نشریه علمی معماری اقلیم گرم و خشک
سال هشتم، شماره یازدهم، بهار و تابستان ۱۳۹۹

مقالهٔ پژوهشی

کارایی ادراکی نور روز:
یک مطالعه مروری ساختاریافته از نقش الگوهای انتشار نور روز بر ادراکات ساکنان در فضاهای داخلی

سهراب رضایی[۱]، علی شرقی[۲]*

۱- دانشجوی دکتری معماری، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی تهران، تهران، ایران

۲- استادیار دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی تهران، تهران، ایران

(دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۰۷، پذیرش: ۱۳۹۹/۰٤/۲۱)

چکیده

کارایی ادراکی نور روز معطوف به ارزیابی نور روز در سطح چشم انسان و رابطهٔ آن با نیازهای روان‌شناختی (حالات و روحیات) و به‌تبع آن تجربه فضایی ساکنان است که خود از معیارهای معمارانه جداره‌های نور گذر و یا نمای ساختمان که الگوهای متفاوتی از انتشار نور در فضای داخلی را شکل می‌دهند، تأثیر می‌پذیرد؛ علی‌رغم این تأثیرپذیری، به نظر می‌رسد معماران از اثرات ادراکیِ این الگوها در فضای داخلی ساختمان‌ها به‌شکل نظام‌مند، روشن و دقیق مطلع نیستند. این تحقیق با مرور ساختاریافته پژوهش‌های پیشین؛ به‌دنبال تبیین رابطه بین الگوهای متفاوت انتشار نور روزِ برآمده از مشخصه‌های طراحی جداره‌های نور گذر (متغیر مستقل) و ادراکات ساکنان (متغیر وابسته) در فضاهای داخلی و شناسایی روش‌ها و ابزارهای قابل اتکا برای سنجش، کمی-سازی و پیش‌بینی رابطه بین این دو و در نهایت تبیین خلاءهای پژوهشی مرتبط با موضوع تحقیق است. یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که ادراکات افراد از طریق دو بعد خوشایندی و برانگیختگی احساسات قابل تبیین است که محققان جهت ارزیابی این دو بعد از روش‌های متفاوت ارزیابی ذهنی مبتنی‌بر استخراج داده‌های خودگزارشی از طریق ابزار پرسش‌نامه و ارزیابی عینی بر پایه استخراج داده‌های فیزیولوژیکی و مشاهده‌ای برآمده از شبکه‌های حسگر بدن انسان (BSN) در محیط واقعیت مجازی (VR) بهره برده‌اند. همچنین یافته‌ها نشان می‌دهند که شاخص تضاد فضایی اصلاح‌شده (mSC) برای سنجش تضاد تیرگی و روشنی، شاخص حجم تصویر فشرده‌سازی شده در قالب JPEG و شاخص تشخیص میزان لبه PNG-PERIM8 جهت سنجش سطح پیچیدگی تصاویر، قابل اتکاترین شاخص‌های کمیِ تصویر مبنا در پیش‌بینی اثرات ادراکی نور روز و شاخص طیف دامنه فوریه دو بعدی (FFT2) در پیش‌بینی اثرات ادراکیِ سایر محرک‌های بصری هستند. در مجموع می‌توان بیان داشت که دستاورد این تحقیق می تواند زمینه‌ساز شکل‌گیری طیف گسترده‌ای از مطالعات مرتبط با موضوع پژوهش در آینده شود.

کلید واژه‌ها: نور روز، ادراک، واقعیت مجازی، ارزیابی ذهنی، ارزیابی عینی

---

*- نویسنده مسئول: Email: sharghi@sru.ac.ir

این مقاله در راستای پایان‌نامه دکتری نویسنده اول با عنوان "تبیین رابطه هندسه الگوهای انتشار نور روز و ادراکات حسی ساکنان در ساختمان های مسکونی " است که با راهنمایی نویسنده دوم در دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی در حال انجام است.

پرسش‌های پژوهش

۱- چه رابطه‌ای بین الگوهای متفاوت انتشار نور روز و ادراکات ساکنان وجود دارد؟

۲- روش‌ها و ابزارهای قابل اتکا جهت سنجش، کمی‌سازی و پیش‌بینی رابطه بین این دو کدامند؟

۳- خلاءهای پژوهشی مرتبط با موضوع تحقیق چیست؟

۱- مقدمه

نور روز ماهیتی پویا و متغیر دارد که می‌تواند بر مبنای معیارهای طراحی جداره‌های نور گذر (نمای ساختمان) به‌ویژه هندسه آن، الگوها و ریتم سایه و روشن متفاوتی را در فضای داخلی شکل دهد و بر مبنای موقعیت جغرافیایی ساختمان، زمان، نوع فعالیت‌های فضا، موقعیت و زاویه دید ناظر در فضا و شرایط آسمان ابری یا صاف، ادراکات و یا حس‌وحال متفاوتی را در ساکنان ترغیب و در کل تجربه فضایی متفاوتی را برای آن‌ها ایجاد نماید (Abboushi et al, 2019; Andersen, 2015, Chamilothori et al, 2019; Moscoso et al, 2020; rockastle et al, 2017b). با این‌حال، به نظر می‌رسد که ساختمان‌های امروزی تا سطح مطلوبی ساکنان را از تأثیراتِ ادراکی نور روز در فضاهای داخلی بهره‌مند نمی‌سازند که این امر می تواند ریشه در سه رویکرد اصلیِ مشهود و چالش-برانگیزِ پیش‌گرفته‌شده از جانب معماران در طراحی جداره‌های نور گذر ساختمان‌های امروزی داشته باشد.

در رویکرد اول، جداره‌های نورگذر ساختمان‌ها فاقد طراحی به‌خصوصی بوده و بازشوها تماماً در معرض نور مستقیم هستند که این امر سبب می‌شود ساکنان آن‌ها عمدتاً جهت جلوگیری از ورود گرمای بیش از حد، پرهیز از خیرگی و حفظ حریم با کشیدن سایبان‌های داخلی (پرده‌ها) مانع نفوذ نور روز به فضای داخل شوند و دغدغه‌ای هم برای ورود نور روز به فضای داخل نداشته باشند. در رویکرد دوم، تمرکز طراحان صرفاً بر حیطه بهره وری انرژی و شاخص‌های کمی نور روز چون تعیین حد مطلوب روشنایی و پرهیز از خیرگی به‌منظور انجام فعالیتی خاص (سطح کار) و یافته های پژوهش‌های مرتبط با آن‌ها که عمدتاً حضور انسان در فضا را نادیده گرفته و به‌شکل دو بعدی (صفحه‌ای) ارزیابی می‌شوند، معطوف است؛ ازاین‌رو به‌تبع اغلب راهکارهای برآمده از این پژوهش‌ها، طراحی جداره‌ها به‌گونه‌ای‌ست که به شکل قابل ملاحظه‌ای، نفوذ مستقیمِ نور روز به فضای داخلی را به‌ویژه به جهت پرهیز از خیرگی و گرمای بیش از حد محدود می‌سازد. آنچه‌که از پیامد این دو رویکرد برمی‌آید، به مغفول ماندن طراحان از قابلیت‌های بالقوه نور روز در ایجاد تنوع و جذابیت بصری و بهبود حس‌وحال فضای داخلی و به‌تبع آن بهبود تجربه فضایی ساکنان و یا به بیانی دیگر کارایی ادراکی نور روز منتج می‌شود که می‌تواند یک‌نواختی و کسل‌کننده‌شدن فضای داخلی را به‌همراه داشته باشد. در رویکرد سوم، معماران می‌کوشند که در طراحی جداره‌ها به نیازهای روان‌شناختی ساکنان چون تأثیرات ادراکی نور روز (کیفی)، دید و منظر و حریم در فضای داخلی و مسائل زیباشناختی از نمای بیرونی ساختمان توأمان با نیازهای جسمانی و شاخص‌های کمی نور روز بپردازند؛ ازاین‌رو، به بهره‌گیری از

