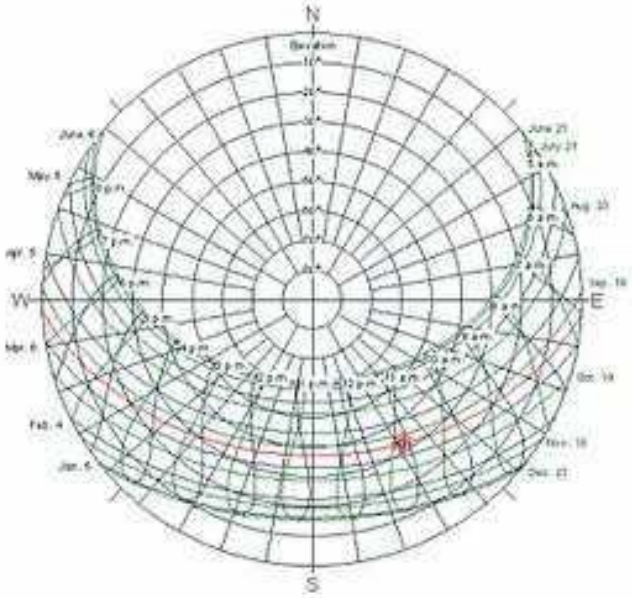
کاربرد اقلیمی تابش خورشیدی در برنامه‌ریزی محیطی



دکتر تقی طاوسی
عضو هیئت علمی دانشگاه سیستان و بلوچستان

کاربرد اقلیمی تابش خورشیدی در برنامه‌ریزی محیطی
دکتر تقی طاوسی

۵۴

University of Sistan and Baluchestan
54

The Climatic Application of Solar Radiation in Environmental Planning

کاربرد اقلیمی تابش خورشیدی در برنامه‌ریزی محیطی

دکتر تقی طاوسی

خورشید به عنوان یک چشمه بی‌پایان انرژی می‌تواند درمان مشکلات موجود درمورد انرژی و محیط زیست باشد. انرژی بدون خطر خورشیدی که به زمین می‌تابد هزاران بار بیشتر از آن است که انسان نیاز دارد و مصرف می‌کند. انرژی خورشیدی «پاک»، «ارزان» و «بی پایان» بوده و در بیشتر مناطق آب و هوایی زمین قابل برداشت است. محدودیت انرژی‌های فسیلی و پیامدهای حاصل از تغییرات زیست محیطی و آب و هوای جهانی، فرصتهای مناسبی را برای رقابت انرژی خورشیدی با سوخت‌های فسیلی بویژه در کشورهایی با پتانسیل بالای تابش آفتاب ایجاد نموده‌است.

Dr. Taghi Tavousi
Faculty of Geography & Environmental Planning
University of Sistan & Baluchestan

ISBN:978-600-5145-25-0
9786005145250
با همکاری نشر مرتدین

۵۴

سرشناسه: طاوسی، تقی، ۱۳۴۱-
عنوان و نام پدیدآور: کاربرد اقلیمی تابش خورشیدی در برنامه‌ریزی محیطی/ مؤلف: تقی طاوسی
وضعیت نشر: مشهد: چاپ مرندیز؛ زاهدان: انتشارات دانشگاه سیستان و بلوچستان، معاونت پژوهشی، ۱۳۹۰.
مشخصات ظاهری: ۲۶۴ ص : مصور (بخش رنگی)، جدول.
شابک: ۲- ۱۰۴- ۱۰۶- ۶۰۰- ۹۷۸
وضعیت فهرست نویسی: فیپا
موضوع: انرژی خورشیدی - - عوامل اقلیمی
موضوع: انرژی خورشیدی
موضوع: سیاست انرژی خورشیدی
موضوع: انرژی خورشیدی - - سیستمهای غیر فعال
شناسه افزوده: دانشگاه سیستان و بلوچستان، معاونت پژوهشی.
رده بندی کنگره: ۱۳۹۰ ط ۲ ک ۸۱۰/۲ TJ
رده بندی دیوئی: ۶۲۱/۴۷
شماره کتاب‌شناسی ملی: ۲۴۳۷۵۲۱

دانشگاه سیستان و بلوچستان

کاربرد اقلیمی تابش خورشیدی در برنامه‌ریزی محیطی

دکتر تقی طاوسی
استاد گروه جغرافیای طبیعی و آب و هوا شناسی
دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی
دانشگاه سیستان و بلوچستان
زاهدان
ایران

چاپ اول: پاییز ۱۳۹۰ خورشیدی
تصحیح شده توسط نویسنده در سال ۱۳۹۶ خورشیدی

University of Sistan and Baluchestan

The Climatic Application of Solar Radiation in Environmental Planning

Dr. Taghi Tavousi

Professor in the Department of Physical Geography and Climatology

Faculty of Geography and Environmental Planning

University of Sistan and Baluchestan

Zahedan

Iran

First Edition 2011

Revision, 2017

دانشگاه سیستان و بلوچستان

با همکاری انتشارات مرندیز

کاربرد اقلیمی تابش خورشیدی
در برنامه‌ریزی محیطی

نویسنده:

دکتر تقی طاوسی

چاپ اول، ۱۳۹۰

شابک: ۲- ۱۰۴- ۱۰۶- ۶۰۰- ۹۷۸

تصحیح شده توسط نویسنده در سال ۱۳۹۶ خورشیدی

پیشکش

به روان پاک پدرم، روحش
شاد و یادش گرامی باد

و

پیشکش

به مادر فداکارم.

فهرست عناوین

فهرست عناوین ..... أ
فهرست جداول ..... خ
فهرست شکل‌ها ..... ذ

فصل اوّل: مقدمه‌ای بر مفهوم برنامه‌ریزی محیطی ۱
۱-۱. مفهوم برنامه‌ریزی محیطی ۱
۱-۲. ضرورت برنامه‌ریزی محیطی ۲
۱-۳. فرآیند برنامه‌ریزی محیطی ۳
۱-۴. گام‌های برنامه‌ریزی محیطی ۴
۱-۵. اهداف برنامه‌ریزی محیطی ۵
۱-۶. ارزیابی‌های زیست محیطی ۷
۱-۷. توسعه پایدار ۸
۱-۸. کاربرد اقلیم در برنامه‌ریزی محیطی ۱۰
۱-۹. پویایی‌های اقلیمی و اهداف برنامه‌ریزی محیطی ۱۲
۱-۱۰. نقش تابش خورشید در تأمین انرژی اتمسفری ۱۵

فصل دوّم: خورشید سرچشمه انرژی ۱۹
۲-۱. همه جا انرژی خورشید ۱۹
۲-۲. شیوه‌های جابجایی گرما ۲۰
۲-۳. فرآیند تابش خورشید ۲۱
۲-۴. امواج الکترومغناطیس ۲۲
۲-۵. انرژی تابشی و نور ۲۴
۲-۶. قوانین تابش ۲۶

۲-۷. پایای خورشیدی ۲۹

فصل سوّم: پالایش انرژی تابشی خورشید در اتمسفر زمین ۳۱

۳-۱. ترکیب اتمسفر زمین ۳۱

۳-۲. پدیده حذف و پالایش ۳۳

۳-۳. جذب تابش خورشیدی در اتمسفر ۳۳

۳-۴. فرآیند پراکندگی تابش خورشید ۳۶

۳-۴-۱. پارادوکس تابشی ابر ۳۸

۳-۴-۲. طول اپتیکی تابش در اتمسفر ۳۹

۳-۵. تابش کلی ۴۱

فصل چهارم: محاسبه زاویه تابش مستقیم خورشید در سطح زمین ۴۳

۴-۱. انرژی تابشی خورشید بنیان آب و هوا ۴۳

۴-۲. جایگاه خورشید در آسمان ۴۳

۴-۳. تغییرات زاویه میل خورشید ۴۴

۴-۴. تعدیل زمان پیامد حرکت چرخشی و گردشی زمین ۵۰

۴-۵. نیمروز محلی ۵۷

۴-۶. محاسبه لحظه نیمروز محلی به کمک زمان رسمی ۵۸

۴-۷. محاسبه زاویه ساعتی خورشید ۵۹

۴-۸. تعیین مدّت تابش (طول روز) ۶۱

۴-۹. محاسبه ارتفاع خورشید نیمروزی در سطح تراز ۶۲

۴-۱۰. محاسبه زاویه تابش خورشید در ساعات مختلف روز در سطح تراز ۶۳

۴-۱۱. تعیین آزیموت تابش مستقیم خورشید ۶۴

۴-۱۲. تعیین شدت تابش مستقیم آفتاب در سطح تراز ۶۸

۴-۱۳. اثر ناهمواری‌های سطح زمین بر زاویه تابش ۷۰

۴-۱۴. دامنه‌های روبه آفتاب ۷۰

۴-۱۵. دامنه‌های پشت به آفتاب ۷۳

۴-۱۶. محاسبه زاویه تابش مستقیم آفتاب بر دامنه‌ها در جهت‌های مختلف ۷۳

۴-۱۷. محاسبه طلوع و غروب محلی آفتاب در دامنه‌ها ۷۴
۴-۱۸. تعیین شدت تابش مستقیم آفتاب در سطوح ناهموار ۸۱

فصل پنجم: سازوکار برخورد متقابل انرژی تابشی آفتاب با سطح زمین ۸۵
۵-۱. عمل برخورد متقابل ۸۵
۵-۲. برآیند تابش مستقیم آفتاب در سطح زمین ۸۶
۵-۳. آلبدوی سطوح گوناگون زمین ۸۷
۵-۴. توانایی جذب انرژی در سطح زمین ۹۱
۵-۵. مقدار گسترش تابش جذب شده در سطح زمین ۹۴
۵-۶. توزیع جغرافیایی انرژی تابشی در سطح زمین ۹۶
۵-۷. دگرگونی ویژگی‌های سطح زمین و تنظیم انرژی گرمایی ۹۷

فصل ششم: کاربرد انرژی تابشی خورشید در کشاورزی ۱۰۳
۶-۱. فرآیند فتوسنتز ۱۰۳
۶-۲. تراز تابش خورشیدی و فرآیند تبخیر و تعرق ۱۰۴
۶-۳. ارزیابی مقدار تبخیر و تعرق ۱۰۶
۶-۴. ارزیابی مقدار نیاز آبی گیاه ۱۱۲
۶-۵. خشک کردن محصول و دانه ۱۱۳
۶-۶. تابش خورشید و نظام مدیریت سنتی آبیاری در مناطق خشک ۱۱۴
۶-۷. گرم کردن گلخانه‌ها ۱۱۵

فصل هفتم: برخورد متقابل انرژی تابش آفتاب با سطوح گوناگون شهر ۱۱۹
۷-۱. تابش خورشیدی در مناطق شهری ۱۱۹
۷-۲. جرح و تعدیل‌های غیر عمدی ناشی از ساختمان سازی ۱۲۱
۷-۳. جزیره گرمایی شهر ۱۲۵

فصل هشتم: کاربرد تابش خورشید در شهرسازی ۱۲۹
۸-۱. کاربرد اقلیم در برنامه‌ریزی مکان‌های عمومی شهری ۱۲۹
۸-۲. عناصر چیره در تعیین مورفولوژی شهری ۱۳۳

۸-۳. فضای سبز شهری، بخش جاندار ساخت کالبدی شهر ۱۳۵
۸-۴. توجه به تابش خورشید، ضرورت «ساماندهی نظام فضایی سکونتگاهی» ۱۳۷
۸-۵. نقش متقابل تابش مستقیم خورشید و گسترش سایه در سطوح شهری ۱۳۸
۸-۶. محاسبه طول سایه در جهت آزیموت آن ۱۴۰
۸-۷. محاسبه عمق سایه ۱۴۴
۸-۸. محاسبه زاویه عمودی سایه ۱۴۵
۸-۹. زاویه تابش مستقیم خورشید و راستای شبکه گذرگاههای شهری ۱۴۷
۸-۱۰. پیامدهای توجه به ویژگی مستقیم تابش در شهرسازی ۱۵۵

فصل نهم: طراحی اقلیمی کاربرد انرژی خورشیدی در معماری ۱۵۷
۹-۱. مفهوم طراحی اقلیمی ۱۵۷
۹-۲. شرایط آسایش دمایی و استانداردها ۱۵۹
۹-۳. شیوه‌های کنترل میکروکلیمای ساختمان ۱۶۲
۹-۳-۱. کاهش جریان هدایت گرمایی مصالح ساختمان ۱۶۳
۹-۳-۲. کاهش سطوح بیرونی دیوار و بام ۱۶۴
۹-۳-۳. استفاده از گرمای خورشید و اثر گلخانه ۱۶۵
۹-۳-۳-۱. شکل و نحوه قرارگیری پنجره برای استفاده از خورشید در زمستان ۱۶۷
۹-۳-۳-۲. افزایش آلبدوی زمین و سطوح بیرون از پنجره زمستان ۱۶۸
۹-۳-۴. کاهش جذب گرمای خورشید در آب و هوای گرم ۱۷۱
۹-۳-۴-۱. کاهش آلبدوی زمین و سطوح بیرون از پنجره تابستان ۱۷۲
۹-۳-۴-۲. استفاده از ناهمواری‌های برای ایجاد سایه در تابستان ۱۷۲
۹-۳-۴-۳. استفاده از سرمایش تابشی ۱۷۵
۹-۳-۴-۴. الگوی جهت ساختمان به منظور کاهش اثر گرمای تابستانی ۱۷۷
۹-۳-۴-۵. ایجاد سایه برای پنجره‌های روبه آفتاب تابستان ۱۸۰
۹-۴. معماری سایبان و اعتدال هوا در تمام سال ۱۸۱
۹-۵. محاسبه مقدار پیش‌آمدگی سایبان ۱۸۲
۹-۶. تابش زمستانی آفتاب و جهت پنجره ۱۸۷

فصل دهم: کاربرد تابش خورشید در معماری سنتی، مورد: «یخ چال» ۱۹۱
۱۰-۱. آشنایی با واژه «یخ چال» ۱۹۱
۱۰-۲. ساز و کار «یخ چال» ۱۹۴
۱۰-۳. شرایط اقلیمی موثر در شکل گیری «یخ چال» ۱۹۵
۱۰-۳-۱. برف انبار ۱۹۶
۱۰-۳-۲. یخ چال ساده ۱۹۶
۱۰-۳-۳. یخ چال نیمه کامل ۱۹۷
۱۰-۳-۴. یخ چال کامل ۱۹۸
۱۰-۴. نقش تابش خورشید در طراحی «یخ چال» ۲۰۰
۱۰-۴-۱. دیوار سایه انداز ۲۰۰
۱۰-۴-۲. کرت یخ بند ۲۰۵
۱۰-۴-۳. چال ۲۰۷
۱۰-۴-۴. سرپناه ۲۰۹
۱۰-۴-۴-۱. سرپناه گنبدی ۲۱۰
الف: ویژگی‌های کاهنده انرژی خورشیدی رسیده به بام گنبد ۲۱۳
یک: کاهش زاویه تابش خورشید تابستانی ۲۱۳
دو: افزایش آلبدو ۲۱۴
ب: ویژگی‌های کاهنده شار انرژی گرمایی محیط بیرونی به فضای درونی گنبد ۲۱۴
یک: ضخامت پوسته ۲۱۴
دو: سطح ناصاف و نسبتاً کدر درون گنبد ۲۱۴
ج: ویژگی‌هایی کاهنده ترمودینامیکی دما در فضای درونی سرپناه ۲۱۵
د: ویژگی‌های هم افزاینده در تشکیل وارونگی دمای درون «گنبد» ۲۱۶
یک: افزایش زاویه تابش خورشید در راستای بلندای گنبد ۲۱۶
دو: افزایش شار گرمایی هوای تابستانی محیط در راستای بلندای گنبد ۲۱۶
❖ شکل مخروطی ۲۱۶
❖ تغییر ضخامت پوسته ۲۱۶

سه: وجود چال مملو از یخ در کف ساختمان ۲۱۷
چهار: وجود روزنه باز در سقف نسبتاً افقی گنبد ۲۱۷
۱۰-۴-۴-۲. سرپناه تونلی ۲۱۷
۱۰-۵. محاسبه زاویه تابش روی سرپناه گنبدی «یخ چال» ۲۱۹
فصل یازدهم: چشم انداز فن آوری استفاده از انرژی خورشیدی ۲۲۱
۱۱-۱. ضرورت استفاده از انرژی آفتاب ۲۲۱
۱۱-۲. سیستم‌های انرژی خورشیدی ۲۲۳
۱۱-۲-۱. استفاده از انرژی گرمایی خورشید ۲۲۴
الف: کاربردهای غیر نیروگاهی ۲۲۴
ب: کاربردهای نیروگاهی ۲۲۵
۱۱-۲-۲. تبدیل مستقیم پرتو خورشید به الکتریسیته (پدیده فتوولتائیک). ۲۲۷
۱۱-۳. شهرهای خورشیدی ۲۲۹
۱۱-۴. نیروگاههای خورشیدی، آینده روشن بیابان آفریقا ۲۳۱
۱۱-۵. ایده طرح شهر شناور خورشیدی ۲۳۱
▪ **منابع** ۲۳۵

فهرست جداول

جدول ۱-۱: جنبه‌های گوناگون شناخت محیط طبیعی..... ۵
جدول ۱-۲: مقایسه دو گونه برنامه‌ریزی، با نیاز یکسان و فناوری متفاوت..... ۱۷
جدول ۲-۱: طول موج رنگ‌های بیناب مرئی به میکرومتر ۲۵
جدول ۳-۱ : نسبت مقدار افزایش (Mh) به (M)، بر پایه زاویه تابش مستقیم خورشید..... ۴۰
جدول ۳-۲ : پراکندگی جغرافیایی تابش مستقیم و پراکنده خورشید..... ۴۲
جدول ۴-۱: زاویه میل خورشید (δ) در اول هر برج خورشیدی..... ۴۸
جدول ۴-۲: تعدیل زمان برای روزهای چهار ماه اول سال خورشیدی..... ۵۴
جدول ۴-۳: تعدیل زمان برای روزهای چهار ماه دوم سال خورشیدی..... ۵۵
جدول ۴-۴: تعدیل زمان برای روزهای چهار ماه سوم سال خورشیدی..... ۵۶
جدول ۴-۵: بلندترین و کوتاه‌ترین طول روز در عرض‌های مختلف جغرافیایی..... ۶۲
جدول ۴-۶: زاویه ارتفاع خورشید عرض‌های جغرافیایی..... ۶۴
جدول ۴-۷: زاویه ارتفاع و آزیموت تابش خورشید در عرض‌جغرافیایی ۳۲ درجه شمالی..... ۶۷
جدول ۴-۸: زاویه شیب دامنه‌های آفتابگیر با بیشینه زاویه تابش در اعتدالین ۸۰
جدول ۵-۱: رابطه بین آلبدوی سطح آب و زاویه سرسوی خورشید..... ۸۹
جدول ۵-۲: آلبدو برخی از سطوح زمین در باندهای تابش..... ۹۰
جدول ۵-۳: گرمای ویژه و هدایت گرمایی برخی از پوشش‌های سطح زمین..... ۹۳
جدول ۶-۱: گرمای مورد نیاز به کالری برای تبخیر یک گرم آب در دماهای متفاوت ۱۰۵
جدول ۶-۲: رابطه بین سرعت باد و نیروی باد در مقیاس بافورت..... ۱۰۸
جدول ۶-۳: ضریب مربوط به تابش (w) با توجه به دمای هوا و ارتفاع ۱۰۹
جدول ۶-۴ (الف) : تابش خورشیدی رسیده به زمین (Ra)، برابر تبخیر روز (نیمکره شمالی)..... ۱۱۰
جدول ۶-۴ (ب) : تابش خورشیدی رسیده به زمین (Ra)، برابر تبخیر روز (نیمکره شمالی)..... ۱۱۱
جدول ۶-۵: ضریب گیاهی (Kc) برای محاسبه نیاز خالص آبیاری..... ۱۱۳
جدول ۷-۱: انتشار تابش مؤثر امواج بلند سطوح محصور..... ۱۲۵
جدول ۸-۱: بیشینه سالانه طول سایه نیمروزی ساختمان..... ۱۴۱

جدول ۸-۲: بیشینه سالانه طول سایه، عرض‌جغرافیایی ۳۲ درجه ش، انقلاب زمستانی..... ۱۴۲
جدول ۸-۳: عمق سایه یک دیوار، عرض‌جغرافیایی ۳۲ درجه ش، انقلاب زمستانی..... ۱۵۱
جدول ۸-۴: عمق سایه یک دیوار، عرض‌جغرافیایی ۳۲ درجه ش در انقلاب تابستانی ۱۵۲
جدول ۸-۵: عمق سایه دیوار، عرض‌جغرافیایی ۳۲ درجه ش در انقلاب تابستانی ۱۵۳
جدول ۹-۱: دامنه آسایش دمایی روزانه و شبانه در «شاخص اوانز»..... ۱۶۱
جدول ۹-۲: مقایسه مقاومت گرمایی آلومینیوم براق با آلومینیوم سفید رنگ ۱۷۷

فهرست شکل‌ها

شکل ۳-۱: مسافت پیموده شده پرتوهای خورشید در اتمسفر ۴۱
شکل ۴-۱: آنالما، مدار میل خورشید در هنگام نیمروز در روزهای مختلف سال ۴۹
شکل ۴-۲: مقایسه راه پیموده شده زمین در اوج و حضیض خورشید در زمان مساوی ۵۱
شکل ۴-۳: زاویه شیب دامنه‌های آفتابگیر با بیشینه زاویه تابش در اعتدالین ۸۰
شکل ۵-۱: توزیع جغرافیایی آلبدو در سطح کره زمین ۹۱
شکل ۵-۲: توزیع جغرافیایی انرژی تابشی در سطح زمین ۹۸
شکل ۸-۱: ارتباط چند جانبه بین هوا و میکرواقلیم و سه ساختار مکانی ۱۳۳
شکل ۸-۲: نیمرخ مثلث قائم‌الزاویه سایه ساختمان ۱۴۳
شکل ۸-۳: گسترش سایه بلند زمستانی بناهای بلند بر روی ساختمان‌های پشت سر ۱۴۳
شکل ۸-۴: شماتیک «طول سایه» و «عمق سایه» در رابطه با زاویه (Δd) ۱۴۶
شکل ۹-۱: سطح پراکنش مؤثر روشنایی آفتاب ۱۶۹
شکل ۹-۲: نمودار زاویه ارتفاع خورشید و دمای هوای یک روز زمستانی در شهر اصفهان ۱۸۹
شکل ۱۰-۱: پلان یخ چال میبد در استان یزد ۱۹۲
شکل ۱۰-۲: یخدان مؤیدی شهر کرمان ۱۹۳
شکل ۱۰- ۳: یخ چال مویدی در شهر کرمان ۱۹۳
شکل ۱۰-۴: «یخ چال کامل» بیدخت گناباد (خراسان رضوی) ۱۹۹
شکل ۱۰-۵: چند دیوار سایه‌انداز موازی در یخ چال ابرکو ۲۰۱
شکل ۱۰-۶: دیوار سایه‌انداز (یخ چال مؤیدی کرمان) ۲۰۳
شکل ۱۰-۷: نقوش برجسته تزئینی دیوار سایه‌انداز (زریسف کرمان) ۲۰۴
شکل ۱۰-۸: طاق نماهای دیوار سایه‌انداز (یخ چال شهر میبد در استان یزد) ۲۰۴
شکل ۱۰-۹: پشت بند (یخ چال مؤیدی کرمان) ۲۰۵
شکل ۱۰-۱۰: «کرت یخ بند» در یخ چال میبد ۲۰۷
شکل ۱۰-۱۱: «چال» و پلکان درون آن ۲۰۹
شکل ۱۰-۱۲: مخروط «سرپناه گنبدی» و شکل پلکانی آن (شهر ابرکو) ۲۱۳

شکل ۱۰-۱۳: سطح درونی بدون آستر و ناصاف «سرپناه گنبدی» (شهر کاشمر) ۲۱۵
شکل ۱۰-۱۴: یخ چال زیر زمینی دوقوز پله (شهر ارومیه) ۲۱۹
شکل ۱۱-۱: خانه خورشیدی ۲۲۵
شکل ۱۱-۲: شهر خورشیدی شناور از نمای بالا ۲۳۲
شکل ۱۱-۳: شهر خورشیدی شناور از نمای زیر آب ۲۳۲
شکل ۱۱-۴: شهر خورشیدی شناور از نمای ساحل ۲۳۳

فصل اوّل

مقدمه‌ای بر مفهوم برنامه‌ریزی محیطی

۱-۱. مفهوم برنامه‌ریزی محیطی

انسان موجودی نیازمند آفریده شده است. آفریدگار جهانیان امکان رفع نیاز بشری را در پیرامون وی آماده نموده است. تنها کاری که بر عهده آدم قرار دارد، این است که در جهت بر طرف کردن نیاز خویش حرکت کند. حرکت باید هدفمند باشد، یعنی با «برنامه» باشد. کلمه برنامه معادل واژه (Plan) بکار رفته است. این واژه علاوه بر برنامه، به مفهوم «طرح» (در شهرسازی)، «نقشه» (در معماری) و «آرایش» (در سیستم) نیز بکار رفته است. واژه (Design) نیز به عنوان طرح و نقشه بکار رفته است. در دانش کامپیوتر، برنامه معادل واژه (Program) و «برنامه نویسی» معادل واژه (Programming) کاربرد یافته است (رهنمایی و شاه حسینی، ۱۳۸۳: ۴). «برنامه» مجموعه مدونی از تصمیمات آگاهانه است. برنامه فرآیندی است که طی آن به هدف یا اهدافی رسیده می‌شود. ارکان اصلی برنامه شامل: هدف، راهکار، فناوری، اجرا و ارزشیابی است (حسین زاده دلیر، ۱۳۸۳: ۴).

اصطلاح «برنامه‌ریزی» ترجمه واژه انگلیسی (Planning) است که با تأسیس سازمان برنامه به جای اصل چهار ترومن وارد زبان فارسی شده است و منظور از آن تدوین تدابیر اجرایی دنباله‌دار و گام‌های عملی برای رسیدن به اهدافی معین در زمان، تعیین شده است (رهنمایی و شاه حسینی، ۱۳۸۳: ۳). برنامه‌ریزی کوششی است که در جهت انتخاب بهترین برنامه‌ها برای رسیدن به هدف‌های مشخص صورت می‌گیرد (شیعه، ۱۳۶۹: ۸۵). برنامه‌ریزی یعنی یک نظام تصمیم‌گیری برای تعیین راهکار به منظور دستیابی به هدف‌هایی که در رابطه با نیازهای آینده تعیین می‌شود (زمردیان، ۱۳۶۴: ۱۲). به سخن دیگر، برنامه‌ریزی یک جریان آگاهانه است که به منظور دسترسی به اهداف معین، انجام یک دنباله از کارهای مرتبط با یکدیگر را برای آینده پیش بینی می‌کند (معصومی اشکوری، ۱۳۷۰: ۸۰).

«برنامه‌ریزی محیطی» فرآیند ذهنی و عملی یک سری تصمیم‌های سنجیده در بهره‌گیری از محیط است که با رعایت قیودات خاص خود، شیوه و شکل رابطه انسان با محیط زیست را در قالبی بهینه طراحی و طبقه بندی می‌کند. برنامه‌ریزی محیطی یعنی ارائه چارچوبی در باره چگونگی ارتباط انسان با محیط طبیعی، که باید از راه شناخت محیط و انطباق برنامه با کنش‌های طبیعت طرح شود به طوری که تقابل کارکردهای بشری با کنش‌های محیط طبیعی به کمینه ممکن برسد تا انسان از امتیازات محیط بهره‌مند شود (رامشت، ۱۳۷۵). در برنامه‌ریزی محیطی، برنامه‌ریزان بیشتر به فکر استفاده بهینه از منابع و توانایی‌های محیط هستند، محیطی که بستر برنامه را تشکیل می‌دهد. همچنین طراحان باید به ویژگی‌هایی توجه کنند که محیط می‌تواند در آینده داشته باشد. به سخن دیگر، پویش هدایت اندیشمندانه سازوکار تصمیم‌گیری به منظور بهره‌برداری منطقی از توانایی‌ها و منابع محیطی در جهت تأمین نیازمندی‌های عمومی و ریشه‌ای جامعه، برنامه‌ریزی محیطی است (آسایش، ۱۳۷۵: ۲).

برنامه‌ریزی محیطی باید عرصه رابطه پیچیده انسان با محیط را به گونه‌ای سامان دهد که محیط مناسبی برای زیست بشر فراهم آید. از این رو بهره‌گیری از اندیشمندان دانش‌های گوناگون مانند اقلیم‌شناسی، معماری، جامعه‌شناسی، روانشناسی، شهرسازی، هیدرولوژی، ژئومورفولوژی و ... ضرورت دارد.

۱-۲. ضرورت برنامه‌ریزی محیطی

از بدوی‌ترین و ساده‌ترین کارهای بشر در رفع نیازهای خود تا جدیدترین و پیچیده‌ترین فعالیت‌های اقتصادی- صنعتی وی اثبات کرده است که یکی از مهم‌ترین نیاز انسان، «نیاز به برنامه‌ریزی» است. بلک (Black) می‌گوید: کورش عقیده داشت که شبانگاه باید بر این پندار بود که بامدادان چه کار کنیم و چون روز فرا رسد به این اندیشه بود که شب را چگونه به پایان آوریم (حسین زاده دلیر، ۱۳۸۳: ۱۳). برنامه‌ریزی محیطی بر پایه ضرورت‌هایی انجام می‌شود. این ضرورت‌ها از طریق تعیین نیازهای انسانی و ویژگی‌های محیطی، شناسایی شده و بر پایه موضوع‌های جداگانه طبقه بندی می‌شوند. «ضرورت‌ها» معرف شرایطی هستند که استمرار آنها می‌تواند شرایط زیست محیطی را در مخاطره قرار دهد. به این دلیل تشخیص ضرورت‌ها در تعیین اهداف به برنامه‌ریزان کمک می‌کند. هدف گذاری و تشخیص ضرورت‌ها در برنامه‌ریزی محیطی با شناخت ویژگی‌های محیطی انجام می‌گیرد.

پیش از مشخص کردن اهداف باید به شناخت توانایی‌ها و محدودیت‌های محیطی توجه شود. در موضوع شناسی مسائل و محدودیت‌های محیطی ممکن است به مشکلات جدیدی رسید که تصور آن از پیش ممکن نبود. تغییرات زیست محیطی ناشی از اجرای یک برنامه، می‌تواند مسائل و مشکلاتی ایجاد نماید. مشکلاتی که در هنگام برنامه‌ریزی آشکار نبود. به هر حال، هر تغییری به دگرگونی نیاز بشری می‌انجامد. به طور کلی ضرورت‌ها ممکن است عینی یا ذهنی باشد، عینی یعنی برگرفته از شرایط موجود و ذهنی یعنی برخاسته از شرایطی باشد که در پی اجرای طرح در آینده بروز خواهد کرد. از این رو، درک مشکلات محیطی به تخصص‌های ویژه نیاز دارد. به همین دلیل برنامه‌ریزی محیطی را دانش میان رشته‌ای می‌دانند.

۱-۳. فرآیند برنامه‌ریزی محیطی

کلیت برنامه‌ریزی را باید به عنوان یک سیستم در نظر گرفت. فرآیند برنامه‌ریزی مانند همه سامانه‌ها با محیط رابطه‌ای پویا و متقابل دارد. شرایط متغیر و پویای حاکم بر «ویژگی‌های محیطی»، «نیازهای بشری» و «پارادایم‌های دانش» در هر رشته تخصصی خاص، سه عاملی هستند که شرایط زمانی و مکانی یک برنامه‌ریزی محیطی را تعیین می‌کنند. عملکرد یک طرح برنامه‌ریزی شده، نتیجه تعامل کارکردی (تابعی) خرده سیستم‌هایی (اجزا و عناصری) است که روابط و کنش‌های چندجانبه بین خود و کل برنامه را در یک کلیت بروز می‌دهند.

به عبارت دیگر، هر «فرایند برنامه‌ریزی» یک سیستم، باز است و از رخدادهای بیرونی (نیروها و پویایی‌های محیطی) و درونی (راهکارها) متأثر می‌شود. امروزه دگرگونی‌های همه جانبه در جامعه بشری، مسائل و نیازهای جدیدی را بر الگوهای برنامه‌ریزی محیطی حاکم کرده است. برای مثال، گسترش شهرنشینی نخست آلودگی هوا و سپس تغییر ترکیبات اتمسفری را موجب می‌شود. پیامد این تغییر، به هم خوردن تراز گرمایی شهر و ایجاد جزیره گرمایی است. مخاطرات ناشی از پیدایش جزیره گرمایی شهر، سبب دگرگون شدن نیازهای طبیعی انسان می‌شود. اهداف، فنون و راهکارها نیز متناسب با این تغییرات دگرگون می‌شوند. نخستین گام در برنامه‌ریزی محیطی، شناخت دقیق این دگرگونی‌هاست تا با صرف کمترین هزینه، امکان دسترسی به بیشترین بهره میسر گردد.

برخی، فرآیند برنامه‌ریزی را در دو دسته عینی و ذهنی تقسیم بندی می‌نمایند و آن را مجموعه‌ای از تصمیم گیری‌های سنجیده بیان می‌کنند که بر پایه قیودات کمّی، کیفی، زمانی و

مکانی، شیوه دخالت انسان را در موضوعی مشخص می‌کند (رهنمایی و شاه حسینی، ۱۳۸۳: ۶). برنامه‌ریزی از این نظر فرآیند ذهنی است که پشتوانه فکری برای تصمیم گیری دارد و با وجود برخورداری از چنین پشتوانه‌ای دارای «باید» و «نباید» های خاص خود است که میزان دخالت انسان در محیط را با در نظر گرفتن خصلت زیاده طلبی وی کنترل می‌کند. برای عینیت یافتن مقوله‌های ذهنی الزاماً به فضا و مکان نیاز است. هر فضا و مکان مشخص، ویژگی خاص خود را دارد که بر موضوع برنامه‌ریزی تأثیر گذاشته یا از آن تأثیر می‌پذیرد. بنا بر این هر نوع برنامه‌ریزی دو ویژگی دارد:

- **ویژگی موضوعی** شامل نوع نیاز انسانی که به شرایط مکانی و زمانی بستگی دارد. چنان که انسان در دوره گرم به سرمایش و در دوره سرد به گرمایش نیاز دارد.

- **ویژگی مکانی** یا **فضایی** شامل شرایط محیطی (طبیعی، اجتماعی، اقتصادی، فرهنگی، تمدنی و ...)، مانند شرایط آب و هوایی و به طور کلی «توانایی‌های پیدا و نهفته محیطی» و نیز «چالش‌ها و محدودیت‌های محیطی موجود و پیش‌رو» و حتی سطح تکنولوژی ساخت دست بشر و میزان دسترسی هر کشور به فناوری موجود، که به عنوان توانایی و یا محدودیت محیطی شناخته می‌شوند.

۱-٤. گام‌های برنامه‌ریزی محیطی

برنامه‌ریزی محیطی در سه گام کلی «شناخت محیط و تنظیم برنامه»، «اجرای برنامه» و «ارزشیابی برنامه» بنیان نهاده می‌شود. «ویژگی موضوع» سنگ بنای تنظیم برنامه است. موضوع مورد نظر در برنامه‌ریزی محیطی به «نیازهای گوناگون بشری» و «شرایط متغیر محیطی» بستگی دارد. شناخت مسائل و مشکلات موضوع برنامه، نخستین گام برنامه‌ریزی محیطی به شمار می‌رود که طی آن شرایط زمانی و مکانی نیاز انسانی و همچنین "توانایی‌ها" و "محدودیت‌های" محیطی در پاسخگویی به نیاز مربوطه مورد بررسی قرار خواهد گرفت. پس از «تبیین مسئله» و «جمع آوری اطلاعات» از منابع پر شمار اطلاعاتی، ضرورت دارد تا به کمک دسته‌بندی اطلاعات، بتوان به «تجزیه و تحلیل» و «ترکیب اطلاعات» اقدام کرد. در این گام فرصت‌ها و چالش‌های آشکار و نهفته محیطی و سیر تحول نیازهای مرتبط با آنها مورد کنکاش قرار خواهد گرفت. برنامه‌ریزان،

نخست برنامه خود را متناسب با قابلیت و توانایی‌های محیطی طراحی می‌نمایند. سپس باید به مشخصاتی توجه کنند که محیط می‌تواند در آینده داشته باشد. یعنی پتانسیل‌های محیطی و چالش‌های نهفته که ممکن است همراه با اجرای برنامه بروز نمایند. از این رو، «قضاوت و ارزشیابی» از روند اجرای برنامه طی گام‌های مختلف برنامه‌ریزی طراحی می‌شود. «شناخت محیط» گام مهمّی است که پیش از تنظیم برنامه، در چهار موضوع باید پیموده شود (جدول ۱-۱).

جدول ۱-۱: جنبه‌های گوناگون شناخت محیط طبیعی

الف: شناخت توانایی‌های محیطی (فرصت‌ها)	۱- توانایی‌های آشکار محیطی (طبیعی، اجتماعی، اقتصادی، تکنیکی و ...)، توانایی‌های بالفعل.
	۲- توانایی‌های نهفته محیطی که می‌تواند در پی اجرای برنامه پدیدار شوند، توانایی‌های بالقوه، پتانسیل‌ها.
ب: شناخت محدودیت‌های محیطی (چالش‌ها)	۱- محدودیت‌های آشکار محیطی (طبیعی، اجتماعی، اقتصادی، تکنیکی و ...)، چالش‌های موجود.
	۲- محدودیت‌های نهفته محیطی، که از برآیندهای ناخواسته برنامه‌ریزی است، چالش‌های بالقوه.

۱-۵. اهداف برنامه‌ریزی محیطی

مفهوم برنامه‌ریزی دو رکن اساسی را با خود همراه دارد: رسیدن به هدف‌ها و فعالیت‌هایی که به صورت منظم در ارتباط با یکدیگرند (Hall, 1975). در برنامه‌ریزی محیطی، برنامه‌ریزان بیشتر به فکر استفاده بهینه از منابع و توانایی‌های محیطی هستند. «نیازهای بشری»، «پارادایم‌های دانش و فناوری اطلاعات» و «توانایی‌ها و محدودیت‌های محیطی»، اساسی‌ترین منابعی هستند که اهداف برنامه‌ریزی محیطی از آنها گرفته می‌شود.

♠ در یک برنامه دورنگر، هدف برنامه ارتقای سطح زندگی مردم و تأمین نیازهای بشری است. میسرا (Misra) معتقد است که تمام فرآیندهای برنامه‌ریزی و توسعه باید در جهت رفاه بشر تنظیم شود (مخبر، ۱۳۶۸). دانشمند انگلیسی توماس هابز (Thomas Hobbes)، فلسفه‌ای را پایه

گذاشت که هنوز هم بر جهان حاکم است و مهم‌ترین مبادی کاپیتالیسم و لیبرالیسم به شمار می‌رود. وی باور داشت که «سود»، انگیزه واقعی حرکات و فعالیت انسان می‌باشد، به عبارت دیگر هدف اصلی سود است (حسین زاده دلیر، ۱۳۸۳: ۱۵). از آنجایی که «نیازها، هدف‌ها را می‌سازند»، بنابر این چگونگی رفع نیازهای انسانی، اهداف برنامه‌ریزی و پیرو آن راهکارهای اجرایی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. دوره‌های زندگی بشری مملو از تغییرات تدریجی، مداوم و تکوینی بوده که نه تنها منجر به تحول در نوع و مقدار نیازها شده است، که آرمان‌ها، باورها و اخلاق انسان‌ها را نیز گسترش داده است. تافلر (۱۹۹۰) در این باره می‌گوید: «در جوامع صنعتی به محض آن که نیازهای اساسی مردم ارضا شد، آرزوهای جمعی چند برابر و پیشرفت به طور بی‌رحمانه‌ای "تجملات" یک نسل را به "ضرورت‌های" نسل دیگر تبدیل ساخت». «نیازهای بشری» نخستین منابع تعیین کننده اهداف برنامه‌ریزی محیطی به شمار می‌روند که خود از تحولات و شرایط همواره در حال تغییر، متأثر می‌شوند. این دگرگونی‌ها نیز بر راهکارهای برنامه‌ریزی محیطی اثر می‌گذارد، چرا که جهت گیری برنامه‌ریزی محیطی بایستی در جهت رفع نیازهای انسانی باشد.

♠ «فناوری» دچار تحولات بسیار سریع و بزرگی شده است. پیشرفت‌های صنعتی، اقتصادی و اجتماعی به ویژه تأثیر فناوری اطلاعات و ارتباطات چنان است که «انفجار اطلاعات» و «دهکده جهانی» زاییده این شرایط نوین است که خود موجب ایجاد «نیازها» و «مسائل» جدیدی برای اجتماعات انسانی پراکنده بر روی گوی زمین شده است. تاریخ بشر با شتاب به دورانی وارد شده است که «عصر اطلاعات» نامیده شده است. اگر چه گفته شده، بشر هنوز در آغاز فرآیند کسب دانش و کنکاش روش‌های پردازش اطلاعات قرار دارد و بهترین کامپیوترها هنوز در حد تبر سنگی ابتدایی‌اند. در هر حال زور و قدرت به میزان شگفت انگیزی به دانایی وابسته خواهد شد و اقتصاد رقابت آمیز جهانی به شدت بر دانایی مبتنی می‌شود. امروزه تسلیحات مدرن از ماهواره تا زیر دریایی‌ها همه از عناصر الکترونیکی غنی از اطلاعات ترکیب شده است. اقتصاد پیشرفته حتی برای چند لحظه هم نخواهد توانست بدون کامپیوتر به رونق خود ادامه دهد. «دانایی» را سرچشمه قدرت در «جامعه» می‌دانند که حتی فقیر و غنی هم می‌توانند آن را به چنگ آورند. قدرت یک روی سکه است و روی دیگر آن خواسته‌ها و نیازهای بی اندازه گوناگون انسانی است و هر چیزی که بتواند خواسته‌های بشری را تأمین کند خاستگاه بالقوه قدرت می‌شود (تافلر، ۱۹۹۰، ۹۶).

♠ مهم‌ترین بخشی که پایه‌های برنامه‌ریزی محیطی بر آن بنا نهاده می‌شود، محیط است که انسان را با همه نیازهایش در بر گرفته است. منظور از محیط، جنبه‌های گوناگون فضایی سه بعدی بر سطح گوی زمین است که شامل: محیط طبیعی، اجتماعی، فرهنگی و ... می‌گردد. ویژگی‌های محیط طبیعی مانند شرایط آب و هوایی، ژئومورفولوژی، هیدرولوژی و ...، پیکره‌ای است که شکل‌گیری سایر جنبه‌های دیگر محیطی را در لگام خود دارد. ویژگی‌های محیط طبیعی، دارای دگرگونی‌های مکانی و زمانی است. هربرتسن (Herbertson) عامل جداسازی نواحی مختلف را شرایط طبیعی آنها بیان می‌کرد و به ساختمان زمین، ناهمواری‌ها و آب و هوا بیش از هر عامل دیگر اعتبار می‌داد (شکوئی، ۱۳۷۱). گذشت زمان و کسب تجارب فراوان به همراه پیشرفت روز افزون تکنولوژی در طول زندگی نسل‌های پیاپی، نه تنها دگرگونی نیازهای بشری را موجب شده است که توانایی‌ها، پتانسیل‌ها و محدودیت‌های آشکار و نهفته محیطی را نیز دستخوش دگرگونی‌های شگفت انگیزی کرده است. ویژگی‌ها و شرایط حاکم بر محیط طبیعی تحت تأثیر عوامل گوناگون نجومی، زمین شناسی، اقلیمی، فعالیت‌های بشری و ...، همواره در حال دگرگون شدن است. به طور کلی ایجاد هر گونه تغییر و تحول در محیط طبیعی می‌تواند همه جنبه‌های محیطی از جمله نیاز بشری را دگرگون سازد.

۱-٦. ارزیابی‌های زیست محیطی

از مهم‌ترین انواع برنامه‌ریزی، برنامه‌ریزی مقید و برنامه‌ریزی انعطاف‌پذیر است. شاید کسانی گمان کنند که می‌توان برنامه‌ای معین را برای دوره‌ای مشخص طرح نمود و تا پایان دوره برنامه، به تمام نکات آن مقید بود. امّا به حکم پویایی روابط حاکم بر تکه‌های تشکیل دهنده هر برنامه، مقید بودن بی چون و چرا به برنامه گاه‌گاهی مشکلاتی را به همراه دارد که شاید بدتر از بی‌برنامگی باشد. بنابر این در هر برنامه‌ریزی، بایستی برش‌هایی برای ارزشیابی کارکردها و اصلاح گمراهی‌ها یا کاستی‌ها در نظر گرفته شود. هدف اصلی، پیش بینی آثار پروژه بر محیط است. بنابر این باید فضای برنامه‌ریزی شده مورد ارزیابی قرار گیرد. روش ارزیابی باید قادر به ارزشیابی آثارش باشد. هدف ارزشیابی پروژه باید به منظور رفع تعارض‌ها و یا کاهش آنها به کمینه ممکن باشد. در اینجا آنچه عنوان برنامه‌ریزی محیطی به خود می‌گیرد در ارتباط با سازگاری و یا ناسازگاری با توانایی‌های بالفعل، پتانسیل‌ها، چالش‌های موجود و مسائل آینده محیط، مورد آزمون قرار می‌گیرد. بنابراین چنین روش ارزشیابی را باید به عنوان ابزار علمی برای پیش‌بینی

احتمال بروز پیامدهای نامناسب اکولوژیکی ناشی از استقرار نوعی کاربری در سیستم محیطی تعبیر و تفسیر کرد. روش ارزشیابی باید بتواند پیامدهای نامطلوب اکولوژیکی ناشی از استقرار هر گونه کاربری محیطی را پیش بینی نماید. بنابر این نخست باید شرایط زیست محیطی پروژه برنامه‌ریزی شده، تعیین شود، سپس ارزشیابی پیامدهای پروژه بر اکوسیستم بستر طبیعی آن و گستره حوزه نفوذش مطرح خواهد شد (بهرام سطانی، ۱۳۷۱: ۱۴۹). انتظار این است که هر برنامه‌ریزی محیطی کمترین آثار نامطلوب بر بستر اکولوژیکی وارد آورد. در هر حال شناسایی و لگام محدودیت‌های نهفته و مسائلی که طی روند اجرای طرح در آینده خودنمایی خواهد کرد، نیز ضرورت دارد. ارزیابی زیست محیطی باید نقطه اوج دانش حفاظت محیط زیست باشد. ارزیابی زیست محیطی را می‌توان روشی تعریف کرد که به کمک آن شناخت جایگاه، نقش، کارکرد و پیامدهای هر پدیده طبیعی یا انسان ساخت در محیط زیست میسر می‌شود. روش ارزشیابی عبارت از روشی است که ساختار صوری و محتوایی فرآیند ارزیابی را تعیین و جریان آن را تابع قواعد مشخص می‌کند (بهرام سطانی، ۱۳۷۱: ۱۵۰). شومخر گفته است: اگر بتوان به بازشناسی سخاوتمندانه ارزش‌های فراتر از ارزش اقتصادی بازگشت، چشم انداز زمین دوباره سالم و زیبا می‌شود ...، شریفان باید شریف رفتار کنند (حسین زاده دلیر، ۱۳۸۳: ۱۰۵). در هر برنامه‌ریزی باید در برش‌های مختلفی از برنامه، ارزشیابی پروژه انجام پذیرد. برش‌های هر برنامه‌ریزی می‌تواند همه گونه برنامه از جمله «کوتاه مدت»، «میان مدت» و «بلندمدت» را در برگیرد. این برش‌ها شامل:

- ارزشیابی در پایان تشکیل چارچوب کلی و آینده‌نگر برنامه، که بر پایه آن نیازهای کلی، فرصت‌ها و چالش‌های محیطی مشخص می‌شوند.
- پس از تعیین راهکارها، باید چگونگی رسیدن به اهداف، مورد ارزیابی قرار گیرد.
- پس از اجرای هر گام از گام‌های دنباله‌دار برنامه، که هم فرصت‌ها و هم چالش‌های موجود بارزتر می‌شوند و هم پتانسیل‌ها و هم محدودیت‌های نهفته به تدریج بروز می‌نمایند.

۱-۷. توسعه پایدار

توسعه پایدار مفاهیم «پایداری اکوسیستم محیط زیست»، «پایداری منابع طبیعی»، «پایداری توسعه اقتصادی» و «پایداری رفاه انسانی» را در بر می‌گیرد. توسعه پایدار، به معنی چگونگی

ایجاد فضای اقتصادی، اجتماعی و سیاسی است که تضمین کننده کیفیت مطلوب زیستی باشد و بتواند رفاه انسانی را به صورت ماندگار حفظ کند (حسین زاده دلیرف ۱۳۸۳: ۹۳). کمیسیون جهانی محیط زیست (۱۹۷۸)، توسعه پایدار را چنین تعریف کرده است: «توسعه و حفاظت از طبیعت، کنکاش برای روشی از پیشرفت اقتصادی که رفاه نسل‌های آینده را به خطر نیندازد». در گزارش براتلند (Brandtland Report) پاسخگویی به نیازهای نسل امروزی، بدون آسیب رساندن به ظرفیت‌های آینده که به نسل آتی متعلق است، توسعه پایدار بیان شده است. این تعریف شامل سه عنصر کلیدی «توسعه»، «نیازها» و «نسل آینده» است. توسعه پایدار فرآیندی است که طی آن علاوه بر کیفیت‌های مناسب زندگی و نیازهای نسل آینده به حفاظت محیط زیست نیز توجه می‌شود. نظریه توسعه پایدار در واقع حاصل مباحث و نگرش‌های زیست محیطی و طرفداران محیط زیست است و برای حفاظت و حمایت از منابع طبیعی مطرح شده است. در این رویکرد، نگهداری پتانسیل‌های طبیعی برای حال و آینده در خلال استفاده بهینه از زمین و ضایعات کمتر منابع تجدید ناپذیر مورد نظر است. آدمز (Adams, 1990) از توسعه پایدار به عنوان توسعه سبز و سیاست سبز یاد کرده و آن را برای تداوم نسل بشر بسیار ضروری می‌داند و از حفاظت طبیعی به عنوان پایه‌های توسعه آتی یاد می‌کند (حسین زاده دلیر، ۱۳۸۳: ۹۴). تریکار (Tricart) انسان را جزیی از اکوسیستم بیان کرده است که فعالیت‌های حیاتی او در بطن اکوسیستم جریان دارد ... امّا برخی از تدابیر انسانی نابخردانه است و موجب ویرانی محیط زیست می‌شود (سروقد مقدم، ۱۳۷۱). رشد سریع جمعیت، تخریب منابع طبیعی و فقر گسترده و فزاینده از موانع توسعه پایدار بیان شده است. برنامه‌های حفاظت محیط زیست وقتی می‌تواند به صورت ریشه‌ای بر مشکلات زیست محیطی پیروز گردد که از بروز مسائل آینده پیشگیری کند. این مهم وقتی عملی خواهد شد که حفاظت از محیط زیست در سیستم برنامه‌ریزی جایگاه مناسب خود را پیدا نماید (حسین زاده دلیر، ۱۳۸۳: ۹۷).

دستیابی به توسعه پایدار، مستلزم کاربرد همه توان‌های زیست محیطی در جهت بهره‌وری منطقی از منابع طبیعی است. در جستجوی برنامه‌ریزی برای توسعه پایدار یک ناحیه باید بستر طبیعی ناحیه نیز بررسی شود. هنگامی کارکردهای انسان بازدهی دلخواه دارد که متناسب با پویایی‌های محیطی و با در نظر گرفتن نقش عوامل مورفوژنیک محیطی، چیده شوند. شناخت

مناطق پایدار یا ناپایدار و برآورد ضریب پایداری و آسیب پذیری یک محل در ارتباط با فعالیت بشری، مجموعه اطلاعاتی است که در خدمت برنامه‌ریزان قرار می‌گیرد (رجایی، ۱۳۷۳).

۱-۸. کاربرد اقلیم در برنامه‌ریزی محیطی

محیط زندگی انسان به وسیله اتمسفر احاطه شده است و بیشتر فعالیت‌های او در درون این محیط انجام می‌پذیرد (علیجانی، ۱۳۷۶: ۴۶). همواره انسان برای رفع نیازهای زندگی خود و حفاظت خود در مقابل سرما و گرما، ناچار است که شرایط آب و هوایی پیرامونش را بشناسد و خود را با آن سازگار نماید. «آب و هواشناسی» ترجمه واژه (Climatology) است که از واژه یونانی (Klima) به معنی «شیب» یا «میل» گرفته شده است. مفهوم واژه «کلیما» به تفاوت مکانی تغییرات زاویه تابش مستقیم خورشید اشاره دارد. اصطلاح «آب و هوا» مترادف با واژه عربی «اقلیم» نیز بکار رفته است که به معنی"منطقه مشخص با شرایط یکسان آب و هوایی" است (علیجانی و کاویانی، ۱۳۷۱: ۴). انسان همواره کوشش کرده است تا شرایط زیست خود را با شرایط آب و هوای پیرامونش سازگارتر سازد و قسمت مهمّی از فعالیت‌های خود را با شرایط آب و هوایی تنظیم کند. در برنامه‌ریزی‌های توسعه و آبادانی، عناصر آب و هوایی محلی نقش بنیانی بر عهده دارند. امروزه کاربرد دانش آب و هواشناسی در جهت اجرای اهداف عملی اقتصادی و صنعتی بسیار مورد توجه قرار گرفته است.

کاربرد اقلیم در برنامه‌ریزی محیطی طیف بسیار گسترده‌ای را در بر می‌گیرد. که از آن جمله می‌توان به کاربرد اقلیم در کشاورزی، کاربرد اقلیم در معماری، کاربرد اقلیم در شهرسازی، کاربرد اقلیم در صنعت، کاربرد اقلیم در راه و ترابری، کاربرد اقلیم در هوانوردی، کاربرد اقلیم در کشتی رانی، کاربرد اقلیم در امور نظامی، کاربرد اقلیم در بازرگانی، کاربرد اقلیم در انرژی‌های جدید مانند استفاده از انرژی باد، انرژی تابش آفتاب و ... نام برد. داده‌های اقلیمی در بسیاری از کشورهای پیشرفته در جهت ساماندهی محیط طبیعی، بهینه کردن شرایط زیست محیطی و فراهم نمودن وسائل رفاه بشری به کار می‌رود (رجایی، ۱۳۸۲: ۱۴). پیشبرد برنامه‌ریزی‌های اقلیمی که به مسائل کشاورزی، بهداشتی، مسکن، شهرسازی، راه و ترابری، صنعتی، بازرگانی و ... ارتباط دارند، مستلزم شناخت شرایط اقلیم محلی است که به وسیله دیدبانی‌های پیاپی عناصر اقلیمی و تهیه نقشه‌های مربوطه انجام می‌پذیرد. برای تهیه نقشه‌های اقلیمی، به ویژگی‌های فیزیکی سطح زمین (توپوگرافی، زاویه شیب و جهت دامنه، پوشش سطح

زمین و ...) توجه می‌شود و اثر آنها بر عوامل و عناصر آب و هوایی مانند تابش، تبخیر، جهت جریان‌های هوا، تهویه طبیعی و ... مورد بررسی قرار می‌گیرد (علیجانی و کاویانی، ۱۳۷۱: ۱۲).

♠ برنامه‌ریزی‌های کشاورزی در ارتباط با نظام‌های مدیریت آبیاری، مسائل کاشت، داشت، برداشت، مبارزه با آفات و بسیاری از مسائل دیگر، مستلزم شناخت تأثیر و کنترل ماهیّت عناصر اتمسفری است. برای مثال، رابطه مقدار قند حاصل از چغندر قند و شیرینی انگور در رابطه با شدت تابش آفتاب، اهمیّت باران‌های بهاری در به خوشه نشستن غلات، میزان نم لازم برای تضمین کیفیت برگ‌های توتون، نقش رطوبت در انتشار زنگ و دیگر آفات گیاهی و همچنین سرمای لازم زمستانی برای بذر سیب زمینی و ایجاد تنش‌های سرمایی بر تاک‌ها، نمونه‌هایی از تأثیرهای مستقیم عناصر آب و هوایی بر محصولات کشاورزی است. در بیشتر موارد برداشت ناکافی محصول کشاورزی، نتیجه عدم حفظ و ناتوانی در ایجاد شرایط متعادل اتمسفری است (علیجانی و کاویانی، ۱۳۷۱: ۱۲). چگونگی پراکندگی کشتزارها و باغات و همچنین نوع و کیفیت محصولات کشاورزی نیز به طور مستقیم از عناصر آب و هوایی تأثیر می‌پذیرد. برای مثال، تاکستان‌ها عموماً بر روی دامنه‌ها و شیب یال دره‌ها ایجاد می‌شوند. زیرا فرو ریزش هوای سرد از بالای کوهستان به طرف دره‌ها و چاله‌ها، موجب می‌شود تنش‌های سرمایی بر تاک‌ها وارد شود و در نتیجه کیفیت محصول مطلوب‌تر گردد (عشقی و قنبرزاده، ۱۳۸۲: ۱۶۳). پراکندگی گیاهان یک ساله (کشتزار) و چندساله (باغ) در محدوده شهر اصفهان با تغییر محلی ویژگی‌های آب و هوایی تناسب کامل دارد. به این صورت که در بخش بلندتر غربی شهر اصفهان، نسبت باغ به کشتزار بیشتر است، در حالی که در سمت پست‌تر شرقی، نسبت کشتزار به باغ بالاتر است (طاوسی، ۱۳۸۰).

♠ کاربرد اقلیم در برنامه‌ریزی‌های صنعتی، برای سلامت بیشتر محیط زیست، ضرورتی روشن و بدیهی است. پراکندگی شهرکهای صنعتی در رابطه با جهت وزش باد چیره در هر محل، ریزش هوای سرد در چاله‌ها و اثر آن بر فراوانی رخداد پدیده واژگونی دمای هوا و به طور کلی جایگزینی صنایع پیرامون مناطق شهری، بنیان برنامه‌ریزی‌های صنعتی را به خود اختصاص داده است. بر پایه پژوهش‌های بوئر (Boer) صنعت در بسیاری از جنبه‌ها در سیطره شرایط آب و هوایی قرار دارد. برای مثال در تکنیک‌های گرم سازی، شناخت مقدار دما و شرایط نمناکی در ارتباط با هوای بیرون ضرورت دارد. در مهندسی برق، فشار شبکه با توجه به میانگین مقدار دما

و روشنایی محاسبه می‌شود. در ساختمان سازی مناطق گرم، چاره اندیشی ویژه‌ای برای ایجاد تهویه طبیعی لازم است. در متالوژی، تأثیر مستقیم آفتاب و باران بر روی زنگ‌زدگی فلزات در آب و هوای نمناک را باید در نظر گرفت. همچنین در طرح و ساخت بناهای بلند مرتبه هم به دلیل وجود خطر «لنگر اندازی» ساختمان، بیشینه سرعت و فشار باد را برآورد و پیش بینی می‌کنند (علیجانی و کاویانی، ۱۳۷۱: ۱۳).

♠ کاربرد دانش آب و هواشناسی در مسائل مربوط به راه و ترابری از دیگر جنبه‌های آب و هواشناسی کاربردی است. نصب علائم هشدار دهنده شرایط راه‌ها، مانند یخزدگی جاده‌ها، فراوانی بادهای جانبی، رعد و برق و ... که از وضع هوای چیره محلی ناشی شده است، بیانگر نقش آب و هوا بر قوانین راهنمایی و رانندگی است. تأثیر نوسان‌های وضع هوا و تغییر تظاهرات اتمسفری بر پوشش برف، یخزدگی یا ذوب پوشش برف، کولاک و بادهای سخت، از جمله عوامل مزاحم در رفت و آمد هستند که شناخت آنها و تبیین مسائل مربوطه، مستلزم کاربرد روش‌های اقلیم شناسی است. بسته شدن شبکه راه‌های جاده‌ای و ریلی در زمستان، در بیشتر موارد نتیجه اوضاع ویژه اتمسفری است. جاده‌ها و خطوط راه آهن را در بسیاری از نواحی کوهستانی با تونل‌های حفاظتی یا سقف‌های شیب‌دار در مقابل خطر ریزش پدیده بهمن حفظ می‌کنند. در خدمات ریلی، حتی دمای هوا و شدت باد در برآورد مقدار مصرف سوخت قطار هم تعیین می‌شود. شاید بیش از همه، ترافیک هوایی و دریایی است که با شرایط هواشناسی و اقلیم شناسی ارتباط دارد. خدمات پرهزینه سازمان‌ها و ایستگاههای هواشناسی با توجه به توسعه روزافزون خطوط هوایی و بر پایه اطمینان و ایمنی این شاخه از ترافیک قرار گرفته است. در هوانوردی نظامی و پرواز هواپیماهای مسافربری، شرایط آب و هوایی در ارتفاعات بالای اتمسفری تا استراتوسفر مورد استفاده قرار می‌گیرد (علیجانی و کاویانیف ۱۳۷۱: ۱۳).

۱-۹. پویایی‌های اقلیمی و اهداف برنامه‌ریزی محیطی

سامانه آب و هوایی گوی زمین یکی از زیر مجموعه‌های محیط طبیعی و از عوامل مؤثر و بسیار با اهمیّت در زندگی انسان است. دستگاه اقلیم، یک سیستم باز است و از رخدادهای «برون سیستمی» (عوامل نجومی، زمین شناسی، فعالیت‌های انسانی و ...) و «درون سیستمی» (پارامترهای آب و هوایی، مانند: دما، نمناکی، فشار هوا و ...) متأثر می‌شود.

- هنگامی که چند عامل محیطی به صورت همزمان و متداخل بر سیستم (آب و هوای محل) تأثیر بگذارند، اگر اثر آنها کمتر از نتیجه جمع عمل آنها در حالت جداگانه باشد، این اثر را «سینرژی منفی» یا «هم کاهندگی» گویند. در چنین حالتی، عوامل محیطی اثر یکدیگر را تعدیل و یا خنثی می‌سازند.
- «سینرژی مثبت» یا «هم افزایی» به حالتی گفته می‌شود که برآیند اثر همزمان و متداخل چندین عامل پیرامونی بر سیستم، بیشتر از جمع عمل آنها در حالت مستقل و جداگانه باشد.

اثرات متقابل اجزا و عناصر اقلیمی نیز باعث تکوین رفتاری ترکیبی می‌شود. این رفتار از اثر انفرادی هر یک از عناصر متعادل‌تر است. تعادل مزبور به مفهوم کاهش یا افزایش کارکرد هر یک از اجزای سیستم نیست، بلکه در امتداد زمان و با تغییر مکان، نقش هر کدام از عناصر نسبت به دیگری کاهش یا افزایش پیدا می‌کند (Samules and Prasad, 1994). به همین دلیل یک الگویی از پهنه بندی اقلیمی در سطح سیاره زمین دیده می‌شود و آب و هوای هر مکان مشخص نیز الگوهای چرخه‌ای در امتداد زمان از خود بروز می‌دهد.

اثرات متقابل عناصر سامانه اقلیم از طریق تغییر در ترکیبات، ساختار و در نتیجه عملکرد سیستم صورت می‌گیرد. از یک سو، دگرگون شدن روابط عناصر آب و هوایی در مقیاس جهانی می‌تواند در مقیاس ناحیه‌ای ظاهر شود و از سوی دیگر تغییرات کوچک محلی در روابط اجزا و عناصر اقلیمی هم می‌تواند در تغییر اقلیم جهانی سهم ایفا کند. چنانکه بسیاری از عوامل دگرگون ساز مانند گازهای گلخانه‌ای در مقیاس جهانی و پدیده‌های منفردی مانند فرآیندهای ریزنقش محیطی، فعالیت‌های اقتصادی، کاربری منابع، حرکت جمعیت‌ها و ... در مقیاس‌های محلی عمل می‌کنند (Wilbanks and Kates, 1999).

سامانه آب و هوا از عوامل بیرونی نیز تأثیر می‌پذیرد. مهم‌ترین و کلیدی‌ترین عامل خارجی مؤثر بر این سیستم، خورشید است که نقش بنیادی در داد و ستد ماده و انرژی بین خرده سیستم‌های کره زمین ایفا می‌کند. این تبادلات از طریق سازوکارهایی چون «تابش»، «رسانش و هدایت مولکولی» و «همرفت و جابجایی مولکول‌ها در شاره‌ها» صورت می‌پذیرد. در حقیقت خورشید خاستگاه انرژی اصلی و مورد نیاز سامانه آب و هوای کره زمین و موتور محرکه آن به شمار می‌رود. تراز انرژی در دستگاه اقلیم تابع الگوهای چرخه‌ای زمانی و مکانی مشخصی است. "الگوهای مکانی"، گوناگونی اقلیمی در گستره جهانی را به دنبال دارد و "الگوهای چرخه‌ای"

موجب دگرگونی سیستم اقلیم یک محل در راستای زمان می‌شود. این تنوع و دگرگونی، واکنش طبیعی در برابر تراز نبودن بیلان انرژی است وجهت دستیابی به سطح تعادل انرژی در گستره سیاره‌ای رخ می‌دهد (عساکره، ۱۳۸۶: ۲).

«تابش خورشید» از مهم‌ترین عوامل آب و هوایی است که ویژگی‌های آن نه تنها در گستره مکانی به ویژه در جهت عرض جغرافیایی دگرگون می‌شود که در هر محل مشخص نیز در طول فصول مختلف سال، دگرگونی‌های چرخه‌ای دارد. چنانکه زاویه تابش مستقیم خورشید به طرف عرض‌های جغرافیایی بالاتر کاهش می‌یابد و در دوره سرد سال هم زاویه تابش و هم مدت تابش خورشید کمتر از دوره گرم سال است. عوض شدن شرایط تابشی، دگرگونی امکانات و محدودیت‌های آب و هوایی را به دنبال دارد. دگرگون شدن نیاز انسان، پیامد دگرگونی شرایط آب و هوایی در فصول گوناگون سال است. انسان در دوره گرم به "سرمایش" و در دوره سرد به "گرمایش" نیازمند است. با توجه به نیاز بشری، هر برنامه‌ریزی آب و هوایی می‌بایست بر پایه ویژگی‌های زمانی و مکانی عامل اقلیمی تابش پی‌ریزی شود.

آب و هوا چشم‌اندازی است که همواره در برنامه‌ریزی‌های محیطی جایگاه ویژه‌ای دارد و پدیده‌ای با اهمیّت برای دستیابی به اهداف علمی، اقتصادی، صنعتی و ... به شمار آمده است. دگرگونی‌های آب و هوایی نه تنها بر نیازهای انسانی و در نتیجه بر استراتژی‌های اجتماعی، اقتصادی اثرات چشمگیری می‌گذارند که از آنها تأثیر نیز می‌پذیرند. برای نمونه گازهای گلخانه‌ای بر اثر عوامل طبیعی ایجاد می‌شوند، گازهایی که می‌توانند تابش موج بلند خورشید و زمین را جذب کنند در صورتی که جذب تابش موج کوتاه توسط آنها بسیار ناچیز است. در نتیجه، این گازها از هرز رفتن بیش از حد گرمای زمین به فضای کیهانی جلوگیری می‌کنند و دمای کره زمین را در آستانه معینی نگه می‌دارند. اما فعالیت‌های صنعتی انسان که ناشی از بالا رفتن آستانه نیاز بشری بوده است به افزایش گازهای گلخانه‌ای اتمسفر منجر گردیده است و پدیده گرمایش جهانی را در پی داشته است. به نظر میلر (Miller) رشد جمعیت زمین با منحنی J مطابقت دارد، یعنی رشدی دو برابری دارد و متناسب با این رشد، آلودگی‌های محیطی نیز افزایش پیدا می‌کند (مخدوم، ۱۳۷۱: ۳). نابودی گسترده جنگل‌ها، افزایش گازهای گلخانه‌ای هوا و گرم‌تر شدن زمین و در نتیجه ذوب شدن یخچال‌ها و بالا آمدن سطح آب اقیانوس‌ها، که غرق شدن گستره پهناوری از کرانه‌های پست را در پی خواهد داشت، آلودگی توده آب‌ها و منابع دریایی، آلودگی هوا، بارش

باران‌های اسیدی ناشی از انتشار فراوان دی اکسید گوگرد و انتشار فزاینده دی اکسید و مونواکسید نیتروژن، آلودگی‌های ناشی از انفجارهای هسته‌ای و پساب‌های زیان آور کارخانه‌های صنعتی بزرگ و ... از مسائل زیست محیطی به شمار می‌روند. به هر حال بررسی روندهای کنونی، افزایش میزان آلودگی‌های گوناگون در مقیاس جهانی و قاره‌ای را پیش بینی می‌کند.

با توجه به دگرگونی شرایط در همه ابعاد محیطی، اجتماعی و فناوری، ضرورت دارد تا برنامه‌ریزی اقلیمی به عنوان یک «خرده سیستم» در فرآیند برنامه‌ریزی محیطی بررسی شود. به منظور طراحی ساختار یک «برنامه‌ریزی اقلیمی» و تبیین مسایل مربوطه، سعی می‌شود به پرسش‌های زیر پاسخ داده شود.

- نیروهای محیطی (فرصت‌ها و چالش‌ها) چه تأثیری در اهداف یک برنامه‌ریزی اقلیمی به عنوان یک «خرده سیستم» دارند؟
- هر «برنامه‌ریزی اقلیمی» به عنوان یک «سیستم»، چگونه از عناصر و اجزای درونی سیستم تأثیر می‌پذیرد و چه تأثیری بر عملکرد هر کدام از آنها دارد؟
- آیا «برنامه‌ریزی اقلیمی» به عنوان یک «خرده سیستم»، با کلیت سیستم‌های محیطی هماهنگی دارد؟

۱-۱۰. نقش تابش خورشید در تأمین انرژی اتمسفری

منابع اساسی انرژی اتمسفری را می‌توان در سه کانون «استفاده مستقیم از تابش خورشید در سیستم‌های گرم سازی و تبخیر»، «کسب انرژی از باد» و «استفاده غیر مستقیم از باران، با توجه به نیروی جریان و شیب رودخانه‌ها در اقلیم‌های نمناک» جستجو کرد. برای مثال در آب و هوای گرم و خشک به دلیل تابش شدید خورشید و ساعات آفتابی زیاد، سیطره باد و وجود منابع نیروی آب رودخانه‌هایی که خاستگاه آنها در سرزمین‌های دوردست است، هر سه منبع می‌توانند همزمان وجود داشته باشند. به هر حال، نقش هر یک از منابع سه‌گانه انرژی، در شرایط آب و هوایی متفاوت، یکسان نیست (علیجانی و کاویانی، ۱۳۷۱: ۱۳). انرژی خورشیدی در بسیاری از برنامه‌ها بر سایر منابع برتری دارد و صورت‌های دیگر انرژی موجود در کره زمین از سوخت‌های فسیلی تا باد و نیروی برق آبی، همگی از انرژی خورشیدی سرچشمه می‌گیرند. انرژی تابشی پس از جذب در سطح زمین به انرژی گرمایی تبدیل شده، موقتاً ذخیره و قابل

استفاده می‌شود. بنابراین فناوری بهره برداری از انرژی تابشی آفتاب بر پایه این قانون (تبدیل انرژی تابشی به گرما و ذخیره سازی آن) استوار است (Sukhatme, 1996:36).

آب و هواشناسی کاربردی، به توانایی‌های گسترده‌ای که در استفاده از انرژی اتمسفری وجود دارد، بسیار توجه دارد. در راستای کوشش‌هایی که به منظور دسترسی به انرژی خورشیدی صورت پذیرفته است، آب و هوا به عنوان یک حالت طبیعی زمینه مناسبی را در بررسی انرژی خورشیدی فراهم می‌آورد. این عوامل سبب شده است تا بررسی عامل تابش در کنکاش‌های آب و هوایی اهمیّت بسیار فراوانی پیدا کند (Sandra, 2000). شرایط امروزی به شدت تحت تأثیر انرژی و راههای تأمین آن است. بنابراین، شناخت هر چه بیشتر پارامترهای آب و هوایی از جمله تابش خورشید می‌تواند نقش اساسی در چگونگی تأمین انرژی مورد نیاز داشته باشد (گودرزی نژاد، ۱۳۸۳: ۳۵۰). مقدار انرژی که از طریق سوخت‌های فسیلی یا فعالیت رادیواکتیو تولید می‌شود، در مقایسه با تابش خورشید بسیار ناچیز است. همچنین انرژی خورشیدی کمترین تأثیرات زیانبار را در آب و هوا و محیط زیست و زندگی انسان دارد و به میزان فراوان در نقاط مختلف بیش از هر نوع انرژی تجدید شونده‌ای در دسترس همگان است (جهانبخش و عدالت دوست، ۱۳۸۷: ۵۱). شدت تابش خورشید و مقدار ساعات آفتابی هوا، سایر عناصر آب و هوایی مانند: گرما، نم نسبی، تبخیر و تعرق، بارندگی و... را در لگام خود دارد. شرایط آب و هوایی نقش بسیار مهمّی در طراحی و برنامه‌ریزی راهکارهای مناسب استفاده از انرژی خورشیدی ایفا می‌کند (Schwoegler & Mcclintok,1981:85).

- **تمرین ۱-۱.** برنامه‌ریزی‌های گوناگونی که برای یک نیاز یکسان اجرا شده را جستجو نموده و مانند جدول ۱-۲، فهرست کنید؟ تفاوت برنامه‌ریزی‌ها، مربوط به موارد زیر باشد:

الف: محدودیت‌های آشکار محیطی (طبیعی، اقتصادی، سیاسی، فرهنگی، فناوری و ...).

ب: محدودیت‌های نهفته محیطی (طبیعی، اجتماعی، اقتصادی، سیاسی، فرهنگی، فناوری و...).

ب: توانایی‌های بالفعل محیطی (طبیعی، اجتماعی، اقتصادی، سیاسی، فرهنگی، فناوری و ...).

ج: پتانسیل‌ها و توانایی‌های نهفته محیطی (طبیعی، اقتصادی، سیاسی، فرهنگی، فناوری و ...).

جدول ۱-۲: مقایسه دو گونه برنامه‌ریزی، با نیاز یکسان و فناوری متفاوت

گام‌های برنامه‌ریزی	پیش از انقلاب صنعتی	پس از انقلاب صنعتی
تعیین نیاز بشری	آب برای کشاورزی	آب برای کشاورزی
محدودیت‌های محیطی	نبود آبهای سطحی	نبود آبهای سطحی
پتانسیل‌های محیطی	وجود آبهای زیر زمینی+ کلنگ	وجود آبهای زیر زمینی + فناوری صنعتی کندن چاه عمیق و پمپاژ آب
برنامه	استخراج آبهای زیرزمینی	استخراج آبهای زیرزمینی
برنامه‌ریزی محیطی	کندن قنات	کندن چاه عمیق
ارزشیابی	بهره گیری از نیروی جاذبه زمین، گسترش کشتزارها	افت سطح ایستابی. خشک شدن قنات‌ها، کاهش سطح زیر کشت و سرانجام تبدیل محدودیت بالقوه به محدودیت بالفعل

- چنان که منظور صاحب نظران علوم اقتصادی از تعریف اصطلاح «بهره‌وری»، پیشنهاد برنامه‌ریزی برای داشتن هزینه کمتر و سود بیشتر در یک پروژه است. بر این اساس می‌توان هدف برنامه‌ریزی محیطی را چنین بیان کرد که: برنامه‌ریزی محیطی بایستی از این ویژگی برخوردار باشد که در راستای اجرای برنامه با هدف استفاده بیشتر از توانایی‌های محیط زیست، بتواند کمترین آسیب برای محیط زیست به دنبال داشته باشد.

استفاده بیشتر از محیط آسیب کمتر به محیط

فصل دوّم

خورشید سرچشمه انرژی

۲-۱. همه جا انرژی خورشید

خورشید سرچشمه همه انرژی‌های زمین است. تشکیل سایر انرژی‌های گرمایی و مکانیکی، غیر مستقیم به نور خورشید وابسته است. تمام سوخت‌های سنتی و صنعتی مورد استفاده بشر، برآیند انرژی انبار شده خورشید است. نفت و محصولات پالایش شده آن، گازهای طبیعی و بسیاری دیگر از انرژی‌های شیمیایی که از تأثیر پرتوهای تابش خورشید بر اندام‌های موجودات زنده دوران گذشته ایجاد شده‌اند، ذغال سنگ که از فسیل شدن جنگل‌هاست، هزاران سال پیش به شکل جنگل‌های امروزی بوده و برای رشد خود نیاز به پرتوافشانی آفتاب داشته است. آبشارها هم که انرژی خود را به خاطر اختلاف بلندی بدست می‌آورند، در چرخه آبشناسی اتمسفر قرار دارند. این چرخه، انرژی خود را از خورشید بدست می‌آورد.

زندگی انسان به خورشید وابستگی شدیدی دارد. بدون پرتوافشانی خورشید، رشد گیاهان برای تولید مواد غذایی و تشکیل پروتئین‌ها مانند ماهی‌ها، دام‌ها و دیگر موجودات زنده ممکن نیست. بشر این آگاهی را پیدا کرده است که سرچشمه هر گونه انرژی موجود در گوی زمین، خورشید است. همچنین انسان با آگاهی از اندرکنش‌های هسته‌ای درون خورشید، رآکتورهای هسته‌ای بسیار کوچکی الگو سازی کرده است که انرژی حاصل از آن در مقایسه با خورشید بسیار ناچیز است. انرژی دریافت شده از ستارگان و سایر اجرام آسمانی و نیز گرمای درونی زمین در قیاس با انرژی خورشید چنان ناچیز است که در عمل نمی‌تواند مورد استفاده اتمسفر قرار گیرد. تنها انرژی قابل ملاحظه در کره زمین که خورشید در آن نقش مهمی ندارد، نیروی جزر و مد است که نتیجه تأثیر توأم جاذبه ماه و خورشید است. باید گفت که قدر مطلق نیروی حاصل از جاذبه ماه بر آب اقیانوس‌ها و دریاها در مقایسه با انرژی حاصل از نور خورشید، ده‌ها برابر کوچک‌تر است. از این رو، خورشید بزرگ‌ترین و مهم‌ترین سرچشمه انرژی به ویژه در

قلمرو دانش هواشناسی و آب و هواشناسی به شمار می‌رود و در فرآیندهای اتمسفری که همگی نیازمند دریافت انرژی و استفاده از آن هستند، نقش مهمی دارد. تقریباً تمامی انرژی خورشید در گذر از فضای بیکران که در هر جهت گسترده شده است، پیش از رسیدن به زمین تلف می‌شود و تنها بخش بسیار ناچیزی از این انرژی توسط زمین و اتمسفر آن دریافت می‌شود. باید یادآور شد که همین مقدار انرژی دریافتی توسط زمین که در مقابل کل انرژی خورشید ناچیز است، برای خود زمین فوق‌العاده بزرگ و عظیم به شمار می‌رود (قائمی، ۱۳۷۵: ۳۶).

۲-۲. شیوه‌های جابجایی گرما

به طور کلی برای جابجایی انرژی گرمایی سه راه نام برده شده است که شامل «هدایت مولکولی» (رسانش)، «همرفت» و «تابش» است (جعفرپور، ۱۳۶۷: ۲۲).

♠ در فرآیند «**هدایت گرمایی**»، قسمتی از جسم هادی باید مستقیماً در معرض انرژی گرمایی قرار گیرد. تماس فیزیکی اتم‌ها و مولکول‌ها، موجب انتقال انرژی جنبشی، با سرعت‌های گوناگون، از جسم گرم‌تر به جسم سردتر می‌شود. به سخن دیگر این نوع انتقال گرما به علت برخورد متقابل و نقل و انتقال انرژی جنبشی مولکول‌هایی است که پهلوی هم جای داشته باشند. مانند انتقال گرما در امتداد یک میله فلزی که یک سر آن در معرض آتش قرار دارد. برخی از مواد مانند فلزات، هادی بسیار خوبی برای گرما هستند و برخی دیگر مانند چوب از نظر هدایت گرمایی، «نارسانا» یا «عایق» محسوب می‌شوند.

♠ فرآیند «**همرفت**»، مستلزم انتقال انرژی گرمایی به وسیله حرکت جرم حامل انرژی جنبشی توسط واسطی است که انتقال آن باید در آن صورت گیرد. این نوع انتقال گرمایی فقط در شاره‌ها صورت می‌گیرد، زیرا تنها مایعات و گازها هستند که دارای حرکت درونی جرم بین خود می‌باشند. در جامدات این نوع انتقال گرما صورت نمی‌پذیرد. در همرفت، جرم‌های متحرک که حامل انرژی هستند، در جایگاه نخست خود، به سبب تماس با جسم گرم، انرژی جنبشی (گرمایی) کسب کرده‌اند.

♠ «**تابش**» تنها فرآیندی است که انتقال گرما در آن بدون کمک هیچ گونه واسطی حتی در فضای خلأ، انجام می‌گیرد. در فضای بین خورشید و زمین که هیچ واسطی برای انتقال انرژی وجود ندارد، تابش خورشید مهم‌ترین عامل انتقال انرژی گرمایی است (قائمی، ۱۳۷۵: ۶۰).

۲-۳. فرآیند تابش خورشید

جوّ خورشید از سه قسمت کاملاً متمایز «شید سپهر»، «رنگین سپهر» و «هاله» تشکیل‌شده است. این بخش‌های سه‌گانه مستقل از یکدیگر نیستند، زیرا هر رخدادی که در یکی از این سه ناحیه صورت گیرد به واکنش نواحی دیگر می‌انجامد. انرژی‌های تابشی خورشید عملاً از لایه کم ضخامت «شید سپهر» یا سطح ظاهری خورشید منتشر می‌شود. گرمای این لایه مساوی جسم سیاهی است که در فاصله ۷۵۰۰ درجه کلوین در قسمت زیرین تا ۴۵۰۰ درجه کلوین در قله آن انرژی منتشر می‌کند. گرمای مؤثر این لایه برابر است با انرژی صفحات یا قرص‌های لایه «شید سپهر» که با دمای ۵۸۰۰ درجه کلوین منتشر می‌شود. در هنگام اندرکنش‌های بیشینه «شید سپهر»، گازهای در حال جوش که به شکل دانه‌های کروی با قطر ۳۰۰ تا ۱۸۰۰ کیلومتر است از سطح آن به فضا پرتاب می‌شود. تغییر شدت روشنایی این ذرات گازی شکل بسیار کم است و نشان می‌دهد که تفاوت دما بین روشن‌ترین و تاریک‌ترین ناحیه مزبور کمتر از ۱۰۰ درجه کلوین است. مدت زندگی این ذرات کروی در حدود یک تا ده دقیقه می‌باشد. این ذرات از ناحیه انتقال قائم با سرعت برابر با یک کیلومتر در ثانیه به طرف سطح خورشید پرتاب می‌شوند. این ذرات کروی که «کَلَف» یا «لکه‌های خورشیدی» خوانده می‌شوند یک میدان مغناطیسی قوی دارند که بر میدان مغناطیسی زمین تأثیر می‌گذارد (قائمی، ۱۳۷۵: ۳۸). تعداد لکه‌ها در یک حالت منظم افزایش و کاهش یافته و چرخه حدود ۱۱ ساله‌ای را تشکیل می‌دهد. همچنین دوره‌های ۲۲ ساله لکه‌های خورشید نیز شناخته شده هستند. این دوره‌های طولانی‌تر پایه این حقیقت هستند که قطبی شدن مغناطیسی گروه لکه‌های خورشیدی در هر یازده سال وارونه می‌شوند (عزیزی، ۱۳۸۳: ۵۹). در نتیجه ارسال انرژی تابشی خورشید دستخوش تغییر قرار می‌گیرد (علیجانی و کاویانی، ۱۳۷۱: ۵۸).

پدیده دیگری به نام «توفان‌های خورشیدی» دیده می‌شود که دارای روشنایی خیره کننده‌ای به شکل گاز است و به سمت سطح خورشید پرتاب می‌شود و تا ارتفاع هزاران کیلومتر بالاتر از لایه شید سپهر پیش می‌رود. هنگامی که این ذرات گازی شکل دارای سرعت زیادی باشند، می‌توانند کاملاً از نیروی جاذبه خورشید خارج شوند. در سطح زمین اغلب دیده شده است که گازهای فروزانی به صورت یک رشته، از منبع نامرئی در امتداد منحنی ساده‌ای که خطوط

نیروی مغناطیسی نامیده شده، به سوی خارج از سطح خورشید شعله می‌کشد. این گازهای فروزان مشخصه پدیده توفان‌های خورشیدی است (قائمی، ۱۳۷۵: ۳۹).

«رنگین سپهر» یا «فام سپهر» (کروموسفر) در بالای لایه شید سپهر قرار دارد. گازهای این لایه به شدت ناهمگن است و لایه انتقالی به شمار می‌آید. گرمای بخش زیرین این لایه حدود چهار تا پنج هزار درجه کلوین و سطح بالایی آن گرمایی برابر با بیست هزار درجه کلوین دارد.

«هاله»، بالاترین لایه جوّ خورشید است. ضخامت «هاله» به اندازه‌ای است که حتی از مرز مدار زمین می‌گذرد. خط روشن سفید «هاله» دارای دو طیف (بیناب) مشخص است، طیف بزرگ‌تر (K)، انرژی تابشی پیوسته‌ای است که از لایه شید سپهر گسیل می‌گردد و به وسیله الکترون‌های موجود پراکنده می‌شود و طیف نوری (F) که با شدت کم توسط غبارهای بین سیاره‌ای پراکنده می‌شود. شکل «هاله» در طول کنش چرخه‌ای لکه‌های خورشیدی تغییر می‌نماید. هنگامی که شدت کلف‌ها به بیشینه خود می‌رسد، ساختمان هاله در قطب و استوا مشابه است. در صورتی که در هنگام کمینه اندرکنش کلف‌های خورشید، ساختمان استوایی هاله دارای گسترش بسیار بیشتری نسبت به قطب می‌باشد. مقداری از انرژی گرمایی «هاله» بر اثر تابش امواج الکترومغناطیسی به سوی فضای کیهانی منتقل می‌شود. مجموع انرژی که به صورت امواج الکترومغناطیسی از خورشید گسیل می‌شود در حدود (۵۶×۱۰^{۲۶}) کالری در دقیقه است (قائمی، ۱۳۷۵: ۴۰). انرژی تابشی خورشید پس از جذب به وسیله مولکول‌های هوا در اتمسفر و پوشش سطح زمین به انرژی گرمایی تبدیل و ذخیره می‌شود. این گرما، هم به صورت مستقیم و هم در حالت ذخیره قابل استفاده است.

۲-٤. امواج الکترومغناطیس

یک الکترون ساکن، دارای میدان نیروی الکتریکی (کولون) است که مقدار و شدت آن با مربع مسافت از مرکز نیرو رابطه وارونه دارد. هنگامی که الکترون با سرعت یکنواخت به حرکت در می‌آید، میدان نیروی مغناطیسی که میدان کولون را در بر می‌گیرد، نیز آشکار می‌شود. نیرو و شدت میدان مغناطیسی هم با مربع مسافت از مرکز نیرو، رابطه وارونه دارد. جهت حرکت این دو نیرو برهم عمود است. وقتی الکترون سرعت می‌گیرد، کار انجام می‌شود و تابش به صورت امواج از میدان نیرو انتشار پیدا می‌کند، به سخن دیگر، میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی با

سرعت سیصد هزار کیلومتر در ثانیه به خارج منتشر می‌شوند. پس هر موج الکترومغناطیسی دارای دو میدان نیروی عمود برهم با نام‌های «میدان نیروی الکتریکی» و «میدان نیروی مغناطیسی» است و مسیر حرکت هر موج الکترومغناطیس عمود بر هر دو میدان یاد شده است.

☜ امواج الکترومغناطیسی به امواجی گفته می‌شود که حامل انرژی باشند.

انرژی دارای دو ویژگی «موجی» و «ذره‌ای» است یعنی امواج الکترومغناطیسی از ذراتی به نام «فوتون» یا «کوانتا»، تشکیل شده‌اند. مفهوم موج، انتشار انرژی الکترومغناطیسی را در بر می‌گیرد و این انرژی تنها هنگام برخورد با اجسام قابل شناسایی است. در این برخورد، انرژی الکترومغناطیسی چنان عمل می‌کند که گویی متشکل از ذرات منفرد است. این ذرات «فوتون» نامیده می‌شوند. فوتون‌ها اجزای ذره مانندی هستند که دارای نیرو و حرکت آنی هستند. طبیعت دوگانه «موجی» و «ذره‌ای» بودن انرژی الکترومغناطیسی را می‌توان به وسیله نور آزمایش کرد. شکست نور در هنگام گذر از یک میانه با چگالی متفاوت مانند هوا یا شیشه، می‌تواند ویژگی موجی بودن نور (نوعی از انرژی الکترومغناطیسی) را به اثبات برساند.

ویژگی دوم، یعنی ذره‌ای بودن نور هنگامی درک می‌شود که شدت انرژی برخوردکننده به یک سطح به وسیله یک فتومتر یا پرتو سنج سنجیده شود. فوتون‌ها هنگام برخورد با یک پرتو سنج، نشانه‌های الکتریکی ایجاد می‌کنند. این نشانه‌ها بر حسب تعداد فوتون‌ها از شدت گوناگونی برخوردار است. ویژگی موجی بودن و ذره‌ای بودن انرژی الکترومغناطیسی با هم ارتباط دارند. انرژی یک کوانتوم با طول موج آن رابطه وارونه دارد، به دیگر سخن، هر اندازه طول موج بلندتر باشد مقدار (شدت) انرژی آن کمتر خواهد بود. امواج الکترومغناطیسی بر پایه «طول موج»، «سرعت» و «فرکانس» تعریف می‌شوند (علیزاده، ۱۳۷۲: ۱۰).

