

شکل ۲. مقطع و شکل سه‌بعدی شیشه‌های منشوری [۷].

Light Guides

به افزایش روشنایی طبیعی داخل ساختمان درعین جلوگیری از خیرگی گفته می‌شود.

نورسانی عموماً با کنترل جهت نور و یکنواخت کردن پخش آن در فضا انجام می‌شود. سامانه‌های نورسانی را می‌توان به دو گروه جانبی و عمودی دسته‌بندی کرد [۱].

سامانه‌های جانبی (دیواری)

به افزایش عملکرد پنجره‌های ساختمان کمک می‌کنند.

پنجره‌ها

ساده‌ترین سامانه نورسانی جانبی است. عمق نفوذ نور، به ارتفاع پنجره بستگی دارد: حداکثر عمق نفوذ نور، $1/5$ برابر ارتفاع بخش فوقانی پنجره از کف اتاق است [۲]. درمقابل، هرچه عرض پنجره بیشتر باشد، توزیع نور در فضا یکنواخت‌تر می‌شود [۲].

طاقچه‌های نوری (Light shelves)

عناصری افقی هستند که در قسمت‌های بالاتر از سطح دید، به پنجره اضافه می‌شوند و بخشی از نور را به سقف بازتاب می‌دهند (شکل ۱). به این صورت کنتراست بین روشنایی اطراف پنجره را با بخش‌های انتهایی اتاق کم می‌کنند [۳] و حداکثر عمق نفوذ نور را تا $2/5$ برابر ارتفاع بخش فوقانی

پنجره از کف اتاق افزایش می‌دهند [۲]. جهت‌گیری، ابعاد و اندازه پنجره، شکل اتاق و عرض جغرافیایی محل، در طراحی آنها تأثیرگذار است [۴]. این سامانه‌ها برای کنترل تابش مستقیم مؤثرند؛ بنابراین استفاده از آنها در پنجره‌های شمالی توصیه نمی‌شود و در پنجره‌های شرقی، غربی و اقلیم‌های ابری، بازدهی کمی دارند [۳].

شیشه‌های منشوری (Prismatic glazing)

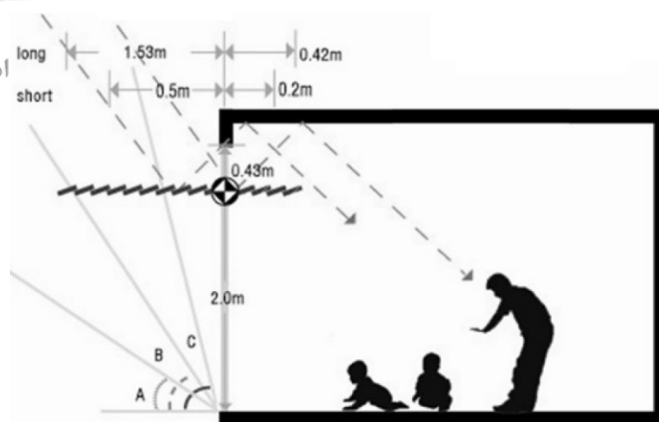
شیشه‌های منشوری (شکل ۲) براساس قوانین بازتاب و شکست نور عمل می‌کنند؛ بخشی از نور، به سقف منعکس می‌شود، درحالی که بقیه نزدیک پنجره باقی می‌ماند. به این صورت، درعین جلوگیری از خیرگی، پخش نور خورشید در محیط داخلی یکنواخت‌تر خواهد شد. عبور نور از شیشه‌های منشوری، در شرایط ابرناکی آسمان به شدت کاهش می‌یابد؛ بنابراین در اقلیم‌های با روزهای ابری زیاد، باید بین دو لایه شیشه شفاف و در بخش‌های بالایی پنجره قرار گیرند [۵].

