

طراحی یک ساختمان بی نیاز از انرژی های فسیلی در تهران (ساختمان سبز)

مهدی بهادری نژاد و حبیب اله صفرزاده
دانشکده مهندسی مکانیک - دانشگاه صنعتی شریف

یک ساختمان یک طبقه به مساحت ۱۲۰ متر مربع با زیر زمین طراحی شده است. از نرم افزار انرژی شریف برای تعیین انرژی های مورد نیاز ساختمان استفاده شد. با اعمال تمهیدات صرفه جوئی انرژی نظیر: استفاده از درزگیرهائی در پنجره ها و درهای خروجی، استفاده از پرده های سراسری که بتوانند تمام پنجره ها و دیوار های خارجی را در شبهای زمستان و روزهای تابستان از کف تا سقف بپوشانند، شیشه های دو جداره ، پرده کرکره پرسیان و عایقکاری دیوارهای خارجی و بام نیاز حرارتی و برودتی ساختمان به حداقل ممکن رسید. برای گرمایش زمستانی از گلخانه چسبیده به ساختمان و هوا گرمکن های خورشیدی قائم (دودکش خورشیدی) که روی دیوارهای جنوبی ساختمان نصب می شوند استفاده می گردد. برای سرمایش تابستانی از دو بادگیر طرح جدید و بادبزنهاي سقفی در هر اتاق استفاده خواهد شد. میزان برق مورد نیاز برای روشنائی و سایر مصارف الکتریکی برآورد شده و مساحت پانل های خورشیدی (که با استفاده از فرآیند فتوولتائیک نور خورشید را مستقیماً به برق تبدیل می کنند) تعیین شده است.

بیش از ۳۰٪ منابع مختلف انرژی کشور در ساختمانهای مسکونی، اداری، تجاری و غیره مصرف می شود. به علت طراحی و استفاده نامناسب از این ساختمانها و عدم نگهداری مناسب دستگاه های گرمایشی و سرمایشی آنها، مقدار زیادی از انرژی ورودی به این ساختمان ها تلف می گردد. این اتلاف انرژی ، علاوه بر از بین بردن منابع طبیعی کشور باعث آلوده سازی هوای شهرها نیز می گردد.

از چند سال قبل فعالیت گسترده ای در کشور توسط سازمان بهینه سازی مصرف سوخت کشور (وابسته به وزارت نفت) در صرفه جوئی مصرف انرژی در تمام بخشهای اقتصادی و بویژه در ساخت و بهره برداری از ساختمانها شروع شده است.

هدف از اجرای این پروژه طراحی، ساخت و بهره برداری از ساختمانی است که از مصرف سوختهای فسیلی بی نیاز بوده و بتواند نیازهای انرژی خود را با استفاده از انرژی خورشیدی تأمین نماید. این پروژه که با حمایت مالی سازمان بهینه سازی مصرف سوخت کشور انجام می شود در تیر ماه ۱۳۸۰ آغاز و مدت انجام آن سه سال پیش بینی شده است. این مقاله شامل طراحی ساختمان و مطالعات تحلیلی – عددی انجام شده تا آذر ماه ۱۳۸۱ می باشد. قرار است این ساختمان به زودی در قطعه زمینی در شمال دانشگاه صنعتی شریف ساخته شود.

در چند سال گذشته در بسیاری از کشورهای صنعتی، بویژه آمریکا، تعداد زیادی ساختمان مسکونی و غیر مسکونی بی نیاز از انرژی های فسیلی ساخته شده است. یک جستجو از طریق شبکه اطلاع رسانی اینترنت و با عنوانهای Zero Energy Buildings (ZEB) (ساختمانهای با مصرف انرژی صفر) و Zero Net Energy Buildings (ZNEB) (ساختمانهای با مصرف خالص انرژی صفر) می توان به خصوصیات طراحی این ساختمانها پی برد. در ساختمانهای نوع اول (ZEB) که تعدادشان بسیار زیاد نیست ساختمان در یک منطقه دو دست که به شبکه برق رسانی نزدیک نیست ساخته شده است و تمام انرژی مورد نیاز ساختمان (از جمله برق) خود را با استفاده از انرژی خورشیدی تأمین می نماید. در این ساختمانها مساحت گیرنده های خورشیدی برای تولید برق و تولید انرژی های حرارتی و برودتی مورد نیاز ساختمان و همچنین حجم دستگاههای ذخیره سازی انواع انرژی ها بسیار بزرگ می باشند چونکه سیستم های خورشیدی باید بتوانند مثلاً در یک روز آفتابی آن قدر انرژی جمع آوری و ذخیره نمایند تا بتوانند نیاز انرژی های مختلف ساختمان را در روزهای ابری بعدی تأمین نمایند. این ساختمانها در طول سال مقدار زیادی انرژی تولید می کنند که برای آن مصرفی ندارند. به طور کلی ذخیره سازی انرژی خورشیدی از یک روز آفتابی برای استفاده در چند روز متوالی ابری در ایران مقرون به صرفه نیست و بهترین روش ذخیره سازی، کوتاه مدت، از روز برای استفاده در شب می باشد [۱].

در ساختمانهای نوع دوم (ZNEB)، ساختمانها به شبکه برق رسانی شهری نزدیک هستند و ساختمان ها با این شبکه در طول سال داد و ستد برقی دارند. یعنی سیستم های خورشیدی

طوری انتخاب شده اند که نیاز ساختمان را در روزهای آفتابی (و تا اندازه کمی در روزهای ابری) برآورده نمایند و نیاز روزهای ابری متوالی را با استفاده از شبکه برق شهری (خرید برق از شبکه) تأمین کنند. در روزهای آفتابی (بویژه در تابستان) سیستم خورشیدی برق اضافی تولید می کند ولی می تواند این مازاد را به شبکه برق شهری بفروشد. این داد و ستدهای برقی در طول یک سال برابر بوده و بنابراین این ساختمان بطور خالص برقی از شبکه برق شهری دریافت نمی کند. در این نوع ساختمانها چون اندازه گرد آورنده های خورشیدی و ذخیره سازی برق یا انرژی حرارتی کوچکتر از ساختمانهای مشابه نوع اول (ZEB) می باشند بنابراین هزینه اولیه تأسیسات خورشیدی در این ساختمانها کمتر از ساختمانهایی است که با شبکه برق شهری داد و ستد انرژی الکتریکی نداشته و مجبور هستند که تمام انرژی مورد نیاز خود را با استفاده از انرژی خورشیدی خود تأمین کنند. همانطوری که در بالا اشاره شد این ساختمانها در طول سال (بویژه در ماههای تابستان) مازاد انرژی داشته که برای آن مصرفی نیز ندارند.

-

برای طراحی ساختمان به معیارها و نکات زیر توجه شده است:

- ۱- ساختمان یک واحد مسکونی برای استفاده ۵ نفر می باشد. (چون ساختمان خورشیدی یا "ساختمان سبز" در دانشگاه ساخته خواهد شد لذا با تغییرات جزئی در طراحی ، آنرا به یک ساختمان اداری کوچک تبدیل نمود).
- ۲- ساختمان مجهز به یک زیر زمین بوده که بتوان از آن به عنوان یک کلاس درس یا سالن اجتماعات کوچک (برای بازدید کنندگان از ساختمان) استفاده نمود.
- ۳- ساختمان مجهز به گلخانه مجاور اتاقها و هوا گرم کن های خورشیدی قائم (یا دودکش خورشیدی) در دیوارهای جنوبی بوده که بتوانند اتاقهای طبقه همکف را بطور طبیعی در زمستان گرم کنند. این سیستمهای خورشیدی موثرترین دستگاههای گرمایش طبیعی خورشیدی در ایران می باشند [۲].
- ۴- ساختمان مجهز به دو عدد بادگیر طرح جدید [۳و۴] و بادبزن های سقفی در تمام اتاقها بوده که بتوانند ساختمان را در تابستان خنک نگهدارند.
- ۵- ساختمان دارای بام مسطح می باشد تا بتوان پانل های برق خورشیدی ، آب گرمکن خورشیدی و آرام پز خورشیدی (برای ناهار کارکنان) را روی آن نصب نمود.
- ۶- ساختمان از نوع مصرف خالص انرژی صفر (ZNEB) بوده وبا شبکه برق شهری داد و ستد برقی دارد تا بدینوسیله هزینه دستگاههای خورشیدی کاهش یابد.

