

الگوی حرکت سایه و طراحی سایت

دکتر زهرا قیابکلو

تاریخ دریافت مقاله: ۸۱/۵/۲۸

تاریخ پذیرش نهایی: ۸۲/۸/۲

چکیده:

یکی از نکات قابل توجه در خصوص صرفه جویی در مصرف انرژی در رابطه با طراحی سایت و مجموعه‌های مسکونی، بررسی مسیر حرکت سایه بناها و تأثیر آن بر روی بناهای مجاور در یک مجموعه می باشد. دست یابی به آفتاب زمستانی و پرهیز از آن در تابستان در طراحی مجموعه های ساختمانی در یک سایت از جمله مواردی است که در طراحی اقلیمی باید به آن توجه ویژه ای مبذول داشت. طراحی اقلیمی و بهره مندی از مواهب طبیعی چون انرژی خورشیدی میسر نخواهد بود مگر اینکه این امکان در طراحی سایت فراهم شود. در این مقاله روش محاسبه و ترسیم الگوی سایه تک بنا با توجه به توپوگرافی زمین در عرض های جغرافیایی مختلف و همچنین اصول طراحی سایت بر مبنای بهره مندی عادلانه بناها از نور خورشید ارایه شده است.

واژه های کلیدی:

الگوی حرکت سایه، طراحی اقلیمی، طراحی خورشیدی و طراحی سایت.

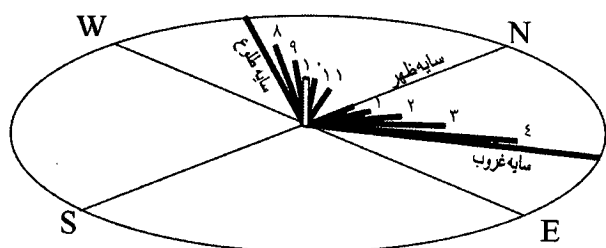
مقدمه

سردسیر و زمستان های مناطق معتدل، پرهیز از ایجاد سایه درختان و بناها بر روی یکدیگر بسیار ضروری است. در زمستان بیشترین و مفیدترین ساعاتی که از انرژی خورشیدی بهره برداری مفید می توان نمود ساعات بین ۹ صبح تا ۳ بعد از ظهر می باشد. معمولاً مسیر سایه را برای بحرانی ترین اوقات سال یعنی کوتاه ترین روز سال، اول دی ماه که دارای بلندترین طول سایه می باشد را محاسبه می کنند. در اول دی ماه زاویه ارتفاع خورشید کمتر از بقیه ایام سال بوده و در نتیجه سایه ای که اشیاء بر روی سطح افق ایجاد می کنند بلند تر از سایر اوقات می باشد.

شناخت مسیر حرکت سایه ساختمان ها، درخت ها و سایر عوامل مصنوعی و غیر مصنوعی اطراف یک بنا و روش ترسیم آن از جمله اطلاعاتی است که در طراحی اقلیمی بسیار حائز اهمیت است. با توجه به آنکه اقلیم مورد نظر گرم، معتدل و یا سرد باشد، مطلوب و یا نامطلوب بودن سایه مشخص می گردد.

بدیهی است که در مناطق گرمسیر یکی از اهداف طراحی، ممانعت از تابش نور خورشید و ایجاد سایه بر روی بنا و بازشوهای آن است که خود بحث مستقلی در روش های خنک سازی طبیعی^۱ می باشد. این در حالی است که در مناطق

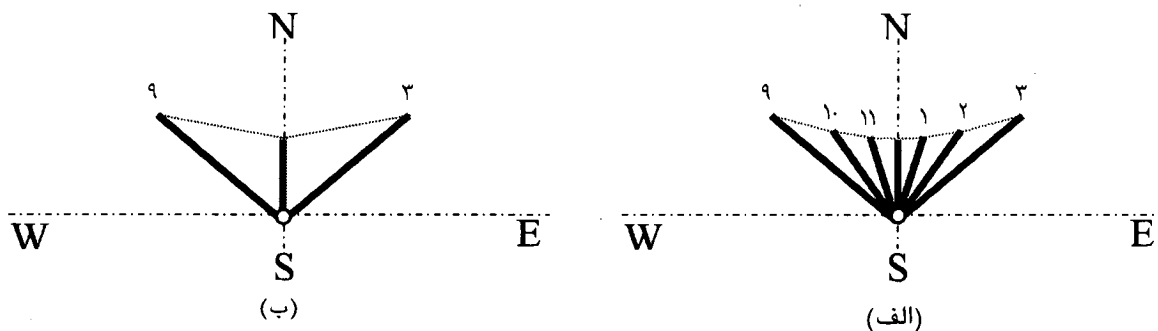
روش ترسیم مسیر سایه



تصویر ۱: مسیر حرکت سایه میله عمودی بر سطح زمین در اول دی ماه از طلوع تا غروب

برای مطالعه مسیر حرکت سایه اشیاء بر روی صفحه افق بر اثر حرکت خورشید در ابتدا مثال ساده ای مانند روش ترسیم سایه یک میله عمودی مورد بررسی قرار می گیرد. تعیین مسیر حرکت سایه بر روی سطح افق به زاویه ارتفاع، زاویه جهت نما^۲ که به عرض جغرافیایی محل وابسته است و همچنین ارتفاع میله مورد نظر بستگی دارد. تصویر ۱ مسیر حرکت سایه میله عمودی را در یک نقطه فرضی از نیم کره شمالی بر سطح زمین در کوتاهترین روز سال از طلوع تا غروب نشان می دهد (کلیه تصاویر ارائه شده در متن این مقاله توسط نویسنده تهیه و ترسیم شده اند).

