طراحی بهینه سایبان خورشیدی متحرک به همراه تولید برق و اثر آن روی جریان انرژی یک اتاق اداری مشخص

ترنم پرهیزگار[۱]، هامون جعفریان[۲]، یاسر کیالاشکی[*۳]، یدالله سبوحی[۴]

تاریخ دریافت مقاله:
۱۳۹۰/۱۰/۰۳
تاریخ پذیرش مقاله:
۱۳۹۱/۰۲/۲۰

کلمات کلیدی:
سایبان متحرک، روشنایی طبیعی، بار سرمایشی، کنترل سایبان، شبیه‌سازی ساعتی

چکیده:

استفاده از سایبان خورشیدی متحرک نقش مهمی در کاهش تقاضای انرژی دارد. ترکیب سیستم روشنایی هوشمند با سایبان متحرک و استفاده از سلول‌های خورشیدی در سایبان می‌تواند کاهش بیشتری در تقاضای انرژی ایجاد کند. در این مطالعه، سه طرح سایبان و دو سیستم روشنایی هوشمند (تدریجی، روشن-خاموش) و گزینه استفاده از سلول‌های خورشیدی در سایبان که در مجموع، ۱۲ حالت را ایجاد می‌کنند، بررسی شده‌اند و بهترین ترکیب از نظر میزان صرفه‌جویی انرژی الکتریکی و مدت بازگشت سرمایه به دست آمده است. در هر یک از ترکیب‌های فوق جهت محاسبه میزان صرفه‌جویی انرژی مصرفی، شبیه‌سازی‌های ساعتی برای محاسبه میزان روشنایی، برق تولیدی (در صورت استفاده از سلول‌های خورشیدی)، میزان حرارت ناشی از تابش خورشید به داخل اتاق انجام شده‌است. نتایج بررسی نشان داد که با استفاده از ترکیب سیستم روشنایی هوشمند تدریجی و سلول‌های خورشیدی در طرح شماره۲ بیشترین صرفه‌جویی و کمترین مدت زمان بازگشت سرمایه حاصل می‌شود.

۱) دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی سیستم‌های انرژی دانشگاه شریف parhizkar@energy.sharif.ir
۲) دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی سیستم‌های انرژی دانشگاه شریف jafarian@energy.sharif.ir
*۳) دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی سیستم‌های انرژی دانشگاه شریف kiya@energy.sharif.ir
۴) پژوهشکده علوم و فناوری انرژی دانشگاه شریف saboohi@sharif.edu

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-18]

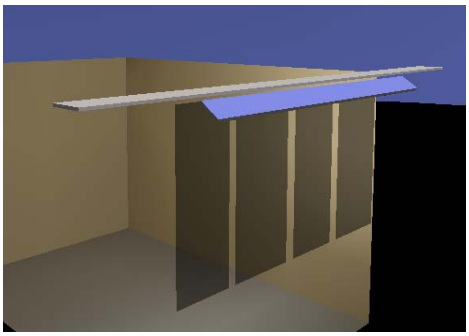
مقدمه

کاهش گرمای ورودی ناشی از تابش مستقیم خورشید و در عین حال بیشینه کردن استفاده از نور طبیعی، عامل اصلی در طراحی سایبان می باشد. سایبان ها به دو دسته سایبان های ثابت و متحرک تقسیم می‌شوند و سایبان‌های متحرک خود دارای دو گروه دستی و موتوردار می‌باشند. با توجه به تغییر موقعیت نسبی خورشید در طول روز و همچنین ناچیز بودن مصرف انرژی موتورهای الکتریکی، سایبان‌های موتوردار بهترین گزینه برای کنترل میزان گرما و نور ورودی می‌باشند.

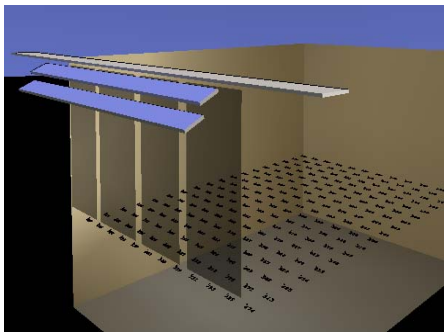
در این زمینه مطالعات مختلفی انجام شده که تفاوت‌های اصلی در این مطالعات، طرح سایبان مورد بررسی، هدف از کنترل (کمینه کردن تابش ورودی، بیشینه کردن استفاده از نور طبیعی و هر دو بطور همزمان) و ابزار شبیه سازی می‌باشند. به عنوان مثال، در زمینه سایبان‌های ثابت Nedhal et al [9] چهار طرح سایبان[1] را با استفاده از نرم‌افزار آی ایی اس[2] شبیه سازی نمودند تا بهترین گزینه جهت کاهش تابش ورودی و پایین آوردن دمای داخل ساختمان مورد مطالعه را بیابند. در مطالعه دیگر David et al [8] چهار طرح دیگر[3] از سایبان را با هدف کاهش همزمان تابش ورودی و انرژی الکتریکی مصرفی جهت تامین روشنایی ، به کمک نرم افزار انرژی پلاس[4] شبیه سازی نمودند و ابعاد بهینه این سایبان‌ها را برای ساختمان مورد مطالعه به دست آوردند. Alzoubi et al [6] نیز با استفاده از نرم افزار لایت اسکیپ[5] پتانسیل صرفه‌جویی الکتریکی جهت تامین روشنایی سایبان‌های کرکره‌ای[6] افقی و عمودی را در در ساختمان مورد مطالعه خود به دست آوردند. در گروه سایبان‌های متحرک می‌توان به کار Tzempelikos et al [3] اشاره کرد که با ترکیب سایبان چرخان[7] موتوردار (دو حالت باز/ بسته) و سیستم کنترل روشنایی هوشمند (روشن/خاموش) هدف کاهش همزمان تابش ورودی و انرژی الکتریکی مصرفی جهت روشنایی را دنبال کردند و تاثیر مشخصات سایبان (ضریب گذردهی نور) بر پتانسیل صرفه‌جویی انرژی را با شبیه‌سازی به کمک مدل کوپل شده روشنایی گرمایی بررسی نمودند. همچنین Kapsis et al [7] سایبان متحرک موتوردار چرخان پایین به بالا را که بر خلاف نوع متداول آن، از پایین پنجره به سمت بالا باز می‌شود، با استفاده از مدل روشنایی که خود توسعه داده و با آزمایش‌های تجربی اعتبار بخشی نموده‌اند، جهت کمینه کردن انرژی الکتریکی مصرفی برای روشنایی و همچنین اطمینان از تامین شرایط مناسب روشنایی و جلوگیری از تابش مستقیم خورشید بررسی نموده‌اند. در کار حاضر، طرح‌های متفاوتی از سایبان متحرک (مطابق شکل‌های ۱ ، ۲ و ۳) بررسی شده‌است. در این مطالعه، جهت افزایش بهره‌وری طرح، علاوه بر ترکیب سیستم سایبان متحرک با سیستم هوشمند