با توجه به نکات و معیارهای فوق الذکر طرح ساختمان تهیه گردید. شکل های ۱ تا ۴ پلاک طبقات همکف و زیر زمین ، نمای جنوبی و یک مقطع ساختمان بی نیاز از سوخته های فسیلی یا "ساختمان سبز" را نشان می دهد.

-

با در نظر گرفتن یک شبکه حرارتی (Thermal Network) و یک شبکه جریان (Flow Network) برای ساختمان مورد نظر و نوشتن معادلات انرژی و جریان هوا برای گره ها (nodes) و یا نقاط مختلف و حل همزمان این معادلات، دمای این نقاط و انتقال حرارت بین هر دو نقطه تعیین می گردد [۵ تا ۷]. برای این منظور نرم افزاری به نام نرم افزار انرژی شریف تدوین شده و از این نرم افزار (که به زبان فرترن Fortran نوشته شده [۸]) برای تعیین انرژی مورد نیاز ساختمان در هر لحظه (بارهای حرارتی و برودتی) و برای هر روز و ماه و سال استفاده گردید. در این برنامه کامپیوتری علاوه بر وارد کردن اطلاعات مربوط به ابعاد و مشخصات قسمتهای مختلف ساختمان (از روی نقشه ساختمان) و خواص آنها، لازم است اطلاعاتی درباره شرایط اقلیمی نظیر دما و رطوبت نسبی و سرعت و جهت باد در هر ساعت از شبانه روز و شدت تابش خورشید روی سطوح مربوطه در هر ساعت از روز به برنامه داده شود.

در بررسی دقیق نیازهای گرمایشی و سرمایشی ساختمانها با استفاده از نرم افزارهای کامپیوتری لازم است اطلاعات آماری شرایط اقلیمی برای یک سال معمولی (Typical Meteorological Year- TMY) به برنامه داده شود. اطلاعات مربوط به TMY به روش مخصوصی با استفاده از آمار هواشناسی هر شهر تولید می شوند و غالباً به قسمت نسبتاً گزافی فروخته می شوند. چنین اطلاعاتی برای شهر تهران در اختیار نیست. در غیاب اطلاعات اقلیمی مربوط به TMY ، می توان از روش ساده ای که در آن اطلاعات جمع آوری شده توسط سازمان های هواشناسی مورد توجه قرار می گیرد استفاده کرد، و بدون ارتکاب خطای قابل ملاحظه ای نیازهای حرارتی و برودتی ساختمانها را تعیین کرد [۹]. جدول شماره ۱ شرایط اقلیمی شهر تهران را در ماههای مختلف سال نشان می دهد. اطلاعات این جدول مربوط به متوسط ماهانه کمیت های داده شده می باشد. در استفاده از نرم افزار انرژی شریف لازم است مقادیر لحظه ای یا ساعتی این خواص داده شوند. برای تعیین این مقادیر می توانیم به شرح زیر عمل کنیم [۹]. از رابطه زیر برای تعیین دمای هوا در هر ساعت استفاده می کنیم [۹] :

$$T - \bar{T} = \frac{1}{2} A_t \cos \omega(t - 15) \quad (1)$$

که در این رابطه T دمای ساعتی، t زمان بر حسب ساعت، $\bar{T} \omega = 2\pi / 24$ ، A_t توسط روابط زیر تعیین می شوند.

$$\bar{T} = \frac{1}{2}(T_x + T_n) \quad (2)$$

$$A_t = (T_x - T_n) \quad (3)$$

در این روابط ، T_x معرف متوسط ماهانه دمای ماکزیمم و T_n معرف متوسط ماهانه دمای می نیمم می باشند. در این روابط فرض شده است که حداکثر دمای روزانه در ساعات ۳ بعد از ظهر و حداقل آن در ساعت ۳ صبح رخ دهد. در عمل حداکثر دمای روزانه حدود ۲ بعد از ظهر (خورشیدی) و حداقل حدود یک ساعت قبل از طلوع آفتاب می باشد. ولی انتخاب حداکثر و حداقل دمای هوا در ساعات ۳ محاسبات را ساده تر نموده در حالی که خطای قابل ملاحظه ای نیز در تعیین انرژی های گرمایشی و سرمایشی مورد نیاز ساختمانها به وجود نمی آورد [۹].

برای تعیین شدت تابش خورشیدی روی سطوح مختلف می توانیم از روابط زیر استفاده کنیم [۱۰]:

$$I_n = K_T I_{oh} \quad (4)$$

$$I_{dh} = I_h - I_{bh} \quad (5)$$

$$I_{oh} = I_{sc} \left[1 + 0.033 \cos \left(\frac{360N}{365} \right) \right] \cos \theta_z \quad (6)$$

$$K_T = \left[a + b \cos \omega(t - 12) \right] \bar{K}_T \quad (7)$$

$$a = 0.409 + 0.5061 \sin(\omega_s - 60) \quad (8)$$

$$b = 0.6607 - 0.4767 \sin(\omega_s - 60) \quad (9)$$

$$I_{dh} / I_h = 1 - 0.249 K_T \quad \text{for } K_T < 0.35 \quad (10)$$

$$I_{dh} / I_h = 1.557 - 1.84 K_T \quad \text{for } 0.35 < K_T < 0.75 \quad (11)$$

$$> 0.75 \quad \text{for } K_T = 0.177 \quad I_{dh} / I_h \quad (12)$$

در این روابط $\bar{K}_T$ ضریب صافی ماهانه (که از جدول ۱ بدست می آید، K_T ضریب صافی ساعتی، I_h تابش خورشیدی روی صفحه افقی ، I_{dh} ، I_{bh} به ترتیب شدت تابش پراکنده و مستقیم خورشید

روی صفحه افقی، I_{oh} شدت تابش خورشید روی یک صفحه افقی که در خارج از اتمسفر زمین قرار دارد، I_{sc} ثابت خورشیدی (معادل 1353 W/m^2)، N معرف روز سال میلادی ($N=1$ برای روز اول ژانویه یا $N=n+81$ که n معرف روز سال هجری و $n=1$ برای اول فروردین)، θ_z معرف زاویه سمت الرأس Zenith angle و ω_s معرف زاویه مربوط به غروب آفتاب می باشند.

برای تعیین θ_z و ω_s می توانیم از روابط زیر استفاده کنیم.

$$\cos\theta_z = \cos\delta \cos\phi \cos\omega + \sin\delta \sin\phi \quad (13)$$

$$\cos\omega_s = -\tan\phi \tan\delta \quad (14)$$

که در این روابط معرف عرض جغرافیایی (برای تهران $\phi = 32.5^\circ$)، δ معرف زاویه انحراف و ω معرف زاویه ساعت، معادل 15° درجه در هر ساعت (که برای صبح مقدار آن منفی و برای بعد از ظهر مقدارش مثبت انتخاب می شود) می باشند. زاویه δ را می توان از رابطه زیر بدست آورد [10]:

$$\delta = 23.45 \sin\left(360 \frac{248 + N}{365}\right) \quad (15)$$

برای تعیین شدت تابش خورشید روی دیوارها می توان از رابطه زیر استفاده کرد [10]:

$$I_j = R_{bj} I_{bh} + \frac{1}{2} I_{dh} + \frac{1}{2} \rho_{gr} I_h \quad (16)$$

که زیر نویس j معرف جهت دیوار (شرقی، جنوبی، غربی و شمالی)، زیر نویس های b و d به ترتیب معرف تابش مستقیم (beam radiation) و تابش پراکنده (diffuse radiation) و h معرف تابش روی صفحه افقی و P_{gr} معرف ضریب بازتاب زمین می باشد که می توان آنرا (برحسب نوع پوشش زمین اطراف دیوار) بین 0.2 تا 0.5 انتخاب کرد. در این رابطه R_{bj} معرف نسبت تابش مستقیم روی دیوار به تابش مستقیم روی صفحه افقی می باشد و از رابطه

$$R_b = \frac{\cos\theta}{\cos\theta_z} \quad (17)$$

تعیین می گردد. در این رابطه زاویه تابش است که از رابطه کلی

$$\begin{aligned}\cos\theta &= \sin\delta \sin\phi \cos\beta - \sin\delta \cos\phi \sin\beta \cos\gamma \\ &+ \cos\delta \cos\phi \cos\beta \cos\omega \\ &+ \cos\delta \sin\phi \sin\beta \cos\gamma \cos\omega \\ &+ \cos\delta \sin\beta \sin\gamma \sin\omega\end{aligned}\quad (18)$$

بدست می آید و برای دیوارهای قائم $\beta = 90^\circ$ و برای دیوار جنوبی $\gamma = 0$ می باشد [۱۰].

