژی رسیده و افت حرارت از جذب کننده های با اندازه های مختلف است. براین اساس منحنی مشابه آنچه در شکل ۹-۷ نشان داده شده با استفاده از نتایج کامپیوتری ترسیم شده و طراح اندازه بهینه را توسط آن تعیین خواهد نمود.



شکل ۹-۸: مراحل منطقی (الگوریتم) تعیین اندازه گیرنده

مراحل منطقی نشان داده شده در شکل ۹-۸ انرژی دریافت شده از یک متمرکز کننده با خطای کل σ_{tot} ، توسط جذب کننده‌ای با ابعاد معین پیش بینی مینماید. سطح آئینه به نوارهای باریک (یا حلقه در مورد سهموی بشقابی) تقسیم شده، و انرژی بازتاب شده توسط یک نوار و جذب شده توسط جذب کننده از رابطه زیر محاسبه میشود:

$$\Delta \dot{Q}_{inter} = \rho_s \alpha \Gamma \left(\frac{d\phi}{d\psi} \right) \Delta \psi \quad (W) \quad (9-6)$$

در این رابطه داریم:

$$\rho_s = \text{بازتاب دقیق سطح آئینه}$$

$$\alpha = \text{ضریب جذب، جذب کننده}$$

$$\Gamma = \text{ضریب دریافت شار}$$

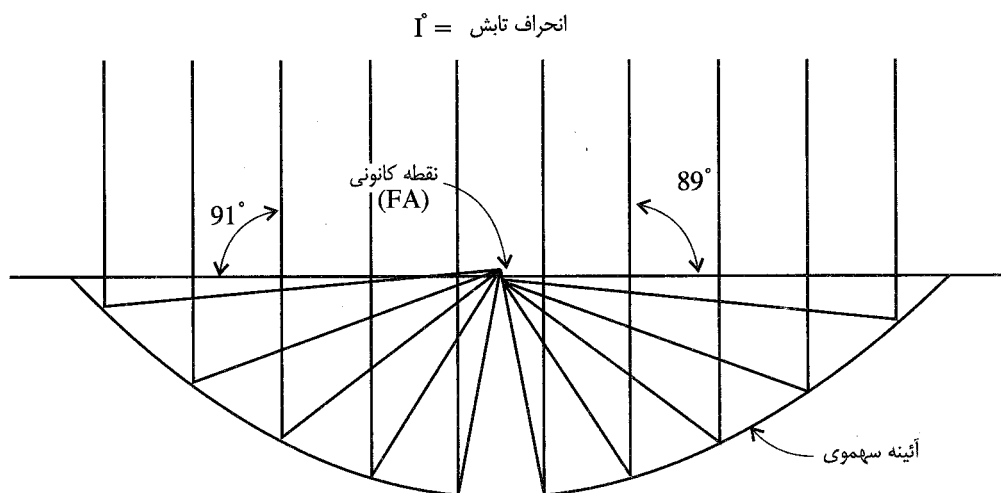
$$\left(\frac{d\phi}{d\psi} \right) = \text{از رابطه : (۸-۳۸ الف) یا (۸-۳۸ ب)}$$

$$\Delta \psi = \text{زاویه مربوط به یک نوار یا حلقه از سهموی}$$

ضریب شار گرفته شده Γ ، بصورت درصد شار بازتاب شده ایستکه جذب کننده ای با عرض Δr (یا قطر دهانه W_n) را قطع مینماید

۹-۲: متمرکز کننده های سهموی ترکیبی

هنگامیکه تابش ورودی به سهموی انحراف دارد (شکل ۸-۱۰) امواج دیگر در یک نقطه متمرکز نشده، بلکه قسمتی در بالا و قسمتی در پایین تر از کانون مطابق شکل ۹-۹ بازتاب میشوند. بطوریکه در شکل نشان داده شده امواج سمت راست در زیر کانون و امواج سمت چپ در بالای کانون بازتاب میشوند. اگر نیمه ای از سهموی که بازتاب نور توسط آن بسمت بالا منحرف میشود در نظر گرفته نشده و بجای آن نیمه ای از سهموی مشابه با آنکه دارای بازتاب در زیر کانون است جانشین شود. در آنصورت متمرکز کننده ای خواهیم داشت که کلیه نور رسیده را در زیر کانون بازتاب مینماید.

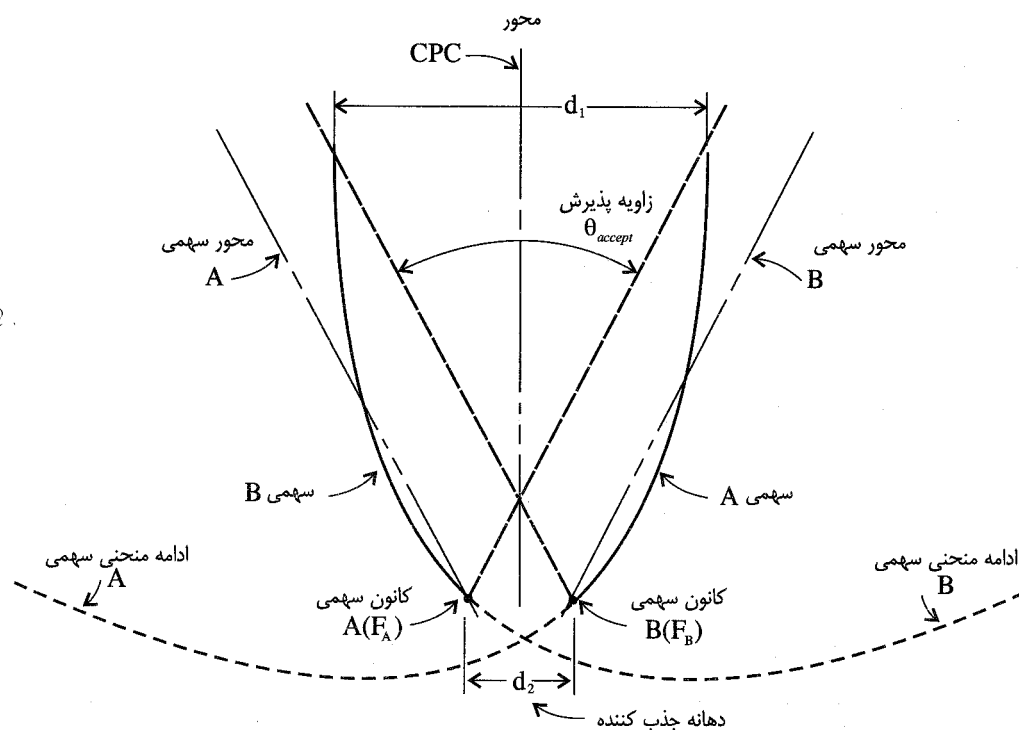


شکل ۹-۹: بازتاب نور خارج از محور توسط آئینه سهموی

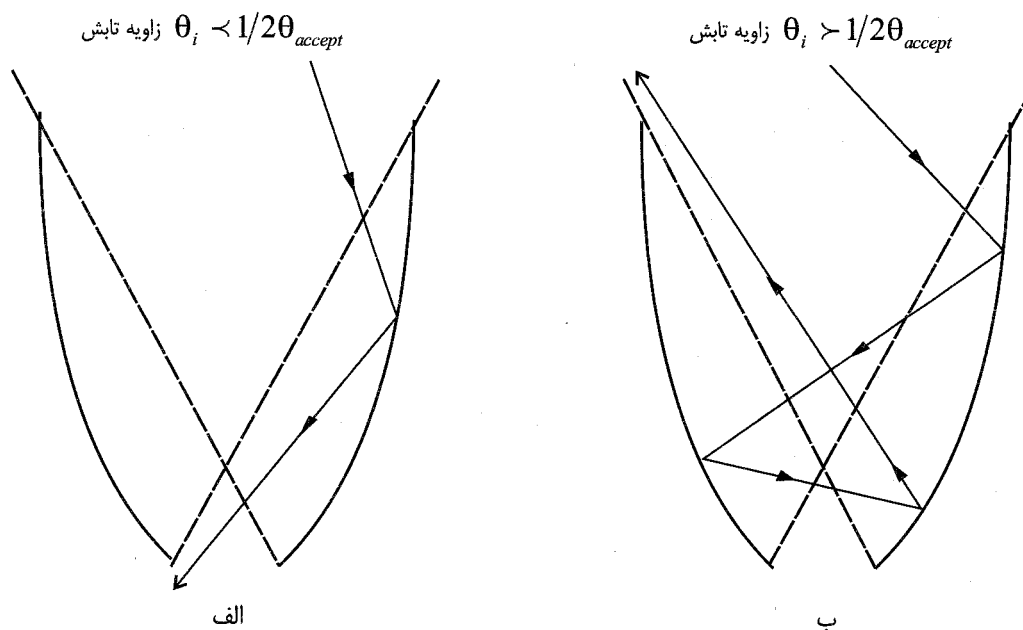
در این گردآور چون امواج دیگر در یک نقطه متمرکز نمی‌شوند، این متمرکز کننده بنام متمرکز کننده غیر مصور نامیده می‌شود. در این حالت جذب کننده در زیر کانون قرار گرفته، و متمرکز کننده ای خواهیم داشت که امواج خورشید در هر زاویه ای ورودی را روی خطی بین دو نقطه کانونی محبوس مینماید. بنابراین جذب کننده میتواند یک صفحه مسطح در بین دو کانون (شکل ۹-۱۰) و یا یک لوله استوانه ای در زیر ناحیه کانونی باشد.

اسم متمرکز کننده های سهموی ترکیبی، ناشی از آنستکه این گردآور از ترکیب دو آئینه سهموی با کانون متفاوت، مطابق آنچه نشان داده شده تشکیل گردیده است. نقطه کانونی سهمی A (F_A) در روی سهمی B و نقطه کانونی سهمی B (F_B) در روی سهمی A قرار دارد. دو سهمی نسبت به محور گردآور ترکیبی با هم قرینه اند.

محور سهمی A نیز در شکل ۹-۱۰ نشان داده شده است، و مطابق تعریف این محور از کانون سهمی A عبور نموده، همینطور محور سهمی B از کانون سهمی B عبور مینماید. زاویه ای که محور های سهمی A و B با هم می‌سازند، زاویه پذیرش گردآور ترکیبی نامیده میشود. امواجی با زاویه برخورد کوچکتر از نصف زاویه پذیرش، به جذب کننده بازتاب میشود (شکل ۹-۱۱ الف ملاحظه شود). امواجی با زاویه ای بزرگتر از نصف زاویه پذیرش (شکل ۹-۱۱ ب) بر روی گیرنده بازتاب نشده و در نهایت از دهانه گردآور خارج میشود.



شکل ۹-۱۰: گردآور متمرکز کننده سهموی ترکیبی



شکل ۹-۱۱: بازتاب نور از متمرکز کننده ترکیبی. الف- زاویه برخورد کوچکتر از نصف زاویه پذیرش؛
ب- زاویه برخورد بزرگتر از نصف زاویه پذیرش.

قابلیت تمرکز گردآور با استفاده از روش ترسیمی نور قابل درک می‌باشد. خروج از محور در مورد سهموی خطی بطور مختصر در فصل ۸ ملاحظه شد. در اینجا برای تشریح قابلیت تمرکز گردآور سهموی ترکیبی به این موضوع بیشتر می‌پردازیم. اگر مطابق شکل ۹-۱۰ امواج موازی محور سهمی A به گردآور ترکیبی برخورد نماید، نور (با صرف نظر از عرض زاویه ای خورشید که معادل 0.5° درجه بوده و همچنین خطای آئینه) کاملاً در نقطه FA کانون سهمی A متمرکز می‌شود. رفتار امواج غیر موازی محور سهمی A در شکل ۹-۹ نشان داده شده است. بطوریکه ملاحظه می‌شود کلیه امواج برخورد نموده به نیمه راست سهمی به نحوی بازتاب می‌شود که در زیر نقطه کانونی بین نقطه کانونی و سطح آئینه سهمی جمع شوند.

اگر نیمه سمت راست سهمی نشان داده شده در شکل ۹-۹ بسمت بالا به اندازه نصف زاویه پذیرش انحراف نماید، برای تعیین محل لازم برای A در شکل ۹-۱۰، موقعیت مانند روش نشان داده شده در شکل ۹-۱۱ الف می‌باشد. یعنی کلیه شعاع‌های خورشید نشان داده شده در شکل ۹-۹ که بطرف سمت راست محور سهمی انحراف دارند، طوری بازتاب می‌شوند که در جزء سهمی در زیر نقطه کانونی بگذرند. بنابراین چنین تابشی وارد گیرنده از گردآور ترکیبی معادل می‌شود.

عکس این حالت، یعنی هنگامیکه زاویه برخورد بزرگتر از زاویه پذیرش است نیز صحیح است. این وضعیت در سمت چپ سهمی در شکل ۹-۹ نشان داده شده است. در این حالت، کلیه شعاع‌های رسیده خورشید به بالای نقطه کانونی سهمی بازتاب شده و مطابق آنچه در شکل ۹-۱۱ ب نشان داده شده، وارد دهانه جذب کننده گردآور ترکیبی معادل نمی‌شود.

در عمل گردآور گردآور ترکیبی طوری نصب می‌شود که گیرنده خطی آن در امتداد شرقی - غربی باشد. دهانه گردآور ترکیبی بسمت جنوب به نحوی شیب داده می‌شود که امواج خورشید در محدوده زاویه پذیرش گردآور ترکیبی قرار گیرد. در صورتیکه حرکت ظاهری خورشید در محدوده زاویه پذیرش گردآور ترکیبی باشد، دهانه گردآور گردآور ترکیبی نیازی به پیگیری خورشید ندارد. معمولاً دهانه گردآور ترکیبی طور ساعتی نیازی به پیگیری خورشید ندارد، زیرا زاویه انحراف خورشید بیش از زاویه پذیرش در طول روز تغییر نمی‌کند. اما زاویه شیب گردآور ترکیبی را میتوان در مواقعی در طول سال با توجه به خروج امتداد تابش خورشید از محدوده زاویه پذیرش تنظیم نمود. رابطه زیر بین نسبت هندسی تمرکز گردآور ترکیبی و زاویه پذیرش برقرار است.

$$CR_g = \frac{1}{\sin\left(\frac{1}{2}\theta_{accept}\right)} \quad (9-7)$$

در این رابطه θ_{accept} زاویه پذیرش گردآور ترکیبی است.

در صورتیکه هدف بالا بردن بازدهی در درجه حرارت بالا بوسیله افزایش نسبت تمرکز گردآور ترکیبی باشد، زاویه پذیرش گردآور ترکیبی باید کاهش یابد. با کاهش زاویه پذیرش نیاز به تعداد تنظیم شیب گردآور ترکیبی در طول سال افزایش می‌یابد. جدول ۹-۱ تعداد تنظیم گردآور گردآور ترکیبی را برای نسبت تمرکزهای مختلف نشان می‌دهد. اثر کسینوس در تنظیم زاویه شیب نشان داده شده در جدول زیر به حساب نیامده است.

جدول ۹-۱: زاویه شیب مورد نیاز برای زوایای پذیرش مختلف برای گردآور ترکیبی

نصف زاویه پذیرش $\theta_{accept} / 2$	متوسط گردآوری در طول سال	تعداد تنظیم در طول سال	کوتاه‌ترین زمان بدون تنظیم	زمان متوسط گردآوری در صورت تنظیم روزانه شیب
درجه	ساعت در روز		روز	ساعت در روز
۱۹/۵	۹/۲۲	۲	۱۸۰	۱۰/۷۲
۱۴	۸/۷۶	۴	۳۵	۱۰/۰۴
۱۱	۸/۶۰	۶	۳۵	۹/۵۲
۹	۸/۳۸	۱۰	۲۴	۹/۰۸
۸	۸/۲۲	۱۴	۱۶	۸/۸۲
۷	۸/۰۴	۲۰	۱۳	۸/۵۴
۶/۵	۷/۹۶	۲۶	۹	۸/۳۶
۶	۷/۷۸	۸۰	۱	۸/۱۸
۵/۵	۷/۶۰	۸۴	۱	۸/۰۰

بازده یک نمونه - بازده گردآور متمرکز کننده ترکیبی با زاویه پذیرش متغیر است. زاویه پذیرش ۱۸۰ درجه معادل یک گردآور مسطح است، و زاویه پذیرش صفر درجه معادل یک متمرکز کننده سهموی است.

مراجع موجود در مورد بازدهی این نوع گردآور بسیار اندک است، با وجود این برای یک نمونه از این گردآور [۳۲] که دارای ضریب تمرکز ۵ و زاویه پذیرش ۱۹ بوده مقدار بازده بصورت رابطه زیر بدست آمده است.

$$\eta_{col} = 0.73 - 0.64 \left(\frac{T_r - T_a}{I_a} \right) \quad (۹-۸)$$

علائم بکار رفته در این رابطه قبلاً در فصل ۵ تعریف شد.

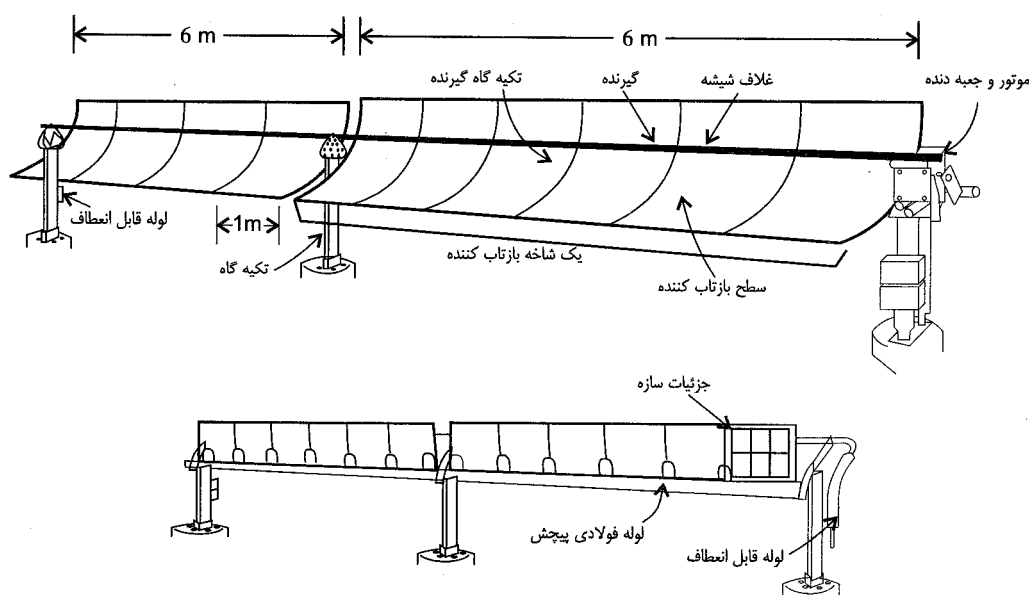
میتوان نشان داد که انرژی تولیدی توسط گردآور ترکیبی مستقیماً بکمک رابطه (۹-۸) با فرض آنکه گردآور ترکیبی خورشید را حول یک محور ردیابی مینماید، اجرائی است. این مورد با استفاده از جدول ۹-۱ برای تنظیم شیب مشهود است.

۹-۳ نمونه سهموی خطی

شاید گردآور سهموی خطی توسعه یافته ترین گردآور در بین گردآورهای متمرکز کننده باشد. زیرا از این گردآور نمونه های زیادی ساخته، و آزمایش شده است. نمونه های پژوهشگاه نیرو، دانشگاه شیراز و... از آن جمله است.

۹-۳-۱: بازده یک نمونه از این گردآور

یک بند حرکت - در شکل ۹-۱۲، اندازه های یک نمونه کلی از گردآور سهموی خطی ملاحظه میشود. از این پس هر تعداد سهموی خطی، شامل بازتاب کننده و گیرنده که توسط یک موتور و جعبه دنده به حرکت در بیایند بنام یک بند حرکت مینامیم. بازتاب کننده سهموی خطی ای که در شکل دیده میشود دارای آئینه هائی به عرض " ۱ " متر و طول دهانه " ۲ " متر میباشد. هر جزء از سهموی خطی دارای شش قطعه بازتاب کننده با زاویه لبه ۹۰ درجه که بر روی لوله فولادی بطول ۶ متر تکیه دارند تشکیل شده است. این لوله توسط موتور و جعبه دنده به حرکت در میآید. البته ابعاد آئینه و طول لوله تکیه گاه و سازه تکیه گاههای زمینی بر حسب انتخاب طراح و با توجه به شدت باد در منطقه، امکانات ساخت و مسائل اقتصادی تغییر مینماید. همانطور که از شکل ۹-۱۲ نتیجه میشود، هر بند حرکتی از ۴ جزء ۶ متری بازتاب کننده تشکیل شده است. بنابراین ۲۴ متر طول دارد. بدیهی است که طراح میتواند ابعاد دیگری را طراحی نماید. مثلاً ممکنست طراح بخواهد طول هر بند حرکتی را افزایش داده و تعداد آئینه بیشتری را با یک موتور و جعبه دنده به حرکت در بیاورد، در آنصورت بار پیچشی بالا رفته و میبایست از موتور و جعبه دنده قوی تری استفاده نمود. بهر حال طراح میتواند طول هر بند حرکتی را کوچکتر و یا بزرگتر از ۲۴ متر انتخاب نماید. تولید کننده های تجاری بند حرکتی آئینه های سهموی خطی بدون اطلاع از بار پیچشی وارد بر هر بند (بعلت عدم آگاهی از آنکه در هر بند چند جزء نصب میشود) گاهی مبادرت به ساخت این سیستم نموده اند.



شکل ۹-۱۲: یک بند حرکتی سیستم سهموی خطی

بند تغییرات دما - تعداد بند حرکتی متصل بهم در هر مزرعه خورشیدی براساس درجه حرارت نهائی مورد نیاز سیال مبدل تعیین میشود. این سری از بند حرکتی که بهم متصل میشوند، بنام بند تغییرات دما نامیده میشود. بنابراین طول مناسب این بند بستگی به انتخاب مناسب سیال مبدل نیز دارد.

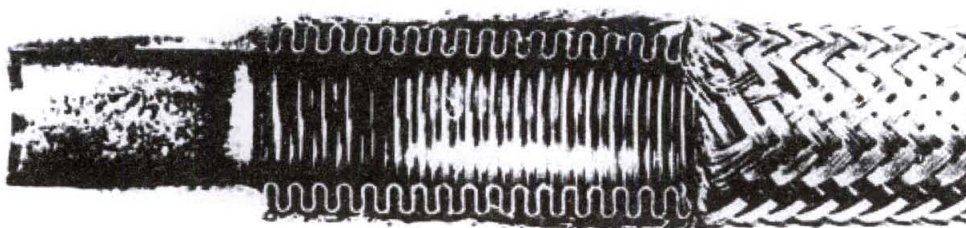
افزایش دمای سیال مبدل درواحد طول گردآور سهموی خطی بستگی به سیال مبدل و طرح گردآور دارد. این افزایش حرارت در واحد طول جزء مشخصه های گردآور بوده و بوسیله سازنده آن تعریف میشود. یک افزایش درجه حرارت معقول برای سهموی خطی مشابه آنچه در شکل ۹-۱۲ نشان داده شده بین ۱ تا ۲ درجه سانتیگراد در هر متر طول گردآور برای سیال مبدل روغن است. در طراحی مزرعه خورشیدی برای شهر یزد [۷] روغن دیوترم بعنوان سیال مبدل انتخاب گردید.

گیرنده - لوله جذب کننده در سهموی نمونه (شکل ۹-۱) از جنس فولاد با غلاف شیشه ای برای جلوگیری از افت حرارت جابجائی است. این لوله دارای قطر خارجی ۳۱/۵۷ میلیمتر بوده تا در عین گرفتن قسمت اعظم بازتاب نور دارای افت کمی باشد (بعبارت دیگر قطر بهینه باشد). لوله مزبور با لایه ویژه ای از کرم سیاه پوشیده شده تا از افت حرارت زیاد در درجه حرارت بالا جلوگیری شود. برای جلوگیری از ورود گرد و خاک به داخل و همچنین جلوگیری از افت حرارت از انتهای فاصله دو لوله گیرنده و غلاف آن از حلقه لاستیکی استفاده شده است، البته در شکل ۹-۱ دیده نمیشود. از یک باند فلزی (یک گیره که معمولاً برای محکم کردن شیلنگ بکار میرود و در شکل دیده میشود) برای جلوگیری از رسیدن نور متمرکز شده به حلقه لاستیکی (نور شدید عمر حلقه لاستیکی را کاهش میدهد) استفاده شده است، که در شکل نیز ملاحظه میشود.

قسمتی از مکانیزم تکیه گاه انتهای محور که در شکل ۹-۱۲ نشان داده شده در شکل ۹-۱ نیز قابل ملاحظه است. این تکیه گاه امکان انبساط جذب کننده را با افزایش دمای آن از درجه حرارت محیط تا درجه حرارت هنگام کار آنرا فراهم میآورد. حلقه لاستیکی نیز که فاصله موجود بین لوله جذب کننده و غلاف شیشه ای را درزبندی میکند، نیز امکان حرکت نسبی بین لوله جذب کننده و غلاف شیشه ای را میسر مینماید. بعلت تفاوت انبساط لوله فولادی و غلاف شیشه ای امکان چنین حرکتی بین آن دو لازم است.

در این نمونه هوای فاصله میانی بین لوله فولادی و غلاف شیشه ای تخلیه نشده است، که البته اگر بشود افت حرارتی کاهش مییابد. طراح باید بهینه را از جهت فنی و اقتصادی توجیح کند. بعبارت دیگر منافع حاصل از افزایش بازده بیش از هزینه خلاء شدن فاصله میانی جذب کننده و غلاف، و افزایش شکندگی آن شود. در صورتی که بتوان فاصله میانی جذب کننده و غلاف را تا ۱/۰ پاسکال که بسیار مشکل است، خلاء نمود بازده بین ۵ الی ۱۰ درصد افزایش مینماید.

در نمونه فوق شیشه از جنس آلکالی بورو سیلیکیت که بعنوان غلاف استفاده شده دارای پوشش ضد بازتاب بوده است. این پوشش ضد بازتاب مشابه روشی که در فصل ۸ گفته شد توسط خراشهای سطحی بوجود آمده است. چون گیرنده با پیش بینی انبساط در نظر گرفته شده است، در ابتدا و انتهای آن از لوله های قابل انعطاف مطابق شکل ۹-۱۳ استفاده شده است. بطوریکه در شکل ملاحظه میشود لوله قابل انعطاف فلزی آکوردئونی با پوشش بافته شده حصیری شکل فلزی، برای حفاظت آنست.

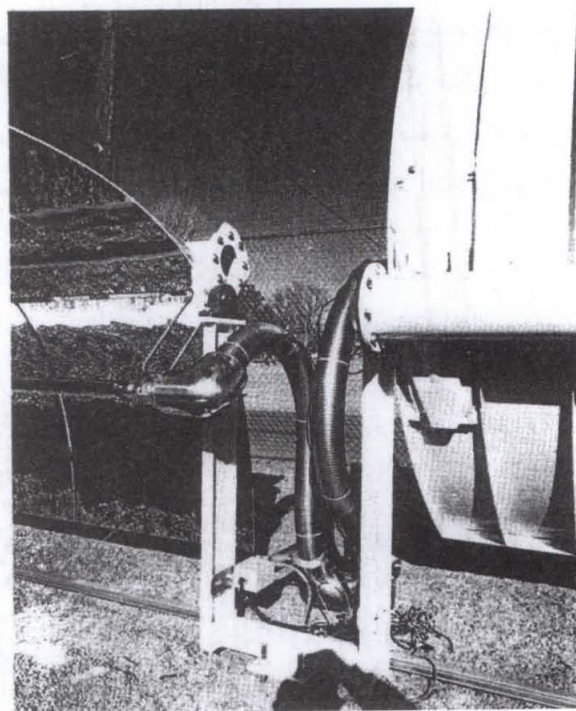


شکل ۹-۱۳ : سازه لوله قابل انعطاف فلزی حفاظت شده

در شکل ۹-۱۴ یک بند تغییرات دما بطول ۱۰۰ متر که از چهار بند حرکتی تشکیل شده نشان داده شده است. در انتهای هر بند حرکتی یک لوله انعطاف وجود دارد. استفاده از لوله انعطاف (شکل ۹-۱۵) برای استقلال حرکت هر بند حرکتی است، تا لزومی به همزمانی موتور یک بند حرکتی با بند حرکتی مجاور آن نباشد.



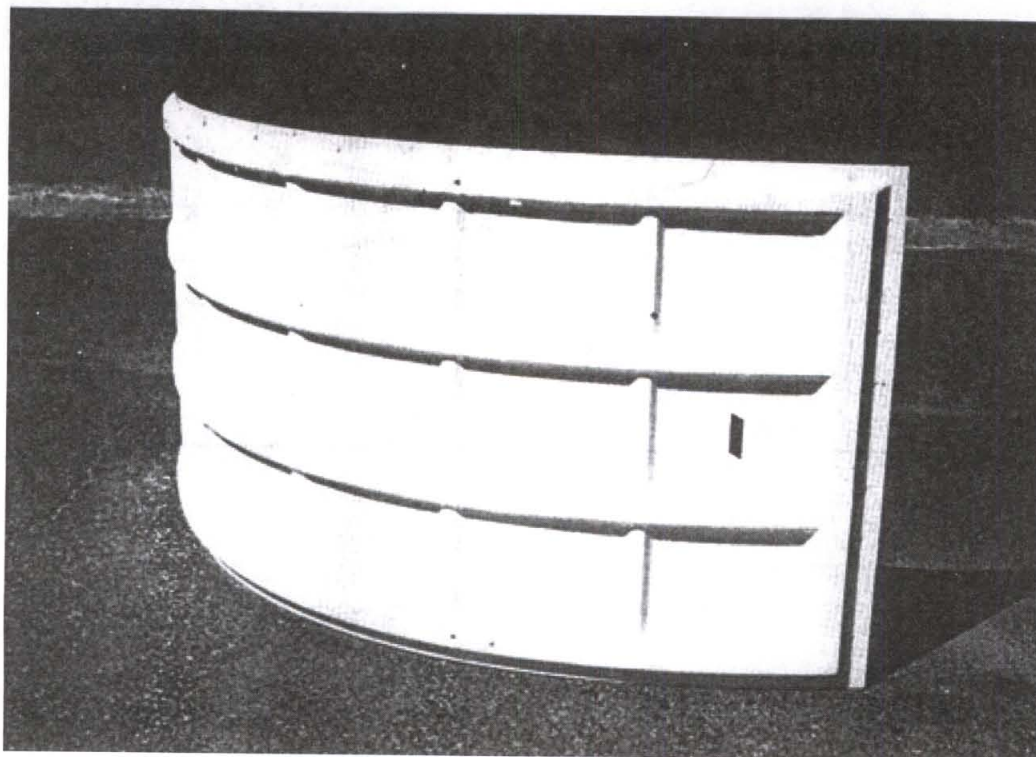
شکل ۹-۱۴: تصویر یک بند تغییرات دما که از چند بند حرکتی تشکیل شده است، متعلق به نیروگاه خورشیدی شیراز.



شکل ۹-۱۵: استفاده از لوله های انعطاف پذیر فلزی برای مستقل نمودن هر بند حرکتی از بند مجاور آن است.

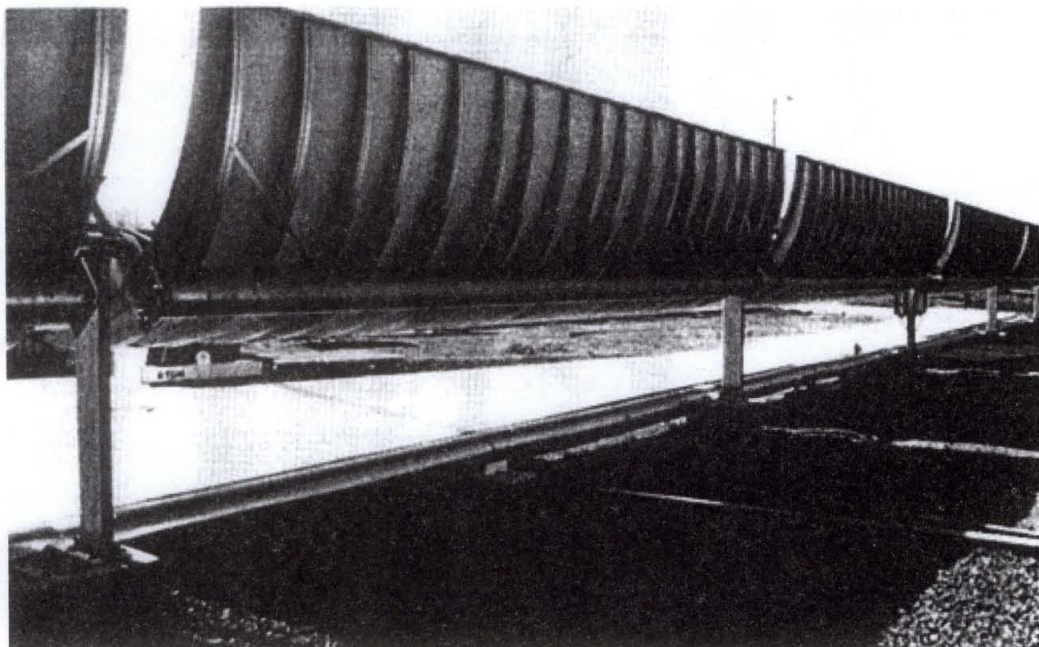
ردیابی خورشید- هر بند تغییرات دما دارای یک مکانیزم کنترل و ردیابی است. یک سیستم کنترل مرکزی در مزرعه شرایط کلی مزرعه را تعیین نموده و سپس زاویه ردیابی لحظه ای همانطور که در فصل ۴ ملاحظه شد، برای سهموی خطی تعیین میشود و این اطلاعات را با بند تغییرات دما مبادله مینماید. میکرو کامپیوتر وابسته به هر بند از اطلاعات دریافتی از حس کننده‌های الکتریکی سوار شده بر روی جذب کننده آن برای تنظیم دقیق آن استفاده مینماید. حس کننده ها از سیمهای نیکل نصب شده در طرفین لوله جذب کننده تشکیل شده است. نور بازتاب شده سیمهای نیکل را گرم کرده، و مقاومت آنها را تغییر میدهد. تفاوت در مقاومت دو سیم برای تنظیم دقیق ردیابی خورشید استفاده میشود. با تنظیم دقیق، نور بازتاب شده به دو سیم یکسان شده و تفاوت مقاومت دوسیم به سمت صفر میل میکند.

بازتاب کننده ها - شاید مهمترین جزء گردآور سهموی خطی صفحه بازتاب کننده (شکل ۹-۱۲) آن باشد. آنچه این جزء را بهینه میکند ساخت آن به نحوی است که دارای انحنای مناسب و بازتاب سطحی بالا باشد. یکی از انواع طراحی صفحه بازتاب کننده در شکل ۹-۱۶ نشان داده شده است. در روش ساخت این صفحه از تولید انبوه توسط صفحات تقویت شده فلزی، ریخته‌گری شده استفاده گردیده است، تا تکیه گاه محکمی برای سطوح آئینه های سهموی فراهم شود. این سطوح فلزی امروزه با مقدار خطای ناچیز (کمتر از $2/5$ میلی رادیان) ساخته میشوند.



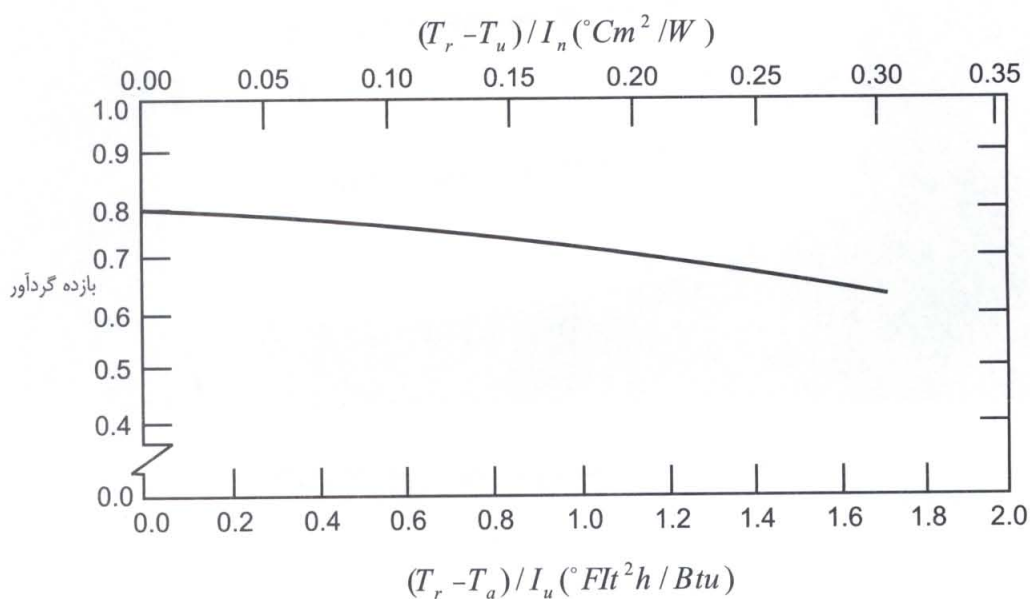
شکل ۹-۱۶ : سازه سطوح سهموی فلزی ریخته گری شده.

شکل ۹-۱۷ تکیه گاه آئینه ها را نشان میدهد. این نوع تکیه گاه از جهت سادگی و استحکام سازه دارای اهمیت است.



شکل ۹-۱۷: سهموی خطی با سازه ریخته گری از نوع دنده‌ای

بازده: بازده یک سهموی خطی نمونه در شکل ۹-۱۸ نشان داده شده است. از آنجائیکه سهموی خطی در محدوده وسیعی از دما استفاده میشود، بازده سهموی خطی بصورت یک منحنی است. بازده های نشان داده شده در شکل ۹-۱۸ مقادیر آزمایشی است.



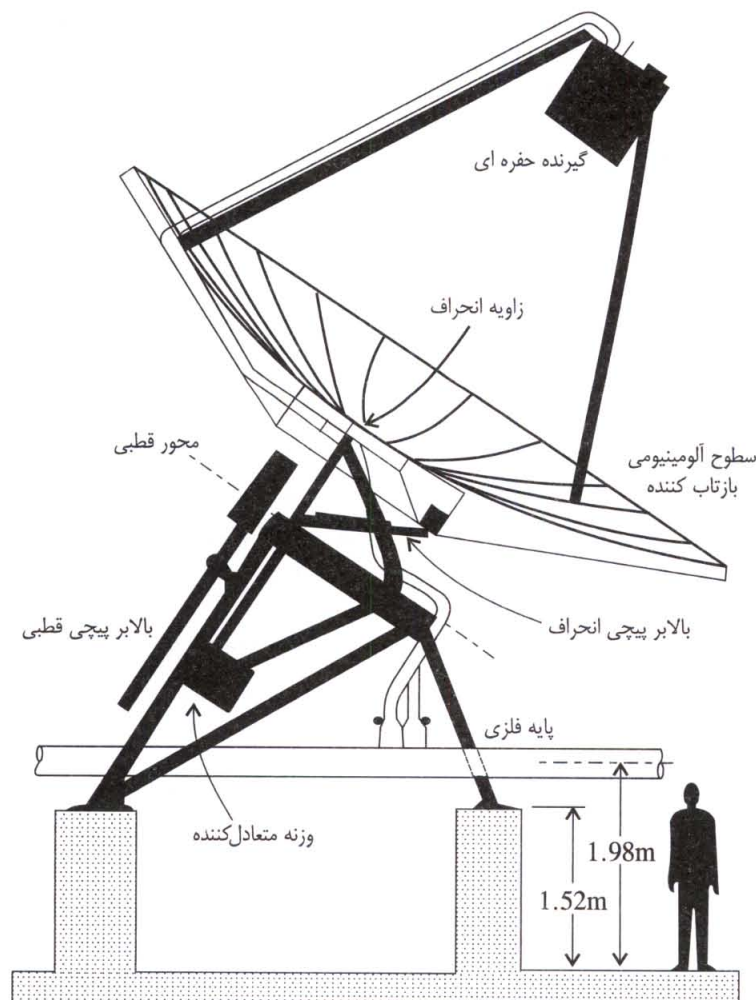
شکل ۹-۱۸: بازده سهموی نمونه

۹-۴: نمونه های سهموی بشقابی

سهموی های بشقابی در مقایسه با سهموی خطی توسعه کمتری پیدا کرده اند. در این قسمت دو نمونه سهموی بشقابی دیده میشود، که هر دو از طرح های اولیه این نوع گردآور خورشیدی است.

۹-۴-۱: سهموی بشقابی نوع اول

در یک نمونه از این گردآور که برای سیستم دو منظوره بکار رفته، سیال انتقال حرارت روغن سیلیکون بوده، که از دمای ورودی 260°C به دمای خروجی 400°C میرسیده است. طرح این سهموی بشقابی در شکل ۹-۱۹ نشان داده شده است. این سهموی توسط شرکت جنرال الکتریک طرح شده است. سطح بازتاب کننده آن به قطر ۷ متر است. این بشقاب از ۲۱ قطعه سطح آلومینیومی که در یکطرف شفاف هستند تشکیل شده است. هر یک از این سطوح بازتاب کننده به اسکلت فلزی در محل پیش بینی شده توسط پیچ ومهره متصل میشود. بدیهی است که در طراحی بازتاب کننده، اسکلت فلزی و تکیه گاههای بتونی باید شدت جریان باد در محل پروژه (با توجه به ابعاد سطح بازتاب کننده) مورد توجه (توسط: مهندس سازه) قرار گیرد.



شکل ۹-۱۹: یک نمونه سهموی بشقابی که دمای سیال ورودی 260°C درجه سانتیگراد و دمای سیال خروجی 400°C درجه سانتیگراد بوده است.

بطوریکه در شکل ملاحظه میشود. محور مرکزی اسکلت فلزی بشقاب (اسکلت توازن) در نقطه تنظیم زاویه انحراف با یک وزنه بتونی برای تنظیم توازن مجهز شده است. این مجموعه بر روی اسکلت فلزی واسطه قرار گرفته تا امکان تنظیم اسکلت فلزی واسطه بر روی اسکلت فلزی تکیه گاه وجود داشته باشد. اسکلت فلزی تکیه گاه بر روی سه تکیه گاه بتونی با پیچ و مهره نصب شده است.

ردیابی و کنترل - حرکت " اسکلت فلزی واسطه" حول محور قطبی توسط دوران دو بالابر پیچی که نیروی محرکه موتور هر یک به قدرت ۷۵ وات (۱/۱۰ اسب بخار) بوده، بطور سری و با سرعت ۱۵ درجه در ساعت کار میکنند، به اجرا در می‌آید. بالابر پیچی سوم به بشقاب طوری متصل شده که امکان تغییر زاویه انحراف بشقاب را فراهم می‌آورد.

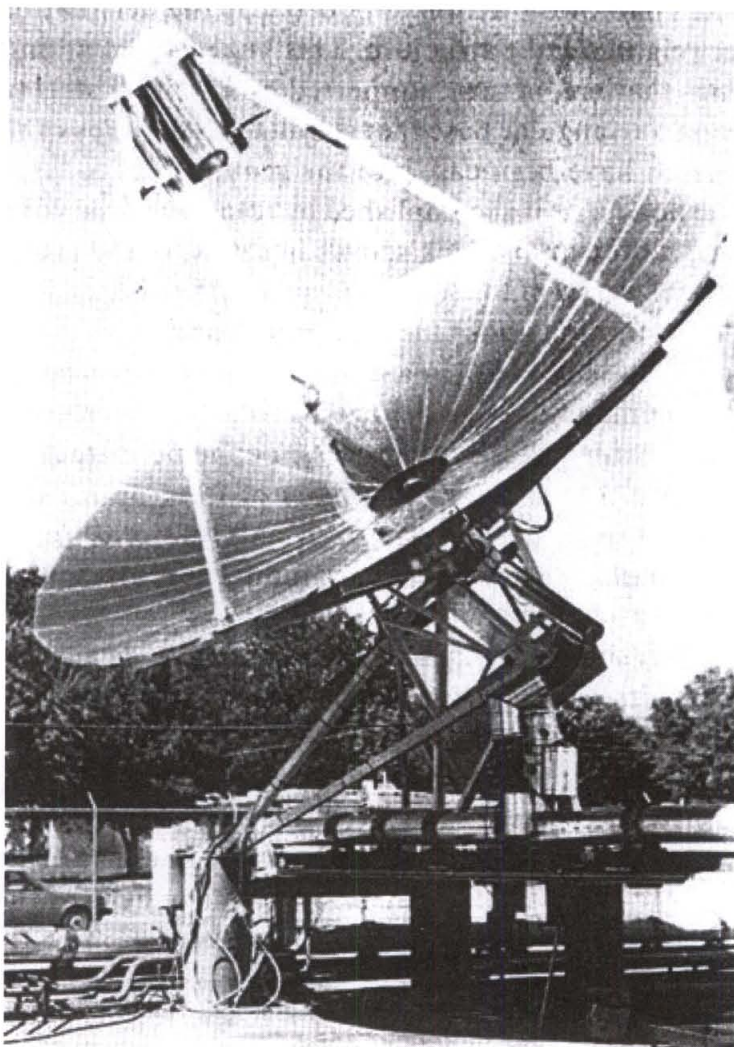
یک واحد میکرو پروسور که بر روی متمرکز کننده نصب شده دستورات ردیابی خورشید و حفاظت (مثلاً : دستور دوران بشقاب هنگامیکه سرعت باد زیاد باشد و یا دمای گردآور بیش از دمای طراحی باشد) را تامین مینماید. تغییر زاویه ای بزرگ و لحظه ای مورد نیاز توسط میکرو پروسور انجام میشود. ردیابی دقیق خورشید با صفر کردن جریان خروجی از یک جفت سلول الکتریکی که بر روی دهانه جذب کننده نصب میشود، تامین میگردد. برای دوران حول هر محور یک جفت سلول نصب میشود. حرکت دورانی مرحله ای معادل ۱۷/۵ میلی رادیان (یک درجه) از احتمال اشتباه میکرو پروسور که ممکنست بعلت بازتاب های خارجی رخ دهد جلوگیری مینماید.

جذب کننده - جذب کننده حفره ای که برای گرم کردن سیال مبدل طراحی شده در شکل ۹-۲ و ۹-۳ ملاحظه میشود. لوله ورودی و خروجی سیال مبدل در طول تکیه گاههای گیرنده هدایت شده اند. دو سری لوله انعطاف پذیر برای پاسخگوئی به تغییرات حرکت سهموی بشقابی نسبت به خطوط ثابت انتقال سیال مبدل لازم است.

یک لوله انعطاف پذیر امکان حرکت حول زاویه انحراف را فراهم آورده و لوله انعطاف پذیر دیگر ردیابی روزانه خورشید حول محور قطبی را برای گردآور امکان پذیر میکند. لوله های انعطاف مشابه آنستکه در تصویر ۹-۱۳ نشان داده شد.

بطوریکه از شکل ۹-۲ ملاحظه میشود، جذب کننده از یک محفظه استوانه ای تشکیل شده که عایق شده و در داخل آن لوله حاوی سیال مبدل عبور مینماید. نور بازتاب شده از دهانه حفره جذب کننده وارد شده و به لوله های حاوی سیال مبدل برخورد نموده و بصورت حرارت جذب میشود. اگر قسمتی از نور در دفعه اول جذب نشود، بعد از بازتاب مجدداً به لوله های مبدل برخورد نموده و جذب میشود. بطوریکه اگر ضریب جذب ۶۰ درصد هم باشد، معادل ۹۴ درصد انرژی بعد از ۳ بار بازتاب توسط گیرنده در داخل حفره جذب میشود.

در شکل ۲۰-۹، گردآور سهموی بشقابی نمونه ملاحظه میشود. بازده این نمونه گردآور ۶۱ درصد گزارش شده است، در حالیکه دمای سیال ورودی به آن C ۲۶۰° و دمای خروجی از آن C ۴۰۰° میباشد.

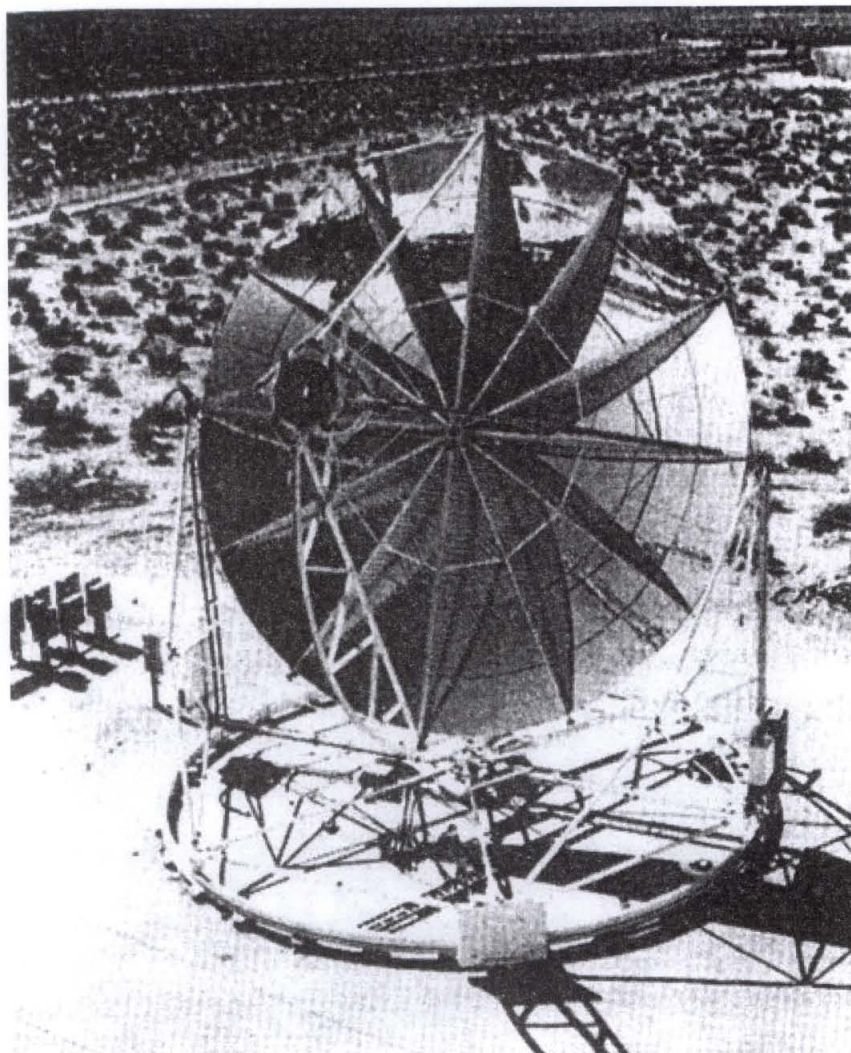


۲۰-۹: عکس سهموی بشقابی نمونه از نوع یک

۲-۴-۹: گردآور سهموی بشقابی نوع ۲

این نمونه در شکل ۲۱-۹ نشان داده شده است. سیستم تبدیل انرژی که در 400°C کار میکند برق یک مجموعه ساختمانی کوچک را تأمین مینماید.

در این نمونه بازتاب کننده از ۱۲ قطعه فایبر گلاس تشکیل شده است. هریک از قطعات یک برش از سطح سهموی به قطر دهانه ۱۲ متر را تشکیل میدهد. سطوح فایبرگلاس با ریخته شدن بر روی سطح قالب سهموی ساخته شده اند. استفاده از سازه سبک به علت بزرگ بودن ابعاد سهموی از جمله دهانه بازتاب کننده (قطر ۱۲ متر) است. بر روی هر قطعه فایبرگلاس برای بازتاب نور یک لایه پولی استر آلومینیوم داده شده است. تکیه گاه این سطوح فایبرگلاس یک اسکلت فلزی سبک بوده، که صفحات به آن پیچ میشود. بدیهی است که ابعاد این نوع گردآور بشقابی نسبت به گردآور نوع ۱ کاملاً بزرگتر است.



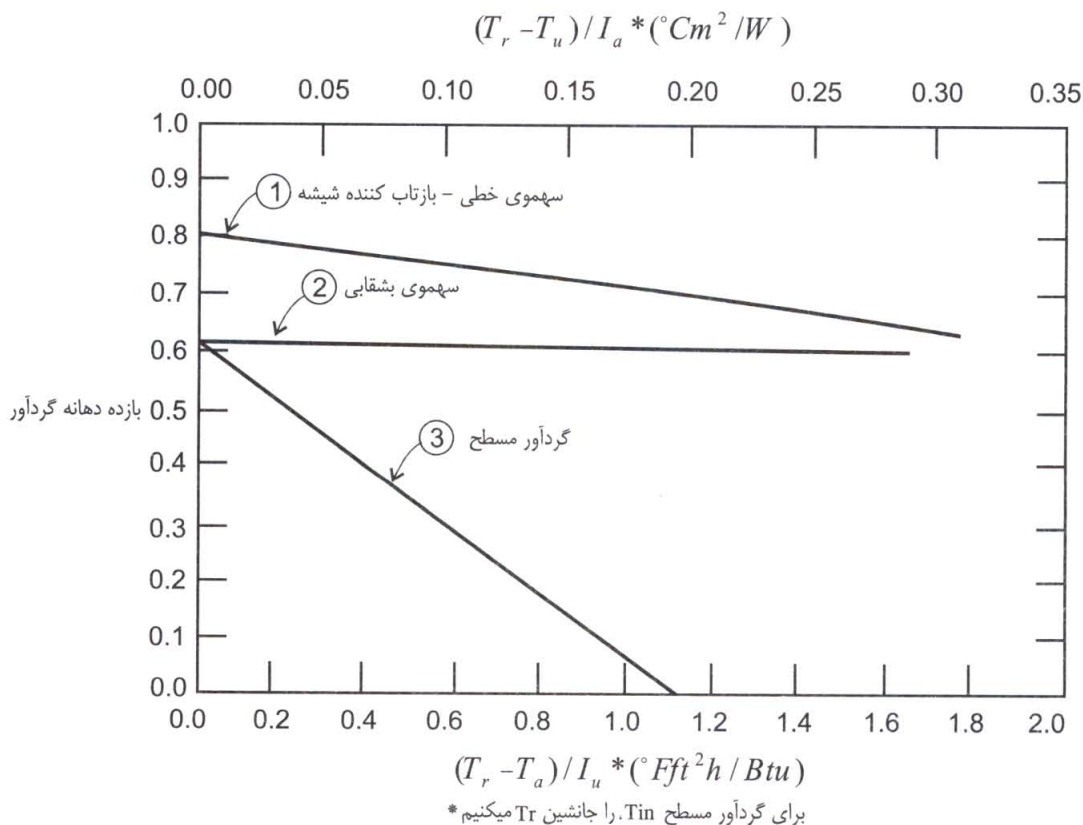
۹-۲۱: گردآور سهموی بشقابی نوع ۲

اسکلت فلزی به نحوی طراحی شده که گردآور قادر به ردیابی خورشید با تغییر زاویه فراز و زاویه سمت است. بشقاب به یک خرپای نیمه دایره تکیه دارد. پاشنه این خرپا بر روی یک مسیر دایروی میتواند حرکت کرده و زاویه سمت گردآور را تغییر دهد. خرپا از یکطرف به گردآور و از طرف دیگر به وزنه تعادل متصل است. سهموی، خرپا و پاشنه ها بر روی اسکلتی قرار دارند که امکان گردش بر روی یک چرخ را دارد. این چرخ بر روی تکیه گاههای بتنی قرار دارد. جذب کننده به سه بازو و یک خرپا تکیه دارد.

ردیابی و کنترل - خرپا توسط یک سیستم کابل و غلطک بر روی چرخ میتواند دوران نماید، و تغییر در زاویه سمت را تامین نماید. طراحی مفهومی سیستم کنترل گردآور سهموی نوع ۲ مشابه سیستم کنترل نوع ۱ است. با استفاده از محاسبه کامپیوتری و سلولهای نوری متصل به جذب کننده ردیابی دقیق خورشید امکان پذیر است. این سلولها بر روی دهانه جذب کننده نصب شده و اطلاعات لازم را به سیستم ردیابی میدهد، تا نور بازتاب را در مرکز سطح حفره گیرنده قرار دهد.

در کانون مجموعه جذب کننده و سیکل ترکیبی تبدیل قدرت رانکین قرار دارد. گیرنده مانند یک دیگ یک لوله ای با گرمایش مستقیم و با سیال تولوئن در فشار فوق بحرانی کار میکند. حفره از پوسته مسی که به آن لوله های فولادی عبور سیال به آن جوش داده شده، و سطح خارجی آن برنگ سیاه درآمده است. این حفره با مواد نسوز عایق شده، و به اتصالات نگهداری وزن آن و یک پوسته خارجی مجهز شده است. صفحه دهانه برای انتقال حرارت بالا از مس ساخته شده تا انتقال حرارت از لبه آن بخوبی صورت گیرد.

مقایسه بازده - در شکل ۹-۲۲ بازده گردآورهای سهموی بشقابی و سهموی خطی با بازده گردآور مسطح مقایسه شده است. این منحنی ها اثر درجه حرارت کار و شدت تابش خورشید را بر روی بازده گردآور نشان میدهد. نکته قابل توجه بازده نسبتاً پائین گردآور سهموی بشقابی نمونه درمقایسه با مقدار نشان داده شده در شکل ۵-۸ است. این مورد بعلت استفاده از لایه پلاستیکی خاص استفاده شده جهت بازتاب بر روی بشقاب بوده است. در سهموی شکل ۵-۸ از آئینه شیشه ای با بازتابی بهتر استفاده شده است.



شکل ۹-۲۲: مقایسه مقادیر $\Delta T / I$ اندازه گیری شده برای گردآور سهموی خطی و بشقابی با بازده گردآور مسطح.

۹-۵: نکات دیگر در مورد گردآورهای متمرکز کننده

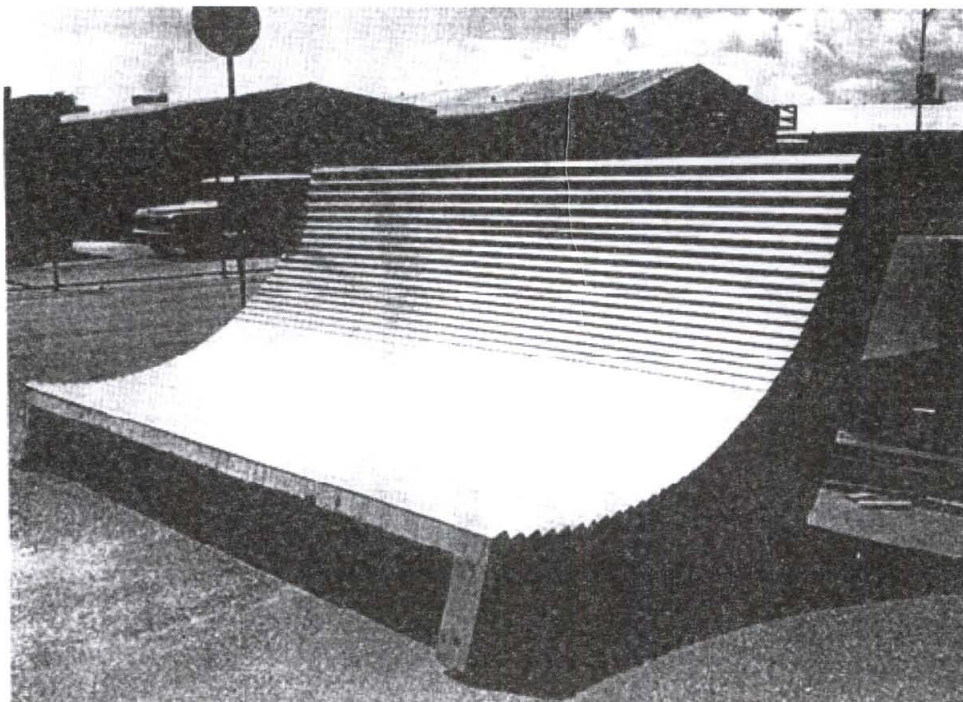
گردآورهای متمرکز کننده زیادی وجود دارند که از یک بازتاب کننده ساده سهموی استفاده نمیکنند. در این موارد هدف آنست که گردآور نیاز به حرکت بازتاب کننده یا جذب کننده نداشته باشد. کلیه گردآورهایی که در این بند مورد توجه قرار خواهیم داد، گردآورهایی هستند که دارای بازتاب کننده ثابت اند. باوجود این بعضی از این متمرکز کننده های با دهانه ثابت ممکنست بطور فصلی و یا بطور متوالی تنظیم شوند (مانند آنچه در مورد متمرکز کننده ترکیبی ملاحظه شود)، ولی بطور کلی دهانه گردآور ثابت بوده و حرکت خورشید را ردیابی نمی نماید.

کلیه متمرکز کننده های با دهانه ثابت، بغیر از یکی از آنها (متمرکز کننده سهموی ترکیبی) صرفاً تابش مستقیم را متمرکز میکنند. در نتیجه تابش پراکنده اثر چندانی در بازدهی این نوع گردآورها ندارد

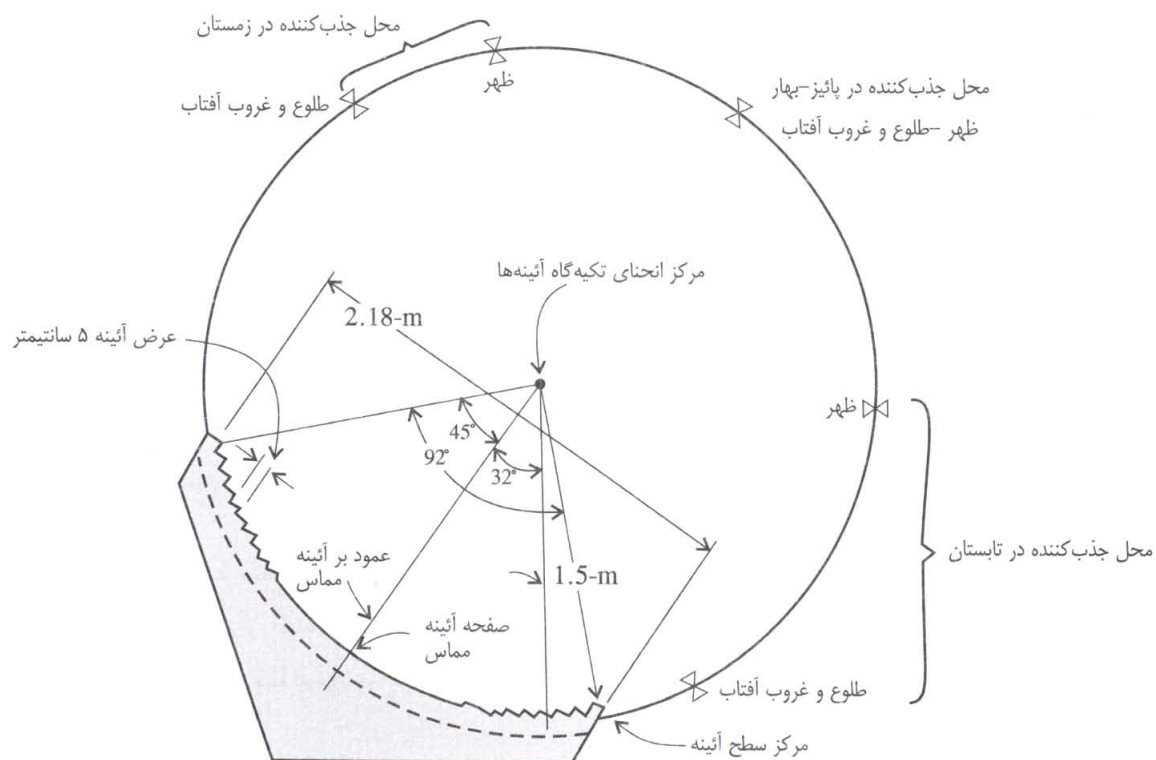
از دو عامل اصلی تمرکز نور (که عبارتند از: شکست و بازتاب) تنها از بازتاب در متمرکز کننده های نوع دهانه ثابت استفاده میشود. نتایج حاصل با خطای زیاد حاصل از خروج از محور سطوح شفاف همراه است. معمولاً لenzها وقتی استفاده میشوند که سیستم ردیابی حول دو محور (فصل ۸ ملاحظه شود) تامین شده است.

۹-۵-۱: گردآور با آئینه ثابت

گردآور با آئینه ثابت به متمرکز کننده هایی که دارای دهانه ثابت اند (شکل ۹-۲۳)، گفته میشود. تابش مستقیم خورشید بر نوارهای ثابت آئینه در دهانه گردآور بر روی یک گیرنده خطی بازتاب میشود. نوارهای آئینه در این گردآور یک خط متمرکز نور ایجاد مینماید، این خط با حرکت خورشید در طول یک مسیر دایروی حرکت میکند. این آئینه ها بر روی یک سطح استوانه ای مشابه شکل ۹-۲۴ نصب میشوند. خط کانونی این نوارها بر روی محور استوانه قرار دارد. جذب کننده در طول این محور قرار گرفته و شعاعهای بازتاب را دریافت میکند. محل جذب کننده در زمانهای مختلف در طول سال در شکل ۹-۲۴ نشان داده شده است.

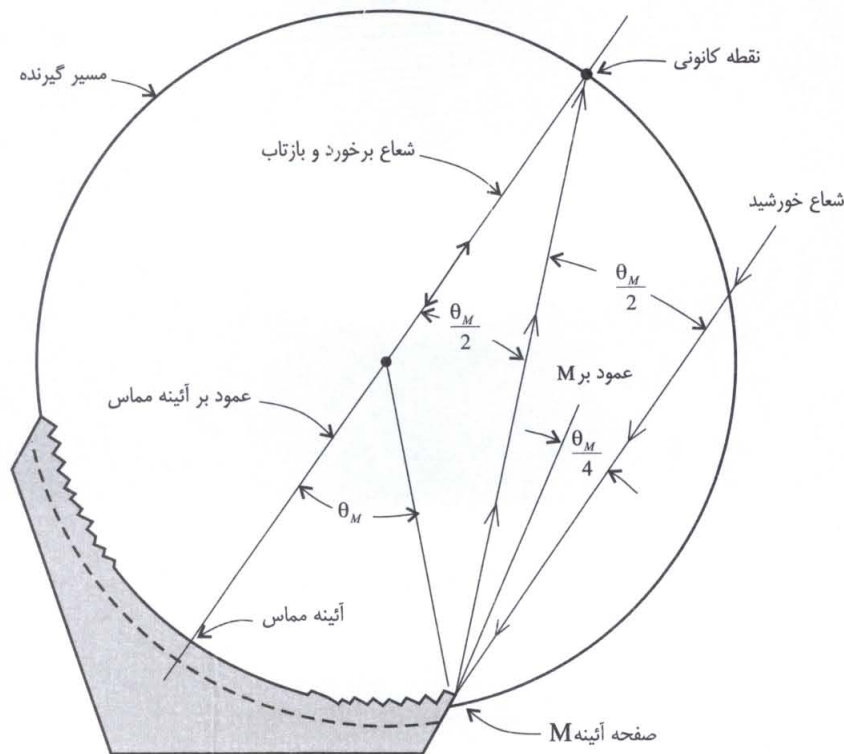


شکل ۹-۲۳: گردآور خورشیدی با آئینه ثابت قبل از نصب گیرنده



شکل ۹-۲۴: گردآور با آئینه ثابت در حالیکه محل قرار گیری روزانه و سالیانه جذب‌کننده در آن نشان داده شده است.

عمود بر سطح آئینه مماس (شکل ۹-۲۴) از مرکز انحنای (محور دوران جذب کننده) تکیه گاه آئینه ها میگذرد. امتداد عمود بر هر آئینه دیگر به فاصله زاویه ای آن از آئینه مماس بستگی دارد. بطوریکه در شکل ۹-۲۵ نشان داده شده است، زاویه ای که عمود بر سطح هر آئینه M با عمود بر آئینه مماس میسازد، مساوی $\theta_M/4$ ، در حالیکه θ_M فاصله زاویه ای دو آئینه است.



۹-۲۵: تعیین شیب صفحه هر قطعه از آئینه برای یک گردآور متمرکز کننده از نوع آئینه ثابت

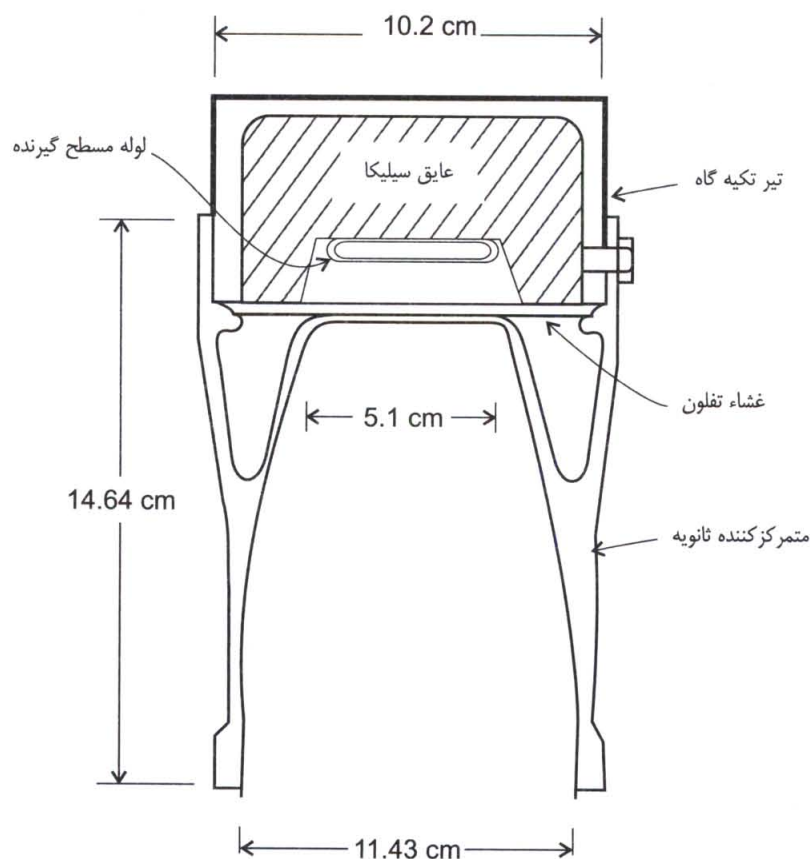
برای شناخت این روابط زاویه ای، وضعیتی را در نظر میگیریم که شعاع تابش، در صفحه منحنی مولد و موازی خط عمود بر سطح آئینه مماس است. این شعاع خورشید در شکل ۹-۲۵ نشان داده شده است. نور تابیده شده بر صفحه آئینه مماس در امتداد شعاع تابش بازتاب شده و از مرکز انحناء (یعنی: زاویه برخورد بر صفحه آئینه مماس صفر است) میگذرد. آئینه ای که در محل M قرار گرفته باید به نحوی قرار گیرد که شعاع بازتاب از نقطه کانونی نشان داده شده بگذرد. اگر فاصله زاویه ای بین عمود بر سطح آئینه مماس و آئینه M مساوی θ_M باشد، فاصله زاویه ای بین شعاع بازتاب از آئینه مماس (و یا از شعاع عمود بر آئینه مماس) و شعاع بازتاب از آئینه M مساوی $\theta_M/2$ است.

از رابطه ای که بین زاویای خط متقاطع با خطوط موازی وجود دارد (دو زاویه متبادل داخلی با هم مساویند)، زاویه بین شعاع تابش خورشید و شعاع بازتاب از آئینه M نیز مساوی $\theta_M/2$ است. اما، چون زاویه تابش و زاویه بازتاب با هم مساویند، بنابراین زاویه بین شعاع تابش و خط عمود بر آئینه M مساوی نصف مقدار: $\theta_M/4$ و یا مساوی $\theta_M/2$ است.

بطور کلی، صفحه آئینه مماس برای یک گردآور متمرکز کننده با آئینه ثابت که در امتداد شرقی - غربی واقع شده است، طوری قرار میگیرد که عمود بر آئینه موازی تابش عمود خورشید در ظهر در اول بهار و پاییز (یعنی عمود بر صفحه آئینه مماس نسبت به خط عمود بر افق شیبی معادل زاویه عرض جغرافیائی میسازد) است.

اگر گردآور در امتداد شمال - جنوب قرار گیرد، بطور افقی در روی زمین قرار گرفته بطوریکه عمود بر صفحه آئینه مماس، عمود بر افق نیز باشد تا مقدار بازده در صبح و بعد از ظهر متقارن باشد. این نوع گردآور هنگامیکه در امتداد شمال - جنوب قرار میگیرد به ندرت بسمت جنوب شیب داده میشود زیرا هزینه ایجاد تکیه گاه در اینصورت زیاد خواهد شد.

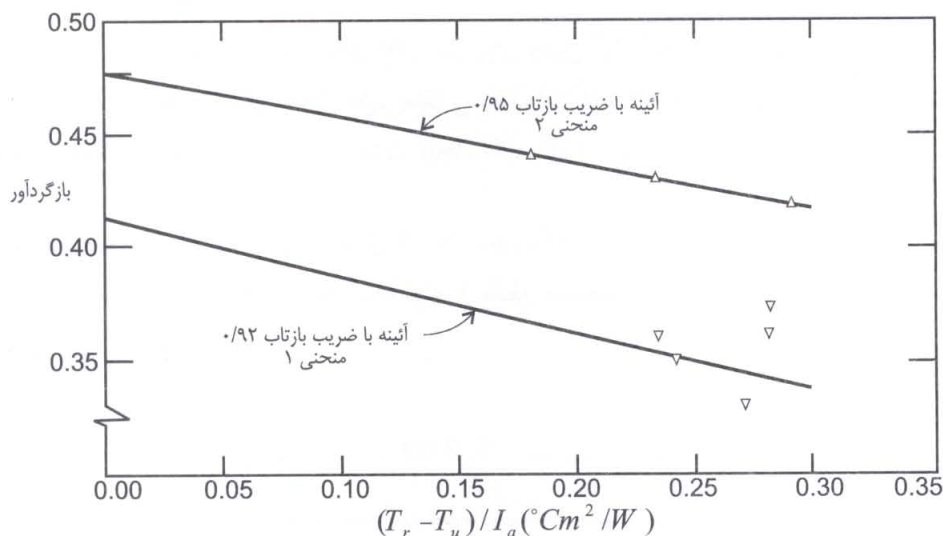
مقطع یک جذب کننده نمونه برای این گردآور در شکل ۹-۲۶ نشان داده شده است. تیر اصلی تکیه گاه جذب کننده را از یک کانال حدیده شده از آلومینیوم میتوان انتخاب نمود. یک لوله با مقطع مستطیل در این کانال قرار گرفته است و برای کاهش هدایت حرارتی از عایق سیلیکا میتوان استفاده نمود.



شکل ۹-۲۶: یک نمونه جذب کننده برای گردآور متمرکز کننده از نوع آئینه ثابت

جذب کننده برای کاهش افت حرارتی با لایه ای از کروم سیاه پوشش داده شده است. در نصب جذب کننده امکان انبساط و انقباض ناشی از تغییرات دما در سیکل گرمائی روزانه پیش بینی شده است. سمت جذب کننده رو به بازتاب نور با یک لایه نازک یا فیلمی از تفلون شفاف برای کاهش افت حرارت جابجائی پوشیده شده است.

بازده گردآور خورشیدی با آئینه ثابت نمونه - بازده این گردآور در شکل ۹-۲۷ نشان داده شده است. نتایج آزمایش متمرکز کننده مربوط به هنگام ظهر که از افت حرارتی از انتها و اثر کسینوس حداکثر جلوگیری بعمل آمده، میباشد.

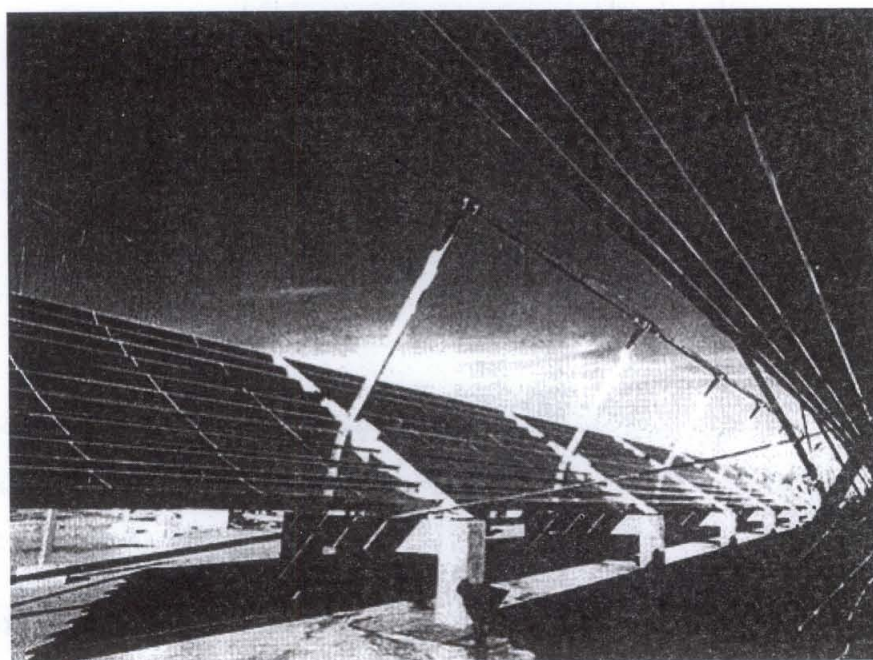


شکل ۹-۲۷: نتایج آزمایش بازده گردآور نمونه

در محل آزمایش این گردآور شعاع تابش با دهانه گردآور حدود ۱۰ درجه بوده، در نتیجه اثر کسینوس ۰/۹۹ بوده که از در آزمایش‌های فوق صرف‌نظر شده است. آئینه مورد استفاده اولیه دارای ضریب بازتاب ۰/۹۲ بوده (منحنی ۱ شکل ۹-۲۷)، در حالیکه افزایش ضریب بازتاب آئینه تا ۰/۹۵ موجب افزایش قابل ملاحظه بازده (منحنی ۲ شکل ۹-۲۷) شده است.

۹-۵-۲: گردآور با بازتاب کننده متحرک و گیرنده ثابت

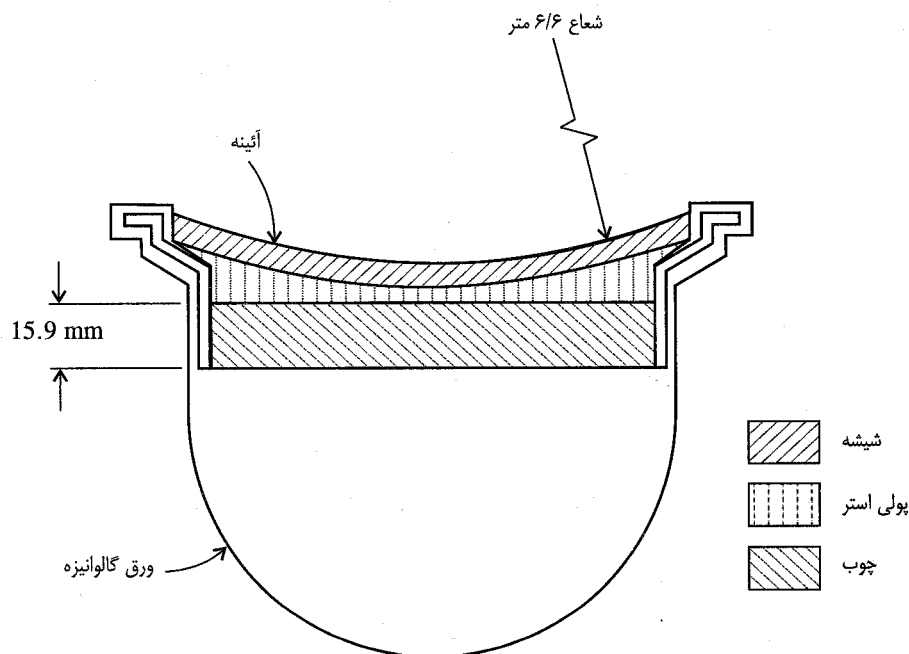
گردآور متمرکز کننده خطی که دارای آئینه‌های متحرک مستقل از یکدیگر می‌باشد در شکل ۹-۲۸ نشان داده شده است.



شکل ۹-۲۸: گردآور با بازتاب کننده متحرک و جذب کننده ثابت

در این گرد آور با وجود آنکه هر یک از آئینه ها متحرک بوده و نور خورشید را بر روی جذب کننده متمرکز مینمایند، ولی اسکلت تکیه گاه آن (و در نتیجه دهانه گردآور) ثابت در فضا قرار دارد. در نتیجه این گردآور را میتوان با دهانه ثابت و آئینه‌های مستطیل شکل در نظر گرفت. همچنانکه هریک از قطعات آئینه برای تمرکز بازتاب نور بر گیرنده، بطور مستقل حرکت مینمایند و ایجاد سایه بر روی یکدیگر مینمایند، ولی برآیند مجموعه اثرش مانند یک آئینه مسطح است که با همان شیب در روی اسکلت و تکیه گاه قرار گیرد.

شرح گردآور نمونه از این نوع - مقطع یک آئینه از این نوع گردآور در شکل ۹-۲۹ نشان داده شده است. معمولاً هر گردآور از دو ستون ده ردیفه آئینه تشکیل شده است. هر آئینه دارای سطح استوانه ای است. استفاده از سطح استوانه ای به آن علت است که معمولاً شعاع مرکزی خورشید در صفحه منحنی مولد آئینه قرار ندارد. این خطای انحراف هنگامیکه سطح آئینه استوانه ای است (فصل ۸ ملاحظه شود) کاهش مینماید. چون جذب کننده ثابت است، عمود بر دهانه سطح هر آئینه باید نیمساز زاویه بین شعاع خورشید، و شعاع بازتاب به جذب کننده باشد. این رابطه شیب نسبی سطح هر آئینه را تعیین مینماید.