همچنین تصویر ۲-الف، پلان مسیر حرکت سایه را برای همان موقعیت بین ساعات ۹ صبح الی ۳ بعد از ظهر و تصویر ۲-ب، پلان ساده شده مسیر حرکت سایه را نشان می دهد.



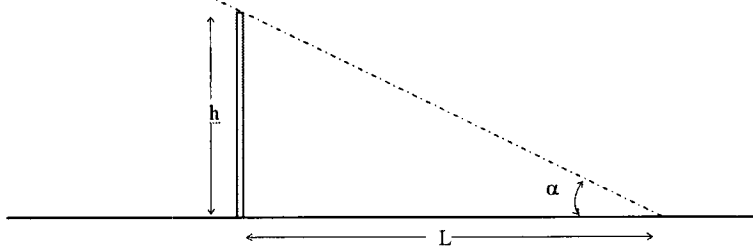
تصویر ۲: پلان مسیر حرکت سایه بین ساعات ۹ صبح الی ۳ بعد از ظهر

با اتصال رئوس سایه های ایجاد شده، الگوی حرکت سایه برای این میله خاص بدست می آید. بدیهی است که در عرض های جغرافیایی بالاتر طول این سایه بیشتر و در عرض های جغرافیایی کمتر، طول سایه کوتاه تر می باشد.

روش محاسبه طول سایه

$$L = \frac{h}{\tan \alpha} = h \times \cot \alpha$$

با معلوم بودن ارتفاع میله و زاویه ارتفاع خورشید طبق تصویر شماره ۳، طول سایه (L) از طریق رابطه زیر قابل محاسبه می باشد:



تصویر ۳: تعیین طول سایه

(۱)

در رابطه فوق:

L = طول سایه (m)

h = ارتفاع میله (m)

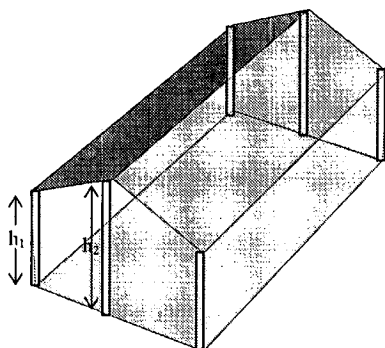
α = زاویه ارتفاع خورشید

زاویه جهت نمای خورشید در ساعات ۹ صبح و ۳ بعد از ظهر محدوده های چپ و راست الگوی سایه را مشخص می نماید. به منظور سادگی بیشتر این محدوده ها را می توان با زاویه (۴۵) رسم نمود که تقریباً به زاویه جهت نمای خورشید در این اوقات سال نزدیک می باشد. بدیهی است که این مرزهای واقعی بنا به عرض های جغرافیایی مختلف اندکی متفاوت می باشند. به جهت سهولت و تسریع بیشتر، به جای آنکه طول سایه را برای تمامی ساعات حساب کنیم، می توان تنها برای ساعات ۹ صبح، ۱۲ ظهر و ۳ بعد از ظهر حساب کرد. قابل توجه است که الگوی مسیر حرکت سایه قبل از ساعت ۱۲ و بعد از آن قرینه بوده و کافی است که طول سایه برای ساعات ۹ صبح و ۱۲ ظهر محاسبه شود زیرا در ساعت ۲ بعد از ظهر طول سایه به اندازه طول سایه ساعت ۹ صبح است.

زوایای ارتفاع خورشید برای ساعات مفروض به سادگی از طریق معادلات، دیاگرام های خورشیدی و یا جدول زیر قابل محاسبه می باشد.

جدول ۱: زاویه ارتفاع خورشید در عرض های جغرافیایی 28° الی 48° (Lechner, 1991, 216)

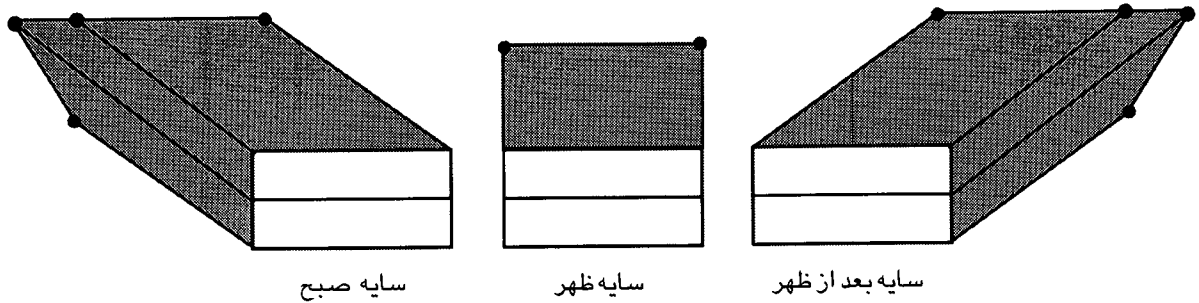
| عرض جغرافیایی | 28° | 32° | 36° | 40° | 44° | 48° |
|------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| زاویه ارتفاع در ظهر خورشیدی | ۸۳ | ۳۴ | ۳۰ | ۲۷ | ۲۲ | ۱۹ |
| زاویه ارتفاع در ازموت 45° | ۲۳ | ۱۹ | ۱۵ | ۱۲ | ۸ | ۶ |



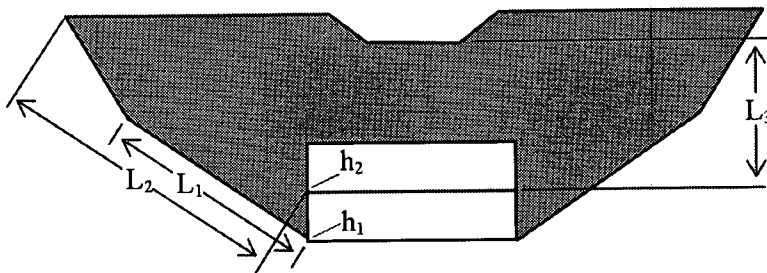
برای ترسیم مسیر حرکت سایه برای یک ساختمان، فرض می شود که ساختمان متشکل از چندین میله عمودی مانند تصویر مقابل است.