♠ انرژی الکترومغناطیسی به صورت امواجی موزون حرکت می‌کند، منظور از موزون این است که هر یک از امواج تشکیل دهنده آن از نظر تکرار، فاصله زمانی برابر دارند. «طول موج» انرژی الکترومغناطیسی عبارت از فاصله بین هر نقطه از موج (مانند قله موج) در یک چرخه تا نقطه نظیر آن در چرخه دنبالی آن است. بنا بر این، انرژی الکترومغناطیس متشکل از نیروهای پیاپی و دنباله‌داری است که گستره بیناب طول موج آنها از اجزای انگسترام (یکای اندازه گیری معمول در

صنعت اشعه ایکس بوده و برابر با (10^{-10}) متر است) تا اضعاف کیلومتر را شامل می‌شود (علیزاده، ۱۳۷۲: ۸).

♠ همه امواج الکترومغناطیس با سرعت نور حرکت می‌کنند. نور تنها نوعی از امواج الکترومغناطیس است. این نیروها می‌توانند در خلأ مثل فضای بیرون از اتمسفر زمین انتشار یابند (علیزاده، ۱۳۷۲: ۱۱).

♠ «فرکانس» (بسامد) عبارت است از تعداد امواجی که در محدوده زمانی معینی تکرار می‌شوند. یکای اندازه گیری آن هرتس یعنی یک چرخه (تواتر) در ثانیه است. برخلاف شدت (سرعت) و طول موج امواج الکترومغناطیس که در گذر از یک جسم میانه تغییر می‌کند، فرکانس یک موج تغییر نمی‌پذیرد. بر پایه این اصل فرکانس یک موج خاصیت اصلی و ذاتی آن محسوب می‌شود. چون سرعت امواج الکترومغناطیس در خلأ ثابت است، لزوماً فرکانس‌های بالا همراه با امواج کوتاه (شدید) و فرکانس‌های کم با امواج بلند (آرام) همراه است (علیزاده، ۱۳۷۲: ۱۲).

۲-۵. انرژی تابشی و نور

پرتوهای تابشی تنها نوعی از امواج الکترومغناطیس است که می‌تواند در خلأ مثل فضای بیرون از اتمسفر زمین انتشار یابد. امواج الکترومغناطیس دارای طیف گسترده‌ای از پرتوهای گاما، ایکس، کیهانی و امواج رادیویی با طول موج بالاتر از ۱۵ متر است. تابش الکترومغناطیس بر حسب طول موج به محدوده‌هایی به نام «باند» طبقه بندی می‌شود (علیزاده، ۱۳۷۲: ۱۲). محدوده طیفی حساسیت چشم انسان شامل طول موج‌های بین ۰/۴ میکرومتر تا ۰/۷ میکرومتر است که در مقایسه با گستره بینابی امواج الکترومغناطیس بسیار بسیار کوچک است. اجتماع رنگ‌های بیناب مرئی، رنگ سفید و نبودن همه آنها رنگ سیاه را به وجود می‌آورد. درست در انتهای موج کوتاه طیف مرئی (رنگ بنفش)، محدوده انرژی «فرابنفش» و پس از آن به ترتیب اشعه‌های «ایکس» و «گاما» جای می‌گیرند، که دارای طول موج کوچک‌تر از تابش مرئی هستند. در کنار امواج بلند طیف مرئی (رنگ سرخ)، نیز محدوده انرژی «فروسرخ» و سپس «ماکروویو» تا «امواج رادیویی» قرار دارند. طول موج این قسمت، بزرگ‌تر از تابش مرئی است. در محدوده‌های امواج «مرئی» و «فرو سرخ»، برای بیان طول موج، استفاده از یکای میکرومتر، مناسب‌تر است (قائمی، ۱۳۷۵: ۴۲).

جدول ۲-۱: طول موج رنگ‌های بیناب مرئی به میکرومتر

باند		حد بالایی	حد پایینی
فرابنفش		۰/۴	ایکس و گاما
مرئی	بنفش	۰/۴۳	۰/۴
	آبی	۰/۴۹	۰/۴۳
	سبز	۰/۵۳	۰/۴۹
	زرد	۰/۵۸	۰/۵۳
	نارنجی	۰/۶۳	۰/۵۸
	سرخ	۰/۷	۰/۶۳
فرو سرخ		ماکرویو و رادیویی	۰/۷

- انرژی تابشی یا انرژی گرمایی تابیده شده را نمی‌توان به آسانی از طریق نور مرئی تشخیص داد. در واقع تشخیص اختلاف بین انرژی گرمایی تابیده شده و تابش نور فقط بر درک و مشاهده انسان استوار است. انرژی که به صورت پرتوهای مرئی گسیل می‌شود، قسمت ناچیزی از کل انرژی تابیده شده از یک جسم گرم مانند خورشید است. تمام اجسام با هر دمایی که دارند، انرژی تابش می‌کنند امّا اجسام بسیار گرم می‌توانند انرژی تابش مرئی گسیل دارند (قائمی، ۱۳۷۵: ۷۲).

- طول موج‌های تابشی خورشید از ($۱۰^{-۶}$) متر که به آن میکرومتر (μm) و یا میکرون (μ) می‌گویند تا ($۱۰^{-۱۰}$) متر یا انگستروم (Å)، تغییر می‌کند.

- قسمت کوچکی از تابش خورشید در فاصله نور مرئی قرار دارد که می‌توان آن را با چشم دید امّا بیشترین قسمت آن، برای چشم انسان قابل دیدن نیست. طول موج‌های تابشی خورشید که بین ۰/۱ تا ۳۰ میکرومتر قرار دارند، عملاً نقش مهمی در فضای اتمسفر زمین ایفا می‌کنند. در صورتی که در خارج از فضای جو زمین، فوتون‌ها که به شکل پرتوهای ایکس، گاما، کیهانی و سایر ذرات تابشی هستند، واکنش‌های مهمی بروز می‌دهند (قائمی، ۱۳۷۵: ۴۲).

- امواج رادیویی در هنگام بیشینه شدت کنش کلف‌های خورشیدی، تقویت می‌شوند.

۲-٦. قوانین تابش

همه اجسامی که دارای دمای بیشتر از صفر مطلق (۲۷۳- درجه سلسیوس) باشند به طور مداوم و پیاپی از خود انرژی الکترومغناطیس تابش می‌کنند. بنابر این، کلیه پدیده‌های روی زمین نیز انرژی الکترومغناطیس از خود تابش می‌کنند. مقدار انرژی تابیده شده از هر چیز، بستگی زیادی به دمای آن دارد. ثابت شده است که یکای سطح هر جسم با داشتن یک دمای معین، می‌تواند مقداری انرژی در زمان مشخص تابش نماید.

- بر پایه قانون استفان - بولتزمن (Stefan Boltzmann)، مقدار کل انرژی تابشی جسم سیاه به مقدار دمای آن جسم بستگی دارد. این قانون بیان می‌کند که شار انرژی گسیل‌شده از یک جسم سیاه متناسب با توان چهارم دمای آن جسم بر حسب کلوین است (قائمی، ۱۳۷۵: ۸۷):

رابطه ۲-۱: $E_b = \sigma T_k^4$

σ = ضریب ثابت استفان بولتزمن برابر با ($5.67 \times 10^{-12} \times k^{-4}$) به وات بر سانتیمتر مربع.

E_b= کل انرژی تابش شده از سطح یک جسم سیاه بر حسب وات (w) بر سانتیمتر مربع.

T_k = دمای مطلق یا انرژی جنبشی جسم تابش کننده بر حسب درجه کلوین.

- اگر دو چیز با یک قدرت گسیلمندی اما دمای مختلف در کنار یکدیگر قرار گیرند، جسم گرم‌تر، بر اثر تابش انرژی گرمایی از دست می‌دهد. قسمتی از این انرژی توسط جسم سردتر جذب می‌شود تا هنگامی که دمای هر دو به مقدار میانگین دمای اولیه آنها برسد (قائمی،۱۳۷۵:۷۳).

- «به جسمی که در هر طول موج بیشترین شدت انرژی تابشی را در یک دمای معین گسیل دارد، "جسم سیاه" گویند.» (قائمی، ۱۳۷۵: ۷۲).

- بر پایه قانون کیرشهف، "ضریب جذب انرژی یک جسم سیاه در طول موج و دمای مشخص مساوی با گسیلمندی آن جسم در همان طول موج و دما است" (قائمی، ۱۳۷۵: ۷۵). همچنین جسم سیاه را جسمی ایده‌آل گویند که تمام انرژی تابیده شده بر خود را جذب و دوباره گسیل نماید. خورشید را می‌توان جسم سیاهی در نظر گرفت که پیوسته پرتو افشانی می‌کند (علیجانی و کاویانی، ۱۳۷۱: ۵۳).

♠ انرژی گرمایی به صورت امواج الکترومغناطیسی منتشر می‌شود که دارای بیناب پیوسته‌ای می‌باشد. اگر عدد موج مساوی با تعداد امواج در یکای فاصله، به صورت (۱/λ) باشد. رابطه بین فرکانس و طول موج چنین است (قائمی، ۱۳۷۵: ۴۱):

رابطه ۲-۲: $c = \lambda v$

c = سرعت انتقال انرژی، λ = طول موج و v = فرکانس است.

♠ بر پایه رابطه ماکس پلانک (Max Planck)، بارش ذرات کوانتا به صورت یکنواخت بر روی سطح پراکندگی ندارند و کم و زیاد می‌شوند. به طوری که به جریان انرژی حالت موجی می‌دهد، یعنی ذرات کوانتا در بستر این موج‌ها حرکت می‌کنند. مقدار انرژی که هر کوانتوم حمل می‌کند از رابطه زیر بدست می‌آید (علیجانی و کاویانی، ۱۳۷۱: ۵۴).

رابطه ۲-۳: $E = hv$

h =ضریب ثابت پلانک برابر با ($۶/۶۲۶ \times ۱۰^{-۳۴}$) ژول در ثانیه.

E = انرژی یک کوانتوم بر حسب ژول در ثانیه، v = فرکانس کوانتوم.

♠ ویژگی موجی بودن و ذره‌ای بودن انرژی الکترومغناطیسی با هم ارتباط دارند. انرژی یک کوانتوم با طول موج آن رابطه وارونه دارد، به دیگر سخن، هر اندازه طول موج بلندتر باشد مقدار (شدت) انرژی آن کمتر خواهد بود (علیزاده، ۱۳۷۲: ۱۷). از این رو، مقدار انرژی که توسط امواج کوتاه‌تر (مانند ایکس و گاما) بارگیری می‌شود بسیار بیشتر از انرژی موجود در امواج بلندتر (در محدوده فروسرخ) است (علیجانی و کاویانی، ۱۳۷۱: ۵۵).

رابطه ۲-۴: $E = \frac{hc}{\lambda}$

λ = طول موج، c = سرعت انتقال انرژی.

♠ همان گونه که مجموع انرژی تابشی از یک جسم بر حسب دگرگونی‌های دمای مطلق آن تغییر می‌کند، پراکندگی طول موج انرژی تابشی اجسام نیز به تبعیت از آن تغییر می‌پذیرد. با افزایش دمای جسم نه تنها مقدار انرژی تابشی بیشتر می‌شود که نقطه بیشینه تابش به سوی طول موج کوتاه گرایش پیدا می‌کند، به عبارت دیگر، طول موج اجسام سیاه با دمای مطلق جسم رابطه وارونه دارد. این ویژگی با آزمایش گرم کردن یک تکه آهن مشخص می‌شود. به این ترتیب

که با افزایش دما، تکه آهن کم کم شروع به درخشیدن می‌نماید و رنگ‌های آن پشت سر هم به رنگ‌هایی با طول موج کوتاه تر تغییر می‌کند و از سرخ به نارنجی، سپس زرد و سرانجام سفید تبدیل می‌شود (علیزاده، ۱۳۷۲: ۲۰). بر پایه قانون جابجایی وین (Wein's Displacement Law)، به ازای هر درجه دمای جسم، یک بیشینه طول موج بدست می‌آید. این قانون، بیشینه طول موجی را نشان می‌دهد که یک جسم با داشتن یک درجه مشخص از دما، در آن طول موج بیشترین انرژی را گسیل می‌نماید. باید گفت تمامی طول موج‌های جسم گرم‌تر، بیشتر از جسم سردتر انرژی گسیل می‌کنند (قائمی، ۱۳۷۵: ۸۸).

رابطه ۲-۵:

$$\lambda_{max} = \frac{2898}{T_r}$$

λ_{max} = بیشینه طول موج تابش از جسم مورد نظر بر حسب میکرومتر.

T_r = دمای مطلق جسم تابش کننده، بر حسب کلوین و ۲۸۹۸ = ضریب ثابت وین.

☜ انسان کوشش کرده است تا بیشترین بهره را از انرژی آفتاب داشته باشد، به همین دلیل با توجه به بیناب پیوسته خورشید، بیشینه انرژی گسیل شده از آن را تعیین کرده است. خورشید همانند جسم سیاهی که دمای مطلق آن ۶۰۰۰ درجه کلوین که میانگین دمای شید سپهر خورشید است از خود انرژی تابش می‌کند (قائمی، ۱۳۷۵: ۸۸). برابر قانون جابجایی وین بیشینه طول موج خورشید ۰/۴۸۳ میکرومتر است. در مقایسه، دمای مطلق سطح سیاره زمین در مناطق استوایی به طور متوسط ۲۷ درجه سلسیوس (حدود ۳۰۰ درجه کلوین) است. از این رو، بیشینه تابش گوی زمین در طول موج ۹/۷ میکرومتر گسیل می‌شود.

☜ اگرچه تابش خورشید در سرتاسر بیناب الکترومغناطیس صورت می‌پذیرد، امّا بیشتر انرژی این تابش در محدوده خاصی از ۰/۲ میکرومتر تا ۴ میکرومتر قرار دارد. در جمع ۹ درصد تابش در باند فرابنفش، ۴۵ درصد در باند مرئی و ۴۶ درصد باقیمانده در باند فرو سرخ پراکنده شده است.

☜ محدوده تابش زمینی خارج از باند مرئی است و در نتیجه با چشم انسان دیده نمی‌شود. بیشتر انرژی زمین تاب در محدوده ۴ تا ۱۰۰ میکرومتر، یعنی در طول موج بلند گسیل می‌شود. به همین دلیل، تابش زمینی را در مقایسه با تابش خورشیدی که تابش موج کوتاه نامیده می‌شود، تابش موج بلند می‌نامند (علیجانی و کاویانی، ۱۳۷۱: ۵۷).

۲-۷. پایای خورشیدی

یکای انرژی تابشی در دانش هواشناسی و اقلیم شناسی، مقدار شار انرژی گرمایی (Heat Flux) است که در یکای زمان (ثانیه) به یکای سطح (سانتیمتر مربع) برسد. شدت تابش آفتاب در سیستم انگلیسی با واحد (Btu/f^2) که مخفف عبارت (British thermal unit) است بر فوت مربع در ساعت و یا روز اندازه گیری می‌شود و معمولاً با حرف (I) بیان شده است. یک (Btu) برابر ($۱۰^{-۳}$) کالری انرژی است. انرژی خورشیدی در سیستم متریک به صورت وات بر متر مربع (W/m^2) یا لانگلی در ثانیه، دقیقه، ساعت و یا روز محاسبه می‌شود. یک لانگلی برابر با یک کالری بر سانتیمتر مربع است (قبادیان و مهدوی، ۱۳۷۶: ۴۴). انرژی خورشیدی به صورت شار گرما و با توجه به مقدار انرژی در «یکای سطح و زمان» سنجیده می‌شود. مقدار انرژی تابشی که خورشید در هر دقیقه از یک سانتیمتر مربع سطح خود گسیل می‌دارد، مساوی ۲/۳ گرم کالری بر سانتیمتر مربع در دقیقه یا لانگلی در دقیقه است (قائمی، ۱۳۷۵: ۱۰۵).

«ثابت خورشیدی» مقدار انرژی تابشی خورشید است که در هر دقیقه، در فاصله متوسط زمین تا خورشید، در حالت عمود بر سطح، به مرز بیرونی اتمسفر می‌رسد. مرز قراردادی و فرضی اتمسفر در ارتفاع حدود ۳۰۰۰ کیلومتری از سطح دریا بیان شده است، جایی که تراکم گازهای تشکیل دهنده اتمسفر به مقدار نزدیک به مواد بین سیاره‌ای کاهش می‌یابد. سازمان جهانی هواشناسی، برای سطح عمود بر پرتوهای خورشیدی در مرز اتمسفر زمین، «ثابت خورشیدی» را حدود ۱۳۷۰ وات در متر مربع یا ۱/۹۸ لانگلی (کالری بر سانتیمتر مربع در دقیقه) بیان کرده است (علیجانی و کاویانی،۵۷:۱۳۷۱). صرف نظر از مقدار انعکاس و تبخیر، ثابت خورشیدی می‌تواند در هر دقیقه، یک سانتیمتر مکعب آب را به میزان دو درجه سلسیوس و حجم مشابهی از شن را تا حد ده درجه سلسیوس گرم سازد (علیجانی و کاویانی، ۱۳۷۱: ۶۹). اگر چه مدار گردش زمین به دور خورشید به صورت یک بیضی نزدیک به دایره است که خورشید در یکی از کانون‌های آن قرار دارد. امّا خروج از مرکز این بیضی حدود ۰/۱۷ است. به همین دلیل تغییرات فاصله زمین تا خورشید در طول سال زیاد نیست. متوسط فاصله زمین تا خورشید حدود ۱۴۹/۶۸ میلیون کیلومتر است. کمینه فاصله در حوالی اول ژانویه (حضیض خورضیدی) و بیشینه فاصله در حدود اول ژوئیه (اوج خورشیدی) پدید می‌آید که طی آن زمین ۱/۶۷ درصد از میانگین فاصله به خورشید نزدیک‌تر و یا دورتر قرار دارد. بر این پایه که شدت انرژی تابشی با

مجذور فاصله رابطه وارونه دارد، میزان واقعی انرژی تابشی خورشید بین نزدیک‌ترین تا دورترین فاصله زمین تا خورشید، حدود ۷ درصد نوسان دارد. در نتیجه دریافت انرژی تابشی خورشید ۳/۳۷ درصد از مقدار متوسط ثابت خورشیدی بیشتر یا کمتر می‌گردد (قائمی، ۱۳۷۵: ۱۰۶).

مقدار انرژی که وارد سطح زمین می‌شود، خیلی کمتر از ثابت خورشیدی است و مقدار آن به طور متوسط به ۱/۳ گرم کالری بر سانتیمتر مربع در دقیقه یا به حدود ۹۰۰ وات بر متر مربع در دقیقه می‌رسد. تابش خورشیدی ضمن عبور از اتمسفر زمین، دست‌خوش تغییرات کمّی و کیفی بسیار زیادی می‌شود و مقدار چشمگیری از انرژی گرمایی تلف می‌شود. مقدار پالایش انرژی به طول اپتیکی راه، عرض جغرافیایی، روز سال، ساعت روز و نیز ماهیّت و مقدار جذب، بازتاب و پراکندگی توسط گازها و مواد معلق در اتمسفر بستگی دارد. همچنین خمیدگی سطح گوی مانند زمین، موجب می‌شود که پرتوهای موازی خورشیدی در هر لحظه فقط با یک نقطه از سطح زمین زاویه عمودی بسازد و سایر نقاط در معرض تابش مستقیم خورشید، زاویه تابش مایل‌تری دریافت دارند. به طور کلی پرتو عمودی آفتاب در هر زمان معین در طول سال، بر عرض جغرافیایی مشخصی در کمربند باریکی پیرامون کره زمین وجود دارد. این کمربند در منطقه گرم و در میان دو مدار رأس‌السرطان و رأس‌الجدی قرار دارد. انرژی تابشی ورودی به هر جای دیگری که بیرون از این کمربند باشد از عمود دور است و در نتیجه مقدار انرژی ورودی به سطح زمین کاهش پیدا می‌کند (قائمی، ۱۳۷۵: ۱۰۵).

فصل سوّم

پالایش انرژی تابشی خورشید در اتمسفر زمین

۳-۱. ترکیب اتمسفر زمین

اتمسفر پوشش نازک هوایی است که کره زمین را در بر گرفته است. گذار از اتمسفر زمین به فضای کیهانی با کاهش تدریجی غلظت مولکول‌های هوا صورت می‌گیرد. از این رو، اتمسفر مرز مشخصی ندارد. به هر حال آثار اتمسفر تا ارتفاع ۲ تا ۳ هزار کیلومتری آشکار است. بر این پایه، «مرز قراردادی زمین» را ارتفاع حدود ۳ هزار کیلومتری فرض کرده‌اند (علیجانی و کاویانی، ۱۳۷۱: ۲۹). اتمسفر ترکیبی از چندین گاز است که برخی از آنها را گازهای همیشگی گویند. نسبت هر کدام از گازهای همیشگی به مجموع گازهای جوّ ثابت است. برخی دیگر از گازها متغیرند، ولی دارای تغییرات مشخصی نسبت به زمان و مکان نیستند. تاکنون پژوهش‌های گوناگون، نسبت ترکیبات اتمسفر را مورد اندازه گیری قرار داده‌اند، نتایج نشان می‌دهد که ترکیبات جوّ خیلی به هم نزدیک است (قائمی، ۱۳۷۵: ۹۴). «گازها» و «ذرات جامد»، عناصر تشکیل دهنده اتمسفر هستند. «گازها» در دو دسته «گازهای اصلی» با درصد حجمی ۹۹/۹۹ درصد (مانند نیتروژن ۷۸/۰۸ درصد، اکسیژن ۲۰/۹۵ درصد، آرگون ۰/۹۳ درصد و گازکربنیک ۰/۰۳ درصد) و «گاز های فرعی» حدود ۰/۰۱ درصد (مثل نئون، هیدروژن، هلیم، ازون و ...) طبقه بندی شده‌اند. «ذرات جامد»، مانند: گرد و خاک، غبار، انواع نمک‌ها، دود و مواد خارج شده از دود کش‌های صنعتی و ذرات شیمیایی و میکروارگانیسم‌ها هستند که در آلودگی هوا نقش مهم دارند. مواد طبیعی معلق در آسمان مثل گرده‌های گل، هاگ‌ها، باکتری‌ها و همچنین ذرات قابل تشخیص یون‌ها (که ذرات تابشی به شمار می‌روند) نیز در این گروه جای دارند. ذرات معلق در اتمسفر مانند آب مایع و آب جامد (یخ) نه تنها در تعادل انرژی گرمایی، که در همه مسائل انتقال انرژی گرمایی نقش بسیار مهم و گسترده‌ای دارند. به طور کلی در بین ترکیبات اتمسفر، بخار آب که میزان آن به شدت متغیر است از اهمیت بالایی برخوردار است

(قائمی، ۱۳۷۵: ۹۵). به دلیل تلاطم شدید اتمسفر، نسبت ترکیبات جّو (نسبت وزن و حجم گازهای همیشگی به ارتفاع) تا حدود ارتفاع ۹۰ کیلومتری زمین پیوسته ثابت باقی می‌ماند. این لایه را «هوموسفر» گویند که بیانگر هوای همگن اتمسفر است. در حالی که افزایش یا کاهش درصد سایر گازها، به ویژه گازهای سبک وزن و یا خیلی سنگین وزن، نسبت به ترکیبات کل اتمسفر، به افزایش یا کاهش ارتفاع بستگی دارد. با توجه به اینکه در ارتفاعات بالاتر از ۹۰ کیلومتر، پراکندگی گازها بر اساس وزن مولکولی یا اتمی آنها است. لایه بالایی را «هتروسفر» می‌نامند که نشانه ناهمگنی ترکیبات اتمسفر است. جّو زمین را بر حسب چگونگی روند دما، اختلاف چگالی، تغییرات فشار، تداخل گازها و ...، نیز به چندین لایه: «تروپوسفر»، «استراتوسفر»، «مزوسفر»، «یونسفر» و «اگزوسفر» تقسیم کرده‌اند (علیجانی و کاویانی، ۱۳۷۱: ۳۱).

- وجه تمایز لایه پیرامونی سطح زمین (تروپوسفر) با سایر لایه‌ها، تجمع بخار آب در آن است. همچنین به دلیل این که منبع گرمایی لایه تروپوسفر، انرژی تابش سطح زمین است. گرمای هوا در این لایه با افزایش ارتفاع کاهش می‌یابد.

- ویژگی اصلی لایه استراتوسفر، پدیده فرآیندهای فتوشیمیایی است. این ویژگی مهّم ناشی از وجود «لایه ازون» در بخشی از استراتوسفر است.

- ذرات باد خورشیدی (توفان‌های خورشیدی) که به سوی کره زمین در حرکتند، پس از یکی دو روز به فاصله ۸۰۰۰ کیلومتری زمین می‌رسند و به سمت خارج از حوزه مغناطیسی زمین منحرف می‌شوند. این ذرات باردار (پروتون و الکترون)، در امتداد خطوط نیروی مغناطیسی زمین، با حرکت‌های مار پیچی حلقه وار، به سمت قطب‌های زمین کشیده می‌شوند و در فضای گسترده‌ای به دام میدان مغناطیسی زمین گرفتار می‌شوند و کمربند درخششی شدیدی به وجود می‌آورند. این کمربند درخشنده را به نام کاشف آن «وان آلن» و نیز «ماگنتوسفر» می‌نامند. این ذرات باردار پیوسته بین قطب‌های زمین در حرکتند. ضخامت کمربند درخشنده «وان آلن» در دو قطب مساوی نیست، بلکه در بالای قطب (زمین) رو به خورشید ضخامت کمتری نسبت به بالای قطب پشت به خورشید دارد. ماگنتوسفر زمین مانند سپری، از نفوذ تابش مرگبار خورشید به سطح زمین جلوگیری می‌کند. از آنجا که تابش ذرات

خورشیدی، تخریب سلول‌های زنده را به دنبال دارد. حفاظت از موجودات زنده در برابر این تابش مرگبار اهمیت بسیار دارد (علیجانی و کاویانی، ۱۳۷۱: ۴۹).

۳-۲. پدیده حذف و پالایش

انرژی تابشی خورشید در گذر از درون اتمسفر زمین، دستخوش دگرگونی‌های بسیار زیادی می‌شود. مقدار چشمگیری از تابش خورشید، در جوّ تغییر ماهیّت داده و «حذف» می‌شود. یعنی در هنگام رسیدن به سطح زمین کاهش نشان می‌دهد. علت وجودی پدیده «حذف انرژی تابشی خورشید» (Extinction)، «پراکندگی همه جانبه» (Scattering) و «جذب انتخابی» (Absorption) است. بنابراین اتمسفر زمین در نقش یک پالایشگاه ایفای نقش می‌کند.

مقدار پالایش انرژی خورشیدی به «طول اپتیکی راه» (ضخامت اتمسفر در امتداد تابش مستقیم خورشید)، «ماهیّت و مقدار پالایش» و «بازتاب و پراکندگی» توسط گازها و مواد معلق در اتمسفر بستگی دارد (قائمی، ۱۳۷۵: ۱۰۵).

۳-۳. جذب تابش خورشیدی در اتمسفر

جذب (خورد) انرژی تابشی خورشید توسط مولکول‌ها و ذرات معلق در هوا، افزایش سرعت جنبش مولکولی جسم و در نتیجه افزایش گرمای آن را در پی دارد. هر جسم معمولاً محدوده مشخصی از طول موج یک باند تابشی را جذب و طول موج‌های دیگر را پراکنده کرده، یا از خود عبور می‌دهد. جذب تابش، فرآیندی انتخابی است. نسبت تابش جذب شده به مجموع تابش گسیل شده در یک محدوده طیفی معین را «ضریب جذب» نامیده‌اند. مقدار ضریب جذب برای هر چیزی ثابت است. رنگ هر چیز از نسبت جذب به بازتاب و یا عبور امواج تابشی در محدوده مرئی بدست می‌آید. چنانکه، اگر پدیده‌ای امواج تابشی را که بر سطح آن می‌تابد، بیشتر جذب کند رنگی تیره تر و در صورت وارونه، رنگی روشن‌تر خواهد داشت. سرتاسر بیناب امواج تابشی، پس از گذشتن از یک محیط، ممکن است باند (هایی) از آن در محدوده مشخص، حذف شوند، که آن را «خطوط جذبی» گویند. برای مثال باند های تاریک که در گستره بیناب تابشی ستیغ آفتاب در سطح زمین دیده می‌شود، نتیجه جذب بخشی از امواج تابشی خورشید توسط بخار آب (H2O)، گاز کربنیک (Co2) و ازون (O3) موجود در اتمسفر است (علیجانی و کاویانی، ۱۳۷۱: ۷۴).

ازت و اکسیژن که دو گاز بسیار مهم جوّ، هستند، نوار جذبی گسترده‌ای فقط در باند طول موج‌های پرتو فرابنفش بین ۰/۰۲ تا ۰/۲ میکرومتر دارند.

مهم‌ترین جذب تابش در قسمت فروسرخ توسط دو گاز انجام می‌پذیرد. این دو گاز عبارت از گازکربنیک و بخار آب است که در حالت عادی کمتر از یک درصد حجم گازهای اتمسفر را تشکیل می‌دهند. بخار آب معمولاً کمتر از ۳ درصد از حجم کل جوّ را در نمناک‌ترین شرایط (در کنار دریا) تشکیل می‌دهد. ولی تقریباً شش برابر مجموع گازهای دیگر، انرژی خورشیدی و بیشتر امواج تابشی زمین را جذب می‌کند (قائمی، ۱۳۷۵: ۹۴). بخار آب نوار جذبی بسیار گسترده‌ای دارد و امواج تابشی با طول موج بین (۱ تا ۲)، (۲/۵ تا ۳) و به ویژه (۵ تا ۸) میکرومتر و نیز همه تابش فروسرخ را در بالاتر از (۱۴) میکرومتر، به طور کامل جذب می‌کند.

با توجه به افزایش فرآیندهای سوختی در سطح زمین، مقدار اکسید کربن اتمسفر نیز تغییرات مکانی و زمانی نسبتاً زیادی دارد. مقدار این گاز در مناطق صنعتی می‌تواند تا دو برابر مقدار عادی آن (۰/۰۳ درصد) برسد. پژوهش‌های انجام شده حکایت از افزایش ۱۲ درصدی این گاز طی ۵۰ سال (در قرن بیست میلادی) دارد (علیجانی و کاویانی، ۱۳۷۱: ۲۹ به نقل از Weischet, 1977). گاز کربنیک علاوه بر سمی بودن، با داشتن باند جذب مؤثر برای تابش فروسرخ «خورشید» و «زمین»، نقش پر اهمیتی در تراز انرژی گرمایی اتمسفر و در نتیجه تغییرات آب و هوایی به عهده دارد.

گاز ازون یکی از عناصر مهم اتمسفر است، زیرا در طول موج‌های معین تابش خورشیدی، به ویژه در نوار فرابنفش، واکنش فتوشیمیایی دارد. بیشترین تراکم ازون در ارتفاع بین ۲۵ تا ۳۰ کیلومتر است. در این کنش و واکنش‌ها، «اکسیژن مولکولی» به کمک انرژی تابشی خورشید به دو «اتم اکسیژن» تجزیه می‌گردد. هر یک از دو اتم پدید آمده، با یک مولکول اکسیژن موجود در ناحیه ترکیب می‌شود و مولکول سه اتمی «ازون» را به وجود می‌آورد. مولکول ازون ساخته شده، بخشی از تابش فرابنفش خورشید را جذب می‌کند. کنش و واکنش‌های زنجیره‌ای مزبور، دوباره ازون را به اکسیژن مولکولی و اتمی تجزیه می‌سازد. قسمتی از لایه استراتوسفر که در این فرآیند شرکت دارد، از ازون انباشته‌تر شده و گرم‌تر می‌شود که به نام «لایه ازون» شهرت دارد. در لایه ازون سه نوع ترکیب اکسیژن، شامل: «ازون»، «اکسیژن اتمی» و «اکسیژن مولکولی» وجود دارد. این سه نوع گاز در حال تعادل اختلاط دارند و مقدار آنها در ارتفاعات

متفاوت یکسان نیست (قائمی، ۱۳۷۵: ۹۵). بیشینه مقدار ازون در بهار و کمینه آن در پاییز است. بیشینه مکانی ازون در حدود عرض جغرافیایی ۶۰ درجه و نیز در حوالی مراکز کم فشار است. در حالی که کمینه آن در نواحی استوایی و در محدوده مراکز پرفشار دیده می‌شود. لایه اوزونسفر که در قسمت بالایی لایه استراتوسفر قرار دارد، به علت جذب بخشی از تابش فرابنفش خورشید سبب افزایش گرمای هوا در قسمت بالایی استراتوسفر می‌شود. افزایش شدید تابش فرابنفش به هنگام افزایش فعالیت لکه‌های خورشیدی، به شدت لایه استراتوسفر را گرم می‌سازد و تحولات چشمگیری در وضع هوا ایجاد می‌نماید. بررسی بیناب تابش خورشید در تروپوسفر بیانگر گسست طول موج ۰/۲۹ میکرومتر و جذب آن توسط ازون است. تابش فرابنفش آثار تخریبی شدیدی بر سلول‌های زنده دارد. بنابراین لایه ازون به وسیله جذب تابش کوتاه موج خورشید، چتر حفاظتی برای سطح زمین می‌سازد و زندگی در بیوسفر را پشتیبانی می‌نماید (علیجانی و کاویانی، ۱۳۷۱: ۴۴).

پرتوهای پر انرژی خورشید (فرابنفش، رونتگن، ایکس و تابش‌های ذره‌ای) که از فضای بیرونی به طبقات بالای اتمسفر وارد می‌شوند، باعث گسیختگی پیوند یا یونیزاسیون مولکول‌ها و اتم‌ها می‌شوند. در اثر یونیزاسیون، «الکترون» آزاد می‌شود و باقیمانده اتم به صورت «یون» در می‌آید. وجود لایه یونسفر نتیجه این کنش و واکنش‌ها است. مقدار تراکم الکترون‌ها در یونسفر به زاویه تابش خورشید بستگی دارد. به همین دلیل بیشینه تراکم الکترون‌ها در نیمروز و کمینه آن در هنگام شب است. همچنین شدت یونیزاسیون در تمام ارتفاعات یونسفر یکسان نیست، بنابراین لایه‌هایی متمایز با تراکم الکترون و یون متفاوت، در درون لایه یونسفر وجود دارد. این لایه‌ها در ارتباط‌های رادیویی اهمیت فراوانی دارد. این لایه‌ها به ترتیب شامل: (D)، (E) و (F) هستند. لایه (D) از تجمع الکترون‌های حاصل از یونیزاسیون گاز مونواکسید ازت (No)، در نتیجه تابش شدید رونتگن (با طول موج بسیار کوتاه) ایجاد می‌شود و تا عمق ۷۰ تا ۸۰ کیلومتری سطح زمین نفوذ می‌کند. این لایه در شرایط خاص در طول روز می‌تواند پدید آید. لایه (E) در اثر یونیزاسیون مولکول اکسیژن با تابش نرم رونتگن (با طول موج بلندتر) و در ارتفاع ۱۱۰ کیلومتری سطح زمین تشکیل می‌شود. این لایه در شب کمی ضعیف می‌شود.

لایه (F) در اثر یونیزاسیون اتم‌های اکسیژن در ارتفاع ۲۰۰ تا ۴۰۰ کیلومتری از سطح زمین با تابش فرابنفش که طول موجی بسیار کوتاه دارد (۰/۳-۰/۱ میکرومتر)، شکل می‌گیرد. تراکم

الکترون‌ها در لایه (F) بیشتر از لایه (E) است. وجود الکترون‌ها در یونسفر بازتاب امواج رادیویی را باعث می‌شود. توانایی بازتاب موج‌های کوتاه تر با افزایش تراکم الکترون‌ها بیشتر می‌شود. بنابراین لایه (F) در بازتاب امواج کوتاه رادیویی نقش مهم‌تری دارد، در حالی که لایه (D) تنها امواج بلند رادیویی را بازتاب می‌دهند و موج‌های کوتاه و متوسط رادیویی را جذب می‌کند. لایه (E) نیز مانند لایه (F) امواج متوسط و کوتاه را باز می‌تاباند و در ارتباطات رادیویی از فواصل دور اهمیت ویژه‌ای دارد. در هنگام طغیان لکه‌های خورشیدی، لایه‌های گوناگون یونسفر از هم می‌گسلند و سیستم ارتباطات رادیویی در کره زمین، مختل می‌شود (علیجانی و کاویانی، ۱۳۷۱: ۴۵).

۳-٤. فرآیند پراکندگی تابش خورشید

پراکندگی پرتوهای تابشی فرآیندی است که انتقال آن به وسیله موادی صورت می‌گیرد که آنها را واسط گویند و تنها سبب تغییرات انتقال پرتوها می‌شود. پیدایش این پدیده به صورت درخشندگی، به سبب وجود نیروی اجباری نوسانات الکترون‌ها در اتم‌ها و مولکول‌های مواد پراکنده کننده واسط است، که بر اثر برخورد پرتوها بر سطح آن ایجاد می‌شود. معمولاً پرتوهای پراکنده شده، در واسط‌های همگن نوری انتقال می‌یابد. «واسط‌های همگن نوری»، موادی هستند که شاخص شکست آنها مستقل از مختصاتشان است و مقدار آن در سراسر اتمسفر ثابت است. پرتوهای خورشیدی در برخورد به موانع موجود جوّی به همه سو پراکنده می‌شوند. این موانع شامل، مولکول‌های هوا و ذرات معلق مانند قطرات آب، ابر، مه، غبارتر، بلورهای یخ در ابرهای مرتفع، گرد، غبار خشک، دوده و ... می‌شود. هر مولکول یا ذره‌ای از هوا که پراکندگی پرتو خورشید را سبب گردد، انرژی را عیناً در تمام جهات پخش می‌سازد. "در پراکندگی تغییر شکل انرژی صورت نمی‌پذیرد." بنابراین، قسمت زیادی از «انرژی تابشی آسمان» به سبب برخورد پرتوهای خورشید به مولکول‌های هوا و ذرات بسیار ریز مواد معلق در جوّ و بازتاب آن است.

بخشی از انرژی تابشی خورشید که به سوی فضای کیهانی بازتابیده می‌گردد، از دسترس زمین خارج می‌شود. برگشت نور بر اثر پراکندگی که در بالای لایه غبار آلود دیده می‌شود، قسمتی از انرژی نورانی است که از اتمسفر بازتاب می‌گردد. از نگاه بیننده‌ای که در بالای جوّ زمین، بر مدار زمین می‌چرخد، پرتو پراکنده شده خورشید قسمتی از روشنایی زمین را تشکیل می‌دهد. با استفاده از این ویژگی، گستره پدیده‌های گرد و غباری و ابرناکی هوا و همچنین پیگیری جهت حرکت آنها، به کمک تصویر های ماهواره‌ای (سنجش از دور) تعیین می‌شود.

بخش دیگری از این بازتاب، که به سمت زمین رانده می‌شود، به صورت پراکنده به سطح زمین می‌رسد، که به آن «تابش پراکنده خورشید» گویند. رنگ آبی آسمان ناشی از این فرآیند فیزیکی است، زیرا در فاصله طول موج‌های پرتو مرئی، رنگ‌های بنفش و آبی بیشتر از رنگ‌های دیگر پراکنده می‌شوند. قسمتی از نور پراکنده شده در درون اتمسفر که از زوایای گوناگون، به چشم بیننده در سطح زمین می‌رسد، ناشی از بازتاب نور آبی آسمان است. مقدار آفتابگیری در سطح زمین شامل مجموع «تابش مستقیم خورشید» و «تابش پراکنده شده خورشید» یا بازتاب آسمان است (قائمی، ۱۳۷۵: ۸۹). فرآیند پخش و پراکندگی انرژی تابشی خورشید توسط ترکیبات اتمسفر به سه روش انجام می‌پذیرد:

♠ لرد رالی (۱۹۱۹-۱۸۴۲) برای نخستین بار نظریه‌ای در باره پراکندگی تابش بیان داشت. «قانون رالی» تابع مستقیمی از قطر ذراتی است که به پراکندگی حساس هستند و با توان چهارم طول موج نسبت وارونه دارد. رابطه پراکندگی رالی تنها هنگامی به کار گرفته می‌شود که نسبت قطر ذرات به طول موج کمتر از ۰/۱ باشد، یعنی اندازه ذرات خیلی کوچکتر از طول موج تابش خورشید باشد. بر پایه این قانون، مقدار بازتاب امواج کوتاه تر نسبت به امواج بلندتر، بسیار بیشتر است. کاربرد نظریه رالی برای پراکندگی طول موج آبی است که ناشی از وجود مولکول‌های گاز و ذرات گرد و خاک بسیار بسیار ریز در اتمسفر است، از این رو آسمان به رنگ آبی دیده می‌شود.

♠ اگر نسبت قطر ذرات به طول موج بزرگتر از ۰/۱ باشد، قانون رالی پذیرفتنی نیست و نظریه پراکندگی مای (Mei, 1908)، جانشین آن می‌شود. بر پایه این نظریه، هنگامی که قطر ذرات مساوی طول موج تابش خورشید باشد، بیشتر طول موج سرخ پراکنده می‌شود. بنابراین نور خورشید که اساساً سفید است، اغلب به صورت سرخ به سطح زمین می‌رسد. هنگام غروب که نور سفید خورشید بزرگترین مسیر را در اتمسفر می‌پیماید، پراکندگی نور آبی به بیشینه مقدار روزانه خود می‌رسد، امّا تنها قسمت سرخ آسمان دیده می‌شود. زیرا امواج خورشید به طور مایل از طبقات پایین اتمسفر می‌گذرند و ذرات درشت‌تر در این طبقات بیشتر است. علت سرخی آسمان به هنگام شفق و فلق، بازتاب بیشتر امواج در باند قرمز است. همین پدیده در هنگامی که پرتوهای خورشید به درون لایه‌ای از جّو دود آلود می‌تابد، رخ می‌دهد.

♠ ذرات درشت‌تر اتمسفر، مانند قطرات آب، تمام امواج را به طور یکسان بازتاب می‌دهند، که آن را «پخش انتخابی» نامیده‌اند. این گونه پراکندگی، هنگامی صورت می‌پذیرد که قطر ذره بسیار بزرگتر از طول موج تابش خورشید باشد. علت سفید دیده شدن ابرها از بالا و یا رنگ شیری آسمان گرد آلود، پخش انتخابی تابش در باند مرئی است. به سخن دیگر، ذرات ابر، رنگ نور خورشید را تغییر نمی‌دهند، زیرا قطر آنها بسیار بزرگتر از طول موج است. اگرچه مقدار پراکندگی تابش به وسیله ابرها بسیار بیشتر از ذرات گرد و غبار است، ولی ضخامت و تراکم ابر بر مقدار بازتاب تابش، بسیار مؤثر است. ابرهای سیروس حدود ۱۸ تا ۲۵ درصد از کل تابش خورشید را باز می‌تابانند، در حالی که ابرهای کومولونیمبوس می‌توانند تا ۹۰ درصد از امواج تابشی خورشید را پراکنده سازند (علیجانی و کاویانی، ۱۳۷۱: ۷۳).

به طور کلی در آسمان صاف، مقداری از تابش خورشید که توسط اتمسفر به سمت فضای کیهانی برگشت داده می‌شود، نسبت به بازتاب سطح زمین بیشتر است. همچنین نورهای پراکنده شده به سوی زمین (که به آن «تابش آسمان» می‌گویند) نسبت به نور بازگشت داده شده به فضا، به نوعی بیشتر است. نور در نتیجه وجود گرد و خاک در اتمسفر و یا غبار آلود بودن آن تضعیف می‌شود. در این شرایط نه تنها نمی‌توان چیزها را به خوبی دید، که فاصله آنها هم تشخیص دادنی نیست. همچنین میدان دید افقی، تحت شرایط پراکندگی تابش قرار دارد و روشنایی هوا در همه جهات با شدت نسبی کافی تا ضعیف‌ترین یا کم اثرترین تضاد روشنایی پراکنده می‌شود (قائمی، ۱۳۷۵: ۹۲).

۳-٤-۱. پارادوکس تابشی ابر

پوشش ابر بر روی تراز تابش رسیده به سطح زمین به روش‌های پیچیده‌ای اثر گذار است. چگونگی اثرگذاری ابر به مقدار پوشش ابر، گونه ابر و ارتفاع لایه‌های ابر بستگی دارد. پوشش ابر با ضریب پراکنش بالا (با میانگین سیاره‌ای ۴۵- تا ۵۰- وات بر متر مربع)، سبب پالایش تابش کوتاه موج خورشیدی شده و اثر سرمایشی بر جای می‌گذارد. در صورتی که درآشامیده شدن تابش فروسرخ زمین توسط ابر (با میانگین جهانی ۳۰ وات بر متر مربع)، اثر گرمایشی دارد. در مجموع اثر پوشش ابری نسبت به شرایط آسمان صاف، یک سرمایش خالص (با میانگین حدود ۱۷- وات بر متر مربع) است.

به طور کلی، لایه‌های ابر میانی و پایینی، تأثیر خالص سرمایشی دارند، یعنی مقدار پراکنش تابش موج کوتاه خورشیدی توسط ابر بیشتر از مقدار به دام افتاده تابش موج بلند زمینی توسط ابر است. در مقایسه، ابرهای نازک بالا، اثر گرمایشی روی سطح زمین می‌گذارند.

میانگین اثر ابر بر پالایش تابش خورشیدی در همه فصول سال و در مقیاس سیاره‌ای حدود ۱۳- تا ۲۱- وات بر متر مربع است. در آب و هوای مناطق گرم میان مداری، اهمیّت ابرها در پراکنش تابش موج کوتاه خورشیدی است که تا حدود ۶۰- تا ۷۰- وات بر متر مربع افزایش می‌یابد. در صورتی که در عرض‌های میانی، ابر هم در پراکنش تابش کوتاه موج خورشید (اثر سرمایشی) و هم در جذب تابش بلند موج زمینی (اثر گرمایشی) اهمیّت دارد. کیل و ترنبرث (Kiel & Trenberth, 1997) مقدار جذب تابش موج بلند در جهت رو به قطب ابر در این مناطق را حدود ۶۰ وات بر مترمربع بیان کرده است. در عرض‌های قطبی در زمستان به نسبت افزایش مقدار ابر، افزایش تابش فروسرخ رو به پایین پوشش‌های ابری، گرمایش سطح زمین را در پی دارد (امیدوار، ۱۳۸۹: ۱۱۸).

۳-٤-۲. طول اپتیکی تابش در اتمسفر

پدیده حذف انرژی تابشی خورشید دارای تغییرات محلی است، یعنی «مقدار» و «چگونگی» انرژی تابشی خورشیدی پالایش شده‌ای که به سوی زمین روانه می‌شود، از جایی به جای دیگر تفاوت دارد. که در مجموع به دو عامل بستگی دارد:

- جرم کلی اتمسفر که پرتوهای تابشی از درون آن می‌گذرند.
- مقدار بخار آب، گازکربنیک، ازون و ذرات جامدی که در هوا معلق هستند.

تفاوت‌های محلی حذف در پایانه‌های اتمسفری، به فرض همگن بودن ترکیبات اتمسفر در همه جا، تنها به جرم اتمسفر که طول راه گذشتن تابش را در بر می‌گیرد، بستگی خواهد داشت. به سخن دیگر مسافتی که تابش خورشیدی از مرز اتمسفر تا سطح زمین می‌پیماید، مقدار حذف طول موج تابش را تعیین می‌نماید. با توجه به خمیدگی سطح زمین و جایگاه خورشید در آسمان، پایانه‌های محلی تابش یکسان نیست. از این رو، با توجه به زاویه تابش بر سطح تراز هر محل، می‌توان طول مسیر تابش خورشید در درون جوّ را محاسبه کرد (علیجانی و کاویانی، ۱۳۷۱: ۷۷).

رابطه ۳-۱:

$$M_h = \frac{\mathrm{M}}{\sin \mathrm{h}\alpha}$$

M_h= ضخامت اتمسفر در امتداد مسیر پیموده شده پرتوهای تابش مستقیم خورشید در جّو.
M= ضخامت اتمسفر در امتداد عمود بر سطح تراز زمین (حدود سه هزار کیلومتر).
$\sin h\alpha$= سینوس زاویه تابش مستقیم خورشید در سطح تراز، در پایانه اتمسفری.

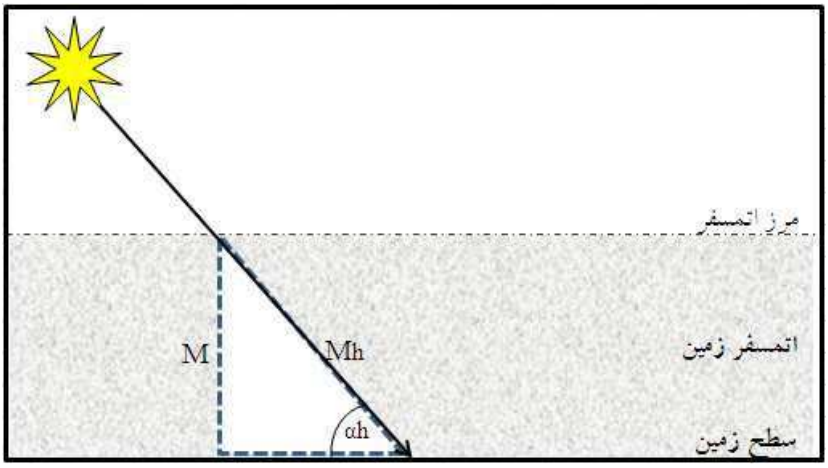
جدول ۳-۱: نسبت مقدار افزایش (M_h) به (M)، بر پایه زاویه تابش مستقیم خورشید

زاویه تابش	افزایش مسافت	زاویه تابش	افزایش مسافت	زاویه تابش	افزایش مسافت
۵	۱۱/۴۷	۲۵	۲/۳۷	۴۵	۱/۴۱
۱۰	۵/۷۶	۳۰	۲/۰۰	۵۰	۱/۳۱
۱۵	۳/۸۶	۳۵	۱/۷۴	۶۰	۱/۱۵
۲۰	۲/۹۲	۴۰	۱/۵۶	۷۰	۱/۰۶

☜ هرچه زاویه تابش مستقیم خورشید عمودی‌تر باشد، کاهش مسیری که تابش مورد نظر در اتمسفر می‌پیماید، آرام‌تر و تدریجی است.

☜ هرچه زاویه تابش مستقیم خورشید به حالت افقی نزدیکتر باشد، افزایش مسیری که تابش مورد نظر در اتمسفر می‌پیماید، ناگهانی‌تر و جهشی است.

☜ به طور کلی هرچه مسافت پیموده شده پرتو خورشیدی در اتمسفر بیشتر باشد، به همان نسبت امواج کوتاه تابش خورشید بیشتر پالایش (پراکنده و یا جذب) می‌شود.



شکل ۳-۱: مسافت پیموده شده پرتوهای خورشید در اتمسفر

۵-۵. تابش کلی

از تمام انرژی دریافتی تابش خورشیدی (۱۰۰ درصد)، ۲۶ درصد آن به وسیله ترکیبات اتمسفر به فضای کیهانی بازتاب داده می‌شود و از سیستم زمین خارج می‌گردد. ۱۸ درصد انرژی تابشی خورشید، به خورد (جذب) مولکول‌ها گازی و ذرات معلق در هوا می‌رود و موجب افزایش گرمای محسوس هوا می‌شود. سر انجام باقی مانده آن که ۵۶ درصد از کل انرژی تابشی خورشید در مرز اتمسفر است، به صورت «تابش مستقیم» و «تابش پراکنده» به سطح زمین می‌رسد، که به آن «تابش کلی» گفته می‌شود. هر چند در آب و هواشناسی دینامیک، پراکنش جغرافیایی «تابش کلی» یا «مجموع تابش مستقیم و پراکنده خورشید» اهمیّت دارد، امّا رابطه بین اقلیم تابشی و زندگانی، بررسی اثرات تابش مستقیم و پراکنده آفتاب در سطح زمین را به صورت جداگانه، ضروری می‌سازد. تابش پراکنده از تباین (شدت سایه و نور) بسیار می‌کاهد و همین پدیده سبب اختلاف جلوه در فضای زندگی گیاه، حیوان و انسان می‌شود. این ویژگی، گوناگونی شدید اکولوژیک در پوشش گیاهی و در چگونگی ذوب یخچال در مناطق بلند کوهستانی را به دنبال دارد. جدول ۳-۲، به فرض صاف بودن هوا، پراکندگی جغرافیایی تابش مستقیم و پراکنده خورشید (بر حسب کالری بر سانتیمتر مربع در روز) را در عرض‌های مختلف جغرافیایی، در نیمکره شمالی برای زمان اعتدالین و انقلابین در هر سال نشان می‌دهد (علیجانی و کاویانی، ۱۳۷۱: ۷۸).

جدول ۳-۲ : پراکندگی جغرافیایی تابش مستقیم و پراکنده خورشید

عرض جغرافی	اول فروردین		اول تیر		اول مهر		اول دی	
	مستقیم	پراکنده	مستقیم	پراکنده	مستقیم	پراکنده	مستقیم	پراکنده
۹۰	۰	۱۰	۶۰۹	۱۲۸	۴	۱۰	۰	۰
۸۰	۸۱	۲۹	۶۰۹	۱۲۴	۶۰	۳۰	۰	۰
۷۰	۱۵۹	۴۳	۵۹۳	۱۱۰	۱۳۷	۴۴	۴۴	۰
۶۰	۲۵۹	۵۳	۶۰۰	۹۸	۲۳۲	۵۵	۱۲	۹
۵۰	۳۵۴	۶۱	۶۰۹	۹۷	۳۱۸	۶۵	۷۸	۲۷
۴۰	۴۲۵	۶۶	۶۰۸	۹۸	۳۸۷	۷۲	۱۶۴	۴۲
۳۰	۴۸۵	۷۲	۵۸۸	۹۵	۴۴۵	۷۸	۲۵۶	۵۲
۲۰	۵۰۵	۸۳	۵۴۵	۹۵	۴۷۷	۸۷	۳۳۱	۶۹
۱۰	۵۰۸	۹۰	۴۹۵	۹۳	۴۹۷	۹۲	۳۹۸	۸۳
۰	۵۰۹	۹۳	۴۳۴	۸۹	۵۰۴	۹۲	۴۶۲	۹۵

فصل چهارم

محاسبه زاویه تابش مستقیم خورشید در سطح زمین

٤-١. انرژی تابشی خورشید بنیان آب و هوا

تابش خورشیدی سرچشمه اصلی انرژی گوی زمین و عامل بنیانی کنترل زندگی در سطح آن است. انرژی خورشیدی با کنترل گرمای سطح زمین، پراکندگی زمانی و مکانی رطوبت و فشار را تعیین می‌سازد. به طور کلی انرژی تابشی که بر سطح زمین می‌تابد، از مهم‌ترین عواملی است که آب و هوای یک ناحیه را تعیین می‌کند. تابش مستقیم آفتاب (I_o)، تابش پراکنده خورشید (D) و تابش برگشتی اتمسفر (L)، اجزای این تابش را تشکیل می‌دهند. از بین آنها تنها مقدار تابش مستقیم (I_o) به زاویه‌ای بستگی دارد که پرتو خورشیدی با سطح زمین (α) می‌سازد (کاویانی، ۱۳۸۷: ۱۶۱). زاویه پرتو مستقیم تابش آفتاب در تراز هر محل نسبت به زمان تغییر می‌کند. این تغییر دوره بازگشت سالانه دارد و مقدار آن در هر عرض جغرافیایی برای هر روز سال قابل محاسبه است. بنابراین «انرژی تابشی خورشید نه تنها مهم‌ترین عامل کنترل اقلیمی به شمار می‌رود که یکی از مهم‌ترین عناصر اقلیمی نیز می‌باشد (قائمی، ۱۳۷۵: ۱۸۸). تغییرات چرخه‌ای زاویه تابش مستقیم خورشید در سطح زمین، به جایگاه خورشید در آسمان، بستگی دارد.

٤-٢. جایگاه خورشید در آسمان

در هر هنگام از هر روز سال، جایگاه خورشید در آسمان نسبت به تراز هر نقطه از سطح زمین متفاوت است. تغییر زاویه تابش مستقیم آفتاب در طول سال و در ساعات روز به چگونگی عوض شدن جایگاه خورشید در آسمان بستگی دارد. جایگاه خورشید در آسمان، با دو زاویه «ارتفاع» و «سمت» مشخص می‌شود:

♠ زاویه «ارتفاع خورشید» در هر نقطه از سطح زمین، زاویه‌ای است که امتداد پرتو خورشید با سطح افق (تراز) آنجا می‌سازد. با اندازه گیری زاویه «تابش خورشید» در سطح تراز هر محل، می‌توان «ارتفاع خورشید» را در آسمان آنجا بدست آورد. «بلندی خورشید» به عرض جغرافیایی محل، روز سال و ساعت روز بستگی دارد. باید توجه داشت که ناهمواری‌های سطح زمین، سبب می‌شود زاویه تابش مستقیم خورشید در سطوح شیب دار تغییر پیدا کند و این زاویه نسبت به زاویه پرتو آفتاب در سطح تراز کمتر یا بیشتر گردد. این ویژگی در برنامه ریزی‌های محیطی مورد توجه فراوان قرار می‌گیرد و زاویه تابش در سطوح مورد نظر مانند سطح دیوارها و پشت بام‌های ساختمان، سطح سلول‌های خورشیدی، صفحات تخت یا پانل‌های گرمایی و ... به گونه ای تغییر داده می‌شود تا مقدار انرژی گرمایی رسیده به یکای سطح را به دلخواه تنظیم نمایند.

♠ تصویر امتداد پرتو خورشیدی بر روی سطح افق با راستای شمال جغرافیایی محل، زاویه «سمت خورشید» یا آزیموت تابش خورشید را می‌سازد. این زاویه از شمال در جهت حرکت عقربه‌های ساعت اندازه گیری می‌شود. زاویه جهت تابش خورشید در هر نقطه از کره زمین، در هر روز و هر ساعت از سال متفاوت است. با استفاده از سرعت زاویه‌ای حرکت چرخشی زمین، که ۱۵ درجه در ساعت است و بازتابی که در سرعت زاویه‌ای حرکت ظاهری خورشید در آسمان و نیز در سرعت زاویه‌ای سایه برجستگی‌های سطح زمین دارد، به تعیین زمان در طول روز اقدام می‌شود. امتداد سایه شاخص در همه ساعات روز با امتداد تصویر افقی آزیموت تابش مستقیم آفتاب وارونه است و ۱۸۰ درجه با یکدیگر تفاوت دارد. تعیین زاویه سمت تابش مستقیم خورشید و جهت امتداد سایه در برنامه‌ریزی‌های اقلیمی اهمیّت دارد.

٤-۳. تغییرات زاویه میل خورشید

زاویه «میل خورشید» (δ) یکی از ویژگی‌های مهّم هندسه زمین و خورشید است و "زاویه‌ای است که پرتو خورشیدی با صفحه استوایی زمین می‌سازد. " به سخن دیگر، زاویه بین جایگاه خورشید در آسمان نسبت به استوای آسمانی در راستای دایره ساعتی خورشید را «میل خورشید» گویند، که در واقع عرض نجومی خورشید است. نوسان «میل خورشید» در طول سال یکی از برآیندهای خمیدگی محور زمین است. از این زاویه به نام «زاویه خمیدگی» یا «زاویه انحراف» خورشید از آسمان استوایی نیز یاد شده است (قائمی، ۱۳۷۵: ۵۶). خمیدگی

محور زمین، موجب می‌شود چگونگی استقرار زمین نسبت به خورشید در طول سال نوسان داشته باشد. پیدایش فصول، اختلاف طول شب و روز، پدیده شب و روز قطبی در عرض‌های بالاتر از مدار ۶۶/۵ درجه جغرافیایی، وارونه بودن دوره‌های گرم و سرد سال در دو نیمکره شمالی و جنوبی زمین نسبت به یکدیگر و تغییر مکانی سامانه‌های آب و هوایی سطح زمین، برآیندهای کجی محور زمین هستند. دامنه سالانه تغییرات زاویه میل خورشید (δ) در حدود ۲۳/۴۴ $\pm$ درجه می‌باشد. دگرگونی این زاویه در طول سال، خطی نبوده و تقریباً سینوسی است. در فاصله زمانی بین اعتدال بهاری تا اعتدال پاییزی، که خورشید در ظاهر در نیمه شمالی کره آسمان قرار می‌گیرد، زاویه میل مثبت است. در فاصله زمانی بین اعتدال پاییزی تا اعتدال بهاری، که خورشید در ظاهر در نیمکره جنوبی استوای آسمانی قرار می‌گیرد، این زاویه منفی است. به طور کلی:

- زاویه میل خورشید از اول فروردین (اعتدال بهاری) تا اول تیر (انقلاب تابستانی)، روند افزایشی دارد و از «صفر» به بیشینه سالانه ۲۳ درجه و ۲۷ دقیقه می‌رسد.
- زاویه میل خورشید از اول تیر (انقلاب تابستانی) تا اول مهرماه (اعتدال پاییزی)، روند کاهشی دارد و از مثبت ۲۳ درجه و ۲۷ دقیقه به طرف زاویه «صفر» پایین می‌رود. در هر حال زاویه میل خورشید مثبت است.
- زاویه میل خورشید از اول مهر (اعتدال پاییزی) تا اول دی ماه (انقلاب زمستانی)، کاهش می‌یابد و از «صفر» به کمینه سالانه منفی ۲۳ درجه و ۲۷ دقیقه فرود می‌آید.
- اگر چه زاویه میل خورشید از اول دی ماه (انقلاب زمستانی) تا اول فروردین (اعتدال بهاری) منفی است اما دارای روند افزایشی است و از منفی ۲۳ درجه و ۲۷ دقیقه به سمت «صفر» بالا می‌رود.

تغییر هندسه فضایی زمین و خورشید نسبت به یکدیگر در طول سال موجب می‌گردد تا زاویه تابش عمودی آفتاب (خورشید بالای سر) در طول سال بین مدارهای عرض جغرافیایی ۲۳/۵ شمالی و جنوبی جابجا شود. مداری که زاویه تابش خورشید در هنگام نیمروز بر سطح تراز آن مدار عمود می‌تابد را «مدار میل خورشید» می‌نامند. پرتو خورشیدی در طول سال دو بار در اول فروردین ماه و اول مهرماه، بر تراز استوا عمود می‌تابد که «اعتدالین» نامیده شده است. زاویه ارتفاعی خورشید در اول تیرماه بر مدار رأس‌السرطان و در اول دی روی رأس‌الجدی، به ۹۰

درجه می‌رسد که به ترتیب به انقلاب تابستانی و انقلاب زمستانی شهرت یافته است. از این روی، زاویه میل خورشید (δ) در لحظه اعتدالین صفر، در انقلاب تابستانی ۲۳/۵+ و در انقلاب زمستانی ۲۳/۵- درجه است. در عرض‌های جغرافیایی بالاتر از ۲۳/۵ درجه، هرگز تابش عمودی خورشید در سطح افق مشاهده نمی‌شود و به خاطر خمیدگی سطح زمین نسبت به پرتوهای موازی خورشید، ارتفاع خورشید با این عرض‌های جغرافیایی رابطه وارونه دارد. در نیمکره شمالی، بیشینه سالانه ارتفاع خورشید در این مدارها همراه با انقلاب تابستانی و کمینه آن در انقلاب زمستانی اتفاق می‌افتد. بیشینه و کمینه سالانه ارتفاع خورشید، در نیمکره جنوبی وارونه است.

تغییرات سال به سال و دراز مدت زاویه «میل خورشید» بسیار ناچیز بوده و برای دو مقدار حدی انقلابین تابعی از «زاویه کجی محور زمین» است که در حال حاضر در حدود ۲۳/۴۴ $\pm$ درجه می‌باشد. کجی محور زمین در یک چرخه ۴۰ هزار ساله، بین ۲۱/۸ تا ۲۴/۴ درجه، تغییرات دوره‌ای دارد. در نتیجه، زاویه میل خورشید هم این تغییرات را از سر می‌گذراند. جهت این تغییر در حال حاضر روندی کاهشی دارد (Lockwood, 1985). با فرض ثابت بودن تأثیر سایر عوامل اقلیمی، هر تغییری در دامنه سالانه «میل خورشید» صورت پذیرد، اختلاف فصلی تابستان با زمستان به طور جزیی تشدید یا تضعیف خواهد شد. زاویه میل خورشید در تعیین مشخصات لحظه‌ای خورشید، شدت لحظه‌ای تابش در بالای جوّ، میزان تابش دریافتی ساعتی، روزانه، ماهانه و سالانه در بالای اتمسفر، دارای نقش تعیین کننده‌ای است. انتخاب مناسب‌ترین روش محاسبه زاویه میل خورشید بستگی به اهمیّت تعیین لحظه طلوع و غروب خورشید از سوی کاربران در شاخه‌های مختلف مانند: صنعت، کشاورزی، شهرسازی، معماری، گردشگری، ... و همچنین ضرورت بازسازی و تکمیل داده‌های دیدبانی شده تابش در سطح زمین به کمک مقادیر محاسبه شده دارد. زیرا به وسیله محاسبه میزان دقیق تابش دریافتی در بالای جوّ در مقاطع زمانی مختلف، می‌توان مقدار تابش دریافتی در سطح زمین را برای مناطق فاقد دیده بانی‌های تشعشع سنجی با روش‌های متداول تخمین زد و در مناطق دارای دیده بانی‌های تشعشع سنجی، کیفیت داده‌ها را تا حد بالایی کنترل کرد (Guzzi & Justus, 1988).

در متون و ادبیات نجومی و خورشیدی روابط بسیاری برای محاسبه زاویه میل خورشید مطرح شده است. روش‌های گوناگونی برای محاسبه میل خورشید در هر لحظه و برای هر عرض جغرافیایی پیشنهاد شده است. روش‌هایی که بر پایه استفاده از روابط سینوسی، سری‌های

مثلثاتی، روش کمترین مربعات و ارائه برنامه‌های متنوع کامپیوتری ساخته شده‌اند. رابطه سینوسی کوپر (۱۹۶۹)، کاربرد سری‌های فوریه توسط اسپنسر (۱۹۷۱)، پریچامبات (۱۹۷۵)، دگینیاکس (۱۹۷۵)، والراون (۱۹۷۸)، کریدر (۱۹۸۱)، چودهوری (۱۹۸۲)، (1984) & W.M.O(1983)، بورگس (۱۹۸۵)، هوپر (۱۹۸۶)، پیسیمانیس (۱۹۸۷)، میخالسکی (۱۹۸۸)، روشیالوپ (۱۹۹۲)، ردا و آندریاس (۲۰۰۴)، از جمله روش‌هایی به شمار می‌روند که برای تعیین زاویه میل خورشید در طول سال و در سال‌های مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند. در سال‌های اخیر نیز روش‌های محاسباتی نسبتاً دقیق بر پایه استفاده از سری‌های مثلثاتی ساخته شده است. دقت این روش‌ها در سنجش زاویه میل خورشید در روزهای مختلف سال و در سال‌های گوناگون یکسان نیست و با یکدیگر تفاوت دارند. همچنین همه ساله مختصات خورشیدی و همچنین مقدار واقعی زاویه میل خورشید با دقت بسیار زیاد در نشریات گوناگون جهان از جمله نشریه آلماناک "Astronomical Almanac"و "Astronomical Ephemris" جدول بندی و انتشار می‌یابد. اما کاربرد این جداول هم به صورت دستی و هم به صورت برنامه‌های کامپیوتری وقت گیر و با دشواری‌های زیادی همراه است. به هر حال به منظور ایجاد سهولت در محاسبات و در جایی که نیاز چندانی به دقت در محاسبه زاویه میل خورشید نباشد، می‌توان از روابط بسیار ساده سینوسی بهره گرفت (عسگری و سمیعی، ۱۳۸۴). یکی از این روابط سینوسی که درگذشته بسیار مورد استفاده واقع شده است، رابطه سینوسی کوپر (۱۹۶۹) است. با استفاده از این رابطه می‌توان زاویه میل خورشید (δ) را برای هر روز سال (N) و در هنگام نیمروز بدست آورد. شماره روز سال (N) بر حسب سال میلادی و از اول ژانویه (N =۱) در نظر گرفته می‌شود (عسگری و سمیعی، ۱۳۸۴: ۲۵):

رابطه ۴-۱: $$\delta = 23.44 \times \sin[360 \times (284 + N) \div 365]$$

تعبیر و تفسیر دگرگونی‌های زاویه میل خورشید در طول سال بر اساس گاهنامه خورشیدی که تقویم رسمی ایران است از نقطه نظر هماهنگی با نظام طبیعت و حرکات زمین در منظومه خورشیدی و نیز سهولت در مسائل نجومی نسبت به تقویم میلادی برتری دارد. برای محاسبه زاویه میل خورشید (δ) بر پایه روزهای سال خورشیدی، فرمول بالا را می‌توان به صورت زیر اصلاح کرد. در این رابطه مقدار (N) برای روز اول برج فروردین در لحظه اعتدال بهاری «صفر»، و برای روز ۲۹ برج اسفند، شماره روز سال «۳۶۴» منظور شده است:

رابطه ۴-۲:

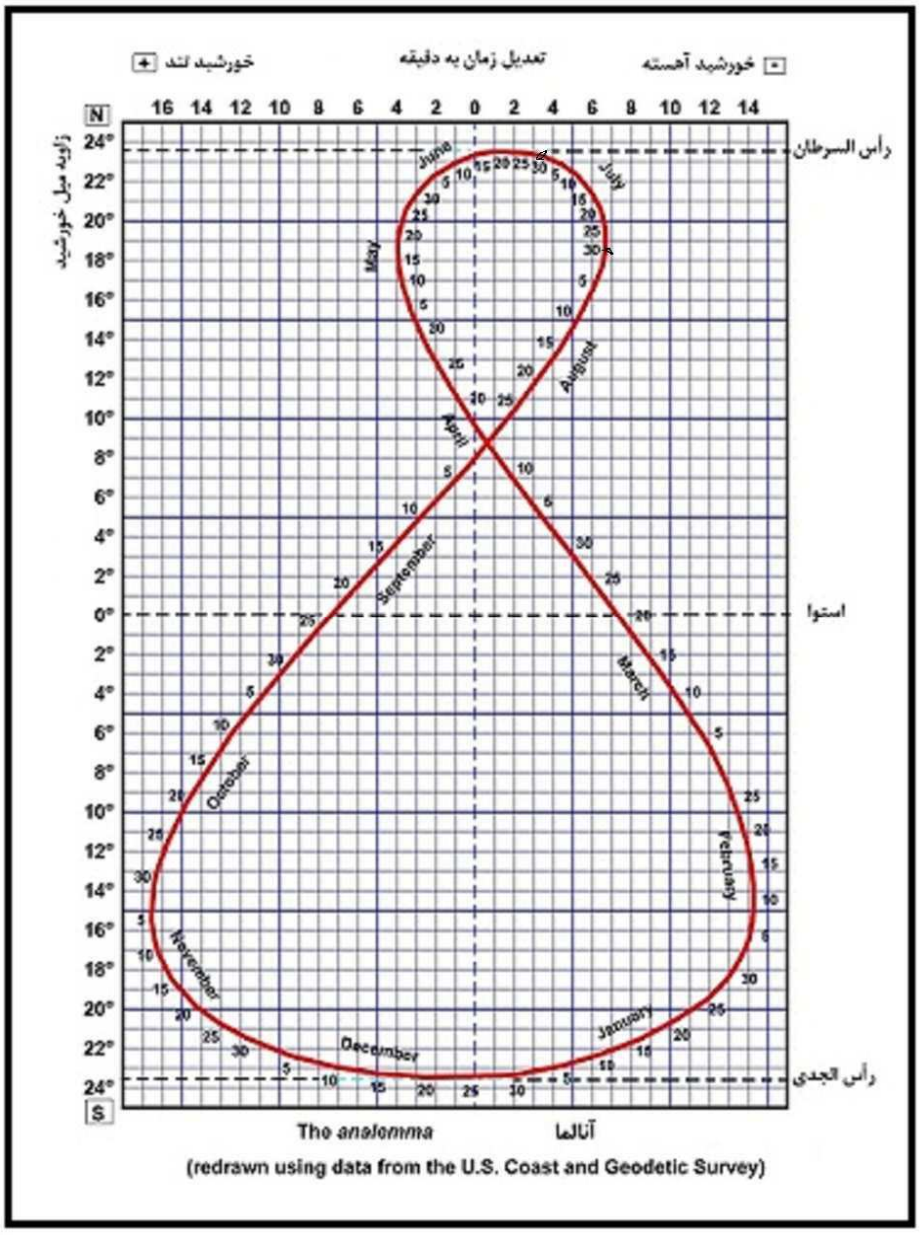
$$\delta = 23.44 \times \sin[(360 \div 365) \times (365 + N)]$$

جدول ۴-۱: زاویه میل خورشید (δ) در اول هر برج خورشیدی

زمان	N	δ	زمان	N	δ
فروردین	۰	استوا	مهر	۱۸۶	-۱ ۲۴
اردیبهشت	۳۱	۱۱ ۵۵	آبان	۲۱۶	-۱۲ ۴۷
خرداد	۶۲	۲۰ ۳۲	آذر	۲۴۶	-۲۰ ۴۹
تیر	۹۳	۲۳ ۲۷	دی	۲۷۶	-۲۳ ۲۷
مرداد	۱۲۴	۱۹ ۴۹	بهمن	۳۰۶	-۱۹ ۵۵
شهریور	۱۵۵	۱۰ ۴۱	اسفند	۳۳۶	-۱۱ ۱۳

جدول ۴-۱، زاویه مدار میل خورشید را برای روزهای اول هر برج خورشیدی نمایش می‌دهد. باید گفت که در برخی از روزهای سال این قبیل رابطه‌ها دارای ضریب خطا است. شکل ۴-۱، نمودار آنالما نام دارد. این نمودار، مدار میل خورشید را در روزهای مختلف سال در هنگام نیمروز نشان می‌دهد. محور عمودی عرض جغرافیایی مدار میل خورشید را نشان می‌دهد. محور افقی، معادله زمان نام دارد که بستگی به سرعت گردش انتقالی زمین دارد.

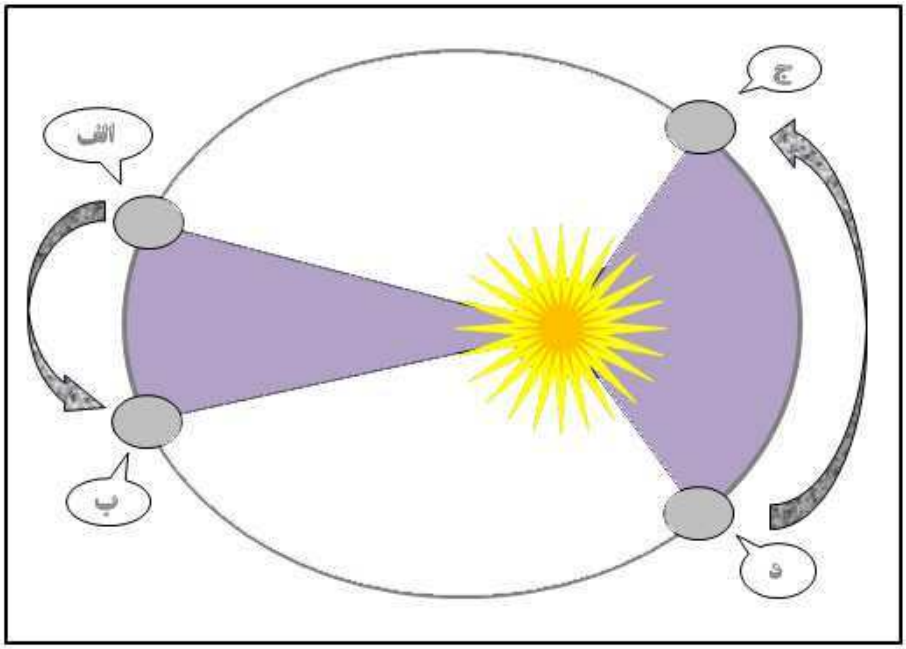
در جایی که دقت در محاسبه زاویه میل خورشید، چندان مورد نیاز نباشد، می‌توان با استفاده از این نمودار زاویه میل خورشید (δ) را برای هر روز سال (N) و در هنگام نیمروز به دست آورد.



شکل ۴-۱: آنالما، مدار میل خورشید در هنگام نیمروز در روزهای مختلف سال

٤-٤. تعدیل زمان پیامد حرکت چرخشی و گردشی زمین

اندازه گیری زمان در روی زمین به طور پیچیده‌ای به جایگاه خورشید در آسمان بستگی دارد. از نظر علمی سه نوع شبانه روز، شامل: «شبانه روز نجومی»، «شبانه روز خورشیدی حقیقی یا ظاهری» و «شبانه روز خورشیدی متوسط» وجود دارد. فاصله زمانی بین دو عبور پیاپی یک ستاره یا یک نقطه کیهانی مانند اعتدال بهاری از فراز نصف‌النهار محل را «شبانه روز نجومی» گویند. مدت زمان شبانه روز نجومی در حال حاضر ۲۳ ساعت و ۵۶ دقیقه و ۴/۰۹۰۵ ثانیه است. فاصله زمانی بین دو عبور پیاپی یک نصف‌النهار از مقابل مرکز خورشید حقیقی را «شبانه روز خورشیدی ظاهری یا حقیقی» گویند. به سخن دیگر، مدت زمان بین دو نیمروز پی در پی، یعنی قرار گرفتن خورشید در بلندترین نقطه روزانه خود در آسمان از یک روز تا روز بعد در هر افق را «شبانه روز خورشیدی حقیقی یا ظاهری» گویند. شبانه روز خورشیدی حقیقی تقریباً ۴ دقیقه بیشتر از شبانه روز نجومی است. علت این وضع آن است که وقتی زمان بین دو گذر پیاپی خورشید از نصف‌النهار محل اندازه گیری می‌شود، زمین نیز در این مدّت ثابت نبوده و در مسیر گردش خود به دور خورشید در حرکت است. در نتیجه جهت قرار گرفتن هر نقطه از سطح زمین به سمت خورشید از یک روز به روز دیگر، کمی تغییر می‌کند. به دلیل این که زمین طول مدار هر گردش سالانه خود به دور خورشید را که ۳۶۰ درجه قوسی است طی ۳۶۵/۲۴۲ شبانه روز (۳۶۵ روز، ۵ ساعت، ۴۸ دقیقه و ۴۶ ثانیه) طی می‌کند، در هر شبانه روز هندسه فضایی زمین نسبت به خورشید، حدود یک درجه جابجا می‌شود. یعنی زمین در مسیر مدار گردش انتقالی خود، تقریباً یک درجه در هر روز جلو می‌افتد. در واقع زمین در مدت ۶ ماه علاوه بر (365.242/2) دور، نصف دور چرخش اضافی دارد و در یک سال که ۳۶۵/۲۴۲ روز طول می‌کشد، یک دور چرخش اضافی خواهد داشت. با فرض اینکه یک سال خورشیدی حقیقی مساوی ۳۶۵/۲۴۲ روز است، زمین در هر شبانه روز خورشیدی حقیقی به اندازه زاویه (1/365.242)، بیشتر از یک دور کامل می‌چرخد. بنا بر این چرخش واقعی زمین به دور خود در هر شبانه روز نجومی حدود ۴ دقیقه کمتر از شبانه روز خورشیدی است (قائمی، ۱۳۷۵: ۴۶). شبانه روز خورشیدی حقیقی زمان ثابت و منظمی را نشان نمی‌دهد. طول شبانه روز خورشیدی حقیقی حتی برای یک نقطه معین، در طول سال ثابت نیست زیرا مدار گردش زمین به دور خورشید کره کامل نیست. بر پایه قانون دوم کپلر، شعاع حامل هر سیاره در زمان‌های مساوی، مساحت‌های مساوی را جاروب می‌کند. یعنی هر سیاره به دور خورشید چنان می‌گردد که خط واصل میان خورشید و آن سیاره در زمان برابر، مساحت برابری از بیضی را بپوشاند (شکل ۴-۲).



شکل ۴-۲: مقایسه راه پیموده شده زمین در اوج و حضیض خورشید در زمان مساوی

قانون دوم کپلر، بیان می‌کند که سرعت گردش زمین به دور خورشید، در طول سال متغیر است. بیشینه سرعت زمین در هنگامی است که زمین به خورشید نزدیک‌تر است و کمینه آن در زمانی است که زمین از خورشید دورتر باشد. سرعت حرکت انتقالی زمین در نقطه حضیض خورشیدی (حدود دوم ژانویه)، به بیشینه سرعت سالانه و در زمان اوج خورشیدی (حدود سوم ژوئیه)، به کمینه سرعت سالانه خود می‌رسد. اختلاف طول فصول سال، از پیامد های این قانون است. این فصول در دو نیمکره شمالی و جنوبی با یکدیگر وارونه هستند.

- عمر فصل بهار (اعتدال بهاری تا انقلاب تابستانی)، حدود ۹۳ روز و ۱۴ ساعت است.
- عمر تابستان (انقلاب تابستانی تا اعتدال پاییزی)، حدود ۹۲ روز و ۲۱ ساعت است.
- عمر پاییز (اعتدال پاییزی تا انقلاب زمستانی)، حدود ۸۹ روز ۱۸ ساعت است.
- عمر زمستان (انقلاب زمستانی تا اعتدال بهاری)، حدود ۸۹ روز و ۱ ساعت است.

خورشید این سرعت متغیر را این چنین منعکس می‌سازد که در طول دایره‌البروج در نقطه حضیض خورشیدی سریع‌تر از نقطه اوج خورشیدی به طرف شرق حرکت می‌کند. برای بازگرداندن خورشید به ظهر، زمین باید زاویه بیشتری به دور خود بچرخد. بنابراین شبانه روز خورشید ظاهری در هنگام حضیض خورشیدی بلندتر از زمان اوج خورشیدی است (عدالتی و فرخی، ۱۳۸۰: ۲۸۳). به طور کلی به علت تغییرات منظمی که سرعت زمین بر روی مدار گردش خود به دور خورشید دارد و نیز به دلیل تغییراتی که در زاویه میل خورشید به وجود می‌آید، طول شبانه روز خورشیدی حقیقی چندان یکنواخت نیست. پس به جای شبانه روز خورشیدی حقیقی از «شبانه روز خورشیدی متوسط» استفاده می‌شود که برابر با ۲۴ ساعت کامل است (قائمی، ۱۳۷۵: ۴۴). برای آنکه طول روز ثابتی برای سنجش زمان در دست باشد، به جای خورشید حقیقی از خورشید متوسط استفاده می‌کنند. خورشید متوسط بر خلاف خورشید حقیقی که روی دایره‌البروج حرکت می‌کند یک نقطه فرضی است که بر روی استوای آسمانی جابجا می‌شود و سرعت ظاهری آن در طول سال ثابت است. روز اول بهار، خورشید حقیقی و خورشید متوسط هر دو بر نقطه اعتدال بهاری قرار می‌گیرند. با گذشت زمان خورشید حقیقی بر روی دایره‌البروج و خورشید متوسط بر روی استوای سماوی جابجا می‌شوند. سرعت حرکت خورشید حقیقی با توجه به مکان مداری خود کندتر و تندتر می‌شود و از خورشید متوسط عقب‌تر یا جلوتر می‌افتد. در هر حال برآیند سرعت خورشید حقیقی و خورشید متوسط در طول یک سال خورشیدی مساوی یکدیگر است و در پایان هر سال و اول بهار سال بعدی هر دو تای آنها همزمان به نقطه اعتدال بهاری می‌رسند. بنا به قرار داد مدت زمان معین دو گذار پیاپی خورشید متوسط از نصف‌النهار محل، «شبانه روز متوسط خورشیدی» نامیده می‌شود. طول شبانه روز متوسط در تمام سال یکسان و برابر ۲۴ ساعت است، در حالی که طول روز خورشید حقیقی گاه کمتر و گاه بیشتر از طول روز خورشید متوسط است. لحظه‌ای که خورشید حقیقی در نصف‌النهار محل دیده می‌شود ظهر حقیقی یا ظهر شرعی گفته می‌شود و لحظه‌ای که خورشید متوسط بر نصف‌النهار مکان دیده می‌شود ظهر متوسط نامیده می‌شود. تفاوت ظهر حقیقی و ظهر متوسط «تعدیل زمان» نامیده می‌شود. به سخن دیگر به تفاضل شبانه روز خورشیدی حقیقی و شبانه روز خورشیدی متوسط، معادله یا تعدیل زمان می‌گویند.

در حقیقت تعدیل زمان به دلیل تفاوت بین مقدار جابجایی خورشید حقیقی و فرضی به وجود می‌آید. تعدیل زمان در روزهای مختلف سال برابر و یکسان نیست و مقدار آن متغیر است. یعنی در طول سال ظهر شرعی از ظهر متوسط جلو یا عقب می‌افتد. رابطه تعدیل زمان عبارت است از:

رابطه ۴-۳: $E = Tm - Ts$

رابطه ۴-۴:

$$E = 229.2(0.000075 + 0.001868\cos\beta - 0.032077 - \sin\beta - 0.014615 \times \cos ۲\beta - (0.04089 \sin 2\beta)$$

رابطه ۴-۵ : $\beta = (N-1) \times 360 \div 365 \quad \longrightarrow \quad 1 \leq N \leq 365$

E = تعدیل زمان به دقیقه، Tm = زمان خورشیدی متوسط، Ts = زمان خورشیدی حقیقی، در اینجا (N) شماره روزهای سال میلادی است. روز اول ژانویه (N) برابر با یک است.

تعدیل زمان در طول سال بین کمینه منفی ۱۴ دقیقه و ۱۶ ثانیه (۱۴/۲۶۷۶ دقیقه) مربوط به روز شماره ۴۵ بر حسب سال میلادی (۲۵ بهمن ماه خورشیدی) تا مقدار بیشینه مثبت ۱۶ دقیقه و ۲۳ ثانیه (۳۸۹/ ۱۶ دقیقه) مربوط به روز شماره ۳۰۶ به سال میلادی (۱۱ آبان خورشیدی) نوسان دارد. مقادیر منفی تعدیل زمان نشان دهنده افزایش طول شبانه روز حقیقی و مقادیر مثبت بیان کننده کوتاه تر شدن شبانه روز حقیقی است. کاربرد رابطه ۴-۶، طول شبانه روز خورشیدی حقیقی را برای همه روزهای سال تعیین می‌سازد.