1) Horizontal shading, Vertical shading, Curve shading, Egg-crate shading
2) IES
3) Simple overhang, Infinite overhang, Overhang and rectangular side fins Overhang and triangular side fins
4) ENERGY PLUS
5) Lightscape
6) Louver
7) Roller shade

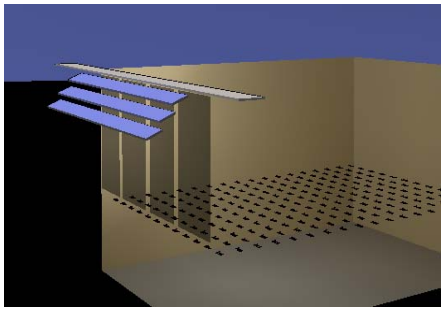
[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-18]



شکل ۱): طرح شماره ۱



شکل ۲): طرح شماره ۲



شکل ۳) : طرح شماره ۳

روشنایی، گزینه استفاده از سلول‌های خورشیدی در سایبان نیز بررسی شده است، به این معنی که در هر لحظه، زاویه بهینه سایبان با در نظر گرفتن همزمان سه هدف، کمینه کردن تابش ورودی، کمینه کردن استفاده از روشنایی مصنوعی و بیشینه کردن برق تولیدی تعیین شده است. همچنین امکان‌سنجی اقتصادی طرح نیز انجام شده است که حامل‌های انرژی بر اساس هزینه (نه تنها میزان انرژی آنها) با هم قابل مقایسه شده‌اند. مورد مطالعه شده در این بررسی، اتاقی اداری در پژوهشکده علوم و فن‌آوری انرژی دانشگاه صنعتی شریف می‌باشد.

شبیه سازی

به منظور محاسبه میزان انرژی لازم برای رسیدن به شرایط آسایش که همان تامین روشنایی در محدوده استاندارد و دمای آسایش است، باید شرایط اتاق به صورت گذرا باشد که این امر با کمک شبیه‌سازی حاصل می‌گردد. همچنین در این بخش، میزان برق تولیدی در صورت استفاده از سلول‌های خورشیدی در سایبان به کمک شبیه‌سازی ساعتی محاسبه گردیده است.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-18]

شبیه سازی روشنایی

در این مقاله جهت شبیه سازی روشنایی فضای اتاق از نرم افزار ای‌جی‌ای[1] استفاده می شود. در این برنامه جهت تحلیل روشنایی، علاوه بر طرح و موقعیت سایبان و تعیین محل جغرافیایی، هندسه اتاق و همچنین مشخصات سطوح از جمله ضریب انعکاس دیوارها و ضریب گذردهی نور شیشه ها تعیین می‌شود. همچنین برای اندازه گیری نور در داخل اتاق یک صفحه مجازی در ارتفاع ۰,۹ متر از کف در نظر گرفته شده که ارتفاع تقریبی میزهای کار می‌باشد. خروجی این نرم افزار، میانگین نور طبیعی داخل اتاق روی صفحه کار برای هر زاویه سایبان، هر طرح، در هر ساعت از روزهای بررسی شده، می‌باشد. با توجه به استانداردهای موجود[2]، حداقل نور مورد نیاز جهت کاربری اداری ۴۰۰ لوکس می‌باشد. چنانچه نور طبیعی کمتر از این مقدار باشد، جهت تامین روشنایی از نور مصنوعی استفاده می‌شود.

شبیه سازی شار گرمای ورودی

در این مقاله جهت تعیین شار گرمای ورودی در هر زاویه، هر طرح و در هر ساعت از روز از نرم‌افزار اکوتکت[3] استفاده شده است. در این نرم‌افزار جهت شبیه‌سازی، علاوه بر طرح و موقعیت مکانی محل، فضای مورد نظر ، ابعاد، جنس و ویژگی دیوار و پنجره به عنوان ورودی به برنامه داده می شود. خروجی این نرم افزار، شار حرارتی ورودی از پنجره به داخل اتاق، برای هر زاویه سایبان، هر طرح و در هر ساعت از روزهای بررسی شده، می‌باشد.

شبیه سازی برق تولیدی

در این مقاله جهت محاسبه میزان برق تولیدی حاصل از سلول‌های خورشیدی بکار رفته در سایبان، از نرم افزار اکوتکت استفاده شده است. طرح و موقعیت سایبان و تعیین محل جغرافیایی و نوع سلول خورشیدی استفاده شده[4]، ورودی‌های برنامه می‌باشد. خروجی این نرم‌افزار، میزان برق تولیدی، برای هر زاویه سایبان، هر طرح و در هر ساعت از روزهای بررسی شده، می‌باشد.

نتایج

در این بخش به مقایسه طرح های مختلف می‌پردازیم. این مقایسه بر اساس میزان صرفه جویی آنها نسبت به حالتی است که سایبان وجود ندارد. برای مقایسه، پارامترهایی که نصب سایبان بر آنها اثر می‌گذارد ازجمله میزان گرمای ورودی و

1) AGI32
2) CIBSE(Chartered Institution of building services Engineers)
3) ECOTECT
4) CY-TP03-6

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-18]

نور ورودی و برق تولیدی در طرح‌هایی که از پنل خورشیدی استفاده شده است، بررسی می شوند. این مقایسه بر اساس دو راهبرد انجام می شود:

راهبرد اول

با توجه به اینکه وظیفه اصلی سایبان کاهش اوج بار سرمایشی و جلوگیری از تابش مستقیم نور خورشید و در عین حال استفاده بیشینه از نور طبیعی می باشد، در راهبرد اول زوایای بهینه بر اساس ایجاد بیشترین صرفه جویی انرژی الکتریکی (صرفه‌جویی در تامین بار سرمایشی و نور کافی) انتخاب می شوند و مقادیر سالانه ارائه می‌گردد.

ابتدا میزان انرژی الکتریکی مصرفی برای تامین شرایط آسایش را در حالتی که سایبان خارجی وجود ندارد محاسبه نموده و در ادامه همین مصرف، برای طرح های مختلف حساب می‌شود. تفاضل موجود صرفه‌جویی طرح را نشان می‌دهد.

فرض شده‌است که اتاق در دمای آسایش قرار دارد و با ورود گرما از پنجره تعادل دمایی به هم می‌خورد و در فصل‌های گرم، سیستم سرمایش با صرف انرژی بیشتر این گرمای اضافی را دفع می‌کند و در فصل‌های سرد، کار سیستم گرمایشی کاهش می‌یابد. وقتی از سایبان استفاده نمی‌شود، فرض شده است که پنجره ها کاملا با پرده پوشیده بوده و برای تامین روشنایی از ساعت ۶ صبح تا ۷ عصر (۱۳ ساعت در روز) تمام لامپ ها روشن خواهند بود. اما زمانی که از سایبان خارجی استفاده می‌کنیم، با توجه به اینکه تخمینی از نور داخل اتاق داریم، منطقی است که از سیستم کنترل روشنایی هوشمند استفاده شود. بر این اساس، در شرایطی که میانگین نور ورودی به اتاق از ۴۰۰ لوکس کمتر می‌شود، در طرح‌هایی که از سیستم روشنایی هوشمند روشن/خاموش استفاده می‌کنند، کل لامپ‌ها روشن می‌شود و در گروه دیگر که با سیستم روشنایی هوشمند تدریجی عمل می‌کنند، لامپ‌ها به اندازه ای که نور داخل به ۴۰۰ لوکس برسد، روشن می‌شوند.