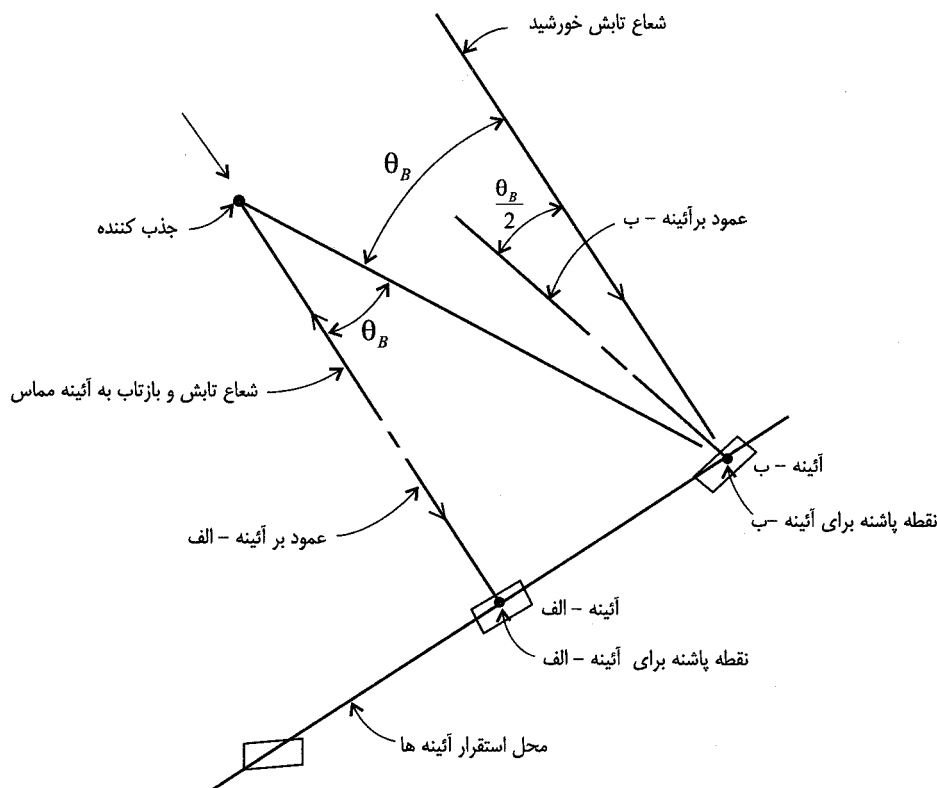


شکل ۹-۲۹: مقطع یک آئینه از گردآور از نوع بازتاب کننده متحرک و گیرنده ثابت

آئینه مماس که در بالا به آن اشاره شد در شکل ۹-۳۰ با قطعه "الف" نشان داده شده است. زاویه بین شعاع تابش و شعاع بازتاب به گیرنده، در مورد قطعه "ب" بطوریکه در شکل نشان داده شده مساوی θ_B است. چون عمود بر دهانه قطعه "ب" باید نیمساز زاویه θ_B باشد، بنابراین زاویه ای که عمود بر قطعه "ب" با عمود بر دهانه گردآور میسازد باید $\theta_B / 2$ باشد. بدین ترتیب شیب قطعه "ب" نسبت به عمود بر دهانه گردآور تعیین میشود.

یکبار که ارتباط اصلی برای زاویه قرارگیری کلیه آئینه ها تعیین شد، آئینه ها را میتوان بهم متصل نموده و با یک مکانیزم آنها را حرکت داد. اگر مؤلفه شعاع تابش خورشید در صفحه شمال - جنوب به اندازه زاویه ای تغییر کند، هر آئینه به اندازه نصف آن زاویه از محل اصلی خود باید دوران نماید. معمولاً آئینه ها به صورت یک مجموعه با استفاده از زنجیر یا دنده به حرکت در می‌آیند.

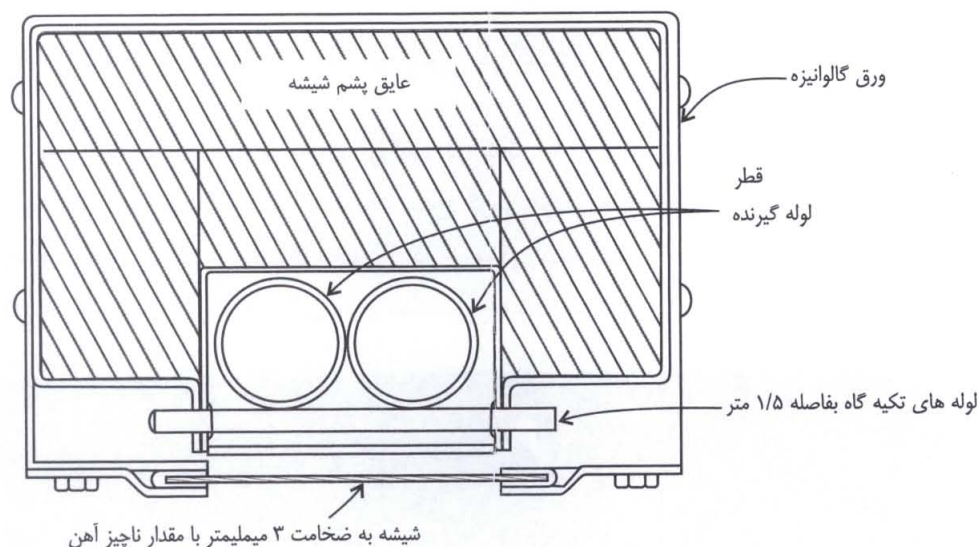
سیستم نوری در این گردآور جالب است، زیرا کلیه آئینه‌ها با انحنای یکسان ساخته شده‌اند. خط کانونی مؤثر هر آئینه متفاوت است. بعلاوه، خط کانونی هر آئینه در طول روز با تغییر زاویه شعاع تابش خورشید تغییر مینماید. اما در اکثر اوقات روز که انرژی خورشیدی گردآوری میشود، فاصله خطوط کانونی از یکدیگر ناچیز است. در عمل ضریب تمرکزی معادل ۳۵ با این گردآور قابل دستیابی است.



شکل ۹-۳۰: تعیین شیب آئینه‌های گردآور از نوع بازتاب کننده متحرک و جذب کننده ثابت

یک نمونه جذب کننده قابل استفاده با این گردآور متمرکز کننده در شکل ۹-۳۱ نشان داده شده است. این جذب کننده برای کار با آب تا دمای ۳۱۵ درجه سانتیگراد ساخته شده است. ضخامت لوله انتخابی بطوریکه در شکل نشان داده شده ۴/۷۸ میلیمتر بوده است. جذب کننده در یک حفره قرار گرفته است. این حفره در انتها آزاد برای انبساط بوده لذا پیش بینی مکانیزمی برای انبساط لازم نیست. لوله جذب کننده از هر طرف غیر از سمت روبرو به آئینه عایق شده است. یک صفحه شیشه، دهانه جذب کننده را برای کاهش افت حرارت از طریق جابجائی، پوشانده است.

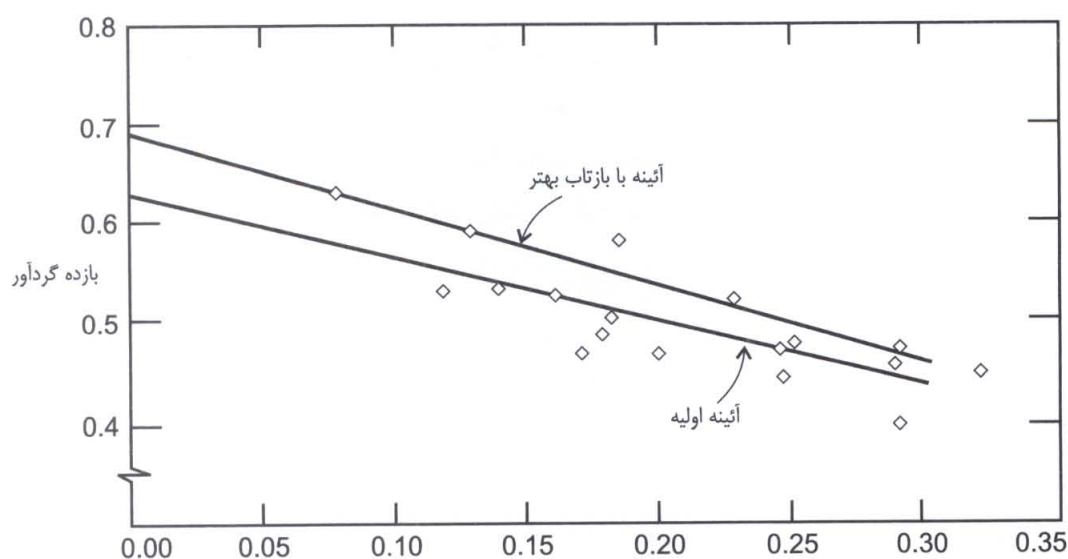
بعلت وجود فشاری معادل ۱۰/۶ مگاپاسکال برای حفظ آب با دمای ۳۱۵ درجه (جلوگیری از تبخیر)، در درون لوله، ضرورتاً ضخامت لوله و بدنبال آن ظرفیت حرارتی بطور قابل ملاحظه بالا می‌رود. چون جذب کننده در شب توسط هوای محیط خنک میشود، انرژی زیادی برای راه اندازی در هر روز لازم بوده که از نقاط ضعف سیستم است (بدیهی است که اگر از روغن مناسب در این گیرنده استفاده میشد، فشار و ضخامت لوله‌های گیرنده پائین می‌آید و در نتیجه ظرفیت حرارتی و حرارت راه اندازی کاهش می‌آید). مشکل دیگر این جذب کننده با استفاده از سیال آب بعنوان سیال مبدل، امکان یخ زدن آن است. در نمونه فوق از یک سیستم کمکی آبگرم برای جلوگیری از یخ زدن استفاده شده است



شکل ۹-۳۱: مقطع یک نمونه گیرنده برای گردآور از نوع بازتاب کننده متحرک و گیرنده ثابت

از سیال آب بعنوان سیال مبدل، امکان یخ زدن آن است. در نمونه فوق از یک سیستم کمکی آبگرم برای جلوگیری از یخ زدن استفاده شده است.

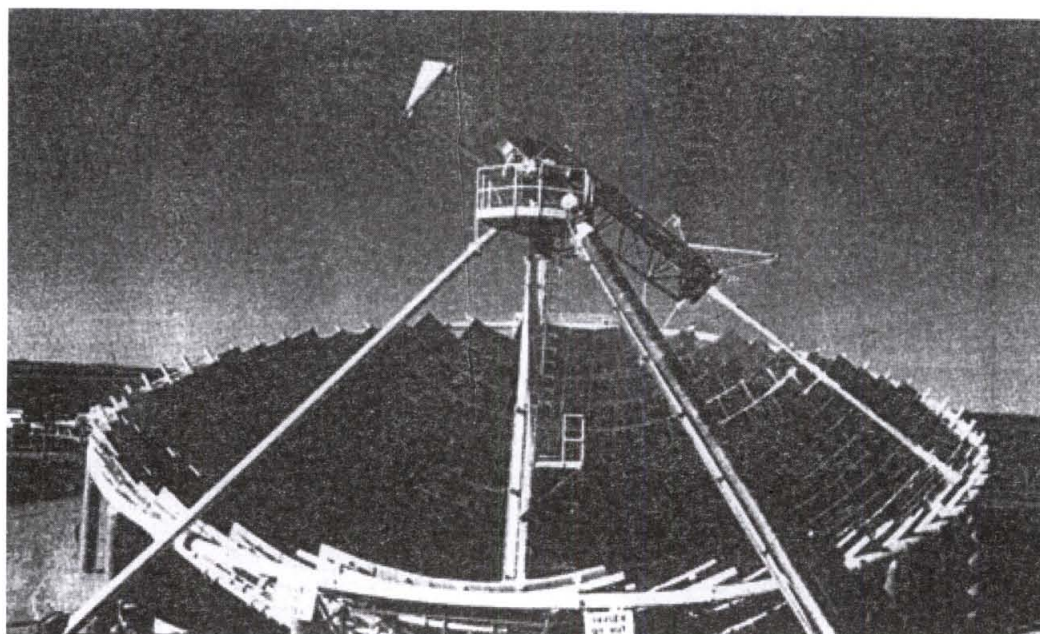
بازده نمونه - بازده این نوع گردآور در شکل ۹-۳۲ نشان داده شده است. در شکل دو منحنی نشان داده شده که مربوط به استفاده از دو نوع آئینه میباشد. تغییر در کیفیت آئینه بازده را از ۰/۶۳ به حدود ۰/۷۰ رسانده است. نکته دیگر ایجاد تغییر در شیب منحنی $\Delta T / I$ است. این منحنی ها صرفاً از جهت شناخت کیفی تغییرات بازده در اینجا آورده شده است. ولی اینکه شرایط تابش خورشید در زمان آزمایش این دو نوع آئینه چگونه بوده است، معلوم نیست. لذا وجود اختلاف شیب نیز صد در صد قطعی نیست.



شکل ۹-۳۲: نتایج آزمایش تعیین بازده گردآور از نوع بازتاب کننده متحرک و گیرنده ثابت

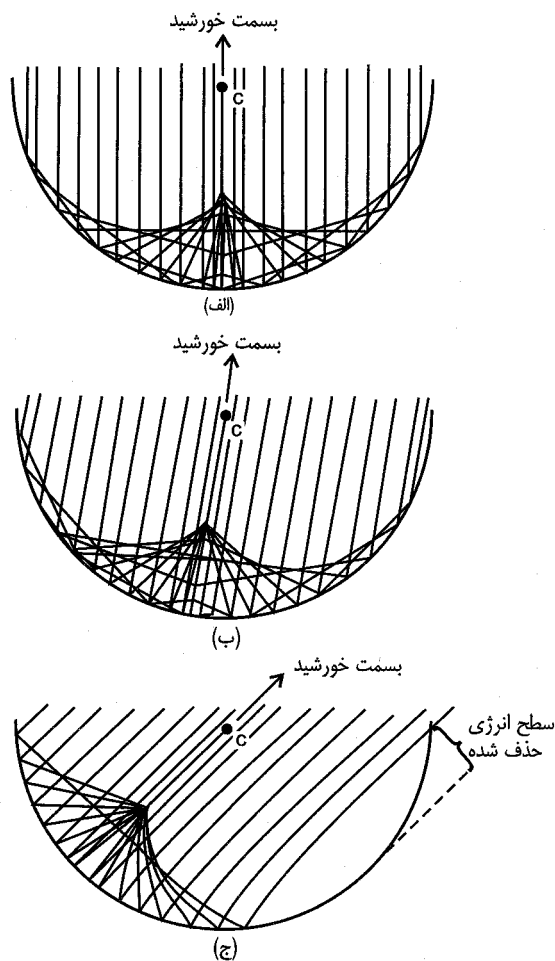
۹-۵-۳: گردآور متمرکزکننده با آئینه‌های ثابت و کانون پراکنده

گردآور متمرکزکننده از نوع آئینه‌های ثابت و کانون پراکنده در شکل ۹-۳۳ نشان داده شده است. در این نوع گردآور همانطور که در فصل ۸ نیز گفته شد، سطح بازتاب‌کننده یک سطح کروی بوده، که نور خورشید را در روی یک پاره خط کانونی متمرکز میکند. این پاره خط کانونی در روی امتداد محوری که از مرکز آئینه گذشته و بسمت خورشید نشانه رفته قرار دارد. شکل ۹-۳۴ همان شکل ۸-۹ است که در اینجا برای شرح مطلب آورده شده است.

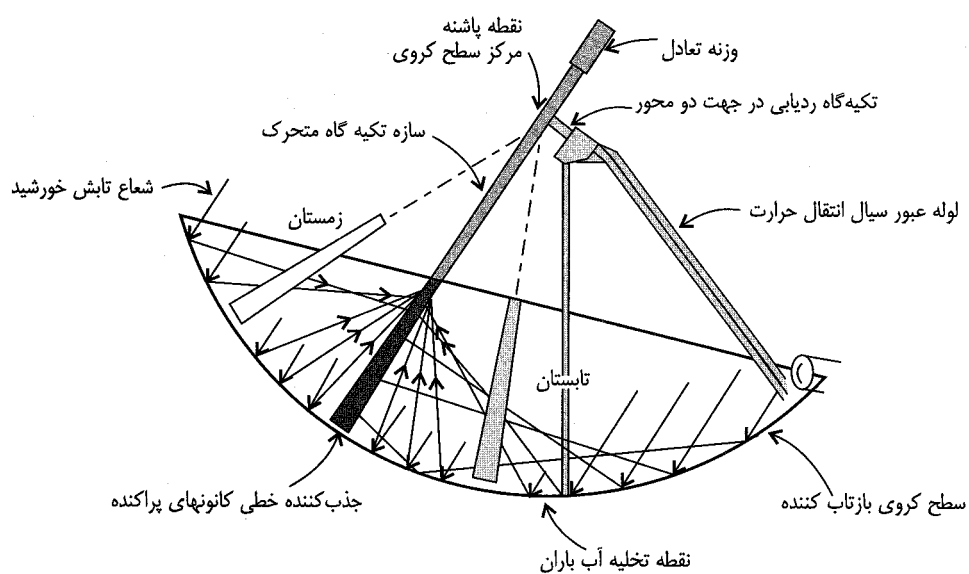


شکل ۹-۳۳: گردآور متمرکزکننده با آئینه‌های ثابت و کانون پراکنده

گیرنده - همانطور که در فصل ۸ گفته شد و در شکل ۹-۳۴ دیده میشود، شعاع خورشید پس از ورود به دهانه گردآور به روی خط کانونی که از مرکز آئینه گذشته و بسمت خورشید نشانه رفته است، بازتاب میشود. بنابراین جذب‌کننده باید طوری قرار گیرد که منطبق بر پاره خط کانونی باشد. بعلاوه چون خط کانونی با تغییر محل خورشید تغییر میکند، بنابراین جذب‌کننده خطی نیز باید دارای دو درجه آزادی حرکت داشته باشد. اینکار با تکیه کردن و پاشنه شدن مرکز سطح کروی همانطور که در شکل ۹-۳۵ نشان داده شده صورت میگیرد.



شکل ۹-۳۴: نور در برخورد با آئینه کروی

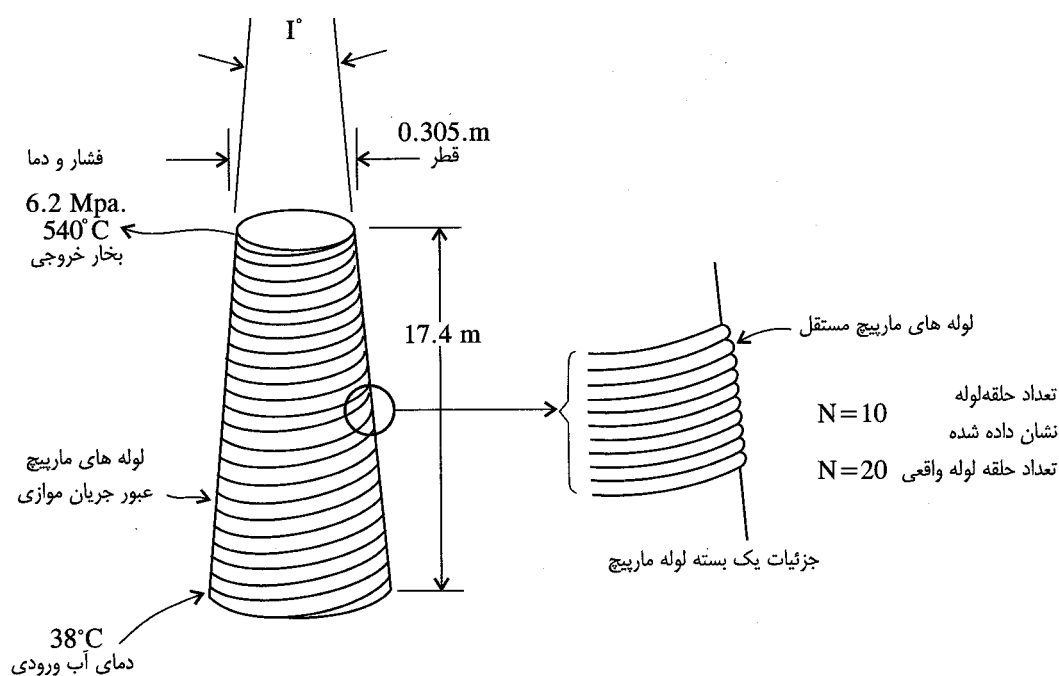


شکل ۹-۳۵: حرکت جذب‌کننده در گردآور متمرکزکننده با آئینه‌های ثابت و کانون پراکنده

ردیابی و کنترل - دو نوع میتوان خورشید را ردیابی نمود. جذب کننده میتواند با تغییر زاویه فراز و زاویه سمت خورشید و یا در یک مختصات قطبی خورشید را ردیابی کند. هر دو نوع ردیابی به تفسیر در فصل ۴ شرح داده شد.

سیستم ردیابی خورشید در روش اول بستگی به ارتباط با کامپیوتری که زوایای لحظه ای فراز و سمت خورشید را محاسبه نموده و فرمان حرکت جذب کننده را به نقطه ای در آن امتداد میدهد بستگی دارد. در روش پیگیری قطبی، برای جبران حرکت وضعی زمین، جذب کننده حول یک محور موازی محور قطبی زمین با سرعت ثابت ۱۵ درجه در ساعت حرکت میکند. در صورتیکه بخواهیم جبران زاویه انحراف خورشید بشود، لازمست که جذب کننده خطی نسبت به محور قطبی زمین بطور روزانه تنظیم میشود. انحراف اسکلت گیرنده نسبت به افق مساوی زاویه فراز خورشید است. هر دو روش ردیابی خورشید با این نوع گردآور استفاده میشود.

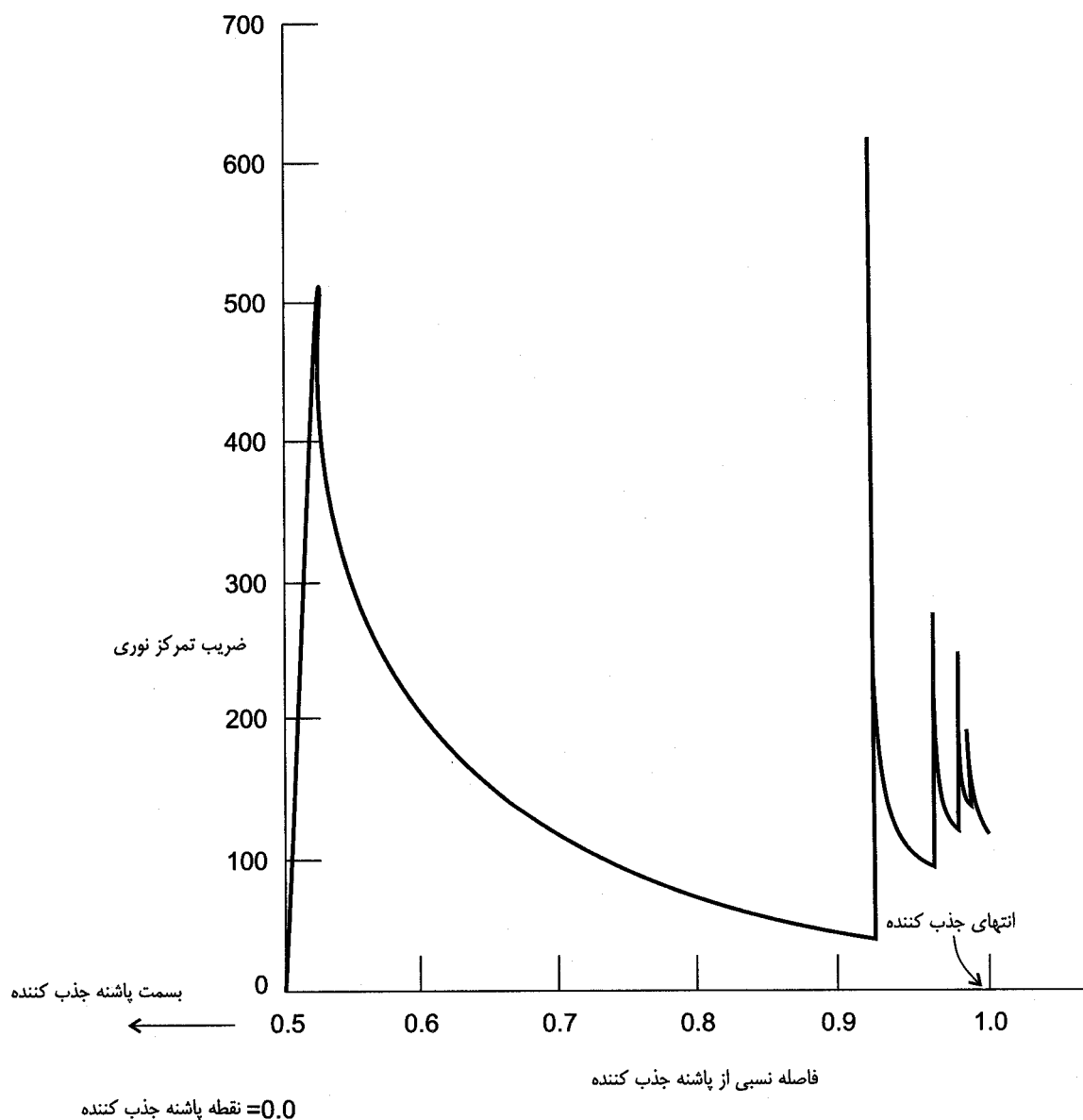
شرح نمونه - متمرکز کننده از نوع بازتاب کننده متحرک و جذب کننده ثابت برای تولید بخار ۵۱۰ درجه سانتیگراد بکار رفته است. گیرنده نمونه همانطور که در شکل ۹-۳۶ نشان داده شده از چندین لوله ماریچ مخروطی که هریک از ۲۰ بند لوله تشکیل شده است. چون بازتاب کننده کروی فقط تا نیمه شعاع ادامه دارد، لوله های ماریچ تشکیل دهنده گیرنده تا نیمه پاشنه تکیه گاه (شکل ۹-۳۵) ادامه دارند.



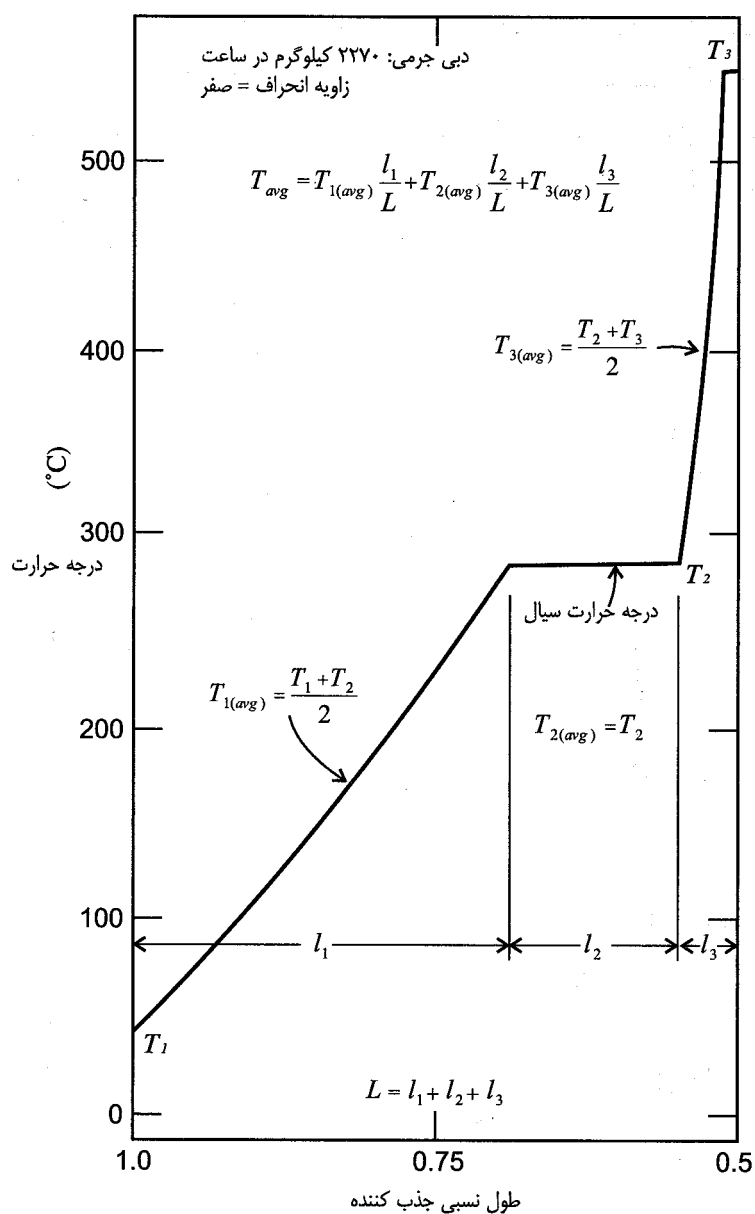
شکل ۹-۳۶: نمای یک نمونه جذب کننده برای گردآور متمرکز کننده با آئینه های ثابت و کانون پراکنده

دمای آب ورودی به گیرنده ۳۸ درجه سانتیگراد و دمای بخار خروجی ۵۴۰ درجه با فشار ۶/۲ مگا پاسکال بوده است.

بطوریکه در نمودار ۹-۳۷ نشان داده شده تغییرات تمرکز تابش در طول جذب کننده یکنواخت نیست. این نوع تغییرات موجب افزایش دما در جذب کننده مطابق نمودار ۹-۳۸ میشود. البته نمودار نشان داده شده همانطور که گفته شد برای آزمایش معینی است، ولی تغییرات درجه حرارت نمایشگر سه منطقه انتقال حرارت مشخص: پیش گرمکن، جوش و سوپر هیت را نشان میدهد. بطوریکه ملاحظه میشود در منطقه جوش یعنی محلیکه تغییر فاز صورت میگیرد، منطقه عمده انتقال حرارت را تشکیل میدهد. قسمت سوپر هیت منطقه کوچکی از انتهای جذب کننده را تشکیل میدهد.



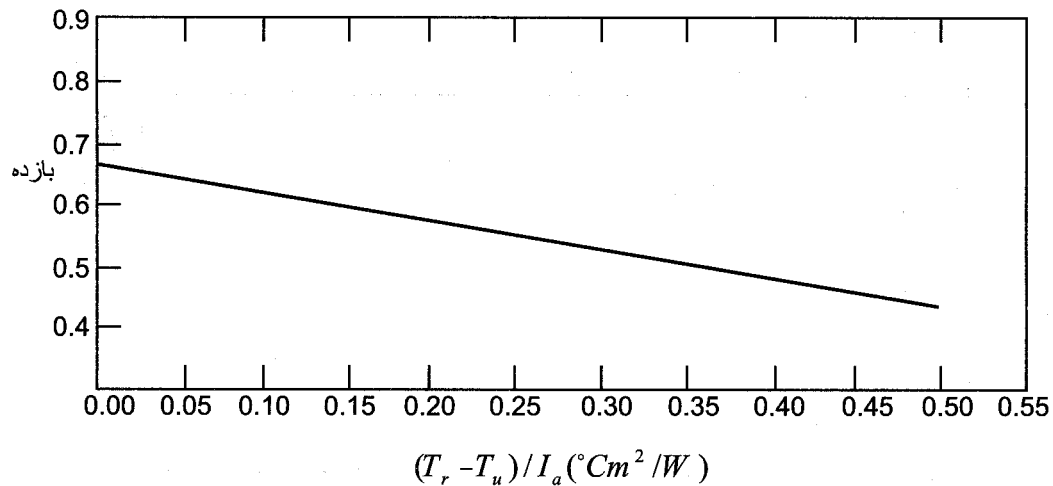
شکل ۹-۳۷: تغییرات شدت نور در طول جذب کننده یک گردآور از نوع متمرکزکننده با آئینه های ثابت و کانون پراکنده



کل ۹-۳۸: تغییرات درجه حرارت در طول جذب کننده گردآور از نوع متمرکز کننده با آئینه های ثابت و کانون پراکنده

چون جذب کننده مانند یک دیگ بخار عمل مینماید، از آب بدون سختی میبایست برای آن استفاده نمود.

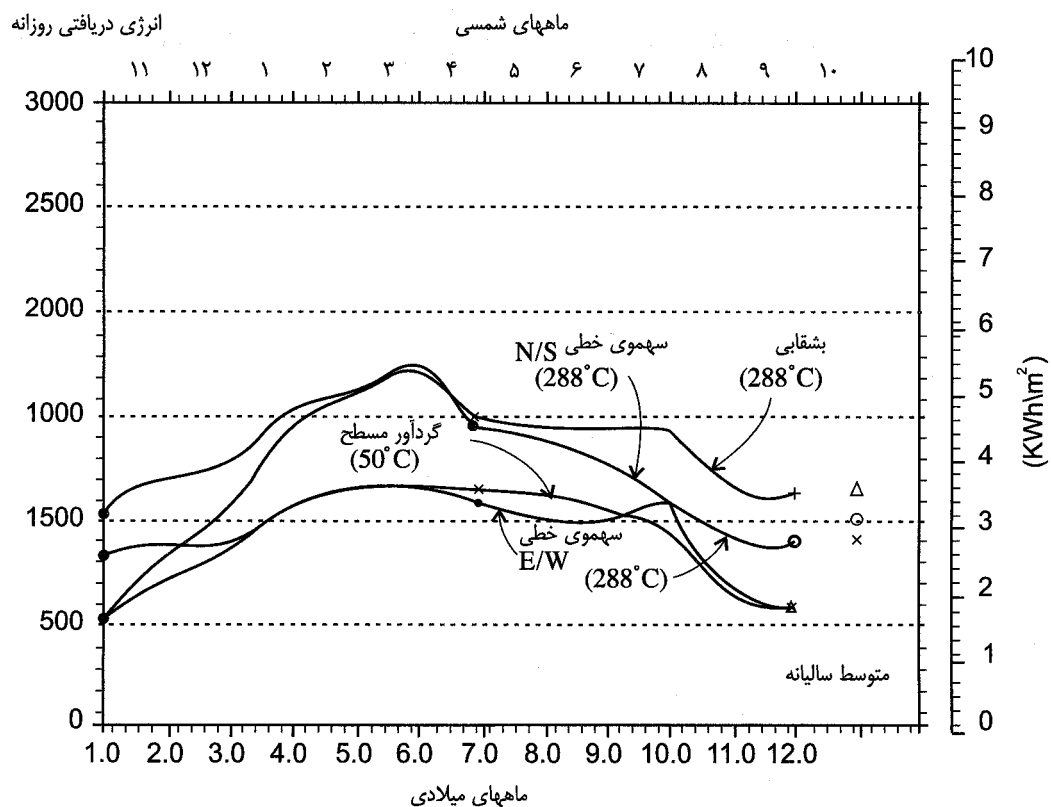
بازده نمونه - در شکل ۹-۳۹ منحنی تقریبی بازده براساس تعداد کمی آزمایش با توجه به تغییرات محدود درجه حرارت نشان داده شده است.



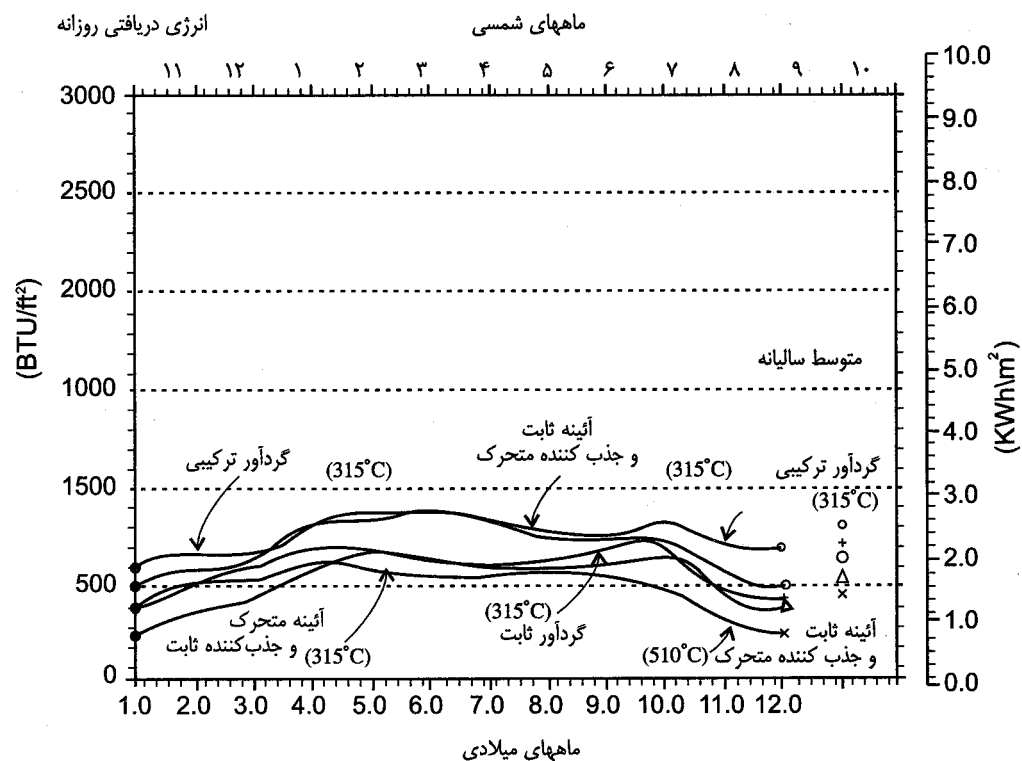
شکل ۹-۳۹: تغییرات بازده گردآور از نوع متمرکزکننده با آئینه‌های ثابت و کانون پراکنده

۹-۶- مقایسه انرژی متوسط روزانه جذب شده در گردآورهای متمرکز کننده

در شکل‌های ۹-۴۰ و ۹-۴۱ انرژی روزانه جذب شده بوسیله گردآورهای نمونه برای یک سال نمونه مورد مقایسه قرار گرفته است. مقدار متوسط انرژی روزانه گردآوری شده توسط علامت مربوطه در سمت راست نشان داده شده است. در این شکل گردآور ترکیبی دارای محور ردیابی در امتداد شرقی - غربی است.



شکل ۹-۴۰: بازده سالیانه گردآور مسطح، سهموی خطی، و سهموی بشقابی



شکل ۹-۴۱: بازده سالیانه مفهومی گردآور هی بالا

نمودارهای نشان داده شده در شکل‌های ۹-۴۰ و ۹-۴۱ برای مقایسه انرژی دریافتی گردآورها حائز اهمیت است.

فصل ۱۰: طراحی سیستم طبیعی گرمایش برای ساختمان

سیستمهای گرمایش خورشیدی سیستمهایی هستند که در آنها از انرژی خورشیدی به عنوان انرژی اصلی استفاده می شود. بطور کلی این سیستمها به دو گروه که عبارتند از: سیستمهای طبیعی خورشیدی و سیستمهای مکانیکی خورشیدی تقسیم می شوند.

استفاده از انرژی خورشید موثرترین روش تامین انرژی مورد نیاز برای ساختمان است. معمولاً انرژی خورشیدی رسیده به سقف ساختمان بیش از کل انرژی مصرفی ساختمان است. اگر استفاده از انرژی خورشیدی برای تامین انرژی مورد نیاز ساختمان، در طرح اولیه معماری آن دیده شود، مقدار افزایش هزینه ای در این مورد وجود نداشته و یا ناچیز خواهد بود. این پیش بینی، حداقل موجب کاهش هزینه مستمر تامین انرژی و کاهش هزینه تهیه تجهیزات مکانیکی برای ساختمان را فراهم مینماید. سیستم خورشیدی، ساده و قابل اطمینان بوده، و موجب افزایش ارزش افزوده ساختمان نیز میشود.

مجموعه اسباب و تجهیزات، اتصال و ارتباط آنها با یکدیگر برای تامین شرایط آسایش در ساختمان را بنام سیستم گرمایش و یا سیستم سرمایش می نامیم. امروزه انرژی مورد نیاز سیستمهای متعارف گرمایش و سرمایش ساختمان با مصرف مستقیم سوخت تامین میشود. در سیستمهای متعارف گرمایش و سرمایش در ساختمان معمولاً از بخاری و شو مینه، بخاریهای الکتریکی، دیگهای چدنی و فولادی، رادیاتور، فن کویل، هواساز، پکیج های گرمائی و سرمائی و سایر دستگاههای مدرن استفاده میشود. کار همگی این دستگاهها با مصرف سوخت یا مصرف برق یا مصرف هردو امکان پذیر است. در صورتیکه در سیستم خورشیدی از انرژی رایگان امواج نوری و مادون قرمز استفاده میشود. مزیت دیگر این سیستمها نه تنها عدم آلودگی محیط، بلکه پاکیزه نگهداشتن ساختمان و حذف هزینه تعمیر و نگهداری است. طراحی سیستم خورشیدی در ساختمان باید با هماهنگی مهندس معمار و مهندس تاسیسات در سازه ساختمان پیش بینی شود. بطوریکه در این فصل خواهیم دید اجزاء مختلف ساختمان مانند پنجره، دیوار، کف و سقف به عنوان عناصر کاشت (گردآوری)، داشت (جذب)، برداشت (انتقال) و انباشت (ذخیره)، انرژی بکار میروند. بطوریکه در فصل ۱۱ خواهیم دید همین عناصر به صورتی دیگر عناصر اصلی سیستم طبیعی برودتی را تشکیل میدهند. وجود سیستم طبیعی ضرورتاً با حذف سیستم مکانیکی همراه نیست، بلکه سیستم طبیعی موجب میشود که حتی در سردترین نقاط ظرفیت سیستم مکانیکی (خورشیدی) و سیستم کمکی (سیستم با استفاده از سوخت یا الکتریسیته) در صورت نیاز به حداقل کاهش یابد.

برای تعیین سیستم گرمایش و سرمایش مناسب یک ساختمان، ابتدا باید شرایط آسایش برای انسان را در ساختمان شناخت. بعلاوه تأثیر شرایط آب و هوا بر بدن انسان و عکس العمل بدن انسان در برخورد با شرایط مختلف را بررسی نمود. لذا بخش اول این فصل را که قابل استفاده برای فصل ۱۱ و ۱۲ نیز هست، به شناخت شرایط آسایش در یک ساختمان اختصاص میدهیم. در بخشهای دیگر این فصل سیستمهای طبیعی گرمایش خورشیدی را مورد توجه قرار میدهیم.

در این فصل بعد از شناخت شرایط آسایش، سیستمهای گرمایش طبیعی خورشید شرح داده خواهند شد. سپس روابط ساده تجربی-علمی و بدنبال آن اصول طراحی این سیستمها مورد توجه قرار خواهند گرفت.

دو عامل در تمام سیستم‌های حرارتی طبیعی خورشیدی مشترک است. عامل اول: سطوح شفاف یا نیمه شفاف (مثلاً: شیشه یا پلاستیک)، رو بسمت خورشید برای ورود تابش خورشید و عامل دوم: اجزاء و مصالح ساختمانی برای جذب و ذخیره انرژی خورشید تا از آن انرژی در زمان معین استفاده شود. با در نظر داشتن این دو عامل روشهای مختلفی برای طراحی سیستم گرمایش خورشیدی وجود دارد.

در بخش دوم این فصل طرح سیستم های ساده گرمایش خورشیدی را مورد توجه قرار داده و به اختصار شرح داده، سپس در بخشهای بعدی شرح کامل مربوط به این سیستمها، مزایا و محدودیت های هر یک ملاحظه خواهد شد. بدیهی است که اگر یک سیستم طبیعی خورشیدی برای شرایط آب و هوایی یک منطقه مناسب باشد، ممکنست در شرایط آب و هوایی منطقه دیگر مناسب نباشد و بهمین ترتیب، محدودیت برای یک شرایط آب و هوایی، در شرایط آب و هوایی دیگر ممکنست محدودیت نباشد.

سیستمهای طبیعی سرمایش خورشیدی با توجه به شرایط آب و هوایی ایران از اهمیت بیشتری در کشور برخوردارند. این سیستمها در فصل ۱۱ مورد توجه قرار میگیرند. سیستمهای مکانیکی خورشیدی که میتوانند به عنوان سازوکارهای جانبی در سیستمهای طبیعی خورشیدی از آنها بهره گرفت در فصل ۱۲ شرح داده خواهند شد. بطوریکه در فصل ۱۲ دیده خواهد شد از سیستمهای متعارف مکانیکی، بعنوان سیستمهای کمکی نام برده خواهد شد.

۱۰-۱: شرایط آسایش

اولین قدم برای کنترل هوای داخل یک فضا در ساختمان، تعیین شرایطی است، که انسان در آن فضا احساس آسایش نماید. برای این منظور لازم است که دما و رطوبتی که انسان با توجه به کاربری ساختمان در آن احساس آرامش مینماید تعیین شود، وبعلاوه اثر تهویه و حرکت هوا، دمای سطوح احاطه کننده فضا و عوامل مؤثر دیگر در طبیعت حرارتی آن تعیین شوند. این مقادیر باید براساس عواملی که شرایط آسایش انسان را فراهم می کنند مشخص شوند. پس از تعیین شرایط آسایش، میتوان روشهای مختلف رسیدن به آن شرایط آسایش راتعیین نمود. روش بهینه برای هر ساختمان با توجه به شرایط محل ساختمان و براساس کاربری آن تعیین میشود. اما قبل از بررسی مطالب فوق تولید حرارت در بدن، نحوه انتقال آن به محیط و حفظ تعادل دمای بدن را مورد توجه قرار میدهم.

۱۰-۱-۱: تولید حرارت توسط بدن انسان

بدن انسان مداوماً حرارت تولید می کند. مقدار حرارت تولید شده به نوع کار شخص، مساحت سطح بدن، جنس، مقدار لباس و شرایط اتمسفریک و حرارتی محیط بستگی دارد. در صورتی که سرعت انتقال حرارت از بدن انسان به محیط خارج بیش از حد آرام یا سریع باشد حفظ درجه حرارت ثابت بدن ممکن نخواهد بود. هدف از تأمین شرایط هوای مناسب برای آسایش انسان، کنترل افت حرارتی از بدن انسان به محیط خارج است.

۱۰-۱-۲: انتقال حرارت از یا به بدن انسان

حرارت تولیدی بدن انسان به صورت تابش (امواج مادون قرمز)، جابجایی و تبخیر به محیط منتقل می شود اما انتقال حرارت از محیط خارج به بدن انسان صرفاً به صورت تابش و جابجایی است (بغیر از زمانی که وارد آب می شویم و انتقال حرارت بصورت هدایت است).

دمای سطح بدن انسان معمولاً از درجه حرارت اکثر اجسام مجاور آن از جمله دیوار، شیشه و سایر قسمت های ساختمان بیشتر است. بدن انسان حرارت را بصورت تابش به سطوح سرد مجاور منتقل نموده و نسبت این انتقال به اختلاف دما و ضریب جذب سطوح و فاصله بستگی دارد. لذا جذب تابش از اجسامی با دمای خیلی بیش از دمای بدن موجب اختلال در انتقال حرارت از بدن انسان به محیط خارج خواهد شد.

در اثر عبور جریان هوا از مجاور سطح بدن، حرارت از بدن انسان به محیط خارج و یا از محیط خارج به بدن انسان منتقل می شود. هرچه سرعت جریان هوا، اختلاف حرارت بین محیط خارج و بدن و همچنین مساحت سطح بدن بیشتر باشد، سرعت انتقال حرارت بیشتر خواهد شد.

افت حرارتی ناشی از تبخیر به انتقال حرارت از طریق جابجایی بستگی دارد. عبور جریان هوا از روی پوست مرطوب، موجب تبخیر رطوبت به داخل هوا می شود. اما برای تبخیر رطوبت لازم است که حرارت تأخیر تبخیر به رطوبت اضافه شود تا آن را تبدیل به بخار نموده و بوسیله جریان هوا از روی بدن برداشته شود، این حرارت بوسیله بدن انسان تأمین می شود. سرعت تبخیر مستقیماً با سرعت و رطوبت نسبی جریان هوای اطراف بدن تناسب دارد.

۱۰-۱-۳: تعادل حرارت تولیدی و افت حرارتی از بدن

برای حفظ درجه حرارت ثابت بدن جمع حرارت تولیدی و دریافتی بدن انسان باید مساوی با افتهای حرارتی آن باشد. این مطلب را می توان به شکل زیر فرموله کرد:

مقدار انتقال حرارت از طریق همرفت در واحد زمان \pm	= مقدار حرارت تولیدی ناشی از سوخت و ساز بدن در واحد زمان	مقدار تابش خورشیدی در واحد زمان +
مقدار حرارت تبخیر در واحد زمان \pm		مقدار حرارت انباشته شده در واحد زمان

بدن انسان همواره حرارت تولید میکند و لذا مقدار حرارت ناشی از سوخت و ساز بدن همیشه مثبت است. اگر بدن دارای افت تابش و جابجایی باشد در رابطه فوق مقدار آن را با علامت مثبت وارد نموده و در صورت جذب حرارت علامت منفی در رابطه قرار میگیرد. تبخیر از سطح بدن، افت حرارتی بوده و لازمه اش مثبت قرار دادن آن در رابطه است. اگر جمع مقادیر انتقال حرارت از طریق تشعشع، جابجایی و تبخیر از بدن یا به بدن، به عنوان افت حرارت بدن از مقدار حرارت تولیدی آن در همان زمان کمتر باشد، لازم است که حرارت در بدن انباشته شود و در این صورت مقدار انباشته شدن مثبت بوده و بدن گرم می‌شود. در چنین حالاتی بدن برای اصلاح وضعیت واکنش نشان می‌دهد که با آمدن خون به سطح بدن مقدار عرق تولیدی بدن افزایش یافته و در نتیجه افت حرارتی بدن برای ایجاد رابطه تعادل افزایش می‌یابد. در حالت عکس یعنی هنگامی که افت حرارتی بدن بیشتر از حرارت تولیدی آن است بدن دچار لرزش می‌شود و با افزایش فعالیت بدن، حرارت ناشی از سوخت و ساز بدن نیز افزایش می‌یابد. بدین ترتیب بدن انسان تا حدود معینی می‌تواند خود را با محیط خارج تطبیق دهد. اما این توانایی بدن محدود است. بدن تغییرات آرام شرایط هوا را به راحتی تحمل می‌کند و علاوه بر آن انسان با استفاده از لباس خود را با تغییرات محیط خارجی هماهنگ می‌کند. هنگامی که بدن نتواند خود را با شرایط حرارتی محیط خارج تطبیق دهد شوک حرارتی و یا مرگ بر اثر یخ زدگی رخ میدهد. ۱۷

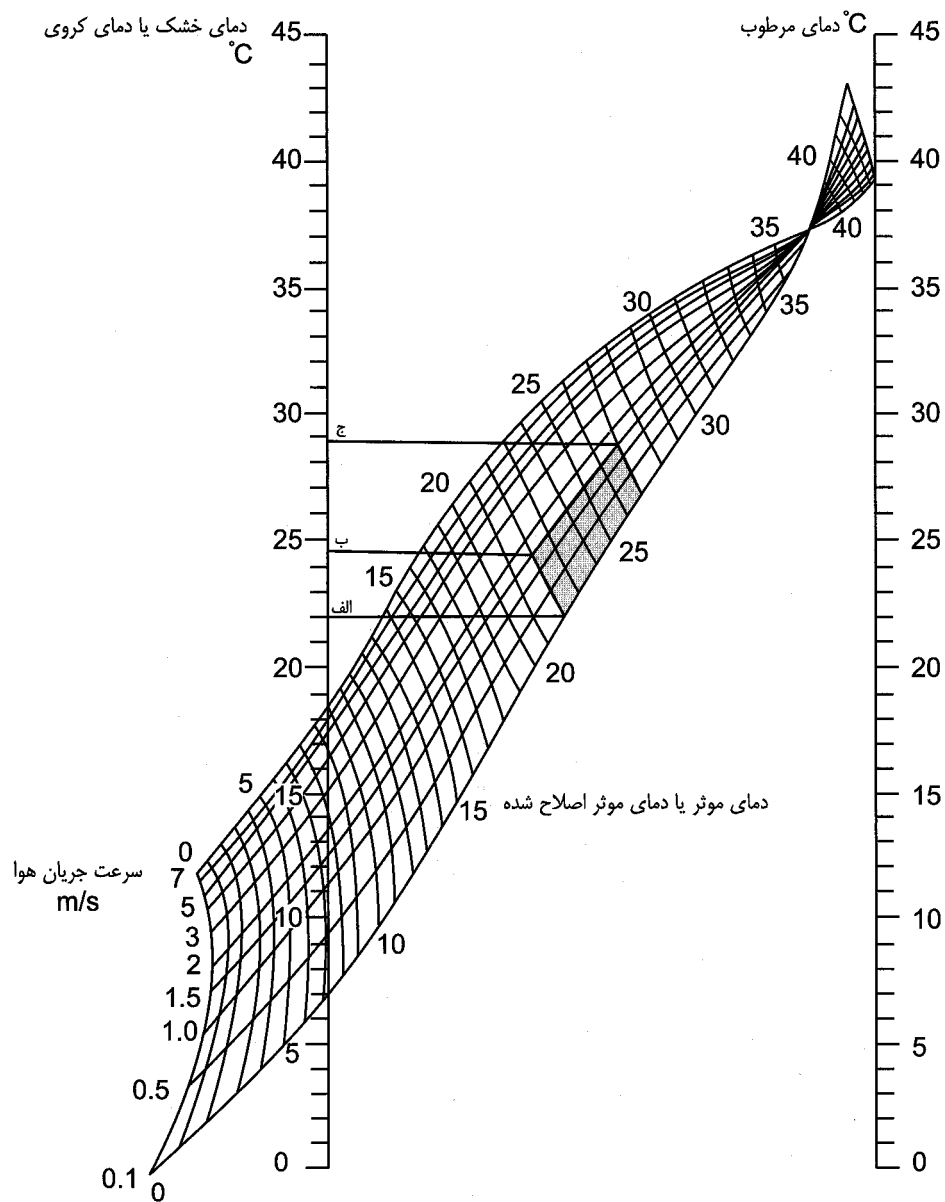
۱۰-۱-۴: تأثیر شرایط محیط بر افت حرارتی بدن ۱۸

دمای خشک هوا، رطوبت و یا دمای مرطوب هوا، مقدار متوسط تابش از سطوح مختلف در محیط به انسان و سرعت حرکت هوا از عواملی هستند، که در افت حرارت از بدن مؤثرند. دمای خشک معمولاً دمای محیط نیز خوانده می‌شود. بنابراین برای تأمین آسایش چند پارامتر باید مشترکاً کنترل شوند. لذا در علم تأمین شرایط آسایش از پارامتر دیگری بنام درجه حرارت مؤثر نام برده میشود. شکل: ۱۰-۱ تغییرات این دما را برحسب تغییرات دمای خشک، دمای مرطوب و سرعت حرکت هوا نشان میدهد. برای اینکه افت جابجایی مثبت باشد دمای هوا باید از دمای بدن انسان که ۳۷ درجه سانتیگراد است کمتر باشد.

رطوبت یا بخار آب موجود در هوا در مقدار تبخیر بدن مؤثر بوده هرچه هوا گرمتر و خشک تر باشد مقدار افت حرارتی ناشی از تبخیر آب سطحی بدن به هوا بیشتر خواهد بود.

درجه حرارت سطوح اطراف ممکن است به شدت با یکدیگر فرق کنند. اکثر سطوح دارای درجه حرارت پایین تر از درجه حرارت بدن بوده و در نتیجه از بدن تابش حرارتی می‌گیرند. برعکس حرارت از سیستم های گرم به بدن انسان منتقل می‌شود.

جریان هوا در انتقال حرارت از بدن از طریق همرفت و مخصوصاً تبخیر مؤثر می‌باشد. بر این پایه است که برای ازدیاد انتقال حرارت از بدن در تابستانهای گرم از باد بزنهای گوناگون استفاده می‌شود. هرچه سرعت جریان هوا بیشتر باشد میزان انتقال حرارت نیز بیشتر خواهد بود. بطوریکه در شکل ۱-۱۰ نشان داده شده با افزایش دمای خشک معادل ۳ درجه سانتیگراد، همراه با افزایش سرعت جریان هوا از ۰/۱ متر در ثانیه به ۱/۵ متر در ثانیه (حرکت از نقطه "الف" به نقطه "ب") دمای مؤثر یکسان باقی میماند. یعنی ساکنین احساسی در مورد تغییر شرایط نخواهند داشت. البته افزایش سرعت باد بیش از ۱/۵ متر در ثانیه شرایط را از محدوده آسایش خارج میکند. نقطه "ج" حد بالای دمای خشک را برای شرایط آسایش نشان میدهد.

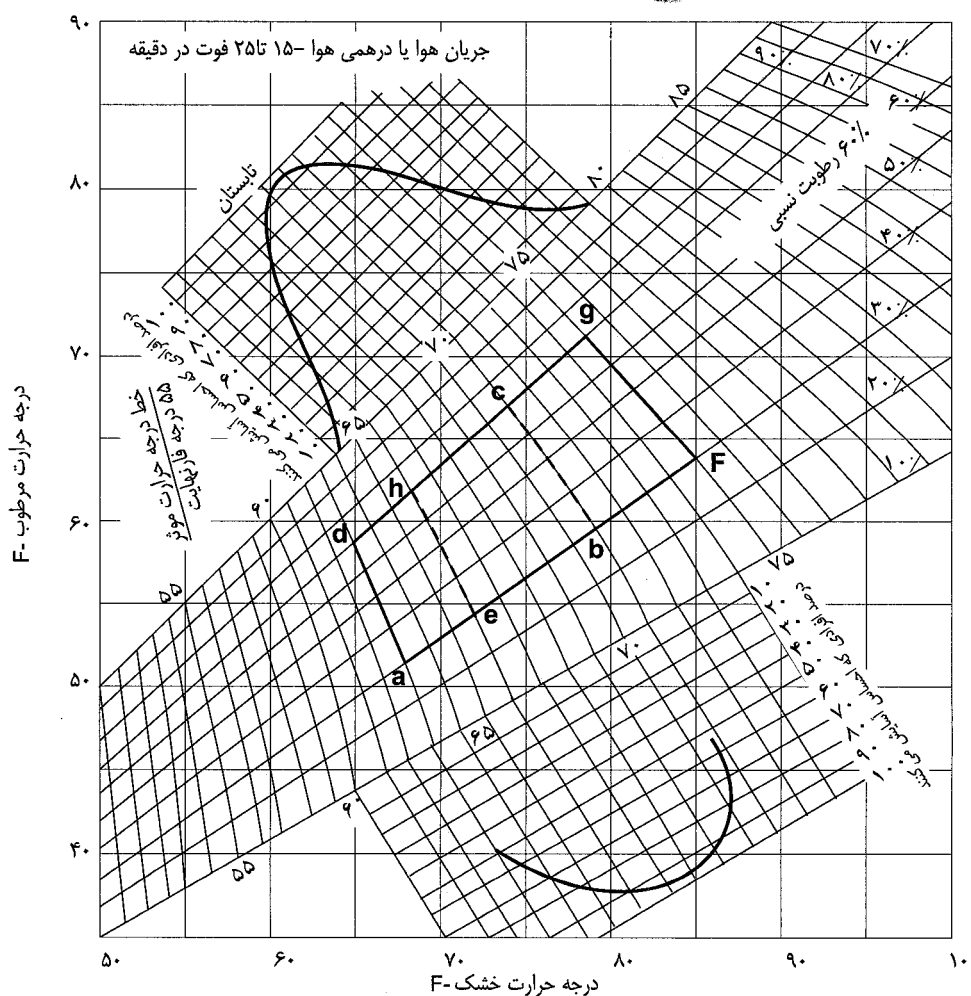


شکل ۱۰-۱: تغییرات دمای مؤثر برحسب دمای خشک و دمای مرطوب و سرعت حرکت هوا در شکل دیده میشود. قسمت هاشور خورده محدوده آسایش را نشان میدهد.

۱۰-۱-۵: درجه حرارت مؤثر: (محسوس)

یک محیط مطلوب عبارت از محیطی است که درجه حرارت هوا، رطوبت هوا و مقدار تابش خورشید و جریان هوا به نسبتی با هم هماهنگ شوند که شرایط آسایش را برای بدن انسان ایجاد کنند. علاوه بر این تمیزی هوا را نیز باید مورد توجه قرار داد.

برای بدست آوردن نسبت مطلوب بین عوامل و شرایط محیط، آزمایش‌های بسیار انجام شده است. براساس این آزمایش‌ها اگر افزایش دما با کاهش رطوبت نسبی و یا به عبارت دیگر با کاهش دمای مرطوب هماهنگ باشد، خطوط تعادل آسایش برای درجه حرارت خشک و مرطوب خطوط درجه حرارت مؤثر نامیده می‌شوند. شکل: ۱۰-۲، خطوط درجه حرارت مؤثر را به شکلی دیگر نشان می‌دهد. منحنی‌ها نشان می‌دهند که درجه حرارت مؤثر معادل ۶۸ درجه فارنهایت یا ۲۰ درجه سانتیگراد در زمستان و معادل ۷۱ درجه فارنهایت یا ۲۲ درجه سانتیگراد در تابستان بهترین شرایط برای بیشتر مردم بوده و محیط مطلوب آنها را ایجاد می‌کند. مقادیر مختلف دمای خشک و دمای مرطوب را می‌توان از منحنی‌های دمای مؤثر برای تعیین حالت‌های آسایش مشابه تعیین کرد.



شکل ۱۰-۲: تغییرات شرایط آسایش زمستان a,b,c,d، شرایط آسایش تابستان e,f,g,h و ناحیه مرکزی e,b,c,h

۱۰-۲: طراحی سیستم‌های طبیعی گرمایش

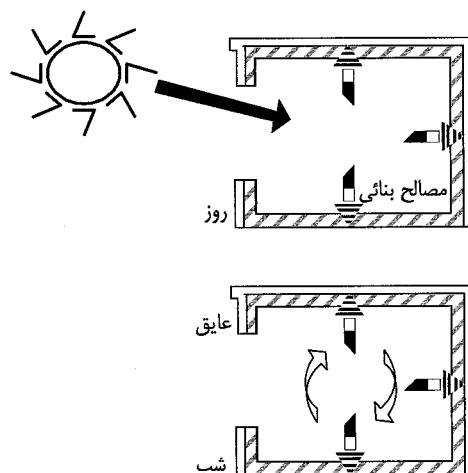
برای طراحی سیستم بهینه گرمایش طبیعی برای یک ساختمان، باید شرایط منطقه و آب و هوای آن با دقت مورد توجه قرار گیرد. مناسبترین سیستم ممکنست یک سیستم ساده و یا ترکیبی از چند سیستم باشد. در معماری ایران برای تامین آسایش اصولی است که طی سالیان دراز تجربه شده است. این اصول بکار گیری بهینه از طبیعت را برای تامین شرایط آسایش در ساختمان مشخص مینماید. این اصول برای تسهیل در استفاده بصورت روابطی ساده در آمده است. در بخش بعدی این روابط ملاحظه خواهد شد. باید به خاطر داشت که این روشها صرفاً راهنما بوده و با در نظر داشتن آنها امکان طراحی سیستم طبیعی با بازدهی مطلوب تسهیل میگردد. گاهی نیز اطلاعات آب و هوایی و منطقه ای در پشتیبانی از این روابط بکار گرفته میشوند.

۱۰-۲-۱: طراحی سیستم طبیعی گرمایش با دریافت مستقیم انرژی خورشید

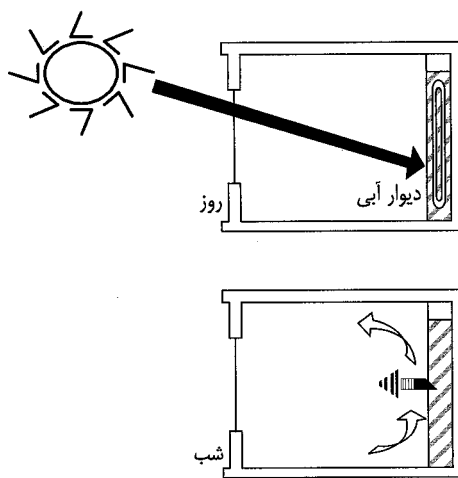
ساده ترین روش طراحی سیستم گرمائی، طراحی آن براساس تابش مستقیم خورشید است. در این روش، سیستم گرمایش با توجه به آنکه نور خورشید از طریق پنجره ها و بدون مانعی مستقیماً به فضای داخل ساختمان وارد میشود و در داخل تبدیل به انرژی حرارتی میگردد، طراحی میشود. دیوارها و کف اطاق تابش مستقیم و بازتاب آن را دریافت نموده و به صورت حرارت در خود ذخیره مینمایند (شکل: ۱۰-۳). تا زمانی که دمای فضای داخل بالاست، جرم ذخیره (دیوارها و کف) حرارت را از سطح خود به هسته میانی خود انتقال میدهد. اما در شب، هنگامی که دمای هوای خارج می افتد، فضای داخلی خنک میشود، جریان حرارت بعکس شده، و حرارت از جرم ذخیره به فضای داخل انتقال مییابد، تا زمانی که تعادل درجه حرارت برقرار شود.

در هنگام سرمای شب تابش و جابجائی حرارت از اجرام گرم شده در روز موجب دمای مناسب در فضای داخل ساختمان میشود، حرارت ذخیره شده ممکن است برای تامین گرمای چند روز ابری متوالی نیز کافی باشد. دریافت و ذخیره انرژی در سیستم تابش مستقیم خورشید به کمک مصالح مختلف و به شکلهای مختلف قابل اجراست، که البته بستگی به منطقه؛ توپوگرافی؛ محل و جهت ساختمان؛ شکل ساختمان (عمق، طول، حجم) و کاربری فضا دارد.

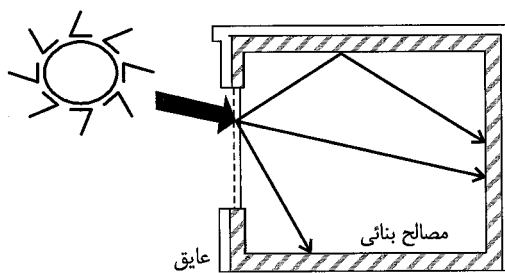
در طراحی بر اساس تابش مستقیم میبایست نصف تا دو- سوم از سطوح داخلی ساختمان از مصالحی با قابلیت بالای جذب حرارت ساخته شوند. این سطوح مربوط به اجزاء: کف، سقف، و دیوارها بوده و مصالح میتواند از بین مصالح ساختمانی (مانند: سیمان، آجر و غیره) و حتی آب (شکل: ۱۰-۴) انتخاب شود. در دیوارهای آبی از مخازن پلاستیکی و یا فلزی پر شده از آب استفاده میشود. این مخازن در مسیر تابش مستقیم خورشید قرار میگیرند. ذکر این نکته لازمست که سرعت جذب انرژی توسط دیوار آبی از دیوارهای ساخته شده از مصالح ساختمانی بیشتر است زیرا فرآیند جابجائی حرارت در آب موجب می شود که درجه حرارت سطحی به طور غیر مفید بالا نرود، موردی که گاهی در مصالح ساختمانی با رنگ تیره که در تابش مستقیم خورشید قرار میگیرند رخ میدهد. مشکل افزایش دمای سطحی مصالح ساختمانی را میتوان با استفاده از سطح شفاف مشجر یا سطح نیمه شفاف (شکل: ۱۰-۵) که موجب پخش حرارت و کاهش دمای سطح خارجی میشود، تقلیل داد. بدیهی است که مقدار انرژی ورودی به فضا کاهش پیدا نمیکند.



شکل ۱۰-۳: طرح ساختمان با سیستم دریافت مستقیم تابش خورشید، انرژی خورشید در طول روز دریافت و قسمتی از آن در مصالح ساختمانی ذخیره میشود. در شب دمای مناسب با تابش از مصالح ساختمانی و جابجایی هوا تامین میشود.



شکل: ۱۰-۴: طرح ساختمان با پیش بینی سیستم دریافت مستقیم انرژی خورشید دیده میشود. انرژی خورشید در طول روز دریافت و قسمتی از آن در دیوار آبی ساختمانی ذخیره میشود. در شب دمای مناسب با تابش امواج مادون قرمز از دیوار آبی و جابجایی حرارت توسط آب و هوا تامین میشود.



شکل: ۱۰-۵- شیشه با خاصیت پخش کنندگی، نور تابیده را به کلیه سطوح پخش میکنند.

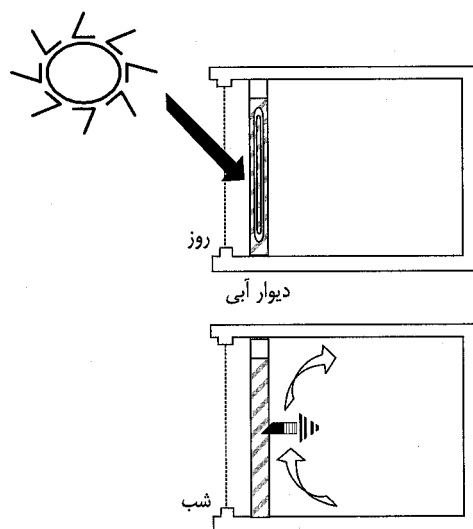
۱۰-۲-۲: طراحی سیستم طبیعی گرمایش با دریافت غیر مستقیم انرژی خورشید

در طراحی سیستم طبیعی گرمایش با دریافت غیر مستقیم انرژی خورشید، از روابط اصلی دریافت و ذخیره حرارت در ترکیب با فرآیند جابجائی استفاده میشود. در این روش همانطور که از اسم آن پیداست، انرژی خورشید بطور غیر مستقیم وارد فضای مسکونی میشود. این سیستم را به صورتهای مختلف شرح زیر میتوان طراحی نمود:

الف: دریافت غیر مستقیم انرژی خورشید از طریق دیوار جاذب

در این روش منبع ذخیره حرارت مابین ساکنین داخل فضا و محل ورود تابش خورشید قرار میگیرد. در نتیجه تابش مستقیم وجود ندارد. مثلاً یک دیوار تیره ذخیره حرارت درست در پشت شیشه‌های (پنجره‌های) جنوبی قرار میگیرد (شکل: ۱۰-۶). نور خورشید از شیشه عبور نموده و بلافاصله جذب دیوار جاذب میشود، این حرارت به تدریج در دیوار هدایت شده و از طریق جابجائی وارد فضای مسکونی میشود. در اکثر مواقع سرعت جذب انرژی دیوار جاذب کمتر از انرژی رسیده به فاصله هوای بین این دیوار و سطح پنجره‌ها است. در نتیجه دمای هوا در این ناحیه به آسانی میتواند به بیش از ۳۸ درجه سانتیگراد افزایش نماید.

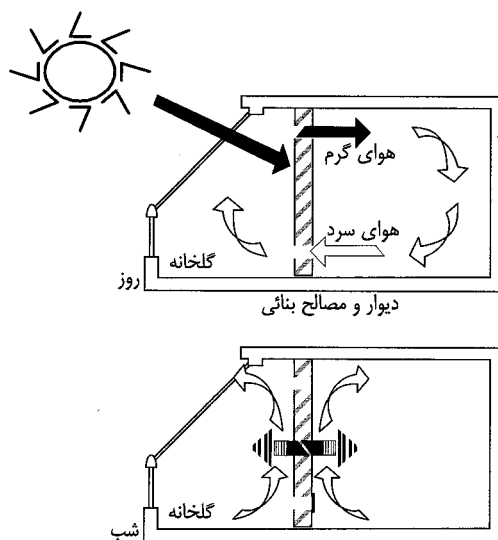
لذا با پیش بینی دریچه‌هایی در قسمت بالایی دیوار (محلیکه هوای گرم به علت سبک شدن به سمت بالا حرکت میکند)، میتوان هوای گرم شده را به سمت فضای داخل انتقال داد (شکل ۱۰-۷). دریچه‌های تخلیه در قسمت پائین دیوار هوای سرد فضای داخلی را جایگزین هوای گرم خارج شده از فضای بین دیوار و پنجره مینماید. گردش هوا تا زمانی که بین دمای هوای قسمت بالائی و دمای قسمت پائینی دیوار جاذب اختلاف وجود دارد ادامه مینماید. این گردش را بنام جابجائی طبیعی مینامیم. در شب دریچه‌ها بسته میشود تا هوای سرد ایجاد شده در فاصله پنجره و دیوار جاذب به داخل راه نیابد. یک صورت دیگر از دیوار جاذب با استفاده از آب (شکل: ۱۰-۷) به عنوان ماده دریافت و ذخیره (برداشت و انباشت) حرارت است. در این صورت دیگر نیاز به دریچه در بالا و پائین دیوار وجود ندارد. به روشهای مختلف میتوان این دیوار را با استفاده از شبکه‌های فلزی پر شده از آب و یا دیوار آبنبدی شده بتنی و یا دیوار پلاستیکی پر شده از آب طراحی نمود.



شکل: ۱۰-۶: دیوار جاذب و ذخیره حرارت از جنس آب

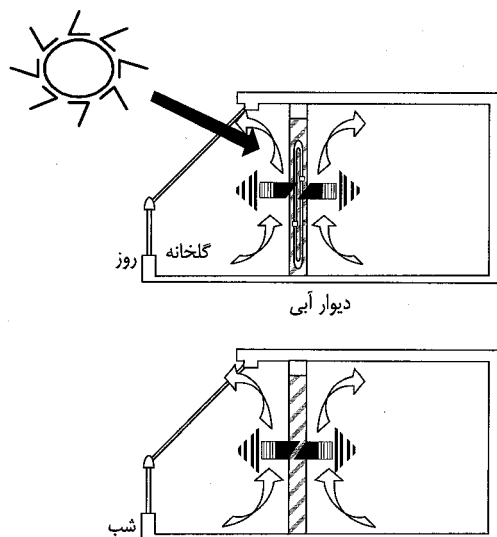
ب: دریافت غیر مستقیم انرژی خورشید از طریق گلخانه

این سیستم یک نمونه دیگر از سیستم طبیعی گرمایش با دریافت غیر مستقیم انرژی خورشید است، ولی علاوه بر دیوار جاذب و ذخیره حرارت، از اثر گلخانه ای نیز (شکل: ۷-۱۰) استفاده میشود. در این سیستم در ضلع جنوبی گلخانه ای در جلوی دیوار ذخیره حرارت ساخته میشود. این دیوار در پشت گلخانه و در جلوی سازه اصلی قرار میگیرد. دیوار جاذب و فضای گلخانه بطور همزمان حرارت دریافت میکنند. اگر دیوار مجهز به دریچه های تخلیه شود، حرارت از طریق جابجائی نیز به فضای داخلی منتقل میشود.



شکل: ۷-۱۰- گلخانه با دیوار ذخیره و دریچه

این ترکیب با دیوار آب بدون دریچه های تخلیه نیز قابل اجراست. در این حال گلخانه توسط دریافت مستقیم و فضای مسکونی توسط دریافت غیر مستقیم انرژی خورشید (شکل: ۸-۱۰) گرم میشوند. مزیت این روش آنستکه در صورت وجود چند روز ابری نیز حرارت مناسبی به کمک طرفین دیوار ذخیره حرارتی برای گلخانه تامین خواهد شد.

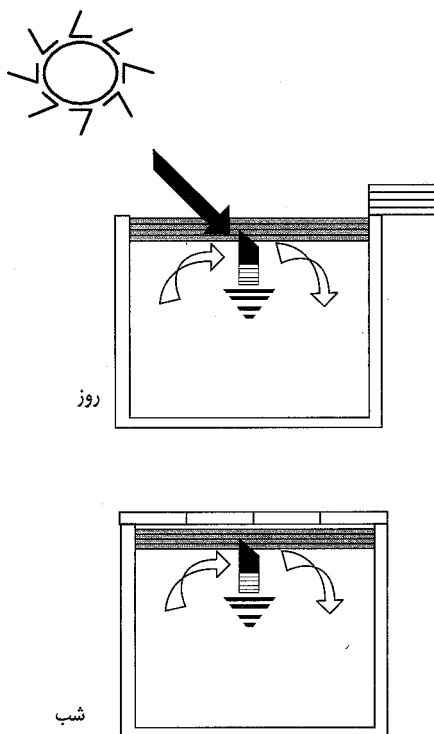


شکل: ۸-۱۰- گلخانه با دیوار آبی ذخیره

ج: دریافت غیر مستقیم انرژی خورشید از طریق حوض حرارتی

سیستم دیگر دریافت غیر مستقیم انرژی خورشید که برای گرمایش و سرمایش توأم قابل استفاده است، به نام روش حوض حرارتی نام گذاری میشود. در این روش آب در داخل یک بستر پلاستیک با رنگ تیره که ضمناً درمقابل اشعه ماورای بنفش مقاوم است در پشتبام قرار میگیرد. در مناطق با آب و هوای گرم و معتدل و بارندگی کم، که بام ساختمان به عنوان سقف فضای مسکونی است (شکل: ۹-۱۰)، حوض حرارتی گرمایش در فضای زیرین را مستقیماً تامین مینماید. در آب و هوای سرد گرمایش بیشتر مورد نیاز بوده و حوض حرارتی با پوشش شفاف مناسب است. آب با تابش خورشید گرم شده سپس این گرما از طریق تابش و جابجائی به فضای مسکونی در زیر بام منتقل میشود، بعلاوه برای گرمایش در شب نیز در آن حرارت انباشت میشود.

برای عملکرد خوب حوض حرارتی، سطح خارجی آن در هنگام شب باید عایق شده تا حرارت آن به آسمان و محیط خارج از طریق تابش و جابجائی تلف نشود. یکی از مزایای ذکر شده برای این سیستم آنست که هر یک از اتاقها میتواند منبع گرمایش خود را داشته و جهت و شکل ساختمان در آن بی تاثیر است. در صورتیکه طرح آورده شده در فصل ۱۶ به اجرا درآید، با استفاده از آب شور میتوان این سیستم را برای سرمایش بکار گرفت. در اینحالت برای عملکرد بهتر حوض سرمائی، سطح خارجی آن در هنگام روز باید عایق شده تا توسط تابش آفتاب در روز گرم نشود. بدیهی است که در هر حال میبایست که در سازه ساختمان پیش بینی بار حوض حرارتی بشود.

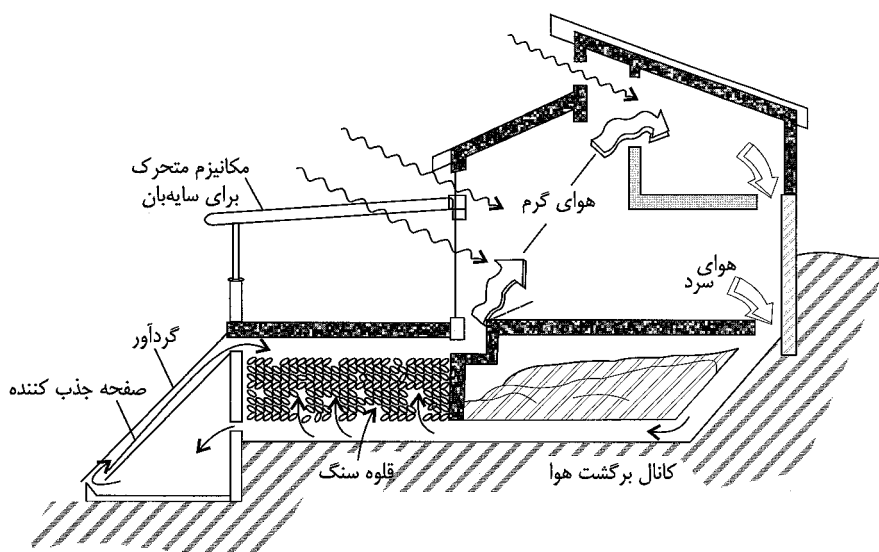


شکل: ۹-۱۰- در روز حوض حرارتی، انرژی خورشید را جمع آوری و ذخیره مینماید. در شب حوض پوشیده شده و حرارت ذخیره شده به فضای داخل تابیده میشود.

د: دریافت غیر مستقیم انرژی خورشید از طریق مخزن ذخیره سنگ یا آب

در این روش دریافت غیر مستقیم از سیال (مایع یا هوا) در گردآورهای مسطح برای جمع آوری حرارت استفاده میشود. حرارت از کانال یا لوله از طریق جابجائی طبیعی به منطقه ذخیره - شامل محفظه (برای هوا) یا مخزن (برای مایع)، محلی که هوای سرد یا مایع سرد مجبور به بازگشت به گردآور می‌شود (شکل ۱۰-۱۰).

اگر هوا به عنوان سیال عامل در حلقه جابجائی باشد. هوای گرم از کلکتور به محفظه سنگ (یا دیگر مصالح ساختمانی)، یعنی محلی که حرارت هوا توسط تخته سنگها جذب میگردد هدایت میشود. همینکه هوا از روی سنگها عبور مینماید، حرارت خود را به سنگها منتقل نموده، خنک شده وبسمت پائین محفظه، و سپس گردآور حرکت کرده و حلقه را کامل میکند. در شب حرارت تخته سنگها بوسیله جابجائی به فضای داخل ساختمان منتقل میشود. اگر آب بعنوان سیال عامل باشد فرآیند مشابه حالت قبل بوده و فقط حرارت در مخزن آب ذخیره میشود و همینکه آبگرم به مخزن وارد میشود آبسرد به گردآور رانده شده و حلقه کامل می‌شود. در یک سیستم جابجائی طبیعی (بدون سیستم کمکی مکانیکی مانند: پمپ و فن) گردآورها باید در ارتفاعی پائین تر از مخزن، و مخزن در ارتفاعی پائین تر از فضائی که میخواهد گرم شود قرار گیرد (شکل ۱۰-۱۰). البته اگر از سیستم‌های کمکی مکانیکی استفاده شود، قرار گرفتن عناصر سیستم در هر جا ممکن است (شکل ۱۰-۱۱)، یک نمونه از این حالت ساختمان خورشیدی دانشگاه علم و صنعت در تهران است [۳] که محفظه ذخیره حرارت خورشید در پشتبام قرار دارد (البته بهتر بود برای استفاده از گردش طبیعی هوا محفظه ذخیره حرارت پائین تر از فضای مسکونی قرار گیرد تا حرارت در فضای ذخیره محبوس نشود). سیستم گرمایش این ساختمان از یک دیگ آبگرم متعارف بعنوان سیستم کمکی استفاده نموده است. بهر حال تلاش طراحان و مجریان این طرح، شایسته قدر دانی، بخصوص آنکه نکات مثبت بطوریکه در زیر خواهیم دید در این طراحی زیاد است



شکل: ۱۰-۱۰ - حلقه جابجائی هوا یا آب

۱۰-۳: نکات مهم در طراحی سیستم طبیعی گرمایش

۱۰-۳-۱: محل ساختمان

بازدهی سیستم خورشیدی، مخصوصاً سیستم طبیعی گرمایش در هر ساختمان، به محل قرارگیری و نحوه قرار گیری آن نسبت به محیط اطراف بستگی دارد. در زمستان، شمال ساختمان به علت پائین بودن خورشید در آسمان تابش مستقیم نور خورشید را به مقدار ناچیز دریافت میکند، در حالیکه سمت جنوب از مزایای آفتاب زمستانی بیشتر از تابستان بهره مند میشود. قسمتی از ساختمان که نور خورشید را بین ساعت ۹ صبح تا ۳ بعداز ظهر در زمستان دریافت میکند، بهترین محل برای قرار گیری گردآورهای خورشیدی برای سیستم طبیعی گرمایش است.