رابطه ۴-۶ : $T_s = 24 - E$

جدول ۴-۲: تعدیل زمان برای روزهای چهار ماه اول سال خورشیدی (دقیقه و ثانیه)

روز ماه	فروردین		اردیبهشت		خرداد		تیر	
	N	E	N	E	N	E	N	E
۱	۸۰	-۷ : ۵۲	۱۱۱	۱:۱۳	۱۴۲	۳:۴۱	۱۷۳	-۱ : ۳۳
۲	۸۱	-۷ : ۳۳	۱۱۲	۱:۲۶	۱۴۳	۳:۳۶	۱۷۴	-۱ : ۴۶
۳	۸۲	-۷ : ۱۴	۱۱۳	۱:۳۹	۱۴۴	۳:۳۱	۱۷۵	-۱ : ۵۹
۴	۸۳	-۶ : ۵۶	۱۱۴	۱:۵۱	۱۴۵	۳:۲۶	۱۷۶	-۲ : ۱۲
۵	۸۴	-۶ : ۳۷	۱۱۵	۲:۳	۱۴۶	۳:۲۰	۱۷۷	-۲ : ۲۵
۶	۸۵	-۶ : ۱۸	۱۱۶	۲:۱۴	۱۴۷	۳:۱۴	۱۷۸	-۲ : ۳۸
۷	۸۶	-۵ : ۵۸	۱۱۷	۲:۲۴	۱۴۸	۳:۷	۱۷۹	-۲ : ۵۱
۸	۸۷	-۵ : ۳۹	۱۱۸	۲:۳۴	۱۴۹	۲:۵۹	۱۸۰	-۳ : ۳
۹	۸۸	-۵ : ۲۰	۱۱۹	۲:۴۴	۱۵۰	۲:۵۲	۱۸۱	-۳ : ۱۶
۱۰	۸۹	-۵ : ۱	۱۲۰	۲:۵۳	۱۵۱	۲:۴۳	۱۸۲	-۳ : ۲۸
۱۱	۹۰	-۴ : ۴۲	۱۲۱	۳:۱	۱۵۲	۲:۳۵	۱۸۳	-۳ : ۴۰
۱۲	۹۱	-۴ : ۲۳	۱۲۲	۳:۹	۱۵۳	۲:۲۵	۱۸۴	-۳ : ۵۱
۱۳	۹۲	-۴ : ۴	۱۲۳	۳:۱۶	۱۵۴	۲:۱۶	۱۸۵	-۴ : ۳
۱۴	۹۳	-۳ : ۴۵	۱۲۴	۳:۲۳	۱۵۵	۲:۶	۱۸۶	-۴ : ۱۴
۱۵	۹۴	-۳ : ۲۶	۱۲۵	۳:۲۹	۱۵۶	۱:۵۶	۱۸۷	-۴ : ۲۵
۱۶	۹۵	-۳ : ۸	۱۲۶	۳:۳۴	۱۵۷	۱:۴۵	۱۸۸	-۴ : ۳۶
۱۷	۹۶	-۲ : ۴۹	۱۲۷	۳:۳۹	۱۵۸	۱:۳۵	۱۸۹	-۴ : ۴۶
۱۸	۹۷	-۲ : ۳۱	۱۲۸	۳:۴۳	۱۵۹	۱:۲۳	۱۹۰	-۴ : ۵۶
۱۹	۹۸	-۲ : ۱۳	۱۲۹	۳:۴۷	۱۶۰	۱:۱۲	۱۹۱	-۵ : ۶
۲۰	۹۹	-۱ : ۵۵	۱۳۰	۳:۵۰	۱۶۱	۱:۰	۱۹۲	-۵ : ۱۵
۲۱	۱۰۰	-۱ : ۳۷	۱۳۱	۳:۵۲	۱۶۲	۰:۴۸	۱۹۳	-۵ : ۲۳
۲۲	۱۰۱	-۱ : ۲۰	۱۳۲	۳:۵۴	۱۶۳	۰:۳۶	۱۹۴	-۵ : ۳۲
۲۳	۱۰۲	-۱ : ۳	۱۳۳	۳:۵۵	۱۶۴	۰:۲۴	۱۹۵	-۵ : ۴۰
۲۴	۱۰۳	۰ : ۴۷	۱۳۴	۳:۵۶	۱۶۵	۰:۱۱	۱۹۶	-۵ : ۴۷
۲۵	۱۰۴	۰ : ۳۰	۱۳۵	۳:۵۶	۱۶۶	-۰ : ۱	۱۹۷	-۵ : ۵۴
۲۶	۱۰۵	۰ : ۱۴	۱۳۶	۳:۵۶	۱۶۷	-۰ : ۱۴	۱۹۸	-۶ : ۱
۲۷	۱۰۶	۰ : ۱	۱۳۷	۳:۵۵	۱۶۸	-۰ : ۲۷	۱۹۹	-۶ : ۷
۲۸	۱۰۷	۰ : ۱۷	۱۳۸	۳:۵۳	۱۶۹	-۰ : ۴۰	۲۰۰	-۶ : ۱۲
۲۹	۱۰۸	۰ : ۳۱	۱۳۹	۳:۵۱	۱۷۰	-۰ : ۵۳	۲۰۱	-۶ : ۱۷
۳۰	۱۰۹	۰ : ۴۶	۱۴۰	۳:۴۸	۱۷۱	-۱ : ۶	۲۰۲	-۶ : ۲۱
۳۱	۱۱۰	۱ : ۰	۱۴۱	۳:۴۵	۱۷۲	-۱ : ۱۹	۲۰۳	-۶ : ۲۵

جدول ۴-۳: تعدیل زمان برای روزهای چهار ماه دوم سال خورشیدی (دقیقه و ثانیه)

روز	مرداد		شهریور		مهر		آبان	
ماه	N	E	N	E	N	E	N	E
۱	۲۰۴	-۶: ۲۸	۲۳۵	-۳ : ۴	۲۶۶	۷:۳۸	۲۹۶	۱۵:۴۷
۲	۲۰۵	-۶ : ۳۱	۲۳۶	-۲ : ۴۸	۲۶۷	۸:۰	۲۹۷	۱۵:۵۴
۳	۲۰۶	-۶ : ۳۳	۲۳۷	-۲ : ۳۱	۲۶۸	۸:۲۲	۲۹۸	۱۶:۱
۴	۲۰۷	-۶ : ۳۵	۲۳۸	-۲ : ۱۴	۲۶۹	۸:۴۴	۲۹۹	۱۶:۶
۵	۲۰۸	-۶ : ۳۵	۲۳۹	-۱ : ۵۷	۲۷۰	۹:۵	۳۰۰	۱۶:۱۱
۶	۲۰۹	-۶ : ۳۶	۲۴۰	-۱ : ۳۹	۲۷۱	۹:۲۶	۳۰۱	۱۶:۱۵
۷	۲۱۰	-۶ : ۳۵	۲۴۱	-۱ : ۲۰	۲۷۲	۹:۴۷	۳۰۲	۱۶:۱۸
۸	۲۱۱	-۶ : ۳۵	۲۴۲	-۱ : ۲	۲۷۳	۱۰:۸	۳۰۳	۱۶:۲۱
۹	۲۱۲	-۶ : ۳۳	۲۴۳	-۰ : ۴۲	۲۷۴	۱۰:۲۸	۳۰۴	۱۶:۲۳
۱۰	۲۱۳	-۶ : ۳۱	۲۴۴	-۰ : ۲۳	۲۷۵	۱۰:۴۸	۳۰۵	۱۶:۲۳
۱۱	۲۱۴	-۶ : ۲۸	۲۴۵	-۰ : ۳	۲۷۶	۱۱:۸	۳۰۶	۱۶:۲۳
۱۲	۲۱۵	-۶ : ۲۴	۲۴۶	۰:۱۷	۲۷۷	۱۱:۲۷	۳۰۷	۱۶:۲۳
۱۳	۲۱۶	-۶ : ۲۰	۲۴۷	۰:۳۸	۲۷۸	۱۱:۴۵	۳۰۸	۱۶:۲۱
۱۴	۲۱۷	-۶ : ۱۶	۲۴۸	۰:۵۹	۲۷۹	۱۲:۴	۳۰۹	۱۶:۱۸
۱۵	۲۱۸	-۶ : ۱۰	۲۴۹	۱:۲۰	۲۸۰	۱۲:۲۱	۳۱۰	۱۶:۱۵
۱۶	۲۱۹	-۶ : ۴	۲۵۰	۱:۴۱	۲۸۱	۱۲:۳۹	۳۱۱	۱۶:۱۱
۱۷	۲۲۰	-۵ : ۵۷	۲۵۱	۲:۳	۲۸۲	۱۲:۵۶	۳۱۲	۱۶:۶
۱۸	۲۲۱	-۵ : ۵۰	۲۵۲	۲:۲۵	۲۸۳	۱۳:۱۲	۳۱۳	۱۶:۰
۱۹	۲۲۲	-۵ : ۴۲	۲۵۳	۲:۴۷	۲۸۴	۱۳:۲۸	۳۱۴	۱۵:۵۴
۲۰	۲۲۳	-۵ : ۳۴	۲۵۴	۳:۹	۲۸۵	۱۳:۴۳	۳۱۵	۱۵:۴۷
۲۱	۲۲۴	-۵ : ۲۴	۲۵۵	۳:۳۱	۲۸۶	۱۳:۵۷	۳۱۶	۱۵:۳۸
۲۲	۲۲۵	-۵ : ۱۴	۲۵۶	۳:۵۳	۲۸۷	۱۴:۱۱	۳۱۷	۱۵:۲۹
۲۳	۲۲۶	-۵ : ۴	۲۵۷	۴:۱۶	۲۸۸	۱۴:۲۵	۳۱۸	۱۵:۲۰
۲۴	۲۲۷	-۴ : ۵۳	۲۵۸	۴:۳۹	۲۸۹	۱۴:۳۷	۳۱۹	۱۵:۹
۲۵	۲۲۸	-۴ : ۴۱	۲۵۹	۵:۱	۲۹۰	۱۴:۴۹	۳۲۰	۱۴:۵۸
۲۶	۲۲۹	-۴ : ۲۹	۲۶۰	۵:۲۴	۲۹۱	۱۵:۱	۳۲۱	۱۴:۴۶
۲۷	۲۳۰	-۴ : ۱۶	۲۶۱	۵:۴۶	۲۹۲	۱۵:۱۲	۳۲۲	۱۴:۳۳
۲۸	۲۳۱	-۴ : ۳	۲۶۲	۶:۹	۲۹۳	۱۵:۲۲	۳۲۳	۱۴:۱۹
۲۹	۲۳۲	-۳ : ۴۹	۲۶۳	۶:۳۱	۲۹۴	۱۵:۳۱	۳۲۴	۱۴:۵
۳۰	۲۳۳	-۳ : ۳۴	۲۶۴	۶:۵۴	۲۹۵	۱۵:۴۰	۳۲۵	۱۳:۵۰
۳۱	۲۳۴	-۳ : ۱۹	۲۶۵	۷:۱۶				

جدول ۴-۴: تعدیل زمان برای روزهای چهار ماه سوم سال خورشیدی (دقیقه و ثانیه)

روز	آذر		دی		بهمن		اسفند	
ماه	N	E	N	E	N	E	N	E
۱	۳۲۶	۱۳:۳۴	۳۵۶	۱:۴۳	۲۱	-۱۰ : ۳۶	۵۱	-۱۴ : ۳
۲	۳۲۷	۱۳:۱۸	۳۵۷	۱:۱۵	۲۲	-۱۰ : ۵۴	۵۲	-۱۳ : ۵۸
۳	۳۲۸	۱۳:۱	۳۵۸	۰:۴۷	۲۳	-۱۱ : ۱۱	۵۳	-۱۳ : ۵۲
۴	۳۲۹	۱۲:۴۳	۳۵۹	۰:۱۹	۲۴	-۱۱ : ۲۷	۵۴	-۱۳ : ۴۶
۵	۳۳۰	۱۲:۲۴	۳۶۰	-۰ : ۹	۲۵	-۱۱ : ۴۲	۵۵	-۱۳ : ۳۹
۶	۳۳۱	۱۲:۵	۳۶۱	-۰ : ۳۷	۲۶	-۱۱ : ۵۷	۵۶	-۱۳ : ۳۱
۷	۳۳۲	۱۱:۴۶	۳۶۲	-۱ : ۵	۲۷	-۱۲ : ۱۱	۵۷	-۱۳ : ۲۳
۸	۳۳۳	۱۱:۲۵	۳۶۳	-۱ : ۳۲	۲۸	-۱۲ : ۲۵	۵۸	-۱۳ : ۱۴
۹	۳۳۴	۱۱:۵	۳۶۴	-۲ : ۰	۲۹	-۱۲ : ۳۷	۵۹	-۱۳ : ۵
۱۰	۳۳۵	۱۰:۴۳	۳۶۵	-۲ : ۲۷	۳۰	-۱۲ : ۴۹	۶۰	-۱۲ : ۵۵
۱۱	۳۳۶	۱۰:۲۱	۱	-۲ : ۵۴	۳۱	-۱۳ : ۰	۶۱	-۱۲ : ۴۴
۱۲	۳۳۷	۹:۵۹	۲	-۳ : ۲۱	۳۲	-۱۳ : ۱۱	۶۲	-۱۲ : ۳۳
۱۳	۳۳۸	۹:۳۶	۳	-۳ : ۴۸	۳۳	-۱۳ : ۲۰	۶۳	-۱۲ : ۲۱
۱۴	۳۳۹	۹:۱۲	۴	-۴ : ۱۴	۳۴	-۱۳ : ۲۹	۶۴	-۱۲ : ۸
۱۵	۳۴۰	۸:۴۸	۵	-۴ : ۴۰	۳۵	-۱۳ : ۳۷	۶۵	-۱۱ : ۵۵
۱۶	۳۴۱	۸:۲۴	۶	-۵ : ۶	۳۶	-۱۳ : ۴۵	۶۶	-۱۱ : ۴۲
۱۷	۳۴۲	۷:۵۹	۷	-۵ : ۳۱	۳۷	-۱۳ : ۵۱	۶۷	-۱۱ : ۲۸
۱۸	۳۴۳	۷:۳۴	۸	-۵ : ۵۶	۳۸	-۱۳ : ۵۷	۶۸	-۱۱ : ۱۴
۱۹	۳۴۴	۷:۸	۹	-۶ : ۲۰	۳۹	-۱۴ : ۲	۶۹	-۱۰ : ۵۹
۲۰	۳۴۵	۶:۴۲	۱۰	-۶:۴۵	۴۰	-۱۴ : ۶	۷۰	-۱۰ : ۴۴
۲۱	۳۴۶	۶:۱۶	۱۱	-۷ : ۸	۴۱	-۱۴ : ۱۰	۷۱	-۱۰ : ۲۸
۲۲	۳۴۷	۵:۵۰	۱۲	-۷ : ۳۱	۴۲	-۱۴ : ۱۳	۷۲	-۱۰ : ۱۲
۲۳	۳۴۸	۵:۲۳	۱۳	-۷ : ۵۴	۴۳	-۱۴ : ۱۵	۷۳	-۹ : ۵۵
۲۴	۳۴۹	۴:۵۶	۱۴	-۸ : ۱۶	۴۴	-۱۴ : ۱۶	۷۴	-۹ : ۳۸
۲۵	۳۵۰	۴:۲۹	۱۵	-۸ : ۳۸	۴۵	-۱۴ : ۱۶	۷۵	-۹ : ۲۱
۲۶	۳۵۱	۴:۱	۱۶	-۸ : ۵۹	۴۶	-۱۴ : ۱۶	۷۶	-۹ : ۴
۲۷	۳۵۲	۳:۳۴	۱۷	-۹ : ۲۰	۴۷	-۱۴ : ۱۵	۷۷	-۸ : ۴۶
۲۸	۳۵۳	۳:۶	۱۸	-۹ : ۴۰	۴۸	-۱۴ : ۱۳	۷۸	-۸ : ۲۸
۲۹	۳۵۴	۲:۳۸	۱۹	-۹ : ۵۹	۴۹	-۱۴ : ۱۰	۷۹	-۸ : ۱۰
۳۰	۳۵۵	۲:۱۰	۲۰	-۱۰ : ۱۸	۵۰	-۱۴ : ۷		

٤-٥. نیمروز محلی

در سطح تراز هر نقطه از سطح سیاره زمین، نیمروز یا ظهر شرعی به لحظه‌ای از زمان اطلاق می‌شود که خورشید تا بالاترین ارتفاع روزانه خود در آسمان آن محل اوج گرفته باشد. این هنگام، لحظه‌ای از زمان است که روز را به دو نیمه برابر تقسیم می‌کند و خورشید در حرکت ظاهری خود، دقیقاً نیمی از مسیر خود در بالای افق محل را پیموده است. در هنگام نیمروز، تصویر امتداد پرتو خورشیدی بر روی سطح افق کاملاً بر امتداد نصف‌النهار محل انطباق دارد. بر هر افقی که در شمال مدار میل خورشیدی قرار دارد، زاویه جهت تابش خورشید و جایگاه خورشید در آسمان سمت جنوب را نشان می‌دهد یعنی با راستای شمال جغرافیایی، زاویه ۱۸۰ درجه می‌سازد. در صورتی که اگر عرض جغرافیایی محل در جنوب مدار میل خورشید واقع شده باشد، زاویه جهت تابش خورشید و جایگاه خورشید در آسمان آنجا، سمت شمال را نشان می‌دهد و آزیموت خورشید ۳۶۰ درجه یا «صفر» است. نظر به اینکه آزیموت امتداد سایه برجستگی‌های سطح زمین با آزیموت جهت تابش با یکدیگر وارونه است و ۱۸۰ درجه با یکدیگر تفاوت دارد، هنگام نیمروز محلی جهت سایه در مورد اول جهت شمال و در مورد دوّم سمت جنوب محل را نشان می‌دهد. به طور کلی ظهر شرعی هر محل، لحظه‌ای از زمان است که:

- زاویه تابش آفتاب به بیشینه روزانه‌اش رسیده است.
- طول سایه به کمینه روزانه خود رسیده است.
- تصویر امتداد پرتو مستقیم خورشید بر روی سطح تراز، کاملاً بر امتداد نصف‌النهار محل انطباق دارد.
- زاویه ساعتی خورشید «صفر» است، به سخن دیگر دایره ساعتی خورشید یا نصف‌النهاری که از خورشید می‌گذرد با نصف‌النهار محل بر هم منطبق شده‌اند.

با استفاده از دو ویژگی زمانی و مکانی که در زمان نیمروز وجود دارد. از گذشته های بسیار دور از نیمروز دو بهره می‌گرفته‌اند:

♠ با اندازه گیری زاویه تابش و طول سایه در هر روز، نیمروز محلی را تعیین می‌کردند. سپس با توجه به سرعت زاویه‌ای حرکت چرخشی زمین، که ۱۵ درجه در ساعت است و بازتاب آن که

در سرعت زاویه‌ای حرکت ظاهری خورشید در آسمان و همچنین در سرعت حرکت زاویه‌ای سایه شاخص نمایان می‌گردد، به تعیین زمان در طول روز اقدام می‌شد. یعنی با ساختن ساعت آفتابی، اندازه‌گیری فواصل زمانی نسبت به نیمروز محلی، به وجود آمد. امتداد سایه در هر زمان، نقش عقربه ساعت را ایفا می‌کرد که در هر ساعت ۱۵ درجه قوسی جابجا می‌شد.

♠ یکی از روش‌های تشخیص جهات جغرافیایی، تعیین امتداد سایه یا جهت تابش آفتاب در هنگام نیمروز است، زیرا امتداد سایه شاخص در نیمروز بر امتداد نصف‌النهار محل انطباق دارد.

٤-٦. محاسبه لحظه نیمروز محلی به کمک زمان رسمی

زمین در هر ۲۴ ساعت، یک دور به دور محور خود می‌چرخد، یعنی در مدت ۲۴ ساعت برابر ۳۶۰ درجه قوسی می‌چرخد. بنابراین سرعت زاویه‌ای زمین، در هر ساعت ۱۵ درجه و در هر دقیقه زمانی، ۱۵ درجه قوسی و در هر ثانیه زمانی، ۱۵ ثانیه قوسی است. از نگاه دیگر فاصله زمانی هر یک درجه قوسی از نصف‌النهار های سطح زمین، مساوی ۴ دقیقه است و تمام نقاطی که روی یک نصف‌النهار قرار دارند، نیمروز محلی آنها همزمان است. به هر حال در جهت طول جغرافیایی و بر روی مدار مشخص زمان‌های مختلف محلی وجود دارد. برای اموری که جنبه جهانی دارد مانند گزارش‌های هواشناسی، پرواز هواپیماها و ... نمی‌توان از ساعت محلی استفاده کرد و ساعت رسمی بین‌المللی کاربرد دارد. در سال ۱۸۸۴ نصف‌النهار گرینویچ به عنوان نصف‌النهار مبدأ، برای اندازه گیری طول جغرافیایی پذیرفته شد و در سال ۱۹۱۱ زمان خورشیدی متوسط گرینویچ (G.M.T) به عنوان زمان بین‌المللی (U.T) تعیین شد. برای سهولت در کار، سطح زمین در جهت طول جغرافیایی به قاچ‌های ۱۵ درجه‌ای یا یک ساعت خورشیدی تقسیم شده است و زمان محلی نصف‌النهار مرکزی هر قاچ به عنوان ساعت رسمی آن قاچ تعریف شده است. کشور ایران که در دو نیمه قاچ سوم و چهارم شرق گرینویچ واقع شده است، نصف‌النهار ۵۲/۵ درجه شرقی را که تقریباً از تهران می‌گذرد مبنای ساعت رسمی کشور پذیرفته است. اختلاف ساعت غرب تا شرق کشور معادل یک ساعت و ۱۶ دقیقه و ۴۸ ثانیه است (عدالتی و فرخی، ۱۳۸۰: ۲۹۵). با استفاده از اختلاف زاویه بین نصف‌النهار محلی و نصف‌النهار زمان رسمی، می‌توان زمان محلی را تعیین کرد. سپس به وسیله مقدار تعدیل زمان که برای هر

روز مشخص است، هنگام نیمروز محل همان روز محاسبه می‌شود. در بسیاری از برنامه‌ریزی‌های محیطی و نیز مراسم مذهبی تعیین وقت دقیق برای افق محل، کاربرد دارد.

رابطه ۴-۷: $Ts = 12 - E$

رابطه ۴-۸: $(Ts - Tc) = 4 \times (Lo - Ls)$

رابطه ۴-۹: $T\eta = Ts - (Ts - Tc)$

Tc = ساعت رسمی کشور. Tη = هنگام نیمروز محلی یا ظهر شرعی.

Ls = نصف‌النهار ساعت رسمی، در ایران ۵۲/۵ درجه شرقی است. Lo = نصف‌النهار محل.

- **مثال ۴-۱.** شهر زاهدان دارای طول جغرافیایی ۶۰ درجه و ۵۳ دقیقه شرقی است. در روزهای ۱۱ آبان (N = ۳۰۶) و ۲۵ بهمن (N =۴۵) که به ترتیب کمینه و بیشینه سالانه تعدیل زمان وجود دارد، هنگام نیمروز محلی این شهر بر حسب ساعت رسمی کشور در روز ۱۱ آبان، ساعت ۱۱ و ۱۰ دقیقه و ۵ ثانیه است. در صورتی که اذان ظهر روز ۲۵ بهمن، ساعت ۱۱ و ۴۰ دقیقه و ۴۴ ثانیه بدست آمده است.

به منظور سهولت در محاسبات، بهتر است به کمک رابطه زیر هنگام اذان ظهر شرعی محاسبه شود. در این رابطه، زمان به دقیقه نوشته شده است:

رابطه ۴-۱۰: $T\eta = [(720 - E) - (4 \times (Lo - Ls))] \div 60$

٤-۷. محاسبه زاویه ساعتی خورشید

برای هر ستاره بر روی گنبد آسمان می‌توان نصف‌النهاری را در نظر گرفت که به آن دایره ساعتی آن ستاره می‌گویند. همچنین برای هر بیننده در هر محل می‌توان نصف‌النهاری بر گنبد آسمان در نظر گرفت که درست از سرسوی آن شخص می‌گذرد و آن نصف‌النهار ایستگاه بیننده است. در هر زمان مشخص، زاویه‌ای که بین دایره ساعتی هر ستاره با نصف‌النهار ایستگاه بیننده ایجاد می‌شود، زاویه ساعتی آن ستاره گویند. به طور کلی «زاویه ساعتی» عبارت از این است که یک پدیده آسمانی نسبت به نصف‌النهار محل از طرف غرب (مثبت) و یا شرق (منفی)، چه جایگاهی در آسمان دارد (عدالتی و فرخی، ۱۳۸۰: ۲۸۲). زاویه ساعتی را بر حسب یکای زمان می‌سنجند. برای مثال، وقتی ستاره‌ای ۱۵ درجه به سمت غرب نصف‌النهار ایستگاه بیننده قرار

داشته باشد، گفته می‌شود این ستاره یک ساعت قبل بر نصف‌النهار ایستگاه بیننده قرار داشته است. بنابراین یکی دیگر از ویژگی‌هایی که جایگاه خورشید را در آسمان هر افقی نشان می‌دهد، «زاویه ساعتی خورشید» است. برای تعریف زاویه ساعتی خورشید می‌توان گفت: "زاویه ساعتی خورشید، جایگاه خورشید را در آسمان هر محل نسبت به نصف‌النهار همان جا نشان می‌دهد." با توجه به اینکه:

- از یک سو، در هر روز در هنگام نیمروز محلی، خورشید درست بر روی نصف‌النهار آن محل قرار می‌گیرد (در کشور ایران، خورشید درست در جنوب دایره افق محلی جای دارد).
- از سوی دیگر، سرعت زاویه‌ای حرکت ظاهری خورشید در آسمان برابر با ۱۵ درجه در ساعت است.

بنابراین از طریق محاسبه زاویه ساعتی نسبت به ظهر محلی، جایگاه خورشید در آسمان نسبت به نصف‌النهار محل سنجیده می‌شود. به این صورت که به ازای هر ساعت مانده (به) یا گذشته از هنگام نیمروز، برابر با ۱۵ درجه برای زاویه ساعتی خورشید محاسبه می‌شود. برای مثال برای ۴ ساعت پیش از نیمروز (ساعت ۸)، یا ۴ ساعت بعد از نیمروز (ساعت ۱۶)، زاویه ساعتی خورشید (ω)، ۶۰ درجه است. از آنجایی که این زاویه، جایگاه خورشید را در هر ساعت از روز مشخص نسبت به جایگاه آسمانی آن در هنگام نیمروز همان روز می‌سنجد. به دست آوردن زاویه تابش در ساعات مختلف هر روز و در سطح تراز هر عرض جغرافیایی مشخص، مستلزم محاسبه «زاویه ساعتی خورشید» است.

رابطه ۴-۱۱: $\Delta\eta = Ts - T\eta$

رابطه ۴-۱۲: $\omega = 15 \times \Delta\eta$

$\Delta\eta$ = فاصله زمانی نسبت به هنگام نیمروز محلی به ساعت و ω = زاویه ساعتی خورشید در ساعت مشخصی از روز. (همچنین می‌توان از رابطه ۴-۱۳ نیز استفاده کرد).

رابطه ۴-۱۳: $\omega = 15 \times (Ts - 12)$

٤-٨. تعیین مدّت تابش (طول روز)

با استفاده از زاویه ساعتی خورشید هنگام طلوع (غروب)، طول مدت تابش خورشید برای هر روز سال و در هر عرض جغرافیایی بدست می‌آید. منظور از طول مدت تابش خورشید، مدت زمانی است که خورشید در بالای افق محل قرار دارد. در لحظه اعتدالین که پرتو عمودی خورشید بر استوا می‌تابد یعنی زاویه میل خورشیدی (δ) «صفر» است و دایره روشنایی از قطبین می‌گذرد، در همه جای سطح کره زمین ۱۲ ساعت روز و ۱۲ ساعت شب است. در انقلاب تابستانی (اول تیرماه)، خورشید در سرسوی مدار رأس‌السرطان قرار می‌گیرد و زاویه میل خورشید (δ) به بیشینه سالانه خود یعنی ۲۳/۵+ درجه می‌رسد، در این حالت دایره روشنایی نیز با عرض جغرافیایی قطب ۲۳/۵ درجه اختلاف پیدا می‌کند و از مدار قطبی (عرض جغرافیایی ۶۶/۵ درجه) می‌گذرد. از این رو «طول روز» در نیمکره شمالی بیشتر از «طول شب» است، به طوری که تمام قطب شمال در تمام طول ۲۴ ساعت شبانه روز در معرض تابش آفتاب قرار می‌گیرد و خورشید به زیر سطح افق نمی‌رود. در حالی که در این هنگام، «طول روز» در نیمکره جنوبی کمتر از «طول شب» است و تمام قطب جنوب در تاریکی قرار دارد. این حالت، در انقلاب زمستانی (اول دی ماه که تابش مستقیم خورشید بر مدار رأس‌الجدی عمودی می‌تابد و زاویه میل خورشید (δ) به کمینه سالانه خود، یعنی (۲۳/۵-) درجه می‌رسد) وارونه می‌گردد.

اختلاف طول روز و شب با عرض جغرافیایی رابطه وارونه دارد و از استوا به سوی دو قطب افزایش می‌یابد. این اختلاف در استوا «صفر» است و در هر روز خورشید در ساعت ۶ بامداد سر از افق بر داشته و در ساعت ۱۸ غروب می‌کند. اختلاف طول روز و شب در مدار قطبی (عرض جغرافیایی ۶۶/۵ درجه) به مرز ۲۴ ساعت می‌رسد و پدیده «شب قطبی» و «روز قطبی» را تشکیل می‌دهد. در اصطلاح، «شب قطبی» شبی است که طول مدت آن مساوی یا بیشتر از ۲۴ ساعت باشد. «روز قطبی» نیز به روزی اطلاق شده است که طول مدت آن ۲۴ ساعت یا بیشتر باشد. در نقطه قطب، طول «روز قطبی» و «شب قطبی» به ۶ ماه می‌رسد.

رابطه ۴-۱۴: $\omega h = \cos^{-1}[-(\tan \Phi . \tan \delta)]$

رابطه ۴-۱۵: $n = (2 \times \omega h) \div 15$

n = طول روز به ساعت و ωh = زاویه ساعتی خورشید هنگام طلوع و غروب.

جدول ۴-۵: بلندترین و کوتاه‌ترین طول روز به ساعت در عرض‌های مختلف جغرافیایی

	نیمکره شمالی		نیمکره جنوبی	
عرض جغرافیایی	انقلاب تابستانی	انقلاب زمستانی	انقلاب تابستانی	انقلاب زمستانی
استوا	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲
۱۰	۱۲ ۳۵´	۱۱ ۲۵´	۱۱ ۲۵´	۱۲ ۳۵´
۲۰	۱۳ ۱۳´	۱۰ ۴۷´	۱۰ ۴۷´	۱۳ ۱۳´
۳۰	۱۳ ۵۶´	۱۰ ۴´	۱۰ ۴´	۱۳ ۵۶´
۴۰	۱۴ ۵۱´	۹ ۹´	۹ ۹´	۱۴ ۵۱´
۵۰	۱۶ ۹´	۷ ۵۱´	۷ ۵۱´	۱۶ ۹´
۶۰	۱۸ ۲۹´	۵ ۳۱´	۵ ۳۱´	۱۸ ۲۹´
۶۶/۵	۲۴ ۰´	صفر	صفر	۲۴ ۰´
۷۰	۲ ماه	صفر	صفر	۲ ماه
۸۰	۴ ماه	صفر	صفر	۴ ماه
۹۰	۶ ماه	صفر	صفر	۶ ماه

٤-۹. محاسبه ارتفاع خورشید نیمروزی در سطح تراز

خورشید در هنگام طلوع از سطح تراز محل بالا می‌آید و به تدریج تا هنگام نیمروز به بیشینه ارتفاع خود در آسمان می‌رسد و دوباره به تدریج از ارتفاع آن کاسته می‌شود و در هنگام غروب در زیر افق ناپدید می‌گردد. «ارتفاع خورشید»، مقدار انرژی رسیده به "یکای سطح" را تعیین می‌کنند. هر چه جایگاه خورشید در آسمان افق یک محل بالاتر باشد، «زاویه تابش» (αh) در آن افق، عمودی‌تر می‌تابد و مساحت کمتری در معرض تابش قرار می‌گیرد. بنابراین، گرمای تولید شده در"یکای سطح" بالا می‌رود. برای مثال گرمای حاصله از دسته نوری از خورشید که به صورت عمود بر سطح زمین می‌تابد، دو برابر گرمای دسته نوری است که با زاویه ۳۰ درجه به سطح زمین می‌رسد.

به طور کلی، مقدار انرژی رسیده به یکای سطح تراز در هر نقطه، در هنگام نیمروز محلی به مقدار بیشینه و در هنگام طلوع و غروب به کمینه روزانه خود می‌رسد. به کمک اندازه‌گیری

زاویه تابش مستقیم آفتاب نسبت به سطح تراز، می‌توان «ارتفاع خورشید» در افق هر عرض جغرافیایی (Φ) را بدست آورد. تغییر زاویه میل خورشید (δ) در روزهای مختلف سال، به تغییر زاویه تابش هر محل، در طول سال منجر می‌شود. خورشید نیمروزی در انقلاب تابستانی (اول تیرماه) در جایگاه بالاترین ارتفاع سالانه خود قرار می‌گیرد. کمینه سالانه ارتفاع نیمروزی خورشید در انقلاب زمستانی (اول دی ماه) پدید می‌آید. رابطه (۴-۱۶)، زاویه تابش آفتاب برای لحظه نیمروز در هر افق و هر روز معین سال است:

رابطه ۴-۱۶: $\alpha h = 90 - \Phi + \delta$

Φ = عرض جغرافیایی محل. αh =زاویه تابش در سطح افق در هنگام نیمروز.

δ = زاویه میل خورشید، در زمان مشخص.

☜ امتداد عمود بر سطح افق را «امتداد شاقولی»، «سرسو» یا «سمت‌الرأس» (v) نام نهاده‌اند. زاویه پرتو مستقیم آفتاب نسبت به امتداد شاقولی، زاویه سرسوی خورشیدی (Z) است. زاویه تابش خورشید در سطح افق (αh) با زاویه سرسوی خورشید (Z) متمّم یکدیگرند.

رابطه ۴-۱۷: $Z = 90 - \alpha h$

Z = زاویه سر سوی پرتو خورشید.

☜ در هنگام نیمروز در لحظه اعتدالین (اول فروردین ماه و اول مهرماه)، زاویه سرسوی خورشید در هر محل مساوی با زاویه عرض جغرافیایی آن محل است.

٤-١٠. محاسبه زاویه تابش خورشید در ساعات مختلف روز در سطح تراز

زاویه میل خورشید (δ) در روزهای مختلف سال و زاویه ساعتی خورشید (ω) در ساعات مختلف روز تغییر می‌کند، در نتیجه در سطح افق هر عرض جغرافیایی مشخص، زاویه تابش در مقیاس زمانی روزانه و فصلی تغییر می‌کند. کاربرد رابطه ۴-۱۸، زاویه تابش مستقیم آفتاب در سطح افق هر مکانی را در ساعات مختلف هر روز معینی از سال نشان می‌دهد:

رابطه ۴-۱۸: $\alpha h = \sin^{-1}[(\sin\Phi.\sin\delta) + (\cos\Phi.\cos\delta.\cos\omega)]$

جدول ۴-۶: زاویه ارتفاع خورشید عرض‌های جغرافیایی به درجه

زمان	انقلاب تابستانی	انقلاب زمستانی	اعتدالین
استوا	۶۶/۵	۶۶/۵	۹۰
رأس‌السرطان	۹۰	۴۳	۶۶/۵
رأس‌الجدی	۴۳	۹۰	۶۶/۵
مدار قطبی شمالی	۴۷	۰	۲۳/۵
مدار قطبی جنوبی	۰	۴۷	۲۳/۵
قطب شمال	۲۳/۵	۰	۰
قطب جنوب	۰	۲۳/۵	۰

تمرین ۴-۱. عرض جغرافیایی شهر زاهدان ۲۹/۵ درجه شمالی است. زاویه‌های حدی تابش خورشید در افق این شهر را بدست آورید؟

تمرین ۴-۲. عرض جغرافیایی بجنورد ۳۷/۵ درجه شمالی است. برای این شهر حساب کنید:

- ✓ بلندترین و کوتاه‌ترین طول روز این شهر را بدست آورید؟
- ✓ زاویه ساعتی خورشید کوتاه‌ترین روز، از ساعت ۷ بامداد تا ساعت ۱۷ را بدست آورید؟
- ✓ ارتفاع خورشید (αh) را در ساعت ۱۴/۵ به وقت محلی روز اول تیر و اول دی ماه، با هم مقایسه کنید؟
- ✓ اگر زاویه میل خورشید (δ)، ۱۵ درجه باشد. ارتفاع خورشید در ساعت ۱۰ به وقت محلی در سطح تراز محلی چقدر است؟
- ✓ زاویه تابش خورشید در سطح افق ساعت ۱۰ بامداد در چه ساعتی پس از نیمروز تکرار خواهد شد؟
- ✓ طول شب یلدا در شهر زاهدان را با شهر بجنورد با هم مقایسه نمایید؟
- ✓ طول روز بجنورد را در هنگام اعتدالین (اول فروردین و اول مهر)، محاسبه کنید؟

٤-١١. تعیین آزیموت تابش مستقیم خورشید

جایگاه آسمانی خورشید در هر نقطه از سطح زمین، در هر روز و هر ساعت از سال متفاوت است. برای مثال در نیمکره شمالی، خورشید در تابستان از «شمال شرق» سطح افق محلی

طلوع و در سمت «شمال غرب» غروب می‌کند، در حالی که در زمستان، از سمت «جنوب شرق» طلوع و در سمت «جنوب غرب» غروب می‌کند. به هر حال همه روزه در تمام عرض‌های جغرافیایی، در هنگام نیمروز محلی، تصویر افقی جهت تابش خورشید، بر روی نصف‌النهار آن محل انطباق دارد. یعنی در هنگام نیمروز محلی، هر نقطه‌ای که در شمال مدار میل خورشیدی قرار دارد، زاویه جهت تابش مستقیم خورشید و جایگاه خورشید در آسمان سمت جنوب را نشان می‌دهد. اگر جایگاه جغرافیایی محل در جنوب مدار میل خورشید باشد، زاویه جهت تابش خورشید و جایگاه خورشید در آسمان سمت شمال را نشان می‌دهد. منظور از «مدار میل خورشید»، مداری است که پرتو خورشیدی با سطح تراز همان مدار، زاویه ۹۰ درجه می‌سازد. آزیموت امتداد سایه با آزیموت جهت تابش با یکدیگر وارونه است و ۱۸۰ درجه با یکدیگر تفاوت دارد. حرکت جهت تابش خورشید و همچنین راستای سایه در طول یک روز در شمال مدار میل خورشید در جهت عقربه‌های ساعت و در جنوب مدار میل خورشید در جهت خلاف عقربه‌های ساعت است. به کمک جایگاه خورشید نیمروزی در آسمان، زاویه جهت تابش مستقیم آفتاب در ساعات مختلف روز تعیین می‌شود. به همین علت با استفاده از زاویه ساعتی خورشید در آسمان، آزیموت تابش تعیین می‌شود. زاویه ساعتی خورشید نسبت به جایگاه خورشید نیمروزی در آسمان، برای ساعات پیش از نیمروز، منفی و برای ساعات «پسین» مثبت در نظر گرفته می‌شود. در هر ساعت مشخص از هر روز، تصویر پرتو تابش خورشید بر روی افق محل با راستای نصف‌النهار آن محل زاویه‌ای مشخص می‌سازد (γ).

رابطه ۴-۱۹: $$\gamma = \sin^{-1}\left[\frac{-\cos\delta \,.\, \sin\omega}{\cos\alpha h}\right]$$

γ =زاویه‌ای که تصویر پرتو تابش خورشید بر سطح تراز با امتداد نصف‌النهار محل می‌سازد.

رابطه ۴-۲۰: شرط اول $$\cos\omega \geq \left[\frac{\tan\sigma}{\tan\Phi}\right] \quad \rightarrow \quad R_s = 180 - \gamma \quad \leftarrow$$

رابطه ۴-۲۱: شرط دوم $$\cos\omega \leq \left[\frac{\tan\sigma}{\tan\Phi}\right] \quad \rightarrow \quad R_s = 360 + \gamma \quad \leftarrow$$

R_s = آزیموت خورشید (Solar Azimuth)، زاویه سمت تابش خورشید نسبت به شمال جغرافیایی.

رابطه (۴-۱۹)، زاویه (γ) را برای پیش از نیمروز یا پیشین «مثبت» و برای پسین «منفی» محاسبه می‌کند. در صورتی که نسبت تانژانت زاویه میل خورشید به تانژانت عرض جغرافیایی محل از کسینوس زاویه ساعتی خورشید کوچک‌تر باشد (شرط اوّل)، زاویه (γ) با نیمه جنوبی

نصف‌النهار محل (سمت جنوب) زاویه می‌سازد به عبارت دیگر، جایگاه خورشید در نیمه جنوبی دایره افق است. زمانی که این نسبت بزرگ‌تر از کسینوس زاویه ساعتی خورشید باشد (شرط دوم)، خورشید در نیمه شمالی آسمان افق محل واقع شده است و آزیموت جهت تابش آفتاب نسبت به امتداد شرقی- غربی دایره افق در شمال واقع شده است. برای مثال عرض جغرافیایی ۳۲ درجه شمالی، انتخاب شده و آزیموت تابش مستقیم خورشید در ساعات مختلف روز در لحظه انقلاب تابستانی، اعتدالین و انقلاب زمستانی این مدار محاسبه شده است. نسبت تانژانت زاویه میل خورشید به تانژانت عرض جغرافیایی محل، برای انقلاب تابستانی برابر (۰/۷)، اعتدالین (صفر) و انقلاب زمستانی (۰/۷-) است (جدول ۴-۷).

تمرین ۴-۳. در چه دوره‌ای از سال در نقاط واقع بر شمال مدار میل خورشید، نسبت تانژانت زاویه میل خورشید به تانژانت عرض جغرافیایی محل، از کسینوس زاویه ساعتی خورشید بزرگ‌تر است.

تمرین ۴-۴. زمانی که نسبت تانژانت زاویه میل خورشید به تانژانت عرض جغرافیایی محل، از کسینوس زاویه ساعتی خورشید کوچک‌تر است. حدود زاویه آزیموت آفتاب در چه دامنه‌ای قرار می‌گیرد؟

تمرین ۴-۵. شهر ساری در مدار عرض جغرافیایی ۳۶ درجه ۳۴ دقیقه قرار دارد:

- ✓ در چه دوره‌ای از سال در این شهر، نسبت تانژانت زاویه میل خورشید به تانژانت عرض جغرافیایی محل، از کسینوس زاویه ساعتی خورشید بزرگ‌تر است؟
- ✓ آزیموت تابش مستقیم آفتاب در ساعات مختلف روز را برای ۱۳ فروردین این شهر محاسبه کنید؟

جدول ۴-۷: زاویه ارتفاع و آزیموت تابش مستقیم خورشید در عرض‌جغرافیایی ۳۲ درجه شمالی در ساعات مختلف چند روز مشخص سال

ساعت روز		طلوع	۶	۸	۱۰	۱۲	۱۴	۱۶	۱۸	غروب
زاویه ساعتی		-۱۰۵/۸	-۹۰	-۶۰	-۳۰	۰	۳۰	۶۰	۹۰	۱۰۵/۸
کسینوس زاویه		-۰/۲۷	۰	۰/۵	۰/۸۷	۱	۰/۸۷	۰/۵	۰	-۰/۲۷
انقلاب تابستانی	αh	۰	۱۲/۲	۳۶/۹	۶۲/۲	۸۱/۵	۶۲/۲	۳۶/۹	۱۲/۲	۰
	γ	۶۱/۹۵	۶۹/۸	۸۳/۲	۷۹/۸	۰	-۷۹/۸	-۸۳/۲	-۶۹/۸	-۶۱/۹۵
	شرط	دوم	دوم	دوم	اول	اول	اول	دوم	دوم	دوم
	R_s	۶۲	۶۹/۸	۸۳/۲	۱۰۰/۲	۱۸۰	۲۵۹/۸	۲۷۶/۸	۲۹۰/۲	۲۹۸/۱
ساعت روز		طلوع	۷	۸	۱۰	۱۲	۱۴	۱۵	۱۷	غروب
زاویه ساعتی		-۹۰	-۷۵	-۶۰	-۳۰	۰	۳۰	۴۵	۷۵	۹۰
کسینوس زاویه		۰	۰/۲۶	۰/۵	۰/۸۷	۱	۰/۸۷	۰/۷۱	۰/۲۶	۰
اعتدالین	αh	۰	۱۲/۷	۲۵/۱	۴۲/۷	۵۸	۴۲/۷	۳۶/۹	۱۲/۷	۰
	γ	۹۰	۸۱/۹	۷۳	۴۲/۹	۰	-۴۲/۹	-۴۵/۴	-۸۱/۹	-۹۰
	شرط	اول	اول	اول	اول	اول	اول	اول	اول	اول
	R_s	۹۰	۹۸/۸	۱۰۷	۱۳۷/۱	۱۸۰	۲۲۲/۹	۲۲۵/۴	۲۶۱/۹	۲۷۰
ساعت روز		طلوع	۸	۹	۱۰	۱۲	۱۴	۱۵	۱۶	غروب
زاویه ساعتی		-۷۴/۲	-۶۰	-۴۵	-۳۰	۰	۳۰	۴۵	۶۰	۷۴/۲
کسینوس زاویه		۰/۳	۰/۵	۰/۷	۰/۹	۱	۰/۹	۰/۷	۰/۵	۰/۳
انقلاب زمستانی	αh	۰	۱۰/۲	۱۹/۸	۲۷/۵	۳۴/۵	۲۷/۵	۱۹/۸	۱۰/۲	۰
	γ	۶۲	۵۳/۸	۴۳/۶	۳۱/۱	۰	-۳۱/۱	-۴۳/۶	-۵۳/۸	-۶۲
	شرط	اول	اول	اول	اول	اول	اول	اول	اول	اول
	R_s	۱۱۸/۱	۱۲۶/۲	۱۳۶/۴	۱۴۸/۹	۱۸۰	۲۱۱/۱	۲۲۳/۶	۲۳۳/۸	۲۴۱/۹

٤-١٢. تعیین شدت تابش مستقیم آفتاب در سطح تراز

هواشناسان و اقلیم‌شناسان معمولاً بیشتر به آنچه که آن را «آفتابگیری انرژی گرمایی» گویند و شامل تمام مقدار انرژی تابشی دریافتی خورشید توسط "تراز زمین" است، توجه دارند. این تعریف عیناً مشابه تعریف ثابت خورشیدی است با این تفاوت که اندازه گیری در "سطحی عمود" بر پرتو خورشیدی انجام می‌گیرد که در بالای اتمسفر قرار ندارد بلکه در عمق آن یعنی در سطح زمین جای دارد (قائمی، ۱۳۷۵: ۵۹). قسمتی از انرژی تابشی خورشید که به وسیله جذب و پخش، حذف نمی‌شود و پس از گذشتن از درون اتمسفر به سطح زمین می‌رسد تابش مستقیم موج کوتاه خورشید (I_o) را به وجود می‌آورد. از آنجا که پرتو آفتاب به خط مستقیم در فضا انتشار می‌یابد. مقدار و شدت انرژی رسیده به یک سطح، به زاویه تابش مستقیم آفتاب بستگی دارد. هرچه پرتو مستقیم خورشید مایل‌تر به یک سطح بتابد، وسعت سطح مورد تابش بزرگ‌تر است و هرچه پرتو مستقیم خورشید بر یک سطح عمودی‌تر بتابد، وسعت سطح مورد تابش کوچک‌تر خواهد بود. بنابراین، شار انرژی خورشیدی ورودی برای «یکای سطح» متناسب با کاهش زاویه تابش خورشید کاهش می‌یابد (کاویانی، ۱۳۷۸: ۲۱).

به منظور نشان دادن تأثیر زاویه تابشی خورشید در بالای افق، مفهوم میزان شار انرژی گرمایی (I) برای «یکای سطح»، مورد توجه قرار می‌گیرد. به فرض اینکه سطحی مساوی (A)، عمود بر پرتوهای موازی خورشیدی قرار داشته باشد. سطح دیگری مانند (Á)، که همان مقدار شار انرژی (I)، بر آن توزیع شود، امّا در این حالت، پرتوهای انرژی تابشی خورشید با سطح (Á) زاویه (α) می‌سازد و سطح (A) نیز با سطح (Á) زاویه‌ای مساوی (a) ایجاد می‌کند. شار انرژی گرمایی وارد بر «یکای سطح (Á)» که سطح زمین است، کسری از انرژی سطح (A) می‌باشد. منظور از «یکای سطح (Á)»، سطحی است که با سطح (A) مساوی است. در صورتی که سطح (Á)، که تابش خورشید بر آن مایل‌تر است، سطحی بزرگ‌تر از سطح (A) خواهد داشت.

☜ هر گاه (a = ۰) شود، یعنی تابش خورشید بر سطح (Á) عمود گردد، (cosa = ۱) می‌شود و مقدار انرژی رسیده به «یکای سطح» (A) و (Á) یکسان است.

رابطه ۴-۲۲: $\acute{A} = \frac{A}{\sin\alpha} \quad \rightarrow \text{یا} \rightarrow \quad \acute{A} = \frac{A}{\cos z}$

رابطه ۴-۲۳: $I = \frac{I_0}{\acute{A}} \quad \rightarrow \text{یا} \rightarrow \quad I = I_0 . \sin\alpha \quad \rightarrow \text{یا} \rightarrow \quad I = I_0 . \cos a$

I= میزان اشعه رسیده به سطح زمین (Á) در هر دقیقه به متر (سانتی‌متر) مربع به کیلو وات (کالری)، I_o = میزان اشعه رسیده به سطح عمود بر پرتوهای آفتاب (A).
α = زاویه تابش در سطح زمین (Á)، خواه در سطح تراز و یا در سطح شیب دار باشد.

☜ از آنجایی که راستای شاقولی (v) بر سطح تراز عمود است و پرتو خورشید (α) بر سطح (A) عمود است. اگر (Á)، یک سطح تراز باشد، یعنی (S = ۰) باشد، زاویه بین (Á) و (A) مساوی با زاویه سرسوی خورشید در سطح تراز آن محل (z) است (a= z |S = ۰). در این حال شار انرژی ورودی به «یکای سطح» با افزایش (z)، کاهش می‌یابد (قائمی، ۱۳۷۵: ۵۴). یعنی، زاویه بین سطح (A) و (Á) مساوی با زاویه‌ای است که تابش روی سطح تراز (αh) با امتداد شاقولی (v)، می‌سازد که همان زاویه سرسوی خورشید (z) است (a= v |S = ۰).

☜ پس، در صورتی که تابش مستقیم خورشید روی سطوح تراز در نقاطی مد نظر باشد که تابش با زاویه نسبت به خط قائم بر سطح انجام گردد، در این صورت، بر پایه "قانون کسینوسی لامبرت" شدت آفتاب در هر نقطه روی سطح تراز، به کسینوس زاویه تابش نسبت به خط قائم (راستای شاقولی) بر سطح یا زاویه سرسوی خورشید (z) بستگی دارد.

رابطه ۴-۲۴:
$$I = I_o . \cos z$$

و یا رابطه -۲۵:
$$I = I_o . \cos a$$

و یا رابطه ۴-۲۶:
$$I = I_o . \sin \alpha h$$

تمرین ۴-۶. نسبت سطح تراز را به سطح عمود بر زاویه تابش مستقیم آفتاب، برای زاویه‌های مختلف تابش (۱۰،۲۰،۳۰،۴۰،۵۰،۶۰،۷۰،۸۰،۹۰) بدست آورید؟
✓ این نسبت را برای انقلابین و در عرض جغرافیایی ۳۵ درجه شمالی، به صورت مقایسه‌ای بدست آورید؟

☜ همواره نسبت سطح تراز (Á) به سطح عمود بر تابش (A) با ($\sin \alpha h$) یا ($\cos Z$) برابر است.

٤-١٣. اثر ناهمواری‌های سطح زمین بر زاویه تابش

«توپوگرافی» به عنوان یک عامل مهّم آب و هوایی شناخته شده است. «زاویه شیب» و «جهت ناهمواری»، زاویه تابش مستقیم خورشید را لگام می‌کند. تغییر در زاویه شیب و سمت ناهمواری‌ها، برای تفاوت زاویه تابش و مقدار بارگیری انرژی گرمایی در چشم اندازهای مختلف تعیین کننده است (کاویانی، ۱۳۸۷: ۱۶۲). بنابراین ناهمواری‌ها، مقدار انرژی رسیده به سطوح گوناگون زمین را دگرگون می‌سازند. ناهموار بودن سطح زمین سبب می‌شود که بین سطوح شیب دار با سطح تراز، زاویه ساخته شود که به آن «زاویه شیب» می‌گویند. امتداد خطی که بر سطح زمین شیب دار عمود شود (V_s) با امتداد شاقولی (V)، زاویه (Δv) می‌سازد. این زاویه با زاویه شیب (S) مساوی است. تصویر امتداد خط (V_s) بر صفحه افق، «جهت شیب دامنه» (S_a) را نشان می‌دهد. زاویه سمت دامنه نسبت به شمال جغرافیایی در جهت گردش عقربه ساعت را «آزیموت دامنه» گویند. در پاره‌ای از محاسبات مربوط به تابش، جهت شیب دامنه مانند زاویه ساعتی خورشید نسبت به نصف‌النهار محل سنجیده می‌شود. در این صورت این زاویه، برای ساعات پیش از نیمروز، منفی و برای ساعات «پسین» مثبت در نظر گرفته می‌شود. جهت دامنه، بر مدت تابش و اینکه در چه ساعت‌هایی از روز، در معرض تابش مستقیم آفتاب قرار بگیرد اثر بسزایی دارد. چون جهت خورشید با سرعت زاویه‌ای ۱۵ درجه در آسمان در حال تغییر است، اختلاف جهت تابش مستقیم آفتاب با جهت دامنه در طول سال و در هر ساعت از هر روز سال، متفاوت است.

رابطه ۴-۲۷:

$$SSA = R_a - S_a$$

S_a = جهت دامنه. R_a = جهت تابش مستقیم خورشید.

SSA = زاویه بین سمت دامنه با سمت تابش خورشید (Slope Solar Azimuth).

٤-١٤. دامنه‌های روبه آفتاب

دامنه‌های روبه آفتاب، دامنه‌هایی است که جهت شیب آنها به طرف جهت جایگاه خورشید در آسمان باشد. اختلاف زاویه جهت این دامنه‌ها (R_a) با جهت پرتو خورشید (R_a)، زاویه (SSA) را می‌سازد که از «صفر» تا «۹۰» درجه قوسی را در بر می‌گیرد ($0 \leq SSA \leq 90$). در شرایط مساوی، بر روی دامنه‌ای که بیشتر رو به خورشید دارد یعنی زاویه (SSA) به «صفر» درجه و (cos SSA) به «یک» نزدیک‌تر است، زاویه تابش خورشید عمودی‌تر از دامنه‌ای است که

(SSA) به ۹۰ درجه و (cos SSA) به «صفر» نزدیک‌تر است. به هر جهت، این دامنه‌ها با هر زاویه شیبی که داشته باشند در معرض تابش مستقیم آفتاب قرار دارند. مثلاً در هنگام نیمروز، در هر نقطه‌ای که در شمال مدار میل خورشید قرار داشته باشد، دامنه‌های جنوبی با خورشید در یک جهت قرار دارند و اختلاف زاویه جهت آنها با یکدیگر «صفر» است. در جنوب مدار میل خورشید و در هنگام نیمروز، دامنه‌های شمالی با خورشید در یک جهت قرار دارند و اختلاف زاویه جهت آنها با یکدیگر «صفر» است. در حالی که در همین هنگام اختلاف زاویه جهت دامنه‌های رو به شرق (غرب) با پرتو خورشیدی به مقدار بیشینه، یعنی «۹۰» درجه می‌رسد. دامنه‌های رو به خورشید و سطوح افقی از یک تقارن انرژی خورشیدی برخوردارند که بیشینه آن در هنگام نیمروز است. اگر زاویه (SSA) «صفر» فرض شود. زاویه پرتو آفتاب روی دامنه، به ارتفاع خورشید (αh) و زاویه شیب دامنه (S) بستگی دارد. به فرض، سطحی مساوی (A)، عمود بر پرتوهای موازی خورشیدی قرار داشته باشد. سطح دامنه (Á) با این سطح فرضی (A) زاویه ای مساوی (a) ایجاد می‌کند. از آنجایی که همواره مجموع زاویه شیب دامنه (S) و زاویه (a) مساوی با زاویه سرسوی خورشید (Z) است، می‌توان به کمک زاویه شیب (S) و زاویه سرسوی خورشید (Z)، زاویه (a) را بدست آورد.

رابطه ۴-۲۸: $Z = S + a$

رابطه ۴-۲۹: $a = Z - S$

رابطه ۴-۳۰: $\alpha s = Z_s - 90$

☜ زاویه (a) با زاویه بین پرتو مستقیم آفتاب و بردار عمود بر سطح دامنه (V_S) مساوی است که در اینجا از آن با نام زاویه (Z_s) یاد می‌شود. زاویه تابش مستقیم آفتاب روی دامنه (αs)، متمّم زاویه (Z_s) است.

با توجه به این که از یک سو، امتداد شاقولی (V) بر سطح افق عمود است و از سوی دیگر، زاویه (Δv) با زاویه (S) مساوی است و همواره مجموع زاویه شیب دامنه (S) و زاویه (a) مساوی با زاویه سرسوی خورشید (Z) است. پس اگر زاویه (SSA)، مساوی با «صفر» فرض شود، زاویه تابش روی دامنه‌های در مقابل تابش مستقیم آفتاب (αs)، متناسب با نسبت «زاویه شیب دامنه (S) به زاویه سرسوی خورشیدی (Z)» تغییر می‌کند. در اعتدالین بیشینه زاویه تابش نیمروزی آفتاب (αs) مربوط

به دامنه‌هایی است که نمای رو به خورشید دارند و زاویه شیب دامنه با زاویه سرسوی خورشید برابر باشد. از آنجایی که زاویه سر سوی خورشید نیمروزی در لحظه اعتدالین مساوی با عرض جغرافیایی محل است، پس زاویه شیب چنین دامنه‌هایی با عرض جغرافیایی محل نیز برابر است. این دامنه‌ها در نیمکره شمالی نمای رو به جنوب و در نیمکره جنوبی نمای روبه شمال دارند. این گونه دامنه‌ها در هنگام نیمروز، تابش آفتاب (αs) را با زاویه ۹۰ درجه دریافت می‌کنند.

رابطه ۴-۳۱: $\alpha s = \alpha h \mid S = 0$

رابطه ۴-۳۲: $\alpha s = 90 \mid S = z$

رابطه ۴-۳۳: $\alpha s > \alpha h \mid S < 2z$

رابطه ۴-۳۴: $\alpha s = \alpha h \mid S = 2z$

رابطه ۴-۳۵: $\alpha s < \alpha h \mid S > 2z$

رابطه ۴-۳۶: $\Omega = \frac{s}{z}$

رابطه ۴-۳۷: $\alpha s = \alpha h - [(\Omega - 2).z] \mid S > z$

αs = زاویه پرتو مستقیم خورشید بر روی دامنه، S = زاویه شیب دامنه

اگر (S < z) باشد، زاویه مکمّل تابش خورشید در سطح تراز (αš) بدست می‌آید که از ۹۰ درجه بزرگ‌تر است (αš > ۹۰). پس زاویه (αš) از ۱۸۰ درجه (زاویه نیم صفحه افق) کسر می‌گردد.

رابطه ۴-۳۸: $\alpha š = \alpha h - [(\Omega - 2).z] \mid S < z$

رابطه ۴-۳۹: $\alpha s = 180 - \alpha š$

αš = زاویه مکمّل زاویه تابش.

☜ با فرض اینکه (SSA = ۰) باشد، با داشتن زاویه شیب دامنه (S) و زاویه تابش مستقیم خورشید در سطح تراز (αh) زاویه تابش بر روی دامنه رو به خورشید (αs) بدست می‌آید.

رابطه ۴-۴۰: $\alpha s = \alpha h + S \mid S < z$

رابطه ۴-۴۱: $\alpha s = 180 - (\alpha h + S) \mid S > z$

٤-١٥. دامنه‌های پشت به آفتاب

جهت شیب دامنه‌های پشت به آفتاب، برخلاف جهت تابش خورشید است و اختلاف زاویه آزیموت این دامنه‌ها با آزیموت جایگاه خورشید در آسمان از ۹۰ درجه قوسی بیشتر می‌شود (۱۸۰ ≥ SSA >۹۰). در این دامنه‌ها، تابش مستقیم خورشید تا زمانی تداوم دارد که زاویه شیب دامنه کوچک‌تر از زاویه تابش مستقیم آفتاب در سطح تراز باشد ($S < \alpha h$). اگر زاویه شیب دامنه (S) بیشتر از زاویه تابش در سطح تراز (αh) باشد، دامنه در سایه قرار دارد. به سخن دیگر، طلوع و غروب در دامنه‌های پشت به آفتاب، همزمان با لحظه طلوع و غروب در سطح تراز نیست. طلوع و غروب ظاهری این دامنه‌ها به نسبت بین زاویه شیب آنها و ارتفاع خورشید در آسمان بستگی دارد. دامنه با زاویه شیب (S) بیش از ۹۰ درجه، پرتگاه است و پرتگاه‌های پشت به آفتاب در سایه قرار می‌گیرند. برای بیان ساده تر مسئله و با فرض اینکه (SSA = ۱۸۰) باشد.

رابطه ۴-۴۲: $\alpha s = \alpha h - S \mid S < \alpha h$

رابطه ۴-۴۳: $\alpha s = 0 \mid S > \alpha h$

٤-١٦. محاسبه زاویه تابش مستقیم آفتاب بر دامنه‌ها در جهت‌های مختلف

تا اینجا مسئله به صورت بسیار ساده بیان شد. در صورتی که در طبیعت رابطه بین جهت دامنه و جهت تابش مستقیم خورشید بسیار پیچیده است و با تغییرات مکانی و زمانی بی‌شماری همراه است. به منظور محاسبه زاویه تابش مستقیم خورشید روی سطوح شیب‌دار در هر سمت جغرافیایی، باید زاویه بین جهت دامنه و جهت تابش آفتاب (SSA) نیز مورد نظر قرار گیرد. زاویه بین پرتو خورشیدی و امتداد عمود بر سطح دامنه (V_s)، زاویه برخورد پرتو مستقیم خورشید با سطح شیب دار (Z_s) نام داده شده است. به طورکلی با استفاده از زاویه شیب دامنه (S)، ارتفاع خورشید (αh) و «جهت شیب دامنه» (S_a) می‌توان «زاویه برخورد» را محاسبه کرد. در اینجا، جهت شیب دامنه نیز مانند زاویه ساعتی خورشید، برای ساعات پیش از نیمروز، منفی و برای ساعات «پسین» مثبت در نظر گرفته می‌شود. زاویه برخورد تابش مستقیم خورشید با هر گونه سطح شیب داری با کمک یکی از رابطه‌های سه‌گانه زیر بدست می‌آید (کمالی و مرادی، ۱۳۸۴: ۴۳):

رابطه ۴-۴۴: $Z_s = \cos^{-1}[\sin S \times \sin Z \times \cos SSA + \cos S \times \cos Z]$

رابطه ۴-۴۵: $Z_s = \cos^{-1}[\sin S \times \sin Z \times \cos SSA + \cos S \times \sin \alpha h]$

رابطه ۴-۴۶: $Z_s = \cos^{-1}[A + B \cos \omega \times C \sin \omega]$

رابطه ۴-۴۷: $A = \sin \delta . (\sin \Phi . \cos S - \cos \Phi . \sin S . \cos S_a)$

رابطه ۴-۴۸: $B = \cos \delta . (\cos \Phi . \cos S + \sin \Phi . \sin S . \cos S_a)$

رابطه ۴-۴۹: $C = \cos \delta . \cos \Phi . \sin S . \sin S_a$

٤-۱۷. محاسبه طلوع و غروب محلی آفتاب در دامنه‌ها

مدت تابش مستقیم آفتاب یا به عبارت دیگر طلوع و غروب بر روی هر دامنه‌ای، به ارتفاع خورشید در آسمان (αh)، زاویه شیب دامنه (S) و زاویه بین جهت تابش مستقیم آفتاب و جهت دامنه (SSA) بستگی دارد. در هر زمان یکی از دو شرط زیر برای طلوع آفتاب در هر دامنه ضرورت دارد:

- اختلاف جهت دامنه و سمت تابش، از ۹۰ درجه کمتر گردد ($0 \leq SSA \leq 90$).
- زاویه شیب دامنه کوچک‌تر از زاویه تابش خورشید در سطح افق باشد ($S < \alpha h$).

به طور کلی، اگر زاویه برخورد تابش مستقیم خورشید با سطح دامنه (Z_s) بیشتر از ۹۰ درجه باشد، سطح دامنه از تابش مستقیم خورشید بی بهره می‌شود. برای بدست آوردن طلوع و غروب آفتاب روی سطح یک دامنه مشخص که زاویه شیب معینی دارد. مقدار زاویه (Z_s) برابر با ۹۰ درجه قوسی فرض می‌شود. همچنین با فرض ثابت بودن زاویه میل خورشید (δ) در طی روز، مقادیر (A)، (B) و (C) نیز برای یک روز مشخص ثابت در نظر گرفته می‌شوند.

رابطه ۴-۵۰: $E = \sqrt{A^2 + B^2}$

رابطه ۴-۵۱: $\frac{-A}{E} = \frac{(B \cos \omega_o)}{E} = \frac{(C \sin \omega_o)}{E}$

ω_o = زاویه ساعتی خورشید که در آن زاویه (Z_s) برابر با «صفر» است.

سپس از جایگزینی مثلثاتی استفاده می‌گردد. البتّه برخی از جایگزینی‌ها هر دو زمان طلوع و غروب را نشان نمی‌دهند. بهترین انتخاب به صورت زیر است:

رابطه ۴-۵۲: $\frac{B}{E} = \cos x \quad \& \quad \frac{C}{E} = \sin x$

رابطه ۴-۵۳: $\frac{-A}{E} = \cos x \,.\, \cos \omega_o + \sin x \,.\, \sin \omega_o = \cos\,(\omega_o - x)$

رابطه ۴-۵۴: $\omega_o - x = \cos^{-1}\left(\frac{-A}{E}\right)$

با جایگزین کردن (X) بدست آمده در رابطه ۴-۵۲، بیشتر از یک انتخاب وجود خواهد داشت. در صورتی که از کسینوس (X) استفاده شود، جواب مسئله ابهام دارد و بایستی پس از محاسبه، مشخص شود که از علامت مثبت یا از علامت منفی استفاده گردد. بنابراین بهتر است از سینوس (X) استفاده شود:

رابطه ۴-۵۵: $\omega_o = \cos^{-1}\left(\frac{-A}{E}\right) + \sin^{-1}\left(\frac{C}{E)}\right)$

پارامتر (C) شامل سینوس زاویه جهت سطح دامنه است و برای سطوح رو به جنوب در شمال مدار میل خورشید، مقدار آن «صفر» می‌باشد. در رابطه ۴- ۵۵ برای مقدار مشخص کسینوس، دو زاویه در دامنه (π-) تا (π) تولید می‌شود که یکی از این دو برای طلوع و دیگری برای غروب آفتاب است. از آنجایی که بسیاری از برنامه‌های کامپیوتری، زاویه مثبت را به ازای arc cos در نظر می‌گیرند. بنابر این می‌توان از رابطه‌های زیر استفاده کرد:

رابطه ۴-۵۶: $\omega_{rT} = \max\left\{-\omega_s\,, \left[-\cos^{-1}\left(\frac{-A}{E}\right)\right] + \sin^{-1}\left(\frac{C}{E}\right)\right\}$

رابطه ۴-۵۷: $\omega_{sT} = \min\left\{\omega_s\,, \left[\cos^{-1}\left(\frac{-A}{E}\right)\right] + \sin^{-1}\left(\frac{C}{E}\right)\right\}$

ω_{rT} = زاویه ساعتی طلوع آفتاب در دامنه، ω_{sT} = زاویه ساعتی غروب آفتاب در دامنه،

$-\omega_s$ = زاویه ساعتی طلوع آفتاب در سطح تراز به درجه.

ω_s = زاویه ساعتی غروب آفتاب در سطح تراز به درجه.

اگر هر یک از دو عبارت $(\frac{A}{E})$ یا $(\frac{C}{E})$ در خارج از فاصله (۱-) تا (۱) قرار گیرند. در این صورت، بر سطح دامنه مورد نظر طلوع آفتاب وجود ندارد. به هر حال، گاهی نیز ممکن است در جهت خاصی از دامنه‌ها و در زمان مشخصی از سال، در طول یک روز دو طلوع و دو غروب بر یک سطح شیب دار پدیدار شود و یا اینکه هیچ طلوعی در روز نداشته باشد (کمالی و مرادی، ۱۳۸۴: ۴۸). برای مثال دامنه‌های شمالی کشور ایران در انقلاب تابستانی از دو طلوع و غروب در یک روز برخوردارند در صورتی که در انقلاب زمستانی از تابش مستقیم خورشید بهره‌ای نمی‌برند.

♠ در اعتدالین بیشینه ورودی تابش نیمروزی آفتاب مربوط به دامنه‌هایی است که نمای رو به خورشید دارند و زاویه شیب آنها نیز با عرض جغرافیایی محل مساوی است. این دامنه‌ها در نیمکره شمالی نمای رو به جنوب و در نیمکره جنوبی نمای روبه شمال دارند. زیرا (a) مساوی «صفر» و ($I = I_o$) است.

در اعتدالین دامنه‌های شرقی همزمان با سر زدن خورشید از ورای افق محلی، تابش مستقیم آفتاب را دارند و به اصطلاح طلوع این دامنه‌ها با طلوع واقعی خورشید همراه است. این دامنه‌ها در مقایسه با دامنه‌های جنوبی از تابش زودتر بامدادی بهره‌مند می‌شوند. از آنجا که زاویه تابش دامنه شرقی بعد از طلوع آفتاب زودتر اوج می‌گیرد، تابش بیشتری بر دامنه‌های با شیب کمتر دامنه‌های شرقی نسبت به دیوار های عمودی شرقی می‌رسد. به هر حال به دلیل تغییر آزیموت خورشید در طول روز، شرایط «نیمروز محلی خورشید» در دامنه‌های شرقی زودتر از سایر دامنه‌ها فرا می‌رسد و تابش رسیده، به سرعت در جهت «غروب آفتاب محلی» کاهش می‌یابد. همانند طلوع آفتاب بر روی دامنه، غروب آفتاب هر دامنه نیز از دو شرط پیشین پیروی می‌کند. با این تفاوت که زاویه (SSA) باید از ۹۰ درجه بیشتر شود ($۹۰ < SSA \leq ۱۸۰$) و یا زاویه ارتفاع خورشید در آسمان (αh) نسبت به زاویه شیب دامنه کوچک‌تر گردد ($S > \alpha h$). ارتفاع خورشید در آسمان در ساعات پس از نیمروز در حال فرود است. بنابراین در دامنه‌های شرقی که شرط اول برای آنها شکل گرفته است، لحظه غروب، برای دیوار عمودی شرقی ساعت ۱۲ و بر روی دامنه‌های شرقی با شیب کمتر به ترتیب کاهش شیب در ساعات بعد از نیمروز فرا می‌رسد. یعنی غروب دامنه‌های کم شیب تر شرقی، دیرتر فرا می‌رسد.

تابش بر دامنه غربی متقارن با دامنه شرقی است. این دامنه‌ها نسبت به دامنه‌های جنوبی، تابش بیشتری را در ساعات پسین دریافت می‌کنند. طلوع آفتاب بر دامنه‌های غربی در ساعات پیش از نیمروز بستگی کامل به نسبت زاویه شیب دامنه به زاویه تابش مستقیم خورشید بر سطح افق دارد ($S < \alpha h$). چون که ارتفاع خورشید در آسمان در ساعات پیشین روز در حال افزایش است، در دامنه‌های غربی که هنوز شرط اول برای آنها شکل نگرفته است، لحظه طلوع بر روی دامنه‌های غربی به ترتیب افزایش شیب در ساعات پیش از نیمروز فرا می‌رسد. طلوع آفتاب بر دیوارهای عمودی غربی، ساعت ۱۲ و بر روی دامنه‌های غربی با شیب کمتر به ترتیب کاهش شیب در ساعات پیش از نیمروز فرا می‌رسد. بنابراین، لحظه طلوع آفتاب بر دامنه‌های کم شیب تر غربی، زودتر فرا می‌رسد. این دامنه‌ها در مقایسه با دامنه‌های جنوبی از تابش دیرهنگام‌تر

روزانه، بهره‌مند می‌شوند. به دلیل تغییر آزیموت خورشید در طول روز، شرایط «نیمروز محلی خورشید» در دامنه‌های غربی دیرتر از سایر دامنه‌ها فرا می‌رسد. از آنجا که زاویه تابش دامنه‌های غربی بعد از نیمروز و با تأخیر اوج می‌گیرد، دامنه‌های غربی با شیب کمتر نسبت به دیوارهای عمودی غربی نه تنها مدت بیشتری آفتابگیری دارند، که زاویه تابش عمودتری نیز دریافت می‌کنند. در اعتدالین «غروب آفتاب محلی» بر دامنه‌های غربی با غروب واقعی خورشید همراه است.

دیوارهای عمودی شمالی در نیمکره شمالی و دیوارهای عمودی جنوبی در نیمکره جنوبی، در زمان اعتدالین از تابش خورشید بی بهره‌اند. این دامنه‌ها تنها از تابش پراکنده کوتاه موج و بلند خورشید می‌توانند استفاده کنند. در صورتی که زاویه شیب این گونه دامنه‌ها نسبت به زاویه تابش خورشید در سطح افق، کوچک‌تر باشد ($S < \alpha h$)، در ساعات محدودی از روز آفتاب گیری دارند. با توجه به اینکه در اعتدالین، زاویه ارتفاع خورشید با عرض جغرافیایی محل رابطه وارونه دارد. نسبت به افزایش عرض جغرافیایی، بایستی زاویه شیب این گونه دامنه‌ها کاهش یابد تا پرتو مستقیم آفتاب بر آنها بتابد. برای مثال در عرض جغرافیایی ۲۰ درجه شمالی، دامنه‌های شمالی با زاویه شیب کمتر از ۷۰ درجه، تابش مستقیم نیمروزی را دریافت می‌کنند در حالی که در عرض جغرافیایی ۶۰ درجه شمالی، تنها دامنه‌های شمالی با شیب کمتر از ۳۰ درجه می‌توانند در معرض تابش مستقیم خورشید قرار گیرند. به طور کلی با افزایش عرض جغرافیایی، نه تنها دامنه‌های شمالی دارای شیب کمتر در معرض تابش مستقیم خورشید قرار می‌گیرند که به نسبت افزایش عرض جغرافیایی، مدت تابش بر دامنه‌های شمالی نیز کاهش پیدا می‌کند، یعنی طلوع دیر هنگام تر و غروب زودتر فرا می‌رسد.

☜ در اعتدالین بر روی هر مدار عرض جغرافیایی، در هر ساعت از روز، دامنه‌ای تابش مستقیم خورشید را با زاویه ۹۰ درجه دریافت می‌کند که زاویه شیب آن مساوی با زاویه سرسوی خورشید در آن ساعت باشد. در هنگام نیمروز، هر دامنه رو به خورشید که زاویه شیب آنها با عرض جغرافیایی محل مساوی است، تابش خورشید عمودی دارد (جدول ۴-۸، ردیف آخر).

رابطه ۴-۵۸: $S = 90 - \mathrm{Arc}\sin[\cos\Phi.\cos\omega]$

☜ در اعتدالین بر روی خط استوا، هر دامنه‌ای که در هر ساعت مشخصی از روز در مقابل خورشید قرار گیرد، اگر زاویه شیب آن دامنه مساوی با زاویه ساعتی خورشید در آن ساعت باشد،

تابش آفتاب با زاویه ۹۰ درجه بر آن می‌تابد، زیرا ($\cos\Phi = ۱$) است و سر انجام در هنگام نیمروز، زاویه تابش عمودی خورشید بر سطح افق استوا می‌تابد (جدول ۴-۸، ستون سوم از راست).

به طور کلی در اعتدالین، با فرض اینکه زاویه (SSA) «صفر» باشد. زاویه شیب دامنه‌ای که بیشینه زاویه تابش مستقیم آفتاب را دریافت می‌کند نسبت به عرض جغرافیایی محل رابطه مستقیم دارد، یعنی با افزایش عرض جغرافیایی، زاویه شیب این گونه دامنه‌ها باید بیشتر باشد. در طول ساعات روز، هرچه فاصله زمانی نسبت به نیمروز افزایش یابد، بیشینه زاویه تابش مستقیم خورشید بر دامنه‌هایی قرار خواهد گرفت که زاویه شیب بیشتری دارند. پس هر چه فاصله (مکانی) از استوا به سمت قطبین و (زمانی) از نیمروز به طرف بامداد یا پسین، بیشتر باشد، زاویه شیب دامنه‌ای که بیشینه زاویه تابش مستقیم آفتاب بر آن می‌تابد، افزایش پیدا می‌کند. جدول ۴-۸ و شکل ۴-۳ روشن می‌سازد که از قطبین به سمت استوا و از لحظه طلوع (غروب) خورشید به طرف نیمروز، زاویه شیب دامنه‌هایی که بیشینه زاویه تابش آفتاب بر آنها می‌تابد، کاهش پیدا می‌کند.

♠ در انقلاب تابستانی، میل خورشید در نیمکره شمالی و در بالاترین عرض جغرافیایی سالانه‌اش یعنی بر مدار رأس‌السرطان جای می‌گیرد. محل طلوع خورشید در شمال شرق و غروب آفتاب در شمال غرب افق هر مکان است. در دامنه‌های "شمالی و شرقی" و همچنین سطوح افقی، تابش مستقیم آفتاب را زود تر از دامنه‌های "جنوبی و غربی" دریافت می‌دارند چنان که گویی آفتاب زود تر طلوع کرده است. "دامنه‌های شرقی" همانند اعتدالین نور می‌گیرند امّا بیشینه انرژی دریافتی آنها نسبت به اعتدالین بالاتر بوده و از طلوع آفتاب زودتری نیز برخوردارند. سطوح افقی، تابش مستقیم خورشید را در تمام ساعات روز دریافت می‌کنند در صورتی که دامنه‌های شمالی و جنوبی نور گیری متفاوتی دارند. نورگیری "دامنه‌های شمالی" منحصر به اوقات صبح زود و ساعات آخر روز است، مثل اینکه از دو طلوع و غروب روزانه برخوردارند، در حالی که "دامنه‌های جنوبی" تنها بین ساعات میانی روز از تابش مستقیم آفتاب بهره می‌برند. در این هنگام نیمکره جنوبی فصل زمستان خود را می‌گذراند، بنابراین شرایط خاص خود را دارد که با نیمکره شمالی تفاوت دارد.

♠ در انقلاب زمستانی، میل خورشید در نیمکره جنوبی و در کمترین اندازه سالانه‌اش یعنی بر مدار رأس‌الجدی جای می‌گیرد. محل طلوع خورشید در «جنوب شرق» و غروب آفتاب در سمت «جنوب غرب» افق هر مکان قرار دارد. در نیمکره شمالی بر سطح دامنه‌های شمالی که

شیب آنها از ۶۶/۵ درجه بیشتر است هیچ تابش مستقیمی نمی‌تابد و در سایه قرار می‌گیرند. شیب مربوطه، کمینه زاویه شیبی است که برای خط استوا محاسبه شده است و با افزایش عرض جغرافیایی، از مقدار زاویه شیب دامنه‌های شمالی که در معرض تابش مستقیم آفتاب قرار می‌گیرند، کاسته می‌شود. سر انجام در عرض جغرافیایی ۶۶/۵ درجه شمالی سطوح تراز نیز از تابش خورشید محروم می‌گردند. دامنه‌های جنوبی از تابش مناسب‌تری برخوردارند. به هر حال در این زمان از سال، طول روز کوتاه و شدت تابش خورشید نیز ضعیف است. شرایط انقلاب زمستانی در دو سوی مدار میل خورشید وارونه است.

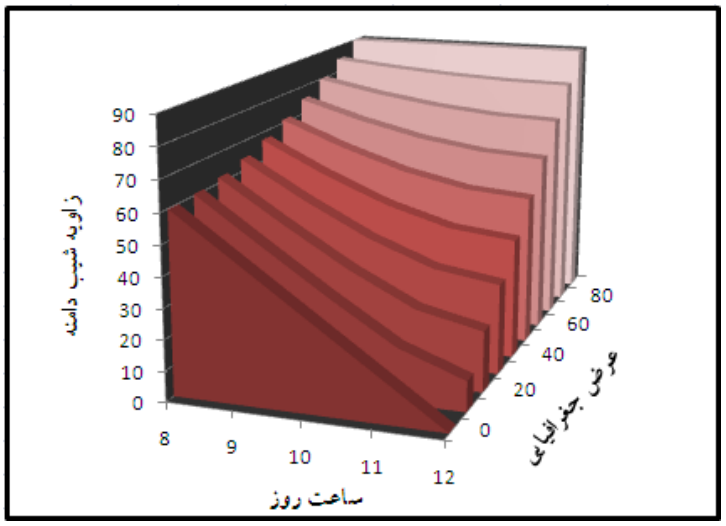
در مجموع عرض جغرافیایی با مقدار نورگیری دامنه‌های رو به قطب رابطه وارونه دارد و با افزایش عرض جغرافیایی از نورگیری این دامنه‌ها کاسته می‌گردد. به دلیل اینکه زاویه سرسوی خورشید، در کمربند محدود بین دو مدار برگشتگان، هیچ‌گاه از زاویه ۴۷ درجه پایین‌تر نیست، اثر تغییرات شیب دامنه‌ها در این مناطق نسبت به عرض‌های جغرافیایی بالاتر، کمتر است. در عرض‌های جغرافیایی بالاتر، تغییرات ناچیزی در زاویه شیب یا جهت دامنه اهمّیت شایان توجهی در بر دارد. در این مناطق شناخت و ارزیابی شرایط حاکم بر فضای دامنه‌های مختلف، پایه‌ای بسیار مهّم برای تبیین تنوع میکرواقلیمی است، به ویژه در مناطقی که از پیچیدگی توپوگرافی برخوردارند. گوناگونی ویژگی‌های تابشی که ناشی از ناهمواری‌های سطح زمین است، باعث اختلاف موازنه انرژی در دامنه‌های متفاوت می‌شود و چشم اندازهای اقلیمی و جغرافیایی گوناگونی را در دامنه‌های همجوار تشکیل می‌دهد. پژوهش‌های انجام شده نشان می‌دهد که دامنه‌های پشت به قطب (رو به آفتاب) حدود ۳ برابر بیشتر از دامنه‌های رو به قطب (پشت به آفتاب) از انرژی گرمایی خورشید بهره می‌برند.

پس توان گفت که نقش زاویه شیب و آزیموت دامنه‌ها بر تغییر ویژگی‌های تابش مستقیم آفتاب، متغیر نیرومندی در تعیین مقدار انرژی دریافتی سطح زمین هستند و عامل مهّمی در ایجاد طیف گسترده‌ای از چشم‌اندازهای میکروکلیمایی به شمار می‌روند. بازتاب این اثر نیرومند، در تفکیک فضایی چشم اندازهای جغرافیایی و تفرق فضایی گیاهی و جانوری آشکار می‌شود و پیامدهای آن در چگونگی آمایش سرزمین مانند کشاورزی، جنگلداری و ... کاملاً محسوس است (کاویانی، ۱۳۷۸: ۱۶۶). به منظور کاربرد اقلیمی تابش خورشید در هر گونه برنامه‌ریزی

محیطی، با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی و تعیین زاویه شیب و سمت هر دامنه، می‌توان به پهنه بندی اقلیمی تابش آفتاب اقدام کرد.

جدول ۴-۸: زاویه شیب دامنه‌های آفتابگیر با بیشینه زاویه تابش در ساعات روز در اعتدالین

ساعت روز		عرض جغرافیایی									
صبح	عصر	۰	۱۰	۲۰	۳۰	۴۰	۵۰	۶۰	۷۰	۸۰	۹۰
۸	**۱۶**	۶۰	۶۱	۶۲	۶۴	۶۷	۷۱	۷۶	۸۰	۸۵	۹۰
۹	**۱۵**	۴۵	۴۶	۴۸	۵۲	۵۷	۶۳	۶۹	۷۶	۸۳	۹۰
۱۰	**۱۴**	۳۰	۳۱	۳۶	۴۱	۴۸	۵۶	۶۴	۷۳	۸۱	۹۰
۱۱	**۱۳**	۱۵	۱۸	۲۵	۳۳	۴۲	۵۲	۶۱	۷۱	۸۰	۹۰
۱۲	**۱۲**	۰	۱۰	۲۰	۳۰	۴۰	۵۰	۶۰	۷۰	۸۰	۹۰



شکل ۴-۳: زاویه شیب دامنه‌های آفتابگیر با بیشینه زاویه تابش در ساعات روز در اعتدالین

ناهمواری علاوه بر تغییر زاویه تابش خورشید، از طریق کاهش ضخامت جوّ و در نتیجه کاهش غلظت اتمسفر در مقدار انرژی اثر می‌گذارد. همچنین تغییر مکانی ارتفاع که ناشی از ناهمواری سطح زمین است، دگرگونی برخی از ویژگی‌های عناصر آب و هوایی مانند دمای هوا و بارش را سبب شده و پراکندگی مکانی عناصر آب و هوایی را می‌سازد (علیجانی، ۱۳۸۵: ۲۴).

٤-۱۸. تعیین شدت تابش مستقیم آفتاب در سطوح ناهموار

«ناهمواری سطح زمین» یکی از عوامل آب و هوایی است که پراکندگی مکانی عناصر آب و هوایی را ایجاد می‌سازد (علیجانی، ۱۳۸۵: ۲۴). «زاویه شیب» دامنه (S) و «جهت ناهمواری» (S_a)، زاویه تابش مستقیم خورشید را لگام می‌کند. بنابر این ناهمواری‌ها، مقدار انرژی رسیده به سطوح گوناگون زمین را دگرگون می‌سازند. تغییر در شیب و آزیموت دامنه که به ناهمواری و توپوگرافی بستگی دارد، تفاوت در زاویه تابش و مقدار بارگیری انرژی گرمایی را در پی دارد. در نتیجه تغییر شیب و جهت دامنه‌ها، در تعیین چشم‌اندازهای گوناگون جغرافیایی نقش بسیار مهمّی ایفا می‌نماید. با توجه به اهمیت زاویه تابش، مشاهده می‌شود که ورودی تابش مستقیم خورشید (I_o)، هنگامی که (Z_s) کمتر از ۳۰ درجه است زیاد و هنگامی که بالاتر از ۳۰ درجه است از مقدار آن به شدت کاسته می‌شود (کاویانی، ۱۳۸۷: ۱۶۲). برای تعیین شدت تابش آفتاب در یک ناحیه، ابتدا با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی، زاویه شیب و سمت هر دامنه مشخص می‌شود، سپس شدت تابش خورشیدی و مقدار تابش خورشیدی رسیده به سطح زمین، به تفکیک دامنه بدست می‌آید.

☜ اگر تابش مستقیم آفتاب روی سطوح ایستاده (مانند پرتگاه‌های کوهستانی و دیوار ساختمان‌ها و ...) در نقاطی مد نظر باشد که تابش خورشیدی با زاویه نسبت به خط عمود بر سطح انجام می‌گیرد، در این صورت شدت آفتاب در هر نقطه روی سطح ایستاده، تابع سینوس زاویه تابش نسبت به آن سطح خواهد بود. همواره زاویه (Z_s) در سطوح عمودی با زاویه تابش بر سطح تراز (αh) مساوی است. زیرا امتداد خط عمود بر پرتگاه‌ها و دیوارهای ایستاده (V_s)، موازی با سطح تراز است. زاویه‌های (Z_s) و (αh) به نوبه خود با زاویه (a) برابرند. به فرض اینکه زاویه (SSA)، مساوی با «صفر» باشد، زاویه تابش مستقیم خورشید بر سطح دیواره‌ها (αs) با زاویه سرسوی خورشید (Z) نیز برابر است.

رابطه ۴-۵۹: $I = I_o \cdot \sin z \cdot \cos SSA$

رابطه ۴-۶۰: $I = I_o \cdot \cos \alpha h \cdot \cos SSA$

برای تعیین شدت تابش مستقیم آفتاب بر دامنه‌ها، باید گفت: که پرتو افشانی تابش روی یک سطح شیب‌دار، ترکیبی از دو حالت قبل یعنی تابش روی سطوح تراز و سطوح عمودی است. در

این حالت شدت آفتاب روی این سطوح به زاویه تابش (αh) در سطح افقی و زاویه شیب دامنه نسبت به سطح تراز (S) بستگی دارد. همانند سطوح تراز، در سطوح شیب‌دار نیز همواره زاویه بین سطح (A) و (Á)، با زاویه بین امتداد تابش روی سطح دامنه (αs) و امتداد خط عمود بر دامنه (V_s) مساوی است. رابطه بین تابش مستقیم و شار تابشی که به یک سطح می‌رسد و با قانون کسینوس پرتوهای تابش بیان می‌شود، برای سطوح شیب دار تابع روابط زیر است:

رابطه ۴-۶۱: $I = I_o . \cos zs . \cos SSA$

رابطه ۴-۶۲: $I = I_o . \sin \alpha s . \cos SSA$

تمرین ۴-۷. اگر Φ =۳۲ و δ = +۲۳/۵ و زاویه (SSA = ۰) باشد، مطلوبست:

- ✓ زاویه αh و Z را برای نیمروز محل بدست آورید؟
- ✓ زاویه αh و Z را برای ساعات مختلف روز بدست آورید؟
- ✓ زاویه ساعتی خورشید هنگام طلوع و غروب را محاسبه کنید؟
- ✓ اختلاف طول شب و روز محل چقدر است؟
- ✓ کدام شیب دامنه رو به آفتاب αs =۹۰ دریافت می‌کند؟ ثابت کنید؟
- ✓ در کدام شیب دامنه رو به آفتاب αs = αh است؟ ثابت کنید؟
- ✓ در چه شیب‌هایی αs > αh می‌باشد؟
- ✓ در چه شیب‌هایی αs < αh می‌باشد؟
- ✓ اگر [Ω =۱,۲,۳,...,۱۰] باشد αs را برای هر یک از دامنه‌ها بدست آورید؟
- ✓ اگر Ω =۱ باشد. گویای کدام رابطه است؟
- ✓ اگر Ω =۲ باشد. گویای کدام رابطه است؟
- ✓ زاویه تابش بر دیوار عمودی ساختمان، را محاسبه کنید؟
- ✓ زاویه تابش ظهر محل در انقلاب زمستانی و بر سطح تراز، را بدست آورید؟
- ✓ اگر شیب دامنه رو به آفتاب ۳ درجه زاویه داشته باشد. زاویه تابش روی این دامنه چقدر است؟
- ✓ چه راهکاری برای تابش مستقیم آفتاب با زاویه ۳۰ درجه بر دیوار بنا، پیشنهاد می‌نمایید؟
- ✓ اگر زاویه دامنه پشت به آفتاب شمالی ۶۰ درجه باشد. زاویه (αs) چقدر است؟
- ✓ دامنه‌های پشت به آفتاب شمالی با چه شیبی (S) در سایه قرار می‌گیرند؟

✓ زاویه تابش روی دیوارهای عمودی روبه خورشید محل در انقلاب زمستانی کاهش می‌یابد یا افزایش؟ مقدار تغییر مثبت یا منفی را مشخص کنید؟

✓ اگر شیب دامنه رو به آفتاب ۳ درجه و زاویه (SSA) ۲۵ درجه باشد. زاویه تابش روی این دامنه چقدر است؟

✓ اگر شیب دامنه رو به آفتاب ۳ درجه و زاویه (SSA) ۶۰ درجه باشد. زاویه تابش روی این دامنه چقدر است؟

✓ اگر شیب دامنه رو به آفتاب ۶۰ درجه و زاویه (SSA) ۷۰ درجه باشد. زاویه تابش روی این دامنه چقدر است؟

✓ اگر شیب دامنه رو به آفتاب ۱۸/۵ درجه و زاویه (SSA) ۴۸ درجه باشد. زاویه تابش روی این دامنه چقدر است؟

پروژه ۴-۱. به دل‌خواه یک شهر را انتخاب نموده و تمرین ۴-۷ را در مورد آن حل کنید.