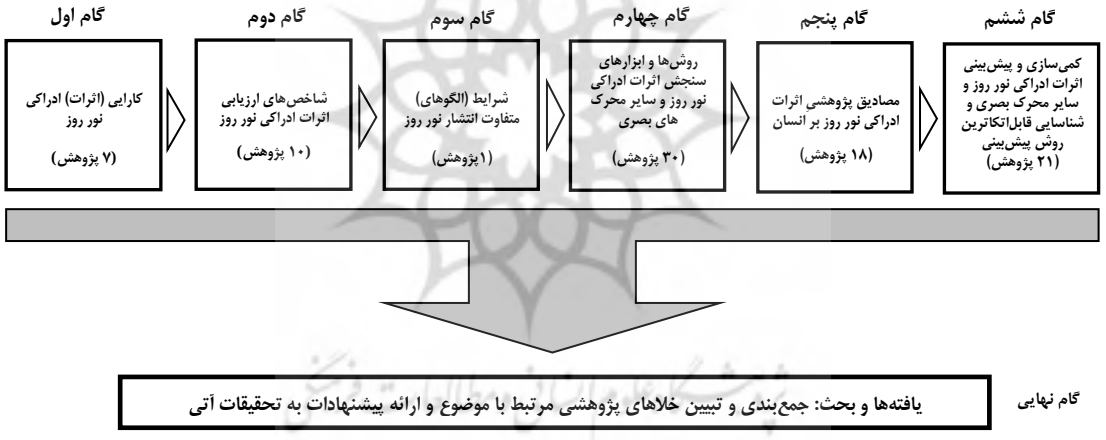
هندسه و الگوهای متفاوت در جداره‌های نور گذر ساختمان‌ها (پوسته‌های متخلخل و یا نماهای چندلایه) گرایش یافته‌اند؛ ولی ارزیابی آن‌ها عمدتاً شخصی، شهودی و یا تجربی است و از تأثیرات ادراکی الگوهای انتشار نور روز منتج از آن‌ها بر ساکنان و به‌تبع آن چگونگی تجربه فضایی که از طریق واکنش‌های ذهنی (خودگزارشی) و واکنش‌های عینی (فیزیولوژیکی) آن‌ها بروز می یابد به‌شکل نظام‌مند، روشن و دقیق مطلع نیستند. بنابراین، به نظر می‌رسد یکی از راهکارهای برون رفت از وضعیت کنونی و بهره‌مندی مطلوب از قابلیت بالقوه نور روز در بهبود حس‌وحال فضای داخلی و سلامتی جسمانی ساکنان تمرکز بر راهکارهای طراحی نور روز مبتنی بر بهبود ادراکات حسی ساکنان از طریق تدوین پژوهش های تجربی توأمان با توجه به شاخص‌های کمی نور روز است. دستاورد این تحقیقات، شواهدی را برای معماران فرآهم می‌آورد که با بهره‌گیری از آن در فرآیند طراحی (مرحلهٔ ایده‌پردازی و ارزیابی راه‌حل‌های پیشنهادی و توسعه آن‌ها) می‌توانند ساکنان را به بهره‌گیری هر چه بیشتر نور روز در فضای داخلی ترغیب و حالات و روحیات و تجربه فضایی آنان را بهبود بخشیده و در کل موجبات بهبود سلامت روان و به‌زیستی آنان را فراهم آورند که این امر به طراحی شواهد مبنا[1] (EBD) و یا طراحی از راه علم که در آن روش‌های علمی با طراحی معماری پیوند می‌یابند، دلالت دارد.

این تحقیق با مرورِ ساختاریافته پیشینه موضوع و توصیف و تحلیل محتوای آن؛ به دنبال تبیین رابطه بین شرایط (الگوهای) متفاوت انتشار نور روز برآمده از مشخصه‌های طراحی جداره‌های نور گذر (متغیر مستقل) و ادراکات بصری افراد (متغیر وابسته) در فضاهای داخلی و شناسایی و تشریح روش‌ها و ابزارهای قابل اتکا برای سنجش، کمی سازی و پیش‌بینی رابطه بین این‌دو و در نهایت تبیین خلاءهای پژوهشی مرتبط با موضوع تحقیق است.

۲- روش پژوهش

پژوهش حاضر از نوع مروری ساختاریافته است که جهت دست‌یابی به اهداف مطروحه، به توصیف و تحلیل محتوای پژوهش‌های پیشین پرداخته است. برای این منظور سه پایگاه داده (Google Scholar, Scopus, scienceDirect) و شبکه اجتماعی- پژوهشی (ResearchGate) با کلید واژه‌های "daylight" or "daylight patterns" or "sunlight patterns" and "perception" or vvislll rrr cttt i""" or "perceptual effects" or "Perceptual imrr ssii""""" or "experience of space" or "spatial experience" بر اساس عنوان، واژگان کلیدی و چکیده پژوهش‌های منتشر شده از از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ جستجو شدند و با مداقه در آن‌ها، محققان و مطالعات بدوی و اصلی در این زمینه شناسایی شده و با جستار همکاران و ارجاعات قبل و بعد آن‌ها تعداد ۸۷ پژوهش معتبر با استفاده از چک لیست تحلیل کیفی مطالعات[2] (CASP) استخراج شدند.

همان‌طور که نمودار۱ ساختار مرور پژوهش‌های پیشین را واضح می‌سازد، در پژوهش حاضر در ابتدا (گام اول و دوم) کارایی (اثرات) ادراکی نور روز که یکی از مؤلفه‌های انسان‌محور نور روز به شمار می‌رود، تبیین و شاخص‌های ارزیابی آن شناسایی و تشریح گردیده است. در گام سوم و چهارم الگوهای متفاوت انتشار نور روز در فضای داخلی بر مبنای مشخصه‌های طراحی جداره‌های نور گذر توصیف و روش‌ها (ارزیابی ذهنی و عینی) و ابزارهای سنجشِ اثرات ادراکیِ نور روز و سایر محرک‌های بصری تحلیل شده‌اند؛ در گام پنجم مصادیق پژوهشی مرتبط با اثرات ادراکی نور روز در طول زمان (به‌صورت کرونولوژیک) تشریح شده‌اند؛ در گام ششم نیز با تأکید بر اهمیت کمی‌سازی و پیش‌بینیِ رابطه الگوهای متفاوت انتشار نور روز و ادراکات انسان، روش‌های پیش بینِ کارایی ادراکی نور روز (کیفی) و سایر محرک‌های بصری از طریق شاخص‌های کمی (به ویژه شاخص‌های تصویر مبنا) با بیان مصادیق پژوهشی و روند توسعه و پیشرفت آن‌ها در طول زمان، تبیین شده‌اند؛ در آخر نیز بر اساس نتایج مباحث پیشین به جمع‌بندی، معرفی خلأهای پژوهشی مرتبط با موضوع و ارائه پیشنهادات به مطالعات آتی پرداخته‌شده است.



نمودار۱- ساختار کلی پژوهش حاضر در مرور مطالعات پیشین

نمودار۲ شمای کلی از پژوهش‌های شناسایی و استخراج شده از پیشینه موضوع و ارتباط آن‌ها با مباحث اصلی مطروحه در پژوهش حاضر[۳] را روشن می‌سازد. لازم به توضیح است که مرور و تبیین روش‌های و ابزارهای سنجش اثرات ادراکی سایر محرک‌های بصری و روش‌های کمی‌سازی و پیش‌بینی اثرات آن‌ها به دلیل قرابت و نزدیکی این محرک‌ها (برای مثال نور مصنوعی) با نور روز، شکل‌گیری بینش عمیق‌تر و ارائه پیشنهادات به پژوهش‌های آینده انجام شده است.