شکل ۱۰-۱۱: ساختمان خورشیدی در دانشگاه علم و صنعت در تهران

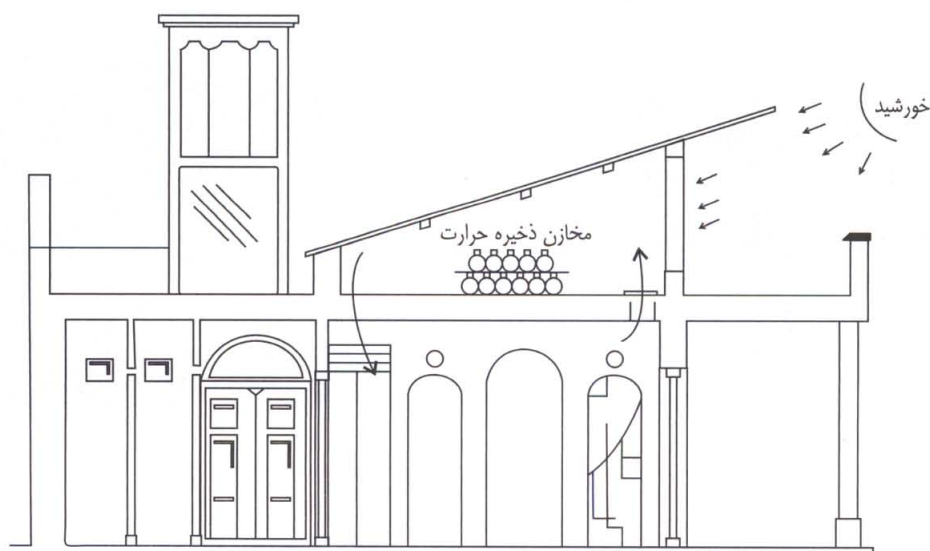
۱۰-۳-۲: شکل و جهت ساختمان

بطور کلی ساختمان در امتداد محور شمالی - جنوبی از جهت مجموعه گرمایش زمستانی و سرمایش تابستانی دارای بازدهی بهتری از سایر امتدادهاست. این امتداد امکان دریافت ماگزیم انرژی خورشید را از سمت جنوب فراهم میکند. این جهت از نظر تامین سرمایش در تابستان نیز مناسب است زیرا مقدار دریافت تابش در صبح و بعداز ظهر تابستان را کاهش میدهد. البته این مطلب بدین مفهوم نیست که تمام ساختمانها باید در این جهت ثابت باشند. سیستمهای طبیعی گرمایش را در ساختمانهای با

شکل مختلف وجهات مختلف میتوان به نحوی طراحی نمود، که با ترکیب موثر پنجره ها، نماها، وسایبانه‌های مناسب عملکرد مطلوب را داشته باشند. با پیش بینی فضاهای داخلی و بکارگیری نورگیرهای سقفی و پوشش های گیاهی میتوان بازدهی را افزایش داد. با توجه به محل، توپوگرافی، و شکل فضاهای موجود، امتدادهای دیگری غیر از امتداد شمال - جنوب ممکنست که ایده آل باشد. با وجود این امتداد شمال - جنوب برای اکثر مناطق برای گرمایش و سرمایش هردو بالاترین بازدهی را داراست.

۱۰-۳-۳: دیوار شمالی

در مورد یک ساختمان شمالی-جنوبی، ضلع شمالی ساختمان در زمستان آفتاب کمی دریافت میکند، و با توجه به اینکه حرارت به سمت منبع سرد میرود، ضلع شمالی ساختمان مرکز افت انرژی خواهد بود. بعلاوه، سایبان ها در فضای باز ضلع شمالی بعضی از ساختمانها در زمستان بلااستفاده میشود. برای کاهش این مشکل، اگر سقف پشتبام از ضلع جنوبی به سمت ضلع شمالی شیب داشته باشد، در این صورت ارتفاع بنا در ضلع شمالی کم شده و در نتیجه سطحی که از آن افت حرارتی صورت میگیرد کم میشود. بعلاوه اینکار باعث میشود که نور خورشید به قسمت بیشتری در ضلع شمالی از فضای داخلی ساختمان برسد. این مطلب در ساختمان خورشیدی دانشگاه علم و صنعت نشان داده شده در شکل ۱۰-۱۱ رعایت شده است. در شکل ۱۰-۱۲ شیب به سمت شمال موجب استفاده از تپه شمالی به عنوان یک خاکریز طبیعی نیز شده است، و از این جهت نیز افت از ضلع شمالی باز هم کاهش مییابد.



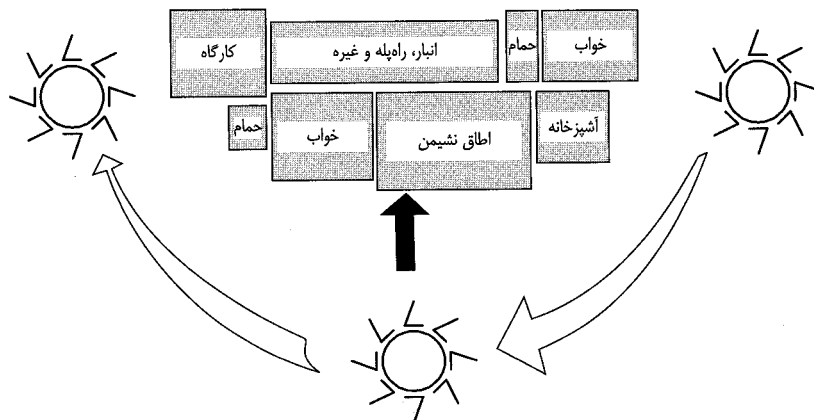
شکل: ۱۰-۱۱ - در ساختمان خورشیدی دانشگاه علم و صنعت، شیب از جنوب به شمال پشتبام موجب کاهش افت حرارت، و رسیدن نور خورشید به قسمت شمالی فضای داخلی می شود.



شکل: ۱۰-۱۲- شیب از جنوب به شمال پشتمان موجب کاهش افت حرارت، و رسیدن نور خورشید به قسمت شمالی فضای داخلی می شود.

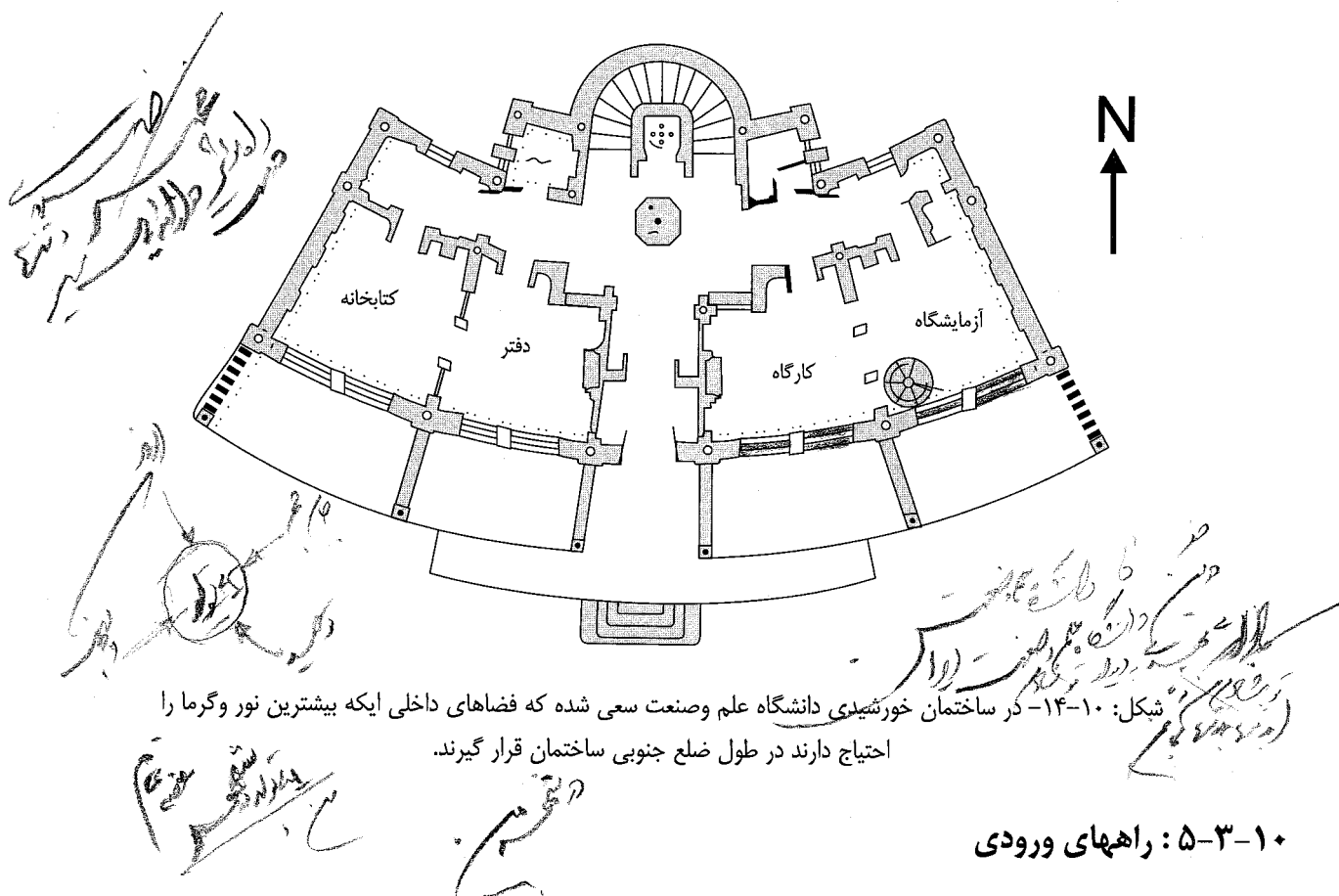
۱۰-۳-۴: طراحی فضاهای داخلی

محل، جهت و شکل ساختمان در فضا بندی داخلی میبایست مود توجه قرار گیرد. اتاقهایی که بیشتر استفاده میشوند و بیشترین نور و گرما را احتیاج دارند باید در طول ضلع جنوبی ساختمان قرار گیرند (شکل: ۱۰-۱۳) فضاهایی که استفاده کمتری از آنها میشود (مانند: انبار، کمد، گاراژ) میبایست در ضلع شمالی قرار گیرند، تا به عنوان فضای واسطه بین فضاهای مسکونی با منبع سرد در ضلع شمالی عمل نمایند.



شکل: ۱۰-۱۳- فضاهای داخلی باید طوری طراحی شود که اتاقهایی که بیشترین نور و گرما را احتیاج دارند در طول ضلع جنوبی ساختمان قرار گیرند.

بطوریکه در پلان ساختمان خورشیدی شکل ۱۰-۱۴ دانشگاه علم و صنعت [۳] دیده میشود، فضاهای داخلی که نیاز بیشتری به نور و گرما دارند در ضلع جنوبی ساختمان قرار گرفته اند. بعلاوه معمار ساختمان را طوری طراحی نموده که ضلع شمالی، یعنی: مرکز افت حرارت، دارای مساحت کمتری نسبت به ضلع جنوبی است.



۱۰-۳-۵: راههای ورودی

ورودیها مخصوصاً در بناهای کوچک افت زیادی را موجب میشوند. افت حرارت در هنگام باز کردن و بستن در (یا پنجره) رخ میدهد. حرارت از درزهای در و پنجره نیز افت مینماید. این نوع افت حرارتی (و یا دریافت حرارت در تابستان) افت تعویض هوا نامیده میشود. برای کاهش افت مستقیم وافت ناشی از تعویض، راههای ورودی را میبایست ساختمان در مقابل جریان بادهای متداول در منطقه حفاظت نمود. با پیش بینی فضای واسطه بین ورودیها و فضای داخلی افت حرارت را باز هم میتوان کاهش داد. این ورودیهای زوج، ایجاد یک ناحیه با درجه حرارت متوسط بین فضای داخل و فضای خارج مینماید، ودر نتیجه موجب کاهش بار حرارتی (ودر تابستان کاهش بار برودتی) میشود. ضمناً ورودی زوج مقدار ورود هوای گرم و یا سرد را هنگامیکه در میانی باز است به داخل فضای مسکونی کاهش میدهد.

۱۰-۳-۶: جدارهای نورگذر

جدارهای نورگذر شامل پنجره ها، نورگیرها و سازوکارهای مشابه است. جدارهای نورگذر باید حتی المقدور بدون درز و در نتیجه با حداقل نشت هوا باشند. در یک ساختمان با سیستم طبیعی گرمایش بیشترین نورگذرها، باید در ضلع جنوبی طراحی شوند. بعلاوه در طراحی اندازه و محل پنجره ها در بنا میبایست اثرات: حرارت دریافتی در تابستان؛ دید؛ نور طبیعی؛ حفظ موارد خصوصی را مورد توجه قرار داد. در یک سیستم طبیعی گرمایش، سطح نورگذرها در دیوارهای ضلع شرقی، غربی و یا شمالی باید حتی المقدور کم و یا توجه به نیاز ضروری باشد و بهتر است مجهز به شیشه دوجداره شوند. نورگذرها کمترین مقاومت را در مقابل انتقال حرارت از پوسته ساختمان، چه از جهت خروج گرما به خارج در زمستان، و چه از جهت ورود حرارت به داخل در تابستان نشان میدهند. جداول ضریب انتقال حرارت جدارهای نور گذر [۱۲] قابل دسترسی است.

۱۰-۴: روابط ساده برای طراحی سیستم‌های گرمایش طبیعی

۱۰-۴-۱: روابط ساده برای طراحی سیستم طبیعی با دریافت مستقیم انرژی خورشید

الف: نورگذرها

در طراحی سیستم طبیعی گرمایش با دریافت مستقیم انرژی خورشید، تعیین سطح نورگذرها با توجه به طول فصل زمستان؛ مینیمم درجه حرارت؛ اندازه ساختمان و مقدار جرم داخلی ذخیره کننده حرارت تعیین میشود. بدست آوردن روابط مناسب از تغییرات غیر مناسب دما (دمای خارج از محدوده آسایش) در ساختمان جلوگیری مینماید. روابط نامناسب ممکنست موجب بالا رفتن دمای اضافی در داخل ساختمان، حتی در زمستان شود. سطح نورگذرمتناسب با سطح فضای مسکونی (با فرض وجود مقدار مناسب جرم ذخیره حرارت) است. نسبت تناسب عبارت از: 0.2 الی 0.4 مترمربع پنجره در ضلع جنوبی به ازای هر متر مربع از سطح فضای مسکونی است. این مقدار پنجره موجب تامین دمای بین 18 الی 22 درجه سانتیگراد در زمستان در منطقه سردسیر (با درجه حرارت متوسطی بین 1 الی 6 درجه سانتیگراد) میشود. در یک آب و هوا با سرمای کمتر (یعنی دمای متوسط زمستان بین 2 الی 5 درجه سانتیگراد) با 0.1 الی 0.25 مترمربع پنجره در ضلع جنوبی به ازای هر متر مربع از سطح فضای مسکونی میتوان به دمای مشابه برای آسایش رسید.

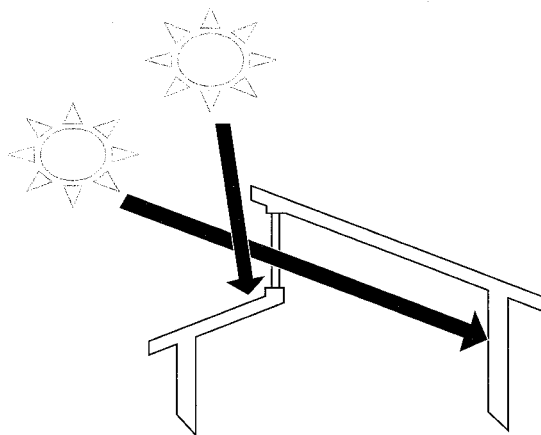
محل و اندازه نورگذر بستگی به طرح ساختمان و نوع فضا از نظر استفاده زیاد یا استفاده کم دارد. مقدار تابش رسیده به نورگذر را با افزایش مقدار تابش به نورگذر بوسیله بازتاب کننده ها میتوان تنظیم نمود. بعلاوه با استفاده از یک مکانیزم کاهش افت حرارتی مانند: عایق متحرک، شیشه دوجداره، و یا بازشوهای چوبی نیز به میتوان به تنظیم بار اقدام نمود. مثلاً میتوان با استفاده از چهار چوب چوبی تا حدود 20% [۱۲] ضریب افت حرارت پنجره را کاهش داد.

ب: نورگذرها در بام

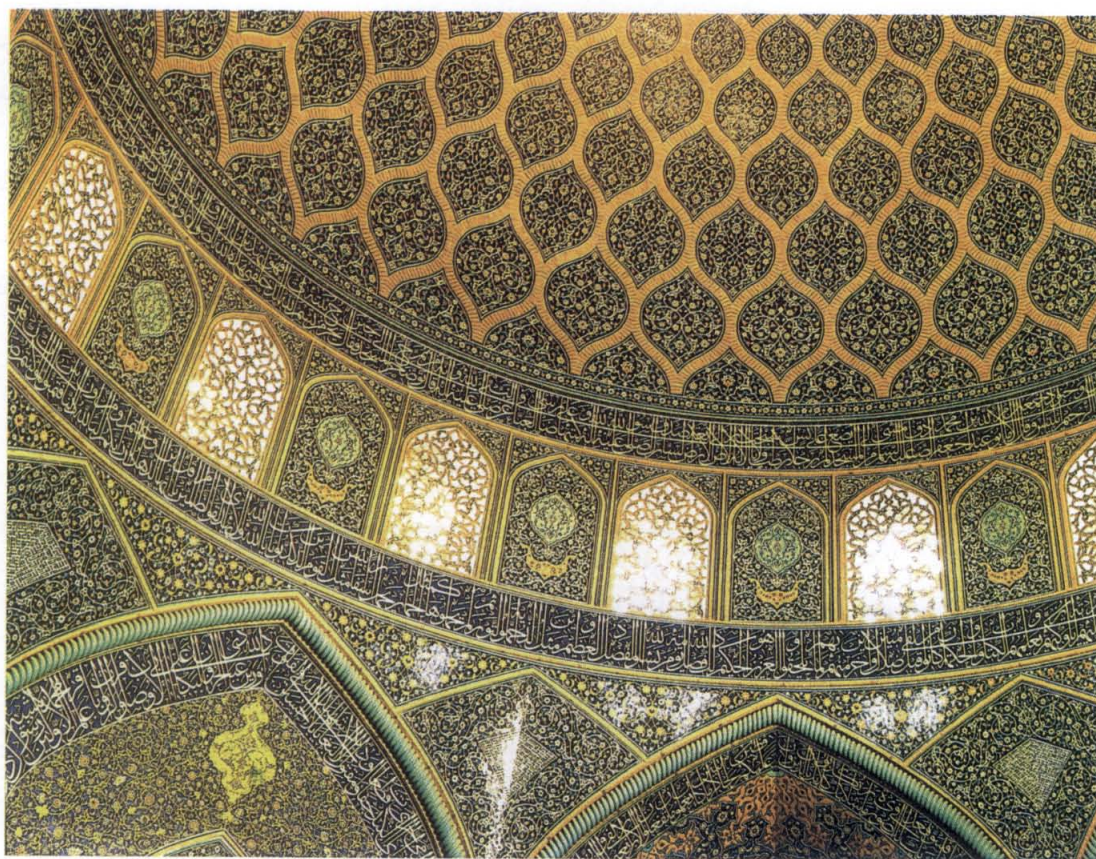
در یک سیستم گرمایش طبیعی ممکنست افزایش نورگذرها در ضلع جنوبی لازم باشد. این در هنگامی است که طرح فضای داخل اطاق مانع رسیدن و ذخیره انرژی ورودی از نور گذرها در دیوارهای ذخیره حرارتی شود. در سیستم طراحی تابش مستقیم سطح دیوارهای ذخیره حرارتی باید مستقیماً نور خورشید را دریافت کند. اما هر چه این دیوارها فاصله شان از نورگذرها بیشتر باشد، برای رساندن نور به این دیوارهای با توجه به زاویه تابش خورشید، ارتفاع پنجره ها باید افزایش یابد. ولی افزایش ارتفاع پنجره ممکنست موجب گرمایش غیرمناسب فضا در روز شود. بنابراین معمولاً، دیوارهای ذخیره نباید بیش از $1/25$ تا $1/5$ برابر ارتفاع دیوار ذخیره از پنجره ها فاصله داشته باشد- مثلاً فاصله دیوار با ارتفاع $2/4$ متر نباید از نورگذر بیش از $3/6$ متر باشد (فضاهای بزرگ از این رابطه تبعیت نمیکند، شکل: ۱۰-۱۶). در اینجا خوبست که این نکته نیز گفته شود که تابش مستقیم روی مصالح نیز تاثیر میگذارد. مثلاً موجب خشک شدن صندلیهای چوبی شده و یا رنگ پارچه ها را بتدریج از بین میبرد. بنابراین در انتخاب مبلمان داخلی باید دقت نمود. و بالاخره، از همه مهمتر سازه ها و گیاهان مجاور ممکنست موجب کاهش مقدار نور مستقیم رسیده به دیوار ذخیره حرارتی شده و عملاً آنرا بلااستفاده نموده و یا بازدهی آنرا کاهش دهد. بنابراین هر یک از این شرایط و یا مجموعه آن ذخیره انرژی دیوار حرارتی را با مشکل روبرو مینماید. در این صورت یک راه حل استفاده از

نورگذرها در بام است. از این طریق تابش مستقیم را به محل مناسب میتوان وارد نمود. شکل: ۱۰- ۱۰ و شکل ۱۱-۱۱ این مطلب را نشان میدهند.

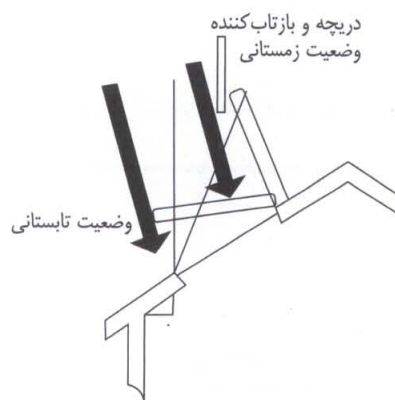
مزیت دیگر این روش ارسال نور طبیعی به فضای مسکونی و در نتیجه کاهش نیاز به نور مصنوعی است. نورگذرها در بام بطور عمودی (شکل: ۱۰-۱۵) و رو به جنوب در آن قرارمیگیرند. بعلاوه مزایای دیگر نورگذر در بام عبارت از : اجازه دریافت تابش پراکنده؛ جلوگیری از اشراق دید خارجی و تقریباً امکان نصب در هر نقطه از بام در صورت استفاده از سقفهای شیبدار است. در یک ساختمان با طرح نور گذرهای متعدد، هر اطلاق میتواند نورگذرو منبع ذخیره حرارتی مستقل خود را داشته باشد. هریک از این نورگذرها باید با فاصله مناسب از دیوار ذخیره حرارتی خود قرار گیرد، بطوریکه امکان برخورد مستقیم نور خورشید به دیوار در تمام طول زمستان میسر باشد. همانطور که در بالا گفته شد، این فاصله تقریباً $1/5$ برابر ارتفاع دیوار است. سقفهای اطاقهایی که مجهز به نورگذر عمودی شده اند. میبایست به رنگ روشن باشند تا نور خورشید را در فضای مسکونی بازتاب و یا پراکنده نمایند. فضاهای بزرگ داخلی میتوانند مجهز به تعداد زیادی نورگذر عمودی در بام شده بطوریکه امکان ورود ماگزیمم نور خورشید را بدهند. گنبد مسجد شیخ لطف اله (شکل ۱۰-۱۶) نمونه خوبی در استفاده از نورگذرهای عمودی است. باید دقت نمود که این پنجره ها روی یکدیگر سایه نیاندازند. لذا شیب پشتبام مربوط به هر یک از این پنجره ها (از افق) باید زاویه ای معادل زاویه خورشید در پائین ترین نقطه آن در زمستان داشته باشند(زاویه فراز در ظهر اول دیماه در محل پروژه). نورگذرها در پشتبام میتوانند بطور افقی یا شیبدار در سطح آن قرار گیرند. میتوان نورگیر افقی در پشتبام را به بازتاب کننده نیز مجهز نمود، تا از این طریق شدت نور ورودی خورشید را افزایش داد. نورگذرهای سقفی بزرگ را بهتر است به سایبان مجهز نمود (شکل ۱۰-۱۷ و شکل ۱۰-۱۸) تا از افت حرارت به آسمان در زمستان و دریافت تابش اضافی در ماههای تابستان جلوگیری شود.



شکل: ۱۰-۱۵- از نورگذر عمودی در پشتبام میتوان برای تاباندن نور خورشید به دیوارهای داخلی ایکه بدون نورگذر نور خورشید به آنها نمیرسد، استفاده کرد.



شکل: ۱۰-۱۶- در مسجد شیخ لطف اله از نورگذرهای عمودی برای گسترش تابش نور خورشید به دیوارهای داخلی استفاده شده است. این عمل موجب افزایش بازدهی ذخیره انرژی خورشید توسط دیوارهاست.



شکل: ۱۰-۱۷- نورگذر شیبدار در پشتبام راه حل دیگری برای دریافت نور مستقیم خورشید است، سازوکار سایبان باید در سیستم آن پیش بینی شود تا از حرارت زیادی در فضای مسکونی در تابستان جلوگیری شود.

سیستم بازتاب نور به آسمان: اگر ایجاد سایه مشکل آفرین باشد میتوان با وسائلی برای بازتاب نور این مشکل را تسهیل نمود. معمولاً از بازتاب کننده افقی با عرض مساوی با عرض نورگیر و ارتفاع یک تا دو برابر نورگیر قائم می توان استفاده نمود. در بالای پنجره شیروانی میتوان یک بازتاب کننده مانند شکل: ۱۰-۱۷ با زاویه ای حدود ۱۰۰ درجه نسبت به شیب سقف نصب نمود. این بازتاب کننده میبایست حدود ابعاد پنجره شیروانی باشد. با نصب بازتاب کننده مقدار انرژی خورشیدی گردآوری شده

برای پنجره عمودی، افقی یا شیبدار به مقدار ۳۰٪ الی ۴۰٪ افزایش مینماید. برای بازدهی بیشینه زاویه بازتاب کننده نسبت به پنجره باید بهینه انتخاب شود. جدول: ۱-۱۰ زاویه بهینه بازتاب کننده را برای پنجره شیروانی با شیب مختلف میدهد.

گاهی اوقات از بازتاب کننده برای بازتاب نورخورشید به منبع ذخیره انرژی در داخل ساختمان مانند دیوار آب میتوان استفاده نمود. بازتاب کننده ها باید طوری طراحی شوند که بتوانند جلوی ورود نوری که موجب گرمای اضافی در تابستان شود را بگیرند. جدول: ۱۰-۲ مشخصات بعضی از مواد بازتاب کننده را نشان میدهد.

جدول ۱-۱۰: زاویه بازتاب کننده برای نور گذر بر روی قسمتی از بام بسمت جنوب

عرض جغرافیائی شمالی (درجه)				شیب نور گذر
۵۴	۴۸	۴۲	۳۶	
۶۶	۷۱	۷۶	۸۰	افقی
۹۰	۹۳	۹۷	۱۰۰	۳۰ درجه
۹۰	۱۰۰	۱۰۳	۱۰۷	۴۰ درجه
۱۰۳	۱۰۷	۱۱۰	۱۱۳	۵۰ درجه

جدول ۱۰-۲: مقدار قابلیت آینه واری سطوح مختلف در بازتاب خورشید

جنس سطح	مقدار درصد احتمالی بازتاب
ورق نقره داده شده با روش الکترولیز	۰/۹۶
ورق آلومینیوم بسیار خالص ونو	۰/۹۱
شیشه با لایه نقره در پشت آن	۰/۸۸
ورق آلومینیوم خالص	۰/۸۶



شکل: ۱۰-۱۸- نورگذر افقی در پشتبام برای دریافت نور مستقیم خورشید کمتر از نور گذرهای عمودی در بناهای تاریخی ایران دیده میشود. یکی از علل آن استفاده از روشنایی و حرارت در عین سهولت کنترل آن است. اما بدیهی است که دارای زیبایی بیشتر است.

ج: مصالح ذخیره گرما

مسئله مهم در طراحی سازه با سیستم دریافت مستقیم خورشید جلوگیری از تغییرات آزار دهنده درجه حرارت در طول روز است. محاسبه مقدار حرارت ورودی از هر بازشو به داخل فضای مسکونی نسبتاً ساده است. ولی پیش بینی آنکه چه مقدار حرارت ذخیره میشود مشکل است. از آنجائیکه تفاوت بین مقدار انرژی ورودی خورشید و مقدار انرژی ذخیره شده اثر عمده بر روی تغییرات درجه حرارت در طول ۲۴ ساعت در شبانه روز دارد، بنابراین تعیین مقدار جذب انرژی توسط منبع ذخیره حرارت، از مهمترین نکات طراحی به شمار میآید. از انرژی ورودی از نورگذرها در یک روز زمستانی حدود ۶۵ درصد آن در شب میتواند تلف شود. این بدین معنی است که در طول روز میبایست، ۶۵ درصد از انرژی ورودی ذخیره شود، تا جبران افت حرارت در شب را نموده و در عین حال یک دمای تقریباً ثابت را در شبانه روز تامین نمود. بعلاوه ذخیره موثر گرما از افزایش نامناسب دما در داخل فضای مسکونی در ساعات آفتابی روز جلوگیری مینماید.

بطور کلی در طراحی سیستمهای ذخیره حرارت میبایست نکات زیر را مورد توجه قرارداد:

الف- دیوارها، کف، و سقفهاییکه به عنوان ذخیره حرارت بکار میروند باید حداقل ۱۰ سانتیمتر ضخامت داشته باشند.

ب- آفتاب ورودی از نور گذر میبایست حتی المقدور در روی سطوح ذخیره پخش شود. چند نور گذر کوچک (شکل: ۱۰-۱۶) بهتر از یک نورگذر با سطحی معادل این منظور را عملی میکند.

ج- برای سطوح دیوارها، سقفها و کف هائی که نقش منبع ذخیره حرارتی را ندارند باید از رنگ روشن استفاده شود، تا حتی المقدور نور خورشید از آنها بر روی اجرام ذخیره حرارت بازتاب شود.

د- سطح اجرام ذخیره حرارت (دیوارها، سقفها و کفها) باید به رنگ تیره باشد.

ه- در صورتیکه سطح کف فضای مسکونی نقش جرم ذخیره حرارت را داشته باشد نباید آنرا با قالی یا موکت فرش شود.

و- نور مستقیم خورشید نباید زمان طولانی به لوازمی با رنگ تیره بتابد.

ذخیره حرارت به طرق مختلف عملی است، ولی بهترین حالت آنست که هر مترمربع از نور خورشید بر ۹ متر مربع از سطح ذخیره حرارت بتابد. با این حد پخش نور خورشید، کفایت ضخامت منبع ذخیره ۱۰ سانتیمتر باشد. اگر نور خورشید بر روی سطح کمتری پخش شود، بازدهی را با افزایش ضخامت جرم ذخیره تا ۲۰ سانتیمتر میتوان افزایش داد، افزایش ضخامت بیش از ۲۰ سانتیمتر اثری بر روی افزایش بازدهی نخواهد داشت. بنابراین، افزایش سطح حرارتی و پخش نور خورشید بیش از افزایش ضخامت جرم منبع ذخیره حرارتی در افزایش ظرفیت ذخیره حرارت موثر است. پخش نور با کاهش شدت تابش، جذب حرارت توسط جرم ذخیره را افزایش داده و در نتیجه تغییرات دما را در شبانه روز کاهش میدهد. قابلیت نگهداری حرارت توسط اجرام ذخیره حرارت به جنس آن نیز بستگی دارد. جدول: ۱۰-۳ مشخصات حرارتی بعضی از مصالح ساختمانی را نشان میدهد [۲]. بطوری که در این جدول دیده میشود، بتن معمولی بیش از سایر مصالح قابلیت هدایت دارد. هدایت بالاتر به این مفهوم است که ضریب جذب و انتشار حرارت جسم بالا میباشد، این کیفیتی است که بازدهی ذخیره حرارت را بالا برده و تغییرات دما را کاهش میدهد.

جدول: ۱۰-۳- مشخصات ذخیره حرارتی اجسام در دمای ۲۰ درجه سانتیگراد

جرم مخصوص ρ	گرمای ویژه C_p	ضریب هدایت حرارتی k	مصالح
kg / m^3	$kJ / kg.^{\circ}C$	$W / m.^{\circ}C$	
۲۳۰۰-۱۹۰۰	۰/۸۸	۱/۴۰ - ۰/۸۱	بتن معمولی
۱۶۰۲	۰/۸۴	۰/۶۹	آجر معمولی
۶۰۰-۴۸۰	۲/۳۹	۰/۱۷	چوب (بلوط)
۹۹۸	۴/۱۸۲	۰/۶	آب

د: دیوارهای داخلی از جنس آب

به علت خاصیت جابجائی حرارت توسط سیالات، دیوار ذخیره حرارت از جنس آب، بهتر از دیوار از جنس مصالح ساختمانی حرارت را گرفته، ذخیره کرده و (به صورت امواج مادون قرمز) انتقال میدهد. برای افزایش جذب حرارت توسط دیوار آبی اینکه در تابش مستقیم قرار دارد رنگ آن باید تیره باشد. جابجائی موجب میشود که حرارت در زمان کوتاه بطور همگن درون منبع ذخیره حرارت منتشر شود. در نتیجه مشکل تغییرات شدید دما وجود نخواهد داشت. اگر دیوار آبی تابش مستقیم خورشید را بین ساعت ۱۰ صبح الی ۲ بعد از ظهر دریافت نموده و رنگ آن نیز تیره باشد برای هر متر مربع نورگذر، حدود ۰/۲۵ متر مکعب دیوار ذخیره آبی لازم خواهد بود.

۱۰-۴-۲: روابط ساده برای طراحی سیستم طبیعی با دریافت غیر مستقیم انرژی خورشید

الف: پنجره های خورشیدی

با تعیین اندازه مناسب عناصر ذخیره حرارت در روش دریافت غیر مستقیم (معمولاً دیوار)، میتوان درصد بالائی از حرارت مورد نیاز فضا را برای تامین درجه حرارت مناسب حتی در یک منطقه خیلی سرد تامین نمود. دیوارهای ذخیره حرارت مانند: دیوارهای داخلی میتواند از جنس مصالح ساختمانی و یا آب باشد. برای هر متر مربع از سطح زیربنای فضای مسکونی در شهرهایی با نیاز گرمائی زیاد، حدود $0/4$ الی 1 متر مربع دیوار ذخیره حرارت رو به جنوب با پوشش شیشه دولایه لازمست تا دمای مناسب در طول ماههای زمستان تامین شود [۱۲]. در صورتیکه منبع ذخیره حرارت دیوار آبی باشد از سطح کمتر دیوار ($0/3$ الی $0/85$ متر مربع) میتوان استفاده نمود. در فضای مسکونی در شهرهایی با نیاز گرمائی کم (جدول: ۶-۱۰، در انتهای همین فصل ملاحظه شود)، حدود $0/2$ تا $0/6$ متر مربع دیوار مصالح بنائی و $0/15$ تا $0/45$ دیوار آبی لازمست تا دمای مناسب در طول ماههای زمستان تامین شود.

ب: اندازه دیوار ذخیره حرارت

اندازه دیوار ذخیره با شرایط محلی و آب و هوا؛ مقدار عایق استفاده شده و عرض جغرافیائی محل پروژه تغییر میکند. دو عامل اول که بر روی افت حرارت از فضا موثرند تحت تاثیر اختلاف درجه حرارت داخل و خارج و اندازه عایقی که برای کاهش انتقال حرارت بکار رفته قرار دارد. عرض جغرافیائی از نظر آنکه بر روی مقدار شدت تابش خورشید اثر دارد، مهم است. برای مثال در یک روز آفتابی در زمستان در تهران مقدار انرژی خورشیدی دریافتی توسط یک متر مربع سطح عمودی معادل 340 وات بر متر مربع (شکل ۱۰-۱۹) در حالیکه در همانروز مقدار انرژی دریافتی توسط یک متر مربع سطح عمودی در زمستان در شهر کرمان معادل 385 وات بر متر مربع است. بطور کلی و با صرفنظر از شرایط محلی دیوار ذخیره اندازه اش با افزایش عرض جغرافیائی زیاد میشود. عامل دیگری که در اندازه دیوار ذخیره موثر است، عبارت از موانع در مقابل نور خورشید مانند: درختها؛ ساختمانها و غیره. اندازه گذاری دیوار ذخیره در اینجا بر اساس یک درجه حرارت متوسط 18 الی 24 درجه سانتیگراد برای 24 ساعت میباشد. از آنجائیکه دیوارهای ذخیره حرارتی در بین شیشه های جذب تابش و فضای داخلی که میبایست گرم شود قرار میگیرد، مشکل گرم شدن اضافی در مقایسه با حالت دریافت مستقیم کمتر مسئله ساز است. در آب و هوای خیلی سرد و یا هنگامیکه شرایط محلی امکان مقدار دیوار ذخیره لازم را نمیدهد، از بازتاب کننده میتوان استفاده کرده و مقدار نور بیشتری را به دیوار ذخیره تاباند. با عایق بندی کافی در سایر دیوارها و پشتبام میتوان افت حرارتی را کم کرده و اندازه دیوار ذخیره را کاهش داد.

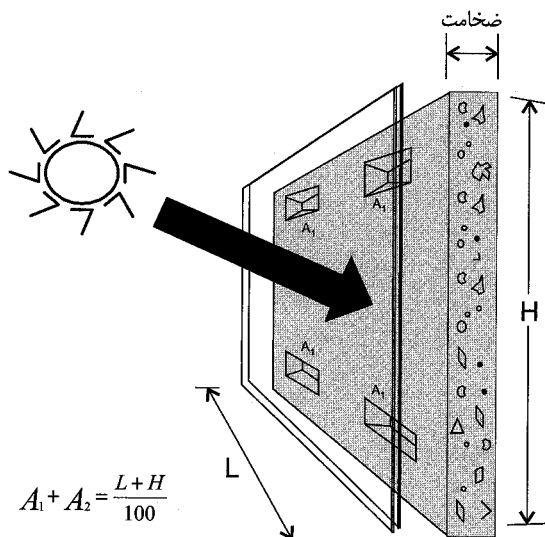


شکل: ۱۰-۱۹: شدت تابش خورشید بر یک متر مربع سطح عمودی رو به جنوب در زمستان (W/m^2).

ج- جزئیات دیوار ذخیره حرارت

به غیر از سطح دیوار و مقدار نورگذر، ضخامت، نوع مصالح، و رنگ سطح دیوار جاذب عوامل اصلی بازدهی دیوار ذخیره حرارتی در تامین نیاز گرمایی ساکنین در ساختمان است. علاوه بر این روش، بازدهی به محل دریچه‌های گردش هوا در بالا و پائین دیوار، به جذب انرژی تشعشعی توسط آفتابخور دیوار و ضریب انتشار حرارت دیوار دارد. تابش خورشید به آسانی موجب بالا رفتن دمای هوای بین شیشه و دیوار تا بیش از ۴۰ درجه سانتیگراد شده و آنرا به سمت دریچه‌های تخلیه در بالای دیوار (هوای گرم شده سبک میشود) هدایت میکند. تخلیه هوا از دریچه‌های بالا موجب مکش هوا از دریچه‌های پائین دیوار به داخل فاصله بین دیوار و شیشه میشود. به این ترتیب هوا در فضای مسکونی به گردش درمی‌آید.

جابجایی تا ۲ الی ۳ ساعت بعد از غروب آفتاب بعلاوه گرم بودن سطح دیوار ذخیره حرارت ادامه می‌یابد. لذا لازمست که دریچه‌ها بعد از این زمان بسته شود. این کار موجب میشود که جابجایی در جهت عکس که موجب خارج شدن حرارت میشود رخ ندهد. کیفیت گرمای فضای داخل را میتوان به کمک یک پرده متحرک بازتاب کننده تابش که بر روی قسمتی یا کل سطح خارجی دیوار حرارتی قرار میگیرد کنترل نمود. اندازه مجموع دریچه‌های تخلیه هوا معادل ۱۰۰ سانتیمتر مربع به ازای هر متر مربع از دیوار ذخیره حرارت است (بعبارت دیگر مساحت سطح دریچه‌ها یک در صد سطح دیوار حرارتی است). این دریچه‌ها بطور مساوی در بالا و پائین دیوار قرار میگیرند (شکل: ۱۰-۱۸).



شکل: ۱۰-۱۸ - دیوار با مصالح ساختمانی - محل واندازه دریچه ها در روی دیوار مطابق شرح فوق میباشد.

ضخامت مناسب برای دیوار بر اساس مصالح بکاررفته متفاوت است (جدول ۱۰-۴). ذکر این نکته مجدداً لازمست که منظور تامین شرایط آسوده در فضای مسکونی بدون ایجاد تغییرات شدید دما در آن است. جدول: ۱۰-۵، مقدار تغییرات درجه حرارت را برای نوع ۴ (از مصالح) دیوار برای چند ضخامت مختلف نشان میدهد. فارغ از جنس مصالح بکار رفته میتوان انتظار داشت که درجه حرارت ماگزیمم و مینیمم در دو دیوار با ضخامت مختلف در زمانهای متفاوت در روز ایجاد شود و آن بعلت زمان بیشتر مورد نیاز برای انتقال حرارت، ظرفیت بالاتر جذب و تابش امواج مادون قرمز از دیوار ضخیم تر است. بطوریکه ملاحظه میشود، اول خشت و سپس آجر با ایجاد تغییرات دمای کمتر فضای آسوده تری را از این نظر فراهم میآورند.

همانطور که گفته شد دیوار آبی بیش از دیوار با مصالح ساختمانی در جذب کردن، نگهداشتن، و تابش حرارت بازدهی دارند. در طراحی این دیوارها ملاحظات دیگر مانند: نگهداری آب در مخازن مناسب از نظر بازدهی، ارزانی و زیبایی از جمله موارد است. ظروف مختلف از جمله استوانه های پلاستیکی مناسب، بشکه های فلزی و یا مخازن را میتوان برای نگهداری آب استفاده نمود.

جدول ۱۰-۴: ضخامت توصیه شده مصالح برای دیوار ذخیره حرارت

مصالح	ضخامت توصیه شده (سانتیمتر)
خشت	۲۰-۳۰
آجر	۲۵-۳۵
بتن سنگین	۳۰-۴۵
آب	۱۵

جدول ۱۰-۵: اثر ضخامت دیوار بر روی تغییرات درجه حرارت فضا

مصالح	ضریب هدایت $W / m.^{\circ}C$	ضخامت توصیه شده (سانتیمتر)	تغییرات دمای داخل ناشی از ضخامت دیوار ذخیره				
			۱۰ سانتیمتر	۲۰ سانتیمتر	۳۰ سانتیمتر	۴۰ سانتیمتر	۵۰ سانتیمتر
خشت		۲۰-۳۰		۱۰	۴	۴	
آجر	۰/۶۹	۲۵-۳۵		۱۳	۶	۴	
بتن	۰/۸۱-۱/۴	۳۰-۴۵		۱۵/۵	۹	۵/۵	۳/۵
آب	۰/۶	۱۵ یا بیشتر	۱۷	۱۰	۷	۶	۵/۵

۱۰-۴-۳: روابط ساده برای طراحی سیستم طبیعی با دریافت غیر مستقیم انرژی خورشید از طریق گلخانه متصل به ساختمان

روش غیر مستقیم گرمایش، با استفاده از گلخانه بعنوان منبع ذخیره انرژی، اجرائی بوده، ولی بعلت چند منظوره بودن آن، نیاز به طراحی دقیق دارد، تا هم گرمایش لازم برای فضای مسکونی تامین شود و هم شرایط مناسب برای گلخانه آماده گردد. طراحی باید به نحوی باشد که بتوان بازدهی سیستم را برای هر دو مورد پیش بینی نمود. اتصال گلخانه بعنوان منبع ذخیره انرژی خورشید در ضلع جنوبی ساختمان موجب میشود که ساختمان از گرمای جذب شده توسط فرآیند طبیعی گلخانه منتفع شود. بعلاوه گلخانه انرژی خورشید را نیز جذب مینماید. این انرژی یا از طریق دیوار ذخیره حرارتی بین ساختمان و گلخانه از طریق هدایت حرارت و یا از طریق جابجائی به فضای مسکونی منتقل میشود. در اینحالت گلخانه هم به صورت منبع ذخیره انرژی عمل نموده و هم محلی برای استفاده ساکنین و گیاهان از خورشید میباشد. بطور کلی در طراحی گلخانه در آب و هوای سرد برای هر متر مربع از فضای مسکونی معادل ۰/۶۵ الی ۱/۵ متر سطح شیشه دو جداره در ضلع جنوبی برای دریافت تابش خورشید لازم است.

در آب و هوای ملایم این مقدار به ۰/۳۳ الی ۰/۹ متر مربع کاهش مییابد. این سیستم میتواند درجه حرارتی بین ۱۶ الی ۲۱ درجه سانتیگراد را برای فضای مجاور تامین نماید. اطلاعات بیشتر در جدول: ۱۰-۶ ملاحظه شود.

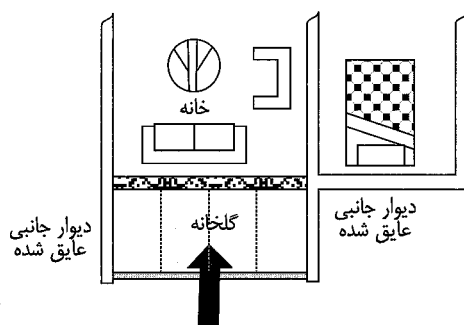
جدول ۱۰-۶: اندازه گلخانه متصل به ساختمان برای شرایط آب و هوایی مختلف.

متوسط درجه حرارت خارج		سطح گلخانه (مترمربع) برای هر متر مربع از سطح اطاق	
		دیوار با مصالح	دیوار آب
-۷		۰/۹-۱/۵	۰/۷-۱/۳
-۴		۰/۸-۱/۳	۰/۶-۱
-۱		۰/۶-۱/۲	۰/۵-۰/۸
۲		۰/۵-۰/۹	۰/۴-۰/۷
۴		۰/۴-۰/۷	۰/۳-۰/۵
۷		۰/۳-۰/۵	۰/۲-۰/۴

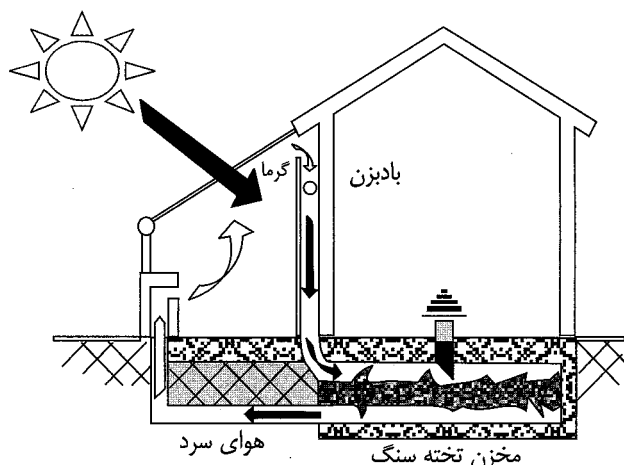
قرار گرفتن گلخانه خورشیدی در نمای جنوبی ساختمان ایده آل بوده ولی در نمای شرقی و غربی از نظر جذب انرژی مناسب نبوده و بعلاوه ممکنست افت حرارت در اینحالت قابل ملاحظه باشد. از طرفی انتقال حرارت از دیوار مشترک گلخانه و فضای مسکونی در حالت نمای جنوبی (شکل ۱۰-۱۹) دارای بازدهی بهتر است. برای گرمایش ساختمان در روزهای زمستان از طریق تابش مستقیم میتوان گلخانه را به بدنه آن متصل نمود، اما یک چنین ساختمانی اگر جرم لازم برای ذخیره حرارت را نداشته باشد قادر نیست حرارت لازم برای استفاده در شب را در خود ذخیره نماید. بعضی از طرحها برای گرمایش در شب از تنظیم انتقال حرارت گلخانه به جرم ذخیره حرارت در ساختمان (دیوارها، کف و غیره) استفاده میکنند. البته اینکار در مورد آب و هوای نسبتاً سرد اجرائی است، زیرا در آب و هوای خیلی سرد، حرارت ذخیره شده در گلخانه صرفاً باید برای جلوگیری از یخ زدن محتویات خود گلخانه درشب استفاده شود.

دیوار مشترک بین گلخانه و ساختمان میتواند از مواد ذخیره کننده حرارت (مصالح ساختمانی، آب، و غیره) ساخته شود. نمای دیوار مشترک در سمت گلخانه میبایست به رنگ تیره (جذب کننده خوب) بوده تا ماگزیمم انرژی خورشید را در طول روز دریافت نماید. درپچه های تخلیه ویا پنجره های قابل باز و بستن در گلخانه اجازه میدهند که هوای گرم در طول روز مستقیماً به فضای مسکونی وارد شود. ضخامت دیوار واسطه مشابه با روش دریافت غیرمستقیم انتخاب میشود. می نیمم ضخامت دیوار آبی ۲۰ سانتیمتر (یا ۰/۲ متر مکعب دیوار برای هر متر مربع سطح فضای مسکونی) است. سرعت جذب وانتقال حرارت توسط دیوار با مصالح مسکونی کمتر از گلخانه خورشیدی است. درنتیجه درجه حرارت گلخانه در طول یک روز آفتابی تا ۳۰ درجه سانتیگراد تغییر میکند. برای کاهش این تغییرات (حتی المقدور یکنواخت کردن)، جرم اضافی (مانند: بلوک هائی از مصالح ویا مخزن هائی پر شده از آب) را میتوان در گلخانه قرار داد. این کار مشابه دیوار درون گلخانه (هر متر مکعب آب برای هر ۳ متر مربع از شیشه جنوبی گلخانه حدود ۱۵ درجه سانتیگراد تغییرات درجه حرارت را کاهش میدهد). اگر از دیوار آب به عنوان دیوار مشترک استفاده شود، مقدار تغییرات درجه حرارت کمتر خواهد بود.

در آب و هوای سرد، بهتر است از مخزن قلوه سنگ در زیر ساختمان یا زیر فضای مسکونی، (که بصورت مخزن ذخیره حرارتی عمل مینماید) استفاده نمود. اگر ساختمان بر روی یک شیب قرار گرفته باشد، طراحی را میتوان طوری انجام داد که انتقال حرارت با جابجائی طبیعی صورت گیرد در غیر اینصورت میتوان از فن استفاده نمود، و حرارت را به مخزن قلوه سنگهای زیر ساختمان (شکل ۱۰-۲۰) انتقال داد. در آب و هوای سرد این مخزن قلوه سنگ باید حدود ۷۵ الی ۱۰۰ درصد زیر ساختمان را فراگیرد، و در آب و هوای معتدل بین ۵۰ تا ۷۵ درصد سطح ساختمان میبایست باشد. حرارت از گلخانه میباید به مخزن (بستر) قلوه سنگ زیر ساختمان هدایت شده و بعلاوه به طریقی میباید هوای عبور نموده از روی سنگها را از قسمت پائین بستر به گلخانه برگشت داد. بسترهای قلوه سنگ برای سرمایش در آب و هوای گرم نیز قابل استفاده است.



شکل: ۱۰-۱۹ - ادامه دیوارهای ساختمان به گلخانه موجب کاهش افت حرارت به خارج و افزایش حرارت به فضای مسکونی میشود.



شکل: ۱۰-۲۰ - از فن های کوچک (قدرت با کمتر از ۰/۲۵ اسب بخار) برای انتقال حرارت از محل ذخیره حرارت به قسمت های دور از دسترسی به حرارت در ساختمان استفاده نمود.

۴-۴-۱۰ : روابط تقریبی برای طراحی سیستم طبیعی با دریافت غیر مستقیم انرژی خورشید از طریق حوضچه در بام

حوضچه در بام هم برای گرمایش در ماههای زمستان و هم برای سرمایش در ماههای تابستان مفید است. جدول: ۱۰-۷ نسبت سطح لازم حوضچه در بام را برای گرمایش هر متر مربع از سطح فضای مسکونی میدهد. باید دانست که این نسبت با محل و شرایط آب و هوا تغییر مینماید. مقادیر نسبت پائین داده شده در جدول برای عرضهای جغرافیائی پائین، در حالیکه نسبتهای بالا برای عرض های جغرافیائی بالا (مناطق سرد سیر) قابل استفاده است. برای عرض های جغرافیائی بیش از ۳۶ درجه شمالی حوضچه پشتبامی به سطح بیشتری برای دریافت حرارت نیاز دارد و بعلاوه عایق بندی بیشتری برای حفظ حرارت مورد نیاز خواهد بود.

جدول : ۱۰-۷ : نسبت سطح لازم حوضچه در بام برای هر متر مربع از سطح فضای مسکونی

درجه حرارت متوسط خارج در زمستان (سانتیگراد)	۱۵-۲۵	۲۵-۳۵	۳۵-۴۵
حوضچه در بام با دو لایه شیشه و عایق در شب	-	۰/۸۵-۱	۰/۶-۰/۹
حوضچه در بام با یک لایه شیشه و عایق در شب و بازتاب کننده	-	-	۰/۳۳-۰/۶

این سیستم ساده بوده و مجموعه سیستم ذخیره حرارت (و سرمایش) و پخش حرارت را در خود جمع دارد. حوضچه های پشتبام مجموعه واحد گرمایش و سرمایش هردو را تشکیل میدهند. سازه سقف یا پشتبام میبایست قادر به تحمل وزن حوضچه باشد. حوضچه مانند یک گردآور در سقف عمل مینماید. ممکنست که حوضچه ها مجهز به پوشش عایق شوند. در هنگام روز در

زمستان روکش عایق کنار رفته و تشعشع خورشید آب حوضچه را گرم میکند، آبگرم سازه تکیه گاه را گرم نموده و امواج گرمائی سازه فضای مسکونی را گرم مینماید. در شب پوشش حوضچه برای حفظ حرارت ذخیره شده در آن بسته میشود. سرمایش با استفاده از این روش در فصل ۳، ملاحظه خواهد شد.

۱۰-۴-۵: روابط تقریبی برای طراحی سیستم طبیعی ترکیبی

گاهی بهتر است بجای استفاده از یک روش از سیستم ترکیبی که از چند سیستم طبیعی گرمایش تشکیل شده استفاده نمود. مثلاً استفاده از دیوار ذخیره حرارت ممکنست جلوی منظره زیبای حیاط را گرفته و استفاده از روش دریافت مستقیم نیز روشنائی خیره کننده و یا گرمای اضافی ای در فضای مسکونی ایجاد نماید. در اینحالت دو روش میتواند در کنار یکدیگر یا به صورتی دیگر (مثلاً: دو دیوار ذخیره حرارت در طرفین پنجره دریافت مستقیم واقع شوند) مورد استفاده قرار گیرد. البته میبایست محاسبه دقیقی در مورد سیستم ترکیبی بعمل آورد تا از گرمای اضافی در فضای مسکونی جلوگیری شده و بعلاوه تغییرات زیاد درجه حرارت وجود نداشته باشد. معمولاً حدود ۶۰ الی ۷۵ درصد تابش رسیده به سطح ذخیره در سیستم دریافت مستقیم را میتوان برای گرمایش بکار گرفت. از طرف دیگر فقط ۳۰ الی ۴۵ درصد از انرژی رسیده به سطح جاذب منبع ذخیره حرارتی در سیستم دریافت غیر مستقیم بصورت گرما به فضای مسکونی انتقال مییابد.

بنابراین ملاحظه میشود که نسبت تقریبی در اندازه این ترکیب عبارت از ۱ متر مربع از پنجره دریافت مستقیم معادل ۲ متر مربع از سطح پنجره در دریافت غیر مستقیم است. با در نظر داشتن این نسبت میتوان ترکیب های مختلفی از این دو روش گرمایش طبیعی را برحسب سلیقه انتخاب نمود.

تغییرات در روش طراحی حوضچه پشتبام، محاسبه تقریبی آنرا در ارتباط با روشهای دیگر دشوار میسازد. هر چند با بازنگری روشهای اندازه گزاری سیستمهای دیگر و آگاهی از طرح خاص حوضچه پشتبامی، یک رابطه تقریبی قابل دستیابی است.

۱۰-۵: ذخیره روز ابری

حتی در روزهای ابری سیستم طبیعی گرمایش به گردآوری انرژی از تابش پراکنده خورشید ادامه میدهد. ولی این انرژی کافی برای تامین درجه حرارت ۲۱ درجه سانتیگراد در داخل نیست. بنابراین یک سیستم کمکی گرمایش، برای روزهای ابری مورد نیاز است.

بطور کلی اگر سطح دریافت بین ۱۰ تا ۲۰ درصد افزایش نموده و ضخامت دیوارها و سقفها بیش از ۲۰ سانتیمتر باشد سیستم دریافت مستقیم میتواند شرایط آسایش را برای ۱ تا ۲ روز ابری تامین نماید. اگر از دیوار آبی بجای مصالح بنائی استفاده شود، حجم آب دیوارها باید ۲ تا ۳ برابر برای هر متر مربع از پنجره دریافت مستقیم باشد.

در آب و هوائی که تعداد روزهای پی در پی آفتابی زیاد است، احتمال افزایش دمای فضای مسکونی وجود دارد. ضخامت زیاد برای دیوار ذخیره حرارت در مناطق خیلی ابری توصیه نمیشود، زیرا به همان اندازه گرم شدن چنین سازه ای نیاز به زمان دارد. در اینحالت میبایست از ضخامت های مینیمم برای دیوار استفاده نمود تا در زمانهای کوتاه مدتی که خورشید میتابد سریعاً گرم

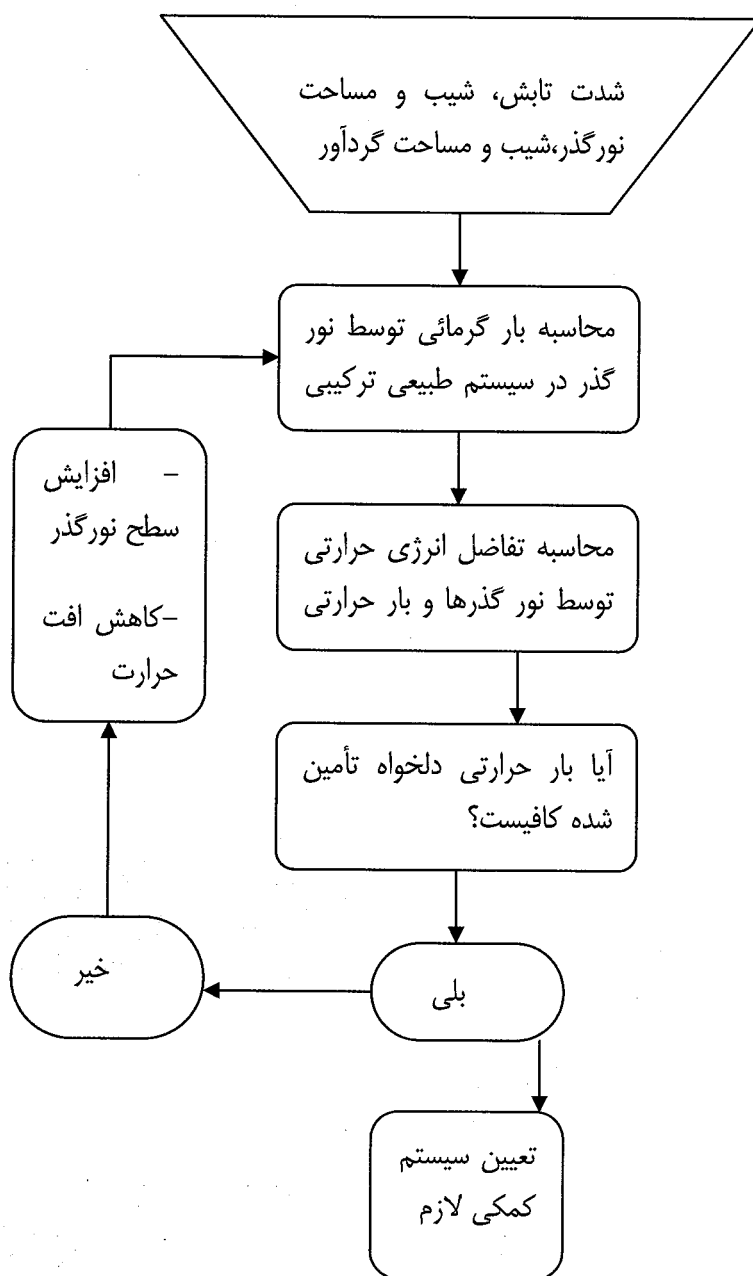
شود. روش دریافت غیر مستقیم هنگامیکه هدف ذخیره برای یک یا دو روز ابری است کمی تغییر میکند. سطح گردآور به اندازه ۱۰ تا ۲۰ درصد باید افزایش نموده و دیوار ذخیره حرارتی با ضریب هدایت بالاتر میبایست استفاده شود. اگر دیوار آب استفاده شود، به ازای هر متر مربع از سطح نورگیر ۰/۳ متر مکعب یا بیشتر دیوار ذخیره آب لازمست.

جدول ۱۰-۸ الف - گونه بندی جغرافیائی نیاز انرژی گرمائی - سرمائی سالانه محل ساختمان					
شماره	نام شهر	نیاز انرژی گرمائی	نیاز سرمائی زیاد	گرم مرطوب و	و
۱	آبادان	زیاد	×		
۲	آزاد شهر	کم		×	
۳	ارومیه	زیاد	×		
۴	اصفهان	متوسط	×		
۵	اهواز	زیاد	×		
۶	ایران شهر	زیاد	×		
۷	بابلسر	کم			
۸	باختران	متوسط	×		
۹	بم	کم			
۱۰	بندر انزلی	کم			
۱۱	بندرعباس	زیاد	×	×	
۱۲	بوشهر	زیاد	×	×	
۱۳	بیرجند	کم			
۱۴	تبریز	زیاد	×		
۱۵	تربت حیدریه	متوسط	×		
۱۶	تهران	متوسط	×		
۱۷	چابهار	زیاد		×	×

جدول ۱۰-۸ ب- گونه بندی جغرافیائی نیاز انرژی گرمائی- سرمائی سالانه محل ساختمان					
شماره	نام شهر	نیاز انرژی	نیاز گرمائی زیاد	نیاز سرمائی زیاد	گرم مرطوب و
۱	خرم آباد	کم			
۲	خوی	زیاد	×		
۳	رامسر	کم			
۴	رشت	کم			
۵	زابل	متوسط		×	
۶	زاهدان	کم			
۷	سبزوار	متوسط	×		
۸	سقز	زیاد	×		
۹	سمنان	متوسط			
۱۰	شهرکرد	زیاد	×		
۱۱	شیراز	کم			
۱۲	طبرس	متوسط			
۱۳	کاشان	متوسط			
۱۴	کرمان	متوسط	×		
۱۵	مشهد	زیاد	×		
۱۶	همدان	زیاد	×		
۱۷	یزد	کم			

جمع بندی و نتیجه گیری

مقدار انرژی قابل جذب از خورشید با هر متر مربع نور گذر عمودی و افقی (نقشه های شدت تابش خورشید ثابت) در هر نقطه از ایران مشخص است. مقدار بازده در ذخیره سازی انرژی توسط سیستم دریافت مستقیم (۶۰٪ الی ۷۵٪)، یا سیستم دریافت غیر مستقیم (۳۰٪ الی ۴۵٪) انرژی خورشید نیز معین است. بنابراین با تأمین مقدار کافی نور گذر و گرد آور جذب و ذخیره سازی انرژی خورشیدی در بسیاری از مناطق ایران میتوان از سیستم گرمایش اضافی دیگر بی نیاز شده و یا ظرفیت آنرا به حداقل رساند. الگوریتم تعیین ظرفیت سیستم مکانیکی خورشیدی یا سیستم متعارف مکانیکی در شکل ۱۰-۲۱ ملاحظه میشود.



شکل: ۱۰-۲۱ - الگوریتم تعیین ظرفیت سیستم مکانیکی خورشیدی یا سیستم متعارف مکانیکی

فصل ۱۱: طراحی سیستم طبیعی سرمایش برای ساختمان

کهن جامه خویش پیراستن به از جامه عاریت خواستن

در این فصل سیستم های سرمایش طبیعی را مورد توجه قرار می دهیم. بطوریکه خواهیم دید این سیستمها را می توان برای کاهش ظرفیت و گاهی حذف سیستم مکانیکی خورشیدی و عمدتاً سیستم مکانیکی متعارف بکار گرفت. عدم هزینه مستمر و نبود ویا پائین بودن هزینه اجرائی سیستم، ارزش آن را دارد که مهندسين و کارفرمایان سیستم سرمایش طبیعی و سیستم مکانیکی خورشیدی را قبل از سیستم مکانیکی متعارف مورد توجه قرار دهند. در این فصل، ابتدا در بخش ۱۱-۱ شرایط آسایش و منابع بار حرارتی در ساختمان آورده میشود، تا افزایش بار حرارتی در ساختمان از نظر کیفی و کمی مشخص شود. سپس اولین بند از بخش ۱۱-۲ را به طراحی سیستمهای سرمایش طبیعی و سیستمهای کنترل حرارت ورودی اختصاص می دهیم. به دنبال آن سیستم سرمایش از طریق جابجائی هوای سرد شب و تابش به آسمان را مورد مطالعه قرار می دهیم.



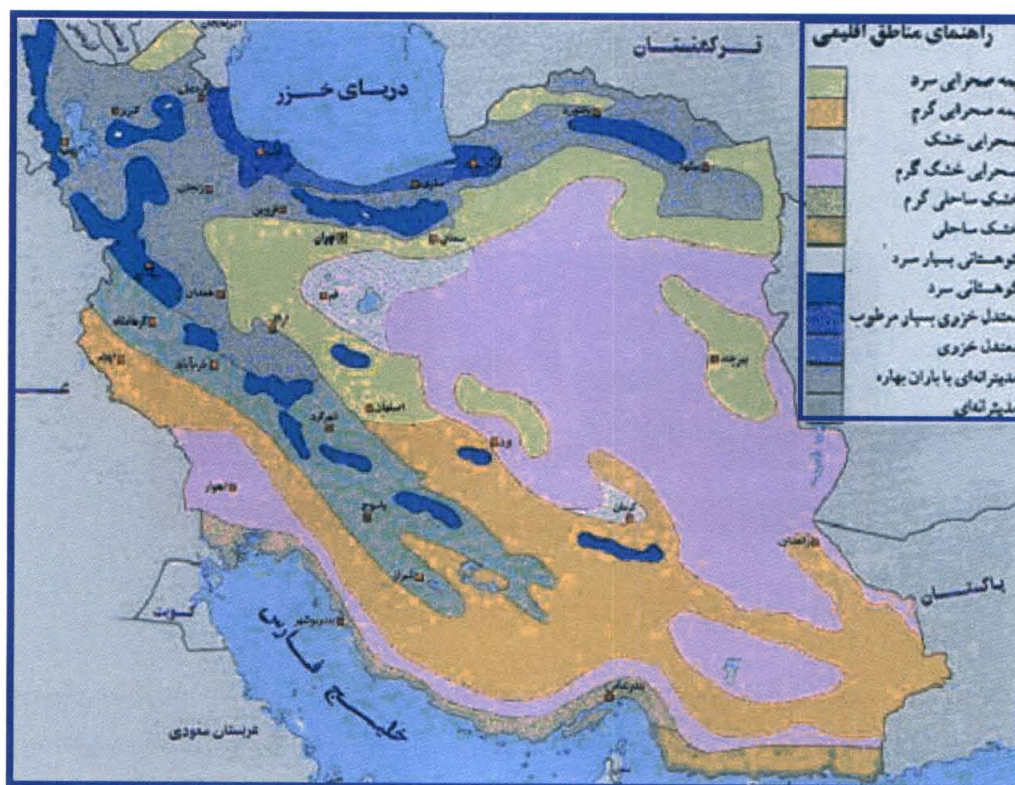
دو بادگیر و گنبد یک آب انبار و چند ساختمان تاریخی دیگر در نزدیک شهر یزد

شکل ۱۱-۱: آب انبار ساخته شده توسط معماران ایرانی در نزدیک شهر یزد

اولین گردآور سرمایش (شکل: ۱۱-۱)، که از انرژی خورشید برای به گردش در آوردن هوای خنک در آن استفاده میشود توسط معماران ایرانی ساخته شده است. این گردآور با ارزانتترین مصالح ساخته شده و سازوکار کنترل دما را بطور طبیعی در بر دارد. در این گردآور از انرژی خورشید بطور غیر مستقیم و با ایجاد منبع گرم و سرد در دو طرف بادگیر (پمپاژ حرارتی و بعبارت دیگر ترموسیفون) برای به گردش در آوردن هوا سود برده میشود. در این فصل استفاده از بادگیر را در سیستمهای مختلف سرمایش مورد بررسی و توجه قرار میدهم. بادگیرها در مناطق گرم ایران شرایط آسایش را برای ساختمانهای با کاربری های مختلف تأمین میکرده اند. این سیستم سرمایش طبیعی عمدتاً در مناطق گرم و خشک ایران مورد استفاده بوده است، ولی در مناطق گرم و مرطوب نیز ساخته شده و مورد استفاده قرار گرفته است. از بادگیرها علاوه بر تأمین آسایش در ساختمان، برای ایجاد سردخانه های نگهداری مواد غذایی و سرد آب ها نیز در ایران استفاده شده است. با دقت نظر در این فصل ملاحظه خواهد شد که در ایران میتوان با شناخت خصوصیات بادگیر، وجود شرایط مناسب آب و هوا، مصالح جدید، و امکانات موجود استفاده های جدیدی مطرح نمود.

در بخش ۱۱-۴ این فصل سیستم بادگیر شرح داده شده و مزایا و معایب آن نسبت به سیستم کولر آبی و سیستم تهویه مطبوع شناخته شده و سپس کاربردهای آن مورد توجه قرار می گیرند.

در انتهای این فصل سیستم‌های ترکیبی طبیعی شرح داده می‌شود. در بخش استفاده از هوای سرد شب، روش تخمین برآورد بار در یک سیستم ترکیبی که توسط مؤلف طراحی شده و به ثبت رسیده برای ساختمان دیوانخانه زندیه شیراز شرح داده می‌شود. در همین فصل مؤلف با روابط اصلی انتقال حرارت نشان داده است که بام‌های کروی که در نواحی گرم و خشک ایران استفاده می‌شود بر بام‌های مسطح برتری دارند. با بهره‌گیری از شرایط مناسب آب و هوایی ایران (شکل: ۱۱-۲) می‌توان پروژه‌های کوچک و بزرگی را در این زمینه مطرح نمود. در فصل ۱۶ که پروژه کویر سبز مطرح می‌گردد، در مورد اهمیت خاص مناطق گرم و خشک ایران در استفاده از سیستم‌های طبیعی در مقوله‌ای دیگر صحبت خواهد شد.



شکل: ۱۱-۲: تقسیمات اقلیمی تابستانی

۱-۱۱: شرایط آسایش و منابع بار حرارتی

در فصل ۱۰ به تفسیر در مورد شرایط آسایش و عکس العمل بدن انسان در مقابل شرایط محیط صحبت شد. عکس العمل طبیعی بدن انسان در مقابل حرارت اضافی عرق کردن و خنک شدن با تبخیر آن از سطح بدن است. بطوریکه ملاحظه شد منظور از تامین آسایش در تابستان تنها به مفهوم حفظ دمای بین ۱۸ الی ۲۴ درجه سانتیگراد در داخل فضای مسکونی نیست، بلکه رطوبت بالا نیز مانند درجه حرارت بالا موجب سلب آسایش می‌شود. خوشبختانه از این جهت قسمت عمده‌ای از سطح کشور ایران در ردیف مناطق خشک بوده و این خود موجب سهولت استفاده از سیستم‌های تبخیری است که در رأس آن بادگیر قرار دارد.

میدانیم که در تابستان سه منبع اصلی انتقال حرارت به داخل فضای ساختمان وجود دارد که عبارت اند از:

الف- انرژی ناشی از تابش خورشید وارد شده از نورگذرها به داخل ساختمان.

ب- انتقال حرارت از طریق هدایت از مصالح ساختمان و نشست از در و پنجره ها به علت تفاوت دمای داخل و خارج فضای مسکونی و جریان هوا در خارج از فضای مسکونی،

ج- حرارت تولیدی از بدن ساکنین، تجهیزات برقی و حرارتی در داخل فضای مسکونی.

در بین سه مقدار انتقال حرارت فوق مقدار حرارت تابش مخصوصاً در مورد ساختمانهای مسکونی از دو مقدار حرارت منتقله دیگر بیشتر میباشد. اما خوشبختانه این حرارت معمولاً قابل کنترل است. جدول ۱۱-۱ حدود مقدار حرارت دریافتی از منابع مختلف را برای منازل ویلائی با درجه حرارت داخلی ۲۴ درجه سانتیگراد در مرداد ماه نشان میدهد. همانطور که در جدول ۱۱-۱ نشان داده شده مشخصات اجزاء این خانه ها بر اساس استاندارد سیستمهای گرمایی و سرمایی است که با استانداردهای ایران هماهنگی دارد. خانه های مورد مقایسه بصورت شمالی- جنوبی بوده و دو سوم از پنجره های هر یک از خانه ها بسمت جنوب قرار داشته اند. بقیه پنجره ها در سمت شرق و غرب در نظر گرفته شده و کلیه آنها بدون سایبان فرض شده اند. محاسبه نشان داده است که این خانه ها هر کدام به سیستم سرمایشی با ظرفیت ۴ تا ۸ تن برودت در مناطق با نیاز سرمایی زیاد احتیاج دارند، تا امکان تامین شرایط آسایش درزمان ماگزیمم گرما در بعد از ظهر فراهم شود. در بند ۱۱-۲ طراحی سیستمهای سرمایش طبیعی برای ساختمان مورد توجه قرار می گیرد.

جدول ۱۱-۱- برآورد متوسط حرارت دریافتی روزانه در مردادماه برای ساختمانهایی با مساحت مختلف در مناطق با نیاز سرمایی زیاد.

متر مربع سطح فضای مسکونی- یک طبقه			منبع حرارت
۱۸۶	۱۳۵	۹۳	
۱۰۰	۷۳	۵۰	دریافت تابش مستقیم-کیلووات ساعت
۷۱/۲	۶۱/۵	۴۴	هدایت و تعویض هوا-کیلووات ساعت
۲۹	۲۹	۲۹	ساکنین و تجهیزات-کیلووات ساعت
۲۰۰/۲	۱۷۳/۵	۱۲۳	جمع
دیوار R-11 ، سقف R-19 ، کف R-7 براساس استاندارد اشری، و نور گذر با شیشه دو جداره ومساحتی معادل ۲۰ درصدسطح فضای مسکونی			

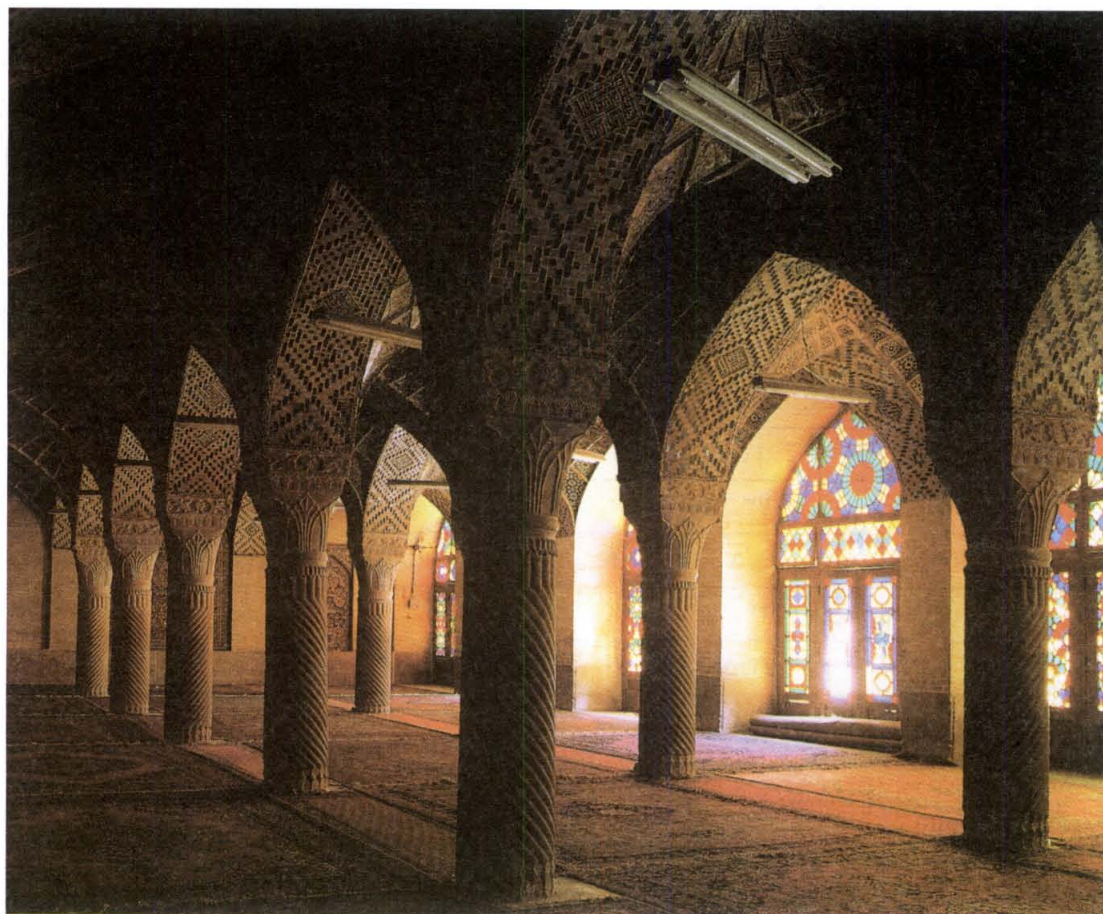
۱۱-۲: طراحی سیستمهای سرمایش طبیعی برای ساختمان

اولین نتیجه نسبی مهم از جدول فوق، آنستکه با روشهای مختلف جلوگیری از تابش مستقیم نور خورشید (سایبان، پرده حصیری در سطح خارجی پنجره و استفاده از شیشه رنگی و طرق دیگر) از نور گذرها میتوان تا حدود ۵۰٪ بار سرمایی لازم را کاهش داد. استفاده از شیشه رنگی برای کاهش تابش مستقیم از نورگذرها در ایران زیاد مرسوم بوده است. شکل: ۱۱-۳ یک

نمونه از این پنجره ها را نشان می‌دهد. این شیشه ها قسمت اعظم نور و اشعه مادون قرمز به داخل فضای مسکونی جلوگیری میکند. نتیجه دیگر از جدول فوق آنکه با روشهای مختلف ایجاد سایه (درخت ، سایبان و طرق دیگر) بر روی اجزاء دیگر (دیوار و سقف) ساختمان میتوان دمای سطح خارجی ساختمان و در نتیجه انتقال حرارت از طریق هدایت را نیز کاهش داد (شکل: ۱۱-۵ و ۱۱-۶).

۱۱-۲-۱- سیستم کنترل و تأخیر در حرارت ورودی

درزبندی و عایق کاری ایکه در زمستان از افت حرارت جلوگیری میکند در تابستان از ورود حرارت به فضای مسکونی جلوگیری مینماید. عایق بندی های متحرک برای شبهای زمستان را در روزهای تابستان برای جلوگیری از جذب حرارت میتوان استفاده نمود. جرمهای ذخیره حرارت در فضای مسکونی موجب تأخیر در افزایش دما در فضای مسکونی شده و در شب با تهویه طبیعی و یا حتی مکانیکی در هنگامی که پیک بار وجود ندارد میتوان آنرا خنک نمود.



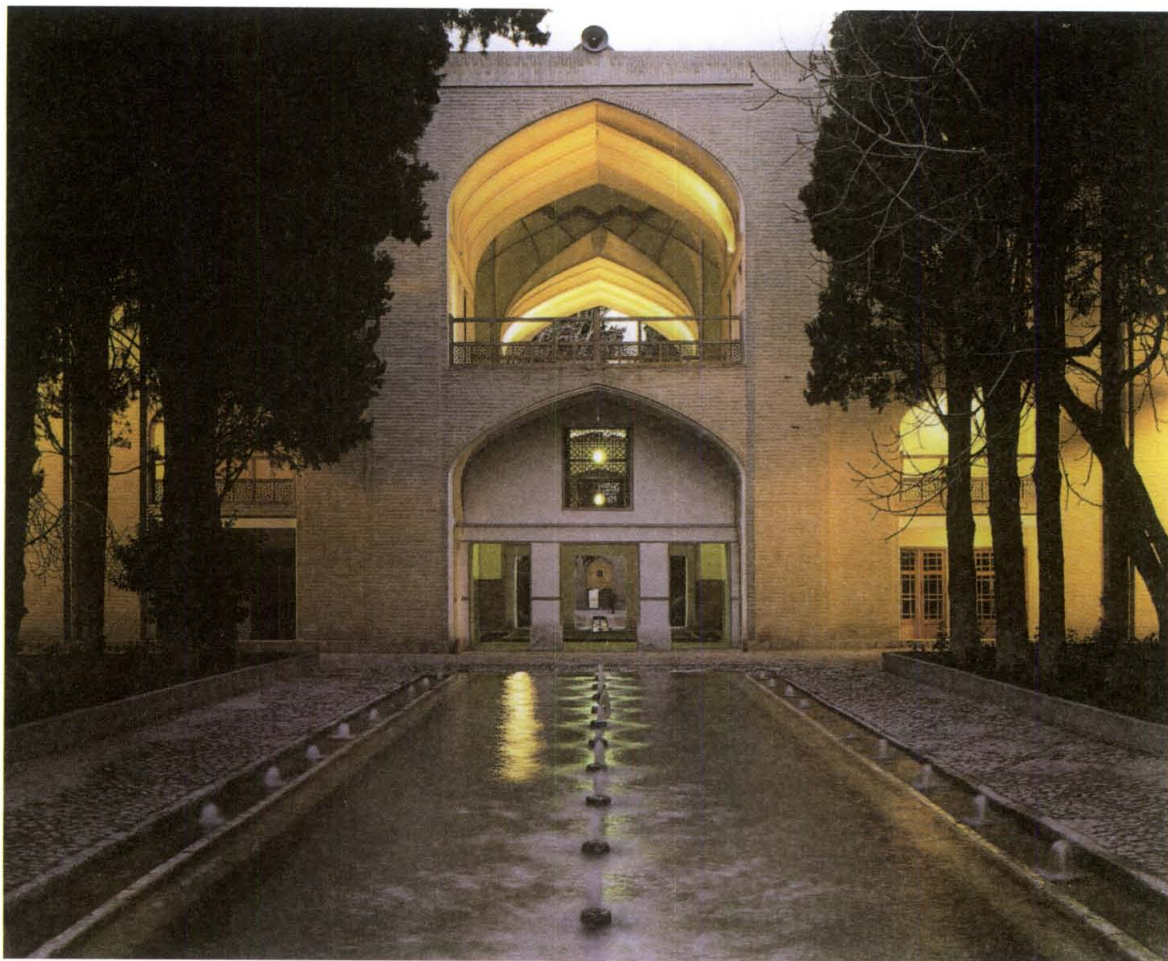
شکل: ۱۱-۳. جرم ستونها در فضای ساختمان مسجد موجب کاهش قابل ملاحظه سرعت افزایش دما در فضای آن شده و در شب با تهویه طبیعی یا حتی مکانیکی در هنگامی که پیک بار وجود ندارد میتوان آنرا خنک نمود. شیشه های رنگی نیز از شدت انرژی ورودی خورشید به فضای داخلی جلوگیری میکند.



