گونه‌شناسی انواع و مشخصات فنی رف‌های نوری

فهیمه معتضدیان* ــ محمدجواد مهدوی نژاد**

تاریخ دریافت: ۹۳/۸/۱۰
تاریخ پذیرش نهایی: ۹۳/۹/۱۰

چکیده

نور روز تأثیر قابل توجهی در کارآیی و کیفیت بهره‌گیری از محیط دارد. در این میان رف‌های نوری از جایگاه ویژه‌ای برخوردارند. رف‌های نوری یکی از فناوری‌های نور روز ترکیب شده با پنجره با عملکرد سه‌گانه سایه‌اندازی، افزایش عمق نفوذ نور به بخش‌های مرکزی و عمیق‌تر اتاق و کاهش خیرگی، و داشتن این مزیت که مانع دید به بیرون نمی‌شود، یکی از پرطرفدارترین فناوری‌ها محسوب می‌شود. این رف‌ها با توجه به اقلیم، فضا، کاربری و غیره انواع مختلفی دارند. ابعاد و تناسبات مختلف، جنس، فرم، زاویه نسبت به افق، ثابت یا متحرک بودن، داخلی، خارجی و یا ترکیبی از هر دو بودن، منفرد یا تکرارشونده بودن، تأثیر فضاهای داخلی، ترکیب با عناصر مکمل و مسائل دیگر، گزینه‌های متعددی را پیش روی ما قرار می‌دهد که انتخاب نوع مناسب را پیچیده می‌کند. در این پژوهش که از جنس مطالعات مروری می‌باشد، با بررسی مطالعات پیشین بر روی رف‌های نوری، به طبقه‌بندی الگوهای مختلف رف‌های نوری و متغیرهای آن برای فضاهای مختلف پرداخته می‌شود و بر اساس آن، کاربردهایی در حوزه به کارگیری در فرآیند طراحی معماری پیشنهاد می‌شود.

واژگان کلیدی: رف نوری، نور روز، سیستم‌های پیشرفته‌ی نور روز، مشخصات فنی.

* دانشجوی دکتری تخصصی معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران (نویسنده مسئول).
Email: fa.motazedian@gmail.com

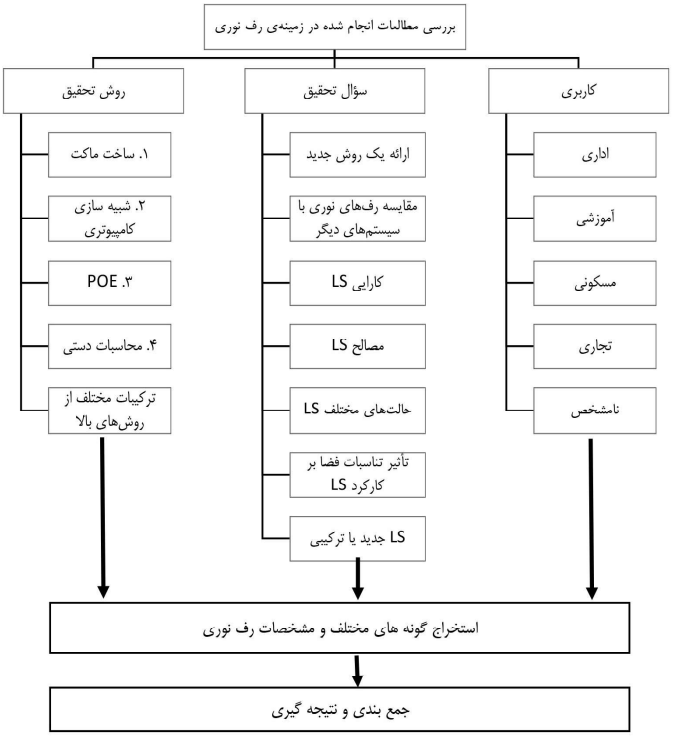
** دانشیار معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

مقدمه

نور در فرهنگ اسلامی از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است (Mahdavinejad, 2003, p. 25) به گونه‌ای که در برخی از موارد «نور» را جوهره‌ی تجلی حکمت اسلامی در عالم ماده و جهان معماری دانسته‌اند (Mahdavinejad, 2004). این مهم در طراحی معماری به خصوص حوزه‌های فرهنگی و اجتماعی از اهمیت به سزایی برخوردار است (Mahdavinejad & Mashayekhy, 2011). با ظهور انقلاب صنعتی مردم به طور فراوان از تکنولوژی جدید الکتریسیته استفاده کردند و در طراحی‌های معماری به وجود پنجره توجهی نمی‌شد و آن دوره‌ی تاریک، مشکلات بسیاری ایجاد کرد، تا حدود دهه‌ی ۱۹۷۰ که بشر متوجه کمبود منابع فسیلی شد و به انرژی‌های سبز روی آورد (Wu & Ng, 2003). مهم‌ترین عامل ترغیب تمدن بشری نه تنها از بین رفتن کامل منابع فسیلی، بلکه اثرات زیست محیطی ناشی از تولید، توزیع و مصرف این منابع می‌باشد (Mahdavinejad et al., 2012b). خورشید یکی از این منابع در دسترس و رایگان است. در راستای اهمیت استفاده از نور خورشید، فابر برم اعتقاد دارد که: «اگر نابودی بشر به وسیله‌ی فقدان اکسیژن، تشعشعات اتمی، آلودگی آب و هوا و انهدام فضاهای سبز به خطر نیافتد، مسلماً با عدم درک مزایای نور خورشید و امتناع از استفاده از آن در فضاهای زیستی دچار مشکل خواهد شد» (Evanz, 1981, p. 39). ارتباط اثر معماری با زمینه اثر (Mahdavinejad et al., 2012a, p. 25) به خصوص در تحلیل آثار معماری معاصر ایران (Mahdavinejad et al., 2012b, p. 40) بیانگر تأثیر قابل ملاحظه نورپردازی و معماری شبانه بر درک مخاطب از اثر معماری است.

رف نوری به عنوان یکی از سیستم‌های نور روز که قابلیت اجرای بیشتری نسبت به سایر سیستم‌ها دارد و مقرون به صرفه‌تر می‌باشد، می‌تواند با سایه‌اندازی روی پنجره جذب گرمای خورشید را کاهش دهد، با افزایش عمق نفوذ نور در بخش‌های عمیق‌تر اتاق و کاهش آن در نزدیکی پنجره، نور یکنواختی ایجاد کند و ضمن جلوگیری از خیرگی، به کاهش مصرف الکتریسیته کمک کند. در این جا هدف مروی بر پژوهش‌های کمی راجع به نور روز در حیطه‌ی استفاده از رف‌های نوری (LS)[1] می‌باشد. از بین ۴۲ مقاله‌ای که در مورد رف‌های نوری در این جا مورد بررسی قرار گرفته‌اند، فاکتورهایی در هر کدام مطالعه شد که در نمودار ۱ روند پژوهش آورده شده است. بحث از اهمیت و ضرورت موضوع زمانی دقیق‌تر می‌شود که تأثیر کاربرد فناوری‌های نوین در نورپردازی معاصر را با دقت بیشتری بررسی نماییم (Mahdavinejad et al., 2013d, p. 42). مطالعات صورت گرفته در حوزه نورپردازی و معماری شبانه نشان‌دهنده اهمیت بسیار زیاد این حوزه در فرآیند طراحی معماری است (Mahdavinejad et al., 2013c, p. 40). مروری بر ادبیات تخصصی موضوع نشان‌دهنده آن است که تأثیر بکارگیری این فناوری‌ها در شهر و فضاهای شهری (Mahdavinejad et al., 2013b, p. 71) از یک سو؛ و تأثیر آن بر الگوهای آموزشی و طراحی فضاهای آموزش‌دهنده (Mahdavinejad et al., 2013a, p. 100) از سوی دیگر، نقش کلیدی در درک صحیح از جایگاه نور در معماری معاصر جهان دارد.