تصویر ۴: تشبیه رئوس مهم یک ساختمان به میله های عمودی

پس از ترسیم سایه های صبح، ظهر و بعد از ظهر این میله ها و ترکیب سایه های حاصله، الگوی حرکت سایه ساختمان بدست می آید.



تصویر ۵: سایه های صبح، ظهر و عصر برای یک ساختمان با سقف شیب دار



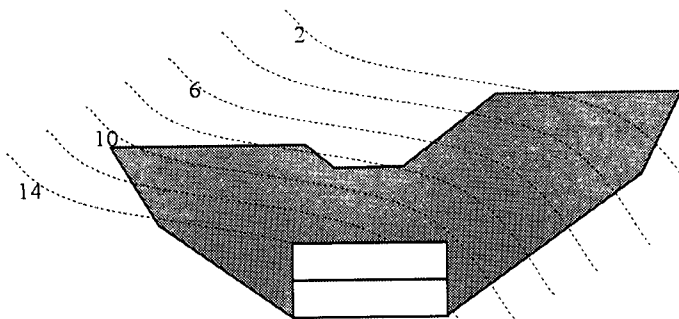
تصویر ۶: تلفیق سایه های صبح، ظهر و عصر

بنابراین طول سایه های L_1 , L_2 , L_3 به راحتی از روابط زیر قابل محاسبه خواهد بود:

$$L_1 = \frac{h_1}{\tan \alpha_1} \quad L_2 = \frac{h_2}{\tan \alpha_2} \quad L_3 = \frac{h_2}{\tan \alpha_2}$$

در رابطه های مذکور، به ترتیب α_1 و α_2 زوایای ارتفاع خورشید در ساعت ۹ صبح و ۱۲ ظهر می باشند.

الگوی حرکت سایه در سطوح شیب دار



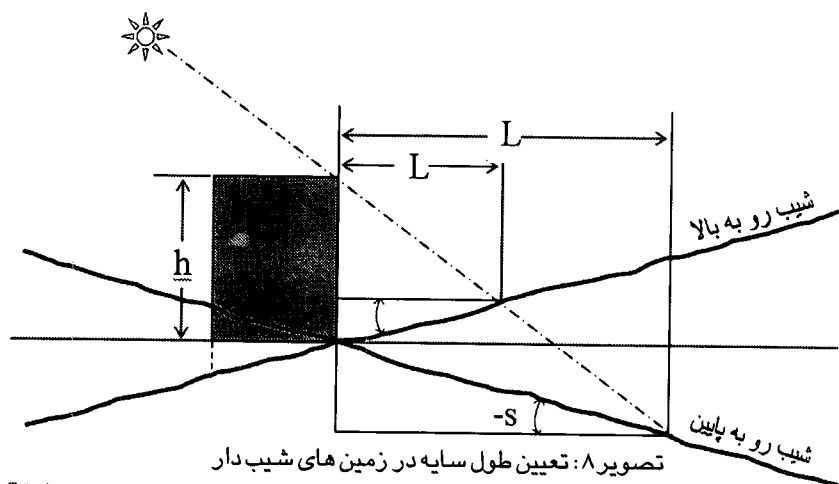
تصویر ۷: در زمین های شیب دار، طول سایه متغیر است

طبیعتاً اگر ساختمان بر روی یک سطح شیب دار بنا شده باشد، طول سایه روی زمین متفاوت با سطح افقی خواهد بود. به این معنا که الزاماً شکل سایه صبح و بعد از ظهر متقارن نبوده و بنا به نوع توپوگرافی زمین، متغیر خواهد بود.

در این صورت با توجه به محل استقرار ساختمان، طول سایه در زمین های شیب دار سربالایی کمتر و طول سایه در زمین های شیب دار سرازیری بلندتر می باشد. یکی از نکات بسیار حائز اهمیت در طراحی سایت، توجه به تأثیر توپوگرافی بر الگوی سایه ساختمانها است به خصوص زمانی که توپوگرافی زمین از یک ساختمان به ساختمان مجاور دیگر متفاوت باشد. برای محاسبه طول سایه در زمین های شیب دار می توان از روابط زیر استفاده نمود (Tabb, 1984, 219):

$$L = \frac{h}{\tan \alpha + \tan s} \quad (2)$$

در رابطه فوق، s زاویه شیب زمین است که از s برای شیب سربالا و از $-s$ برای شیب سرازیر طبق تصویر شماره ۸ استفاده می شود.



اگر به جای $\tan s$ از معادل آن استفاده گردد، رابطه فوق به صورت زیر نیز قابل استفاده خواهد بود:

$$\tan s = s_a = \frac{\text{درصد شیب}}{100}$$

$$L = \frac{h}{\tan \alpha + s_a} \quad (2)$$

در رابطه فوق از s_a برای شیب سربالا و از $-s_a$ برای شیب سرازیر استفاده می شود.

به عنوان مثال، طول سایه صبح ساختمانی با سقف مسطح به ارتفاع ۶m و زاویه ارتفاع خورشید ۱۹ درجه واقع در زمینی با شیب سرازیر ۳ درجه، به صورت زیر محاسبه می شود:

$$L = \frac{6}{\tan 19 + \tan(-3)} = 20.6m$$

از آنجایی که جهت شیب سایه صبح و یا بعد از ظهر همواره منطبق بر جهت شیب زمین نبوده و ممکن است که زمین در جهت سایه ظهر یعنی شیب شمالی/جنوبی و یا هر جهت دیگری شیب دار باشد، لذا از رابطه کلی زیر برای محاسبه طول سایه های صبح، ظهر و بعد از ظهر ساختمان های واقع در زمین های شیب دار استفاده می شود:

$$L = \frac{h}{\tan \alpha + \tan s \cos B}$$

که در رابطه مذکور، B عبارت است از زاویه بین جهت سایه و جهت شیب.