شکل: ۱۱۴-۴. بالا بودن جرم دیوارها در بنای عالی قاپو موجب کاهش انتقال حرارت از طریق هدایت به فضای داخل ساختمان و بعلاوه بالا بردن ظرفیت نگهداری هوای سرد شب در آن میشود. افزایش سطوح داخلی موجب تبادل حرارت بهتر دیوارها از طریق همرفت با فضای داخل شده و این نیز سرعت افزایش دما در فضای داخل را کاهش میدهد. در شب با تهویه طبیعی اجرام فوق با سرعت بیشتری خنک شده و تغییرات دما در شبانه روز در فضای داخلی بطور قابل ملاحظه کاهش می یابد.

دیوار، سقف، در و پنجره در هنگام روز حرارت در خود ذخیره کرده و موجب تأخیر در ورود گرما میشوند، در هنگام شب همین اجزاء ساختمان در تماس با هوای سرد، گرمای خود را از دست داده و خنک شده و موجب تأخیر در ورود سرما میشوند. ساختمانی که در بستری از زمین قرار گرفته برای داشتن مینیمم بار حرارتی ورودی به ساختمان در یک روز تابستانی، محیط اطراف ساختمان باید طوری طراحی شود که مینیمم تابش مستقیم خورشید روی ساختمان بوده و از بازتاب نور و تابش امواج مادون قرمز به ساختمان جلوگیری شود. اختلاف دمای زیاد بین شرایط فضای خارج ساختمان و دمای لازم برای داخل ساختمان را با ایجاد مناطق واسطه نیز میتوان کاهش داد.

۲۷۵



شکل: ۱۱-۵ ساختمان باغ فین کاشان

الف: سیستم سایه با ایجاد فضای سبز

با استفاده از درختها از تابش مستقیم خورشید به نور گذرها، دیوارها و تا حدودی بام ساختمان می توان جلوگیری نمود. بعلاوه درختها با سایه انداختن بر روی زمین اطراف ساختمان موجب خنک شدن آن شده و در نتیجه تابش حرارت از زمین به ساختمان وجود نخواهد داشت. با استفاده از درخت های خانواده سوزنی برگها (مانند: کاج و سرو) سایه در طول سال وجود خواهد داشت. بنابراین چنین درختهایی در مناطقی مناسب است که ساختمان در اکثر مواقع سال نیاز به کاهش بار حرارتی دارد، نمونه چنین فضایی در ساختمان باغ فین در شهر کاشان (شکل: ۱۱-۵) وجود دارد. ولی در صورت استفاده از درخت هایی که برگهای خود را در پائیز و زمستان از دست می دهند (مانند درخت تبریزی و چنار)، ساختمان در زمستان از مزایای آفتاب کماکان می تواند برخوردار باشد. (شکل: ۱۱-۱۱) ساختمان بروجردیها را در همان شهر کاشان نشان می دهد.

بدیهی است که با توجه به افزایش زاویه ارتفاع خورشید در تابستان درختهای با ارتفاع زیاد مانند آنچه نام برده شد (شکل: ۱۱-۶) برای سایه اندازی مناسب تر است.



شکل: ۱۱-۶: کاخ هشت بهشت-قرن ۱۱

ب: سیستم نسیم هوا

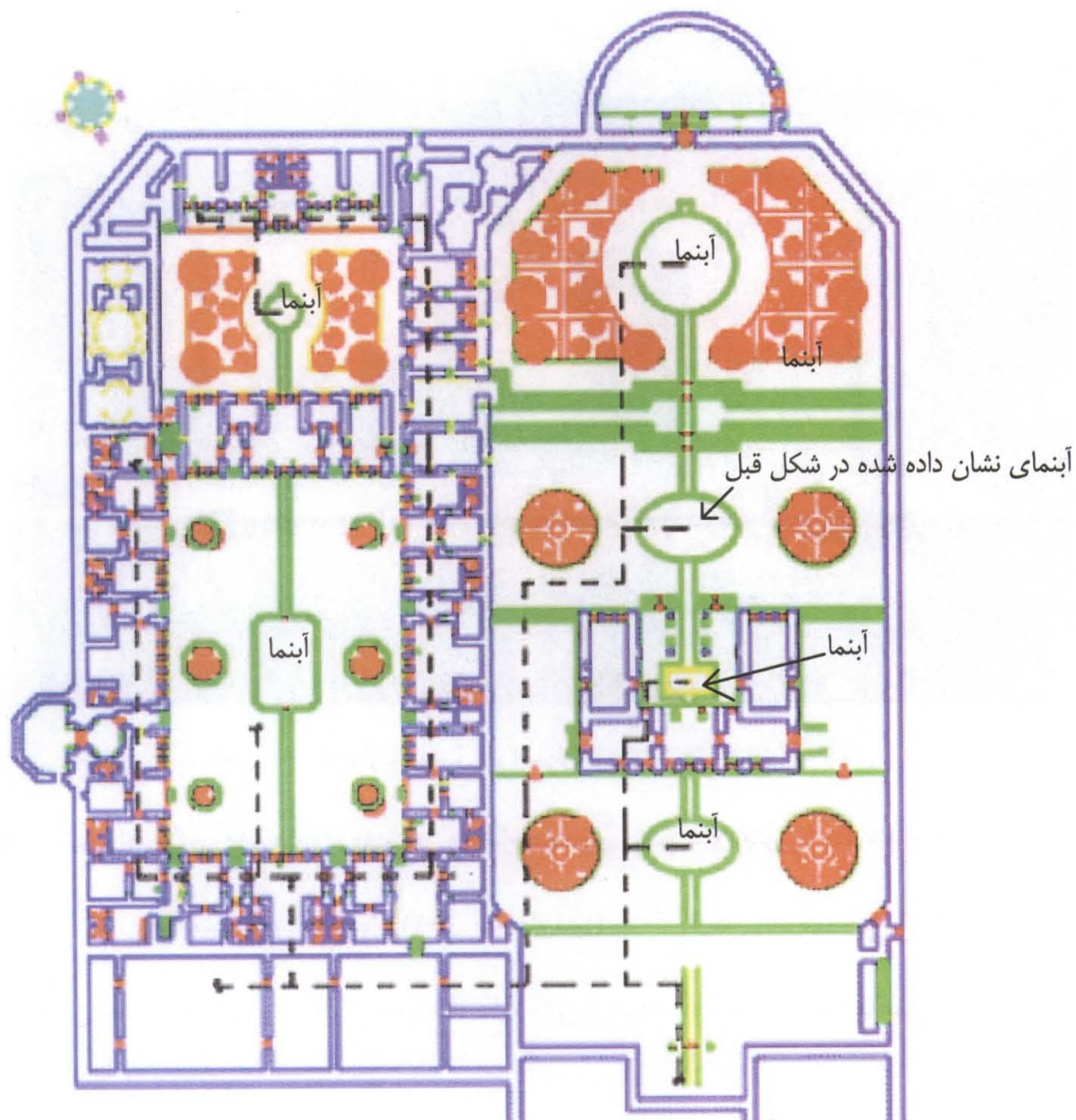
وجود آب نما در جلوی ورودی اصلی، موجب تبخیر و خنک شدن هوای در تماس با آب نما شده و در نتیجه هوای گرم پر فشار هوای خنک را بسمت ساختمان می راند. در نتیجه نسیم خنکی به سمت ورودی اصلی ساختمان در هنگام تابش آفتاب به آب نما برقرار می شود. پدید آمدن این نسیم بدون وجود باد و بعثت اصل حرکت هوای گرم (فشار بالاتر) به سمت هوای سرد بالای آب نما (فشار کمتر) به وجود می آید. این جریان هوا یک چرخه طبیعی هوا را موجب می شود. وجود آب نما در جلوی دهانه ورودی تقریباً کلیه ساختمانهای نقاط گرم و خشک ایران دیده می شود. شکل ۱۱-۷ نمونه دیگری از آب نما را در باغ شهرستانک مربوط به دوره قاجاریه را نشان می دهد. بطوریکه در پلان فضای سبز ساختمان نشان داده شده (شکل ۱۱-۸)، ۵ آب نما در حیاط ساختمان دیده می شود. در داخل ساختمان، در طبقه همکف نیز آب نمای دیگری موجود است.



شکل ۷-۱۱: آبنمای جلوی ایوان عمارت شهرستانک (دوره قاجاریه)



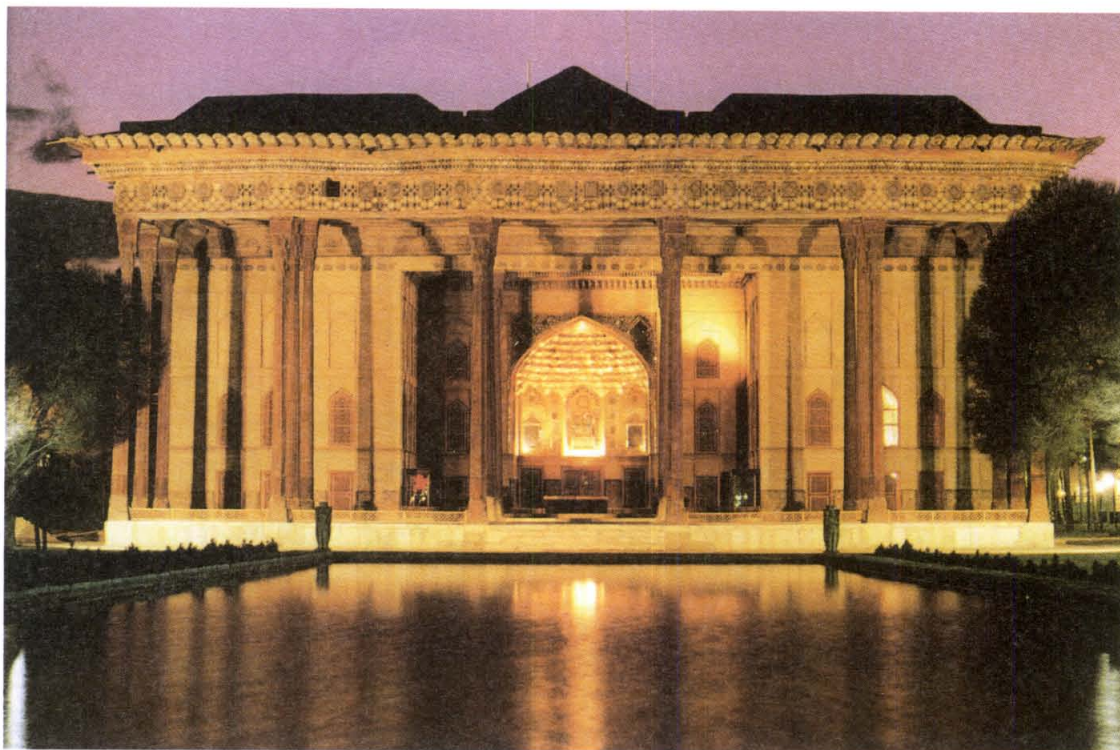
شکل ۸-۱۱: حیاط بیرونی و اندرونی کاخ بیلاقی شهرستانک، قرارگیری این ساختمان در کوهپایه، موجب جریان هوا از سمت ساختمان بطرف تپه در روز و از تپه به طرف ساختمان در شب میگردد، بدین ترتیب همواره نسیم از پنجره‌های موجود در ضلع جنوبی و شمالی ساختمان جریان دارد. جریان آب بصورت نهر و آبنا از داخل ساختمان عبور می نماید.



شکل: ۹-۱۱: پلان عمارت شهرستانک و آبنماهای آن

ج: سیستم سایبان

سایبان‌ها (شکل: ۱۱-۱۱) برای کنترل میزان تابش به سطوح نور گذر ساختمان به کار می‌روند. برای تعیین مقدار نیاز به سایبان باید مقدار تابش و زاویه تابش در اقلیم منطقه مورد مطالعه قرار گیرد. سپس با توجه به فصل ۲ و ۳ و جدول ۱۱-۲ ابعاد و نوع سایبان تعیین شود. معمولاً سایبان بهینه‌تری طراحی می‌شود که از تابش مستقیم خورشید در تابستان جلوگیری نموده ولی مانع تابش مستقیم نور خورشید در زمستان نشود.



شکل: ۱۱-۱۰: عمارت چهلستون در اصفهان، با سایبانی عظیم در طول ساختمان

عمق بهینه سایبان افقی که ۱۰۰٪ سایه در ظهر روز اول تیرماه بر روی پنجره‌های جنوبی ایجاد کند از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$(1-11) \quad \text{برای تعیین مقدار } F \text{ جدول ۱۱-۴ (ملاحظه شود)} \quad F / \text{ارتفاع پنجره} = \text{عمق سایبان}$$

در صورتیکه این عمق در عرضهای جغرافیائی مورد نظر سایه کافی در مرداد ماه ایجاد ننماید، باید عمق سایبان افقی را افزایش داد.

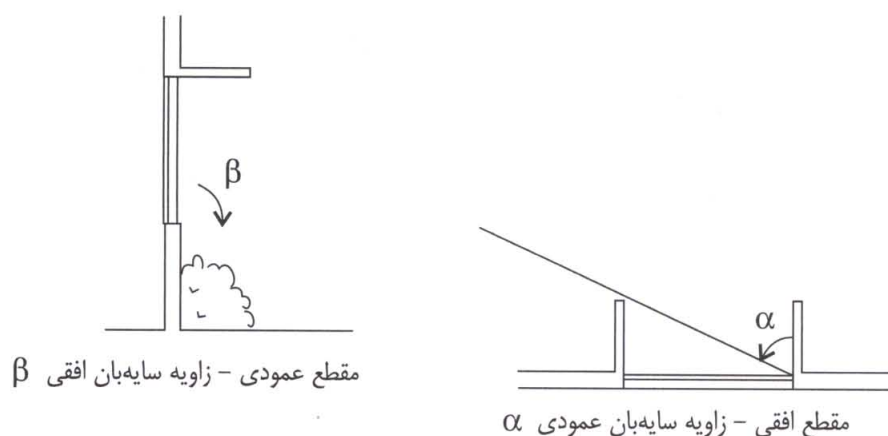
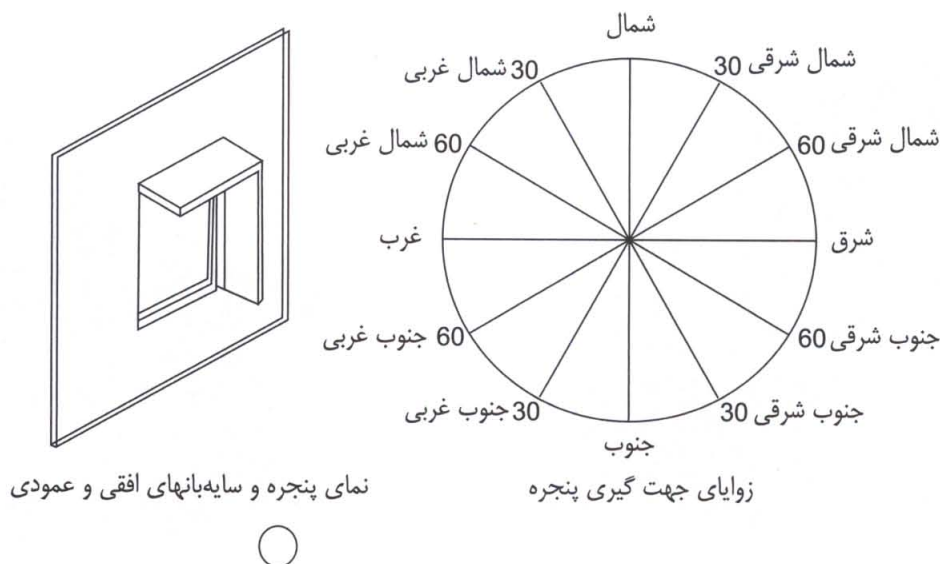
عملکرد سایبان بهینه میشود اگر طوری ساخته شوند که عمق آن قابل تنظیم باشند. در زمستان عمق سایبان صفر شده و از کل آفتاب استفاده می شود. بعلاوه در در روزهای بهاری و پاییزی از مقدار آفتاب مورد نیاز استفاده خواهد شد. مثلاً: داربست چوبی قائم بعنوان تکیه گاه بوته مو ، بمنظور استفاده کامل از آفتاب بهاری و جلوگیری از آفتاب تابستان مفید است.



شکل: ۱۱-۱۱: خانه بروجردیها در کاشان، مجهز به: ۱- پیش بینی زیرزمین در ساختمان بعنوان منبع ذخیره سرمایش
۲- استفاده از بادگیرها ۳- آب نما در مقابل دهانه ورودی اصلی ساختمان ۴- سایبانهای سراسری ۵- ایجاد سایه بر روی ساختمان با درختکاری.

جدول ۱۱-۴: جدول ضریب F برای عرضهای جغرافیائی مختلف، حد بالای F مربوط به ۱۰۰٪ سایه
در ظهر روز اول تیرماه و حد پائین آن برای اول شهریور است

عرض جغرافیائی (درجه)	ضریب F
۲۸	۱۱/۱-۵/۶
۳۲	۶/۳-۴
۳۶	۴/۵-۳
۴۰	۳/۴-۲/۵



شکل: ۱۱-۱۳: زاویه سایبان (افقی β و عمودی α) و زوایای جهت پنجره. مبحث نوزدهم، صرفه جوئی در مصرف انرژی، مقررات ملی ساختمان

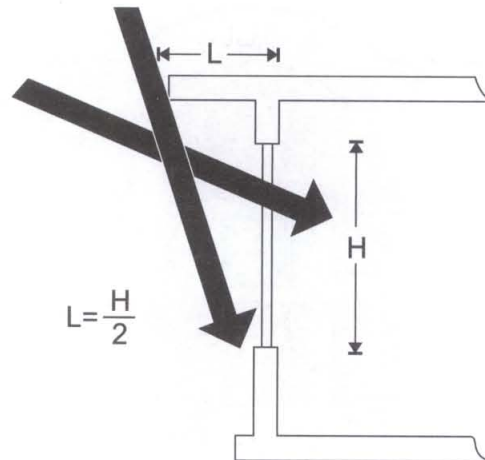
بطور کلی در مناطق با نیاز سرمائی زیاد (مطابق جدول: ۱۱-۵) که تابش نور خورشید در تابستان شدید [۱۲] است، میبایست سطح نورگذرها در سمت شرق، غرب و بام به حداقل مقدار برسد. شدت اثر تابش خورشید در طلوع از شرق مانند غروب از غرب میباشد. تابش از شرق هم زمان با گرم شدن زمین و شروع تابش امواج گرمائی مادون قرمز از آنست. در تابستان چون خورشید در ارتفاع بالا در آسمان قرار دارد، نورگیرهای سقفی موجب انتقال حرارت زیاد به فضای مسکونی میشوند. بنابراین برای مناطق با نیاز سرمائی زیاد توصیه نمیشوند، مگر آنکه به سایبان مجهز شوند. سایبان با عمق بهینه سایبانی است که در عین جلوگیری از تابش مستقیم در اوقات گرم سال، اجازه ورود آفتاب مورد نیاز در اوقات سرد سال را میدهد. روش دیگر ایجاد سایه بر نورگذرها، کاشت درخت‌های مناسب برای سایه انداختن بر روی پنجره‌های جنوبی و پشتبام در تابستان است. روش ایجاد سایه دارای عملکرد بهتر در ترکیب با روشهای دیگر از جمله دیوارهای ذخیره و گلخانه‌های خورشیدی است.

جدول ۱۱-۵: زاویه سایبان (افقی و عمودی) بر حسب موقعیت جغرافیائی ساختمان و جهت گیری پنجره

عرض جغرافیائی	۲۵°	۲۷°	۲۹°	۳۱°	۳۳°	۳۵°	۳۷°	جهت گیری پنجره
نوع سایبان	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	
جنوبی	۵۵°	-	۶۰°	-	۶۰°	-	۶۰°	
شمالی	-	۶۵° در طرفین پنجره	-	۷۰° در طرفین پنجره	-	۷۰° در غرب پنجره	-	
شرقی	-	مقابل تمام پنجره	۲۵°	-	۴۵°	-	۵۰°	
غربی	-	مقابل تمام پنجره	-	مقابل تمام پنجره	-	مقابل تمام پنجره	-	
۳۰° شمال شرقی	-	۴۵° در شرق پنجره	۵۵°	۵۵° در شرق پنجره	۶۰°	۵۵° در شرق پنجره	۷۰°	
۶۰° شمال شرقی	-	مقابل تمام پنجره	۴۰°	-	۵۰°	۳۰° در شرق پنجره	۵۵°	

ادامہ جدول : ۵-۱۱

[illegible]

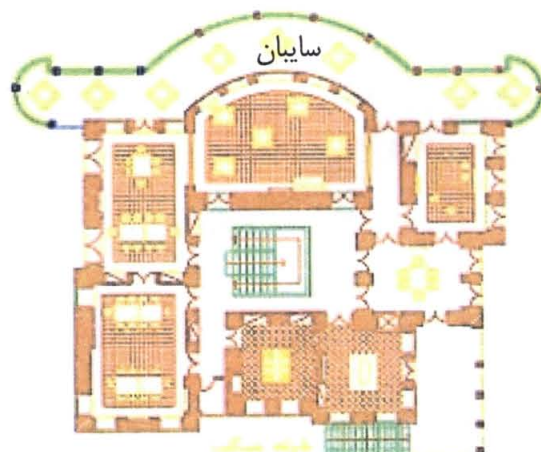


شکل: ۱۱-۱۴ اندازه مناسب سایبان برای

کاهش انتقال حرارت از پشتبام و دیوارهای شرقی و غربی دو روش متفاوت را می‌طلبند. از آنجائی که خورشید در هنگام طلوع و غروب آفتاب در ارتفاع پائین است، سایبان افقی موثر نبوده و سایبان عمودی، و یا استفاده از پرده‌های متحرک، مرسوم در گذشته، در نمای خارج ساختمان مورد نیاز است. استفاده از درخت در صورت امکان شاید بهترین وسیله برای جلوگیری از تابش شدید در هنگام طلوع و غروب به دیوار و پنجره‌های شرقی و غربی است. اگر استفاده از درخت غیر عملی باشد، استفاده از شیشه‌های رنگی، تیره یا بازتاب‌کننده در نمای خارج پنجره‌ها نیز راه حل مناسبی است. به‌علاوه پرده‌های حصیری ای که در گذشته در ایران مرسوم بوده و یا پرده‌های آلومینیومی که رنگ روشن داشته و در خارج ساختمان نصب می‌شود و از داخل با ساز و کار مکانیکی قابل کنترل است، نیز مناسب‌اند. اگر سقف و دیوارها نیز دارای رنگ روشن باشند از نظر بازتاب نور و در نتیجه کاهش دمای سطح خارجی و در نهایت کاهش انتقال حرارت از طریق هدایت به داخل موثرند.



شکل: ۱۱-۱۵ بنای شاپوری در شهر شیراز، پیش آمدگی بام از ورود تابش مستقیم خورشید در تابستان بطور کامل جلوگیری می‌کند.



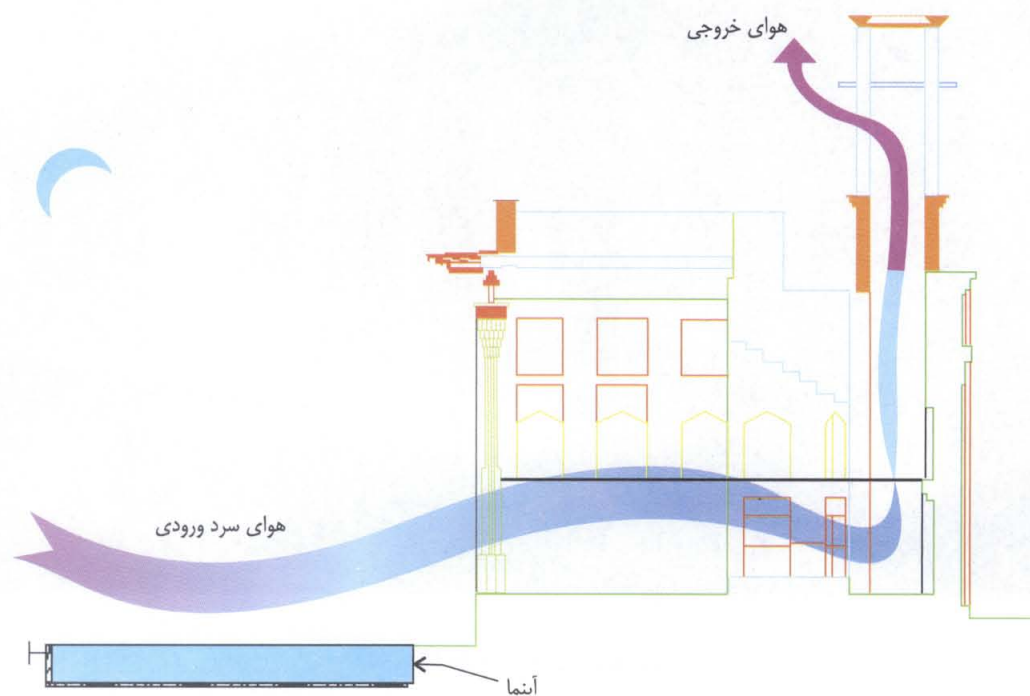
شکل: ۱۱-۱۶: پلان طبقه دوم بنای شاپوری و ایوان سرتاسری عمارت که بطور کامل در زیر سایبان قرار دارد.



شکل: ۱۱-۱۷: نمونه ای از کوچه های سر پوشیده شهر یزد. در فصل ۴ دیدیم که تابش مستقیم بیش از ۹۰٪ از انرژی رسیده از خورشید به زمین را تشکیل می دهد. بنابراین بدن عابرین در این کوچه ها کمتر از ۱۰٪ حرارت ناشی از تابش پراکنده را دریافت می کنند. بعلاوه سازه خنک سقف و دیوار کوچه، بر اساس سیستم ایجاد موانع خارجی جذب حرارت، انتقال حرارت ناشی از هدایت را نیز به تاخیر می اندازند. با افزایش جرم سازه این تاخیر تا خنک شدن هوا در عصر ادامه می یابد.

۱۱-۲-۲: سیستم سرمایش از طریق جابجائی هوای سرد شب

روشهای کنترل گرما که در بالا گفته شد، برای حفظ درجه حرارت در محدوده آسایش برای ساختمانهای ساخته شده در مناطق معتدل کافی است. ولی اکثر مناطق ایران دارای آب و هوای گرمسیری بوده و نیاز به یک مقدار باربرودتی اضافی دارند. قدم دیگر در سرمایش طبیعی استفاده از روشهای سرمایش جابجائی است. مانند روشهای استفاده از باد غالب و جابجائی طبیعی هوا که موجب تهویه ساختمان در ساعات معینی از روز میشود. قدیمی ترین روش سرمایش از طریق جابجائی در ایران، روش استفاده از ورود هوای سرد شب که موجب راندن هوای گرم فضای داخل ساختمان به خارج می شود است. اگر نسیم بطور دائم وجود داشته باشد، دریچه و یا پنجره در نقاط بالای ساختمان در سمت باد پناه ساختمان (دور از نسیم دائم) موجب خروج هوای گرم که نزدیک سقف جمع میشود میگردد. هوای سرد شب از دریچه های پادری و یا پنجره های پائین سمت باد به داخل خزیده و هوای گرم را جارو کرده و به خارج می راند. برای گرفتن بهترین نتیجه، بازشوهای سمت بادپناه باید سطحی (۵۰٪ تا ۱۰۰٪) بزرگتر از بازشوهای سمت باد را داشته باشند. اگر فقط نسیم کمی هم وجود داشته باشد، امکان استفاده از جابجائی طبیعی برای تهویه و خنک کردن ساختمان تا زمانیکه درجه حرارت خارج ساختمان کمتر از درجه حرارت بالاترین نقطه در داخل ساختمان باشد، وجود دارد. زیرا هوای گرم بالا رفته و از دریچه تخلیه در فضای بالای ساختمان خارج شده و هوای خنک از دریچه ورودی در فضای پائین ساختمان داخل و جانشین آن می شود (شکل ۱۱-۴). سردترین هوای اطراف ساختمان معمولاً در ضلع شمالی ساختمان است، مخصوصاً اگر درختکاری و آبنا در آن وجود داشته باشد. هر چه اختلاف ارتفاع دریچه های ورودی و خروجی بیشتر باشد سرعت جابجائی طبیعی و در نتیجه کاهش حرارت بیشتر خواهد بود.



شکل ۱۱-۱۸: با ایجاد سازه شبیه دودکش یا بادگیر، فشار منفی بیشتر شده و در نتیجه تهویه طبیعی بهتر انجام می شود، و تعویض هوا بیشتر انجام می شود.

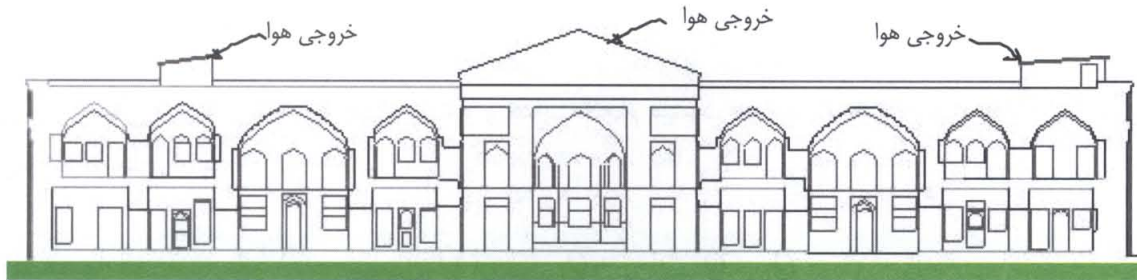
مثال: در اینجا استفاده از هوای سرد شب، برای ساختمان دیوانخانه زندیه شیراز [۵] شرح داده میشود. ولی صرفاً روابط اصلی و قسمتی از محاسبات که دارای اهمیت بیشتری است مورد توجه قرار میگیرد. در جدول گونه بندی جغرافیائی نیاز انرژی گرمائی - سرمائی [۱]، ملاحظه میشود که شهرهای حاشیه کویر، مانند: بم، یزد، کرمان، شیراز، بیرجند و غیره، برخلاف انتظار در گروه شهرهای با نیاز انرژی کم طبقه بندی میشوند. تغییرات شدید دما در شبانه روز و رعایت اصول معماری سنتی عامل اصلی در این مورد است. ذخیره هوای سرد شب ایجاد تأخیر در افزایش دما در روز را مینماید. در انجام پروژه ساختمان دیوانخانه زندیه شیراز (شکل: ۱۱-۱۹) بار سرمائی با برنامه کامپیوتری متعارف، و بار تامین شده توسط هوای سرد شب با روش مؤلف محاسبه گردیده است.

هوای سرد شب از دریچه های پادری، و یا پنجره های نزدیک زمین به داخل خزیده (شکل: ۱۱-۲۱) و هوای گرم را جارو کرده و به بالا و خارج میراند. در بنای دیوانخانه زندیه شیراز دو راه دسترسی به پشتبام پیش بینی شده که برای جابجائی طبیعی قابل استفاده بوده است. این جابجائی بر اساس سبکتر بودن هوای گرم نسبت به سرد صورت گرفته، و کل هوای گرم را با توجه به ۳ خروجی در پشتبام خارج می کند (شکل: ۱۱-۲۰).



شکل ۱۱-۱۹: دیوانخانه زندیه شیراز

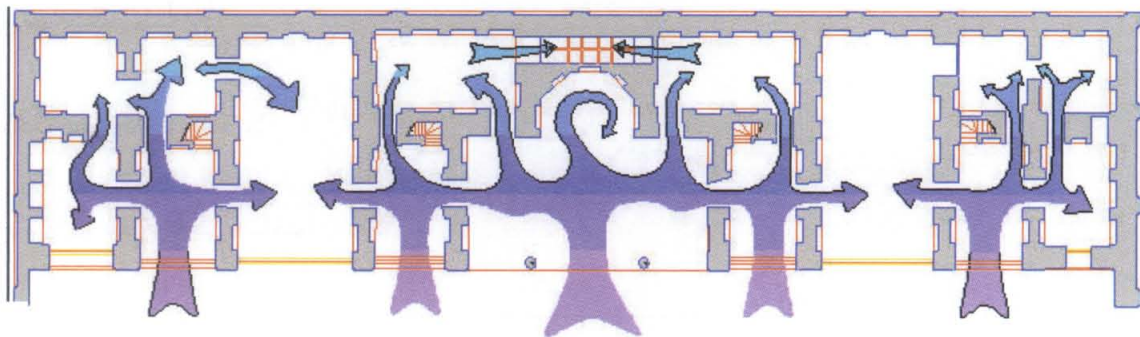
ذخیره هوای سرد شب ایجاد تأخیر در افزایش دما در روز را می نماید. در این مقاله خواهیم دید که چگونه می توان هوای سرد شب را در سازه ساختمان ذخیره نمود.



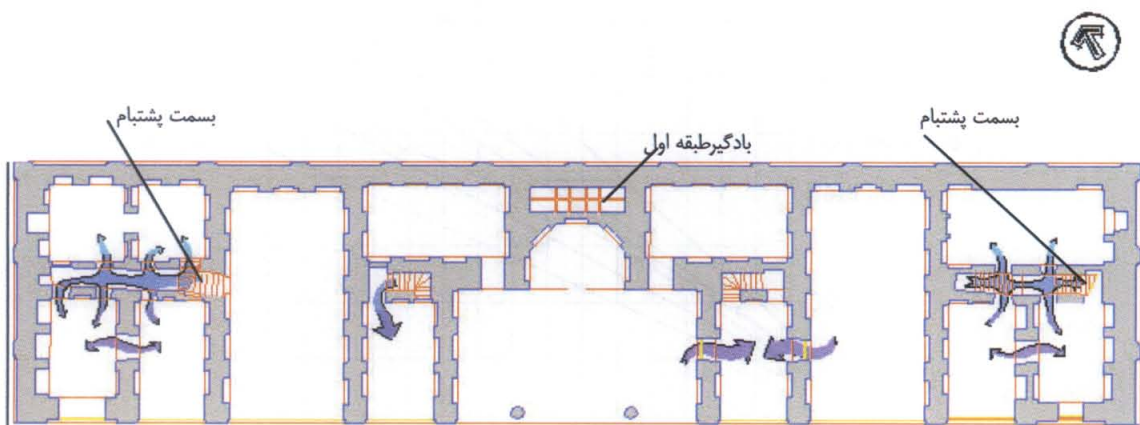
شکل: ۱۱-۲۰: خروجیهای هوای گرم در پشتبام.

الف: تغییرات دما در شهر شیراز

شهر شیراز واقع در منطقه گرم و خشک ایران دارای تغییرات دمای زیاد در شبانه روز است، بطوریکه در خرداد، تیر، مرداد و شهریور (شکل: ۱۱-۲۲) دمای میانگین حداقل به ترتیب $۱۶/۸$ ، $۱۹/۵$ ، $۱۸/۴$ و ۱۴ درجه سانتیگراد است. اختلاف دمای ماگزیم متوسط و منیمم متوسط در ماههای گرم سال به بیش از ۱۸ درجه سانتیگراد می رسد بعبارت دیگر بطور متوسط حدود ۱۸ درجه سانتیگراد دما بین شب و روز تغییر مینماید. در شهرهای دیگر نزدیک کویر تغییرات دما در شبانه روز حتی بیش از این مقدار است.



طبقه اول



طبقه دوم

شکل ۱۱-۲۱: ساختمان دیوانخانه زندیه- ورود هوای سرد در شب از حیاط جنوبی به داخل ساختمان

ب: محاسبه بار سرمایی در شب

سرمایش از ساختمان به سه صورت جابجائی، تشعشع و هدایت انجام میشود. هر سه سرمایش تابعی از اختلاف دمای سطح ساختمان و محیط خارج است.

$$\dot{Q} = \dot{Q}_{convection} + \dot{Q}_{radiation} + \dot{Q}_{conduction} \quad (W) \quad (2-11)$$

سرمایش جابجائی - سرمایش ساختمان از طریق جابجائی متناسب با سطح آن و اختلاف دمای آن با هوای محیط است. رابطه حاکم بصورت زیر نوشته میشود:

$$\dot{Q}_{convection} = \dot{h}_c A_r (T_r - T_a) \quad (W) \quad (3-11)$$

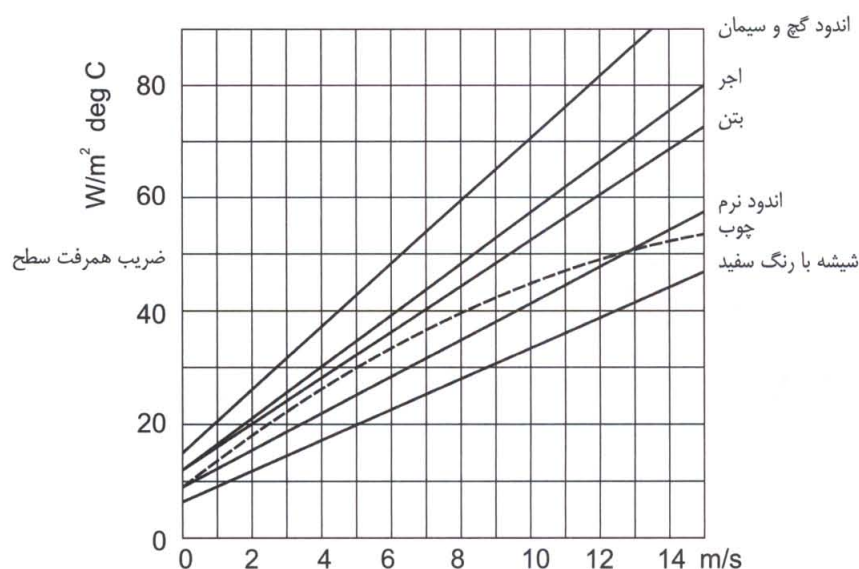
در این رابطه داریم:

$$\dot{h}_c - \text{متوسط ضریب انتقال حرارت از طریق جابجائی} \quad (W / m^2 \cdot K)$$

$$T_a - \text{دمای هوای محیط} \quad (K)$$

$$A_r - \text{مساحت سطح داخلی ساختمان} \quad (m^2)$$

$$T_r - \text{دمای متوسط سطح داخلی ساختمان} \quad (K)$$



شکل شماره ۱۱-۲۲: تغییرات ضریب انتقال حرارت از طریق همرفت برحسب سرعت جریان هوا

سرمایش از طریق هدایت - مقدار سرمایش از طریق هدایت حرارت به جنس و ضخامت مواد و بعلاوه سطح انتقال حرارت بستگی دارد. رابطه این افت عبارت است از:

$$\dot{Q}_{conduction} = \bar{k} A_r (T_r - T_a) / \Delta \bar{x} \quad (W) \quad (4-11)$$

در حالیکه در این رابطه :

$$\bar{k} - \text{متوسط ضریب هدایت حرارت، بر حسب: } (W / m \cdot K)$$

$$\Delta \bar{x} - \text{متوسط ضخامت دیوار.}$$

سرمایش از طریق هدایت معمولاً در مقایسه با سرمایش جابجائی و سرمایش از طریق تابش به آسمان کم است. بنابراین میتوان آنرا توأم با سرمایش جابجائی در نظر گرفت.

سرمایش از طریق تابش به آسمان - سرمایش از طریق تابش ، سرمایش اصلی را برای سطوح خارجی ساختمان تشکیل میدهد. میزان افت حرارت از طریق تابش متناسب با ضریب انتشار سطح و تفاضل درجه چهار درجه حرارت است. رابطه نمایش این افت عبارت است از:

$$\dot{Q}_{radiation} = \varepsilon \sigma A_r (T_r^4 - T_{sky}^4) \quad (W) \quad (5-11)$$

در حالیکه:

$$\varepsilon - \text{ضریب انتشار سطح}$$

$$\sigma - \text{ضریب ثابت استفان بولتزمن } (5.670 \times 10^{-8} W / m^2 K^4)$$

$$T_{sky} - \text{معادل دمای آسمان } (K)$$

دمای معادل درجه حرارت آسمان بستگی به وزن مخصوص هوا و مقدار رطوبت هوا دارد. هنگامی که رطوبت بالا و در نزدیک سطح دریا هستیم، دمای آسمان را میتوان معادل درجه حرارت هوای محیط در نظر گرفت. در حالیکه در رطوبت نسبی کم و یا ارتفاع زیاد دمای آسمان ۶ تا ۸ درجه کمتر از دمای هوای محیط است.

ساختمان دیوانخانه با ورودیهای مختلف به سه قسمت مستقل بشرح زیر تفکیک میشود :

قسمت مرکزی ، قسمت شرقی و قسمت غربی

الف: انرژی سرمایی مورد نیاز برای ساختمان در طول روز

بار برودتی برای ۳ قسمت مرکزی، شرقی و غربی ساختمان، در طول روز، توسط نرم افزار محاسباتی به ترتیب عبارتست از: $\dot{Q}_{c,required} = 98600 \text{ KJ}$ ، $\dot{Q}_{e,required} = 57000 \text{ KJ}$ و $\dot{Q}_{w,required} = 57800 \text{ KJ}$

بنابراین با توجه به آنکه تغییرات بار تقریباً سینوسی است، مقدار کل انرژی سرمایی مورد نیاز در طول ۱۲ ساعت روز را می توان حداکثر ۷۵٪ شرایط بحرانی معمول در محاسبات فرض نمود، بنابراین داریم:

$$\dot{Q}_{t,required} = 12 \times 0.75 \times (\dot{Q}_{c,required} + \dot{Q}_{e,required} + \dot{Q}_{w,required}) = 1920600 \text{ KJ}$$

ب: کاهش حرارت از طریق همرفت، هدایت و تشعشع در طول شب

(۱) سرمایش از طریق همرفت در جرم ساختمان:

ضریب انتقال حرارت از طریق جابجائی با استفاده از نمودارهای تجربی [۱۳] برای دیوار آجری در سرعت هوایی معادل ۰/۵ متر در ثانیه (شکل: ۲۲-۱۱) عبارتست از: $\dot{h}_c = 17 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ، از طرف دیگر داریم:

مساحت سطح داخلی ۳ قسمت به ترتیب عبارتند از: 1315 m^2 ، 1315 m^2 ، 1398 m^2 ،

دمای متوسط سطح داخلی ساختمان $T_r = 24^\circ \text{C}$ or 297°K

دمای متوسط مینیمم هوای محیط $T_a = 16^\circ \text{C}$ or 289°K

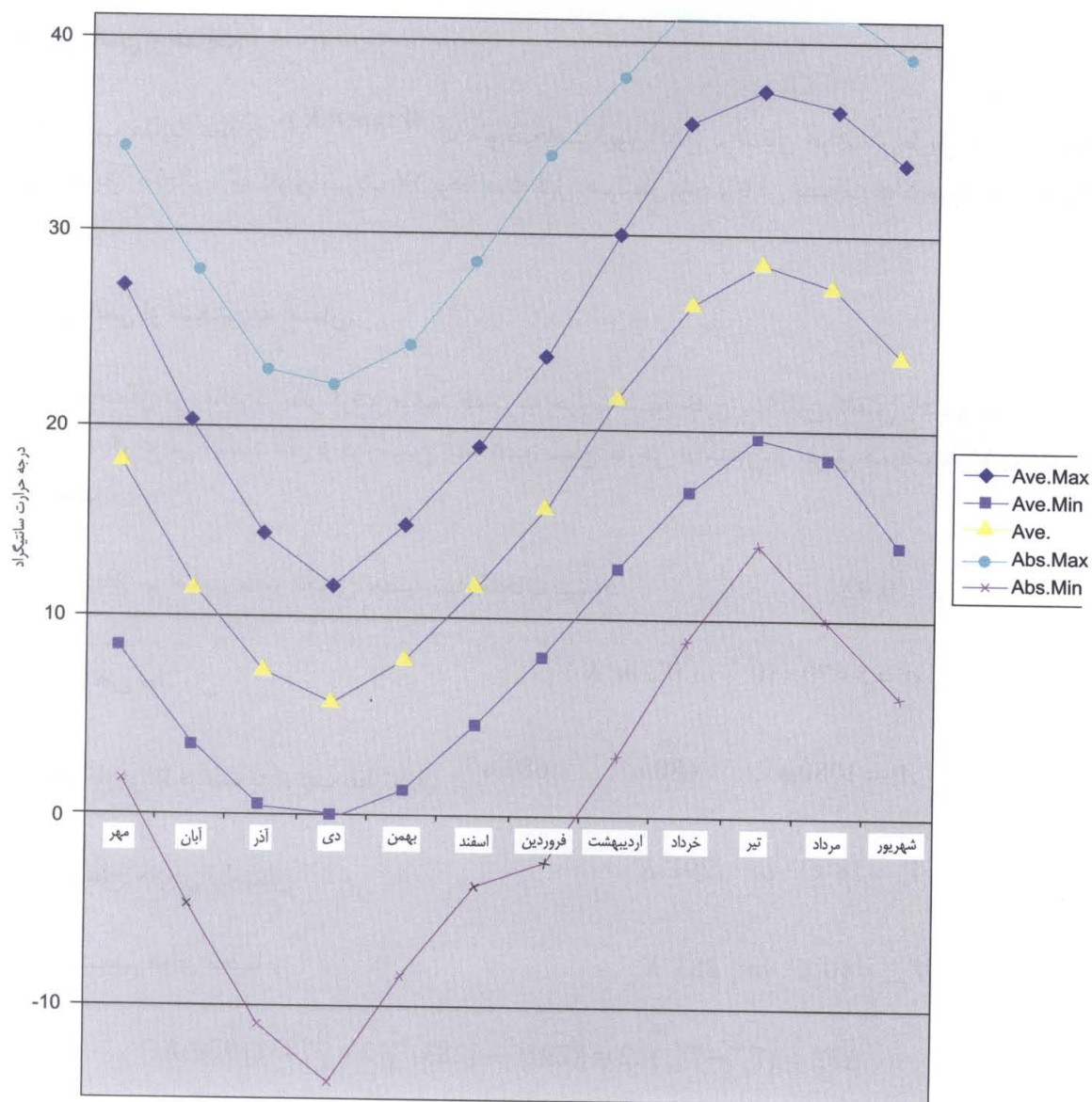
متوسط تغییرات دما عبارتست از: $\Delta T = (T_r - T_a) / 2 = (297 - 289) / 2 = 4^\circ \text{K}$

بنابراین سرمایش از طریق جابجائی در ۳ قسمت ساختمان محاسبه میشود.

سرمایش جابجائی در قسمت مرکزی: $\dot{Q}_{c,conv} = 17 \times 1398 \times 4 = 95067 \text{ W}$

سرمایش جابجائی در قسمت شرقی: $\dot{Q}_{e,conv} = 17 \times 1315 \times 4 = 89400 \text{ W}$

سرمایش جابجائی در قسمت غربی: $\dot{Q}_{w,conv} = 17 \times 1315 \times 4 = 89400 \text{ W}$



شکل ۱۱-۲۲: تغییرات دما در شهر شیراز در طول سال

با در نظر گرفتن ۱/۵ ساعت جابجائی در شرایط مینیمم دما و تبدیل واحد داریم:

$$Q_{c,conv} = 95067 \times 3600 \times 1.5 / 1000 = 513360 \text{ KJ} \quad \text{سرمایش جابجائی در قسمت مرکزی:}$$

$$Q_{e,conv} = 89400 \times 3600 \times 1.5 / 1000 = 482760 \text{ KJ} \quad \text{سرمایش جابجائی در قسمت شرقی:}$$

$$Q_{w,conv} = 89400 \times 3600 \times 1.5 / 1000 = 482760 \text{ KJ} \quad \text{سرمایش جابجائی در قسمت غربی:}$$

مقدار کل بار سرمائی حاصل از جابجائی در شب عبارتست از:

$$Q_{t,conv} = 513360 + 2 \times (482760) = 1478880 \text{ KJ}$$

۲) سرمایش ناشی از هدایت:

با توجه به ضریب هدایت معادل: $W/(m \times K)$ و ضخامت دیوار (۰/۵) در انتقال حرارت از طریق هدایت، درمقایسه با سرمایش از طریق جابجائی، که دارای ضریب ۱۷ بوده است قابل صرفنظر بوده و با آن بصورت توأماً مورد محاسبه قرار گرفته است.

۳) سرمایش ناشی از تشعشع به آسمان:

افت انرژی به آسمان در زمانی در نظر گرفته میشود که درجه حرارت سطح خارج ساختمان کاهش یافته و به ۱۸ درجه رسیده است. بعبارت دیگر فرض میشود قبل از فرارسیدن نیمه شب، سطح خارجی ساختمان از طریق همرفت تا ۱۸ درجه سانتیگراد خنک شده است.

ضریب انتشار سطح بر اساس مقدار تجربی توصیه شده انتخاب میشود. $\varepsilon = 0.92$

ضریب ثابت استفان بولتزمان $\sigma = 5.670 \times 10^{-8} \quad W/m^2 K^4$

مساحت سطح خارجی ۳ قسمت به ترتیب عبارتند از: $680m^2$, $680m^2$, $1080m^2$

دمای متوسط سطح خارجی ساختمان $T_r = 18^\circ C \text{ or } 291^\circ K$

دمای متوسط مینیمم هوای محیط $T_{sky} = 10^\circ C \text{ or } 283^\circ K$

$$\Delta T^4 = (T_r^4 - T_{sky}^4) / 2 = [(291)^4 - (283)^4] / 2 = 378311920^\circ K^4$$

بنابراین بار سرمایی حاصل از تابش به آسمان در ۳ قسمت ساختمان به قرار زیر محاسبه میشود.

$$\dot{Q}_{c,rad} = 1080 \times 0.92 \times (5.670 \times 10^{-8}) \times 378311920 = 21300 \quad W \quad \text{تشعشع به آسمان در قسمت مرکزی:}$$

$$\dot{Q}_{e,rad} = 680 \times 0.92 \times (5.670 \times 10^{-8}) \times 378311920 = 13400 \quad W \quad \text{تشعشع به آسمان در قسمت شرقی:}$$

$$\dot{Q}_{e,rad} = 680 \times 0.92 \times (5.670 \times 10^{-8}) \times 378311920 = 13400 \quad W \quad \text{تشعشع به آسمان در قسمت غربی:}$$

با در نظر گرفتن ۵ ساعت تابش بعد از رسیدن دمای سطح خارجی به ۱۸ درجه سانتیگراد و تبدیل واحد داریم:

$$Q_{c,rad} = 21300 \times 3600 \times 5 / 1000 = 383400 \quad KJ \quad \text{تشعشع شده به آسمان از قسمت مرکزی:}$$

$$Q_{e,rad} = 13400 \times 3600 \times 5 / 1000 = 241200 \quad KJ \quad \text{تشعشع شده به آسمان از قسمت شرقی:}$$

تشعشع شده به آسمان از قسمت غربی : $Q_{e,rad} = 13400 \times 3600 \times 5 / 1000 = 241200 \text{ KJ}$

مقدار کل تشعشع به آسمان در شب عبارتست از: $Q_{t,rad} = 383400 + 2 \times 241200 = 865800 \text{ KJ}$

بنابراین مجموع سرمایش حاصل از تشعشع به آسمان و سرمایش حاصل از جابجائی در شب عبارتست از :

$$Q_t = Q_{t,conv} + Q_{t,rad} = 1478880 + 865800 = 2344680 \text{ KJ}$$

بطوریکه ملاحظه میشود این مقدار بیش از انرژی سرمائی مورد نیاز برآورد شده از طریق محاسبات متعارف است.

(۴) مقدار ذخیره بار سرمائی:

مقدار بار سرمائی قابل ذخیره به شرح زیر تخمین زده می شود :

بار سرمائی قابل ذخیره :

$$Q_T = \varsigma V d C \Delta T \quad (۶-۱۱)$$

در این رابطه:

ς : ضریب قابلیت کاهش حرارت که معادل 0.3 [۴] فرض میشود.

d : وزن مخصوص متوسط : برحسب کیلوگرم بر مترمکعب برای دیوار آجری معادل $d = 1698 \text{ Kg/m}^3$: حجم دیوارها، پارتیشن ها ، سقفها معادل : مترمکعب $V = 3000$

C : گرمای ویژه متوسط دیوارها، پارتیشن ها ، سقفها معادل: $C = 1 \text{ KJ/(Kg}^\circ\text{C)}$

ΔT : متوسط گرادیان حرارتی برحسب درجه کلون $\Delta T = (297 - 289) / 2 = 4$

ضریب $1/2$ برای تغییرات دما به آن علت است که میتوان فرض کرد که تغییرات دما بطور خطی بسمت صفر میل می کند.

بنابراین ظرفیت ذخیره انرژی برودتی توسط جرم ساختمان معادل :

$$Q_T = \varsigma V d C \Delta T = 0.3 \times 3000 \times 1698 \times 1 \times 4 = 6098400 \text{ KJ}$$

که نشانگر آنستکه مصالح بکار رفته در عمارت قابلیت ذخیره سرما را بیش از مقدار مورد نیاز یعنی : 1920600 KJ دارد.

بنابراین ساختمان دیوانخانه به عنوان یک مخزن ذخیره انرژی دارای قابلیت بسیار زیاد برای ذخیره انرژی مورد نیاز میباشد ، ولی ، بار بروندی ای که میتواند از سه طریق به ساختمان وارد شود ،مقداری محدود و کمتر از قابلیت ذخیره سازی انرژی توسط ساختمان است .

جدول ۱۱-۶- خواص بعضی مصالح ساختمانی

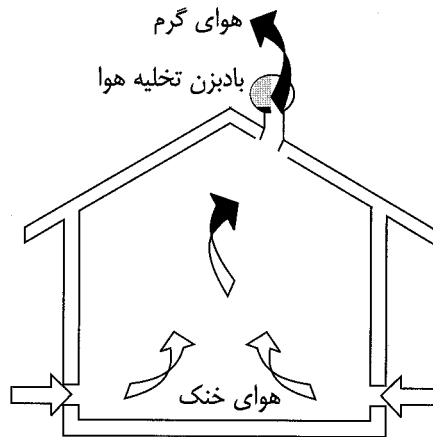
خواص جسم	وزن مخصوص	ضریب هدایت	گرمای ویژه	ظرفیت حرارتی	ضریب پخش	زمان تاخیر برای اینچ مربع
	K			α		
	(Kg/m ³)	(W/mK)	(J/KgK)	(KJ/m ³ -K)	(cm ² /s)	(min)
چوب- تخته چندا	۵۴۲	۰/۱۲	۱۲۱۵	۶۶۲/۲	۰/۰۰۱۸۱	۵۹/۴۱
چوب- نوع سخت (بلوط-افرا)	۵۴۵	۰/۱۶	۲۴۰۰	۱۳۰۸	۰/۰۰۱۲۲	۸۸/۱۳
چوب- نرم (کاج- صنوبر)	۵۱۰	۰/۱۲	۱۳۸۰	۷۰۳/۸	۰/۰۰۱۷۱	۶۲/۸۸
بتن	۲۲۰۰	۰/۸۱	۸۸۰	۱۹۳۶	۰/۰۰۴۱	۲۶/۲۲
آجر	۱۹۲۰	۰/۷۲	۸۳۵	۱۶۰۳/۲	۰/۰۰۴	۲۳/۸۹
ملات سیمان	۱۸۶۰	۰/۷۲	۷۸۰	۱۴۵۰/۸	۰/۰۰۴۹	۲۱/۹۴

جدول: ۱۱-۷، شامل مقادیر بار بروندی برای نمونه های انتخابی از هوادهی و تغییرات دما است. برای مثال اگر سرعت هوا خروجی از یک دریچه تخلیه به مساحت ۱۰ فوت مربع ۱ تا ۲ فوت در ثانیه باشد، مقدار دبی هوا معادل ۶۰۰ تا ۱۲۰۰ فوت مکعب در دقیقه خواهد بود. اگر دمای ورودی ۱۰ درجه فارنهایت سرد تر از دمای خروجی باشد، مقدار بار بروندی در ساعت معادل ۶ تا ۱۲ هزار بی تی یو در ساعت خواهد بود.

جدول: ۱۱-۷- مقدار بار بروندی برحسب ۱۰۰۰ بی تی یو در ساعت

تغییرات درجه حرارت، ΔT				دبی جریان هوا cfm
۲۰ °F	۱۵ °F	۱۰ °F	۵ °F	
۲/۲	۱/۶	۱/۱	۰/۵	۱۰۰
۱۰/۸	۸/۱	۵/۴	۲/۷	۵۰۰
۲۱/۶	۱۶/۲	۱۰/۸	۵/۴	۱۰۰۰
۴۳/۲	۳۲/۴	۲۱/۶	۱۰/۸	۲۰۰۰

تا حدودی افزایش سطح دریچه موجب افزایش مقدار هوادهی در جابجائی طبیعی خواهد بود. استفاده از دریچه تخلیه پشته‌بامی با پروانه (شکل: ۱۱-۲۳)، موجب افزایش دبی ورودی و در نتیجه بار برودتی می‌شود. حتی یک نسیم ملایم از روی دریچه تخلیه موجب افزایش تعویض هوا خواهد شد.



شکل ۱۱-۲۳- از یک هواکش سقفی برای ازدیاد تهویه میتوان استفاده کرد.

۱۱-۲-۳: سیستم سرمایش از طریق تابش به آسمان

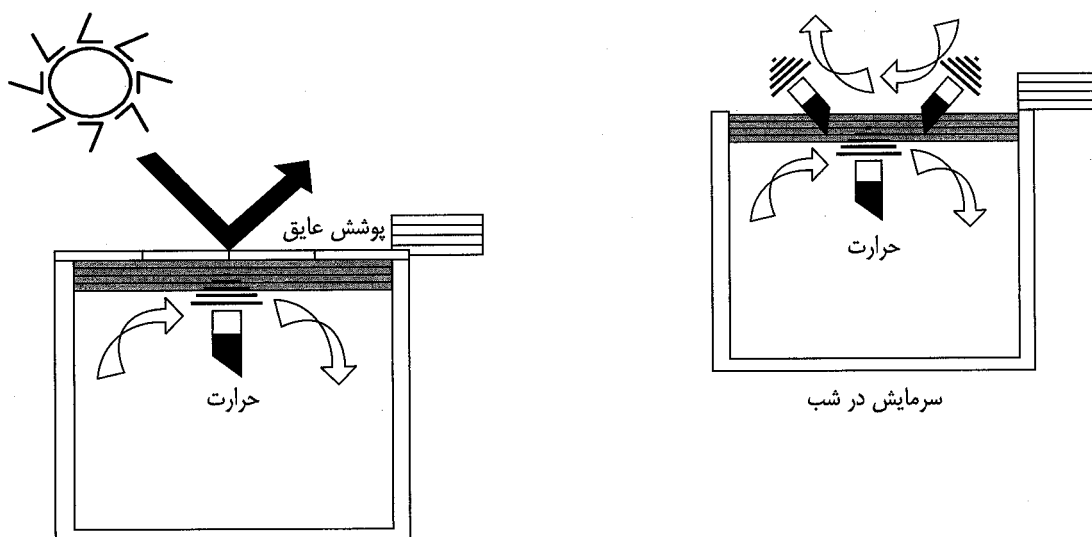
این سیستم به دو گروه الف: دیوار خارجی آب و حوضچه پشته‌بامی، و گروه ب: بام های کروی قابل تقسیم است.

الف: دیوار خارجی آب و حوضچه پشته‌بامی

دیوار خارجی آب و حوضچه پشته‌بامی که در سیستم‌های گرمایش طبیعی خورشید در فصل ۱۰ آورده شد، بعنوان سیستم سرمایش نیز برای تابستان قابل استفاده اند. منتها در سیکل سرمایش (شکل ۱۱-۲۴)، پوشش عایق در روز و برای جلوگیری از جذب حرارت توسط حوضچه بکار می‌رود. حوضچه پشته‌بامی مانند یک "اسفنج حرارتی" حرارت اطاق، را در روز جذب نموده و موجب کاهش دمای اطاق می‌شود. در شب دریچه عایق باز شده و حوض حرارت جذب شده را از طریق تابش به آسمان (اشعه مادون قرمز) از دست داده و خنک می‌شود. بعلاوه از طریق همرفت توسط هوای سرد شب و نسیم نیز خنک می‌شود. بدیهی است که حوضچه بامی در مناطق با رطوبت پائین و آسمان صاف کار کرد بهتری خواهد داشت، معذالک در مناطق گرم و خشک ایران که دارای این دو شرط میباشد مورد استفاده قرار نگرفته است، زیرا اولاً بار وزنی حوضچه موجب سازه پر هزینه شده، بعلاوه دریچه عایق و کنترل آن نیز دارای هزینه است. ارزش آب در مناطق گرم و خشک ایران نیز بر موارد فوق اضافه می‌شود. لذا بطوریکه در سیستم‌های سرمایش طبیعی در ایران دیده می‌شود از آب بصورت چند منظوره (مثلاً: آبما برای سیستم سرمایش و بعلاوه مصرف) استفاده می‌شود.

برای بهترین نتیجه گیری از این حوضچه ها، با توجه به دمای منطقه و مساحت سطح آن، عمق آن بین ۱۵ تا ۳۰ سانتیمتر توصیه می‌شود. بدیهی است که این حوضچه ها، میبایست تا حد امکان سطح بیشتری از بام را بپوشاند. یک حوضچه به عمق ۱۵ سانتیمتر با پوشش عایق که سطح بام را بپوشاند، حدود ۲ تا ۵ درجه سانتیگراد درجه حرارتش در روز بالا رفته و در شب با حدود ۷۰ الی ۹۰ وات سرمایش در هر مترمربع، تمام حرارت گرفته را به محیط خارج تا هنگام روز پس می‌دهد.

در این سیستم در امتداد سمت الراس (درست بالای سر) نباید هیچگونه مانعی باشد. درختهای مجاور، دیوارها و ساختمانها و موانع دیگر، تابش به آسمان را کاهش داده و در نتیجه کاهش دما کم می شود. بعلاوه دیوار و درخت اشعه خورشید را در روز گرفته و در شب به حوض در پشتبام پس میدهند. وجود ابر در آسمان نیز موجب کاهش بازدهی سرمایش می شود. بهمین دلیل سیستم حوض در بام برای نقاط ساحلی که عمدتاً دارای آسمان ابری هستند مناسب نمی باشد. بطوریکه در فصل ۱۶ "کویر سبز" خواهیم دید، امکان استفاده از سیستم دیوار خارجی آب و حوضچه پشتبامی آنهم بکمک آب شور برای مناطق گرم و خشک ایران، باتمهیدات لازم مناسب بنظر می رسد.



شکل ۱۱-۲۴- در سیستم حوض در بام در روز پوشش عایق روی حوض کشیده شده، و در شب پوشش کنار رفته و حوض آب با تابش اشعه مادون قرمز به آسمان خنک می شود.

ب: بام های کروی

از نظر تأمین شرایط آسایش، بام کروی (شکل: ۱۱-۲۵) در مقایسه با بام مسطح، بخصوص در مناطق گرم و خشک دارای بازدهی بهتری است. برای روشن شدن این مطلب بارهای گرمائی و سرمائی مربوط به یک بام مسطح و یک بام کروی را با هم مقایسه می کنیم.

سرمایش در شب از بام کروی و مسطح به سه صورت جابجائی، تشعشع و هدایت انجام میشود. هر سه سرمایش تابعی از اختلاف دمای سطح ساختمان و محیط خارج است.

$$\dot{Q} = \dot{Q}_{convection} + \dot{Q}_{sky-rad.} + \dot{Q}_{conduction} \quad (W) \quad (7-11)$$

$$\dot{Q}_{convection} = \dot{h}_c A_r (T_r - T_a) \quad (W) \quad (8-11)$$

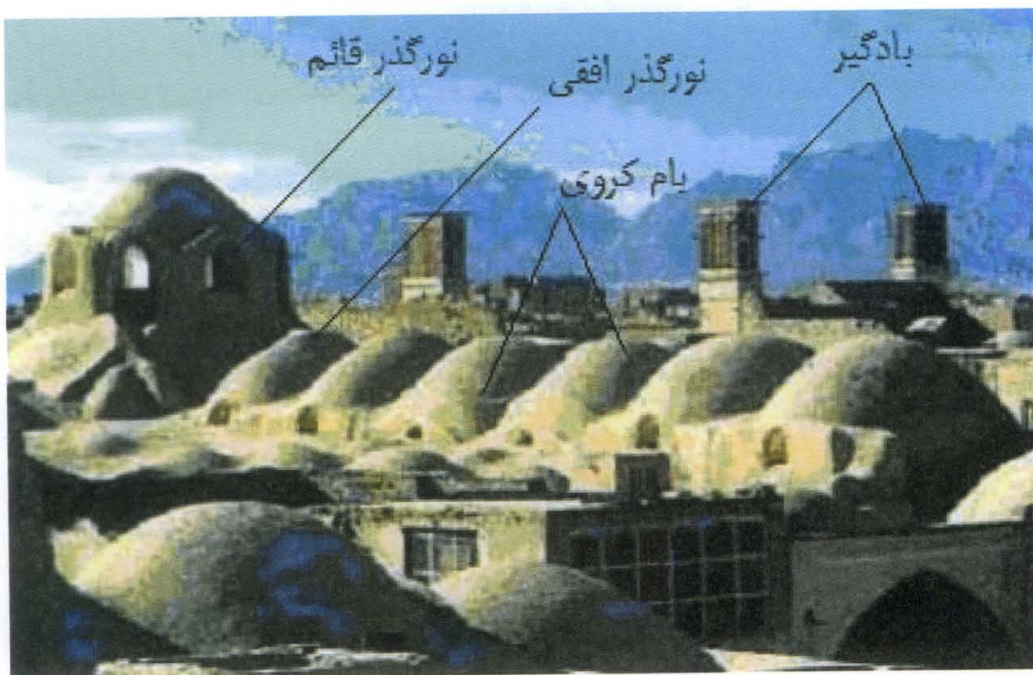
$$\dot{Q}_{\text{conduction}} = \bar{k} A_r (T_r - T_a) / \Delta \bar{x} \quad (W) \quad (9-11)$$

$$\dot{Q}_{\text{sky-rad.}} = \varepsilon \sigma A_r (T_r^4 - T_{\text{sky}}^4) \quad (W) \quad (10-11)$$

که در آن داریم :

\dot{h}_c - متوسط ضریب انتقال حرارت از طریق جابجائی $(W/m^2 \cdot K)$ ، با توجه به شکل: ۱۱-۲۲، برای بام مسطح معادل : ۱۲ و برای بام کروی بطور متوسط حداقل ۱۷ خواهد بود.

A_r - مساحت سطح بام (m^2) ، برای بام مسطح معادل A و برای بام کروی معادل $2A$



شکل ۱۱-۲۵: بامهای کروی و بادگیرها

T_r - دمای متوسط سطح خارج بام (K)

T_a - دمای هوای محیط (K)

\bar{k} - متوسط ضریب هدایت حرارت بام، برحسب: $(W / m \cdot K)$

$\Delta \bar{x}$ - متوسط ضخامت بام.

ε - ضریب انتشار سطح

σ - ضریب ثابت استفان بولتزمان $(5.670 \times 10^{-8} W / m^2 K^4)$

T_{sky} - دمای آسمان (K)

گرمایش در روز از بام کروی و مسطح نیز به دو صورت هدایت و تابش است. یعنی:

$$\dot{Q} = \dot{Q}_{sol.rad} + \dot{Q}_{conduction} \quad (11-11)$$

بار گرمایی از طریق هدایت از رابطه ای مشابه رابطه (۳) و بار گرمایی از طریق تابش خورشید از رابطه (۶) بدست می‌آید:

$$\dot{Q}_{sol.rad} = IA \quad (12-11)$$

بنابراین با فرض بار گرمایی با علامت مثبت و بار سرمایی با علامت منفی، جمع جبری بار بصورت رابطه: (۷) بوده و برای هر یک از بامهای کروی و مسطح برای یک شبانه روز بطور متوسط روابط (۸) و (۹) را میتوان نوشت. از مقدار انتقال حرارت از طریق هدایت که یک دفعه با علامت مثبت و یک دفعه نیز با علامت منفی در رابطه وارد میشود صرفنظر میکنیم. مقدار انتقال حرارت از طریق هدایت بطور نسبی از تابش و جابجائی کمتر بوده، ولی در عین حال لزوماً مقدار آن در شب و روز مساوی نمیشود.

$$Q = -Q_{convection} - Q_{sky-rad} + Q_{sol.rad} \quad (13-11)$$

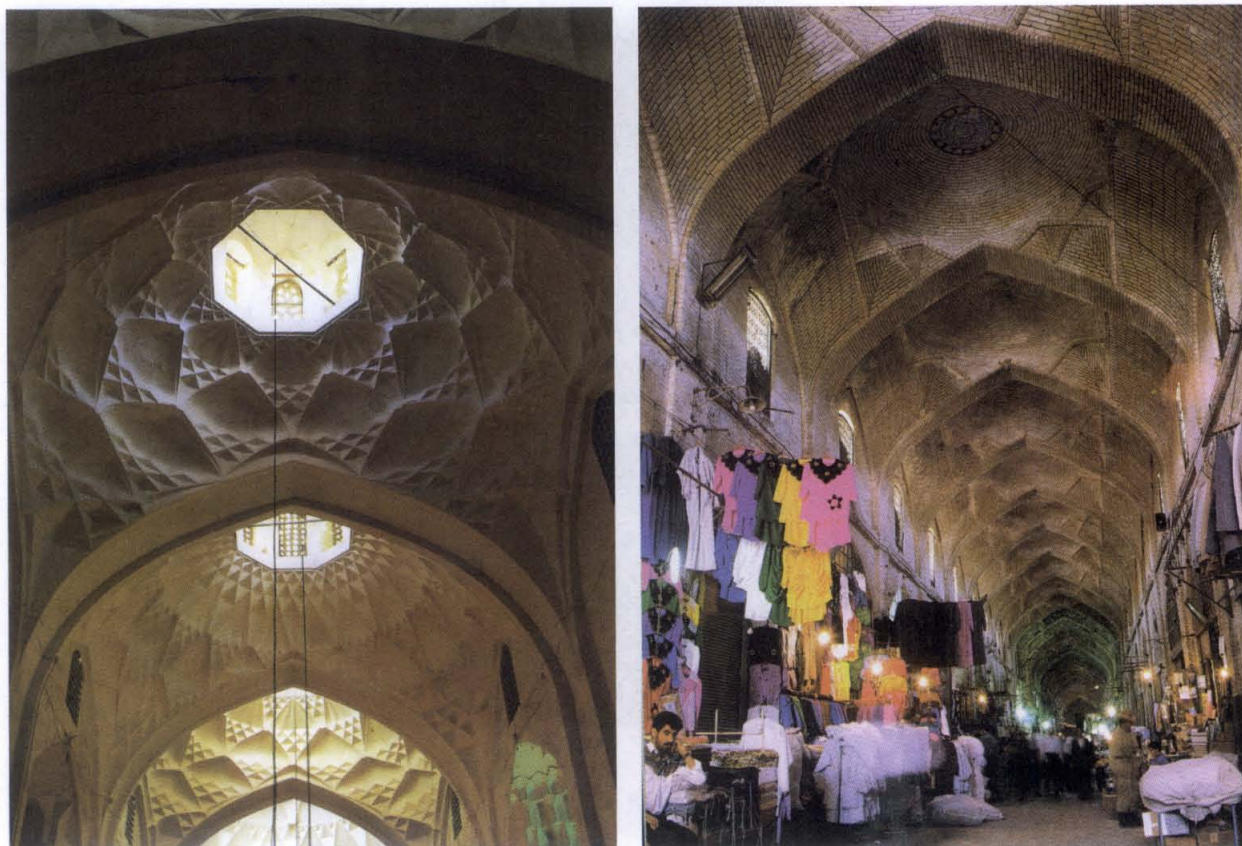
$$Q_{curved} = 12 \left[(IA) - 2A \times \left[(17 \times (T_c - T_a)) + (\varepsilon \sigma) (T_c^4 - T_{sky}^4) \right] \right] \quad (14-11)$$

$$Q_{flat} = 12 \left[(IA) - A \times \left[(12 \times (T_c - T_a)) + (\varepsilon \sigma) (T_c^4 - T_{sky}^4) \right] \right] \quad (15-11)$$

بطوریکه ملاحظه میشود بار گرمایی ناشی از تابش خورشید بعلت قانون کسینوس یکسان ولی بار سرمایی برای بام کروی بیش از دوبرابر بام مسطح است.

مقدار ذخیره سرمایش در شب متناسب با جرم بکار رفته در بام کروی نسبت به جرم مصالح لازم برای سطح مسطح، افزایش مینماید. ایجاد هواکش طبیعی در قله بام کروی در تهویه و سرمایش بیشتر مؤثر است.

از مزایای دیگر سطح کروی ایجاد شیب مناسب برای حرکت برف و باران، و در نتیجه تأمین حفاظت سقف کروی در مقایسه با سطح مسطح بوده و بعلاوه، هوای خنک در مخزن کروی در شب ذخیره شده و در روز بتدریج از طریق همرفت جای خود را به هوای گرم می‌دهد. سهولت قرارگیری نور گذر در بام کروی (شکل: ۱۱-۲۶) اجرائی بودن سازه در ابعاد مختلف، بدون نیاز به تقویت آن، زیبایی معماری از مزایای دیگر بامهای کروی است.



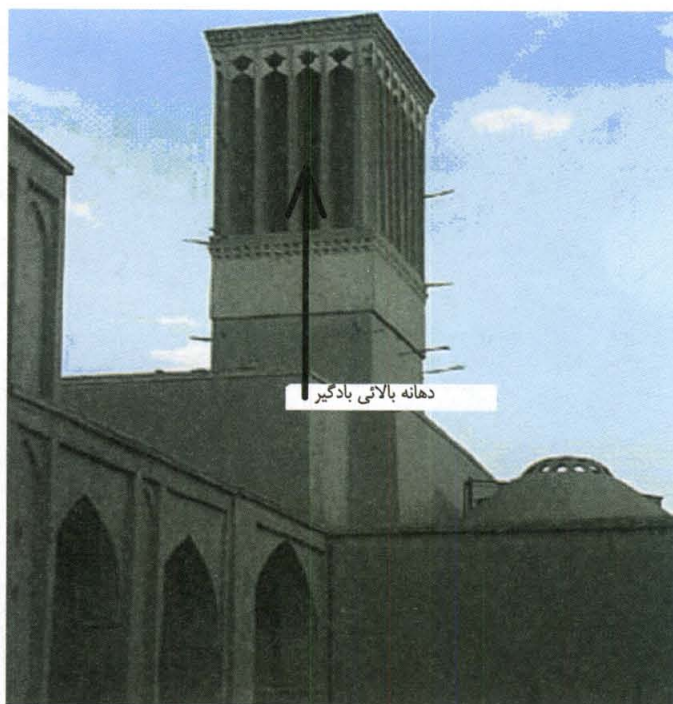
شکل: ۱۱-۲۶: نمونه ای از سقفهای کروی با نور گذرهای متنوع در بازارهای ایران.

۱۱-۲-۴: باد گیرها

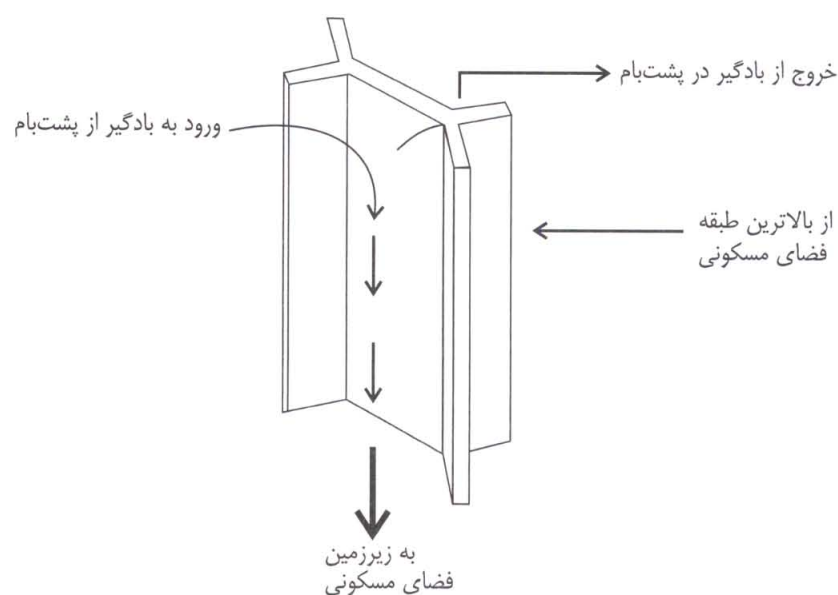
باد گیرها برای گرفتن باد، خنک کردن و گردش آن در ساختمانها استفاده می شوند. بعلاوه بادگیرها تسریع کننده ورود هوای سرد شب به فضای ساختمان و خروج هوای گرم از داخل ساختمان هستند. معمولاً یکسر بادگیر در پشتبام و سر دیگر آن در زیر زمین قرار دارد. قسمت فوقانی بادگیر مطابق شکل: ۱۱-۲۷ دارای دهانه های متعدد عمودی برای ورود و یا خروج جریان هواست. این دهانه های ورودی از طریق کانالهای عمودی با تقسیم بندی ای که اغلب مشابه شکل: ۱۱-۲۸ میباشد به خروجی ها و یا ورودی های جانبی بادگیر در قسمت تحتانی منتهی می شود. گاهی علاوه بر کانال عمودی یک کانال افقی نیز در سیستم بادگیر وجود دارد. بادگیرها از نظر ارتفاع، سطح مقطع، تعداد مسیرهای عبور هوا و محل بادگیر در ساختمان و وضعیت دهانه های انتهائی با یکدیگر متفاوت اند. عمده‌تأ در شهرهای حاشیه کویر ایران بادگیرها دیده میشوند. ولی بعضی شهرهای دیگر نیز از بادگیرها بی بهره نبوده اند. در ایران مطالعات علمی کم ولی شایسته [۱۶] در مورد بادگیرها صورت گرفته است.

الف: نحوه کار بادگیر

دو عامل اصلی در کار بادگیرها به ترتیب باد و خورشید است. با توجه به ساخت و ساز بادگیرها (شکل: ۱۱-۲۸) باد در هر جهتی که بوزد در دو کانال مقابل هم در بادگیر ایجاد فشار مثبت (سمت بادگیر) و فشار منفی (سمت بادپناه) می نماید. این اختلاف فشار جریان هوا را در بادگیر برقرار می نماید.



شکل: ۱۱-۲۷- نمای قسمت فوقانی یک بادگیر. تیرهای چوبی هم برای تقویت بادگیر و هم برای تعمیر و نگهداری بادگیر بکار می رود.

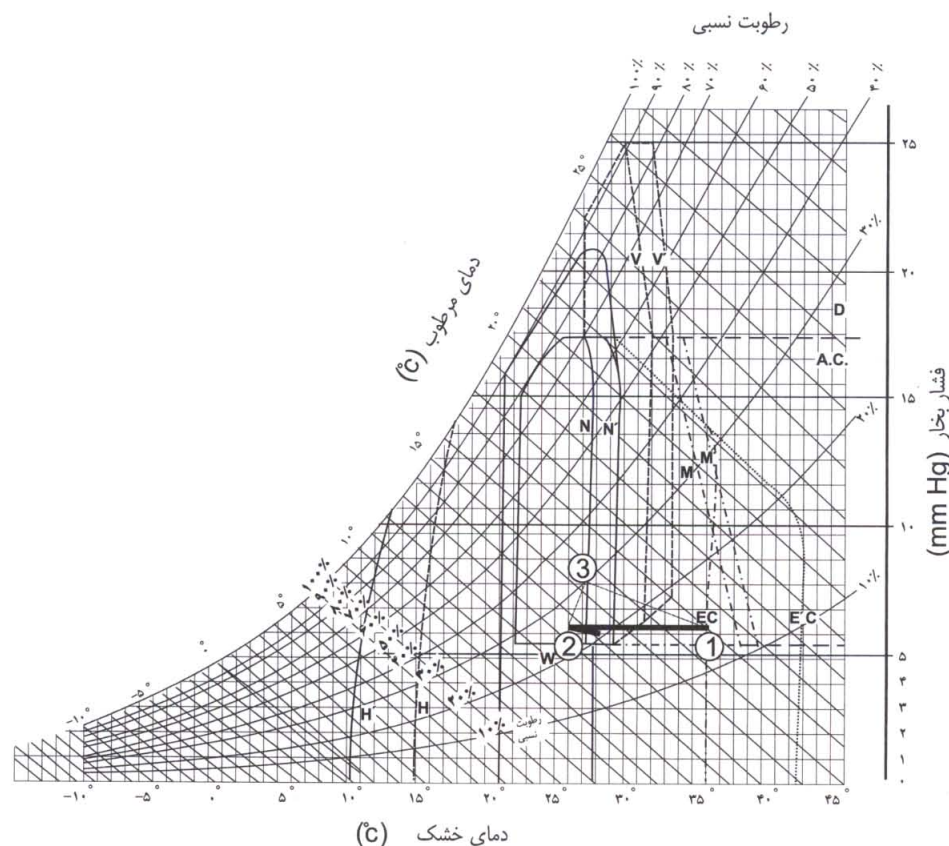


شکل: ۱۱-۲۸- نمای تقسیم بندی ورودی و قسمتی از ارتفاع بادگیر در سازه داخلی.