-

)

(

:

۱- از ۲۰ آبان تا ۱۹ اردیبهشت، به صورت تناوبی، ۲ روز متوالی آفتابی و ۳ روز متوالی ابری می باشد.

۲- از ۲۰ اردیبهشت تا ۱۹ آبان به صورت تناوبی ۴ روز متوالی آفتابی و ۲ روز متوالی ابری می باشد.

۳- در روزهای آفتابی ضریب صافی ($\overline{KT}$) برابر با ۰/۷ و در روزهای ابری این ضریب برابر با ۰/۲ می باشد.

۴- دماهای ماکزیمم (T_x) و می نیمم (T_n) در تمام روزهای هر ماه (اعم از آفتابی یا ابری بودن) یک مقدار دارند. یعنی اینکه یک روز از ماه (مثلاً پانزدهم) معرف تمام روزهای آن ماه می باشد.

۵- دمای شبنم در روزهای آفتابی و ابری متفاوت، ولی در هر یک از این روزها در ساعات مختلف شبانه روز ثابت می ماند. به این ترتیب رطوبت نسبی هوا در گرمترین ساعت شبانه روز حداقل، و در سردترین ساعت، حداکثر خود را دارا می باشد.

۶- دمای آسایش یا دمای هوای داخل ساختمان بین ۲۰ تا ۲۵ درجه سانتیگراد می تواند تغییر نماید.

برای مطالعه و بررسی ابتدا ساختمان را به نواحی یا قسمتهای مختلف مطابق شکل ۱ تقسیم کرده و حالات زیر را در نظر می گیریم :

۱- ساختمان مبناء بدون در نظر گرفتن زیر زمین - حالت ۱

۲- ساختمان مبنا با کلیه تمهیدات صرفه جوئی انرژی نظیر: استفاده از درزگیر در و پنجره های خارجی، استفاده از پرده سراسری که بتواند پنجره و دیوارهای خارجی را در شبهای

زمستان و روزهای تابستان از سقف تا کف اتاق بپوشاند، استفاده از پنجره های دو جداره ، استفاده از پرده کرکره پرسیان که بتواند در شبهای زمستان و روزهای تابستان پنجره ها را در خارج بپوشاند و عایقکاری سقف و دیوارهای خارجی - حالت ۲

۳- ساختمان مبنا با وجود زیر زمین - حالت ۳

۴- ترکیب حالات ۲ و ۳ ، یعنی ساختمان مبنا با زیر زمین و کلیه تمهیدات صرفه جوئی انرژی که در بند ۲ به آنها اشاره شده است- حالت ۴

از نرم افزاز انرژی شریف به دو روش زیر استفاده شد:

۱- **تعیین دمای هوای اتاقهای مختلف در بدترین شرایط اقلیمی.** فرض می کنیم که

هیچ گونه انرژی یی از خارج برای گرمایش به نواحی یا اتاقهای مختلف داده نمی شود و یا برای سرمایش از آنها گرفته نمی شود. در این بررسی تغییرات دمای هوای نواحی مختلف در طول شبانه روز و روزهای مختلف سال تعیین گردید. شکلهای ۵ و ۶ تغییرات دمای هوای نواحی ۱ و ۴ و ۵ و ۱۱ را در یک روز آفتابی در تیر ماه و یک روز ابری در دی ماه (بدترین شرایط) و برای حالات چهارگانه فوق الذکر و برای حداکثر سرعت باد نشان می دهند. این شکل ها نشان می دهند که با اعمال تمهیدات مختلف صرفه جوئی انرژی (که در بالا به آنها اشاره شد) و بدون هیچگونه تبادل انرژی ساختمان با خارج برای گرمایش و یا سرمایش، دمای اتاقها در زمستان بالاتر رفته ولی هنوز از شرایط آسایش حرارتی دور هستند ولی در تابستان این دماها پائین آمده و به دمای آسایش نزدیک می شوند. این دماها در تابستان طوری هستند که با استفاده از بادبزنهای سقفی و برقراری یک جریان هوای ملایم در اتاقها می توان تا اندازه ای آسایش حرارتی را برای ساکنان برقرار کرد.

۲- **تعیین بار برودتی و حرارتی نواحی مختلف ساختمان در روزهای مختلف سال.** در

این بررسی فرض شده است تا زمانی که دمای هوای هر یک از نواحی یازده گانه بین ۲۰ و ۲۵ درجه سانتیگراد تغییر می کند آن ناحیه نیازی به تبادل انرژی (گرمایشی و یا سرمایشی) با خارج ندارد. وقتی که دما از ۲۰ درجه سانتیگراد پائین تر و یا از ۲۵ درجه سانتیگراد بالاتر رود با تبادل انرژی با خارج دمای هوا دوباره به این محدوده بازگردانده می شود و انرژی مورد نیاز تعیین می گردد. شکل های ۷ و ۸ به ترتیب، منحنی تغییرات بار برودتی نواحی ۱ و ۴ و ۵ و ۱۱ را برای حالات چهارگانه فوق الذکر برای یک روز آفتابی در تیر ماه و تغییرات بار حرارتی این نواحی را برای حالات چهارگانه برای یک روز ابری در دی ماه و برای حداکثر سرعت باد در ماههای مختلف نشانی می دهند.

۳- **تعیین انرژی های سرمایشی و گرمایشی مورد نیاز ساختمان در روزهای آفتابی در**

تیرماه و ابری در دی ماه و در تمام ماههای سال. جدول ۲ و ۳ و ۴ نتیجه بررسی ها را

نشان می دهند. چنانچه از این جداول بر می آید با اعمال تمهیدات صرفه جوئی انرژی می توان نیاز حرارتی و برودتی ساختمان را به مقدار قابل ملاحظه ای کاهش داد.

۵- استفاده از هواگرمکن های خورشیدی و گلخانه برای گرمایش طبیعی ساختمان.

در دیوارهای جنوبی اتاقهای ۱ و ۷ دو هواگرمکن خورشیدی قائم (که به نام دودکش خورشیدی معروف هستند [۲]) نصب خواهند شد که تمام دیوار جنوبی را خواهند پوشاند این هوا گرمکن ها از یک کانال هوا تشکیل شده که مقابل آن دو لایه شیشه و پشت آن یک عایق حرارتی قرار داده شده و از پشت روی دیوار جنوبی نصب می شود. سطح بیرونی کانال برای جذب بیشتر نور خورشید سیاه شده است. این هوا گرمکن ها به طور طبیعی یا ترموسیفون کار کرده و نیروی شناوری باعث جریان هوا در آن ها می شود. هوای اتاق از داخل دریچه ای در پائین (درمحل قرنیز اتاق) وارد هوا گرمکن شده و در دو مجرا، یکی کانال اشاره شده در فوق و دیگری در فضای مقابل صفحه سیاه شده (بین صفحه جاذب و شیشه) ، عبور می کند. این دو مجرای هوا در بالا با یکدیگر مخلوط و وارد سقف کاذب اتاقها شده و از دریچه های سقفی وارد اتاقها می گردد. هوای خروجی از هوا گرمکن خورشیدی اتاق ۱ این اتاق و اتاق ۴ را تغذیه کرده در حالی که هواگرمکن خورشیدی اتاق ۷ فقط این اتاق را تغذیه می نماید. هوای گرم ورودی به اتاقها فضای اتاقها، دیوارها، کف، سقف، و اجرام موجود در اتاقها را گرم می نماید این جریان طبیعی هوا تا وقتی که دمای هوا درون کانالهای هوا گرمکن خورشیدی بیشتر از دمای اتاق می باشد برقرار می ماند. در شب، حرارت از دیوارها، کف، سقف و سایر اجرام به هوای اتاق منتقل شده و هوای اتاق را گرم نگاه می دارد. برای جلوگیری از برقراری جریان هوا در جهت عکس در شب و خنک شدن هوای اتاق ، یک پرده نارک پشت دریچه ورودی هوا در نزدیکی کف اتاق نصب می شود. این پرده اجازه می دهد که هوا از نزدیکی کف اتاق وارد هوا گرمکن گردد ولی جریان عکس هوا را (با چسبیدن به دریچه) اجازه نمی دهد.

استفاده از گلخانه یکی از روشهای مناسب برای گرمایش خورشیدی طبیعی ساختمانها می باشد [۲]. در ساختمان مورد نظر (ساختمان سبز) این گلخانه در مجاورت اتاقهای ۱ و ۵ و ۷ قرار دارد به طوری که این اتاقها نور طبیعی خود را از گلخانه دریافت می کنند و کارکنان این اتاقها می توانند گل و گیاه موجود در گلخانه را ببینند.