فصل پنجم

سازوکار برخورد متقابل انرژی تابشی آفتاب با سطح زمین

۵-۱. عمل برخورد متقابل

خورشید (تابش مستقیم) و اتمسفر (تابش پراکنده) در هنگام روز انرژی گرمایی به سطح زمین می‌تابانند و موجب افزایش گرمای سطح زمین می‌شوند. از آنجا که سطح زمین از اجسام گوناگون تشکیل شده است، جذب گرمای ورودی در همه جای آن یکسان نیست.

پوشش سطح زمین از نظر جنس، ساخت، بافت، رنگ و ... بسیاری از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی دیگر، گستره بسیار بزرگی از گوناگونی را به نمایش می‌گذارد. اگر چه پوشش سطح زمین حالت جامد (مانند صخره‌های کوهستانی، ساختمان، پوشش گیاهی، خاک برهنه، یخچال و ...) یا مایع (پهنه‌های آبی) دارد ولی مانند گازهای اتمسفر، واکنش‌های گوناگونی در هنگام برخورد امواج انرژی تابشی از خود نشان می‌دهد.

هر گونه واکنش پدیده‌ها (جامد، مایع و گاز) در مقابل امواج انرژی الکترومغناطیس را در اصطلاح «برخورد متقابل» گویند. اگر برخورد در سطح جسم رخ دهد (مانند سطح صخره)، برخورد یک «پدیده سطحی» است و اگر امواج تابشی به فضای درونی جسم وارد شود (مانند اتمسفر و تا حدودی آب‌ها و اجسام شفاف مثل شیشه)، برخورد یک «پدیده حجمی» است.

صرف نظر از اینکه برخورد، «سطحی» یا «حجمی» باشد، "انرژی الکترومغناطیس" نیز در برخورد با پدیده‌های سطح زمین دگرگون می‌شود. این دگرگونی جنبه‌های گوناگونی مانند: تغییر در مقدار انرژی، تغییر جهت جریان انرژی، تغییر طول موج، پولاریزاسیون (پراکندگی) و تغییر در شکل انرژی الکترومغناطیس تابشی را شامل می‌شود. در هنگام برخورد انرژی تابشی با پدیده‌های سطح زمین، هم ماده و هم انرژی، بر پایه اصول فیزیکی در جهت حفظ و نگهداری خود واکنش نشان می‌دهند (علیزاده، ۱۳۷۲: ۳۴).

۵-۲. برآیند تابش مستقیم آفتاب در سطح زمین

امواج تابشی که به سطح زمین می‌رسند از ترکیب طول موج‌های گوناگونی تشکیل شده‌اند. برآیند برخورد این امواج با سطح زمین، بر حسب ماهیّت و ویژگی‌های موج الکترومغناطیس و سطح زمین، متفاوت خواهد بود.

☜ یکی از حالت‌های ممکن این که انرژی پس از برخورد به سطح زمین، تغییر جهت می‌دهد. یعنی بدون تغییر در ماهیت انرژی پس از برخورد با سطح پدیده، پراکنده می‌گردد. «توانایی بازتاب» (Reflectivity) هر چیز برابر است با «نسبت تابش پراکنده شده توسط یک پدیده در یک طول موج مشخص به تابش رسیده به آن جسم در همان طول موج» است (کمالی و مرادی، ۱۳۷۴: ۷). سطوح صاف و صیقلی، تابش رسیده را به یک سو باز می‌تابانند (Reflection)، در صورتی که سطوح ناهموار، تابش دریافتی را در همه جهات پخش می‌سازند (Scattering).

☜ یا ممکن است انرژی درآشامیده شده و به «خورد» جسم رود (Absorption). در این حالت، انرژی جنبش مولکولی ماده افزایش پیدا می‌نماید. افزایش انرژی جنبشی باعث افزایش سرعت مولکولی می‌شود و در نتیجه گرمای محسوس آن جسم بالاتر می‌رود. «توانایی جذب» هر چیز برابر است با «نسبت تابش جذب شده توسط آن پدیده به تابش رسیده به سطح آن جسم در یک طول موج مشخص» می‌باشد (کمالی و مرادی، ۱۳۸۴: ۷).

☜ یا ممکن است انرژی تابشی از درون پدیده بگذرد (Transmission). در این حالت، سرعت امواج گذرنده تغییر پیدا می‌کند. بنابراین در صورتی که امواج الکترومغناطیس تابشی از هوا به درون پدیده‌های سطح زمین وارد شود، سرعت آنها تغییر می‌کند. تغییر سرعت مزبور را «ضریب شکست» گویند.

رابطه ۵-۱: $n = C_a \div C_s$

رابطه ۵-۲: $E_I(\lambda) = E_R(\lambda) + E_A(\lambda) + E_T(\lambda)$

C_a = سرعت انرژی تابشی در هوا.
C_s = سرعت انرژی در درون پدیده سطح زمین.
n = ضریب شکست.
E_I = انرژی تابیده شده بر سطح جسم.
E_R = انرژی پراکنده شده از سطح جسم.
E_A = انرژی جذب شده در ذات جسم.
E_T = انرژی گذر کرده از درون جسم.
λ = طول موج انرژی الکترومغناطیس.

نسبت انرژی تابشی پراکنده شده (R)، درآشامیده شده (A) و گذر کرده (T)، برای سطوح گوناگون زمین متفاوت است و تحت تأثیر شرایط ظاهری و مواد تشکیل دهنده آنها قرار دارد. این نسبت‌ها در طول موج‌های گوناگون حتی برای یک چیز مشخص، متفاوت است. برای مثال نسبت انرژی پراکنده شده برف تازه برای تابش موج کوتاه (تابش خورشیدی) حدود ۹۰ درصد است. در صورتی که این نسبت برای تابش موج بلند حدود ۵ درصد است (کمالی و مرادی، ۱۳۸۴: ۸). تفاوت‌های مزبور در بیناب طول موج مرئی، رنگ‌ها را به وجود می‌آورد. انحصار حالت خاص به یک چیز، بیش از همه به ویژگی‌های سطح پدیده و نیز ساختمان اتم‌ها و مولکول‌های آن بستگی دارد (علیزاده، ۱۳۷۲: ۳۴).

کل انرژی تابشی خورشید، که به صورت مستقیم به سطح زمین تابیده می‌شود را عدد ثابت در نظر می‌گیرند، بنابراین، تغییر مقدار هر یک از امواج سه‌گانه تابشی، [امواج پراکنده شده (R)، درآشامیده شده (A) و گذر کرده (T)]، سبب می‌شود تا همه نسبت‌ها عوض شود:

رابطه ۵-۳: $۱ = R + A + T$

پدیده‌هایی که پوشش سطح زمین را تشکیل می‌دهند، «قابلیت گذرایی» یکسانی ندارند. «قابلیت گذرایی» هر چیز، عبارتست از «نسبت تابش گذر کرده از یک پدیده در یک طول موج مشخص به مجموع تابش رسیده به سطح آن جسم در همان طول موج می‌باشد (کمالی و مرادی، ۱۳۸۴: ۸). چون بیشتر پدیده‌های سطح زمین جامد هستند و در آنها امکان گذار انرژی تابش مستقیم (T) وجود ندارد، یا مقدار آن بسیار ناچیز است. می‌توان از آن چشم‌پوشی کرد:

رابطه ۵-۴: $1 = R + A$

مجموع انرژی پراکنده شده (R) و درآشامیده شده (A) همواره عدد "یک" فرض شده است. در صورتی که مقدار انرژی درآشامیده شده (A) بیشتر شود، از مقدار انرژی پراکنده شده از سطح زمین (R)، کاسته می‌شود. در نتیجه بر مقدار انرژی جنبشی جسم افزوده می‌گردد و دمای آن را بالا می‌برد (علیزاده، ۱۳۷۲: ۴۷).

۵-۳. آلبدوی سطوح گوناگون زمین

فرآیند پراکندگی امواج الکترومغناطیس، در درجه نخست به ویژگی سطح پدیده بستگی دارد. در صورتی که طول موج انرژی تابشی بسیار کوچک‌تر از تغییرات ناهمواری سطح زمین باشد،

سطح پدیده به صورت سطح پراکنش تابش، ایفای نقش خواهد کرد. مقدار انرژی پراکنده شده از عناصر سطح زمین با توجه به «ویژگی‌های دمایی» آنها بسیار گوناگون است.

"نسبت انرژی پراکنده شده از سطح یک پدیده، به کل انرژی تابیده شده بر سطح آن را «آلبدو» (Albedo) گویند". به سخن دیگر، انرژی پراکنده شده از سطح یک چیز در سطح زمین برابر است با مجموع انرژی تابیده شده بر سطح آن، منهای انرژی جذب شده توسط آن پدیده و انرژی تابشی که از درون آن پدیده گذر کرده است (علیزاده، ۱۳۷۲: ۴۰). اگر چه گفته شده «آلبدو» از واژه سپیدایی (Whiteness) به معنی نسبت بازتاب داده شده بیناب مرئی تابش آفتاب گرفته شده است و با مفهوم «توانایی بازتاب» که به معنی نسبت بازتاب موج کوتاه خورشیدی است، تفاوت وجود دارد (کمالی و مرادی، ۱۳۸۴: ۸ به نقل از مانتیث، ۱۹۵۹). در اینجا هر دو واژه، مترادف در نظر گرفته شده است.

رابطه ۵-۵: $$E_R\ (\lambda) = E_I(\lambda) - [E_A(\lambda) + E_T(\lambda)]$$

☜ آلبدو معمولاً بر حسب درصد پرتوهای تابیده شده مستقیم آفتاب محاسبه می‌شود:

رابطه ۵-۶: $$R\lambda = E_R(\lambda)/E_I(\lambda) \times 100$$

$E_R(\lambda)$ = انرژی بازتابیده شده از سطح زمین، $R\lambda$ = آلبدو به درصد.

$E_I(\lambda)$ =مجموع انرژی رسیده به سطح زمین.

اختلاف ناهمواری سازه‌های افقی و عمودی سطح زمین، منجر به چندگانگی آلبدوی سطوح گوناگون می‌شود. به سخن دیگر، چگونگی پراکنش تابش رسیده به سطح زمین، به ویژگی سطوح بستگی فراوانی دارد. در حالی که سطوح ناصاف و غیر صیقلی، انرژی تابشی را در تمام جهات پخش می‌نمایند (s)، پاره‌ای از پدیده‌ها بسیار صاف و صیقلی هستند و مانند سطح آیینه، ویژگی انعکاس زاویه‌ای (r) دارند. در این شرایط زاویه بازتاب با زاویه تابش برابر است. به سخن دیگر، در این بازتاب، زاویه بازتاب امواج تابشی مساوی با زاویه برخورد آن امواج با سطح زمین است و فقط در جهت مخالف آن اتفاق می‌افتد (علیزاده، ۱۳۷۲: ۳۷). یعنی آزیموت تصویر امتداد امواج تابشی در سطح تراز با آزیموت تصویر امتداد بازتاب آنها در سطح تراز با یکدیگر وارونه بوده و ۱۸۰ درجه اختلاف دارند. از آنجا که بازتاب زاویه‌ای یک بازتاب جهت دار است، ویژگی‌های زاویه‌ای بازتاب به بلندای خورشید و جهت تابش بستگی دارد. بازتاب زاویه‌ای

با زاویه تابش خورشیدی (α) رابطه وارونه دارد و با کاهش زاویه تابش خورشید، آلبدوی سطوح افزایش پیدا می‌کند. در شرایط عمودی‌تر تابش (از حالت خورشید بالاسر تا زاویه ۴۰ درجه)، بازتاب با شیب ملایم‌تری افزایش نشان می‌دهد، در صورتی که با کاهش بیشتر ارتفاع خورشید، مقدار آلبدو به شدت افزایش پیدا می‌کند. سطوح صاف مانند آب، برف و ...، بازتاب زاویه‌ای قابل توجهی دارند. بنابراین آلبدوی این سطوح، به شدت از زاویه تابش خورشید (α) تأثیر می‌پذیرد. مقدار آلبدو بر روی سطوح برف و یخ دارای سیر روزانه بوده و در بامدادان و پسین هر روز به بیشینه خود و در نیمروز به کمینه روزانه می‌رسد. جدول ۵-۱، رابطه بین درصد بازتاب از سطح آب با زاویه سرسوی پرتو آفتاب را نشان می‌دهد.

جدول ۵-۱: رابطه بین آلبدوی سطح آب و زاویه سرسوی خورشید

زاویه سرسوی خورشید	۵	۲۰	۴۰	۵۰	۶۰	۷۰	۸۰	۸۵
آلبدو	۲	۲/۱	۲/۵	۳/۴	۶	۱۳/۴	۳۴/۸	۵۸/۴
منبع: (قائمی، ۱۳۷۵: ۱۰۲).								

به طور کلی نسبت انرژی پراکنده شده به تمام انرژی رسیده به پدیده‌های سطح زمین، به ویژگی‌هایی چون: زاویه شیب، جهت شیب، رنگ، ضریب زبری و صافی سطوح و حتی حالت جسم مانند درصد نمناکی و ... بستگی دارد. برای مثال آنگستروم (Angestrom) با مرطوب کردن یک زمین شنی مشاهده کرد که نسبت آلبدو از ۱۸ درصد به ۹ درصد و در نی‌زارهای بلند از ۳۲ درصد به ۲۰ درصد کاهش داشته است. وی، علت آن را وجود یک لایه نازک آب روی سطح جسم بیان کرده است که نور می‌تواند از تمام زوایا به فضای درون آن وارد شود در صورتی که فقط شعاعی که در زاویه بازتابی کامل آن قرار دارد، می‌تواند به بیرون برگردد. پس تغییرات روزانه و فصلی نمناکی سطح زمین نیز، به دگرگونی آلبدو در چرخه‌های روزانه و فصلی می‌انجامد (کاویانی، ۱۳۷۸: ۲۷).

☜ پژوهش‌ها بیانگر این است که به جز در سطوح برف و برخی از بیابان‌ها، مقدار آلبدو با عرض جغرافیایی [چندان] دگرگون نمی‌شود. یعنی آلبدو بستگی چندانی به عرض جغرافیایی محل ندارد [و می‌توان از آن چشم پوشی کرد] (قائمی، ۱۳۷۵: ۱۰۲).

جدول ۵-۲: آلبدو برخی از سطوح زمین در باندهای تابش

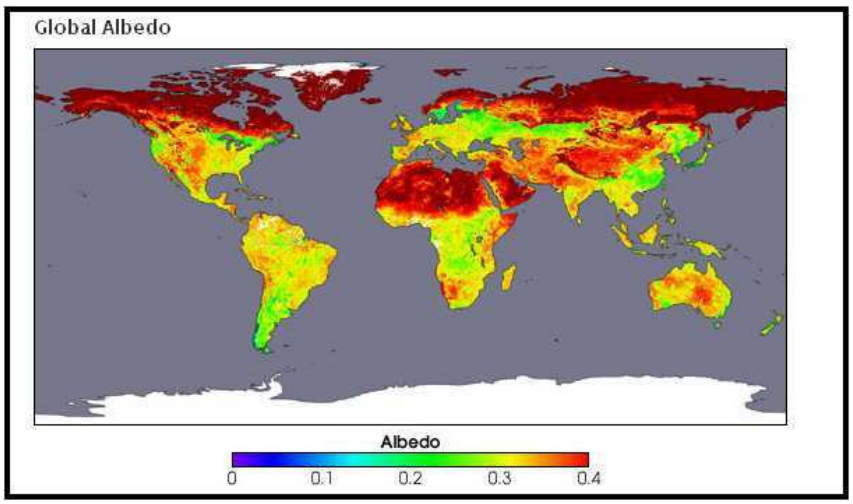
پوشش سطح زمین	R%	پوشش سطح زمین	R%
آسفالت	۵-۱۰	چمن	۱۰-۲۰
برف نو	۷۵-۹۵	یخ ناخالص دائمی	۲۰-۳۰
ابر یکدست	۶۰-۹۰	شنزار	۱۵-۴۰
برف کهنه	۴۰-۷۰	مرتع و کشتزار	۱۲-۳۰
برف خالص دائمی	۵۰-۶۵	مجتمع مسکونی	۱۵-۲۵
تپه ماسه‌ای	۳۰-۶۰	جنگل	۵-۲۰
یخ خالص یخچال	۳۰-۴۶	خاک تیره کشاورزی	۷-۱۱
برف ناخالص دائمی	۲۰-۵۰	سطح آب دریا	۳-۱۰
منبع: (کاویانی، ۱۳۸۷: ۲۶).			

به منظور دگرگون ساختن میکروکلیمای فضای طرح‌های مورد برنامه‌ریزی، ویژگی‌های سطح زمین به دقّت مورد توجه برنامه‌ریزان قرار می‌گیرد. زیرا با تغییر مصنوعی سطح زمین می‌توان ویژگی‌های زاویه تابشی را دگرگون کرد و در نتیجه، تراز گرمایی طرح را عوض کرد (کاویانی، ۱۳۸۷: ۲۷).

دگرگونی ویژگی‌های تابشی به عنوان یک عامل مهّم اقلیمی، در برنامه‌ریزی محیطی:

☜ بر میزان انرژی (I_o) رسیده به واحد سطح زمین ($\acute{A}$) اثر گذار است.

☜ با تغییر مقدار آلبدوی سطوح، مقدار انرژی درآشامیده شده نیز دگرگون می‌شود.



شکل ۵-۱: توزیع جغرافیایی آلبدو در سطح کره زمین

٥-٤. توانایی جذب انرژی در سطح زمین

یکی از واکنش‌های سطح زمین در برخورد با انرژی تابشی، درآشامیدن انرژی تابشی است. درآشامیدن انرژی گرمایی در سطح هر پدیده، افزایش گرمای محسوس آن را به دنبال دارد. پذیرش انرژی در هر سطح، حتی اگر برای تبخیر و یا ذوب آب هم مصرف شود، سرانجام افزایش گرمای محیط را در پی دارد. پذیرش انرژی گرمایی تابیده شده بر سطح زمین، در همه جای آن یکسان نیست. مقدار افزایش گرما، به "توانایی جذب انرژی" توسط سطح زمین بستگی دارد. توانایی جذب گرما، با توجه به ویژگی هر چیز از نظر: «توانایی انتقال گرما»، «چگالی»، «ظرفیت گرمایی»، «توانایی هدایت گرمایی» و «ضریب تماس گرمایی» متفاوت است.

☜ انرژی گرمایی زمین که به مقدار جذب تابش کوتاه موج و بلند موج رسیده به سطح زمین بستگی دارد، در دمای هوا (گرمای محسوس) و رطوبت نسبی (گرمای نهان تبخیر) جلوه می‌نماید.

☜ «توانایی انتقال گرما» به مقدار گرمایی گفته شده که از یکای سطح یک پدیده مشخص گذر کرده و به قسمت‌های پیوسته زیرین آن که یک درجه سلسیوس اختلاف دما دارد، وارد شود. انتقال گرما به سه روش، «تابش»، «رسانش» [بیشتر در مواد جامد] و «همرفت» [در مایعات و گازها]، رخ می‌دهد.

☜ «چگالی» عبارت از وزن یک سانتیمتر مکعب از هر چیز است. «چگالی» هر پدیده با «توانایی انتقال گرمایی» آن رابطه همسو دارد. یعنی هر چیزی که چگالی پایین‌تری دارد، توانایی انتقال گرمایی کمتری نیز خواهد داشت. بنابراین انتقال گرما در اجسام گوناگون مانند چوب و آجر، با اینکه در سرعت یکسان انجام می‌گیرد، امّا در شرایط مساوی و گرادیان گرمایی همسان، مقدار گرمای انتقال یافته از آن دو بسیار تفاوت دارد.

☜ «گنجایش گرمایی» یا «گرمای ویژه» عبارت از توانایی یک پدیده برای نگهداری گرما است. به سخن دیگر، مقدار انرژی لازم برای بالا بردن دمای یک سانتیمتر مکعب از هر چیز به اندازه یک درجه سلسیوس را گرمای ویژه آن پدیده گویند. گنجایش گرمایی هر چیز با توانایی جذب انرژی آن رابطه همسو دارد. در نتیجه گنجایش گرمایی از طریق تأثیر بر مقدار جذب، مقدار «بازتاب انرژی تابشی» را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

☜ «توانایی هدایت گرمایی» یک ویژگی فیزیکی ماده است که نشان دهنده توانایی آن چیز برای هدایت گرما به وسیله جنبش مولکولی است. مقدار گسترش انرژی جذب شده به درون هر پدیده، در یکای زمان و در یکای جرم، را «هدایت گرمایی» آن پدیده گویند. این گونه شار گرمایی بیشتر به داد و ستدهای مولکولی محدود می‌شود، زیرا جابجایی انرژی بیشتر به دلیل تضاد مولکولی انرژی جنبشی است. جهت جریان انرژی، از گرمای بیشتر به گرمای کمتر است. از آنجایی که سطح زمین محل جذب انرژی گرمایی در روز و هرز آن در شب است، بزرگ‌ترین واکنش‌های دمایی روی سطح زمین انجام می‌گیرد. اثر مزبور از سطح زمین به سمت پایین تعدیل می‌شود (کاویانی، ۱۳۸۷: ۵۴). توانایی هدایت گرمایی که از آن با نام «نشت گرما» نیز یاد شده است، با توانایی انتقال گرمایی رابطه همسو و با چگالی و گنجایش گرمایی رابطه وارونه دارد (علیزاده، ۱۳۷۲: ۵۰).

رابطه ۵-۷: $\acute{K} = \frac{K}{c\rho}$

$\acute{K}$ =توانایی هدایت گرمایی جسم. K = توانایی انتقال گرمایی جسم.

c = ظرفیت گرمایی جسم. ρ = چگالی جسم.

☜ «ضریب تماس گرمایی» (Thermal inertia) که به آن «گرمای لختی» و «تنش گرمایی» گویند، عبارت از مقدار مقاومت هر چیز در برابر تغییرات دمایی است که به هنگام گرم شدن یا سرد شدن ظاهر می‌شود. در تعریف دیگری، مقدار نسبت جابجایی گرما بین سطوح دو پدیده

ناهمگون را «ضریب تماس گرمایی» گویند. تغییر دما در پدیده‌هایی که دارای چگالی و ضریب تماس گرمایی بالایی هستند با مقاومت بیشتری انجام می‌گیرد. در نتیجه تغییرات دما برای هر چرخه امواج انرژی تابشی، به طور چشمگیری کاهش پیدا می‌کند (علیزاده، ۱۳۷۲: ۵۰).

رابطه ۵-۸: $P = (Kc\rho)^{\frac{1}{2}}$

P = ضریب تماس گرمایی جسم.

جدول ۵-۳: گرمای ویژه و هدایت گرمایی برخی از پوشش‌های سطح زمین

پوشش سطح زمین	گرمای ویژه Cal/g/grad	گرمای ویژه $Cal/Cm^{-3}/grad$	هدایت گرمایی Cal/ grad /Cm.S
گرانیت	۰/۲	۰/۵۲	۰/۰۱۱
هوا	۰/۲۴	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۵
چوب	۰/۲۲	۰/۲	۰/۰۰۰۴
خاک شنی	۰/۲	۰/۳	۰/۰۰۰۴
خاک شنی مرطوب	۰/۳	۰/۴	۰/۰۰۴
برف نو	۰/۵۱	۰/۰۳	۰/۰۰۰۲
یخ برف	۰/۵۱	۰/۲۲	۰/۰۰۰۷
یخ	۰/۵۱	۰/۴۵	۰/۰۰۵
آب ساکن	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۰۰۱
آهن	۰/۱۱	*	۰/۰۰۵
خاک خشک باتلاقی	۰/۴۴	۰/۱	۰/۰۰۰۱۵
خاک مرطوب باتلاقی	۰/۸	۰/۷	۰/۰۰۲

(علیجانی و کاویانی، ۱۳۷۱: ۸۴).

گسترش گرما در درون هر پدیده از یک سو به نفوذپذیری تابش و از سوی دیگر به توان هدایت گرمایی آن بستگی دارد. برای مثال برای گرم کردن یک سانتیمتر مکعب آب در مقایسه با همین حجم از خاک شنی خشک و یا چوب، به حدود ۵ برابر کالری انرژی بیشتر نیاز است تا به همان مقدار گرم شود. اختلاف سطوح از نظر هدایت گرمایی از این هم شدیدتر است.

هدایت گرمایی در خاک‌ها و سطوح پوشیده از برف به مقدار هوا و یا آبی دارد که روزنه‌های درونی آن را اشغال کرده است. خاک‌های لسی، شنی یا خاک‌های هوموسی در حالت خشک، فاقد توانایی هدایت گرمایی بوده و هر چه متراکم‌تر باشند و یا مقدار رطوبت آنها افزایش پیدا نماید، توان انتقال گرمایی بیشتری می‌یابند. در عناصر سیال که امکان تعادل گرمایی وجود دارد. ذرات تشکیل دهنده جسم، آزادانه حرکت می‌کنند و به گسترش گرما در فضای درونی آن کمک شایانی می‌کنند. پژوهش‌ها نشان داده‌اند که تأثیر اختلاط، به نسبت هدایت مولکولی عناصر متحرک، حدود هزار بار شدیدتر است. به هر حال، گرمای ویژه، هدایت مولکولی متفاوت پوشش‌های متنوع سطح زمین و چگونگی گسترش گرما در درون آن، سبب می‌شود که تغییرات تابشی و گسترش گرما در سطوح خشکی، آب و پوشش گیاهی گوناگون باشد (علیجانی و کاویانی، ۱۳۷۱: ۸۵).

۵-۵. مقدار گسترش تابش جذب شده در سطح زمین

ضخامت لایه‌ای از زمین که تابش در آن پذیرش می‌شود. به طول موج تابش و تراکم ذرات تشکیل دهنده سطح زمین بستگی دارد. تغییرات حاصل از پذیرش انرژی در زمین برهنه تنها در حدود ۲ میلی‌متر از سطح بالایی خاک انجام می‌گیرد. در فرآیند داد و ستد روزانه انرژی در سطح زمین، گرما ابتدا از سطح به لایه‌های زیرین منتقل می‌شود. مقدار شار گرما به اختلاف گرمای قسمت‌های درونی با سطح زمین بستگی دارد. از آنجایی که سطح زمین محل پذیرش انرژی گرمایی در روز و هرز آن در شب است، بزرگ‌ترین واکنش‌های گرمایی روی سطح زمین انجام می‌گیرد. اثر مزبور از سطح به سمت پایین تعدیل می‌شود. شار گرمای سطح زمین در روز از سطح به طرف پایین و در شب از قسمت‌های زیرین به سوی سطح زمین هدایت می‌گردد (کاویانی، ۱۳۸۷: ۵۴). با تغییر جهت شیب گرما در طی شب، گرما از لایه‌های زیرین به سطح زمین و از آنجا به هوا منتقل می‌گردد. این تبادلات گرمایی تا ژرفای حدود ۲۵ تا ۵۰ سانتیمتری صورت می‌پذیرد. در بلند مدت انرژی پذیرش شده در سطح زمین بایستی به اتمسفر و از آنجا به فضای کیهانی خارج گردد تا انرژی گرمایی سیستم زمین، در حالت تراز باقی بماند. انتقال انرژی گرمایی زمین از سه شیوه: «رسانش»، «گرمای نهان تبخیر» و «تابش امواج الکترومغناطیس»، به اتمسفر منتقل می‌شود.

آب‌ها قسمت بیشتر انرژی تابشی خورشید را پذیرش می‌کنند. مقدار پذیرش گرما به شفافیت آب بستگی دارد. ضخامت لایه‌های گیرنده انرژی تابشی در اقیانوس‌ها و دریاها به حدود سه متر می‌رسد. گسترش فصلی گرما در اعماق آب اقیانوس، حدود ۴۰۰ متر می‌رسد. نوسان روزانه گرما در سطح آب‌هایی که کمینه عمق آنها حدود ۲ متر باشد، به مراتب کمتر از خشکی‌هایی است که در شرایط تابشی مساوی قرار دارند (علیجانی و کاویانی، ۱۳۷۱: ۸۶).

- در مجموع انرژی تابیده شده بر سطح آب‌ها در حجمی به مراتب بزرگ‌تر از خشکی‌ها گسترش پیدا می‌کند. گسترش انرژی گرمایی در درون آب‌ها، سبب می‌شود که پهنه‌های آبی در مقیاس ضعیف‌تری نسبت به خشکی‌ها، گرما بدست آورند.
- در مقایسه با خاک‌های کاملاً خشک، بخشی از انرژی درآشامیده شده توسط آب‌ها صرف تبخیر می‌شود.
- انرژی گرمایی حاصل از جذب تابش در اثر حرکات همرفتی آب‌ها، در حجم بسیار وسیعی از آب‌ها گسترش پیدا می‌نمایند.
- از آنجایی که گرمای ویژه آب بیشتر از خاک است، بنابر این در شرایط مساوی پرتوافشانی آفتاب، گرمای محسوس آب‌ها کمتر از گرمای محسوس خشکی‌ها است. برای مثال گرمای ویژه آب ۳ تا ۴ برابر خاک رس است. از این رو در شرایط برابر، گرمای محسوس حجم مشابهی از خاک رس، ۳ تا ۴ درجه نسبت به گرمای آب بالاتر خواهد بود.
- به دلیل گرمای ویژه بالای آب، نوسان‌های گرمایی اقیانوس‌ها نسبت به خشکی‌ها بسیار ضعیف است.

به خاطر روزنه‌های زیاد هوایی که در برف وجود دارد، «آلبدوی زیاد»، «گرمای ویژه بالای» و «هدایت گرمایی ضعیف» برف از عواملی هستند که موجب می‌شوند برف در شرایط تابشی معمولی به راحتی ذوب نشود. حدود ۵ تا ۱۰ درصد انرژی تابشی در سطح برف، درآشامیده شده و مقدار ناچیزی از آن می‌تواند تا عمق ۱۰ سانتیمتری بخش بالایی برف گسترش یابد. «هدایت ضعیف گرمایی برف»، انتقال گرما از زمین به سطوح بالایی برف را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد. بنابر این پوشش برف یک لایه عایق گرمایی برای زمین زیر خود محسوب می‌شود.

پوشش گیاهی از نظر «مساحت»، «ارتفاع»، «تراکم»، «دگرگونی‌های فصلی» و «جنس»، سبب ایجاد پیچیدگی‌هایی در پذیرش انرژی تابشی می‌گردد:

- بیشتر داد و ستد های انرژی گرمایی در سطوح پوشش گیاهی، به صورت واکنش‌های زیستی مانند «تبخیر و تعرق» انجام می‌شود.
- پوشش گیاهی معمولاً توانایی انبار کردن گرما را ندارد.
- بیش از ۱۰ درصد از انرژی تابشی، توانایی گذر کردن از پوشش گیاهی را ندارند. بنابر این زمین‌های زیر چتر پوشش گیاهی بهره ناچیزی از جذب انرژی می‌برند.
- «هدایت گرمایی» در پوشش گیاهی بسیار ناچیز است و مانند پوشش برف لایه‌ای عایق در برابر گرما به شمار می‌آید.
- دگرگونی‌های تابشی فقط در سطح بیرونی پوشش گیاهی انجام می‌پذیرد و تبادل انرژی گرمایی بین سطوح مطبق پوشش گیاهی و سطح زمین به کندی صورت می‌پذیرد (علیجانی و کاویانی، ۱۳۷۱: ۸۸).

۵-٦. توزیع جغرافیایی انرژی تابشی در سطح زمین

ویژگی‌های توزیع جغرافیایی انرژی تابشی خورشید در سطح زمین را می‌توان به صورت زیر طبقه بندی کرد (قائمی، ۱۳۷۵: ۱۹۵).

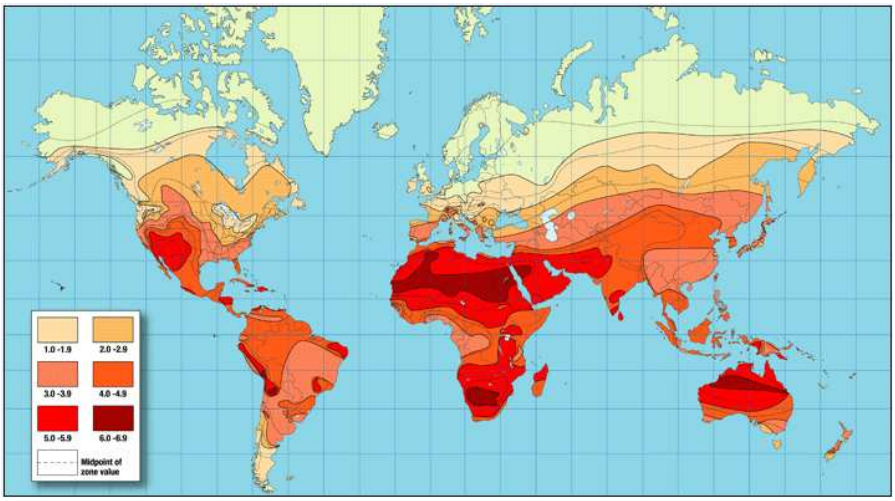
- مقدار انرژی تابشی از ۷۰ کیلو کالری در عرض‌های بالای جغرافیایی تا ۲۲۰ کیلو کالری بر سانتیمتر مربع در سال در صحرای شمال آفریقا تغییر می‌کند. یعنی بیشینه مقدار انرژی تابشی حدود ۳ برابر کمینه مقدار آن است.
- الگوی توزیع انرژی تابشی در عرض‌های متوسط و بالای جغرافیایی، گویای تغییرات فصلی مقدار انرژی گرمایی در این گونه عرض‌ها به ویژه در عرض‌های بالای جغرافیایی است.
- در عرض‌های بالای جغرافیایی، کمینه مقدار انرژی تابشی بر روی اقیانوس‌ها است. این نواحی با داشتن هوای ابرناک تقریباً همیشگی، کمترین انرژی تابشی را دریافت می‌کنند.

- تأثیر ابرناکی هوا در منطقه گرم استوایی در درون کمربند همگرایی میان مداری، سبب شده است که انرژی تابشی رسیده به سطح زمین در ناحیه گرم استوایی، دومین مقدار کمینه را نشان دهد. مرکز کمینه انرژی تابشی بر سطح زمین، نواحی گرم قاره‌ها است که در آن حرکات همرفتی فراوان است و ابرهای جوششی بسیاری وجود دارد. مناطقی مانند آمازون در آمریکای جنوبی، سالانه کمتر از ۱۲۰ کیلوکالری بر سانتیمتر مربع انرژی تابشی دریافت می‌دارند که مشابه مناطقی مانند مرکز و جنوب ژاپن، نواحی دریاچه های بزرگ در آمریکای شمالی، جنوب فرانسه و شمال ایتالیا است. مقدار انرژی رسیده به سطح زمین در نواحی غربی افریقا به ویژه در جنگل‌های کنگو نیز شباهت بسیاری با آمازون دارد.
- بیشترین انرژی تابشی دریافتی سطح زمین، در جاهایی از منطقه گرم مداری دیده می‌شود. جاهایی که مرکز فشار زیاد گسترش یافته و مقدار ابرناکی آسمان ناچیز است. این مناطق بر کمربند بیابانی زمین منطبق است. بزرگ‌ترین نواحی دریافت انرژی که پیوستگی جغرافیایی دارد، منطبق بر نواحی بسیار خشک مانند: صحرای بزرگ افریقا، شبه جزیره عربستان، جنوب و جنوب غرب آسیا، ترکمنستان و گُبی است. سایر نواحی بیشینه دریافت انرژی رسیده به سطح زمین شامل: جنوب غرب امریکای شمالی، شمال مکزیک، شمال شیلی، شمال غربی آرژانتین، جنوب و جنوب غربی افریقا و استرالیا می‌باشند که منطبق بر نواحی خشک بوده و مقدار ابرناکی آنها ناچیز است.

۵-۷. دگرگونی ویژگی‌های سطح زمین و تنظیم انرژی گرمایی

انسان می‌تواند در محدوده‌ای معین به جرح و تعدیل آگاهانه اقلیم محیط زندگی خود بپردازد. این دگرگونی‌های خود خواسته بشری، بیشتر در قلمرو میکروکلیما و مزوکلیما قرار دارد. لگام مقدار انرژی تابشی رسیده به سطح زمین از طریق دگرگونی هندسی سطوح امکان پذیراست. ویژگی‌های فیزیکی سطح زمین از طریق کنترل زاویه تابش مستقیم آفتاب، مقدار آلبدو و در نتیجه مقدار جذب تابش، «تراز انرژی گرمایی» پدیده‌های سطح زمین را در اختیار خود دارند. بنابراین تغییر هندسی سطوح به تغییر زاویه تابش خورشید منجر می‌گردد. با تغییر زاویه تابش خورشید نه تنها شدّت انرژی تابشی کنترل می‌شود که می‌توان از طریق دگرگون ساختن مقدار آلبدو، مستقیماً مقدار پذیرش انرژی گرمایی در سطح زمین را تعیین کرد. آلبدو یکی از ویژگی‌های اساسی سطح زمین است که می‌توان به آسانی آن را دگرگون ساخت.

دست‌کاری و لگام مقدار آلبدو، واکنش‌های مهّم زنجیره‌ای را به دنبال دارد. با تغییر آلبدو می‌توان قدرت جذب انرژی سطوح را عوض کرد و از این طریق تراز انرژی سطوح را تحت تأثیر قرار داد. تنظیم تراز انرژی سطوح منجر به کنترل تراز آب، تنظیم مقدار انرژی گرمایی انبار شده در درون جسم و ... می‌گردد. رنگ‌های به کار برده شده در سطح زمین، باعث دگرگونی آلبدو می‌شود. نتایج یک آزمایش نشان داد که تغییرات حاصل از کاربرد پوششی از پودر سپید (کربنات منگنز) بر روی سطح خاک برهنه، افزایش آلبدو از ۳۰ درصد به ۶۰ درصد را به دنبال داشته است. یعنی رنگ روشن سطح زمین، بازتاب امواج کوتاه آفتاب را به مقدار دو برابر افزایش داد. در نتیجه مقدار انرژی تابشی جذب شده توسط سطح زمین، به نصف کاهش پیدا کرد. با وجود کاهش گسیل تابش طول موج بلند از روی این سطوح، تراز خالص تابش از ۶/۲ به ۱/۱ مگاژول بر متر مربع در روز کاهش یافت. در پی کاهش انرژی گرمایی این سطوح، مقدار تبخیر حدود ۲۰ درصد کاهش داشت. به طور کلی، اثر دگرگونی آلبدو به یک زنجیره تغییرات پیاپی در تراز آب و انرژی منتهی گردید، تغییراتی که تا ۱۰ درجه سلسیوس تفاوت گرمایی در پی داشته است (کاویانی، ۱۳۸۷: ۱۸۴).



شکل ۵-۲: توزیع جغرافیایی انرژی تابشی در سطح زمین

در آزمایش دیگری چمنزاری را به سه قسمت تقسیم کردند. یک قسمت را با پودر گچ به رنگ سفید در آوردند، قسمت دوّم را با دوده سیاه رنگ کردند و قسمت سوم (شاهد) را دست‌کاری نکردند. نتایج آزمایش نشان داد که شرایط بیشینه گرما در فاصله ۱۰ میلی‌متری از سطح خاک در یک روز تابستانی متفاوت است. گرمای قسمت تیره حدود ۶ درجه سلسیوس بالاتر و در قسمت سپید حدود ۸ درجه سلسیوس پایین‌تر از قسمت شاهد بود. در هنگام شب و در شرایط نبود آلبدو این تفاوت‌ها کمتر بود، اگرچه سرمایش قسمت سپید همچنان شدید بوده است. بنابراین دگرگونی‌های انجام شده در مقدار آلبدو به روشنی بر اقلیم گرمایی اثر گذار است و می‌تواند با تغییر رطوبت سطوح بر مقدار تبخیر اثر بگذارد. چنانکه نتیجه این آزمایش نشان داد که پس از سه هفته از گذشت تغییر رنگ سطوح، مقدار رطوبت خاک تیره در عمق ۱۰ میلی‌متری نسبت به خاک شاهد، ۵۰ درصد کاهش یافته در صورتی که در خاک سپید ۵۰ در صد افزایش داشته است. تعدیل آلبدو به کمک تیره ساختن سطوح برف و یخ که ضریب آلبدوی بالایی دارند، بسیار مؤثر است. کاربرد این موضوع در پروژه‌های ذوب برف در سطح جاده‌ها و خیابان‌ها، کشتزارها، حوضه‌های آبی، ذوب یخ‌های دریایی و کوههای یخی برای باز شدن خطوط ارتباطی بسیار اهمیّت دارد. یا اینکه، دیوارهای سنگی روشن می‌تواند برای بازتاب بیشتر نور خورشید به سمت گیاه و افزایش درجه استتار برای کاهش هرز انرژی شبانه به کار رود (کاویانی، ۱۳۸۷: ۱۸۵).

از طریق تغییرات هندسی سطح زمین، می‌توان مقدار انرژی گرمایی تابشی سطوح را به دلخواه تنظیم ساخت. استفاده مناسب‌تر از تابش مستقیم کوتاه موج خورشید می‌تواند از این طریق بدست می‌آید. به طور کلی اثر هندسه تابشی در طیف گسترده‌ای از برنامه‌ریزی‌های محیطی مورد توجه قرار می‌گیرد. فاصله بندی در ردیف درختان باغی و محصولات کشاورزی و جهت یابی درست می‌تواند در افزایش و یا کاهش تابش کوتاه موج خورشیدی و بلند موج زمینی بسیار تعیین کننده باشد. در عرض‌های جغرافیایی بالاتر از ۲۳/۵ درجه، که هرگز زاویه عمودی تابش مستقیم خورشید بر سطوح تراز وجود ندارد، بدون دگرگون کردن شیب زمین امکان بهره‌مندی از بیشینه تابش خورشید پیدا نمی‌شود. برای مثال، یکی از دلایل ایجاد شیار و پشته در کشتزارها، دریافت تابش خورشید با زاویه نزدیک به عمود در دامنه‌های آفتابگیر آن است. به عبارت دیگر، احداث پشته و شیار یک دام تابشی برای تابش مستقیم خورشید و نیز برای تابش

بلند موج زمینی است. به هر حال جهت ردیف پشته‌ها نیز با توجه به اهداف برنامه‌ریزی محیطی، مورد توجه قرار می‌گیرد، چرا که در شیارهای با امتداد «شمالی، جنوبی»، هر دو طرف پشته در طول روز از تابش خورشید بهره‌مند می‌شوند در صورتی که در پشته‌های که دارای امتداد «غربی، شرقی» هستند، فقط دامنه‌های روبه آفتاب از شرایط آفتابگیری مناسب‌تری برخوردارند. ناهموار کردن سطح زمین باعث کسب انرژی گرمایی بیشتر از تابش خورشیدی می‌شود. زیرا پس از انعکاس اولیه نور از یک طرف، این امکان وجود دارد که تابش پخش شده قبل از خروج به سطوح دیگر برخورد نموده و جذب گردد. بنابراین امکان جذب انرژی و کاهش مقدار آلبدو در سطوح ناهموار در مقایسه با سطوح هموار به مراتب بیشتر است. همچنین، تابش طول موج بلند سطوح ناهموار به دلیل استتار و کاهش منظر آسمان محدود و ناچیز است. ضریب منظر آسمان بر روی سطوح ناهموار، همیشه کمتر از واحد است. این موضوع به کاهش هرز گرمای شبانه سطوح ناهموار نسبت به سطوح هموار کمک شایانی می‌کند. به همین دلیل، سیستم شیار و پشته در کشتزارها باعث افزایش گرمای خاک می‌گردد و یا افزایش ضریب ناهمواری سطوح شهری که از ساختمان سازی ناشی می‌شود به تشدید جزیره گرمایی شهر منجر می‌گردد. البتّه سیستم شیار و پشته، جرح و تعدیل اقلیمی آگاهانه و انسان خواسته است. در صورتی که گسترش شهرها و ایجاد جزیره گرمایی، ناشی از جرح و تعدیل‌های غیر عمدی بشری به شمار می‌روند.

کنترل به کمک کاربرد پوشش مصنوعی نیز کوششی است که برای افزایش گرمای سطوح و همچنین جلوگیری از سرمایش بیش از حد بکار می‌رود. پوشش‌های سنتی غالباً برای تهویه بهتر و هدایت گرمایی ضعیفت تر به کار برده می‌شود. این ویژگی‌ها با ایجاد خراش‌های سطحی یا با استفاده از پوشش‌های عایق، مانند کاه، علف خشک شده، پوشال، خرده چوب و ... به وجود می‌آید. در سال‌های اخیر، از پوشش‌های مصنوعی مانند ابر و اسفنج، فیلم‌های پلاستیکی (مات، شفاف، رنگی)، کاغذ و ورق‌های آلومینیومی استفاده می‌شود. نتایج حاصل از کاربرد سه نوع پوشش مصنوعی شامل پلاستیک سیاه، کاغذ و پوشش کاه به ضخامت ۶۰ میلی‌متر برای مخلوطی از خاک لوم و ماسه در استان کانک‌تیکت کشور کانادا (Connecticut)، در مقایسه با تراز انرژی گرمایی زمین بایر به عنوان یک ایستگاه خشک که دارای هرز انرژی به شکل گرمای محسوس ۵۷ درصد، گرمای نهان تبخیر ۳۰ درصد و هدایت گرمایی ۱۳ درصد است، نشان داد که: اگرچه سطوح تیره و سیاه رنگ به دلیل داشتن آلبدوی پایین، مقدار جذب انرژی بالایی

دارند که به افزایش دمای سطحی می‌انجامد. با این حال گرمای مزبور نه به درون خاک نفوذ می‌کند و نه به مصرف تبخیر آب می‌رسد بلکه روی سطح آن نقش یک عایق خشک و غیر قابل نفوذ برای آب ایفا می‌کند و تنها راه خروج گرما به سوی بالا، از طریق گرمای محسوس بوده است. دمای سطح خاک به ویژه در شب، هنگامی که پوشش پلاستیکی مانع هرز زیاد تابش امواج بلند زمینی بوده، بالاتر از گرمای قطعه شاهد بوده است. از این رو پوشش مصنوعی باعث ذخیره رطوبت خاک شده، گرمای آن را تعدیل و به عنوان یک منبع گرمای محسوس برای اتمسفر عمل می‌کند. پوشش کاغذی در مقایسه با سایر پوشش‌ها، کمترین مقدار تراز انرژی را نشان داد. دلیل اصلی آن را در آلبدوی زیادتر آن باید جستجو کرد. با این حال گرمای سطح پوشش به دلیل عدم نفوذ گرما در درون زمین تقریباً برابر با قطعه شاهد بوده است. بنابراین شار گرمای پوشش کاغذی، حدود نیمی از قطعه شاهد، گرمای سطحی ۶ درجه سلسیوس پایین‌تر و تبخیر آن به گونه‌ای چشمگیر کمتر از قطعه شاهد بود. پوشش‌های کاهی قدرت هدایت گرمای بسیار ناچیزی دارند، از این رو اگرچه آلبدوی آن با قطعه شاهد برابر است امّا گرمای سطحی آن تقریباً برابر با پوشش پلاستیکی سیاه رنگ است. به هر حال اگرچه گرمای نفوذی پوشش کاهی در مقایسه با سایر پوشش‌ها در پایین‌ترین حد قرار داشت، امّا به همان شدّت مانع هرز آب به هوا نبوده است. هدف از کاربرد پوشش‌ها در تابستان حفظ ذخیره آب خاک است و در زمستان پوشش‌های مزبور می‌تواند برای حفظ گرمای خاک و در نتیجه حفاظت از یخبندان به کار گرفته شود (کاویانی، ۱۳۸۷: ۱۸۶).

فصل ششم

کاربرد انرژی تابشی خورشید در کشاورزی

٦-١. فرآیند فتوسنتز

رشد یک گیاه مستقیماً به توانایی آن در دریافت تابش خورشیدی و تبدیل آن به مواد هیدروکربور یا به طور کلی به ماده خشک مربوط می‌شود (ضیاتبار احمدی و رائینی، ۱۳۷۴: ۹). در فرآیند فتوسنتز، گیاهان انرژی خورشیدی را می‌گیرند و به کمک آن گازکربنیک و آب را به مواد قندی تبدیل می‌سازند. در این کنش و واکنش است که گیاهان، اکسیژن را آزاد و نیتروژن و مواد فسفری را که برای زندگی و رشد خود نیاز دارند، جذب می‌کنند. برآیند این پدیده، ذخیره‌سازی زیستی انرژی خورشیدی است. واکنش گیاهان نسبت به طول موج‌های بیناب تابش گوناگون است. مقدار جذب در امواج فرابنفش، آبی و قرمز بسیار بالا است. این امواج در فرآیند فتوسنتز گیاهان به مصرف می‌رسند. امواج مادون قرمز نزدیک از درون گیاهان گذر کرده و یا پراکنده می‌شوند. این فرآیند از گرم شدن بیش از حد گیاه جلوگیری می‌کند. هر گونه تغییری در دامنه بیناب تابش خورشیدی می‌تواند رشد گیاهان را تحت تأثیر قرار دهد. مانند ابری شدن آسمان که به طور عمده امواج تابش مستقیم آفتاب که بزرگتر از ۰/۶ میکرومتر باشد را کاهش می‌دهد، باید گفت در این محدوده بیشتر پدیده گذرایی تابش بر سطح برگ گیاه رخ می‌دهد، از این رو، ابری شدن آسمان اثر زیادی بر فتوسنتز نمی‌گذارد. افزایش آلودگی هوا که به جذب بیشتر امواج کوتاه موج خورشید می‌انجامد در بلند مدت، فرآیند فتوسنتز و در نتیجه رشد و زندگی گیاهان را مورد تهدید قرار می‌دهد.

مقدار فتوسنتز و در نتیجه مقدار رشد گیاه، نه تنها به ترکیب بیناب امواج انرژی تابشی آفتاب، که به مقدار و شدت آن نیز وابستگی دارد. مقدار تابش مورد نیاز برای رسیدن به آستانه اشباع به گونه گیاه وابسته است. آستانه اشباع تابش برای گیاهان سایه پسند، پایین و برای گیاهان آفتاب

دوست، بالاتر است. به هر حال شدت‌های بالای تابش به دلیل ایجاد گرمای زیاد، ممکن است سبب پژمردگی و مرگ گیاه شود (کمالی و مرادی، ۱۳۸۴: ۱۴۶). بر پایه رابطه بین طول موج (λ) و انرژی هر کوانتوم (E) بر حسب ژول، انرژی مورد نیاز فتوسنتز گیاهان بدست می‌آید:

رابطه ۶-۱: $E = hc/\lambda$

c = سرعت نور در خلأ، h = برابر با ($۶/۶۲ \times ۱۰^{-۳۴}$) ژول در ثانیه است.

بر پایه این رابطه، یک کوانتوم به صورت میانگین ($۴/۱۵ \times ۱۰^{-۱۹}$) ژول انرژی دارد. با توجه به اینکه یک گرم مولکول گلوکز ($C_6H_{12}O_6$) که در کالری‌متر سوزانده شود، برابر با ۲۸۰۹ کیلو ژول انرژی دارد. با تقسیم یک ششم این مقدار، یعنی (CH_2O) بر یک مول فوتون (عدد آواگادرو، $۶/۰۲۴۸ \times ۱۰^{۲۳}$)، انرژی موجود در یک مولکول (CH_2O) برابر با ($۷/۸ \times ۱۰^{-۱۹}$) ژول بدست می‌آید. با این مقدار انرژی که در هر بار جذب، ۸ کوانتوم تثبیت می‌شود، دارای راندمان برابر ۲۳/۵ درصد است. این راندمان در شرایط کنترل شده آزمایشگاهی بدست می‌آید و در شرایط کشتزار، راندمان کمتر از این مقدار است. سازنده‌های فتوسنتزی یا کلروفیل‌ها تنها بخش کوچکی از تابش خورشیدی را جذب می‌کنند و قسمت بزرگتر تابش به سازنده‌های غیر فتوسنتزی و زمین برخورد می‌کند. گیاهی که در شرایط تنش قرار داشته باشد، راندمان بسیار پایین خواهد داشت (کمالی و مرادی، ۱۳۸۴: ۱۷۹).

٦-۲. تراز تابش خورشیدی و فرآیند تبخیر و تعرق (Evapotranspiration)

تبخیر فرآیند فیزیکی است که طی آن آب از حالت مایع به گاز تغییر شکل می‌دهد. هر گاه ماده‌ای تغییر حالت دهد، یعنی حالت‌های جامد، مایع، بخار، میعان، تصعید یا کریستالی شدن به یکدیگر تبدیل شوند، مقداری انرژی گرمایی لازم است که به ماده داده شود و یا از آن گرفته شود تا جسم بدون تغییر گرمای خود، تغییر حالت فیزیکی دهد. انرژی مورد نیاز برای تبخیر آب در گرمای صفر درجه سلسیوس برابر با ۵۹۷/۳ کالری بر گرم است. انرژی مصرف شده در فرآیند تبخیر را «گرمای نهان تبخیر» گویند. باید توجه داشت که مقدار گرمای نهان تبخیر با افزایش گرمای ماده کاهش پیدا می‌کند (قائمی، ۱۳۷۵: ۲۸۱).

رابطه ۶-۲: $E_v = 597.3 - o.564 \, . \, T$

E_v = مقدار انرژی مصرف شده برای تبخیر یک گرم آب (گرمای نهان تبخیر).

T = دما به درجه سلسیوس، که برای فرآیند تبخیر اصولاً از صفر شروع می‌شود.

جدول ۶-۱: گرمای مورد نیاز به کالری برای تبخیر یک گرم آب در دماهای متفاوت

دما به سلسیوس	۰	۱۰	۲۰	۳۰	۴۰	۱۰۰
گرمای نهان تبخیر	۵۹۷/۳	۵۹۱/۷	۵۸۶	۵۸۰/۴	۵۷۴/۷	۵۴۰/۹

☜ با توجه به تابش کوتاه موج رسیده از خورشید و آسمان (R_c) و نیز تبادل تابش موج بلند بین زمین و آسمان (T_a)، می‌توان تراز انرژی گرمایی (H) را بدست آورد. تراز انرژی گرمایی، شامل گرمایی است که صرف تبخیر (E)، گرم شدن هوا (K)، گرم شدن جسم (S) و گرم شدن محیط (C) می‌گردد:

رابطه ۶-۳: $H = R_c(1 - \rho - f_{PAR})\delta T_a^4\left(0.36 - 0.092\sqrt{e_d}\right)(1 - 0.09m)$

رابطه ۶-۴: $H = E + K + S + C$

☜ برای دوره‌های کوتاه مدت، می‌توان از مقادیر (S) و (C) صرف نظر کرد:

رابطه ۶-۵: $H = E + K$

ρ = آلبدو. f_{PAR} = نسبت تابش فعال فتوسنتز با تابش کوتاه موج و حدود ۰/۵ است.

e_d = فشار بخار اشباع در دمای نقطه شبنم. m = کسری از آسمان که با ابر پوشیده شده است و تقریباً برابر با (n/N) می‌باشد.

فاکتور اصلی در تعیین تراز انرژی گرمایی پوشش گیاهی، تابش کوتاه موج خورشیدی است. قسمت بزرگی از انرژی گرمایی جذب‌شده در سطح برگ به مصرف تبخیر (Evaporation) از سطح گیاه می‌رسد. قسمت بزرگی از آب مورد نیاز گیاه که به وسیله ریشه جذب می‌شود، از طریق تعرق (Transpiration) روزنه‌های موجود در سطح برگ‌ها به اتمسفر انتقال می‌یابد. تفاوت «تبخیر» و «تعرق» این است که فرآیند تبخیر با صرف انرژی که در اختیار دارد و با توجه به سایر شرایط هواشناسی، در تمام مدت شبانه روز می‌تواند تداوم داشته باشد. در صورتی که تعرق به دلیل بسته شدن روزنه‌های سطح برگ‌ها در شب هنگام انجام نمی‌پذیرد. «تبخیر و

تعرق موجود» برابر تبخیر از سطح آب و تعرق از گیاه می‌باشد. در حالی که «تبخیر و تعرق پتانسیل» شامل بیشینه تبخیر و تعرق است که در شرایط هواشناسی معین و در صورت موجود بودن آب می‌تواند انجام پذیرد. چون در طبیعت، آب به اندازه توان تبخیر و تعرق وجود ندارد، «تبخیر و تعرق موجود» همواره کمتر از «تبخیر و تعرق پتانسیل» است.

٦-٣. ارزیابی مقدار تبخیر و تعرق

روش‌ها و مدل‌های گوناگونی به منظور محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل ارائه شده‌اند که بیشتر آنها، فاکتور تابش کوتاه موج خورشید یا تابش خالص را در ساختار خود دارند. یکی از آنها مدلی تجربی است که به طور مستقیم تبخیر و تعرق پتانسیل (PET)را بر پایه تابش کوتاه موج خورشیدی (R_S) و با کاربرد عامل تجربی (C)، محاسبه می‌کند (کمالی و مرادی، ۱۳۸۴: ۱۸۲):

رابطه ۶-۶: $$PET = C \times R_S$$

♠ تورک (Turc)، برای برآورد تجربی مقدار تبخیر و تعرق یک رابطه ارائه کرده است که قدرت تبخیری هوا را بر حسب تابعی از تابش ورودی اتمسفر (R_a) و میانگین گرمای هوا ارزیابی و تعیین می‌کند. این فرمول در کشور فرانسه کار برد زیادی پیدا کرد و سپس در مناطق دیگر هم مورد استفاده قرار گرفت. وی با توجه به رطوبت نسبی هوا دو حالت را در نظر گرفت. حالت اوّل، هنگامی است که رطوبت نسبی از ۵۰ درصد بیشتر است (طاوسی، ۱۳۷۲: ۲۶۱):

رابطه ۶-۷: $$PET = 0.0133\left(\frac{T_m}{T_m+15}\right) \times \left[R_a\left(10.54 + 36.31\frac{n}{N}\right) + 50\right]$$

♠ حالت دوّم، هنگامی است که رطوبت نسبی هوا کمتر از ۵۰ درصد باشد. در این صورت رابطه تورک با ضریب (q) محاسبه می‌شود:

رابطه ۶-۸: $$q = \left(1 + \frac{50-R_H}{70}\right)$$

PET =تبخیر و تعرق پتانسیل به میلی‌متر در روز. T_m = میانگین دمای ماهانه هوا به سلسیوس.

R_a = تابش معادل، یا تابش ورودی برابر با مقدار آبی که بر حسب میلی‌متر در روز تبخیر می‌شود.

n = میانگین ساعات واقعی ماهانه هوای آفتابی. N = میانگین ماهانه طول نجومی روز.

R_H = میانگین ماهانه رطوبت نسبی هوا.

♠ ماکینگ (Makkink)، رابطه‌ای واسط بین روش‌های تجربی و فیزیکی ارائه داد که بر پایه سنجش تابش مستقیم خورشید استوار است و با دمای هوا اصلاح می‌گردد. وی چنین استدلال می‌کرد که هر چقدر دمای هوا بالاتر باشد، سهم انرژی تابش خورشیدی در تبخیر و تعرق افزایش پیدا می‌نماید. رابطه ماکینگ ابتدا در هلند بکار گرفته شد:

رابطه ۶-۹: $PET = -0.3 + b \times w \times R_s$

رابطه ۶-۱۰: $R_s = R_a - \left(0.25 + 0.5 \times \frac{n}{N}\right)$

رابطه ۶-۱۱: $b = 1.165 + 0.43 \times U_m - 0.00575 \times R_H$

R_s = ترکیب تابش مستقیم و پراکنده خورشیدی رسیده به سطح زمین.

b = ضریبی مربوط به رطوبت نسبی و سرعت باد.

w = ضریب گرما در ارتباط با شیب فشار اشباع و ارتفاع محل از سطح دریا.

U_m= سرعت باد بر حسب مقیاس بافورت.

♠ در روش پنمن (Penman)، تبخیر و تعرق پتانسیل از رابطه زیر بدست می‌آید:

رابطه ۶-۱۲: $PET = C[\, w \times R_n + (1 - w)(E_s - e) \times f(u)]$

C = ضریب اصلاحی است که به سرعت باد و مقدار تابش رسیده به سطح (R_s) بستگی دارد.

w = ضریب گرمایی (شیب فشار اشباع نسبت به درجه گرما). $f(u)$ = تابع باد.

R_n = تراز تابش، یا تابش خالص بر حسب میلی‌متر آبی که در سطح زمین تبخیر می‌سازد.

E_s = فشار بخار اشباع بر حسب هکتوپاسکال. e = فشار بخار موجود به هکتوپاسکال.

u = مسافتی که باد در ارتفاع دو متری از سطح زمین در یک شبانه روز به کیلومتر می‌پیماید.

☜ تابش خالص (R_n)، عبارت از تفاوت تابش کوتاه موج رسیده به سطح زمین (R_{ns}) و تابش بلند موج گسیل شده از سطح زمین (R_{nl}) است.

رابطه ۶-۱۳: $R_n = R_{ns} - R_{nl}$

رابطه ۶-۱۴: $R_{ns} = (1 - \rho) \times R_s$

رابطه ۶-۱۵: $R_s = R_a \times \left(0.2 + 0.5\, \frac{n}{N}\right)$

رابطه ۶-۱۶: $R_{nl} = f(T) \times f(e) \times f(\frac{n}{N})$

رابطه ۶-۱۷: $f(T) = 1.98 \times 10^{-9}(273 + T_m)^4$

رابطه ۶-۱۸: $f(e) = 0.34 - 0.044 \times \sqrt{e}$

رابطه ۶-۱۹: $f\left(\frac{n}{N}\right) = 0.1 + 0.9 \times \frac{n}{N}$

رابطه ۶-۲۰: $f(u) = 0.27 + (1 + (\frac{u}{100}))$

رابطه ۶-۲۱: $C = 0.79 + 0.034 \times u_m + 0.028 \times R_s$

ρ = ضریب پراکنش است که معمولاً برای سطوح گوناگون خشکی عدد ۰/۲۵ را انتخاب کرده‌اند.
$f(T)$ = تابع درجه دمای هوا. $f(e)$ = تابع رطوبت هوا. $f\left(\frac{n}{N}\right)$ = تابع نسبت میانگین واقعی تابش آفتاب به میانگین طول روز نجومی. T_m = میانگین دمای ماهانه هوا بر حسب درجه کلوین. u_m= سرعت باد بر حسب مقیاس بافورت.

جدول ۶-۲: رابطه بین سرعت باد بر حسب متر در ثانیه و نیروی باد در مقیاس بافورت

درجه بافورت	نوع باد	سرعت	درجه بافورت	نوع باد	سرعت
۰	آرام	۰-۰/۲	۷	باد شدید	۱۳/۹-۱۷/۱
۱	حرکت آرام	۰/۳-۱/۵	۸	باد توفانی	۲۰/۷-۱۷/۲
۲	نسیم سبک	۱/۶-۳/۳	۹	توفان	۲۰/۸-۲۴/۴
۳	نسیم ملایم	۳/۴-۵/۴	۱۰	توفان شدید	۲۴/۵-۲۸/۴
۴	باد خفیف	۵/۵-۷/۹	۱۱	شبه هاریکان	۲۸/۵-۳۲/۶
۵	باد ملایم	۸/۰-۱۰/۷	۱۲	هاریکان	۳۲/۷<
۶	باد تند	۱۰/۸-۱۳/۸	منبع: (علیجانی و کاویانی، ۱۳۷۱: ۴۴۱).		

☜ بیشینه فشار بخار آب در هوا (E_s) تابع دمای هوا می‌باشد. مقدار (E_s) بر پایه میانگین دمای هوا محاسبه می‌شود.

رابطه ۶-۲۲:

$E_s = 33.8639[(0.00738\,T + 0.8072)^8 + 0.000019(1.8\,T + 48) + 0.001316]$

T = دمای هوا به سلسیوس و E_s = بر حسب هکتوپاسکال.

جدول ۶-۳: ضریب مربوط به تابش (w) با توجه به دمای هوا به سلسیوس و ارتفاع به متر

ارتفاع / دما	۰	۵۰۰	۱۰۰۰	۲۰۰۰	۳۰۰۰	۴۰۰۰
۲	۰/۴۳	۰/۴۵	۰/۴۶	۰/۴۹	۰/۵۲	۰/۵۵
۴	۰/۴۶	۰/۴۸	۰/۴۹	۰/۵۲	۰/۵۵	۰/۵۸
۸	۰/۵۲	۰/۵۴	۰/۵۵	۰/۵۸	۰/۶۱	۰/۶۴
۱۰	۰/۵۵	۰/۵۷	۰//۵۸	۰/۶۱	۰/۶۴	۰/۶۶
۱۲	۰/۵۸	۰/۶۰	۰/۶۱	۰/۶۴	۰/۶۶	۰/۶۹
۱۴	۰/۶۱	۰/۶۲	۰/۶۴	۰/۶۶	۰/۶۹	۰/۷۱
۱۶	۰/۶۴	۰/۶۵	۰/۶۶	۰/۶۹	۰/۷۱	۰/۷۳
۱۸	۰/۶۶	۰/۶۷	۰/۶۹	۰/۷۱	۰/۷۳	۰/۷۶
۲۰	۰/۶۸	۰/۷۰	۰/۷۱	۰/۷۳	۰/۷۵	۰/۷۸
۲۲	۰/۷۱	۰/۷۲	۰/۷۳	۰/۷۵	۰/۷۷	۰/۷۹
۲۴	۰/۷۳	۰/۷۴	۰/۷۵	۰/۷۷	۰/۷۹	۰/۸۱
۲۶	۰/۷۵	۰/۷۶	۰/۷۷	۰/۷۹	۰/۸۱	۰/۸۳
۲۸	۰/۷۷	۰/۷۸	۰/۷۹	۰/۸۱	۰/۸۲	۰/۸۴
۳۰	۰/۷۸	۰/۷۹	۰/۸۰	۰/۸۲	۰/۸۴	۰/۸۵
۳۲	۰/۸۰	۰/۸۱	۰/۸۲	۰/۸۴	۰/۸۵	۰/۸۶
۳۴	۰/۸۲	۰/۸۲	۰/۸۳	۰/۸۵	۰/۸۶	۰/۸۸
۳۸	۰/۸۴	۰/۸۵	۰/۸۶	۰/۸۷	۰/۸۸	۰/۹۰
۴۰	۰/۸۵	۰/۸۶	۰/۸۷	۰/۸۸	۰/۸۹	۰/۹۰

منبع: (مهدوی، ۱۳۷۱: ۱۲۱).

جدول ۶-۴ (الف) : تابش خورشیدی رسیده به زمین (R_a)، برابر تبخیر به میلی‌متر در روز (نیمکره شمالی)

عرض جغرافیایی	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن
۵۰	۳/۸	۶/۱	۹/۴	۱۲/۷	۱۵/۸	۱۷/۱
۴۶	۴/۹	۷/۱	۱۰/۲	۱۳/۳	۱۶/۰	۱۷/۲
۴۲	۵/۹	۸/۱	۱۱/۰	۱۴/۰	۱۶/۲	۱۷/۳
۴۰	۶/۴	۸/۶	۱۱/۴	۱۴/۳	۱۶/۴	۱۷/۳
۳۸	۶/۹	۹/۰	۱۱/۸	۱۴/۵	۱۶/۴	۱۷/۲
۳۶	۷/۴	۹/۴	۱۲/۱	۱۴/۷	۱۶/۴	۱۷/۲
۳۴	۷/۹	۹/۸	۱۲/۴	۱۴/۸	۱۶/۵	۱۷/۱
۳۲	۸/۳	۱۰/۲	۱۲/۸	۱۵/۰	۱۶/۵	۱۷/۰
۳۰	۸/۸	۱۰/۷	۱۳/۱	۱۵/۲	۱۶/۵	۱۷/۰
۲۸	۹/۳	۱۱/۱	۱۳/۴	۱۵/۳	۱۶/۵	۱۶/۸
۲۶	۹/۸	۱۱/۵	۱۳/۷	۱۵/۳	۱۶/۴	۱۶/۷
۲۴	۱۰/۲	۱۱/۹	۱۳/۹	۱۵/۴	۱۶/۴	۱۶/۶
۱۸	۱۱/۶	۱۳/۰	۱۴/۶	۱۵/۶	۱۶/۱	۱۶/۱
۱۲	۱۲/۸	۱۳/۹	۱۵/۱	۱۵/۷	۱۵/۷	۱۵/۵
۶	۱۳/۹	۱۴/۸	۱۵/۴	۱۵/۴	۱۵/۱	۱۴/۷
۰	۱۵/۰	۱۵/۵	۱۵/۷	۱۵/۳	۱۴/۴	۱۳/۹

منبع: (مهدوی، ۱۳۷۱: ۱۲۲).

☜ با استفاده از رابطه ماگنوس (Magnus)، رابطه ساده تری نیز ارائه شده است (علیجانی و کاویانی، ۱۳۷۱: ۴۴۵). این رابطه با استفاده تجربی از داده‌های آماری بدست آمده و از طریق فیزیکی قابل اثبات نیست (موحد دانش، ۱۳۷۲: ۳۷).

رابطه ۶-۲۳:

$$E_s = 611 \times \exp^{\left(\frac{17.27\,T}{237.3+T}\right)}$$

E_s= بر حسب پاسکال (نیوتن بر مترمربع)، هر هکتوپاسکال یا میلی‌بار برابر با ۱۰۰ پاسکال.

جدول ۶-۴ (ب) : تابش خورشیدی رسیده به زمین (R_a)، برابر تبخیر به میلی‌متر در روز (نیمکره شمالی)

عرض جغرافیایی	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
۵۰	۱۶/۴	۱۴/۱	۱۰/۹	۷/۴	۴/۵	۳/۲
۴۶	۱۶/۶	۱۴/۵	۱۱/۵	۸/۳	۵/۵	۴/۳
۴۲	۱۶/۷	۱۵/۰	۱۲/۲	۹/۱	۶/۵	۵/۲
۴۰	۱۶/۷	۱۵/۲	۱۲/۵	۹/۶	۷/۰	۵/۷
۳۸	۱۶/۷	۱۵/۳	۱۲/۸	۱۰/۰	۷/۵	۶/۱
۳۶	۱۶/۷	۱۵/۴	۱۳/۱	۱۰/۶	۸/۰	۶/۶
۳۴	۱۶/۸	۱۵/۵	۱۳/۴	۱۰/۸	۸/۵	۷/۲
۳۲	۱۶/۸	۱۵/۶	۱۳/۶	۱۱/۲	۹/۰	۷/۸
۳۰	۱۶/۸	۱۵/۷	۱۳/۹	۱۱/۶	۹/۵	۸/۳
۲۸	۱۶/۷	۱۵/۷	۱۴/۱	۱۲/۰	۹/۹	۸/۸
۲۶	۱۶/۶	۱۵/۷	۱۴/۳	۱۲/۳	۱۰/۳	۹/۳
۲۴	۱۶/۵	۱۵/۸	۱۴/۵	۱۲/۶	۱۰/۷	۹/۷
۱۸	۱۶/۱	۱۵/۸	۱۴/۹	۱۳/۶	۱۲/۰	۱۱/۱
۱۲	۱۵/۵	۱۵/۶	۱۵/۲	۱۴/۴	۱۳/۳	۱۲/۵
۶	۱۴/۹	۱۵/۲	۱۵/۳	۱۵/۰	۱۴/۲	۱۳/۷
۰	۱۴/۱	۱۴/۸	۱۵/۳	۱۵/۴	۱۵/۱	۱۴/۸

منبع: (مهدوی،۱۳۷۱: ۱۲۲).

☜ رطوبت نسبی هوا (R_H)، نشان دهنده مقدار (e) است.

رابطه ۶-۲۴: $e = (E_s \times R_H)/100$

☜ تفاوت فشار بخار اشباع (E_s) و فشار بخار موجود (e)، در یک دمای مشخص را «کمبود اشباع» (d_e) گویند.

رابطه ۶-۲۵: $d_e = E_s - e$

٦-٤. ارزیابی مقدار نیاز آبی گیاه

نیاز آبی گیاه، مقدار آبی است که توسط گیاه برای رشد، سوخت و ساز و تشکیل بافت‌های گیاهی، فرآیند تعرق و همچنین تبخیر از سطح گیاه به کار گرفته می‌شود. محاسبه نیاز آبی گیاهان در برآورد مقدار آب مورد نیاز جهت آبیاری کشتزارها و باغات بسیار اهمیّت دارد. نیاز آبی گیاه با مقدار تابش رسیده به سطح زمین رابطه مستقیم دارد. هرچه انرژی بیشتری به سطح زمین بتابد، درجه گرمای محیط نیز بالاتر می‌رود و مقدار تبخیر و تعرق گیاه افزایش می‌یابد. در نتیجه نیاز آبی گیاه افزایش پیدا می‌نماید.

یکی از مهمترین روش‌های برآورد نیاز آبی گیاهان، روش تابشی است. این روش برای کلیه مناطق و ایستگاههای هواشناسی قابل استفاده است و در ایستگاههایی که یکی از عناصر اقلیم شناسی از جمله دما، ساعات آفتابی، ابرناکی و یا تابش اندازه‌گیری می‌شوند ولی سایر داده‌ها مانند سرعت باد و رطوبت در دسترس نیستند، کاربرد فراوان دارد. به هر حال در صورتی که داده‌های تابش موجود نباشد، با بهره‌گیری از داده‌های مربوط به ابرناکی، ساعات آفتابی و یا بیشینه و کمینه دمای هوا، می‌توان نیاز آبی گیاهان را برآورد کرد (کمالی و مرادی، ۱۳۸۴: ۱۸۳).

رابطه ۶-۲۶: $ET_O = a + b \times w \times R_s$

ET_O = تبخیر و تعرق گیاه مشخص، به میلی‌متر در روز.

R_s = تابش خورشید بر حسب تبخیر برابر آن به میلی‌متر در روز.

w = فاکتور وزنی که به ارتفاع و گرمای محل، بستگی دارد.

a & b = ضرایب ثابت که برای هر محل جداگانه محاسبه می‌شود.

☜ نیاز خالص آبیاری (NIR) از روی تبخیر و تعرق پتانسیل (PET) و ضریب گیاهی (K_c) برای گیاهان گوناگون، برآورد می‌شود. مقدار (K_c) برای مناطقی که دارای آب و هوای خشک و نیمه خشک مانند قسمت بزرگی از کشور ایران هستند به شرح جدول (۶-۵) است (علیزاده، ۱۳۶۸: ۱۵۶).

رابطه ۶-۲۷: $NIR = K_c \times PET$

☜ نخست باید (PET) را از روی آمار طشت تبخیر و یا به وسیله روابط تجربی محاسبه نموده و پس از اعمال ضریب (K_c)، نیاز خالص آبیاری در ماه‌های مختلف سال را بدست آورد.

جدول ۶-۵: ضریب گیاهی (K_c) برای محاسبه نیاز خالص آبیاری

ماه / گیاه	یونجه	پنبه	چغندر	گوجه فرنگی	مرکبات
مارس	۰/۷۴	–	–	–	–
آوریل	۰/۷-۰/۸۴	۰/۳	۰/۳	–	۰/۵
می	۰/۸-۰/۹	۰/۴	۰/۶	–	۰/۵
ژوئن	۰/۸-۱/۱	۰/۶	۰/۸۵	۰/۴۵	۰/۵۵
ژوئیه	۰/۹-۱/۲	۰/۸	۰/۹۵	۰/۸	۰/۶
اوت	۰/۹	۰/۸	۰/۹۵	۰/۸	۰/۶
سپتامبر	۰/۹	۰/۷	۰/۴	۰/۸	۰/۶
اکتبر	۰/۷-۰/۸	۰/۶	–	۰/۷	۰/۶
نوامبر	۰/۷-۰/۷۵	–	–	–	۰/۶

٦-۵. خشک کردن محصول و دانه

استفاده از آفتاب برای خشک کردن دانه‌ها و محصولات کشاورزی یکی از قدیمی‌ترین و گسترده‌ترین کاربردهای انرژی خورشیدی است. در برخی موارد محصولات قبل از برداشت، بایستی در معرض نور آفتاب قرار گیرند و کاملاً خشک شوند. این ویژگی مستلزم وجود هوای آفتابی و آسمان بدون ابر و بارش در روزهای پیش و حین برداشت محصول می‌باشد. بنابراین در کشتزارهای آبی نیز باید آبیاری محصولات قطع شود تا عمل درو کردن و جداسازی دانه‌ها (بوجاری)، به آسانی صورت پذیرد. یکی از مهمترین دلیل کشت نشدن گندم در استان پر باران و بسیار نمناک گیلان، این است که روزهای ابری و بارانی در فصل رسیدن گندم، اجازه خشکیدن دانه‌ها را نمی‌دهد. این روش بسیار ساده و کم هزینه، خشک شدن محصولات به طور طبیعی را سبب می‌گردد. حتی گاهی لازم است محصولات برداشت شده تا مدتی در معرض آفتاب قرار گیرند تا به خوبی خشک شوند.

پاره‌ای از محصولات کشاورزی با استفاده از نور خورشید به خشکبار تبدیل می‌شوند. خشک کننده‌های مدرن به گونه‌ای ساخته شده‌اند که علاوه بر اینکه آسیب دیدن محصولات را به کمینه ممکن می‌رسانند، موجب خشک شدن سریع و یکنواخت محصول می‌شوند و محصولی با

کیفیت خوب تحویل می‌دهند. بخش‌های اساسی یک خشک کننده خورشیدی شامل «قطعه زمینی محصور»، «سینی‌های خشک کننده پوشیده شده» یا قفسه‌ها و یک «کلکتور خورشیدی» است. هوای گرم شده درون کلکتور خورشیدی می‌تواند به صورت طبیعی گردش کند یا به وسیله یک پروانه به گردش در آید. اندازه کلکتور خورشیدی و سرعت گردش هوا به مقدار مواد و نمناکی آنها و همچنین مقدار تابش آفتاب بستگی دارد. در آب و هوای گرم و خشک ممکن است خشک کننده مورد نیاز نباشد. در این اقلیم‌ها، بخش جنوبی دیوار با شیشه پوشانده می‌شود تا به نور خورشید اجازه ورود داده شود (کمالی و مرادی، ۱۳۸۴: ۱۸۳).

٦-٦. تابش خورشید و نظام مدیریت سنتی آبیاری در مناطق خشک

در نظام‌های سنتی آبیاری کشتزارها به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران، واحدهای تقسیم آب در سه گروه «واحدهای زمینی»، «واحدهای حجمی» و «واحدهای زمانی» طبقه بندی شده‌اند (پاپلی‌یزدی و لباف‌خانیکی، ۱۳۷۷: ۵۲). به کارگیری از هر یک از این واحدها و یا ترکیبی از آنها به شرایط جغرافیایی و آب و هوایی محل، به ویژه مقدار آب بستگی داشت. از بین این سه نظام، «واحدهای زمانی» که مدت زمان بهره‌مندی هر سهامدار از آب را تعیین می‌کند، ویژه مناطق خشکی است که به خاطر کمبود منابع آبی، آب ارزش فراوانی دارد. بنابراین در هر جایی که «واحدهای زمانی» مبنای تقسیم آب قرار گرفته است نیاز به سنجش زمان، موجب کاربرد ساعت آفتابی و یا ساعت آبی در محل شده است. در این سیستم به دو ویژگی آب و هوایی که ناشی از ویژگی‌های تابش خورشیدی در هر مکان است توجه خاص و دقیق وجود داشته است:

- مدت تابش خورشید (طول روز) و تفاوت طول شب و روز در طول سال.
- تفاوت انرژی تابشی میان شب و روز و در نتیجه اختلاف تبخیر و تعرق گیاهی و تبخیر از سطح آب جاری شده در سطح کرت‌ها در کشتزار، که بازده آبیاری را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

برای مثال «مدت زمان بین طلوع و غروب خورشید (طول روز) و همچنین مدت زمان بین غروب و طلوع خورشید (طول شب)، در برخی از نواحی خشک و نیمه خشک ایران به عنوان «واحد» تقسیم آب بین سهامداران هر کشتزار انتخاب شده بود، که در برخی نواحی به آن «طاق» گفته شده است. با توجه به اینکه نسبت به عرض جغرافیایی، طول شب و روز یکسان

نیست و در دوره گرم سال که دوره رشد گیاهان است، نیاز آبی گیاهان به دلیل گسترش سطح برگ‌ها و افزایش دمای هوا بسیار بالا است. «واحد» تقسیم آب در روز و شب، متفاوت است. به این صورت که «طاق» شب کمتر از «طاق» روز در نظر گرفته می‌شد. اختلاف در تقسیم آب بین سهامداران در روز و شب، به دو شیوه حل می‌شد:

- با توجه به کاهش گرمای هوا و دمای سطح خاک کشتزار در شب و در نتیجه کاهش مقدار تبخیر و تعرق، بازده آبیاری در شب بیشتر از روزهای گرم و آفتابی در دوره گرم مناطق خشک و نیمه‌خشک است. یک پژوهش نشان می‌دهد که بازده آبیاری، در شب ۱/۵ برابر روزانه آن است. از این رو سهم طاق شب که تا ۴/۵ ساعت کمتر از طاق روز در منطقه مورد مطالعه است، نه تنها با اختلاف طول شب و روز محل در دوره گرم سال مطابقت دارد که با کاهش تبخیر و تعرق در شب هنگام نیز تطابق دارد. زیرا با کاهش دمای هوا در شب، انرژی بیشتری نیز برای مقدار معین تبخیر مصرف می‌شود (طاوسی، ۱۳۸۴: ۱۰۲).
- نوبت آبیاری هر طاق در مدارهای پیاپی گردش آب، جابجا می‌شدند. یعنی هر طاق مشخص از سهام کشتزار در دو چرخه پیاپی آبیاری، یک بار در شب و یک بار در روز، نوبت آبیاری داشت. به این ترتیب کوتاهی زمان هر طاق در نوبت شب در نوبت بعدی که در روز بود جبران می‌گردید (طاوسی، ۱۳۸۴: ۱۰۲).

٦-۷. گرم کردن گلخانه‌ها

یکی از کاربردهای انرژی خورشیدی در بخش کشاورزی پرورش گل‌ها، درختان و درختچه‌های زینتی و کاشت انواع سبزی‌های گلخانه‌ای است. شیشه گلخانه اجازه ورود به امواج کوتاه تابش خورشیدی را به درون محفظه گلخانه می‌دهد در حالی که به تابش بلند موج گسیل شده از سطوح درونی گلخانه اجازه خروج نمی‌دهد.

تأمین نور برای گیاهان گلخانه‌ای بسیار مهم است. در روزهای ابری و زمستانی و در مناطقی که مقدار نور کمتر است از نورهای مصنوعی استفاده می‌کنند. گلخانه باید در جهتی ساخته شود که در جهت نور باشد. معمولاً گلخانه‌ها را طوری می‌سازند که حداکثر بهره‌وری از نور را داشته و حتی‌الامکان از عناصر سایه انداز به دور باشد. حتی جنس پوشش گلخانه‌ها در تأمین نور مناسب از نظر شدت و کیفیت و به کار گیری در مراحل مختلف تولید نشاء و رشد رویشی و

رشد زایشی دارای اهمیت است. با توجه به اینکه ترکیبات مختلف نور مرئی یعنی بیناب ۰/۷-۰/۴ میکرومتر، منبع اصلی انرژی برای گیاهان به شمار می‌آیند، در شرایطی که همه فاکتورها از جمله میزان CO_2، دما و نم در حد مطلوب باشد برای انجام عمل فتوسنتز به شدت نوری به میزان متوسط نیاز است. اگر شدت نور کم و ضعیف باشد فتوسنتز و بالطبع رشد محصول کاهش یافته و در صورتی که شدت نور از حد اپتیمم فراتر باشد با کاهش فتوسنتز افت قابل ملاحظه محصول رخ می‌دهد و بعضاً به دلیل افزایش درجه گرما به خصوص در مرحله گل‌دهی محصول، سقط گل‌ها و ریزش میوه دیده می‌شود. در واقع با افزایش شدت نور فتوسنتز و تولید صورت نخواهد گرفت و این به دلیل خاصیت اشباع نوری گیاه است. بنابراین اهمیت شدت نور مناسب و کیفیت نور مناسب در تولید محصول غیر قابل انکار است. منتهی نورها با شدت نور پایین‌تر از ۰/۴ میکرومتر در رشد محصول تأثیر منفی داشته و به همین علت استفاده از پوشش‌های مقاوم به امواج تابشی فرابنفش در پوشش گلخانه‌ها آشکار می‌شود. نیازهای نوری گیاهان کاملاً متفاوت است. گل رز و میخک بیشینه رشد خود را در شرایط نور کامل (تابستان) خواهند داشت در حالی که گیاهانی که بخش سبز آنها مد نظر است مثل بگونیا، برای ایجاد برگ‌های سبز تیره نیاز به محیطی در حدود ۴۰٪ سایه از اواسط بهار تا اواسط پاییز دارد.

کیفیت نور عامل مهم دیگری است که در تولید اقتصادی حائز اهمیت است. طول موج کمتر از ۰/۴ میکرومتر زیان آور است که با چشم قابل رؤیت نیست. طول موج ۰/۷۵-۰/۷ میکرومتر که به نام «قرمز دور» نامیده می‌شود و بیرون از حس بینایی انسان است، با وجودی که در فتوسنتز موثر نیست اما برای رشد گیاه ضرورت دارد. طول موج ۰/۸-۰/۷۵ میکرومتر در رشد گیاه تأثیر ندارد ولی جلوگیری از خروج آن از گلخانه بار گرمایی گلخانه را کاهش خواهد داد. با استفاده از پلاستیک‌های نگه‌دارنده امواج تابشی با طول موج ۰/۸-۰/۷۵ میکرومتر، می‌توان از فرار انرژی گرمایی فضای درونی گلخانه در این باند تابشی جلوگیری کرد. کیفیت نور از این جهت مهم است که مثلاً قرار گرفتن گیاه در معرض طیف آبی باعث کاهش رشد، سفتی اندام‌ها و تیرگی رنگ آنها می‌شود و بالعکس قرار گرفتن گیاه در معرض نور قرمز باعث نرمی و لطافت اندام‌ها، افزایش میان‌گره‌ها و افزایش رشد گیاه می‌شود. با این وجود برای رشد کامل گیاه، طول موج‌های مرئی نور لازم است و توصیه می‌شود در صورت امکان در محیط گلخانه، از نورهای سفید و زرد استفاده همزمان به عمل آید. گفتن این مسئله بسیار مهم است که برای

تمام گیاهان به استثنای گیاهان سایه پسند در بخشی از فصول سال (اواسط پاییز تا اوایل بهار) که میزان نور طبیعی کمتر است، در صورت افزایش میزان شدت نور و نیز افزایش طول دوره نوری مقدار محصول هم افزایش می‌یابد. بنابراین استفاده از نورهای مکمل در بین این فصول مطلوب به نظر می‌رسد. به عنوان مثال در اثر افزایش طول دوره تاریکی رشد گیاهانی مثل رز و ارکیده متوقف، اندازه گل‌ها کوچک، ساقه‌ها ظریف و طول گیاه به طور غیر طبیعی کوتاه می‌شود که بر روی بازارپسندی این گیاه تأثیر منفی می‌گذارد و با تأمین نور مکمل این نارسائی‌ها بر طرف خواهد شد.

برای استفاده از نور موجود در فصل زمستان نسبت به تابستان تراکم بوته‌ها بایستی کمتر در نظر گرفته شود و در صورت ایجاد خزانه برای تولید نشاء استفاده از نور مکمل برای جلوگیری از رقابت نوری بوته‌ها ضروری است.

در رابطه با عامل نور آشنایی با طول دوره نوری یا فتوپریودیسم مخصوصاً زمانی که هدف تولید گل‌های شاخه بریده می‌باشد حائز اهمیت است. گیاهان از این نظر به سه دسته روز کوتاه، روز بلند و بی‌تفاوت تقسیم بندی می‌شوند. بعضی از این گیاهان برای ورود به رشد زایشی و گل‌دهی به طول روز کمتر از ۱۲ ساعت نیاز دارند (نیاز به تاریکی بیشتر) که روز کوتاه نامیده می‌شوند. نمونه گیاهان روز کوتاه داوودی است که برای گل‌دهی دست کم به ۱۲ ساعت تاریکی نیاز دارد که این امر از اوایل مهر به بعد صورت می‌گیرد و قبل از آن گیاه فقط رشد رویشی خواهد داشت.

درگلخانه‌های مدرن با استفاده از سلول‌های نوری (فتوسل) یا استفاده از پرده‌های مخصوص مقدار نور ورودی به گلخانه به طور خودکار تنظیم می‌شود. زیرا گاهی در فصول گرم سال، کاهش شدت نور ورودی مورد نظر است که در گلخانه‌های معمولی با پاشیدن ترکیبات کدر کننده، نصب پرده‌های مخصوص یا چتایی ممکن می‌باشد. زمانی که عمل ایجاد نشاء درون اتاقک‌های کشت انجام می‌شود، استفاده از لامپ‌های فلورسنت به دلیل یکنواختی نورافشانی و گرمای تولیدی کمتر بسیار مناسب است و نصب ورقه‌های آلومینیوم جهت بازتابش نور تولیدی مطلوب است. دمای محیط در موقع جوانه زنی و تابش نور بایستی در حد ۲۰ تا ۲۷ درجه سلسیوس ثابت نگه داشته شود، به همین جهت استفاده از فن تهویه، بخاری و ترموستات محیطی جهت تنظیم دما لازم است (جعفرپناه و همایی، ۱۳۸۷).