به عنوان نمونه، اگر فرض شود در مثال قبل، اختلاف زاویه بین سایه صبح و جهت شیب زمین ۱۵ درجه باشد، طول سایه صبح مجدداً به صورت زیر محاسبه خواهد شد:

$$L = \frac{6}{\tan 19 + \tan(-3) \times \cos 15} = \frac{6}{0.344 + (-0.052 \times 0.966)} = 20.4m$$

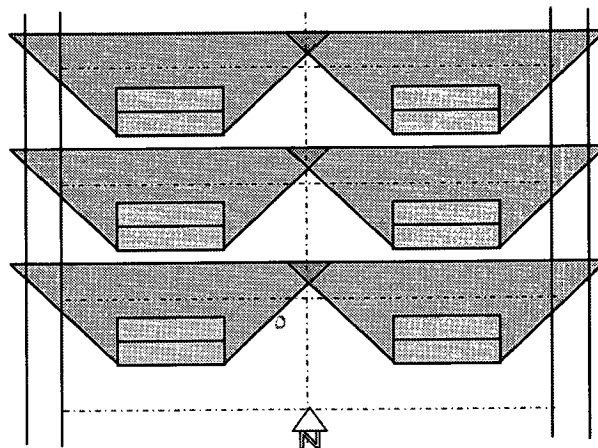
همچنین طول سایه ظهر برای همین مثال با اختلاف زاویه بین سایه ظهر و جهت شیب زمین ۳۰ درجه و زاویه ارتفاع خورشید ۳۴ درجه نیز به صورت زیر قابل محاسبه خواهد بود:

$$L = \frac{6}{\tan 34 + \tan(-3) \times \cos 30} = \frac{6}{0.675 + (-0.052 \times 0.866)} = 9.54m$$

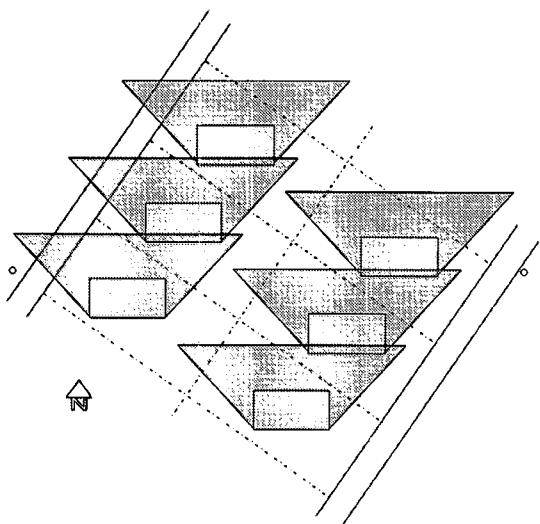
توجه به این نکته حائز اهمیت است که همواره بهره گیری از بخشی از انرژی خورشیدی در طول روز بهتر از بی بهره ماندن است. حتی اگر امکان دسترسی به نور خورشید از ۹ صبح الی ۳ بعد از ظهر به طور کامل وجود نداشته باشد، استفاده از نور خورشید بین ساعات ۱۰ صبح الی ۲ بعد از ظهر می تواند ۶۰٪ از کل تابش روزانه را در زمستان در برگیرد (Robinette, 1983, 42). طبق مطالعات انجام شده توسط مرکز انرژی خورشیدی کارولینا در سال ۲۰۰۰، جهت گیری بهینه ساختمان با توجه به تابش نور خورشید می تواند حداکثر بین ۱۵ (درجه نسبت به سمت جنوب باشد تا تأثیر زیادی در کاهش جذب انرژی نداشته باشد. البته جهت گیری به سمت جنوب شرقی در مناطقی که دارای تابستان های گرم هستند به دلیل جذب کمتر گرما مناسب تر می باشد. قابل توجه است که جهت گیری تا ۳۰ (درجه، ۱۵٪ کمتر از حالت بهینه از جذب انرژی در زمستان بهره خواهد برد و ماوراء آن به هیچ وجه توصیه نمی گردد.

سایه و طراحی سایت

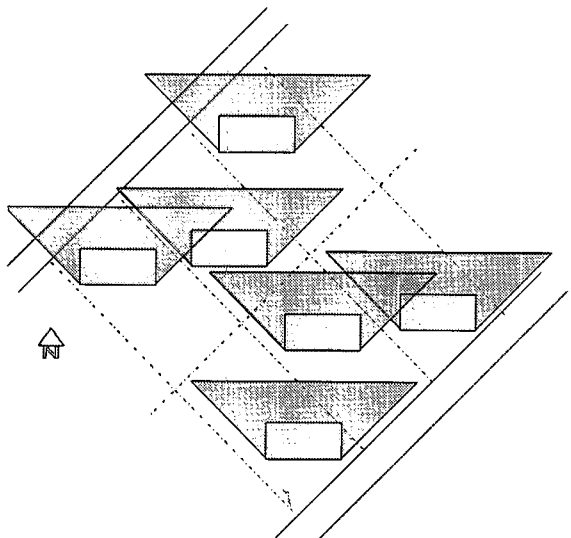
اندازه، فرم و جهت گیری مناسب ساختمان ها از عوامل مهم بهره گیری مناسب از گرمایش، سرمایش و نور گیری طبیعی می باشند. از آنجایی که طراحی فوق مستقیماً به طراحی شهری و جهت گیری صحیح خیابان ها مرتبط است، بنا بر این قدم اول در احداث مجموعه های مسکونی، شهرک ها و نوسهرها، طراحی صحیح راه ها و مسیرهای ارتباطی است. خوشبختانه اغلب خیابان ها و کوچه ها در همین جهت شکل می گیرند. جهت گیری اغلب بناهای موجود بصورت شمالی جنوبی می باشد که این مسئله تأثیر بسزایی در بهره گیری از تابش آفتاب زمستانی و پرهیز از تابش های ناخواسته شرقی و غربی تابستانی می باشد. در غیر اینصورت در خیابان ها و کوچه های شمالی جنوبی، اغلب بناها به ناچار می بایست از شرق یا غرب نور بگیرند که این بدترین حالت ممکن به شمار می رود.