از طرف دیگر در بادگیر با تابش خورشید تفاوت دما در ضلع جنوبی و شمالی بادگیر، موجب تغییر در وزن مخصوص هوا در دوطرف بادگیر و موجب گردش حرارتی هوا (ترموسیفون) در بادگیر میشود. در ضلع شمالی هوای خنک به درون بادگیر وارد شده و بسمت پائین و قسمت تحتانی بادگیر حرکت میکند (شکل: ۱۱-۲۹). در ضلع جنوبی هوای گرم، از طبقه فوقانی بسمت بالا آمده و خارج میشود. معمولاً درها یا دریچه‌های کانالهای بادگیر را به فضای زیر زمین و طبقه فوقانی ساختمان مربوط مینماید. جریان هوا در فضاهای داخل ساختمان توسط باز و بسته شدن این درهای ارتباطی کنترل میشود. امروزه این دریچه‌ها را میتوان بکمک احساسگرها بطور اتوماتیک کنترل نمود. عملکرد بادگیر بستگی به وجود یا عدم وجود باد و زمان وزش آن دارد. دیوارها و کانالهای جریان هوا در بادگیر در طول روز حرارت گرفته و در شب آنرا به هوای سرد پس میدهند. بنابراین دیواره‌های بادگیر در ابتدای روز سرد است. حال اگر باد از سمت شمال بوزد (فشار مثبت در سطح شمالی)، شدت حرکت هوای سرد به پائین (حاصل از گردش ترموسیفون) افزایش می‌یابد، همینطور هوای خارج شده از سطح جنوبی بادگیر (سطح سمت باد پناه- سطح سمت فشار منفی) نیز افزایش می‌یابد. اگر جهت باد از ضلع جنوبی باشد، عمدتاً بازهم فشار هوا در در ضلع جنوبی و مکش هوا از سطح شمالی بادگیر، عمدتاً موجب گردش هوا در بادگیر شده ولی بازدهی بادگیر از حالت قبل کمتر است. بادهای شرقی و غربی نیز با بازدهی کمتر از بادهای شمالی اند، ولی باز هم با باز و بسته کردن دریچه‌های مناسب میتوان از آنها بهره گرفت. برای طراحی مناسب بادگیر باید شرایط محل پروژه با دقت توسط مهندس مشاور مورد توجه و استفاده قرار گیرد.



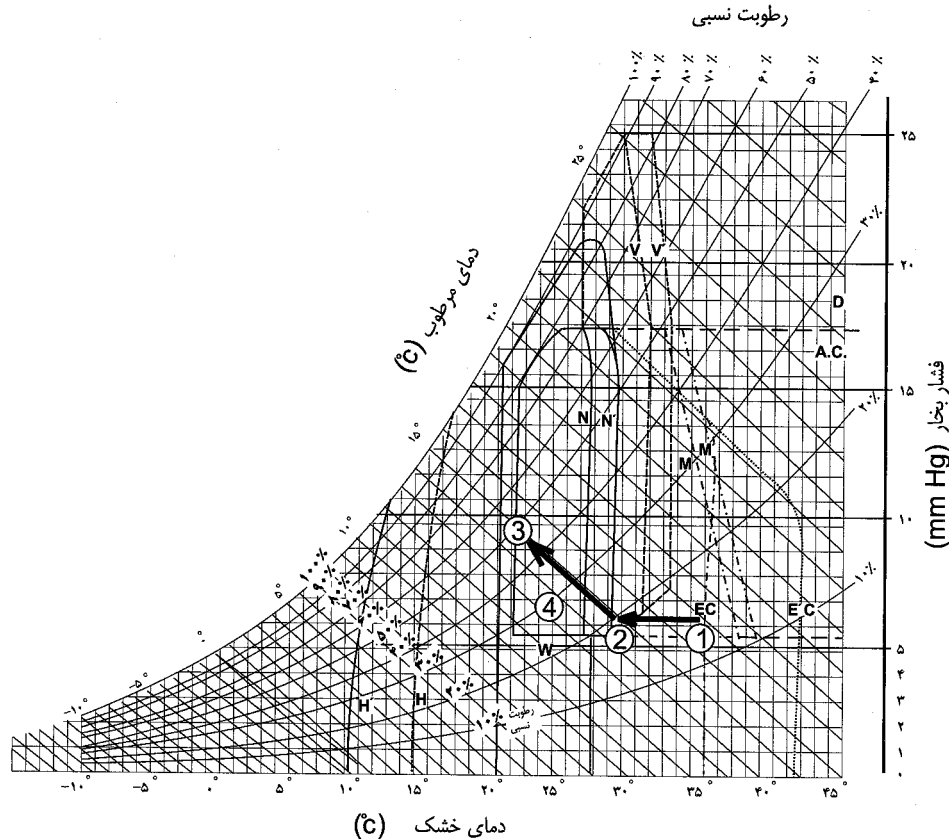
شکل: ۱۱-۲۹- ورود جریان هوا از ضلع شمالی بادگیر به داخل طبقه زیرین ساختمان، و خروج هوا از طبقه فوقانی و از ضلع جنوبی بادگیر خواهد بود.



شکل ۱۱-۳۰: نمودار تغییرات شرایط هوای ورودی در بادگیر بدون رطوبت زنی

با فرض اینکه شرایط هوای ورودی در نقطه "۱" (شرایط تابستان در شهر شیراز) باشد، هوای ورودی در داخل بادگیر بدون رطوبت زنی، صرفاً سرد شده و در نتیجه در روی نمودار رطوبی (شکل ۱۱-۳۰) این فرآیند را بصورت خط افقی ۱-۲ (یعنی: مقدار رطوبت ثابت) می‌توان نشان داد. این هوا پس از ورود به فضای مسکونی تحت فرآیندی شبیه ۲-۳ با هوای آن مخلوط شده و دما و رطوبت آن کمی افزایش می‌نماید. هوا در هنگام خروج از بادگیر فرآیند ۳-۱ را طی می‌کند. بدین‌ترتیب بادگیر بدون رطوبت زنی نیز میتواند شرایط هوا را بهبود دهد. بدین‌ترتیب هوای فضای داخل ساختمان خنک می‌شود.

اما هوای ورودی در انتهای بادگیر معمولاً رطوبت زنی میشود. در نتیجه هوای ورودی با آنتالپی ثابت خنک میشود. بنابراین، فرآیند ۲-۳ همان‌طور که در شکل ۱۱-۳۱ نشان داده شده روی خط آنتالپی ثابت (خطوط آنتالپی تقریباً موازی خطوط دمای مرطوب ثابت است) در نمودار رطوبی است. بطوریکه در نمودار دیده میشود افزایش رطوبت زنی موجب کاهش دمای هوای ورودی می‌شود. بده هوای بادگیر در اختلاط با هوای فضای مسکونی تحت فرآیندی شبیه ۳-۴، رطوبتش کاهش یافته و دمای آن افزایش مینماید. هوا در خروج از بادگیر فرآیندی شبیه ۴-۱ را طی می‌نماید.



شکل ۱۱-۳۱: نمودار تغییرات شرایط هوای ورودی در بادگیر با رطوبت زنی

ب: مزایای سیستم بادگیر نسبت به سیستم کولر آبی و سیستم تهویه مطبوع

بادگیر بعلت ورود و خروج مساوی هوا از آن برخلاف دستگاه تهویه مطبوع و مخصوصاً کولر آبی در هیچ نقطه در داخل ساختمان فشار داخلی (فشار مثبت) ایجاد نمیکند. کولر آبی در کلیه فضاهای داخل ساختمان اجباراً فشار مثبت ایجاد میکند. در سیستم تهویه مطبوع در بعضی از فضاها اجباراً فشار مثبت ایجاد میشود. هر چند بدن فشار مثبت را تا حدودی تحمل میکند ولی عدم وجود آن از خستگی بی مورد جلوگیری کرده و برای آسایش بهتر است.

بادگیر با توجه به عدم وجود موتور و دستگاه مکانیکی در آن، تولید آلودگی صوتی نمینماید. در صورتیکه کولر آبی و سیستم تهویه مطبوع (دستگاه هواساز)، بعلت پروانه و موتور هر دو آلودگی صوتی ایجاد نموده، و موجب کاهش آسایش ساکنین در داخل ساختمان می شوند.

بادگیر از انرژی طبیعی استفاده کرده و از این نظر هزینه مستمر مصرف انرژی را ندارد. در حالیکه کولر آبی نیاز به انرژی الکتریکی داشته و تهویه مطبوع مصرف انرژی اش به مراتب بیشتر است.

بادگیر حتی انرژی طبیعت را نیز بیهوده تلف نمیکند، زیرا با افزایش شدت تابش پدیده گردش حرارتی (ترموسیفون) افزایش یافته (گذر هوا زیاد میشود) و بعلاوه افزایش دمای هوا موجب افزایش تبخیر نیز میشود (افزایش تبخیر حرارت بیشتری از هوای ورودی میگیرد). در نتیجه هر دو عامل موجب سرمایش بیشتر در ساختمان می شوند.

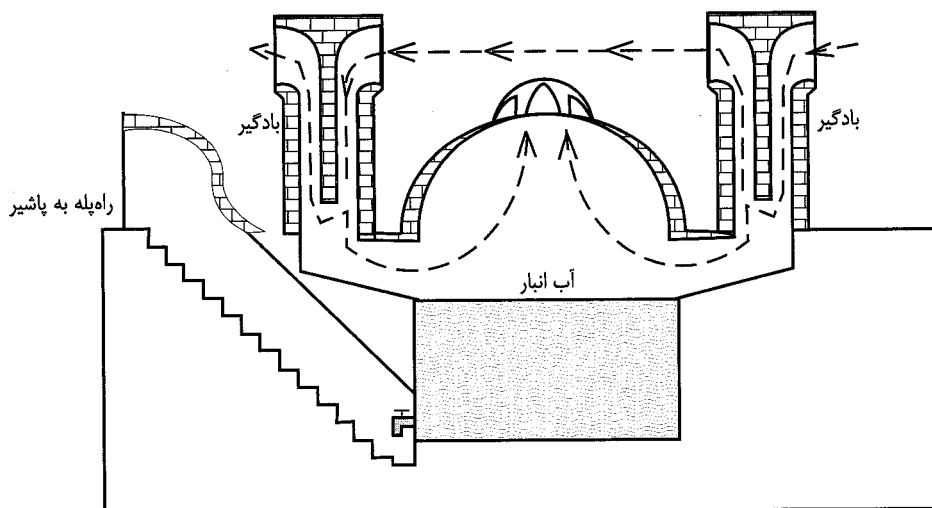
بادگیر با افزایش و کاهش دمای خارج ساختمان که موجب افزایش یا کاهش بار گرمائی در ساختمان (بعثت انتقال حرارت از طریق هدایت، جابجائی و تابش) میشود، به ترتیب بار برودتی بیشتر یا کمتر به ساختمان ارسال میکند. در حالیکه دبی هوای ارسالی توسط کولر آبی، و بعضی از سیستمهای تهویه مطبوع، به داخل ساختمان ثابت بوده و در نتیجه تلف انرژی را به همراه دارد.

۱۱-۲-۵: سیستم ترکیبی

با ترکیب سیستمهای ساده طبیعی با یکدیگر میتوان بازدهی سیستم ترکیبی را بالا برده و شرایط آسایش بهتری را فراهم نمود. از جمله این سیستمهای ترکیبی میتوان "بادگیر و بام کروی"، "بادگیر و کانال تحت الارضی"، و بالاخره ترکیب "بادگیر، کانال تحت الارضی و آبنا" را نام برد.

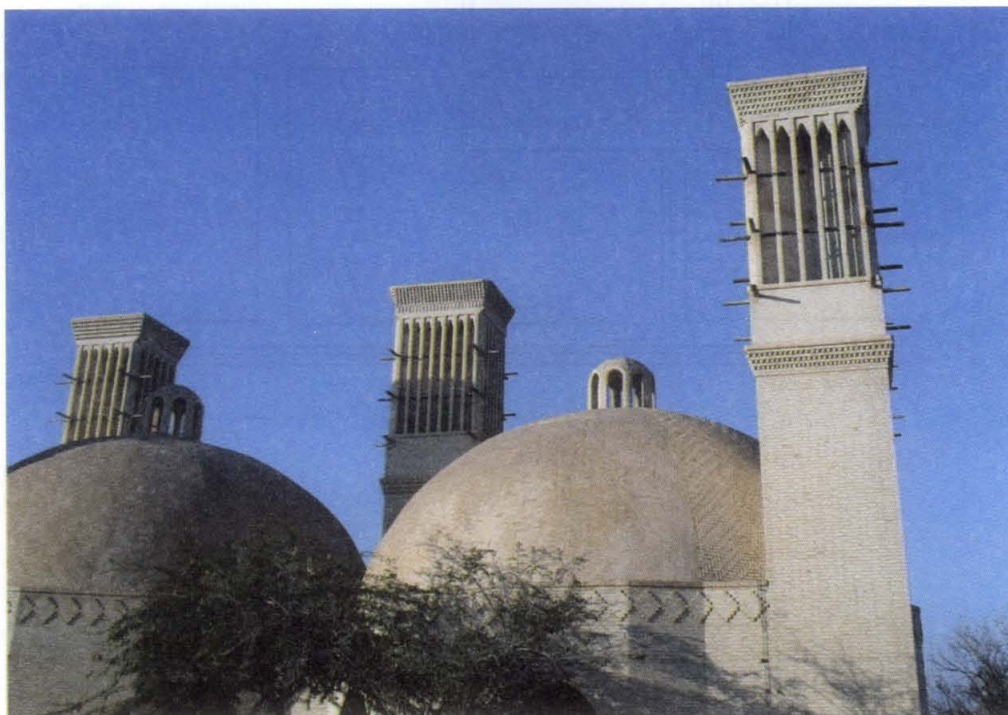
الف: بادگیر و بام کروی

هنگامی که بادگیر و بام کروی در مجاور هم قرار گیرند، علاوه بر مزیت کاهش افت برودت، موجب تسهیل در گردش هوای خنک در زیر سقف کروی و افزایش سرعت هوا برای بادگیر شده و در نتیجه موجب بهبود عملکرد سیستم طبیعی سرمایش میشود (شکلهای: ۱۱-۳۲ و ۱۱-۳۳). این سیستمی است که در ایران برای خنک نگهداشتن آب در آب انبارها از آن استفاده میشده است. سقف کروی در آب انبار مانند عایقی در مورد انتقال گرما از سقف به فضای پائین آب انبار عمل مینماید. هواکش موجود در رأس سقف کروی به گردش هوا توسط بادگیر کمک کرده و هوای گرم را از آب انبار خارج میکند.



شکل: ۱۱-۳۲: تسهیل در گردش هوای خنک در زیر سقف کروی و افزایش سرعت هوا برای بادگیر از مزایای استفاده از سقف کروی برای آب انبار است.

کمی از آب داخل آب انبار بعلت جریان هوا تبخیر شده، (۵۵۶ کیلوکالری به ازاء تبخیر هر کیلوگرم آب) و به سرمایش آب انبار کمک میکند. همانطور که در بخش بام های کروی ملاحظه شد، این بامها علاوه بر تسریع جریان هوا در بادگیر، از جهت سرمایش نیز بر بامهای مسطح ارجحیت دارند. نمودار کاهش دمای هوا در بادگیر و بام کروی مشابه شکل ۳۲-۱۱ مربوط به هوای ورودی در بادگیر با رطوبت زنی است، که قبلاً ملاحظه شد، منتها در این حالت بعلت جریان بیشتر هوا و وجود مخزن بزرگ آب معمولاً دما پائین تر است.



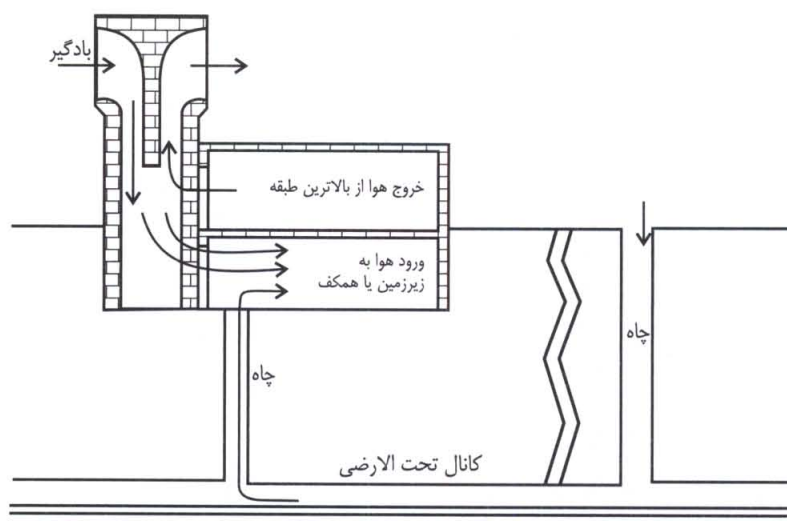
شکل: ۱۱-۳۳: دو آب انبار مجاور هم در شهر کیش

هواکش در بالای بام کروی مجهز به کلاهکی است که از ورود باران به داخل آب انبار جلوگیری مینماید. در صورتیکه در این نقطه هواکش متحرک نصب شود، بدیهی است که جریان در بادگیر و تبخیر و سرمایش در آب انبار نیز افزایش مینماید. بام کروی با توجه به شکل و نحوه قرار گیری (شکل: ۱۱-۳۳) نسبت به بادگیر موجب افزایش دبی جریان هوا بسمت دهانه بادگیر می شود.

ب: بادگیرها و کانالهای تحت الارضی

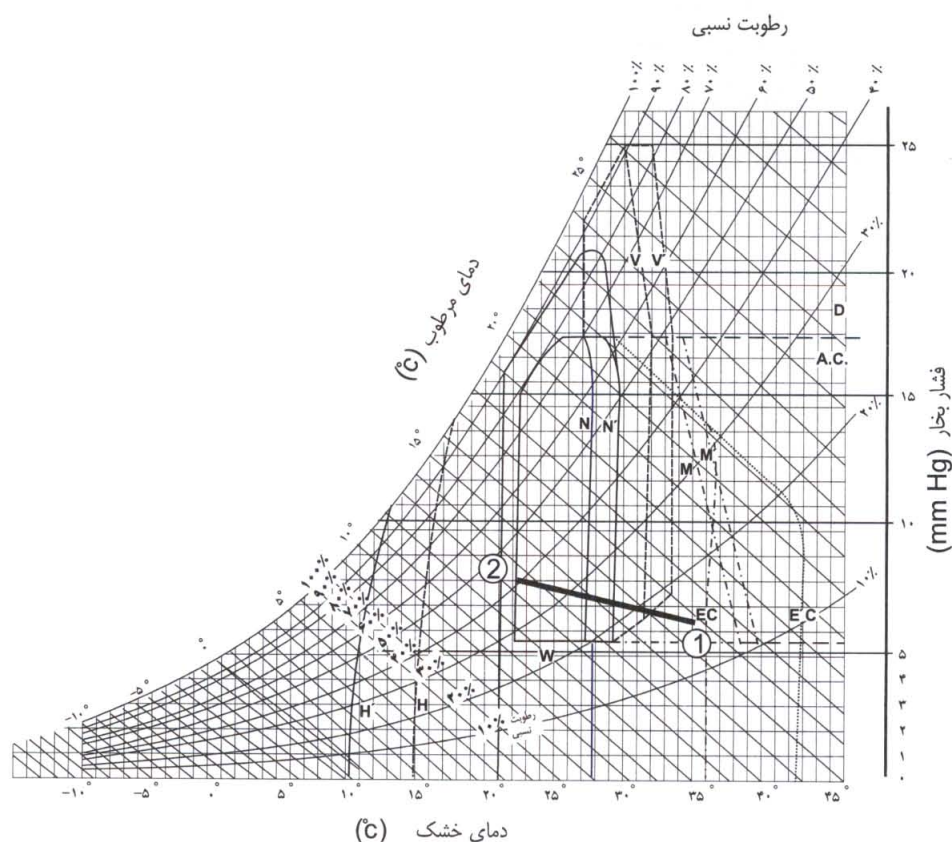
جریان آب زیرزمینی و بادگیر سیستم موثر دیگری برای سرمایش است (شکل: ۱۱-۳۴). یک چاه جریان آب را به سطح زمین مربوط نموده و چاه دیگری جریان آب را به زیرزمین ساختمانی که منظور سرد کردن آن است مربوط مینماید. هوای محیط خارج از طریق چاه وارد کانال آبی شده پس از عبور از کانال جریان آب، بعلت عبور از کانال سرد و هم بعلت تبخیر، دمای خود را از دست داده و سرد میشود. از آنجائیکه آب تحت الارضی معمولاً سرد است، مقدار سرمایش قابل ملاحظه خواهد بود.

بادگیر طوری ساخته میشود که جریان هوای خروجی از آن در زیر زمین از روی دهانه چاه متصل به جریان آب در زیرزمین بگذرد. جریان هوای بادگیر با گذشتن از دهانه چاه موجب مکش و کمک به خارج شدن هوای وارد شده به کانال جریان آب می شود.



شکل: ۱۱-۳۴: سیستم کانال تحت الارضی همراه با بادگیر

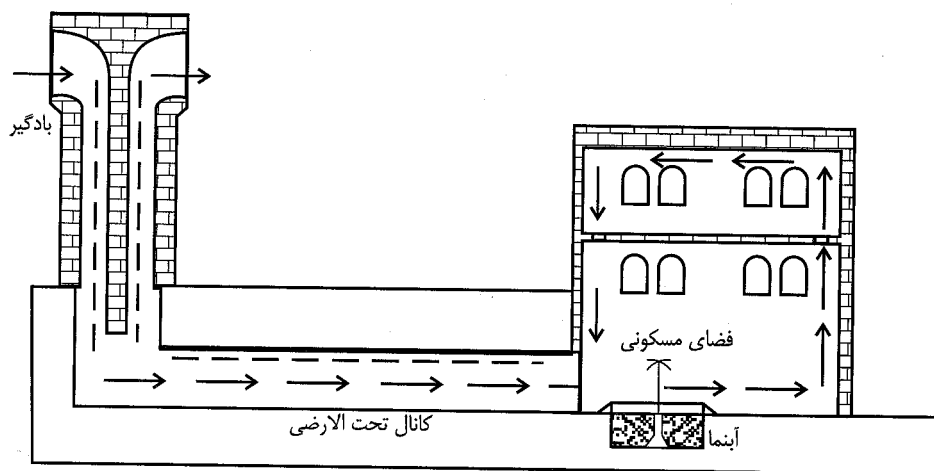
این فرآیند سرمایش در نمودار رطوبتی شکل ۱۱-۳۵ نشان داده شده است.



شکل ۱۱-۳۵: نمودار تغییرات شرایط هوای ورودی در مورد سیستم کانال تحت الارضی

ج: بادگیر، کانال تحت الارضی و آبنما

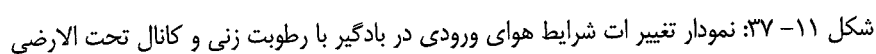
در این سیستم (شکل ۱۱-۳۶) هوا در یک مرحله (یعنی: مرحله ۲-۱ در روی منحنی رطوبی) عبور از سازه بادگیر صرفاً کمی خنک شده و در دو مرحله عبور از کانال تحت الارضی و آبنما (یعنی: مراحل ۳-۲ و ۴-۳ در روی منحنی رطوبی)، رطوبت زنی و خنک میشود. با رطوبت زنی و تبخیر آب، مقدار زیادی حرارت از هوا گرفته شده و در نتیجه دمای هوا کاهش مینماید. بدین ترتیب هوای ورودی در ساختمان در اختلاط با هوای موجود در ساختمان (در مرحله ۵-۴) شرایط آسایش از نظر دما و رطوبت را در فضای ساختمان تامین میکند. هریک از این مراحل در شکل ۱۱-۳۷ در روی منحنی رطوبی نشان داده شده است.



شکل ۱۱-۳۶: سیستم طبیعی بادگیر مرکزی، با کانال تحت الارضی و آبنما.

نکته جالب دمای کاملاً پائین (مثلاً: دمای خشک ۲۱ درجه سانتیگراد و گاهی کمتر) که در نقطه ورودی هوا به زیر زمین دیده میشود. البته این دما صرفاً نزدیک دهانه ورودی است. بهمین دلیل در گذشته در ایران از این نقطه بعنوان سردخانه منازل نیز استفاده می شده است.

امروزه با کمک دستگاههای احساس کننده دما و رطوبت و صدور فرمان های لازم به دریچه های ورودی و خروجی بادگیر میتوان کنترل اتوماتیک بر روی بادگیر داشته و از آن به نحو احسن استفاده نمود.



۳۶۰



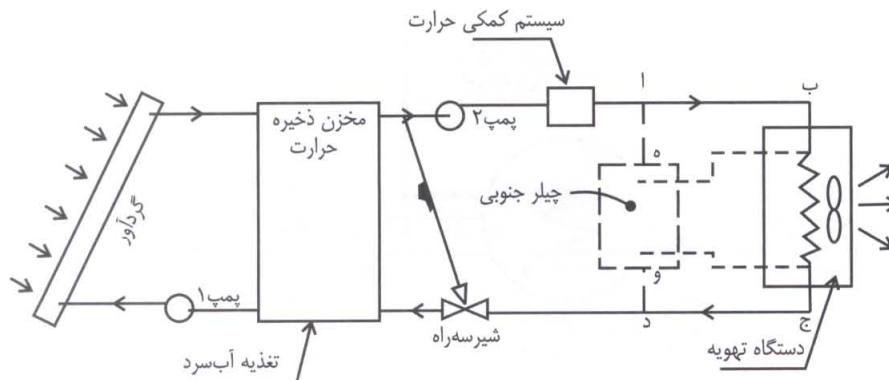
شکل ۱۱-۳۸: ساختمان تخت جمشید در ۲۵۰۰ سال قبل در ایران با استفاده از سیستم ترکیبی سرمایش طبیعی شرایط آسایش را فراهم میکرده است. تخت سنگ زیرکاخ، ستونها و کل بنای تخت جمشید، منبع ذخیره سرما در شب و متعادل کننده دمای داخل کاخ در روز در تابستان بوده است.

فصل ۱۲: سیستمهای مکانیکی خورشیدی

سیستمهایی را که انرژی خورشید بکمک تجهیزات مکانیکی برای جمع آوری، ذخیره و انتقال انرژی حرارتی بکار می برند را بنام سیستمهای مکانیکی خورشیدی نامگذاری میکنیم. این سیستمها که گردش جریان مبدل در سیستم خورشیدی اغلب بصورت اجباری با کمک پمپ یا فن صورت میگیرد را فعال مینامیم. بعلاوه در این سیستمها از گردآورهای خورشیدی (فصل ۴ ملاحظه شود)، برای جذب انرژی استفاده شده و انرژی جذب شده به مخزن ذخیره منتقل میشود. مایع یا هوا بعنوان سیال مبدل برای گرمایش استفاده شده، ولی در سیستم سرمایش سیال مبدل معمولاً مایع است.

۱-۱۲: سیستمهای مکانیکی گرمایش و سرمایش خورشیدی از طریق هواساز و گردآور خورشیدی دلخواه

شکل: ۱-۱۲ نمای کلی یک سیستم مکانیکی گرمایش و سرمایش خورشیدی که آب در آن به عنوان سیال مبدل است را نشان می دهد [۱]. برای گرمایش، آب گرم مسیر " ا ب ج د " را طی میکند(با نصب یک شیر سه راهه در سه راه "ا") یعنی مستقیماً به کویل هواساز رفته و موجب تولید هوای گرم توسط کویل گرم در هواساز میشود. در تابستان که هوای سرد مورد نیاز است، آبگرم مسیر چیلر جذبی (مسیر ا ه و د) را طی میکند و چیلر آبسرد را به کویل هواساز میفرستد. جزئیات تبدیل آبگرم به آبسرد توسط چیلر جذبی در بند بعد در این فصل ملاحظه میشود.

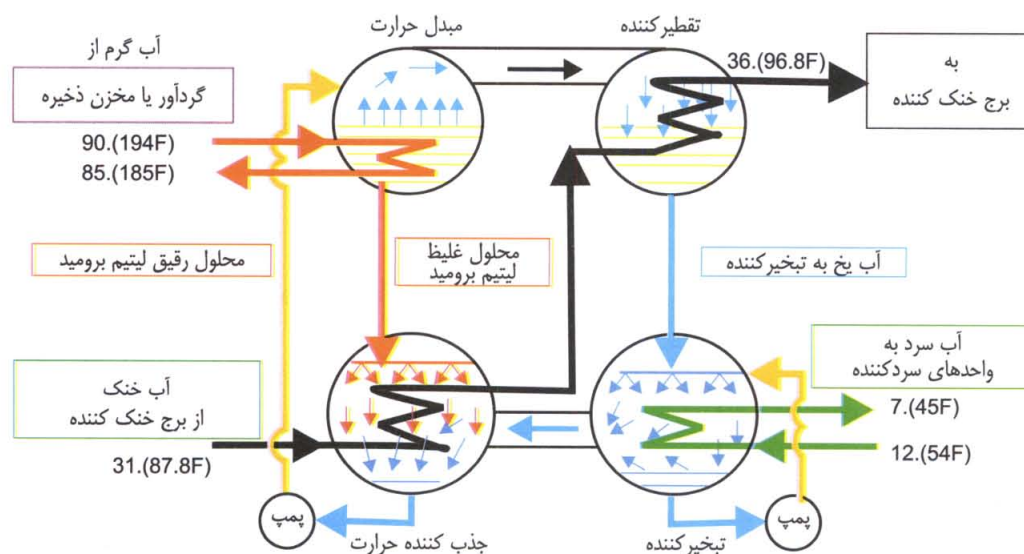


شکل ۱-۱۲: نمای سیستم مکانیکی گرمایش و سرمایش

مدار خورشیدی این سیستم عبارت است از یک ردیف گردآور که بطور موازی و یا سری به یکدیگر متصل شده و به کمک لوله، شیر، پمپ، فن و سایر تجهیزات که حلقه انتقال حرارت را تشکیل می دهند به مخزن ذخیره مرتبط می گردد. معمولاً سیستم به یک دستگاه کنترل نیز مجهز است که براساس اختلاف درجه حرارت بین سیال ورودی به گردآورها و سیال خروجی از گردآورها عمل می کند.

سیال عامل برای گرم شدن به وسیله یک پمپ از قسمت پایین منبع ذخیره به گردآورها رانده شده و پس از گرم شدن در گردآورها به قسمت بالای مخزن ذخیره حرارت فرستاده می‌شود. سیکل گرمایش و سرمایش نیز بطور مستقیم یا غیر مستقیم به مخزن ذخیره مرتبط می‌باشد. سیستم همانطور که در شکل نشان داده شده به یک گرمکن کمکی مجهز شده است. اگر آب پمپ شده از مخزن ذخیره حرارت به دمای دلخواه نرسد، فرمان شروع کار توسط یک احساس کننده دما به این گرمکن داده میشود. در نتیجه آب پمپ شده به هواساز یا به چیلر جذبی همواره به دمای دلخواه خواهد رسید. حال اگر دمای آبگرم برگشتی از هواساز یا از چیلر به شیر سه راهه (نشان داده شده در شکل ۱۲-۱) بیش از دمای آب در مخزن ذخیره باشد، آب به مخزن برگشت نکرده، بلکه از طریق انشعاب میان گذر مستقیماً به محل مکش پمپ ۲ برگشت میکند. در این حالت از طریق مخزن ذخیره هیچ جریانی وجود نداشته و سیستم کمکی آب را تا درجه حرارت دلخواه گرم می‌کند. بنابراین سیستم کمکی خود باید مجهز به مخزن انبساط باز یا بسته برای تأمین کمبود آب در مدار باشد، که البته در شکل نشان داده نشده است. در شکل مخزن انبساط باز یا بسته برای تأمین کمبود آب در مدار خورشیدی نیز نشان داده نشده است.

۱۲-۲: نحوه عملکرد چیلر جذبی در سیستم خورشیدی

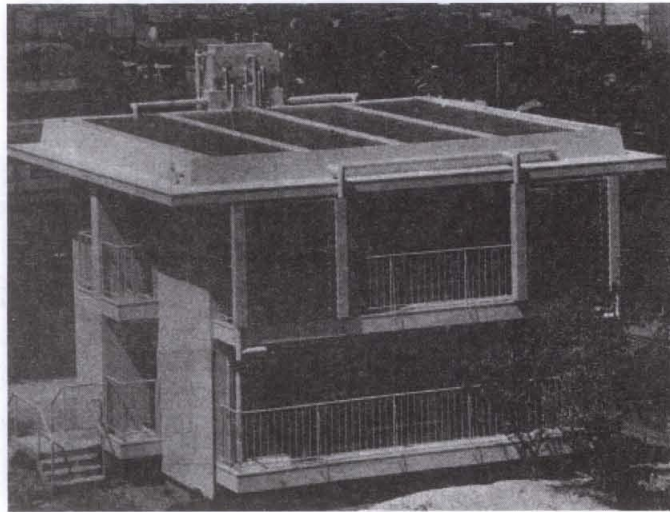


شکل ۱۲-۲: دیاگرام چیلر جذبی

برای استفاده از آبگرم برای سرمایش میتوان از یک چیلر جذبی استفاده نمود. بطوریکه در دیاگرام شکل ۱۲-۲ ملاحظه میشود، برای سرمایش لازمست آب توسط سیستم خورشیدی تا ۹۰ درجه سانتیگراد و یا بیشتر گرم شود، تا بتوان سرمایش را بدون سیستم کمکی تأمین نمود. در صورتیکه به هر علت نتوان به این دما رسید، همانطور که فوقاً گفته شد از یک سیستم کمکی برای افزایش دما استفاده میشود. بدین ترتیب چیلر همواره میتواند آب ۷ درجه سانتیگراد را برای کویل هواساز، فن کویل و یا سایر واحدهای برودتی دیگر را تأمین نماید. بطوریکه در شکل ۱۲-۲ ملاحظه میشود چیلر توسط یک برج خنک کننده، خنک میشود. در شکل ۱۲-۱ این برج جهت سادگی شکل نشان داده نشده است. بطوریکه در شکل ۱۲-۲ نشان داده شده، آبگرم ورودی به چیلر باید با دمای حداقل ۹۰ درجه سانتیگراد باشد.

۱۲-۳: نمونه سیستم گرمایش و سرمایش با استفاده از گردآورهای خورشیدی از نوع لوله خلاء

در این قسمت نمونه ای از سیستم گرمایش و سرمایش خورشیدی (شکل ۱۲-۳) که در کشور ژاپن ساخته شده مورد توجه قرار می‌دهیم. این نمونه از گردآور لوله ای خلاء برای گردآوری انرژی خورشید استفاده نموده است. ابتدا مناسب است دیاگرام استفاده از لوله خلاء برای گرمایش و سرمایش هر یک بطور مستقل و با استفاده از واحدهای گرم کننده و سرد کننده فن کوئل را مورد توجه قرار دهیم.

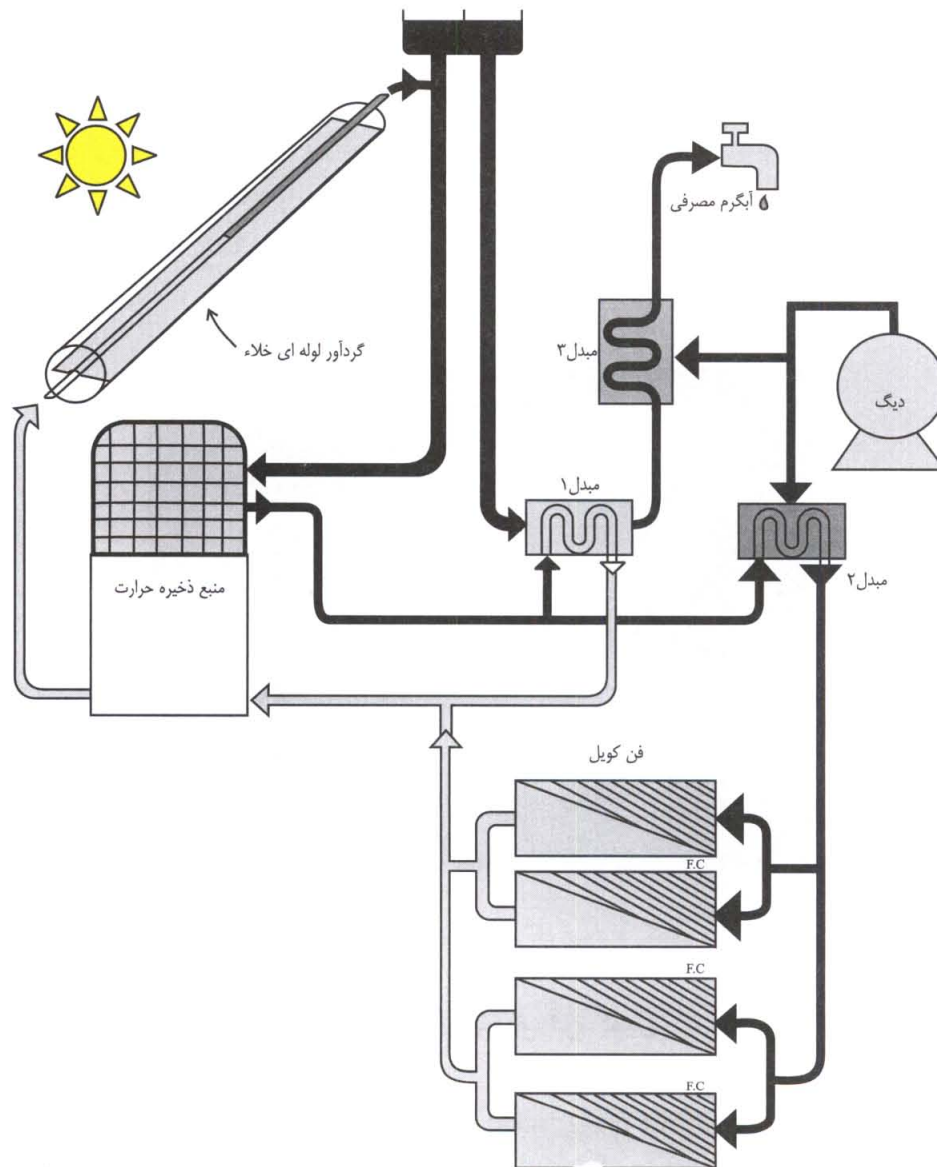


شکل ۱۲-۳: گردآورهای لوله ای خلاء نصب شده بر روی سقف پیش‌بام یک ساختمان برای سیستم سرمایش

۱۲-۳-۱: سیستم مکانیکی گرمایش خورشیدی از طریق فن کوئل

دیاگرام سیستم گرمایش در شکل ۱۲-۴ نشان داده شده است، بطوریکه دیده می شود مدار خورشیدی شامل: گردآورهای لوله ای خلاء، منبع انبساط و مخزن ذخیره حرارت است. در مدار گرمایش از یک منبع انبساط و سه مبدل حرارتی استفاده شده و یک دیگ نیز به عنوان گرمکن کمکی در نظر گرفته شده است. این دیگ در شرایط اضطراری بوسیله دو مبدل حرارتی، درجه حرارت آبگرم مصرفی و آبگرم گرمایش را به دمای مطلوب می رساند. در مدار آبگرم مصرفی دو مبدل یکی برای استفاده از سیستم کمکی و دیگری برای استفاده از انرژی خورشیدی نصب شده است که در شرایط عادی صرفاً از مبدل حرارتی شماره "۱" استفاده می شود. اگر دمای آب مصرفی توسط مبدل "۱" به دمای مطلوب (۶۰) نرسد، در مبدل "۳" با استفاده از یک گرمکن کمکی (در اینجا دیگ انتخاب شده)، دمای آب تا دمای مطلوب افزایش مینماید. همینطور در مبدل "۳" آب گرم فرستاده شده برای فن کوئلهای اگر به دمای مطلوب نرسیده باشد، توسط گرمکن کمکی تا دمای مطلوب گرم میشود. بنابراین دیگ در صورت نیاز انرژی اضافی را تأمین مینماید. در جدول ۱۲-۱ مشخصات تجهیزات اصلی سیستم جهت آگاهی خواننده از ظرفیت اجزاء سیستم آورده شده است.

با توجه به دمای مورد نیاز ملاحظه میشود که اگر در این سیستم، مبدل "۱" از آبگرم برگشت فن کوئلهای تغذیه شود، احتمال استفاده از دیگ کاهش مینماید.

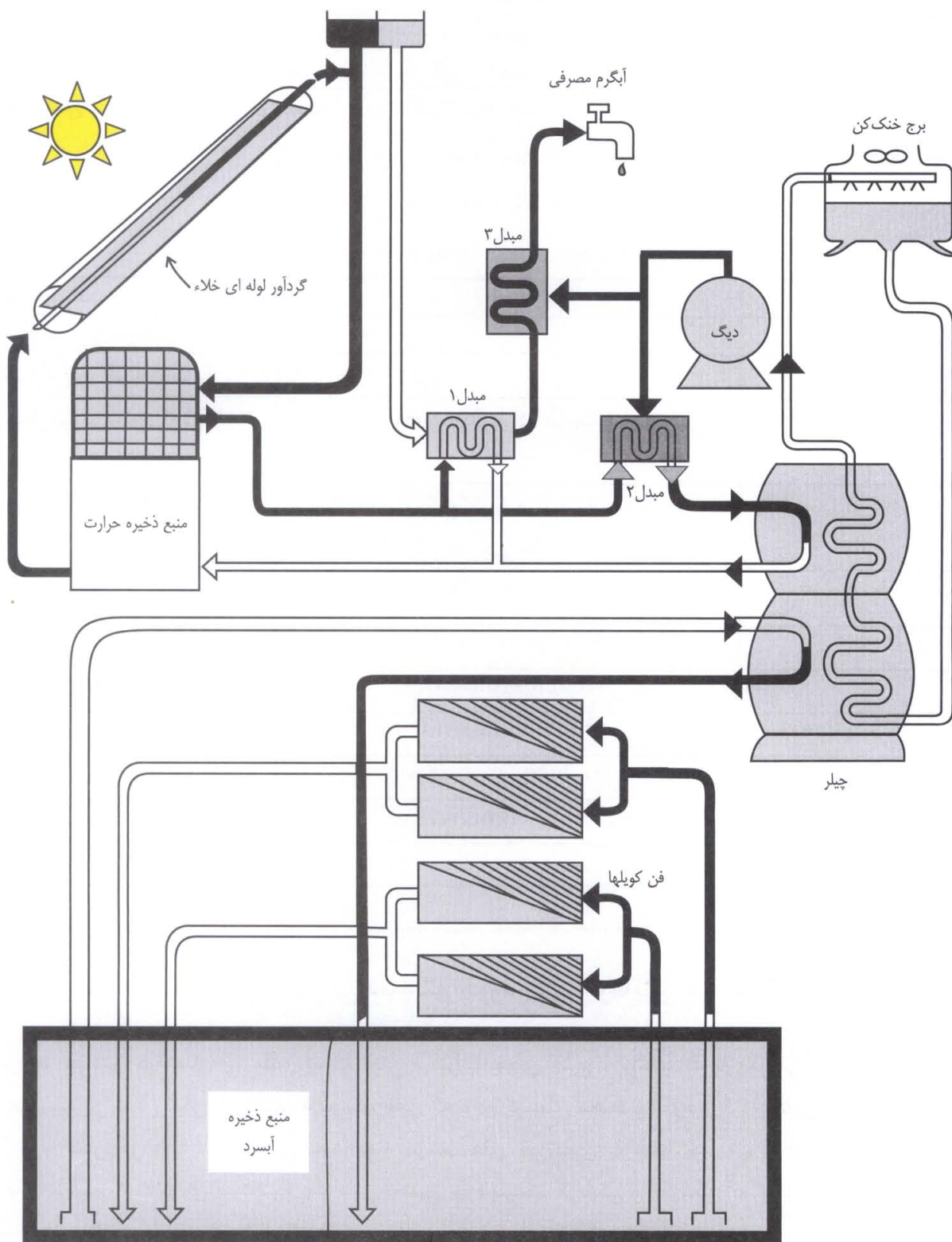


شکل ۱۲-۴: دیاگرام سیستم گرمایش

۱۲-۳-۲: سیستم مکانیکی سرمایش خورشیدی از طریق فن کویل

شکل ۱۲-۴ دیاگرام سیستم سرمایش و آبگرم مصرفی را با استفاده از گرددآور لوله ای خلاء نشان می دهد. در این حالت مدار خورشیدی مانند حالت قبل است. در مدارهای سرمایش علاوه بر یک دیگ به عنوان سیستم کمکی و سه مبدل حرارتی مانند حالت قبل، از یک چیلر و یک برج خنک کن و یک منبع ذخیره آب سرد نیز استفاده شده است. مشابه حالت قبل اگر دمای آب مصرفی توسط مبدل "۱" به دمای مطلوب (۶۰) نرسد، در مبدل "۳" با استفاده از یک گرمکن کمکی، دمای آب تا دمای مطلوب افزایش مینماید. همینطور در مبدل "۳" آب گرم فرستاده شده برای چیلر اگر به دمای مطلوب (همانطور که در بند ۱۲-۲ گفته شد حداقل ۹۰ درجه سانتیگراد) نرسیده باشد، توسط گرمکن کمکی تا دمای مطلوب گرم میشود. بنابراین دیگ در صورت نیاز انرژی اضافی را تأمین مینماید. در جدول ۱۲-۱ مشخصات تجهیزات اصلی سیستم جهت آگاهی خواننده از ظرفیت اجزاء سیستم آورده شده است.

نظر مؤلف در مورد سیستم: با توجه به دمای مورد نیاز ملاحظه میشود که در سیستم نشان داده شده در شکل ۵-۱۲ بهتر آنستکه مبدل "۱" از آبگرم برگشت از چیلر تغذیه شود، تا احتمال استفاده از دیگ کاهش نماید.



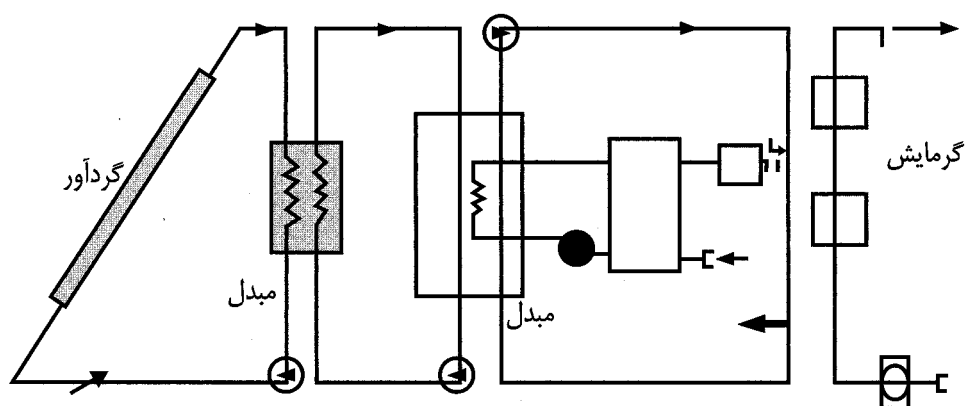
شکل ۵-۱۲: دیاگرام سیستم سرمایش و آبگرم مصرفی

جدول ۱۲-۱: تجهیزات سیستم نشان داده شده در شکل ۱۲-۵

نام	مشخصات	مقدار
گردآور لوله‌ای	حرارت دریافتی ۱۱۰۰۰۰۰ کیلوکالری در روز طول ۲۲۰۰ میلیمتر، قطر ۱۰۰ میلیمتر، تعداد ۱۸۵۶ عدد	۳۷۰ متر مربع
چیلر جذبی	ظرفیت ۱۲۰۰۰۰ کیلوکالری در ساعت آب به واحد های سرد کننده: ورودی 13°C ، خروجی 8°C درجه حرارت آب خنک کننده: ورودی 31°C ، خروجی 35°C درجه حرارت آبگرم: ورودی 90°C ، خروجی 85°C	۱
برج خنک کننده	-	۱
منبع ذخیره اولیه (آبگرم)	حجم ۴۰۰۰۰ لیتر	۱
منبع ذخیره ثانویه (آب سرد)	حجم ۲۰۰۰۰۰ لیتر	۱
مبدل حرارتی از نوع کویل دار	ظرفیت ۱۸۶۰۰۰ کیلوکالری در ساعت و درجه حرارت $85-90^{\circ}\text{C}$	۱
مبدل حرارتی از نوع کویل دار	ظرفیت ۲۰۰۰۰۰ کیلوکالری در ساعت و درجه حرارت ورودی: 20°C و خروجی: 40°C	۱
منبع انبساط	ظرفیت ۲۰۰۰ لیتر	۱
پمپ سیرکولاسیون آب گردآورها	$460\text{ l/min} \times 20\text{ m} \times 3/7\text{ Kw}$	۲
پمپ منبع حرارتی	$620\text{ l/min} \times 18\text{ m} \times 3/7\text{ Kw}$	
پمپ آبگرم مصرفی	$330\text{ l/min} \times 15\text{ m} \times 2/7\text{ Kw}$	۱
پمپ برج خنک کننده	$1280\text{ l/min} \times 20\text{ m} \times 7/5\text{ Kw}$	۱
پمپ آب سرد	$420\text{ l/min} \times 19\text{ m} \times 3/7\text{ Kw}$	۱
دیگ	-	۱
فن کویل	-	۱

۱۲-۴: طریقه محاسبه بهره حرارتی سیستم خورشیدی گرمایش و آبگرم مصرفی

بازدهی هر سیستم خورشیدی به مقدار شدت تابش، شرایط هوای خارج، مشخصات بار حرارتی و مشخصات سیستم خورشیدی بستگی دارد. شکل ۱۲-۶ نمونه سیستم‌هایی که برای گرمایش محیط و آبگرم از گردآورهایی با سیال مایع استفاده می‌کنند را نشان می‌دهد. پیش‌بینی دقیق بهره سیستم‌های خورشیدی به علت تغییر آب و هوا و روابط پیچیده بین متغیرهای سیستم کار دشواری است. یکی از طرق تخمین بهره سیستم گرمایش و آبگرم‌کن که از سیال مایع در آنها استفاده می‌شود روشی بنام روش نمودار f^* است.



شکل ۱۲-۶: سیستم گرمایش و آبگرمکن با سیال فعال آب

تشریح روش: این روش برای سیستمی که در شکل ۱۲-۶ نشان داده شده و یا سیستم‌های مشابه آن قابل اجرا است. مبنای محاسبات دیاگرام F در شکل ۱۲-۷ نشان داده شده است. حرف f که نماینده بهره سیستم خورشیدی است نشان دهنده درصد ماهیانه ایست که توسط سیستم خورشیدی مربوطه قابل تأمین است.

محورهای مختصات نمودار F برحسب $\frac{AS}{L}$ و $\frac{A(100 - t_o)}{L}$ می باشد، در حالیکه:

A : مساحت سطح گرم‌آورها.

S : متوسط ماهیانه تشعشع خورشیدی عمود بر سطح گرم‌آورد.

L : مقدار کل بار حرارتی لازم در یکماه برای گرمایش و آبگرمکن برحسب کیلووات

(kwh/M_o) ، روش محاسبه مقدار L را در زیر نشان می دهیم.

t_o : از روی جداول هواشناسی بدست می آید.

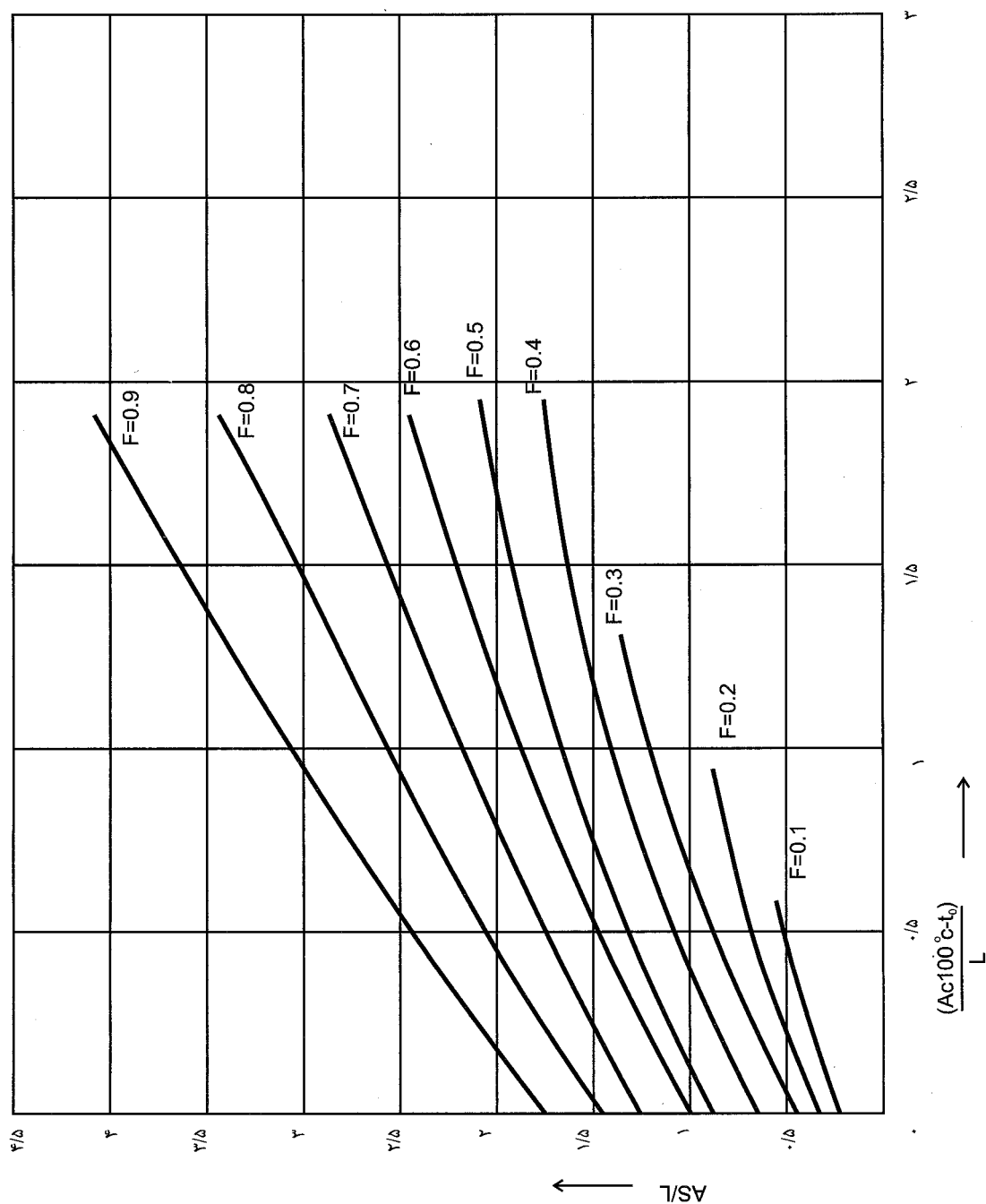
در نمودار ۱۲-۷ مقادیر F برای یک سیستم با گرم‌آورهایی به مشخصات

$$F_R U_L = 9/4, F_R (\overline{\tau\alpha}) = 0/75$$
 کشیده شده است، در حالیکه:

F_R : ضریب انتقال حرارت گرم‌آور

$\overline{\tau\alpha}$: متوسط حاصلضرب ضرایب جذب و هدایت گرم‌آور

U_L : ضریب افت حرارتی گرم‌آور



شکل ۱۲-۷: نمودار F برای سیستم گرمایش با سیال مایع

مقدار کل بار گرمایش و آبگرم لازم برای یک ساختمان

در اینجا مقدار گرمایش و آبگرم لازم را بطور جداگانه برای هر ماه محاسبه می‌کنیم.

الف: بار گرمایش یا حرارت لازم برای گرمایش

برای تعیین بار گرمایش Q_s برای هر ماه از روش درجه حرارت روزانه استفاده می‌کنیم. در آن صورت:

$$Q_s = \frac{K \times 24 \times q_p (D.D)}{\Delta t_b} \text{ (kwh/M}_0\text{)}$$

در فرمول فوق داریم: 0.85 الی 0.7 k برای 8 تا 16 ساعت کار و

q_p : مقدار افت حرارتی محاسبه شده (kW).

$D.D$: درجه حرارت روزانه برای ماه مربوطه.

Δt_b : اختلاف درجه حرارت بین داخل و خارج برای شرایط محیط طرح ($^{\circ}\text{C}$).

مقدار حرارت لازم برای آبگرم خانه

برای محاسبه مقدار حرارت لازم Q_w برای آبگرم مصرفی خانه برای هر ماه از رابطه زیر استفاده می کنیم:

$$Q_w = m \cdot C_p (t_s - t_m) \cdot N$$

در این رابطه:

m = وزن آب روزانه مصرفی برای ماه مربوطه (kg)،

C_p = گرمای ویژه آب $10^{-3} \times 1/164$ (kwh/kg. $^{\circ}\text{C}$)،

t_s = درجه حرارت آب مصرفی ($^{\circ}\text{C}$) که معمولاً بین 50°C تا 60°C می باشد،

t_m = درجه حرارت آب سرد مصرفی، اگر درجه حرارت t_m برای هر ماه مشخص نباشد می توان آن را بطور متوسط $t_m = 10^{\circ}\text{C}$ فرض نمود،

N : تعداد روزهای ماه است.

بار حرارتی کل، L :

بار حرارتی کلی L ، مجموع حرارت لازم برای گرمایش و آبگرم مصرفی برای یک ماه بوده و عبارت است از:

$$L = Q_s + Q_w \text{ (kw/M}_0\text{)}$$

فصل ۱۳: انبارهای خشک کن خورشیدی، گلخانه های خورشیدی و سردخانه های هوای سرد شب

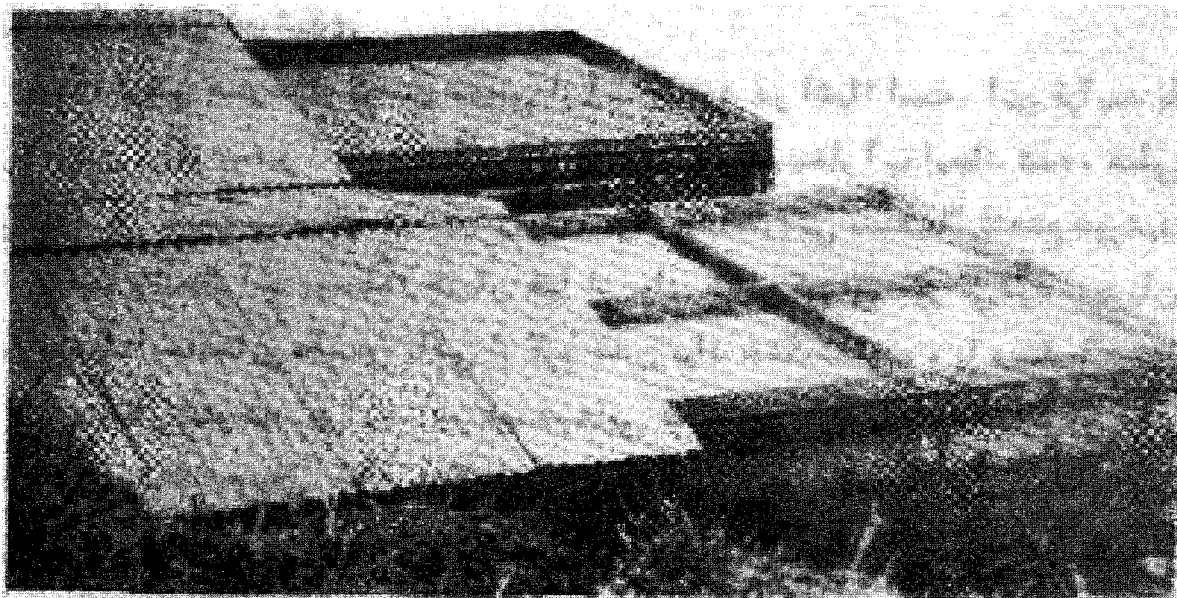
۱۳-۱: انبارهای خشک کن خورشیدی

خشک کردن مواد از جمله مواد غذایی از جمله سبزیها و میوه ها توسط انرژی خورشید از قدیم در ایران مرسوم بوده است. با این روش نگهداری مواد غذایی برای مدت طولانی میسر میشود. بطوریکه میدانییم ایران همیشه یکی از صادر کنندگان عمده خشکبار بوده است. بنابراین استفاده از سیستمهای خشک کن خورشیدی با بازدهی بالا شایسته توجه است.

خشک کردن عبارت از گرفتن قسمتی از آب موجود در مواد است. این فرآیند با گرم کردن مواد برای تبخیر آب موجود در آنها و جابجایی هوا برای دور کردن بخار آب عملی می شود. در سیستم خشک کن باز (شکل ۱۳-۱ و شکل ۱۳-۲)، مواد خشک کردنی مستقیماً حرارت را از خورشید دریافت نموده و بخار آب توسط جریان هوا از آن مواد دور می شود. جریان هوا هم از جابجایی طبیعی حاصل از گرم شدن هوای مجاور مواد خشک شدنی و هم از جریان بادهای محلی تأمین میشود. در سیستم هایی که از سوخت جهت خشک کردن مواد استفاده می کنند معمولاً مواد را در داخل یک محیط بسته قرار داده و هوای گرم را از روی آنها عبور می دهند. در سیستم های خشک کن خورشیدی نیز از اصول مشابه روش فوق استفاده می شود، یعنی هوای گرم شده از تابش خورشید، از فضای انبار حاوی مواد توسط جریان طبیعی یا اجباری عبور داده می شود، با این عمل رطوبت موجود در مواد گرفته شده و از فضای انبار خارج میشود. این عملیات کاملاً مشابه با خشک کردن بوسیله سوخت فسیلی است.



شکل ۱۳-۱: انبار خشک کن خورشیدی، سقف انبار برای تابش مستقیم خورشید در هنگام روز باز می شود



شکل ۱۳-۲: سینی های خشک کردن مواد، در هنگام شب و یا هنگام بارندگی به زیر پوشش هدایت می شود

برای درک کامل فرآیند سیستم خشک کن خورشیدی و طراحی آن برای ظرفیت دلخواه باید رطوبت هوا و جذب انرژی خورشیدی که به ترتیب ظرفیت حمل بخار هوا و مقدار انرژی خورشیدی قابل جمع‌آوری در شرایط خاص را مشخص می‌کنند را بررسی نمود.

۱۳-۱-۱: فشار اشباع، رطوبت و نمودار رطوبی

الف: فشار اشباع

گازهای اصلی موجود در هوا عبارتند از اکسیژن و نیتروژن و بخار آب، هر یک از این گازها قسمتی از فشار هوا را تشکیل می‌دهند. در هر شرایطی از فشار هوا (که توسط بارومتر نشان داده می‌شود) فشار ماکزیممی که بخار آب می‌تواند در آن شرایط وارد کند فشار اشباع نامیده می‌شود و آن معادل فشار بخار در قسمت بالایی یک ظرف سرپسته آب در حال جوش که تمامی هوای بالایی آن خارج شده باشد.

فشار اشباع با درجه حرارت جوش تغییر می‌کند. مثلاً مقدارش معادل $101/3 \text{ KPa}$ در 100°C و همینطور معادل $19/9 \text{ KPa}$ در 60°C می‌باشد. از اینجا نتیجه می‌شود که برای اینکه آب در 60°C بجوشد باید فشاری معادل $19/9 \text{ KPa}$ وجود داشته باشد. در 20°C فشار اشباع بخار آب $2/34 \text{ KPa}$ و بنابراین در هوای آزاد فشار ماکزیممی ناشی از بخار آب فقط $2/34 \text{ KPa}$ می‌باشد و فشار مابقی ناشی از اکسیژن و نیتروژن موجود هواست ($101/3 - 2/34 = 98/96 \text{ KPa}$).

ب: رطوبت

به مقدار بخار آب موجود در هوا رطوبت گفته میشود. رطوبت معمولاً برحسب رطوبت نسبی که عبارت از نسبت وزن بخار آب در یک حجم ثابت هوا بر وزن هوای خشک با همان فشار کل است، تعریف می شود.

در جدول ۱-۱۳ رطوبت W و فشار اشباع (P_s) برای درجه حرارتهای دلخواه در فرآیند خشک کن ملاحظه میشود. مقدار حرارت لازم برای تشکیل بخار (گرمای نهان تبخیر: L) نیز در این جدول داده شده است. گرمای نهان تبخیر با درجه حرارت هوا تغییر نموده و در 100°C معادل $2256/9$ کیلوژول بر کیلوگرم و در 20°C سانتیگراد به مقدار $2455/1$ kJ/kg افزایش پیدا می کند.

اگر هوا کاملاً خشک باشد ظرفیت بخارگیری هوا در هنگام تحویل خشک کردن ماگزیمم خواهد بود و اگر هوا از بخار آب اشباع باشد ظرفیت بخارگیری آن صفر خواهد بود. در اکثر موارد هوا از بخار آب به حالت اشباع در نیامده و فشار بخار آب کمتر از فشار اشباع است.

رطوبت معمولاً توسط رطوبت سنج اندازه گیری می شود این دستگاه تشکیل شده از دو میزان الحرارة که مخزن جیوه یکی از آنها آزاد و مخزن جیوه دیگری در یک پارچه مرطوب قرار گرفته است. اگر هوای محیط که در جریان و در تماس با پارچه مرطوب است کاملاً از بخار آب اشباع شده باشد، هر دو میزان الحرارة درجه یکسانی را نشان می دهند که در جدول ۱-۱۳ نوشته شده است. ولی اگر هوای مجاور رطوبت سنج به حد اشباع از بخار آب نرسیده باشد، قسمتی از آب پارچه مرطوب تبخیر شده و درجه حرارت خشک مخزن جیوه میزان الحرارة مرطوب را پایین می آورد. این میزان الحرارة درجه حرارت هوای مرطوب که مبنای اندازه گیری میزان رطوبت است را نشان می دهد.

ج: نمودار رطوبی

متغیرهای مختلف یعنی رطوبت، درجه حرارت مرطوب و درجه حرارت خشک، در نموداری بنام نمودار رطوبی (شکل ۱۳-۳) آورده می شود.

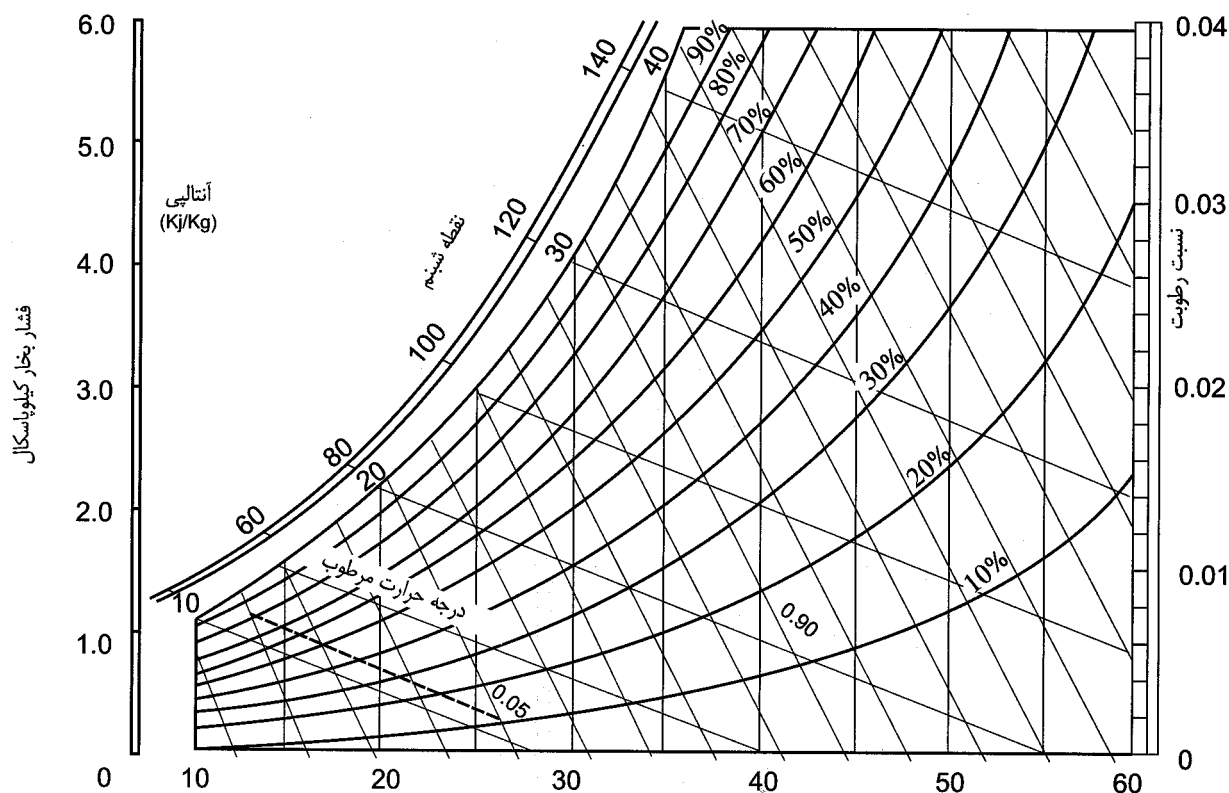
در این نمودار نسبت رطوبت روی محور قائم و درجه حرارت خشک روی محور افقی ترسیم می شود. بالا ترین منحنی در دیاگرام رطوبی، مربوط به هوای اشباع بوده و منحنی نقاط شبنم نامیده می شود.

منحنی های دیگر را در نمودار رطوبی، که مشابه با خطوط درجه حرارت مرطوب اند، خطوط رطوبت نسبی ثابت (رطوبت برحسب درصد) تشکیل می دهند. بنابر تعریف رطوبت نسبی عبارت است از نسبت: فشار بخار آب در دمای دلخواه بر فشار بخار اشباع در همان دما. محور عمودی سمت چپ دیاگرام سایکرومتریک مشخص کننده فشار مربوطه است.

جدول (۱-۱۳) - مشخصات مخلوط هوا و بخار آب

درجه حرارت	فشار اشباع	گرمای نهان تبخیر	نسبت رطوبت
۱۰	۱/۲۳	۲/۴۹۱	۰/۰۰۷۶۰
۱۵	۱/۷۱	۲/۴۶۷	۰/۰۱۰۶۷
۲۰	۲/۳۴	۲/۴۵۵	۰/۰۱۴۷
۲۵	۳/۱۷	۲/۴۴۲	۰/۰۲۰۱
۳۰	۴/۲۵	۲/۴۳۱	۰/۰۲۷۲
۳۵	۵/۶۳	۲/۴۱۹	۰/۰۳۶۶
۴۰	۷/۳۸	۲/۴۰۷	۰/۰۴۸۹
۴۵	۹/۵۹	۲/۳۹۵	۰/۰۶۵۰
۵۰	۱۲/۳	۲/۳۸۳	۰/۰۸۵۹
۵۵	۱۵/۸	۲/۳۷۱	۰/۱۱۴۹
۶۰	۱۹/۹	۲/۳۵۹	۰/۱۵۲۰
نسبت رطوبت براساس فشار ۱۰۱/۳۲۵ کیلو پاسکال میباشد			

خطوط مستقیم با شیب کم بطرف پایین و راست، خطوط درجه حرارت مرطوب ثابت هستند. محل تلاقی خطوط درجه حرارت خشک و درجه حرارت مرطوب وضعیت هوا را از جهت رطوبت نسبی و مقدار بخار آب موجود در هوا روشن می نماید. خطوط درجه حرارت مرطوب ثابت تقریباً نمایشگر مقادیر آنتالپی ثابت (مقدار حرارت موجود) بر حسب واحد حرارت در واحد وزن هوای خشک نیز می باشند.



شکل ۱۳-۳: نمودار رطوبی برای فشار بارومتریک ۱۰۱/۳۲۵ کیلو پاسکال

خطوط دیگر که دارای شیب تند به سمت راست هستند مقادیر حجم مخصوص هوای خشک را نشان می دهند که عبارت است از حجمی که توسط یک کیلوگرم هوای خشک در شرایط مورد نظر گرفته می شود. در بررسی نمودار رطوبی نکات زیر مورد توجه می باشد:

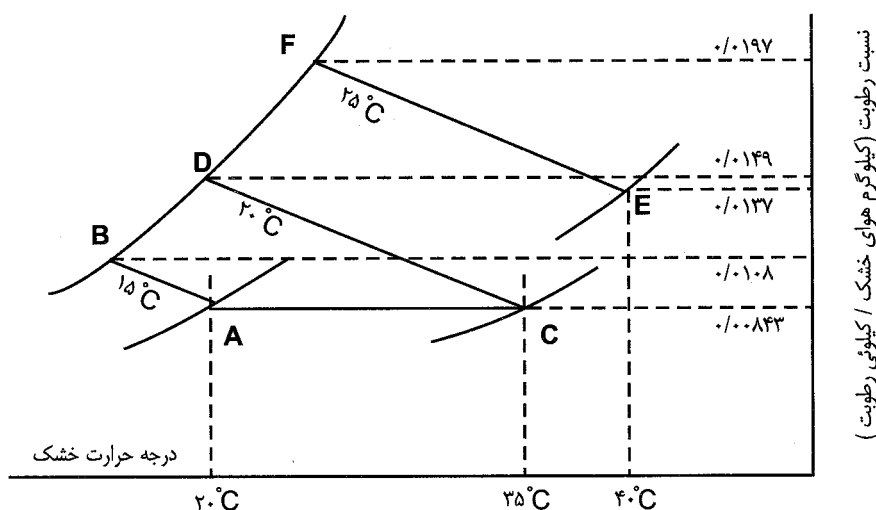
الف: فرآیندهایی که در آن هوا بدون آنکه رطوبت آن تغییر کند گرم یا سرد می شود این فرآیندها با خط افقی نمایش داده می شوند. گرمایش با پایین آمدن رطوبت نسبی و سرمایش با بالا رفتن رطوبت نسبی همراه است.

ب: خطوط درجه حرارت مرطوب ثابت که به سمت پایین و راست شیب دارند، خطوط سرمایش آدیاباتیک هستند. (انتقال حرارت صورت نمی گیرد) این خطوط مشخصه فرآیندهای درون خشک کن است که هوا از روی مواد حاوی آب عبور نموده و با تبخیر آب مواد، ضمناً هوا خنک می شود. خطوط حرارت ثابت تقریباً موازی خطوط درجه حرارت مرطوب می باشند.

ج: با وجود اینکه هیچ فرآیندی در امتداد حجم مخصوص ثابت صورت نمی گیرد ولی این خطوط نشان می دهد که در درجه حرارت خشک ثابت جرم مخصوص با ازدیاد درجه حرارت مرطوب یا با ازدیاد رطوبت نسبی، کاهش پیدا می کند.

۱۳-۱-۲: مورد استعمال نمودار رطوبی

مثال: فرض کنیم درجه حرارت خشک محیط 20°C و درجه حرارت مرطوب 15°C باشد. در آن صورت دیاگرام سایکرومتریک، شکل ۱۳-۴، رطوبت نسبی را معادل ۵۹٪ نسبت رطوبت را مقدار 0.00843 کیلوگرم بخار آب در هر کیلوگرم هوای خشک و فشار بخار آب را $1/38 \text{ kg}$ نشان می‌دهد.



شکل ۱۳-۴: فرآیندهای خشک شدن

بطوریکه ملاحظه می‌شود هوا در این حالت از بخار آب اشباع نشده و لذا می‌توان از آن برای جذب بخار آب در فرآیند خشک کردن استفاده کرد. اما میزان جذب بخار آب بستگی به میزان حرارت تأمین شده در فرآیند مذکور دارد.

الف: اگر انرژی حرارتی خارجی در زمان عبور هوا از سطح مرطوب وجود نداشته باشد، حرارت محسوس ناشی از سرد شدن هوا موجب تبخیر آب از سطح مرطوب می‌شود. در روی نمودار رطوبی، مسیر فرآیند خط دمای مرطوب ثابت 15°C می‌باشد (خط AB در روی شکل) در این حالت مقدار رطوبت یک کیلوگرم هوا معادل 0.0109 شده و مقدار بخار آب جذب شده توسط هر کیلوگرم هوای خشک عبارت است از:

$$0.0109 - 0.00843 = 0.00247 \text{ کیلوگرم}$$

ب: اگر هوای اولیه قبل از عبور از سطح مرطوب در داخل گردآور خورشیدی تا دمای 35°C درجه گرم شود، در آن صورت رطوبت نسبی آن ۲۵٪ شده و مانند حالت قبلی نسبت رطوبت مشابه قبل 0.00843 می‌باشد. اگر در حین فرآیند خشک شدن هوا در طول خط درجه حرارت مرطوب ثابت 20°C بطور آدیاباتیک تا نقطه شبنم (خط CD در شکل ۱۳-۴) خنک شود در آن صورت مقدار رطوبت در یک کیلوگرم معادل 0.0149 می‌شود. در این حالت مقدار بخار آب گرفته شده توسط هوا معادل 0.00647 کیلوگرم در هر کیلوگرم از هوای خشک می‌باشد یعنی تقریباً معادل سه برابر حالت قبل (بدون حرارت)، رطوبت گرفته می‌شود.

باتوجه به اینکه عملاً در اکثر فرآیندهای خشک کردن به نقطه شبنم نمی‌رسیم، این مثال نمایشگر تأثیر قابل ملاحظه افزایش دمای هوا در بالا بردن ظرفیت خشک کردن آنست.

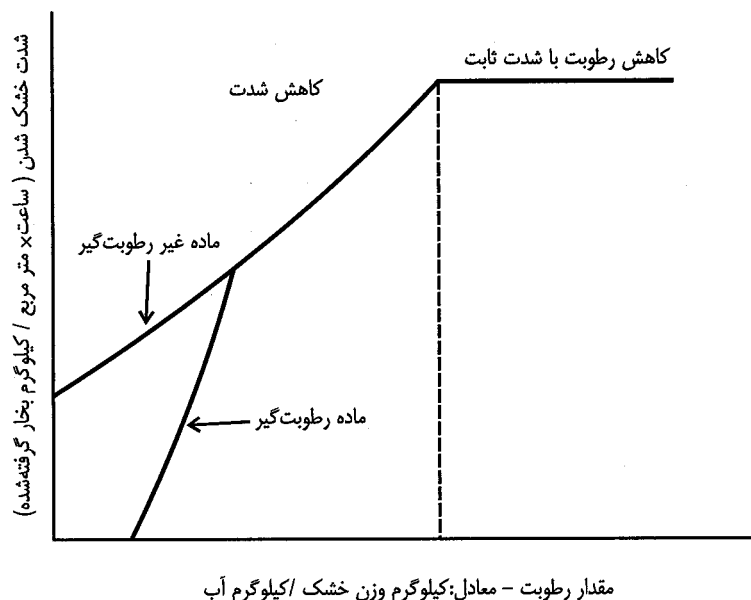
توجه کنید که نمودار رطوبی بزی فشار استاندارد یک اتمسفر معادل $101/325 \text{ kPa}$ (در کنار دریا) کشیده شده است. برای فرآیند خشک کردن در صورتی که فشار محیط در اطراف فشار یک اتمسفر باشد از نمودار آورده شده با دقت کاملاً قابل قبول می‌توان استفاده نمود. باوجود این در صورتی که فشار محیط نزدیک یک اتمسفر نباشد و دقت زیاد در محاسبات لازم باشد باید یا از نمودار مربوط به فشار محیط و یا از روابط اولیه ترمودینامیک جهت محاسبات استفاده نمود.

۱۳-۱-۳: فرآیند خشک شدن

لازمه خشک شدن هر ماده ای حرکت آب از قسمتهای داخلی به سطح آن در همان زمانی است که آب از سطح روئی ماده گرفته می‌شود. سرعت این حرکت در مواد مختلف متفاوت است. این سرعت در مواد رطوبت گیر (hygroscopic) و مواد غیررطوبت گیر (non-hygroscopic) دارای بالاترین اختلاف است. برای بعضی از اجناس، مثل پارچه خشک شدن را تا میزان رطوبت صفر میتوان ادامه داد. مواد غذایی، غلات، میوه‌ها و بسیاری مواد دیگر آب را به صورت محبوس شده به همراه دارند.

فرآیند خشک شدن هر یک از مواد، براساس شدت و شتاب خشک شدن آن ماده طبقه بندی می‌شود. در موادی حاوی رطوبت در مرحله اول فرآیند خشک شدن، شتاب و شدت این عمل ثابت بوده و به درجه حرارت، رطوبت و سرعت حرکت هوا بستگی دارد. در مرحله دوم، بعلت تبدیل مایع داخلی به بخار آب و حرکت آن بسوی سطح شتاب و شدت خشک شدن کاهش می‌یابد. هرچه فاصله ذرات بخار آب تولید شده تا سطح افزایش می‌یابد به همان نسبت مقدار شدت و شتاب حرکت آنها به سطح کاهش یافته و این امر موجب تقلیل شدت و شتاب خشک شدن می‌شود.

تغییر در شدت خشک شدن را می‌توان با ترسیم آن در مقابل رطوبت موجود ماده نمایش داد (شکل ۱۳-۵). همانطور که نشان داده شده، شدت خشک شدن ماده خشک (non-h.) در مرحله ثانویه کاهش می‌یابد اما این کاهش تا صفر شدن رطوبت ادامه می‌یابد. مواد دارای رطوبت در مرحله اول خشک شدن با شدت ثابت مشابه با حالت قبل بوده، بعلاوه مرحله کاهش شدت خشک شدن نیز تا مرحله رطوبت های خارج از شبکه ماده مشابه است تا اینکه رطوبت موجود ماده فشاری معادل فشار هوای خشک کننده تولید می‌نماید. در این حالت یک حالت تعادل بین فشار بخار هوا و فشار بخار در ماده خشک شدنی ایجاد شده و شدت خشک شدن صفر می‌شود.