نمودار۲- شمای کلی از پژوهش‌های استخراج شده از پیشینه موضوع و ارتباط آن‌ها با مباحث اصلی مطروحه در پژوهش حاضر

۳- کارایی (اثرات) ادراکی نور روز

نور روز منبعی پویا و متغیر برای روشنایی است که مشخصه‌های بصری آن چون پویایی درخشندگی و تضاد سایه و روشن، می‌تواند تأثیرات متفاوتی را بر حس‌وحال افراد (حالات و روحیات)، ادراکات و نهایتاً تجربه فضایی آنان داشته باشد. کارایی ادراکی نور روز به‌معنای میزان بهره‌مندی از قابلیت‌های بالقوه نور روز در ایجاد پویایی و جذابیت بصری و بهبود حس‌وحال فضای داخلی و به‌تبع آن بهبود تجربه فضایی ساکنان است. به‌بیانی دیگر، کارایی ادراکی نور روز معطوف به ارزیابی نور روز در سطح چشم انسان و رابطهٔ آن با نیازهای روان‌شناختی (حالات و روحیات) و به‌تبع آن تجربه فضایی ساکنان است که خود از معیارهای

طراحی جداره‌های نور گذر و یا نمای ساختمان که الگوهای متفاوتی از انتشار نور در فضای داخلی را شکل می‌دهند، تأثیر می‌پذیرد (Abboushi et al, 2019; Ámundadóttir et al, 2017b; Baehr-Bruyère, et al, 2019; rockastle et al; 2017a; 2017b; 2017c; Chamilothori et al, 2019; Chamilothori, 2019). معماران و طراحان داخلی نیز همواره به نقش نور روز بر ادراک فضایی انسان اذعان داشته‌اند و از آن برای مجسم-سازی و تعریف فضای داخلی بهره برده‌اند (Ching, 2007; Corrodi, and Spechtenhauser, 2008; Holl et al, 2011; Krier, 1983; Pallasmaa 2012; Steane, 2012, Zumthor, 2006).

کریر (1983) اذعان می‌دارد که با تابش نور روز بر دیواری سفید و یا ایجاد انعکاس‌هایی در برخی نقاط اتاق، می‌توان فضایی دل‌نشینی را شکل داد. بازی نور و سایه که مناطق تاریک و روشن را در اتاق ایجاد می‌نماید، احساسات ما را نسبت به فضا برمی‌انگیزد.

چینگ (2007) بیان می‌دارد که نور روز با تفاوت و تغییر سایه و روشنی که ایجاد می‌کند به فضای اتاق روح می‌بخشد و فرم‌های درون آن‌را تفکیک می‌نماید، با متمرکز یا پخش بودن نور روز در درون اتاق، فرم فضا می‌تواند بیان شود یا متفاوت جلوه کند که با آن می‌توان یک حس‌وحال (جو) شاد و یا حالتی تاریک و دل‌تنگ کننده در فضا ایجاد نمود.

کرودی و اسپچتن‌هازر (2008) بیان می‌دارند که هویت فضا از طریق مقیاس، ماهیت بازشوها و انتشار نور، بویژه ریتم نور و سایه آن تعیین می‌شود.

استین (2010) به تفاوت اساسی بین نور روز و نور مصنوعی در طراحی نورپردازی تأکید می‌کند. ازنظر وی اگرچه منابع نور مصنوعی می‌توانند با ادغام با یکدیگر ترکیب‌بندی مطلوبی را شکل دهند؛ ولی تأثیرات ثابت و ایستایی دارند و نمی توانند حالت‌های ویژه‌ای که نور روز به‌واسطه ماهیت پویا و متغیر آن ایجاد می‌کند را القا کنند.

هال (2011) معتقد است که معماری دانش تجربه فضاست که دراین‌بین نور روز نه‌تنها عاملی محدودشده در این فضا نیست بلکه خود عاملی جهت نمایان‌سازی و انتقال تجربه فضاست. هال نور روز را به قطرات آبی که روی کاغذی ریخته می‌شود و با حرکت بروی آن تغییر رنگ را نمایان می‌سازد تشبیه می‌نماید. ازنظر وی، نور نه‌تنها عمق فضا و بافت مصالح را نمایان می‌سازد بلکه ماهیت متغیر آن می‌تواند تأثیرات به‌سزایی در تجربه فضا داشته باشد.

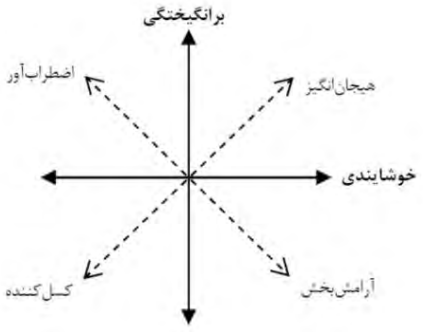
ازنظر پلاسما (2011) نور روز با شمای بصری هر فضا در تعامل است و مطلوبیت آن را متأثر می سازد. پلاسما به تعامل دوجانبه نور و سایه تأکید می‌کند و سایه و نور را به تنفس تشبیه می‌کند و بیان می‌دارد که سایه دم و روشنایی بازدم نور است. ازنظر وی، امروزه صرفاً به وجه کمی نور توجه می‌شود و بازشوها و فرم و الگوی طراحی آن‌ها نقش میانجی خود را در تعامل بین فضای درون و بیرون، خصوصی و عمومی شدن فضا و ایجاد تیرگی و روشنی از دست داده‌اند؛ در حقیقت، این موضوع به نقش فعال فرم و مشخصه های طراحی بازشوها (جداره‌های نور گذر) بر

ادراکات افراد و به‌تبع آن تجربه فضایی پویا اشاره دارد.

۳-۱- شاخص‌های ارزیابی ادراکات ساکنان

پیشینه تحقیق نشان می‌دهد که ارزیابی تأثیر نور طبیعی و مصنوعی بر ادراکات ساکنان با واکنش های احساسی افراد پیوند می‌یابد (Boubekri, 1991; Van Erp, 2008; Veitch, 2001) و محققان همواره به نقش محرک‌های بصری جهت ارزیابی واکنش‌های متفاوت احساسی آزمودنی‌ها اذعان داشته‌اند (Ergan et al, 2019; Chamilothori et al, 2019; Lang et al, 1993; lang,) 1995, Leite et al, 2019; Zou and Ergan, 2019).

طبق پیشینه، نظریات متفاوتی جهت مقوله‌بندی احساسات در حوزه روان‌شناسی و روان‌شناسی محیطی ارائه شده‌اند. برای مثال، در نظریه مطروحه توسط پلاتچینگ[۴] (1980)، احساسات به دو دسته اصلی (اولیه) و فرعی (ثانویه) تقسیم‌بندی می‌شوند. احساسات پایه شامل انتظار، شادی، اعتماد، غم، ترس، شگفتی، عصبانیت، نفرت و احساسات فرعی که با ترکیب احساسات اصلی شکل می‌گیرند شاملِ عشق، خوش‌بینی، پرخاشگری، تواضع، حقارت، هیبت، پشیمانی و مذمت می‌شوند. نظریه اکمان[۵] (1994) نیز مدل گسسته‌ای از شش احساس پایهٔ ترس، غم، شادی، شگفتی، تحقیر و خشم را ارائه می‌دهد. راسل[۶] (1980) و راسل و همکاران (1981) بر خلاف مدل‌های گسسته مطروحه از احساسات، مدل پیوسته دایره‌ای خوشایندی-برانگیختگی را ارائه دادند (تصویر۱). طبق این مدل، واکنش‌های احساسی فرد نسبت به محیط از طریق دو بعد خوشایندی که تمایز و یا جهت‌گیری مثبت یا منفی احساسات نسبت به محیط را بیان نموده (برای مثال آرامش‌بخش یا اضطراب‌آور) و برانگیختی که شدت آن احساسات (میزان و شدت آرامش‌بخش بودن و یا اضطراب‌آور بودن) را مشخص می‌کند، در یک فضای دو بعدی دایره‌ای شکل قابل تبیین است. ازنظر وگلس[۷] (2008)، راحتی و سرزندگی در فضا عواملی هستند که می توانند حس‌وحال آن را نمایان سازند که به نظر می‌رسد این دو عامل با دو بعد خوشایندی و برانگیختگی مطروحه توسط راسل (1980) منطبق است.