فصل هفتم

برخورد متقابل انرژی تابش آفتاب با سطوح گوناگون شهر

۷-۱. تابش خورشیدی در مناطق شهری

ساختار کلی شهر و مسئله شهرنشینی بر تراز تابش اثر بسزایی دارد. ساختار شهر بر دگرگونی ترکیبات اتمسفری، ناهمواری سطوح و اختلاف شکل آلبدوی سطوح اثر می‌گذارد. انرژی تابشی خورشیدی (مستقیم) و آسمان (پراکنده)، ضمن عبور از اتمسفر آلوده شهرها به شدّت دستخوش دگرگونی می‌گردد. یکی از ویژگی‌های بارز اتمسفر شهرهای بزرگ، تشکیل چتر هوای آلوده است. این حالت تحت شرایط تجمع و تراکم مواد آلاینده حاصل از فعالیت‌های شهری به وجود می‌آید. چتر هوای آلوده معمولاً در زیر سطح اینورژن تشکیل شده و به صورت گنبدی از هوای آلوده، سطوح شهری را در بر می‌گیرد. بیشینه ضخامت چتر آلودگی در مرکز شهر بوده و به تدریج به سمت حاشیه شهر و نواحی پیرامونی از ضخامت آن کاسته می‌شود.

مقدار تابش رسیده به سطوح شهری به طبیعت و مقدار مواد آلاینده هوای شهر بستگی دارد. اتمسفر شهری دارای مواد آلاینده از جمله گازهای سمّی، گازهای گلخانه‌ای، مواد رادیواکتیو، ذرات معلق به ویژه دوده کربن، سرب، آلومینیوم و ترکیبات سیلیکات و ... است. این ذرات آلاینده یک منبع گرمایی به حساب می‌آیند. مقدار گسترش شهر، تراکم ساختمان‌ها و سازه‌های شهری و نوع فعالیت‌های انسانی از عوامل تأثیرگذار بر تولید ذرات آلاینده در هوای شهرها محسوب می‌شوند. به خاطر وجود این ذرات، مقدار جذب تابش خورشیدی در طی روز در لایه مجاور سطح زمین افزایش یافته و سبب گرم شدن هوا می‌گردد.

دومین گروه آلاینده‌های اتمسفر شهری، گازهایی مانند دی‌اکسید سولفور، منواکسید کربن، هیدروکربورها، اکسیدهای نیتروژن و ... هستند. مصرف سوخت‌های فسیلی در صنایع، کارخانجات، ساختمان‌های مسکونی، بازرگانی، اداری و ترافیک وسائل موتوری در شهرها مهمترین عوامل تولیدکننده این گازها به شمار می‌روند. دی اکسید کربن متصاعد شده از

نواحی شهری به اتمسفر می‌تواند در جذب گرما و افزایش گرما کارگر باشد و آلودگی هوای شهری را تشدید نماید. برخورد پرتوهای خورشیدی با مواد آلاینده و شیمیایی منجر به اثرات فتوشیمیایی در اتمسفر شهری می‌گردد (عشقی و قنبرزاده، ۱۳۸۲: ۱۹۰). آلاینده‌های شهری در جذب بخش‌هایی از بیناب امواج تابشی به طور انتخابی عمل می‌کنند و باعث می‌شوند تا هوای فراز شهر، حدود ۴۰ درصد از امواج فرابنفش تابش خورشیدی را جذب کند. در شرایط آلودگی بالای هوا، در صد جذب تا مرز ۹۰ درصد نیز افزایش پیدا می‌نماید. در یک شهر بزرگ صنعتی، مقدار تابش ورودی تا ۲۰ درصد نسبت به نواحی پیرامونی آن می‌تواند کاهش داشته باشد. مقدار کاهش، به تغییرات فصلی و تراکم آلاینده‌ها نیز وابسته است. در روزهایی که هوا بسیار آلوده باشد و خورشید هم در ارتفاع پایین قرار گرفته باشد، مقدار کاهش ورودی امواج کوتاه آفتاب از مرز ۳۰ درصد هم بالاتر می‌رود (کاویانی، ۱۳۸۷: ۲۳۳).

بیشینه آلودگی هوا که در بخش مرکزی شهرها وجود دارد، حدود ۵ تا ۶ برابر انرژی تابشی را بیشتر از مناطق پیرامونی شهرها جذب می‌کند. مواد آلاینده در فصل زمستان به ویژه در ساعات ۸ تا ۱۶ به بیشینه فصلی و روزانه خود می‌رسند. یکی از عوامل افزایش تراکم آلودگی هوای شهری، پدیده واژگونی دمای هواست. مواد آلاینده بین ۲۵ تا ۵۵ درصد تابش ورودی را کاهش می‌دهند. رنگ آسمان، افزایش ضریب پخش تابش، شکست نور در اتمسفر و کاهش شدید میدان دید نیز ناشی از تراکم بالای مواد آلاینده در هوای شهر است (عشقی و قنبرزاده، ۱۳۸۲: ۱۹۰).

متناسب با افزایش آلودگی هوای شهری و کاهش امواج کوتاه موج خورشید، نسبت امواج پراکنده افزایش می‌یابد و تضاد بین سایه و نور کاهش پیدا می‌کند. رنگ آسمان در شرایط نبود ابر، به اندازه مواد تشکیل دهنده اتمسفر بستگی دارد. در شرایط هوای پاک، قطر مواد اتمسفری نسبت به طول موج کوتاه، کمتر است، از این‌رو آسمان آبی دیده می‌شود. آلاینده‌های هوای شهری سبب می‌شوند که قطر ذرات هوای شهر نسبت به مناطق روستایی بزرگ‌تر باشد. این ویژگی باعث می‌گردد که همه امواج تابشی مرئی به صورت یکسان پخش شوند. ترکیب امواج مرئی پراکنده شده، سبب رنگ شیری و سفید آسمان بر روی شهر می‌شود. انتشار بیشتر امواج بلند جوّ به سوی سطح زمین نیز در شهرها به دلیل تراکم بیشتر آلاینده‌ها نسبت به مناطق پیرامونی آنها است. اثر آلودگی اتمسفر شهری بر تابش و تراز انرژی گرمایی، جنبه‌های گوناگونی را در بر می‌گیرد:

- پخش امواج کوتاه تابش خورشیدی توسط آلاینده‌های اتمسفری به کاهش پرتو افکنی مستقیم آفتاب بر سطوح شهری منجر می‌شود. اثرات شهر بر امواج کوتاه تابش خورشیدی در فصل سرد سال حدود ۳۴ درصد، در فصل گرم سال حدود ۲۰ درصد و سالانه حدود ۲۲ درصد، کاهش دارد (Sellers & Robinson,1998:182)، (W.O.M,1998).
- جذب امواج فرابنفش توسط گازها و ذرات معلق آلاینده هوای شهر و تبدیل آن به گرمای محسوس، سبب افزایش گرمای هوا می‌گردد.
- جذب امواج بلند تابش زمینی توسط آلاینده‌های هوای شهر، تغییر تراز انرژی گرمایی شهر را در پی دارد و از این راه به گرمایش اقلیم شهری کمک می‌کند.
- کاهش میدان دید در مناطق شهری از تمرکز آلاینده‌ها اتمسفری ناشی می‌شود.
- تغییر در تراز انرژی تابشی سطوح شهری نه تنها از تراکم آلاینده‌های اتمسفری سرچشمه می‌گیرد که این تراز به دلیل ایجاد سطوح هندسی مصنوعی و تغییرات آلبدوی حاصل از آن نیز دچار اختلال می‌شود (عشقی و قنبرزاده، ۱۳۸۲: ۱۱۵).

۷-۲. جرح و تعدیل‌های غیر عمدی ناشی از ساختمان سازی

شرایط فیزیکی سطح زمین مانند شیب، جهت، جنس، بافت، رنگ، و ... به شدت بر ویژگی‌های تابش خورشیدی اثر دارد. در نواحی شهری تغییرات سطوح بسیار شدید است. سطح شهرها به جای خاک و پوشش گیاهی، با موزائیک، آسفالت، سیمان، سنگ، آجر، شیشه و ... پوشش داده شده است. ساختمان‌ها، گذرگاه‌ها، پل‌ها و سایر سازه‌های گوناگون شهری، تغییرات فراوانی در افزایش ناهمواری سطح زمین ایجاد می‌نمایند و تغییرات تراز تابشی در سطوح گوناگون زمین را موجب می‌شوند. از این رو، اختلافات آب و هوایی در مقیاس کوچک درون شهری بسیار بارز است. برای مثال هنگام گذشتن از مرکز شهر به طرف یک فضای سبز، تغییر شرایط میکروکلیمایی به سهولت قابل احساس می‌باشد (عشقی و قنبرزاده، ۱۳۸۲: ۲۱).

چگونگی استقرار ساختمان سبب دگرگونی در وضعیت تابش، دما، نم و سایر ویژگی‌های آیرودینامیکی محیط پیرامونی می‌گردد:

♠ مهمترین اثر تابشی ساختمان را می‌توان در کاهش در یافت تابش مستقیم آفتاب در قسمت‌های سایه‌گیر، تغییر برخورد زاویه تابش مستقیم آفتاب روی سطوح شیب دار سازه‌ها و افزایش دریافتی تابش پراکنده خلاصه کرد. با توجه به ساختمان‌های متراکم و آسمان خراش‌های شهری، زاویه برخورد تابش مستقیم آفتاب با سطوح شهری در پاره‌ای از سطوح تا آستانه ۹۰ درجه می‌رسد و مقدار انرژی تابشی مستقیم آفتاب را در یکای سطح، به بیشینه ممکن افزایش می‌دهد. افزایش تابش پراکنده آفتاب رسیده بر سطح دیوارهای عمودی بناهای متراکم شهری از چندین عامل همزمان ناشی می‌گردد. از یک سو، پخش امواج کوتاه تابش خورشیدی توسط آلاینده‌های موجود در هوای شهر و از سوی دیگر، کاهش منظر آسمان در سطوح شهری، نقش «هم افزایی» یا «سینرژی مثبت» را در پیدایش این پدیده به عهده دارند. کاهش منظر آسمان بر روی سطوح عمودی بناها و سطوح تراز گذرگاه‌های نسبتاً تنگ و باریک، سبب می‌شود که امواج پراکنده شده از سطوح (به شدّت گوناگون شهری) به سمت یکدیگر تابیده شوند.

♠ شکل هندسی و حالات سطوح بر مقدار آلبدو اثرگذار است. پراکنش امواج کوتاه تابش مستقیم خورشید به وسیله ساختمان‌ها و سازه‌های شهر به مقدار آلبدوی سطوح گوناگون آنها وابسته است که معمولاً نسبت به سطوح هموار مناطق پیرامونی شهرها کمتر است. کاهش منظر سطوح شهری، که نتیجه وجود گذرگاه‌های تنگ و باریک و سازه‌های متراکم شهرها است، به کاهش آلبدوی مناطق شهری کمک می‌کند. به سخن دیگر، کاهش مقدار آلبدو در سطوح شهری از هندسه ساختمان‌های شهری (کاهش منظر) سرچشمه می‌گیرد. میانگین آلبدوی شهرها در مقایسه با مناطق روستایی به غیر از جنگل‌ها و سطوح پوشیده شده از خاک‌های تیره، حدود ۱۵ درصد پایین‌تر است. بعلاوه شکل آلبدوی سطوح شهری نیز متفاوت از سطوح پیرامونی آنها می‌باشد. ناهمواری ناشی از سطوح افقی و عمودی سازه‌های گوناگون شهری، به آلبدوی چندگانه منجر می‌گردد. ساختمان‌ها در دو طرف خیابان، باعث اشکال گوناگونی از دالان‌های شهری شده و اختلاف آلبدوی سطوح را تشدید می‌نمایند. در شهرها طی یک مسافت کوتاه، ریخت شناسی سطوح به سرعت دگرگون می‌شوند و متناسب با سرعت تغییر ویژگی‌های فیزیکی سطوح، تغییرات آلبدو نیز نمایان می‌گردد. تفاوت آلبدوی سطوح شهری از یک سو به رنگ، شکل هندسی، جنس، بافت و ریخت شناسی سطوح وابسته است و از سوی دیگر، از تغییرات زمانی زاویه تابش، ترکیبات و آلاینده‌های اتمسفری ناشی می‌گردد. بخش مهمی از انرژی تابشی وارد شده به سطوح شهری، به صورت گرمای محسوس، و ذخیره

گرمایی در ساختمان‌ها تبدیل شده و تراز انرژی گرمایی شهر را دگرگون می‌سازد. مقدار ذخیره گرمایی در مصالح ساختمانی به جنس فیزیکی و رنگ آنها وابسته است. هر اندازه ذخیره گرمایی ساختمان‌ها بیشتر باشد، گرمای ورودی و انتقال یافته به درون ساختمان افزایش می‌یابد و در نتیجه مصرف انرژی برای سرمایش فضای اندرونی ساختمان بیشتر می‌گردد. هوای فراز شهر از هوای مناطق پیرامونی آنها گرم‌تر است. برآیند کلی جرح و تعدیل‌های غیر عمدی ناشی از ساختمان سازی، افزایش گرمای محسوس شهرها است. اثر جزیره گرمایی شهر، روشن‌ترین گواه برای بیان جرح و تعدیل‌های ناخواسته آب و هوایی است (کاویانی، ۱۳۸۷: ۲۳۵).

♠ یکی دیگر از برآیندهای کاهش منظر و افزایش استتار آسمان در سطوح متراکم شهری این است که امواج بلند گسیل شده از هر سطح، به سطوح دیگر برخورد کند و افزایش تابش ورودی سطوح در تمام شبانه روز را فراهم می‌سازد. گسیل قسمتی از امواج بلند دیوار ساختمان‌های بلند مرتبه به سوی پایین به تشدید موضوع منجر می‌شود. این پدیده، کاهش سرمایش سطوح شهری به ویژه سطوح تراز گذرگاهها را در پی دارد (کاویانی، ۱۳۸۷: ۲۱۵).

♠ تغییرات سطوح و افزایش رواناب‌های حاصل از بارندگی و هدایت رواناب‌ها به درون مجاری فاضلاب شهری سطوح شهری موجب خشک شدن سریع سطوح شهری و کاهش تبخیر و تعرق می‌شود. در نتیجه انرژی جذب شده در سطوح که بایستی صرف تبخیر رطوبت سطحی شود به صورت گرمای محسوس به هوای شهر انتقال پیدا می‌کند. کاهش گسیل گرمای نهان تبخیر از سطوح شهری، مربوط به جنس سطوح مانند سیمان، آسفالت، سنگ فرش و ... است که در آن تبخیر از سطح زمین به کمینه ممکن می‌رسد. در فضاهای سبز شهری حدود «دو سوم» انرژی تابشی رسیده به سطح پوشش گیاهی صرف فرآیند تبخیر و تعرق می‌شود. در صورتی که در سطوح خیابان‌ها همین مقدار به شکل گرمای محسوس به هوا انتقال می‌یابد و باقیمانده آن به صورت ذخیره انرژی گرمایی در مصالح ساختمان‌ها و سازه‌های شهری انبار می‌شود. به این ترتیب انرژی گرمایی درآشامیده شده در سطوح شهری به دلیل سطوح فیزیکی خشک، صرف تبخیر نمی‌شود، بلکه به صورت گرمای محسوس موجب افزایش گرمای هوای شهر می‌گردد. در شرایط هوای خشک، میزان تبخیر و تعرق در مرکز شهر به حدود صفر می‌رسد. در نتیجه ۷۰ تا ۸۰ درصد تابش درآشامیده شده در سطوح شهری، موجب افزایش گرمای هوا می‌شود (عشقی و قنبرزاده، ۱۳۸۲: ۱۰۸).

♠ ضریب هدایتی مصالح ساختمانی گوناگون است. به این دلیل تراز انرژی بر سطوح مختلف شهری متفاوت است و گرادیان گرمایی سطوح شهری بالاتر از نواحی پیرامونی آنها است. مثلاً تراز انرژی دیوار یک ساختمان با تراز انرژی آسفالت کف خیابان یکسان نیست. این اختلافات عمدتاً به تفاوت جنس، رنگ، بافت ضریب هدایت گرمایی، زاویه شیب سطوح، آزیموت سطوح و ... بستگی دارد. چنانکه مقدار انرژی تابشی خورشیدی رسیده به سطوح در هنگام نیمروز، به دلیل زاویه عمودی‌تر آفتاب در کف خیابان‌ها بیشتر از سطح دیوارهای عمودی است.

♠ تراز گرمایی سطوح بستگی به زاویه انتشار تابش امواج بلند از سطح زمین دارد. ضخامت اتمسفر نسبت به افزایش زاویه نسبت به امتداد شاقولی، افزایش می‌یابد. ضخامت اتمسفر در زاویه سرسوی (۴۸ درجه ۱/۵ برابر)، (۶۰ درجه ۲ برابر) و (۷۱ درجه ۳ برابر) ضخامتی را دارد که در سرسو داراست. از این رو با افزایش زاویه سرسوی تابش زمینی، ضخامت اتمسفر در مسیر تابش افزایش پیدا می‌نماید و تضعیف تابش زمینی را موجب می‌گردد. همین طور موانع ناشی از ناهمواری‌ها نیز به همین ترتیب افزایش یافته و تابش مؤثر زمینی (بازتاب مؤثر) را به شدت کاهش می‌دهد. زیرا امواج بلند زمین تاب توسط ترکیبات اتمسفری به ویژه ترکیبات درشت‌تر قسمت‌های پایینی اتمسفر و سایر عوامل استتار، جذب‌شده و یا پراکنده‌شده و بخشی از آن به سمت زمین برگشت داده می‌شود. اندازه گیری‌های دوبویس (Dubois,1929) امکان تعیین تابش مؤثر بلند موج را برای مجموعه‌ای از ناهمواری‌های گوناگون فراهم کرده است (کاویانی، ۱۳۸۷: ۳۵). برای مثال، هنگامی که سطح تراز محل به طور یکنواخت با زاویه شیب سطوح بلند پیرامون خود محصور گردد که در اصطلاح به آن چاله یا گودال گویند. میزان تابش مؤثر سطح گودال برای زوایای مختلف شیب دامنه‌های مشرف، همواره نسبت به سطح آزاد تراز، کاهش نشان می‌دهد. هرچه زاویه شیب عامل استتار (مثل دیوار) بیشتر باشد، درصد کاهش تابش مؤثر نیز بیشتر می‌گردد. زیرا زوایای تابشی نزدیک به سطح تراز، سهم ناچیزی در خروج انرژی گرمایی سطح زمین دارند. با فرض اینکه خیابانی دارای امتداد نامحدود باشد و ردیف خانه‌های هر دو حاشیه آن، هم ارتفاع و برابر با عرض خیابان باشد، به طوری که در تمام سطح خیابان زاویه تابش بلند موج از ۴۵ درجه کمتر نباشد، در این صورت تابش مؤثر شبانه سطح خیابان ۴۵ درصد از کل تابش یک سطح تراز بدون حصار است. به هر صورت درصد تابش قسمت‌های مختلف سطح خیابان متفاوت است و کناره‌های آن که به ساختمان‌ها نزدیک‌تر

است و از حفاظت بیشتری برخوردار است، تابش مؤثر کمتری نسبت به وسط خیابان دارند. سطوح دیوارهای دو حاشیه خیابان نیز گسیل تابش دارند که مقدار آن به دلیل ممانعت متقابل، کمتر از دامنه‌های آزاد است (ردیف سوم جدول ۷-۱).

جدول ۷-۱: انتشار تابش مؤثر امواج بلند سطوح محصور نسبت به یک سطح باز و تراز به درصد

زاویه انتشار	۰	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۳۰	۴۵	۶۰	۷۵	۹۰
گودال	۱۰۰	۹۹/۶	۹۸/۲	۹۵/۵	۹۱/۵	۹۷/۳	۵۴/۹	۸۲/۲	۷/۹	۰
دامنه	۱۰۰	۹۹/۶	۹۸/۶	۹۷	۹۵/۱	۹۰	۷۹/۶	۶۶/۷	۵۲/۸	۳۹/۶
دیوار	۱۰۰	۹۹/۷	۹۹/۲	۹۸/۸	۹۷/۹	۹۵/۱	۸۷/۷	۷۷/۲	۶۳/۹	۵۰
سطح خیابان	۱۰۰	۹۳	۸۶/۲	۷۹/۷	۷۳/۷	۶۲/۲	۴۵/۲	۲۹/۶	۱۴/۳	۰
وسط خیابان	۱۰۰	۹۹/۳	۹۸/۴	۹۷/۶	۹۵/۸	۹۰/۲	۷۵/۴	۵۴/۴	۲۷/۹	۰
منبع: (کاویانی،۳۷: ۱۳۸۷ به نقل از دوبویس، ۱۹۳۴).										

۷-۳. جزیره گرمایی شهر

میانگین کمینه دمای هوای شهری ۵ تا ۶ و گاهی تا ۱۰ درجه سلسیوس، بیشتر از مناطق پیرامونی و روستایی است (Meethham, 1979:133). همچنین میانگین بیشینه دمای هوای شهری نیز بالاتر از روستاهای پیرامونی شهر است که بیانگر اثر جزیره گرمایی شهر است. اگر چه به دلیل تشکیل چتر آلوده بر فراز شهر، مقدار تابش ورودی امواج کوتاه خورشید در مناطق شهری نسبت به نواحی پیرامونی، اندکی کاهش دارد. امّا این موضوع به معنی کاهش گرمای هوای شهری نیست. از یک طرف این کاهش، ناشی از افزایش جذب تابش فرابنفش توسط آلاینده‌های هواست که نتیجه آن افزایش گرمای هوا بر اثر پذیرش تابش مستقیم آفتاب است. همچنین تابش امواج بلند سطوح زمینی در شهرها نیز در زیر چتر آلودگی هوا به دام افتاده و سبب افزایش گرمای هوای شهر می‌گردد. از طرف دیگر، فعالیت‌های شهری انرژی گرمایی زیادی را به هوا انتقال می‌دهد. تولید گرمای ناشی از فعالیت‌های گسترده انسانی در شهرها، مانند گرمای حاصل از فعالیت‌های صنعتی، بازرگانی، اداری، خانگی، ترافیکی، سوخت و ساز ارگانیسم بدن انسان و ... نقش مهمّی در تشکیل شرایط جزیره گرمایی شهر دارد. پژوهش‌های انجام شده در شهرهای بزرگ، بیانگر این است که انرژی تولید شده ناشی از فعالیت‌های بشری

در برخی از شهرهای بزرگ اروپایی، برابر با انرژی تابشی خورشیدی رسیده به زمین در فصل زمستان است (عشقی و قنبرزاده، ۱۳۸۲: ۱۱۴).

اندازه شهر یک عامل تعیین کننده محسوب می‌شود. هر اندازه گسترش شهرها بیشتر باشد، مقدار انرژی وارده به اتمسفر شهر بیشتر خواهد شد. افزایش تراکم ساختمان‌ها و جمعیت شهری اثر بسزایی بر افزایش گرمای هوای شهر دارد. اثر جزیره گرمایی شهر در قسمت‌های دارای ساختمان متراکم شدیدتر است. گسترش شهر و تشدید فعالیت‌های صنعتی، بازرگانی و ... به تشدید اثر جزیره گرمایی شهر می‌انجامد. برای مثال مقدار گرمای مناطق شهری در کشور آمریکا، نسبت به نواحی روستایی و پیرامونی آنها، در شهرک‌های ۱۰۰۰ نفری ۲/۵ درجه، در شهرهای صد هزار نفری ۸ درجه و در شهرهای یک میلیون نفری ۱۲ درجه سلسیوس بالاتر، بیان شده است (Barry and Chorley, 2000:182). همچنین مصرف سرانه انرژی از ۲ کیلو وات در سال ۱۹۸۵ به ۱۲/۵ کیلووات در سال ۲۰۰۱ افزایش یافته است که بخش عمده‌ای از آن به صورت انرژی گرمایی به اتمسفر شهرها اضافه می‌شود (W.M.O, 2002:87).

گرمای ناشی از سوخت و ساز بدن انسان با افزایش فعالیت او بیشتر می‌شود. یک انسان بالغ در حالت نشسته برابر با یک لامپ ۱۰۰ وات گرما تولید می‌نماید. این مقدار در هنگام راه رفتن به ۲۰۰ و در حالت دویدن تا ۶۶۰ وات افزایش پیدا می‌نماید. به طور کلی سهم گرمای بدن انسان در ایجاد جزیره گرمایی شهر بیشتر از ۱۰ درصد بیان شده است (جهانبخش، ۱۳۷۱: ۳۷).

تابش امواج بلند سطوح زمینی در شهرها نیز در زیر چتر آلودگی هوا به دام افتاده و سبب افزایش گرمای هوای شهر می‌گردد. اثر جزیره گرمایی شهر در شرایط واژگونی دمایی هوا به ویژه اینورژن تابشی، شدیدتر است. در طی شب نیز گرمای انبار شده در سطوح فیزیکی شهری و پیکره ساختمان‌ها، به اتمسفر شهری انتقال یافته و گرمای هوای شهرها را نسبت به مناطق پیرامونی آنها بیشتر می‌نماید. زیرا هم تابش امواج بلند سطوح شهری نسبت به سطوح پیرامونی بیشتر است و هم فراوانی بیشتر آلاینده‌ها به ویژه ذرات آلاینده در به دام انداختن این امواج، بسیار مؤثر است. این شرایط، گرمایش بیشتر اتمسفر در زیر چتر آلودگی شهر را سبب می‌گردد. همچنین فعالیت‌های شهری در طی شب منجر به رها شدن انرژی گرمایی در هوای شهر شده و مقدار سرد شدن هوا را کاهش می‌دهد. بنابراین، سرعت سرد شدن هوای شهر در طی شب، نسبت به مناطق مجاور کندتر است و اثر جزیره گرمایی تا نزدیکی‌های بامداد تداوم دارد. علاوه

بر اینکه افت گرمای هوای شهری در شب کندتر از مناطق پیرامونی است، مقدار افت دما نیز نسبتاً کمتر است. برای مثال در یک دوره ۳۱ ساله در شهر لندن، کمینه دمای هوا در مرکز شهر حدود ۶ درجه سلسیوس بیشتر از پیرامون آن بوده است (Barry and Chorley, 2000:113).

بالاتر بودن کمینه گرمای هوای شهری به افزایش میانگین گرمای هوا در زمستان منجر شده است. افزایش کمینه دمای هوا به کاهش تعداد روزهای یخبندان در مناطق شهری نیز سرایت کرده است. از این رو یکی از اثرات جزیره گرمایی شهر، کاهش تعداد روزهای یخبندان در شهرها است. چنانکه تعداد روزهای یخبندان شهر پاریس در مقایسه با نواحی روستایی پیرامونی، تا «یک سوم» کاهش داشته است (Jenkins, 1971:87).

اثر جزیره گرمایی شهر در فصل تابستان شدیدتر است زیرا هرز انرژی گرمایی از طریق تابش بلند موج سطوح فیزیکی و مصالح ساختمانی بیشتر است. مقدار گرمای شهرهای بزرگ به نسبت مقدار فعالیت‌های صنعتی، تجاری و نیز تراکم ساختمان‌ها، حدود ۳۵ تا ۶۰ درصد نسبت به مناطق روستایی پیرامونی بیشتر است (عشقی وقنبرزاده، ۱۳۸۲: ۱۲۲). در مجموع، عوامل مؤثر بر تشکیل و تشدید جزیره گرمایی شهر عبارت است از:

«افزایش مواد آلاینده در اتمسفر شهر»، «اختلاف شکل آلبدوی سطوح شهری»، «جذب بیشتر تابش امواج کوتاه خورشیدی»، «ذخیره گرمایی زیاد روزانه در مصالح بکار رفته در سطوح شهری»، «تابش امواج بلند گرمای ذخیره شده سطوح فیزیکی شهر در تمام طول شبانه روز و به دام افتادن این گرما توسط آلاینده‌های هوای شهر»، «گرمای متابولیکی ناشی از وجود جمعیت انبوه شهری»، «کاهش سرعت باد به دلیل افزایش ضریب ناهمواری سطوح شهری»، «کاهش تبخیر و تعرق و در نتیجه افزایش گرمای محسوس»، «تولید گرمای حاصل از فعالیت‌های بازرگانی، صنعتی، ترافیکی و ...»، «گسترش افقی و عمودی شهر» و «تراکم ساختمان‌ها و سازه‌های شهری».

☜ انسان‌ها نسبت به شرایط اقلیمی محیطی از خود واکنش نشان می‌دهند. مهمترین مسئله برای انسان دامنه آسایش او به لحاظ آب و هوایی است. دور شدن از دمای آسایش برای انسان مشکلاتی را به دنبال دارد. برای مثال دمای بالای هوا در مراکز شهرهای بزرگ گرمازدگی، فشارهای قلبی، تنش‌های ریوی و ... را در پی دارد. دمای بدن انسان حدود ۳۷ درجه سلسیوس بوده و به طور کلی در آب و هواهای گوناگون در گرمای بین ۲۰ تا ۲۵ درجه سلسیوس بهترین شرایط زیستی را دارد. منظور از درجه آسایش بدن، شاخصی است که از نظر دمایی برای انسان

مناسب بوده و در آن شرایط، تعادل متابولیکی بدن برقرار باشد. با تغییراتی که انسان در سطوح فیزیکی و اتمسفر شهرها به وجود می‌آورد، بیشترین تأثیر پذیری را از آب و هوای شهری دارد. ویژگی‌های آب و هوای محلی هر ناحیه، یکی از عوامل مهم تعیین کننده در برنامه ریزی شهری است (عشقی وقنبرزاده، ۱۳۸۲: ۱۹۶).

- جرح و تعدیل‌های خود خواسته در ویژگی‌های تابشی به منظور تعدیل اثر جزیره گرمایی شهر، مورد توجه برنامه‌ریزان و طراحان شهری قرار می‌گیرد. چنانکه مواد و رنگ‌های به کار برده شده در سطوح بیرونی بناهای شهری به ویژه در شهرهای عرض‌های پایین جغرافیایی، باعث افزایش آلبدو می‌شود. همچنین آرایش هندسی ساختمان‌ها در این گونه شهرها، در جهت کاهش نفوذ تابش خورشید طراحی می‌شود (کاویانی، ۱۳۸۷: ۲۳۴).

- احداث فضای سبز در شهرها نقش مهمی در کاهش اثر جزیره گرمایی شهر دارد و منجر به تعدیل گرما و خنک شدن هوا به صورت محلی خواهد شد. به همین دلیل برنامه‌ریزان و طراحان شهری، ایجاد فضاهای سبز در پیرامون ساختمان‌های مسکونی متراکم و در کنار پارکینگ‌ها را مورد توجه قرار می‌دهند.

فصل هشتم

کاربرد تابش خورشید در شهرسازی

۸-۱. کاربرد اقلیم در برنامه‌ریزی مکان‌های عمومی شهری

دو رشته «معماری و شهرسازی» و «آب و هواشناسی شهری» پژوهش‌های بسیاری روی چگونگی اثرات آب و هوایی بر ساختمان‌ها و محیط شهری انجام داده‌اند (Mills, 1999). ساخت یک محیط آسوده برای زندگی، یک موضوع کلیدی در رشته «معماری و شهرسازی»، است.

«آب و هواشناسی شهری» بخشی ویژه از دانش متئورولورژی و کلیماتولوژی را در بر می‌گیرد که روی اندازه‌گیری و مدل‌سازی فرآیندهای طبیعی متمرکز می‌شود تا میزان تغییرات ویژگی‌های اتمسفری متأثر از شهر را تفسیر نماید (Eliasson, 2000; Mills, 1999). از این رو، رویکرد تلفیقی با یک هدف مشترک، یعنی کار مشترک بین رشته‌ای (Tress et al, 2004) به منظور تفسیر ارتباط‌های پیچیده بین دانش آب و هواشناسی و نیازهای گوناگون انسانی، که در برنامه‌ریزی شهری کاربرد قابل قبول داشته باشد، ضرورتی گریز ناپذیر به شمار می‌رود (Thorsson et al, 2006; Lindberg, 2005; knez and Thorsson, 2006).

به همین دلیل امروزه دانشمندان در دامنه گسترده‌ای از رشته‌های مختلف از جمله معماری، آب و هواشناسی، مهندسی و روانشناسی مایلند که چگونگی نقش وضع هوا و آب و هوا را بر روی مردم در فضاهای عمومی شهر بررسی کنند. مفهوم فضا اشاره ضمنی به مفاهیم فیزیکی و فضایی دارد که به صورت سنتی در مباحث جغرافیایی و معماری مورد استفاده قرار می‌گرفت ولی شامل جنبه‌های روانشناسی و اجتماعی تجارب محیطی نمی‌شد. این مفهوم در روانشناسی محیطی به ادراک مکانی تعبیر می‌شد (Graumann, 2002). الگو و کارکرد فضاهای عمومی شهری، همچون عناصر فیزیکی و روانشناسی، واکنش‌های انسانی را در مقابل محیط فیزیکی به وجود می‌آورند و ادراکات مردم و در نتیجه میزان استفاده از محیط‌های عمومی را

تحت تأثیر قرار می‌دهند. از این رو، ساختارهای کلیدی سازنده یک مکان، شامل سه جنبه «فیزیکی» (قالب و فضا)، «کارکردی» (نوع فعالیت) و «روانشناسی» (انگیزه حضور مردم در محل) بیان شده است. کانتر (Canter, 1977) این مدل را به چهار جنبه مکانی شامل «اختلاف کارکردی»، «شرایط مکانی»، «مقیاس ارتباط‌های چند جانبه» و «جنبه‌های طراحی» توسعه داده است. «شرایط مکانی»، جنبه‌های روانشناسی فردی را به عناصر فرهنگی عمومی و اجتماعی گسترش می‌دهد. در حالی که «مقیاس ارتباط‌های چند جانبه»، جنبه‌های محیطی را به نمایش می‌گذارد (Eliasson et al, 2007).

به باور کنز (۲۰۰۵)، هنوز در ارزیابی‌های نظری، نارسایی وجود دارد و آن حذف آب و هوا است که تأثیرات فردی، اجتماعی، اقتصادی و ... بر جای می‌گذارد (Parker, 1995). رفتار بزهکارانه (Rotton and Cohn, 2002) یا خاطره انگیز و برداشت‌هایی که افراد از مکان‌ها دارند (Knez, 2006)، نمونه‌هایی از این تأثیرات به شمار رفته‌اند. هوا و اقلیم بر ساختار فیزیکی یک مکان تأثیر گذار است. اما همان طور که در شکل ۸-۱ آورده شده، این روابط در جهت وارونه عمل می‌کنند. الگوی ساختمان، جهت، مصالح، رنگ و ...، با تأثیر بر باد، تابش، دما و عناصر دیگر، یک میکروکلیمای ویژه در مکان ایجاد می‌نماید. طراحان و برنامه‌ریزان شهری می‌توانند نقش مثبت هوا و اقلیم حاکم بر محل را در ایجاد محیط‌های شهری گسترش دهند. الگوی آب و هوایی همیشه یک بخش طبیعی از وضعیت ساختمان‌سازی سنتی را به خود اختصاص می‌داد. از آنجایی که طراحان و برنامه‌ریزان شهری، جنبه‌های بسیار متفاوت و ناسازگاری را در طراحی شهرهای امروزی در کانون توجه خود دارند. از این رو برآیندهای ناشی از کاربرد دانش آب و هواشناسی تأثیر نسبتاً کمتری بر فرآیند برنامه‌ریزی‌های محیطی دارد (Eliasson, 2000).

اگر چه پژوهش بر روی چگونگی تأثیر احساس سرحالی بر آستانه تحمل آسایش آب و هوایی نسبتاً نادر است، اما چندین مطالعه ارتباط میان شرایط میکروکلیمایی و کاربری (استفاده کارکردی) را تأیید کرده است. نتایج گویای این است که در دوره سرد سال در شهرهای سردسیر که دارای درجه ابرناکی بالا هستند، وضع هوا در «منطقه آسایش»، یعنی دمای بالا و دسترسی به آفتاب، تعداد افراد حاضر در یک فضای عمومی شهر را افزایش می‌دهد (Westerberg, 1944)، (Nikolopoulou.et.al, 2001)، (Thorsson et al, 2004,)، (zacharias et.al, 2001). بر پایه پژوهش‌ها، شرایط خیلی سرد و خیلی گرم نقش منفی روی حالت احساسی داشته، حالتی

که در آن تمایل به رفتـار پرخاشـگرانه غلبـه دارد (Cohn, 1993; Simister and Coopoer, 2005). پژوهش‌های احساسی و ادراکی حاکی است کـه حالـت‌هـای احساسـی مـی‌توانـد تحـت تـأثیر فرآیندهای ادراکی قرار گیرد (kuiken, 1991). اگر آب و هوا عامل ایجاد حالت احساسی باشـد پس احتمال دارد که بر سایر جنبه‌های اکتسابی همچون زیبایی شناسی بصری تأثیرگذار باشد (Gifford, 1980; Knez & Thorsson, 2006). به نظر می‌رسد که بین آسایش دمایی و برخی جنبه‌های اکتسابی روانشناسی ارتباط وجود دارد (knez and thorsson, 2006).

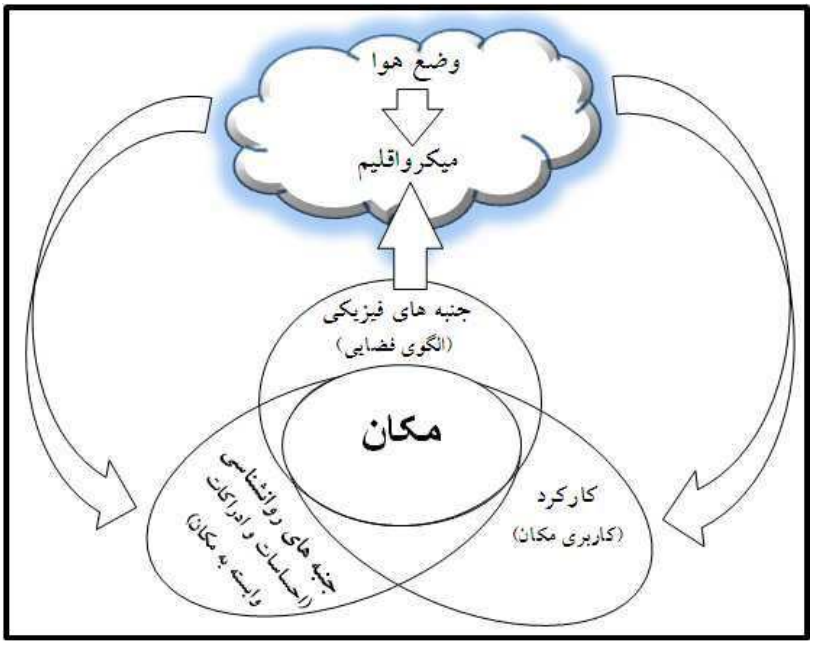
الیاسون و همکـاران (Eliasson et al, 2007) در یـک پـژوهش در شـهر گـوتنبرگ در کشـور سوئد، با مطالعه چهار فضای عمومی شهر که الگوهای فضـایی و میکروکلیماهـای گونـاگونی ارائـه می‌کردند، نشان دادند که وضع هوا و میکرواقلیم فضـاهای عمـومی شـهر ماننـد پـارک‌هـا، تـأثیر معناداری بر دو جنبه «کارکردی» و «روانشناسی» از سه ساختار سازنده یک مکان دارنـد (شـکل، ۸-۱). آنها با تحلیل رگرسیون چند متغیره پدیده‌هـای اتمسـفری و رفتـاری نشـان دادنـد کـه «دمای هوا»، «سرعت باد» و «شاخص آفتابی بودن هوا» (ابرنـاکی)، روی ارزیـابی مـردم از وضـع هوا، برداشت‌های روانشناختی نسبت به مکان (ادراکات وابسـته بـه مکـان)، احساسـات و ایجـاد انگیزه حضور مردم در فضاهای عمومی شهر، تأثیر معناداری دارد. از آنجایی کـه ویژگـی وضـع هوای اسکاندیناوی، نوسان و تغییرپذیری است. وضع هوا نقش کلانـی بـر اسـتفاده از فضـاهای عمومی شهر می‌گذارد. انگیزه بسیار بالایی برای بهـره‌منـدی از خورشـید در مـردم وجـود دارد، حتی اگر این امکان برای مدتی کوتاه به وجود آید. چنانکـه در ایـن کشـور معـروف اسـت کـه زمستان تاریک و تابستان کوتاه، بـین مـردم و خورشـید دوسـتی ویـژه‌ای ایجـاد کـرده اسـت. همچنین نتایج گویای افزایش احساس دلپذیری در شاخص آفتابی بودن بالاتر هوا داشـت. زیـرا آسمان صاف موجب می‌شود مردم وضع هوای این شهر سردسیر را گرم‌تر و آرام‌تر ارزیابی کنند. در نتیجه روشن است که «تـابش خورشـیدی»، «دمـای هـوا» و «بـاد» از جنبـه‌هـای اساسـی ساختارهای روانشناسی و کارکردی یک مکان به شمار آیند.

بررسی یکجای نتایج که گویای تأثیر عناصر هواشناسـی بـر ادراک و احساسـات مـی‌باشـد، روشن می‌سازد که کاربرد اقلیم در برنامه‌ریزی می‌تواند ابزار مهمـی در جهـت افـزایش آسـتانه تحمل محیط‌های شهری باشد. فضاهای جاذب شهری، حیات اجتماعی شهر را تحت تأثیر قـرار می‌دهند و نیز به طور غیرمستقیم بر زیربنای حمل و نقل و اقتصاد محلی اثر می‌گذارند. از ایـن

لحاظ کاربرد اقلیم در برنامه‌ریزی ممکن است آستانه تحمل را در سه جنبه: محیطی، اجتماعی و ظرفیت‌های اقتصادی متأثر سازد. استدلال‌های پژوهش مزبور، کاربرد اقلیم در برنامه‌ریزی را در پروژه‌های طراحی و برنامه‌ریزی شهری آینده، مورد تایید قرار می‌دهد. یعنی میکرواقلیم فضای درونی هر مکان مانند ساختار فیزیکی آن مکان بایست طراحی شود. زیرا میکروکلیمای هر مکان معین بر انگیزه حضور مردم در فضاهای عمومی شهر، ادراک و احساس آنها تأثیر گذار است.

نیکلوپولو و استیمرز (۲۰۰۳) به نتایج مشابهی رسیدند، آنها دریافتند که در بخشی از فضاهای شهری مانند پارک‌ها، که نسبت بالایی از ویژگی‌های طبیعی دارند، آستانه تحمل نسبت به تغییرات گسترده‌ای که در محیط فیزیکی و به صورت فیزیکی خلق شده باشد، بالا است. چندین مطالعه دیگر حاکی است که فرایندهای طبیعی در شهر، سرچشمه احساسات مثبت می‌باشد (Chiesura, 2004). برای سنجش میزان موفقیت فضاهای شهری، اغلب کاربری و فعالیت آنها مورد توجه قرار است. برای مثال، کارمونا و همکاران (۲۰۰۳) گفته‌اند که «موفقیت مکان‌های عمومی با حضور مردم تعیین می‌شود». این مطالعه نشان می‌دهد که برای اینکه مکان-های عمومی موفقی ایجاد شود نباید از عناصر هواشناسی غافل شد، زیرا بیش از ۵۰ درصد واریانس انگیزه حضور در مکان را تبیین می‌کنند. هرچند پیش از اثبات این نظریه، نیاز به بررسی بیشتر روی واکنش‌های انسانی نسبت به آب و هوای شهری وجود دارد. سوای" شهر متراکم"، کلید افزایش آستانه تحمل شهری در آینده " شهر گسترده" است. یادآوری این نکته مهم است که صرف نظر از اینکه چه مسیری برای آینده انتخاب می‌شود، کاربرد اقلیم در برنامه‌ریزی مکان‌های عمومی شهری اهمیت دارد. در عمل کاربرد اقلیم در برنامه‌ریزی، یک گزینه از بین چندین گزینه می‌باشد. ایفای یک نقش عمومی برای همه گونه فضای شهری دشوار است. صرف نظر از ساختمان‌های نوساز یا بازسازی شده، نقطه شروع کاربرد اقلیم در برنامه‌ریزی، بهره‌گیری از تغییرات فصلی میکرواقلیمی می‌باشد. فضاهای شهری از نظر آب و هوایی می‌توانند در تمام طول سال پذیرای شهروندان باشند که یکی از راه‌های آن، طراحی میکرواقلیم‌های گوناگون در یک مکان است. چون هر فضای شهری به نوبه خود بی همتاست، نخست شناخت ویژگی‌های محیطی مانند فضای باز، الگوی سایه و شرایط باد در یک مکان و سپس مدل سازی آنها بر پایه تغییرات پیشنهادی اهمیت دارد. اخیراً چندین پروژه جالب بر پایه مدل‌های GIS به عنوان ابزارهایی برای تحلیل گوناگونی محیطی انجام گرفته است (Ratti and Richens, 2004; Steemers, 2006).

تمامی مطالب مربوط به این مبحث بـه انضـمام ارجاعـات مربوطـه از مقالـه الیاسـون و همکـاران (۲۰۰۷)، با نام «آب و هوا و رفتار در Nordic city» اقتباس و به زبان فارسی برگردانده شده است (طاوسی، ۱۳۸۸).



شکل ۸-۱: ارتباط چند جانبه بین هوا و میکرواقلیم و سه ساختار مکانی

اقتباس از کانتر (۱۹۷۷)، منبع: (Eliasson et al, 2007).

۸-۲. عناصر چیره در تعیین مورفولوژی شهری

به موازات توسعه شهر، فرم و شکل آن ثابت نمی‌ماند بلکه نسبت به ویژگی‌های محیط طبیعی، فرهنگی و زمینه‌های اقتصادی، اجتماعی و ...، اشکال گوناگونی به خود می‌گیرد.

♠ دریک نقشه شهری، نخستین عنصر چیره مورفولوژیکی شهر همانا شکل و طرح گذرگاههای شهری است که در میان دیگر عناصر شهری، توسعه تدریجی را بیان می‌دارد و گذشته و حال ساخت شهر را نشان می‌دهد. بافت خیابان‌ها و کوچه‌ها برای مدت زمان نسبتاً طولانی ثابت باقی می‌ماند. تنها ممکن است با گذشت زمان و در دوره‌های مختلف تاریخی به دلایلی شکل

آنها تغییر پیدا نماید (شکوئی و کاظمی، ۱۳۸۴: ۱۵۹). شکل‌گیری گذرگاهها، وابسته به فاکتورهای گوناگونی است. پستی و بلندی محل، شبکه آبراهه، شبکه‌های آبیاری، مالکیت زمین، جهت کشیدگی و نمای ساختمان‌ها، قیمت زمین و سایر ویژگی‌های اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی، به ویژه سیاست‌های شهری و ...، ازجمله این فاکتورها به شمار می‌رود. برای مثال، پهنای گذرگاهها در گذشته تنگ‌تر بوده است و با ویژگی‌های آب و هوایی، ویژگی ساختمان‌ها مانند وجود حیاط در خانه و بلندی ناچیز آنها، سطح دسترسی عمومی به تکنولوژی، روش زندگی مردم و مسائل امنیتی هماهنگ بود. چنان که دیده می‌شود کوچه‌های محله‌های کهن در بسیاری از شهرهای ایران مرکزی، علاوه بر اینکه تنگ و باریک است در قسمت‌هایی نیز سرپوشیده است. این ویژگی امنیت خانه را در هنگام اشغال شهر به دست دشمن، تا اندازه‌ای تأمین می‌کرد، به ویژه خانه‌هایی که در آخر یک بن بست باریک و سرپوشیده قرار داشت. بنا بر این در گذشته، این گونه خانه‌ها دارای ارزش بالاتری بودند. پیشرفت فناوری و تغییر نیازهای انسانی در طول زمان سبب شد از یک‌سو، با افزایش بلندی ساختمان‌های شهر و پیدایش برج‌های آسمان‌خراش، رشد عمودی شهرها پدید آید. از سوی دیگر، ورود اتومبیل به شهر و پیدایش مشکلات ترافیکی درون‌شهری، سبب شد تا متناسب با افزایش ارتفاع بناها، پهنای گذرگاهها نیز افزایش یابد.

♠ ساختمان‌ها با کاربری‌های گوناگون، دومین عنصر در چشم اندازهای شهری هستند که در طول زمان تغییر پذیری بیشتری را نشان می‌دهند. با این وجود، ساختمان‌ها نیز گاهی در طول نسل‌ها شکل خود را حفظ می‌کنند. تنها زمانی تغییر چهره می‌دهند که قابل استفاده نباشند و متروک شوند. امروزه، در نتیجه فعالیت‌های فزاینده، به سرعت ارتفاع ساختمان‌های شهری افزایش یافته است. پژوهش‌ها نشان می‌دهد که در بسیاری از الگوهای ساخت شهر، بین زمان یا فاصله از مرکز شهر و قیمت زمین، تراکم اتومبیل‌ها، تراکم جمعیت و ساختمان‌ها، میزان کاربری بازرگانی زمین‌های شهری، توسعه عمودی شهر و...، رابطه وجود دارد (شکوئی و کاظمی، ۱۳۸۴: ۱۵۱).

♠ سومین عنصر شکل دهنده مورفولوژی شهر، نقشی است که ساختمان‌ها و گذرگاهها به عهده دارند. معمولاً هر ساختمان و هر گذرگاه نقش مشخصی دارد. نقش ساختمان نخست در کالبد و سیمای آن ظاهر می‌شود و سپس در ترکیب مورفولوژیکی شهر مؤثر می‌افتد. به طور کلی، رفت و آمد مردم در کوچه و خیابان، چگونگی کنش آنها در درون ساختمان‌ها، مشخصات ترافیکی و دیگر ویژگی‌های انسانی است که ساختار همیشگی شهر را در محدوده معین، شکل و قالب هماهنگ می‌بخشد (شکوئی و کاظمی، ۱۳۸۴: ۱۵۹).

☜ هم پیوندی این سه عنصر، الگوی ساخت شهر را می‌سازد. پیوستگی هر سه به هم چنان است که تغییر در هر یک از آنها، موجب دگرگون شدن عناصر دیگر می‌شود. سرچشمه نیروهایی که شکل یابی و نقش پذیری ساختمان‌ها و خیابانهای شهری را تعیین می‌سازد، گوناگون است. ولی شکل‌گیری همه آنها از ویژگی‌های محیط طبیعی، فرهنگی و تکنولوژیکی متأثر می‌شود. از این رو مورفولوژی هر دوره از شهر، گویای ویژگی‌های فرهنگی و تکنولوژیکی هر جامعه در آن دوره معین است که با توجه به عوامل محیطی شکل گرفته است. برای مثال، فضاهای نسبتاً وسیع میان واحدهای مسکونی که با احداث باغچه‌های خصوصی پر می‌شود، برخاسته از فرهنگ شهر نشینی جامعه آمریکایی است، فرهنگی که اثر خود را بر الگوی ساخت شهر بر جای گذاشته است (شکوئی و کاظمی، ۱۳۸۴: ۱۵۲).

۸-۳. فضای سبز شهری، بخش جاندار ساخت کالبدی شهر

فضای سبز شهری، بخشی از سیمای شهر و بخـــشی از فـــضای باز شهری است که عرصه طبیعی یا اغلب مصنوعی آن، زیر پوشش درختان، درختچه‌ها، بوته‌ها، گل‌ها، چمن‌ها و گیاهانی است که برای بهبود شرایط زیستی، زیستگاهی و رفاهی شهروندان نگهداری می‌شود. از دیدگاه حفاظت محیط زیست، فضای سبز شهری، بخش جاندار ساخت کالبدی شهر را تشکیل می‌دهد. فضای سبز شهری نوعی از سطوح کاربری زمین شهری با پوشش‌های گیاهی انسان ساخت است که دارای «بازدهی اکولوژیکی» و «بازدهی اجتماعی» می‌باشد. منظور از بازدهی اکولوژیکی، زیباسازی بخش‌های شهری، تغییر تراز انرژی تابشی، کاهش دمای محیط، تولید اکسیژن، افزایش نفوذپذیری خاک در مقابل انواع بارش و مواردی چون کاهش آلودگی هوا، کاهش آلودگی صوتی، بهبود شرایط بیوکلیماتیک در شهر، تأثیر مثبت بر چرخه آب در محیط زیست شهری و افزایش کیفیت آب‌های زیرزمینی و ... است، فضای سبز می‌تواند به طور قابل توجهی دمای هوا را کاهش دهد و یا به تلطیف هوا کمک کند. فضای سبز شهری به عنوان بخش جاندار محیط شهری مکمل بخش بی‌جان شهر، یعنی ساختار کالبدی شهر می‌باشد. در این خصوص، فضای سبز می‌تواند به عنوان لبه شهر، آرایش دهنده شبکه راه‌ها و جدا کننده فضاهای شهری ایفای نقش نماید. فضای سبز در شهرها، به ویژه در شهرهای بزرگ و صنعتی، کارکردهای گوناگون دارد:

☜ بهبود وضعیت زیست محیطی شهرها را به دنبال دارد.
☜ شرایط مناسبی را برای گذران اوقات فراغت شهروندان تعبیه می‌کند.
☜ دارای کارکردهای کالبدی است.

فضای سبز تنها پارک‌ها را در بر نمی‌گیرد، بلکه باغها، باغچه‌های خصوصی، نوار سبز حاشیه شهرها و حتی خیابانها و آرامستان‌ها را نیز شامل می‌شود. همین طور فضای سبز، اماکن فرهنگی (کتابخانه، تئاتر و ...)، ورزشی و اماکن مذهبی، محلی برای انواع بازی‌ها و ورزش‌های گوناگون و نیز جایی برای الهام گرفتن از طبیعت جهت سرودن شعر، نقاشی، عکاسی و ... را هم در بر می‌گیرد.

☜ «فضای سبز نماد و سمبلی از تفکرات فرهنگی و اجتماعی یک جامعه است».

فضاها و سطوحی که با کاربری فضای سبز در شهرها ارتباط پیدا می‌کنند، فضاهای سبز عمومی، نیمه عمومی و خیابانی را شامل می‌شوند. به طور کلی می‌توان گفت که بخش قابل توجهی از فضای سبز در طرح‌های شهری را فضای سبز عمومی تشکیل می‌دهد که به دلیل بازدهی اجتماعی و اکولوژیکی به طور همزمان از اهمیت بالاتری برخوردار است.

☜ «فضاهای سبز» عمومی دارای بازدهی اجتماعی می‌باشند و برای عموم مردم برای تفریح و پیاده‌روی قابل استفاده است و معمولاً پارک نامیده می‌شوند. «سطوح سبز» شهری مانند زمین‌های ورزشی چمن‌کاری شده و جزیره‌ها و لچکیهای کنار خیابان بیشتر جنبه زیبایی شناختی دارند و دارای بازدهی اکولوژیکی نیز می‌باشند.

☜ فضاهای سبز نیمه عمومی دارای بازدهی اکولوژیکی هستند اما تعداد استفاده‌کنندگان آنها محدود است. محوطه‌های باز ادارات، پادگان‌ها و بیمارستان‌ها، نمونه‌هایی از این فضا می‌باشند.

☜ فضاهای سبز خیابانی، درخت‌کاری میان پیاده‌رو و سواره‌رو و همچنین فضاهای میدان‌ها و یا زمین‌های پیرامون بزرگراه‌ها و خیابانها را شامل می‌شود.

فضای سبز شهری از یک سو، از طریق دگرگون کردن زاویه تابش، مقدار آلبدو، گسترش سایه در لایه مرزی و میکروکلیمایی سطوح شهری موجب دگرگونی تراز انرژی تابشی در سطوح شهری می‌شود. از سوی دیگر، تبخیر و تعرق گیاهی با تبدیل گرمای محسوس به گرمای نهان تبخیر، به تعدیل جزیره گرمایی شهر کمک شایانی می‌کند. برای مثال دریک روز آفتابی تابستان، چهار جریب (۴,۰۰۰ متر مربع) زمین چمن معمولی حدود ۱۱,۰۰۰ لیتر آب تبخیر می‌سازد. یعنی هر جریب زمین چمن، در یک روز حدود ۵۰۰,۰۰۰ کالری گرمای محسوس را به گرمای نهان تبخیر تبدیل می‌کند. از این رو، نقش مهمی در سرمایش هوا ایفا می‌کند. طی همین مدت تبخیر حاصل از یک درخت راش، بیشتر از ۲۵۲,۰۰۰ کالری در

سرمایش هوا تأثیر دارد. به همین دلیل اختلاف دمای سطح چمن و آسفالت به سادگی می‌تواند از حدود ۱۴ درجه سلسیوس فراتر رود. گرمای سطح زمین می‌تواند دمای هوا در مقیاس میکروکلیمایی را تا ارتفاع بالاتر از یک متر به صورت محسوسی تحت تأثیر قرار دهد. میزان این تأثیر گاهی از ۵/۵ درجه سلسیوس بیشتر می‌شود. همجواری فضاهای سبز با سایر سطوح شهری که از سطح آنها تبخیری انجام نمی‌پذیرد، تفاوت دمایی بین سطوح گوناگون را در جهت افقی در پی دارد. این پدیده به جریان‌های هوا منجر می‌شود که از سطوح خنک‌تر پوشیده شده از گیاه به سمت ساختمان‌ها جریان پیدا می‌کند و تهویه طبیعی را به عنوان یک شیوه طبیعی سرمایش به ارمغان می‌آورد و هوا را تازه می‌سازد. بنا بر این باید فضاهای سبز شهری به بیشینه ممکن افزایش پیدا کند و تا جایی که امکان دارد برای سطوح و فضاهای ساخت دست بشر باید به وسیله درخت سایه ایجاد شود (قبادیان و مهدوی، ۱۳۷۶: ۱۱۴).

۸-٤. توجه به تابش خورشید، ضرورت «ساماندهی نظام فضایی سکونتگاهی»

توجه به عامل اقلیمی تابش، در طراحی شهرهای جدید و نوسازی محله‌های فرسوده شهرهای تاریخی بسیار اهمیّت دارد. زیرا گام مهّمی در جهت همه جانبه نگری به جنبه‌های گوناگون طبیعی، اقتصادی، اجتماعی و کالبدی در حل مسائل جوامع انسانی، به عنوان «ساماندهی نظام فضایی سکونتگاهی» به شمار می‌رود. تغییرات فصلی دمای هوا از دگرگونی‌های منظم فصلی زاویه و مدّت تابش خورشید ناشی می‌شود که در ترکیب با سایر عوامل آب و هوایی، تشدید می‌شود. چگونگی رابطه انسان با پرتوافشانی آفتاب، متناسب با نیاز فصلی او تعیین می‌شود. تعیین رابطه منطقی میان ویژگی‌های تابش خورشیدی با الگوی شبکه گذرگاههای شهری، پهنای خیابانها، بلندی ساختمان‌ها و فاصله افقی بین بناها ضرورت دارد. زیرا توجه به «طول» و «جهت» گسترش سایه ساختمان‌ها در ساعات مختلف روز در فصول گوناگون سال، نقش مهمی در برنامه‌ریزی‌های شهری و معماری دارد. تناسب برنامه‌ریزی‌های محیطی با فاکتور آب و هوایی تابش، بسیاری از مشکلات عمومی شهر مانند آلودگی هوا، اثر جزیره گرمایی شهر، مسائل مربوط به ترافیک و ... را حل کرده و یا تعدیل می‌کند. همچنین صرفه جویی در مصرف انرژی گرمایشی و سرمایشی فضای درونی ساختمان‌ها نیز مستلزم توجه به تغییرات ویژگی تابش در طول سال می‌باشد. به علاوه، برنامه‌ریزی‌های مبتنی بر تابش خورشیدی می‌تواند بر قسمت ناپیدای روابط متقابل اجتماعی، اقتصادی و فرهنگی (بعد ناپیدای فضای جغرافیایی)

تأثیر مثبت بگذارد. یعنی ابزار مهمی در جهت افزایش آستانه تحمل محیط‌های شهری است که زندگی اجتماعی شهر را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

۸-۵. نقش متقابل تابش مستقیم خورشید و گسترش سایه در سطوح شهری

ساخت و ساز ساختمان‌های بلند مرتبه و آسمان خراش‌های امروزی، گسترش عمودی شهرها را به دنبال داشته است. چنین الگویی موجب شده تا سایه ناشی از وجود ساختمان‌های بلند، گسترش بیشتری پیدا نماید. تمایل زاویه تابش خورشید، سبب می‌شود برآمدگی‌های سطح زمین از جمله ساختمان‌ها سایه ایجاد کنند. طول سایه به «ارتفاع خورشید» و «بلندی پدیده» وابسته است. با توجه به اینکه بلندی پدیده‌های سطح زمین ثابت است. طول سایه هر پدیده به تغییرات روزانه و فصلی ارتفاع خورشید بستگی دارد. معمولاً کمینه طول سایه روزانه هر پدیده، در هنگام نیمروز و کمینه سالانه آن در انقلاب تابستانی برای نیمکره شمالی وجود دارد. بیشینه طول سایه مربوط به انقلاب زمستانی نیمکره شمالی، به ویژه ساعات بامدادی و ساعات پایانی روز است، که نیاز به تابش آفتاب به مقدار بیشینه خود می‌رسد. تغییرات سالانه طول سایه در نیمکره جنوبی وارونه است.

سایه اثرات بسیار مهمّی بر ویژگی‌های اقلیمی، اقتصادی، اجتماعی، روانشناسی و به طور کلی فضاهای پیدا و پنهان شهری می‌گذارد. گسترش سایه ساختمان‌های بلند بر روی بناهای جبهه شمالی خود (در نیمکره شمالی)، قسمت پیدای فضای جغرافیایی است که بیانگر اندیشه، دانش و باور طراحان و برنامه‌ریزان شهری و معماری است. این موضوع می‌تواند بر روابط متقابل و رفتار شهرنشینان اثرگذار باشد. نقش سایه در مقیاس کوچک اقلیم در سطوح مختلف شهر، بستگی به ویژگی‌های تابش مستقیم خورشید و سایر عناصر اقلیمی به ویژه دمای هوا دارد. برای مثال، از یک‌سو تغییرات زاویه تابش آفتاب، سبب تغییرات چتر سایه در بخش سایه انداز ساختمان خواهد شد و از سوی دیگر، تغییرات فصلی دما را دنبال دارد. متناسب با این دگرگونی‌های فصلی، نیازهای انسانی وابسته به شرایط آب و هوایی نیز در فصول سال دگرگون می‌شود. از این رو، استفاده از تابش مستقیم خورشید در دوره سرد سال و یا گسترش سایبان‌های طبیعی و مصنوعی در دوره گرم سال، یکی از موضوع‌های کاربرد اقلیم در برنامه‌ریزی شهری، به شمار می‌آید.

تغییرات فصلی آب و هوا در بسیاری از مناطق کره زمین، به گونه‌ای است که موجب می‌شود انسان در دوره سرد به «گرمایش» و در دوره سرد به «سرمایش» نیازمند باشد. پرتوافشانی خورشید از پاکیزه‌ترین، کم هزینه‌ترین و طبیعی‌ترین منابع گرمایشی شهرها و ساختمان‌ها در دوره سرد سال است. به همراه تمایل بیشتر زاویه تابش خورشید، بیشینه گسترش سایه بناها در دوره سرد سال آشکار می‌شود. این پدیده از پرتو افشانی آفتاب بر وسعت بیشتری از سطوح گوناگون شهری جلوگیری می‌کند. سایه بناهای بلند مرتبه در دوره سرد سال، بسیار گسترش می‌یابد. یعنی این ساختمان‌ها از تابش مستقیم آفتاب بر سطح سازه‌هایی که در پشت سر آنها جای دارند، جلوگیری می‌کند و آنها را از دریافت انرژی گرمایی دلپذیر آفتاب زمستانی بی بهره می‌سازد. پیشروی سایه زمستانی بناهای بلند مرتبه بر روی ساختمان‌های پشت سر، علاوه بر بی بهره کردن انسان از حق طبیعی خویش که استفاده از پتانسیل‌های طبیعی است، به حقوق مادی آنها نیز صدمه می‌رساند. برای مثال می‌تواند به کاهش قیمت خانه‌هایی منجر شود که در زیر چتر سایه جای گرفته‌اند. خانوار بی بهره از تابش خورشید، همواره دست همسایه را بر شانه خود احساس کرده و خود را تکیه گاه همسایه‌اش می‌پندارد. این چنین سربار بودن از نگاه روانشناسی اثر نامناسبی در روابط همسایگی به جا می‌گذارد (طاوسی، ۱۳۷۵). پس باید متناسب با افزایش بلندی ساختمان، فضاهای آزادی که ساختمان‌ها را از یکدیگر جدا می‌سازد، گسترش پیدا نماید. از جمله فضاهای آزاد شهری باید به گذرگاهها (مانند پهنای خیابانها و کوچه‌ها)، فضاهای سبز شهری، باغچه‌های خصوصی و حیاط خانه، حیاط ساختمان‌های اداری، آموزشی، میادین ورزشی، پارک‌ها و ...، اشاره کرد.

در دوره گرم سال به دلیل افزایش دمای هوا، نیاز به «سرمایش» ضرورتی است که در بسیاری از نقاط به وجود می‌آید. در این شرایط است که سایه سازه‌های شهری مانند ساختمان‌ها، درختان و ... می‌تواند نقش مثبتی در کاهش گرمای شهر، ایفا کند. به هر حال در این هنگام، گسترش سایه در سطح کمینه سالانه خود قرار می‌گیرد. یکی از راه‌های کاهش اثرات گرمایی تابش مستقیم خورشید در دوره گرم سال، استفاده از ناهمواری‌ها مانند ساختمان و گیاهان برای ایجاد سایه می‌باشد. «کاشت گیاهان در کنار سطح بیرونی ساختمان و در حیاط خانه و نیز در قسمتی از سطوح گذرگاهها و میادین»، «گسترش فضاهای سبز»، «پارک‌های جنگلی»، «شکل و جهت دادن به ساختمان و گذرگاهها به منظور کاهش اثر آفتاب تابستان»، «ایجاد سایبان برای پنجره و نورگیرهای ساختمان» و به طور کلی استفاده از سایبان‌های ثابت و متحرک به منظور تأمین سایه

برای دیوارهای روبه آفتاب، به توسعه چتر سایه در سطوح گوناگون شهری در تابستان کمک شایانی می‌کند. گسترش سایه در فضاهای عمومی و خصوصی، کاهش اثرات جزیره گرمایی شهر را در پی دارد. سایبان‌های طبیعی مانند درختان، علاوه بر گسترش سطح سایه در دوره گرم سال، طی فرآیند تبخیر و تعرق گرمای محسوس شهر را کاهش می‌دهند.

در مجموع، برنامه‌ریزی فضاهای شهری باید طوری طراحی شود که اثر مثبتی بر فرآیندهای پیدا و پنهان فضایی داشته باشد. به عبارت دیگر، هر سازه شهری به عنوان آثار تمدنی و ابزاری در جهت رفع نیازهای شهری، باید به سلامت روابط متقابل فرهنگی شهروندان کمک کنند.

۸-٦. محاسبه طول سایه در جهت آزیموت آن

«آزیموت سایه» و «آزیموت تابش مستقیم خورشید» با یکدیگر وارونه هستند و ۱۸۰ درجه قوسی با یکدیگر تفاوت دارند. برای ساده کردن مسئله، نخست بدون توجه به جهت ساختمان، طول گسترش سایه در جهت آزیموت آن محاسبه می‌شود. یعنی اختلاف جهت تابش (d_R) وجهت عمود بر سطح دیوار در معرض تابش (d_w) که در اینجا زاویه (Δ_d) بیان شده، «صفر» فرض می‌شود و مقدار گسترش سایه در جهت آزیموت سایه یا «طول سایه» بدست می‌آید. نیمرخ سایه هر ساختمان، یک مثلث قائم‌الزاویه می‌سازد. بلندی ساختمان (h) و طول سایه در سطح تراز زمین (L) به ترتیب، ضلع مقابل و ضلع مجاور این مثلث به شمار می‌آیند. تیغه‌ای از پرتو آفتاب که از لبه خارجی ساختمان گذر کرده و به سطح زمین رسیده است در واقع مرز میان مثلث سایه و فضای در معرض تابش را تشکیل می‌دهد و ضلع وتر مثلث سایه را می‌سازد. «زاویه عمودی سایه» (Vertical Shadow Angle) یا (VSA) نیز برابر با زاویه تابش آفتاب در سطح افق (αh) فرض می‌شود (شکل ۸-۲).

رابطه ۸-۱: $L = h / \tan \alpha h$

و یا رابطه ۸-۲: $L = h \times \tan z$

L = طول گسترش سایه در جهت آزیموت آن یا «طول سایه»، در سطح تراز زمین به متر.

h = بلندی ساختمان به متر.

«طول سایه» و «جهت سایه» در روزهای مختلف سال و در ساعات گوناگون روز متغیر است. در یک روز معین، طول سایه به «ساعت روز» و «بلندی ساختمان» بستگی دارد. معمولاً

هرچه فاصله زمانی از نیمروز محلی بیشتر باشد، طول سایه نیز بزرگتر خواهد بود. جهت گردش سایه نیز همانند جهت گردش آفتاب در نقاط واقع در شمال مدار میل خورشید، در جهت گردش عقربه‌های ساعت است. در این گونه مناطق جهت سایه در ساعات پیشین، «شمالغربی» و در هنگام پسین، «شمالشرقی» و در هنگام نیمروز محلی، به سمت «شمال» جغرافیایی محل نشانه می‌رود (جداول ۸-۱ و ۸-۲).

جدول ۸-۱: بیشینه سالانه طول سایه نیمروزی ساختمان، (روز اوّل زمستان هر نیمکره)

عرض جغرافیایی	αh	بلندی ساختمان به متر							
		۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰
۲۸	۳۸/۵	۶/۳	۱۲/۶	۱۸/۹	۲۵/۱	۳۴/۴	۳۷/۷	۴۴	۵۰/۳
۳۰	۳۶/۵	۶/۸	۱۳/۵	۲۰/۳	۲۷	۳۳/۸	۴۰/۵	۴۷/۳	۵۴/۱
۳۲	۳۴/۵	۷/۳	۱۴/۶	۲۱/۸	۲۹/۱	۳۶/۴	۴۳/۷	۵۰/۹	۵۸/۲
۳۴	۳۲/۵	۷/۸	۱۵/۷	۲۳/۵	۳۱/۴	۳۹/۲	۴۷/۱	۵۴/۹	۶۲/۸
۳۶	۳۰/۵	۸/۵	۱۷	۲۵/۵	۳۴	۲۴/۴	۵۰/۹	۵۹/۴	۶۷/۹
۳۸	۲۸/۵	۹/۲	۱۸/۴	۲۷/۶	۳۶/۸	۴۵	۵۵/۳	۶۴/۵	۷۳/۷
۴۰	۲۶/۵	۱۰	۲۱/۱	۳۰/۱	۴۰/۱	۵۰/۱	۶۰/۲	۷۰/۲	۸۰/۲
۴۲	۲۴/۵	۱۱	۲۱/۹	۳۲/۹	۴۳/۹	۵۴/۹	۶۵/۸	۷۶/۸	۸۷/۸
۴۴	۲۲/۵	۱۲/۱	۲۴/۱	۳۶/۲	۴۸/۳	۶۰/۴	۷۲/۲	۸۴/۵	۹۶/۶
۵۰	۱۶/۵	۱۶/۹	۳۳/۸	۵۰/۶	۶۷/۵	۸۴/۴	۱۰۱/۳	۱۱۸/۲	۱۳۵
۶۰	۶/۵	۴۳/۹	۸۷/۸	۱۳۱/۷	۱۷۵/۵	۲۱۹/۴	۲۶۳/۳	۳۰۷/۲	۳۵۱/۱

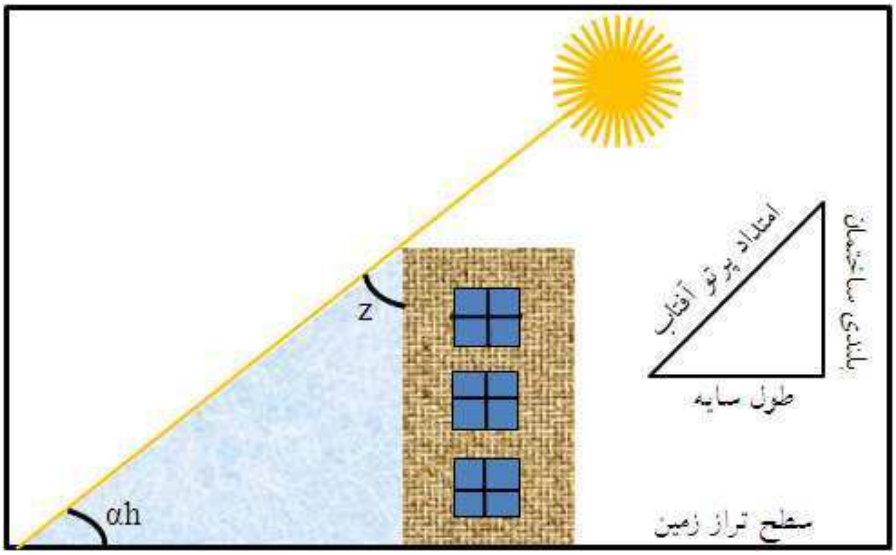
جدول ۸-۲: بیشینه سالانه «طول سایه» در ساعات مختلف روز در عرض‌جغرافیایی ۳۲ درجه شمالی در روز اول دی ماه (انقلاب زمستانی)

بلندی بنا به متر		طول سایه به متر (L)					
۵		۷/۳	۷/۸	۹/۶	۱۳/۹	۲۷/۷	∞
۱۰		۱۴/۶	۱۵/۶	۱۹/۲	۲۷/۸	۵۵/۴	∞
۱۵		۲۱/۸	۲۳/۴	۲۸/۸	۴۱/۷	۸۳/۴	∞
۲۰		۲۹/۱	۳۱/۲	۳۸/۴	۵۵/۶	۱۱۰/۹	∞
۳۰		۴۳/۷	۴۶/۸	۵۷/۶	۸۳/۴	۱۶۶/۳	∞
۴۰		۵۸/۲	۶۲/۴	۷۶/۷	۱۱۱/۲	۲۲۱/۷	∞
۵۰		۷۲/۸	۷۸	۹۵/۸	۱۳۸/۹	۲۷۷/۱	∞
۱۰۰		۱۴۵/۵	۱۵۵/۹	۱۹۱/۹	۲۷۷/۹	۵۵۴/۳	∞
ارتفاع خورشید (αh)		۳۴/۵	۳۲/۷	۲۷/۵	۱۹/۸	۱۰/۲	۰
زاویه ساعتی خورشید		۰	۱۵	۳۰	۴۵	۶۰	۷۴/۲
ساعت محلی	پیشین	نیمروز	۱۱	۱۰	۹	۸	طلوع
	پسین	نیمروز	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	غروب
آزیموت تابش	پیشین	۱۸۰	۱۶۳/۶	۱۴۸/۹	۱۳۶/۴	۱۲۶/۲	۱۱۸
	پسین	۱۸۰	۱۹۶/۴	۲۱۱/۱	۲۲۳/۶	۲۳۳/۸	۲۴۲
آزیموت سایه	پیشین	۳۶۰	۳۴۳/۶	۳۲۸/۹	۳۱۶/۴	۳۰۶/۲	۲۹۸
	پسین	۳۶۰	۱۶/۴	۳۱/۱	۴۳/۶	۵۳/۸	۶۲

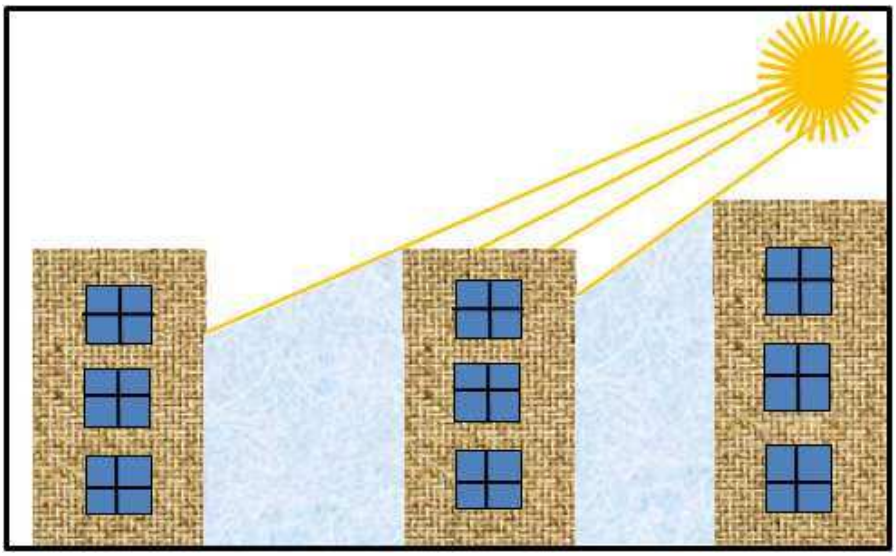
توضیح :

۱- طول این روز در عرض ۳۲ درجه شمالی، حدود ۹ ساعت و ۵۴ دقیقه است. به ساعت محلی، طلوع آفتاب حدود ساعت ۷ و ۳ دقیقه و غروب ساعت ۱۶ و ۵۷ دقیقه است.

۲- منظور از ساعت محلی، فاصله زمانی تا نیمروز محلی است. هنگام نیمروز محلی، ساعت (۱۲) در نظر گرفته شده است.



شکل ۸-۲: نیمرخ مثلث قائم‌الزاویه سایه ساختمان



شکل ۸-۳: گسترش سایه بلند زمستانی بناهای بلند بر روی ساختمان‌های پشت سر

۸-۷. محاسبه عمق سایه

دیوارهای عمودی ساختمان‌ها، نسبت بزرگی از سطوح شهری را در بر می‌گیرند. همواره بخشی از این سطوح در معرض تابش مستقیم آفتاب قرار می‌گیرد و متناسب با زاویه سرسوی خورشیدی در محل، در جهت وارونه با جهت تابش، سایه ایجاد می‌نمایند. اگرچه جهت هر ساختمان ثابت است ولی جهت خورشید در حال تغییر است. بنابراین، معمولاً جهت گسترش افقی سایه با جهت ساختمان زاویه می‌سازد. این زاویه مساوی با زاویه (Δ_d) است. در اینجا، مقدار گسترش سایه در امتداد آزیموت سایه به نام «طول سایه» بیان می‌شود. اگر دیواری که در معرض تابش قرار دارد، مربع شکل فرض شود. دو حالت برای شکل سایه در سطح تراز پدید می‌آید. در حالتی که (Δ_d) صفر باشد، غالباً سایه به شکل مستطیل خواهد بود. در این حالت «طول سایه» یعنی یکی از ضلع‌های مستطیل، با دیوار عمود است و برابر با کوتاه‌ترین فاصله‌ای است که لبه خارجی سایه تا دیوار مزبور دارد. حالت دیگر این است که (Δ_d) بزرگتر از «صفر» (کوچکتر از ۹۰ درجه)، باشد. در این حالت، شکل سایه به شکل یک متوازی‌الاضلاع خواهد بود که در آن، «طول سایه» با دیوار مزبور، زاویه کمتر از ۹۰ درجه قوسی می‌سازد. اگرچه در این حالت نیز، «طول سایه»، یکی از ضلع‌های متوازی‌الاضلاع را تشکیل می‌دهد، امّا دیگر کوتاه‌ترین فاصله لبه خارجی سایه تا دیوار نیست. در اینجا، ارتفاع متوازی‌الاضلاع، کوتاه‌ترین فاصله لبه خارجی سایه با لبه لولا شده سایه با پایه دیوار را تشکیل می‌دهد که به آن «عمق سایه» گفته شده است. زاویه بین «طول سایه» و «عمق سایه» را «زاویه افقی سایه» (Horizantal Shadow Angle) یا (HSA) نام داده‌اند. این زاویه برابر با زاویه (Δ_d) است.

رابطه ۸-۳: $$HSA = \Delta_d = d_R - d_w$$

فضاهای آزاد خصوصی و عمومی زمین‌های شهری، مانند حیاط خانه، گذرگاه و ...، ساختمان‌های بلند را از یکدیگر جدا می‌سازند. پیرامون هر یک از این فضاها را ساختمان‌های کم و بیش بلند در برگرفته‌اند. توجه به «عمق سایه» از این جهت اهمیّت دارد که بر اساس آن فاصله بین ساختمان‌ها را می‌توان محاسبه کرد. این فاصله متناسب با شرایط اقلیمی تعیین می‌شود. اگر هدف استفاده بیشتر از تابش خورشیدی باشد، مانند شرایط آب و هوایی دوره سرد سال، به ویژه در شهرهایی که در عرض‌های بالا قرار دارند، فضای آزاد بین ساختمان‌ها باید

بیشتر از «عمق سایه» باشد. در صورتی که هدف برنامه‌ریزی، پرهیز از گرمای تابش مستقیم آفتاب باشد، برای جایگزینی سازه مورد نظر، باید چتر سایه مورد نظر برنامه‌ریزی باشد.

منظور از دو ساختمان روبرو، بناهایی هستند که در دو کناره این گونه فضاهای آزاد، روبروی یکدیگر قرار می‌گیرند. معمولاً کوتاه‌ترین خطی که این دو ساختمان را به یکدیگر پیوند می‌دهد، بر یکی از ضلع‌های فضای آزاد عمود است. برای مثال کوتاه‌ترین خطی که دو ساختمان در دو طرف خیابان را به یکدیگر وصل می‌سازد با جهت خیابان عمود است. خط مفروض با آزیموت سایه نیز زاویه می‌سازد. این زاویه نیز برابر با زاویه (Δ_d) است. محاسبه «عمق سایه» در جهت امتداد دو ساختمان روبرو و تعیین فاصله افقی مناسب میان آنها بر پایه بلندی ساختمان‌های جبهه جنوبی (در نیمکره شمالی)، در برنامه ریزی شهری اهمیّت بسیار دارد:

رابطه ۸-۴: $d_x = h \times \sin \Delta_d \div \tan \alpha h$

رابطه ۸-۵: $d_y = h \times \cos \Delta_d \div \tan \alpha h$

d_x= مقدار کجی سایه نسبت به خط عمود بر سطح سایه دار به متر.

d_y= عمق سایه به متر.

۸-۸. محاسبه زاویه عمودی سایه

در مبحث پیشین «زاویه عمودی سایه» (Vertical Shadow Angle) یا (VSA) برابر با زاویه تابش آفتاب در سطح تراز زمین (αh) فرض شد. امّا با توجه به زاویه (Δ_d)، می‌توان زاویه (VSA) را محاسبه کرد:

رابطه ۸-۶: $VSA = \tan^{-1}(\tan h\alpha \div \cos HSA)$

☜ همچنین با استفاده از زاویه (VSA) نیز می‌توان مقدار (d_x) و (d_y) را بدست آورد:

رابطه ۸-۷: $d_y = h \div \tan VSA$

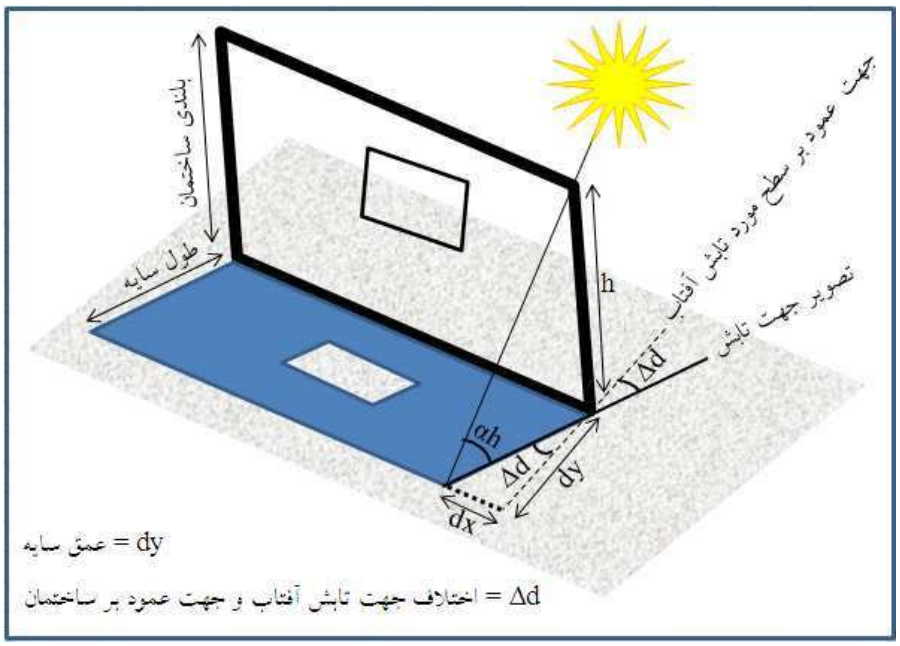
رابطه ۸-۸: $d_x = d_y \times \tan HSA$

به کمک زاویه (VSA) می‌توان بلندی سایه را در هر قسمتی از نیمرخ چتر سایه بدست آورد. با افزایش فاصله از پدیده سایه انداز (Overshadowing) در جهت لبه خارجی سایه در سطح زمین، به تدریج از بلندی سایه کاسته می‌شود. با انتخاب هر فاصله دلخواه از پدیده سایه انداز،

می‌توان بلندی سایه آن نقطه را در زیر چتر سایه محاسبه کرد. برای مثال در صورتی که زاویه (VSA) برابر با ۵۵ درجه قوسی باشد. در فاصله ۰/۸ متری از یک دیوار به بلندی ۳ متر، ارتفاع سایه ۱/۸۶ متر خواهد بود (رابطه ۸-۹).

رابطه ۸-۹: $h_x = (d_y - x) \times \tan VSA$

h_x= بلندی سایه در نقطه (x)، x = نقطه مورد نظر با فاصله معین از پدیده سایه دار.



شکل ۸-۴: شماتیک «طول سایه» و «عمق سایه» در رابطه با زاویه (Δ_d)

☜ افزایش جمعیت شهرها، گسترش شتابان افقی و عمودی شهرها را به دنبال داشته است. در ساماندهی نظام سکونتگاهی به ویژه در شهرهای بزرگ که به دلیل افزایش جمعیت، ساخت آسمان خراش‌ها را تجربه می‌کنند. توجه به مشکلات ناشی از گسترش سایه ساختمان، گامی مهم در جهت کاهش پیامدهای پیدا و پنهانی است که بر فضای جغرافیایی شهر می‌گذارد.

☜ بایستی به نسبت افزایش بلندی ساختمان، فضایی برابر عمق سایه ایجادشده در امتداد دو ساختمان روبرو، از ساختمان سازی آزاد شود. به عبارت ساده تر، متناسب با افزایش بلندی ساختمان‌ها، ضرورت دارد که فضاهای بین ساختمان‌ها شامل پهنای گذرگاهها، فضاهای سبز و سایر فضاهای آزاد مانند باغچه‌های خصوصی، حیاط و ...، افزایش یابد.

۸-۹. زاویه تابش مستقیم خورشید و راستای شبکه گذرگاههای شهری

با توجه به اینکه جهت و زاویه تابش مستقیم خورشید در ساعات مختلف روز و نیز در فصول مختلف سال متغیر است. همچنین با توجه به هشت جهت جغرافیایی (شمال، شمالشرق، شرق، جنوبشرق، جنوب، جنوبغرب، غرب و شمالغرب)، چهار جهت کلی، برای گذرگاههای مناطق مسکونی متصّور است. یعنی جهت کشیدگی کوچه‌ها و خیابان‌ها یکی از حالت‌های کلی: «شمالی، جنوبی»، «شرقی، غربی»، «جنوبشرقی، شمالغربی» و «جنوبغربی، شمالشرقی» را خواهد داشت. راستای گذرگاه در هر یک از حالت‌های فرضی یاد شده، ویژگی‌هایی نسبت به تابش مستقیم خورشید دارد که در برنامه‌ریزی‌های شهری و معماری می‌تواند مورد توجه طراحان و برنامه‌ریزان محیطی قرار داشته باشد. برای بیان ساده موضوع در شرح این حالت‌ها، شرایط استثنایی که در اثر پیچ و خم گذرگاه، سرپوشیده بودن کوچه‌ها و یا بن‌بست‌هایی که توسط یک ساختمان بلند مسدود شده است، صرف نظر شده است. اگرچه این شرایط، موجب ناهمگونی در ساختار شهر می‌شود. زیرا از یک سو، هماهنگی جهت تمامی ساختمان‌ها و گذرگاهها را با شرایط طبیعی به ویژه عناصر آب و هوایی مانند تابش خورشید و جهت باد چیره، ناممکن می‌سازد و از سوی دیگر، مشکلات ترافیکی فراوانی به ویژه در مناطقی که دارای پدیده یخبندان و ریزش برف هستند، برای مردم ایجاد می‌نماید.

ساختمان‌های روبرو، ساختمان‌هایی است که در دو حاشیه کوچه و یا خیابان روبروی یکدیگر قرار گرفته‌اند. معمولاً خطی که این ساختمان‌ها را به یکدگر پیوند می‌دهد با راستای گذرگاه زاویه می‌سازد. جهت ساختمان به طور مستقیم با جهت گذرگاه رابطه دارد. معمولاً اگر کشیدگی ساختمان «شمالی، جنوبی» باشد، راستای گذرگاه «شرقی، غربی» خواهد بود. از این رو، برنامه‌ریزی در مسائل معماری و شهرسازی ارتباط تنگاتنگی با یکدیگر دارند.