آفتاب ورودی به گلخانه توسط خاک گلدان ها جذب شده و باعث گرم شدن آنها می شود. در شب، حرارت از گلدان ها به هوای گلخانه منتقل و آنرا گرم نگاه می دارد . بنابراین اثر گلخانه در روز انتقال حرارت از هوای گرم گلخانه به اتاقهای مجاور بوده و در شب اثر آن کاهش اتلاف حرارتی از این اتاقها به بیرون می باشد.

با نوشتن معادلات انرژی حاکم بر کارکرد هوا گرمکن های خورشیدی و گلخانه و ترکیب این معادلات با شبکه حرارتی ساختمان، برنامه کامپیوتری انرژی اجرا شده و دمای اتاقها در حالی

که هیچ نوع انرژی یی به اتاقها در زمستان داده و یا از آنها در تابستان گرفته نمی شود، تعیین می گردند. در اجرای دیگر برنامه کامپیوتری انرژی، دمای اتاقها بین ۲۰ تا ۲۵ درجه شناور انتخاب شده و حرارت با برودت مورد نیاز هر اتاق در هر ثانیه (بارحرارتی و برودتی) و یا روز و ماه و سال تعیین می شوند.

لازم است اضافه نماید که در روزهای گرم سال، که ساختمان نیاز به دریافت حرارت از هواگرمکن ها و گلخانه ندارد، با باز کردن دریچه هائی که در بالای این واحدها نصب شده اجازه داده می شود که هوای گرم از این دستگاه ها به بیرون جریان یابد.

۶- استفاده از بادگیرهای طرح جدید برای تأمین نیاز برودتی ساختمان.

از دیر زمان از بادگیرها در مناطق کویری ایران برای برقراری جریان هوای بیرون به داخل ساختمان استفاده شده است [۱۱و۱۲]. میزان سرمایش تبخیری در این بادگیرها بسیار محدود می باشد. برای ایجاد سرمایش تبخیری در بادگیرها و استفاده از این سازه ها در مناطقی که فاقد جریان باد با سرعتهای بالا می باشند، می توان از یک طرح جدید بادگیر استفاده کرد [۳و۴]. در این طرح در دهانه های بالای این بادگیر سطوح خیس شونده (مانند پوشال کولرهای آبی) نصب می شود. در تابستان و یا هر زمانی که ساختمان نیاز به برودت داشته باشد پمپ آبی آب را بر روی پوشال ها (مانند کولر آبی) پاشیده و آنرا خیس می کند. هوای گرم بیرون در اثر عبور از لای پوشال، یا سطوح خیس شونده دیگر، خنک و سنگین شده و به سمت پائین کشانده می شود. جریان هوا در این نوع بادگیرها با استفاده از نیروی شناوری برقرار می شود. (در خلاف جهت جریان دود در دودکش ها). در ساختمان سبز، قسمتی از هوای خنک شده در بادگیرها می تواند وارد اتاق ۴ و سایر فضاهای مجاور آنها در طبقه همکف گردد و بقیه آن از طریق دریچه هائی که در نزدیکی کف زیر زمین در بادگیرها تعبیه شده وارد زیر زمین گردد. این هوا سپس از طریق دریچه هائی که در کف اتاق ۱ و ۵ و ۷ تعبیه شده وارد این اتاقها گشته و از طریق هوا گرمکن های خورشیدی و گلخانه به بیرون هدایت می شود. جریان هوا کاملاً طبیعی بوده و اثر نیروی شناوری در هوا گرمکن های خورشیدی در اتاقهای ۱ و ۷ به برقراری این جریان کمک می نماید.

۷- برآورد مساحت پانل های خورشیدی برای تأمین برق مورد نیاز ساختمان

در ساختمان سبز از پانل های خورشیدی که بر مبنای پدیده فتوولتائیک کار می کنند برای

تولید برق استفاده می شود. این پانل ها در بام ساختمان و مستقیماً رو به جنوب نصب می شوند و برای استفاده بهتر از تابش خورشید و کاهش هزینه تولید برق، شیب پانل ها در هر ماه تغییر داده می شود به طوری که در ظهر خورشیدی در پانزدهم هر ماه اشعه آفتاب بر پانل عمود بتابد.

با استفاده از معادلات ۴ تا ۱۸، انرژی دریافتی پانل های خورشیدی در هر لحظه و در تمام روزهای سال تعیین گردید. شکل ۹ شدت تابش خورشید را در ۱۵ تیرماه روی پانل های خورشیدی با شیب ۱۵ درجه و شکل ۱۰ شدت تابش را روی پانل ها با شیب ۵۰ درجه در ۱۵ دی ماه با فرض ضریب صافی ($\overline{KT}$) معادل ۰/۷ (روز کاملاً صاف و آفتابی) نشان می دهد. با توجه به تعداد روزهای آفتابی و ابری متوالی در ماههای مختلف سال و در نظر گرفتن ضریب صافی معادل ۰/۲، برای روزهای ابری متوالی و در نظر گرفتن بازده تبدیل انرژی خورشیدی به برق برابر با ۱۰٪، میزان برقی که هر متر مربع پانل های خورشیدی می تواند در هر ماه تولید کند محاسبه می گردد. جدول ۵ برق تولید شده توسط یک متر مربع پانل خورشیدی را در هر ماه و جمع انرژی تولید شده در سال را نشان می دهد. چنانچه از این جدول بر می آید، هر متر مربع پانل های خورشیدی در شرایط اقلیمی تهران می تواند معادل ۵۰۶/۳ مگا جول (۱۴۰/۶۴ کیلو وات ساعت) برق در سال تولید نماید.

برای تخمین برق مورد نیاز برای روشنایی و استفاده از دستگاههای و وسایل برقی ابتدا تعداد لامپ و ساعات روشن بودن آنها را در اتاقهای مختلف در نظر می گیریم. در ساختمان سبز تعداد ۳۰ لامپ برای روشنایی اتاقها استفاده و جمع تعداد لامپ- ساعت روشنایی معادل ۱۴۱ برآورد می شود. با استفاده از لامپهای کم مصرف ۱۸ واتی، انرژی لازم برای روشنایی برابر با

می باشد.

برای تعیین برق مورد نیاز سایر وسایل برقی فرض می کنیم که سه دستگاه کامپیوتر با توان ۱۰۰ وات و ۸ ساعت کار در روز، یک یخچال با توان ۷۰ وات، و ۲۴ ساعت کار در شبانه روز، و یک سماور برقی با توان ۱۰۰۰ وات و معادل یک ساعت کار در روز در ساختمان مورد استفاده قرار می گیرند. بنابراین انرژی الکتریکی مورد نیاز این وسایل عبارت است از:

$$(3 \times 100 \times 8 + 70 \times 24 + 1000 \times 1) \times 3600 = 18288000 \text{ J/d}$$

$$= 18/29 \text{ MJ/d}$$

بنابراین جمع برق مصرفی برای روشنایی و سایر وسایل برقی معادل

$$9/14 + 18/29 = 27/43 \text{ MJ/d}$$

می باشد. برای تعیین نیاز سالانه برق، فرض می کنیم که ساختمان معادل ۳۰۰ روز در سال مورد بهره برداری قرار می گیرد. بنابراین این برق مورد نیاز در سال معادل

$$27/43 \times 300 = 8229 \text{ MJ/yr}$$

می باشد.

پانل های خورشیدی برق DC تولید می کنند که می توان در باتری هائی آنرا ذخیره کرد و برای مصارف مختلف لازم است آنرا توسط یک اینورتر به برق AC تبدیل نمود. چنانچه اتلاف برق در ذخیره سازی و اینورتر را معادل ۳۶٪ انتخاب نمائیم بنابراین مساحت پانل های خورشیدی برابر با

$$M^2 = 25/4 = 0.64 \div (506/3) \div 8229$$

بدست می آید. با این مساحت، پانل های خورشیدی در روزهای آفتابی بیش از نیاز ساختمان برق تولید می کنند و می توان این برق اضافی را به شبکه برق شهری "فروخت". در عوض این پانل ها قادر به تأمین تمامی برق مورد نیاز ساختمان در روزهای ابری نیستند و لازم است که از شبکه برق شهری در این روزها مقداری برق "خرید". در طی یک سال جمع جبری داد و ستد برق یا شبکه برق شهری صفر خواهد بود.