تصویر۱- مدل دایره‌ای احساساتِ راسل (Russell, 1980 بر گرفته از Chamilothori et al, 2019)

طبق آنچه‌که از پیشینه تحقیق برمی‌آید، اغلب تحقیقات در حوزه ارزیابی نقش الگوهای متفاوت انتشار نور روز بر ادراکات ساکنان از مدل دایره‌ای احساسات راسل (1980) جهت ارزیابی واکنش های احساسی افراد نسبت به فضاهای بهره‌مند از نور روز بهره برده‌اند (Abboushi et al, 2019; Boubekri, 1991; Chamilotori et al, 2019). درک جذابیت و پیچیدگی فضا مشخصه‌های دیگری هستند که در پیشینه تحقیق مرتبط با موضوع، جهت ارزیابی ادراکات افراد از شرایط نور روز استفاده شده‌اند (Abboushi et al, 2019; Boyce, 2014; Chamilotori et al, 2019; Rockcastle et al, 2017c) که به‌نظر می‌رسد این دو مؤلفه نیز با بعد برانگیختگی مطروحه توسط راسل (1980) و بعد سرزندگی شناسایی‌شده توسط وگلس (2008) هم‌پوشانی دارد. ارزیابی ذهنیِ آسایش بصری که در برخی از مطالعات ترجیحات بصری نیز بیان شده است (Abbushi et al, 2019) شاخصه دیگری است که در پیشینه تحقیق جهت ارزیابی کارایی ادراکی نور روز (Abboshi et al, 2018b; 2015; Van den Wymelenberg, 2012) و سایر محرک‌های بصری (Spehar et al, 2015) از آن بهره‌گرفته شده است.

۳-۲- شرایط (الگوهای، لکه‌های) متفاوت انتشار نور روز

الگوهای متفاوت انتشار نور روز از مشخصه‌های معمارانه جداره‌های نور گذر (بازشوها و سایبان‌های داخلی و خارجی) چون هندسه و ترکیب‌بندی آن‌ها در فضای داخل تأثیر می‌پذیرد. تحقیقات اندکی به گونه‌شناسی انواع متفاوت شرایط انتشار نور روز در فضای داخلی پرداخته‌اند. اغلب مطالعات صرفاً به بررسی تعداد محدودی از الگوهای انتشار نور روز و ادراکات ساکنان معطوف گشته و دغدغه‌ای جهت گونه‌بندی شرایط متفاوت انتشار نور روز در فضای داخلی نداشته‌اند. دراین‌بین، روکاسل و اندرسن[۸] (2014) با بررسی نمونه‌های متعددی از معماری معاصر، الگوهای متفاوت انتشار نور روز در آن‌ها را به‌طور شهودی و برمبنای تضاد درخشندگی فضایی (تیرگی و روشنی) و تنوع درخشندگی به ده گونهٔ کلی مقوله بندی نمودند. همان‌طور که تصویر۲ نمایش می دهد این الگوها به‌ترتیب شامل الگویِ انتشار مستقیم و اغراق‌آمیز (انتشار کاملاً متغیر نور روز از سقف)، انتشار مستقیم و دراماتیک (انتشار تکه‌های وسیع نور مستقیم از جداره‌ها در فضا)، انتشار مستقیم و فیلترشده (انتشار فیلترشده نور مستقیم از جداره و سقف در فضا)، انتشار نسبتاً مستقیم (ترکیب انتشار مستقیم بدون فیلتر و فیلترشده نور)، انتشار مستقیم (انتشار نور بدون فیلتر و با کم‌ترین موانع ورود)، انتشار مستقیمِ انتخابی (انتشار نور مستقیم به شکل انتخابی، مجزا و هدفمند در فضا)، انتشار مستقیم و غیرمستقیم (انتشار نور از بازشوهایی با عمق زیاد در جداره‌ها که منجر به انتشار مستقیم و غیرمستقیم نور در فضای داخلی می‌شود)، انتشار فضایی غیرمستقیم (انتشار غیرمستقیم نور در جهت‌های متفاوت از جداره و

سقف در فضای داخل)، انتشار غیرمستقیم (انتشار نور غیرمستقیم صرفاً از جبهۀ شمالی) و انتشار غیرمستقیم و پخش شونده (بهره‌گیری از صفحات پخش‌کننده نور که تضاد نور و سایه را در فضا کاهش دهد) می‌شوند.

تصویر۲-گونه‌های (الگوهای؛ شرایط) متفاوت انتشار نور روز در فضای داخل بر مبنای تضاد درخشندگی فضایی و تنوع درخشندگی (Rockastle and Andersen, 2014).

۳-۳- روش‌ها و ابزارهای سنجش کارایی ادارکی نور روز

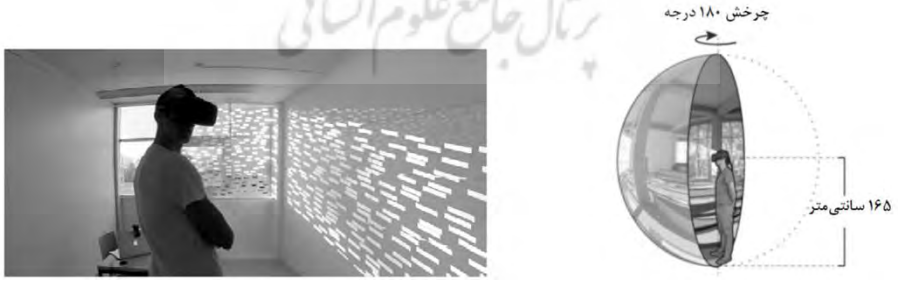
پیشینه تحقیق نشان می‌دهد که محققان عمدتاً از دو روش سنجش تجربی در محیط واقعی و محیط مجازی (شبیه‌سازی) برای ارزیابی نقش نور روز بر ادراکات ساکنان بهره برده‌اند. روش سنجش تجربی در محیط واقعی به‌دلیل ماهیت متغیر نور روز و مسئله دست‌کاری و کنترل شرایط متفاوت نور روز و لزوم ارزیابی تعداد قابل‌ملاحظه‌ای از آزمودنی‌ها جهت اعتبار و قابلیت تعمیم نتایج، محققان را با چالش‌های فراوانی روبرو می‌سازد (Bülow-Hübe,1995; Newsham et al, 2010)؛ ازاین‌رو، اغلب پژوهش‌گران به شبیه‌سازی در محیط مجازی که امکان دست‌کاری و کنترل متغیرها را به‌آسانی فراهم می‌آورد، گرایش یافته اند (Ámundadóttir et al, 2017b; Rockcastle et al, 2017a Abboushi et al, 2019; Chamilotori et al, 2019).