نمودار ۱: روش تحقیق



۱. روش تحقیق

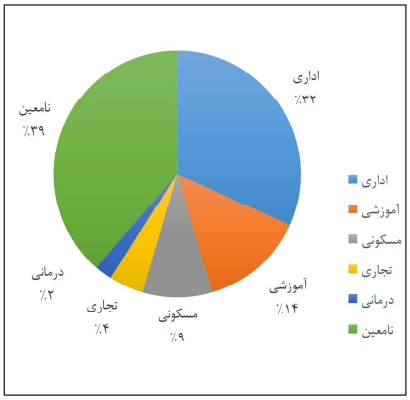
در نمودار ۲ پراکندگی کاربری‌هایی که در پژوهش‌های بررسی شده مورد مطالعه قرار گرفته‌اند، آمده است. این کاربری‌ها به دسته‌های اداری، آموزشی، تجاری و غیره تقسیم‌بندی شده است. بر اساس روش‌شناسی پژوهش (Mahdavinejad & Nagahani, 2011, p. 25)، بررسی شباهت‌ها و تفاوت‌ها می‌تواند مبنای مناسبی برای ارائه‌ی دسته بندی‌های مورد نظر پژوهش باشد (Mahdavinejad et al., 2011, pp. 115-116). از آن جا که زمان استفاده از فضاهای اداری و آموزشی با زمان حضور خورشید همزمان است و فعالیت‌هایی که در این فضاها انجام می‌گیرد نور کنترل شده و ویژه‌تری نسبت به سایر فعالیت‌ها می‌طلبد، بیشتر این مطالعات بر روی این فضاها تأکید داشته‌اند، اگر چه تعداد پژوهش‌هایی که کاربری نامشخصی داشتند زیاد بود و این می‌تواند یکی از مشکلات پژوهش باشد، چرا که کاربری‌های متفاوت، ویژگی‌های نوری متفاوتی می‌طلبند و چشم پوشی از این فاکتورها، به معنای حذف متغیرهای مهم است (Mahdavinejad, 2005, pp. 70-72).

در نمودار شماره ۲، پراکندگی کاربری‌هایی که در پژوهش‌های بررسی شده مورد مطالعه قرار گرفته‌اند، آمده است. این کاربری‌ها به دسته‌های اداری، آموزشی، تجاری و غیره تقسیم‌بندی شده است. بر اساس روش‌شناسی پژوهش (Mahdavinejad & Nagahani, 2011, p. 25)، بررسی شباهت‌ها و تفاوت‌ها می‌تواند مبنای مناسبی برای ارائه دسته‌بندی‌های مورد نظر پژوهش باشد (Mahdavinejad et al., 2011, pp. 115-116). از آن جا که زمان استفاده از فضاهای اداری و آموزشی با زمان حضور خورشید همزمان است و فعالیت‌هایی که در این فضاها انجام می‌گیرد نور کنترل شده و ویژه‌تری نسبت به سایر فعالیت‌ها می‌طلبد، بیشتر این مطالعات بر روی این فضاها تأکید داشتند، اگر چه تعداد پژوهش‌هایی که کاربری نامشخصی داشتند زیاد بود و این می‌تواند یکی از مشکلات پژوهش باشد، چرا که کاربری‌های متفاوت، ویژگی‌های نوری متفاوتی می‌طلبند و چشم‌پوشی از این فاکتورها، به معنای حذف متغیرهای مهم است (Mahdavinejad, 2005, pp. 70-72) فناوری‌های نوین نقش موثری در تحلیل معماری معاصر دارند (Mahdavinejad & Javanrudi, 2012, p. 70). در نمودار ۳، گرافیکی از توزیع روش‌های استفاده شده برای دستیابی به هدف ترسیم شده است. روش‌هایی که برای ارزیابی عملکرد رف‌های نوری وجود دارد را در موارد زیر می‌توان خلاصه کرد:

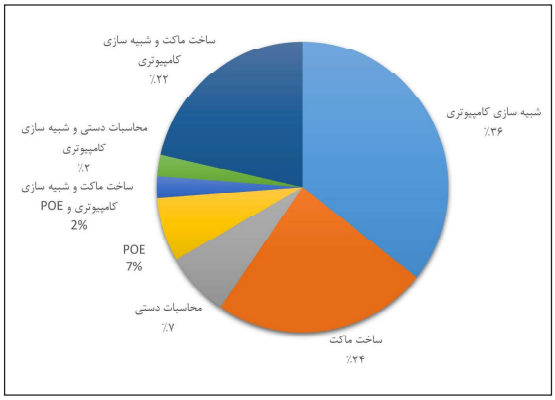
- ساخت ماکت و آزمایش آن
- زیر آسمان واقعی
- زیر آسمان مصنوعی
- شبیه‌سازی کامپیوتری با نرم‌افزارهای مختلف
  - Ecotect
  - Radiance
  - Daysim
  - Diva
  - و نرم‌افزارهای کمتر متداول، مانند Lightscape، Noor، DOE، IES-VE و TracePro
- ارزیابی پس از بهره‌برداری (POE)[۲] و بررسی رف‌های نوری در شرایط و ابعاد واقعی
- محاسبات دستی

در نمودار ۴، پراکندگی حیطه موضوع مورد مطالعه آورده شده است.

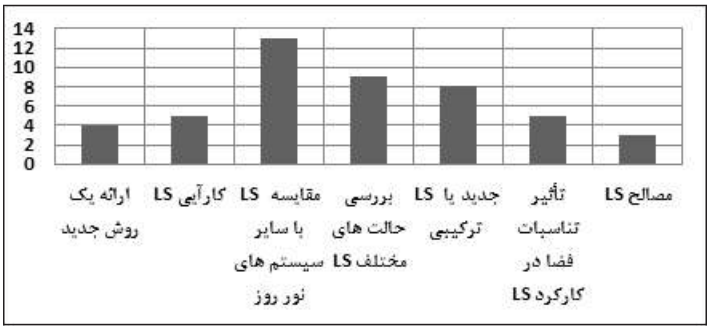
نمودار ۲: پراکندگی کاربری‌های پژوهش‌های بررسی شده



نمودار ۳: پراکندگی روش تحقیق پژوهش‌های بررسی شده



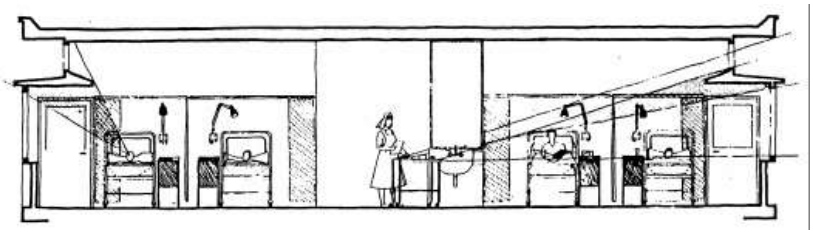
نمودار ۴: پراکندگی موضوعات پژوهش‌های بررسی شده



۲. رف‌های نوری

رف‌های نوری یک سیستم طراحی غیرفعال است که به صورت افقی یا مایل در ارتفاع بالایی از پنجره نصب می‌شود و ضمن سایه‌اندازی در فصول گرم سال، سبب توزیع نور به عمق اتاق می‌شود و کاهش مصرف انرژی الکتریسیته را موجب می‌شود. رف‌های نوری ایده‌ای قدیمی است که امروزه دوباره باب شده و مورد توجه قرار گرفته است. اولین پژوهش در مورد رف نوری در اوایل ۱۹۵۰ در مرکز تحقیقات ساختمان برای روشن کردن چند بیمارستان با پلان عمیق، که اولین آن لارکفیلد[۳] در اسکاتلند بود، با هدف استفاده بالا بردن کیفیت نور روشنایی فضا و تأمین آسایش دیداری بیماران صورت گرفت (شکل ۱)؛ نتیجه، استفاده از رف نوری بود. ساخت ماکت نشان داد فاکتور نور روز با رف نوری کاهش می‌یابد، اما یکنواخت‌تر می‌شود، به خصوص در نزدیکی پنجره (Littlefair, 1995). زوایای مختلف، پیکربندی و موقعیت رف نوری تأثیری بهینه در نور روز دارند (Daich et al., 2013). بر اساس چارچوب نظری پژوهش، کیفیت نور روز در فضاهای مختلف (Mahdavinejad et al., 2012c, p. 76) به عوامل کلیدی مانند مباحث پایه‌ای در تحلیل عملکرد اقلیمی (Mah-davinejad et al., 2012d, p. 46) و مهم‌تر از همه، میزان و کیفیت روشنایی در آسمان تهران (Mahdavinejad et al., 2012e, p. 15) بستگی دارد.