1- M. N. Bahadori, *A Feasibility Study of Solar Heating in Iran*, Solar Energy Journal, Vol. 15, 1973, pp. 3-26.

2- M. N. Bahadori and E, Hajidavalloo, *A Feasibility Study of Passive Solar Heating in Iranian Conditions*, 20 th National Passive Solar Conference, American Solar Energy Society, Minneapolis, Minnesota, July 15-20, 1995, pp.33-38.

3- M. N. Bahadori, *A Passive Cooling/Heating System for Hot, Arid Regions*, 13 th National Passive Solar Conference, Cambridge, Massachusetts, June 20-24, 1988, pp. 364-367.

4-M. N. Bahadori and A. R. Pakzad, *Performance Evaluation of New Designs of Wind Towers*, Paper No. FEDSM2002-31274, Proceeding of ASME FEDSM02, ASME 2002 Fluids Engineering Division Summer Meeting, Montreal, Quebec, Canada, July 14-18, 2002.

5-M. N. Bahadori and F.Haghighat, *Passive Cooling in Hot Arid Regions in Developing Countries by Employing Domed Roofs and Reducing the Temperature of Internal Surfaces*, Journal of Building and Environment, Vol. 20, No. 2, 1985, pp. 103-113.

6-M. N. Bahadori and F. Haghighat, *Weekly Storage of Coolness in Heavy Brick and Adobe Walls*, Journal of Energy and Building, Vol. 8, No. 4m 1985, pp. 259-270.

7-M. N. Bahadori and F.Haghighat, *Thermal Peerformance of Adobe Structures with Domed Roofs and Moist Internal Surfaces*, Solar Energy Journal, Vol. 36, No. 4, 1986, pp. 365-375.

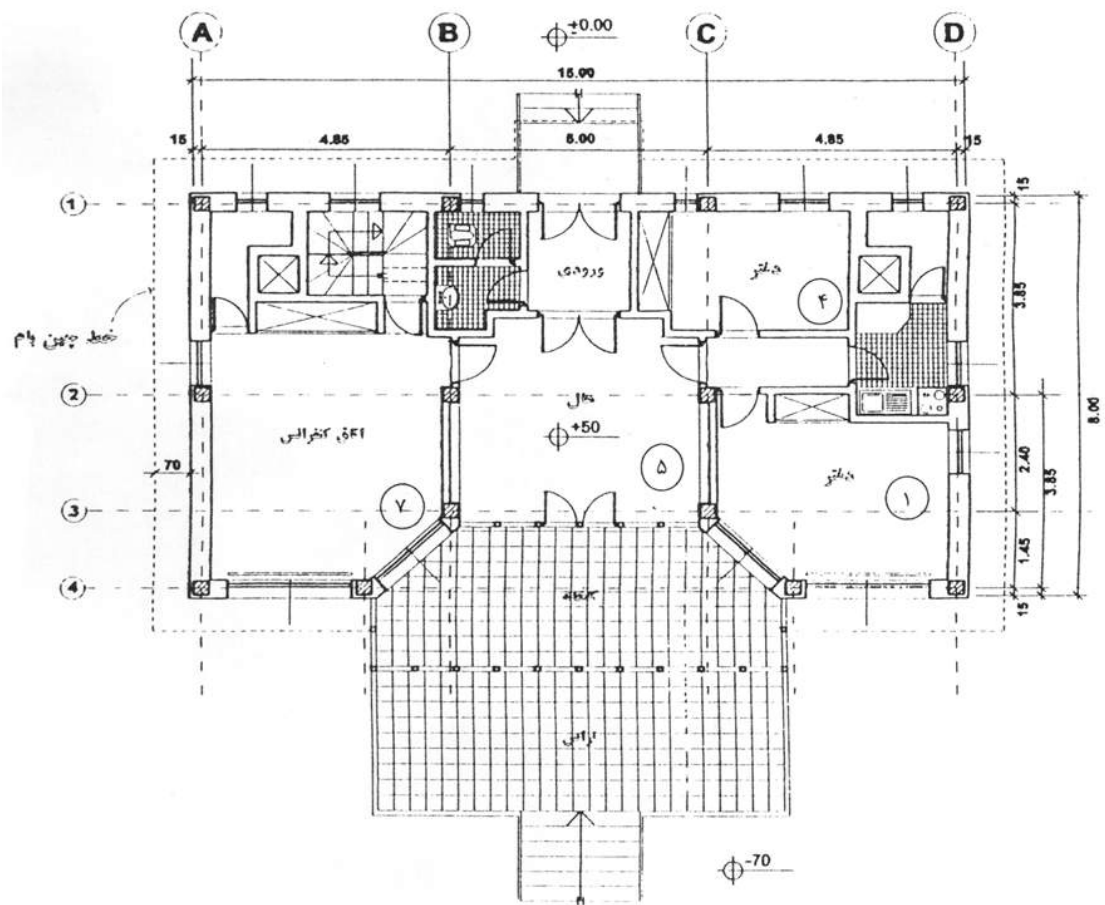
۸-افشین احمدی ندوشن «پتانسیل کاهش انرژی برودتی و حرارتی مجتمع های مسکونی در تهران با استفاده از بادبزنهای سقفی» رساله کارشناسی ارشد ، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی شریف، شهریور ۱۳۷۶

9-M. N.Bahadori and M.J.Chamberlain, *Simplification of Weather Data to Evaluate Daily and Monthly Energy Needs of Residential Buildings*, Solar Energy Journal, Vol. 36, No. 6, 1986, pp. 499-507.

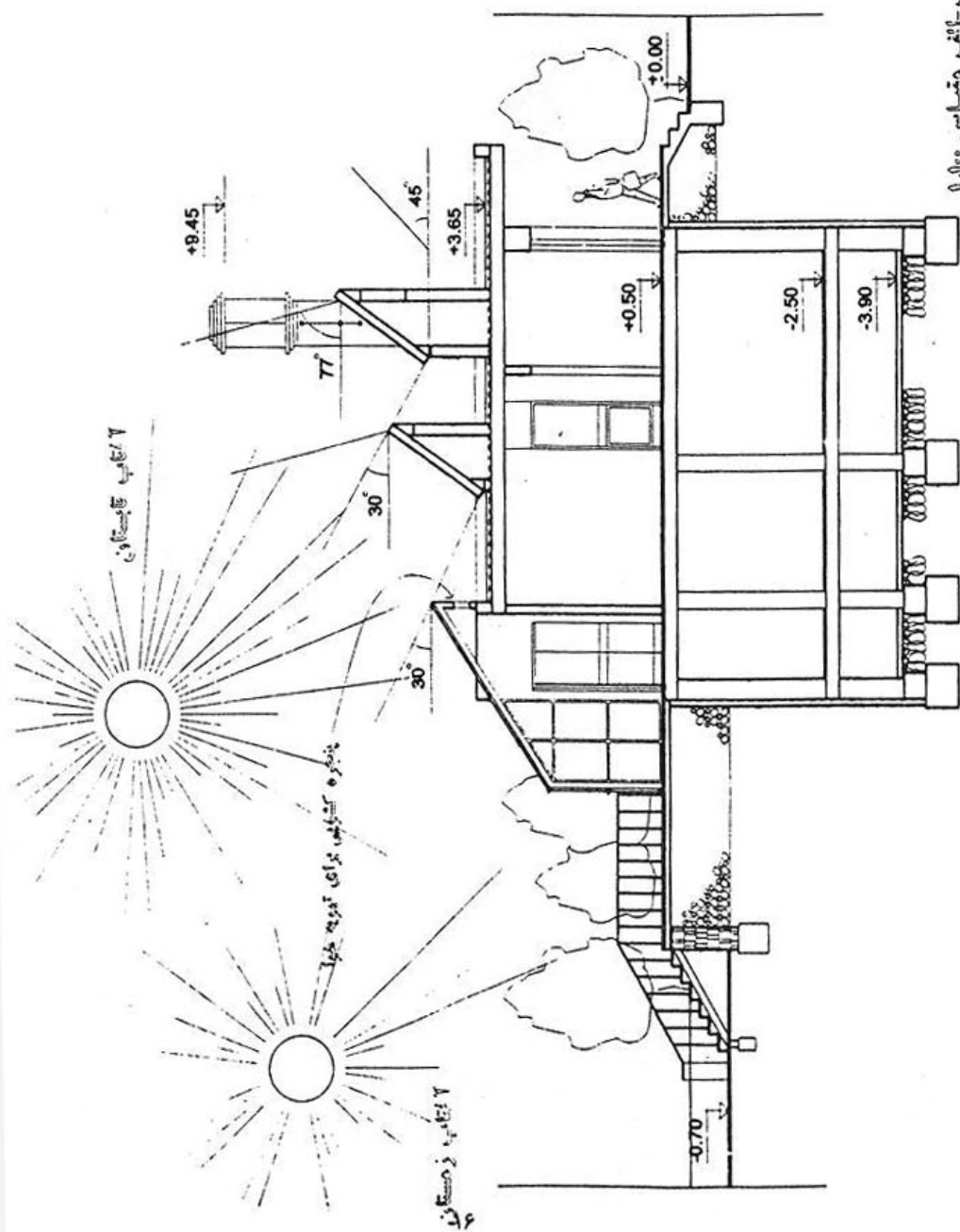
10-J. A. Duffie and W. A. Beckman, *Solar Engineering of Thermal Processes*, John Wiley and Sons, New York. 1980 and 1991.