۳-۳-۱- روش‌های تهیه و نحوه‌ی نمایش تصاویر شبیه‌سازی‌شده از شرایط متفاوت انتشار نور روز

طبق پیشینه، چگونگی تهیه تصاویر از فضای بهره مند از نور طبیعی و یا مصنوعی و نحوه نمایش آن-ها به آزمودنی‌ها موضوع مهم و چالش‌برانگیز در حیطه روش‌شناسی موضوع تحقیق است. تعدادی از مطالعات هردویِ تصویربرداری از محیط واقعی (Cauwerts, 2013; Moscoso et al, 2015b; Newsham et al, 2010) و تصاویر شبیه‌سازی-شده (Newsham et al, 2005; Mahdavi and cauwert, 2013; Eissa, 2002) را پیشنهاد داده-اند. این تصاویر می‌توانند با محدوده پویایی بالا (تصاویر HDR) که دامنه درخشندگی بالاتری را در محدوده دید ساکنان فراهم می‌آورند، شکل بگیرند (Cauwerts and Piderit, 2018; Rockcastle et al, 2017b)؛ برای مثال، تعدادی از پژوهش‌ها از نرم‌افزار رادیانس[۹] که قابلیت ایجاد

تصاویر شبیه‌سازی با محدوده پویایی بالا را دارد بهره برده‌اند. علی‌رغم بهره‌مندی محققان از این نوع تصاویر و نمایش آن در نمایشگرهای دوبعدی (LDR و HDR) و سه‌بعدی استروسکوپی[۱۰] در مطالعات متعدد، یافته‌های برخی پژوهش‌ها نشان می‌دهد که تفاوت معناداری بین ادراک بصری آزمودنی‌ها به هنگام نمایش تصاویر دوبعدی و ایستای فضا به آن‌ها نسبت به فضای واقعی وجود دارد (Cauwerts, 2013; Chamilothori et al, 2019). همچنین، منطبق‌سازی سطح درخشندگی تصاویر با دامنه درخشندگی ابزارهای نمایش، چالش دیگر پیش‌روی محققان در پیشینه تحقیق بوده است که پژوهش‌گران جهت برون رفت ازاین مسأله بهره‌گیری از الگوریتم‌های نگاشت تن (tone mapping) متناسب با ادراکات ساکنان از فضا را توصیه نموده‌اند[۱۱].

تحقیقات نشان می‌دهند که نمایش دوبعدی و پاناروما‌ی فضا که محدوده دید وسیع‌تری را فراهم می‌آورد و افراد قابلیت تغییر محدوده دید را دارند، می‌تواند جایگزین مناسبی برای ادراک خوشایندی و انتشار نور در فضای واقعی باشد که این امر بر اهمیت تعامل و غوطه‌وری آزمودنی‌ها در محیط مجازی (فضا پویا و محدوده دید قابل‌تغییر با حرکت سر و محدود شدن محرک‌های مداخله‌گر در محدوده دید) جهت ارزیابی ادراک بصری آن ها تأکید دارد (Cauwerts, 2013; Heydarian et al, 2017)؛ ازاین‌رو، محققان بهره‌گیری از محیط مجازی غوطه‌ور کننده[۱۲] (IVR) از طریق شبیه‌سازی در نرم رادیانس و وارد نمودن تصاویر شبیه‌سازی شده به موتور بازی‌سازی یونیتی[۱۳] جهت شکل‌گیری محیط ۱۸۰ و یا ۳۶۰ درجه‌ای و نمایش آن از طریق هدست‌های واقعیت مجازی[۱۴] (تصویر۳) را به‌عنوان ابزاری جهت افزایش تعامل آزمودنی‌ها با محیط شبیه‌سازی‌شده بر مبنای قوانین فیزیکی[۱۵] (PBR) که داده‌های نورسنجی دقیقی را فراهم می‌آورند و به‌تبع آن صحت ارزیابی ادراکات آزمودنی‌ها پیشنهاد داده‌اند (Chamilothori et al, 2019; Moscoso et al, 2020; Kuliga et al, 2015; Rockcastle et al, 2017b).



تصویر۳- فضای مجازی غوطه‌ور کننده با بهره‌گیری از هدست‌های واقعیت مجازی از نوع Oculus Rift CV1 (Chamilotori et al, 2016; Rockcastle et al, 2017b).

تعدادی از محققان به ارزیابی کفایت جایگزینی[۱۶] واقعیت مجازی غوطه‌ور کننده نسبت به محیط واقعی پرداخته‌اند. یافته‌های این پژوهش‌ها حاکی از آن است که تفاوت معناداری بین کاربرد تصاویر شبیه‌سازی‌شده در محیط مجازی غوطه‌ور کننده و محیط واقعی بهره‌مند از نور روز (Chamilothori et al, 2018a) و سایر محرک های بصری (Abd-Alhamid et al, 2019; Chen et al, 2019; Heydarian et al, 2015; Higuera-Trujillo et al, 2017) در مواردی چون کارایی آزمودنی‌ها در انجام کار، ارزیابی ذهنی و احساس حضور آن‌ها وجود ندارد که این امر بر کفایت استفاده از این ابزار جهت ارزیابی کارایی ادراکی نور روز تأکید دارد. به‌علاوه، بهره‌گیری از واقعیت مجازی امکان استخراج داده‌های مشاهده ای مرتبط با حرکت سر و حرکت چشم و داده‌های فیزیولوژیکی (عینی) چون فعالیت‌های مغزی، حالت چهره، ضربان قلب، هدایت پوستی که ادامه تشریح داده شده‌اند را برای محققان فرآهم می-آورد که خود منجر به شکل‌گیری بینش جدیدی از چگونگی ادراک افراد از فضای مجازی و به-تبع آن تبیین رابطه بین محرک‌های بصری محیط کالبدی و تجربه افراد از فضا از طریق واکنش‌های روان‌شناختی و فیزیولوژیکی آن‌ها شده است (Chamilothori et al , 2019; Leite et al, 2019; Rockcastle et al, 2017c; Zou and Ergan 2019).

۳-۳-۲- روش‌های گردآوری داده‌های مرتبط با ادراکات ساکنان

طبق پیشینه، محققان با نمایش محیط واقعی و یا مجازی از سه گونه روش پیمایشی جهت استخراج داده‌های خود گزارشی (ارزیابی ذهنی از طریق ابزار پرسش‌نامه)، روش آزمایشگاهی جهت استخراج داده‌های فیزیولوژیکی (ارزیابی عینی از طریق حسگرهای شبکه‌ای بدن انسان) و روش مشاهده‌ای برای استخراج داده‌های مشاهده‌ای (ارزیابی عینی از طریق حسگرهای حرکت سر و چشم) به‌منظور ارزیابی ادراکات آزمودنی‌ها بهره برده‌اند؛ ازاین‌رو، پیشنهاد می‌شود جهت نیل به روایی مطلوب در سنجش ادراکات ساکنان این سه روش گردآوری داده‌ها با یکدیگر پیوندیافته و همزمان سنجیده، تحلیل و تفسیر شوند.

۳-۳-۲-۱- روش پیمایشی (واکنش‌های ذهنی)

تعداد فراوانی از مطالعات صرفاً از روش پیمایشی و ابزار پرسش‌نامه خودگزارشی (مقیاس درجه‌بندی) جهت ارزیابی ادراکات و تجربه فضایی آزمودنی ها متأثر از نور روز (Abboushi et al, 2019; Moscoso et al, 2020; Rockcastle et al, 2017a; 2017b; 2017c) و یا سایر محرک‌های بصری (Cha et al, 2019; Ruta et all, 2019) بهره گرفته‌اند. این پرسش‌نامه‌ها عمدتاً به سه دسته پرسش‌نامه تک قطبی جهت ارزیابی احساسات مثبت، دو قطبی (افتراق معنایی) برای ارزیابی احساسات مثبت و منفی و رتبه‌ای به‌منظور رتبه-بندی تصاویر و یا فضای مورد نظر توسط آزمودنی‌ها مقوله‌بندی می‌شوند. علی‌رغم بهره-گیری اغلب محققان از مقیاس درجه‌بندی؛ ولی

روایی آن توسط تعدادی از پژوهش‌ها به چالش کشیده شده است (Houser and Tiller, 2003; Stokkermans, 2017) و توصیه شده است که روش پیمایشی و داده‌های خودگزارشی برآمده از آن با روش آزمایشگاهی و داده‌های برآمده از آن چون فعالیت‌های مغزی (EEG) حالت چهره (EMG)، ضربان قلب (HR)، هدایت پوستی (GSR) و روش مشاهده‌ای و داده‌های برآمده از آن چون ردیابی حرکت سر و چشم (Head and Eye-tracking) آزمودنی‌ها پیوند یافته و این سه همزمان سنجیده، مقایسه، تحلیل و تفسیر شوند (Banaei et al, 2017; Chamilothori et al, 2019; Ergan et al, Erkan, 2018; Leite et al, 2019; Rockcastle et al, 2017c; Zou and Ergan 2019).