در این راهبرد چون در فصل‌های سرد سیستم سرمایش کار نمی‌کند، تعیین زوایای بهینه فقط بر اساس کمینه کردن مصرف برق برای روشنایی و بیشینه کردن برق تولیدی (در صورتی که از پنل استفاده شود) می‌باشد و کاهش بار حرارتی با استفاده از گرمای همراه نور، به دلیل اینکه این انرژی از جنس انرژی الکتریکی نمی‌باشد و قابل جمع کردن با آن نمی‌باشد و جزو وظایف اصلی سایبان نمی باشد، در نظر گرفته نمی‌شود.

راهبرد دوم

زوایای بهینه بر اساس کمتر کردن هزینه کل انرژی مصرفی درنظر گرفته می‌شوند، به این معنی که زوایا طوری انتخاب می‌شوند که با توجه به قیمت های حامل‌های انرژی سالانه، بیشترین هزینه صرفه‌جویی گردد.

مشابه راهبرد قبل می‌توان صرفه‌جویی سالانه طرح ها را محاسبه نمود با این تفاوت که در این قسمت، هزینه‌های انرژی های صرفه‌جویی شده محاسبه می شود و همچنین هزینه کاهش مصرف انرژی در اثر ورود گرما همراه نور در

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-18]

فصل‌های سرد که باعث کاهش کار سیستم گرمایشی می‌شود نیز برای تعیین زوایای بهینه در نظر گرفته می شود. در این راهبرد با توجه به اینکه جریان‌های انرژی به هزینه تبدیل شده اند، قابل جمع کردن با هم می‌باشند.

در این مطالعه، فرض شده است که در فصل‌های بهار و تابستان آسمان بدون ابر بوده و بار گرمایی ورودی نامطلوب است و باید دفع شود و فصل های پاییز و زمستان آسمان تمام ابری و بار گرمایی ورودی مطلوب است. با توجه به سیستم گرمایشی و سرمایشی بکار رفته در اتاق مورد بررسی، بازده بویلر $\eta = 0/75$ و ضریب عملکرد سیستم سرمایشی تراکمی $2 = Cop$ و همچنین قیمت خرید برق به طور متوسط در سال $\frac{\text{تومان}}{kWh}$ [۱۸۸]، فروش برق تولیدی $\frac{\text{تومان}}{kWh}$ ۱۱۵[۲] و گاز طبیعی $\frac{\text{تومان}}{m^3}$ ۱۰۰[۳] درنظر گرفته شده است

در ادامه، به طور کلی، موارد مصرف انرژی که با نصب سایبان و تغییر زاویه آن تغییر می‌کنند آورده شده‌اند:

۱. تامین روشنایی مصنوعی لازم
۲. صرفه جویی ناشی از برق تولیدی در طرح هایی که از پنل استفاده می‌شود.
۳. تامین سرمایش برای جبران گرمای ورودی از پنجره در فصل‌های گرم
۴. تامین سرمایش برای جبران گرمای حاصل از روشنایی مصنوعی در فصل‌های گرم
۵. صرفه جویی در اثر گرمای ورودی از پنجره در فصل‌های سرد
۶. صرفه جویی در اثر گرمای حاصل از روشنایی مصنوعی در فصل‌های سرد

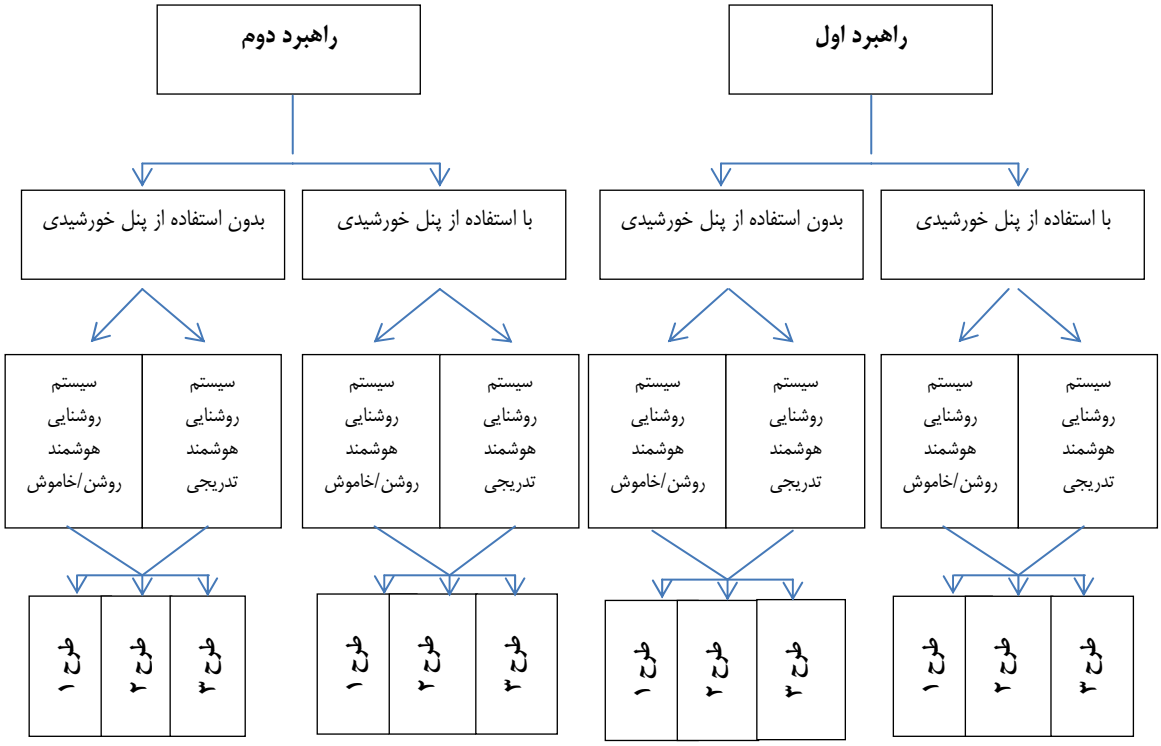
با توجه به توضیحاتی که در بالا داده شد، موارد ۵ و ۶ در راهبرد اول بررسی نخواهند شد.

در شکل (۴) حالت‌های مختلف مورد بررسی ارائه شده است که در کل ۲۴ حالت می‌باشد.