جداول ۸-۳، ۸-۴ و ۸-۵، عمق سایه دیوار ساختمانی به بلندی ۲۰ متر را برای ساعت‌های مختلف روز در هنگام انقلاب زمستانی و انقلاب تابستانی و برای مدار جغرافیایی ۳۲ درجه

شمالی نشان می‌دهند. این دو لحظه به این دلیل انتخاب شدند که ارتفاع خورشید در آسمان نیمکره شمالی در شرایط کمینه و بیشینه سالانه خود است. برای بیان ساده تر موضوع، در تعیین عمق سایه در سطوح گذرگاههای شهری و هر فضای آزاد دیگر، زاویه (d_w) عمود بر جهت گذرگاه در نظر گرفته شد.

♠ در حالتی که راستای گذرگاه (خیابان، کوچه، بن بست و ...) «شمالی، جنوبی» باشد، سطح گذرگاه بیشترین تابش مستقیم آفتاب را در تمام روزهای سال خواهد داشت. کناره غربی گذرگاه در همه ساعات پیش از نیمروز و کناره شرقی در تمام ساعات پسین، تابش مستقیم آفتاب را دریافت می‌دارد. درست مانند آنچه در مقایسه طلوع و غروب محلی دامنه‌های شرقی و غربی کوهسار بیان شده است. به سخن دیگر، قسمت‌های غربی این گونه گذرگاه مانند دامنه‌های شرقی و قسمت‌های شرقی گذرگاه نیز مانند دامنه‌های غربی کوهستان، آفتابگیری دارد. تقریباً تمامی سطح گذرگاه، تابش مستقیم آفتاب را در تمام سال خواهد داشت امّا مدّت آفتابگیری قسمت‌های میانی گذرگاه بیشتر از بخش‌های حاشیه‌ای می‌باشد. افزایش آفتابگیری گذرگاه به ازای کاهش سطح سایه دار اتفاق می‌افتد و در مناطقی که با یخبندان زمستانی روبرو هستند زحمت کمتری برای حل مسائل ترافیکی ناشی از یخبندان و تل‌انبار شدن برف و یخ وجود خواهد داشت. به هر حال، گذرگاههای «شمالی، جنوبی» برای شهرهای سردسیر و شهرهای عرض‌های بالای جغرافیایی مناسب است (جداول ۸-۳ و ۸-۴).

☜ ضعف راستای «شمالی، جنوبی» گذرگاه در این است که معمولاً نمای جلوی ساختمان‌ها به ویژه فروشگاه‌ها و کارگاهها، به سمت شرق و یا به سمت غرب است. ساختمان‌های با جهت «غربی، شرقی»، که در هماهنگی با گذرگاه ایجاد شده‌اند، بیشترین تابش مستقیم آفتاب را در دوره گرم سال و کمترین تابش را در دوره سرد سال دریافت می‌دارند. به دلیل جایگاه شمالی‌تر طلوع خورشید در دوره گرم سال (نیمکره شمالی) و مایل‌تر بودن زاویه تابش خورشید در ساعات اولیه روز، ساختمان‌های شرقی در دوره گرم سال از تابش بامدادی خورشید رنج می‌برند زیرا نور خورشید به فضای درونی ساختمان نفوذ می‌کند. در صورتی که در زمستان از هرگونه تابشی بی بهره‌اند. ساختمان‌های غربی همین شرایط را در ساعات بعد از نیمروز، در دوره گرم سال تجربه می‌کنند. نفوذ تابش مستقیم خورشید در دوره گرم سال، نه تنها هزینه سرمایش فضای درونی ساختمان را افزایش می‌دهد که در محیط کارگاهی، روی بازدهی کارگران اثر

منفی می‌گذارد. همچنین مواد فاسد شدنی به ویژه مواد غذایی فروشگاه‌هایی که در حاشیه این گونه خیابان‌ها قرار گرفته‌اند، ممکن است پیش از تاریخ انقضا، فاسد شده و یا کیفیت خود را از دست بدهند. باید اضافه کرد که هزینه گرمایش فضای درونی این گونه ساختمان‌ها در دوره سرد سال نیز نسبتاً بالاتر است.

♠ حالت دوّم، راستای «شرقی، غربی» است. ویژگی تابشی کناره شمالی این راستا، مانند دامنه جنوبی کوهستان است. این قسمت از گذرگاه، بیشترین تابش مستقیم آفتاب را در طول سال، به ویژه در دوره سرد دریافت می‌کند. ویژگی تابشی بخش جنوبی این راستا مانند دامنه شمالی است. کناره جنوبی در دوره گرم سال از دو طلوع و غروب برخوردار است، یعنی هم در ساعات اولیه و هم در ساعات پایانی روز تابستان، تابش مستقیم آفتاب را دریافت می‌کند. در صورتی که در دوره سرد سال، در سرتاسر روز، از تابش مستقیم بی بهره‌اند. به طور کلی، کناره جنوبی این راستا کمترین مقدار تابش را نسبت به سایر شرایط داراست. با توجه به این که از یک سو، کشیدگی ساختمان‌های دو حاشیه گذرگاه متناسب با راستای گذرگاه است و معمولاً «شمالی، جنوبی» است که اغلب نمای روبه جنوب (در عرض‌های متوسط و بالای جغرافیایی در نیمکره شمالی) دارند. از سوی دیگر، آزیموت سایه نیمروزی، که کوتاه‌ترین طول سایه روزانه است، منطبق با عمق سایه و همچنین کوتاه‌ترین خطی است که ساختمان‌های روبرو را در دو حاشیه گذرگاههای «شرقی، غربی» به یکدیگر پیوند می‌دهد. بنابراین، تأثیر گسترش سایه نیمروزی ناشی از بلندی ساختمان در این حالت، در انقلاب زمستانی به کمینه روزانه خود (جدول ۸-۳) و در انقلاب تابستانی به بیشینه روزانه خود (جدول ۸-۴) می‌رسد. بنابراین، پهنای این راستا برای گذرگاه و هر فضای آزاد دیگر شهری نسبت به راستای «جنوبشرقی، شمالغربی» و «جنوبغربی، شمالشرقی»، می‌تواند کمتر باشد.

☜ از آنجایی که نیمه جنوبی گذرگاههای «شرقی، غربی»، در دوره سرد سال (نیمکره شمالی) در تمام طول روز در زیر چتر سایه قرار دارد. بنابراین در مناطقی که با یخبندان زمستانی روبرو هستند، در هنگام یخبندان و بارش برف، پوشش یخ و برف و همچنین تل برف‌های روفته شده از پشت بام ساختمان کناره گذرگاه، فرصت ذوب پیدا نمی‌کند. این حالت رفت و آمد مردم و دستگاه‌های موتوری را با مشکل روبرو می‌سازد و خسارات مالی و بدنی به دنبال دارد.

♠ حالت سوم، گذرگاههایی هستند که دارای راستای «جنوبشرقی، شمالغربی» باشند، که در دوره سرد سال و در ساعات پیش از نیمروز از آفتابگیری بیشتری بهره‌مندند. زیرا با جهت تابش بسیار مایل ساعت‌های آغازین روز زمستانی، تطابق بیشتری دارند. امّا در ساعات میانی و پسین از تابش آفتاب بهره‌ای ندارند. برای مثال در عرض ۳۲ درجه شمالی، از حدود ساعت ۹ صبح محلی تا هنگام غروب، سطح گذرگاه به دلیل گسترش سایه بلند دیوارهای کناره جنوبغربی گذرگاه، از تابش مستقیم بی بهره است (جدول ۸-۳). در مقایسه، در انقلاب تابستانی تعداد ساعاتی که سطح گذرگاه در معرض تابش قرار می‌گیرد به حدود ۸ ساعت در هنگام پیشین، افزایش پیدا می‌نماید و عمق سایه کناره جنوبغربی گذرگاه نیز نسبتاً کاهش می‌یابد. این شرایط در دوره گرم سال و در ساعات بعد از نیمروز، به افزایش بیشتر دما در سطح این گونه گذرگاهها منجر می‌شود (جدول ۸-۵).

☜ اگرچه گذرگاههای «جنوبشرقی، شمالغربی»، در نخستین ساعات بامدادی روزهای سرد در معرض تابش مستقیم خورشید قرار دارند. امّا به دلیل پایین بودن دمای هوا، پرتوهای بسیار مایل و کم توان آفتاب در ذوب یخ و برف سطح گذرگاه از کارآمدی نسبی بالایی برخوردار نیست. در این حالت، نقش همزمان «دمای هوا» و «پرتوافشانی خورشید»، یکدیگر را خنثی می‌سازند و به اصطلاح «سینرژی منفی» یا «هم‌کاهندگی» اتفاق می‌افتد (مخدوم، ۱۳۷۱: ۱۲۴). زیرا دمای هوا در نخستین ساعات روز، هنوز در شرایط کمینه روزانه خود قرار دارد.

♠ حالت چهارم، راستای «جنوبغربی، شمالشرقی» گذرگاه است. شرایط تابشی این راستا در زمان انقلاب تابستانی نشان می‌دهد که این جهت برای شهرهای گرمسیر و شهرهایی که در عرض‌های پایین جغرافیایی جای گرفته‌اند، چندان مناسب نیست. زیرا در طی گذر روز، به نسبت افزایش دمای روزانه هوا از گستره چتر سایه در سطح گذرگاه کاسته می‌شود و به تشدید شرایط جزیره گرمایی شهر منجر می‌شود (جدول ۸-۵). در صورتی که این الگو برای شرایط آب و هوای سرد بسیار مناسب است. به ویژه در جایی که با زمستان سرد، همراه با پدیده یخبندان روبرو باشد. زیرا جهت تابش مستقیم خورشید (نیمکره شمالی) در هنگام پسین، با جهت گذرگاه دریک راستا است و تمام سطح کوچه و خیابان در زیر پوشش تابش مستقیم قرار می‌گیرد. اثر همزمان «تابش پسین خورشید» با «بیشینه دمای روزانه هوا»، به ذوب شدن یخ و برف انباشته شده در سطح گذرگاه، کمک نسبتاً بالاتری می‌کند. به سخن دیگر، در این حالت، اثر همزمان «دمای هوا»

و «پرتوافشانی خورشید»، یکدیگر را تشدید نموده و به اصطلاح «سینرژی مثبت» یا «هم‌افزایی» اتفاق می‌افتد (طاوسی، ۱۳۸۱: ۴۲). شاید اگر سایر شرایط محیط طبیعی، به ویژه عناصر آب و هوایی مانند جهت وزش باد چیره و ...، با راستای «جنوبغربی، شمالشرقی» گذرگاه انطباق داشته باشند، بهترین شرایط تابش زمستانی، برای راستای «جنوبغربی، شمالشرقی» به وجود آید.

جدول ۸-۳: عمق سایه یک دیوار با بلندی ۲۰ متر، در حاشیه سایه گیر گذرگاههای مفروض در عرض‌جغرافیایی ۳۲ درجه شمالی در انقلاب زمستانی

جهت گذرگاه	SE-NW		SW-NE		شرق- غرب		شمال - جنوب			
کناره گذرگاه	جنوبغربی		جنوبشرقی		جنوبی		شرقی		غربی	
d_w	۲۲۵		۱۳۵		۱۸۰		۹۰		۲۷۰	
ساعت روز	Δ_d	d_y	Δ_d	d_y	Δ_d	d_y	Δ_d	d_y	Δ_d	d_y
طلوع	۹۰<	∞	۱۷	∞	۶۲	∞	۲۸	∞	۹۰<	∞
۸	۹۰<	*	۸/۸	۱۰۹/۸	۵۳/۸	۶۵/۶	۳۶/۲	۲۲/۴	۹۰<	*
۹	۸۸/۶	۱/۴	۱/۴	۵۵/۵	۴۳/۶	۴۰/۲	۴۶/۴	۹/۶	۹۰<	*
۱۰	۷۶/۱	۹/۲	۱۳/۹	۳۷/۳	۳۱/۱	۳۲/۹	۵۸/۹	۵	۹۰<	*
۱۱	۶۱/۴	۱۴/۹	۲۸/۶	۲۷/۴	۱۶/۴	۲۹/۹	۷۳/۶	۲/۲	۹۰<	*
۱۲	۴۵	۲۰/۶	۴۵	۲۰/۶	۰	۲۹/۱	۹۰<	*	۹۰<	*
۱۳	۲۸/۶	۲۷/۴	۶۱/۴	۱۴/۹	۱۶/۴	۲۹/۹	۹۰<	*	۷۳/۶	۲/۲
۱٤	۱۳/۹	۳۷/۳	۷۶/۱	۹/۲	۳۱/۱	۳۲/۹	۹۰<	*	۵۸/۹	۵
۱۵	۱/۴	۵۵/۵	۸۸/۶	۱/۴	۴۳/۶	۴۰/۲	۹۰<	*	۴۶/۴	۹/۶
۱٦	۸/۸	۱۰۹/۸	۹۰<	*	۵۳/۸	۶۵/۶	۹۰<	*	۳۶/۲	۲۲/۴
غروب	۱۷	∞	۹۰<	∞	۶۲	∞	۹۰<	∞	۲۸	∞

جدول ۸-۴: عمق سایه یک دیوار با بلندی ۲۰ متر، در حاشیه سایه‌گیر گذرگاهها با جهت «شرقی، غربی» و «شمالی، جنوبی» در عرض‌جغرافیای ۳۲ درجه شمالی در انقلاب تابستانی

جهت گذرگاه	شرق- غرب		شمال - جنوب				$d_y = 20 \times \cos\Delta_d \div \tan\alpha h$
کناره گذرگاه	جنوبی		شرقی		غربی		* = در معرض تابش خورشید
d_w	۱۸۰		۹۰		۲۷۰		∞ = گسترش کلی سایه
							δ = ۲۳/۵+(انقلاب تابستانی)
ساعت روز	Δ_d	d_y	Δ_d	d_y	Δ_d	d_y	ارتفاع آفتاب	آزیموت تابش
طلوع	۹۰<	∞	۲۸/۱	∞	۹۰<	∞	۰	۶۱/۹
۵	۹۰<	*	۲۷/۶	۸۰	۹۰<	*	۰/۶	۶۲/۴
۶	۹۰<	*	۲۰/۲	۸۶/۷	۹۰<	*	۱۲/۲	۶۹/۸
۷	۹۰<	*	۱۳/۴	۴۲/۹	۹۰<	*	۲۴/۴	۷۶/۶
۸	۹۰<	*	۶/۷	۲۶/۵	۹۰<	*	۳۶/۹	۸۳/۳
۹	۸۹/۵	۰/۱۵	۰/۵	۱۷	۹۰<	*	۴۹/۶	۹۰/۵
۱۰	۷۹/۵	۱/۹	۱۰/۵	۱۰/۴	۹۰<	*	۶۲/۲	۱۰۰/۵
۱۱	۶۱/۳	۲/۷	۲۸/۷	۴/۹	۹۰<	*	۷۴/۳	۱۱۸/۷
۱۲	۰	۳	۹۰	*	۹۰	*	۸۱/۵	۱۸۰
۱۳	۶۱/۳	۲/۷	۹۰<	*	۲۸/۷	۴/۹	۷۴/۳	۲۴۱/۳
۱۴	۷۹/۵	۱/۹	۹۰<	*	۱۰/۵	۱۰/۴	۶۲/۲	۲۵۹/۵
۱۵	۸۹/۵	۰/۱۵	۹۰<	*	۰/۵	۱۷	۴۹/۶	۲۶۹/۵
۱۶	۹۰<	*	۹۰<	*	۶/۷	۲۶/۵	۳۶/۹	۲۷۶/۷
۱۷	۹۰<	*	۹۰<	*	۱۳/۴	۴۲/۹	۲۴/۴	۲۸۳/۴
۱۸	۹۰<	*	۹۰<	*	۲۰/۲	۸۶/۷	۱۲/۲	۲۹۰/۲
۱۹	۹۰<	*	۹۰<	*	۲۷/۶	۸۰	۰/۶	۲۹۷/۶
غروب	۹۰<	∞	۹۰<	∞	۲۸/۱	∞	۰	۲۹۸/۱

جدول ۸-۵: عمق سایه دیوار با بلندی ۲۰ متر، جهت گذرگاه «جنوبشرقی، شمالغربی» و «جنوبغربی، شمالشرقی» در عرض‌جغرافیایی ۳۲ درجه شمالی در انقلاب تابستانی

جهت گذرگاه	SE-NW		SW-NE		$d_y = 20 \times \cos \Delta_d \div \tan \alpha h$
کناره گذرگاه	جنوبغربی		جنوبشرقی		* = در معرض تابش خورشید
d_w	۲۲۵		۱۳۵		∞ = گسترش کلی سایه
					δ = ۲۳/۵+(انقلاب تابستانی)
ساعت روز	Δ_d	d_y	Δ_d	d_y	ارتفاع آفتاب	آزیموت تابش
طلوع	۹۰<	∞	۷۳/۱	∞	۰	۶۱/۹
۵	۹۰<	*	۷۲/۶	۵۷۱/۱	۰/۶	۶۲/۴
۶	۹۰<	*	۶۵/۲	۳۸/۸	۱۲/۲	۶۹/۸
۷	۹۰<	*	۵۸/۴	۲۳/۱	۲۴/۴	۷۶/۶
۸	۹۰<	*	۵۱/۷	۱۶/۵	۳۶/۹	۸۳/۳
۹	۹۰<	*	۴۴/۵	۱۲/۱	۴۹/۶	۹۰/۵
۱۰	۹۰<	*	۳۴/۵	۸/۷	۶۲/۲	۱۰۰/۵
۱۱	۹۰<	*	۱۶/۳	۵/۴	۷۴/۳	۱۱۸/۷
۱۲	۴۵	۲/۱	۴۵	۲/۱	۸۱/۵	۱۸۰
۱۳	۱۶/۳	۵/۴	۹۰<	*	۷۴/۳	۲۴۱/۳
۱۴	۳۴/۵	۸/۷	۹۰<	*	۶۲/۲	۲۵۹/۵
۱۵	۴۴/۵	۱۲/۱	۹۰<	*	۴۹/۶	۲۶۹/۵
۱۶	۵۱/۷	۱۶/۵	۹۰<	*	۳۶/۹	۲۷۶/۷
۱۷	۵۸/۴	۲۳/۱	۹۰<	*	۲۴/۴	۲۸۳/۴
۱۸	۶۵/۲	۳۸/۸	۹۰<	*	۱۲/۲	۲۹۰/۲
۱۹	۷۲/۶	۵۷۱/۱	۹۰<	*	۰/۶	۲۹۷/۶
غروب	۷۳/۱	∞	۹۰<	∞	۰	۲۹۸/۱

☜ توجه به این نکته ضروری است که پهنای گذرگاه و هر فضای آزاد دیگر شهری که دارای راستای «جنوبغربی، شمالشرقی» باشد نسبت به فضایی که در راستای «شرقی، غربی» است باید بیشتر باشد. زیرا عمق سایه کناره جنوبغربی این راستا، که در ساعات پیشین بر عرض گذرگاه منطبق است نسبت به عمق سایه حاشیه جنوبی گذرگاههای «شرقی، غربی» که در هنگام نیمروز بر راستای گذرگاه عمود می‌شود، بلندتر است. بنابراین چتر سایه بلندتر نخستین ساعات روز زمستانی، بر سر ساختمان‌های کناره شمالغربی بیشتر گسترش می‌یابد.

☜ از نگاه چگونگی تابش مستقیم آفتاب زمستانی، راستای «جنوبغربی، شمالشرقی» ویژگی ویژه‌ای دارد: معمولاً ساختمان‌های کناره گذرگاه بر راستای کوچه و خیابان عمود هستند و پنجره‌های آفتابگیر ساختمان‌ها به سمت جنوبشرق است. بنابراین، همزمان با طلوع خورشید که در دوره سرد سال از سمت جنوبشرق طلوع می‌نماید و در هنگامی که دمای هوا در پایین‌ترین آستانه روزانه خود قرار گرفته است، پرتو گرمازای خورشید به فضای درونی ساختمان نفوذ می‌کند و امکان صرفه جویی در مصرف انرژی را افزایش می‌دهد.

♠ صرف نظر از چگونگی راستای شبکه گذرگاه شهری، طراحی «فضای سبز خیابانی» ضرورت دارد. درختان هم از طریق سایه اندازی بر سطوح و هم فرآیند تبخیر و تعرق به خنک شدن گذرگاه‌ها کمک می‌کنند. با گسترش «فضای سبز خیابانی»، ضمن کاهش دادن سطح مصالحی که جهت فرش کردن گذرگاهها بکار می‌رود و نیز با ایجاد سایه بر سطح پیاده رو و سواره رو خیابان‌ها از شدت جزیره گرمایی شهر کاسته می‌شود.

☜ بهتر است بین پیاده‌روها و محل پارک خودروها در کناره گذرگاه و نیز بین محل پارک اتومبیل‌ها با سواره‌رو، هر کدام با یک ردیف درخت جدا شوند.

☜ باید سطح فرش شده گذرگاه به کمینه ممکن برسد و طراحی به گونه‌ای باشد که بر روی سایر سطوح گذرگاه نیز به وسیله درختان سایه ایجاد شود.

☜ مزیت درختان برای تعدیل کردن هوای داغ محیط پیاده‌رو در آب و هوای گرم و خشک بیشتر است. زیرا سایه مستقیم را برای پیاده‌رو فراهم می‌سازد.

☜ درختان پهن‌برگ بهترین نوع سایبان هستند. زیرا محیط را در دوره گرم محافظت می‌کنند در حالی که در دوره سرد برگ خود را از دست می‌دهند و امکان استفاده سطوح شهری از تابش زمستانی را فراهم می‌سازند.

۸-۱۰. پیامدهای توجه به ویژگی مستقیم تابش در شهرسازی

در برنامه‌ریزی سکونتگاهی و شهرسازی، توجه به ویژگی‌های تابش مستقیم آفتاب در جهت ساماندهی نظام فضایی ضرورتی انکار ناپذیر است. کاربرد فاکتور اقلیمی تابش در برنامه‌ریزی شهری، بسیاری از مشکلات عمومی شهر در زمینه‌های اجتماعی، اقتصادی، روانشناسی و ...، مانند مسائل مربوط به ترافیک، انرژی، آلودگی هوا، اثر جزیره گرمایی شهر و ... را لگام می‌کند. برای مثال، سرمای شدید هوا که از ترکیب عوامل گوناگون آب و هوایی ازجمله، عرض جغرافیایی، ارتفاع مکان، تمایل زاویه تابش آفتاب و کوتاه شدن مدت تابش (طول روز)، ناشی می‌شود، نیاز عمومی به تابش مستقیم خورشید در سطح گذرگاه و ساختمان را در شهرهای سردسیر به وجود می‌آورد. مانند شهرهایی که در عرض‌های بالای جغرافیایی قرار دارند و یا شهرهایی که از سطح دریا ارتفاع بیشتری دارند و در کل در دوره‌ای از سال با پدیده یخبندان روبرو هستند. بنابراین، صرفه جویی در مصرف انرژی گرمایشی و سرمایشی فضای درونی ساختمان مستلزم توجه به تغییرات ویژگی تابش در طول سال می‌باشد. توجه به ویژگی‌های تابش، به منظور استفاده بهینه از آن در سطوح شهری پیامدهای گوناگونی در پی دارد و به طور غیر مستقیم بر زیر بنای حمل و نقل و اقتصاد محلی نیز اثر می‌گذارد.

در کل، برنامه‌ریزی مبتنی بر تابش خورشیدی بر علاوه بر این که بر قسمت پیدای فضاهای جغرافیایی شهری پیامدهای بسیار مثبتی بر جای می‌گذارد، می‌تواند بر قسمت ناپیدای روابط متقابل اجتماعی، اقتصادی و فرهنگی (بعد ناپیدای فضای جغرافیایی) نیز تأثیر مثبت بگذارد. به سخن دیگر، برنامه‌ریزی اقلیمی ابزاری است که در جهت افزایش آستانه تحمل فضاهای شهری، زندگی اجتماعی شهر را تحت تأثیر قرار می‌دهد. چنانچه «برطرف شدن نیاز فیزیولوژیکی انسان»، «صرفه‌جویی در مصرف انرژی گرمایشی و سرمایشی فضای درونی ساختمان»، «تعدیل مسائل و مشکلات زیست محیطی ناشی از زندگی شهر نشینی مانند کاهش آلودگی هوا، گسترش فضاهای آزاد عمومی و خصوصی مانند پارک‌ها، فضاهای سبز، میدان‌های ورزشی، حیاط خانه، ذوب سریع‌تر پوشش یخ و برف سطوح گذرگاه و کاهش خسارات بدنی و مالی ناشی از مشکلات

ترافیکی یخبندان سطوح گذرگاهها و ...»، «تأثیر مثبت بر قسمت پنهان فضای جغرافیایی شامل: روابط چند جانبه اجتماعی، اقتصادی، فرهنگی و افزایش آستانه تحمل محیط‌های شهری» و ... از پیامدهای کاربرد اقلیمی تابش در برنامه‌ریزی شهری به شمار می‌رود.

فصل نهم

طراحی اقلیمی کاربرد انرژی خورشیدی در معماری

۹-۱. مفهوم طراحی اقلیمی

طراحی اقلیمی در معماری به این مفهوم اشاره دارد که برنامه‌ریزان معماری، متناسب با شرایط آب و هوایی حاکم بر محل، پلان ساختمان را طراحی می‌کنند. ارزش معماری هر دوره در هر منطقه، مطابقت ساختمان با آب و هوای آن مکان است. این که چگونه ساختمان از آفتاب، نسیم و فضای سبز استفاده می‌برد و چگونه معمار، میکروکلیمای فضای درونی ساختمان را ساخته است؟ دلیل آشنایی طراح و مهارت او در برنامه‌ریزی به منظور استفاده بهینه از شرایط آب و هوایی محل است. واژه «اجرای طراحی اقلیمی» به تکنیک‌های ساختمانی خاصی اشاره دارد که هدف آنها کاهش هزینه‌های «گرمایش» و «سرمایش» با استفاده از جریان‌های انرژی طبیعی برای ایجاد آسایش در ساختمان است. با توجه به هزینه‌های گزاف انرژی، تأکید بر استفاده از انرژی خورشیدی در طراحی ساختمان است. باید توجه داشت که طراحی هر ساختمان تنها بر پایه گرمایش در دوره سرد سال ناقص است و اگر سایبان‌هایی برای دوره گرم سال در نظر گرفته نشود، این گونه طراحی حتی مضر هم می‌باشد. بنابراین، طراحی اقلیمی روشی برای کاهش همه جانبه هزینه انرژی یک ساختمان به شمار می‌آید. در هر آب و هوایی، بناهایی که بر پایه طراحی اقلیمی ساخته شوند، ضرورت سرمایش و گرمایش را تا آستانه کمینه کاهش می‌دهند و در عوض از انرژی طبیعی موجود در پیرامون بنا استفاده می‌کنند. هزینه‌هایی که در دراز مدّت صرفه جویی می‌شود، سبب می‌گردد که اجرای تکنیک‌های طراحی اقلیمی بهترین نوع سرمایه گذاری (همگانی و فردی) به شمار رود. بسیاری از این تکنیک‌ها کمترین هزینه‌ای ندارد و تنها مستلزم دانش و آگاهی برنامه‌ریز نسبت به طراحی اقلیمی است.

از آنجایی که طراحی اقلیمی به جریان طبیعی انرژی توجه دارد، بنابراین موجب می‌شود که ساختمان دارای شرایط آسایش بهتری باشد. بنایی که بر پایه ویژگی‌های آب و هوایی محل ساخته شده، نه تنها در مقابل عوامل نامساعد اتمسفری کارکرد مناسبی دارند، که یک محیط زندگی آسوده و سالمی نیز فراهم می‌آورند. ابزار اجرای طراحی اقلیمی عبارت از: پنجره، نور طبیعی، گلخانه، ایوان سرپوشیده و یا حیاط مرکزی است. این ابزار در کل محیطی را فراهم می‌آورد که تراز گرمایی فضای درونی ساختمان را با توجه به شرایط گرمایی فضای پیرامونی آن تعیین می‌سازد. به سخن دیگر، آسایش فیزیکی انسان در فضای درونی ساختمان، نتیجه تراز انرژی گرمایی بین فضای درونی و بیرونی خانه است. هدف طراحی اقلیمی، در مناطق سرد و یا در دوره‌های سرد و هنگامی که به "گرمایش" ساختمان نیاز است، شامل: مقاومت در مقابل هرز انرژی گرمایی فضای درونی ساختمان و جذب هر چه بیشتر انرژی گرمایی خورشیدی است مانند پرتو آفتاب که از پنجره‌های جنوبی به ساختمان وارد می‌شود. در شرایط گرم، هنگامی که به "سرمایش" ساختمان نیاز است، این هدف وارونه می‌گردد، یعنی مقاومت در برابر گرمای تابشی خورشید با ایجاد سایه و هرز هر چه بیشتر انرژی گرمایی ساختمان مورد نظر است. تغییرات فصلی و حتّی شبانه روزی وضع هوا در بسیاری از مناطق، جابجایی نیاز به «گرمایش» و «سرمایش»، در طول زمان را باعث می‌شود. نیل به این اهداف ناهمگون، مستلزم آشنایی طراح با شرایط آب و هوایی حاکم بر محل، به ویژه رفتارهای فصلی آن می‌باشد (قبادیان و مهدوی، ۱۳۷۶: ۴).

به منظور طراحی بنایی که از نظر استفاده از انرژی خورشیدی راندمان خوبی داشته باشند، آگاهی از اصول و مبانی داد و ستد گرمایی ضروری است. تفاوت گرما بین فضای درونی و بیرونی ساختمان، جریان انرژی را سبب می‌شود. انرژی از راه‌های گوناگون مانند دیوار، سقف، پنجره و سایر راه‌های جریان گرما، به فضای درونی یا بیرونی خانه انتقال پیدا می‌کنند. گرما از فضا یا مصالحی که دارای دمای بالاتری باشد به نقاطی که دارای گرمای کمتری است جریان می‌یابد. بنابراین بسته به وضع هوای محیط، جهت جریان گرما گاهی از فضای بیرونی به درون و گاهی از فضای اندرونی به فضای پیرامونی برقرار می‌گردد. توجه به این نکته نیز ضروری است که انرژی انبار شده در مصالح ساختمانی نیز بر جهت جریان گرما اثر بسزای دارد. از آنجایی که هدف طراحی اقلیمی، کاهش هزینه‌های «سرمایش» و «گرمایش» فضای درونی ساختمان

است. آشنایی با چگونگی جریان و جابجایی انرژی گرمایی به معماران کمک می‌کند تا با روش‌های درست و مناسب، هزینه انرژی برای ایجاد آسایش فضای اندرونی ساختمان را به کمینه ممکن برسانند (قبادیان و مهدوی، ۱۳۷۶: ۲۳).

۹-۲. شرایط آسایش دمایی و استانداردها

در طراحی ساختمان و مسائل فنی آن، «آسایش دمایی» مورد نیاز انسان به شرایط ویژه گفته شده که انسان از نظر ذهنی و فکری در شرایط آسایش قرار داشته باشد. تعریف دقیق‌تر از آسایش دمایی، «خنثی بودن دمایی» است. زیرا در چنین شرایطی، بدن انسان، نه احساس گرما دارد و نه احساس سرما می‌کند. باید گفته شود که شاخص آسایش دمایی انسان، علاوه بر دمای هوا به سایر عناصر هواشناسی مانند نم نسبی، سرعت باد و ... نیز بستگی دارد. پژوهشگران دانشگاه کانزاس (ksu, 1981)، «آسوده‌ترین شرایط» را برای ۸۰ درصد از کسانی که لباس سبک و معمولی اداری پوشیده و در شرایط فعالیت کم هستند، دمای هوای برابر با ۲۶/۱ درجه سلسیوس، نم نسبی ۵۰ درصد و سرعت هوای کمتر از ۰/۲ متر در ثانیه (۳۵ فوت در دقیقه) بیان کرده‌اند. گیونی (۱۹۷۶) بیشترین سرعت هوا که رنجش ایجاد نمی‌کند را با رعایت سایر شرایط هواشناسی، برابر با ۱/۵ متر در ثانیه بیان کرده است.

سازمان اشری (Ashrae) نیز با ارائه شاخص «دمای مؤثر نوین»، منطقه آسایش دمایی انسان را بین ۲۵/۶-۲۲/۲ درجه سلسیوس و فشار بخار آب ۱۴- ۵ میلی‌متر جیوه بیان کرده است (رازجویان، ۱۳۶۷: ۳۶). فشار بخار هوا، علاوه بر تأثیری که روی مقدار تعرق و تبخیر نم پوست بدن می‌گذارد، روی شرایط روانی، فیزیکی انسان نیز اثر دارد. چنانکه برخی از پژوهشگران فشار جیوه کمتر از ۵ و بیشتر از ۱۸ میلی متر را «منطقه دمایی رنجش» نام برده‌اند (قبادیان و مهدوی، ۱۳۷۶: ۲۹). جریان هوا نیز بر چگونگی تنظیم دمای بدن و در نتیجه بر آسایش دمایی انسان به دو شیوه اثرگذار است: یکی تأثیر بر مقدار هدایت و جابجایی گرمای بین پوست و هوا (رسانش گرمایی) و دیگری تأثیر بر سرمایش بدن به کمک تبخیر نم پوست می‌باشد.

مقدار هدایت و جابجایی انرژی گرمایی، به دمای خشک هوا (Dry-Bulb Temperature) یا به اختصار (DBT) بستگی دارد. افزایش سرعت هوا (وزش باد) نیز مقدار انتقال گرما به کمک رسانش را بیشتر می‌نماید. به هر روی، جهت شار انرژی بسته به آن است که آیا دمای هوا بیشتر و یا کمتر از دمای سطح پوست بدن انسان می‌باشد (دمای پوست بین ۳۲/۲ تا ۳۵ درجه

سلسیوس بیان شده است) (قبادیان و مهدوی، ۱۳۷۶: ۳۳). در صورتی که دمای هوا کمتر از ۳۲ درجه سلسیوس باشد، گرمای بدن به شیوه رسانش کاهش می‌یابد. امّا اگر دمای هوا بیشتر از دمای بدن باشد، شار گرما از هوا به بدن خواهد بود.

مقدار تبخیر به سرعت هوا و فشار بخار آب بستگی دارد. افزایش سرعت باد، تبخیر را افزایش داده و نقش سرمایشی دارد. به هر حال در شرایطی که فشار بخار آب زیاد باشد (مانند هوای شرجی)، مقدار سرمایش ناشی از تبخیر ناچیز خواهد بود. در شرایط ویژه، تأثیر افزایش سرعت باد موجب افزایش آستانه بالایی منطقه آسایش (حاشیه گرم منطقه آسایش دمایی) می‌گردد، یعنی مرز بالایی دمای منطقه آسایش را بالاتر می‌برد. به طور کلی، شرایط آسایش در دمای بالاتر و فشار بخار آب کمتر و یا دمای پایین‌تر و فشار بخار آب بیشتر مناسب است. باید توجه کرد که افزایش سرعت باد، بهتر می‌تواند دمای بالا با فشار بخار آب کم را نسبت به فشار بخار آب زیاد پایین آورد (قبادیان و مهدوی، ۱۳۷۶: ۳۳).

مثال: برای تعیین منطقه آسایش دمایی انسان در رابطه با دمای خشک هوا در «شاخص اوانز»، شرایط چهارگانه‌ای در نظر گرفته شده است (Evans, 1980):

- چهار گروه «نم نسبی»، «۰/۳۰-۰»، «۰/۵۰-۰/۳۰»، «۰/۷۰-۰/۵۰»، «۰/۱۰۰-۰/۷۰».
- «جریان هوا»، از غیر محسوس (۰/۱ متر در ثانیه) تا محسوس (۱ متر در ثانیه).
- «فعالیت»، استراحت یا کارهای سبک خانگی.
- «پوشاک»، لباس سبک تابستانی تا پوشاک زمستانی درون خانه.

برای ارزیابی شرایط دمایی ماهانه هر محل با روش اوانز، باید بر اساس میانگین کمینه نم نسبی هر ماه، «محدوده منطقه آسایش روزانه» تعیین شود و با میانگین بیشینه دمای هوای آن ماه مقایسه شود. «محدوده منطقه آسایش شبانه» در هر ماه نیز با توجه به میانگین بیشینه نم نسبی ماهانه مشخص شده و با میانگین کمینه دمای هوای همان ماه سنجیده می‌شود (جدول ۹-۱).

- شاخص آسایش دمایی اوانز برای فضای درونی ساختمان بیان شده است. منظور از جریان هوای محسوس برای شرایطی است که بازشوها و پنجره‌های ساختمان باز باشد و منظور از جریان هوای نامحسوس، برای شرایطی است که بازشوها و پنجره‌های ساختمان بسته باشد.

جدول ۹-۱: دامنه آسایش دمایی روزانه و شبانه در «شاخص اوانز»

مقیاس	شرایط گرمایی	نم نسبی	دمای روز	دمای شب
الف	محدوده منطقه آسایش دمایی با جریان هوای ۱ متر در ثانیه (بازشوها و پنجره‌ها باز هستند).	۰-۳۰	۲۹/۵-۳۲/۵	۲۷/۵-۲۹/۵
		۳۰-۵۰	۲۸/۵-۳۰/۵	۲۶/۵-۲۹
		۵۰-۷۰	۲۷/۵-۲۹/۵	۲۶-۲۸/۵
		۷۰-۱۰۰	۲۶-۲۹	۲۵/۵-۲۸
ب	محدوده منطقه آسایش دمایی با لباس سبک تابستانی و رواندار سبک در شب با جریان نامحسوس هوا (۰/۱ متر در ثانیه).	۰-۳۰	۲۲/۵-۳۰	۲۰-۲۷/۵
		۳۰-۵۰	۲۲/۵-۲۸	۲۰-۲۶/۵
		۵۰-۷۰	۲۲/۵-۲۷/۵	۲۰-۲۶
		۷۰-۱۰۰	۲۲/۵-۲۷	۲۰-۲۵/۵
ج	محدوده منطقه آسایش دمایی با لباس معمولی و گرم و رواندار ضخیم در شب	۰-۳۰	۱۸-۲۰	۱۶-۲۰
		۳۰-۵۰	۱۸-۲۰	۱۶-۲۰
		۵۰-۷۰	۱۸-۲۰	۱۶-۲۰
		۷۰-۱۰۰	۱۸-۲۰	۱۶-۲۰

☜ به دلیل این که گرمای آزاد شده ناشی از سوخت و ساز بدن ضرورتاً باید از بدن خارج شود. این فرآیند به طریق تعرق و تبخیر، رسانش و تابش بدن رخ می‌دهد. بر پایه قانون بولتزمن، برونداد گرمای بدن انسان، از طریق تابش به دمای بدن بستگی دارد. سرعت تبخیر نیز به رطوبت نسبی هوا وابسته است. در حالی که رسانش مولکولی گرما، با توجه به ثابت بودن دمای بدن انسان، تنها به دمای هوا بستگی دارد. یعنی مشروط به این که دمای هوا کمتر از دمای پوست بدن انسان باشد، برونداد گرما به شیوه رسانش انجام می‌شود. اگر دمای هوا بیشتر از آستانه ۳۲/۲ درجه سلسیوس باشد، شار انرژی گرمایی معکوس شده و شار گرما از هوا به سوی بدن بر قرار می‌شود. به این دلیل آستانه دمای ۳۲/۲ درجه در پژوهش‌های مربوط به آسایش اقلیمی انسان اهمیت بسزایی دارد.

۹-۳. شیوه‌های کنترل میکروکلیمای ساختمان

پوسته یک ساختمان شار گرما بین فضای درونی و بیرونی را لگام می‌کند. این سازوکار به چهار صورت انجام می‌گیرد (قبادیان و مهدوی، ۱۳۷۶: ۳۷).

- دریافت گرما از منابع انرژی در فضای پیرامونی ساختمان و ارسال آن به فضای درونی، مانند استفاده از انرژی خورشیدی.
- نگهداری گرمای تولید شده از منابع انرژی در فضای درونی ساختمان، مانند کاهش جریان هدایت گرمایی از سطوح مختلف ساختمان به سمت بیرون.
- کمک به هرز گرمای موجود در فضای اندرونی ساختمان، مانند استفاده از سرمایش تابشی.
- جلوگیری از ورود گرما از منابع انرژی فضای بیرونی به فضای درونی بنا، مانند کاهش جذب گرمای خورشید توسط مصالح ساختمانی و کاهش جریان هدایت گرمایی در سطوح مختلف ساختمان به سمت فضای درونی و یا ایجاد سایبان.

بیشتر ابزارهایی که بدین منظور بکار برده می‌شود مانند عایق کاری درون دیوار، حفره‌های درون سقف، مساحت و سمت شیشه‌ها در نمای ساختمان، ثابت هستند ولی برخی از ابزارهای کنترل مانند پنجره بازشو، سایبان‌های متحرک و عایق‌های گرمایی متحرک جلو شیشه مانند پرده و ... متحرک هستند. به کارگیری چهار روش کنترل جریان گرما در سه سازوکار انتقال گرما (هدایت، همرفت و تابش)، به همراه فرآیند تغییر جریان گرما در پوسته ساختمان (که معمولاً به تفاوت دمای فضای بیرونی و درونی ساختمان بستگی دارد)، شیوه‌های گوناگونی را برای تنظیم گرمای فضای درونی ساختمان فراهم می‌سازد. با توجه به شرایط اقلیمی هر منطقه و نوسانات فصلی آنها، شیوه‌های قابل اجرا خود به دو دسته جداگانه، شامل: شیوه‌های مناسب برای شرایط هوای سرد (گرمایش) و شرایط هوای گرم (سرمایش) تقسیم می‌شوند. در آب و هوای بسیار سرد و یا بسیار گرم و طاقت فرسا، به تکنیک‌های مناسب منطقه اقلیمی اولویت داده می‌شود. امّا در آب و هوای منطقه معتدل که دارای فصول مشخص گرم و سرد هستند، باید از هر دو دسته برای دوره‌های سرد و گرم استفاده شود. اگر یک شیوه از گرمایش یا سرمایش، به قیمت از دست دان شیوه دیگر بکار گرفته شود، به معنی محرومیت از آسایش در بخشی از سال است. به هر حال طراحی درست و مناسب اقلیمی در هر شرایط آب و هوایی مستلزم تجزیه و تحلیل آمارهای هواشناسی و نیازهای آسایش انسان است (قبادیان و مهدوی، ۱۳۷۶: ۳۷).

۹-۳-۱. کاهش جریان هدایت گرمایی مصالح ساختمان

انتقال گرما از مصالح ساختمانی جامد را هدایت گرمایی گویند. در مصالح ساختمانی، انرژی گرمایی از مولکولی به مولکول دیگر جریان پیدا می‌کند. هرگاه دمای بین دو سوی یک دیوار یا سقف تفاوت وجود داشته باشد، گرما از میان مصالح بکار رفته در دیوار، از فضای گرم‌تر به فضای سردتر جریان می‌یابد تا به نابرابری گرمایی بین دو فضا پایان بخشد. زیرا جهت جریان شار انرژی از لایه گرم به سوی لایه سرد است. مگر این که گسیلمندی لایه‌ها متفاوت باشد و در جهت وارونه کار کند (قائمی، ۱۳۷۵: ۱۲۱). مقدار شار گرما بستگی به ویژگی‌های مصالح ساختمانی دارد. زیرا «ضریب هدایت گرمایی» مصالح با یکدیگر تفاوت دارد. مدت زمان جذب و سپس پراکنده کردن گرما در درون جسم، کارکرد گرمایی آن را نشان می‌دهد. این مدّت زمان بستگی به «ضریب انتقال گرما» و «گنجایش گرمایی» آن دارد. مشخصه این کارکرد، به نام «پذیرش گرمایی» بیان شده است. چیزهایی که توانایی پذیرش بالایی دارند مانند فلزات، گرما را زودتر جذب و دفع می‌کنند. در صورتی که چیزهایی که توان پذیرش کمتری دارند، مانند چوب و سفال، بسیار کُند واکنش نشان می‌دهند و خیلی کم گرما انبار می‌سازند (قبادیان و مهدوی، ۱۳۷۶: ۱۴۱).

رابطه ۹-۱: $$\text{پذیرش گرمایی ماده} = \sqrt{\text{ضریب انتقال گرمایی} \times \text{ظرفیت گرمایی}}$$

برای لگام انتقال گرما به سه متغیر «مساحت پوسته»، «مقاومت گرمای پوسته ساختمان» و «اختلاف گرمای فضای درونی و بیرونی ساختمان» اشاره شده است (رازجویان، ۱۳۶۷: ۵۴). هر یک از این متغیرها دارای عواملی هستند که می‌توانند در جذب یا هرز هدایت انرژی مؤثر افتند. ذخیره گرمایی مصالح ساختمانی و تأخیر فاز گرمایی آنها ابزار مناسبی برای کاربرد اقلیم در معماری به شمار می‌رود. بنابراین در طراحی ساختمان باید واکنش‌های دمایی دیوار و بام خانه با توجه به زوایای تابش خورشید سنجیده شود. اگر مصالح دیوارهای بیرونی بنا، قدرت ذخیره گرمایی زیادی نداشته باشند، گرمای جذب شده با سرعت بین فضای بیرونی و درونی ساختمان جابجا می‌گردد. زمان تأخیر به «هدایت گرمایی»، «گنجایش گرمایی» و «ضخامت مصالح»بستگی دارد. برای مصالح یکپارچه ساختمانی، زمان تأخیر چنین است (قبادیان و مهدوی، ۱۳۷۶: ۱۷۱).

رابطه ۹-۲: $$\text{زمان تأخیر به ساعت} = 1.38 \times \text{ضخامت} \sqrt{\text{ضریب انتقال گرمایی}/\text{ظرفیت گرمایی}}$$

پنجره بیش از هر چیزی در پوسته ساختمان در برابر انتقال ناخواسته گرما بی‌دفاع ترند. درب و پنجره به دو شیوه، هرز انرژی گرمایی را در شرایط هوای سرد ممکن می‌سازد.

- از نظر عایق بندی نسبت به دیوار شفاف‌ترند و در مجموع مقاومت گرمایی پوسته ساختمان را پایین می‌آورند.
- مقدار نفوذ هوا را افزایش می‌دهند. پس کم کردن تعداد پنجره‌ها باعث کاهش نفوذ هوا و افزایش مقاومت گرمایی (کاهش هدایت گرمای) می‌شود.

مقاومت پنجره را می‌توان با افزایش مقدار مقاومت گرمایی از طریق «نصب شیشه‌های با مقاومت گرمایی بالاتر»، «نصب تعداد شیشه بیشتر» و یا «تعبیه عایق‌های متحرک در درون و بیرون پنجره» بیشتر کرد. ویژگی گرمایی شیشه‌های چند جداره ناشی از آن است که توانایی هدایت گرمایی هوا یک چهلم شیشه است. اگرچه اصل بر این است که هرچه ضخامت هوا بیشتر باشد مقاومت آن بیشتر می‌شود. امّا فضای دربردارنده هوا با ضخامت بیش از ۱/۶ سانتیمتر دارای مقاومت کمتری است. زیرا جابجایی هوا در درون آن به آسانی انجام می‌گیرد. افزایش مقاومت گرمایی پنجره تابع افزایش ضخامت بین دو جدار شیشه بیش از ۳/۲ سانتیمتر نمی‌باشد. عایق‌های گرمایی درونی مانند انواع پرده، تمام ابزارهایی را شامل می‌شود که پنجره را از درون می‌پوشاند. عایق‌های گرمایی بیرونی مانند کرکره‌های چوبی و حصیری، این وسایل اگر از درون قابل کنترل باشند و همچنین در مقابل پوسیدگی و شرایط جوی مقاوم باشند مناسب‌تر است. اگرچه با استفاده از عایق‌های متحرک روی پنجره و افزایش مقاومت گرمایی درونی می‌توان مساحت پنجره را افزایش داد. امّا بهتر است جهت مقاومت گرمای بیشتر در پوسته ساختمان از شیشه کمتری استفاده شود. مساحت کل پنجره‌ها را می‌توان با کاهش مساحت هر پنجره یا کاهش تعداد پنجره‌ها کم کرد. به هر حال، نسبت سطح پنجره به سطح زیربنا، به شرایط اقلیمی بستگی دارد.

۹-۳-۲. کاهش سطوح بیرونی دیوار و بام

«نسبت سطح بیرونی به حجم» (Surface To Volume Rtio) که به اختصار (SVR) آورده شده است، یکی از راه‌های بیان ارتباط بین سطح بیرونی ساختمان و فضای درونی آن است. این نسبت می‌تواند برای مقایسه ساختمان‌هایی که از نظر شکل با یکدیگر تفاوت دارند ولی از نظر

حجم برابرند، مورد استفاده قرار گیرد. در مورد بناهای با حجم مساوی، هر چه شکل ساختمان فشرده‌تر باشد، مقدار هرز انرژی کمتر است. کاهش سطح مرتبط با فضای پیرامونی، انتقال گرما از طریق رسانش را کاهش می‌دهد. مقایسه (SVR) بناهای گوناگون که حجم یکسان امّا قالب متفاوتی دارند، نشان می‌دهد که یک نیمکره بیشترین فضا را با کمترین سطح اشغال می‌کند. بنابراین می‌تواند بهترین الگوی مورد نظر باشد. در میان بناهای متداول کمترین مقدار (SVR) را یک پلان مربع شکل با بلندی برابر نصف هر یک از ابعادش و با سقف مسطح دارد. در ساختمان با سقف شیب دار اگر عایق بندی زیر شیروانی مناسب باشد، صرف نظر از شکل طاق، شکل ساختمان است که در تعیین مقدار (SVR) مؤثر است. اگر سقف شیب دار، بام اصلی خانه باشد، در محاسبه (SVR) حجم زیر سقف نیز مورد نظر است. نسبت (SVR) می‌تواند به وسیله یکپارچه و متراکم کردن قالب ساختمان و کم کردن سطوحی مانند درب و پنجره که گرما را سریع انتقال می‌دهند و در مجموع با الگوهای هندسی مناسب، به کمینه ممکن کاهش یابد.

نسبت (SVR)، چگونگی کارکرد دمایی فضای درونی را نشان می‌دهد. امّا کارایی آن را برای زندگی نشان نمی‌دهد. برای مثال، دو ساختمان مکعب شکل با حجم مساوی، به یک اندازه انرژی مصرف می‌کنند. ولی اگر یکی سه طبقه و دیگری یک طبقه باشد. فضای قابل استفاده برای سه طبقه، سه برابر ساختمان یک طبقه است، در صورتی که هردو حجم برابر دارند و هر دو یک اندازه انرژی مصرف می‌کنند. بنابراین نسبت سطح بیرونی ساختمان به کف (Surface To Floor Area Rtio) که به اختصار (SFAR) بیان می‌شود، ارزیابی دقیق‌تری از پلان به دست می‌دهد. دستیابی به کمینه (SFAR) به وسیله تقسیم فضاها با بیشینه کار آیی و اجتناب از بلندی زیاد ممکن می‌گردد. هرچقدر عدد بدست آمده (SFAR) و (SVR)، کوچک‌تر باشد، کارکرد انرژی در فضای درونی بهتر است (قبادیان و مهدوی، ۱۳۷۶: ۱۱۸).

۹-۳-۳. استفاده از گرمای خورشید و اثر گلخانه

خورشید تنها سرچشمه مهّم انرژی طبیعی جهت گرم کردن خانه است. در هنگامی که دمای فضای بیرونی کمتر از پایین‌ترین مرز آسایش یعنی ۲۰ درجه سلسیوس باشد، استفاده از گرمای آفتاب و روش‌های جلوگیری از هرز گرما، ضروری است. «میلن» و «گیونی» (۱۹۷۹) بیان کردند که در حالت فرضی می‌توان نیازهای گرمایی یک ساختمان به مساحت هزار فوت مربع (حدود ۹۳ مترمربع) را با پنجره شیشه‌ای به مساحت ۲۰۰ فوت مربع (حدود ۱۸ متر مربع) در جبهه جنوبی

و تنها به وسیله خورشید بدست آورد. البتّه به شرطی که دمای هوا بین ۴۳ تا ۵۵ درجه فارنهایت (۶/۱ تا ۱۲/۸ درجه سلسیوس) و انرژی تابشی آفتاب بر روی سطح دیوارهای جنوبی بین ۲۴۴۱ تا ۴۶۱۰ کیلوکالری گرما در روز برای هر متر مربع باشد (قبادیان و مهدوی، ۱۳۷۶: ۳۹).

همه سیستم‌های گرمای خورشیدی از پدیده گلخانه استفاده می‌کنند. نقش گلخانه به صورت بالا رفتن گرما در یک فضای بسته با یک سطح شفاف مانند شیشه در معرض آفتاب، توصیف می‌شود. افزایش دمای فضای اندرونی به دو دلیل صورت می‌پذیرد:

- گذشتن گرمای تابشی خورشید از شیشه و ورود به فضای درونی.
- جلوگیری از هرز انرژی فضای درونی، با قطع رابطه هوای درونی و بیرونی و در نتیجه لگام انتقال همرفتی دما.

باید گفت: شیشه ۸۰ تا ۹۰ درصد در مقابل تابش کوتاه موج خورشید شفاف است. در صورتی که در مقابل تابش طول بلند موج سطوح زمینی غیر شفاف است. اگر چه شیشه معمولی پنجره تابش موج بلند فضای درونی را انتقال نمی‌دهد امّا مقدار ناچیزی از آن را پخش کرده و در جهت فضای درونی پراکنده می‌سازد. بنابراین قسمت بزرگی از تابش موج بلند به وسیله شیشه جذب شده و افزایش دمای شیشه را سبب می‌گردد. این گرما به سرعت از طریق رسانش، همرفت و تابش از سطح بیرونی شیشه به فضای پیرامونی هرز می‌رود. فضای گرم درونی، از نظر گرمایی، دمای شیشه‌های پنجره را نزدیک به دمای بیرون می‌بینند، هرچند که ارتباط آن با فضای پیرامونی قطع است. پس کدر بودن شیشه در مقابل تابش بلند موج، چندان اهمیت ندارد. شیشه گلخانه انرژی تابشی را به دام نمی‌اندازد، بلکه هوای درون را در حبس نگه می‌دارد. جابجایی هوای زندانی شده به فضای درونی محدود شده و ارتباط آن با فضای بیرونی قطع می‌شود. پس هوا کارکرد مناسبی در انتقال گرمای سطوح اندرونی به سمت بیرون ندارد. بنابراین شیشه، انتقال گرما از طریق جابجایی و همرفت را کنترل می‌نماید.

- برای اینکه مقدار جریان انرژی تابشی بلند موج سطوح درونی با جریان انرژی تابشی کوتاه موج خورشیدی برابر باشد باید دمای فضای درونی خانه بیشتر باشد. یعنی: راز گلخانه این است که جریان انرژی تابشی از دو سوی شیشه انجام می‌پذیرد، امّا یک مقدار از هوا در نزدیکی سطوح درونی حبس شده و فرآیند همرفت را کُند می‌سازد (قبادیان و مهدوی، ۱۳۷۶: ۴۷).

۹-۳-۳-۱. شکل و نحوه قرارگیری پنجره برای استفاده بیشتر از خورشید در زمستان

مسیر حرکت خورشید در آسمان در دوره سرد سال بسیار کوتاه‌تر و پایین‌تر از مسیر حرکت آن در دوره گرم سال است. در عرض‌های میانه و بالای جغرافیایی (نیمکره شمالی)، خورشید زمستانی در جنوب شرق طلوع کرده و در جنوب غرب غروب می‌نماید. بنابراین جبهه شرقی و غربی ساختمان قسمت قابل توجهی از انرژی خورشیدی را نمی‌توانند جذب کنند. تنها جبهه‌ای که در زمستان به طور مطلوبی در معرض تابش قرار می‌گیرد، جبهه جنوبی است. فرض بر این است که پوسته بیرونی ساختمان در مقابل هدایت گرمایی در آب و هوای سرد به خوبی عایق بدنی می‌شود. بنابراین، جذب انرژی خورشیدی با سطوح غیر شفاف ساختمان مناسبت ندارد، بلکه استفاده از پنجره و کلکتورهای خورشیدی توصیه می‌شود. شکل و جایگاه ساختمان، سطح و سمت پنجره را تعیین می‌سازد. نصب بازشو در نمای «غربی»، «شرقی» و «شمالی» به این لحاظ که در زمستان آفتاب گیر نیست و در دوره گرم سال از «غرب» و «شرق» گرمای بیشتری دریافت می‌کند خالی از عیب نیست. بنابراین، بهتر است که پنجره سایر جهات برداشته شود و در نمای جنوبی تعبیه شود. یا دست کم، مساحت پنجره‌های قرار داده شده در سطح دیوارهای «غربی»، «شرقی»و «شمالی»نسبتاً کوچک‌تر باشد. دریک سخن، راه حل مناسب برای استفاده از انرژی زمستانی خورشید، قرار دادن دیوار و پنجره اصلی ساختمان در جبهه جنوبی است. در اغلب موارد چرخش اندک ساختمان به سمت جنوب شرق (۱۵ تا بیشینه ۴۵ درجه) بهتر است. زیرا این جهت گیری باعث می‌شود که ساختمان از تابش پیشین بیشتر از تابش پسین استفاده نماید و جذب گرما توسط ساختمان زود تر آغاز گردد. از آنجایی که شیشه در شب گرما از دست می‌دهد باید این سطوح در هنگام شب، با عایق (پرده) پوشیده شود. این مطلب به ویژه در آب و هوای سرد مهم است. در نواحی گرم‌تر ضرورت استفاده از عایق کمتر است. در دوره سرد سال نیاز گرمایی خانه‌ها در اغلب مناطق اقلیمی با افزایش سطح پنجره‌های رو به جنوب و دریافت گرمای خورشیدی به طور چشمگیری کاهش می‌یابد. بنابراین، بهتر است نمای اتاق روبه جنوب قرار گیرد، تا آفتابگیر باشد.

به طور کلی، پندار کلی و ساده تر اتاق‌های رو به جنوب به منظور استفاده از گرمای خورشید می‌تواند یک گام فراتر رفته و با طراحی اتاق‌های خورشیدی و یا حیاط مرکزی، بیشترین بهره از گرمای خورشید برده شود. ایجاد فضاهای درونی آفتابگیر جهت استفاده از

گرما و روشنایی خورشید، مانند حیاط مرکزی با سرپوش شیشه‌ای، گلخانه مرکزی، نورگیر وسیع روی بام و اتاق‌های آفتابگیر با پنجره‌های بزرگ رو به جنوب، نمونه‌ای از این طراحی‌ها به شمار می‌رود (قبادیان و مهدوی، ۱۳۷۶: ۱۴۶).

پنجره طاقی (افقی) با بیشتر طرح‌های ساختمانی هماهنگی دارد. ورود روشنایی و گرما را به فضای درونی فراهم می‌سازد. «شیب بام»، «ضخامت بام»، «بلندی پیرامون پنجره» و «اندازه پنجره طاقی» از عوامل تعیین کننده در مقدار عمق ورود آفتاب زمستانی هستند. یک مشکل پنجره طاقی، ورود گرمای دوره گرم سال است. این مشکل در بام مسطح و کم شیب یعنی جایی که نور خورشید تقریباً عمودی است، بیشتر است. پنجره طاقی بر روی بام شیب‌دار تابش خورشید را در دوره‌های گرم و سرد سال به صورت یکسان وارد خانه می‌کند. در مقایسه، شیشه نورگیرهای عمودی همراه با سایبان به تابش زمستانی اجازه ورود می‌دهد اما از ورود تابش عمودی‌تر تابستان جلوگیری می‌کند. هرچند این پنجره‌ها نسبت به پنجره‌های طاقی، مساحت کوچک‌تری از روشنایی خورشید وارد می‌کنند امّا ویژگی آنها چنین است که در فصول سرد، گرمای بیشتر و در فصول گرم، گرمای کمتری دریافت می‌کنند.

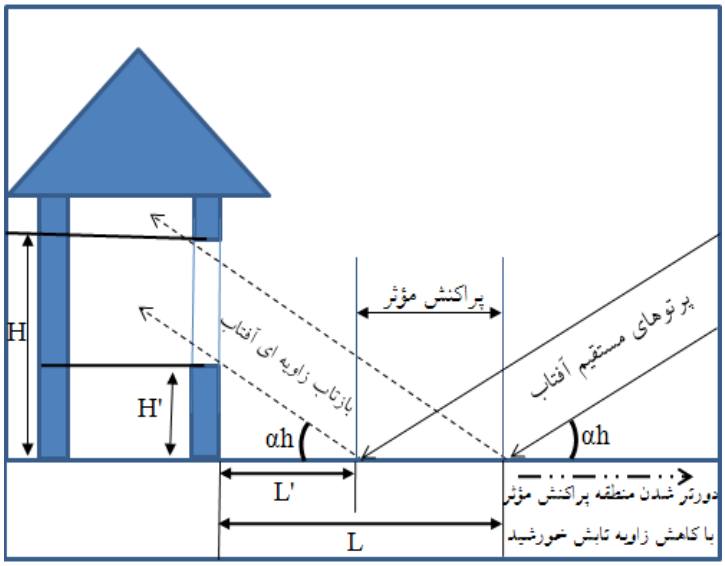
- اگر زاویه شیب بام برابر عرض جغرافیایی محل باشد در نیمروز انقلاب تابستانی و انقلاب زمستانی پرتو خورشیدی با وسعت یکسان وارد ساختمان می‌شود.
- مقدار تابش خورشید که توسط یک پنجره دریافت می‌شود به «فصل سال»، «ساعت روز»، «شرایط اقلیمی» و «هندسه ساختمان نسبت به خورشید» وابسته است.
- جبهه جنوبی ساختمان بهترین محل برای نصب پنجره است.

۹-۳-۳-۲. افزایش آلبدوی زمین و سطوح بیرون از پنجره‌های مقابل آفتاب زمستان

تابش خورشیدی که از پنجره وارد می‌شود، تنها به تابش مستقیم خورشید محدود نمی‌شود. بلکه تابش پراکنده (آسمان) و پراکنش پرتوهای خورشیدی رسیده به سطوح بیرونی را هم در بر می‌گیرد. مهّمترین این سطوح، سطح زمین و مصالح بناهای پیرامونی است. نسبت مقدار پخش تابش از یک دیوار ایستاده که نور را کاملاً پراکنده می‌سازد به یک سطح تراز، با آلبدوی همسان، برابر «یک دوم» پراکنش از سطح تراز است. در یک روز آفتابی در عرض‌های میانی مناطق معتدله، در روی سطح تراز زمین، ۲/۵ برابر بیشتر از سطح دیوار ضلع جنوبی، تابش مستقیم خورشید می‌تابد. در همین حال، گرمای ناشی از پراکنش سطح زمین به سمت دیوار ۱/۲۵ برابر

گرمای جذب شده از تابش مستقیم آفتاب توسط دیوار جنوبی خواهد بود (قبادیان و مهدوی، ۱۳۷۶: ۱۰۶). اگر سطوح جنوبی خانه در تابستان در زیر چتر سایه قرار داشته باشند، می‌توان مصالحی برای آن انتخاب کرد که دارای آلبدوی بیشتری باشد. در هنگام صبح و پسین که زاویه تابش آفتاب کمتر است، پراکنش تابش در سطوح ایستاده بیشتر از سطوح گسترده است. این ویژگی به ویژه در عرض‌های شمالی و در سمت‌های «جنوب غرب» و «جنوبشرق» بارزتر است.

با افزایش آلبدوی سطوح پیرامون و هدایت آن به سمت پنجره می‌توان گرمای ورودی ساختمان را افزایش داد. با افزایش ضریب آلبدوی سطوح پیرامون پنجره‌های جنوبی، ورود مجموع انرژی تابش به فضای درونی کمی افزایش می‌یابد. استفاده از صفحات پراکنش برای پنجره‌های رو به «شرق»، «جنوبشرق»، «جنوبغرب» و «غرب» نیز بسیار مناسب است. باید توجه داشت، سطوح بیرونی با آلبدوی بسیار بالا موجب می‌شوند انرژی تابشی بیشتری از پنجره وارد شود، چنین سطوحی، فضای درونی را در شرایط اقلیمی گرم، بیش از اندازه گرم می‌سازند. به همین دلیل استفاده از سطوح پراکنش "متحرک" بر سطوح "ثابت" برتری پیدا کرده و طراحی و تولید بسیاری از صفحات متحرک جهت افزایش کسب انرژی خورشیدی در «شرایط اقلیمی سرد» مورد توجه قرار گرفته است.



شکل ۹-۱: سطح پراکنش مؤثر روشنایی آفتاب

☜ سطوح پراکنش تابش آفتاب ثابت یا متحرکند. سطوح پراکنش ثابت در تابستان مزاحمت دارند و موجب گرمای اضافی می‌شوند.

اگرچه پراکنش "سطوح به شدت گوناگون شهری"، در مجموع از نوع بازتاب پخشی است و نمی‌توان زاویه و جهت تابش پراکنده سطوح مقابل ساختمان را به دقّت تعیین کرد. به هر حال، تعیین دقیق زاویه «بازتاب آیینه‌ای» بستگی به ویژگی سطح پراکنش تابش دارد. برای مثال، آلبدوی «آیینه کامل» (تئوریک) ۱۰۰ درصد، «آلومینیوم صیقلی و براق» ۹۵-۷۵ درصد، «شیشه نقره و یا جیوه اندود شده» ۹۵-۷۰ درصد، «لعاب چینی سفید» ۷۷-۷۰ درصد، «بتُن»۵۰-۳۰ درصد و «آب»۱۰-۸ درصد است. بر این پایه، تعیین گستره مناسب برای کنترل پراکنش روشنایی آفتاب و فرستادن آن به سمت ساختمان با فرمول‌های هندسی قابل محاسبه است:

رابطه ۹-۳: $L = H \times \cot \alpha h$

رابطه ۹-۴: $L' = H' \times \cot \alpha h$

L = فاصله مرز بیرونی سطح پراکنش مؤثر روشنایی خورشید تا ساختمان.

H = اختلاف بلندی لبه بالایی پنجره تا سطح پراکنش تابش مستقیم خورشید روی زمین.

L′ = سطح خنثی در پراکنش تابش خورشید.

H′ = اختلاف بلندی لبه پایینی پنجره تا سطح پراکنش تابش مستقیم خورشید روی زمین.

اگر دما به تنهایی تابع مقدار انرژی دریافتی از خورشید در یک زمان معین بود، گرم‌ترین و سردترین روزهای نیمکره شمالی بایست به ترتیب در ماههای «خرداد و تیر» و «آذر و دی» قرار می‌گرفت. در صورتی که «تیر و مرداد» گرم‌ترین و «دی و بهمن» سردترین ماههای سال هستند. یعنی کمینه دمای سالانه هوا نسبت به کمینه ارتفاع خورشید در آسمان دچار یک عقب افتادگی می‌شود. «عرض جغرافیایی» و «بلندی» محل از عواملی هستند که سبب"عقب افتادگی فصل‌ها" می‌شوند. عرض جغرافیایی بالا و بلندی بیشتر محل در مقایسه با عرض‌های پایین‌تر و زمین‌های پست‌تر، دیرتر مورد یورش انرژی گرمایی قرار می‌گیرند. زیرا انرژی گرمایی دریافت شده توسط یخ‌ها و برف‌ها برای ذوب آنها مصرف می‌شود و اثری در افزایش دمای هوا نخواهد داشت. در پاییز نیز عقب افتادگی سرما تا هنگام انجماد ادامه دارد (قائمی، ۱۳۷۵: ۵۸).

در مناطق معتدل از جمله کشور ایران، سردترین روزهای سال در اواخر دی ماه و اوایل بهمن ماه خود نمایی می‌کند، تقریباً هنگامی که جایگاه خورشید در آسمان حدود ۳/۵ درجه بالاتر از انقلاب زمستانی (در نیمکره شمالی) است. از آنجایی که جایگاه بالاتر خورشید در آسمان با سطح پراکنش رابطه وارونه دارد. یعنی هرچه زاویه تابش مستقیم آفتاب بیشتر باشد، به سطح پراکنش کمتری در روی زمین نیاز خواهد بود. همچنین گستره‌ای از سطح زمین که بتواند تابش مستقیم خورشید را مانند آیینه به درون ساختمان باز تاباند (پراکنش مؤثر)، باید به ساختمان نزدیک‌تر باشد. پس باید در محاسبه جایگاه و گستره سطوح پراکنش زمینی، زاویه تابش (نیمکره شمالی) را در هنگامی مورد توجه قرار داد که زاویه میل خورشید نسبت به انقلاب زمستانی، حدود ۳/۵ درجه افزایش داشته باشد. یعنی زاویه میل خورشید ۲۰- درجه در نظر گرفته شود (قبادیان و مهدوی، ۱۳۷۶: ۱۹۹).

۹-۳-٤. کاهش جذب گرمای خورشید در آب و هوای گرم

جذب انرژی ساختمان توسط سطح بیرونی ساختمان موجب می‌شود تا دمای سطوح دیوارها نسبت به فضای بیرونی خود چندین درجه گرم‌تر شود. مقدار افزایش بستگی به رنگ ساختمان، شدت تابش، مقدار تابش گرمایی گسیل شده از سطح بیرونی دیوارها در طول موج بلند به سمت فضای بیرونی ساختمان و ... دارد. روش‌های لگام گرمای خورشیدی به سه دسته تقسیم می‌شود:

- **جلوگیری از تابش آفتاب**، شامل: کاشت درخت، سایبان‌های افقی و عمودی، به شرطی که در دوره سرد سال از ورود نور خورشید به درون ساختمان جلوگیری نکنند.
- **پراکنش تابش خورشید به سمت آسمان**، در مناطق گرمسیر که دمای هوا از محدوده آسایش انسانی بالاتر می‌رود و نیز در جاهایی که پوسته ساختمان به درستی عایق بندی و ایزوله نشده تا در برابر رسانش گرما مقاومت کند، نیاز به پراکنش تابش مستقیم خورشید از سطح بیرونی ساختمان مکمل سایبان است.
- **جهت و مساحت پنجره**، در مجموع در تمام نواحی اقلیمی، سطح و جهت شبکه بندی پنجره از اهمیت بالایی برخوردار است. همچنین قالب و جهت کشیدگی ساختمان در مناطق گرم نیز دارای اهمیت است.

۹-۳-٤-۱. کاهش آلبدوی زمین و سطوح بیرون از پنجره‌های مقابل آفتاب تابستانی

از آنجایی که مقدار تابش خورشید که بر سطح تراز زمین در دوره گرم سال می‌تابد در حدود دو برابر مقدار انرژی تابیده شده بر سطح دیوارهای شرقی و غربی است. لذا، پراکنش تابش از زمین به پنجره و دیوار می‌تواند به مقدار زیادی بر هزینه سرمایش ساختمان اضافه کند. انتخاب سطوح خارجی با آلبدوی ناچیز می‌تواند وسیله‌ای جهت کاهش میزان بار گرمایی ساختمان باشد. به جهت اینکه پراکنش سطوح بیرونی ساختمان، از نوع پخشی می‌باشد. این نور به سادگی تابش مستقیم از طریق سایبان و یا سایر وسایل جلوگیری از ورود آفتاب قابل کنترل نیست. به هر حال تأثیر گرمایی تابش پراکنده را به صورت معمول می‌توان مانند قوانین پراکندگی زاویه‌ای (آیینه‌ای)، برابر زاویه تابش فرض کرد. یعنی محدوده مجاور ساختمان را مانند آیینه در نظر گرفت.

نکته جالب توجه این که: اگرچه آسفالت سطح گذرگاه، تابش پراکنده سطوح پیرامونی ساختمان را به مقدار کمینه کاهش می‌دهد امّا گرمای جذب شده توسط آسفالت در مقایسه با چمن و سطوح دیگر، گرمای فضای پیرامون را بسیار بالا می‌برد. فضای سبز شهری اگرچه بخش بزرگی از انرژی تابشی را جذب می‌کند امّا از طریق تبخیر و تعرق، گرمای جذب شده را به گرمای نهان تبخیر تبدیل می‌سازد و نقش بسیار مهمی در کاهش گرمای محسوس هوا ایفا می‌کند. پوشش گیاهی ضمن اینکه به عنوان سایبان، از تابش مستقیم آفتاب بر سطوح بیرونی ساختمان جلوگیری می‌کند. با داشتن سطح نامنظم و ناصاف با رنگ تیره، به کاهش مقدار آلبدوی سطح زمین کمک می‌نماید. در دوره گرم سال، از سمت دیوارهای شرقی و غربی به نحو نامطلوبی به گرم شدن ساختمان کمک می‌شود. قرار دادن زمین شیب دار یا کاشت درخت در جهت غرب و شرق ساختمان، پراکنش تابش مایل‌تر خورشید در ارتفاع کم (هنگام پسین در جهت غربی) را به کمینه می‌رساند.

۹-۳-٤-۲. استفاده از ناهمواری‌های روی زمین و گیاهان برای ایجاد سایه در تابستان

لگام مقدار آفتاب و سایه مورد نیاز در همه جنبه‌های طراحی و پیشرفت کار از انتخاب نخست جایگاه ساختمان و تقسیم بندی قطعات زمین تا انتخاب نهایی گونه گیاه و جزئیات محوطه سازی باید انجام شود. انتخاب محل ساختمان باید بر اساس تحلیل سایه طبیعی درختان، ساختمان‌های پیرامون و شکل موجود زمین باشد. با توجه به اینکه گرمای بیشینه سالانه نسبت

به انقلاب تابستانی، تأخیر زمانی دارد، یعنی بیشینه سالانه دمای هوا در اواخر تیرماه و گاهی تا اوایل مرداد ماه، دیرتر از بیشینه زاویه تابش خورشید (نیمکره شمالی) رخ می‌دهد. از سوی دیگر، مقدار زاویه تابش روی دیوار در هنگام وقوع بیشینه دمای هوا، بیشتر از انقلاب تابستانی است. بنابراین، محاسبه زاویه تابش روی دیوارها در هنگام بیشینه دما (مثلاً اول مرداد)، به عنوان پیش شرط تعیین کننده ایجاد سایه، تعیین می‌گردد. در تابستان، دو جبهه «شرق» و «غرب» ساختمان از در یافت کنندگان اصلی انرژی خورشیدی هستند. با توجه به بیشینه دمای روزانه در هنگام پسین، با کاشتن گیاهان زیاد، بوته‌ها و پرچین‌ها در سمت «غرب» خانه از تابش مستقیم آفتاب پسین جلوگیری می‌شود. اضافه کردن داربست سایبانی نه تنها روی دیوار سایه می‌اندازد بلکه مانع می‌شود تابش پراکنده شده از سطح زمین به دیوار بازتابد.

کاهش سطح مصالح جهت فرش کردن حیاط با استفاده از پوشش گیاهی و ایجاد سایه، به منظور خنک کردن حیاط نیز بسیار مناسب است. برتری پوشش گیاهی در حیاط خانه کمتر مورد توجه قرار گرفته است. پوشش گیاهی طی فرآیند تبخیر و تعرق، گرمای محسوس را به گرمای نهان تبخیر تبدیل می‌سازد و نقش مهمی در خنک سازی هوا ایفا می‌کند. مجاورت باغچه و مصالح ساختمانی که از سطح آنها تبخیر انجام نمی‌پذیرد، تفاوت دمایی بین سطوح را در پی دارد. این ویژگی، جریان هوا را از سطوح خنک‌تر پوشیده شده از گیاه به سمت ساختمان ایجاد می‌کند. این فرآیند، تهویه طبیعی هوا را به عنوان یک شیوه طبیعی خنک سازی ساختمان به ارمغان می‌آورد و هوا را تازه می‌سازد (قبادیان و مهدوی، ۱۳۷۶: ۱۱۴). برای آب و هوای دارای دو دوره گرم و سرد، کاشتن گیاهان خزان دار (برگ ریز) در قسمت «جنوب» ساختمان مناسب است. زیرا در فصل تابستان برای ساختمان سایه ایجاد می‌کند ولی در دوره سرد سال از تابش خورشید جلوگیری نمی‌کند. درختان بلند در جهت «جنوب» برای سایه اندازی روی دیوار و سقف نیز مناسب می‌باشند. در مقایسه، درختان کوتاه تر و درختان همیشه سبز برای «غرب» مناسب‌ترند زیرا هم زاویه تابش در هنگام پسین کمتر است و هم اینکه خورشید در زمستان به اندازه تابستان به دیوارهای «شرقی» و «غربی» نمی‌تابد. به ویژه اگر جهت وزش بادهای سرد زمستانی از «غرب» و «شمالغرب» باشد، کارکرد این درختان دو چندان می‌شود. سایر ابزارهای سایه انداز روی دیوارهای «غربی» و «جنوبی» شامل شبکه چوبی بالای ایوان، هشتی ساختمان، دیوارهای سایه انداز، پیچک‌های بالارونده، داربست‌های گیاهی مانند تاک و ... می‌شود (قبادیان و مهدوی، ۱۳۷۶: ۱۰۸).

- برتری کاشت درختان پهن برگ این است که ساختمان را در دوره گرم سال در پوشش سایه خود قرار می‌دهد، ولی در دوره سرد سال برگ‌های خود را از دست می‌دهد و امکان استفاده خانه از تابش زمستانی خورشید را فراهم می‌سازد.

پوشش گیاهی مانند پیچک‌های بالا رونده یک ابزار خوب اقلیمی است. به ویژه هنگامی که روی سطح بیرونی دیوار رشد کند. مشخص‌ترین سود آنها ایجاد سایه در تابستان است. بنابراین گرمای پوسته بیرونی را کاهش داده و مقدار هدایت گرمایی را از فضای بیرونی به سمت درون ساختمان کم می‌سازد. همچنین، خنکی حاصل از بخار آب روی برگ‌ها به خنک کردن دیوار ساختمان کمک می‌کند. اگر گیاهان بالا رونده بر دیوار خانه از گونه گیاهان همیشه سبز باشند در زمستان مانند عایق بین دیوار و پیرامون ایفای نقش می‌کنند و از جابجایی گرما در محیط جلوگیری می‌شود. پیچک‌های دیواری علاوه بر کارکرد اقلیمی، به زیبایی فضای بیرونی هم کمک فراوانی می‌کنند. به طور کلی برای بیشتر اقالیم، گیاهان همیشه سبز در قسمت «شمالی»، «غربی» و «شرقی» پیشنهاد شده است (قبادیان و مهدوی، ۱۳۷۶: ۱۸۴).

هرگاه دمای هوای فضای بیرونی خانه به حدود ۲۰ درجه سلسیوس برسد، ایجاد سایه بدون توجه به نم هوا ضرورت دارد (رازجویان، ۱۳۶۷: ۱۲۰). در شرایطی که دمای هوا در محدوده ۲۰ تا ۲۵/۶ درجه سلسیوس باشد، ایجاد سایه گرچه ضروری است امّا کافی نیست. اگر فضای اندرونی به خوبی تهویه گردد، رنگ نمای ساختمان روشن انتخاب شود و پوسته بیرونی بنا به درستی عایق کاری شده باشد، مقدار جذب گرمای خورشید توسط ساختمان تا حدی که قابل چشم پوشی باشد کاهش پیدا می‌کند. قسمت‌های غیر مسکونی خانه مانند پارکینگ، انبار و ...، با جدا ساختن فضای درونی و بیرونی ساختمان به مانند عایق گرمایی عمل می‌کنند. از آنجایی که در مناطق گرمسیر، جهت غربی برای اتاق‌های مسکونی خیلی مناسب نیست. زیرا از فصل بهار تا پاییز در هنگام پسین، بسیار گرم خواهند بود. برخی از فضاهای میانی مانند پارکینگ، انباری، راه پله و ... را می‌توان در قسمت غربی خانه قرار داد تا از تأثیر انرژی گرمایی خورشید بر فضای درونی ساختمان کاسته شود. بهترین طراحی این فضاهای میانی در آب و هوای سرد در قسمت‌های غرب، شمال و شرق ساختمان و در مناطق گرمسیر در سمت جنوب ساختمان پیشنهاد شده است (قبادیان و مهدوی، ۱۳۷۶: ۴۰).

۹-۳-٤-۳. استفاده از سرمایش تابشی

برای جلوگیری از گرمای بیش از اندازه فضای درونی خانه، بهتر است تا حد امکان به وسیله تابش موج بلند، گرمای سطوح ساختمان گسیل شود. مواد شفاف در مقابل گرما مانند ورق پلی اتیلین و دیگر پلاستیک‌ها، اغلب برای این گونه مصارف مناسب هستند (قبادیان و مهدوی، ۱۳۷۶: ۴۸). برای سرمایش بناها از طریق تابش، چیزی که مورد نظر است تفاضل مطلق تابش بین سطوح روی زمین و آسمان است. آزمایش‌ها نشان می‌دهند، اگر دو چیز که دمای متفاوت دارند در کنار یکدیگر جای گیرند. به شرطی که توانایی آنها در گسیل انرژی گرمایی (تابش) یکسان باشد، قسمتی از گرمای پدیده گرم‌تر که در فرآیند تابش، گسیل می‌شود، توسط پدیده سردتر جذب می‌شود. این فرآیند، تا هنگامی که دمای این دو برابر شود، کارایی دارد (قائمی، ۱۳۷۵: ۷۳). پس باید مصالحی در بنا بکار برده شود که بتواند بیشتر از تابش موج بلند ترکیبات اتمسفر و همچنین تابش برگشتی از آسمان، از خود گرما گسیل (تابش) کند.

نقش اختلاف مقدار جذب و گسیل هر چیز را می‌توان به طور ساده با یک لایه نازک آلومینیومی به عنوان یک "جسم سرد" که دارای دو سطح گوناگون است، بیان کرد. اگر یک سطح این فلز را با دوده سیاه کنند تا توانایی جذب و گسیل آن مشابه جسم سیاه شود و روی دیگر آن را بدون تغییر ولی براق و صیقلی رها سازند. سپس، سطح سیاه شده آلومینیوم را در مقابل انرژی تابشی گسیل شده از یک جسم گرم قرار دهند، به گونه‌ای که انرژی از سمت سیاه شده به آلومینیوم بتابد. در این صورت، دمای فلز به سرعت افزایش پیدا می‌کند، زیرا «توانایی جذب» روی سیاه شده بسیار بالا و «توانایی گسیل» سطح برّاق بسیار کم است. به سخن دیگر، بیشترین مقدار انرژی گسیل شده از این فلز، حدود نصف انرژی گسیل شده از یک جسم سیاه همانند آن است. زیرا گسیل تابش از سطح صیقلی و براق کمتر از جذب تابش در سطح سیاه شده آن است. بنابراین، مجموع انرژی گسیل شده این صفحه فلزی بسیار کمتر از یک جسم سیاه معادل است، در صورتی که جذب تقریباً به همان مقدار جسم سیاه است. در مقایسه اگر روی براق و صیقلی آلومینیوم در مقابل تابش قرار گیرد، گرم شدن آن به کندی صورت می‌گیرد. زیرا انرژی دریافتی از سطح برّاق به سوی سطح سیاه جسم هدایت (رسانش) می‌شود و از آن سطح به مقدار تقریبی یک جسم سیاه انرژی تابشی گسیل می‌گردد. یعنی، در یک سو به آرامی جذب صورت می‌گیرد. زیرا توانایی جذب بسیار ناچیز است و مشابه جسم سیاه نیست. در سوی دیگر، گسیل انرژی تابشی مانند جسم سیاه انجام می‌گیرد. زیرا سطح سیاه شده آلومینیوم نیز

برای دمای معین، همان مقدار انرژی معینی که دریافت می‌کند در گام اول گسیل می‌نماید. به هر حال در مجموع مقدار جذب لایه آلومینیوم در این حالت کمتر است. میزان میانگین گرم شدن این فلز، در صورتی که هر دو سطح آن یکسان باشند، تشخیص داده می‌شود. هرگاه هر دو طرف ورقه سیاه باشند گرم شدن خیلی شدید تر از هنگامی است که هر دو طرف براق و صیقلی باشد (قائمی، ۱۳۷۵: ۷۴). این مثال نشان می‌دهد که، استفاده از مواد پخش کننده تابش مستقیم تابستانی آفتاب در سطوح بیرونی خانه، به سرمایش دیوارها کمک می‌کند. هنگامی که پرتو مستقیم خورشید به سطح دیوارهای ساختمان برخورد کند، درصدی از انرژی گرمایی به فضاهای پیرامونی پراکنده شده (آلبدو) و باقیمانده آن به خورد مصالح ساختمانی (ضریب جذب) می‌رود. معمولاً رنگ روشن سطوح پیرامونی ساختمان، پوسته آن را در تمام سال (هم در دوره گرم و هم در دوره سرد) خنک نگه می‌دارد.

آلبدوی بالا برای مصالح ساختمانی دارای مقاومت گرمایی ناچیز، بسیار مناسب است. در آب و هوای گرمسیری، که معمولاً مقاومت گرمایی دیوارها بالا نیست، کاربرد این شیوه بهتر است. برای مثال، سطح آلومینیوم صیقلی و براق دارای ۸۵ درصد آلبدو (سپیدایی) است. در نتیجه ضریب جذب آن ۱۵ درصد است (۱۵= ۸۵- ۱۰۰). با توجه به این که توان هدایت گرمایی این ورقه که برای پوشش دیوار ساختمان به کار می‌رود، ۸ درصد مقداری انرژی جذب شده در جسم است، پس می‌تواند حدود ۱/۲ درصد از گرمای جذب شده در پوسته ساختمان را به صورت تابش بلند موج، به فضای پیرامونی گسیل کند (درصد حاصلضرب ضریب جذب در توان هدایت گرمایی ← ۱/۲= ۰/۰۸ × ۱۵). در نتیجه مقدار خالص انرژی گرمایی ذخیره شده در آلومینیوم برابر با ۱۳/۸ درصد از کل انرژی تابشی رسیده به سطح آن است. زیرا تفاضل درصد ضریب جذب و توان هدایت گرمایی (گسیلمندی) ← ۱۳/۸=۱/۲- ۱۵ است.

در مقایسه، هنگامی که سطح آلومینیوم با رنگ سفید پوشانده شود. اگرچه آلبدوی آن خیلی عوض نمی‌شود و با ۵ درصد کاهش برابر با ۸۰ درصد می‌شود، امّا توانایی هدایت گرمایی آن تا ۹۱ درصد افزایش پیدا می‌کند. در این شرایط، حدود ۱۸ درصد از تمام انرژی جذب شده، به صورت تابش موج بلند، به فضای پیرامون گسیل می‌گردد (درصد حاصلضرب ضریب جذب در توان هدایت گرمایی ← ۱۸/۲=۰/۹۱×۲۰). در نتیجه مقدار خالص انرژی گرمایی ذخیره شده در ورقه آلومینیوم، نزدیک به ۲ درصد از کل انرژی تابشی رسیده به سطح آن خواهد بود. زیرا تفاضل درصد ضریب جذب و توان هدایت گرمایی (گسیلمندی) ← ۱/۸=۱۸/۲- ۲۰ است (قبادیان و مهدوی، ۱۳۷۶: ۱۸۲).

جدول ۹-۲: مقایسه مقاومت گرمایی آلومینیوم براق با آلومینیوم سفید رنگ

ویژگی	آلومینیوم صیقلی و براق	آلومینیوم سفید رنگ
آلبدو به درصد	۸۵	۸۰
ضریب جذب به درصد	۱۵	۲۰
توان هدایت گرمایی به درصد	۸	۹۱
درصد گسیلمندی تابش بلند موج	۱/۲	۱۸
مقدار خالص انرژی گرمایی ذخیره شده	۱۳/۸	۲

۹-۳-٤-٤. الگوی جهت ساختمان به منظور کاهش اثر گرمای تابستانی خورشید

هنگامی که هدف کاهش گرمای خورشیدی رسیده به ساختمان باشد، با توجه به اینکه مقدار زاویه تابش روی دیوار در هنگام وقوع بیشینه دمای هوا (معمولاً اواخر تیرماه)، بیشتر از انقلاب تابستانی است. بنابراین، محاسبه زاویه تابش روی دیوار در هنگام بیشینه دما (مثلاً اول مرداد) و یا میانگین گرم‌ترین ماه‌های سال در نظر گرفته می‌شود. در این قسمت، منظور کم کردن گرمای خورشید بدون استفاده از سایبان مطرح است. به منظور کنترل مقدار گرمای خورشیدی که به سطوح بیرونی ساختمان می‌رسد، شکل هندسی ساختمان را باید متناسب با آب و هوای محل طراحی کرد. طراحان برای کاهش هرچه بیشتر انرژی گرمایی خورشیدی، به ویژگی‌هایی مانند: «بلندی ساختمان»، «شکل و شیب بام» و «شکل هندسی و جهت گیری پلان ساختمان با توجه به زوایای تابش مستقیم خورشید» توجه خاص دارند.

بلندی ساختمان، تأثیر بسزایی در جذب گرمای خورشید دارد. زیرا به نسبت بلندی بیشتر، سطح بنا نیز بیشتر می‌شود. در نتیجه مساحت بیشتری در مقابل خورشید قرار می‌گیرد. از آنجایی که شدّت تابش خورشید در تابستان بر سطوح تراز بیشتر از سطوح عمودی است، پس بهتر است سطح بام را کاهش داده و سطح دیوارها را افزایش داد. همچنین ایجاد سایه برای دیوار، آسان‌تر از بام ساختمان است. به طور کلی برای لگام گرمای خورشید در بناهایی با فضای درونی یکسان، بلندی خانه در مناطق گرم‌تر باید بیشتر از ساختمان‌های مشابه در مناطق سردتر باشد.