شکل ۱: استفاده از رف نوری برای اولین بار در بیمارستان‌های با پلان عمیق



رف‌های نوری در بین سیستم‌های نور روز از اهمیت به سزایی برخوردارند. یکی از طبقه بندی‌های سیستم‌های نور روز بر اساس هندسه‌ی آن‌هاست: عناصر یکپارچه با پنجره، بازتابنده‌ها و رف‌های نوری، هدایتگرهای نور (Mahdavinejad et al., 2012a). در طبقه‌بندی دیگری، رف نوری جزء سیستم‌های انتقال مستقیم نور خورشید محسوب می‌شود. این سیستم‌ها نور خورشید را تا ۱۰-۸ متری فضا با انعکاس و انکسار انتقال می‌دهند و مشخصات آن‌ها در جدول ۱ آمده است (Nair et al., 2013).

جدول ۱: مشخصات رف‌های نوری از نظر طبقه‌بندی سیستم‌های نور روز

بازدهی	در دسترس بودن	دید به بیرون	نگهداری	ادغام	اقلیم	اصول انتقال	آسمان	جهت و موقعیت	نوع سیستم	نوع سیستم نور روز
۱-۱,۲	بله	بله	خیر	بله	گرمسیری	انعکاس و انحراف	صاف	نما	غیرفعال	انتقال مستقیم نور خورشید

(برگرفته از Nair et al., 2013)

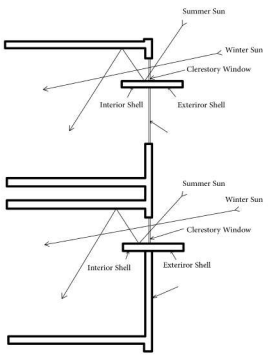
۳. تحلیل کارایی

کارایی رف‌های نوری در مصرف انرژی سرمایش و گرمایش و کیفیت نور باید به طور همزمان در طرح ابتدایی توسط معمار انجام شود (Shikder et al., 2011). این سیستم‌ها اگر به خوبی طراحی شوند، بازدهی خوبی با کاهش مصرف انرژی دارند. رف های نوری در نماهای جنوبی کارایی بهتری دارند (Ghiabaklou, 2013, p. 73). در دفتر اداری مجهز به رف‌های نوری ۲۹ درصد (در رف نوری خارجی) تا ۴۶ درصد (در رف نوری داخلی و خارجی) صرفه‌جویی مصرف الکتریسیته طی سال وجود داشت. در مدرسه‌ای که رف‌های نوری منحنی شفاف کارگذاشته شده بود، مطالعات ارزیابی پس از بهره‌برداری، کاهش ۴۰ درصد خیرگی، کاهش ۵۰ درصد مصرف برق و کاهش ۱۰ درصد مصرف بار سرمایش را نشان داد (Eckerlin & Atre, 2007). در مورد کارایی این سیستم‌ها ابعاد نقش بسزایی دارد، رف‌های نوری کوچک تأثیر کمی در افزایش روشنایی دارند و با ابعاد نرمال رف‌های نوری معمولا بعید است که کلیه‌ی تابش خورشید در زمستان مسدود شود و استفاده از کرکره یا کنترل کننده‌های دیگر لازم خواهد بود (littlefair, 1995). در دو پژوهش به بررسی تأثیر زاویه ارتفاع و آزیموت خورشید بر بازدهی رف‌های نوری پرداختنه و زاویه‌ی بهینه و روزهایی که رف نوری در آن بیشترین بازدهی را دارد، تعیین شد (Soler & Oteiza, 1996, 1997). اما رف نوری مناسب، سیستمی است که بتواند در هر زاویه‌ی خورشیدی عملکرد مناسب داشته باشد. اوچا و کپلوتو گزارش کردند که تأثیر سیستم رف نوری، بدون درنظر گرفتن جهت، پس از ۷-۶ متر فاصله از پنجره کاهش می‌یابد. بنابراین بهتر است عمق اتاق از این مقدار بیشتر نشود، مگر این که از دو سمت نورگیری انجام شود (Ochoa & Capeluto, 2006). همچنین باید توجه داشت کارکرد رف‌های نوری در اقلیم‌های ابری به خوبی اقلیم‌های آفتابی نیست و همانطور که در پژوهش (Brotas & Rusovan, 20013) نتیجه گرفته شده است، رف نوری در اقلیم‌هایی با آسمان تمام ابری مثل انگلستان بازدهی روشنایی خوبی ندارند، اگرچه عملکرد سایه‌اندازی آن‌ها در تابستان و نفوذ نور در زمستان می‌تواند مفید باشد. ادمونز و گریناپ اشاره کردند که بازدهی این سیستم در طول زمان بر اثر تمایل به جذب گرد و غبار کاهش می‌یابد (Edmonds & Greenup, 2013). محاسبه‌ی دریافت روشنایی در سطوح عمودی تهران نشان می‌دهد که در زمستان تابش مستقیم برای دریافت گرما ضروری است که باعث ایجاد خیرگی می‌شود، همچنین در تابستان استفاده از سایبان روشنایی دلخواه سطح عمودی به ما می‌دهد (Mahdavinejad et al., 2012a). به همین منظور در ادامه موارد مهم در مورد ساختار رف نوری آمده است.

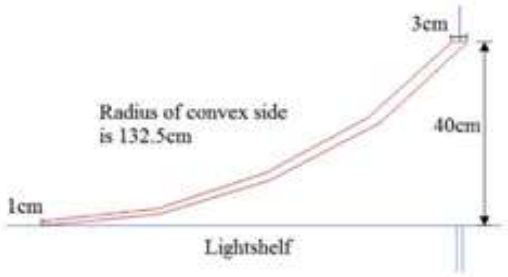
۴. پنجره و رف نوری

رف نوری بر روی پنجره نصب می‌شود و ابعاد بهینه‌ی پنجره باید در حین طراحی به دست آید. نسبت پنجره به دیوار در حدود ۴۰-۳۰ درصد مناسب است (Mahdavinejad et al., 2012b). رف‌های نوری پنجره را به دو بخش بالا و پایین تقسیم می‌کنند. کاربرد اصلی بخش پایینی برای دید به بیرون و تهویه و بخش بالایی برای نفوذ نور می‌باشد. دو حالت کلی برای رف‌های نوری درنظر گرفته می‌شود که در تصویر ۲ آمده است. اولی که مرسوم‌تر است رف نوری در بخش بالایی پنجره نصب شده است و زیر آن برای دید به بیرون نگه داشته شده است، و در حالت دوم که بیشتر به پنجره‌های کلرستوری شبیه است، بخش پایینی وجود ندارد. در پژوهشی که در چین انجام گرفت، به نقش فرم و انحراف شیشه‌های بالای رف نوری پرداخته شد و طبق تصویر ۳ ـ شیشه‌ی پهن در بالا و باریک در پایین با انحراف ۴۴/۳ تا ۹۰ درجه ـ گزینه برتر برای فراهم آوردن روشنایی بیشتر همراه با یکنواختی انتخاب شد (Xue et al., 2014). با طراحی پنجره‌ی هوشمند می‌توان میزان نور، دید، گرمایش و سرمایش، را تحت کنترل درآورد و از خیرگی جلوگیری کرد (Faizi et al., 2011). ترکیب این پنجره‌ها با سیستم‌های رف نوری بسیار مفید خواهد بود. بنابراین اجزای پنجره نیز نقش مهمی در تکمیل کارایی رف نوری دارند.

شکل ۲: دو حالت رف نوری که دومی مرسوم‌تر است.