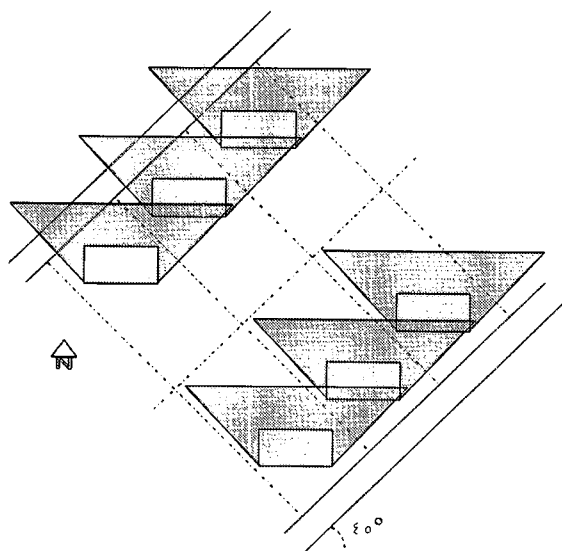
تصویر ۹: در خیابان های شمالی / جنوبی، نمای باریکتر باید به سمت خیابان باشد



تصویر ۱۱: عدم بهره‌مندی از نور خورشید به علت کافی



تصویر ۱۲: جایگزینی صحیح بلوک‌ها در قطعات به منظور بهره‌گیری



تصویر ۱۳: امکان دسترسی به نور خورشید در خیابان‌های مورب

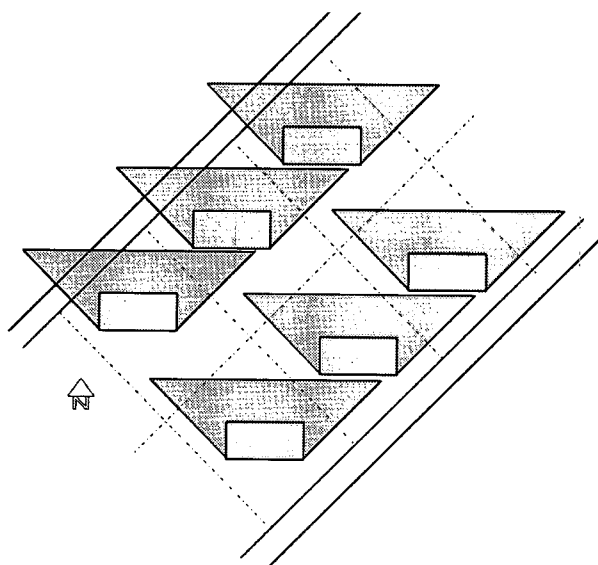
عدم رعایت فاصله مناسب بین ساختمان‌ها در راستای شمالی جنوبی، موجب ایجاد سایه ناخواسته ساختمان جنوبی بر روی ساختمان شمالی می‌شود. ساختمان‌هایی که در خیابان‌های شمالی جنوبی بنا می‌شوند، باید ضلع باریکتر آنها به طرف خیابان باشد.

در خیابان‌هایی که بصورت مورب و با چرخش زاویه دار نسبت به محور شرقی غربی بنا می‌شوند، در صورتی که بلوک‌ها به سمت جنوب بچرخند، از نورگیری مناسبی بهره‌مند خواهند بود. در این صورت نیز رعایت و محاسبه صحیح فاصله بین ساختمان‌ها الزامی است. یکی از مزایای بناهایی که در خیابان‌های مورب ساخته می‌شوند، عدم دید مستقیم بلوک‌ها به یکدیگر و حریمت بیشتر می‌باشد.

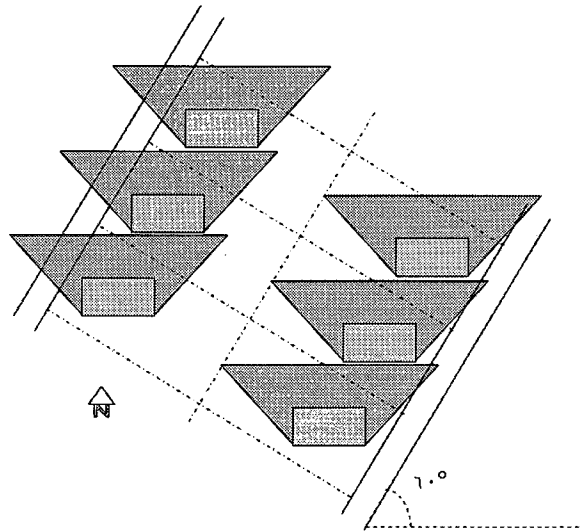
در خیابان‌های مورب مانند تصویر ۱۱، اگر عرض قطعات به اندازه کافی نباشد، ساختمان‌ها بر روی یکدیگر سایه می‌اندازند.

بنا بر این در قطعات باریک‌تر بهتر است بلوک‌ها به صورت پس و پیش مانند تصویر ۱۲ احداث شوند.

قابل توجه است که در خیابان‌های مورب هر چه زاویه بزرگتر باشد، بلوک‌ها کمتر بر روی هم سایه می‌اندازند.