۳-۳-۲-۲ روش آزمایشگاهی (واکنش‌های عینی)

طبق پیشینه، محرک‌های محیط کالبدی می‌توانند تجربه متفاوت انسان از فضا را شکل دهند که در این‌بین روان‌شناسان محیط تجربه افراد از محیط مد نظر را تبیین می‌کنند و متخصصین علوم اعصاب با بهره‌مندی از روش‌ها و ابزارهای ملزومِ توسعه داده شده توسط علوم مهندسی پزشکی چگونگی شکل‌گیری این تجربه را تبیین می‌کنند (پیوند بین روان‌شناسی محیط، علوم اعصاب و مهندسی پزشکی جهت تبیین تجربه فضایی انسان). شبکه های حسگر بدن انسان (BSN) در محیط واقعیت مجازی (VR) امکان استخراج داده‌های فیزیولوژیکیِ بی‌طرفانه و فارق از سوگیری خاصی که ممکن است در روش استخراج داده‌های خود گزارشی از طریق پرسش‌نامه شکل بگیرد را جهت ارزیابی حالات فیزیولوژیکی، احساسی و شناختی که با چگونگی تجربه انسان از فضا پیوند می‌یابد، فراهم می‌آورند (Ergan et al , 2018). مطابق با آنچه از پیشینه موضوع برمی‌آید، محققان جهت ارزیابی تأثیرات محرک‌های بصری از طریق دو شاخص خوشایندی و برانگیختکیِ ادراک حسی انسان، از ابزارهای بیومتریک متعددی چون حسگر الکتروانسفالوگرام یا نوار مغزی (EEG) برای سنجش فعالیت‌های الکتریکی در مغز انسان، حسگر پاسخ گالوانیکی پوست (GSR) برای سنجش هدایت الکتریکی پوست، حسگر فوتوپلیتیسموگرام (PPG) جهت ارزیابی میزان ضربان قلب، حسگر الکترومیوگراف چهره (f-EMG) جهت ارزیابی تغییرات حالت (عضلات) صورت (تصاویر۴ و ۵) در پژوهش‌های مرتبط با نور روز (chamilothori et al, 2019) و سایر محرک‌های بصری بهره برده‌اند (Banaei et al, 2017; Bernat et al, 2006; Dan-Glauser and Scherer, 2011; Ergan et al, 2019; Erkan, 2018; Figner, and, Murphy, 2010 Leite et al, 2019; Norwood et al, 2019; Yin et al, 2020; Zou and Ergan 2019a).

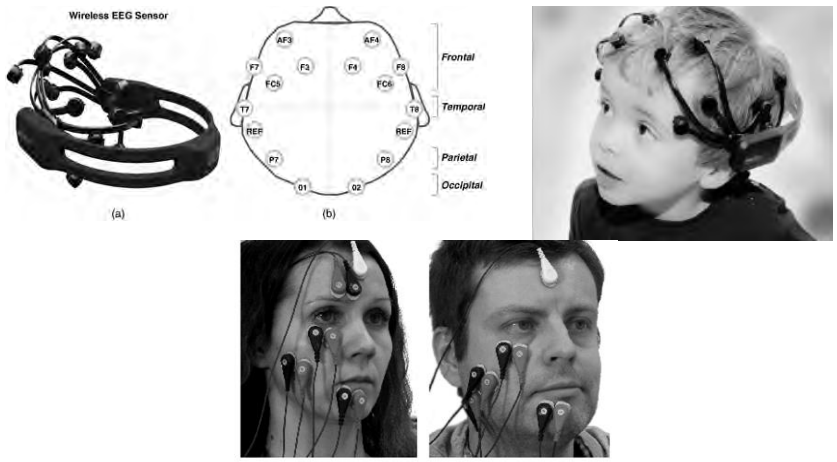
جدول۱ شمای کلی از حسگرهای بیومتریک رایج مورد استفاده و برگرفته از علوم عصب شناختی در تحقیقات مرتبط با معماری را نمایش می‌دهد.

فعالیت‌های مغزی افراد از طریق حسگر الکتروانسفالوگرام (EEG) با قرارگیری تعدادی الکترود در نیمکره‌های متفاوت سر انسان شامل لوب پیشانی، لوب گیجگاهی، لوب آهیانه و لوب پس‌سری سنجیده می‌شود (تصویر۴). نوسانات این

حسگر بر اساس محدوده‌های فرکانسی به پنج موج دلتا (۰-۴ هرتز)، تتا (۴-۸ هرتز)، آلفا (۸- ۱۴ هرتز)، بتا (۱۴-۴۰ هرتز) و گاما (۴۰ و ۴۰ به بالا هرتز) مقوله‌بندی می‌شوند. این حسگر به‌دلیل ارزیابی هر دو بعد خوشایندی و برانگیختگی احساسات همواره نقش به‌سزایی در ارزیابی تجربه افراد از محیط کالبدی و طبیعی در پیشینه تحقیقات مرتبط با تأثیر محیط بر انسان داشته است. برای مثال، پژوهش‌ها نشان می‌دهند نوسان موج آلفا در لوب پیشانی متأثر از محرک‌های محیطی سبب شکل‌گیری حس آرامش و هوشیاری در انسان می‌شود (Cocioppo et al, 2007; Shin et al, 2015). همچنین، یافته‌های تحقیق شین و همکاران (2015) که جهت ارزیابی تأثیر نور مصنوعی مستقیم و غیرمستقیم و بر احساسات ساکنان در محیط مسکونی انجام شده است، نشان می‌دهد که زمانی‌که آزمودنی‌ها در معرض نور ترکیبی مستقیم و غیرمستقیم قرار می‌گیرند، نوسانات موج تتا (۴-۸ هرتز) در قسمت راست لوب پیشانی و گیجگاهی و قسمت چپ لوب گیجگاهی و آهیانه افزایش یافته (تصویر۶) و آزمودنی احساس خوشایندی بیشتری دارند.

جدول۱- شمای کلی از حسگرهای بیومتریک مورد استفاده علم عصب شناختی برای معماری در پیشینه تحقیق (Ergan et al, 2019)

حسگر	نوع داده‌های استخراجی	خوشایندی یا برانگیختگی	میزان سختی در تجزیه و تحلیل داده ها	تمرکز	سطح تهاجم و میزان سختی و آسانی در کاربرد حسگر
EEG	فعالیت‌های مغزی	خوشایندی و برانگیختگی	بالا	فعالیت الکتریکی مغز	غیر تهاجمی/آسان
GSR	سطح رسانایی پوست (هدایت پوست)	برانگیختگی	متوسط	واکنش‌های رسانایی پوست	غیر تهاجمی/ آسان
PPG	فعالیت قلب	برانگیختگی	متوسط	تغییر در میزان ضربان قلب	غیر تهاجمی/ آسان
f-EMG	واکنش‌های عضلات صورت	خوشایندی و بر انگیختگی	بالا	واکنش‌های صورت	غیر تهاجمی/ آسان
Eye-tracking	حرکت چشم	خوشایندی و بر انگیختگی	بالا	نواحی مورد تمرکز، نقاط با جذابیت بالا	غیر تهاجمی/ آسان
FMRI	فعالیت مغز	خوشایندی و برانگیختگی	بالا	جریان خون فعالیت عصبی	غیر تهاجمی/ سخت
ECG or EKG	فعالیت قلب	برانگیختگی	بالا	تغییرات ضربان قلب و ضربان قلب	غیر تهاجمی/ سخت
MEG	فعالیت مغز	خوشایندی و بر انگیختگی	بالا	فعالیت عصبی مغناطیسی	غیر تهاجمی/ سخت
PET	فعالیت مغز	خوشایندی و بر انگیختگی	بالا	تصویربرداری هسته ای از مغز	تهاجمی/ سخت