شکل ۳: حالت منتخب برای شیشه‌ی بالای رف‌های نوری



رف‌های نوری به سه دسته‌ی کلی داخلی، خارجی و ترکیبی از هر دو تقسیم می‌شوند. بخش خارجی عملکرد سایه‌اندازی و کاهش بار سرمایش ساختمان در تابستان را بر عهده دارد و بخش داخلی، آسایش دیداری بیشتری در مقابل خیرگی فراهم می‌کند و نور را به عمق اتاق هدایت می‌کند. در شرایط آفتابی، رف نوری داخلی بیشترین میزان میانگین روشنایی در مقایسه با رف‌های خارجی تأمین می‌کنند، در حالی که یکنواختی و توزیع روشنایی در عمق اتاق برای رف‌های خارجی بیشتر است (Aghemo et al., 2008). بیکر و دیگران زاویه بهینه رف نوری خارجی ۳۰ درجه اعلام کردند و بیان داشتند که این بخش خارجی رف است که نقش اصلی در افزایش روشنایی را دارد و رف داخلی سبب کاهش جزء آسمان می‌شود (Baker et al., 1993). در این گروه از مطالعات نسبت پنجره و رف نوری تحلیل شده است.

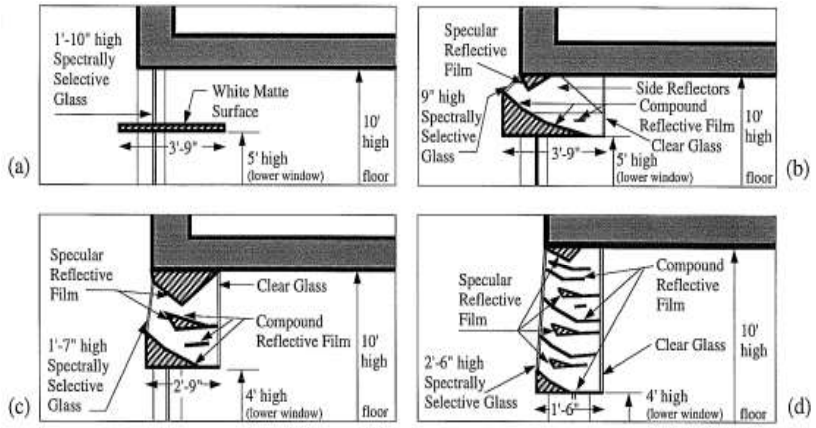
۵. ابعاد و تناسبات

ابعاد رف‌های نوری ابتدا با توجه به مشخصات فیزیکی پروژه و سپس با توجه به شرایط اقلیمی و کاربری در هر پروژه طراحی می‌شوند، هرچه عرض بیشتر باشد خیرگی کمتری رخ می‌دهد، اما ورود نور نیز کمتر می‌شود. بنابراین ممکن است ترکیب رف نوری با سیستم‌های نور روز دیگر ناگزیر باشد. برای اتاق‌های تا ۲۰ درجه انحراف نسبت به جنوب، عمق رف نور داخلی ۱/۵ الی ۲ برابر ارتفاع پنجره‌ی بالایی است. در زوایای ارتفاع خورشید پایین‌تر، در اتاق‌های سمت شرق و غرب، نیاز به وسایل و ابزار سایه اندازی بیشتری خواهد بود (Dowlatabadi, 2013, p. 75). در پژوهشی که برای اقلیم یونان انجام شد، با توجه به مشخصات و عرض جغرافیایی و ... آن منطقه، رف نوری خارجی ۸۰ سانتی‌متری با زاویه‌ی ۲۰ درجه برای اکثر زمان‌ها پیشنهاد شد (Antoniou & Meresi, 2006). در پژوهشی دیگر در آمریکا طول ۱/۸۳ متر برای رف نوری داخلی و ۰,۹۲ متر برای رف نوری خارجی مناسب ارزیابی شد (Hu, 2011). در زاویه‌ی ۳۰ درجه خورشیدی، طول مناسب رف نوری خارجی ۲ تا ۳ برابر ارتفاع بخش پایینی پنجره و طول رف نوری داخلی، ۲ تا ۳ برابر بخش بالایی پنجره به دست آمد (Abdulmohsen et al., 1994). معمولاً طول رف‌ها هم اندازه‌ی پنجره‌هاست، اما اطراف رف باید به گونه‌ای طراحی شود که وقتی آفتاب از طرفین در حال ورود به فضاست، از تابش مستقیم پیش‌گیری شود. برای این کار رف را می‌توان طولانی‌تر از پهنای پنجره در نظر گرفت و یا قطعه‌ای از طرفین به صورت عمودی به آن اضافه کرد (Evanz, 1981, p. 76).

۶. هندسه و ارتفاع

در پژوهشی که توسط سیلوا و دیگران انجام شد قابلیت رف نوری منحنی نسبت به رف نوری افقی برای منحرف کردن و توزیع نور، بیشتر ارزیابی شد (Silva Dr et al., 2013). همچنین در دو پژوهش دیگر بین سه رف نوری با اشکال مختلف، کارایی بهبود روشنایی و یکنواختی، به ترتیب به منحنی، خمیده شده و صاف تعلق گرفت (Freewan, 2010; Freewan et al., 2008). در پژوهشی که توسط بلتران و سلکویتز انجام شد، طبقه‌بندی انواع رف‌های نوری به صورت شکل ۴ آورده شده است (Beltrán & Selkowitz, 1996). البته امروزه برخی از آن‌ها را می‌توان جزء سیستم‌های نور روز دیگر محسوب کرد. در مورد زاویه‌ی رف نوری افقی، به طور کل می‌توان گفت کاهش زاویه‌ی رف نوری محیط اطراف پنجره را پوشش می‌دهد و نور منعکس شده به سقف را کاهش می‌دهد. افزایش زاویه‌ی رف نوری نفوذ نور را افزایش می‌دهد، ولی سایه‌اندازی را کاهش می‌دهد کاهش زاویه‌ی رف نوری در زمستان در بهبود عملکرد نوری مناسب نیست و افزایش زاویه‌ی رف نوری باعث افزایش روشنایی داخل می‌شود (Sethi, 2003).

شکل ۴: a (رف نوری پایه، متشکل از صفحه‌ی مستطیلی افقی با رویه سفید مات)، b (رف نوری یک طبقه با زاویه انحراف و بازتابنده‌های طرفین و بالا و پایین)، c (رف نوری دو طبقه، افزایش روزنه و کاهش طول رف نوری)، d (این طراحی بیش از گزینه‌های قبلی ورود نور روز را افزایش می‌دهد و طول رف نوری را کاهش می‌دهد)

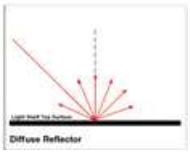


ارتفاع و هندسه‌ی سقف و نسبت آن با ارتفاع نصب رف نوری، از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. رف‌های نوری با ارتفاع سقف ۳ متر یا بیشتر بهتر کار می‌کنند (Littlefair, 1995) و یکی از بزرگ‌ترین معایب رف‌های نوری همین است که در فضاهای با ارتفاع بیشتر بازدهی بالاتری دارند. البته بلند گرفتن سقف معایبی چون بالا رفتن هزینه‌ی ساخت، مشکلات اطفاء حریق، سازه، داکت و ... دارد. در مورد ارتفاع نصب رف نوری باید توجه شود که رف نوری باید بالای خط دید باشد تا نور را به سقف بتاباند (Luke & Nicholson, 2004) و مانع خیرگی شود، در حدود ۲ متری از سطح زمین. از آن جا که عمق نفوذ نور ۱/۵ الی حداکثر (با رف نوری) ۲/۵ برابر ارتفاع بخش فوقانی پنجره از کف اتاق می‌باشد (Dowlatabadi, 2013, p. 107). ارتفاع سقف و پنجره در کارایی سیستم مهم هستند، در پژوهشی ارتفاع مناسب سقف برای سیستم‌هایی که رف نوری در آن‌ها نصب شده است، ۳/۴ تا ۳/۶۵ متر است (Hue, 2003). در پژوهشی دیگر، برای ارتفاع‌های آزمایش شده رف نوری در یک فضای ۳ متری، ارتفاع ۲ متر بالاتر از سطح زمین مناسب ارزیابی شد (Joarder, 2009). در مورد هندسه‌ی سقف، فریوان ایجاد انحنا در سقف را تأثیر بسزایی (۱۰ درصد) در یکنواختی نور داخلی دانست (Freewan, 2010) و در پژوهشی دیگر به نتیجه رسید سقف منحنی ۵۲ درصد و سقف پخ ۲۷ درصد نور را در عمق اتاق افزایش می‌دهند و این دو بهتر از سقف صاف و شیب‌دار (شیب رو به پایین بهتر از شیب رو به بالا و صاف) عمل می‌کنند (Freewan, 2008). لی و دیگران زاویه و عرض بهینه‌ی رف نوری را در چند حالت سقف شیب‌دار تعیین کردند (Lee et al., 2014).