نسبت بام به دیوار در آب و هوای گرم اهمیت بیشتری دارد، به دلیل اینکه در این اقلیم، سرمایش در ساختمان مهمتر است. تأثیر گرمای خورشید بر روی شکل و شیب بام بستگی به زاویه تابش خورشید دارد. در «دوره گرم سال» و در «ساعات میانی روز» و به طور کلی در

عرض‌های جغرافیایی پایین‌تر، یعنی هنگامی که زاویه تابش خورشید عمودی‌تر است، تمام اشکال مختلف بام که مساحت برابر دارند به یک مقدار گرما کسب می‌کنند. در صورتی که اگر زاویه تابش کمتر باشد، بام‌هایی که شیب بیشتری دارند، مقدار بیشتری گرما کسب می‌کنند. اهمیّت این ویژگی برای جهت شیب «شرقی» و «غربی» بام بیشتر است. بام‌های مسطح را به زحمت می‌توان تهویه کرد اما بام‌های شیب دار به راحتی تهویه می‌شوند و می‌توانند از «اثر دودکش» استفاده کنند. اگر رنگ بام روشن باشد و یا در زیر آن عایق گرمایی مناسبی قرار داشته باشد، شکل بام اهمیّت کمتری خواهد داشت (قبادیان و مهدوی، ۱۳۷۶: ۱۲۷).

اگر جهت چهار ضلع خانه به سمت چهار جهت اصلی (شمال، جنوب، شرق و غرب) باشد. تناسب پلان باید به گونه‌ای انتخاب شود که مقدار دریافت گرما از نماهای «شمالی و جنوبی» با مقدار گرمای بدست آمده از نماهای «شرقی و غربی» برابر باشد. با تعیین نسبت طول (L) به عرض (W)، می‌توان کشیدگی بنا را به گونه‌ای انتخاب کرد که انرژی خورشیدی رسیده به ساختمان، در سطح کمینه قرار گیرد (قبادیان و مهدوی، ۱۳۷۶: ۱۲۶).

رابطه ۹-۵: $L/W = (E_i + W_i) \div (N_i + S_i)$

E_i = میانگین مقدار روزانه گرمای خورشیدی در یکای سطح که به دیوار «شرقی» می‌رسد.

W_i= میانگین مقدار روزانه گرمای خورشیدی در یکای سطح که به دیوار «غربی» می‌رسد.

N_i = میانگین مقدار روزانه گرمای خورشیدی در یکای سطح که به دیوار «شمالی» می‌رسد.

S_i = میانگین مقدار روزانه گرمای خورشیدی در یکای سطح که به دیوار «جنوبی» می‌رسد.

باید توجه داشت که تناسب مطلوب بستگی به عرض جغرافیایی دارد. هرچه عرض جغرافیایی بیشتر باشد ساختمان باید به مربع نزدیک‌تر شود. تناسب مطلوب برای هر شرایط آب و هوایی می‌تواند به وسیله طراح و برنامه‌ریز معمار، با توجه به زوایای مربوط به تابش خورشیدی محل، تعیین گردد. برای مثال، کوسودا و ایشی (Kusuda & Ishii, 1977)، میانگین روزانه «شاخص نسبت جذب انرژی گرمایی خورشید» را برای سطوح عمودی چهار ضلع ساختمان در جهت‌های مختلف جغرافیایی شهری در ایالت کانزاس آمریکا (عرض جغرافیایی حدود ۳۸ درجه شمالی) و برای دوره دو ماهه برای گرم‌ترین ماه‌های سال حساب کردند. سپس، با احتساب مجموع آنها «یکای مساحت پایه» را برای الگوها وجهت های مختلف ساختمان بدست آوردند. بر پایه این پژوهش، شاخص نسبت جذب انرژی گرمایی خورشید برای دیوارهای عمودی، با جهت شمالی،

۱۵۳۲؛ جنوبی، ۲۶۸۲؛ شرقی و غربی به صورت جداگانه ۳۳۲۰؛ شمالشرقی و شمالغربی هر یک، ۲۴۵۷؛ جنوبشرقی و جنوبغربی هرکدام ۳۲۹۰، کیلوکالری در هر متر مربع می‌باشد. بنابراین، «یکای مساحت پایه» یک پلان مربع شکل که چهار ضلع آن روبروی چهار جهت اصلی قرار دارد، در مجموع چهار ضلع، دارای میانگین روزانه ۱۰۸۵۴ کیلوکالری در مترمربع است که به عنوان کمینه انرژی گرمایی دریافت می‌کند. در مقایسه، یک پلانی که به شکل مربع اریب باشد، یعنی اضلاع آن ۴۵ درجه چرخش کرده و در مقابل چهار جهت فرعی قرار گرفته باشد، در مجموع ۱۱۴۹۳ کیلوکالری در مترمربع «یکای مساحت پایه»، به عنوان کمینه انرژی گرمایی در مقیاس روزانه دریافت می‌کند. این مقایسه نشان می‌دهد، الگوهای مورب در مجموع چهار سمت نما، گرمای نسبتاً بیشتری دریافت می‌کنند. در این الگو، نماهای «شمالشرقی» و «شمالغربی» به یک اندازه و نماهای «جنوبشرقی» و «جنوبغربی» هم به یک اندازه انرژی گرمایی خورشید دریافت می‌دارند. این پژوهش همچنین نشان داد که اگر پلان ساختمان به شکل مستطیلی باشد که چهار ضلع آن روبروی چهار جهت اصلی قرار دارد، به منظور کاهش انرژی جذب شده تا سطح کمینه ممکن، در طی گرم‌ترین هنگام سال، باید نسبت طول (L) به عرض (W) آن (۱: ۱/۵۷) باشد. یعنی طول ساختمان مستطیل شکل باید در راستای «شرق، غرب» قرار گیرد. با توجه به این نسبت، اگر ضریب شاخص نسبت جذب انرژی گرمایی خورشید در جبهه‌های شمالی و جنوبی، با توجه به نسبت(L/W) محاسبه شود. در مجموع ۱۳۲۵۶ کیلوکالری در مترمربع، کمینه انرژی گرمایی دریافت می‌کنند. حال اگر این مجموع بر نسبت(L/W) تقسیم گردد، کمینه «یکای مساحت پایه» این الگو، برابر ۸۴۴۳ کیلو کالری در مترمربع است که نسبت به ساختمان مربع شکل بسیار کمتر می‌باشد. بنابراین، تناسب پلان ساختمانی (W/L) در چنین شرایطی که بتواند کمترین پرتوافکنی آفتاب را در یکای سطح پایه بدست آورد، عبارت از (۱:۱/۵۷) است. برای نمونه، اگر یک برنامه‌ریز معمار بخواهد زمین‌های شهری را مثلاً با نسبت بالا (L/W) و در قواره‌هایی به مساحت (متر مربع ۲۰۰ =A) برای ساختمان سازی جدا نماید. بهتر است هر قواره زمین را به شکل مستطیل، به طول ۱۷/۷ متر (شرقی، غربی) و عرض ۱۱/۳ متر (شمالی، جنوبی)، جدا سازد.

رابطه ۹-۶: $$W = \sqrt{A \div (L/W)}$$

رابطه ۹-۷: $$L = W \times (L/W)$$

اگرچه کشیدگی «شرقی، غربی» ساختمان، ضمن اینکه به روشنایی بیشتر درون ساختمان کمک می‌کند، از طریق ورود پرتو بسیار مایل خورشید زمستانی، به گرم شدن بیشتر فضای درونی آن در دوره سرد سال نیز کمک می‌کند. زیرا بیشترین گرمای خورشیدی در دوره سرد سال از جبهه جنوبی می‌تابد و به دلیل کوتاه شدن مسیر روزانه تابش آفتاب، جبهه‌های شرقی و غربی گرمای ناچیزی دارند. این تناسب با شرایط آب و هوایی ایران نسبتاً سازگاری دارد. امّا باید گفت: کاربرد این روش در ایران، مستلزم رعایت چند نکته است:

نخست اینکه بسیاری از خانه‌ها که معمولاً دارای نمای «جنوبی» هستند، در جبهه‌های غربی و شرقی به صورت فشرده در کنار هم چسبیده‌اند. بنابراین، به استثنای بناهای به اصطلاح دو نبش (دو بَر)، جبهه‌های شرق و غرب ساختمان هیچ‌گونه تابشی در سرتاسر سال دریافت نمی‌کند.

دوّم، قواره‌های زمین که برای ساختمان‌های به اصطلاح ویلایی تفکیک می‌شوند، معمولاً تا حدود ۶۰ درصد از ضلع «شمالی، جنوبی» در بخش شمالی زمین برای ساختمان و ۴۰ درصد باقیمانده در بخش جنوبی زمین برای حیاط سازی در نظر گرفته می‌شود. بنابراین برای محاسبات باید مساحت حیاط از کل زمین کسر شود.

☜ در مجموع با توجه به اینکه، انرژی دریافتی از جبهه‌های شرقی و غربی خانه‌های چسبیده به یکدیگر، صفر است. بنابراین کشیدگی شرقی، غربی ساختمان‌ها، یکی از شیوه‌های بهره‌گیری بیشتر از روشنایی خورشید در تمام سال و گرمای آن در دوره زمستان به شمار می‌رود. با این شرط که از مساحت پنجره‌های جنوبی کاسته شده و سایبان‌های افقی و ایستاده دارای عمق بیشتر برای آنها منظور شود.

۹-۳-٤-۵. ایجاد سایه برای پنجره‌های روبه آفتاب تابستان

به منظور جلوگیری از ورود تابش مستقیم و پراکنده از راه پوسته شفاف ساختمان در دوره گرم سال، آفتاب‌گیرهایی ساخته شده است. با توجه به ویژگی هر یک از آنها، آفتاب گیرهای پنجره به سه گروه تقسیم می‌شوند:

❖ **آفتابگیرهای درونی**، مانند انواع پرده، که از پنجره جدا بوده و در قسمت درونی ساختمان نصب می‌شود. کارکرد آفتابگیرهای درونی نوعی انعکاس تابش خورشیدی است که از پنجره وارد می‌شود. اگر چه عیب این آفتابگیرها این است که گرما را در سطح درونی شیشه و در فضای درونی ساختمان به دام می‌اندازد ولی در هنگامی که هوای محیط بیرونی سردتر از فضای درونی است، مانند یک عایق گرمایی است.

❖ **لگام مقدار تابش از راه انتخاب نوع شیشه،** با انتخاب نوع شیشه پنجره می‌توان مقدار ورود تابش به فضای درونی را لگام کرد. جایی که منظور کاهش ورود انرژی تابشی در سرتاسر سال باشد، از مواد شیشه‌ای استفاده می‌شود که مقدار عبور تابش را کاهش دهد. بدی روش اخیر این است که برخی از مواد شیشه‌ای با جذب بیشتر انرژی تابشی، مقدار گذر گرما را کاهش می‌دهند. جذب گرما در شیشه، افزایش دمای شیشه را در پی دارد. در این حالت، هدایت و تابش گرمایی سطح شیشه موجب افزایش دمای درونی ساختمان می‌شود که تفاوتی چندانی با عبور تابش مستقیم ندارد.

❖ **آفتابگیرهای بیرونی،** مانند کرکره‌های چوبی، حصیری، پرده‌های پارچه‌ای، پانل‌های عمودی و مشبک بر روی دیوارها و...، که بر روی سطح بیرونی پنجره نصب می‌شوند. مهمترین امتیاز این گروه از آفتابگیرها این است که گرمای خورشید را در فضای بیرونی ساختمان نگه می‌دارد.

☜ توجه به ضریب انعکاسی این آفتابگیرها در کاهش گرمای ورودی ساختمان نیز اثر بسزایی دارد. بنابراین انتخاب رنگ آفتابگیر نیز دارای اهمیّت بسیاری است، زیرا یک جذب کننده خوب یک گرم کننده خورشیدی خوب نیز می‌باشد (قبادیان و مهدوی، ۱۳۷۶: ۲۰۸).

☜ سایبان‌های بیرونی تا ۹۰ درصد و سایبان‌های درونی ۲۰ تا ۲۵ درصد از اثر گرمایی تابش آفتاب را در فضای درونی یک ساختمان کاهش می‌دهند.

☜ کارآیی آفتابگیرهای بیرونی با تیرگی رنگ آنها و کارآیی آفتابگیرهای درونی با روشنی رنگشان هماهنگی دارد. یعنی، آفتابگیرهای تیره‌تر بیرونی و آفتابگیرهای روشن‌تر درونی از کارآیی بالاتری برخوردارند (کسمایی، ۱۳۷۸: ۹۹).

۹-٤. معماری سایبان و اعتدال هوا در تمام سال

پاسیوها، ایوان‌ها و فضاهای نیمه باز کناره‌های بیرونی خانه به آسایش درونی آن کمک شایانی می‌کنند و کارکرد یک فضای خصوصی را نیز دارند. ایوان و پیش‌آمدگی جلوی بام در تابستان بر روی دیوارها، بازشوها و کناره پیرامونی ساختمان سایه می‌اندازد و به پایین نگه داشتن دمای هوا در بیرون از ساختمان کمک می‌کند. در نتیجه تهویه طبیعی هوا مؤثرتر خواهد بود و انتقال هدایت گرما از پوسته ساختمان کاهش می‌یابد. با توجه به مقدار جریان هوا و اندازه بازشوها، می‌توان سایبان‌های گوناگونی را برای این منظور در طراحی ساختمان در نظر گرفت. فضاهای

طراحی شده در بیرون ساختمان هم به زیبایی بنا کمک می‌کند و هم آسایش درون ساختمان را فراهم می‌سازند. این فضاها در فصل زمستان نیز می‌توانند مفید واقع شوند برای نمونه، کسب گرما در زمستان به خاطر پراکنش تابش در سطح تراس‌های پیرامون بیشتر می‌گردد (قبادیان و مهدوی، ۱۳۷۶: ۱۳۲).

از آنجایی که نیاز گرمایی ساختمان در بیشتر مناطق سرد با افزایش سطح پنجره‌های جبهه جنوبی (در نیمکره شمالی) و دریافت انرژی گرمایی خورشید، به طور چشمگیری کم می‌شود. افزایش «سطح دیوار» و «پنجره» رو به جنوب به منظور استفاده از پرتو زمستانی خورشید، مستلزم افزایش عمق سایبان و بالا بردن ارتفاع بام خانه است. این روش از یک سو، مقدار کسب انرژی در زمستان را بیشتر نموده و از سوی دیگر، درصد سطح پنجره در معرض تابش تابستانی را کاهش می‌دهد. ایجاد سایه روی پنجره از تابش مستقیم آفتاب جلوگیری کرده و در نتیجه از گرمای فضای سطح بیرونی شیشه به مقدار بسیار زیادی کاسته می‌شود. در این حالت از ورود تابش مستقیم پرتو خورشید به فضای درونی ساختمان جلوگیری می‌گردد و انتقال گرما از سطح شیشه، به دو شیوه «هدایت گرمایی» و «تابش طول موج بلند» محدود می‌شود. در نتیجه مقدار کمتری از انرژی گرمایی خورشید به فضای درونی راه پیدا می‌نماید.

☜ در سرزمین‌هایی که دارای آب و هوای با دو دوره گرم و سرد هستند باید اندازه پنجره‌های جنوبی کم شود و سایبان‌های افقی و عمودی با پیش‌آمدگی بیشتری برای آنها منظور شود. زیرا خانه‌هایی که گستره شیشه روبه جنوب آنها زیاد است در روزهای آفتابی دوره گرم سال بیش از حد گرم می‌شوند. از آنجایی که در دوره سرد نیز طول روز کوتاه است، تأثیر آنها بر سرمایش شبانه فضای درونی ساختمان بیشتر از جذب گرمای روز کوتاه زمستانی است.

۹-۵. محاسبه مقدار پیش‌آمدگی سایبان

هدف از طراحی سایبان در معماری ساختمان، لگام مقدار ورودی تابش مستقیم خورشید به فضای درونی بنا است. سایبان ساختمان در هر محل، متناسب با شرایط آب و هوایی آن محل طراحی می‌شود. برای مثال، در آب و هوای دارای دو دوره سرد و گرم، ورود تابش مستقیم آفتاب به فضای درونی خانه در زمستان دلپذیر و در تابستان رنجش آور است. یا در سرزمین‌های با آب و هوای گرم، کوشش می‌شود در سرتاسر سال از ورود تابش خورشید جلوگیری شود. در عمل

رفع نیاز سایه در رابطه با آسایش گرمایی در روزهای گرم سال مطرح است. بنابراین طراحی معماری سایبان‌های ثابت برای یک شرایط مشخص کافی نیست و باید مشکل نیاز به سایه و تابش آفتاب را برای ساعات گوناگون همه روزهای سال در نظر گرفت.

☜ برای محاسبه مقدار پیش‌آمدگی سایبان، اجرای چند گام ضروری است:

الف: نخست سالنامه نیاز به «سایه» و «آفتاب» محل مشخص شود (سالنامه نیاز به «سایه» و «آفتاب» هر محل با استفاده از روش‌های گوناگون ارائه شده توسط پژوهشگران، بر پایه شرایط زیست اقلیمی محل نسبت به منطقه آسایش دمایی هوا در ساعات مختلف تمام روزهای سال تهیه می‌شود).

ب: زاویه سمت و ارتفاع تابش مستقیم آفتاب در تراز محل، برای دوره‌های نیاز به سایه و تابش خورشید به صورت جداگانه و برای ساعات مختلف روز محاسبه شود.

ج: اندازه پنجره (بلندی و پهنا) و نیز جهت جغرافیایی آن (Window Azimuth) تعیین شود.

د: اختلاف زاویه سمت خورشید و زاویه سمت پنجره (Window Solar Azimuth) حساب شود.

ه: مقدار پیش‌آمدگی سایبان افقی و عمودی با توجه به موارد بالا محاسبه شود.

☜ پیش از محاسبه مقدار پیش‌آمدگی سایبان، بهتر است برخی از واژه‌ها تعریف شوند:

الف:خط منتصب پنجره (Normal to Window)، امتدادی است که بر سطح پنجره عمود گردد.

ب: زاویه سمت پنجره (W_a) (Window Azimuth)، زاویه‌ای است که خط منتصب با شمال جغرافیایی می‌سازد.

ج: سمت خورشیدی پنجره (WSA)(Window Solar Azimuth)، زاویه‌ای برابر اختلاف زاویه سمت خورشید (R_a) و سمت پنجره است. «زاویه افقی سایه» (HSA) نام دیگر این زاویه است.

د: زاویه نیمرخ (PA)(Profile Angle)، یا زاویه عمودی سایه (VSA) زاویه‌ای است که صفحه گذرنده از لبه بیرونی سایبان افقی و سایه آن لبه در روی پنجره با سطح تراز محل می‌سازد (رازجویان، ۱۳۶۷: ۱۸۰).

برای محاسبه مقدار پیش‌آمدگی سایبان افقی (سقفی)، نخست بلندی یک پنجره مشخص (h_w) و همچنین زاویه میان خط عمود بر آن پنجره (سمت پنجره) و جهت شمال جغرافیایی محل (W_a) از روی نقشه معماری ساختمان مشخص می‌شود. سپس با توجه به زاویه سمت

خورشید (R_a) و ارتفاع تابش مستقیم آفتاب (αh) در تراز محل، می‌توان مقدار پیش‌آمدگی سایبان افقی (D_h) را برای هنگامه نیاز به سایه حساب کرد.

رابطه ۹-۸:
$$|WSA| = R_a - W_a$$

رابطه ۹-۹:
$$\tan PA = \tan \alpha h \times \sec WSA \quad \text{یا} \quad \tan PA = \tan \alpha h \times \frac{1}{\cos WSA}$$

و به صورت خلاصه به صورت رابطه زیر نوشته می‌شود:

رابطه ۹- ۱۰:
$$\tan PA = \frac{\tan \alpha h}{\cos WSA}$$

☜ هنگامی که زاویه سمت خورشیدی پنجره صفر باشد ($WSA= 0$)، زاویه نیمرخ سایه با زاویه ارتفاع خورشید در سطح تراز محل برابر است ($PA = \alpha h$).

☜ هنگامی که زاویه سمت خورشیدی پنجره بزرگتر از صفر باشد ($WSA> 0$)، زاویه نیمرخ سایه بزرگتر از زاویه ارتفاع خورشید در سطح تراز محل برابر است ($PA > \alpha h$).

☜ زاویه نیمرخ سایه برای طراحی سایبان در معماری ساختمان و نیز تعیین پیشروی پرتو آفتاب به فضای درونی خانه دارای اهمیّت است.

در هنگام نیاز به سایه، کمینه «اندازه پیش‌آمدگی سایبان افقی» (D_h) که بتواند تمام قامت پنجره را در زیر چتر سایه خود قرار دهد بستگی به نسبت «بلندی پنجره» (h_w) یا «ارتفاع سایه» (h_s) مورد نیاز به «زاویه نیمرخ سایه» دارد.

رابطه ۹-۱۱:
$$D_h = \frac{h_w}{\tan PA} \quad \text{یا} \quad D_h = \frac{h_s}{\tan PA}$$

به بیان دیگر «ارتفاع سایه» زیر سایبان افقی به «مقدار پیش‌آمدگی سایبان افقی» و «زاویه نیمرخ سایه» بستگی دارد.

رابطه ۹-۱۲:
$$h_s = \tan PA \times D_h$$

☜ هنگامی تمام قامت پنجره در سایه سایبان افقی است که بلندی پنجره برابر یا کوچک‌تر از ارتفاع سایه باشد ($h_s \geq h_w$). یا هنگامی که نسبت «ارتفاع پنجره» به «پیش‌آمدگی سایبان» کوچک‌تر یا برابر با «تانژانت زاویه نیمرخ سایه» باشد ($\tan PA \geq \frac{h_w}{D_h}$).

از یک‌سو، زاویه سمت و ارتفاع تابش مستقیم آفتاب به عرض جغرافیایی، فصل سال و ساعت روز بستگی دارد. از سوی دیگر، پراکندگی مکانی آب و هوا و دگرگونی‌های چرخه‌ای پارامترهای اتمسفری (دما، نمناکی و ...) در فصول سال و در مدت شبانه روز هم از عرض جغرافیایی پیروی می‌کنند. پس بهتر است با توجه به ویژگی پارامترهای آب و هوایی هر محل، نخست سمت پنجره ساختمان تعریف شود. سپس متناسب با نیاز گرمایشی و سرمایشی فضای درونی ساختمان، ارتفاع پنجره تعیین شود.

رابطه ۹-۱۳: $h_w = \tan PA \times D_h$

اگر «زاویه سمت خورشیدی پنجره» بیشتر از صفر باشد ($WSA > 0$)، تصویر امتداد سایه بر سطح سایبان افقی (طول سایه) (L_s) بیشتر از طول خطی (L_d) است که بر سایبان افقی عمود می‌شود ($D_h = L_d$).

رابطه ۹-۱۴: $L_s = \frac{L_d}{\cos WSA}$ یا $L_s = \frac{D_h}{\cos WSA}$

☜ مقدار پیش‌آمدگی سایبان افقی در شرایط ($WSA > 0$)، باید بیشتر از پیش‌آمدگی آنها در حالت ($WSA = 0$) طراحی شود.

مقدار ارتفاع سایبان افقی نسبت به کف فضای درونی ساختمان و نیز مقدار پیش‌آمدگی سایبان افقی در لگام کردن مقدار پیشروی آفتاب به درون خانه نقش دارند. در مناطق دارای آب و هوای با دو دوره گرم و سرد، بیشینه پیش‌آمدگی سایبان سقفی باید تا جایی باشد که اجازه دهد تابش آفتاب در دوره سرما به فضای درونی خانه وارد شود. مقدار پیشروی پرتوهای مستقیم خورشید به فضای درونی ساختمان (L) در دوره سرد به نسبت «بلندی قسمتی از پوسته ساختمان (دیوار) که در معرض تابش مستقیم خورشید قرار دارد» (h_r) به «زاویه نیمرخ» وابسته است.

رابطه ۹-۱۵: $L = \frac{h_r}{\tan PA}$

رابطه ۹-۱۶: $h_r = H - h_s$

☜ در صورتی که پنجره بدون سایبان باشد، بلندی دیوار از قسمت افقی بالای پنجره تا کف فضای درونی خانه به عنوان (h_r) مورد استفاده قرار می‌گیرد.

☜ جایی که طاق ساختمان، بالای سر پنجره پیش‌آمدگی دارد، حاصل جمع ارتفاع قسمت پایین دیوار که در تابش مستقیم خورشید (h_r) است و ارتفاع قسمت بالا که در سایه (h_s) است، با ارتفاع طاق ساختمان (H) از کف فضای درونی ساختمان برابر است ($H = h_s + h_r$). منظور از ارتفاع طاق، ارتفاع نسبت به کف اندورنی ساختمان است.

رابطه ۹-۱۷:
$$L = \frac{H}{\tan PA} - D_h$$

☜ همواره مقدار پیشروی پرتوهای آفتاب به فضای درونی ساختمان در امتداد تابش مستقیم (L_r)، بزرگتر از مقدار پیشروی پرتو مستقیم خورشید به فضای درونی ساختمان در امتداد خط منتصب پنجره (L) است.

رابطه ۹-۱۸:
$$L_r = \frac{H}{\tan \alpha h} - L_s$$

سایبان عمودی در ترکیب با سایبان افقی، ایوان را تشکیل می‌دهد. طول سایه ناشی از سایبان عمودی کمتر از سایبان افقی است. عرض سایه در پناه سایبان عمودی (W)، به مقدار پیش‌آمدگی سایبان عمودی (D_v) و سمت خورشیدی پنجره (WSA) وابسته است.

رابطه ۹- ۱۹:
$$W = D_v \,.\, \tan WSA$$

رابطه ۹- ۲۰:
$$D_v = \frac{W}{\tan WSA}$$

نمونه: عرض جغرافیایی یک محل ۳۰ درجه شمالی، آزیموت پنجره ۱۶۵ درجه نسبت به شمال جغرافیایی و ارتفاع پنجره ۲ متر است. اگر زاویه میل خورشید ۱۲)درجه و ساعت ۱۰ بامداد فرض شود. در این صورت ارتفاع خورشید ۵۶/۹ درجه نسبت به تراز محل و آزیموت تابش مستقیم آفتاب ۱۱۶ درجه نسبت به شمال جغرافیایی به دست می‌آید. بر پایه این موارد، روابط ۸-۴ تا ۸-۱۵ در مورد آن پاسخ داده می‌شود.

الف: سمت خورشیدی پنجره (WSA) حدود ۴۹ درجه است.

ب: زاویه نیمرخ سایه (PA)، حدود ۶۶/۸ درجه نسبت به سطح تراز محل است.

ج: در ساعت ۱۰ به شرطی تمام قامت پنجره ۲ متری (h_w) در سایه قرار می‌گیرد که کمینه مقدار پیش‌آمدگی سایبان افقی ۰/۸۶ متر (۸۶ سانتیمتر) باشد. در این صورت، نسبت

سایبان به ارتفاع پنجره برابر ۰/۴۳ می‌شود. با داشتن این ضریب، برای هر پنجره با هر ارتفاعی می‌توان به آسانی مقدار پیشروی سایبان افقی را حساب کرد.

د: تصویر امتداد سایه (طول سایه) (L_s) بر سطح سایبان افقی با اندازه پیش‌آمدگی ۰/۸۶ متری سایبان افقی، حدود ۱/۳۱ متر است.

ه: اگر بلندی دیوار (از زیر سایبان افقی تا کف فضای درونی خانه) ۳ متر فرض شود، با داشتن سایبان ۰/۸۶ متری، تنها یک متر از قسمت پایین دیوار در معرض تابش مستقیم قرار دارد.

و: اگر پنجره بدون سایبان باشد و بلندی دیوار (از قسمت افقی بالای پنجره تا کف فضای درونی خانه) ۳ متر فرض شود، مقدار پیشروی آفتاب به درون خانه در امتداد پرتوهای خورشیدی حدود ۱/۹۶ متر و در امتداد خط منتصب پنجره حدود ۱/۲۹ متر است.

ز : با توجه به ($WSA > 0$)، در شرایطی که علاوه بر تمام قامت پنجره، تمام سطح پنجره هم در سایه قرار می‌گیرد که پنجره دارای سایبان عمودی نیز باشد. اگر عرض پنجره یک متر فرض شود، در ساعت ۱۰ به شرطی تمام سطح پنجره ۱×۲ متر مربعی در سایه خواهد بود که کمینه مقدار پیش‌آمدگی سایبان عمودی که در شمالشرقی پنجره ساخته شده است، دست کم ۰/۸۷ متر باشد.

ح: در صورتی که زاویه سمت خورشیدی پنجره صفر فرض شود ($WSA= 0$)، یعنی آزیموت پنجره برابر با آزیموت خورشید (۱۱۶ درجه) در ساعت ۱۰ بامداد باشد. به شرطی تمام قامت پنجره ۲ متری (h_w) در سایه قرار می‌گیرد که کمینه مقدار پیش‌آمدگی سایبان افقی ۱/۳ متر باشد.

ک: هنگامی که به خاطر جابجایی ظاهری خورشید در آسمان، زاویه سمت خورشیدی پنجره صفر گردد ($WSA= 0$)، (حدود ساعت ۱۱:۴۰ که زاویه ساعتی خورشید حدود ۵ و ارتفاع تابش مستقیم آفتاب حدود ۷۱/۴ درجه است) کمینه اندازه پیش‌آمدگی سایبان افقی این پنجره فرضی باید ۰/۶۷ متر باشد تا تمام قامت پنجره در زیر چتر سایه سایبان قرار گیرد.

۹-٦. تابش زمستانی آفتاب و جهت پنجره

مسیر حرکت ظاهری خورشید در زمستان بسیار کوتاه‌تر و پایین‌تر از مسیر حرکت آن در تابستان است. در زمستان (نیمکره شمالی) خورشید از جنوبشرق طلوع کرده و در جنوبغرب غروب می‌کند. تنها جبهه‌ای که در این فصل به طور مناسبی در معرض تابش قرار می‌گیرد، جبهه جنوبی ساختمان است. در صورتی که جهت‌های شرقی و غربی که در دوره گرم سال گیرنده اصلی گرمای خورشیدی هستند در دوره سرد سال از تابش مستقیم آفتاب بی بهره‌اند.

با توجه به اینکه تابش پرتو مستقیم آفتاب بر سطح پنجره ساختمان در فصل زمستان تنها از جهات جنوبشرق، جنوب و جنوبغرب (در شمال مدار میل خورشید) امکان پذیر است، در نتیجه، نقش نورگیر در این سه حالت برای گرمایش فضای درونی ساختمان‌ها در مناطق سرد با یکدیگر متفاوت است.

الف: زاویه جهت پنجره جنوبی (آزیموت ۱۸۰ درجه)، در این حالت در ساعات میانی روز پرتو خورشید می‌تواند به درون خانه وارد شود. در میانه روز جایگاه خورشید در آسمان بالاتر و زاویه تابش مستقیم عمودی‌تر است. به همین خاطر مقدار پیش‌آمدگی سایبان افقی باید کمتر از دو حالت دیگر باشد تا در برابر ورود تابش بلند خورشید سد نسازد. به هر حال مقدار پیشروی تیغه آفتاب به فضای درونی ساختمان نسبتاً کمتر است.

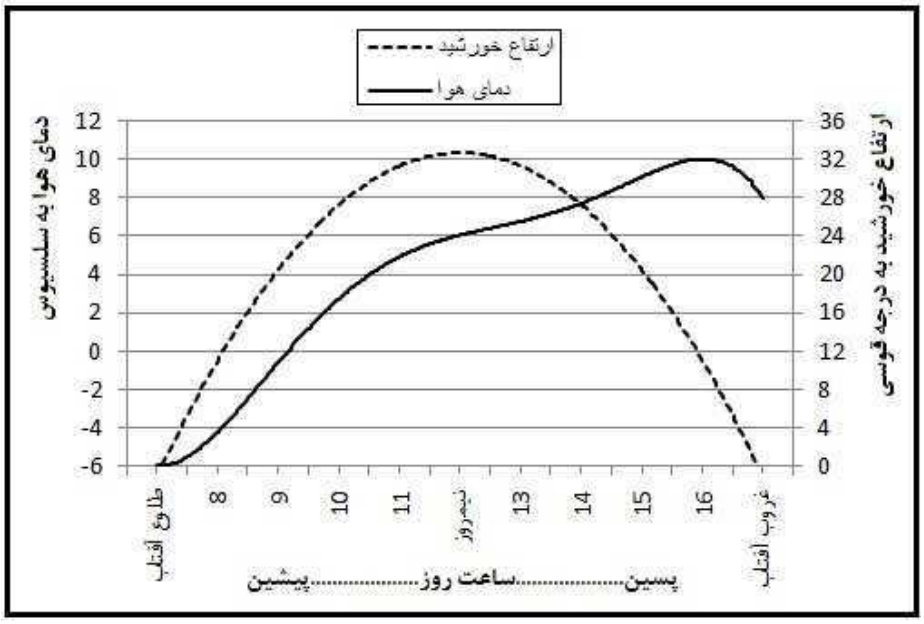
ب: زاویه جهت پنجره جنوبغربی (آزیموت ۱۹۵ تا ۲۲۵ درجه)، چرخش ساختمان به سوی جنوبغرب باعث می‌شود در هنگام پسین و تقریباً همزمان با بیشینه دمای شبانه روزی هوا، پرتو آفتاب به درون خانه وارد شود. در صورتی که در ساعات پیشین که هوا نسبتاً سردتر است، فضای درونی از تابش انرژی گرمایی خورشید بی بهره است و خانه، هوای سرد بامدادی را تا میانه روز در خود نگه دارد. به هر حال، در ساعات پایانی روز نیز به خاطر کاهش ارتفاع خورشید در آسمان، زاویه بسیار مایل آفتاب پیشروی گسترده‌ای در فضای درونی ساختمان دارد.

اگر چه نمای جنوبغربی خانه نسبت به جهت‌های جنوبی و جنوبشرقی نامناسب‌تر است اما به منظور کسب گرمای خورشیدی، کار آیی کلکتورهای خورشیدی رو به جنوبغربی بیشتر است. زیرا دمای هوا در هنگام پسین بیشتر بوده و کارکرد سیستم‌های خورشیدی در هوای گرم بهتر خواهد بود. قاعده کلی جهت تعیین زاویه شیب کلکتورها این است که باید عرض جغرافیایی محل را با ۱۵ درجه جمع نمود (قبادیان و مهدوی، ۱۳۷۶: ۱۶۶). برای مثال، برای طراحی کلکتورهای خورشیدی در شهر زاهدان با عرض جغرافیایی ۲۹/۵ درجه شمالی، باید زاویه شیب بام ۴۴/۵ درجه باشد.

ج: زاویه جهت پنجره جنوبشرقی (آزیموت ۱۳۵ تا ۱۶۵ درجه)، در این حالت در ساعات نخستین روز و تقریباً همزمان با طلوع آفتاب پرتو خورشید می‌تواند به درون خانه وارد شود. درست هنگامی که دمای هوای به سطح کمینه شبانه روزی افت کرده است و ساختمان نیاز به گرمایش دارد. در این ساعات هنوز خورشید در آسمان اوج نگرفته است و زاویه بسیار مایل

آفتاب پیشروی گسترده‌تری در فضای درونی ساختمان دارد. این حالت به کاهش هزینه‌های مربوط به گرمایش خانه کمک شایانی می‌کند.

برای مثال شکل ۹-۲ زاویه ارتفاع خورشید در انقلاب زمستانی برای عرض جغرافیایی ایستگاه هواشناسی شهر اصفهان و دمای هوای ساعات مختلف روز اول دی ماه سال ۱۳۸۷ خورشیدی این محل را نشان می‌دهد. این شکل نیاز گرمایشی بسیار بالای ساختمان در هنگام پیشین (بامداد) را به روشنی آشکار می‌سازد. هنگامی که آزیموت تابش آفتاب جنوبشرقی است و زاویه تابش بسیار مایل خورشید می‌تواند با گذشتن از پنجره‌های جنوبشرقی به فضای درونی خانه وارد شود.



شکل ۹-۲: نمودار زاویه ارتفاع خورشید و دمای هوای یک روز زمستانی در شهر اصفهان

رازجویان (۱۳۶۷) در کتاب خود، پلان چند نمونه خانه سنتی در طالخونچه و قمبوان (استان اصفهان) را آورده است که نشان می‌دهد خانه‌های سنتی در راستای عمود بر قبله (جنوبغرب) ساخته شده‌اند. در این تصاویر نه تنها اتاق‌های زمستانی رو به جنوبشرق قرار دارند که بلندتر از سایر اتاق‌هایی هستند که در کناره‌های دیگر حیات مرکزی می‌باشند (رازجویان، ۱۳۶۷: ۱۰۷- ۱۰۲).

پژوهش دیگری مربوط به شهر اصفهان گویای این است که راستای «شمالغرب، جنوبشرق» ساختمان در انطباق با راستای «شمالشرق، جنوبغرب» گذرگاه به منظور کاهش هزینه گرمایش ساختمان، ذوب پوشش یخ و برف کوچه و خیابان، رفع نیاز فیزیولوژیکی انسان و تأثیر مثبت بر جنبه ناپیدای فضای جغرافیایی (روابط اجتماعی، اقتصادی و فرهنگی) نسبت به سایر جهت‌ها برتری ویژه دارد (طاوسی، ۱۳۸۱: ۴۶). باید یادآوری کرد که جهت بادهای چیره فصول مختلف سال در منطقه اصفهان با نمای جنوبشرقی ساختمان بیشتر هماهنگی دارد. یعنی جهت بادهای چیره در دوره سرد سال از قطاع غربی و در دوره گرم سال از قطاع شرقی می‌وزند. بنابراین پنجره‌های جنوبشرقی ضمن اینکه نسبت به وزش بادهای سرد زمستانی در پناهند، می‌توانند از بادهای خنک کننده دوره گرم بهره‌مند باشند (طاوسی، ۱۳۷۲). به هر حال تعیین جهت پنجره به همه پارامترهای آب و هوایی محل بستگی دارد و نباید بر پایه یک ویژگی محیطی تصمیم گیری شود. چرا که تأثیر جهت پنجره بر دمای فضای درونی خانه به چگونگی تهویه طبیعی ساختمان و طراحی سایبان هم بستگی دارد.

به طور کلی در دوره سرد سال که سایبان از ورود پرتو بسیار مایل آفتاب جلوگیری نمی‌کند و به خاطر بسته بودن بازشوها، تهویه هوای خانه هم به پایین‌ترین حد خود می‌رسد، تغییرات دمای هوای فضای درونی خانه، به شدت به جهت پنجره وابسته است (کسمایی، ۱۳۷۸: ۹۷).

☜ با توجه به کمتر بودن زاویه تابش خورشیدی در ساعات پیشین و ساعات پسین روز، اگر نمای ساختمان به سمت «جنوبشرق» یا «جنوبغرب» چرخش داشته باشد می‌بایست عمق ایوان (مجموع سایبان افقی و عمودی) نیز به نسبت چرخش، افزایش پیدا کند.

فصل دهم

کاربرد تابش خورشید در معماری سنتی، مطالعه موردی: «یخ چال»

۱۰-۱. آشنایی با واژه «یخ چال»

انسان همواره کوشش می‌کند تا شرایط طبیعی محیط زیست را به سود خویش عوض کند، این تلاش از دیر باز وجود داشته و در هر دوره‌ای از تاریخ به صورت پیشرفته تر اعمال شده است. لگام شرایط آب و هوایی از جمله تلاش‌هایی است که تقریباً در همه ابعاد زندگی انسان نمایان است. اما شیوه کنترل طبیعت و شرایط اقلیمی بستگی به فرهنگ‌های مختلف هم دارد. برای مثال مردمی که در نواحی گرم و خشک زندگی می‌کنند، راهکارهای ویژه‌ای جهت تعدیل، تغییر و مقابله با شرایط اقلیمی در مقیاس میکروکلیمایی اندیشیده‌اند. چنان که معماری سنتی و خشتی «یخ چال» نه تنها یک طراحی سازگار با اقلیم محلی است بلکه ابتکاری شاخص به شمار می‌رود که با تهیه یخ در دوره سرد و نگهداری آن تا اوج دوره گرم سال، پارامترها و فاکتورهای آب و هوایی را به خدمت گرفته است.

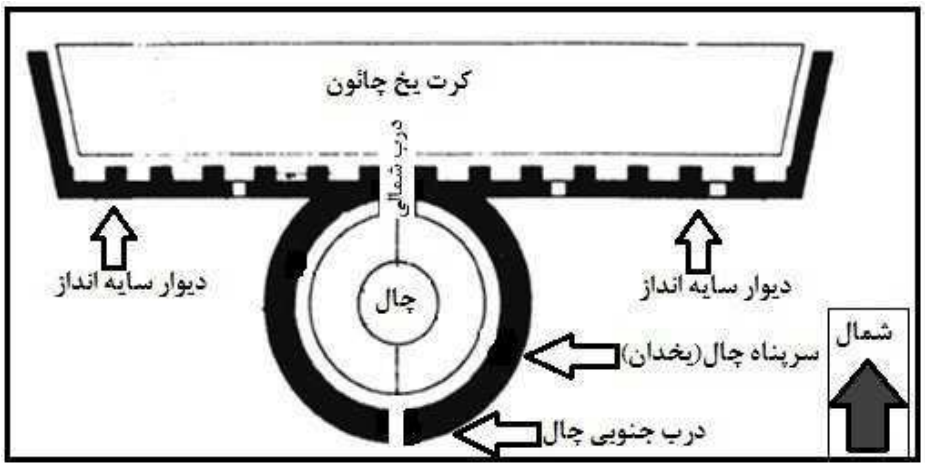
«یخ چال» در لغت به چاله‌ای گفته شده است که در آن یخ نگهداری می‌شد. در لغت نامه دهخدا از آن به معنی چاله گود و سرپوشیده یاد شده که به زمستان در آن یخ ریزند و برای تابستان نگهداری کنند. در فرهنگ نظام نیز «یخ چال» به گودالی گفته شده که در آن یخ ریخته و برای استفاده در تابستان نگه می‌دارند (داعی الاسلام، ۱۳۶۴: ۵۴۸).

طراحی معماری «یخ چال» در دو طرح جداگانه «کارگاه یخ سازی» و «انبار و فروشگاه یخ» قابل بررسی است. یعنی معماری یک «یخ چال کامل» از دو بخش اصلی تشکیل می‌شد:

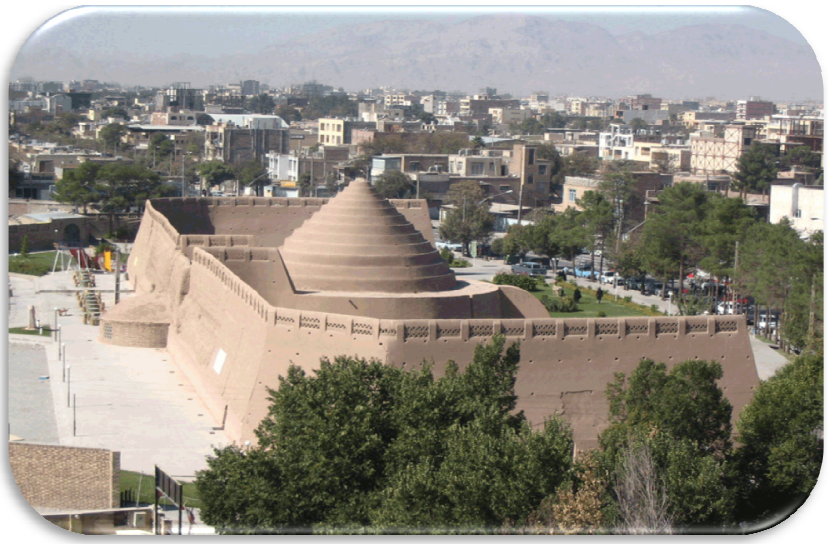
بخش نخست، محوطه سر بازی بود که برای «یخ چائون» (یخ بند) طراحی شده بود. «جایگاه یخ‌چائون» (یعنی محل چاییدن یا چایمان یخ) شامل دو سازه «دیوار سایه‌انداز» و «کرت یخ‌بند» بود. **بخش دوم** معماری «یخ چال»، که سرپوشیده بود نیز دو سازه «چال» و «سرپناه» را در بر می‌گرفت. «سرپناه»، سرپوشی بود که «چال» را در خود جای می‌داد. از آنجایی که سرپناه

بلندترین سازه نسبت به تمام مجموعه «کارگاه یخ سازی خشتی» (یخ چال) بود، در میان مردم شرق کشور ایران (کرمان و خراسان) این مجموعه به «یخدان» مشهور شده است.

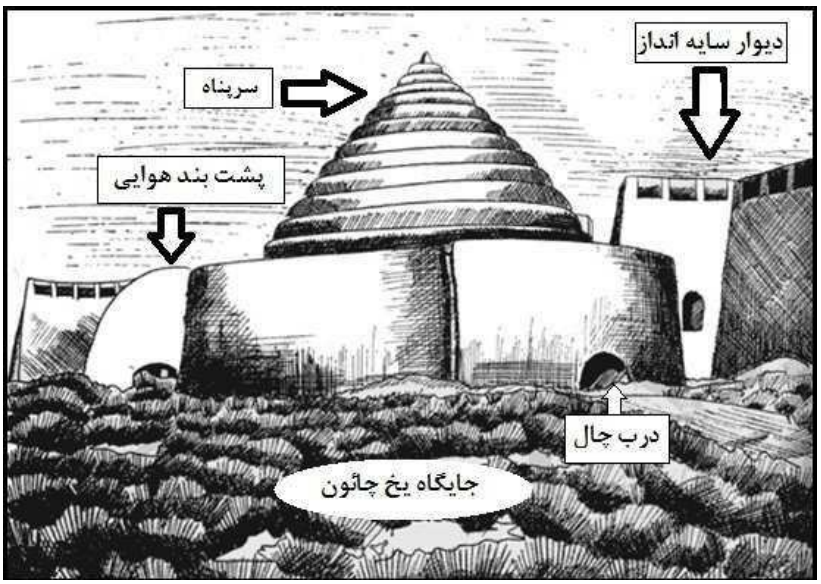
در بسیاری از شهرها و روستاهای فلات بلند ایران به ویژه حاشیه دشت کویر و لوت (شامل: استان‌های تهران، سمنان، خراسان، کرمان، یزد و اصفهان) و مناطق دیگر مانند ارومیه، همدان، قوچان و...، «یخ چال» ساخته می‌شد تا مردم از یخ آنها در تابستان استفاده کنند. «کارگاه یخ سازی سنتی» بخشی از بناها و خدمات عمومی رایج در این مناطق بود. در کامل‌ترین شکل «کارگاه یخ سازی» به کمک سایه دیوار، هوای سرد و یخبندان زمستان و آب شیرین قنات یخ ساخته می‌شد و در تابستان برای خنک کردن میوه، ساختن شربت و بستنی از آن استفاده می‌شد. این معماری منحصر به فرد، نقشی برجسته در قابل تحمل نمودن گرمای سوزان تابستان داشته است. یکی از گردشگران فرانسوی به نام ساموئل (Samuel, 1987:92) می‌نویسد: شیوه تولید و حفظ یخ در ایران آن قدر پیشرفته است که حتی فقیرترین مردم هم می‌توانستند از یخ استفاده کنند (قبادیان، ۱۳۸۵). «یخ چال خشتی» تا میانه دهه ۱۹۷۰ مورد استفاده بوده است (سرو قد مقدم، ۱۳۷۴: ۵۷).



شکل ۱۰-۱: پلان یخ چال میبد در استان یزد (قبادیان، ۱۳۸۵)



شکل ۱۰-۲: یخدان مؤیدی شهر کرمان



شکل ۱۰- ۳: یخ چال مویدی در شهر کرمان (قبادیان،۱۳۸۵)

۱۰-۲. ساز و کار «یخ چال»

طراحی معماری «یخ چال» بر پایه شرایط آب و هوایی به منظور لگام زاویه تابش خورشید و شار گرما بین سطح زمین و اتمسفر در مقیاس کوچک اقلیم شکل گرفت. این طراحی با تشدید شرایط یخبندان زمستانی و تعدیل زاویه تابش عمودی خورشید در دوره گرم سال، به تغییر میکروکلیمای «جایگاه یخ چائون» و فضای اندرونی یخ چال کمک می‌کرد.

شاردن گردشگر معروف فرانسوی که در زمان حکومت صفویه چندین بار به ایران سفر کرده و به زبان فارسی آشنا بوده، در مورد چگونگی تهیه یخ در ایران می‌نویسد: طرز تهیه یخ بدین قرار می‌باشد که در یک محوطه گودال عمیقی رو به شمال حفر می‌کنند و در مقابل آن حوضچه‌های مربع شکلی به ابعاد ۱۶ تا ۲۰ شست (به عمق چهل تا پنجاه سانتی‌متر) به مانند تشتک فراهم می‌آورند. آنگاه شامگاهان این‌ها را از آب مالامال ساخته و هنگام بامدادان که کاملاً منجمد می‌گردد، آن را با رنده باغبانی یا شن کش می‌شکنند و تکه تکه می‌کنند و همه این تکه‌ها را در گودال مزبور که توضیح داده شد، روی هم انبار می‌کنند و آن را در آنجا به قدر مقدور به تکه‌های کوچک‌تر مبدل می‌کنند، چون هر اندازه که یخ بیشتر خرد شود بهتر منجمد می‌گردد. سپس این حوضچه‌های مربع شکل را همانند روزهای گذشته با آب تازه پر می‌کنند و هنگام غروب با کدوهای غلیانی دسته‌دار (آبپاش)، تکه‌های یخ گودال را آب پاشی می‌نمایند تا بهتر به هم بچسبد. دست کم بعد از هشت روز کار پیاپی به ترتیب مذکور، قطعات یخ به ضخامت پنج تا شش پا به دست می‌آید و آن وقت شب هنگام مردم معمولی محله را جمع می‌آورند و آنها با فریاد و هلهله و شادی فراوان در حالتی که مشعل‌هایی در دور و بر گودال افروخته‌اند، با آهنگ ساز و ابزار طرب که برای تهییج آنان نواخته می‌شود، در گودال فرود آمده و تکه‌های بزرگ یخ را روی هم می‌شکنند و میان هر دو تکه آب می‌پاشند تا بهتر به هم بگیرد. در مدت شش هفته یک یخ چال... مالامال از یخ می‌گردد. برف در بسیاری از اوقات مانع کار می‌شود و خیلی اسباب زحمت می‌گردد، ولی هنگام بارش آن را می‌روبند و به دقت تمام دور می‌سازند. زیرا ذوب برف موجب آب شدن یخ‌ها می‌گردد.

قبادیان (۱۳۸۵) در کتاب بررسی اقلیمی ابنیه سنتی ایران آورده: آب مورد نیاز «یخ چال» از طریق آب جوی یا قنات تهیه می‌شده است. [یخ چال دار] آب را به یک زمین هموار کرت شده (مانند زمین کشتزار که شیارهایی پیوسته برای انتقال آب با قسمت‌های مختلف در زمین

کنده شده) و یا همان گونه که شاردن در سفر نامه خود نوشته، در چاله‌هایی به عمق ۴۰ تا ۵۰ سانتی‌متر هدایت می‌کرد. بر اثر سرمای هوا در زمستان [و برونداد انرژی گرمایی از آب گرم‌تر نسبت به هوای سردتر در هنگام شب که از طریق تابش و رسانش از آب به هوا شار می‌شود و به طور کلی شدت سرمایش تابشی شبانه در زمستان]، آب یخ می‌زند. میزان یخ زدن آب به وضع هوا بستگی داشت. در هر شب که هوا بسیار سرد و آسمان صاف و بدون ابر بوده [ابر به عنوان عایق تبادل گرمای تابشی بین زمین و آسمان عمل می‌کند] می‌توانستند عمق آب را برای یخ زدن بیشتر بگیرند، ولی برعکس در هر شب که هوا نسبتاً گرم‌تر و یا آسمان ابری بود، عمق آب را کمتر می‌گرفتند، تا یخ ببندد.

۱۰-۳. شرایط اقلیمی موثر در شکل گیری «یخ چال»

«یخ چال» تحت تأثیر آب و هوا شکل گرفت. یکی از ویژگی‌های آب و هوایی فلات ایران دارا بودن زمستان سرد با دمای یخبندان هوا و تابستان گرم است. این ویژگی، ساختن و انبار کردن یخ در زمستان و مصرف آن در تابستان را توجیه می‌کند. در هر جا که برف و یخ طبیعی کوهستان در دسترس نبود و یا استفاده از آنها محدودیت داشت، راهکارهایی اندیشیده شده تا بتوان یخ ساخت و آن را برای تابستان انبار کرد.

«یخ چال»، سازه‌ای بود که از قرن‌ها پیش در فلات ایران (به ویژه در مناطق گرم و خشک) به منظور تهیه یخ در روزهای سرد زمستان و نگهداری آن برای روزهای گرم و طاقت‌فرسای تابستان مورد توجه بوده است. پراکندگی جغرافیایی «یخ چال» در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران بیانگر روزهای «یخبندان» در آب و هوای محل است. مناطقی که دارای زمستان‌های با بیش از ۲۰ روز یخبندان و تابستان بسیار گرم بوده‌اند. در چنین آب و هوایی، هرز گرما و سرمایش سطح زمین به ویژه در شب‌های بلند زمستان، کاهش دمای هوا را در پی دارد.

در صورتی که دمای هوا به آستانه انجماد و پایین‌تر از آن افت کند، «یخبندان تابشی» شکل می‌گیرد. پستی و بلندهای سطح زمین سبب سرازیر شدن هوای سرد از کوهها و دامنه‌ها به سوی چاله‌ها و دشت‌های میان‌کوهی می‌شود. «سرمایش تابشی شبانه شدید در فصل زمستان» به علاوه «نشست هوای سرد در دشت‌ها» سبب می‌شود تا اثر «یخبندان تابشی» بیشتر باشد. پیشروی پی در پی توده هوای سرد و خشک (مانند پرفشار سیبری) در زمستان نیز پدیده «یخبندان وزشی» را به دنبال دارد. ورود هوای سرد و خشک، آسمانی صاف و بدون ابر را در پی

دارد. در این شرایط، هرز گرما و در نتیجه سرمایش تابشی سطح زمین افزایش می‌یابد. حالت هم‌افزایی (سینرژی مثبت) ناشی از ترکیب این سه پدیده، تشدید یخبندان را به دنبال دارد. از این رو، در دوره سرد سال در چندین بار و در هر بار در چندین روز پیاپی، شرایط یخبندان، امکان تشکیل یخ را در دشت‌های فلات ایران فراهم می‌ساخت.

اگرچه اندازه «کارگاه‌های یخ سازی» (یخ چال) تا حدودی تفاوت دارد اما طرح و نقشه آنها تقریباً یکسان است (سروقد مقدم، ۱۳۷۴: ۶۱). به هر حال، تعداد زیر بخش‌ها و چگونگی کارکرد هر «یخ چال» از شرایط آب و هوایی پیروی می‌کرد. در گذر از مناطق سرد و بلند کوهستانی به سوی جاهای گرم و پست ایران، تغییر تکامل طرح و نقشه «یخ چال» آشکار می‌شود. بر پایه تغییرات مکانی آب و هوا در گذار از مناطق سردسیر به مناطق گرمسیر، «یخ چال» را می‌توان به چند دسته طبقه بندی کرد:

۱۰-۳-۱. برف انبار

در مناطق کوهستانی با آب و هوای دارای زمستان سردتر، جایی که برف فراوان است (مانند استان‌های همدان، لرستان، کردستان، آذربایجان و ...) ساده‌تر آن بود که برف متراکم کوهستان را درجایی انبار کنند. چنان که در شهرستان کازرون، بخش کوهمره نودان، در دامنه نسر (Nasar) کوه برفی، غاری است که آن را در فصل زمستان از برف پرکرده و به سختی می‌کوبیدند تا برف به یخ تبدیل گشته و در فصل تابستان از آن استفاده کنند. «انبار کردن یخ در چاله طبیعی» در شهرستان ایذه هم گزارش شده است. یخ انبار شده در این شهرستان در هنگام تابستان در شهر اهواز به فروش می‌رفت (عرفان، ۱۳۶۴: ۲۶۳). راه دیگر این بود که برف کوهستان را به شهرها می‌بردند. در این شهرها در خانه بیشتر بزرگان انبارهایی با نام «برف انبار» بود که در آن برف را کوبیده و یخ تهیه شده از برف را برای مصرف تابستان نگهداری می‌کردند. پس می‌توان گفت: با توجه به شرایط اقلیمی محل، ساختن «کارگاه یخ سازی» در این مناطق ضرورتی نداشت.

۱۰-۳-۲. یخ چال ساده

در برخی از شهرهای سردتر (مانند کنگاور و همدان) با وجود یخ و برف طبیعی، «یخ چال» به سبک مناطق خشک و نیمه‌خشک ساخته می‌شد. امّا معماری این «یخ چال» ساده‌تر بوده و دارای «جایگاه یخ‌چائون» نبود. یعنی در نقشه و طراحی «یخ چال»، دو سازه «دیوار سایه‌انداز» و «کرت یخ بند» وجود نداشت و تنها شامل «چال» و «سرپناه» بود (نهچیری، ۱۳۷۰: ۴۳۴).

زیرا از یک سو، به خاطر بارندگی نسبتاً بالاتر که در زمستان بیشتر به صورت برف است (و در نتیجه پوشش برف کوهسار پیرامون شهرها فراوان است)، نیاز برای تبدیل آب به یخ در «کرت یخ بند» برطرف می‌شد. در این شرایط نیازی هم به «دیوار سایه‌انداز» برای افزایش شدّت یخبندان پیدا نمی‌شد. از سوی دیگر، دمای زمستانی محل آن قدر پایین بود که برف انباشته و کوبیده شده در «چال» را به یخ تبدیل سازد. به سخن دیگر، در «یخ چال ساده» برف را به یخ تبدیل می‌کردند. تفاوت «یخ چال ساده» با «برف انبار» این است که طراحی ساختمان «سرپناه» در «یخ چال ساده» مانند مناطق گرم و خشک، هم آهنگ با شرایط آب و هوایی و زاویه تابش خورشید ساخته شده بود. زیرا نگهداری یخ تا فرا رسیدن فصل گرم به تغییر شرایط میکروکلیمایی فضای درونی «یخ چال» و سرمایش بیشتر نیازمند بود.

۱۰-۳-۳. یخ چال نیمه کامل

با دور شدن از مناطق سردسیر و کوهسارهای پوشیده از برف، ارتفاع زمین هم کم می‌شود. بلندای زمین یک عامل آب و هوایی تعیین کننده برای کاهش تعداد روزهای یخبندان هر محل است. در این راستا دیده شده است که از تعداد «یخ چال ساده» کاسته شده و با کامل‌تر شدن عناصر ساختمان در معماری «یخ چال»، به تدریج «یخ چال نیمه کامل» شکل گرفته است. در واقع در یک «یخ چال نیمه کامل»، بخش «کارگاه یخ سازی» نیمه کامل است. با این که در این بخش «کرت یخ بند»، وجود دارد ولی مجموعه فاقد «دیوار سایه‌انداز» است. این «یخ چال» در سمنان، دامغان، شیروان، بجنورد شکل گرفته است (مخلصی، ۱۳۷۴)، (سیدی زاده و عباسیان، ۱۳۷۳: ۱۷۱ نقل در پاپلی یزدی و لباف خانیکی، ۱۳۷۸: ۳۴۰).

اگرچه موضوع الگوپذیری در گسترش طرح و نقشه تقریباً یکسان «یخ چال» بسیار روشن است. امّا پراکندگی «یخ چال نیمه کامل» در عرض‌های شمالی‌تر کشور ایران نشان می‌دهد که طراحان و معماران «یخ چال» به این نکته توجه داشتند که به جای پیروی کورکورانه در الگو پذیری از طرح معماری، به ویژگی‌های محیط طبیعی به ویژه شرایط آب و هوایی توجه داشته باشند. چنان که در طراحی «یخ چال نیمه کامل» به دقّت، کاهش زاویه تابش خورشید و مدّت تابش (طول روز) در عرض‌های جغرافیایی بالاتر را زیر نگاه تیز بین و حساب‌گر خویش داشتند. آنها پی برده بودند که زاویه مایل‌تر و بی رمق آفتاب در روزهای کوتاه‌تر فصل زمستان در شهرهای شمالی‌تر، چندان تأثیری در گرم کردن «کرت یخ‌چائون» ندارد. همچنین به رابطه

وارونه مقدار آلبدو (ناشی از پراکنش زاویه‌ای) و زاویه ارتفاع خورشید آگاهی کامل داشتند. در واقع چنین معمارانی دانشمندان آب و هواشناس بودند. به طور کلی معماری «یخ چال نیمه کامل» با آب و هوای کوهپایه‌های البرز و خراسان شمالی از این نگاه سازگار بوده است:

- کاهش زاویه ارتفاع خورشید به نسبت افزایش عرض جغرافیایی محل.
- کاهش مدت تابش آفتاب زمستانی (طول روز) به نسبت عرض جغرافیایی بالاتر محل.
- ریزش هوای سرد کوهستان به سوی سرزمین‌های پست (مانند دشت کویر)، سرمای هوای کوهپایه‌ها را تشدید می‌کند، به ویژه این که اختلاف ارتفاع کوه و سرزمین‌های پست همسایه بسیار است و فاصله‌ای که در آن هوای سرد به پایین می‌لغزد، طولانی است.
- با توجه به اینکه سطوح صاف مانند سطح آب، برف و یخ، انعکاس زاویه‌ای شدیدی دارند و آلبدوی چنین سطوحی به شدّت از زاویه ارتفاعی خورشید تأثیر می‌پذیرد (علیجانی و کاویانی، ۱۳۷۱: ۸۳). به این دلیل، نه تنها مقدار آلبدوی این سطوح دارای سیر روزانه و سالانه است (چنان که در ساعات شروع و پایان روز به مقدار بیشینه روزانه خود می‌رسند)، بلکه در جهت افزایش عرض جغرافیایی هم مقدار آلبدو به نسبت کاهش زاویه تابش مستقیم آفتاب، بیشتر می‌شود. در نتیجه مقدار آلبدوی کوهپایه‌های البرز و خراسان شمالی می‌تواند نسبتاً بیشتر از کوهپایه‌های واقع در جنوب دشت کویر و لوت است.

۱۰-۳-٤. یخ چال کامل

این «یخ چال» در حاشیه دشت‌های پست و نسبتاً گرم‌تر مانند یزد، کرمان، اصفهان، تهران، کاشان، نایین، زواره، قم، رفسنجان، سیرجان، راور، بم، میبد، ابرکو، سبزوار، شاهرود، دامغان، قوچان، کاشمر، خواف، بیدخت، بیرجند، گناباد و... شکل گرفته است (سروقد مقدم، ۱۳۷۴)، (قبادیان، ۱۳۸۵)، (پاپلی یزدی و لباف خانیکی، ۱۳۷۸: ۳۴۰). یعنی در مناطقی که زمستان، سرما همراه با یخبندان است ولی بالا بودن دامنه تغییرات شبانه روزی دمای هوا، سبب می‌شود که بیشینه دمای روزانه به بالای صفر درجه سلسیوس افزایش یابد. «یخ چال کامل» دارای همه بخش‌های کارگاهی شامل «دیوار سایه‌انداز»، «کرت یخ بند»، «چال» و «سرپناه» می‌باشد. در این مناطق «دیوار سایه‌انداز» نقش بسیار مهمّی در یخبندان دارد، زیرا بین دمای سایه و آفتاب

اختلاف فاحشی به وجود می‌آورد. «دیوار سایه‌انداز» بر روی «کرت یخ بند» چتر سایه خود را پهن می‌کند و اجازه نمی‌دهد تابش خورشید بر سطح یخ بتابد. هدایت گرمایی نیز سبب می‌شود انرژی گرمایی لایه زیرین هوای مماس با یخ، هرز رفته و واژگونی دما در مقیاس میکروکلیمایی در «جایگاه یخ چائون» ایجاد گردد. در نتیجه شدّت و مدت پایداری هوا که از سرمایش تابشی شب‌های بسیار سرد و طولانی زمستان ناشی می‌شد، در فضای کارگاهی «یخ چائون» تشدید می‌گردید. پایداری هوا در «محوطه یخ چائون»، از اختلاط هوای سردتر زیر چتر سایه و هوای پیرامون جلوگیری می‌کند. این شرایط یک حالت هم‌افزایی (سینرژی مثبت) در جهت سرمایش بیشتر هوا به وجود می‌آورد و باعث می‌شد دمای هوا در فضای «کارگاه یخ سازی» پایین‌تر از دمای هوای محیط باشد.

- به طور کلی شرایط اقلیمی موثر در شکل گیری «یخ چال» دارای دو ویژگی است: نخست دارا بودن شب‌های با سرمای یخبندان که ساختن یخ را امکان پذیر می‌ساخت و نیز وجود گرمای تابستانی که استفاده از یخ را در این فصل دلپذیر می‌کرد.
- در سرزمین‌های پست و گرمسیر (مانند سواحل خلیج فارس، دریای مازندران و بلوچستان)، به خاطر نبودن روزهای یخبندان امکان ساختن یخ وجود نداشت (سروقد مقدم، ۱۳۷۴: ۵۹).

شکل ۱۰-۴: «یخ چال کامل» بیدخت گناباد (خراسان رضوی)

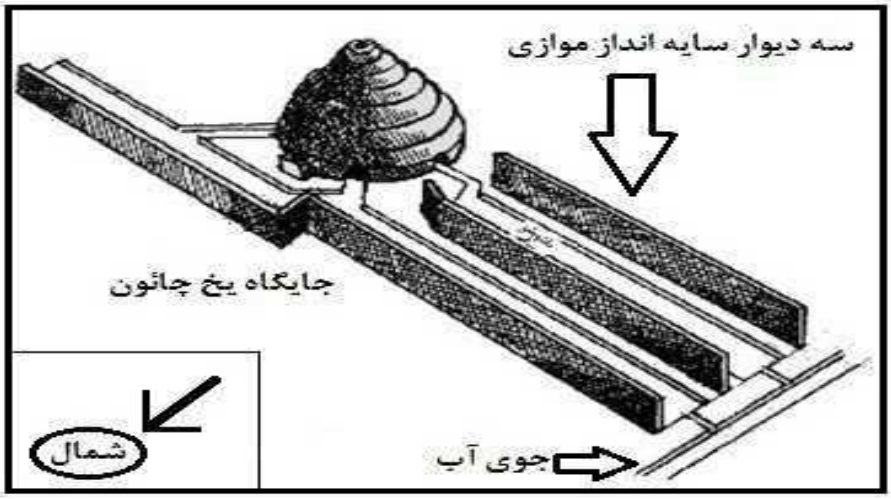
۱۰-٤. نقش تابش خورشید در طراحی «یخ چال»

نقش تابش خورشید در طراحی اقلیمی «یخ چال خشتی»، برجسته‌ترین تأثیر آب و هوایی است، چرا که در طرح، شکل و قالب یخ چال خشتی بسیار تعیین کننده بوده است. بررسی روابط ویژگی‌های کالبدی یخ چال خشتی، با عوامل و عناصر اقلیمی بسیار اهمیّت دارد. مکانیسم ساخت و نگهداری یخ در این معماری، مستلزم کارکردهای ویژه هر بخش سیستم در تشدید، تعدیل و تغییر شرایط میکروکلیمایی فضای هر دو بخش «یخ چائون» و «یخ چال» است. این الگو نشان می‌دهد که چگونه تمدن ایرانی با استفاده از ابتدایی‌ترین تکنیک در معماری متناسب با اقلیم یخ چال در گذشته، توانست در زمستان یخ تهیه نماید و آن را برای روزهای گرم تابستان انبار کند. بررسی طراحی این معماری سنتی، مرور نقطه نظرات گوناگون اندیشه‌های ابتکاری است که می‌تواند راهنمای مناسبی برای″ کاربرد اقلیم در برنامه‌ریزی‌های محیطی″ فراهم سازد.

۱۰-٤-۱. دیوار سایه انداز

دیوار سایه‌انداز با راستای «شرقی، غربی» در جنوب «جایگاه یخ چائون» جای داشت. این دیوار خشت و گلی (چینه) که با کاه‌گل اندود شده بود، بسیار دراز و بلند بود. طول دیوار یخ چال حاجی علی‌آقا در عباس‌آباد کرمان ۸۵ متر بیان شده است (سروقد مقدم، ۱۳۷۴: ۶۱). بلندی «دیوار سایه‌انداز» با ضخامت ۲ تا ۳ متر به ۸ تا ۱۰ متر می‌رسید. در برخی از شهرها، این دیوار بلندترین دیوار شهر بود. برای مثال در شهر یزد به آن دیوار بلند می‌گفتند و محله‌ای که «یخ چال» در آن ساخته شده بود به محله دیوار بلند مشهور بود. بلندی دیوار بلند یزد (در انتهای خیابان ایرانشهر امروزی) ۱۵ متر بیان شده است (پاپلی یزدی و لباف خانیکی، ۱۳۸۷: ۳۳۹). قبادیان (۱۳۸۵)، ارتفاع این دیوار را ۱۲ متر بیان کرده است. به هر حال دیگر اثری از یخ چال شهر یزد وجود ندارد.

در «یخ چال» شهر ابرقو (ابرکو) چند «دیوار سایه‌انداز» موازی در راستای «شرقی، غربی» وجود دارد. فاصله میان هر دو دیوار که «جایگاه یخ چائون» بود، حدود ۱۰ تا ۱۵ متر بیان شده است. افزایش تعداد «دیوار سایه‌انداز» به منظور گسترش بیشتر سطح «جایگاه یخ چائون» و تولید بیشتر یخ بوده است (قبادیان، ۱۳۸۵).



شکل ۱۰-۵: چند دیوار سایه‌انداز موازی در یخ چال ابرکو (قبادیان، ۱۳۸۵)

معمولاً دو سر «دیوار سایه‌انداز» به سمت شمال می‌پیچید و کناره‌های شرقی و غربی «محوطه یخ چائون» را در پناه خود می‌گرفت (مانند یخ چال شهر میبد و مؤیدی کرمان). در میبد، طول «دیوار سایه‌انداز» جنوبی ۴۲ متر و دیوار های شرقی و غربی هر یک ۲۰ متر است (قبادیان، ۱۳۸۵). این ویژگی باعث می‌شد تا از یک‌سو، پرتوهای آفتاب در هنگام طلوع و غروب خورشید از جبهه‌های شرقی و غربی به «جایگاه یخ چائون» رخنه نکند (با توجه به اینکه به تدریج در فصل زمستان زاویه ساعتی خورشید در هنگام طلوع و غروب شمالی‌تر می‌شود). از سوی دیگر، هوای سردتری که در فضای «یخ چائون» تشکیل می‌شد از سه سو در محاصره «دیوار سایه‌انداز» قرار می‌گرفت و یک واژگونی دمایی در مقیاس خرد اقلیم بالای سر «کرت یخ بند» ایجاد می‌گردید. ریزش هوای سرد از جبهه شمالی نیز می‌توانست این محاصره را تکمیل کند. این سازوکار به کاهش تبادل گرمایی بین هوای محصور در فضای کارگاهی و محیط در معرض تابش کمک می‌کرد. در نتیجه، شرایط دمایی هوا در زیر چتر سایه‌ای که بر بالای «کرت یخ بند» کشیده شده بود، تشدید می‌شد. یعنی مدت و شدّت یخبندان در مقیاس میکروکلیمایی در «جایگاه یخ چائون» نسبت به وضع هوای محل افزایش پیدا می‌نمود. این شرایط، به فرآیند انجماد شب‌های بعدی سرعت می‌بخشید.

همواره قسمت بالایی دیوار ضخامت کمتری داشت. بر بالای برخی از آنها آجرهای مشبک مزین به نقوش برجسته تزئینی چیده می‌شد (شکل ۱۰-۷). گاهی برای کم کردن فشار وارده بر پایه «دیوار سایه‌انداز»، طاق نماهایی در سطح شمالی آن ساخته می‌شد (شکل ۱۰-۸). این ویژگی از نگاه معماری به ایستایی دیوار کمک می‌کرد. امّا از نگاه اقلیم شناسی، سبب ایجاد سایه، روشن در نمای دیوار می‌شد و یکنواختی آن را کاهش می‌داد. گرچه تابش پراکنده از تباین (شدت سایه و آفتاب) بسیار می‌کاهد (علیجانی و کاویانی، ۱۳۷۱: ۷۸). گودی و برجستگی‌های سطح دیوار، تابش غیر مستقیم (آسمان) رسیده به سطح شمالی دیوار را بیشتر به صورت پخشی (همه سویه)، پراکنده می‌ساخت. در نتیجه پراکنش زاویه‌ای کاهش پیدا می‌کرد. این کاهش سبب می‌گشت شدت سایه (تاریکی) بالای سر «جایگاه یخ چائون» افزایش یابد. زیرا انعکاس پخشی، مقدار زیادی از تابش را به سوی آسمان بر می‌گرداند. در صورتی که پراکنش زاویه‌ای که به شدت از زاویه تابش تأثیر پذیر است، می‌توانست انرژی تابشی آسمان را به سوی پایین یعنی سطح «کرت یخ بند» هدایت کند.

معمولاً سطح جنوبی دیوار اصلی و سطوح غربی و شرقی دیوارهای جانبی بدون طاق نما بود. همچنین استفاده از رنگ روشن کاه‌گل (به ویژه ملات رس و کاه) برای پوشش سطح «دیوار سایه‌انداز»، به صاف و صیقلی شدن سطح دیوار کمک بسیاری می‌کرد. در نتیجه پراکنش تابش رسیده به سطح «دیوار سایه‌انداز» افرایش می‌یافت و مقدار جذب گرمای دیوار را کاهش می‌داد (شکل ۱۰-۸).

گاه جهت استحکام بیشتر «دیوار سایه‌انداز»، اقدام به ساخت پشت‌بندهای بزرگ در بخش جنوبی دیوار می‌کردند. **«پشت‌بند»، دیواری است** که در **پشت** ساختمان یا سطح بیرونی دیوار ساخته می‌شود. نقش پشت‌بند، نگهداری از ریزش دیوار است. معمولاً پشت‌بند بر سطح دیوار عمود است. به هر حال قرار دادن چندین پشت‌بند در قسمت جنوبی دیوار می‌تواند همانند سایبان عمودی، موجب شود قسمت پایین دیوار در ساعاتی از روز در پوشش سایه قرار گیرد. ایجاد هر مقدار سایه بر سطح بیرونی دیوار، کاهش دمای دیوار را در پی دارد. اگر چه این موضوع به نسبت ضخامت بیش از دو متری دیوار و نوع مصالح آن (خشت و گل)، بسیار ناچیز است و از آن در بحث آب و هواشناسی چشم پوشی می‌شود.

- «دیوار سایه‌انداز» از تابش مستقیم پرتوهای مایل خورشید در تمام طول روز سرد زمستان بر سطح «کرت یخ چائون» جلوگیری می‌کرد ولی وزش بادهای سرد قطاع شمالی را مانع نبود. این ویژگی شدت و مدت یخبندان را تشدید می‌نمود.
- بلندی «دیوار سایه‌انداز» که معمولاً از گل خام (چینه) ساخته می‌شد بر حسب آب و هوای محل، توانایی‌های محیطی، هزینه‌ها و راستای دیوار، بین ۶ تا ۱۵ متر ساخته می‌شد.
- بلندی و طول «دیوار سایه‌انداز» دو فاکتور اصلی تعیین مساحت «کرت یخ بند» و در نتیجه مقدار تولید یخ در هر یخ چال بود.
- دیوارهای فرعی که در دو سر «دیوار سایه‌انداز» به سمت شمال می‌پیچید و دارای راستای «شمالی، جنوبی» بودند، می‌توانستند بلندی و طول کمتری نسبت به دیوار اصلی (که دارای راستای «شرقی، غربی» بود) داشته باشند.

شکل ۱۰-۶: دیوار سایه‌انداز (یخ چال مؤیدی کرمان)

شکل ۱۰-۷: نقوش برجسته تزئینی دیوار سایه‌انداز (زریسف کرمان)

شکل ۱۰-۸: طاق نماهای دیوار سایه‌انداز (یخ چال شهر میبد در استان یزد)

شکل ۱۰-۹: پشت بند (یخ چال مؤیدی کرمان)

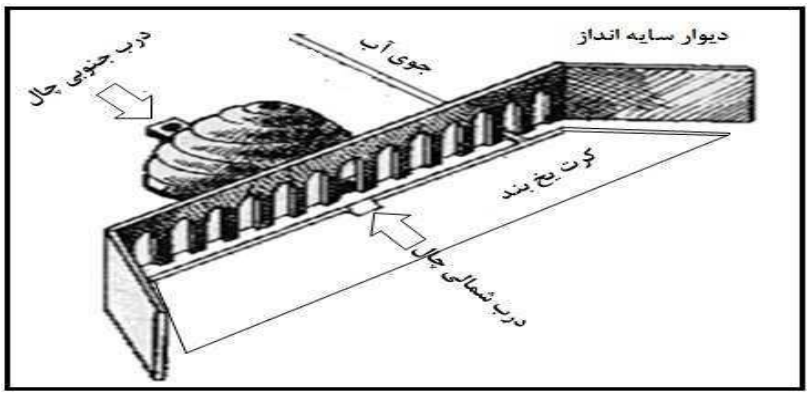
۱۰-٤-۲. کرت یخ بند

«کرت یخ بند» که به آن «آبگیر»، «حوضچه» و «یخ چائون» هم گفته شده است، محل تهیه یخ در شب‌های سرد زمستان بود که با استفاده از شرایط یخ بندان زمستانی، برای انجماد آب قنات و چشمه کاربرد داشت. «سطح یخ چائون» از سطح عمومی زمین حدود ۰/۵ متر پایین‌تر بود و از چندین «کرت یخ بند» تشکیل می‌شد. گودی «کرت های یخ بند» بر حسب شرایط آب و هوایی محل به ویژه تعداد روزهای یخبندان متغیر بود و کف آن از طریق فشردن و اندود کردن، نفوذ ناپذیر می‌شد. «کرت یخ بند» در بخش شمالی «دیوار سایه‌انداز» و در پناه چتر سایه دیوار جای داشت تا در هنگام روز، گرمای پرتوهای خورشید بر سطح یخ نتابد. اگر علاوه بر دیوار اصلی، دیوارهای دیگری به موازات دیوار اصلی ساخته می‌شد (مانند ابرکو)، به همان میزان، تعداد محوطه‌های تولید یخ نیز بیشتر بوده است. «سطح یخ چائون»، یک قواره زمین مستطیل شکل بود که طول آن درست در راستای «شرقی، غربی» کشیده می‌شد. مقدار طول «سطح یخ چائون» به درازی «دیوار سایه‌انداز» وابسته بود. پهنای «محوطه یخ چائون» به عمق سایه دیوار بستگی داشت. عمق سایه (d_y) نیز به نوبه خود به ارتفاع دیوار سایه‌انداز و زاویه ارتفاع خورشید در تراز محل بستگی داشت. برای نمونه طول «کرت یخ بند» میبد ۴۲ متر و عرض آن ۲۰ متر با مساحت حدود ۸۰۰ متر مربع و گودی ۰/۵ متر بوده است (Sepanta, 1387). در بسیاری از

موارد، «کرت یخ بند» از هیچ‌گونه مصالحی برخوردار نبود. دور تا دور آن که حدود ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متر عمق داشت دیواری آجری کشیده می‌شد ولی کف آن خاکی بود. به هر حال، کف و دیواره آن را با استفاده از آهک، ساروج و فشردن خاک، غیر قابل نفوذ می‌کردند (پاپلی یزدی و لباف خانیکی، ۱۳۸۷: ۳۳۵).

در کنار بهره‌مندی از «جریان هوای سرد»، به‌کارگیری آب «تمیز» و «شیرین» برای تهیه یخ موضوعی بود که در جایگزینی «یخ چال» در هر شهر اهمیّت بسیاری داشت. به همین خاطر، نه تنها «یخ چال» را در فضای باز بیرون شهر می‌ساختند، بلکه محل ساخت پس از مظهر قنات و در بالادست کشتزار، جایی که هنوز آب تازه و تمیز بود، انتخاب می‌شد. برای تولید یخ معمولاً شیرین‌ترین آب قنات منطقه انتخاب می‌شد تا آسان‌تر یخ بزند. آب قنات پیش از رسیدن به «محوطه یخ چائون»، راه درازی را پیموده و در مجاورت با هوای سرد زمستانی (به ویژه در بخش هرنگ قنات) به قدر کافی سرد شده بود. از سوی دیگر «سطح یخ چائون» هم که به هنگام روز در سایه جای داشت، به اندازه کافی سرد مانده و برای یخ بستن شبانه آب آماده شده بود.

ساختن یخ مستلزم کار دو تا چهار نفر در زمستان بود. اوایل آذرماه کف یخ چائون را تمیز نموده و آن را آماده آبگیری می‌کردند. «کرت یخ بند»، را در شب‌های بسیار سرد در اوج سرمای زمستان معمولاً در میانه چله بزرگ (اوّل دی تا دهم بهمن) و چله کوچک (یازدهم تا پایان بهمن) یعنی اواخر دی و اوایل بهمن، هر شب به ارتفاع ۱۵ تا ۲۰ سانتی‌متر از آب قنات پر می‌کردند (سرو قد مقدم، ۱۳۷۴: ۶۲). سرمای یخبندان هوا سبب می‌شد تا آب یخ بزند. پگاه روز بعد قشر یخ را شکسته و از آب زیرین بر روی آن می‌ریختند تا همه آب منجمد شود. شب‌های بعدی همین مقدار آب اضافه می‌کردند تا هنگامی که ارتفاع یخ به حدود ۳۰ سانتی‌متر برسد. در این هنگام یخ را به تکه‌های بزرگ مکعب شکل شکسته و به وسیله قلاب و ریسمان که به انتهای تیرک محکمی متصل بود، به «چال» می‌بردند. دریچه و گذرگاهی که «محوطه یخ چائون» را به «چال» پیوند می‌داد، دالانی بود که در آن سرازیری با شیب تند وجود داشت. یک سوی این سرسره به «محوطه یخ چائون» و سوی دیگر آن به «چال» می‌رسید. علاوه بر کف سرسره که سنگی بود، کناره‌های آن هم دیوار کوتاهی از سنگ ساخته شده بود. کارگران تکّه یخ را گرفته در دهانه درب شمالی «چال» در شیب سرسره، رها می‌کردند. تکّه یخ در سراشیب دالان سُر خورده و به ته «چال» می‌افتاد. پس از آن کارگران درون «چال» شده و تکّه‌های یخ را به گونه‌ای روی یکدیگر می‌گذاشتند تا هیچ گونه فضای خالی بین آنها وجود نداشته باشد.



شکل ۱۰-۱۰: «کرت یخ بند» در یخ چال میبد (اقتباس از قبادیان، ۱۳۸۵)

۱۰-٤-۳. چال

به منظور نگهداری یخ در یک دوره طولانی، به یک عایق گرمایی خوب نیاز بوده است. بدین منظور یخ را در درون «چال» که در درون زمین کنده می‌شد، انبار می‌کردند. «چال» در زمستان از یخ انباشته می‌شد و برای تابستان نگهداری می‌گردید.

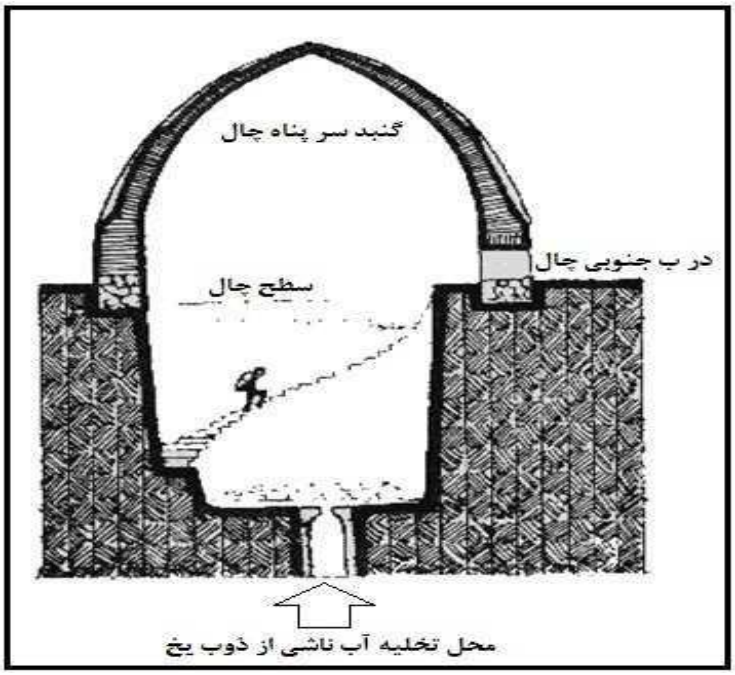
شکل «چال» در «سرپناه گنبدی» گرد و در «سرپناه تونلی» چهار گوش و مستطیل شکل بود (پاپلی یزدی و لباف خانیکی، ۱۳۷۸: ۳۳۹). اندازه آن در هر یخ چال متفاوت بود. برای مثال، گودی «چال» در یخ چال حاجی علی‌آقا در عباس‌آباد کرمان ۴/۵ متر با قطر ۹/۵ متر و گنجایش ۲۹۰ متر مکعب است (سرو قد مقدم، ۱۳۷۴: ۶۱). قطر دهانه «چال» در یخ چال میبد که یکی از بزرگ‌ترین یخ چال‌های ایران بوده، ۱۳ متر و عمق آن حدود ۶ متر است. در دور تا دور این «چال» یک سکو جهت رفت و آمد به عرض ۱/۵ متر وجود داشت (قبادیان، ۱۳۸۵). پس، قطر فضای درونی سرپناه مخروطی شکل این «یخ چال» در قاعده مخروط، باید ۱۶ متر باشد.

برای دسترسی به کف «چال»، یک راه پله از سمت جنوب در کناره درونی «چال» ساخته می‌شد. در واقع در کنارهٔ شمالی «چال»، یک سراشیبی بود که یخ را از «کرت یخ بند» وارد آن می‌کردند و در کناره جنوبی، پلکانی جای داشت تا «یخ چال‌بان» به کمک آن بتواند به لایه‌های پایین‌تر یخ دسترسی داشته باشد (شکل ۱۰-۱۱). در میان چال بخشی تو پُر و کنده نشده وجود داشت که امکان برداشت یخ را فراهم می‌کرد و اجازه نمی‌داد که سطح زیادی از یخ در معرض هوا قرار گیرد. سوراخ چاهکی در ته چاله باز می‌شد که اجازه می‌داد آب ناشی از ذوب

یخ بیرون شود. کناره‌ها و کف قسمت تاجی شکل و تو خالی چال که از یخ پُر می‌شد با آجر فرش شده بود. چال در درون ساختمانی مخروطی شکل و بلند قرار داشت. ارتفاع از ته چاله تا نوک طاق مخروطی ۱۲ تا ۱۶ متر بوده است (سرو قد مقدم، ۱۳۷۴: ۶۲).

همان‌گونه که شاردن در سفرنامه خود نوشته، یخ‌هایی را که به درون «چال» می‌ریختند نخست به تکه‌های کوچک‌تر تقسیم می‌کردند و سپس روی آن آب می‌گرفتند تا یخ‌های شکسته شده به صورت یک توده یکپارچه درآید. سپس روی آن حصیر قرار می‌دادند و یا یک لایه کاه می‌ریختند و پس از آن لایه بعدی یخ را شروع می‌کردند. بدین ترتیب یک لایه حصیر و یا کاه بین هر دو لایه یخ قرار می‌گرفت و در تابستان در هنگام فروش یخ، شکستن و برداشتن هر لایه یخ آسان‌تر بوده تا اینکه بخواهند یخ کل «چال» را بشکنند. همچنین هر لایه یخ را که می‌خواستند بردارند، لایه کاه زیر آن عایقی برای بقیه یخ‌ها بود (قبادیان، ۱۳۸۵).

هنگامی که «چال» از یخ پر می‌شد، با خشت خام و کاه‌گل روی یخ را می‌پوشاندند. درب «سرپناه» را بسته و در پایان جلو درب را هم با خشت تیغه کرده و کاه‌گل می‌کردند. بدین ترتیب «یخ» انبار شده در «چال» بدون داشتن هیچ گونه ارتباطی با هوای محیط، تا دوره گرم سال نگهداری می‌شد. درب سمت جنوبی در دوره گرم سال باز می‌شد و «یخ چال‌بان» از طریق این درب، یخ را برای فروش بیرون می‌برد و یخ را به مشتریان عرضه می‌کرد. فروش یخ معمولاً در اتاقکی در کنار درب جنوبی انجام می‌گرفت و با ترازوهای بزرگی وزن می‌شد (پاپلی یزدی و لباف خانیکی، ۱۳۸۷: ۳۴۰). شاردن در این باره می‌نویسد: در فصل تابستان باز کردن یخ چال نیز جشن دیگری برای اهل محل فراهم می‌آورد. یخ را در ایران به خربار (برابر با ۲۹۶/۹۶ کیلو گرم) می‌فروشند که هجده سو (در فرانسه یک لیور برابر ۲۰ سو و ۲۰ سو برابر ۱/۸۲ فرانک در سال ۱۶۶۹) ارزش دارد و از دو تکه یخ که هر یک به وزن شصت لیور است (یک لیور فرانسه = ۴۹۷/۵ گرم = تقریباً نیم کیلو)، تشکیل شده است. خرده و تکه‌های یخ به مردم محله، که هنگام کار یاری کرده‌اند تعلق می‌گیرد. آنچه در یخ‌های ایران شایان توجه و مطبوع می‌باشد، زیبایی و تمیزی خاص آنها است، چنانکه کوچک‌ترین تیرگی و کثافتی در آن نمی‌توانید مشاهده کنید. آبی که از دل سنگ بیرون می‌آید، روشن‌تر و شفاف‌تر از آن جلوه نمی‌نماید (قبادیان، ۱۳۸۵).