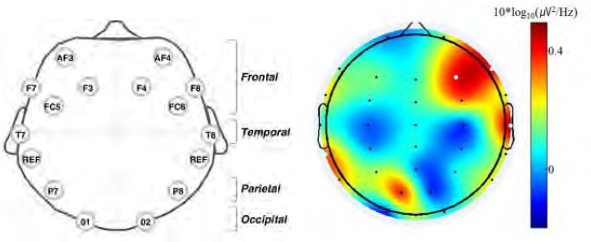


تصویر۴- به‌ترتیب: حسگر موبایل EEG از نوع Emotivet با شانزده کانال (www.emotive.com)، قرارگیری الکترودها در قسمت‌های مختلف مغز (لوب پیشانی، لوب گیجگاهی، لوب آهیانه، لوب پس‌سری) ، حسگر EMG جهت سنجش تغییرات حالت (عضلات) صورت (Rantanen et al; 2016)

تصویر۵- سمت راست؛ هدست واقعیت مجازی Tobii Pro VR Integration که قابلیت ردیابی حرکت سر و چشم (Head and Eye tracking) را دارد (www.tobiipro.com). سمت چپ؛ ابزار Empatica E4 wristband که سطح هدایت پوستی (Skin Conductance) و ضربان قلب را ارزیابی می‌نماید (www.empatica.com).

فعالیت‌های مغزی افراد از طریق حسگر الکتروانسفالوگرام (EEG) با قرارگیری تعدادی الکترود در نیمکره‌های متفاوت سر انسان شامل لوب پیشانی، لوب گیجگاهی، لوب آهیانه و لوب پس‌سری سنجیده می‌شود (تصویر۴). نوسانات این حسگر بر اساس محدوده‌های فرکانسی به پنج موج دلتا (۰-۴ هرتز)، تتا (۴-۸ هرتز)، آلفا (۸- ۱۴ هرتز)، بتا (۱۴-۴۰ هرتز) و گاما (۴۰ و ۴۰ به بالا هرتز) مقوله‌بندی می‌شوند. این حسگر به‌دلیل ارزیابی هر دو بعد خوشایندی و برانگیختگی احساسات همواره نقش به‌سزایی در ارزیابی تجربه افراد از محیط کالبدی و طبیعی در پیشینه تحقیقات مرتبط با تأثیر محیط بر انسان داشته است. برای مثال، پژوهش‌ها نشان می‌دهند نوسان موج آلفا در لوب پیشانی متأثر از محرک‌های محیطی سبب شکل‌گیری حس آرامش و هوشیاری در انسان می‌شود (Cocioppo et al, 2007; Shin et al, 2015). همچنین، یافته‌های تحقیق شین و همکاران (2015) که جهت ارزیابی تأثیر نور مصنوعی مستقیم و غیرمستقیم و بر احساسات ساکنان در محیط مسکونی انجام شده است، نشان می‌دهد که زمانی‌که آزمودنی‌ها در معرض نور ترکیبی مستقیم

و غیرمستقیم قرار می‌گیرند، نوسانات موج تتا (۴-۸ هرتز) در قسمت راست لوب پیشانی و گیجگاهی و قسمت چپ لوب گیجگاهی و آهیانه افزایش یافته (تصویر۶) و آزمودنی احساس خوشایندی بیشتری دارند.



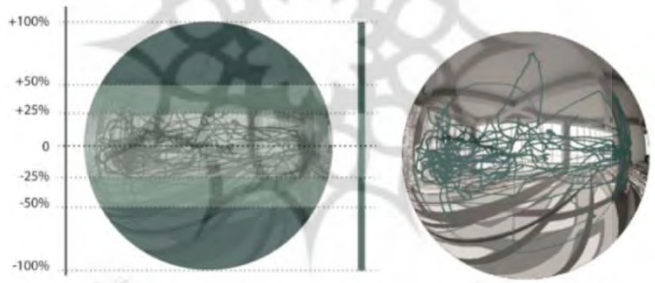
تصویر۶- سمت راست: میانگین بالای توزیع نوسان موج تتا در نیم کره‌های متفاوت سر، نیم کره‌های (لوب پیشانی، لوب گیجگاهی، لوب آهیانه، لوب پس سری) سر (Shin et al, 2015). سمت چپ: محل قرارگیری الکترودهای حسگر الکتروانسفالوگرام با شانزده کانال

حسگر پاسخ گالوانیکی پوست (GSR) با بهره گیری از داده‌های برآمده از سطح تعرق پوست، میزان هدایت پوستی را می‌سنجد و حسگر فوتوپلیتیسموگرام (PPG) با داده‌های الکتریکی برآمده از انعکاس نور متأثر از میزان جریان خون، سطح ضربان قلب (تصویر۵) را ارزیابی می نماید (Ergan et al, 2019; chamilothori et al, 2019). هدایت پوستی که به‌معنای تغییر در سطح رسانایی الکتریکی پوست افراد به‌دلیل تغییر در سطح تعرق پوست بدن با تأثیرپذیری از محرک-های داخلی و خارجی (محیطی) است می‌تواند برحسب سطح برانگیختگی ساکنان (سطح توجه و جذابیت بصری) متغیر باشد. برای مثال، با افزایش سطح توجه میزان هدایت پوستی نیز افزایش می‌یابد (chamilothori et al, 2019; Dawson et al, 2007; Figner and Murphy, 2010). این در-حالی است که میزان ضربان قلب به شکل بلعکس عمل می‌کند؛ به‌این‌معناکه میزان ضربان قلب در هنگام انجام فعالیت‌های ذهنی تشدید و در هنگام افزایش سطح توجه به فضا کاهش می‌یابد (Izso et al, 2009). همچنین، میزان خوشایندی ساکنان با کاهش و یا عدم تغییرات ضربان قلب و هدایت پوستی رابطه دارد (Bernat et al, 2006).

علاوه بر دو حسگر مطروحه، حسگر الکترومیوگراف چهره (f-EMG) حسگر دیگریست که در پیشینه تحقیق، جهت ارزیابی تجربه فضایی آزمودنی‌ها در محیط واقعیت مجازی از آن بهره برده شده است. این حسگر فعالیت عظلات صورت را از طریق تشخیص و تقویت تکانه‌های الکتریکی که توسط عضلات خاصی شکل می‌گیرند، ارزیابی می‌نماید (Ergan et al, 2019).

۳-۳-۲-۳- روش مشاهده‌ای (واکنش‌های عینی)

برخی تحقیقات با بهره‌گیری حسگرهای ردیابی حرکت چشم و سر انسان داده‌های عینی مرتبط با حرکت سر و حرکت چشم (حسگر Head and Eye-tracking) را استخراج نموده و بینش جدیدی از چگونگی ادراک افراد از فضای مجازی را فراهم آورده‌اند (Rockastle et al, 2017c; Zho and Ergan, 2019b). برای مثال، یافته‌های تحقیق روکاسل و همکاران (2017c) که از حسگر ردیابی حرکت سر در محیط واقعیت مجازی (تصاویر چشم ماهی ۱۸۰ درجه) بهره گرفتند نشان می‌دهد که در بستر مورد مطالعه چنانچه محدوده عمودی از خط افقی مرکز را به سه ناحیهٔ ۰ تا ۲۵ درصد، ۲۵ تا ۵۰ درصد و ۵۰ تا ۱۰۰ درصد مقوله‌بندی نماییم (تصویر۷)؛ حرکت سر آزمودنی‌ها در ۷۴ درصد از کل زمان نمایش فضای به آن‌ها در محدوده مثبت و منفی ۰ تا ۲۵ درجه عمودی و ۴۵ درجه افقی از مرکز میدان دید است که این موضوع موقعیت (محل) جذابیت بصری (سطح توجه بالا) برآمده از نور روز که خود متأثر از معیارهای معمارانه جداره‌های نور گذر است را آشکار می‌سازد. داده‌های برآمده از این روش را می‌توان مکملِ با سایر داده‌های خودگزارشی و داده‌های فیزیولوژیکی مقایسه، تحلیل و تفسیر نموده و به نتایجی با قابلیت تعمیم و روایی بالا از تأثیر الگوهای انتشار نور روز بر ماهیت پیچیده احساسات انسان دست یافت.