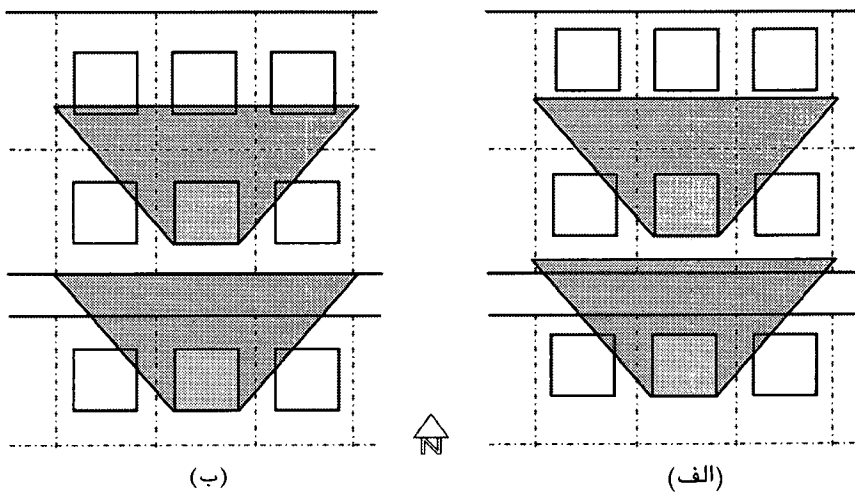


تصویر ۱۴: بهره‌گیری از نور خورشید در خیابان‌های مورب



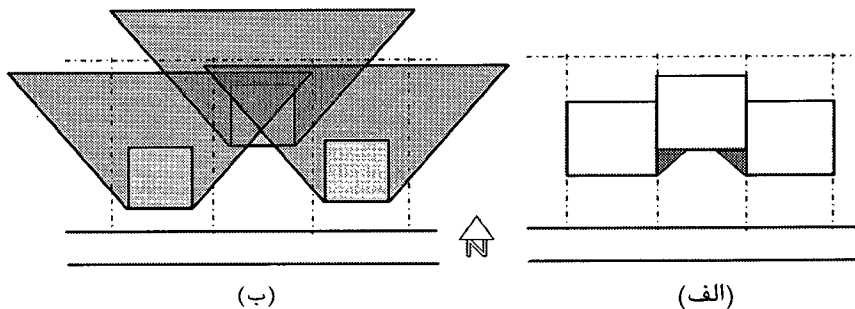
تصویر ۱۴: امکان دسترسی به نور خورشید در خیابان‌های مورب با زاویه بازتر بیشتر است

گرچه خیابان‌های شرقی غربی بهترین حالت به شمار می‌روند، اما اگر اندازه قطعات زمین و قرارگیری بلوک‌ها بصورت مناسب انتخاب نشده باشند، ایجاد سایه ساختمان‌ها بر روی یکدیگر مشکل‌آفرین خواهد بود. در این صورت هنگامی که عمق زمین کافی نباشد، جایگزینی صحیح بلوک‌ها در زمین این امکان را بوجود می‌آورد که همه ساختمان‌ها از انرژی خورشیدی یکسان و کافی بهره‌مند شوند.



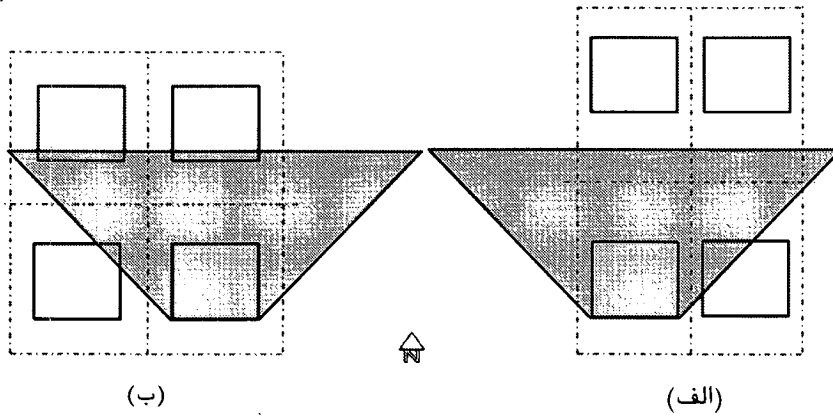
تصویر ۱۵: میزان عقب نشینی از خیابان عامل مهمی در دسترسی به نور خورشید می‌باشد

حتی در زمین‌هایی که دارای عمق کافی هستند نیز رعایت فواصل مناسب از خیابان در ردیف ساختمان‌ها حائز اهمیت می‌باشد در غیر اینصورت مانند تصویر ۱۶ بلوک‌ها بر روی یکدیگر سایه می‌اندازند. همچنین در ردیف ساختمان‌های به هم چسبیده، پیش‌آمدگی ساختمان‌ها نباید موجب ایجاد سایه بر روی ساختمان مجاور باشد.