هولوگرام‌ها

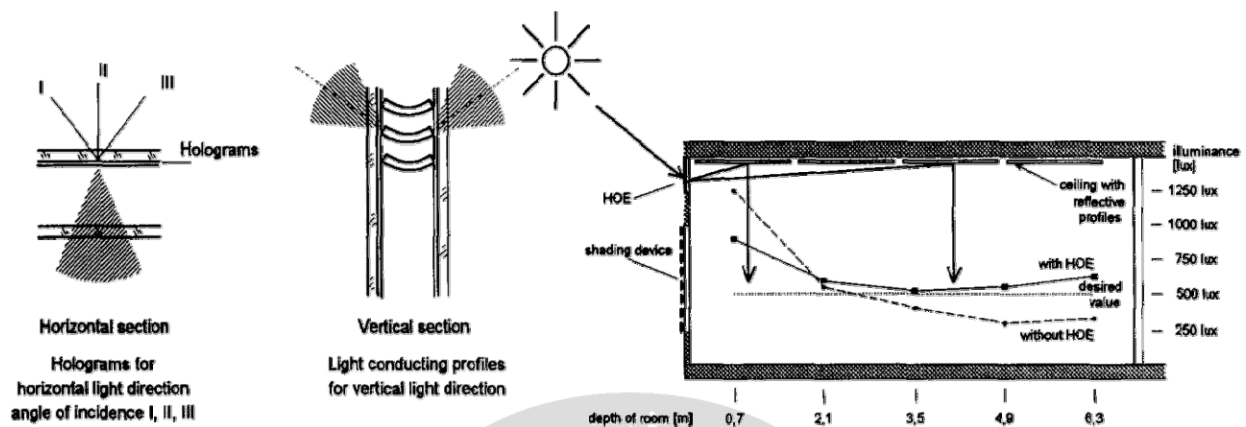
صفحات نوری هولوگرافیک (Holographic optical elements-HOEs) به منظور بهبود نفوذ و پخش نور طبیعی در فضای داخلی ساختمان، جهت نور را تغییر می‌دهند (شکل ۳). آنها می‌توانند با سایر سامانه‌های کنترل نور ترکیب شوند و مصرف انرژی الکتریکی برای روشنایی را بیش از ۵۰ درصد کاهش دهند [۸]. همچنین می‌توانند طیف فروسرخ را از مرئی جدا کنند [۹]. از معایب آنها می‌توان به کاهش شفافیت شیشه و هزینه زیاد این صفحات اشاره کرد.

سامانه‌های خطی-سه‌موی (Anidolic)

سامانه خطی-سه‌موی (شکل ۴) بخشی از نور طبیعی را به



شکل ۱. طاقچه نوری [۶].



شکل ۳. جزئیات صفحات نوری هولوگرافیک [۸].

در شرایط آسمان ابری، سه برابر مقداری است که به سطوح عمودی می‌رسد؛ بنابراین در صورت استفاده از این سامانه صرفه‌جویی فراوانی در انرژی الکتریسیته ایجاد می‌شود [۱۶]. این نورگیرها به علت ورود بار حرارتی زیاد، به فضای داخلی در تابستان، برای استفاده مستقیم در مناطق گرم مناسب نیستند [۱۷]. بنابراین بهتر است که با سایر فناوری‌های کنترل نور ترکیب شوند، به صورت شیب‌دار یا با چاه نوری قرار گیرند، یا از شکل‌ها، زوایا و جهت‌گیری‌های مختلف سقف برای بهبود بازدهی آنها استفاده شود.

عمق اتاق هدایت می‌کند. میزان صرفه‌جویی انرژی الکتریکی با استفاده از این سامانه بیش از ۲۰ درصد گزارش شده است [۱۰]. این سامانه حتی در شرایط ابری هم عملکرد مناسبی دارد [۱۱]. سامانه‌های خطی-سه‌موی شدت روشنایی نسبتاً زیادی را از نظر کمی فراهم می‌کنند، ولی در طراحی آنها، باید زوایای خورشیدی را در نظر گرفت؛ زیرا روکش انعکاسی آنها ممکن است حتی در شرایط عملکرد مطلوب، سامانه خیرگی ایجاد کند.