---

۱) متوسط نرخ برق در سال ۱۳۹۰ منتشر شده توسط وزارت نیرو
۲) قیمت پیشنهادی وزارت نیرو برای خرید برق حاصل از انرژی های نو در اوایل سال ۱۳۹۰
۳) تعرفه گاز طبیعی در سال ۱۳۹۰ منتشر شده توسط شرکت ملی گاز ایران

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-18]



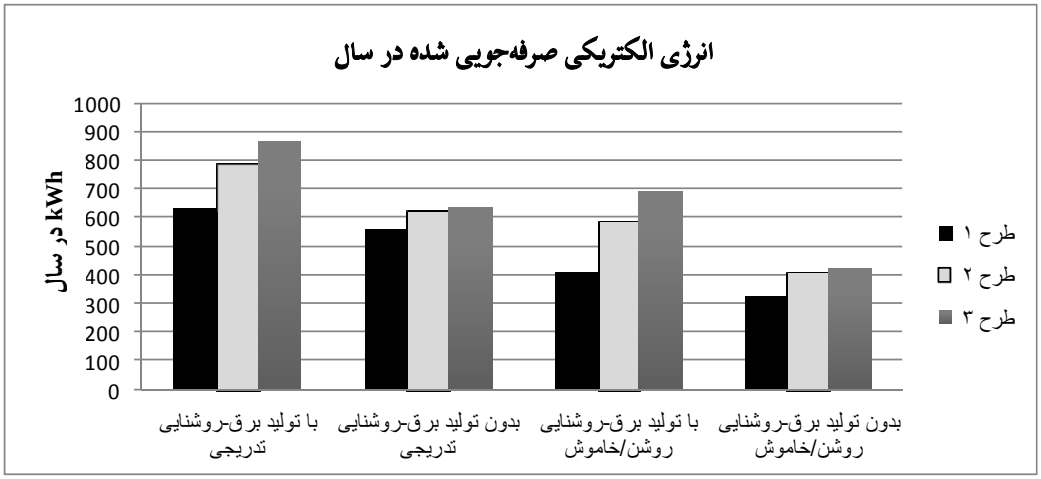
شکل ٤): دسته بندی حالت های بررسی شده

نتایج راهبرد اول

جدول ۱): نتایج طرح ها در راهبرد اول

حالت‌های بررسی شده	شماره طرح	میزان صرفه جویی سالانه (kWh)
تولید برق با سیستم روشنایی هوشمند روشن/خاموش	اول	۴۱۶/۱
	دوم	۵۸۸
	سوم	۶۹۸/۴
بدون تولید برق با سیستم روشنایی هوشمند روشن/خاموش	اول	۳۲۶/۷
	دوم	۴۱۰/۴
	سوم	۴۲۸/۷
تولید برق با سیستم روشنایی هوشمند تدریجی	اول	۶۳۷/۸
	دوم	۷۹۱/۷
	سوم	۸۷۴/۲
بدون تولید برق با سیستم روشنایی هوشمند تدریجی	اول	۵۵۹/۵
	دوم	۶۲۹/۱
	سوم	۶۴۱/۷

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-18]



شکل۵): نتایج طرح ها در راهبرد اول

همان‌طور که در شکل (۵) مشخص است، در طرح‌های با تولید برق و همچنین در طرح‌های بدون تولید برق، استفاده از سیستم روشنایی تدریجی به جای سیستم روشنایی روشن/خاموش، اختلاف قابل توجهی در میزان صرفه جویی ایجاد می‌کند.

همچنین در طرح‌های بدون تولید برق، اختلاف انرژی صرفه‌جویی شده طرح‌های ۲ و ۳ کم می‌باشد در حالی که هزینه سرمایه‌گذاری اولیه طرح۳ بیشتر است و این نتیجه حاصل می‌شود که در شرایط اتاق مورد مطالعه، طرح ۲ طرح انتخابی خواهد بود. در طرح‌های با تولید برق، اختلاف بین طرح‌های ۲ و ۳ قابل توجه است ولی این اختلاف بیشتر مربوط به تولید برق از پره سوم طرح می‌باشد و از آنجا که هدف از سایبان، کاهش بار سرمایشی و برق مصرفی برای روشنایی و تولید برق به طور همزمان است، این اختلاف نمی‌تواند قابل قبول باشد چون تنها در اثر تولید برق ایجاد شده است. بنابراین، باز هم طرح ۲ در این دسته از طرح‌ها، طرح منتخب خواهد بود.

تفاوت حالت‌ها ناشی از تولید برق یا عدم تولید برق، سیستم روشنایی هوشمند روشن/خاموش یا تدریجی و هندسه طرح‌ها می‌باشد که مقادیر صرفه‌جویی مختلفی را نتیجه می‌دهند. در ادامه، برای هر یک از موارد بالا مثالی آورده شده است تا دلایل اختلاف صرفه‌جویی‌ها بررسی شود. در شکل (۶) به عنوان نمونه، در روز ۱۵ مرداد روند زوایای بهینه برای طرح ۲ در دسته طرح های بدون تولید برق، برای سیستم روشنایی روشن/خاموش و تدریجی آورده شده است. همان طور که مشاهده می‌نمایید، در بعضی ساعات این زوایا متفاوت است. به عنوان مثال، روند انتخاب زاویه در ساعت ۹:۰۰ صبح در این دو طرح را بررسی می‌کنیم. در این ساعت این روز و برای طرح ۲، نور ورودی و مقدار برقی که برای جبران حرارت ورودی در سیستم سرمایشی مصرف می‌شود، در جدول شماره (۲) آورده شده است. در حالتی که از سیستم روشنایی

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-18]