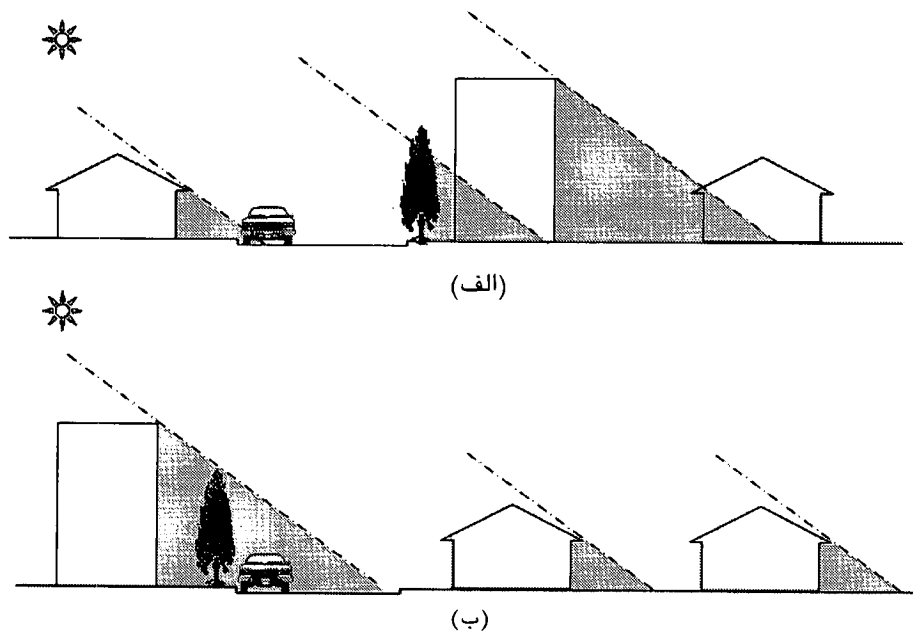
تصویر ۱۶: عدم رعایت فواصل مناسب از خیابان‌ها در ردیف ساختمان‌ها موجب ایجاد سایه بر روی یکدیگر می‌شود

در تقسیم زمین نیز باید به این نکته توجه داشت که در زمین های هم مساحت، زمین با عرض کم و عمق بیشتر در جهت شمال جنوب امکان دستیابی به آفتاب بیشتری در مقایسه با زمین با عمق کمتر و عرض بیشتر خواهد داشت.



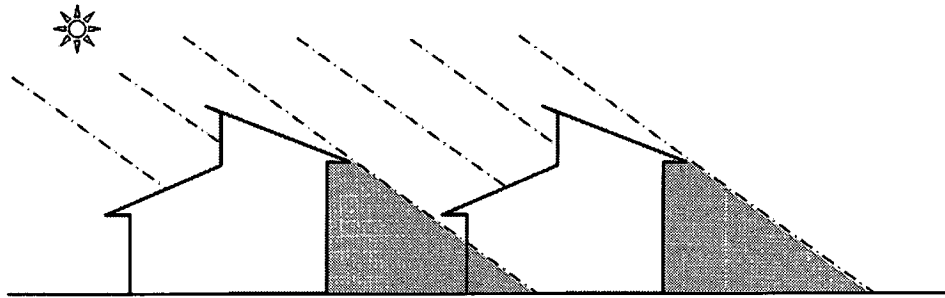
تصویر ۱۷: کارایی بهتر زمین های با عمق بیشتر در بهره مندی از نور خورشید

در مواقعی که خیابان ها و کوچه های شرقی غربی عرض کافی و مناسب را دارند، بهتر است ساختمان ها و درخت های بلند در ضلع جنوبی خیابان ها واقع شوند تا سایه آنها بر روی ساختمان های شمالی نیافتد.



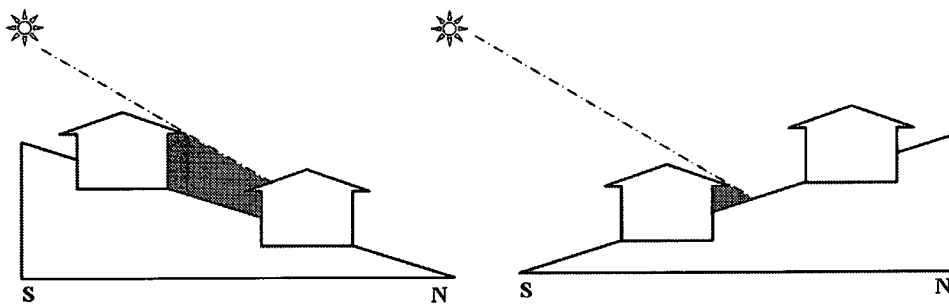
تصویر ۱۸: قرارگیری ساختمان ها و درختان بلند در ضلع جنوبی خیابان های شرقی غربی به منظور بهره مندی بهتر از نور خورشید

در غیر اینصورت بهتر است در مواردی که ساختمان‌ها به ناچار بر روی یکدیگر سایه می‌اندازند از پنجره‌های سقفی و زیر شیروانی جهت نفوذ آفتاب به داخل بناها استفاده کرد.



تصویر ۱۹: استفاده از پنجره‌های سقفی و زیر شیروانی جهت نفوذ آفتاب به داخل بناها

در زمین‌های شیب‌دار رو به جنوب فاصله ساختمان‌ها می‌تواند کمتر باشد زیرا سایه ساختمان‌ها کوتاه‌تر بوده در حالیکه در زمین‌های شیب‌دار رو به شمال به دلیل بلند تر بودن سایه این فاصله می‌بایست بیشتر باشد. مطالب ذکر شده بیشتر در جهت گرمایش ساختمان‌ها با بهره‌گیری از انرژی خورشیدی بوده و نورگیری بناها به منظور روشنایی بحث مستقل دیگری می‌باشد.



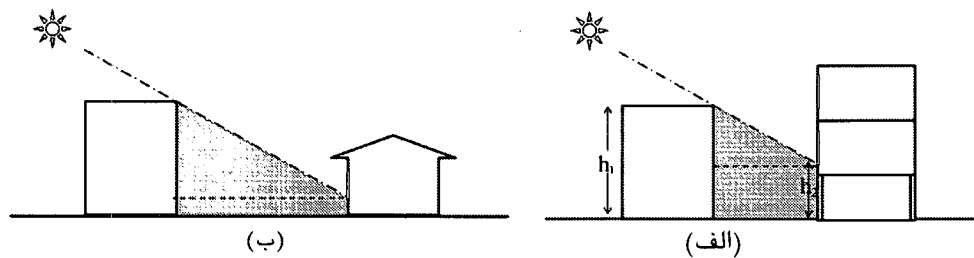
تصویر ۲۰: در زمین‌های شیب‌دار رو به جنوب (الف)، فواصل بین ساختمان‌ها می‌تواند کاهش یابد در حالی که در زمین‌های شیب‌دار رو به شمال (ب)، این مطلب به عکس است

جدول زیر حداقل فاصله شمالی جنوبی بین ساختمان‌ها را در زمین‌های مسطح در عرض‌های جغرافیایی مختلف ارائه می‌نماید.