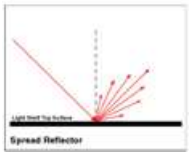
۷. مصالح

می‌توان حالات عملکرد انعکاس دهنده‌ها را در شکل‌های ۵ و ۶ و ۷ خلاصه کرد (Burt Hill Kosar Rittlemann Associates, 1985). سطوح آینه‌ای (مانند آینه) و نیمه آینه‌ای (مانند فویل) بالای رف نوری عملکرد بهتری نسبت به سطوح براق سفید یا سفید یکدست (مانند رنگ) دارند و سطوح نیمه آینه‌ای از آینه‌ای بهتر است. آینه نور بیشتری را فراهم می‌کند، اما در جذابیت و کیفیت فضا تأثیر منفی دارد، به خصوص به خاطر انعکاس روی مانیتورهای کامپیوتر، ضمن این که سنگین و گران است و نصب دشواری دارد (Hu, 2003). سولر و کلاروس مصالح متاکریلت و آینه را در سطح رویه رف‌های نوری مورد بررسی قرار دادند و به نتیجه رسیدند در ماه‌های میانی سال رف با جنس متاکریلت و در ماه‌های ابتدایی سال رف آینه‌ای عملکرد بهتری دارند و متوسط تغییرات ایجاد شده توسط جنس متاکریلت کمتر از جنس آینه است (Claros & Soler, 2002). ابوشی با کشیدن پوشش‌های انعکاسی انتخابگر بر روی رف نوری، آن را نوعی جدید از رف نوری (SRL)[۴] معرفی کرد که بازدهی بالاتری نسبت به نوع معمول دارد (Abboushi, 2013). همچنین باید توجه داشت علاوه بر اهمیت مصالح رف‌های نوری، مصالح سقف نیز نقش مهمی در بهبود نور فضا دارد و باید روشن و مات باشد.

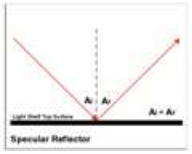
شکل ۵: سطح مات، مانند تایل‌های سقف، رنگ یکدست و بتن



شکل ۶: سطح نیمه براق، مانند آلومینیوم زیر، فویل و رنگ براق



شکل ۷: سطح براق، مثل آینه وآلومینیوم پولیش شده

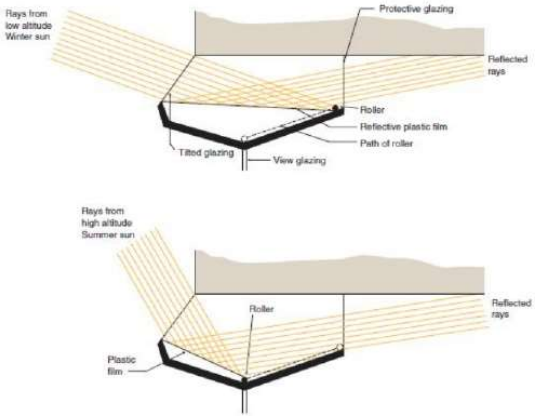


۸. رف‌های نوری پویا

سیستم‌های اتوماتیک پویا در نما تأثیر زیادی بر کاهش مصرف انرژی در عین بالا بودن کیفیت درون فضا دارند (Bakker et al., 2014). با توجه به آن که محیط اطراف ساختمان در کوتاه مدت (طول روز) و دراز مدت (فصول) تغییر می‌کند، رف‌های نوری پویا، متناسب با تغییرات حرکت خورشید در فصول مختلف و در ساعات مختلف روز، حرکات خود را مطابق با رفع نیازهای کاربران و ایجاد شرایط بهینه‌ی داخل فضا، تنظیم می‌کنند. این حرکات برگشت‌پذیر است و به طور مکرر اتفاق می‌افتد. سیستم‌های دینامیک می‌توانند دارای حلقه بسته یا باز[۵] باشند و به طور خودکار یا توسط کاربر، عمل کنند (Loonen, 2010). مطالعات نشان داده است که سیستم‌های پویا و متحرک، نسبت به سیستم‌های ایستا، ۵۰ درصد در مصرف انرژی صرفه‌جویی می‌کنند (Daum, 2011). علاوه بر این، سیستم‌های پویا می‌توانند با تغییرات ارتفاعی خود یا قابلیت نصب و برچیده شدن، قابل دسترس برای نظافت و زدودن گرد و غبار سطح رف نوری باشند تا به افزایش بازدهی آن کمک کنند. در سال ۱۹۸۰ ایده‌ی سیستم‌های نمای پویا که به تغییرات محیطی پاسخ دهند، ظاهر شد (Hammad & Abu-Hijleh, 2010). VALRA[۶] سیستمی است مخصوص نمای جنوبی یا بام که از پوشش پلاستیکی ردیاب خورشید به عنوان کلکتور تشکیل شده است که به نور خورشید یا آسمان عکس‌العمل نشان می‌دهد و بر روی یک رف نوری ثابت قرار می‌گیرد. این رویه باعث می‌شود عملکرد رف نوری در همه‌ی زوایای خورشیدی بازدهی بالایی داشته باشد (شکل ۸). این سیستم ۳ تا ۲۰ سال، بسته به اقلیم، طول می‌کشد تا سرمایه‌ی اولیه‌ی

خود را بازگرداند. در پژوهشی بنی رافائل با الگوریتم PGSL که خود نوشته بود، سه حالت رف ثابت، رف داخلی ثابت و متحرک خارجی، رف متحرک داخلی و خارجی را مقایسه کرد و نتیجه این بود که حالت سوم نسبت به حالت اول، ۱۲ درصد صرفه‌جویی در مصرف الکتریسیته به همراه دارد (Raphael, 2011). در پژوهش دیگری توسط این محقق که با الگوریتم Pareto3 محاسبه شده بود، به بازدهی خوب رف نوری متحرک در کنترل نور و گرما نسبت به رف ایستا اشاره شده است (Raphael, 2014). کساب و لاو در مطالعه‌ای بر روی رف نوری داخلی و خارجی، به نتیجه رسیدند که رف داخلی تأثیر کمی بر کاهش خیرگی دارد و رف خارجی اگر به طور متحرک چرخشی استفاده شود، کارایی بهتری از کرکره‌های دستی خواهد داشت (Kassab & Love, 2005). مقایسه‌ی عملکرد رف نوری در حالت ثابت، پویا و اتوماتیک نشان داد که حالت دینامیک اگر در شرایط مطلوب قرار نگیرد، ممکن است از حالت ثابت نیز بدتر عمل کند و حالت اتوماتیک با تغییر زاویه برای آسمان‌های نیمه‌ابری و شرایط جوی متغیر مناسب است و بهتر است که عملگر آن سریع واکنش ندهد (Franco, 2007). سیستم‌های نوری پویا جزء مباحث به روز می‌باشد که در ابتدای راه خود قرار دارد و مطالعات فراوانی روی آن‌ها باید انجام شود تا به تولید انبوه و استفاده در همه ساختمان‌ها برسند.