شکل ۱۰-۱۱: «چال» و پلکان درون آن (اقتباس از قبادیان، ۱۳۸۵)

۱۰-٤-٤. سرپناه

سرپناه سرپوشی بود که به منظور نگهداری یخ انبار شده در «چال» ساخته می‌شد. سرپناه به دو صورت «گنبدی» و «تونلی» دیده می‌شود (مخلصی، ۱۳۷۴، ۶۹۰). که گونه «گنبدی» آن رایج‌تر است.

همچنین «چال بدون سرپناه» که بدون طاق بوده نیز در اصفهان وجود داشته است. این گونه «یخ چال» دارای یک دیوار به ارتفاع چهار تا پنج متر و به طول دوازده متر بوده است. در سمت نسار (شمالی) این دیوار یک «چال» به گودی پنج الی شش متر و طول و عرض دوازده در پنج متر می‌ساختند. «سرپناه» این یخ چال کاه بود. بدین صورت که پس از پایان کار، روی سطح یخ‌ها را با کاه به ارتفاع یک الی دو متر می‌پوشاندند و در ماههای گرم سال به تدریج از این یخ‌ها استفاده می‌کردند (قبادیان، ۱۳۸۵).

به نظر می‌رسد یخ این گونه «یخ چال» بیشتر مصرف زمستانی داشته و در چنین شرایطی یخ نمی‌توانست تا فصل تابستان ماندگار باشد. چنان که برای تأمین یخ در فصل زمستان و یا در اوایل فصل بهار در کرمان برف را از منطقه حسین‌آباد جوپار با الاغ به شهر می‌آوردند. این برف را هنگام حمل در خورجین‌هایی از پشم بز می‌گذاشتند تا در حین ذوب شدن، خورجین آن سنگین نشود. در زنجان، همدان و شیراز نیز برف را از کوهستان می‌آوردند. در شیراز برف را با گاری حمل می‌کردند و آن را به صورت تکه‌های مکعب شکل در لای نمد و یا حصیر نگاه می‌داشتند. برف کوبیده شده در مغازه‌ها به فروش می‌رسید (قبادیان، ۱۳۸۵). پس منطقی است که در اصفهان به جای آوردن برف از کوههای دوردست، با ساخت «یخ چال ساده‌تر»، یخ مورد استفاده در زمستان و بهار را خود تهیه کنند.

۱۰-۴-۴-۱. سرپناه گنبدی

«سرپناه گنبدی»، یک گنبد بزرگ خشتی، مخروطی شکل، بلند با ظاهر پلکانی است که متناسب با آب و هوای کوهپایه‌ها و دشت‌های نسبتاً گرم‌تر مناطق مرکزی و شمال شرقی کشور ساخته شده است. گنبد سرپناه، ساختمانی مخروطی شکل با سطح بیرونی پلکانی است که سرپناه «چال» بود. اگرچه همواره گنبد یخ چال در بخش جنوبی «کرت یخ بند» قرار داشت. امّا جای آن نسبت به «دیوار سایه‌انداز» در هر یخ چال متفاوت بود. یعنی ممکن است در یک جا در شمال «دیوار سایه‌انداز» و در جای دیگر در جنوب آن ساخته می‌شد.

گنبد یخ چال اغلب دو درب داشت، یکی در سمت شمال بین «کرت یخ بند» و «چال» که در زمستان از آن استفاده می‌شد. هنگامی که یخ را از «کرت یخ بند» به درون «چال» جابجا می‌کردند و از طریق شیبی که بین یخ بند و چال بود، یخ را به درون «چال» سُر می‌دادند. درب دیگر در سمت جنوب گنبد جای داشت، که در تابستان برای برداشت و فروش یخ از آن استفاده می‌شد. در مواقعی که از درب‌ها استفاده نمی‌شد، آنها را با یک تیغه خشت و گل مسدود می‌کردند. دور تا دور «چال» یک سکّو برای رفت و آمد قرار داشت. این سکو که «چال» را از پوسته ضخیم گنبد جدا می‌کرد، رفت و آمد بین درب شمالی و جنوبی را فراهم می‌کرد. از این نوع «یخ چال» دو تا در کرمان، دو تا در کاشان، یکی در زواره، یکی در نایین، یکی در ابرقو، یکی دربم، یکی در میبد، دو تا در سیرجان، دوازده تا در سبزوار، یکی در شاهرود، یکی

در دامغان، بقایای دو تا در قوچان و تعدادی در روستا های حاشیه شمالی دشت کویر باقی مانده است (قبادیان، ۱۳۸۵).

در اصطلاح معماری نوع گنبدهای یخ چال «بستو» بیان شده است. «بستو» (به معنی کوزه) نوعی قوس بیضی شکل است که در ساخت گنبد استفاده می‌شود و نسبت فاصله کانونی به دهانه ۴ به ۳ است. پوشش بستو به علت داشتن قابلیت تحمل بسیار در مقابل بارهای وارد بر آن در وسیع‌ترین دهانه‌های معمول در معماری ایران بکار می‌رود. برای نمونه قطر قاعده مخروط گنبد یخ چال میبد با احتساب ۱۶ متر فضای درونی و ۲/۴ متر ضخامت پوسته برابر با ۲۰/۸ متر می‌باشد (قبادیان، ۱۳۸۵).

«سرپناه گنبدی» که همیشه از نوع دور چین بوده، با خشت خام و ملات گل ساخته شده است. چون بسیار کمتر از آجر، گرمای فضای بیرونی را از پوسته خود جابجا می‌کرد. این گنبدهای خشتی بسیار هم پایدار بودند. چنان که در زمین لرزه طبس، ساختمان‌های بتنی پیش فشرده ویران شدند ولی گنبد یخ چال بر جای ماند.

به جهت مقاومت و ایستایی بهتر گنبد و همچنین کاهش هزینه ساخت آن، ضخامت پوسته گنبد از پایین به بالا کاهش می‌یافته تا وزن گنبد کمتر شود و مرکز ثقل آن در ارتفاع پایین‌تری قرار گیرد. همچنین مصالح و نیروی بدنی کمتری صرف ساخت آن شود. برای نمونه، ارتفاع گنبد یخ چال شهر میبد حدود ۱۵ متر و ضخامت پوسته آن در پایین ۲/۴ متر و در بالا ۰/۲ متر یعنی به طول یک خشت است. به همین دلیل است که گنبد یخ چال از نمای بیرونی به صورت پلکانی می‌باشد که این خود یک مزیت برای بازسازی و نگهداری گنبد فراخ و بلند یخ چال بوده است. زیرا هر ساله باید یک لایه کاه‌گل بر روی سطح خارجی گنبد کشیده شود تا آن را در مقابل بارندگی، تابش آفتاب و تغییرات جوی حفظ کند و پله‌های روی گنبد سکویی جهت انجام این کار بوده است. البته بین این پله‌ها یا سکوها یک ردیف پله‌های کوچک‌تر نیز می‌ساختند تا کارگران بتوانند بین سکوها رفت و آمد کنند (قبادیان، ۱۳۸۵).

اگرچه شکل پلکانی گنبد را برای کاهش ضخامت پوسته (قبادیان، ۱۳۸۵) و همچنین آسان‌تر شدن بازسازی و نگهداری آن بیان کرده‌اند (سروقد مقدم، ۱۳۷۴: ۶۱). امّا اهمیت این شکل در تفسیر آب و هوایی آن نهفته است. ارتفاع بسیار بلند گنبد در کنار شکل پلکانی بام که به صورت پیاپی عمودی یا افقی است، سبب می‌شد تا سطح سرپناه «چال» نسبتاً عمودی باشد.

این پیکره، تعدیل زاویه تابش خورشید در دوره گرم سال را در پی داشت. یعنی زاویه تابش عمودی خورشید در دوره گرم سال به زاویه‌ای بسیار مایل تبدیل شده و تابش خورشید به کمینه ممکن می‌رسید. قبادیان (۱۳۸۵) ارتفاع بسیار بلند گنبد را که در بعضی از مناطق بلندترین یا یکی از بلندترین ساختمان‌های شهر یا روستا بوده (مانند یخ چال شهر میبد در استان یزد و یخ چال زواره در استان اصفهان) به این دلیل بیان کرده که در طی روز های گرم تابستان، خصوصاً در حاشیه بیابان‌های مرکزی، که تابش آفتاب درون یخ چال را گرم می‌کرد، گرما در ارتفاع بالاتری قرار گیرد و سطوح پایین‌تر خنک‌تر باشد. بعلاوه کاهش تدریجی ضخامت دیوار به سمت بالای سرپناه هم موجب می‌شد نرخ تبادل گرما در راستای بلندای پوسته افرایش یابد. این ویژگی در یک فرآیند هم افزایی (سینرژی مثبت) به تشدید شرایط واژگونی دمای هوا در فضای درونی سرپناه کمک می‌کرد. بدین ترتیب هوایی که در اثر رسانش بسیار ضعیف موادی نارسایی مانند کاه که یخ درون چال را پوشانده بود و نیز به دلیل ضخامت قسمت پایین دیوار که تبادل گرمایی بین فضای درونی و محیط پیرامونی را تقریباً ناممکن ساخته بود، سردتر از هوای بالاتر می‌شد. به بیان دیگر، وجود یخ در پایین‌ترین قسمت قیف وارونه سرپناه، شرایط واژگونی دما را در فضای درونی آن ایجاد می‌کرد. تابش عمودی‌تر بر بالاترین قسمت گنبد و وجود روزنه در سقف کوچک آن به تشدید شرایط اینورژنی میکروکلیمای فضای اندرونی سرپناه کمک می‌نمود. وارونگی دمای هوا، از همرفت هوای درون ساختمان جلوگیری می‌کرد. مجموع این شرایط، همه شیوه‌های تبادل گرما (تابش، رسانش و همرفت) بین یخ و هوا را به شدّت محدود می‌کرد. بدین ترتیب از ذوب یخ جلوگیری شده و تا دوره گرم سال با کمترین آسیب نگهداری می‌شد.

شکل ۱۰-۱۲: مخروط «سرپناه گنبدی» و شکل پلکانی آن (شهر ابرکو)

☜ به طور کلی ویژگی میکروکلیمایی فضای درونی سرپناه گنبدی شکل به صورت زیر توجیه پذیر است:

الف: ویژگی‌های کاهنده انرژی خورشیدی رسیده به بام گنبد

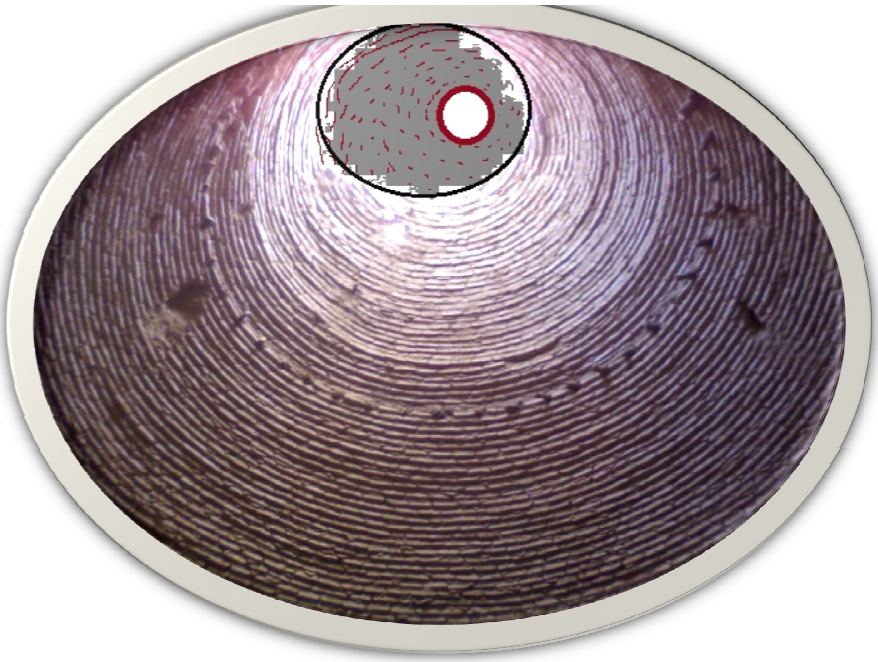
یک: کاهش زاویه تابش خورشید تابستانی: بسیار پیش‌تر از این که لی (Lee, 1963) به این نتیجه برسد که «در عرض‌های جغرافیایی پایین و در فصول گرم مناطق معتدله، مقدار جذب انرژی بر روی سطوح بیرونی ساختمان‌های بلند و صاف ...، نسبت به سایر ساختمان‌ها بسیار کمتر است»، ایرانیان با ساختن گنبد های بلند مخروطی این تئوری را به اجرا گذاشته بودند. «قامت بلند»، «شکل مخروطی گنبد» و «سطح پلکانی پوسته»، سبب می‌شد تا سطح بام سرپناه در یک حالت عمودی باشد. با توجه به این که سطح عمودی، زاویه تابش مستقیم آفتاب در دوره گرم سال که (نسبتاً عمودی‌تر هستند) را به شدّت کاهش می‌دهد. در نتیجه طراحی قالب گنبد یخ چال، مقدار انرژی رسیده به سطح بیرونی پوسته ساختمان را در سطح بزرگ‌تری پخش می‌کرد و انرژی رسیده به یکای سطح ساختمان را کاهش می‌داد.

دو: افزایش آلبدو: رنگ نسبتاً صاف، صیقلی و روشن سطح بیرونی سرپناه که از اندود کردن آن با کاه‌گل [ملات خاک رس و کاه (ساقه طلایی گندم و جو)] بدست می‌آمد، مقدار آلبدوی بام گنبد را افزایش می‌داد. در نتیجه پوسته ساختمان کمتر گرم می‌شد و شار انرژی گرمایی خورشید از راه پوسته کاهش پیدا می‌کرد.

ب: ویژگی‌های کاهنده شار انرژی گرمایی محیط بیرونی به فضای درونی گنبد

یک: ضخامت پوسته: پوسته بسیار ضخیم گنبد، انتقال (رسانش) گرمای هوای تابستانی فضای بیرونی از راه پوسته را به شدّت کاهش می‌داد.

دو: سطح ناصاف و نسبتاً کدر درون گنبد: برخلاف سطح روشن و صیقلی بیرونی گنبد که با کاه‌گل اندود شده بود، سطح درونی «یخ چال» هیچ گونه آستری نداشت. بنابراین سطح درونی، زُمخت و ناصاف بود. رنگ کدرتر خشت خام نسبت به کاه‌گل بعلاوه ناهمواری سطح و سایه ردیف‌های خشت بر یکدیگر، باعث کدرتر شدن سطح داخلی نسبت به سطح بیرونی می‌شد. این حالت سبب می‌شد تا پتانسیل جذب گرمای پوسته گنبد در داخل بیشتر از سطح بیرونی آن باشد. به بیان دیگر، درصد جذب گرمای هوا در سطح درونی بالاتر از سطح بیرونی بود. در نتیجه اختلاف دمای دو سطح پوسته به کمینه ممکن می‌رسید و انتقال (رسانش) گرمای هوای تابستانی فضای بیرونی از راه پوسته به شدّت کُند می‌شد. این ویژگی در کنار پوسته ضخیم گنبد به صورت «هم افزایی» در جهت کاهش شار انرژی گرمایی هوای محیط به درون یخ چال عمل می‌کرد. شکل ۱۰-۱۳ سطح درونی و بدون آستر گنبد مخروطی شکل «یخ چال» در شهر کاشمر را نشان می‌دهد. این عکس که در تاریخ ۲۱ دی ماه سال ۱۳۸۵ خورشیدی حدود ساعت ۱۵ گرفته شده است، به خاطر خراب شدن بخشی از قسمت بالای گنبد، بیش از اندازه فضای درونی را روشن نشان می‌دهد.



شکل ۱۰-۱۳: سطح درونی بدون آستر و ناصاف «سرپناه گنبدی» (شهر کاشمر)

ج: ویژگی‌هایی کاهنده ترمودینامیکی دما در فضای درونی سرپناه

با پایان دوره سرد و یخبندان هوا و آغاز دوره گرم سال، به تدریج دمای هوای محیط افزایش پیدا می‌کند. ویژگی معماری «یخ چال» به گونه‌ای بود که شار انرژی گرمایی محیط بیرونی به فضای درونی گنبد را کاهش می‌داد. این ویژگی سبب می‌شد بین فضای درونی «یخ چال» و هوای محیط اختلاف دما به وجود آید. در نتیجه، جهت جریان انرژی گرمایی در پوسته سرپناه از فضای بیرونی به فضای درونی «یخ چال» بر قرار می‌شد. این فرآیند موجب می‌گشت دمای هوای درون «یخ چال» نیز متناسب با افزایش گرمای هوا بالاتر رود، اگرچه شیب افزایش دمای درون «سرپناه» بسیار بسیار کمتر از دمای محیط بود.

همان طور که پیش‌تر گفته شد، در پایان انبار کردن یخ در «چال»، درب‌های «سرپناه» بسته شده و با خشت جلو آن را تیغه می‌چیدند و روی آن را با کاه‌گل آستر می‌نمودند تا هیچ

روزنه و راه نفوذی برای جریان هوا وجود نداشته باشد. بنابراین اگر افزایش دمای هوای درون «سرپناه» در دوره گرم سال همراه با افزایش حجم نباشد، بر پایه قوانین گازها می‌تواند به صورت ترمودینامیکی به افزایش فشار هوای درون «یخ چال» بیانجامد. بر اساس قانون چارلز (۱۷۸۸)، همواره نسبت «ضریب حجم و فشار هوا» به «دمای هوا»، مقدار ثابتی است. بنابراین بستن و مسدود کردن همه روزنه‌ها یعنی این که حجم هوای درون «سرپناه» ثابت نگاه داشته شود. در چنین شرایطی، بر اثر افزایش دما، فشار هوا افزایش می‌یافت. به بیان دیگر، گرمای افزوده شده بر سیستم در حجم ثابت، صرف افزایش انرژی درونی بسته می‌شد (قائمی، ۱۳۷۵: ۲۲۶).

برای جلوگیری از این پدیده، روزنه‌ای در بالای سقف گنبد تعبیه می‌شد تا هوای گرم شده و منبسط شده از راه آن بیرون برود و از این طریق از افزایش فشار هوا جلوگیری می‌شد.

د: ویژگی‌های هم افزاینده (سینرژی مثبت) در تشکیل وارونگی دمای درون «گنبد»

یک: افزایش زاویه تابش خورشید در راستای بلندای گنبد: با توجه به این که پایین‌ترین قسمت گنبد، دیوار عمودی و نسبتاً بلند (حدود ۴ تا ۵ متر) است و بالاترین قسمت بام آن، حالت افقی دارد. بنابراین زاویه تابش مستقیم آفتاب دوره گرم سال، در قسمت پایین گنبد مایل‌تر از سطوح بالایی است. در نتیجه نرخ شار انرژی گرمایی تابش خورشید به فضای درونی گنبد، از پایین به سمت بالا افزایش پیدا می‌کرد و به گرم‌تر شدن هوای قسمت بالاتر درون «یخ چال» کمک می‌کرد. این پدیده، وارونگی دمای درون گنبد را تشدید می‌کرد.

دو: افزایش شار گرمایی هوای تابستانی محیط در راستای بلندای گنبد

❖ **شکل مخروطی**: شکل مخروطی گنبد سبب می‌گشت تا *"نسبت پوسته به حجم"* در قسمت بالایی گنبد بیشتر شود. این ویژگی موجب می‌شد تا تماس هوای درون گنبد با پوسته از پایین به بالا افزایش یابد. در نتیجه انتقال (رسانش) گرمای هوای تابستانی فضای بیرونی از راه پوسته به سمت بالای گنبد، بیشتر شده و به گرم‌تر شدن هوای قسمت بالاتر فضای درونی منجر می‌شد. این شرایط، واژگونی دمای هوا در فضای درونی سرپناه را افزایش می‌داد.

❖ **تغییر ضخامت پوسته**: کاهش ضخامت پوسته از پایین به بالا، سبب می‌شد ورود گرما به شیوه رسانش از پایین به بالا افزایش پیدا کند. این شرایط به گرم‌تر شدن هوای قسمت بالایی ساختمان منجر می‌گشت. این ویژگی، با تشدید شرایط اینورژنی درون سرپناه همسو بود.

سه: وجود چال مملو از یخ در کف ساختمان: اگرچه سطح چال به وسیله مواد نارسانایی مانند یک گونه نی یا جگن دریایی به نام «بی زور» که در ایران در کنار آب‌ها به دست می‌آید (قبادیان، ۱۳۸۵)، کاه، پوشال، خشت، کاه‌گل و... کاملاً پوشانده می‌شد. به هر حال، هدایت هرچند ناچیز گرما باعث سردتر شدن لایه پایین‌تر هوای درون سرپناه مخروطی می‌گشت. هوای سرد شده که نسبت به هوای بالاتر درون گنبد سنگین‌تر بود، در قسمت پایین می‌نشست و پایداری هوا در مقیاس میکروکلیمایی درون یخ چال پدیدار می‌گشت. این حالت، نوعی وارونگی ناشی از سرمایش تشکیل می‌داد.

چهار: وجود روزنه باز در سقف نسبتاً افقی گنبد: در بالاترین نقطه گنبد که سقف دارای انحنایی نسبتاً افقی است و نسبت ضخامت پوسته به حدود ($\frac{۱}{۱۲}$) پایه آن کاهش پیدا می‌کند. یعنی شرایط برای تبادل گرما بیشتر فراهم است. روزنه‌ای تعبیه شده است که پرتو مستقیم خورشیدی می‌توانست از آن طریق وارد فضای درونی سرپناه شود. تابش مستقیم آفتاب در محدوده بسیار بسیار کوچک فوقانی، دمای هوا را اگرچه به مقدار ناچیز افزایش می‌داد. «هم افزایی» این ویژگی‌ها باعث می‌شد تا هوا در قسمت بالای قیف وارونه سرپناه مخروطی شکل گنبد، گرم‌تر از قسمت پایین آن گردد. هوای گرم‌تر بالا که نسبتاً سبک‌تر بود، شرایط واژگونی دما را تشدید می‌نمود. همان طور که پیش‌تر هم بیان شد، این روزنه اجازه می‌داد تا هوای گرم شده و منبسط شده درون گنبد بیرون رود و از افزایش فشار ناشی از تراکم هوا در فضای درونی ساختمان که کاملاً مسدود می‌شد، جلوگیری می‌کرد.

۱۰-۴-۴-۲. سرپناه تونلی

سرپناه تونلی یا «یخ چال زیر زمینی»، شکل دیگری از «سرپناه» بود که در بعضی از نواحی ایران مانند تهران، ساوه و مناطق غرب و شمال غرب کشور مانند زنجان، همدان، تبریز و مناطقی که دارای هوای زمستانی نسبتاً سردترند، ساخته می‌شد. کارکرد آن مانند «سرپناه گنبدی» بوده ولی شکل کالبدی آن متفاوت بود. بخش بیشتر بدنه «سرپناه تونلی» در زیر زمین بوده و دیوار قطور آن را با سنگ لاشه یا آجر و ملات‌های آبی مانند ملات ماسه، آهک و ساروج می‌ساختند. سقف بیشتر آجری آن از نوع طاق و تویزه و یا طاق آهنگ بوده است (قبادیان، ۱۳۸۵).

در «یخ چال زیر زمینی»، پس از منجمد شدن یخ در «کرت یخ بند»، آنها را از دریچه زیر طاقی به داخل «چال» می‌ریختند. سپس در هر نوبت که یخ به «چال» ریخته می‌شد، بر روی آن آب می‌پاشیدند تا توده یخ به صورت یکپارچه درآید. در این جا در بین لایه های یخ و روی یخ را با کاه نمی‌پوشاندند زیرا اقلیم این مناطق نسبتاً سرد است و یخ درون چال تا تابستان به صورت منجمد باقی می‌مانده است.

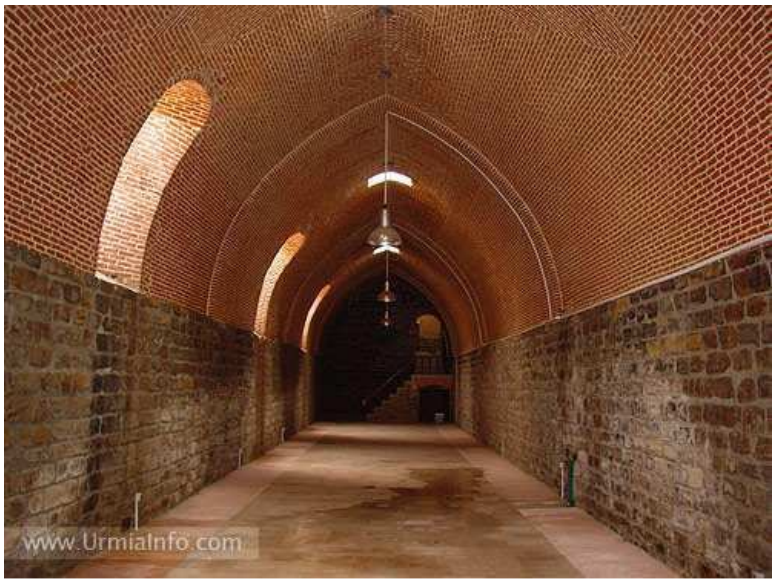
دیولافوا در مورد «یخ چال» تبریز می‌نویسد: در هنگام برگشت به کنسول خانه از نزدیکی «یخ چال» گذشتیم. این بنا مخصوص فراهم کردن یخ است. یعنی در زمستان یخ را در آنجا انبار کرده و در تا بستان به بازار می‌آورند و به مردم می‌فروشند. تهیه یخ بسیار آسان است و با زحمت کمی به دست می‌آید. در زمستان گودال‌هایی که در پهلوی دیوار های بلند واقع شده را پر از آب می‌کنند تا شب یخ ببندد و صبح کارگران یخ را شکسته و قطعات آن را در زیرزمین‌های سرپوشیده می‌ریزند و برای تابستان انبار می‌کنند (قبادیان، ۱۳۸۵).

«یخ چال تونلی» نیز مانند «یخ چال گنبدی» به دلیل اینکه دارای ابعاد بزرگی بوده است و به محوطه نسبتاً زیادی جهت تهیه یخ نیاز داشت و از آنجایی که قیمت یخ نسبتاً ارزان بود، لذا از لحاظ اقتصادی ایجاب می‌کرد که در حومه شهر که قیمت زمین ارزان‌تر بوده، ساخته شود. البته بهره‌مندی از آب پاکیزه و جریان هوای آزاد و سرد زمستانی نیز در جایگزینی «یخ چال» هم کاملاً اثر گذار بوده است.

باید گفت که در مناطق غرب و شمال غرب کشور به دلیل آن که هوا در تابستان نسبت به مناطق شرقی‌تر و پست‌تر کشور خنک‌تر است، لذا مصرف یخ کمتر بوده و در نتیجه تعداد این نوع یخ چال نسبت به یخ چال گنبدی کمتر بوده است.

یکی از نمونه‌های «یخ چال تونلی» که نسبتاً سالم مانده، در جنوب شرقی شهر ساوه، جنب باغ جوزقی قرار دارد که توسط میرزا محمود حکیم بنا گردیده است. عرض این یخ چال حدود ۳/۵ متر و طول آن ۱۲ متر است و ۵ متر از ارتفاع یخ چال از سطح طبیعی زمین پایین‌تر است. ضخامت دیوار های آن حدود ۸۰ سانتی متر است که با آجر قزاقی به ابعاد ۲۵ در ۲۵ سانتی متر و ملات ماسه آهک و خاکستر ساخته شده است. فاصله تویزه‌های طاق از یکدیگر حدود ۳ متر است (قبادیان، ۱۳۸۵). نمونه دیگر، «یخ چال دوقوز پله» در شهر ارومیه است که در محله‌ای قدیمی به نام عسگرخان و در کنار جوی کوچکی به نام "دره چای" قرار دارد. با

توجه به شکل ساختمان و نقشه» یخ چال»، به نظر می‌رسد این بنا به دوره قاجار تعلق دارد. بنا و سقف آن از سنگ و آجر است. این «یخ چال» هنوز سالم باقی مانده و صدماتی به آن وارد نشده است. فضای درونی این «یخ چال زیر زمینی» به علت تناسب خاص و کشیدگی ارتفاع آن و دقتی که در آجر چینی سقف آن به کار رفته، دارای شکوه و گیرایی جالب توجه است.



شکل ۱۰-۱۴: یخ چال زیر زمینی دوقوز پله (شهر ارومیه)

۱۰-۵. محاسبه زاویه تابش روی سرپناه گنبدی «یخ چال»

«سرپناه گنبدی»، مخروطی شکل و پلکانی است. یعنی بام سرپناه به صورت پیاپی عمودی و افقی است. برای محاسبه زاویه پرتو مستقیم خورشید روی سطح بام سرپناه، باید زاویه تابش روی دیوارهای عمودی و افقی در جهت‌های مختلف را بدست آورد. پس از تعیین درصد مساحت بخش‌های مختلف بام سرپناه با توجه به زاویه تابش (αs) می‌توان میزان افت انرژی خورشیدی رسیده به کل ساختمان را تعیین نمود.

اگر یک مثلث قائم‌الزاویه حول یکی از اضلاع زاویه قائمه دوران داده شود شکلی فضایی پدید آمده مخروط نامیده می‌شود. ضلعی که مثلث حول آن دوران داده شده «ارتفاع مخروط»

(H) است، ضلع دیگر زاویه قائمه «شعاع قاعده مخروط» (R) است. وتر مثلث هم، «مولد مخروط» (Hs) می‌باشد. برای محاسبه آسان‌تر زاویه تابش روی سطح سرپناه گنبدی، این سازه به صورت یک مخروط ساده فرض می‌شود. پس از تعیین شیب «مولد مخروط» (S)، زاویه تابش بر سطح خارجی سرپناه محاسبه می‌شود. از نسبت (H)، به (R)، تانژانت زاویه شیب «مولد مخروط» بدست می‌آید.

رابطه ۱۰-۱: $tanS = \frac{H}{R}$

☜ با محاسبه مساحت جانبی مخروط، می‌توان کاهش شدّت تابش خورشیدی رسیده در یکای سطح را بررسی کرد.

رابطه ۱۰-۲: $Hs = \frac{H}{\sin S}$

رابطه ۱۰-۳: $P = (R.2).\pi$

رابطه ۱۰-۴: $Ac = P\ \frac{HS}{2}$

P = محیط قاعده مخروط. R = شعاع قاعده مخروط. π = عدد پی. Ac = مساحت جانبی مخروط.

- **تمرین ۱۰-۱**: بر اساس اندازه و جایگاه جغرافیایی «یخ چال» شهر میبد با عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۱۴ دقیقه و ۴۵ ثانیه (۳۲/۲۵) شمالی، محاسبه کنید:

✓ سطح (Á) را در دامنه رو به آفتاب و پشت به آفتاب «سرپناه گنبد» با هم مقایسه نمایید؟

✓ مقدار (I) رسیده در هنگام نیمروز را به واحد سطح (Á) در دامنه های شمالی و جنوبی «سرپناه» با هم مقایسه کنید؟

✓ مجموع مقدار (I) رسیده به سطح جانبی مخروط چقدر است؟

✓ مجموع مقدار (I) رسیده به سطح تراز قاعده مخروط (سطح زیر بنای سر پناه) چقدر است؟

✓ با توجه به مقایسه مساحت جانبی مخروط سرپناه با مساحت قاعده مخروط، بنویسید چه تغییری در مقدار تابش خورشیدی رسیده به سرپناه به وجود آمده است؟

✓ اگر ارتفاع دیوار سایه‌انداز ۸ متر باشد، عمق سایه این دیوار بر روی «کرت یخ بند» در هنگام نیمروز یازدهم بهمن ماه (۳۱ ژانویه) چند متر است؟

فصل یازدهم

چشم انداز فن آوری استفاده از انرژی خورشیدی

۱۱-۱. ضرورت استفاده از انرژی آفتاب

امروزه قسمت بزرگی از انرژی مورد استفاده را سوخت‌های فسیلی تشکیل می‌دهند. مصرف این سوخت‌ها، بشر را با دو چالش بزرگ روبرو کرده است که با یکدیگر ارتباط دارند. از یک سو، مناطق صنعتی و شهرهای بزرگ با مشکل آلودگی محیط زیست مواجه شده‌اند. سوخت‌های فسیلی باعث تولید گازهای سمی و آلوده، بارش باران‌های اسیدی و در نتیجه آلودگی رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و آب‌های زیرزمینی، افزایش میزان گازکربنیک موجود در اتمسفر زمین و افزایش اثر گلخانه‌ای آن می‌شود. ادامه روند مصرف سوخت‌های فسیلی علاوه بر تشدید آلودگی هوا، آب و زمین، افزایش دمای کره زمین را نیز به دلیل افزایش میزان گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر به دنبال دارد. از سوی دیگر، مشاهده می‌شود که انرژی‌های فسیلی با شتاب روز افزون در حال پایان است. اثرات مصرف بالای این گونه انرژی‌ها، در تغییرپذیری آب و هوایی به روشنی آشکار است و تنها راه گریز، پایین آوردن میزان مصرف سوخت‌های فسیلی است.

محدودیت منابع آبی یا عدم امکان ساختن سد موجب گردیده تا تعداد کشورهای کمتری از نیروی آب برای تولید برق بهره گیرند. آمارها نشان می‌دهد در بیشتر کشورها بیش از ۸۰ درصد انرژی الکتریکی مورد نیاز خود را با استفاده از سوخت‌های فسیلی به دست می‌آورند، در مقابل تنها ۲۸ کشور تمام یا بیش از ۸۰ درصد انرژی الکتریسیته مورد نیاز را با استفاده از نیروی آب ایجاد می‌نمایند (دماوندی، ۱۳۸۲).

بهره‌مندی از انرژی باد نیز به چرخه‌ای بودن نوسانات طبیعی آب و هوایی وابسته است. از آنجایی که بیشتر توان تولیدی در سرعت بالای باد تولید می‌شود، بیشتر انرژی تولیدی در بازه‌های زمانی کوتاه تولید می‌شود. مقدار انرژی الکتریکی تولیدی توسط نیروگاه‌های بادی به

شدت به تغییرات سرعت باد در مقیاس ساعتی، شبانه روزی و فصلی بستگی دارد. تولید انرژی باد نیز مانند دیگر منابع باید از قابلیت برنامه‌ریزی برخوردار باشد اما طبیعت باد این پدیده را دستخوش دگرگونی می‌کند. گرچه از روش‌هایی برای پیش‌بینی تولید توان این نیروگاه‌ها استفاده می‌شود اما در کل توانایی پیش‌بینی پذیری این نیروگاه‌ها پایین است. با وجود اینکه هزینه تولید انرژی بادی بسیار پایین است، امّا باید توربین‌های بسیاری ساخته شود تا بتواند مقدار مناسبی از انرژی بادی را تولید کند. نیروی باد، آلودگی تولید نمی‌کند اما توربین‌های آن صدای زیادی تولید می‌کنند، که در حقیقت منجر به آلودگی صوتی می‌شود. به طور کلی، انرژی باد بستگی به چگونگی وزش باد در مناطق بادگیر دارد پس یکی از منابع ناپایدار است. تولید باد به فاکتورهای گوناگونی مانند سرعت باد و کارکرد توربین دارد. برخی منتقدان بر این باورند که انرژی باد در مواردی که تقاضا بالا باشد، پیشنهاد مناسبی نیست.

توجه به انرژی اتمی به عنوان جانشینی برای سوخت‌های فسیلی چندان دلچسب نبوده است. صرف هزینه‌های سنگین و همچنین پرتوهای تابشی خطرناکی که از نیروگاههای اتمی در فضا پخش می‌شود، پیامدهای مثبتی به دنبال ندارد و اگر یکی از این نیروگاهها منفجر شود (مانند حادثه اتمی نیروگاه چرنوبیل اکراین در ۲۶ آوریل ۱۹۸۶ و همچنین حادثه اتمی نیروگاه فوکوشیما در ژاپن که به دنبال زلزله بزرگ ۹ ریشتری ۱۱ مارس ۲۰۱۱ به وجود آمد) زیان‌های فراوان و جبران ناپذیری به بار خواهد آورد. به علاوه با مشکل اساسی محدودیت منابع، (که در مورد سوخت‌های فسیلی مانند نفت، گاز و زغال سنگ وجود داشته) بر خورد می‌شود. زیرا معادن اورانیوم که سوخت این گونه نیروگاهها را تأمین می‌کند منابع محدودی هستند و روزی خواهد رسید که این منابع پایان خواهد یافت و ماده‌ای که جایگزین آن شود وجود نخواهد داشت.

نیاز به استفاده از سوخت‌های گوناگون و همچنین آلودگی محیط زیست که ناشی از استفاده نادرست و بی رویه از انرژی‌های فسیلی بوده، دانشمندان را به چاره اندیشی برای درمان این مشکل پیش از پایان یافتن منابع انرژی واداشته است. برای کاهش آلودگی‌های گوناگون ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی، نخستین و بهترین راه استفاده مستقیم از انرژی خورشیدی است.

خورشید به عنوان یک چشمه بی پایان انرژی می‌تواند درمان مشکلات موجود در مورد انرژی و محیط زیست باشد. انرژی بی خطر خورشیدی که به زمین می‌تابد هزاران بار بیشتر از آن است که انسان نیاز دارد و مصرف می‌کند. انرژی خورشیدی «پاک»، «ارزان» و «بی پایان» بوده و در بیشتر

مناطق آب و هوایی زمین قابل برداشت می‌باشد. محدودیت انرژی‌های فسیلی و پیامدهای حاصل از تغییرات زیست محیطی و آب و هوای جهانی، فرصت‌های مناسبی را برای رقابت انرژی خورشیدی با سوخت‌های فسیلی به ویژه در کشورهایی با پتانسیل بالای تابش آفتاب ایجاد نموده است.

در پی یافتن راهکارهای مناسب برای استفاده از انرژی خورشیدی در سال‌های اخیر، تلاش زیادی توسط پژوهشگران انجام شده است که امید است با ادامه این تلاش‌ها بتوان مشکل کمبود انرژی آینده را حل کرد و از این انرژی ارزان، قابل دسترس و تجدید شونده استفاده کرد. استفاده از این انرژی با ارائه حجم گسترده و متنوع تجهیزاتی که توانایی تبدیل نور خورشید به انرژی پاک را دارند، دیگر نیازمند صفحات بسیار بزرگ، سنگین وزن و پرهزینه خورشیدی نخواهد بود. ابزارهایی مانند لایه‌های خورشیدی و صفحات خورشیدی گرمایی در حال شتاب بخشی به صنایع خورشیدی هستند. بر پایه محاسبات در حال حاضر میزان تولید انرژی خورشیدی ۱۲/۴ گیگا وات اعلام شده است که تا سال ۲۰۵۰ این میزان باید به دو هزار گیگا وات افزایش پیدا کند. روشی مانند شیوه تمرکز گرمای خورشیدی یا CST از جمله راهکارهایی است که از بازدهی انرژی بالایی برخوردار است. در این شیوه ردیف‌های وسیعی از آینه‌ها نور خورشید را متمرکز کرده و گرما و الکتریسیته به وجود می‌آورند. بسیاری بر این باورند که استفاده از این شیوه برای تولید انرژی خورشیدی تنها راهی است که می‌توان با استفاده از آن انرژی را در سطح ترا وات تولید کرد.

۱۱-۲. سیستم‌های انرژی خورشیدی

سیستم‌های انرژی خورشیدی، فناوری‌های تازه‌ای هستند که برای بدست آوردن الکتریسیته، گرما، آب گرم، و حتی سرمایش مورد نیاز خانه‌ها، مراکز اداری، بازرگانی، صنعتی، کشاورزی و ... به کار می‌روند. امروزه دو هدف کلی در بهره برداری از انرژی خورشیدی توسط سیستم‌های گوناگون مورد توجه قرار دارد:

- استفاده از انرژی گرمایی خورشید برای مصارف خانگی، صنعتی، کشاورزی و نیروگاهی.
- تبدیل مستقیم پرتوهای خورشید به الکتریسیته توسط سلول‌هایی به نام فتوولتائیک.

۱۱-۲-۱. استفاده از انرژی گرمایی خورشید

دستگاههای گرم کننده خورشیدی از آبگرمکن‌های خورشیدی که برای گرم کردن آب مصرفی ساختمان‌ها بکار گرفته می‌شوند تا کوره‌های خورشیدی که برای ذوب فلزات مانند آهن که با دمای بسیار بالا استفاده می‌شود و دمایی تا حدود ۶۰۰۰ درجه سلسیوس تولید می‌کنند را در بر می‌گیرد. به طور کلی، سیستم‌های دریافت کننده انرژی گرمایی خورشیدی در دو دسته کاربردهای غیر نیروگاهی و نیروگاهی جدا می‌شوند.

الف: کاربردهای غیر نیروگاهی

استفاده از انرژی گرمایی خورشید برای مصارف خانگی، صنعتی، کشاورزی و ... در همه تاریخ بشر وجود داشته است. ساده‌ترین شکل استفاده چشمه بی‌پایان خورشید در ساخت بناهای قدیمی دیده می‌شود. انسان با پیشرفت‌هایی که در زمینه‌های مختلف داشته، نیاز روز افزون به انرژی پیدا کرده است. این امر دانشمندان را بر آن داشته است تا با راهکارهای گوناگون انرژی مورد نیاز خود را برای کارهای گوناگون مانند آبگرمکن و حمام خورشیدی، آب شیرین‌کن خورشیدی، اجاق خورشیدی، سرمایش و گرمایش خورشیدی، خشک‌کن خورشیدی، کوره خورشیدی و فضای خورشیدی بدست آورد.

گرمایش ساختمان توسط خورشید، نخستین و اصلی‌ترین کاربرد انرژی خورشیدی در بخش ساختمان می‌باشد. امروزه سیستم‌های گرمایش خورشیدی بر مبنای نوع سیال هوا یا مایع، که در کلکتورهای خورشیدی گرم می‌شود، به دو نوع عمده تقسیم بندی می‌شوند. هر دو نوع از این سیستم‌ها تابش خورشید را جمع آوری و جذب کرده و گرمای بدست آمده از خورشید را جهت تأمین بار گرمایش مستقیم به فضاهای اندرونی ساختمان انتقال می‌دهند. برتری این دستگاه‌ها استفاده از چشمه بی‌پایان و ارزان انرژی خورشیدی است. از همه مهمتر این است که، این سیستم‌ها برخلاف سوخت‌های فسیلی تهدیدی برای محیط زیست به شمار نمی‌روند.

برای نمونه یکی از ایده‌های استفاده از انرژی گرمایی خورشید برای مصارف خانگی، ساختن «خانه‌های خورشیدی» بوده است که در سال‌های بین دو جنگ جهانی در اروپا و ایالات متحده طراحی شد. امروزه معماران به طور جدی ساخت خانه‌های خورشیدی را آغاز کرده‌اند و به دنبال پیشرفت این تکنولوژی به نتایج مفیدی نیز دست یافته‌اند. چنان که در ایالات متحده در سال ۱۸۹۰ به تنهایی حدود ۱۰ تا ۲۰ هزار خانه خورشیدی ساخته شده است. در این گونه خانه‌ها

سعی می‌شود از انرژی خورشید برای روشنایی، تهیه آب گرم بهداشتی، سرمایش و گرمایش ساختمان استفاده شود و با بکار بردن مصالح ساختمانی مفید از هرز گرما و انرژی جلوگیری شود. طرح ساخت اولین ساختمان خورشیدی در ایران، در دانشگاه علم و صنعت ایران و به منظور مطالعه و پژوهش در خصوص بهینه سازی مصرف و امکان بررسی روش‌های استفاده انرژی خورشید به جای سوخت‌های فسیلی در سال ۱۳۷۷ آغاز شده است.

شکل ۱۱-۱: خانه خورشیدی

ب: کاربردهای نیروگاهی

یکی از راهکارهای دریافت الکتریسیته از انرژی خورشیدی، نیروگاه گرمایی خورشیدی است. در نیروگاههای گرمایی، گرمای مورد نیاز به کمک آینه‌هایی که پرتو خورشید را روی دیگ بخار متمرکز می‌کنند، تولید می‌شود. این نیروگاهها از تابش مستقیم خورشید استفاده می‌کنند. یعنی بخشی از تابش خورشید که توسط ترکیبات اتمسفر به ویژه ابرها، دود یا گرد و غبار پراکنده نمی‌شود. بنابراین، نیروگاههای گرمایی خورشیدی باید در مناطقی ساخته شوند که از تابش مناسب خورشید برخوردار باشند. سایت‌های مناسب برای ساخت نیروگاههای خورشیدی

از تابش خورشید ۲۰۰۰ کیلو وات ساعت بر هر متر مربع در سال (kWh/m2y) برخوردارند. مناطق مناسب‌تر جهت احداث این نوع نیروگاهها از تابشی بیش از ۲۸۰۰ کیلو وات ساعت بر هر مترمربع در سال (kWh/m2y) برخوردار هستند. به طور معمول نقاطی برای این سایت‌ها مناسب هستند که از نظر آب و هوایی، مقدار ابرناکی و پدیده گرد و غباری در اتمسفر کمتر وجود داشته باشد، مانند مناطق استپی، بوته زارها، آب و هوای نیمه‌خشک و بیابان‌هایی که به طور معمول در عرض‌های جغرافیایی پایین‌تر از ۴۰ درجه قرار دارند. از مناطق توانمند تولید انرژی خورشیدی می‌توان به جنوب غربی ایالات متحده آمریکا، کشورهای مدیترانه‌ای اروپا، خاور میانه و خاور نزدیک، ایران و بیابان‌های هند، پاکستان، چین و استرالیا اشاره نمود. در بسیاری از مناطق آب و هوایی جهان می‌توان با استفاده از فناوری گرمایی خورشیدی در مساحت یک کیلومترمربع از زمین، ۱۰۰ الی ۳۰۰ گیگاوات ساعت الکتریسیته خورشیدی تولید نمود. این مقدار معادل تولید سالانه نیروگاههای متداول فسیلی، زغال سنگ یا گازی با ظرفیت ۵۰ مگاوات در بار میانگین است. یک نیروگاه خورشیدی شامل سازه‌هایی است که انرژی تابشی خورشید را جمع کرده و با متمرکز کردن آن، گرمای بالا ایجاد می‌کند. انرژی گرد آوری شده از طریق مبدل‌های گرمایی، توربین ژنراتورها و یا موتورهای بخار به انرژی الکتریکی تبدیل خواهد شد. نیروگاههای گرمایی خورشیدی بر پایه نوع متمرکز کننده‌ها به سه دسته تقسیم می‌شوند:

- نیروگاههای گرمایی سهمی، خطی (شلمجی بـاز) (Parabolic Trough Concentrator) کـه گیرنده آنها آینه‌های سهموی ناودانی هستند.
- نیروگاههای گرمایی دریافت کننده مرکزی (Power Tower) که گیرنده آنها دریک برج قرار دارد و نور خورشید توسط آینه‌های بزرگی به نام هلیوستات به آن منعکس می‌شود.
- نیروگاههای گرمایی بشقابی استرلینگ (شلمجی بشقابی) (Dish Stirling) که گیرنـده آنهـا بشقابی سهمی (دیش) می‌باشد.

راهکار دیگر به منظور تولید الکتریسیته از انرژی گرمایی خورشیدی، استفاده از برج نیرو یا «دودکش‌های خورشیدی» می‌باشد در این سیستم از خاصیت دودکش استفاده می‌شود به این صورت که با استفاده از یک برج بلند به ارتفاع حدود ۲۰۰ متر و تعداد زیادی گرم خانه‌های خورشیدی که در اطراف آن است هوای گرمی که به وسیله انرژی خورشیدی در یک گرم خانه

تولید می‌شود و به طرف دودکش یا برج که در مرکز گلخانه‌ها قرار دارد، هدایت می‌شود. به خاطر ارتفاع زیاد برج، هوای گرم با سرعت هرچه بیشتر از درون آن بالا می‌رود و پروانه و ژنراتوری که در پایین برج نصب شده را می‌چرخاند و برق تولید می‌شود. هم اکنون یک نمونه از آن در ۱۶۰ کیلومتری جنوب مادرید احداث گردیده که ارتفاع برج آن به ۲۰۰ متر می‌رسد.

اگرچه برتری نیروگاه‌های گرمایی خورشیدی که انرژی خورشید را به برق تبدیل می‌کنند در برابر نیروگاه‌های فسیلی و اتمی «سازگاری با محیط زیست» است امّا دارای برتری‌های دیگری هم هستند:

- تولید برق بدون مصرف سوخت‌های معمولی (سوخت نیروگاه، پرتو آفتاب است).
- عدم احتیاج به آب زیاد، نیروگاههای خورشیدی به ویژه دودکش‌های خورشیدی با هوای گرم احتیاج به آب ندارند. بنابراین برای مناطق خشک بسیار اهمیت دارند.
- فرسودگی کم و عمر زیاد
- عدم نیاز به متخصص، نیروگاههای گرمایی خورشیدی در مقایسه با نیروگاههای اتمی نیاز به متخصص عالی ندارند.

۱۱-۲-۲. تبدیل مستقیم پرتو خورشید به الکتریسیته (پدیده فتوولتائیک).

روش دیگر دریافت الکتریسیته از انرژی خورشیدی را در اصطلاح «اثر فتوولتایی» می‌گویند. در این روش انرژی تابشی مستقیماً به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود. پدیده‌ای که در اثر تابش نور بدون استفاده از مکانیزم‌های محرک الکتریسیته تولید کند. پدیده فتوولتائیک و به هر سیستمی که از این پدیده‌ها استفاده کند، را سیستم فتوولتائیک گویند. سیستم‌های فتوولتائیک از پر مصرف‌ترین کاربرد انرژی‌های نو می‌باشند و تاکنون سیستم‌های گوناگونی با توان‌های مختلف (۰/۵ وات تا چند مگاوات) در سراسر جهان نصب و راه اندازی شده است.

قطعه‌هایی که اثر فتوولتایی از خود نشان می‌دهند به سلول خورشیدی معروف شده‌اند. هر سلول خورشیدی عبارت از قطعه نیمه رسانایی است که می‌تواند انرژی تابشی خورشید را به انرژی الکتریکی تبدیل کند. رسانایی این مواد به طور کلی به دما، روشنایی، میدان مغناطیسی و مقدار دقیق ناخالصی موجود در نیم رسانا بستگی دارد. دانشمندان آزمایشگاه ملی انرژی‌های تجدید شونده آمریکا National Renewable Energy Laboratory (NREL) با ایجاد سلول خورشیدی که ۴۰/۸ درصد انرژی خورشید را به الکتریسیته تبدیل می‌کند، رکورد جهانی

جدیدی برای کارآیی سلول‌های خورشیدی ثبت کردند. این کارآیی با نور متمرکز شده به میزان ۳۲۶ سان بدست آمد. [یک سان (sun) میزان انرژی خورشیدی است که در یک روز آفتابی به زمین می‌رسد.] این سلول جدید کاندید خوبی برای ماهواره‌ها و برای سلول‌های خورشیدی است که از لنز یا آیینه برای تمرکز نیروی خورشیدی بر روی سلول‌های خورشیدی استفاده می‌کنند. از ویژگی‌های سلول‌های خورشیدی می‌توان به این موارد اشاره کرد:

جای زیادی اشغال نمی‌کنند. قسمت متحرک ندارند. بازده آنها با تغییرات دمایی محیط تغییرات چندانی نمی‌کنند. نسبتاً به سادگی نصب می‌شوند. به آسانی با سیستم‌های به کار رفته در ساختمان جور می‌شوند. امروزه این گونه سلول‌ها عموماً از ماده سیلیسیم تهیه می‌گردد و سیلیسیم مورد نیاز از شن و ماسه بدست می‌آید. موادی که در مناطق بیابانی به فراوانی یافت می‌شود. بنابراین از نظر تأمین ماده اولیه این سلول‌ها هیچ گونه کمبودی در جهان وجود ندارد. از اشکالات سلول‌های خورشیدی می‌توان به تولید وسایل فتوولتائیک که هزینه زیادی دارد و چگالی انرژی تابشی آنها که بسیار کم است، اشاره کرد. از آنجایی که این چگالی، در فصول مختلف سال و ساعات متفاوت شبانه روز تغییر می‌کند، بنابراین باید امکان ذخیره سازی انرژی داشته باشد. همین موضوع بسیار هزینه بر است. با توجه به کاهش روز افزون سوخت‌های فسیلی و خطرات ناشی از به کارگیری نیروگاههای اتمی، گمان می‌رود که در آینده‌ای نه چندان دور سلول‌های خورشیدی با تبدیل مستقیم انرژی خورشیدی به انرژی برق به عنوان جایگزین مناسب و بی خطر برای سوخت‌های فسیلی و نیروگاههای اتمی بکار گرفته شوند.

هم اکنون بیشترین استفاده از انرژی خورشیدی با این روش است. سلول‌های خورشیدی در بسیاری از برنامه‌ریزی‌های محیطی کاربرد پیدا کرده است، مانند:

- تأمین نیروی حرکتی ماهواره‌ها و سفینه‌های فضایی.
- تأمین انرژی مورد نیاز دستگاههایی که نیاز به ولتاژهای کمتری دارند مثل ماشین حساب، ساعت، رایانه و...
- تأمین نیروی لازم برای حرکت خودروها و قایق‌های کوچک.
- تهیه برق مورد نیاز شهر توسط نیروگاههای فتوولتائیک، (در برخی کشورها نیروگاههای فتوولتائیک برای تولید برق ساخته شده است. بیشترین استفاده از سلول‌های خورشیدی در نیروگاه «فتوولتائیک ۵۰ مگاواتی جزیره کرت یونان» است).

۱۱-۳. شهرهای خورشیدی

با شروع پروژه تأمین انرژی‌های مورد نیاز شهری از طریق انرژی خورشیدی، انقلابی در شهرنشینی در راه است. برای نمونه شهر ریزها و، به معنی شهر آفتاب در زبان چینی، ارتباط ویژه‌ای با خورشید برقرار کرده است. ۹۹ درصد خانه‌ها در محدوده مرکزی شهر از آبگرمکن‌های خورشیدی استفاده می‌کنند و بیشتر چراغ‌های راهنمایی و رانندگی و چراغ‌های پارک‌ها و خیابان‌ها با سلول‌های خورشیدی فتوولتائیک کار می‌کنند. در پیرامون شهر بیش از ۳۰ درصد از خانه‌ها از آبگرمکن‌های خورشیدی استفاده می‌کنند و بیش از ۶ هزار خانواده امکانات پخت و پز خورشیدی دارند. این نکته که شهر ریزها و، شهر کوچک و معمولی و با درآمد متوسط و پایین‌تر از بسیاری از شهرهای دیگر است، موضوع را جالب‌تر می‌کند.

یکی دیگر از بزرگ‌ترین پروژه‌های نیروگاه‌های خورشیدی برای جنوب غربی فلوریدا طراحی شده است. سازمان برق و قدرت فلوریدا برای ساخت یک واحد صنعتی نیروگاه خورشیدی به قدرت ۷۵ مگاوات در یکی از شهرهای از پیش تعیین شده، قرار است ۳۵۰ میلیون دلار هزینه کند. این شهر که بابکوک‌رانچ نام دارد، در نزدیکی فورت‌مایر واقع شده است. اگر پروژه نیروگاه خورشیدی سازمان نور و قدرت فلوریدا، اف. پی. ال، بابکوک‌رانچ بتواند به تولید ۷۵ مگاوات برسد، در نوع خود بزرگ‌ترین خواهد بود. با ساخت این واحد صنعتی، بابکوک‌رانچ اولین شهر دنیا است که می‌تواند همه انرژی مورد نیازش را از طریق انرژی تجدید پذیر خورشیدی تأمین کند. از آن جا که صفحه‌های خورشیدی در سراسر شهر روی سقف ساختمان‌ها نصب خواهند شد، این پروژه انقلابی در توسعه انرژی پاک در فضای شهری خواهد بود. نماینده سازمان ملی انرژی پاک و صندوق حیات‌وحش جهان نیز از این پروژه حمایت می‌کنند و امیدوارند که این طرح بتواند روی سایر شهرهای آمریکا هم تأثیر مثبتی داشته باشد. همچنین قرار است که بابکوک‌رانچ به سیستم بدون سیمی مجهز شود که به ساکنین شهر اجازه خواهد داد از ظرفیت بسیار بالای خطوط دیجیتال استفاده کنند و از این طریق بتوانند از تکنولوژی‌های رایج یا جدید استفاده کنند. به علاوه این که از برنامه‌های تکنولوژی پاک نیز بهره‌مند خواهند شد. در مورد جزئیات این پروژه چنین نوشته شده است: می‌توان از طریق ایستگاه‌های تجدید شارژ، وسایل برقی را به راحتی شارژ کرد. این ایستگاه‌ها در همه جا به راحتی در دسترس خواهند بود. چراغ‌های نصب شده در گذرگاهها، انرژی خود را از نور خورشید دریافت خواهند کرد.

شهروندان می‌توانند با استفاده از فناوری خانه‌های هوشمند، هزینه‌های انرژی را کاهش دهند و خانه‌های خود را در بهترین حالت کارآمدی نگاه دارند. این در حالی است که فناوری‌های ابتکاری و انقلابی شبکه هوشمند، استفاده انرژی شهر را نظارت و مدیریت خواهد کرد. شهر بابکوک‌رانچ دارای ۵۶۰ هزار متر مربع فضا برای فروشگاه‌ها، ادارات، خانه‌ها و سلول‌های خورشیدی صنعتی خواهد بود و انتظار می‌رود که حدود ۲ میلیارد دلار هزینه در بر داشته باشد. تعداد ۱۹۵۰۰ خانه در پروژه پیش‌بینی شده است.

برج Solar City ساختمانی است که برای مسابقات المپیک ۲۰۱۶ در ریودوژانیرو برزیل آماده سازی می‌شود. برج سولارسیتی (شهر خورشیدی) یکی از سنبل‌های این بازی‌ها خواهد بود و در آن سعی بر استفاده بهینه و سبز از انرژی شده است. انرژی مورد نیاز برای دهکده المپیک در این برج تولید می‌شود، این گونه که در روز با استفاده از صفحات خورشیدی و در شب توسط استفاده از انرژی مازاد ذخیره شده توسط سلول‌های خورشیدی که آب دریا را توسط پمپ‌های مخصوص به بالای برج هدایت و از طریق رهاسازی آن به سمت توربین‌ها، برق مورد نیاز تأمین می‌گردد.

دولت پرتغال در نظر دارد بزرگ‌ترین نیروگاه خورشیدی جهان را در منطقه دشت آلنتیو در شرق این کشور ایجاد کند. بزرگ‌ترین نیروگاه خورشیدی جهان که با استفاده از پیل فتوولتاییک عمل می‌کند می‌تواند با استفاده مستقیم از نور خورشید به تولید برق بپردازد. این نیروگاه، که در نزدیکی دهکده مورا قرار دارد، دارای ۲۵۲۰ پانل خورشیدی عظیم است و بخش نورگیر آنها با زاویه ۴۵ درجه خورشید را در امتداد مسیری ۲۴۰ درجه‌ای در طول روز تعقیب خواهند کرد. هنگامی که این نیروگاه ۲۵۰ میلیون پوندی راه اندازی شود، اندازه‌ای معادل دو برابر پروژه‌های مشابه در جهان خواهد داشت و مساحت آن تقریباً دو برابر هاید پارک لندن خواهد بود. انتظار می‌رود این نیروگاه سالانه ۴۵ مگاوات برق برای روشنایی دادن به ۳۰ هزار منزل مسکونی تولید کند. کشور پرتغال دارای هیچ گونه ذخایر نفت، گاز یا ذغال نیست و در نظر دارد در زمینه استفاده از انرژی‌های پاک در اروپا پیشگام شود. به گفته کارشناسان تا سال ۲۰۲۰، این کشور ۳۱ درصد از انرژی مورد نیاز خود را از منابع انرژی پاک به دست خواهد آورد و به این ترتیب سهم انرژی‌های تجدید پذیر در تولید برق این کشور از ۲۰ درصد در سال ۲۰۰۵ به ۶۰ درصد در سال ۲۰۲۰ خواهد رسید. پیش بینی می‌شود رقم مشابه برای کشور انگلیس تا سال ۲۰۲۰ معادل ۱۵ درصد باشد. پرتغال ظرفیت تولید برق آبی خود را در کمتر از

سه سال سه برابر کرده است در حالی که تولید برق بادی در همان مدت چهار برابر شده است. قرار است سرمایه گذاری شرکت‌های پرتغالی در زمینه انرژی‌های تجدید پذیر به ۱۰ میلیارد دلار تا سال ۲۰۱۲ و ۱۰۰ میلیارد دلار تا سال ۲۰۲۰ برسد.

۱۱-٤. نیروگاههای خورشیدی، آینده روشن بیابان آفریقا

اگر فقط ۱ درصد از بیابان آفریقا (Sahara)، با پنل‌های خورشیدی پوشیده شود چه اتفاقی می‌افتد؟ پاسخ روشن است، انرژی الکتریسیته لازم برای کل جهان فراهم می‌شود. این رویداد چندان هم دور از ذهن نیست. به گزارش‌ها گویای این است که، در آینده کار ساخت نیروگاه خورشیدی بسیار بزرگی در این بیابان آغاز خواهد شد که روند ساخت آن چندین دهه طول می‌کشد. این نیروگاه نخست بخش کوچکی از انرژی الکتریسیته شهرهای اروپا را تأمین می‌کند، اما به مرور زمان و با گسترش روش‌های انتقال این انرژی، سطح تولید آن بالاتر می‌رود. پیش‌بینی می‌شود با شروع این پروژه و توسعه آن تا سال ۲۰۵۰، انرژی به دست آمده، برق سراسر قاره اروپا را تا پایان عمر زمین تأمین کند. با ادامه روند گسترش این نیروگاههای خورشیدی، می‌توان چشم اندازی را گمان کرد که در آن، انرژی برق سراسر جهان از طریق آنها تأمین شود.

۱۱-۵. ایده طرح شهر شناور خورشیدی

ایده ساخت شهرهای شناور، چیز جدیدی نیست و مدتی است که اندیشه دانشمندان امروزی را به سوی خود کشانده است. یک طراح بلژیکی به نام ونسان کاله باوت (Vincent Callebaut) سازنده و طراح شهری شناور است که آن را لیلی‌پاد (Lilypad) نام داده است. شکل‌های ۱۱-۲، ۱۱-۳ و ۱۱-۴ طرح‌های ذهنی بسیار زیبا و با کیفیت از شهر شناوری است که بشر امیدوار است در آینده برپا سازد. طراحی مدرن و زیبای آن که برای سال ۲۱۰۰ میلادی پیش بینی شده است، واقعاً دیدنی خواهد بود. انرژی این شهر از طریق انرژی خورشیدی تأمین می‌شود و شهری سبز است و سوخت‌ها در آن جایی ندارند.

در حقیقت این شهر محیطی بسیار مساعد برای کسانی است که از شر یا آسیب تغییرات شدید آب و هوایی به آن پناه می‌برند. به هر حال گمان آن برای مردم امروزی به عنوان یک شهر، بیشتر از آن که یک جان‌پناه باشد یک شهر خیال‌انگیز است. این شهر که برای ساخت آن از طبیعت الهام گرفته شده است، پناهگاهی مناسب برای کسانی است که از تأثیرات گرم شدن جهان و دیگر بلایای طبیعی به آن پناه می‌برند (طرفی، ۱۳۸۸).

شکل ۱۱-۲: شهر خورشیدی شناور از نمای بالا

شکل ۱۱-۳: شهر خورشیدی شناور از نمای زیر آب

شکل ۱۱-۴: شهر خورشیدی شناور از نمای ساحل

▪ منابع

۱- امیدوار، کمال، ۱۳۸۹، اقلیم شناسی دینامیک، یزد: انتشارات دانشگاه یزد.

۲- آسایش، حسین، ۱۳۷۵، اصول و روش‌های برنامه‌ریزی ناحیه‌ای، تهران: دانشگاه پیام نور.

۳- بهرام سلطانی، کامبیز،۱۳۷۱، مجموعه مباحث و روش‌های شهرسازی: محیط زیست، تهران: مرکز مطالعات و تحقیقات شهرسازی و معماری ایران.

۴- پاپلی یزدی، محمد حسین و مجید لباف خانیکی، ۱۳۸۷، یخچال و تولید یخ مصنوعی، سازمان هواشناسی کشور، دومین کنفرانس منطقه‌ای تغییر اقلیم.

۵- پاپلی یزدی، محمد حسین و مجید لبّاف خانیکی، ۱۳۷۷، واحد تقسیم آب در نظام‌های آبیاری سنتی (فنجان)، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ش ۴۹ و ۵۰ .

۶- پور دیهیمی، شهرام و پوری عدل طباطبایی (مترجم)، ۱۳۷۹، نور روز در معماری، نوشته: بنجامین. اچ. اوانز، تهران: نشر نخستین.

۷- تافلر، الوین، ۱۹۹۰، جابجایی در قدرت (دانایی و ثروت و خشونت در آستانه قرن بیست و یکم)، ترجمه: شهین دخت خوارزمی، تهران: نشر سیمرغ، چاپ هفتم (سال ترجمه:۱۳۷۷).

۸- جعفر پناه، ساسان و محسن همایی (مترجم)، ۱۳۸۷، راهنمای جامع و مصور کشت گلخانه‌ای (خیار، گوجه فرنگی، فلفل و توت فرنگی)، مشهد: انتشارات مجتمع آموزشی سبز ایران.

۹- جعفرپور، ابراهیم، ۱۳۶۷، اقلیم شناسی، تهران: انتشارات دانشگاه تهران.

۱۰-جهان بخش سعید و معصومه عدالت دوست،۱۳۸۷، ارزیابی استفاده از انرژی خورشیدی در گرمایش ساختمان‌ها و نواحی مسکونی آذربایجان، فصلنامه تحقیقات جغرافیائی، ش ۹.

۱۱-حسین زاده دلیر، کریم، ۱۳۸۳، برنامه‌ریزی ناحیه‌ای، تهران: سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی (سمت)، چاپ سوم.

۱۲-خلیلی، علی، ۱۳۸۳، تدوین یک سامانه جدید پهنه بندی اقلیمی از دیدگاه نیازهای گرمایش- سرمایش محیط و اعمال آن بر گستره ایران، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ش ۷۵.

۱۳-خلیلی، علی، ۱۳۷۶، برآورد تابش کلی خورشید در گستره ایران بر مبنای داده‌های اقلیمی. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی ش ۴۶.

۱۴-خلیلی، علی، اسحاق مرادی و غلامعلی کمالی، ۱۳۸۱، مقایسه مدلهای مختلف برآورد تابش مستقیم خورشید بر روی سطوح شیبدار، مجموعه مقالات دومین همایش بهینه سازی مصرف سوخت در ساختمان.
۱۵-داعی الاسلام، محمدعلی، ۱۳۶۴، فرهنگ نظام. جلد ۵.
۱۶-دماوندی، محمدرضا، ۱۳۸۲، انرژی اتمی، نیاز امروز، ضرورت فردا، سایت جام جم آنلاین (WWW.jamejamonline.ir).
۱۷-دهخدا، علی اکبر، لغت نامه.
۱۸-دیولافوا، مادام ژان، سفرنامه مادام دیولافوا، ایران و کلده، ترجمه همایون فرهوشی، نقل در قبادیان، ۱۳۸۵.
۱۹-ذوالفقاری، حسن، ۱۳۸۳، فرهنگ آب و هواشناسی، تهران: انتشارات یادواره کتاب.
۲۰-رازجویان، محمود، ۱۳۶۷، آسایش بوسیله معماری همساز با اقلیم، تهران: انتشارات دانشگاه شهید بهشتی.
۲۱-رامشت محمد حسین، ۱۳۷۵، کاربرد ژئومورفولوژی در برنامه‌ریزی ملی منطقه‌ای و اقتصادی، اصفهان: انتشارات دانشگاه اصفهان.
۲۲-رامین، علی (مترجم)، ۱۳۷۱، کوچک زیباست، نوشته: ای. اف. شوماخر، تهران: انتشارات سروش، نقل شده در (حسین زاده دلیر، ۱۰۵:۱۳۸۳).
۲۳-رجایی، عبدالحمید (مترجم)، ۱۳۶۶، آب و هواشناسی، نوشته: پ. گودار و آ. استین، تبریز: انتشارات نیما.
۲۴-رجایی، عبدالحمید، ۱۳۷۳، ژئومورفولوژی کاربردی در برنامه‌ریزی و عمران ناحیه ای، تهران: انتشارات قومس.
۲۵-رجایی، عبدالحمید، ۱۳۸۲، کاربرد جغرافیای طبیعی در برنامه‌ریزی شهری و روستایی، تهران: سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی (سمت).
۲۶-رهنما، محمدرحیم، ۱۳۸۸، برنامه‌ریزی مناطق مرکزی شهرها (اصول، مبانی، تئوری‌ها، تجربیات و تکنیک‌ها)، مشهد: انتشارات دانشگاه فردوسی.
۲۷-رهنمایی، محمدتقی و پروانه شاه حسینی، ۱۳۸۳، فرآیند برنامه‌ریزی شهری ایران، تهران: سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی (سمت).

۲۸-زمردیان، محمدجعفر، ۱۳۶۴، اصول و مبانی عمران ناحیه‌ای، تهران: طلوع آزادی.
۲۹-سروقد مقدم، ابوالحسن (مترجم)، ۱۳۷۱، مسائل توسعه روستایی: (مجموعه مقالات)، نوشته: ژان تریکار و دیگران، مشهد: آستان قدس رضوی.
۳۰-سروقد مقدم، ابوالحسن (مترجم)،۱۳۷۴، یخچالهای سنتی فلات ایران، نوشته: برنارد هورکارد و ماری پیربرتو، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ش ۳۷.
۳۱-سیدی زاده، احسان و علی اکبر عباسیان، ۱۳۷۳، بجنورد گذرگاه شمالی خراسان، انتشارات اردشیر.
۳۲-شاردن سرجان، سیاحت نامه سر جان شاردن، جلد دوم، خوراک ایرانیان، نقل در قبادیان، ۱۳۸۵.
۳۳- شکوئی، حسین، ۱۳۷۱، فلسفه جغرافیا، تهران: گیتاشناسی.
۳۴- شکوئی، حسین، و مهدی موسی کاظمی، ۱۳۸۴، مبانی جغرافیای شهری، انتشارات دانشگاه پیام نور، چاپ دوّم.
۳۵-شیعه، اسماعیل، ۱۳۶۹، مقدمه‌ای بر مبانی برنامه‌ریزی شهری، تهران: دانشگاه علم و صنعت ایران.
۳۶-صمیمی، جلال، ۱۳۶۴، انرژی خورشیدی برای ایران، مجله فیزیک، دوره ۳، ش ۲.
۳۷-ضیاتبار احمدی، میرخالق و محمود رائینی (مترجم)، ۱۳۷۴، اقلیم و پراکنش گیاهی، نوشته: اف. آی. وودوارد، بابلسر: انتشارات دانشگاه مازندران.
۳۸-طاوسی، تقی (مترجم)، ۱۳۸۸، آب و هوا و رفتار در شهرهای سردسیر، نوشته: آی. الیاسون و همکاران (۲۰۰۷)، نشریه علمی، فنی سازمان جغرافیایی، سپهر، ش ۶۹.
۳۹-طاوسی، تقی و آرام عبدالهی، ۱۳۸۹، ارزیابی شاخص‌های آسایش دمایی و معماری همساز با اقلیم روانسر، تبریز: دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی، ش ۳۲.
۴۰-طاوسی، تقی، ۱۳۷۵، بررسی رابطه ارتفاع مساکن و زاویه تابش خورشید به عنوان عامل مخل در روابط همسایگی، وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی، سمینار فرهنگ عمومی و مسکن، اصفهان.

۴۱-طاوسی، تقی، ۱۳۸۰، تحلیل علل هیدروکلیماتولوژی بیابانزایی، مطالعه موردی: حاشیه چاله گاوخونی، رساله دوره دکتری، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده علوم انسانی.
۴۲-طاوسی، تقی، هوشمند عطایی و آزیتا کاظمی، ۱۳۸۷، اقلیم و معماری مدارس نوساز شهر اصفهان، زاهدان: دانشگاه سیستان و بلوچستان، مجله جغرافیا و توسعه، ش ۱۱.
۴۳-طاوسی، تقی،۱۳۷۲، بررسی وضعیّت طبیعی دشت جرقویه سفلی با تأکید بر کاربرد روشهای هیدروکلیماتولوژی در استفاده بهینه از منابع آب، پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه جغرافیا، دانشگاه اصفهان.
۴۴-طاوسی، تقی،۱۳۸۱، تابش زمستانی خورشید و شهرسازی در اصفهان، نشریه علمی، فنی سازمان جغرافیایی، سپهر، ش ۴۳.
۴۵-طاوسی، تقی،۱۳۸۴، نظام‌های مدیریت سنتی آبیاری در مناطق خشک و نیمه خشک ایران، مطالعه موردی: کشتزارهای ینگ‌آباد، زاهدان: مجله جغرافیا و توسعه، ش ۶.
۴۶-عدالتی، تقی و حسن فرخی، ۱۳۸۰، اصول و مبانی جغرافیای ریاضی (زمین در فضا)، مشهد: بنیاد پژوهش‌های اسلامی آستان قدس رضوی، چاپ سوم.
۴۷-عرفان، محمود (مترجم)، ۱۳۶۴، جغرافیای تاریخی سرزمین‌های خلافت شرقی، نوشته: گی لسترنج، انتشارات علمی و فرهنگی.
۴۸-عزیزی، قاسم، ۱۳۸۳، تغییر اقلیم، تهران: انتشارات قومس.
۴۹-عساکره، حسین، ۱۳۸۶، تغییر اقلیم، زنجان: انتشارات دانشگاه زنجان.
۵۰-عسگری، احمد و محمود سمیعی،۱۳۸۴، نگرشی بر دقت روابط متداول در محاسبه زاویه میل خورشید، مجله علمی و فنی سازمان هواشناسی کشور: نیوار، ش ۵۸ و ۵۹.
۵۱-عشقی، ابوالفضل و هادی قنبرزاده،۱۳۸۲، مبانی میکروکلیماتولوژی و آب و هوای محلی، مشهد: انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد.
۵۲-علیجانی، بهلول و محمدرضا کاویانی،۱۳۷۱، مبانی آب و هواشناسی، تهران: سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی (سمت).
۵۳-علیجانی، بهلول، ۱۳۷۳، نگرش نو در کاربرد آب و هواشناسی در مدیریت منابع و توسعه کشور (نقش آب و هوا در طراحی مسکن)، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ش ۳۵.
۵۴-علیجانی، بهلول، ۱۳۷۶، علم اقلیم شناسی، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ش ۴۵.

۵۵-علیجانی، بهلول، ۱۳۸۵، آب و هوای ایران، تهران: انتشارات پیام نور.
۵۶-علیزاده ربیعی، حسن، ۱۳۷۲، سنجش از دور (اصول و کاربرد)، تهران: سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی (سمت).
۵۷-علیزاده، امین و عوض کوچکی (مترجم)، ۱۳۶۸، کشاورزی و آب و هوا، نوشته: جن. هوچنگ، انتشارات جاوید.
۵۸-علیزاده، امین، ۱۳۶۸، اصول هیدرولوژی کاربردی، مشهد: بنیاد فرهنگی رضوی، چاپ سوم.
۵۹-غمامی، مجید، ۱۳۸۴، روش‌های شهرسازی نوین در فرانسه، انگلستان و آمریکا، تهران: انتشارات مرکز مطالعاتی و تحقیقاتی شهرسازی.
۶۰-قائمی، هوشنگ، ۱۳۷۵، هواشناسی عمومی، تهران: سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی (سمت).
۶۱-قبادیان، وحید،۱۳۸۵، بررسی اقلیمی ابنیه سنتی ایران، انتشارات دانشگاه تهران.
۶۲-قبادیان، وحید و محمد فیض مهدوی (مترجم)، ۱۳۷۶، طراحی اقلیمی (اصول نظری و اجرایی کاربرد انرژی خورشید در ساختمان)، نوشته دانلد واتسون - کنت لب، تهران: انتشارات دانشگاه تهران، چاپ دوم.
۶۳-کاویانی، محمدرضا، ۱۳۸۷، میکروکلیماتولوژی، تهران: سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی (سمت)، چاپ سوم.
۶۴-کسمایی، مرتضی،۱۳۷۸، اقلیم و معماری، تهران: انتشارات بازتاب با همکاری شرکت خانه سازی ایران.
۶۵-کمالی، غلامعلی و اسحق مرادی، ۱۳۸۴، تابش خورشید، اصول و کاربردها در کشاورزی و انرژی‌های نو، تهران: انتشارات پژوهشکده هواشناسی.
۶۶-گودرزی نژاد، شاپور (مترجم)، ۱۳۷۳، جغرافیا ترکیبی نو، نوشته:پیتر هاگت، سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی (سمت).
۶۷- مخبر، عباس (مترجم)، ۱۳۶۸، توسعه منطقه‌ای، نوشته: آر. پی. میسرا و آ. ال. مابوگونج، تهران: سازمان برنامه و بودجه.
۶۸- مخدوم، مجید (مترجم)، ۱۳۷۱، زیستن در محیط زیست، نوشته: جی. تی. میلر، تهران: انتشارات دانشگاه تهران.

۶۹-مخلصی، محمد علی، ۱۳۷۴، یخچالهای قدیمی شاهکارهای معماری از یاد رفته، سازمان میراث فرهنگی کشور، مجموعه مقالات کنگره تاریخ معماری و شهرسازی ایران، جلد دوم.
۷۰-مصلحی فرد، محمود و مصطفی علی شیرین پور، ۱۳۶۷، انرژی، تبریز: انتشارات نیما.
۷۱- معصومی اشکوری، حسن، ۱۳۷۰، اصول و مبانی برنامه‌ریزی منطقه‌ای، انزلی: صومعه سرا.
۷۲-موحد دانش، علی اصغر، ۱۳۷۳، هیدرولوژی آبهای سطحی ایران، تهران: سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی (سمت).
۷۳-مهدوی، محمد، ۱۳۷۱، هیدرولوژی کاربردی، جلد اوّل، تهران: انتشارات دانشگاه تهران.
۷۴-نهچیری، عبدالحسین، ۱۳۷۰، جغرافیای تاریخی شهرها، انتشارات مدرسه.

75- Adams, W.M, 1990. Green Development, London: Routledge.
76- Alata, Mohanad, M. A. Al-Nimr and Y. Qaroush, 2005, Developing a Multipurpose Sun Tracking System Using Fuzzy Control, Energy Conversion and Management 46.
77- Barry, R. G. and R. J. Chorley, 2000. Weather and Climate, Colorado University.
78- Bourges, B. 1985. Improvement in Solar Declination Computation, solar Energy, 35(4).
79- Canter, D. 1977. The facets of place. In: Moore, G.T., Marams, R.W. (Eds.), Advances in Environment, Behavior, and Design. Plenum press, New York.
80- Chiesura, A. 2004. The role of urban parks for the sustainable city. Landsc, Urban Planning, 68.
81- Choudhury, B. 1982. A Parameterized Model for Global Insulation under Partially Cloudy Skies, Solar Energy, 29(6).
82- Cohn, E.G. 1993. The prediction of police calls for service: the influence of weather and temporal variables on rape and domestic violence. J. Environ. Psychol, 13.
83- Cooper, P. I. 1969. The Absorption of Solar Radiation in Solar Still, Solar Energy, 12(3).
84- Eliasson, I. 2000. The use of climate knowledge in urban planning. Landsc. Urban Planning 48.
85- Eliasson, I., I. Knez, U. Westerberg, S. Thorsson and F. Lindberg, 2007. Climate and behaviour in a Nordic city, Landscape and Urban Planning, 82.
86- Evans, M., 1980. Climatic Types in Relation to Building Needs, Chapter 5, Housing, Climate and Comfort, Halsted Press/john Wiley and Sons, Inc., New York.

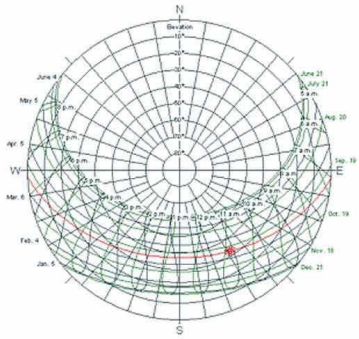
87- Evans, M., 1980. Thermal Comfort, Chapter 3, Housing, Climate and Comfort, Halsted Press/john Wiley and Sons, Inc., New York.
88- Gifford, R.1980. Environmental dispositions and the evaluation of architectural interiors. J. Res. Pers. 14.
89- Givoni,B., 1976. Man, Climate and Architecture, Applied Science Publishers Ltd., London.
90- Graumann, C.F. 2002. The phenomenological approach to people-environment studies. In: Bechtel, R.B., Churchman, A. (Eds.), Handbook of Environmental Psychology. John Wiley & Sons, Inc., New York.
91- Guzzi, R. and C. G. Justus, 1988. Physical Climatology and Wind Energy, World Scientific Publishing Co.
92- Hall, Peter, 1975. Urban and Regional Planning, London: David & Charles.
93- Hooper, A. H. 1986. Algorithm for Automatic Aero Logical Soundings, WMO.TD, No. 175, Instruments and Observation Methods, Report No. 21.
94- http://fa.wikipedia.org.
95- http://ghoolabad.com.
96- http://ikiuphysics.mihanbb.com/thread-37-post-103.html#pid103.
97- http://memari-modern.blogfa.com/post-308.aspx.
98- http://pandy.me.uk/sundials/hd_calc.htm.
99- http://solarcell.blogfa.com/post-27.aspx.
100- http://wiki.naturalfrequency.com/wiki/Shadow_Angles.
101- http://www.aftabir.com/news/view/2007/sep/29/c5c1191055391_art_culture_architecture_arcitecture.php/%DB%8C%D8%AE%D8%B3%D8%A7%D8%B2%DB%8C-%D8%A8%D9%87-%D8%B4%DB%8C%D9%88%D9%87-%D8%B9%D9%87%D8%AF-%D9%82%D8%AC%D8%B1.
102- http://www.analemma.de/sunpath.html.
103- http://www.bashgah.net/pages-343.html.
104- http://www.drshahinsepanta.blogsky.com/1387/04/16/post-64/.
105- http://www.eere.energy.gov/.
106- http://www.elsevier.com/wps/locate/landurbplan.
107- http://www.farya.com/id/2953.
108- http://www.ises.org/ises.nsf.
109- http://www.kermancity.com/index.php?obj=Statistics&taskName=ShowDetails&IDD=12.
110- http://www.nrel.gov.
111- http://www.renewableenergyfocus.com/.
112- http://www.renewableenergyworld.com/rea/home.
113- http://www.sciencedirect.com/.
114- http://www.solosol.net/sun_path_calculator.html.
115- http://www.suna.org.ir/.
116- http://www.suna.org.ir/ationoffice-sunenergyoffice-solarenergy-fa.html.

117- Jenkins, S I. 1971. Increases in Averages of Sunshine in Greater London.
118- Kiel, J. T. and K. E. Trenberth, 1997, Earth's Annual Global Mean Energy Budget. Bull. Amer. Soc, 78(2).
119- Knez, I. 2006. Autobiographical memories for places. Memory 14.
120- Knez, I. and S. Thorsson, 2006. Influence of culture and environmental attitude on thermal, emotional and perceptual evaluations of a square. Int. J. Biometeorol, 50(5).
121- Kuiken, D. 1991. Mood and Memory: Theory, Research and Applications, Sage, London.
122- Kusuda, T and k. Ishi, 1977. Hourly Solar Radiation Data for vertical and Horizontal Surface on Average Days in the U.S and Canada, NBS Buiding Science Series 96.
123- Lee, D.H.K., 1963. Housing as Climate Protection in Hot Environments, Chapter 3, Physiological Objectives in Hot Weather Housing HUD Office of international Affairs Room 2118, Washington, DC 20410.
124- Lindberg, F. 2005. Towards the use of local governmental 3-D data within,urban, climatology studies. Mapping Image Sci. 2005 (2).
125- Lockwood, J. G. 1985. Word Climatic System, Edward Arnold Co.
126- Meetham, A. r. 1979. Know Your Fog, Weather.
127- Michalsky, J. 1988. Errata, The Astronomical Almanac's Algorithm for Approximate Solar Radiation (1950- 2050), Solar Energy, 41(1).
128- Milen, M. and G. Givoni, 1979. Architectural Design Based on Climate, D. Watson, ed., Energy Conservation Through Building Design, Architectural Record Books/McGraw-Hill Book Co., New York.
129- Mills, G. 1999. Urban Climatology and Urban Design. ICUC, International, Conference on Urban Climatology in Sydney, Australia, 8–12 November. Extended abstracts.
130- Monteth, J.L. 1959. The Reflection of Short- Wave Radiation by Vegetation. Q.J. Roy. Met. Soc. 85.
131- Nikolopoulou, M., N. Baker and K. Steemers, 2001. Thermal comfort in outdoor urban spaces: understanding the human parameter. Solar Energy, 70 (3).
132- Parker, P.M. 1995. Climatic Effects on Individual, Social and Economic Behavior.Greenwood Press, Westport, CT.
133- Pisimanis, D. and v. Notarido, 1987. Estimating Direct and Global Solar Radiation on an Inclined Plane in Greece, Solar Energy, 39(3).
134- Ratti, C. and P. Richens, 2004. Raster analysis of urban form. Environ, Planning B Planning, Des, 31 (2).
135- Reda, i. and A. Andreas, 2004. Solar Position Algorithm for Solar Radiation Applications, Solar Energy, 76.

136- Rotton, J. and E. Cohn, 2002. Climate, weather and crime. In: Bechtel, R.B., Churchman, A. (Eds.), Handbook of Environmental Psychology. John Wiley& Sons, Inc., New York.
137- Samuel, W. Matthews, 1987. NATIONAL GEOGRAPHIC, Vol. 171, No. 1.
138- Samules. Robert and Prasad. Deok (Editor), 1994, Global Warming and the Built Environment. Pub. By EXFN Spon-London.
139- Sandra, Robbles, Gill, 2000. Clean Energy 2000, World Conference and Exhibition, Geneva.
140- Schwoegler, B. and M. Mcclintok, 1981. Weather and Energy, McGraw Hill, Inc.
141- Sellers, H.A. and P. Robinson, 1998. Contemporary Climatology, Chapter 6, Local Climate.
142- Simister, J. and C. Cooper, 2005. Thermal stress in the U.S.A. effects on violence and on employee behavior, Stress Health 21.
143- Spencer, J. W. 1971. Fourier Series Representation of Position of the Sun, SearchSearch, 2, 172.
144- Steemers, K., 2006. Human comfort in urban spaces, In: The 6th International Conference on Urban Climate (ICUC6).
145- Sukhatem, S., 1996. Solar Energy Principles of Thermal Collection and Storage, Ttata McGraw, Hill 18, Sayigh, A A m, 1977: Physical Climatology, Chicago & London Press.
146- The Astronomical Almanac, for the year 2001. US, Government Printing Office, Washington, DC (2000).
147- Thorsson, S., M. Lindqvist and S. Lindqvist, 2004. Thermal bioclimatic conditions and patterns of behaviour in an urban park in Sweden. Int. J.Biometeorol, 48.
148- Thorsson, S., T. Honjo, F. Lindberg, I. Eliasson and L. Eun-Mi, 2006. Thermal, comfort and outdoor activity in Japanese urban public spaces. Environ. Behav. In press.
149- Tress, G., B. Tress and G. Fry, 2004. Clarifying integrative research concepts in, landscape ecology. Landsc. Ecol. 20.
150- W.M.O. 1983. Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation, NO. 8, 5th Edition.
151- W.M.O. 1984. Weather Radars for Monitoring Tropical Cyclones, Report No. 8, TCP-17.
152- W.M.O. 1998. Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation, No 8.
153- Walraven, R. 1978. Calculating the Position of the Sun, Solar Energy, 20(5).
154- Westerberg, U. 1994. Climatic planning-physics or symbolism, Architecture Behav. 19.

155- Wilbanks. Thomas.j and Robert. W. Kates, 1999. Global Change in Local Places, How Scale Matter, Climatic Change, 43: 601-628.
156- Zacharias, J., T. Stathopoulos and H. Wu, 2001. Microclimate and downtown open space activity. Environ. Behav. 33.

کاربرد اقلیمی تابش خورشیدی در برنامه‌ریزی محیطی



دکتر تقی طاوسی

عضو هیئت علمی دانشگاه سیستان و بلوچستان

کاربرد اقلیمی تابش خورشیدی در برنامه‌ریزی محیطی

دکتر تقی طاوسی

۵۴

The Climatic Application of Solar Radiation in Environmental Planning

خورشید به عنوان یک چشمه بی‌پایان انرژی می‌تواند درمان مشکلات موجود درمورد انرژی و محیط زیست باشد. انرژی بدون خطر خورشیدی که به زمین می‌تابد هزاران بار بیشتر از آن است که انسان نیاز دارد و مصرف می‌کند. انرژی خورشیدی «پاک»، «ارزان» و «بی پایان» بوده و در بیشتر مناطق آب و هوایی زمین قابل برداشت است. محدودیت انرژی‌های فسیلی و پیامدهای حاصل از تغییرات زیست محیطی و آب و هوای جهانی، فرصتهای مناسبی را برای رقابت انرژی خورشیدی با سوخت‌های فسیلی بویژه در کشورهایی با پتانسیل بالای تابش آفتاب ایجاد نموده‌است.

Dr. Taghi Tavousi

Faculty of Geography & Environmental Planning

University of Sistan & Baluchestan

ISBN:978-600-5145-35-0