شکل ۱۳-۵: نمودار فرآیند خشک شدن

در شکل ۱۳-۵ دبی هوای عبوری ثابت فرض شده است، اما در خشک کردن بعضی از مواد رطوبت دار برای جلوگیری از ترکهای سطحی باید دبی هوا را کاهش داد. زیرا اگر میزان حرکت بخار داخلی ماده به سطح آن کمتر از میزان جذب بخار آب توسط هوا باشد، ترکهای سطحی در روی ماده ایجاد می شود.

علاوه بر مباحث عمومی بالا در مسئله خشک کردن باید مسائل مربوط به مقدار بخار دفع شده را نیز مورد توجه قرار داد. برای خارج کردن آب سطحی یا تبخیر به مقدار حرارتی معادل حرارت تأخیر آب و جریانی از هوا در سطح برای برداشتن بخار آب نیازمندیم. در بیشتر فرآیندهای خشک شدن حرارت لازم برای تبخیر از هوا گرفته شده و از این طریق هوا خنک می شود.

(یعنی: حرارت تبخیر = حرارت گرفته شده از هوا) این عمل را به صورت رابطه زیر می توان نمایش داد:

$$m_w L = m_a C_p (t_f - t_i) \quad \text{رابطه: (۱-۱۳)}$$

که در آن:

C_p = گرمای ویژه هوا

t_f = درجه حرارت نهایی هوا

m_a = وزن هوای در جریان

درجه حرارت اولیه هوا t_i

درجه حرارت اولیه هوا t_f

میزان حرارت تأخیر تبخیر L

وزن آب تبخیر شده m_w

مقدار $m_w L$ عبارت از بار سرمایی بوده و می‌توان آن را براساس ماده خشک شدنی و میزان رطوبت موجود در آن بیان نمود. مقدار هوای لازم برای دور نمودن یک واحد وزن رطوبت را از دیاگرام سایکرومتریک می‌توان محاسبه نمود. برای مثال: یک فرآیند خشک کردن را می‌توان به صورت خط AB در شکل ۸-۲ نشان داد. این روند با حرارت کل ثابت بوده و موازی خطوط درجه حرارت مرطوب روی دیاگرام است. مقدار رطوبت گرفته شده از هر کیلوگرم از هوا را می‌توان از روی مقیاس محور نسبت رطوبت خواند. فرض کنیم (نقطه E) ۴۰ درجه سانتیگراد و (نقطه F) ۲۵ درجه سانتیگراد باشد مقدار آبی که تبخیر می‌شود عبارت از: $0.06 = 0.1371 - 0.1971$ کیلوگرم برای هر کیلوگرم هوا خواهد بود و یا $166/7$ کیلوگرم هوا برای هر کیلوگرم آبی که تبخیر شود می‌بایست جریان یابد. حجم هوای مربوطه را می‌توان از قانون گازها محاسبه نمود:

$$V_a/m_v = (m_a/m_v) (RT/P) \quad \text{رابطه: (۱۳-۲)}$$

برای مقادیر داده شده داریم:

$$\frac{V_a}{m_v} = 166/7 \times 0.291 \times (273 + 25) \div 101/3 = 142/7 \quad \text{کیلوگرم آب / متر مکعب}$$

محاسبات فوق بنظر ساده می‌آید، اما مساله مشکل در آن انتخاب مناسب حرارت تأخیر آب یعنی h_{fg} می‌باشد. همانطور که در جدول ۸-۱ نشان داده شده این مقدار با درجه حرارت تغییر نموده، در نتیجه در حین خشک شدن برای h_{fg} بکار برده شده در محاسبات باید مقدار متوسط انتخاب شود. برای مواد دارای رطوبت یک مشکل دیگر نیز موجود است زیرا آب درون ملکولی ممکن است دارای بخار با فشار کمتر از فشار اشباع باشد. اثر آب درون ملکولی را در قسمت بعدی در خشک کردن برنج بررسی می‌کنیم. بطور کلی در مواد آبدار، حرارت تأخیر باید براساس پایین‌ترین فشار بخار انتخاب شود. راندمان تحویل خشک کردن را به کمک انرژی خورشیدی با گرمایش هوای عبور کننده از روی مواد بطور قابل ملاحظه ای می‌توان افزایش داد.

۱۳-۱-۴: خشک کردن غلات

امروزه در کشور با یاری پیشرفتهای صنعتی در برداشت محصول، امکان برداشت مقادیر معتناهی از محصول در زمان کوتاه به وجود آمده است، اما محصول برداشت شده قبل از ارسال به انبار می بایست خشک شود و لذا امروزه استفاده از سیستم های خشک کن با درجات حرارت بالا و سرعت زیاد می تواند بطور متناوب یا مداوم فرآیند خشک کردن غلات را انجام دهند.

- سیستم های خشک کننده آرام نیز در خیلی نقاط مورد استفاده قرار می گیرد. این سیستم ها طوری طراحی می شوند که محصول بتواند حداکثر حرارت هوای محیط را گرفته و به تدریج رطوبت خود را از دست داده و خشک شود.

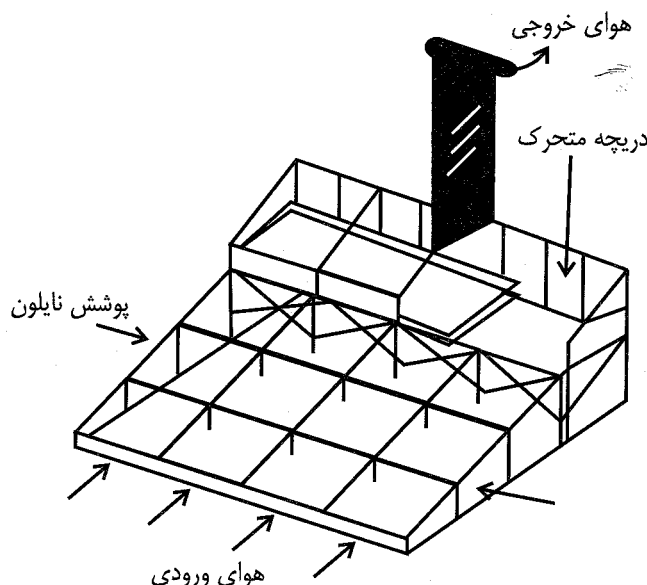
- سیستم خشک کردن محصول در انبار روشی ارزان و معمول در تمام دنیاست. اصل اساسی در این روش آن است که رطوبت هوای فضای انبار در حدی باشد که تبخیر رطوبت غلات را امکان پذیر باشد. رطوبت نسبی مجاز برای غلات مختلف متفاوت است اما برای خشک شدن غلات و جلوگیری از فساد آن میزان رطوبت نسبی هوا نباید بیشتر از ۶۰٪ الی ۷۰٪ باشد. در رطوبت های بیشتر از میزان یاد شده فرآیند خشک شدن با مشکلاتی مواجه خواهد شد. البته اگر دمای هوای خشک کننده چند درجه بیشتر شود، رطوبت نسبی به اندازه کافی پایین آمده و هوا را برای جذب بهتر رطوبت آماده می کند. مقدار حرارت اضافی لازم در نقاط مختلف برحسب شرایط جغرافیایی، محل و زمان سال متفاوت است.

- باوجود اینکه اغلب از سوخت نفتی برای بالا بردن درجه حرارت استفاده می شود ولی یک سیستم ساده خورشیدی نیز قادر است که این عمل را انجام دهد. در اکثر سیستم های خشک کن خورشیدی چند گردآور خورشیدی در کنار سیستم خشک کن قرار داده می شود. در نوع دیگر طراحی، سیستم خشک کن خود به عنوان یک گردآور خورشیدی عمل می نماید.

اگر سیستم خشک کن خورشیدی فقط برای خشک کردن یک محصول نصب شود با صرفه نخواهد بود. اما اگر سیستم طوری طراحی شود که برای خشک کردن محصولات مختلف از آن استفاده گردد در آن صورت ارزش اقتصادی آن بالا می رود. برای مثال یک نمونه ساده سیستم خشک کن که کاربرد اصلی آن خشک کردن برنج است تشریح می شود.

۱۳-۱-۵: طرح دستگاه خشک کن

هدف، طراحی سیستمی است که توده هوا را به کمک خورشید گرم نموده و سپس به کمک جابجایی طبیعی آن را از روی سطح گسترده برنج عبور دهد. این سیستم (شکل ۱۳-۶) تشکیل شده است از الف: گرمکن هوا، ب: سطح گسترده قرار دادن برنج و یک دودکش که با ایجاد مکش، عمل جابجایی طبیعی را تسهیل می کند و بعلاوه یک پوشش پلاستیک شفاف که در ضمن رساندن آفتاب جهت گرمایش برنج آن را از باران حفظ می نماید.



شکل ۱۳-۶: یک نمونه خشک کن برنج

الف: محاسبات اولیه طراحی

در محاسبات اولیه عمق بستر برنج، ارتفاع دودکش و سطح گسترش برنج می بایست مشخص شود. درجه حرارت خشک کردن از 45°C نباید افزایش یابد، زیرا در غیر این صورت ترک هایی در برنج ایجاد می شود. پوشش خشک کن از پلاستیک (PVC) به ضخامت $0/15$ میلیمتر است که به کمک تیرک هایی، فضای گسترش برنج و محل عبور هوای روی آن را می پوشاند. دودکش نیز از تیرک هایی چوبی که اطراف آن برای جذب گرمایش با نایلون تیره پوشیده شده تشکیل می شود. در انتهای دودکش کلاهکی برای جلوگیری از ورود باران تعبیه شده است. در این دستگاه برنج سطحی کاملاً خشک شد، برنج لایه های زیرین مرطوب باقی می ماند، برای خشک کردن کامل هرچند وقت یکبار باید برنج ها را بهم زد.

ب: رطوبت غلات

میزان درصد رطوبت M موجود در یک نمونه غله از فرمول زیر حساب می شود.

$$M = 100 \cdot (w - d) / w \quad (3-13)$$

در این رابطه w جرم نمونه مرطوب بوده و d جرم آن در حالت خشک می باشد. این تعریف که براساس میزان رطوبت می باشد در اینجا مورد استفاده قرار می گیرد.

روشهای مختلفی برای اندازه گیری میزان رطوبت بکار گرفته می شود که دو روش در اینجا بررسی می شود . در آزمایشگاه روش فر حرارتی ساده به نظر می رسد ، در این روش ابتدا نمونه وزن شده سپس برای سه یا چهار روز در فر با درجه حرارت ۱۰۰ درجه سانتیگراد قرار داده شده و دوباره وزن می شود . با استفاده از فرمول فوق مقدار رطوبت محاسبه می گردد در مزرعه برای اندازه گیری میزان رطوبت می توان از وسیله الکتریکی تعیین مقاومت (که قبلاً براساس میزان رطوبت مدرج شده است) استفاده کرد . برنج در شرایط معمولی بین ۸ تا ۳۰ درصد رطوبت داشته و در هنگام برداشت ، رطوبت آن بطور متوسط ۲۴ درصد است در صورتی که رطوبت مناسب برای انبار کردن آن حدود ۱۴ درصد است . روندهایی که در هنگام خشک کردن غله تحقق می یابد عبارتند از : حرکت آب داخلی غله به سطح آن و سپس از دست دادن آب سطحی تبخیر آب سطحی بستگی به فشار بخار رطوبت غله و فشار بخار هوای محیط دارد . هنگامی که فشار بخار مساوی فشار بخار هوای در تماس با آن باشد، رطوبت موجود در غله ثابت باقی مانده در این حالت میزان رطوبت را اصطلاحاً میزان رطوبت تعادل می گویند ، اگر دو فشار مساوی نباشند ، غله یا رطوبت گرفته و یا رطوبت از دست می دهد .

برای سادگی بهتر است که میزان رطوبت تعادل را به صورت تابعی از درجه حرارت و رطوبت نسبی هوا بیان نمود .

جدول (۱۳-۲) - میزان رطوبت تعادل برای برنج

درجه حرارت	رطوبت نسبی هوا						
	۲۰	۳۰	۴۰	۵۰	۶۰	۷۰	۸۰
۱۰	۸	۹	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۶
۲۰	۷	۹	۱۰	۱۱	۱۳	۱۴	۱۵
۳۰	۷	۸	۹	۱۱	۱۲	۱۳	۱۵
۴۰	۶	۷	۸	۱۰	۱۱	۱۲	۱۴

خلاصه نتیجه اندازه گیریهای مختلفی که توسط افراد مختلف صورت گرفته و دقت آن حدود ۱٪ می باشد ، نشان می دهد که هنگامی که درجه حرارت ۳۰ و رطوبت نسبی ۷۰ تا ۸۰ درصد باشد (شرایط محلی کاشت برنج در آسیا) میزان تعادل رطوبت حدود ۱۴٪ می باشد و این همان رطوبت مناسب برای نگهداری و انبار کردن است .

ج: رابطه تعادل انرژی برای خشک کردن:

فرض کنیم m_w نمایش میزان رطوبت تبخیر شده از یک مقدار برنج و جذب شده توسط جرم m_a از هوای خشک کننده باشد L را نیز نمایش حرارت تأخیر تبخیر مخصوص غله در نظر می گیریم ، C_p را نیز گرمای ویژه هوا در فشار ثابت و T_i و T_f بترتیب نمایش درجه حرارت اولیه و ثانویه هوای خشک کننده باشد . در آن صورت رابطه تعادل انرژی برای روند خشک کردن عبارت است از :

$$m_w L = m_a C_p (T_i - T_f) \quad (۴-۱۳)$$

تعیین درجه حرارت اولیه T_i و تعیین مقدار هوای لازم m_a برای گرفتن مقدار مشخص آب m_w از برنج مسئله اصلی در طراحی یک خشک کن برنج می باشد.

فرض کنیم که L و C_p شناخته شده باشد، T_f نیز از شرایط محیط به توسط نمودار رطوبی مشخص می شود. حل این مسئله به علت اینکه پارامترهای موجود در رابطه ۴-۱۳ مداوماً در حین خشک شدن تغییر می نمایند مشکل بوده و بعلاوه به علت مقاومت در مقابل انتقال حرارت و جرم، تحویل آهسته گردیده و ممکن است از مقادیر تئوری متابعت ننماید.

مقدار آب m_w از رابطه ۳-۱۳ به کمک رطوبت اولیه M_i و مقدار رطوبت مورد نظر M_f محاسبه می شود.

$$m_w = w_i (M_i - M_f) / (100 - M_f) \quad (۵-۱۳)$$

در این رابطه W_i وزن اولیه برنج مرطوب می باشد.

گرمای مخصوص تأخیر تبخیر در ۳۰ سانتیگراد برای آب تقریباً $۲/۴$ (MJ/kg) می باشد. در محاسبات می توان با تقریب خوب مقدار حرارت تأخیر را برای آب موجود در غله معادل $۱۲/۸$ (MJ/kg) گرفت.

مقدار حجم هوا با حرف V و برحسب فشار اتمسفریک P و درجه حرارت T و جرم M_a بیان می شود.

حجم هوا با نسبت رطوبت ۰/۰۲۵ که مقدار معمول رطوبت هوای خشک می باشد، از رابطه زیر محاسبه می گردد.

$$PV = m_a RT \quad (۶-۱۳)$$

در این رابطه $R = ۰/۲۹۱ \frac{kPa \cdot m^3}{kg \cdot K}$ می باشد. از تغییرات R ناشی از تغییر رطوبت (از مقدار معمول آن یعنی ۰/۰۲۵) که در عمل رخ می دهد صرف نظر می شود.

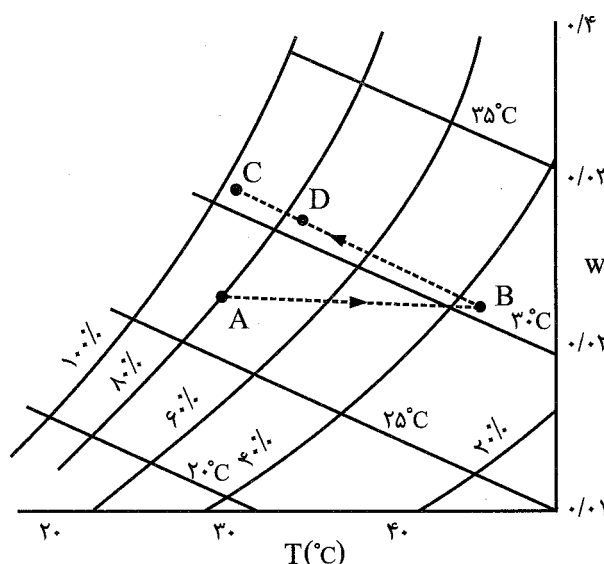
گرمای ویژه در فشار ثابت هوای خشک کننده بستگی به نسبت رطوبت و درجه حرارت دارد برای شرایط فوق الذکر می توان آن را $C_p = ۱/۰۲ \frac{kJ}{kg}$ در نظر گرفت.

باید توجه داشت که در رابطه (۲-۱۳) فرض شده که فقط هوا خنک می شود و غله در درجه حرارت T_f می باشد. اما اگر بخواهیم خنک شدن غله را نیز در محاسبات وارد کنیم در آن صورت گرمای ویژه برنج باید از فرمول $(۱/۱ + ۰/۰۴۴۸ M) \frac{kJ}{2kg \cdot ^\circ C}$

تخمین زده شود، در حالی که M عبارت از رطوبت موجود می باشد.

د: مقدار هوای لازم برای خشک کردن:

میزان هوای مورد نیاز برای خشک کردن را می‌توان یا از دیاگرام سایکرومتریک و یا از رابطه تعادل انرژی (۱۳-۲) بدست آورد. برای مثال می‌توان هوای لازم برای خشک کردن یک کیلوگرم برنج با رطوبت اولیه ۲۲٪ و رساندن آن به مقدار ۱۴٪ را بر مبنای وزن اولیه برنج محاسبه کرد. فرض کنیم درجه حرارت هوای محیط 30°C و رطوبت نسبی ۸۰٪ بوده و این هوا تا 45°C قبل از ورود به خشک کن گرم شود. در شکل ۱۳-۶ خط AB روند گرم کردن را روی نمودار رطوبی نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که رطوبت نسبی هوا به مقدار ۳۵٪ کاهش می‌یابد.



شکل ۱۳-۶: دیاگرام سایکرومتریک

خط BC در شکل ۱۳-۶ نمایش تغییر حالت هوا در حین گذشتن از روی ظرف برنج است که در ابتدای تحویل مقدار رطوبت از ۰/۰۲۲ تا ۰/۰۲۸ تا میزان ۰/۰۲۸ در نقطه C افزایش یافته، نقطه ای که رطوبت نسبی در مجاورت برنج حدود ۹۰٪ تا ۱۰۰٪ می‌باشد، مغذالک پایان تحویل نقطه D می‌باشد که درجه حرارت 34°C و مقدار رطوبت ۰/۰۲۶۶ می‌باشد زیرا در این نقطه رطوبت نسبی ۷۵٪ با برنج با رطوبت موجود ۱۴٪ در حال تعادل می‌باشد، بطور متوسط می‌توان انتظار داشت که میزان نسبت رطوبت هوای خشک کننده به مقدار ۰/۰۰۵ ازدیاد پیدا نماید.

مقدار آبی که باید از یک کیلوگرم برنج گرفته شود، از رابطه (۱۳-۳) محاسبه می‌شود، در این مثال مقدار آن ۰/۰۹۳ کیلوگرم است. از تعریف نسبت رطوبت نتیجه می‌شود که جرم هوای لازم تقریباً برابر است با کیلوگرم $18/6$: $0/005 : 0/093$ ، مقدار هوای لازم را اگر فشار $101/3 \text{ kPa}$ و درجه حرارت 308°K (معادل 35°C) از رابطه (۱۳-۵) معادل $16/5 \text{ m}^3$ می‌باشد.

محاسبه حجم هوای لازم برای خشک کردن براساس رابطه تعادل انرژی (۱۳-۲) به قرار زیر است:

$$\text{با داشتن مقدار } m_w = 0/093 \text{ kg, } L = 2/8 \text{ MJ/kg, و } C_p = 1/02 \text{ kJ/kg }^{\circ}\text{C}$$

و با فرض $T_i = 45^\circ\text{C}$ و مقدار T_f بطور متوسط مساوی 32°C از رابطه تعادل انرژی (۱۳-۲) مقدار $m_a = 19/6\text{ kg}$ حاصل می شود. حجم هوای مربوطه مشابه قبل، از رابطه (۱۳-۴) بمقدار $17/3\text{ m}^3$ حاصل می شود. نظر به اینکه تقریب در محاسبات دخالت دارد لذا ملاحظه می شود که باتوجه به عدد $16/5\text{ m}^3$ بدست آمده از نمودار رطوبی محاسبات از تقریب خوبی برخوردار است.

حرکت هوا از میان سینی برنج

حرکت هوا از میان سینی برنج بستگی به تغییرات فشار dp/dx در سینی برنج دارد. برای تغییرات کوچک فشار جریان آرام و مستقیماً بستگی به dp/dx دارد. این نوع جریان در سیستم خشک کن خورشیدی که حرکت هوا به علت جابجایی طبیعی صورت می گیرد رخ می دهد. در این حالت dp/dx کمتر از 50 Pa/m بوده و مقدار هوای عبور کرده از برنج را می توان از رابطه:

$$V = k \frac{dp}{dx} \quad (13-7)$$

محاسبه نمود، که در آن V سرعت هوای ورودی و خروجی از سکوی برنج و $k = 0.3\text{ m}^3/\text{Pa min}$ می باشد. مقدار سرعت هوا از میان سکوی برنج و در تماس با آن در عمل بیش از مقدار محاسبه شده از رابطه فوق است زیرا هوا فقط می تواند از فاصله بین دانه های برنج عبور کند. در نتیجه دبی هوا معمولاً برحسب حجم هوای عبور نموده در واحد زمان از واحد سطح عمود بر جریان بیان می شود و یا مقدار متر مکعب در دقیقه از هر متر مربع می باشد.

مقدار k داده شده در فوق مربوط به حالتی است که در روی سکوی برنج مقدار برنج ناچیز بوده بطور پراکنده در روی آن پخش شده باشد. مقدار آن با افزایش رطوبت اضافه شده و با پرکردن برنج در سینی مربوطه کاهش پیدا می کند.

میزان دبی هوای لازم

فرض کنیم که دستگاه خشک کن، برای ۱۰۰۰ کیلوگرم برنج از رطوبت اولیه ۲۲٪ به رطوبت ثانویه ۱۴٪ بوده و درجه حرارت هوای محیط 20°C و رطوبت نسبی آن ۸۰٪ باشد. بعلاوه فرض کنیم هوا در یک سیستم خشک کن خورشیدی تا 40°C گرم شود. محاسباتی که قبلاً دیده شد نشان می دهد که هوای لازم حدود 17000 m^3 می باشد.

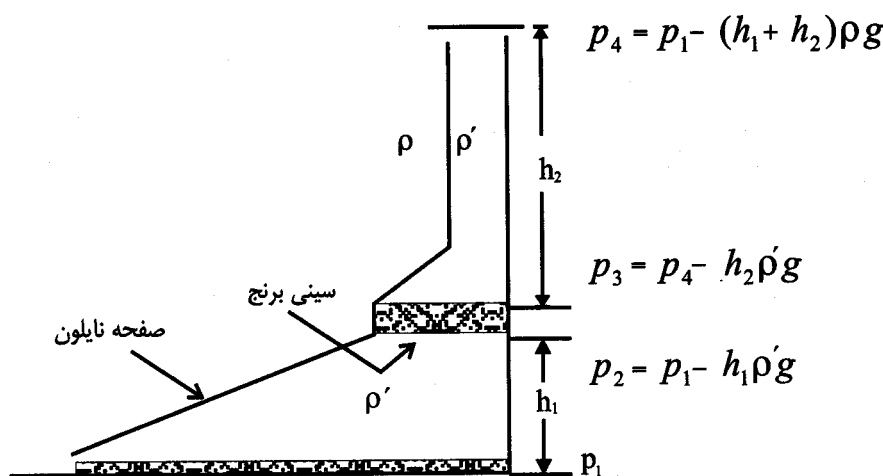
فرض کنیم که خشک کردن حدود ۳۰ ساعت طول بکشد این عمل سه روز روزی ۱۰ ساعت و یا چهار روز، روزی ۷/۵ ساعت طول می کشد. دبی هوا می بایست $\frac{m}{min} 9/44$ باشد.

حجم ۱۰۰۰ کیلوگرم از روی وزن مخصوص آن محاسبه می شود که بطور تقریبی می توان را با 600 kg/m^3 فرض نمود لذا حجم آن معادل $1/667$ متر مکعب می باشد. بنابراین نتیجه می شود که حدود $\frac{m^3}{min} 5/7$ هوا برای هر متر مکعب برنج لازم است.

اختلاف فشار در طرفین سینی برنج

جابجایی هوا از میان سینی برنج بعلا اختلاف فشار بین هوای سرد خارج و هوای گرم داخل خشک کن انجام می شود.

فرض کنیم ρ وزن مخصوص هوای محیط و ρ' وزن مخصوص هوای گرم داخل خشک کن باشد همینطور h_1 اختلاف ارتفاع بین ورودی به خشک کن خورشیدی و سینی برنج بوده و h_2 اختلاف ارتفاع نوک دودکش از زمین مساوی با $h_1 + h_2$ است. فرض کنیم p_1 فشار هوای داخل و خارج خشک کن باشد. همینطور فرض کنیم p_2 و p_3 فشارهای داخل خشک کن در زیر و بالای سینی برنج باشد و p_4 فشار هوای داخل و خارج در بالای دودکش باشد (شکل: ۷-۱۳)، مقطع خشک کن که در روی آن ارتفاع وزن مخصوص و فشارهای داخل خشک کن در نقاط مختلف نشان داده شده است، ملاحظه می شود.



شکل ۷-۱۳: مقطع دستگاه خشک کن

در حالیکه g عبارت از شتاب ثقل و مساوی $\frac{9.8}{\text{sec}^2}$ می باشد. با حذف p_1 و p_2 اختلاف فشار طرفین سینی برنج حاصل می شود:

$$p_2 - p_3 = (h_1 + h_2)(\rho - \rho')g \quad (۸-۱۳)$$

اختلاف بین وزن مخصوص هوا از رابطه (۴) در فشار 101.3 kPa با درجه حرارت های 30°C و 45°C به ترتیب خارج و داخل خشک کن عبارت است از:

$$\rho - \rho' = 0.05419 \text{ kg/m}^3$$

اگر ارتفاع $h_1 + h_2 = 4^m$ باشد در آن صورت اختلاف فشار طرفین سینی برنج با استفاده از رابطه (۶-۱۳) عبارتست از: p_a ۲/۱ می باشد.

ابعاد سینی برنج

در طرح سینی برنج، مهمترین اندازه عمق سینی می باشد. مقدار آن باید طوری انتخاب شود که اختلاف فشار طرفین آن موجب گذر هوای لازم گردد. از آنجا که اختلاف فشار طرفین سینی برنج همانطور که محاسبه شد $1/2$ پاسکال می باشد، تغییرات فشار dp/dx در سینی عبارت است از $2/1 \text{ Pa}$ می باشد. بنابراین از رابطه (۷-۱۳) مقدار سرعت عبور از غربال را بدست می آوریم: $(0/063 \text{ m}^2/\text{min})/x$



شکل ۱۳-۸: نمونه برنج خشک کن خورشیدی ساخت انستیتوی تکنولوژی تایلند

۱۳-۲: گلخانه های خورشیدی

گلخانه های خورشیدی برای پرورش گیاهان، در هنگامیکه شرایط فضای خارج برای آنها مناسب نیست بکار می رود. بعلاوه همانطور که در فصل ۱۰ ملاحظه شد، از گلخانه می توان بعنوان منبع حرارتی در زمستان استفاده نمود. گلخانه های خورشیدی خانگی معمولاً در قسمت جنوبی ساختمان (شکل ۱۳-۸) قرار گرفته و اضافه حرارت خورشیدی جمع آوری شده در آن را می توان به داخل ساختمان منتقل کرد.

حجم این نوع گلخانه ها در ابعاد مختلف از اندازه یک پنجره کوچک معمولی تا یک اطاق بزرگ انتخاب می شود. هوای گرم داخل گلخانه به علت تنفس گیاهان دارای رطوبت بالا بوده و در نتیجه با یک گردش طبیعی هوا میتواند هوای گرم را به داخل ساختمان منتقل نموده (شکل: ۱۰-۷)، و بعلاوه موجب بهبود وضع رطوبت داخل ساختمان نیز بشود. وجود گلخانه موجب پائین آمدن سطح افت حرارتی و مقدار تعویض هوا نیز شده و عملاً مانند یک راهروی ورودی در تبادل حرارت مؤثر می باشد. از طرف دیگر با گردش هوای داخل ساختمان و گلخانه، گاز کربنیک و بوی بد داخل ساختمان توسط گیاهان جذب شده و

بالاخره وجود گلخانه خورشیدی با طرح مناسب علاوه بر تولید گل و مواد غذایی، موجب نمای خوبی (شکل: ۸-۱۳) برای ساختمان نیز می‌شود. همانطور که در یک فضای مسکونی کنترل درجه حرارت، رطوبت و هوای تازه برای انسان حائز اهمیت است، در یک گلخانه نیز همین عوامل چه در تابستان و چه در زمستان برای پرورش گیاه حیاتی است.



شکل ۸-۱۳: گلخانه خورشیدی خانگی واقع در ضلع جنوبی ساختمان

۱۳-۲-۱- کنترل شرایط داخل گلخانه

همانطور که گفته شد، کنترل درجه حرارت، رطوبت و هوای تازه در یک گلخانه چه در تابستان و چه در زمستان برای پرورش گیاه حیاتی است. درجه حرارت بعلت تأثیر در فرآیندهای درونی گیاهان در رشد آنها مؤثر است. در هنگام تشعشع زیاد درجه حرارت و رطوبت نسبی را می‌توان به کمک تبخیر در گلخانه تعدیل نمود. مهمترین عامل در طراحی سیستم تبخیری برای گلخانه، محاسبه مقدار حرارت رسیده از خورشید است. برای محاسبات میتوان حرارت رسیده به سطح زمین در ارتفاع همسطح دریا را حدود ۶۰۰ کیلو کالری در ساعت در هر متر مربع فرض نمود. اما در نقاطی که دود زیاد، گرد و خاک و ابرهای سنگین وجود داشته باشد، مقدار شدت تابش خورشید کمتر از مقدار بالا خواهد بود. گیاهان نیز مانند انسان قادر به تحمل افزایش موقتی دمای داخل گلخانه به دمایی بالاتر از دمای طراحی هستند. زیرا تمامی انرژی خورشیدی رسیده به گلخانه به گرما یا انرژی محسوس تبدیل نشده، بلکه قسمتی از آن صرف موارد زیر می‌شود:

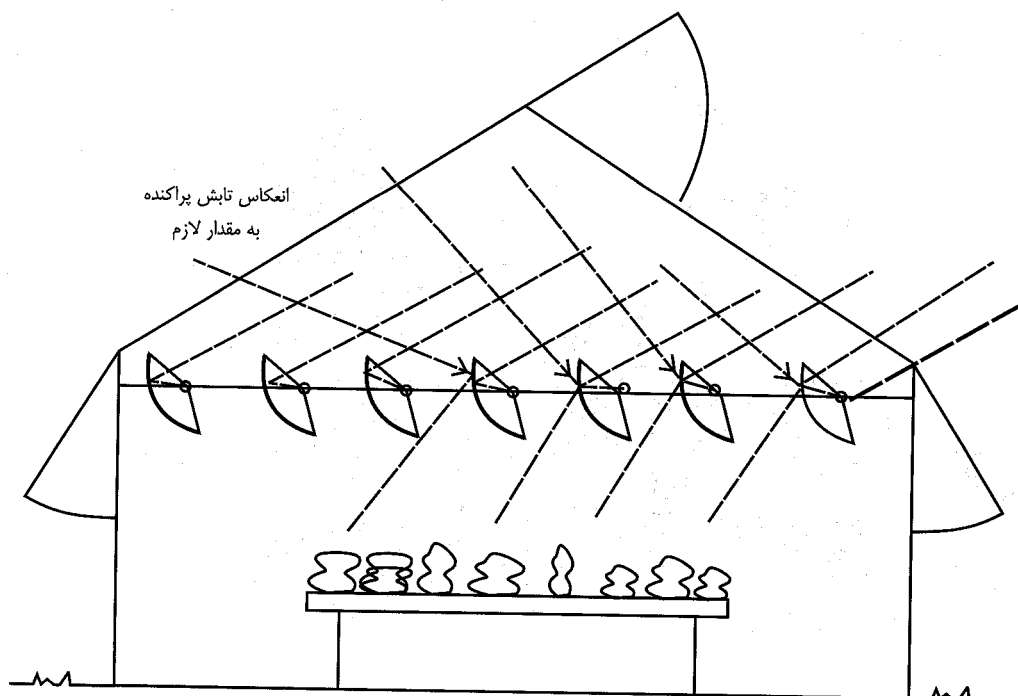
الف: حرارت تبخیر.

ب: انرژی برای تحقق فرآیند شیمیایی درون گیاه

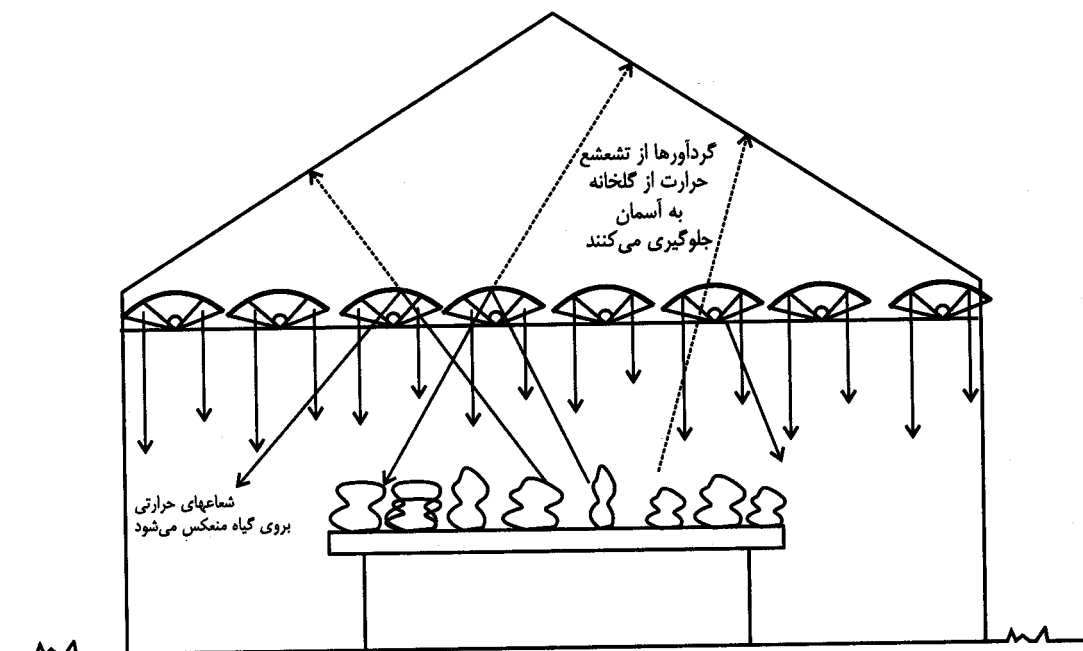
انرژی شیمیایی که در فتوسنتز گیاهان مصرف می‌شود، معمولاً بیش از ۲ درصد تابش رسیده نیست. اما حرارت تبخیر از محصولی، به محصول دیگر متفاوت بوده و بطور متوسط حدود ۴۸ درصد از انرژی تابش را به خود اختصاص می‌دهد.

باقیمانده این انرژی که ۵۰ درصد تابش کل به گیاه است، انرژی محسوس بوده و درجه حرارت را بالا می‌برد و از اینرو باید آن را با سیستم خنک کننده یا تهویه از گلخانه خارج کرد. گرمای مخصوص هوا $0/24$ بی تی یو برای هر پاوند یا $0/18$ بی تی یو برای هر فوت مکعب است. در زمستان از این ۵۰٪ اضافی میتوان برای فضای مسکونی استفاده نمود و در تابستان از سیستم خنک کننده داخل ساختمان می‌توان برای خنک کردن گلخانه استفاده کرد، برای این منظور باید بار سرمایی گلخانه با توجه به سطح گلخانه، شدت تابش خورشید در محل و شرایط انتخابی برای داخل گلخانه با استفاده از نمودار رطوبی محاسبه گردیده و در بار برودتی لازم برای ساختمان منظور گردد.

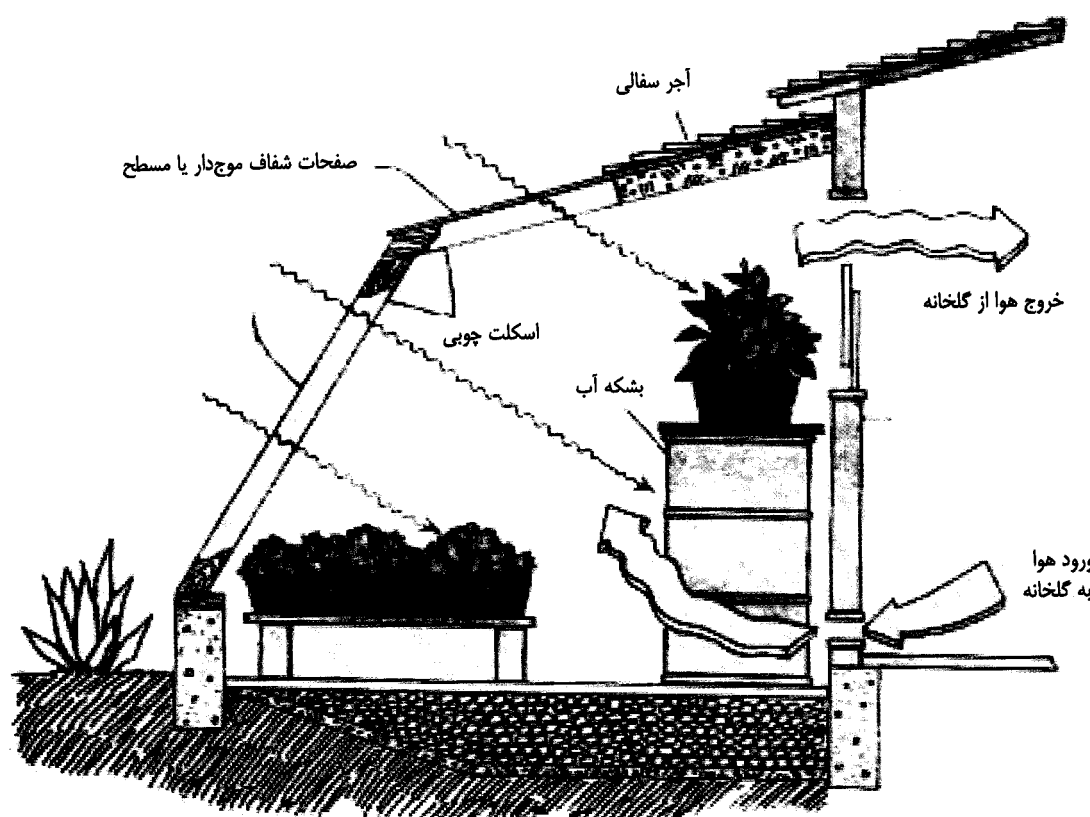
اما بجای صرف انرژی برای خنک کردن گلخانه، کفایت از ورود انرژی اضافی به داخل آن جلوگیری کرد و از اینرو در صورتی که سطح کل گلخانه با گیاهان پوشیده شود کفایت نوری معادل ۵۰ درصد سطح گلخانه بطور همگن به داخل آن بتابد. برای این کار، استفاده از پرده های حصیری قدیمی که چوبهای آن یک در میان کشیده شده باشد را پیشنهاد می‌کنیم. در صورتی که قسمتی از گلخانه پوشیده از گیاه نباشد باید بهمان نسبت نور کمتری به گلخانه راه یابد. مقدار تابش مناسب برای هر گلخانه، متناسب با سطح گیاهان موجود در گلخانه، شدت تابش محلی و مقدار حرارت تبخیر گیاهان آن گلخانه است. روش پیشرفته تر برای کنترل درجه حرارت داخل گلخانه استفاده از آئینه های سهموی خطی (شکل: ۹-۱۳) قابل دوران است. شکل: ۹-۱۳ الف، وضعیت آئینه ها را در روز نشان می‌دهد، آئینه ها در عین کنترل درجه حرارت در گلخانه، ضمناً از انرژی خورشید برای گرم کردن سیال مبدل استفاده میکنند. این آبگرم را میتوان برای تولید آب شیرین یا تولید آبگرم و یا سایر کاربری ها مورد استفاده قرار داد. بعلاوه چون معمولاً تمام سطح گلخانه پوشیده از گیاه نیست، میتوان با استفاده از سایه بانهای کمکی از افزایش درجه حرارت داخل گلخانه در هنگام روز جلوگیری نمود. از طرف دیگر گردآورها در هنگام شب (شکل: ۹-۱۳ ب) از تشعشع گیاهانه به آسمان جلوگیری نموده و با صرف قسمتی از انرژی گرمایی دریافتی خود در روز، گرمای لازم برای گلخانه را تأمین می‌کند.



شکل: ۹-۱۳ الف - وضعیت گردآورها در روز برای تولید سایه در گلخانه و استفاده از انرژی حرارتی تولیدی



شکل ۱۳-۹ ب: وضعیت گردآورها در شب



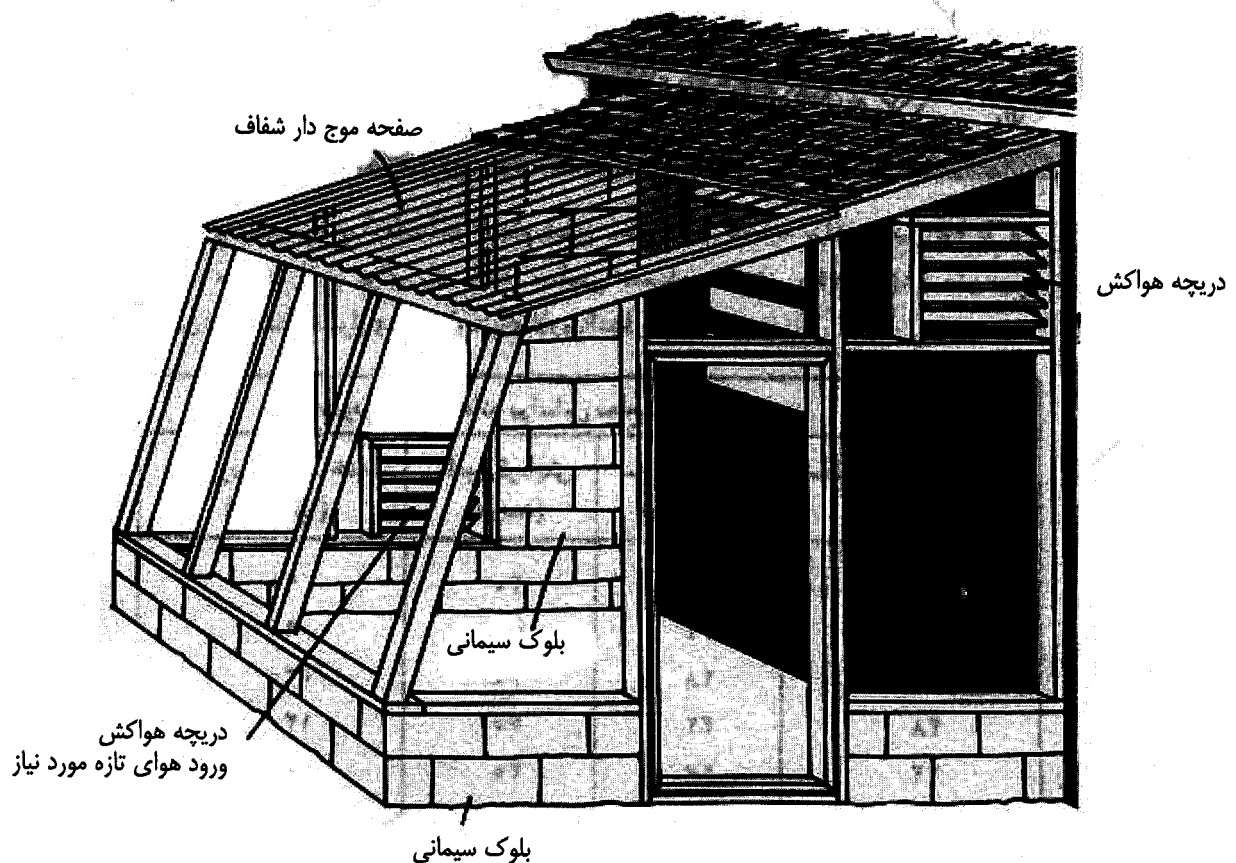
شکل ۱۳-۱۰: مقطع یک گلخانه خورشیدی

۱۳-۲-۲- گلخانه های خانگی

در گلخانه های خانگی نه تنها می توان سیستم مکانیکی را حذف نمود بلکه می توان از رطوبت گلخانه در تابستان و انرژی گرمایی آن در زمستان برای گرمایش ساختمان استفاده کرد.

برای تعیین عملکرد یک گلخانه خورشیدی خانگی و تعیین مقدار حرارت که می توان از آن بدست آورد و همچنین تعیین ابعاد آن، پتانسیل گرمایشی آن را مورد بررسی قرار می دهیم. مثالهای زیر برای تعیین خطوط کلی راهنمای خوبی است. شکل ۱۰-۱۳ مقطع یک گلخانه خانگی را نشان می دهد.

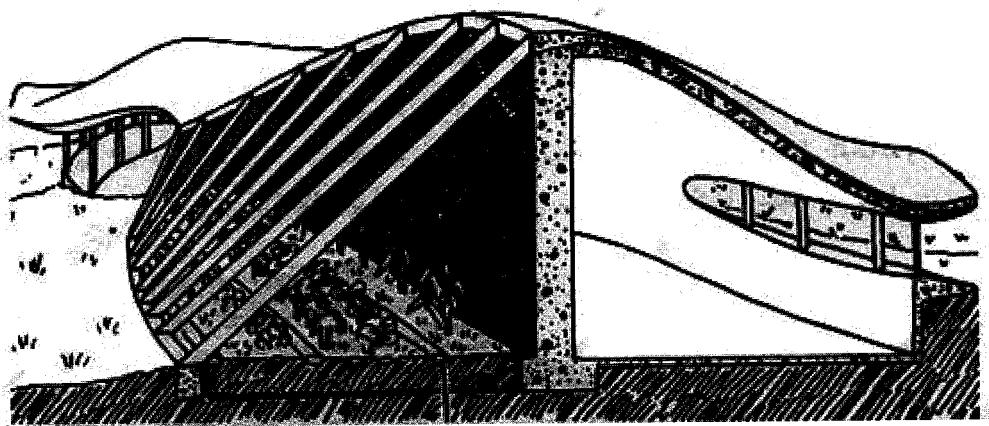
این گلخانه در قسمت جنوبی دارای سطحی به مساحت ۱۶ متر مربع، پوشیده با دو لایه صفحه نایلونی و یا صفحات شفاف مسطح یا موجدار می باشد. این صفحات با زاویه ۶۰ درجه نسبت به افق قرار دارند، قسمت دیگری از سقف که نسبت به افق زاویه ۲۳ درجه دارد، نیز به همین ترتیب پوشیده شده است. در داخل گلخانه و در مجاور ساختمان از بشکه های پر از آب به عنوان منبع ذخیره گرما استفاده شده است.



شکل ۱۳-۱۱: جزئیات ساختمان یک گلخانه خورشیدی

(در شکل ۱۱-۱۳ نیز دیوار ساختمان مجاور گلخانه از بتن ساخته شده و نقش منبع ذخیره گرما را ایفا می نماید). در ورودی به گلخانه از اطاق مجاور در روزهای آفتابی زمستان بطور مداوم باز بوده و در شب بسته نگهداشته می شود. در بعضی گلخانه ها خاک کف گلخانه برداشته شده و مطابق شکل ۱۲-۱۳ محل آن با قلوه سنگ پر می شود.

بر اساس نتایج آزمایشات انجام شده، سطح لازم گلخانه برای تأمین ۴۰ تا ۶۰ درصد حرارت لازم برای یک واحد مسکونی به مساحت ۹۰، ۱۴۰ و ۱۸۵ متر مربع تعیین شده است، جدول ۱۳-۳ مساحت‌های لازم را نشان می دهد.



شکل ۱۲-۱۳: جزئیات ساختمان یک گلخانه ابتکاری خورشیدی، با توجه به نیاز انرژی گیاه.

جدول ۱۳-۳- حدود سطح گلخانه براساس سطح واحد مسکونی			
سطح زیربنای ساختمان (متر مربع)	تأمین گرمایش (درصد)	سطح شیشه لازم (متر مربع)	سطح زیر بنای گلخانه (متر مربع)
۹۰	۴۰	۱۸	۲۰
۹۰	۶۰	۲۷	۳۱
۱۴۰	۴۰	۲۸	۳۲
۱۴۰	۶۰	۴۲	۴۸
۱۸۵	۴۰	۳۷	۴۲
۱۸۵	۶۰	۵۶	۶۴

جدول ۱۳-۴- مواد گروه ۱: موادی که نسبت ضریب جذب به ضریب پخش آنها (α/ϵ) کمتر و یا مساوی واحد است			
مواد	α	ϵ	α/ϵ
رنگ سفید پلاستیک	۰/۰۷	۰/۹۱	۰/۰۸
برف	۰/۱۳	۰/۸۲	۰/۱۶
رنگ سفید روی آلومینیم	۰/۲	۰/۹۱	۰/۲۲
فولاد ضد رنگ صیقل شده	۰/۲۲	۰/۹	۰/۲۴
کاغذ سفید	۰/۲۸ - ۰/۲۵	۰/۹۵	۰/۲۹ - ۰/۲۶
لعاب سفید روی آهن	۰/۴۵ - ۰/۲۵	۰/۹	۰/۵۰ - ۰/۲۸
یخ پوشیده از ذرات متفرق برف	۰/۳۱	۰/۹۷ - ۰/۹۶	۰/۳۲
مخلوط یخ و برف خرد شده	۰/۳۳	۰/۸۹	۰/۳۷
اکلیل	۰/۴۵	۰/۹	۰/۵

ادامه جدول: ۱۳-۴			
مواد	α	ε	α/ε
پودر سفید سنگ	۰/۴۵	۰/۸۴	۰/۵۴
رنگ روغنی سبز	۰/۵	۰/۹	۰/۵۶
آجر قرمز	۰/۵۵	۰/۹۲	۰/۶
صفحه آزیست سیمانی سفید	۰/۵۹	۰/۹۶	۰/۶۱
مرمر صیقل شده	۰/۵ - ۰/۶	۰/۹	۰/۶۱
بتن خشک	۰/۶	۰/۹۷	۰/۶۲
بتن	۰/۶	۰/۸۸	۰/۶۸
چمن مرطوب	۰/۶۷	۰/۹۸	۰/۶۸
چمن خشک	۰/۶۷ - ۰/۶۹	۰/۹۰	۰/۷۶
مرتع سبزیجات پژمرده	۰/۷	۰/۹۰	۰/۷۸
برگ بلوط	۰/۷۱ - ۰/۷۸	۰/۹۱ - ۰/۹۵	۰/۷۸ - ۰/۸۲
رنگ خاکستری	۰/۷۵	۰/۹۵	۰/۷۹
سطح بیابان	۰/۷۵	۰/۹۰	۰/۸۳
مرتع سبزیجات معمولی	۰/۷۲ - ۰/۷۶	۰/۹۰	۰/۸۲
سرنج	۰/۷۴	۰/۹۰	۰/۸۲
آزیست	۰/۸۱	۰/۹۶	۰/۸۴
زمین شخم زده - خشک	۰/۷۵ - ۰/۸۰	۰/۷۰ - ۰/۹۶	۰/۸۳ - ۰/۸۹
لینولئوم قهوه ای و قرمز	۰/۸۳	۰/۹۲	۰/۹۱
شن خشک	۰/۸۲	۰/۹۰	۰/۹۱
تخته سنگ خاکستری تیره	۰/۸۹	-	-
زمین مرطوب	۰/۹	۰/۹۵	۰/۹۵
شن خیش	۰/۹۱	۰/۹۵	۰/۹۶
آب	۰/۹۴	۰/۹۵ - ۰/۹۶	۰/۹۸

۱۳-۳: سردخانه های هوای سرد شب

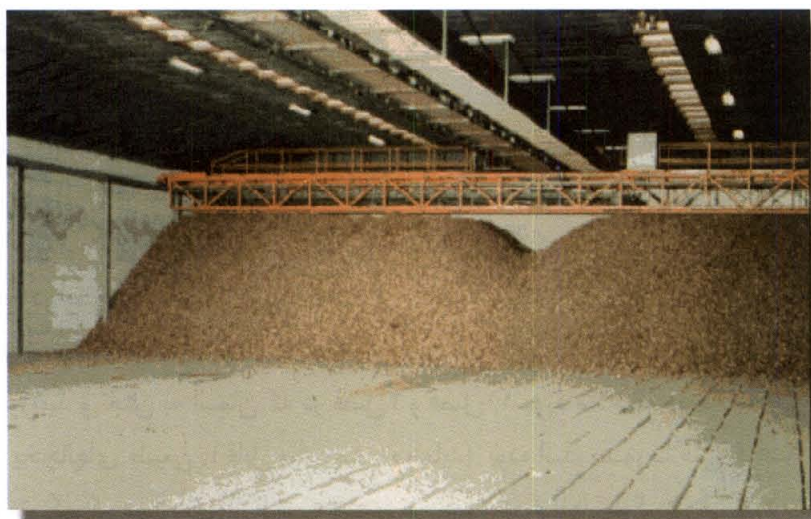
برای نگهداری یخهای تولید شده در زمستان، برای فصل تابستان، ایرانیان با استفاده از سیستم هوای سرد شب و جلوگیری از تابش مستقیم خورشید در روز در مناطق کویری سردخانه میساخته اند. این ساختمانها (شکل ۱۳-۳) کروی مخروطی بوده و دو دیوار حایل از تابش مستقیم خورشید به آن حتی المقدور جلوگیری میکرده اند (یعنی از ۹۰٪ انرژی تابش خورشید جلوگیری می‌شده است). تولید یخ در یخچالهای طبیعی روباز که دارای ساختمان بسیار ساده ای (هرچند مؤلف چنین یخچالی را ندیده و شرحی از آن نخوانده است، ولی با توجه به تعداد قابل ملاحظه روزهای یخبندان در شهرهای مناطق کویری از یکطرف، مقدار انرژی تابش مستقیم خورشید و تابش به آسمان که در فصل ۲ و فصل ۱۱ مورد ملاحظه و محاسبه، قرار گرفته است از طرف دیگر، مکانیزم عملکرد یخچالهای طبیعی را قابل پیش بینی مینماید) بوده اند، صورت می گرفته است. این یخچالها از استخرهای باریک با عمق کم که دیوارهایی از تابش مستقیم نور خورشید به آنها جلوگیری می کرده تشکیل می شده است. آب شبانه به این استخرها وارد شده و بر اثر دمای پائین هوا و تابش به آسمان درون استخرها یخ میزد است. یخهای تولید شده در شب، در هنگام روز برداشت شده و به سردخانه ای مشابه شکل: ۱۳-۱۳ منتقل می شده است.



شکل ۱۳-۱۳: سردخانه های نگهداری یخ در مناطق گرم و خشک ایران

۱۳-۳-۱: سردخانه های نگهداری سیب زمینی و پیاز

یکی از موارد استفاده از هوای سرد شب، سردخانه های نگهداری سیب زمینی و پیاز است. برای حفظ این دو محصول در طول پائیز و زمستان (نگهداری برای مدت ۵ الی ۸ ماه- عمدتاً از مهر ماه تا اوایل بهار- با توجه به محصول زودرس و دیررس) نیاز به تامین دمای حدود ۳ الی ۴ درجه سانتیگراد و رطوبت نسبی ۹۰٪ برای سیب زمینی و دمای صفر درجه سانتیگراد و رطوبت نسبی ۷۰٪ برای پیاز لازمست. علاوه در سردخانه نیاز به گردش هوا برای جلوگیری از افزایش موضعی رطوبت است. تهویه برای خروج گاز کربنیک تولیدی و ورود اکسیژن نیز مورد نیاز است. ضمناً از ورود نور به سردخانه باید بشدت جلوگیری شود. در شکل: ۱۳-۱۴، داخل انبار سیب زمینی هنگام تخلیه محصول بصورت فله ای نشان داده شده است.



شکل ۱۳-۱۴: داخل انبار سیب زمینی بصورت فله‌ای

در ایران حدود ۶۰٪ این دو محصول در نواحی سرد و خشک که مهمترین آنها آذربایجان شرقی است و حدود ۳۴٪ در مناطق معتدل و خشک که مهمترین آن اصفهان است، و باقیمانده (تقریباً ۶٪) در سایر اقالیم تولید میشود. بنابراین با توجه به شرایط هوای فضای خارج اقتصادی ترین روش نگهداری این دو محصول استفاده از هوای سرد شب برای تامین برودت در داخل انبار است. اینکار از قدیم در ایران بصورت غیر علمی (غیر کنترل شده، غیر بهداشتی و بدون شناخت عوامل مؤثر صورت میگرفته است، ولذا با ضایعات زیاد محصول همراه بوده است. روش علمی استفاده از هوای سرد شب با کنترل درجه حرارت، رطوبت و هوای تازه است. یک روش معمول در اکثر کشورها با استفاده از چندین فن و کانالهای عبور هوا در کف انبار به اجرا در می‌آید. برای تامین رطوبت لازم نیز با اضافه کردن آب کنترل شده (بجای استفاده از رطوبت زن) در کف کانالهای عبور هوا به اجرا در می‌آید. کنترل دما و رطوبت توسط ترموکوپلها و رطوبت سنجهای متعدد صورت میگیرد. این اندازه گیری ها همزمان با اندازه گیری های شرایط خارج به مرکزی که میتواند یک جعبه فرمان باشد منتقل شده و با توجه به شرایط موجود فرمانهای لازم به دریچه های ورود و خروج هوا فن های تغذیه هوای سرد شب و یا فن های گردش جریان هوا در داخل داده میشود.

نکته مهم در مورد این انبارها در مناطق آب و هوایی سرد و خشک و معتدل و خشک در ایران (با توجه به منحنی رطوبی) آنستکه برای حفظ محصول در زمانهای کوتاهی از سال نیاز به گرمایش لازم بوده ولی در اینحالت باید گرمای تولیدی توسط محصول نیز در محاسبات منظور گردد. برای توجه به تولید گرما توسط محصول، مناسب است که تنفس و اثر دما در شدت تنفس را برای محصولات کشاورزی در بند بعد به اختصار بازگو کنیم.

الف: تنفس و اثر دما در شدت تنفس محصولات کشاورزی

محصولات کشاورزی در فضای انبار تنفس میکنند. در این تنفس اکسیژن هوا را گرفته و با مصرف گلوکز (قند) از خود، گاز کربنیک، آب و حرارت تولید مینمایند. مقدار مواد مصرف شده توسط تنفس معمولاً کم است. مثلاً برای سیب زمینی که برای مدت ۶ تا ۸ ماه انبار شود بیش از ۲ تا ۳ درصد درجه حرارت مناسب انبار نخواهد بود. درجه حرارت در شدت تنفس محصول

انبار شده و در نتیجه اکسیژن مصرفی و حرارت تولید شده در انبار موثر است، جدول ۱۳-۵ مقدار این تاثیر را برای سیب زمینی نشان می‌دهد.

جدول ۱۳-۵: اثر درجه حرارت در تنفس سیب زمینی							
درجه حرارت	سانتیگراد	۰	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵
تولید گاز کربنیک	$g.kg^{-1} s^{-1}$	۲/۶۴	۱/۲۷	۱/۳۸	۱/۶۹	۲/۶۴	۳/۵
جذب اکسیژن	$g.kg^{-1} s^{-1}$	۱/۹۲	۰/۹۲	۱	۱/۲۳	۱/۹۲	۱/۵۵
حرارت تولید شده	$KW.kg^{-1}$	۲۰/۱	۹/۷	۱۰/۶	۱۲/۹	۲۰/۱	۲۶/۶

بطوریکه جدول نشان می‌دهد پائین ترین تنفس برای سیب زمینی در دمای ۵ درجه سانتیگراد تأمین می‌شود. جالب آنکه کاهش دما در زیر ۳ درجه سانتیگراد موجب افزایش تنفس سیب زمینی می‌شود. البته عوامل دیگری، مانند کیفیت آن، نوع آن، زمان برداشت آن و غیره نیز در مقدار تنفس سیب زمینی در انبار (همانطور که عواملی در تنفس انسان در فضای مسکونی موثر است) موثر است که از بحث ما در این کتاب خارج است.

ب: نکته مهم در برآورد بار برودتی و گرمائی

در استفاده از هوای سرد شب همانطور که در فصل ۱۱ در مورد ساختمانهای مسکونی ملاحظه شد، میبایست جرم لازم برای تامین اینرسی لازم برای تامین بار برودتی لازم در فضای سردخانه موجود باشد. این جرم همان محصول انبار شده است. لذا مقدار محصول در انبار میبایست از حداقلی کمتر نباشد، و صحیح آنست که سردخانه تا ظرفیت کامل پر شده باشد، و حتی المقدور به یکباره محتویات آن تخلیه شود. با این مقدمه هم در برآورد بار برودتی و هم در برآورد بار گرمائی، حرارت تولیدی توسط محصول میبایست در محاسبات وارد شود.

بدیهی است که اطلاعات هواشناسی منطقه، بخصوص درجه حرارت، آنهم در ساعات مختلف شبانه روز در محاسبه بار برودتی دارای کمال اهمیت است. این اطلاعات از برآورد اضافی ظرفیت فن های تغذیه هوای سرد به انبار جلوگیری می‌کند.

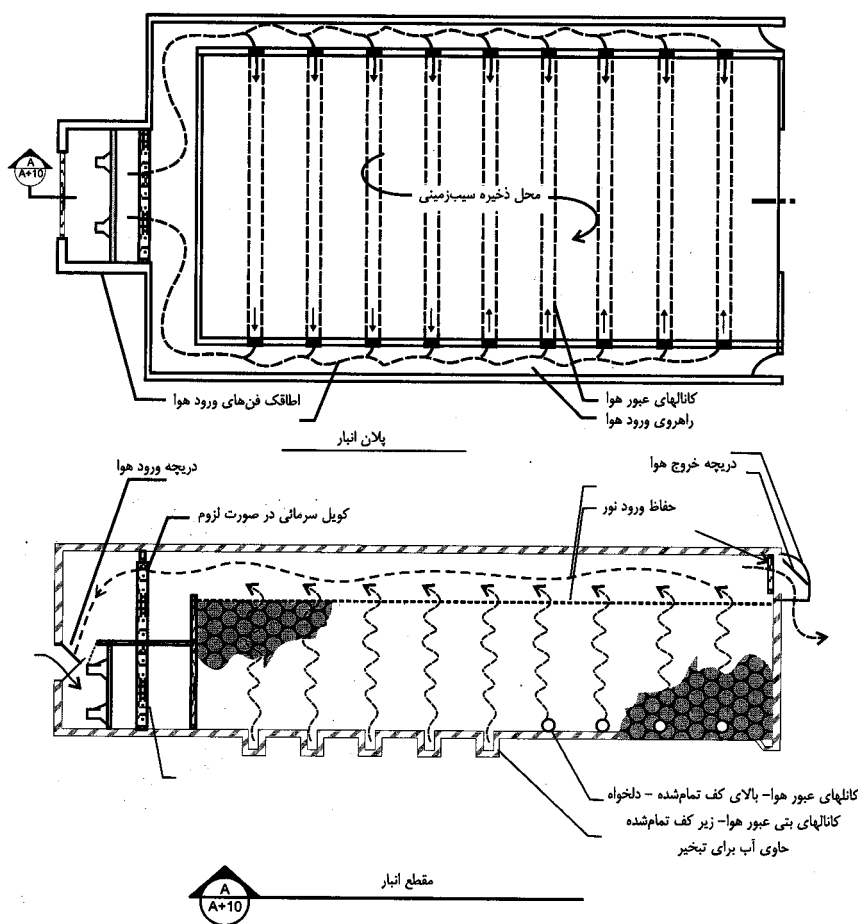
ج: نحوه کار سیستم هوای سرد شب در انبار سیب زمینی و پیاز

شکل: ۱۳-۱۵ نقشه یک انبار سیب زمینی و پیاز نمونه را نشان می‌دهد. در این شکل غیر از تجهیزات اندازه گیری درجه حرارت و رطوبت، کنترل و فرمان به دریچه های ورود هوا، خروج هوا، فن ها، تغذیه آب به کانالها، تجهیزات ایمنی و بعلاوه فن های گردش هوا در فضای فوقانی سردخانه برای همگن نمودن درجه حرارت، بقیه تجهیزات مهم سیستم هوای سرد شب در نقشه نشان داده شده است.

روش کار سیستم به این ترتیب است که در درجه حرارت مناسب هوای خارج و با توجه به شرایط حدی نگهداری محصول در سردخانه، فرمان باز شدن دریچه و یا دریچه های ورودی داده می‌شود. در این حالت فن‌ها شروع به کار نموده و موجب ورود و بعلاوه گردش هوا میشوند. با توجه به وجود دریچه یا دریچه های خروجی همواره فشار صفر در سردخانه (فشار صفر مشابه

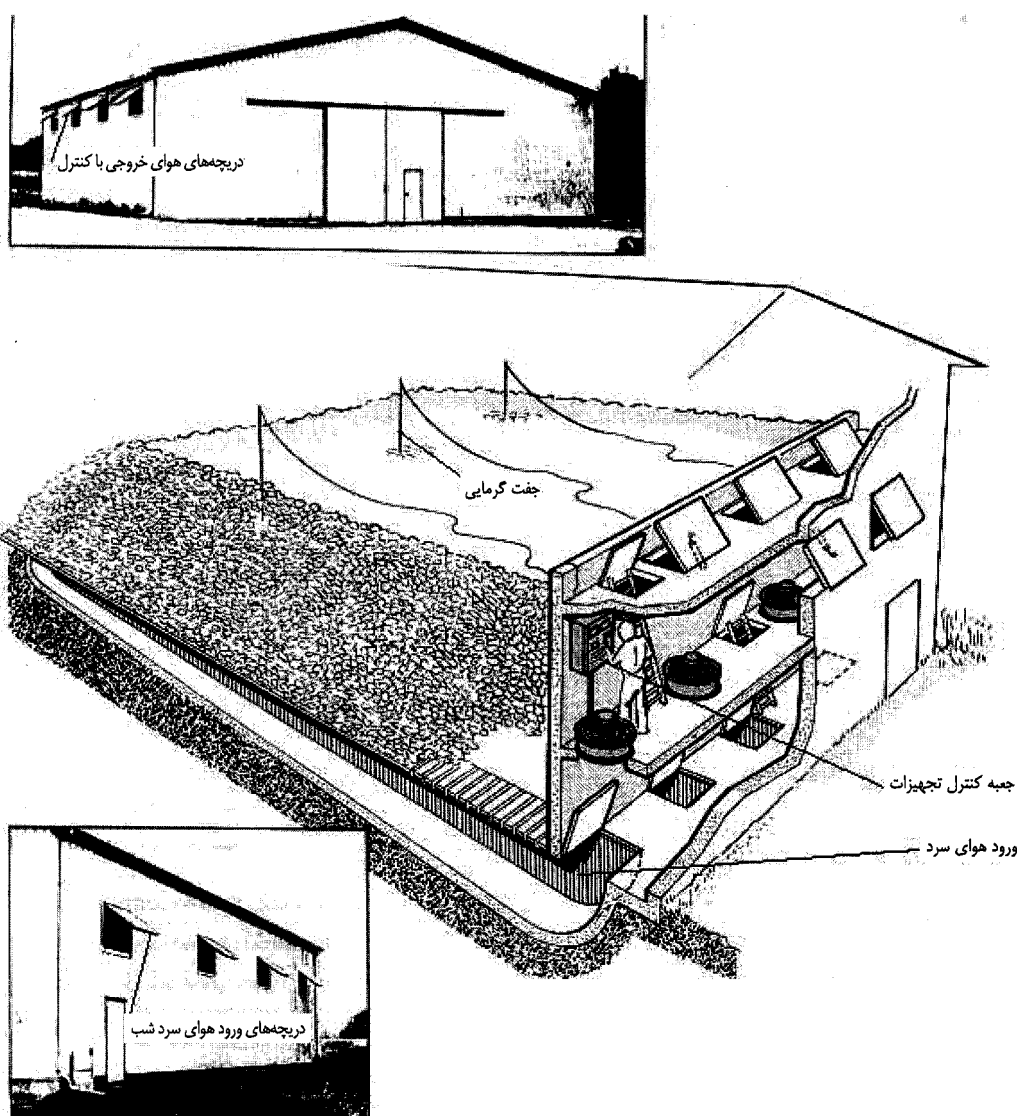
شرایط خارج برای سردخانه لازم است) با تخلیه شدن هوای اضافی تأمین میشود. فن‌های دیگری که در شکل نشان داده نشده نیز میبایست با ظرفیتی مناسب و با پراکندگی مناسب در حوالی سقف انبار توسط طراح پیش بینی شود، تا چرخش هوا را در داخل انبار تأمین کند. فرمان لازم به این فن‌ها از ترموکوپل‌ها و رطوبت سنجهائی که در نقاط مختلف سردخانه، در سطح و بخصوص عمق محصول انبار شده قرار دارند گرفته میشود. نقش طراح همواره مانند همیشه در تعیین ظرفیتهای، ابعاد و اندازه‌ها، نوع تجهیزات و کلیه برآوردها و انتخابها با توجه به شرایط منطقه و ظرفیت محصول و نحوه برداشت از آن در بهینه کردن سردخانه بسیار مهم است.

کانالهای بتنی عبور هوا مجهز به صفحات درپوش مشبک فلزی میشوند، برای افزایش هوادهی از کف میتوان قبل از ریختن محصول، همانطور که در شکل نشان داده شده از لوله‌ها و یا سایر صفحات مشبک نیز استفاده نمود. هدف از اینکار هوادهی بهتر و جلوگیری از تجمع رطوبت و حرارت موضعی در کل سردخانه است. در شرایط خاص ممکنست از یک کویل سرمائی کمکی نیز برای سردخانه در مناطق آب و هوائی دیگر ایران استفاده نمود. یک اطاقک برای قرار دادن کمپرسور لازم خواهد بود. کندانسور را نیز در پشتبام اطاقک میتوان نصب نمود. نیاز به چیلر کمکی برای سردخانه پیاز با توجه به درجه حرارت نگهداری آن مساوی صفر بیشتر است. همانطور که در فصل ۱۲ ملاحظه شد چیلرهای جذبی را میتوان با انرژی خورشید با گرد آورهای لوله ای بکار انداخت. هر چه شدت خورشید در منطقه بیشتر باشد نیاز به سرمایش در سردخانه بیشتر خواهد بود.



شکل: ۱۳-۱۵: پلان و مقطع سیستم هوای سرد شب برای تأمین شرایط مناسب در انبار سیب زمینی

در شکل ۱۳۱-۱۶، نمونه دیگری از سردخانه‌های سبب زمینی و پیاز راکه در آن تجهیزات اندازه‌گیری درجه حرارت و رطوبت و جعبه کنترل در آن نشان داده شده، ملاحظه میشود. این انبار کانال آدمرو صرفاً در یکطرف ساختمان قرار دارطالاین جهت ساختمان بهتر است در سمت مقدار باد بیشینه منطقه باشطادر اینحالت دریچه‌های ورودی هوا نیز در همین سمت قرار خواهد داشتطادر طراحی سازه ساختمان وزن محصول در حالت فله و فشار حاصل در کف و دیوارهای جانبی باید مورد توجه قرار گیرطاعایق دیوارهای خارجی بهتر است به نحوی باشد که افت بار برودتی از طریق هدایت پائین باشد، مثلاً ضریب 0.35 الی 0.4 $Kcal/C/m^2$ مناسب استطادر اینجا ذکر این نکته نیز لازم است که برای تأمین شرایط نگهداری خوب میبایست نحوه و طول زمان فرآیند خشک کردن سطح خارجی محصول، نحوه و طول زمان فرآیند ترمیم آن، مقدار افزایش دما در گرمایش و یا کاهش دما در سرمایش مورد توجه قرار گرفته و به آن عمل شوطل



شکل ۱۳۱-۱۶ نمونه یک انبار سبب زمینی و پیاز که در آن احساسگرهای دما و رطوبت، و جعبه کنترل در آن نشان داده شده استط

۱۳-۳-۲: سیلوهای غلات یا حبوبات

غلات و حبوبات نیز مانند دیگر محصولات کشاورزی بعد از برداشت هنوز زنده بوده، و برای زندگی خود به اکسیژن احتیاج دارند. برای افزایش عمر غلات و حبوبات باید نگهداری آنها در سیلوهای با دمای $10^{\circ}C \leq T \leq 12^{\circ}C$ (این مقدار ماگزیمم تا ۱۵ درجه سانتیگراد میتواند افزایش نماید) و رطوبت $RH \leq 65\%$ (در این حالت غلات یا حبوبات دارای رطوبت نسبی ۱۳/۷٪ خواهند بود) باشد. بنابراین در هر اقلیم آب وهوائی کشور که سیلوی غلات یا حبوبات ساخته شود. تأسیسات آن باید این شرایط را تأمین نماید.

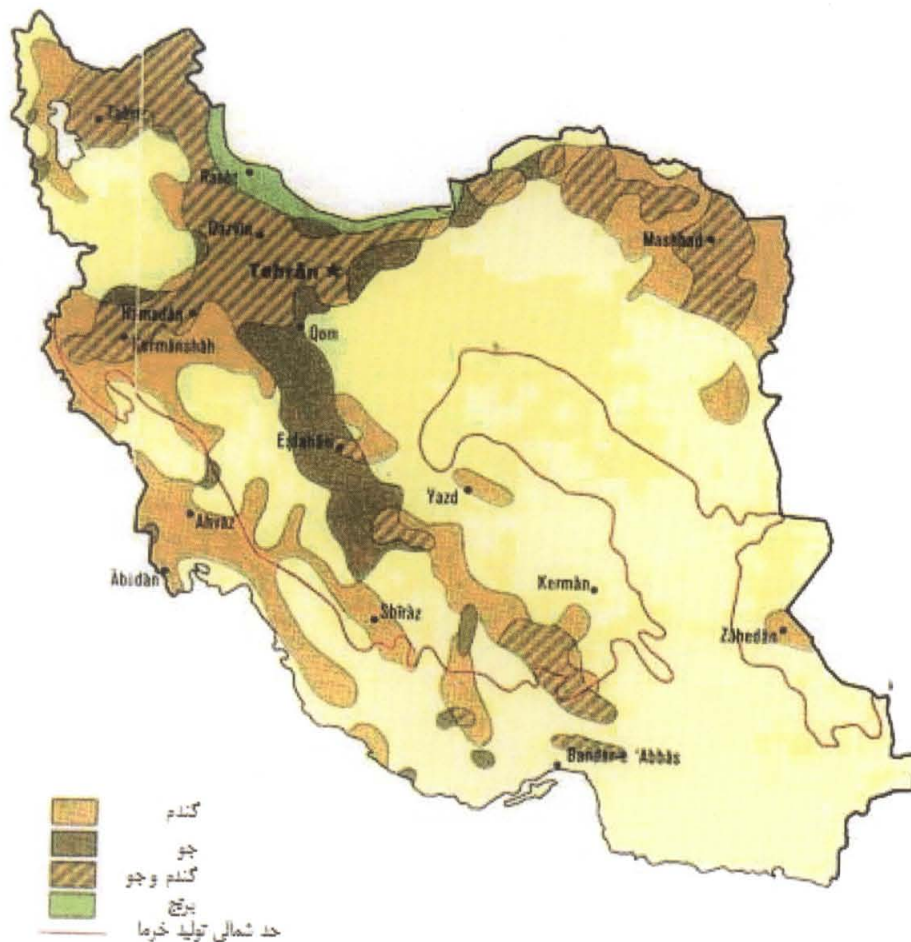
در سیلوه‌ها نیز مانند سردخانه‌ها ویا انبارهای سیب زمینی و پیاز تهویه و گردش هوا نقش اساسی در نگهداری غلات یا حبوبات دارد. مقدار تهویه حداقل باید $60m^3/hr/ton$ باشد. معمولاً هوادهی از کف و از طریق کانالهای فولادی مشبک طراحی شده برای اینکار صورت میگیرد.

برای تخلیه هوای اضافی از هواکشهای طبیعی میتوان در سقف سیلو استفاده نمود، که ضمناً فشار صفر را در داخل سیلو تأمین مینماید. اطلاعات در مورد درجه حرارت و رطوبت در عمق های مختلف سیلو میبایست توسط احساس کننده های متعدد به اطاق کنترل منتقل شده و بعلاوه معمولاً این اطلاعات توسط یک پردازشگر مرکزی تعبیر شده و فرمانهای لازم برای تأمین شرایط داده میشود.

سطوح خارجی سیلوه‌ها همانند آنچه در مورد انبارهای سیب زمینی و پیاز ملاحظه شد، بهتر است دارای ضریب هدایت حرارتی کمتر از: $0.4 Kcal/C/m^2$ باشد تا از افت بار و بخصوص تمرکز رطوبت موضعی در نقاط مرکزی سیلو جلوگیری شود.

با توجه به شرایط آب وهوائی ایران و امکان تولید گندم؛ جو؛ برنج در آن (شکل: ۱۳-۱۷)، سیلوه‌ها بطور پراکنده در مناطق مختلف آن وجود دارد، لذا ذکر نکاتی چند در مورد هوادهی در این سیلوه‌ها که مسئله اصلی را تشکیل میدهد بشرح زیر ضروری است:

الف: در مناطق سرد و خشک، معتدل و خشک و گرم و خشک ایران رطوبت نسبی عمدتاً کمتر از ۶۵٪ بوده و نیاز به رطوبت گیری از دانه ها نبوده و با تغذیه هوا در زمانهای حساب شده و کنترل شده در شبانه روز و سپس گردش این هوا در داخل سیلو میتوان رطوبت حدود ۱۳٪ را در دانه های انبار شده تأمین نمود. بعلاوه اکسیژن لازم را برای تنفس دانه فراهم کرد. زمانهای کنترل شده در شبانه روز ساعاتی عمدتاً در شب است که درجه حرارت $12^{\circ}C$ را در داخل انبار میتوان تأمین نمود، تا دانه نیاز به شدت تنفس کمینه داشته و در نتیجه سلامت و عمرش بیشینه شود.



شکل: ۱۳-۱۷- مناطق تولید گندم، جو، برنج در ایران.

ب: در مناطق معتدل و مرطوب و همچنین گرم و مرطوب با توجه به رطوبت نسبی هوای خارج، سیستم خشک کن برای هوای ورودی به انبار میبایست مورد توجه قرار گیرد تا رطوبت نسبی حداکثر ۶۵٪ را در سیلو تأمین نمود.

نکات فوق بسیار کلی بوده و ذکر این موارد صرفاً برای بیان استفاده از هوای خارج کنترل شده چه از هوای گرم روز به منظور خشک کردن دانه و چه از هوای سرد شب برای تنفس و نگهداری آن در داخل سیلو است.

فصل ۱۴: آب شیرین کن خورشیدی

در سال ۱۸۷۲ اولین بار در شیلی آب شیرین از دریا، به کمک انرژی خورشیدی به مقیاس ۲۰ متر مکعب در روز تولید شد. اصول آب شیرین کن خورشیدی مشابه سیستم تولید آب شیرین در طبیعت است، آبهای تبخیر شده از سطح دریا یا زمینهای مرطوب که به صورت بخار آب جمع می شوند ابرها را به وجود می آورند، در این تبخیر طبیعی مواد جامد از جمله نمک تبخیر نشده و در سطح خاک یا دریا باقی می ماند. امروزه از همین روش در بعضی نقاط برای تولید نمک استفاده می شود. در این روش آب شور را در استخرهای کم عمق جمع و پس از تبخیر طبیعی آب، نمک باقی مانده را جمع می کنند. آب شیرین را می توان با منجمد کردن از آب شور بدست آورد. پس از یخ زدن آب شور، املاح از آب جدا می شود و پس از ذوب یخها آب شیرین بدست می آید.

با توجه به شرایط آب و هوا در مناطق کویری ایران از هر دو روش، یعنی: "انجماد و تبخیر"، میتوان به ترتیب بکمک انرژی برودتی هوای سرد شب و انرژی حرارتی خورشید آب شیرین تولید نمود.

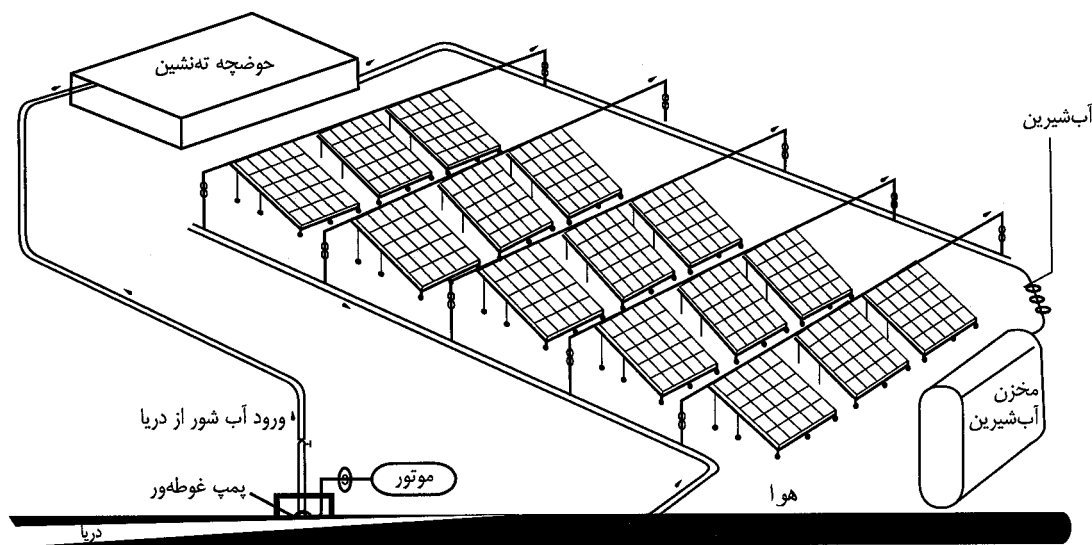
- کمبود آب مهمترین عامل محدود کننده کشاورزی و توسعه صنعتی است. در حقیقت آب عاملی است که بدون آن زندگی و پیشرفت ممکن نیست. در نقاط گرمسیر برای برداشت یک تن یونجه حدود ۷۶۰ متر مکعب آب و برای برداشت یک تن گندم حدود ۸۰۰۰ متر مکعب آب لازم است، همچنین ۳۱۰۰۰ تن آب برای پرورش هر تن گوشت گاو به مصرف می رسد. در صنایع برای تصفیه هر تن بنزین حدود ۲۰ تن آب و برای هر تن فولاد حدود ۲۰۰ تن آب و برای هر تن لاستیک حدود ۲۵۰۰ تن آب لازم است.