کرکره‌ها و تابش‌بندها

برخلاف سایبان‌های عمیق که معمولاً عمق نفوذ نور را کم می‌کنند، استفاده از سایبان‌های کرکره‌ای (شکل ۵) نور را در مرکز و انتهای اتاق افزایش می‌دهند [۲]. مشخصات نوری این سامانه‌ها، به عوامل گوناگونی از جمله جنس و رنگ پره‌ها، زاویه چرخش آنها، شکل، اندازه، وضعیت قرارگیری، و زاویه پژوهشگاه مواد و انرژی برخورد پرتوهای خورشید بستگی دارند [۱۳]. با کاربرد این سامانه، در پنجره‌های جنوبی، شرقی و غربی، مصرف انرژی الکتریکی ۲۵ تا ۳۰ درصد کاهش می‌یابد [۱۴ و ۱۵].

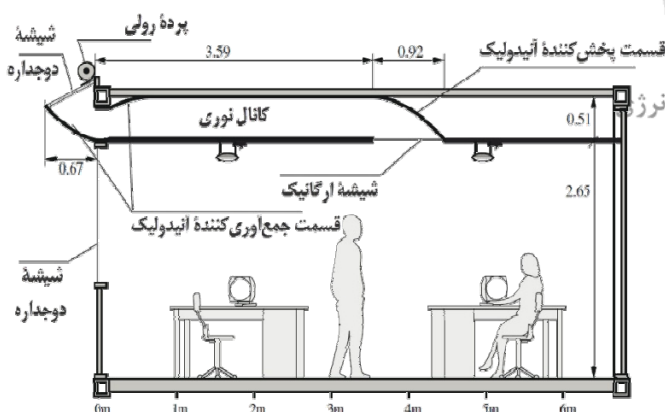
سامانه‌های عمودی (سقفی)

نورگیرهای سقفی

بازشوهایی هستند که روزنه آنها مستقیماً روی بام تخت یا شیب‌دار قرار گرفته است. میزان روشنایی سطوح افقی، حتی

نورگیرهای مرکزی (آتریوم)

برخلاف نورگیرهای سقفی که فقط در بالاترین طبقه



شکل ۴. بخش‌های مختلف سامانه خطی-سه‌موی [۱۲].

نورسانی

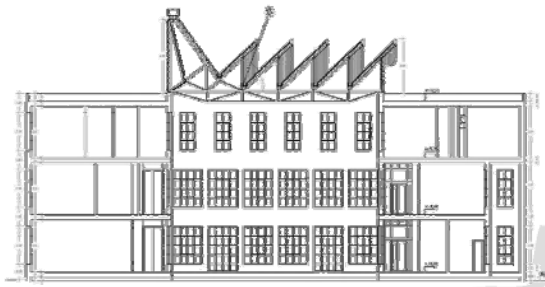
تأثیرات تابش فرابنفش و عوامل محیطی مقاوم باشد تا بتواند لوله هدایت کننده را از نفوذ گرد و خاک و رطوبت محافظت کند؛

ب) هدایت کننده: یک لوله منعکس کننده که می تواند مستقیم یا دارای زانویی باشد. این بخش از حیث نوع مصالح به کار رفته برای انعکاس نور، به سه گروه آینه‌ای، منشوری، و دوگانه تقسیم بندی می شود؛

ج) بخش کننده: در سقف فضای داخلی کار گذاشته می شود؛ اگرچه لوله های نوری می توانند حتی در شرایط ابری، روشنایی طبیعی را به دورترین زوایای ساختمان منتقل کنند [۲۲]، اما برای داشتن عملکرد کامل، باید مستقیماً به سمت خورشید جهت گیری شوند [۲۳]. عواملی از قبیل جهت گیری، زاویه سمت و ارتفاع خورشید و زاویه برخورد تابش بر عملکرد آنها اثرگذار است.



شکل ۵. نورسانی در کرکرها [۱۸].



شکل ۶. نورگیرهای زیرسقفی دندانه ای [۲۱].

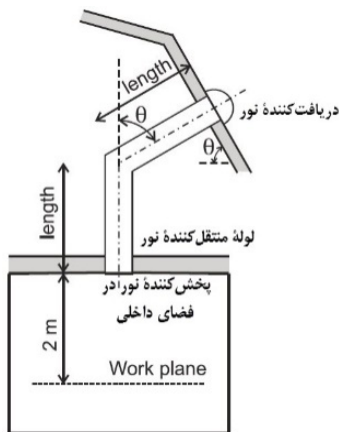
ساختمان کاربرد دارند، آتریوم، امکان ورود نور روز را به همه طبقات فراهم می کند. میزان نوری که به عمق آتریوم می رسد، به شکل و تناسب طول/عرض/ارتفاع چاه و ضریب انعکاس دیوارهای داخلی آن بستگی دارد [۱۹]. برای توزیع یکنواخت تر نور در بین طبقات، می توان اندازه بازشوهای طبقات بالا را کوچک تر در نظر گرفت یا ضریب انعکاس شیشه آنها را افزایش داد [۲].