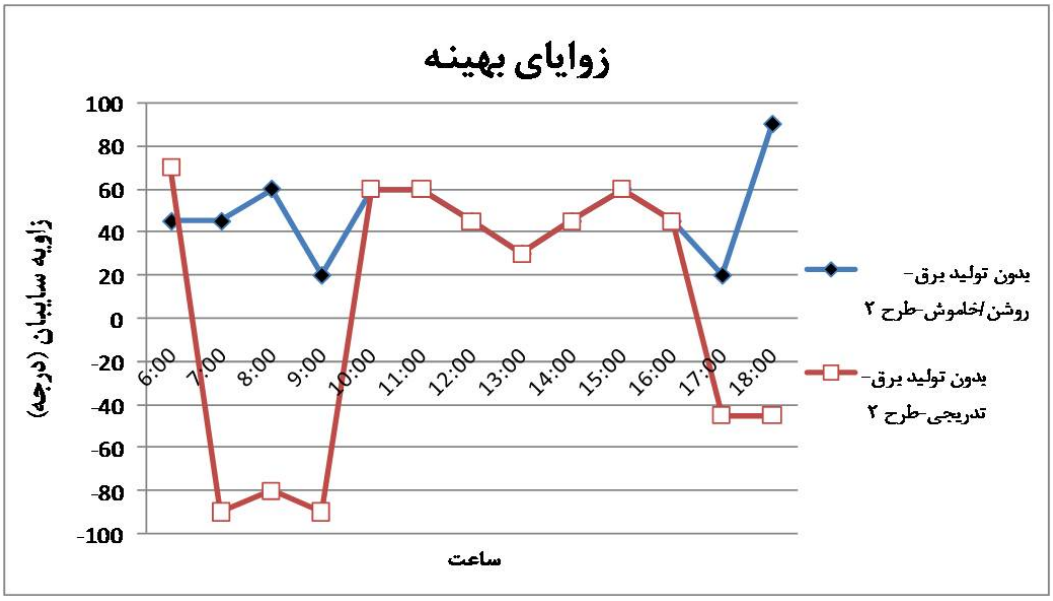
تدریجی استفاده می‌شود، زاویه ۹۰- درجه کمترین مصرف برق برای تامین شرایط آسایش را دارد چون تنها برق برای تامین (۳۹۸/۲۷-۴۰۰) لوکس نور مصرف می شود که برابر ۷/۷۸۵ وات ساعت می باشد که اگر با برقی که برای دفع حرارت در این زاویه محاسبه شده جمع شود برابر ۱۶۵/۳۵۵ وات ساعت می‌شود که از برق مصرفی در تمام زوایای دیگر کمتر است. ولی در حالتی که از سیستم روشن/خاموش استفاده می‌شود، اگر میانگین نور زیر ۴۰۰ لوکس باشد، تمام لامپ‌ها روشن شده و در نتیجه در آن ساعت ۱۸۰ وات ساعت برق برای روشنایی مصرف می شود. بنابراین، با توجه به تغییرات کم برق مصرفی برای دفع گرما، منطقی است که زاویه ای انتخاب شود که نور داخل اتاق را بیش از ۴۰۰ لوکس نگه دارد و کمترین گرما را وارد کند که همان زاویه ۲۰ درجه می‌باشد.

در این مثال، مشخص است که وقتی از سیستم روشنایی تدریجی استفاده می‌کنیم، علاوه بر اینکه تنها برق برای تامین اختلاف موجود تا ۴۰۰ لوکس مصرف می‌شود، امکان انتخاب کمترین گرمای ورودی نیز افزایش می‌یابد و به این ترتیب، امکان صرفه جویی بیشتر فراهم می‌شود.

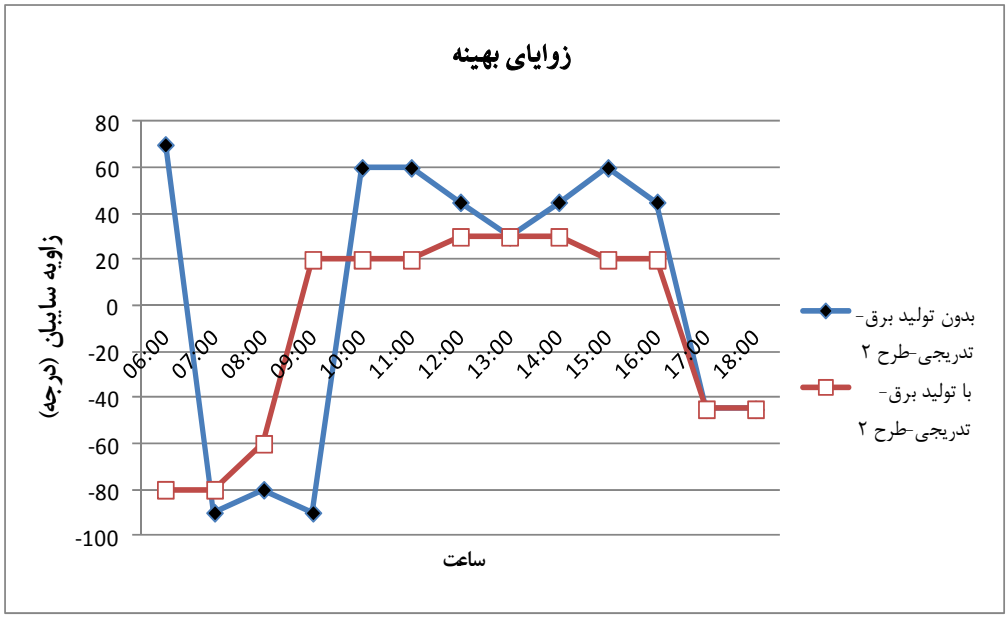
در شکل (۷) زوایای بهینه طرح ۲ برای دو حالت با تولید برق و بدون تولید برق با سیستم روشنایی تدریجی به طور نمونه برای روز ۱۵ مرداد نمایش داده شده‌اند. همان طور که مشخص است، در بعضی ساعات زوایای بهینه برای این طرح‌ها متفاوت است. در ادامه، به عنوان نمونه، دلیل این اختلاف را برای ساعت ۱۱:۰۰ صبح بررسی می‌کنیم.

در طرح ۲ بدون تولید برق در ساعت ۱۱:۰۰ صبح زاویه ۶۰ درجه زاویه بهینه می باشد زیرا با توجه به جدول (۳) علاوه بر اینکه نور لازم در این زاویه به طور طبیعی تامین می‌شود و برقی برای روشنایی مصرف نمی‌شود، کمترین مصرف برق برای دفع حرارت ورودی را هم داریم. اما وقتی طرح ۲ با تولید برق بررسی می‌شود، زاویه ۲۰ درجه زاویه بهینه می‌باشد چون در این زاویه نسبت به زاویه ۶۰ درجه برق بیشتری تولید می‌شود و اگرچه برقی که برای دفع حرارت در این زاویه باید صرف شود بیشتر از ۶۰ درجه می‌باشد، اما برق تولیدی آن را نیز جبران می‌کند و درنتیجه، در این زاویه، مصرف برق در کل برای ما کمترین می‌باشد. در سایر ساعت‌ها نیز همین استدلال دلیل تفاوت زوایا می‌باشد. همان طور که در این مثال مشاهده می‌شود، استفاده از طرح ها با تولید برق امکان صرفه جویی انرژی الکتریکی را برای ما بیشتر می‌کنند.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-18]



شکل ٦): زوایای بهینه در طرح ۲ بدون تولید برق با سیستم روشنایی تدریجی و روشن/خاموش در ۱۵ مرداد



شکل ۷): زوایای بهینه در طرح ۲ با سیستم روشنایی تدریجی با تولید برق و بدون تولید برق در ۱۵ مرداد

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-18]