شکل ۸: عملکرد تابستانی و زمستانی VALARA

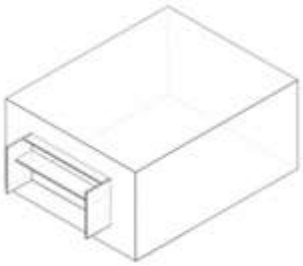


(Schuman et al., 1992)

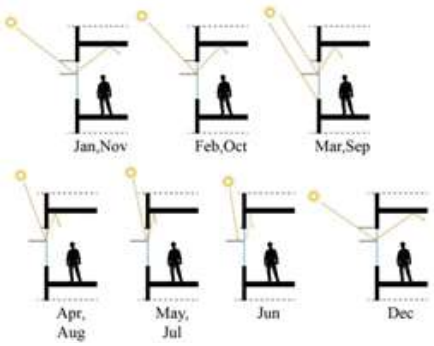
۹. رف‌های نوری ترکیبی

بنابر شرایط و اقلیم و جهت، ممکن است استفاده‌ی صرف رف نوری در یک نما، نور روز بهینه در فضا را تأمین نکند و ترکیب سیستم‌های دیگر نور روز با رف‌های نوری پیشنهاد شود. ابوشی در پایان نامه‌ی ارشد خود به بررسی تأثیر و ترکیب بهینه‌ی ترکیب سایبان‌های افقی و عمودی انعطاف‌پذیر و رف‌های نوری با پوشش طیف انتخابی در ساختمان‌های اداری گرم و خشک می‌پردازد (Abboushi, 2013). (شکل‌های ۹ و ۱۰) در یک پژوهش با ساخت پنجره‌ی مدولار و صنعتی ترکیبی از مصالح PCM[۷] در پایین پنجره و رف نوری با ابعاد آزموده شده، به راه‌حل خوبی برای کاهش مصرف انرژی نسبت به پنجره‌های مرسوم رسیدند (Oteiza et al., 2011). پرز و دیگران با معرفی رف نوری جدید FLS[۸] تشکیل شده از رف نوری و لوور، آن را مؤثر در کاهش خیرگی و ایجاد یکنواختی فضا دانستند (Perez et al., 2012). در پژوهشی در مصر، نماهایی با ترکیب رف نوری و پرده‌های خورشیدی در چهار جهت، با زاویه و تناسبات متفاوت پیشنهاد شد (Sabry et al., 2013).

شکل ۹: ترکیب بهینه سایبان عمودی، افقی و رف نوری



شکل ۱۰: بررسی حالت بهینه رف نوری و سایبان در ماه‌های مختلف



ترکیب با نور مصنوعی معیار مناسبی برای تحلیل انواع و گونه شناسی رف‌های نوری است. سیستم‌های نور روز باید در تعامل با سیستم‌های نور مصنوعی به کار روند تا حداکثر بازدهی را داشته باشند (Fanchiotti & Amorim, 2001) به عنوان مثال سیستم کاهنده نور برق تا ۲۷ درصد می‌توانند در مصرف انرژی صرفه‌جویی کنند (Warren et al., 1988). در این حیطه خلأ پژوهش‌های کافی بارز است. رف‌های نوری در مقایسه با دیگر سیستم‌ها، مشخصات خود ویژه‌ای را نمایش می‌دهند. پژوهش‌های فراوانی در زمینه‌ی مقایسه‌ی عملکرد رف‌های نوری با سایر سیستم‌های نور روز انجام شده است. در جدول ۲ خلاصه‌ای از این مطالعات آمده است.

جدول ۲: مقایسه رف‌های نوری با سیستم‌های دیگر نور روز

پژوهش	مقایسه‌ی بین سیستم‌ها	تحلیل مقایسه‌ای
Soler & Oteiza, 1995	بین سه مدل سایبان و یک رف نوری	عملکرد رف نوری بهتر ارزیابی شد.
Brotas & Rusovan, 2013	چهار حالت: مورد اول و دوم WWR ۴۰% که یکی‌شان رف نوری دارد و مورد سوم و چهارم با WWR ۱۰۰% که یکیشان پوسته‌ی ثابت پارامتریک محور دارد.	سیستم با رف نوری حالت بهینه در کاهش مصرف انرژی و کاهش CO2
Ochoa & Capeluto, 2006	سیستم آنیدولیک و رف نوری	سیستم آنیدولیک کمیت روشنایی بیشتری را درون فضا می‌آورد با احتمال ایجاد خیرگی، رف نوری با توزیع یکنواختی بیشتر و کنتراست کمتر در نزدیک پنجره و عمق اتاق، نتیجه‌ی مطمئن‌تری خواهد داشت (اگرچه بخشی از روشنایی قربانی خواهد شد).
Beltran & Lee, 1994	رف نوری، لوله نوری و پنجره سقفی	رف نوری و لوله‌ی نوری ضلع جنوبی در شرایط آفتابی و زاویه‌ی ۳۰ درجه آزیموت، می‌تواند برای کل سال نور مناسبی در فاصله ۴/۶ تا ۹/۱ متری پنجره ایجاد کند.
Beltran & Selkowitz, 1996	مقایسه‌ی عملکرد رف نوری و لوله‌ی نوری در توزیع نور یکنواخت و جذب گرمای کمتر در فاصله‌ی ۴/۶ تا ۹/۱ متری از پنجره	افزایش روشنایی و کنترل خیرگی در این سیستم‌ها به نسبت سیستم‌های مرسوم در اقلیم آفتابی، تساوی روزنه‌ی لوله‌ی نوری و رف نوری و بازدهی بالاتر لوله‌ی نوری طی سال (برای رف نوری ۴ ساعت در روز و برای لوله‌ی نوری ۷ ساعت در روز)
Beltran & Uppadhyaya, 2008	مقایسه‌ی عملکرد رف نوری و لوله‌ی نوری در عمق نفوذ نور	هر دو به افزایش روشنایی در بخش‌های عمیق اتاق کمک می‌کنند و آسایش دیداری را برای کاربران فراهم می‌کنند. لوله‌ی نوری در بخش انتهایی اتاق (۱۵-۳۰ فوتی) ۱۵۰۰-۳۰۰ لوکس را فراهم می‌کند و رف نوری ۱۹۰ لوکس را به همراه یکنواختی فضا.
Floyd & Parker, 1998	رف نوری و کرکره‌ی دستی	بازدهی رف نوری بالاتر است و یکنواختی بیشتری را ایجاد می‌کند.
Kim et al., 2012	مقایسه‌ی عملکرد سرمایش و گرمایش بین چهار سایه انداز خارجی: سایبان افقی، کرکره، رف نوری و یک سیستم پیشنهادی	رف‌های نوری از لحاظ روشنایی داخلی و میزان گرمایش عملکرد بهتری نسبت به کرکره‌ها دارند. سیستم پیشنهادی دید بهتری برای کاربران فراهم می‌کند و با توجه به امکان تغییر زاویه بخش‌هایش قابلیت بهتری دارد.
Hirning et al, 2012	مقایسه‌ی کارآیی چهار تکنولوژی (LCP)[۹] ـ (LS) ـ (MLG)[۱۰] ـ (LRB)[۱۱]	به طور کلی در میان این چهار سیستم، رف نوری عملکرد بهتری دارد و (DGP)[۱۲] کمتری دارد.
Silva Dr et al., 2003	مقایسه‌ی سه حالت رف صاف، منحنی و لوورهای خارجی با حالت پنجره‌ی ساده	لوورها بیشترین کاهش روشنایی در داخل را ایجاد می‌کنند و رف نوری منحنی بیشترین قابلیت برای منحرف کردن نور را دارد.

۱۰. نتیجه‌گیری

ـ بیشتر پژوهش‌ها به مطالعه بر روی فضاهای اداری (۳۲ درصد) و پس از آن آموزشی (۱۴ درصد) پرداخته بودند. در بسیاری از پژوهش‌ها کاربری مشخص نبود (۳۹ درصد) که می‌تواند یکی از نواقص کار به حساب آید.
ـ در بین روش‌های به کار رفته در مطالعات، شبیه‌سازی کامپیوتری با توجه به پیشرفت نرم‌افزارهای گوناگون در سال‌های اخیر، در رده‌ی اول قرار دارد (در حدود ۳۷ درصد). برای اطمینان از نتیجه‌ی به دست آمده، برخی از روش‌ها می‌توانند همزمان استفاده و مقایسه شوند.
ـ در زمینه‌ی موضوع تحقیق، بیشتر پژوهش‌ها به مقایسه‌ی رف‌های نوری با سیستم‌های دیگر نور روز پرداخته بودند (۲۸ درصد) و این مقایسات نشان می‌داد رف نوری جایگاه و محبوبیت خوبی بین سیستم‌های نور روز دارد و از عملکرد و بازدهی خوبی نسبت به آن‌ها برخوردار است.
ـ رف‌های نوری نوین و پویا در ابتدای راه خود هستند. در حقیقت با پیشرفت علم و خلاقیت‌های بشر، این سیستم نیز هر روز راهی تازه‌تر برای عملکرد بهتر خواهد داشت.
ـ برای رفع برخی مشکلات نور روز از جمله ورود گرمایش ناخواسته یا خیرگی، می‌توان رف‌های نوری را با سیستم‌های دیگر ترکیب کرد.
ـ کارایی رف‌های نوری به ابعاد، اقلیم، جهت، نگهداری آن، مشخصات اجزای پنجره و ... وابسته است. برای به دست آوردن حالت بهینه در پروژه‌ی خاص باید تمام متغیرها را سنجید.
ـ در صورتی نتیجه‌ی بهتری در کل پروژه خواهیم داشت که به انتخاب نوع و سیستم نور مصنوعی در کنار این سیستم توجه شود.