جدول ۲: حداقل فاصله شمالی جنوبی بین ساختمان‌ها بر حسب ارتفاع ساختمان مقابل.

| عرض جغرافیایی | ۲۶° | ۲۸° | ۳۰° | ۳۲° | ۳۴° | ۳۶° | ۳۸° | ۴۰° |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| زاویه ارتفاع خورشید (صبح ۹) | ۲۴/۲ | ۲۲/۸ | ۲۱/۳ | ۱۹/۹ | ۱۸/۴ | ۱۷ | ۱۵/۵ | ۱۴ |
| فاصله نسبت به ارتفاع | ۱/۵۷h | ۱/۶۸h | ۱/۸۱h | ۱/۹۴h | ۲/۱۲h | ۲/۳۱h | ۲/۵۵h | ۲/۸۴h |

فاصله‌های ذکر شده در جدول فوق به منظور دسترسی به نور خورشید در سطح زمین می‌باشند. اگر در ساختمانی کف پنجره از سطح زمین فاصله داشته باشد و یا اولین طبقه بالاتر از سطح زمین بنا شود (در مواردی که طبقه اول روی پیلوتی قرار دارد)، طبیعتاً فاصله بین ساختمان‌ها می‌تواند اندکی کاهش یابد. جهت محاسبه، از ارتفاع عنصر مقابلی که سایه می‌اندازد، به اندازه فاصله کف پنجره تا سطح زمین کاسته می‌شود. از همین روش می‌توان برای محاسبه اندازه سایه روی سطوح شیب‌دار نیز استفاده کرد.



تصویر ۲۱: هر چه ارتفاع کف پنجرهٔ اولین طبقه بیشتر باشد، فاصلهٔ بین ساختمان‌ها می‌تواند کمتر باشد

مطالب ارائه شده بیان‌گر اصول ترسیم و محاسبهٔ الگوی حرکت سایه به صورت دستی می‌باشد. شایان توجه است که امروزه برنامه‌های کامپیوتری متعددی در این زمینه وجود دارند که الگوی دقیق حرکت سایهٔ اشیاء را بر روی سطوح مختلف نشان می‌دهد. این برنامه‌ها قادرند که مسیر حرکت سایهٔ ساختمان‌های پیچیده‌تر، با جهت‌گیری و توپوگرافی متفاوت را ارائه دهند.

نتیجه‌گیری

- بر اساس مطالعات فوق، اصول طراحی سایت و مجموعه‌های مسکونی مبتنی بر صرفه‌جویی در مصرف انرژی به واسطهٔ بهره‌مندی از انرژی خورشیدی، به صورت خلاصه به شرح زیر ارائه می‌گردد:
- بهترین ساعات استفاده از انرژی خورشیدی در زمستان بین ساعات ۹ صبح الی ۳ بعد از ظهر است و به همین علت الگوی سایه برای این ساعات تهیه می‌شود.
- شکل سایه بسته به نوع توپوگرافی، درصد شیب و جهت شیب زمین متغیر است.
- در شیب‌های رو به پایین نسبت به جهت سایه، طول سایه بلندتر و به عکس در شیب‌های رو به بالا طول سایه کم‌تر می‌باشد.
- در زمین‌هایی که دارای شیب رو به جنوب هستند، طول سایه‌ها کوتاه‌تر بوده و در نتیجه ساختمان‌ها می‌توانند متراکم‌تر احداث شوند. این مسئله در زمین‌های شیب‌دار رو به شمال به عکس است.
- جهت پرهیز از سایه‌اندازی ساختمان‌های جنوبی بر روی ساختمان‌های شمالی، باید فاصلهٔ مناسب بین بلوک‌های جنوبی و شمالی رعایت شود که این موضوع بسته به ارتفاع ساختمان، عرض جغرافیایی محل و توپوگرافی زمین متغیر است.
- در تفکیک قطعات زمین باید دقت نمود که در زمین‌های هم مساحت، قطعات با عرض کم‌تر و عمق بیشتر، کارایی بهتری از لحاظ دریافت انرژی خورشیدی دارند.
- بهترین حالت نورگیری بنا به لحاظ صرفه‌جویی در مصرف انرژی، از سمت جنوب است. بنابراین خیابان‌های شرقی/غربی مناسب‌ترین جهت احداث خیابان‌ها است.
- در خیابان‌هایی که به ناچار به صورت شمالی/جنوبی احداث می‌شوند، باید ضلع کوچک‌تر بلوک‌ها به سمت خیابان باشد.
- در خیابان‌های مورب نیز باید جهت استقرار بلوک‌ها به نحوی باشد که نورگیری از سمت جنوب امکان‌پذیر باشد.
- خیابان‌های مورب با زاویهٔ بازتر امکان نورگیری بیشتری دارند.

پی‌نوشت‌ها:

Passive Cooling Systems ۱
Azimut angle ۲

منابع و ماخذ

- Lechner, N. 1991. Heating, Cooling, Lighting: Design Methods for Architects. Wiley. New York.
North Carolina Solar Center fact sheet. 2000. The Energy Division, N.C. Department of Commerce, SC122.
Robinette, Gary, 1983. Energy Efficient Site Design. New York, Van Nostrand Reinhold.