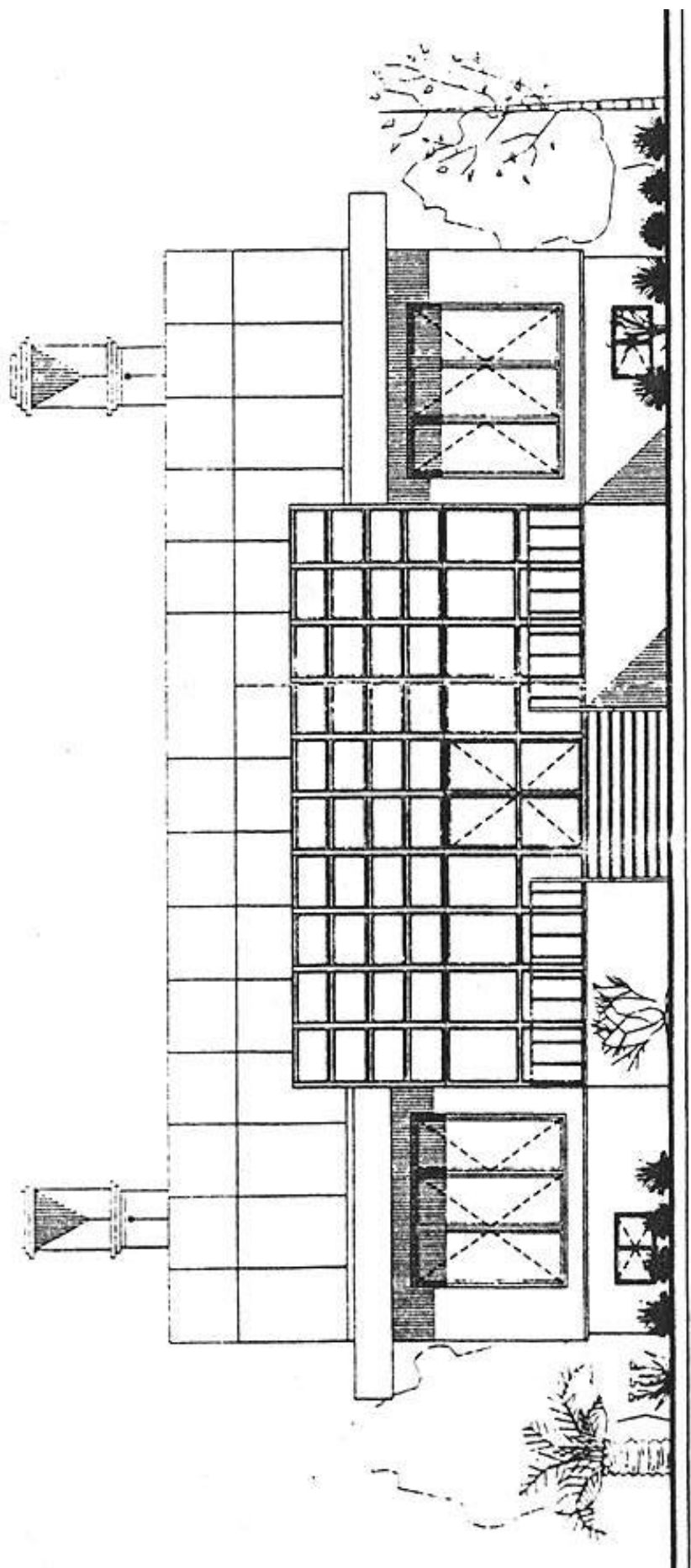
11-M. N.Bahadori, *Passive Cooling Systems in Iranian Architecture*, Scientific American, Vol. 238, No. 2, Feb. 1978, pp. 144-154.

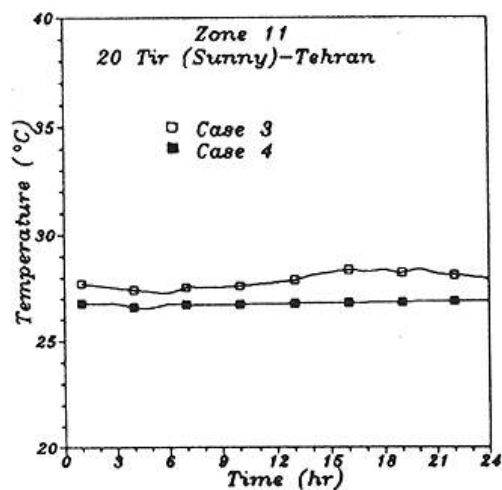
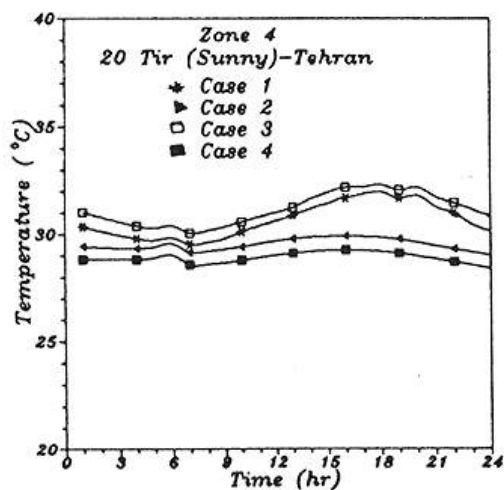
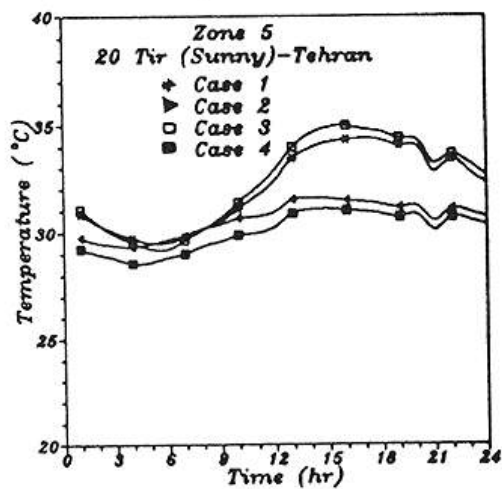
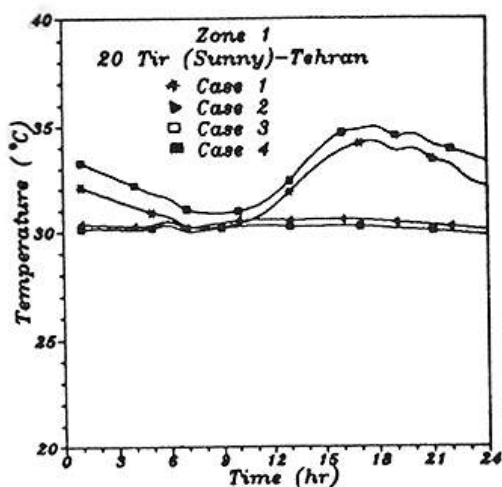
12-M. N.Bahadori, *Natural Air-Conditioning Systems*, in Advances in Solar Energy, K. W. Boer, editor, 1986, Vol. 3, pp. 283-356.