نورگیرهای زیرسقفی و سامانه های دندانه ای (Roof monitor and Saw-tooth systems)

از بازشوهای عمودی یا شیب داری روی سقف تشکیل می شوند (شکل ۶). مزیت آنها این است که برخلاف نورگیرهای سقفی-تابش خورشید را در زمستان که ارتفاع خورشید پایین است، به داخل ساختمان هدایت می کنند ولی در تابستان این اتفاق نمی افتد [۲۰].

لوله های نوری (Light tubes and Light pipe systems)

این لوله ها از سه جزء تشکیل می شوند (شکل ۷): الف) دریافت کننده: یک نورگیر سقفی مدور که باید در برابر



شکل ۷. مقطع لوله نوری [۲۲].

جدول ۱. مقایسه بین سامانه‌های مختلف کنترل و هدایت نور طبیعی

نوع سامانه	اقليم	محل قرارگيري	کنترل خیرگی	ايجاد دید به بیرون	هدایت نور به عمق فضا	روشنایی یکنواخت	صرفه‌جویی در انرژی
سامانه‌های جانبی (دیواری)	پنجره‌های عمودی	همه اقلیم‌ها	دیوار	بسته به نوع طراحی	بله	خیر	بسته به نوع طراحی
	طاقچه‌های نوری	همه اقلیم‌ها	پنجره‌های عمودی	بسته به نوع طراحی	بله	بله	بله
	شیشه‌های منشوری	همه اقلیم‌ها	پنجره‌های عمودی و سقفی	بسته به نوع طراحی	خیر	بسته به نوع طراحی	بله
	هولوگرام‌ها و سامانه‌های آیینه‌ای	همه اقلیم‌ها به خصوص اقلیم معتدل	نورگیرهای سقفی و آتریوم‌ها	بسته به نوع طراحی	خیر	بله	بله
	سقف‌های آنیدولیک	اقلیم معتدل	سقف	بسته به نوع طراحی	خیر	بله	بله
سامانه‌های فوقانی (سقف)	کرکره‌ها و تابش‌بندها	همه اقلیم‌ها	پنجره‌های عمودی	بله	بسته به نوع طراحی	بله	بله
	نورگیر سقفی	اقلیم‌های گرم و آفتابی	سقف	بسته به نوع طراحی	خیر	بله	بله
	آتریوم	همه اقلیم‌ها	سقف و دیوارهای داخلی	بله	خیر	بله	خیر
	مانیتورهای سقفی و سامانه‌های دندانه‌ای	همه اقلیم‌ها	سقف	بسته به نوع طراحی	خیر	بسته به نوع طراحی	بله
	لوله‌های نوری	همه اقلیم‌ها به خصوص شرایط آفتابی	سقف	بله	خیر	بله	بله

مزایا و معایب سامانه‌های نوررسانی در جدول ۱ خلاصه

شده است:

مداخل مرتبط

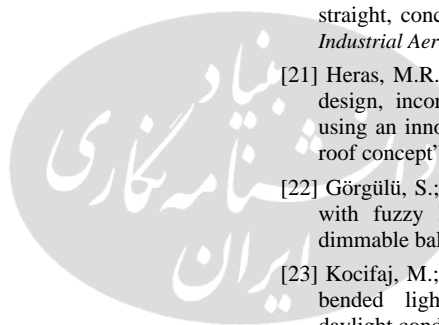
پنجره - شیشه هوشمند.