تقدیر و تشکر

این مقاله برگرفته از رساله‌ی دکتری سرکار خانم فهیمه معتضدیان، با عنوان «معماری نورمبنا در فضاهای آموزشی» می‌باشد که به راهنمایی دکتر محمدجواد مهدوی نژاد و مشاوره دکتر فرح حبیب و دکتر داراب دیبا در دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات تهران در دست انجام است.

پی‌نوشت

1. Light Shelf
2. Post Occupancy Evaluation
3. Larkfield
4. Selective Reflector Light Shelf
5. Open Loop/Close Loop
6. Variable Area Lighting Reflecting Assembly
7. Phase-Change Material
8. Fragmented Light Shelf
9. Laser Cut Panel
10. Micro Light Guides
11. Light Redirecting Blinds
12. Daylight Glare Probability

References

- Abdulmohsen, A., Boyer, L.L., & Degelman, L.O. (1994). Evaluation of Lightshelf Daylighting Systems for Office Buildings in Hot Climates. 9th Symposium on Improving Building Systems in Hot and Humid Climates, Arlington, TX.
- Abboushi, B.Kh. (2013). The Effect of Adaptive Shading and the Selective Reflector Light Shelf on Office Building Energy and Daylight Performance in Hot Arid Regions. Master of Science in architecture. Thesis, the University of Arizona.
- Aghemo, C., Pellegrino, A., & LoVerso, V.R.M. (2008). The Approach to Daylighting by Scale Models and Sun and Sky Simulators: A Case Study for Different Shading Systems. *Building and environment,* 43(6), 917-927
- Antoniou, K., & Meresi, A. (2006). The Use of the Artificial Sky as a Means for Studying the Daylight Performance of Classrooms. the 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture, Geneva, Switzerland.
- Athienintis, K.A., & Tzempelikos, A. (2002). A Methodology For Simulation Of Daylight Room Illuminance Distribution And Light Dimming For a Room With A Controlled Shading Device. *Solar Energy*, 72(4), 271-281.
- Baker, N., Fanchiotti, A., & Steemers, K. (Eds.) (1993). *Daylighting in Architecture*. London: James and James.
- Bakker, L.G., Hoes-van Oeffelen, E.C.M., Loonen, R.C.G.M., & Hensen, J.L.M., (2014). User satisfaction and interaction with Automated Dynamic Facades: A Pilot Study. *Building and Environment*, 78, 44-52.
- Beltran, O. L., & Lee, S. E. (1994). *The Design and Evaluation of Three Advanced Daylighting System, Solar Golden Opportunities for Solar Prosperity*, San Jose, California.
- Beltran, L.O., Lee, E.S., & Selkowitz, S.E. (1996). *Advanced Optical Daylighting Systems: Light Shelves and Light Pipes*, Illuminating Engineering Society. Berkley, CA, 92.
- Beltran, O. L. (2008). Uppadhyaya, Kapil, Displacing Electric Lighting with Optical Daylighting Systems. 25th Conference on Passive and Low Energy Architecture, Dublin.
- Boubekri, M., Yin, Z., & Guy, R. (1997). A Neural Network Solution to an Architectural Design. *Architectural Science Review*, 40, 17-21.
- Burt Hill Kosar Rittlemann Associates. (1985). Thermal and Optical Performance Characteristics of Reflective Light Shelves in Buildings Problem: Design of a Light Shelf, *Architectural Science Review*, 40(1) 17-21.
- Brotas, L., & Rusovan, D. (2013). Parametric Daylight Envelope, 29th Conference of Sustainable Architecture for a Renewable Future. Munich, Germany.
- Claros, S., Solera, A. (2002). Indoor Daylight Climate Influence of Light Shelf and Model Reflectance on Light Shelf Performance in Madrid for Hours with Unit Sunshine Fraction, *Building and Environment*, (37) 587–598.
- Claros, S. & Solera, A. (2002). Indoor Daylight Climate Comparison between Light Shelves and Overhang Performances in Madrid for Hours with Unit Sunshine Reaction and Realistic Values of Model Reflectance. *Solar Energy*, 71(4), 233-239.
- Daich, S., Noureddine, Z., & Yacine, S.M. (2013) A Study of Optimization of the Light Shelf System in Hot and Arid Zones. American Solar Energy Conference.
- Daum, D. (2011), *On the Adaptation of Building Controls to the Envelope and the Occupant*. Switzerland: Ecole Polytechnique University.
- Dowlatabadi, M. (2013). Energy Consumption Optimization Using Daylight in Educational Classrooms. Master of Science in architecture. M.Sc. Dissertation, Tarbiat Modares University.
- Eckerlin, H., & Atre, U. (2007). *A New Daylighting Strategy for a Middle School in North Carolina,* Innovative Design Inc.
- Edmonds I.R., & Greenup, P.J. (2003). Daylighting in the Tropics. *Solar Energy*, 73, 111–121.
- Evanz, H.B. (1981). *Daylight in Architecture*. (Sh. Pourdehimi, & H. Adl Tabatabayi, Trans.) Tehran: Nokhostin.
- Fanchiotti, A., & Amorim, C. (2001). Daylighting in Commercial Buildings: The Use of New Components and Design Solutions to Optimize Visual Comfort and Energy Efficiency. 7th International IBPSA Conference Rio de Janeiro, Brazil.
- Faizi, F., Noorani, M., & Mahdavinejad, M. (2011). Propose a Kind of Optimal Intelligent Window in Tropical Region with an Ability to Reduce the Input Light and Heat and Having Enough Visibility to Outside. 2011 International Conference on Intelligent Building and Management, IACSIT Press, Singapore.
- Floyd, D., & Parker, D. (1998). Daylighting: Measuring the Performance of Light Shelves and Occupant Controlled Blinds on a Dimmed Lighting System, *11th Symposium on Improving Building Systems in Hot and Humid Climates*, Fort Worth, Texas.
- Franco, M.I. (2007). Efficiency of Light Shelves: Passive, Dynamic, and Automatic Devices Related to Light and Thermal Behavior, Conference Proceeding by ASHRAE.
- Freewan, A. A., Shao. L., & Riffat, S. (2008). Optimizing Performance of the Lightshelf by Modifying Ceiling Geometry in Highly Luminous Climate. *Solar Energy,* 82(4), 343-353.