بیشتر الف - الف - الف ۰۰







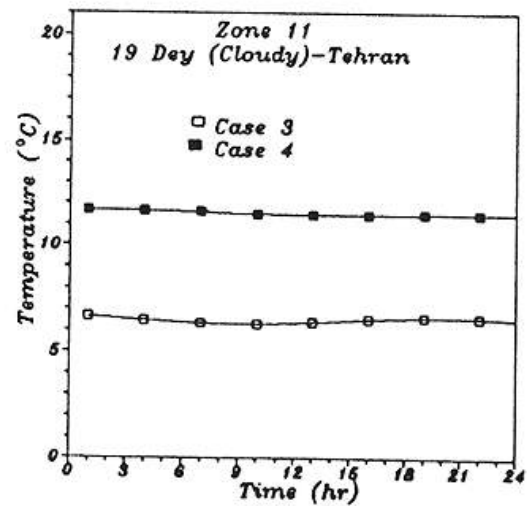
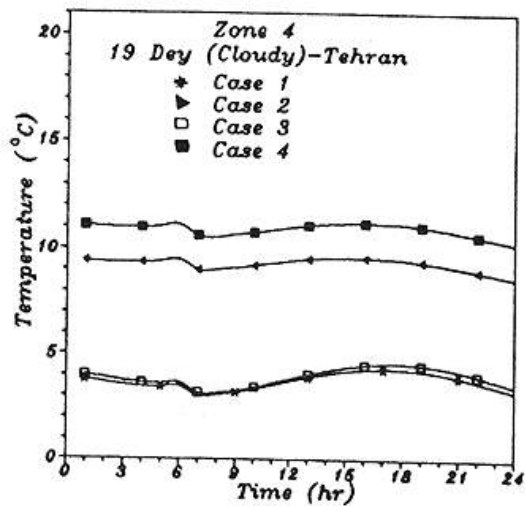
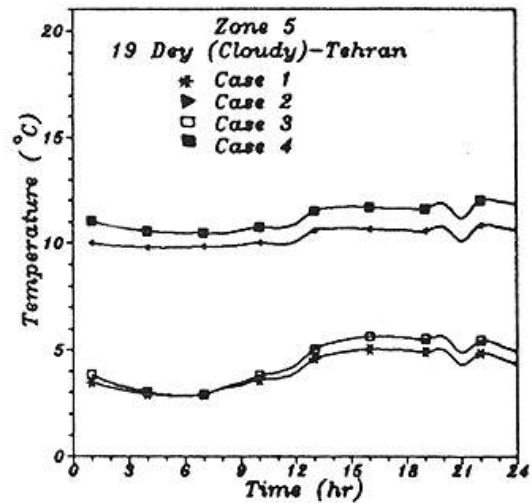
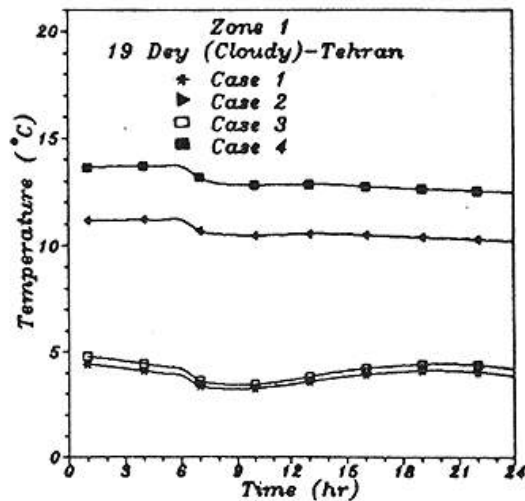
شکل ۵- تغییرات دمای نواحی ۱ و ۴ و ۵ و ۱۱ در یک روز آفتابی در تیرماه

حالت ۱ (Case 1) معرف ساختمان مبنا (بدون زیرزمین).

حالت ۲ (Case 2) ساختمان مبنا با کلیه تمهیدات صرفه جوئی انرژی.

حالت ۳ (Case 3) ساختمان مبنا با وجود زیرزمین.

حالت ۴ (Case 4) ساختمان مبنا با زیرزمین و کلیه تمهیدات صرفه جوئی انرژی.



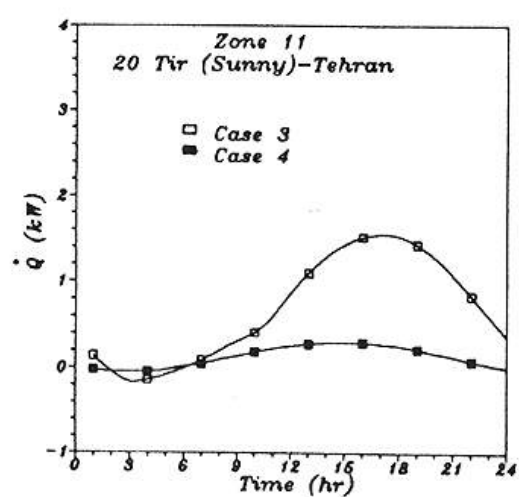
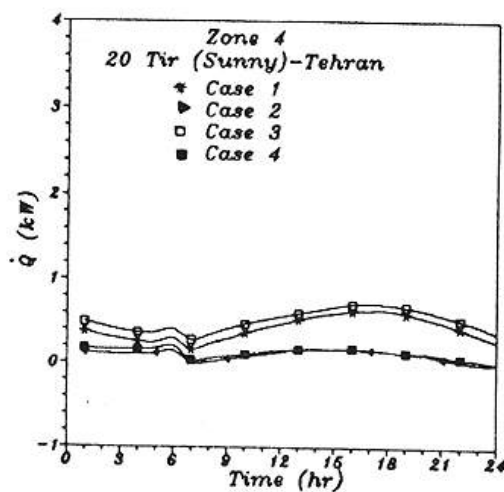
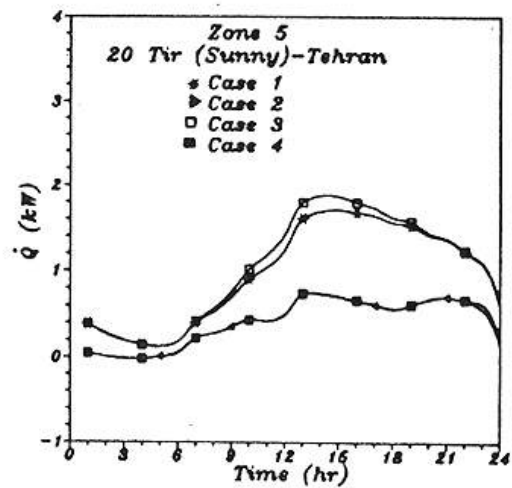
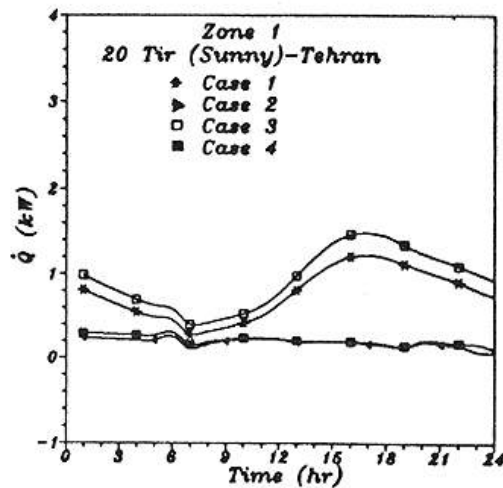
شکل ۶- تغییرات دمای نواحی ۱ و ۴ و ۵ و ۱۱ در یک روز ابری در دی ماه

حالت ۱ (Case 1) معرف ساختمان مبنا (بدون زیرزمین).

حالت ۲ (Case 2) ساختمان مبنا با کلیه تمهیدات صرفه جوئی انرژی.

حالت ۳ (Case 3) ساختمان مبنا با وجود زیرزمین.

حالت ۴ (Case 4) ساختمان مبنا با زیرزمین و کلیه تمهیدات صرفه جوئی انرژی.