کتاب‌شناسی

- [7] Andersen, M.; et al. "Comparison between ray-tracing simulations and bi-directional transmission measurements on prismatic glazing". *Solar Energy*, vol. 74, 2003.
- [8] Müller, H.F.O. "Application of holographic optical elements in buildings for various purposes like daylighting, solar shading and photovoltaic power generation". *Renewable Energy*, vol. 5, no. 5, 1994.
- [9] Breitenbach, J.; Rosenfeld, J.L.J. "Gonio-spectrometer measurements of the optical performance of a holographic optical element". *Solar Energy*, vol. 68, no. 5, 2000.
- [10] Wittkopf, S.K.; et al. "Prediction of energy savings with anidolic integrated ceiling across different daylight climates". *Energy and Buildings*, vol. 38, no. 9, 2006.
- [11] Wittkopf, S.K. "Daylight performance of anidolic ceiling under different sky conditions". *Solar Energy*, vol. 81, 2007.
- [12] Linhart, F.; et al. "Performance of anidolic daylighting systems in tropical climates: parametric studies for identification of main influencing factors". *Solar Energy*, vol. 84, no. 7, 2010.
- [13] Tzempelikos, A. "The impact of venetian blind geometry and tilt angle on view, direct light transmission and interior illuminance". *Solar Energy*, vol. 82, no. 12, 2008.
- [14] Oh, M.H.; et al. "Automated control strategies of inside slat-type blind considering visual comfort and building energy performance". *Energy and Buildings*, vol. 55, 2012.
- [15] Hammad, F.; Abu-Hijleh, B. "The energy savings potential of using dynamic external louvers in an office building". *Energy and Buildings*, vol. 42, no. 10, 2010.
- [16] Chel, A.; et al. "A model for estimation of daylight factor for skylight: an experimental validation using pyramid shape skylight over vault roof mud-house in New Delhi
- [1] Gago, E. J.; et al. "Natural light controls and guides in buildings: energy saving for electrical lighting, reduction of cooling load". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 41, 2015.
- [2] قیابکلو، زهرا. مبانی فیزیک ساختمان ۵: نور روز. تهران: جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر، ۱۳۹۲.
- [3] Ochoa, C.E.; Capeluto, I. G. "Evaluating visual comfort and performance of three natural lighting systems for deep office buildings in highly luminous climates". *Building and Environment*, vol. 41, no. 8, 2006.
- [4] Freewan, A.A. "Maximizing the lightshelf performance by interaction between lightshelf geometries and a curved ceiling". *Energy Conversion and Management*, vol. 51, no. 8, 2010.
- [5] Edmonds I.R. "Performance of laser cut light deflecting panels in daylighting applications". *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 29, 1993.
- [6] Kim, G.; et al. "Comparative advantage of an exterior shading device in thermal performance for residential buildings". *Energy and Buildings*, vol. 46, 2012.

- (India)". *Applied Energy*, vol. 86, no. 11, 2009.
- [17] Al-Obaidi, K.M.; et al. "A study of the impact of environmental loads that penetrate a passive skylight roofing system in Malaysian buildings". *Frontiers of Architectural Research*, vol. 3, no. 2, 2014.
- [18] Köster, H., "Daylighting Controls, Performance and Global Impacts". *Sustainable Built Environments*, 1st ed. New York: Springer, 2013.
- [19] Mohsenin, M.; Hu, J. "Assessing daylight performance in atrium buildings by using climate based daylight modeling". *Solar Energy*, vol. 119, 2015.
- [20] Peren, J.I.; et al. "Impact of roof geometry of an isolated leeward sawtooth roof building on cross-ventilation: straight, concave, hybrid or convex?" *Wind Engineering & Industrial Aerodynamics*, vol. 145, 2015.
- [21] Heras, M.R.; et al. "Energetic analysis of a passive solar design, incorporated in a courtyard after refurbishment, using an innovative cover component based in a sawtooth roof concept". *Solar Energy*, vol. 78, no. 1, 2005.
- [22] Görgülü, S.; Ekren, N. "Energy saving in lighting system with fuzzy logic controller which uses light-pipe and dimmable ballast". *Energy and Buildings*, vol. 61, 2013.
- [23] Kocifaj, M.; et al. "Availability of luminous flux below a bended light-pipe: design modelling under optimal daylight conditions". *Solar Energy*, vol. 86, no. 9, 2012.

محمد حق شناس؛ محمدرضا بمانیان؛ زهرا قیابکلو



دانشنامه انرژی



پژوهشگاه مواد و انرژی