- Freewan. A.A. (2010). Maximizing the Lightshelf Performance by Interaction between Litshelf Geometries and a Curved Ceiling. *Energy Conversion and Management*, 51(8), 1600-1604.
- Hammad, F., & Bassam A. (2010). The Energy Savings Potential of Using Dynamic External Louvers in an Office Building. *Energy and Buildings*, 42(10), 1888-1895.
- Hirning. M., Hansen, G., & Bell, J. (2010). *Theoretical Comparison of Innovative Window Daylighting Devices for a Sub-tropical Climate Using Radiance*. Institute for Energy, Congress Centre Messe Frankfurt.
- Hu, J., Du, J., & Place, W. (2011). *The Assessment of Advanced Daylighting Systems in Multi-Story Office Buildings Using a Dynamic Method*. World renewable energy congress, Sweden: Linkoping.
- Hu, J. (2003). The Design and Assessment of Advanced Daylighting Systems Integrated with Typical Interior Layouts in Multi-story Office Buildings, PhD thesis, university of Raleigh.
- Joarder, M.A.R. (2009). A Simulation Assessment of the Height of Lightshelves to Enhance Daylighting in Tropical Office Buildings under Overcast Sky Conditions in Dhaka. Bangladesh, 11th International IBPSA Conference, Glasgow, Scotland, 920-927.
- Kassab, M., & Love. A.J. (2005). The Potential of Comfort Daylighting Design on Improving the Energy Efficiency of Commercial Buildings. 9th International IBPSA Conference Montréal, Canada.
- Kim, G., Lim, H.S., Lim, T.S., Schaefer, L., & Kim, J.T. (2012). Comparative Advantage of an Exterior Shading Device in Thermal Performance for Residential Buildings. *Energy and Environment*, (46), 105-111.
- Lee, H., Seo, J., & Kim, Y. (2014). A Study on Daylighting Performance Evaluation of Light Shelf based on the Spatial Form of Inclined Ceiling. *Smart Home*, 8(4), 1-14.
- Littlefair, P.J. (1995) Light Shelves: Computer Assessment of Daylighting Performance. *Lighting Research and Technology*, 27(2), 79-91.
- Loonen, R. (2010). Climate Adaptive Building Shells, What Can We Simulate?, M. Sc. thesis, university of technology, Eindhoven, Netherlands.
- Luke, A., & Nicholson, P.E. (2004). Integrating Sustainable Building Design and Construction Principles into Engineering Technology and Construction Management Curricula, American Society for Engineering Education (ASEE) Annual Conference, Salt Lake City, UT.
- Mahdavinejad, M. (2004). Wisdom of Islamic Architecture: Recognition of Iranian Islamic Architecture Principles. *HONAR-HA-YE-ZIBA*, (19), 57-66.
- Mahdavinejad, M. (2005). Education of Architectural Criticism. *HONAR-HA-YE-ZIBA*, (23), 69-76.
- Mahdavinejad, M. & Javanrudi, K. (2012). Comparative Evaluation of Airflow in Two Kinds of Yazdi and Kermani Wind-Towers. *HONAR-HA-YE-ZIBA*, winter 2012, (48), 69-80.
- Mahdavinejad, M. & Mashayekhy, M. (2011). The Principles of Architectural Design of Mosques with Particular Reference to Socio-Cultural Activities. Armanshahr, 3(5), 65-78.
- Mahdavinejad, M. & Nagahani, N. (2011). Expression of Motion Concept in Contemporary Architecture of Iran. *Journal of Studies in Iranian-Islamic City*, 1(3), 21-34.
- Mahdavinejad, M., Bemanian, M. & Amini, M. (2013a). Presentation of the Models and Methods of Transformation of Tehran to Educating City; With the Emphasis on International Basement and Pragmatism Program. *Urban Management*, (31), 83-106.
- Mahdavinejad, M., Bemanian, M. & Khaksar, N. (2011). Architecture and Identity- Explanation of the Meaning of Identity in Pre-Modern, Modern and Post-Modern Eras. *Hoviateshahr*, 4(7), 113-122.
- Mahdavinejad, M., Bemanian, M. & Molaee, M. (2012a). Architecture in Context: Inspiration of Conceptualism in Design. *Naqshejahan*, 1(1), 21-34.
- Mahdavinejad, M., Hamzenejad, M. & Kamyab, M. (2012b). Principles and Fundamentals of Design and Building of Mosalas in Contemporary Iranian Architecture. *Journal of Studies on Iranian-Islamic City*, 3(9), 37-47.
- Mahdavinejad, M., Khabiri, S. & Maleki, K. (2013b). Principles and Criteria of Lighting Urban Squares; Case Study: Tehran Square. *Armanshahr, Special Issue of the 1st Iran Lighting Design Conference Selected Articles*, 67-83.
- Mahdavinejad, M., Matoor, S., & Fayaz, R. (2012e). Vertical Illuminance Measurement for Clear Skies in Tehran. *Armanshahr Architecture & Urban Development*, 4(8), 11-19
- Mahdavinejad, M., Matoor, S., Feyzmand, N., & Doroodgar, A. (2012c). Horizontal Distribution of Illuminance with Reference to Window Wall Ratio (wwr) in Office Buildings in Hot and Dry Climate, Case of Iran, Tehran. *Applied Mechanics and Materials*, (110-116), 72-76
- Mahdavinejad, M., Siami Namin, M. & Abossedgh, V. (2013c). New Lighting Technologies in Contemporary Iranian Architecture. *Armanshahr, Special Issue of the 1st Iran Lighting Design Conference Selected Articles*, 37-43.
- Mahdavinejad, M. (2003). Islamic Art, Challenges with New Horizons and Contemporary Beliefs. *HONAR-HA-YE-ZIBA*, (12), 23-32.
- Mahdavinejad, M., Bemanian, M., & Mashayekhi, M. (2012d). Asbads; the Oldest Windmills of the World.

Naqshejahan, 2(1): 43-54.

- Mahdavinejad, M., Bemanian, M., & Matoor, S. (2013d). Estimation Performance of Horizontal Light Pipes in Deep-Plan Buildings. *HONAR-HA-YE-ZIBA*, 17(4), 41-48.
- Nair, MG., Ramamurthy, K., & Ganesan, AR. (2013). Classification of Indoor Daylight Enhancement Systems. *Lighting Research and Technology*, 46, 245-267.
- Ochoa, C.E. & Capeluto, I.G. (2006). Evaluating Visual Comfort and Performance of Three Natural Lighting Systems for Deep Office Buildings in Highly Luminous Climates. *Building and Environment,* (41), 1128–1135.
- Oteiza, P., Orozco, S., Perez, M., Bedoya, C., & Neila, J. (2011). *Optimized Modular Window as a Sustainable and Industrialized Solution for Indoor Daylighting*, World Renewable Energy Congress, Sweden: Linkoping.
- Perez, M., Oteiza, P., & Neila., J. (2011). Fragmented Light Shelf: Sun Protection System and Daylighting Optimization. 28th Conference, Opportunities, Limits & Needs Towards an environmentally responsible architecture Lima, Perú.
- Raphael, B. (2011). Active Control of Daylighting Features in Buildings. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, (26), 393-405.
- Raphael, B. (2014). Control of an Adaptive Light Shelf Using Multi Objective Optimization. 31st ISARC, Sydney, Australia, 81-87.
- Sabry, H., Sherif, A., & Gadelhak, M. (2012). Utilization of Combined Daylighting Techniques for Enhancement of Natural Lighting Distribution in Clear-Sky Residential Desert Buildings. 28th Conference, Opportunities, Limits & Needs Towards an environmentally responsible architecture Lima, Perú.
- Schuman, J., Rubinstein, F., Papamichael, K., Beltran, L., Lee, E.S., & Selkowitz, S. (1992). *Technology Reviews Daylighting Optical Systems*. AIIM, Maryland, 27-29.
- Sethi, A. (2003). A Study of Daylighting Techniques and Their Energy Implications Using a Designer Friendly Simulation Software. American Solar Energy Conference, Austin, TX.
- Shikder, S.H., Mourshed, M., & Price, A.D.F. (2010). Optimization of a Daylight Window: Hospital Patient Room as a Test Case, International Conference on Computing in Civil and Building Engineering, England: Nottingham University.
- Silva Dr, F., Macedo Ms, C.C., Baracho Ms, A.S.B., Santana, M., & Lucio, P. (2003). Luminous Performance of Direct Sunlighting Systems in Classrooms. The 20th Conference on Passive and Low Energy Architecture, Santiago, CHILE.
- Soler, A., & Oteiza, P. (1995). A Comparison of the Daylighting Performance of Different Shading Devices Giving the Same Solar Protection. *Architectural Science Review*, (38), 171-176.
- Soler, A., & Oteiza, P. (1996). Dependence on Solar Elevation of the Performance of a Light Shelf as a Potential Daylighting Device. *Renewable Energy*, (8), 198-201.
- Soler, A., & Oteiza, P. (1997). Light Shelf Performance in Mardid. Spain. *Building and Environment*, 32(2), 87-93.
- Warren, M., Selkowitz, S., Morse, O., Benton, C., & Jewell, J.E. (1988). Lighting System Performance in an Innovative Daylighted Structure: an Instrumented Study Proc. 2nd Int. Daylighting Conf., Long Beach, 215-221.
- Wu, W., & Ng, E. (2003). A Review of the Development of Daylighting in Schools. *Lighting Research and Technology*, (35), 111-125.
- Xue, P., Mak, C.M., & Cheung, H.D. (2014). New Static Lightshelf System Design of Clerestory Windows for Hong Kong. *Building and Environment*, (72), 368-376.
- Yener, K. A. (1999). A Method of Obtaining Visual Comfort Using Fixed Shading Devices in Rooms. *Building and Environment*, (34), 285-291.