جدول۲): شرایط داخل اتاق برای روز ۱۵ مرداد ساعت ۹:۰۰ صبح طرح ۲ در زوایای مختلف

زوایای سایبان	-۹۰	-۸۰	-۷۰	-۶۰	-۴۵	-۳۰	-۲۰	-۱۰	۰	۱۰	۲۰	۳۰	۴۵	۶۰	۷۰	۸۰	۹۰
میانگین نور اتاق(Lux)	۳۹۸/۲۷۰	۴۱۱/۶۵۰	۴۳۲/۷۰۰	۴۴۴/۴۸۰	۴۵۶/۶۱۰	۴۴۴/۵۹۰	۴۳۷/۶۲۰	۴۲۸/۱۷۰	۴۱۷/۹۹۰	۴۰۸/۴۵۰	۴۰۰/۳۵۰	۳۹۳/۲۵۰	۳۸۷/۷۶۰	۳۸۵/۲۸۰	۳۸۶/۸۴۰	۳۹۱/۸۶۰	۳۹۸/۲۷۰
مقدار برق مصرفی برای جبران گرما(kWh)	۱۵۷/۵۷	۰/۱۶۲	۰/۱۶۹	۰/۱۷۴	۰/۱۷۹	۰/۱۷۹	۰/۱۷۶	۰/۱۷۰	۰/۱۶۷	۰/۱۶۲	۰/۱۵۸	۰/۱۵۵	۰/۱۵۲	۰/۱۵۲	۰/۱۵۳	۰/۱۵۵	۰/۱۵۷

جدول۳): شرایط داخل اتاق برای روز ۱۵ مرداد ساعت ۱۱:۰۰ صبح طرح ۲ در زوایای مختلف

زوایا	-۹۰	-۸۰	-۷۰	-۶۰	-۴۵	-۳۰	-۲۰	-۱۰	۰	۱۰	۲۰	۳۰	۴۵	۶۰	۷۰	۸۰	۹۰
میانگین نور اتاق (Lux)	۱۲۴۷/۲۸۰	۱۲۶۴/۰۰۰	۱۲۸۲/۲۲۰	۱۳۰۴/۷۱۰	۱۳۲۳/۱۴۰	۱۳۰۴/۹۳۰	۷۰۸/۶۰۰	۶۹۶/۰۹۰	۶۸۳/۰۱۰	۶۷۰/۴۵۰	۶۵۹/۶۶۰	۶۵۰/۶۷۰	۶۴۳/۲۶۰	۶۴۱/۲۷۰	۱۲۲۹/۶۳۰	۱۲۳۷/۴۳۰	۱۲۴۷/۲۸
مقدار برق مصرفی برای جبران گرما (kWh)	۰/۲۹۲	۰/۲۹۵	۰/۳۰۰	۰/۳۰۶	۰/۲۹۵	۰/۲۸۰	۰/۲۷۷	۰/۲۵۷	۰/۲۶۹	۰/۲۶۳	۰/۲۵۹	۰/۲۵۶	۰/۲۵۴	۰/۲۵۳	۰/۲۵۵	۰/۲۸۶	۰/۲۸۹
برق تولیدی در پنل (kWh)	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	-۰/۰۰۸	-۰/۰۲۴	-۰/۰۴۵	-۰/۰۶۶	-۰/۰۷۶	-۰/۰۸۴	-۰/۰۹۰	-۰/۰۹۴	-۰/۰۹۴	-۰/۰۹۰	-۰/۰۸۰	-۰/۰۶۶	-۰/۰۵۴	-۰/۰۴۰	-۰/۰۲۴

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-18]

جدول ٤): شرایط داخل اتاق برای روز ۱۵ مرداد ساعت ۸:۰۰ صبح طرح ۲ در زوایای مختلف

زوایا	-۹۰	-۸۰	-۷۰	-۶۰	-۴۵	-۳۰	-۲۰	-۱۰	۰	۱۰	۲۰	۳۰	۴۵	۶۰	۷۰	۸۰	۹۰
هزینه برق مصرفی برای دفع گرما(تومان)	۱۲/۸۷۴	۱۳/۱۲۵	۱۳/۶۲۷	۱۴/۱۲۸	۱۴/۵۴۶	۱۴/۵۴۶	۱۴/۲۱۲	۱۳/۷۱۰	۱۳/۵۴۳	۱۳/۰۴۲	۱۲/۷۰۷	۱۲/۴۵۶	۱۲/۲۸۹	۱۲/۲۰۶	۱۲/۲۸۹	۱۲/۴۵۶	۱۲/۶۲۴
میانگین نور اتاق(Lux)	۳۱۰/۷۷۰	۳۲۶/۱۵۰	۳۳۷/۸۲۰	۳۴۳/۵۰۰	۳۵۱/۰۰۰	۳۴۲/۳۶۰	۳۳۷/۵۳۰	۳۲۹/۵۵۰	۳۲۱/۳۲۰	۳۱۳/۶۳۰	۳۰۷/۱۰۰	۳۰۱/۷۵۰	۲۹۶/۹۲۰	۲۹۵/۰۵۰	۲۹۶/۲۵۰	۲۹۹/۸۰۰	۳۱۰/۷۷۰
هزینه برق مصرفی برای تامین روشنایی ۴۰۰ لوکس(تومان)	۳/۵۳۴	۲/۹۲۴	۲/۴۶۲	۲/۲۳۷	۱/۹۴۰	۲/۲۸۳	۲/۴۷۴	۲/۷۹۰	۳/۱۱۶	۳/۴۲۰	۳/۶۷۹	۳/۸۹۱	۴/۰۸۲	۴/۱۵۶	۴/۱۰۹	۳/۹۶۸	۳/۵۳۴
مجموع هزینه ها (تومان)	۱۶/۴۰۸	۱۶/۰۵۰	۱۶/۰۸۹	۱۶/۳۶۶	۱۶/۴۸۷	۱۶/۸۲۹	۱۶/۶۸۶	۱۶/۵۰۰	۱۶/۶۵۹	۱۶/۴۶۲	۱۶/۳۸۶	۱۶/۳۴۷	۱۶/۳۷۱	۱۶/۳۶۲	۱۶/۳۹۸	۱۶/۴۲۴	۱۶/۱۵۷