مقدار آب لازم برای هر فرد در نقاط مختلف دنیا متفاوت بوده و به ۹۰۰ تن در سال در کشورهای کشاورزی مثل کشور ما ایران و حدود ۲۷۰۰ تن در سال در کشورهای کاملاً صنعتی می رسد. از این مقدار تنها ۵/۰ تن آن به مصرف آشامیدن می رسد ۲۰۰ تن مصرف خانگی و بقیه کاملاً به مصرف کشاورزی و صنعتی می رسد. کلیه مصارف کشاورزی و خانگی و قسمت اعظم مصارف صنعتی از آب شیرین (آب بدون املاح) تأمین می شود.

در بعضی مناطق انرژی خورشیدی تنها امید برای تهیه آب مناسب و ارزان قیمت می باشد، با وجود این در بین روشهای مختلف تولید آب شیرین تنها روش تقطیری به اندازه کافی پیشرفت کرده است. در این فصل مهمترین روشهای تولید آب شیرین با استفاده از انرژی خورشید، و رابطه تعادل انرژی در تولید آب شیرین مورد توجه قرار میگیرد.

الف: روش تقطیری

از تقطیر آب شور یا آب دریا می توان آب شیرین تهیه کرد (شکل ۱۴-۱). تابش خورشید به آب آنرا گرم کرده و با افزایش دما، آب از سطح ظرف آب تبخیر شده و املاح باقی میماند. بخار تولید شده را می توان بطرق مختلف سرد و با تقطیر آن، آب تولید نمود.



شکل (۱۴-۱) - سیستم آب شیرین کن خورشیدی بروش تقطیری

ب: روش تبرید

آب شیرین را می‌توان با منجمد کردن از آب شور بدست آورد. پس از یخ زدن آب، املاح از آن جدا شده و با ذوب یخها آب شیرین بدست می‌آید. از انرژی ورودی هوای سرد شب برای تبرید و تولید یخ و از انرژی خورشید برای ذوب یخ میتوان استفاده نمود.

ج: روش اسمزی

آب شور پس از عبور از غشایی که مانع حرکت املاح موجود در آن می‌شود، املاح خود را از دست داده و به آب شیرین تبدیل می‌شود. انرژی خورشیدی با تبدیل به انرژی مکانیکی میتواند نیروی لازم برای تحقق این فرآیند را ایجاد نماید.

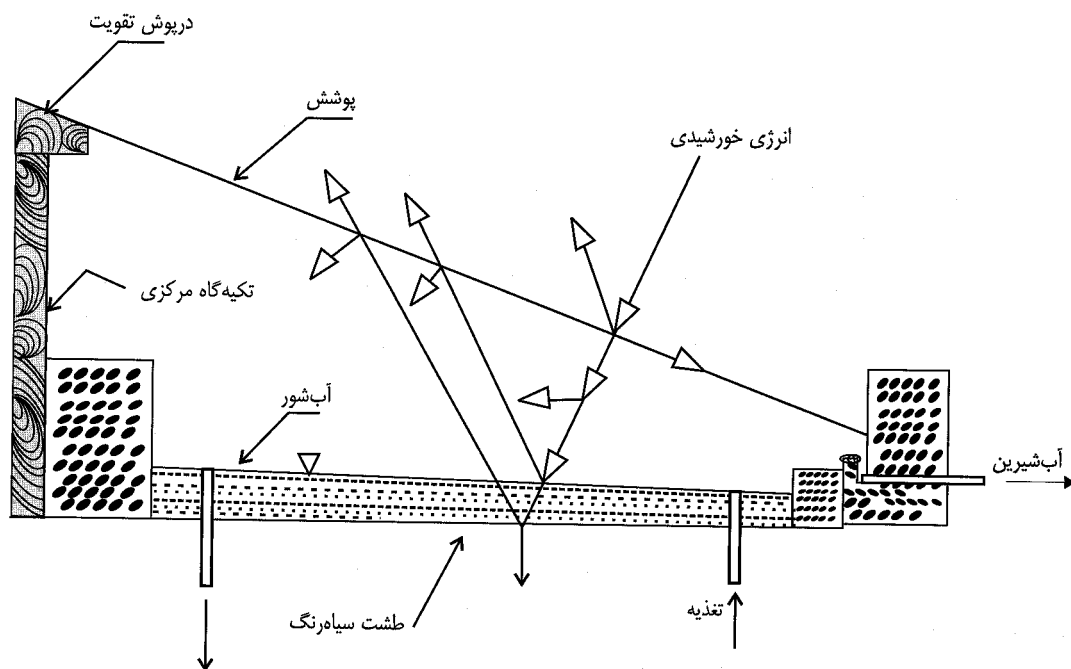
د: روش الکترولیز

در این روش با بهره‌گیری از یک جریان الکتریکی یونهای نمک را از آب شور جدا کرده و با عبور دادن آب شور از یک جاذب، املاح آن گرفته میشود. در این فرآیند می‌توان از انرژی الکتریکی که از انرژی خورشیدی بدست آمده استفاده کرد.

در بخش بعد تولید آب شیرین به روش تقطیر که عمومی‌ترین روش تهیه آب شیرین می‌باشد مورد بررسی دقیق‌تر قرار می‌گیرد.

۱-۱۴- تولید آب شیرین به روش تقطیر

در سیستم تقطیری آب شور را به ظرف کم عمقی که کاملاً درز بندی شده و با هوای خارج ارتباطی ندارد وارد می کنیم. آب شیرین کن خورشیدی نیز مانند گردآور سطح خورشیدی با پوشش شفافى مانند ورقه شیشه یا پلاستیک پوشیده میشود. تابش خورشید از این لایه عبور نموده و انرژی وارده در آب شیرین کن با آب داخل آن برخورد نمود و آن را گرم می کند، لایه شفاف انعکاس تابش را کاهش داده و از خروج امواج مادون قرمز، و افت حرارت از طریق جابجایی جلوگیری میکند. بدین ترتیب انرژی خورشید در آب شیرین کن محصور شده، موجب تبخیر آب و بالا رفتن میزان بخار آب هوای محصور در آب شیرین کن می شود. در این حالت املاح و نمک موجود در آب در حوضچه باقی میماند (شکل ۱۴-۲). بتدریج که رطوبت در آب شیرین کن بالا می رود بخار آب روی پوشش شفاف تقطیر شده و آب شیرین بسوی محل جمع آوری آب در انتهای پوشش حرکت می کند.



شکل (۱۴-۲) - مثالی از آب شیرین کن و تعادل انرژی

مهمترین عامل در سیستم آب شیرین کن تقطیری شدت نور خورشید است و مقدار تولید آب شیرین ϕ_s (برحسب کیلوگرم برای هر متر مربع در روز) با رابطه زیر بدست می آید :

$$\phi_s = Q_e / L$$

در این رابطه Q_e (W/m^2) عبارت از مقدار انرژی خورشیدی مصرفی برای تبخیر و L ($W.day/kg$) عبارت از حرارت تبخیر آب است. اما با قرار دادن :

$$L = 2/43 \times 10^6 \text{ J/kg} \cong 28/1 \text{ W.day/kg}$$

و انرژی خورشیدی کل دریافتی معادل Q_T در رابطه فوق مقدار تولید آب شیرین عبارت است از:

$$\phi_s = 3/55 \times 10^{-2} n_e Q_T$$

درحالیکه $n_e = Q_e/Q_T$ عبارت از راندمان تبخیر می‌باشد. این راندمان فاکتور اصلی در تعیین بازدهی آب شیرین‌کن خورشیدی بوده و مقدار آن باید حتی المقدور به یک نزدیک باشد. برای بالا بردن شدت تشعشع می‌توان از گردآورهای متمرکز کننده استفاده کرد، اما این کار هزینه تولید آب شیرین را افزایش می‌دهد. آب شیرین‌کن های تقطیری را به دو گروه:

الف: یک مرحله‌ای

ب: چند مرحله ای میتوان تقسیم نمود.

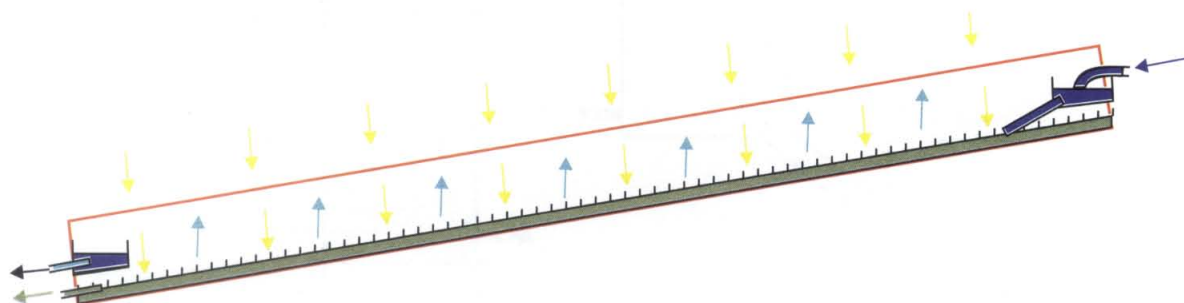
برای جذب حداکثر انرژی خورشیدی مواد مصرفی متنوعی در ساخت آب شیرین‌کن خورشیدی بکار می‌رود، همانطور که در شکل ۱۴-۲ نشان داده شده است قسمتی از تشعشع خورشید از طریق انعکاس و جذب بوسیله پوشش و سطح قاعده آب شیرین‌کن و قسمتی دیگر نیز از طریق جابجایی در فضای بین پوشش و آب شور به هدر می‌رود، برای کاهش این افتهای حرارتی، الف: پوشش آب شیرین‌کن تقطیری باید نازک و کاملاً هادی اشعه خورشید باشد، ب: از تشکیل بلور نمک در کف آب شیرین‌کن جلوگیری شود، ج: فاصله بین پوشش آب شیرین‌کن و سطح آب شور حداقل باشد، د: سطح قاعده حوضچه آب شور سیاه رنگ بوده و کاملاً آب بندی شده و هیچ ارتباطی با هوای خارج نداشته باشد.

بعلاوه عواملی چون درجه حرارت محیط خارج، سرعت باد، مقدار باران و درجه حرارت آب ورودی در مقدار بازدهی آب شیرین‌کن مؤثر می‌باشند.

طرح بهینه برای یک آب شیرین‌کن براساس ملاحظات مهندسی و اقتصادی تهیه می‌شود، مثلاً مواد مصرفی باید از طرفی ارزان و در دسترس بوده و از طرف دیگر در مقابل خوردگی املاح مقاوم و قابل آب بندی باشند. بهترین پوشش برای آب شیرین‌کن صفحه شیشه ای به ضخامت ۳ میلیمتر است، هرچند که صفحات پلاستیکی متنوعی نیز قابل استفاده است. پوشش معمولاً باید دارای شیب باشد که جریان یابی قطرات تقطیر شده آب را به آرامی امکان پذیر کند، مقدار بهینه این زاویه بین ۱۰ تا ۲۰ درجه ذکر شده است. عایق نمودن حرارتی حوضچه آب شور به اندازه ۳۰ درصد در مقدار تولید آب شیرین مؤثر است. با وجود اینکه عمق حوضچه آب شور باید بسیار کم باشد ولی عملاً دارای حدی است (حدود ۴/۵ سانتیمتر) تا از ایجاد نقاط خشک جلوگیری شود و بالاخره نباید فراموش کرد که پاکیزه بودن سطح پوشش و کف حوضچه در بازدهی آب شیرین‌کن مؤثر می‌باشد.

۱۴-۱-۱: آب شیرین کن های تقطیری یک مرحله‌ای

آب شیرین کن های یک مرحله ای دارای انواع مختلفی است. عنوان "یک مرحله ای" به این گروه بدان علت است که در این سیستم آب شیرین در یک مرحله تولید میشود. این نوع آبشیرین کن برحسب شکل و نوع پوشش انواع مختلفی دارد. معروفترین نوع در این گروه، آب شیرین کن چند حوضچه (شکل: ۱۴-۳) با انحراف نسبت به سطح افق است.

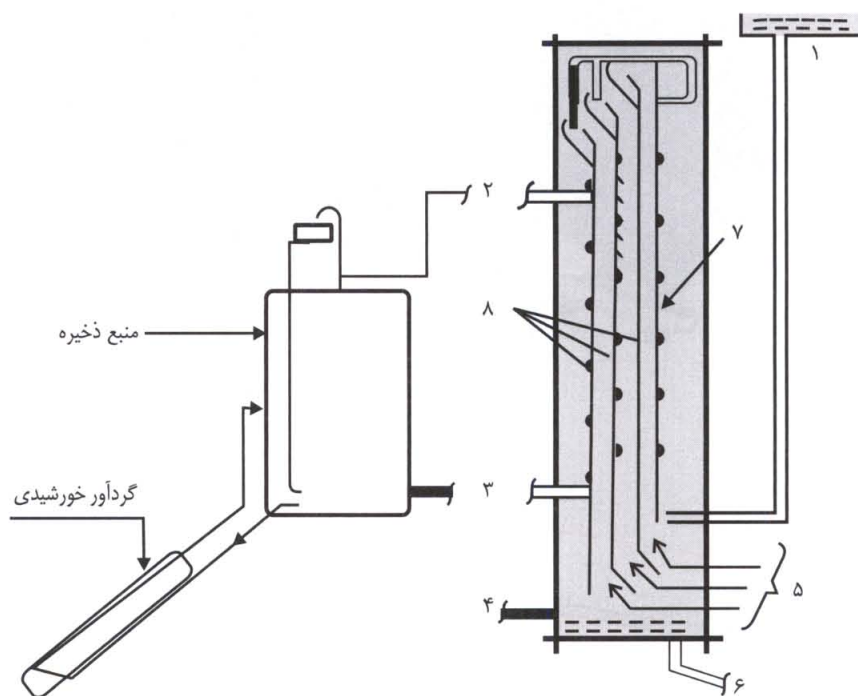


شکل: ۱۴-۳: آب شیرین کن چند حوضچه با انحراف نسبت به سطح افق

۱۴-۱-۲- آب شیرین کن های تقطیری چند مرحله‌ای:

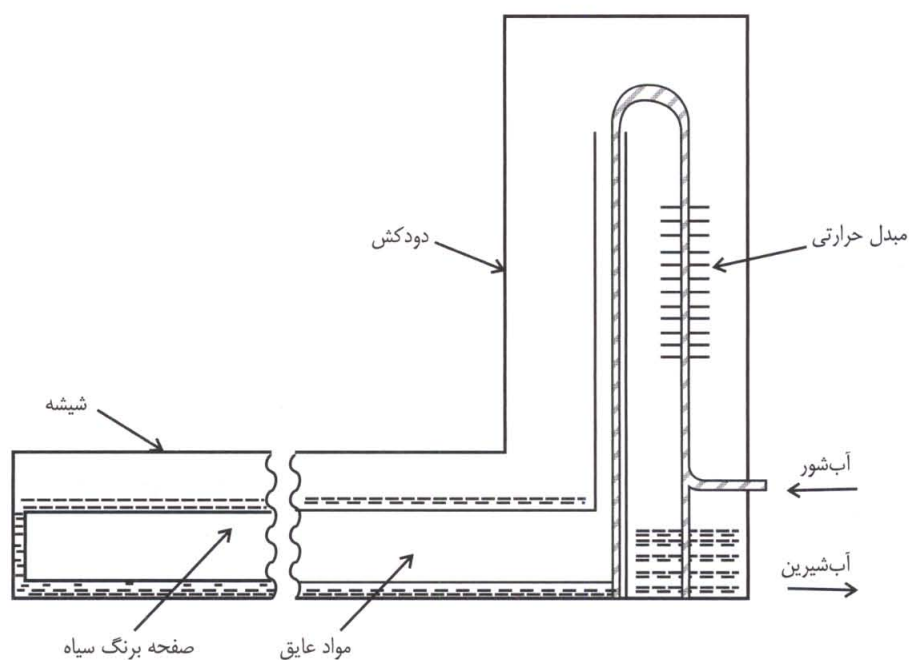
آب شیرین کن های نوع حوضچه ای در ظرفیت های بالا نمی توانند از نظر اقتصادی با آب شیرین کن های تقطیری چند مرحله ای که از انرژی خورشیدی، سوخت فسیلی یا سوخت اتمی استفاده می کنند رقابت کنند، زیرا در حالی که در آب شیرین کن های چند مرحله ای برای تولید یک کیلوگرم آب شیرین به ۳۰ کیلوکالری نیاز است، آب شیرین کن های حوضچه‌ای برای تولید همان مقدار آب شیرین به ۱۰۰۰ کیلوکالری احتیاج دارند و دلیل این اختلاف فاحش در آن است که در آب شیرین کن حوضچه ای حرارت تقطیر به هدر رفته و آب شور و آب شیرین در درجه حرارت بالا از دستگاه خارج می شوند. بطوریکه حداکثر آب شیرین تولیدی از هر متر مربع سطح دستگاه روزانه حدود ۷ کیلوگرم است. این محدودیت موجب شده است که آبشیرین کن چند مرحله ای خورشیدی جای آب شیرین کن یک مرحله ای خورشیدی را بگیرد. یکی از انواع آب شیرین کن‌های چند مرحله ای خورشیدی آب شیرین کن از نوع دیفوزیون^۱ است. این دستگاه از صفحات موازی که در یک جعبه حاوی گاز بی اثر نصب شده اند تشکیل می شود، مکانیزم عمل این سیستم بدین ترتیب است که آب شور (شکل ۱۴-۴) از قسمت بالایی صفحات به داخل محفظه وارد می شود، روی دیگر این صفحات بوسیله آبگرم تولید شده توسط گردآور خورشیدی گرم می شود و هنگامی که آب شور از پشت این صفحه عبور داده می شود قسمتی از آن بخار شده و در سطح صفحه مقابل تقطیر می شود. در این سیستم حرارت ناشی از تقطیر برای صفحه بعدی به عنوان منبع گرمازا عمل می کند.

- نمونه دیگری از این نوع آب شیرین کن مدل دودکشی است



شکل (۱۴-۴) - آب شیرین کن نوع دیفوزیون:

۱- ورود آب شور ۲- ورود آب گرم گرددآور ۳- خروجی به مخزن آبگرم ۴- ورودی هیدروژن
۵- آب شیرین ۶- آب شور ۷- تقطیر کننده ۸- صفحات موازی

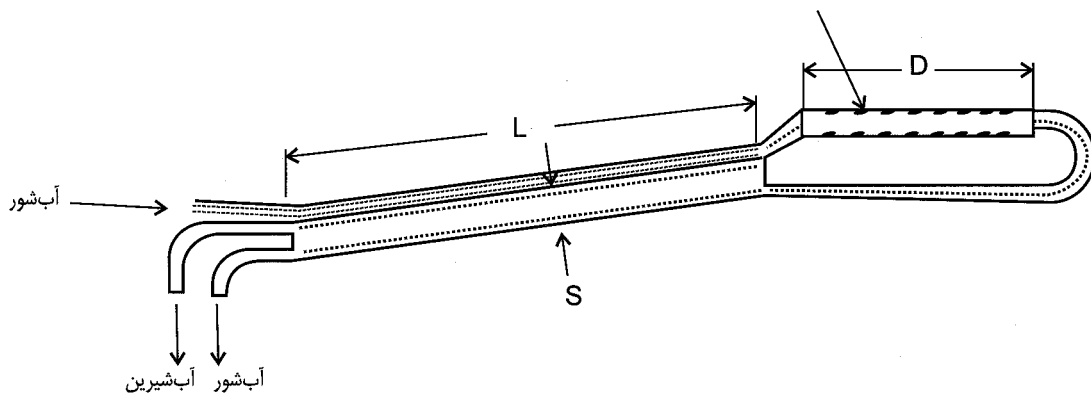


شکل (۱۴-۵) - آب شیرین کن از نوع دودکش

شکل (۱۴-۵) این نوع آب شیرین کن را که با شیشه پوشیده شده و بر روی صفحه قاعده سیاه‌رنگ آن، آب شور جریان دارد را نشان می‌دهد. ابعاد دستگاه باید به شکلی باشد که انرژی ماگزیم را جذب نماید. انتهای دستگاه به شکل دودکش ساخته می‌شود و در این قسمت بخار تحت تأثیر جابجایی طبیعی به حرکت در آمده و در مجاور مبدل حرارتی، تقطیر شده و حرارت پس داده شده آب شور ورودی را گرم می‌کند. (بعنوان پیش گرم کن).

آب شیرین کن از نوع پیشانی گرم

این نوع آب شیرین کن براساس جداسازی گردآور از تبخیر کننده مطابق شکل ۱۴-۶ ساخته می‌شود. مکانیزم عمل بدین ترتیب است که آب شور و آب شیرین با درجه حرارتی مشابه درجه حرارت آب شور ورودی خارج می‌شوند. تبخیر کننده دستگاه از سه صفحه تشکیل می‌شود، آب شور در لوله‌های متصل به صفحه دوم سمت بالا جریان یافته و آب شیرین در قسمت پایین صفحه دوم بسوی پایین جریان می‌یابد. آب شور پس از عبور از گردآور خورشیدی روی صفحه سوم جریان می‌یابد. به منظور کاهش سرعت آب شور برای جذب بهتر حرارت و جلوگیری از ریزش آب شیرین، صفحه سوم و قسمت تحتانی صفحه دوم مجهز به شبکه‌ای با تور فلزی می‌شوند.



شکل (۱۴-۶) - آب شیرین کن با پیشانی گرم

عمل تقطیر در زیر صفحه آب شور ورودی به گردآور و در روی شبکه تور فلزی انجام می‌شود. لذا حرارت پس داده شده در عمل تقطیر زیر صفحه دوم نقش یک پیش گرمکن را برای آب شور ورودی به گردآور خورشیدی در روی صفحه دوم دارد.

تجهیزات یک سیستم تقطیری چند مرحله‌ای

در این بخش تجهیزات یک سیستم تقطیری چند مرحله‌ای را که در آن آب تحت فشار بکمک گردآورهای متمرکز کننده خطی و مبدل حرارتی گرم میشود را مورد توجه قرار میدهم. بدین ترتیب آب شور پمپ شده به علت بالا بودن فشار پمپاژ میتواند دمائی بیش از ۱۰۰ درجه سانتیگراد داشته باشد.

همانطور که در شکل: ۷-۱۴ دیده می شود آب دریا بعد از گرم شدن در مبدل حرارتی، به اولین محفظه تبخیر در سیستم تبخیر پاشیده شده و قسمتی از آن به محض ورود به محفظه با فشار پایین تبخیر شده و در عین حال موجب گرم شدن لوله انتقال آب شور از دریا به مبدل حرارتی آب شور می شود. فرآیند عبور آب از محفظه اولیه به محفظه ثانویه به کمک شیرهای تعبیه شده ادامه یافته و هر بار آب شور، شورتر شده و در مقابل بر مقدار آب شیرین اضافه می شود. در آخرین محفظه آب شور تولید شده به خارج سیستم هدایت می شود.

عواملی که در این سیستم باید کنترل شوند عبارتند از:

الف: کنترل فشار در گرمکن آب شور.

ب: کنترل خلوص آب شیرین تولید شده.

ج: کنترل سطح آب شور و آب شیرین در محفظه نهایی:

تجهیزات اصلی سیستم عبارتند از:

الف: واحد تبخیر آب دریا.

ب: گرم کننده آب شور.

ج: پمپ های مایع و موتورهای مربوطه در مدار که عبارتند از:

۱- پمپ مکش آب شور دریا.

۲- پمپ آب شیرین.

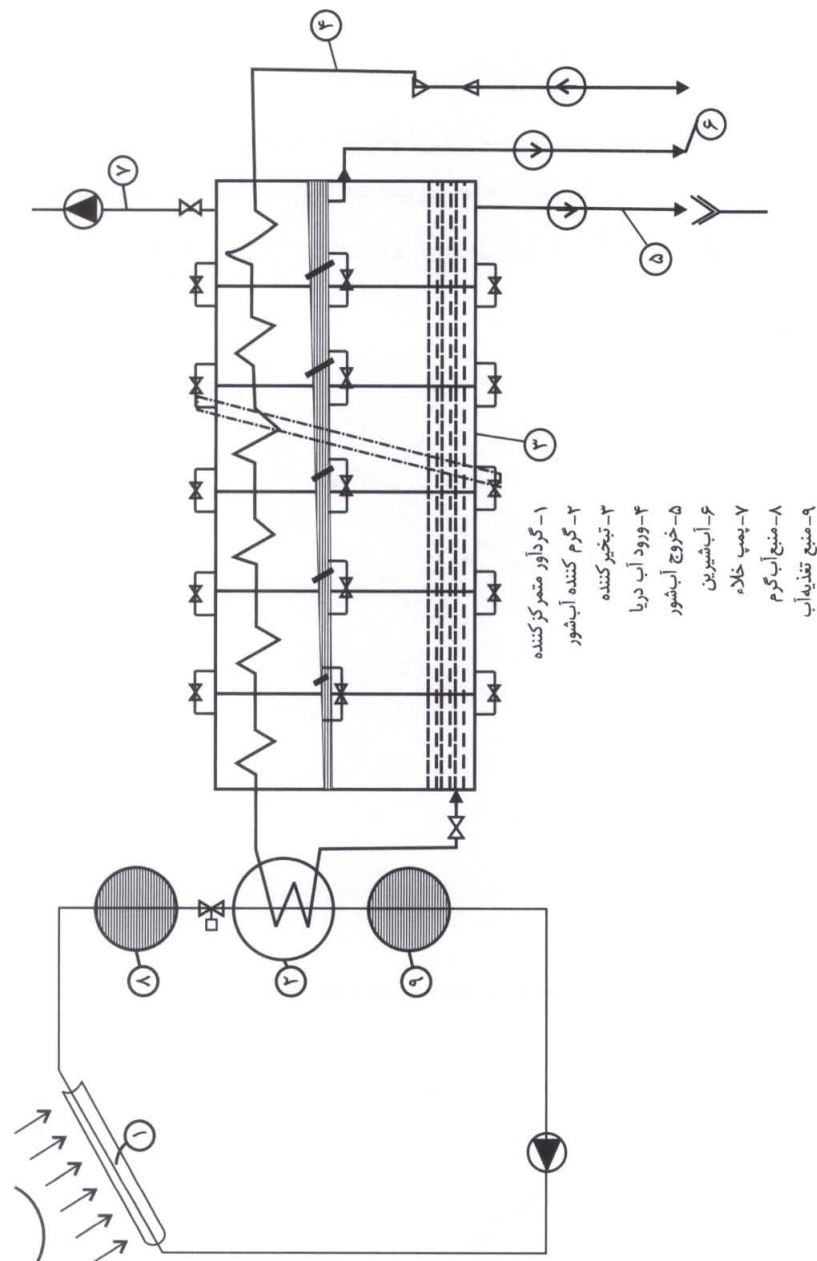
۳- پمپ تخلیه آب شور.

۴- پمپ افزایش مواد شیمیایی به آب.

د: پمپ خلاء واحد تبخیر.

ن: تجهیزات لوله کشی.

و: تابلوی کنترل و تجهیزات کنترل.



شکل (۱۴-۷)- مدار سیستم آب شیرین کن خورشیدی، با استفاده از گردآورهای متمرکز کننده

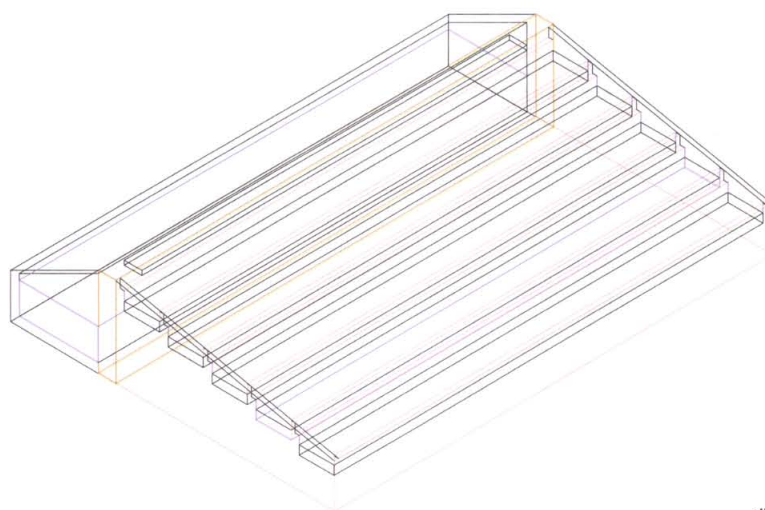
۱۴-۱-۳- سیستم آب شیرین کن های دوکاره (هیبرید)

اگر انرژی خورشیدی توام با سوخت فسیلی بکار گرفته شود تولید آب شیرین بسیار با صرفه خواهد بود. اگر تأسیسات تولید آب شیرین با استفاده های دیگری همراه باشد سیستم را دوکاره نامیده و در این صورت جنبه اقتصادی سیستم بیشتر شده و هزینه تولید به میزان زیادی کاهش می یابد.

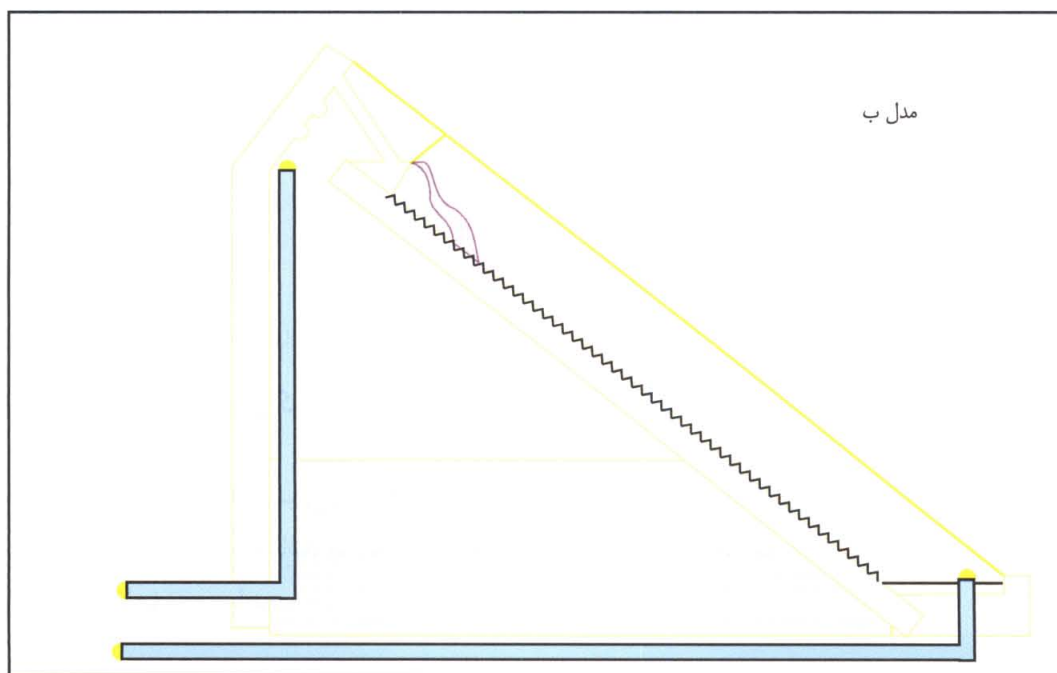
مثلاً هنگامی که تولید آب شیرین با تولید الکتریسیته و یا با ایجاد فضای سبز همراه است هزینه تولید آب شیرین به مقدار قابل ملاحظه ای کاهش می یابد.

۱۴-۱-۴- آب شیرین کن های لوت

آب شیرین کن لوت (آب شیرین کن پیشنهادی مولف) که نام آن از "کویر لوت" ایران گرفته شده است، این آب شیرین کن با مصالح بنائی (شکل ۱۴-۸) و برای ظرفیت بالای تولید آب شیرین ساخته میشود. از این آبشیرین کن میتوان برای طرح کویر سبز که در فصل: ۱۶ تشریح میشود، استفاده نمود. بازدهی این آبشیرین کن در مناطق کویری بعلت تغییرات زیاد دما در شبانه روز بهینه خواهد بود.

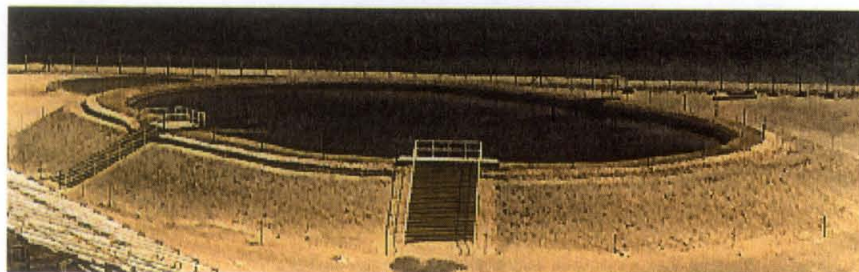
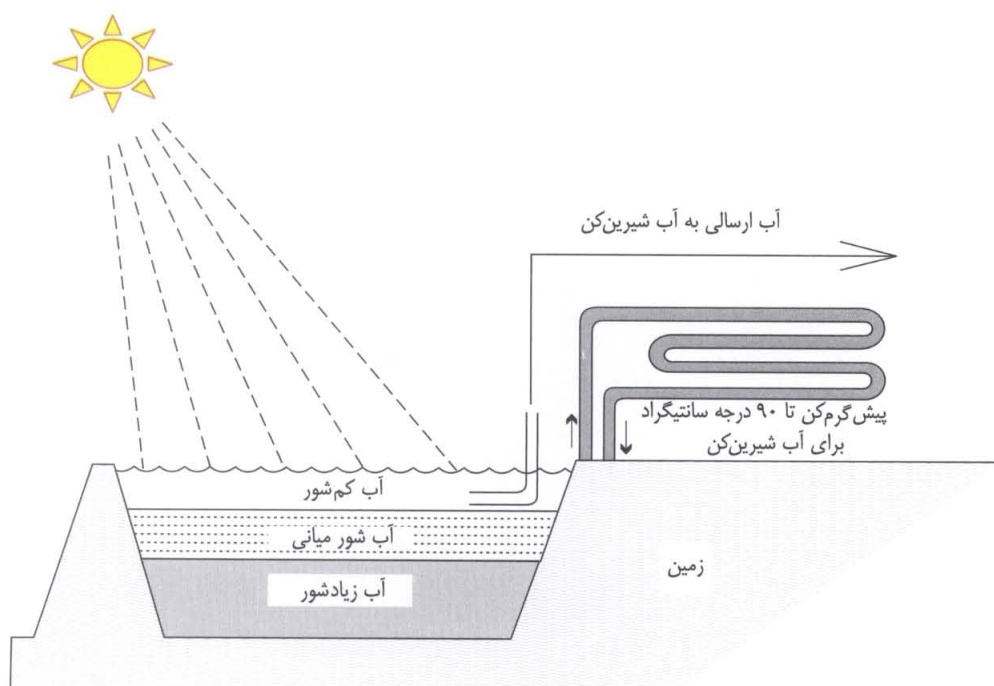


مدل الف



شکل (۱۴-۸)- سیستم آب شیرین کن خورشیدی، با استفاده از مصالح بنائی

برای این آبشیرین کن از پیش گرمکن نشان داده شده در شکل ۹-۱۴ (مشابه سیستم تولید انرژی ملاحظه شده در شکل: ۶-۷ در فصل ۶) استفاده میشود. آب ورودی به آب شیرین کن نیز دارای شوری کمی خواهد بود.



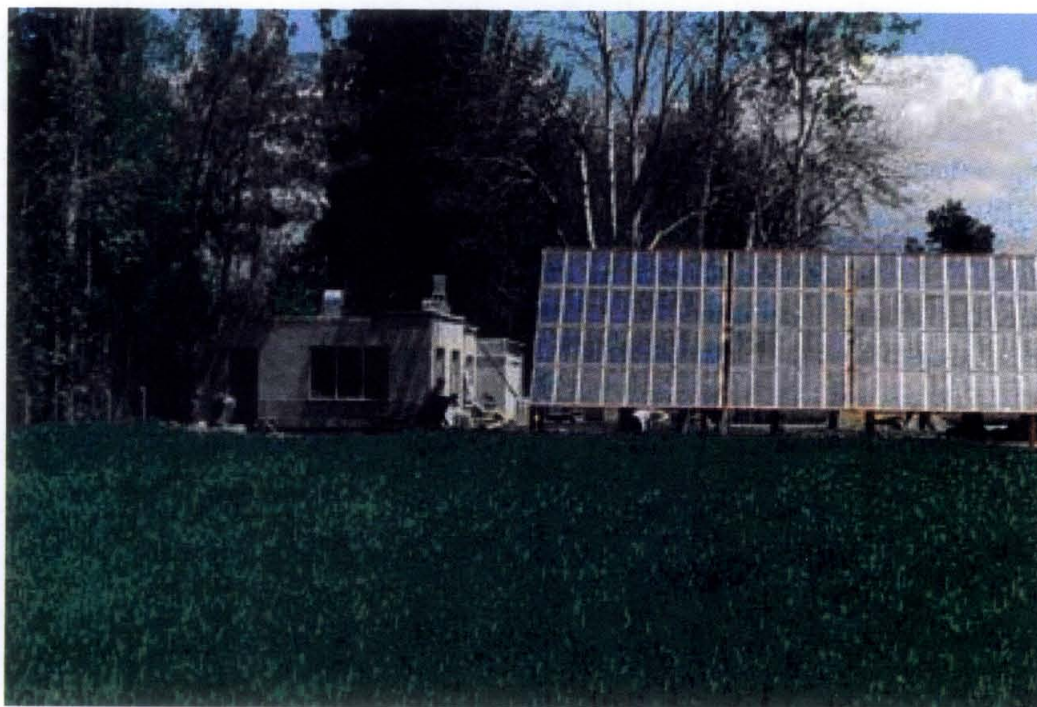
شکل (۹-۱۴) - حوضچه آب ورودی به پیش گرمکن آب شیرین کن و همچنین تغذیه آبشیرین کن.

فصل ۱۵ : موتور خورشیدی

با توجه به آبادیهای فراوان و پراکنده در ایران، نیاز به سیستمهای تولید انرژی در مقیاس کوچک زیاد است. خوشبختانه منابع غنی گاز در کشور و امکان استفاده از میکروتوربین های گازی (که در فصل ۱۶ بعنوان سیستمهای کمکی شرح مختصری از آن ملاحظه خواهد شد) امکان تولید انرژی را فراهم میکند، ولی بهتر است جز بعنوان انرژی کمکی و اضطراری در مصرف گاز صرفه جوئی نمود. باتوجه به شدت تابش خورشید در اکثر مناطق ایران، اگر انرژی الکتریکی با بازدهی معادل ۱۰٪ (راندمانی خوش بینانه ولی ممکن) تولید شود، در یک سطح معادل ۱۰ متر مربع می توان حدود ۱/۳۶ اسب بخار (H.P) و یا یک کیلو وات الکتریسیته در زمان تابش خورشید تولید کرد. برای بهره گیری از این انرژی بطور مداوم، می بایست منابع ذخیره الکتریکی با هزینه زیاد تهیه کرد، بنابراین اگر انرژی تولیدی همزمان به مصرف برسد، هزینه ذخیره سازی صرفه جوئی میشود. اگر انرژی تولید شده در ۸ ساعت روز در ۲۴ ساعت شبانه روز مصرف شود، قدرت مؤثر تولید شده معادل ۲۴ : ۸ یا معادل ۰/۳۳ کیلووات برای هر ۱۰ متر مربع خواهد بود. موتور خورشیدی را به دو گروه اصلی، به ترتیب موتور الکتریکی خورشیدی و موتور حرارت خورشیدی میتوان تقسیم نمود. در این فصل شرح و نحوه کاربری هر یک ملاحظه میشود.

۱۵-۱- موتور الکتریکی خورشیدی

در یک تلمبه خانه فتو ولتائیک (شکل: ۱۵-۱) پنلهای خورشیدی مستقیماً انرژی تابشی را به انرژی الکتریکی مورد نیاز موتورپمپ تبدیل میکنند. در تهران کارخانه فیبر نوری این پنلها را میسازد.



شکل : ۱۵-۱: تلمبه خانه فتو ولتائیک در مهر شهر کرج

این پنلها با نام مدول خورشیدی ۳۶/۴۵ قابلیت تولید انرژی حدود ۴۵ وات را دارند سطح این مدولها تقریباً ۰/۵ متر مربع است.

شرایط نرمال کار پنلها در حدود مقادیر زیر است :

شدت تابش 800 W/m^2

درجه حرارت محیط ۲۰ درجه سانتیگراد

درجه حرارت سلولهای فتوولتائیک ۴۷ درجه سانتیگراد

سرعت باد 1 m/Sec

ترتیب قرارگیری پنل ها باید بنحوی باشد که حداکثر صرفه جویی در میزان زمین بکاررفته ولی در عین حال پنلها بر روی یکدیگر سایه نیندازند . زاویه پانل های خورشیدی نسبت به سطح افق ثابت و معمولاً برابر عرض جغرافیایی محل در نظر گرفته میشود. با در دست داشتن کیلووات مورد نیاز تلمبه خانه میتوان تعداد کل مدولهای (n) مورد نیاز را از رابطه زیر محاسبه نمود :

$$P = np / 1000 \quad (1-15)$$

در رابطه فوق P قدرت الکتریکی مورد نیاز موتورپمپ بر حسب کیلووات است و از طرف دیگر p توان مدول برحسب وات که سازنده مدول آنرا در مشخصات همراه مدول ارائه میکند . مثلاً p در مدول ۳۶/۴۵ کارخانه فیبر نوری مساوی ۴۵ وات است، در نتیجه در تلمبه خانه مهر شهر کرج با توجه به استفاده از ۴۴ پنل خورشیدی ، قدرت مصرفی موتورپمپ ماکزیمم معادل : کیلووات $P = 44 \times 45 / 1000 = 1/98$ است.

۱۵-۲- موتور حرارتی خورشیدی

در موتورهای حرارتی خورشیدی مانند سایر موتورهای حرارتی ، سیال مبدل در اثر ازدیاد درجه حرارت منبسط شده و در نتیجه کاهش درجه حرارت متراکم می گردد . انبساط آن موجب حرکت یک پیستون در داخل سیلندر و یا گردش یک توربین می شود. معمولاً انرژی مکانیکی به کمک یک دینام با ضریب بهره ۹۰ درصد یا بیشتر به انرژی الکتریکی تبدیل می شود. حد مقدار تئوری راندمان از طریق سیکل کار نو محاسبه می شود که عبارت است از :

$$\text{راندمان} = \frac{W_{\max}}{Q_{T2}} = \frac{T_2 - T_1}{T_2}$$

یعنی بازدهی تبدیل حرارت به کار برابر با کار ماگزیمم (W_{max}) بخش بر حرارت جذب شده در درجه حرارت بالاتر (Q_{T_2})، به عبارت دیگر راندمان برابر با اختلاف درجه حرارت بالای منبع گرم و درجه حرارت پایین منبع سرد (T_1)، تقسیم بر درجه حرارت بالای منبع گرم (T_2) می باشد. محدودیت این راندمان نه تنها در مورد موتور حرارتی بلکه برای کلیه سیستم های حرارتی تولید الکتریسیته یا تولید کار از حرارت صادق است. لذا درجه حرارت ثانویه را باید حتی المقدور افزایش داد. البته افزایش درجه حرارت به علل زیر محدود میشود:

بالاترین درجه حرارت قابل تولید،

افزایش اتلاف حرارت،

قابلیت ایستائی مصالح،

افزایش هزینه مصالح،

پیچیده شدن کار دستگاه

براین اساس موتورهای بخار که اولین موتورهای پیشرفته بوده اند، هنوز در سیستم های بزرگ که از بخار در فشار بالا استفاده می کنند، ارزاترین نوع موتور به حساب می آیند. موتورهای هوای گرم که در سالهای پیش رایج بودند اخیراً مورد توجه و توسعه مجدد قرار گرفته اند. در موتورهای خورشیدی مسائل مربوط به موتور و گردآور خورشیدی توأمأ مطرح بوده و معمولاً گردآورهای خورشیدی گرانتر از موتور آن است. گردآورهای متمرکز کننده، مانند گردآور سهموی مجهز به ردیاب، درجه حرارت بالا تولید نموده و بازدهی بالایی را تولید می کنند. گردآورهای مسطح نیز قادر به بالا بردن درجه حرارت تا ۱۰۰ درجه سانتیگراد بوده و می توانند موتور حرارتی را راه بیاندازند اما راندمان عمل آنها بعلت پایین بودن درجه حرارت بطور نسبی پایین است.

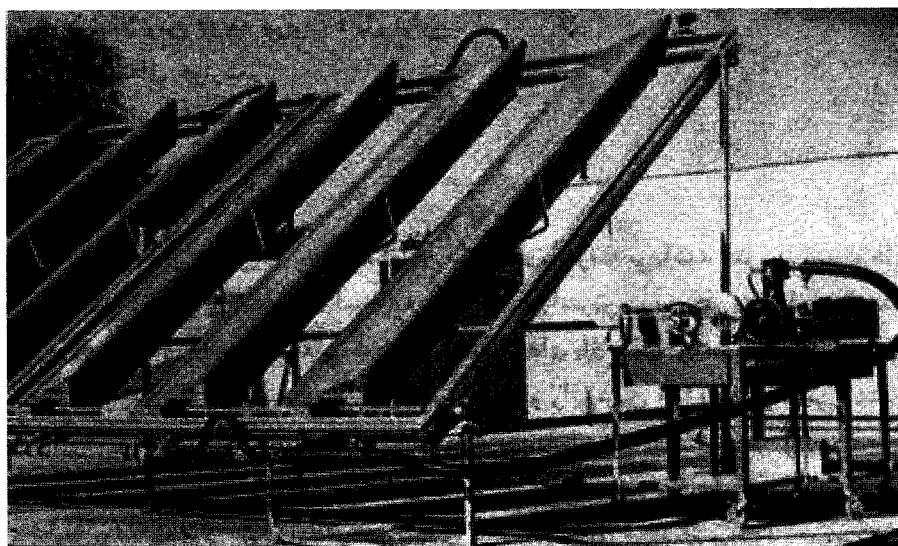
۱۵-۲-۱- کاربرد موتور حرارتی خورشیدی

مهمترین استفاده از موتور حرارتی، پمپاژ آب بدون استفاده از منبع ذخیره الکتریکی است و از اینرو از نظر اقتصادی اهمیت زیادی دارد. موتور حرارتی علاوه بر پمپاژ آب، در صنایع کوچک روستایی مفید بوده و بعلاوه برای ارتباطات، رادیو، تلویزیون و بالاخره قدرتهای مصرفی کم، می توان آن را بکار گرفت. برای مصارفی غیر از پمپاژ آب، برای ذخیره انرژی الکتریکی به باتری نیاز داریم، که هزینه آن را باید بر هزینه سیستم تولید الکتریسیته که معمولاً شامل گردآور متمرکز کننده و موتور حرارتی است اضافه کرد.

۱۵-۲-۲ انواع موتور حرارتی خورشیدی

الف: موتورهای بخار آب خورشیدی

موتورهای بخار آب در ابعاد کوچک از نظر اقتصادی قابل مقایسه با موتورهای احتراق داخلی نبوده و در فشارهای پایین تا ۵ اتمسفر عملاً استفاده از آنها محدود است. لازمه استفاده از این موتورها تولید بخار در فشار بالاست، در شکل ۱۵-۲ الف و ب، از آئینه‌های متمرکز کننده مجهز به مکانیزم ردیاب همراه با یک موتور بخار آب کوچک که یک ژنراتور را به حرکت در می‌آورد استفاده شده است. بطوریکه ملاحظه می‌شود از مکانیزم قرقره‌ها برای بالا بردن دور استفاده شده است. انرژی الکتریکی تولید شده برای به حرکت در آوردن پمپ آب و موتور تنظیم کننده گردآوردها به کار گرفته شده و بخار مستقیماً در گردآوردهای متمرکز کننده تولید می‌شود. در سیستم نشان داده شده، موتور تنظیم گردآوردها انرژی اولیه لازم را از سلول‌های خورشیدی دریافت می‌کند.

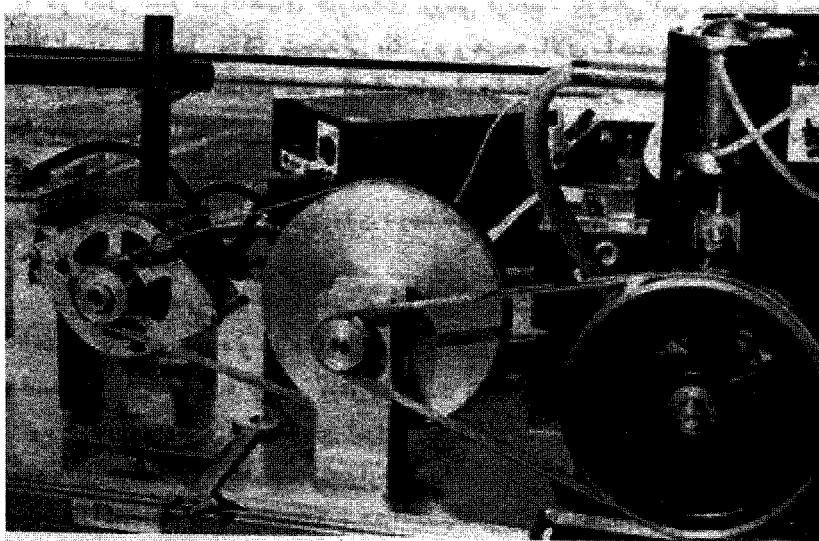


شکل ۱۵-۲ الف: موتور بخار با گردآوردهای متمرکز کننده مجهز به سیستم تعقیب کننده

ب: موتورهای هوای گرم خورشیدی:

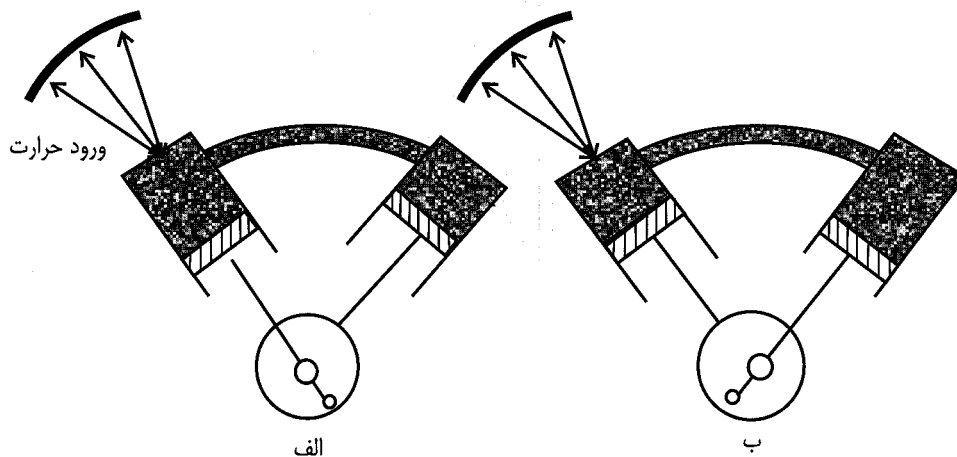
موتور هوای گرم خورشیدی یک موتور ساده است که در آن سیال مبدل هوا است. افزایش دما موجب انبساط هوا و کاهش دما موجب انقباض هوا میشود. در این روند قسمتی از انرژی حرارتی موتور به کار مکانیکی تبدیل می‌شود. هوا در مناطق به وفور وجود داشته و کار با آن مشکلات مربوط به کنترل بخار که در موتورهای بخار پیش می‌آید را در بر ندارد.

اولین موتور هوای گرم برای پرس ماشین چاپ بکار رفت. اما پس از مدتی موتور بخار و احتراق داخلی جای آن را گرفت. موتورهای هوای گرم هرچند بدون صدا و دارای بهره و بازدهی خوبی بوده است، اما مدتها کنار گذاشته شد. اخیراً این نوع موتور دوباره مورد توجه قرار گرفته است.



شکل ۱۵-۲ ب: موتور بخار، قرقره‌های ازدیاد سرعت، ژنراتور و باتری ذخیره انرژی

اصول موتور هوای گرم که برای یک سیکل بسته صادق است در شکل ۱۵-۳ نشان داده شده است. حرارت ناشی از تشعشع خورشید در سیلندر سمت چپ موتور V شکل (شکل ۱۵-۳ الف) موجب انبساط هوا و راندن پیستون به ته سیلندر و حرکت چرخ طیار در جهت عقربه‌های ساعت می‌شود. در این حالت هنگامی که چرخ طیار می‌گردد پیستون سمت راست را به داخل سیلندر سمت راست می‌راند. بدنه موتور با آب و یا با هوا با تعبیه پره‌های فلزی بر سطح آن خنک می‌شود. هنگامی که پیستون سمت چپ در انتهای حالت انبساط بوده و پیستون سمت راست در انتهای حالت انقباض باشد جهت ممتد چرخ طیار عکس می‌شود (شکل ۱۵-۳ ب) در این حالت پیستون سمت راست به سمت خارج سیلندر و پیستون سمت چپ به سمت داخل سیلندر حرکت کرده و هوای گرم تحت فشار پایین را از سیلندر سمت چپ به سمت سیلندر سمت راست یعنی محلی که حرارت به محیط اطراف دفع می‌شود، حرکت می‌دهد. به عبارت دیگر سیلندر سمت چپ که حالت عایق حرارتی پیدا کرده است. به عنوان منبع گرم و سیلندر سمت راست که حرارت را پس می‌دهد به عنوان منبع سرد عمل میکنند.



شکل ۱۵-۳- موتور هوای گرم

قسمتی از حرارت در سیلندر گرم باقی مانده و این حرارت به عنوان پیش گرمکن برای هوای ورودی در نیمه سیکل بعد به کار می‌رود.

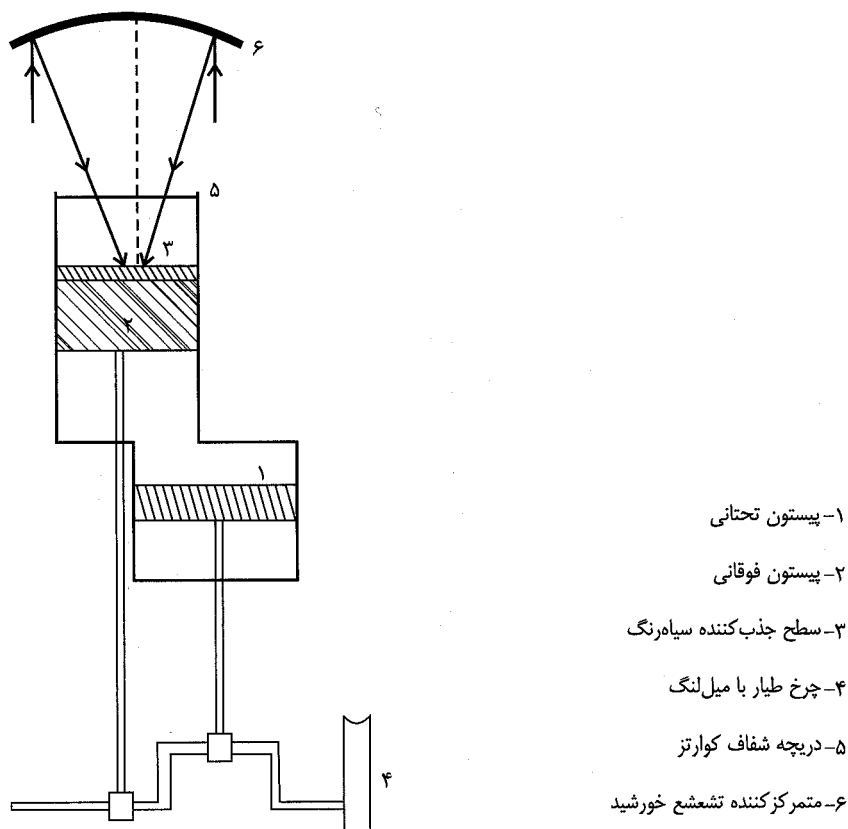
در سیکل بعد هوای گرم مجدداً به وسیله حرارت پیش گرمکن تغذیه شده و سیلندر سمت چپ گرمتر شده و منبسط می‌شود و در هنگام انبساط کار انجام می‌دهد. بطور خلاصه هوا در سیلندر سمت چپ گرم و منبسط شده و در سیلندر سمت راست سرد می‌گردد. بدین ترتیب موتور خورشیدی مستقیماً حرارت را به کار مکانیکی تبدیل مینماید. از این نوع موتور میتوان برای پمپاژ آب در طرح کویر سبز (فصل: ۱۶) استفاده نمود.

سیکل ایده آل کارنو در حالتی که تمامی حرارت بطور ایزوترمال در یک درجه حرارت گرم ثابت وارد سیستم شده و در یک درجه حرارت سرد ثابت (ایزوترمال) در منبع سرد از آن خارج می‌شود صادق است، ولی سیستم موتور بخار آب خورشیدی بدین ترتیب عمل نکرده و فرآیند تغذیه حرارت و تخلیه حرارت ایزوترمال نبوده و در نتیجه بازدهی سیکل موتور بخار آب خورشیدی به مراتب کمتر از بازدهی سیکل کارنو می‌باشد.

در موتور هوا گرم که مشابه سیستم استرلینگ بخشی از حرارت از دست داده شده به عنوان حرارت پیش گرمکن به کار گرفته می‌شود، بازدهی عمل بالا می‌رود. بهمین دلیل موتور هوا گرم نه تنها برای تولید قدرت مکانیکی به کار گرفته می‌شود بلکه برای سرمایش و تولید هوای مایع نیز به کار می‌رود. اخیراً موتورهای هوای گرم با ۳۰ درصد بازدهی ساخته شده‌اند. این موتورها از جهت تعداد سیلندر و ترتیب قرار گرفتن آنها دارای انواع مختلفی است. یکی از فاکتورهای محدود کننده موتورهای هوای گرم محدودیت انتقال حرارت از سر سیلندر به هوای داخل سیلندر میباشد. زیرا سطح سر سیلندر نسبتاً کوچک است.

یکی از طرق انتقال انرژی زیاد به داخل سیلندر استفاده از صفحه شفاف کوارتز به عنوان سرسیلندر می‌باشد تا تابش متمرکز شده خورشید توسط گردآور از آن طریق در داخل سیلندر هوا را گرم نماید. هوای گرم شده توسط آئینه سهموی (۶) پیستون (۱) را به خارج سیلندر می‌راند. نور خورشید از طریق دریچه شفاف کوارتز وارد سیلندر شده و پس از برخورد به سطح سیاه پیستون خلل و فرج دار سخت (۲) آنرا گرم کرده و هوای داخل سیلندر را بهتر گرم مینماید، در نتیجه هوای داخل سیلندر منبسط شده و پیستون شماره (۲) را به سمت پائین حرکت میدهد، در نتیجه پیستون شماره ۱ را به سمت بالا حرکت داده و کار تولید می‌کند. هوا به علت انبساط ضمن انجام کار سرد می‌شود. پیستون از این وضعیت توسط چرخ طیار به سمت بالا حرکت نموده و هوا را منقبض نموده و مجدداً گرم شده و سیکل تکرار میشود.

آب و هوا معمولی ترین سیالات برای به کار انداختن موتورهای حرارتی است. اما برای بالا بردن بازدهی ترمودینامیکی می‌توان از سیالهایی با نقطه جوش بالا مثل جیوه نیز استفاده کرد، در صورتی که برای فرآیندهایی که به کمک گردآورهای مسطح از انرژی خورشیدی بهره می‌گیرند می‌توان از سیالاتی که دارای نقطه جوش پایین هستند مثل سولفور دی اکسید استفاده نمود. برای آنکه سیالی مناسب برای به کار انداختن توربین بخار به کمک انرژی خورشیدی باشد، باید دارای خصوصیات ترمودینامیکی بشرح زیر باشد:



شکل ۱۵-۴: موتور هوای گرم با استفاده از تشعشع خورشید و گردآور متمرکز کننده

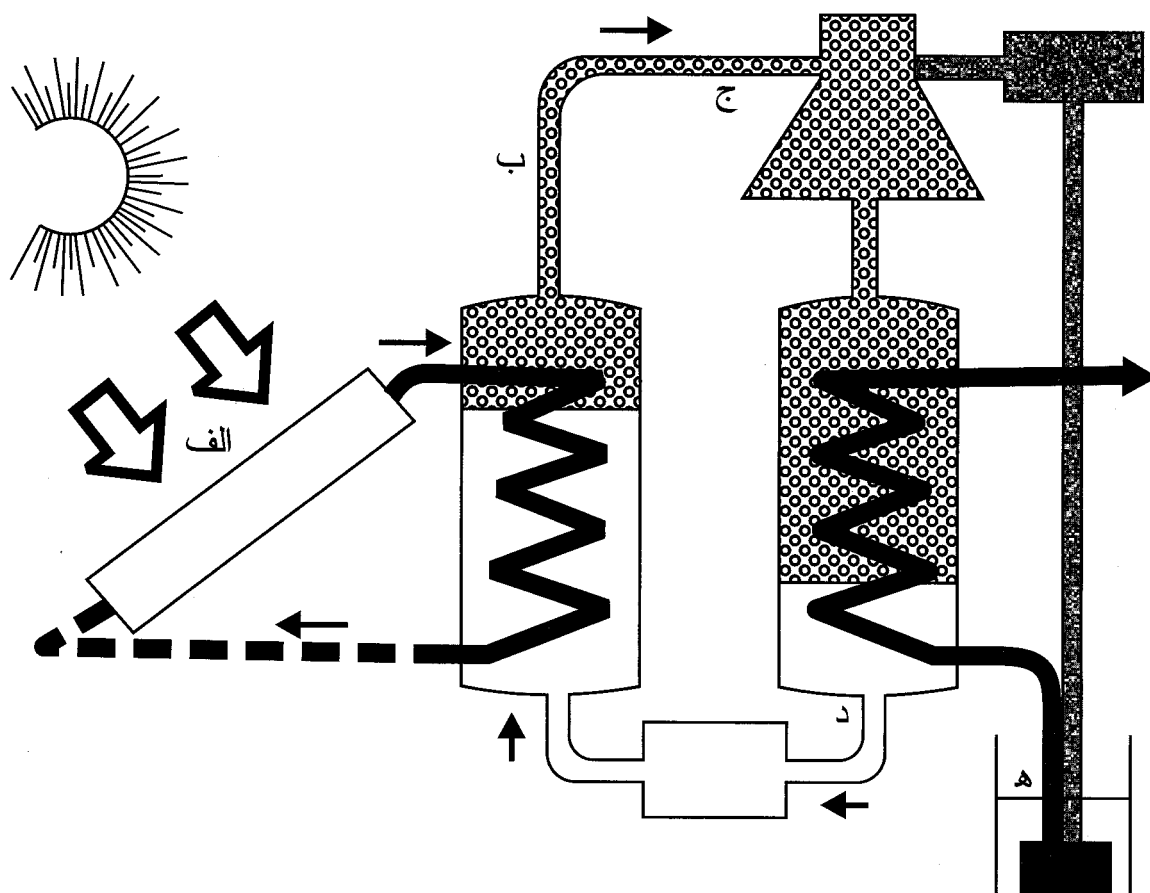
الف: از جهت شیمیایی باید پایدار بوده و خورنده نباشد.

ب: ارزان باشد.

ج: نقطه جوش آن باید بالاتر از ۱۰۰ درجه و کمتر از ۱۵۰ درجه سانتیگراد باشد.

د: جرم ملکولی باید بالاتر از ۱۰۰ باشد تا موجب بالا بردن انرژی سینتیک سیال شود.

ه: نمودار تغییرات آنتروپی بر حسب درجه حرارت سیال باید نمایشگر راندمان بالای آن باشد، چنین خصوصیاتی در منوکلروبنزن (C_6H_5Cl) جمع است. منوکلروبنزن به عنوان بهترین سیال برای موتورهای توربینی کوچک شناخته شده است. بخار اشباع منوکلروبنزن در هنگامی که در اثر انبساط خنک می شود تولید قطره نمی کند.



شکل ۱۵-۵: دیاگرام پمپ خورشیدی

اولین بار در سال ۱۹۶۱ یک پمپ خورشیدی به کمک توربین خورشیدی به کار گرفته شد، تصاویر ۶-۱۵ و ۵-۱۵ دو نمونه نمای موتورهای بخار را نشان می‌دهد. در شکل ۵-۱۵ گردش عمل به ترتیب زیر است:

الف: نور خورشید به گردآورها تابیده و سیال داخل گردآور را گرم می‌نماید.

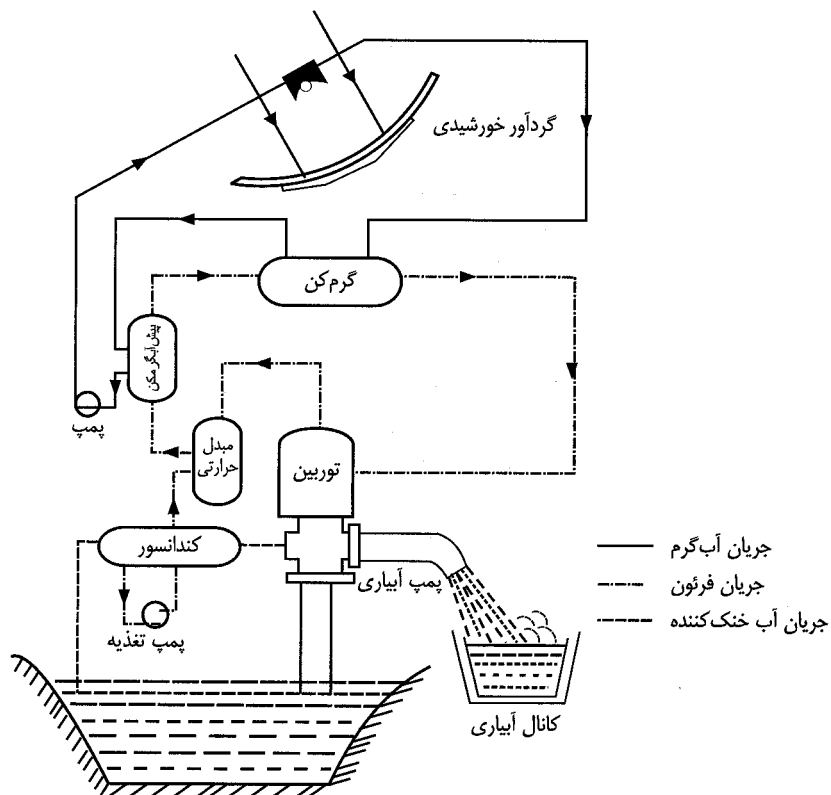
ب: سیال گرم داخل گردآور از طریق مبدل، آب داخل مبدل را گرم می‌کند.

ج: پمپ بوسیله توربین بخار به حرکت در می‌آید.

د: سیال ثانویه بعد از انبساط در تبخیر کننده، در تقطیر کننده به کمک آب خارج شده از چاه خنک می‌شود.

ه: پمپ آب را از چاه بالا می‌کشد.

شکل ۱۵-۶ الف شمای پمپ خورشیدی دیگری را نشان می‌دهد، در این سیستم از یک توربین با ۳۰۰۰۰ دور در دقیقه استفاده شده است. سیال عامل این سیستم، تری کلوروفلوراتان است. شرایط اولیه عبارت است از:



شکل: ۱۵-۶- الف : شماتیک پمپ آبیاری خورشیدی ، نمایشگر قسمت های اصلی و مدارهای جریان

درجه حرارت ورودی به توربین : ۲۸۰ درجه فارنهایت و درجه حرارت کندانسور : ۹۰ درجه فارنهایت و کندانسور بوسیله یک انشعاب از آب پمپ شده خنک می شود . در انتقال دور توربین به پمپ ، تعداد دور در دقیقه از ۳۰۰۰۰ توسط جعبه دنده به ۱۷۶۰ (RRM) در دو مرحله کاهش مییابد . توربین حداکثر ۵۰ اسب بخار قدرت به پمپ آب می دهد ، این قدرت آبدی ۱۰۰۰۰ گالن در دقیقه را برای ارتفاع حدود ۳۰ متر فراهم می آورد (شکل ۱۵-۶ ب).



شکل: ۱۵-۶ ب : گرددآورهای سهموی خطی برای استفاده از پمپ خورشیدی

فصل ۱۶: طرح کویر سبز

۱۶-۱: هدف

هدف از این طرح - آماده کردن مناطق کویری برای برداشت آب شیرین، انرژی و محصولات کشاورزی است. بدیهی است که این طرح با برداشتهای دیگر از جمله ایجاد اشتغال، توسعه تکنولوژی و توسعه ساختمان نیز همراه خواهد بود.

با توجه به شرایط طبیعی ویژه در مناطق گرم و خشک ایران، در این فصل طرحی بنام کویر سبز پیشنهاد میشود. اهمیت مناطق کویری ایران نه صرفاً بعلت دارا بودن بالاترین شدت انرژی خورشید و انرژی باد در ایران است، بلکه به جهت امکان وجود منبع گرم و سرد بطور طبیعی و همزمان در منطقه است. اما چون طرح بسیار عظیم و وسیع یعنی با وسعتی بزرگتر از مثلاً "پروژه دلتا ورک در هلند" است، بنابراین حجم کاری هریک از فازهای آن را میتوان تصور نمود. در پروژه دلتا ورک در هلند نه تنها اکثر مشاوران و پیمانکاران هلندی درگیر بوده اند، بلکه شرکتهای زیاد دیگری از سایر کشورها نیز در اینکار سهم داشته اند. آنچه در اینجا مورد توجه قرار میگیرد، در درجه اول: علل مناسب بودن طبیعت مناطق گرم و خشک کویری ایران برای چنین طرحی و در درجه دوم: اهم پروژه هائی که برای نتیجه بخشی این طرح پیش بینی میشود، خواهد بود.

۱۶-۲: شرایط طبیعی مناسب در مناطق گرم و خشک کویری ایران

الف- تغییرات زیاد دما در طول شبانه روز در این مناطق، امکان بهره گیری همزمان از منابع گرم و سرد را برای تسهیل در تولید انرژی، در تولید آب شیرین، و در تأمین شرایط آسایش در ساختمان را فراهم میآورد،

ب- بالا بودن شدت تابش خورشید در این مناطق، یعنی امکان نسبی استفاده بهتر از انرژی خورشید، از هر متر مربع گردآور خورشیدی،

ج- بالا بودن تعداد ساعات آفتابی در طول سال، یعنی امکان بهره برداری بیشتر از تابش سالیانه خورشید،

ه- منطقه حاوی بادهای مناسب، با سرعت و زمان اقتصادی جهت بهره برداری از توربین های بادی، از جمله بادهای مناسب بادهای شمالی است،

و- وجود فرو رفتگی های مناسب طبیعی زمین با ضریب عدم نفوذپذیری خوب بمنظور ایجاد مخازن طبیعی آب،

ز- امکان استفاده از اختلاف ارتفاع برای استفاده از توربین های کوچک آبی،

ح - امکان ذخیره انرژی با هزینه نسبی کم با پیش بینی مخازن زمینی در ارتفاع در مسیر انتقال آب،

ط- امکان آبرسانی به زمینهای حاصلخیز منطقه، و بازیابی زمینهای غیر حاصلخیز،

ک- دسترسی به انرژی کمکی گاز، و امکان استفاده و توسعه تکنولوژی داخلی میکروتوربین های گازی.

۱۶-۳: مسائل و مشکلات طرح:

الف - آب مصرفی اولیه

ب- سوخت مصرفی کمکی

ج- جریانهای شن روان

ه - راههای ارتباطی

و - منابع مالی اولیه

ز- کارگاههای محلی اولیه

ح - نیروی متخصص محلی اولیه

۱۶-۴: اهم پروژه هائی که در این طرح پیش بینی میشود عبارتند از:

۱۶-۴-۱: پیش بینی حوضچه های مناسب برای ذخیره آب شیرین و آب شور،

۱۶-۴-۲: نیروگاههای بادی برای پمپاژ آب شور و شیرین، و در صورت لزوم ذخیره انرژی بصورت انرژی پتانسیل

۱۶-۴-۳: پیش بینی نحوه استفاده از شنهای کویر و آبشور به ترتیب الف: در ساخت سازه های سنگین برای متوقف کردن شنهای روان، ب: سازه های ذخیره حرارت و ذخیره سرما، ج: سازه های تهیه مخازن کوچک آب شور و آبشیرین،

۱۶-۴-۴: آبشیرین کن های طبیعی،

۱۶-۴-۵: نیروگاههای خورشیدی برای تولید انرژی الکتریکی

۱۶-۴-۶: نیروگاههای آبی کوچک برای بهره برداری از انرژی پتانسیل بین حوضچه های مناسب

۱۶-۴-۷: شبکه لوله کشی گاز و میکرو توربینهای گازی

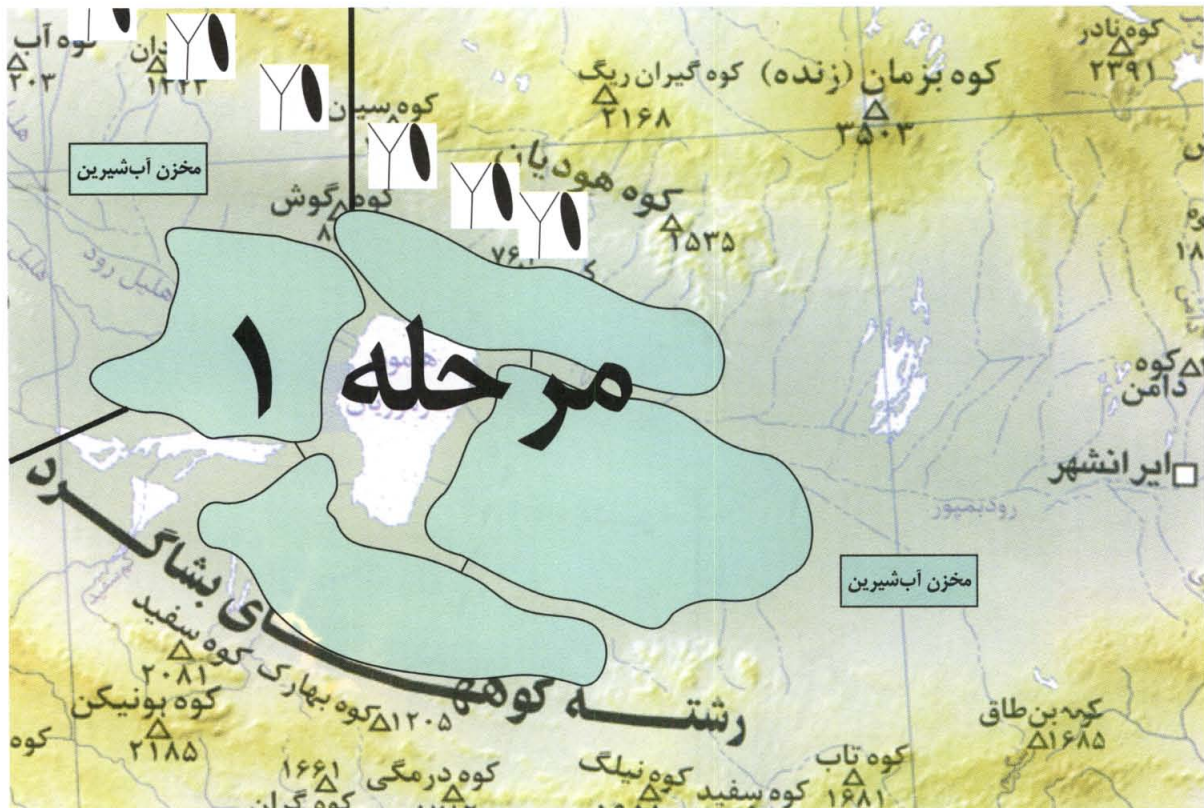
۱۶-۴-۱: پیش بینی حوضچه‌های مناسب برای ذخیره آب شیرین و آب شور،



شکل ۱۶-۱: طرح به دو مرحله اصلی شماره ۱ و شماره ۲ قابل تقسیم است. مرحله ۱ شامل:

شامل: هامون جازموریان و مرحله ۲ شامل کویر لوت است.

با توجه به ارتفاع زمین در نقاط جنوبی ایران، طرح به دو مرحله اصلی شماره "۱" و شماره "۲" قابل تقسیم است. مرحله "۱" شامل: هامون جازموریان و مرحله ۲ شامل کویر لوت است. خصوصیت ویژه کویر عمدتاً در سمت کویر لوت وجود دارد. لذا ظرفیت پروژه‌ها در سمت هامون جازموریان بطور نسبی کوچک در نظر گرفته خواهد شد.



شکل ۱۶-۲: حوضچه‌ها با اختلاف ارتفاع چند متر با یکدیگر بطور ثقیلی یکی در دیگری تخلیه می‌شود. در پائین ترین ارتفاع هامون جازموریان است.

هر مرحله از چندین حوضچه برای نگهداری آب شور تشکیل شده است که نسبت به یکدیگر دارای اختلاف ارتفاع بوده (شکل: ۱۶-۲) و در نتیجه بطور ثقیلی در یکدیگر براساس پیش بینی طرح قابل تخلیه هستند. از این حوضچه‌ها آب با شوری کم به آب شیرین کن‌های ساخته شده با مصالح ساختمانی منتقل می‌شود. ذخیره آب شیرین در مخازن زمینی بتنی انجام می‌شود. شکل ۱۶-۳ در مقیاس کوچک حوضچه‌هایی که با اختلاف ارتفاع نسبت به یکدیگر ساخته شده‌اند را نشان می‌دهد.



الف



ب

شکل: ۱۶-۳: نمونه ای از حوضچه های دارای اختلاف ارتفاع

۱۶-۴-۲: نیروگاه‌های بادی برای پمپاژ آب شور و شیرین

در طرح کویر سبز کلیه انرژی‌های موجود در منطقه، برای کارآئی بهینه طرح مورد بهره‌برداری قرار میگیرند. لذا در کنار سیستم‌های خورشیدی، سیستم‌هایی با استفاده از انرژی باد و از جمله بکارگیری توربین‌های بادی در این طرح توصیه میشود. اما قبل از شرح نحوه استفاده از توربین‌های بادی در طرح کویر سبز، ذکر نکاتی در مورد باد و استفاده از آن توسط توربین‌های بادی مناسب است

الف: باد و توربین‌های بادی

باد به عنوان یکی از قدیمترین منابع انرژی از دیرباز در ایران شناخته شده است، از انرژی حرکتی جریان هوا با استفاده از توربین‌های مختلف میتوان بهره‌برداری کرد. نام ایران بعنوان اولین کشور سازنده آسیاب بادی در کتابها آورده شده است. مشابه آسیاب بادی ایکه در ۲۰۰ سال قبل از میلاد مسیح در ایران استفاده میشده است، هنوز نیز در ایران وجود دارد (شکل ۱۶-۴) و استفاده میشود. مهمترین شهرهای استفاده کننده از انرژی باد شهرهای حاشیه کویر بوده است.



(شکل ۱۶-۴): آسیاب بادی موجود در تایباد(خراسان).

با پیشرفت تکنولوژی امروزه از این انرژی با بکار گیری توربین بادی (شکل ۱۶-۵)، یا برای تولید الکتریسیته و یا پمپاژ آب استفاده میشود. اغلب منطقی است که بعد از تولید انرژی الکتریکی آنرا برای پمپاژ استفاده نمود، زیرا در این صورت توربین بادی در محل بهینه نصب شده و ضمناً تسهیلاتی در اجرای سیستم پمپاژ وجود خواهد داشت. بعلاوه در اینصورت از برق تولیدی میتوان برای موارد دیگر نیز استفاده نمود.

ب: قدرت اسمی و قدرت واقعی توربین باد:

یک توربین بادی قدرت ورودی را از تبدیل انرژی باد به نیروی چرخشی مؤثر بر پره ها کسب میکند. مقدار انرژی که باد به توربین منتقل میکند بستگی، به وزن مخصوص هوا، سطح پره های توربین و سرعت باد داشته، بطوریکه " قدرت اسمی توربین" از رابطه (۱۶-۱) بدست میآید:

$$P_n = \frac{1}{2} \rho A V^3 \quad (16-1)$$

در این رابطه به ترتیب:

P_n : قدرت اسمی، بر حسب: وات

ρ : جرم مخصوص هوا که در شرایط متعارف دما (۲۰ درجه سانتیگراد) و فشار (۱۰۰ کیلو پاسکال) تقریباً معادل: ۱/۲ کیلوگرم بر متر مکعب است. جرم مخصوص هوا با افزایش دما کاهش مینماید. با افزایش ارتفاع (یعنی: کاهش فشار) نیز جرم مخصوص کاهش مینماید. بنابراین در برآورد قدرت توربین در هر نقطه باید جرم مخصوص واقعی هوا تعیین شود.

A : سطح جارو شده به وسیله پره های توربین، بر حسب: مترمربع

V : سرعت، بر حسب: متر در ثانیه

همینطور که رابطه (۱۶-۱) نشان میدهد، سرعت باد در قدرت خروجی توربین بادی بسیار مؤثر است بطوریکه میزان آن با مکعب سرعت متناسب است یعنی اگر سرعت ۲ برابر شود انرژی الکتریکی خروجی میتواند ۸ برابر شود.

قدرت واقعی توربین: توربین بادی قادر است، صرفاً قسمتی از انرژی باد را که توسط پره هایش جارو میشود بگیرد. این مقدار از رابطه (۱۶-۲) بدست میآید.

$$P_r = \frac{1}{2} e \rho A V^3 \quad (16-2)$$

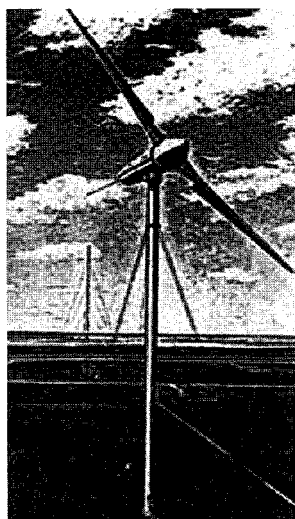
در این رابطه غیر از قدرت واقعی که بر حسب وات بوده و e که بازده پره های توربین بادی است، بقیه پارامترها مشابه پارامترهای تعریف شده برای قدرت اسمی است. جدول ۱۶-۱ قدرت واقعی را برای قطر مختلف توربینهای بادی - نوع افقی با سرعت زیاد برای سرعت باد ۷ متر در ثانیه و ۱۰ متر در ثانیه نشان میدهد.