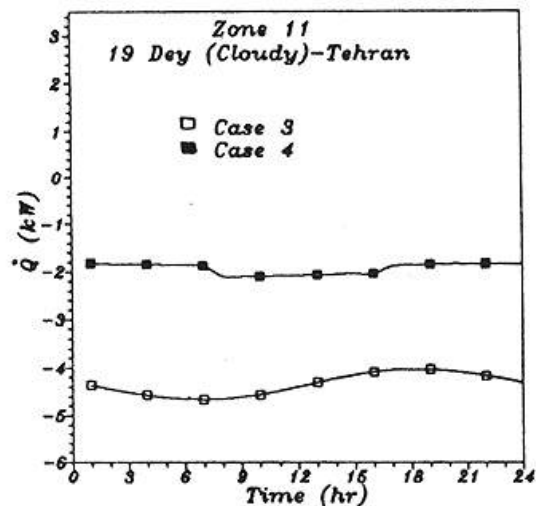
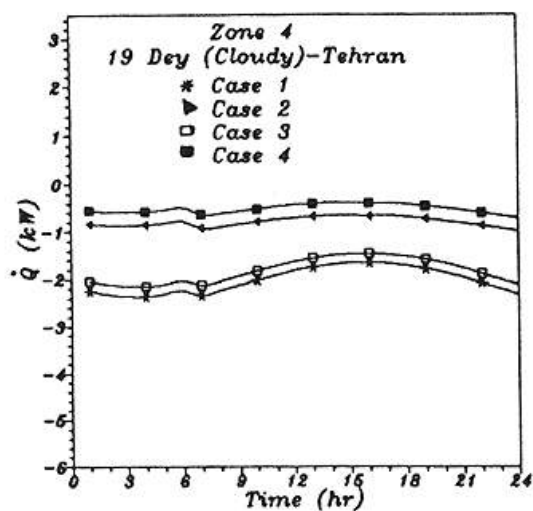
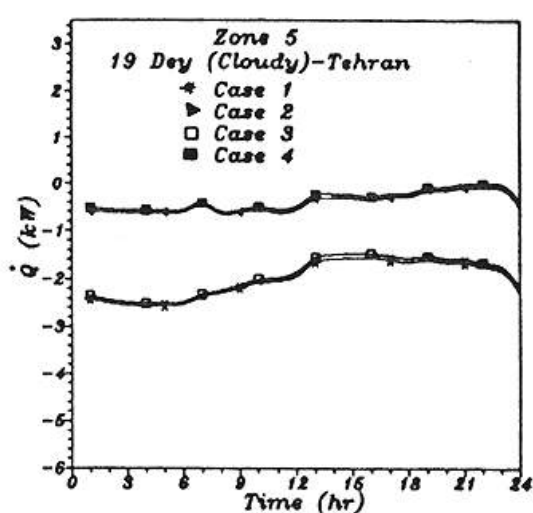
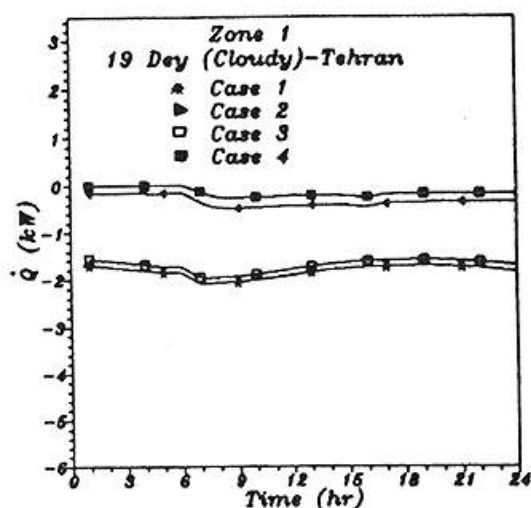
شکل ۷- تغییرات بار ورودی نواحی ۱ و ۴ و ۵ و ۱۱ در یک روز آفتابی در تیرماه

حالت ۱ (Case 1) معرف ساختمان مبنا (بدون زیرزمین)،

حالت ۲ (Case 2) ساختمان مبنا با کلیه تمهیدات صرفه جویی انرژی،

حالت ۳ (Case 3) ساختمان مبنا با وجود زیرزمین،

حالت ۴ (Case 4) ساختمان مبنا با زیرزمین و کلیه تمهیدات صرفه جویی انرژی.



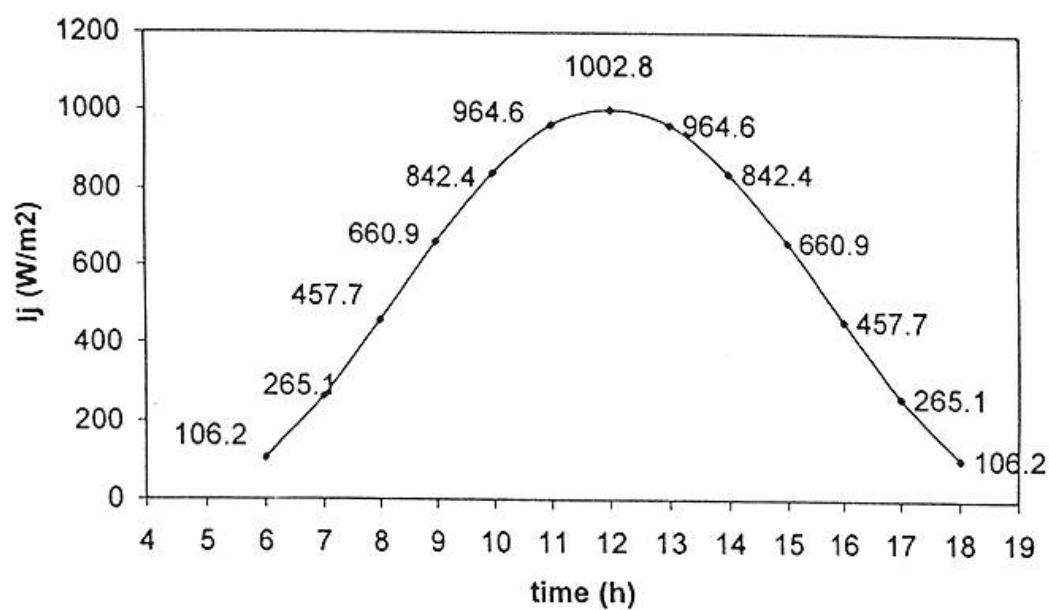
شکل ۸- تغییرات بار برودتی نواحی ۱ و ۴ و ۵ و ۱۱ در یک روز ابری در دی ماه.

حالت ۱ (Case 1) معرف ساختمان مبنا (بدون زیرزمین)،

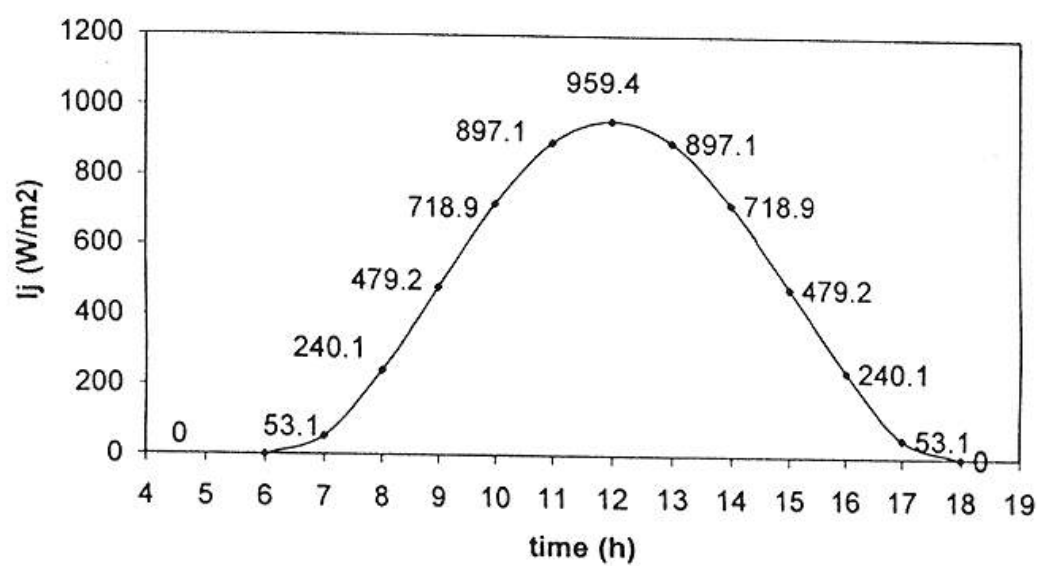
حالت ۲ (Case 2) ساختمان مبنا با کلیه تمهیدات صرفه جوئی انرژی،

حالت ۳ (Case 3) ساختمان مبنا با وجود زیرزمین،

حالت ۴ (Case 4) ساختمان مبنا با زیرزمین و کلیه تمهیدات صرفه جوئی انرژی.



شکل ۹ - شدت تابش خورشید روی پانل های خورشیدی در ساعات مختلف روز ۱۵ تیر با $\bar{K}_T = 0.7$ و شیب پانل برابر با ۱۵ درجه



شکل ۱۰ - شدت تابش خورشید روی پانل های خورشیدی در ساعات مختلف روز ۱۵ دی با $\bar{K}_T = 0.7$ و شیب پانل برابر با ۵۰ درجه