جدول ۵): شرایط داخل اتاق برای روز ۱۵ مرداد ساعت ۸:۰۰ صبح طرح ۱ در زوایای مختلف

زوایا	-۹۰	-۸۰	-۷۰	-۶۰	-۴۵	-۳۰	-۲۰	-۱۰	۰	۱۰	۲۰	۳۰	۴۵	۶۰	۷۰	۸۰	۹۰
هزینه برق مصرفی برای دفع گرما(تومان)	۱۴/۲۹۶	۱۴/۵۴۶	۱۴/۷۹۷	۱۵/۰۴۸	۱۵/۲۱۵	۱۵/۱۳۲	۱۴/۹۶۴	۱۴/۷۱۴	۱۴/۴۶۳	۱۴/۲۱۲	۱۳/۹۶۱	۱۳/۸۷۸	۱۳/۷۹۴	۱۳/۷۹۴	۱۳/۸۷۸	۱۴/۰۴۵	۱۴/۲۹۵
میانگین نور اتاق(Lux)	۳۳۹/۷۴۰	۳۴۶/۷۴۰	۳۵۲/۰۸۰	۳۵۴/۹۱۰	۳۵۷/۵۷۰	۳۵۱/۵۶۰	۳۴۸/۱۲۰	۳۴۴/۴۱۰	۳۴۰/۸۱۰	۳۳۷/۹۵۰	۳۳۵/۶۵۰	۳۳۳/۳۹۰	۳۳۱/۹۹۰	۳۳۱/۴۶۰	۳۳۲/۱۰۰	۳۳۴/۰۷۰	۳۳۹/۷۴
هزینه برق مصرفی برای تامین روشنایی ۴۰۰ لوکس(تومان)	۲/۳۸۶	۲/۱۰۹	۱/۸۹۸	۱/۷۸۶	۱/۶۸۰	۱/۹۱۸	۲/۰۵۴	۲/۲۰۱	۲/۳۴۴	۲/۴۵۷	۲/۵۴۸	۲/۶۳۸	۲/۶۹۳	۲/۷۱۴	۲/۶۸۹	۲/۶۱۱	۲/۳۸۶
مجموع هزینه ها (تومان)	۱۶/۶۸۲	۱۶/۶۵۵	۱۶/۶۹۵	۱۶/۸۳۴	۱۶/۸۹۵	۱۷/۰۵۰	۱۷/۰۱۹	۱۶/۹۱۵	۱۶/۸۰۷	۱۶/۶۶۹	۱۶/۵۰۹	۱۶/۵۱۵	۱۶/۴۸۷	۱۶/۵۰۸	۱۶/۵۶۶	۱۶/۶۵۶	۱۶/۶۸۱

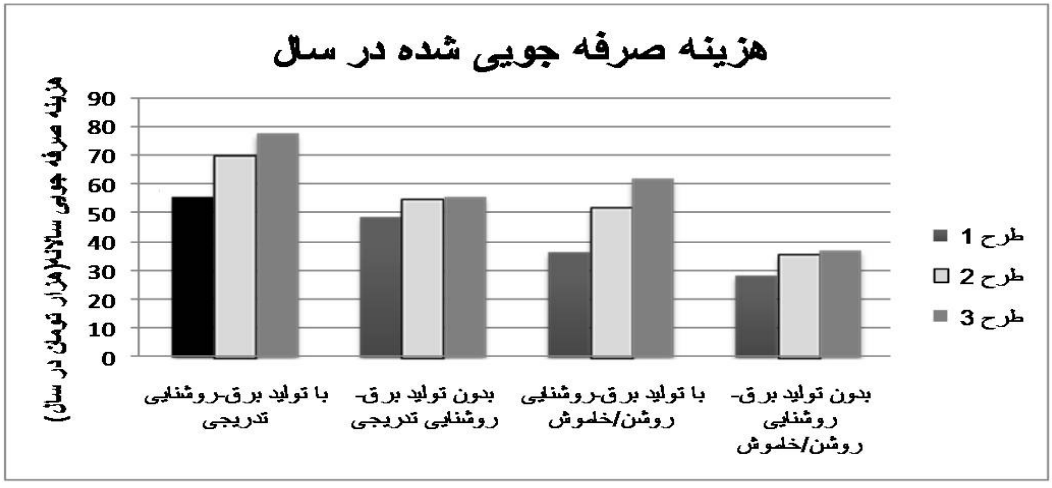
[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-18]

نتایج راهبرد دوم

همان طور که در شکل (٨) مشاهده می‌شود، هزینه‌های صرفه‌جویی طرح ها در راهبرد دوم مشابه صرفه جویی میزان انرژی الکتریکی آنها در راهبرد اول می‌باشد که به دلیل قیمت پایین گاز و درنتیجه، تاثیر کم آن است. بحث هایی که در بخش قبل مطرح شد، در این قسمت نیز صادق هستند و تنها تفاوت در فصل‌های سرد است که هنگام انتخاب زوایای بهینه، کاهش هزینه ناشی از کمتر شدن مصرف گاز بویلر نیز در نظر گرفته می شود.

جدول ٦): نتایج طرح ها در راهبرد دوم

راهبرد بررسی شده	شماره طرح	میزان صرفه جویی سالانه (kWh)
تولید برق با سیستم روشنایی هوشمند روشن/خاموش	اول	٣۶۶٧٩
	دوم	۵١٨٢٩
	سوم	۶١٩٠٩
بدون تولید برق با سیستم روشنایی هوشمند روشن/خاموش	اول	٢٨۵٧٩
	دوم	٣۵۶۵٩
	سوم	٣٧٢١٩
تولید برق با سیستم روشنایی هوشمند تدریجی	اول	۵۶٠۵٩
	دوم	۶٩٨۵٩
	سوم	٧٧۶٢٩
بدون تولید برق با سیستم روشنایی هوشمند تدریجی	اول	۴٨٧٩٩
	دوم	۵۴٧٠٩
	سوم	۵۵۴٨٩

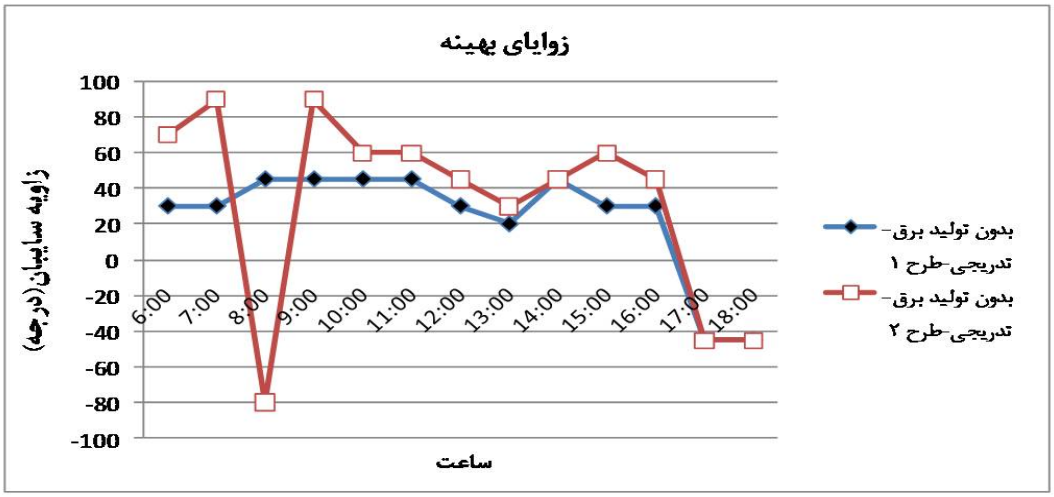


شکل٨): نتایج طرح ها در راهبرد دوم

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-18]

برای تکمیل بحث های بخش قبل به روند انتخاب زوایای بهینه در دو طرح ۱ و ۲ بدون تولید برق و با سیستم روشنایی تدریجی پرداخته شده تا دلایل کاهش هزینه های بیشتر در طرح ۲ مشخص شود. به عنوان نمونه، روز ۱۵ مرداد و ساعت ۸:۰۰ صبح برای بررسی دلیل انتخاب زاویه در این دو طرح انتخاب شده و زوایای بهینه در شکل (۹) ارائه شده است.