ج: سیستم انتقال قدرت مکانیکی:

این سیستم از محور دور پایین ورودی توربین، جعبه دنده افزایشده سرعت، و محور دور بالای خروجی از جعبه دنده تشکیل میشود.

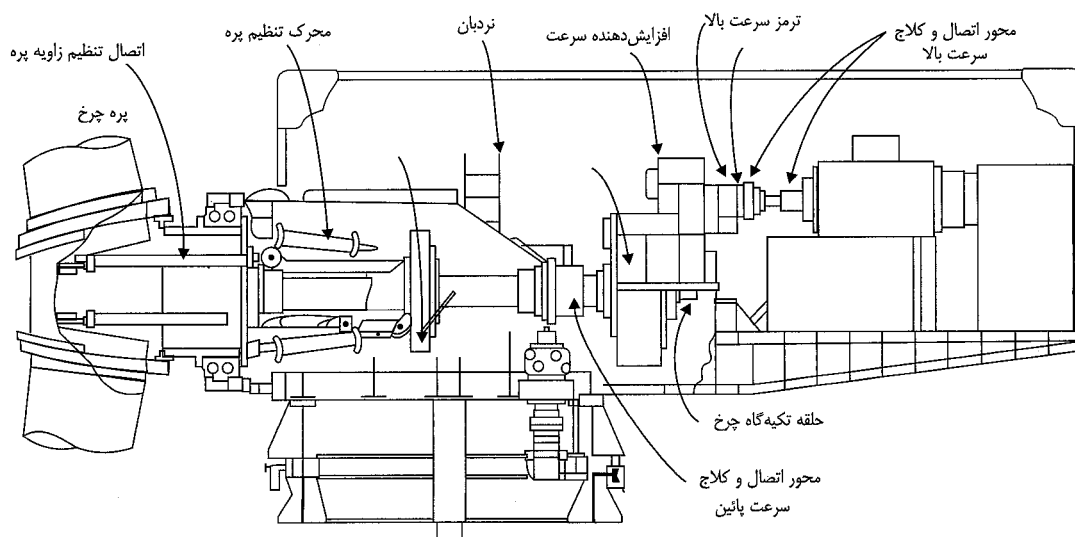
د: ژنراتور توربین بادی:

ژنراتور توربین بادی مانند عملکرد آن برای توربینهای دیگر قدرت مکانیکی را به قدرت الکتریکی تبدیل می کند، اما با توجه به پائین بودن سرعت دورانی توربین بادی به منظور بهره برداری از رده وسیعتری از بادهای با سرعتهای مختلف و همچنین ساده سازی طرح توربین، معمولاً از ژنراتور آسنکرون با تعداد زیاد قطب و میدان مغناطیسی دائم استفاده میشود.



شکل ۱۶-۵: نیروگاه بادی با توربین ملخی و برج لوله ای فولادی

بنابراین در اینجا، اجزاء یک توربین بادی مجهز به ژنراتور را مورد توجه فنی قرار میدهم (شکل ۱۶-۶).



شکل ۱۶-۶: اجزاء تشکیل دهنده یک نیروگاه بادی بادو پره

ه: سیستم کنترل جهت و کنترل دور

برای بدست آوردن حداکثر بازده از یک توربین بادی باید همواره بتوان صفحه دوران توربین را عمود بر جهت وزش باد قرار داد. معمولاً برای واحدهای کوچک با ۲ یا ۳ پره از سیستم بالچه دم برای تغییر جهت توربین بادی استفاده می گردد. همچنین به منظور کنترل دور توربین بادی، هنگامیکه سرعت باد از حد سرعت نامی تجاوز کند، از فنر نوع کششی یا پیچشی، استفاده شده و توربین به حالت دور پائین تر آورده میشود.

جدول ۱۶-۱: قدرتهای خروجی توربینهای بادی افقی متعارف برای قطر روتورها و سرعت های باد مختلف				
قطر روتور (متر)	دور در دقیقه		قدرت تولیدی (کیلووات)	
	سرعت باد ۷ متر در ثانیه	سرعت باد ۱۰ متر در ثانیه	سرعت باد ۷ متر در ثانیه	سرعت باد ۱۰ متر در ثانیه
۱	۹۳۵	۱۳۴۰	۰/۰۷	۰/۲
۲	۴۷۰	۶۷۰	۰/۲۷	۰/۸
۳	۳۱۰	۴۵۰	۰/۶۰	۱/۸
۴	۲۳۵	۳۳۵	۱/۰۷	۳/۲
۵	۱۹۰	۲۷۰	۱/۷	۵
۶	۱۵۵	۲۲۰	۲/۴	۷/۲
۸	۱۲۰	۱۶۸	۴/۴	۱۲/۸
۱۰	۹۵	۱۳۴	۶/۷	۲۰
۱۵	۶۲	۹۰	۱۵	۴۵
۲۰	۴۷	۶۷	۲۶/۸	۸۰
۳۰	۳۱	۴۵	۶۰	۱۸۰
۴۰	۲۳	۳۳	۱۰۷	۳۲۰
۵۰	۱۹	۲۷	۱۶۸	۵۰۰

و: برج توربین

دو نوع سازه اصلی برای برج توربین های ملخی به کار می رود.

الف - سازه خرابایی فلزی،

ب - سازه لوله ای.

برجهای با سازه خرابایی در آغاز پیدایش مبدل های ملخی به طور گسترده ای مورد استفاده قرار می گرفتند. ولی امروزه از این نوع برجها در مواردی که توان مبدل در رده کوچک یا متوسط باشد، استفاده می شود. برجهای دارای سازه لوله ای در مجموع کم حجم ترند ولی به علت داشتن گشتاور، صلبیت و پایداری کمتر، در مقابل عوامل دینامیکی، ارتعاشات بیشتری دارند.

ز: هزینه تولید الکتریسیته در نیروگاه بادی:

با پیشرفت تکنولوژی امروزه استفاده از توربین بادی برای تولید انرژی الکتریکی در حال افزایش است. هم اکنون بیش از ۲۰ دستگاه توربین بادی در منجیل مشغول کار بوده و برق تولیدی را به شبکه سراسری منتقل و به فروش می‌رساند. در جزیره کیش از توربین های بادی برای پمپاژ آب استفاده میشود. تعداد توربین های بادی در بینالود نیشابور نیز بیش از ۲۰ دستگاه است. هم اکنون در کارگاههای انرژی اتمی بعثت تماس در ساخت توربین های منجیل، دانش و قابلیت خوبی برای ساخت این توربینها وجود دارد. تلفیق این قابلیت با پتانسیلهای ساخت توربین در ایران، ورود به این تکنولوژی را با در نظر گرفتن نیاز طرح کویر سبز اقتصادی مینماید. با توجه به پیشرفت تکنولوژی در ساخت توربین بادی، استفاده از نیروگاه بادی در نقاط بادخیز با سرعت متوسط سالیانه بیش از ۶ متر بر ثانیه قابل رقابت با نیروگاههای متعارف است.

ح: اطلاعات آماری باد در حاشیه مناطق کویری ایران

داده های انرژی باد در ۱۲ ایستگاه کلیماتولوژی برای دوره های ۱۱ ساله توسط موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران تجزیه و تحلیل آماری شده و سرعت متوسط باد، ضریب تغییر و ضریب تداوم باد محاسبه شده است. تغییرات ماهانه و فصلی باد در طول سال به طور متوسط و نیز فراوانی باد در ۸ امتداد استاندارد و فراوانی آن در چند محدوده سرعت که از نظر برآورد قدرت مفید توربین های بادی حائز اهمیت است، بررسی شده است. از میان این ایستگاهها، ایستگاه زابل با میانگین سرعت باد زمستانی ۱۷ کیلومتر در ساعت و میانگین سرعت باد تابستانی ۲۷ کیلومتر در ساعت و میانگین سرعت باد سالانه ۲۲/۵ کیلومتر در ساعت و همچنین ضریب تغییر و ضریب تداوم ۱۶٪ و ۸۶٪ نمایشگر بهترین محل برای استفاده از توربین های بادی در ایران است.

با آگاهی از موارد فنی فوق و پتانسیل مناطق کویری ایران در استفاده از انرژی باد، وبعلاوه بالاتر بودن سرعت باد از حد اقتصادی ۶ متر در ثانیه، استفاده از توربین های بادی برای کویر سبز توصیه میشود. از برق تولیدی توسط توربین های بادی در شرایط غیر پیک برای پمپاژ آب شور و شیرین در طرح کویر سبز استفاده خواهد شد. شروع پمپاژ آبشور از نزدیکترین محل در خلیج فارس به محل طرح است. در مسیر پمپاژ استفاده از مخازن باز در ارتفاعات برای ذخیره آب شور توصیه میشود. بدین ترتیب امکان ذخیره سازی انرژی مشابه ذخیره سازی انرژی در سد سیاه بیشه وجود دارد. با این تفاوت که در اینجا سیال ذخیره انرژی آبشور بوده و پمپاژ توسط توربین بادی صورت میگیرد. از توربین های آبی کوچک برای تولید برق مورد نیاز میتوان استفاده نمود. بدین ترتیب هزینه ذخیره سازی در این طرح، عبارت از هزینه ساخت مخازن آب در ارتفاع است. همانطور که گفته شد، در زمان عدم نیاز به الکتریسیته، انرژی توربینها برای پمپاژ آب به مخازن زمینی در ارتفاع مورد استفاده قرار میگیرند. این انرژی پتانسیل بهدر نرفته و در هنگام سرازیر شدن آب بسمت طرح توسط توربین های آبی بازیابی میشود. در شکل ۱۶-۱ محل استقرار توربین های بادی بصورت نمادین بوده و بدیهی است که قرار گیری این توربینها در ارتفاعات مناسب میباشد. تعداد این توربینها نیز با توجه به ظرفیت پمپاژ آب از خلیج فارس تعیین میشود.

۱۶-۴-۳: استفاده از شنهای کویر و آبشور در ساخت وساز

در سازه‌های سنگین برای جلوگیری از حرکت شنهای روان، سازه‌های خودکفای گرمائی و سرمائی جهت سکونت و سایر کاربریها از شنهای کویر و آبشور میتوان استفاده نمود. در فصل ۱۰ و فصل ۱۱ نحوه ذخیره انرژی گرمائی و سرمائی در دیوار آبی یا دیواری با مصالح بنائی برای گرمایش و سرمایش مورد توجه قرار گرفت. در اینجا صرفاً ذکر نکاتی چند بشرح زیر لازمست:

الف: آب مورد استفاده برای ذخیره گرما و یا سرما در طرح کویر سبز آبشور خواهد بود.

ب: جنس مصالح بنائی مورد استفاده در دیوار در صورت لزوم میتواند صرفاً ماسه یا خاک پر شده در قالبهای پلاستیکی بازیابی شده و یا سازه‌هایی با استفاده از ماسه باشد.

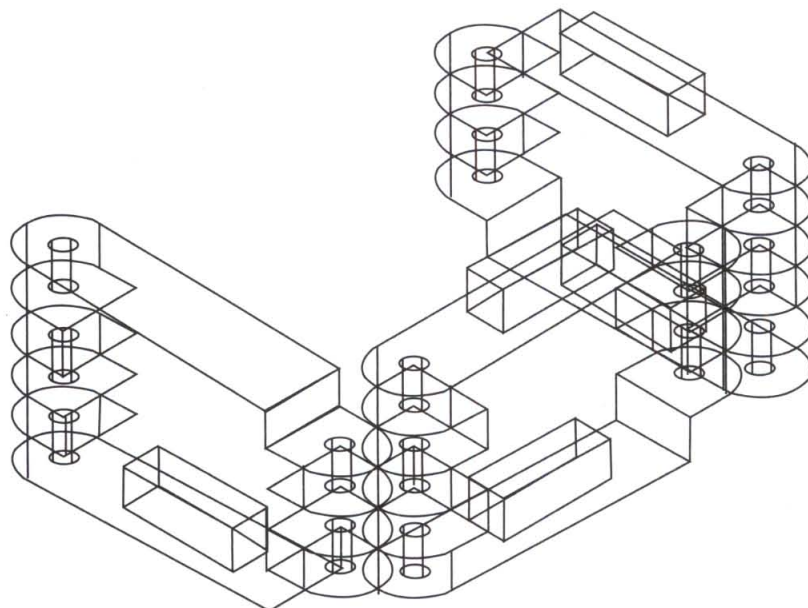
ج: ظرف یا قالب لازم برای پرکردن آبشور و ماسه یا خاک از جنس پلاستیک و بصورت شکل: ۱۶-۸ پیشنهاد میشود. بطوریکه ملاحظه میشود این قالب‌ها قابلیت قفل شدن به یکدیگر را توسط لوله‌های فلزی و زائده‌های نر و مادگی، دارند.

د: از همین قالبها میتوان برای ساخت سازه‌های سنگین برای متوقف کردن شنهای روان (شکل استفاده کرد).



شکل ۱۶-۷: حرکت شنهای کویر را در محدوده دلخواه میتوان با سازه‌های سنگین متوقف نمود.

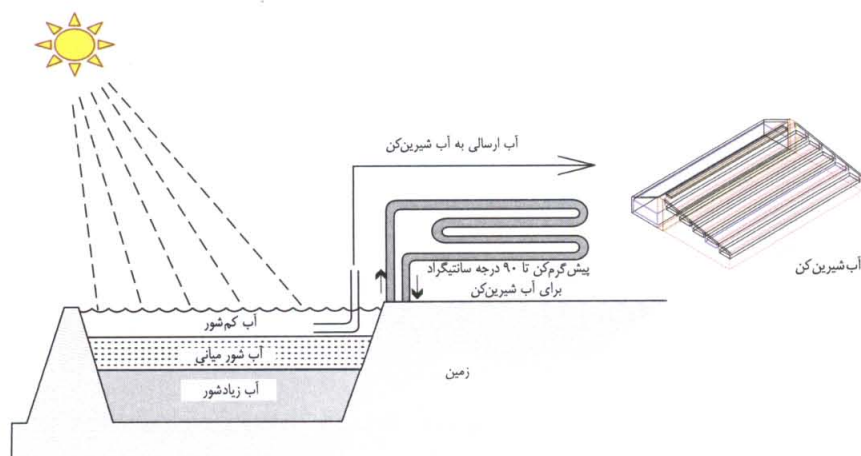
ه: از همین قالبها میتوان برای ساخت مخازن زمینی کوچک آب با کمک بتن یا ورقهای پلاستیک و یا مصالح دیگر استفاده کرد.



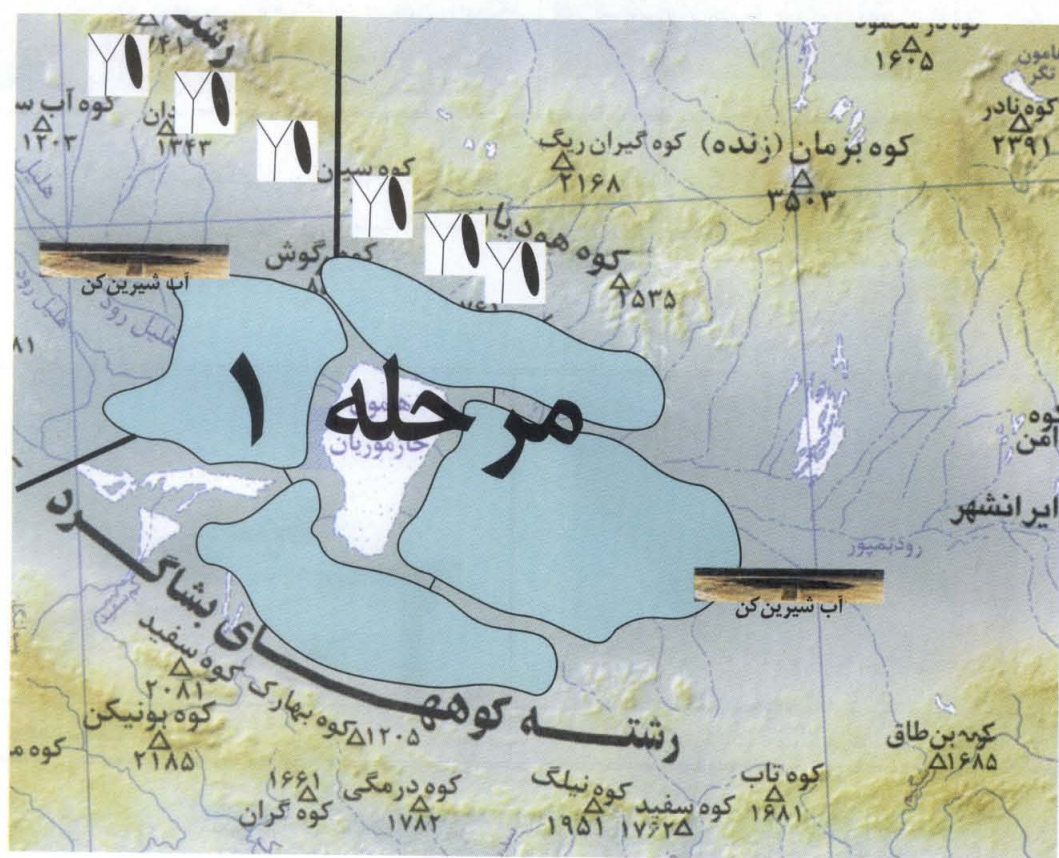
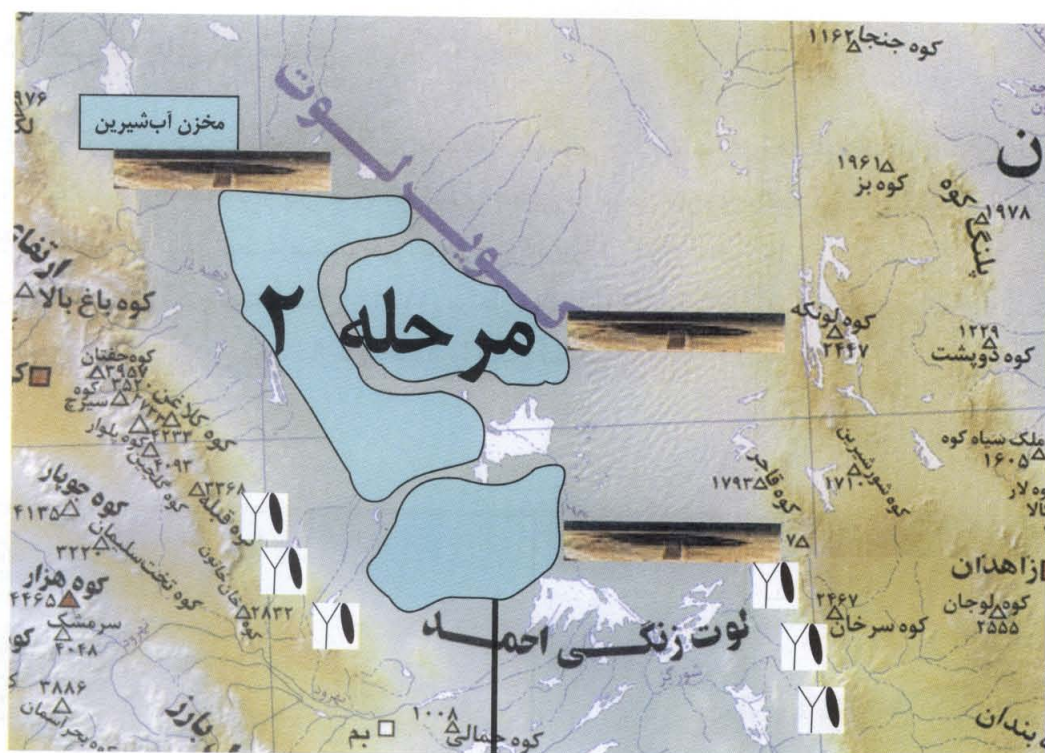
شکل ۱۶-۸: قالبهای توخالی پلاستیکی برای پرشدن توسط آبشور یا ماسه، این قالبها با لوله فلزی و خلل و فرج پیش بینی شده به یکدیگر قفل میشوند.

۱۶-۴-۴: آب شیرین کن های ظرفیت بالا

آب شیرین کن هایی که دارای سازه ای از نوع مصالح بنائی بوده و به ورق فولادی موج دار مجهز میشوند، با بهره گیری از خصوصیت ویژه کویر (یعنی: وجود منبع گرم و سرد بطور همزمان) ساخته میشوند. از ابتکارات مناسب دیگر مانند پیش گرمکن (شکل ۱۶-۹) و یا آئینه های افزایش تابش مستقیم نیز برای بالا بردن ظرفیت تولید آبشیرین کن در صورت نیاز میتوان استفاده نمود.



شکل ۱۶-۹: مخزن تأمین کننده آب اولیه به آب شیرین کن و انرژی گرمائی پیش گرمکن آن



۱۶-۱۰: محل آبشیرین کن ها و منابع ذخیره آب شیرین مصرفی.

۱۶-۴-۵: نیروگاه‌های خورشیدی

ساخت هر یک از انواع نیروگاه‌های خورشیدی اعم از نیروگاه سهموی خطی، نیروگاه با دریافت کننده مرکزی، نیروگاه سهموی بشقابی و بالاخره نیروگاه با استفاده از پنل‌های خورشیدی همگی بر اساس کاربری متنوع در طرح کویر سبز و با توجه به تجربیات کافی موجود در کشور توصیه می‌شود. هم اکنون نیروگاه حرارتی انرژی خورشیدی از نوع سهموی خطی در شیراز با قدرت تولید ۲۵۰ کیلووات الکتریسیته (شکل: ۱۶-۱۱) مراحل نهائی راه اندازی را طی می‌کند. این نیروگاه قرار است با اتصال به شبکه برق شهری، قسمتی از برق مورد نیاز شهر شیراز را تامین نماید.

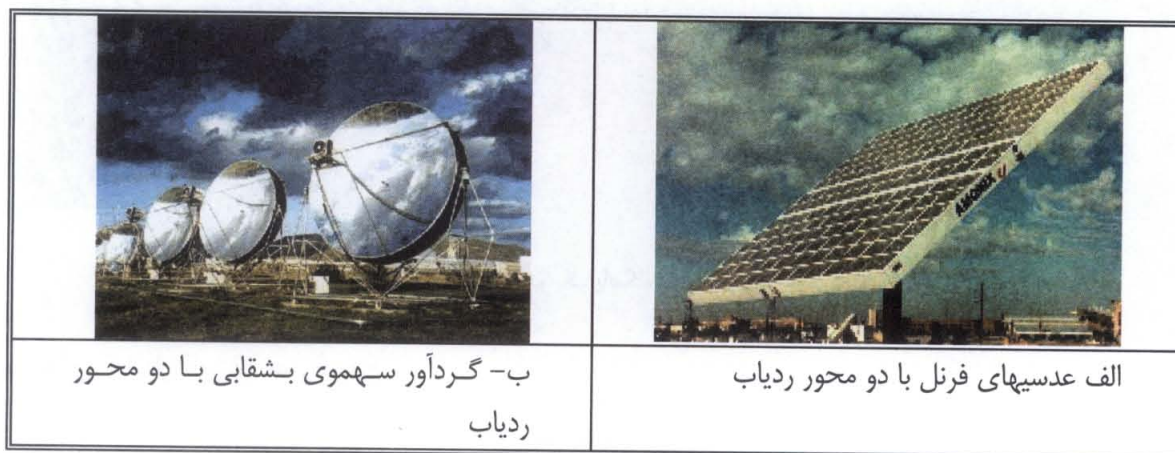


شکل ۱۶-۱۱: نیروگاه خورشیدی از نوع سهموی خطی با قدرت ۲۵۰ کیلو وات الکتریک در مجاورت نیروگاه سیکل ترکیبی شیراز، قبل از نصب آئینه‌ها - یک نمونه گردآور سهموی خطی



شکل ۱۶-۱۲: نیروگاه ۳۰ کیلوواتی از نوع دریافت کننده مرکزی در طالقان

ملاحظه فصل هشتم و فصل نهم کتاب حاضر جهت طراحی حائز اهمیت است. در مورد عدسیهای فرنل (شکل ۱۳-۱۶) نیز مطالعاتی صورت گرفته است. از کلیه این سیستمهای خورشیدی بعد از آماده شدن سیستمهای اصلی دیگر میتوان بهره برداری کرد.

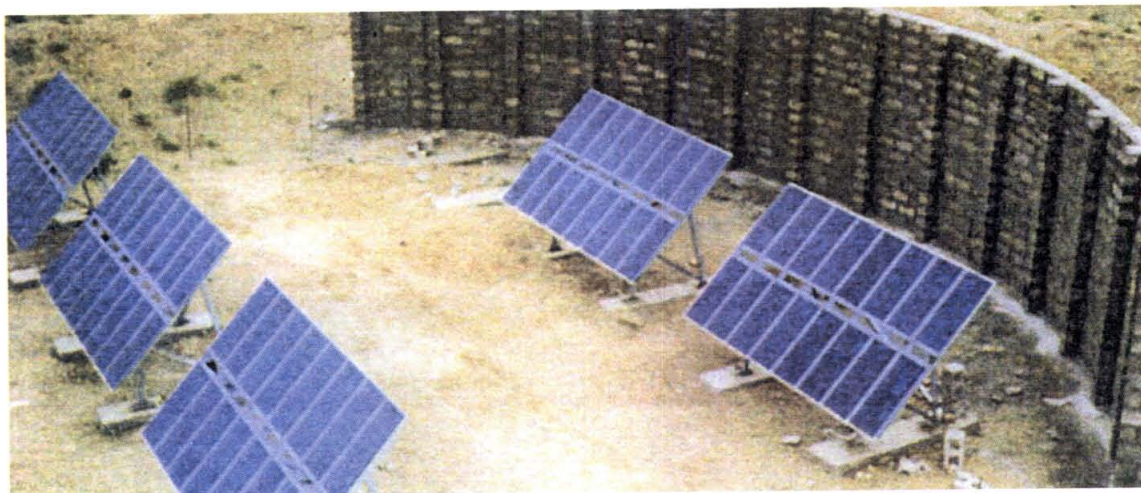


شکل ۱۶-۱۳: عدسیهای فرنل و گردآور سهموی بشقابی

روش دیگر تولید الکتریسیته از انرژی خورشیدی، استفاده از سلولهای نوری است. این سلولها مستقیماً نور را به الکتریسیته تبدیل میکنند. استفاده از پنلهای سلولهای نوری در پشتبام خانه ها و یا بصورت مزرعه ای از پنلها برای تامین برق مناطق مسکونی دور از شبکه برق (۱۶ ۱۴)، راه حلی برای تامین انرژی الکتریکی مورد نیاز خانه ها است.



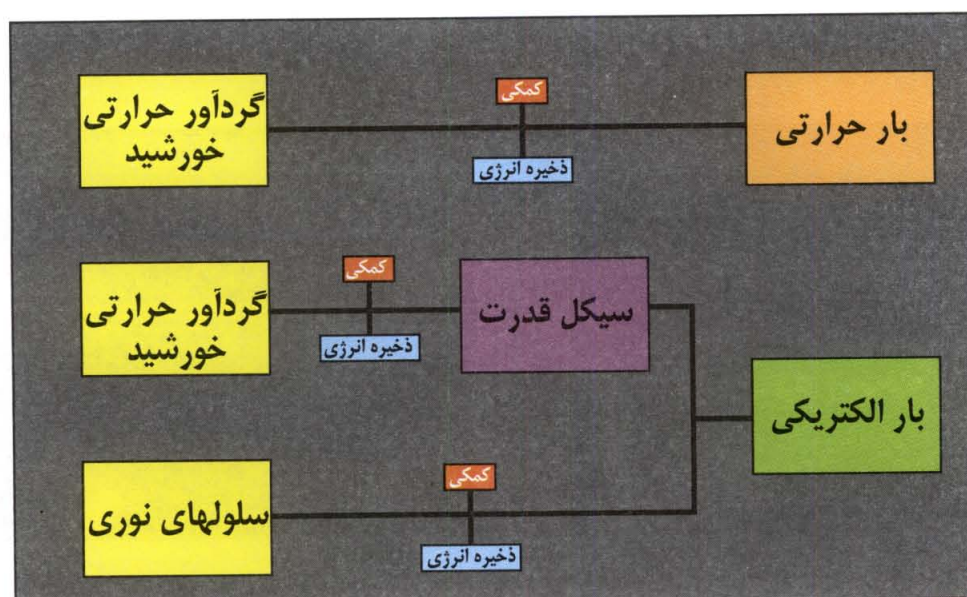
شکل ۱۶-۱۴: یک نیروگاه خورشیدی با استفاده از پنلهای خورشیدی در ایران



شکل ۱۶-۱۵: پنل‌های تولید برق در یک پاسگاه مرزی کشور، بدون سیستم ردیاب.

سیستم‌های تبدیل انرژی خورشیدی

سیستم‌های تبدیل انرژی خورشیدی که انرژی تابشی را تبدیل به انرژی حرارتی یا الکتریکی می‌کنند با شکل ۱۶-۱۶ می‌توان نشان داد. بطوریکه ملاحظه می‌شود در دی‌گرام اول انرژی خورشیدی گردآوری شده تبدیل به حرارت شده و به محل نیاز (بار حرارت) انتقال می‌یابد، سپس این حرارت برای تامین انرژی سیستم‌های حرارتی از جمله: آبگرم مصرفی، گرمایش یا سرمایش، تامین الکتریسیته و غیره بکار گرفته می‌شود. برای این نوع سیستم می‌توان منبع ذخیره پیش بینی کرد و یا نکرد ولی معمولاً یک سیستم کمکی در نظر گرفته می‌شود، تا در ساعات غیر آفتابی انرژی مورد نیاز تامین شود.



شکل ۱۶-۱۶: نمودارهای ساده انواع سیستم‌های تبدیل انرژی خورشیدی. سیستم کمکی ممکن است از نوع حرارتی و یا الکتریکی انتخاب شوند.

اگر هدف از طراحی سیستم خورشیدی تأمین برق مورد نیاز باشد، در آنصورت دو روش برای تبدیل انرژی خورشیدی به برق وجود دارد. روش اول عبارت است از گردآوری انرژی خورشیدی بصورت حرارت و تبدیل آن به برق که مشابه نیروگاه حرارتی متعارف است. روش دیگر استفاده از سلولهای نوری و تبدیل انرژی تابشی مستقیماً به برق مورد نیاز است. نمودار هر دو حالت در شکل ۱۶-۱۶ نشان داده شده است.

بطور کلی، اگر سیستمهای تبدیل انرژی خورشیدی به شبکه برق متصل باشد، نیازی به سیستم کمکی و یا ذخیره نخواهد بود. ولی اگر سیستم تبدیل انرژی خورشیدی تنها منبع انرژی الکتریکی باشد در آنصورت معمولاً هم سیستم کمکی و هم ذخیره پیش بینی میشود. اگر تبدیل انرژی از حرارتی به الکتریکی باشد، ذخیره سازی انرژی معمولاً بصورت حرارتی خواهد بود. سیستم کمکی یا به صورت حرارتی و قبل از سیستم تبدیل قدرت و یا به صورت الکتریکی و بعد از آن قرار میگیرد. اگر مسیر سلولهای نوری انتخاب شود، ذخیره انرژی معمولاً بصورت برق اضافی در باتریها ذخیره میشود. در این حالت سیستم کمکی تنها بصورت یک منبع تولید برق جنبی میتواند وجود داشته باشد.

۱۶-۴-۶: توربین های آبی کوچک توربین های آبی برای بازیابی انرژی

الف: شرح فنی توربین های آبی کوچک:

توربین های آبی قسمتی از انرژی حرکتی آب را گرفته و آنرا به کمک ژنراتور به انرژی الکتریکی تبدیل مینماید. انرژی حرکتی آب، انرژی آن در حرکت بوده، و تابعی از جرم آب و سرعت آب است، در حالیکه انرژی پتانسیل آب تابعی از اختلاف ارتفاع بین دو نقطه بوده که ارتفاع آب نامیده میشود.

ب: محل مخازن:

در این پروژه محل مناسب برای مخازن با در نظر گرفتن بیشینه ارتفاع و شیب حداقل از زمین انتخاب می شود.

ج: تعیین دبی و فشار مناسب

مقدار دبی آب مبنی برای توربین آبی با توجه به مخزن یا مخزنهای زمینی و دبی آبی که توسط توربین های بادی بسمت مخازن زمینی در ارتفاع پمپ میشود تعیین میگردد. افزایش ارتفاع و افزایش بده آب موجب افزایش قدرت بازیابی است. بدیهی است که با استفاده از نقشه های لازم با مقیاس مناسب مسیر بهینه باید انتخاب شده، سپس با توجه به دبی و اختلاف ارتفاع و افت در خط لوله، توربین های آبی مناسب انتخاب شوند.

د: قدرت توربین آبی

قدرت قابل استحصال توسط توربین آبی از رابطه زیر قابل محاسبه است :

$$P = Q \times W \times (H_g - h_f) \times e \quad (۱۶-۳)$$

در این رابطه:

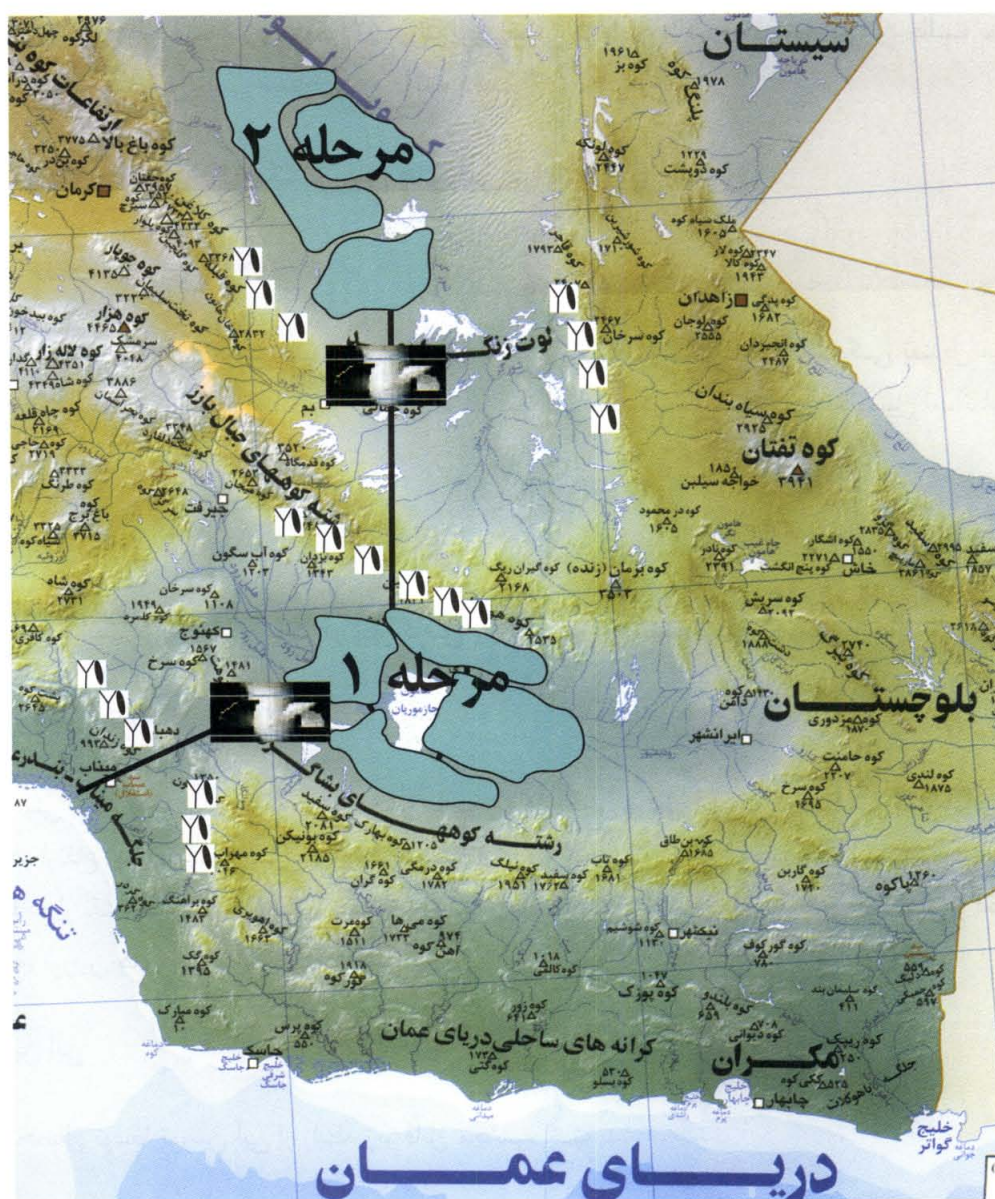
Q : دبی جریان آب (بر حسب متر مکعب در ثانیه)

W : وزن واحد حجم آب (کیلو گرم بر متر مکعب)

H_g : ارتفاع کل (بر حسب متر)

hf : افت ارتفاع در سیستم (بر حسب متر)

P : توان بر حسب کیلو وات و e : بازده توربین است



شکل ۱۶-۱۷: توربین های آبی انرژی پتانسیل آب را بازیابی میکنند.

ه: انتخاب توربین بهینه

توربینها بر اساس ارتفاع عملکرد به سه دسته بشرح زیر تقسیم بندی می شوند :

۱ : توربین با ارتفاع عملکرد زیاد .

۲ : توربین با ارتفاع عملکرد متوسط .

۳ : توربین با ارتفاع عملکرد کوتاه .

اگر ارتفاع مفید ۳۰ متر یا کمتر باشد نیروگاه ارتفاع کوتاه گفته شده و معمولاً از توربین پلتون در این حالت استفاده میشود. با مشخص شدن ارتفاع و دبی در بخش های مختلف، سرعت مخصوص بدون بعد در هر مورد تعیین گردیده و سپس نوع توربین آبی (فرانسیس ، پلتون ویا کاپلان) را معین میگردد. میدانیم هر یک از توربین ها در محدوده معینی از سرعت مخصوص بدون بعد دارای بهترین بازدهی می باشند . جدول ۱۶-۲ و شکل ۱۶-۱۸ این موضوع را نشان میدهد . بنا بر این بهترین روش برای انتخاب نوع توربین تعیین سرعت مخصوص بدون بعد برای ارتفاع، آبدهی و دور مورد نظر است. در شکل ۱۶-۱۹ این توربین ها نشان داده شده اند.

اما برای یک توربین آبی سرعت مخصوص بدون بعد در سیستم بین المللی (SI) بصورت زیر تعریف می شود:

$$SP = rpm \times Q^{1/2} \times H^{3/2} \quad (۴-۱۶)$$

و سرعت مخصوص بدون بعد، عبارت است از:

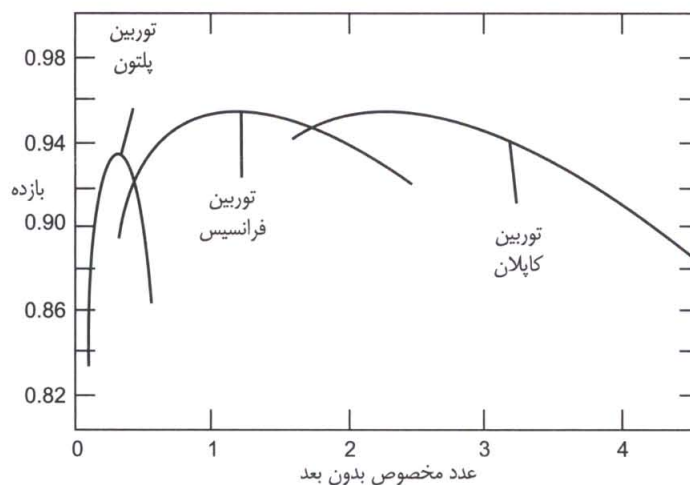
$$NS = SP / 53 \quad (۵-۱۶)$$

بدین ترتیب با توجه به دبی (Q) و ارتفاع (H) مقدار سرعت مخصوص بدون بعد (NS) در قسمتهای مختلف خط لوله محاسبه شده و توربین آبی با بازده مناسب انتخاب می شود.

جدول ۱۶-۲: محدوده توربین های مختلف براساس سرعت مخصوص بدون بعد

سرعت مخصوص بدون بعد

۰/۰۵	۰/۱	۰/۲	۰/۵	۱	۲	۵
چرخ پلتون با یک جت			توربین فرانسیس			کاپلان
			چرخ پلتون با چند جت			



شکل ۱۶-۱۸: تعیین توربین‌های مختلف بر اساس سرعت مخصوص بدون بعد



شکل ۱۶-۱۹: توربین‌های پلتون، فرانسس و کاپلان

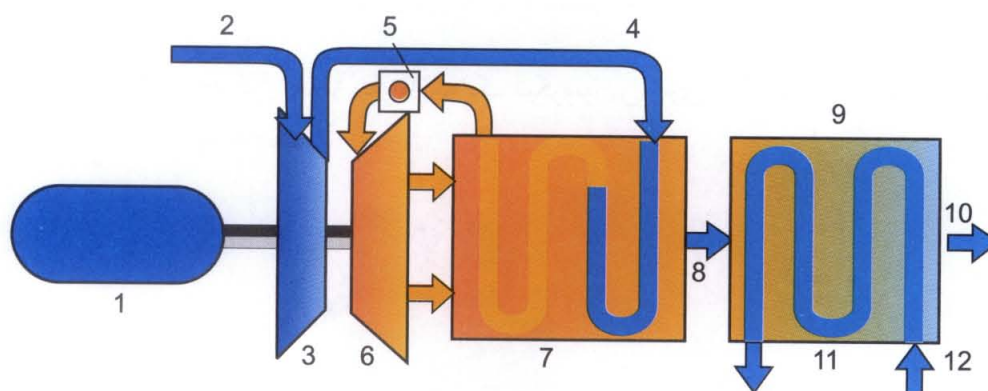
۱۶-۴-۷: توربین‌های گازی بعنوان سیستم کمکی:

تولید برق در نیروگاه‌های بزرگ با ۴۰ الی ۷۰ درصد افت حرارتی همراه است. اخیراً با ایجاد مراکز تولید انرژی پراکنده با استفاده از میکروتوربین‌های گازی، سیستم‌های تولید قدرت کوچک منفرد که در داخل و یا نزدیک محل مصرف انرژی است صرفه جوئی قابل ملاحظه‌ای در مصرف انرژی صورت میگیرد.

تولید انرژی در مراکز مصرف یا مجاورت مراکز مصرف توسط واحدهای کوچک اصطلاحاً امروزه به عنوان تولید پراکنده انرژی نامگذاری شده است. این واحدهای کوچک میتوانند کلیه بارهای گرمایی، سرمایی و الکتریکی مورد نیاز ساختمان را تأمین نمایند.

برای کارکرد موفق میکروتوربین‌های گازی، استفاده همزمان از برق تولیدی میکروتوربین و حرارت بازیابی شده سیستم بازیاب انرژی باید مورد توجه قرار گیرد. میکروتوربین‌ها در حال حاضر عمدتاً، با محدوده تولید توان بین ۳۰ تا ۲۵۰ کیلووات جهت تولید قدرت برای مصارف پراکنده انرژی مورد استفاده قرار می‌گیرند. قسمتهای اصلی میکروتوربین از: کمپرسور، محفظه احتراق، توربین، مبدل‌های الکترونیکی، و ژنراتور تشکیل می‌گردد. با اضافه کردن رکوپراتور جهت پیش گرم کردن هوا به سیستم بازده سیستم به حدود ۲۶ الی ۳۰ درصد افزایش می‌یابد. حال اگر به این مجموعه واحد بازیاب حرارت دود خروجی از رکوپراتور نیز اضافه شود، بازده سیستم را می‌توان تا حد ۸۰ درصد بالا برد.

بلوک دیاگرام شکل ۱۶-۲۰ این مدار که علاوه بر توربین و تجهیزات اصلی آن، شامل رکوپراتور و مبدل بازیافت حرارت است نشان می‌دهد.



شکل ۱۶-۲۰: دیاگرام توربین گازی همراه سیستم بازیابی با مبدل مایع و دود شامل:

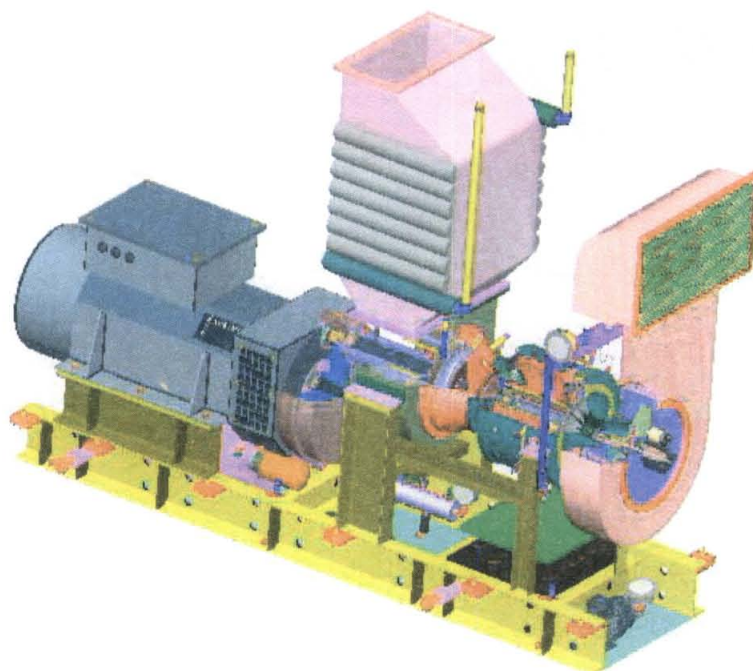
- ۱- ژنراتور ۲- هوای ورودی ۳- کمپرسور ۴- هوای ورودی به رکوپراتور ۵- محفظه احتراق ۶- توربین ۷- رکوپراتور
۸- گازهای خروجی ۹- مبدل حرارتی ۱۰- گاز خروجی ۱۱- آبگرم خروجی ۱۲- آب ورودی

در شکل ۱۶-۲۱ یک میکرو توربین گازی همراه با سیستم بازیاب حرارت و تابلوی برق آن در کنار یک ساختمان دیده می‌شود. خوشبختانه با توجه به منابع ذخیره گاز در کشور، و امکان بازدهی خوب میکروتوربین گازی استفاده از این سیستم بعنوان سیستم کمکی در طرح کویر سبز در مجاور هر پروژه ساختمانی توصیه می‌شود.



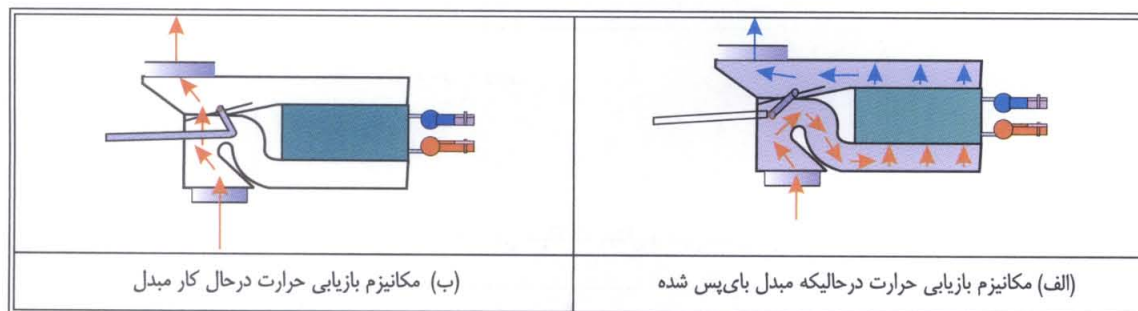
شکل ۱۶-۲۱: میکرو توربین گازی همراه با سیستم بازیاب حرارت و تابلوی برق

در مردادماه سال ۱۳۸۳ شرکت مواد کاران موفق به ساخت یک میکروتوربین گازی ۲۰۰ کیلووات شده است. که در پژوهشکده مکانیک پژوهشگاه نیرو در حال توسعه است.



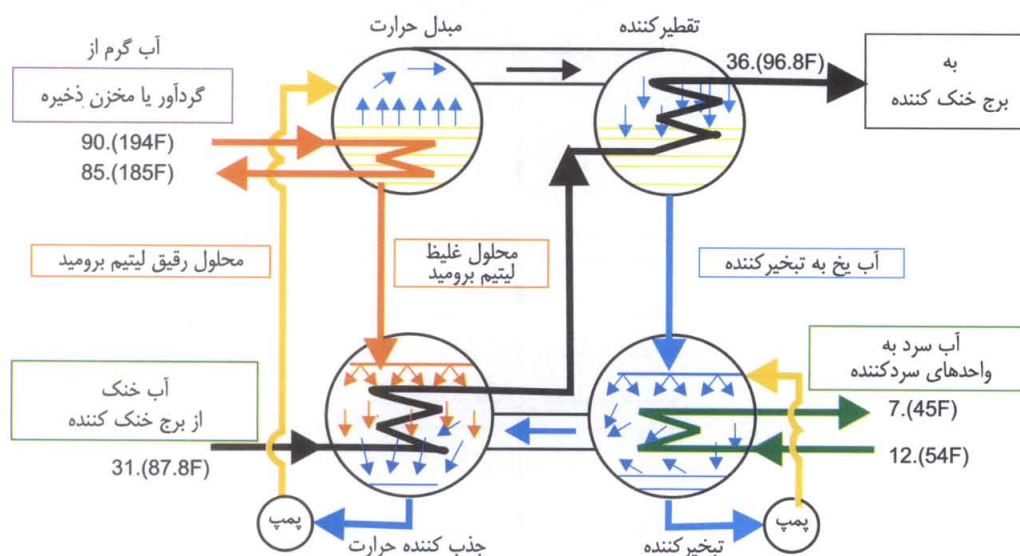
شکل ۱۶-۲۱: میکروتوربین گازی ۲۰۰ کیلووات ساخت شرکت مواد کاران

سیستم بازیاب مشابه یک مبدل پوسته و لوله عمل مینماید. توسط یک کلکتور ورودی آب به داخل لوله های این مبدل وارد شده و پس از دریافت حرارت از دود در سیستم بازیاب با درجه حرارت ۹۰ درجه سانتیگراد از مبدل از طریق کلکتور خروجی خارج میشود. در شکل: ۱۶-۲۲، حالت کار مبدل و حالت میان بر دود از مبدل ملاحظه میشود.



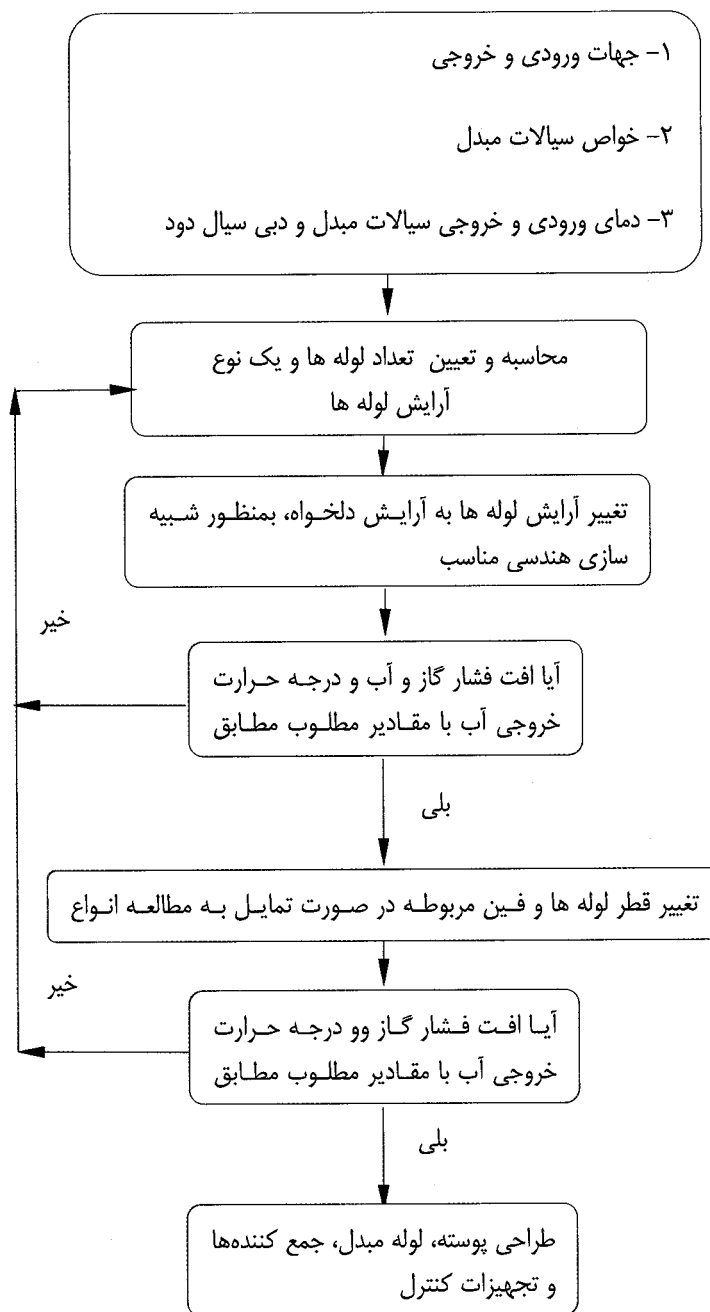
شکل ۱۶-۲۲: (الف) - حالت کار مبدل و (ب) - حالت میان بر دود از مبدل ملاحظه میشود.

برای استفاده از آبگرم برای سرمایش میبایست از چیلر جذبی استفاده شود. بطوریکه در شکل ۱۶-۲۳ ملاحظه میشود، برای سرمایش لازمست آب توسط سیستم بازیاب حرارت، تا دمای ۹۰ درجه سانتیگراد و یا بیشتر گرم شود، تا بتوان سرمایش را بدون سیستم کمکی تامین نمود. در صورتیکه به هر علت نتوان به این دما رسید و یا در شرایط اضطراری میتوان از یک سیستم کمکی استفاده نمود.

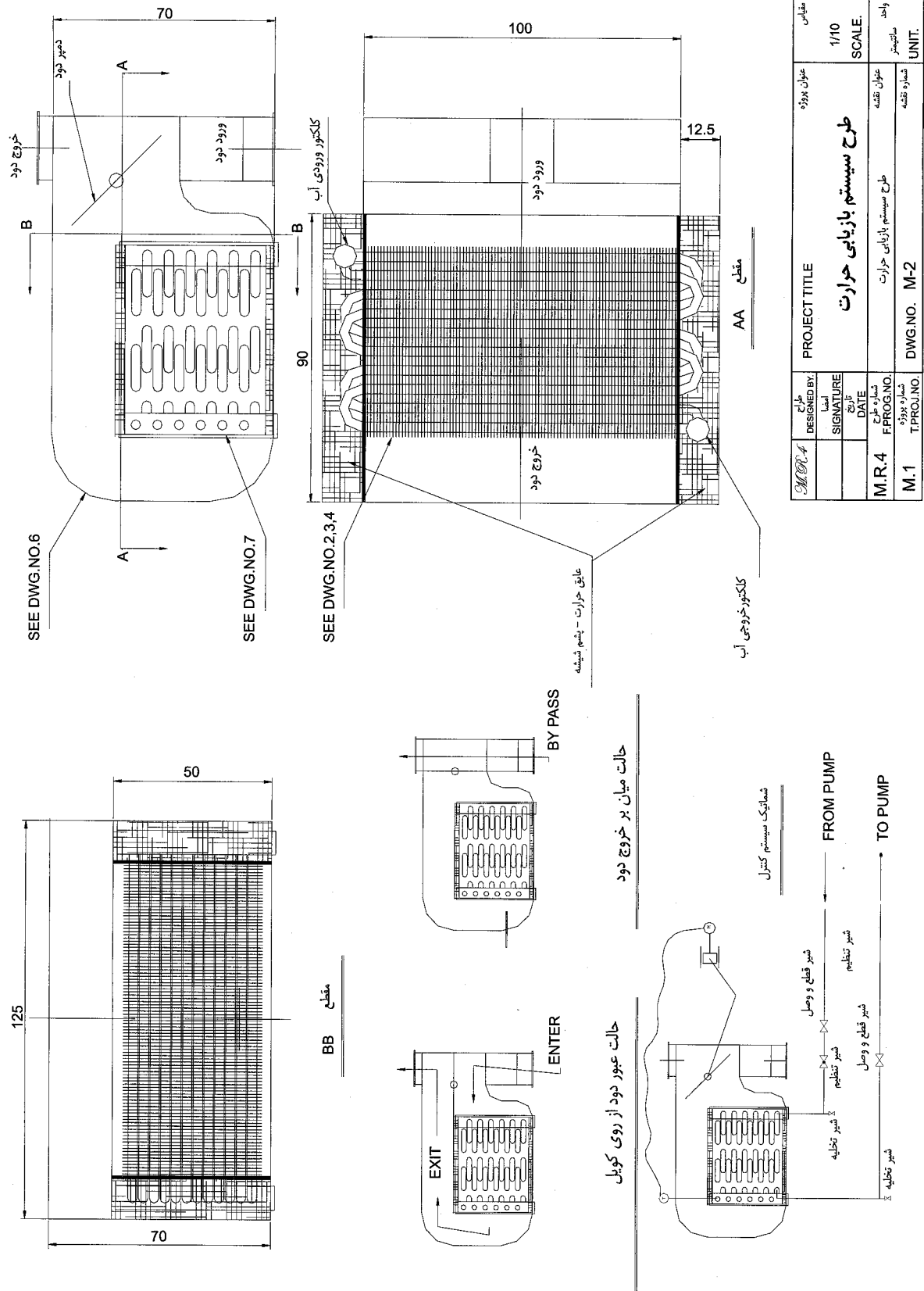


شکل ۱۶-۲۱: دیاگرام چیلر جذبی

مراحل منطقی محاسبه (الگوریتم) سیستم بازیاب میکروتوربین در شکل ۱۶-۲۲ نشان داده شده است. طراحی لازم برای مبدل با استفاده از نرم افزار بی-جک (نرم افزاری قابل استفاده برای اغلب مبدلها) صورت گرفته است. طرح یک نمونه از مبدل که با استفاده از نرم افزار اتوکد طراحی شده در شکل ۱۶-۲۳ ملاحظه میشود.



شکل ۱۶-۲۲: الگوریتم طراحی بازیاب حرارتی



شکل ۱۶-۲۳: یک نمونه سیستم بازیاب طراحی شده

کتاب‌شناسی و مراجع:

- [۱]: دکتر مجید رئوفی راد، "نگرشی برسیستمهای حرارتی استفاده از انرژی خورشیدی"، ۱۳۶۴.
- [۲]: مهندس سید جلال قائم مقامی و دکتر عزت ...آزاد، دکتر حسین پناهنده، دکتر فرامرز گئولا- انرژی خورشیدی - طراحی، جلد ۲ و ۱ - فروردین ۱۳۶۸.
- [۳]: مهندس اصغر حاج سقطی، اصول و کاربرد انرژی خورشیدی، سازمان بهینه سازی مصرف سوخت کشور و دانشگاه علم و صنعت، ۱۳۸۰.
- [۴]: دکتر مجید رئوفی راد، مدل ریاضی سیستم اپتیک نیروگاه خورشیدی با دریافت کننده مرکزی، مشاور نیرو، فروردین ۱۳۷۸.
- [۵]: دکتر مجید رئوفی راد، گزارشات و نقشه های اجرایی مرحله اول و دوم سیستمهای طبیعی و مکانیکی ساختمان دیوانخانه زندیه در شیراز، سازمان میراث فرهنگی (شهریور ۱۳۷۹).
- [۶]: دکتر مجید رئوفی راد، بررسی فنی و اقتصادی انرژی باد، فتوولتائیک و پتانسیل در عمارت شهرستانک، گزارشات و نقشه های اجرایی مرحله اول و دوم سیستمهای طبیعی و مکانیکی احیای عمارت شهرستانک سازمان میراث فرهنگی کشور، اسفند ۱۳۷۹.
- [۷]: دکتر مجید رئوفی راد، مزرعه خورشیدی نیروگاه سهموی خطی، یزد، مرکز تحقیقات وزارت نیرو (متن)، ۱۳۷۵.
- [۸]: دکتر مجید رئوفی راد، کوره خورشیدی برای کارخانه سیمان، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه آدلاید، استرالیا، ۱۳۸۲.
- [۹]: دکتر مجید رئوفی راد، سیستم بازیابی در میکرو توربین های گازی - پژوهشکده مکانیک، پژوهشگاه نیرو - ۱۳۸۳.
- [۱۰]: دکتر مجید رئوفی راد، نظارت بر طراحی و ساخت ردیاب خورشیدی و پروژه جوش شیشه به فلز در لوله گرمائی، مرکز توسعه انرژیهای نو، سازمان انرژی اتمی ایران (۱۳۷۸، اردیبهشت ۱۳۷۹).
- [۱۱]: دکتر مجید رئوفی راد، تهیه طرح، نقشه های اجرایی و گزارشات پروژه سرمایه گذاری خورشیدی با استفاده از چیلر جذبی و لوله های گرمائی مرکز توسعه انرژیهای نو، سازمان انرژی اتمی ایران، ۱۳۷۸.
- [۱۲]: مبحث نوزدهم "صرفه جوئی در مصرف انرژی" مقررات ملی ساختمان، پیوست ۹، ۱۳۸۱.
- [۱۳]: راهنمای طراحی اقلیمی، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ترجمه: مهندس مرتضی کسمائی، آذر ۶۸.
- [۱۴]: سازمان جغرافیائی نیروهای مسلح، فرهنگ جغرافیائی آبادیهای کشور جمهوری اسلامی ایران، تهران، جلد ۳۸، سال ۱۳۷۰.
- [۱۵]: مرتضی کسمائی، اقلیم و معماری، شرکت خانه سازی ایران، چاپ اول تهران ۱۳۶۳.

- [16] Scharmer, K. and J. Greif (2000), "The European Solar Radiation Atlas, Vol. 1 : Fundamentals and maps and Vol 2: Data Base and Exploitation and Software, Les Presses de l'Ecole des Mines, Paris.
- [17] Hottel, H. C. (1976), "A Simple Model for Estimating the Transmittance of Direct Solar Radiation Through Clear Atmospheres," *Solar Energy* **18** (2), 129.
- [18] Liu, B. Y. H., and R. C. Jordan (1960), "The Interrelationship and Characteristic
- [19] Woolf, H. M. (1968), "On the Computation of Solar Evaluation Angles and the Determination of Sunrise and Sunset Times, "National Aeronautics and Space Administration Report NASA TM-X -164, September.
- [20] Lamm, L. O. (1981), "A New Analytic Expression for the Equation of Time," *Solar Energy* **26** (5), 465.
- [21] Anonymous (1981), "The Astronomical Almanac for the Year 1981," issued by the Nautical Almanac Office of the United States Naval Observatory.
- [22] ANSI/ASHRAE Std. 93-1986 (RA 91) (1986) *Methods of Testing to Determine the Thermal Performance of Solar Collectors*, American Society of Heating and Refrigeration Engineers, Atlanta, GA (www.ashrae.org).
- [23] ANSI/ASHRAE Std. 95-1981 (1981) *Methods of Testing to Determine the Thermal Performance of Solar Domestic Water Heating Systems*, American Society of Heating and Refrigeration Engineers, Atlanta, GA (www.ashrae.org).
- [24] ANSI/ASHRAE Std. 96-1980 (RA 89) (1980) *Methods of Testing to Determine the Thermal Performance of Unglazed Flat-Plate Liquid-Type Solar Collectors* American Society of Heating and Refrigeration Engineers, Atlanta, GA (www.ashrae.org).
- [25] Treadwell, G. W. (1979), "Low-Temperature Performance Comparisons of Parabolic -Trough and Flat -Plate Collectors Based on Typical Meteorological Year Data," Sandia National Labs, Report SAND78 -0965, February.

- [26] Wang, Y. F., and A. Akbarzadeh (1983), "A Parametric Study on Solar Ponds," Solar Energy 30(6), 555.
- [27] Smith, W. J. (1966), Modern Optical Engineering, McGraw-Hill, New York.
- [28] Ratzel, A. C. (1979a), Evaluation of the Evacuated Solar Annular Receivers Employed at the Midtemperature Solar Systems Test Facility, SAND78-0983, Sandia National Laboratories, Albuquerque, August.
- [29] Ratzel, A. C. (1979b), Receiver Assembly Design Studies for 90 Degree Parabolic Cylindrical Solar Collectors, SAND79-1026, Sandia National Laboratories, Albuquerque, September.
- [30] Ratzel, A.C., and C.E. Simpson (1979), Heat Loss Reduction Techniques for Annular Receiver Designs, SAND 78-1769, Sandia National Laboratories, Albuquerque, February.
- [31] Siebers, D. L., and J. S. Kraabel, Estimating Convective Energy Losses from Solar Central Receivers, SAND84-8717, Sandia National Laboratories, Albuquerque, April
- [32] Sharp, J. K. (1979), "Analysis of Compound Parabolic Concentrators, memo to W. P. Schimmel, Jr., Sandia National Laboratories, Albuquerque, November 21.
- [33] Dr M.N. Bahadori, Passive Cooling Systems in Iranian Architecture.

[illegible]

واژه‌ها و تعاریف انرژی خورشیدی

- ۱- شدت تابش خورشید solar irradiance ویا insolation
- ۲- ذوب اتمی thermonuclear fusion
- ۳- نقطه حضیض perihelion
- ۴- نقطه اوج the aphelion
- ۵- گردآور collector
- ۶- شید سنج pyranometer
- ۷- آذرسنج a normal incidence pyrliometer or NIP
- ۸- توده جفت گرمائی thermopile
- ۹- تابش هاله دور قرص خورشید circumsolar radiation
- ۱۰- هواویز aerosol
- ۱۱- شدت تابش پراکنده Diffuse Irradiance
- ۱۲- حس کننده های نوری
- ۱۳- اوج Aphelion
- ۱۴- حضیض Perhelion
- ۱۵- ستاره قطبی - Polaris
- ۱۶- انقلاب تابستانی winter solstice
- ۱۷- انقلاب زمستانی summer solstic
- ۱۸- زمان اعتدال پائیزی the autumnal equinox
- ۱۹- اعتدال بهاری the vernal equinox
- ۲۰- مدارهای قطب شمال و قطب جنوب the Arctic and Antarctic circles
- ۲۱- زاویه فراز خورشید Solar Altitude
- ۲۲- قطبی یا سمت الراس Zenith
- ۲۳- سمت خورشید Azimuth
- ۲۴- بهنجار کردن normalize
- ۲۵- شاخص index
- ۲۶- وضوح the clearness
- ۲۷- زاویه برخورد شعاع مرکزی خورشید با دهانه ورودی گردآور (بطور خلاصه: زاویه برخورد) angle of incidence

- ۲۸- نرخ چرخش (سرعت زاویه ای) *slew rate*
- ۲۹- *Incremental*
- ۳۰- نوری *optic*
- ۳۱- دهانه یک گردآور (Collector Aperture): سطح ورودی تابش خورشید به گردآور را از این پس دهانه گردآور مینامیم.
- ۳۲- شدت تابش مستقیم *direct (beam) aperture irradiance*
- ۳۳- شدت تابش پراکنده (یا پخش) *diffuse (scattered) aperture irradiance*
- ۳۴- اثر کسینوس *cosine effect or cosine loss*: مقدار انرژی رسیده به سطح با کسینوس زاویه بین خط عمود بر سطح و شعاع مرکزی خورشید کاهش مییابد.
- ۳۵- شدت تابش کل *Global (Total) Aperture Irradiance*
- ۳۶- غیرفعال (طبیعی)
- ۳۷- فعال (مکانیکی)
- ۳۸- گرد آور سهموی خطی *parabolic trough*
- ۳۹- گردآور سهموی بشقابی *paraboloid - parabolic dish*
- ۴۰- دریافت کننده های مرکزی (هلیوستات) *central receivers*
- ۴۱- عدسی فرنل (*Fresnel lenses*)
- ۴۲- صفحه جذب کننده *absorber plate*
- ۴۳- گیرنده *receiver*
- ۴۴- سطح روزنه (دهانه) *aperture (opening) area*
- ۴۵- ظرفیت (برخورد) منبع تابش *The incident solar resource*
- ۴۶- انرژی تابشی (نوری) در واحد زمان *The rate of optical energy*
- ۴۷- ضریب دریافت گیرنده (ضریب انرژی منعکس شده ورودی یا ضریب انرژی تابیده به گیرنده) *capture fraction*
- ۴۸- ضریب بازتاب *reflectance*
- ۴۹- ضریب عبور (نور گذر) *transmittance*
- ۵۰- ضریب سرریز *Spillage*
- ۵۱- جابجائی *convective*
- ۵۲- امواج قابل رویت *the visible spectrum*
- ۵۳- پدیده ها *Mechanisms*
- ۵۴- افت جابجائی *Convection Loss*

- ۵۵- ضریب گسیل (انتشار) emittance
- ۵۶- هدایت حرارت heat conduction
- ۵۷- نقطه پیک قدرت Peak Power Point
- ۵۸- بازده نوری Optical Efficiency
- ۵۹- انرژی مفید مناسب appropriate useful energy
- ۶۰- سهموی خطی وی شکل vee-troughs
- ۶۱- متمرکز کننده مخروطی conical concentrators
- ۶۲- متمرکز کننده سهموی مرکب compound parabolic concentrators
- ۶۳- تابش پراکنده محاط شده the circumsolar diffuse solar irradiance
- ۶۴- ضریب خروج حرارت 'heat removal factor'
- ۶۵- درجه حرارت ایستا stagnation temperature
- ۶۶- انتخاب منحنی مناسب curve fit
- ۶۷- بیشینه maximum
- ۶۸- کمینه minimum
- ۶۹- برون یابی extrapolating بدست آوردن یک نقطه از منحنی خارج از چند نقطه از آن
- ۷۰- درون یابی interpolating بدست آوردن یک نقطه از منحنی بین چند نقطه از آن
- ۷۱- آستانه threshold
- ۷۲- گیرنده های حفره ای cavity receivers
- ۷۳- ردیابی خورشید track the sun
- ۷۴- پیل‌های خورشیدی Photovoltaic Collectors
- ۷۵- پیل‌های متمرکز خورشیدی concentrating photovoltaic collector
- ۷۶- گردش circulate
- ۷۷- سیستم ردیاب خورشید
- ۷۸- ضریب تصحیح زاویه برخورد incident angle modifier
- ۷۹- ساز و کار - مکانیزم
- ۸۰- منحنی مناسب polynomial curve fit
- ۸۱- گردآورهای ردیاب tracking collectors
- ۸۲- زوج حرارتی thermocouple
- ۸۳- گذرا transient

- ۸۴- پوشش شفاف transparent cover
- ۸۵- پوشش نیمه شفاف translucent cover
- ۸۶- هدایت حرارتی thermal-conductivity
- ۸۷- جابجائی (همرفت)
- ۸۸- میزان انتقال حرارت heat-transfer rate
- ۸۹- خوردگی شیمیائی galvanic corrosion
- ۹۰- سیال انتقال حرارت heat-transfer fluid
- ۹۱- روکش-اندود coating
- ۹۲- همبستگی correlation
- ۹۳- فروسائی degradation
- ۹۴- پنجره شیروانی skylight
- ۹۵- پیشآمدگی Overhang
- ۹۶- شالوده foundation
- ۹۷- قوانین سرانگشتی rules of thumb
- ۹۸- پنجره های بام و نور گیر بام clerestories and skylights
- ۹۹- نسبت تمرکز *Concentration Ratio*
- ۱۰۰- نسبت تمرکز نوری *Optical Concentration Ratio (CR_o)*
- ۱۰۱- نسبت تمرکز هندسی geometric concentration ratio
- ۱۰۲- زاویه لبه the rim angle (ψ_{rim})
- ۱۰۳- متمرکز کننده سهموی ترکیبی compound parabolic concentrator (CPC)
- ۱۰۴- گیرنده در همه جهات the omnidirectional receiver
- ۱۰۵- گیرنده با سطح کانونی the focal plane receiver
- ۱۰۶- گیرنده صفحه کانونی focal plane receiver
- ۱۰۷- خراش سطحی etching
- ۱۰۸- روزانه diurnal
- ۱۰۹- آذرسنج آذرسنج (*normal incidence pyrheliometer or NIP*)
- ۱۱۰- نسبت منظر (aspect ratio)

جذب کننده (Absorber) : سطح سیاه در یک گردآور که تابش خورشید را جذب کرده و آنرا به انرژی حرارتی تبدیل مینماید.

ضریب جذب (Absorptance) : نسبت انرژی خورشیدی جذب شده توسط یک سطح به انرژی خورشیدی تابیده شده به آن.

سیستم فعال (Active System) : یک سیستم گرمایش یا سرمایش که نیاز به انرژی مکانیکی برای حرکت حرارت گردآوری شده دارد.

A

Air System Solar domestic hot water systems employing air-type collectors are available. Hot air generated by these collectors is fan forced through an air-to-liquid heat exchanger with the potable water being pumped through the liquid section of the exchanger. The heated water is then circulated through the storage tank in a similar fashion to the liquid collector system. Air does not need to be protected from freezing or boiling, is non-corrosive, and is free. However, air ducts and air handling units require greater space than piping, and air leaks are difficult to detect.

Air-Type Collector A collector that uses air as the heat transfer fluid.

Altitude The angular distance from the horizon to the sun.

Ambient Temperature The temperature of the surrounding air.

ASHRAE Abbreviation for the American Society of Heating and Air-Conditioning Engineers.

Auxiliary Heat The extra heat provided by a conventional heating system for periods of cloudiness or intense cold when a solar heating system cannot provide enough.

Azimuth The angular distance between true south and the point on the horizon directly below the sun.

B

British Thermal Unit (BTU) The quantity of heat needed to raise the temperature of one pound of water one degree Fahrenheit.

C

Calorie The quantity of heat needed to raise the temperature of one gram of water one degree Celsius.

Coefficient of Heat Transmission The rate of heat loss in BTU per hour through a square foot wall or other building surface when the difference between indoor and outdoor air temperatures is one degree Fahrenheit.

Collector A device that collects solar radiation and converts it to heat.

Collector Efficiency The ratio of usable heat energy extracted from a collector to the solar energy striking the cover.

Concentrating Collector A device which concentrates the sun's rays on an absorber surface which is significantly smaller than the overall collector area.

Conductance The rate of heat flow (in BTUs per hour) through an object when a 1° F. temperature difference is maintained between the sides of the object.

Conduction The flow of heat due to temperature variations within a material.

Conductivity A measure of the ability of a material to permit conduction of heat flow through it.

Convection The motion of fluid such as gas or liquid by which heat may be transported.

Cover Plate A sheet of glass or transparent plastic placed above the absorber in a flat plate collector.

D

Degree Day A unit that represents a 1 degree F. deviation from some fixed reference point (usually 65°F.) in the mean daily outdoor temperature.

Design Heat Load The total heat loss from a house under the most severe winter conditions likely to occur.

Design Temperature The temperature close to the lowest expected for a location, used to determine the design heat load.

Diffuse Radiation Indirect sunlight that is scattered from air molecules, dust and water vapor.

Direct Radiation Solar radiation that comes straight from the sun, casting shadows on a clear day.

Drain down System Potable water is circulated from the storage tank through the collector loop. Freeze protection is provided by solenoid valves opening and dumping the water at a preset low temperature. Collectors and piping must be pitched so that the system can drain down, and must be assembled carefully to withstand 100 psi. city water line pressures. Pressure reducing valves are recommended when city water pressure is greater than the working pressure of the system.

Drain back System The solar heat transfer fluid automatically drains into a tank by gravity. Drain back systems are available in one or two tank configurations. A heat exchanger is necessary, because the city inlet pressure would prevent draining. The heat transfer fluid in the collector loop may be distilled or city water if the loop plumbing is copper. If the plumbing is threaded galvanized pipe, inhibitors may be added to prevent corrosion. Most inhibitors are non-potable and require a double wall heat exchanger. The pump used must be sized to overcome static head.

E

Emittance A measure of the propensity of a material to emit thermal radiation.

Eutectic Salts A group of materials that melt at low temperatures, absorbing large quantities of heat.

F

Flat Plate Collector A solar collection device in which sunlight is converted into heat on a plane surface without the aid of reflecting surfaces to concentrate the rays.

Forced Convection The transfer of heat by the flow of fluids (such as air or water) driven by fans, blowers or pumps.

G

Galvanic Corrosion A condition caused as a result of a conducting liquid making contact with two different metal which are not properly isolated physically and/or electrically.

Getters A column or cartridge containing an active metal which will be sacrificed to protect some other metal in the system against galvanic corrosion.

Glaubers Salt Sodium sulfate a eutectic salt that melts at 90°F. and absorbs about 104 Btu per pound as it does so.

Gravity Convection The natural movement of heat that occurs when a warm fluid rises and a cool fluid sinks under the influence of gravity.

H

Headers The pipe that runs across the edge of an array of solar collectors, gathering or distributing the heat transfer fluid from, or to the risers in the individual collectors. This insures that equal flow rates and pressure are maintained.

Heat Capacity A property of a material denoting its ability to absorb heat.

Heat Exchanger A device, such as a coiled copper tube immersed in a tank of water, that is used to transfer heat from one fluid to another through a separating wall.

Heat Storage A device or medium that absorbs collected solar heat and stores it for use during periods of inclement or cold weather.

Heat Storage Capacity The amount of heat which can be stored by a material.

Heating Season The period from early fall to late spring (in the northern hemisphere) during which additional heat is needed to keep a house comfortable for its occupants.

Heat Pump A mechanical device that transfers heat from one medium to another, thereby cooling the first and warming the second.

Heat Sink A medium or container to which heat flows.

Heat Source A medium or container from which heat flows.

Hybrid Solar Energy System A system that uses both active and passive methods in its operation.

I

Indirect System A solar heating or cooling system in which the solar heat is collected exterior to the building and transferred inside using ducts or piping and, usually fans or ducts.

Infrared Radiation Electromagnetic radiation from the sun that has wavelengths slightly longer than visible light.

Insolation The total amount of solar radiation direct, diffused and reflected-striking a surface exposed to the sky.

Insulation A material with high resistance (R-value) to heat flow.

L

Langley A measure of solar radiation; equal to one calorie per square centimeter.

Liquid Type Collector A collector using a liquid as the heat transfer fluid.

N

Natural Convection See Gravity Convection.

Nocturnal Cooling The cooling of a building or heat storage device by the radiation of excess heat into the night sky.

O

One-Tank Closed-Loop System A conventional DHW tank, usually electrically heated, is converted to a solar DHW storage tank by installing an external heat exchanger coil. The lower electrical element is removed, leaving the uppermost of the usual two elements to provide auxiliary water heating and to achieve good stratification (layering of hotter water over progressively colder water).

Open System Some part of the System is open to the atmosphere, or system contains fresh or changeable water.

P

Passive System A solar heating or cooling system that uses no external mechanical power to move the collected solar heat.

Percentage of Possible Sunshine The percentage of daytime hours during which there is enough direct solar radiation to cast a shadow.

Photosynthesis The conversion of solar energy to chemical energy, by the action of chlorophyll in plants and algae.

Photovoltaic Cells Semi conductor devices that convert solar energy into electricity.

Pyranometer An instrument for measuring solar radiation.

R

Radiant Panels Panels with integral passages for the flow of warm fluids, either air or liquids. Heat from the fluid is conducted through the metal and transferred to the rooms by thermal radiation.

Radiation The flow of energy through open space via electromagnetic waves, such as visible light.

Reflected Radiation Sunlight that is reflected from surrounding trees, terrain or buildings onto a surface exposed to the sky.

Refrigerant A liquid such as Freon that is use in cooling devices to absorb heat from surrounding air or liquids as it evaporates.

Resistance, or R Value The tendency of a material to retard the flow of heat.

Retrofitting The application of a solar heating or cooling system to an existing building.

Risers The flow channels or pipes that distribute the heat transfer liquid across the face of an absorber.

S

Seasonal Efficiency The ratio, over an entire heating season, of solar energy collected and used to the solar energy striking the collector.

Selective Surface A surface that absorbs radiation of one wavelength (for example, sunlight) but emits little radiation of another wavelength (for example, infrared); used as a coating for absorber plates.

Shading Coefficient The ratio of the solar heat gain through a specific glazing system to the total solar heat gain through a single layer of clear double-strength glass.

Solar Constant The average intensity of solar radiation reaching the earth outside the atmosphere; accounting to two langleys or 1.94 gram-calories per square centimeter, equal to 442.4 BTU/hr/ft.², or 1395 watts/m².

Solar Radiation (Solar Energy) Electromagnetic radiation emitted by the sun.

Solar Rights A legal issue concerning the right of access to sunlight.

Specific Heat The quantity of heat, in BTU, needed to raise the temperature of one pound of a material 1°F.

Standby Heat Loss Heat lost through storage tank and piping walls.

Sun Path Diagram A circular projection of the sky vault, similar to a map, that can be used to determine solar positions and to calculate shading.

T

Thermal Capacity The quantity of heat needed to warm a collector up to its operating temperature.

Thermal Mass or Thermal Inertia The tendency of a building with large quantities of heavy materials to remain at the same temperature or to fluctuate only very slowly; also the overall heat storage capacity of the building.

Thermal Radiation Electromagnetic radiation emitted by a warm body.

Thermistor Sensing device which changes its electrical resistance according to temperature. Used in the control system to generate input data on collector and storage temperatures.

Thermosyphoning The process that makes water circulate automatically between a warm collector and a cooler storage tank above it. (See Gravity Convection).

Tilt Angle The angle that a flat plate collector surface forms with the horizontal plane.

Trickle Type Collector A collector in which the heat transfer liquid flows through metal tubes which are fastened to the absorber plate by solder, clamps or other means. (See Collector).

Tube-in-Plate-Absorber A metal absorber plate in which the heat transfer fluid flows through passages formed in the plate itself.

Tube-Type Collector A collector in which the heat transfer fluid flows through metal tubes that are fastened to the absorber plate with solder, clamps or other means. (See Collector).

U

Ultraviolet Radiation Electromagnetic radiation with wavelengths slightly shorter than visible light.

S

Solar Pool Heater Information Page.

Solar Hot Water Information Page.

طراحی سیستم های خورشیدی ساختمان در ایران

تألیف: دکتر مجید رئوفی راد