در طرح ۲ با توجه به جدول (۴) زاویه‌ای باید انتخاب شود که علاوه بر کمترین هزینه برای دفع گرمای ورودی، کمترین هزینه برق برای روشنایی را لازم داشته باشد. همان طور که در جدول (۸) مشخص است، برای این ساعت و در این طرح زاویه ۸۰ ـ درجه کمترین هزینه برای تامین شرایط آسایش را دارد. با همین روند و مراجعه به جدول (۵) زاویه بهینه برای طرح ۱، ۴۵ درجه می‌باشد. با یک نگاه کلی به هزینه های این دو طرح و میانگین گیری مشخص می‌شود که با استفاده از طرح ۲ امکان جلوگیری از گرمای ورودی بیشتر شده و درنتیجه هزینه برق مصرفی سیستم سرمایش کاهش می‌یابد ولی نور داخل اتاق کاهش یافته و مصرف برق برای تامین روشنایی را افزایش می دهد. بنابر این، تنها با مقایسه مقادیر سالانه این هزینه ها قادر به مقایسه این دو طرح می باشیم که نتایج نشان دهنده برتری طرح ۲ می باشد.



شکل ۹): زوایای بهینه در سیستم روشنایی تدریجی و بدون تولید برق برای طرح های ۱ و ۲ در ۱۵ مرداد

بررسی اقتصادی

با داشتن هزینه اجزای اصلی طرح که در جدول (۷) آمده، زمان بازگشت سرمایه تخمین زده شده است. طرح‌های ۲ و ۳ با تولید برق و روشنایی تدریجی، اقتصادی ترین طرح ها می باشند و با توضیحاتی که در بخش تحلیل نتایج راهبرد اول ارائه شد، با توجه به تعریف وظایف سایبان، طرح ۲ به عنوان طرح بهینه انتخاب می‌شود. از جمله دلایل زمان بالای

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-18]

بازگشت سرمایه در این طرح ها، موجود بودن یک سایبان ثابت در اتاق مورد مطالعه و شیشه دوجداره با ضریب انعکاس بالای آن می‌باشد که تقریبا مانع ورود گرمای شدید و تابش مستقیم نور خورشید می‌شوند و در نتیجه، هزینه تامین شرایط آسایش در حالت بدون سایبان متحرک کم خواهد بود. صرفه جویی سالانه برای شرایطی که شیشه اتاق ضریب انعکاس پایین تری داشته باشد و سایبان ثابت وجود نداشته باشد، افزایش می‌یابد. دلیل دیگر، قیمت پایین حامل‌های انرژی می‌باشد که با افزایش آنها هزینه صرفه جویی این طرح ها افزایش می‌یابد.

جدول ٧): هزینه تخمینی اجزای اصلی طرح

اجزای اصلی	قیمت(تومان)
موتور	۴۰۰۰۰۰
پره سایبان با پنل	۱۰۰۰۰۰
پره سایبان بدون پنل	۲۰۰۰۰
مکانیزم سایبان	۵۰۰۰۰۰

جدول ٨): بازگشت سرمایه ساده طرح ها

بازگشت سرمایه ساده (سال)	شماره طرح	راهبرد بررسی شده
تولید برق با سیستم روشنایی هوشمند روشن/خاموش	اول	۲۷/۳
	دوم	۲۱/۲
	سوم	۱۹/۴
بدون تولید برق با سیستم روشنایی هوشمند روشن/خاموش	اول	۳۲/۲
	دوم	۲۶/۴
	سوم	۲۵/۸
تولید برق با سیستم روشنایی هوشمند تدریجی	اول	۱۷/۸
	دوم	۱۵/۷
	سوم	۱۵/۵
بدون تولید برق با سیستم روشنایی هوشمند تدریجی	اول	۱۸/۹
	دوم	۱۷/۲
	سوم	۱۷/۳

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-18]

نتیجه‌گیری

در این مطالعه، سه طرح سایبان و دو سیستم روشنایی هوشمند (تدریجی، روشن–خاموش) و گزینه استفاده از سلول‌های خورشیدی در سایبان که در کل ۱۲ حالت را ایجاد می‌کنند، بررسی شده‌اند و بهترین ترکیب از نظر میزان صرفه‌جویی انرژی الکتریکی و مدت زمان بازگشت سرمایه به دست آمده است. با بررسی نتایج مشخص شد که طرح ۲ با استفاده از سیستم روشنایی هوشمند و نصب سلول های خورشیدی، طرح بهینه خواهد بود و سالانه امکان صرفه جویی ۷۹۲kWh انرژی الکتریکی و ۷۰ هزار تومان را ایجاد می کند.

منابع

[1] A.Tzempelikos, K. Athienitis, 2007, The impact of shading design and control on building cooling and lighting demand, Solar Energy 81 ,369–382.

[2] A.Tzempelikos, K. Athienitis, May 2005, “The effect of shading design and control on building cooling demand”, International Conference “Passive and Low Energy Cooling for the Built Environment”, Santorini, Greece.

[3] A.Tzempelikos1, M.Roy, August 2004, “A SIMULATION DESIGN STUDY FOR THE FAÇADE RENOVATION OF AN OFFICE BUILDING”, Canadian Solar Buildings Conference Montreal.

[4] B.Laustsen, P.Santos, S.Svendsen, S.Traberg-Borup, K.Johnsen, 2008, “Solar Shading System Based on Daylight Directing Glass Lamellas”, Nordic Symposium on Building Physics, vol. 1, pp. 111-118.

[5] E. Lee, D.DiBartolomeo, S.Selkowitz, 1998, “Thermal and daylighting performance of an automated venetian blind and lighting system in a full-scale private office”, Energy and Building, vol.29,pp. 47-63.

[6] H.Alzoubi, H.Zoubi, 2009, “Assessment of building façade performance in terms of daylighting and the associated energy consumption in architectural spaces: Vertical and horizontal shading devices for southern exposure facades”, Energy Conversion and Management, vol. 51 pp. 1592–1599.

[7] K.Kapsis, A.Tzempelikos, A.Athienitis, R.G.Zmeureanu, 2010, “Daylighting performance evaluation of a bottom-up motorizedroller shade”, Solar Energy, vol.84,pp. 2120-2131.

[8] M.David, M.Donn, F.Garde, A.Lenoir, 2011, “Assessment of the thermal and visual efficiency of solar shades”, Building and Environment,vol. 46,pp. 1489-1406.

[9] N.Tamimi, S. Fadzil, 2011, “The potential of shading devices for temperature reduction in high-rise residential buildings in the tropics”, Procedia Engineering, vol.21,pp. 273-282.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-18]