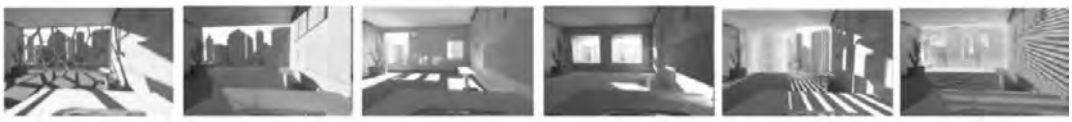
تصویر۷- خط سیر حرکت سر تمامی آزمودنی‌ها در نمونه مورد مطالعه و تقسیم‌بندی نواحی حرکت عمودی سر آن ها (Rockcastle et al, 2017c).

۳-٤- مصادیق پژوهشی اثرات ادراکی نور روز

تعدادی از مطالعات به بررسی رابطه بین شرایط (الگوهای، لکه‌های) متفاوت انتشار نور روز در فضای داخل که خود منتج از مشخصه‌های طراحی جداره‌های نور گذر است (متغیر مستقل) و ادراکات ساکنان (متغیر وابسته) و در کل اثرات ادراکی نور روز بر انسان پرداخته‌اند که در ادامه به تشریح اصلی‌ترین این پژوهش‌ها بر اساس بازه زمانی (به‌صورت کرونولوژیک) پرداخته می‌شود.

امیدفر و همکاران (2015) رابطه شش الگوی متفاوت انتشار نور (تصویر۸) و ادراکات افراد شامل میزان خوشایندی، راحتی و آسایش، نظم، پرت نمودن حواس و سادگی را از طریق پرسش نامه خودگزارشی ارزیابی نمودند. در این تحقیق همچنین نتایج ارزیابی ذهنی ساکنان (شاخص‌های

کیفی) با سنجش کمی (شاخص‌های کمی) نور روز مورد مقایسه قرارگرفته است که یافته‌ها حاکی از تفاوت بین شاخص‌های کیفی و کمی است؛ برای مثال، الگوی انتشار وروئنی ازلحاظ شاخص کمیِ کفایت (اتونومی) نور روز (DA) در رتبه اول و از لحاظ شاخص‌های کیفی در رتبه ششم قرار گرفت که این یافته بر اهمیت سنجش توأمان هردویِ شاخص‌های کمی و کیفی جهت ارزیابی جامع و مطلوبِ فضاهای بهره‌مند از نور روز تأکید دارد.



تصویر۸- به‌ترتیب از راست به چپ: الگوی انتشار خطی افقی، الگوی خطی عمودی، دو بازشو داخل رفته یکنواخت، چهار بازشو با ابعاد متفاوت، الگوی کاملاً مستقیم (بدون فیلتر) و الگوی وروئنی (Omidfar And Groat, 2015).

ابوشی و همکاران (2019) تأثیر سه الگوی انتشار فراکتال با سطح پیچیدگی‌های (D) متفاوت، الگوی انتشار خطی افقی و بدون الگویی خاص (تصویر۹) بر واکنش‌های ذهنی آزمودنی‌ها شاملِ جذابیت بصری، ترجیح بصری و حس و حال (هیجان و آرامش) افراد از فضا را از طریق پرسش نامه ارزیابی نمودند. یافته‌های این تحقیق نشان می-دهند که الگوی انتشار فراکتال با سطح پیچیدگی متوسط و متوسط رو به بالا (۱،۵- ۱،۷) به شکل معناداری نسبت به سایر الگوها جذابیت بصری و ترجیح بصری بیشتر و همچنین حس و حال مطلوب‌تری را از طریق شکل‌دهی تعادل بهتر بین حس آرامش و حس هیجان در فضای داخلی ایجاد می‌نماید و همچنین، بهره‌گیری از الگوهای انتشار نور روز که جذابیت بصری بالایی دارند چون الگوی فراکتال می‌تواند بر آسایش بصری افراد نیز مؤثر باشد؛ به‌این‌معناکه این الگوها می توانند آستانه تحمل ساکنان در شرایط ایجاد خیرگی را ارتقا بخشند که صحت رابطه بین جذابیت بصری و آسایش بصری را یافته‌های سایر پژوهش‌ها (Abboushi et al, 2018; Abboushi and Elzeyadi, 2018; Omidfar and Chamilothori ,2019) نیز تصدیق می‌نماید.

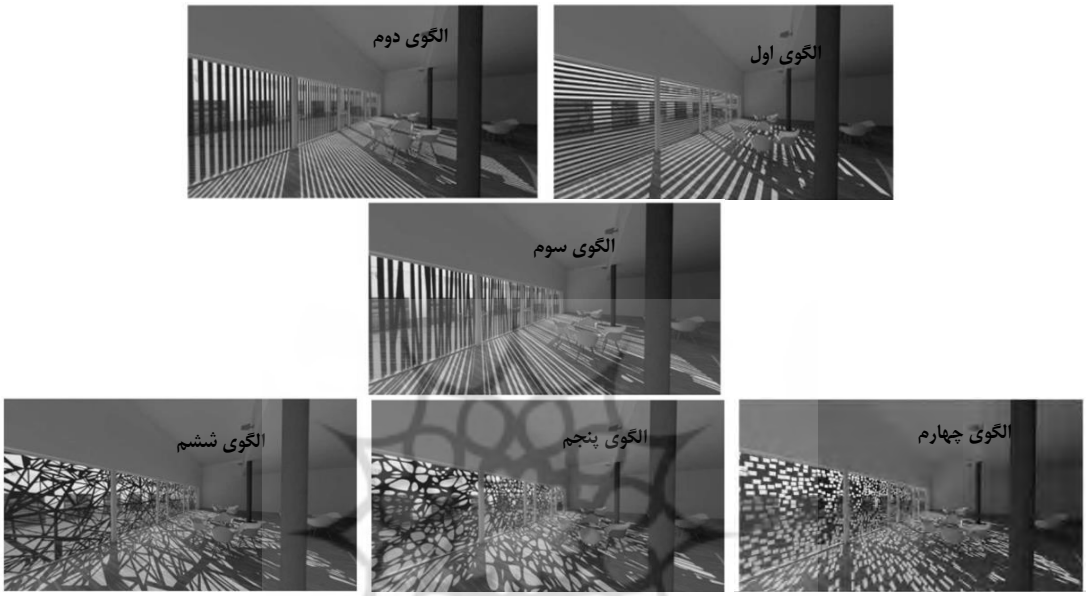
چمیلوتوری و همکاران (2019)، تأثیر سه نوع هندسهِ منظم، نامنظم و خطیِ افقی نما (تصویر۱۰) با ۲۵ درصد سطح قابل‌نفوذ نور و به‌تبع آن الگوهای متفاوت انتشار نور بر واکنش‌های ذهنی آزمودنی‌ها شاملِ حس خوشایندی، جذابیت، هیجان و واکنش‌های عینی (فیزیولوژیکی) آن‌ها شامل ضربان قلب، هدایت پوستی در بستر دو نوع فعالیت اجتماعی و کاری (انفرادی) را ارزیابی نمودند. یافته‌های این تحقیق نشان می‌دهد که الگوهای متفاوت انتشار نور به‌شکل معناداری با ادراکات افراد رابطه دارد.

تصویر۹- سه الگوی انتشار فراکتال با سطح پیچیدگی‌های (D) متفاوت، الگوی انتشار خطی افقی و بدون الگویی خاص (Abboushi et al, 2019)

یافته‌های این تحقیق نشان می‌دهد که الگوهای متفاوت انتشار نور به‌شکل معناداری با ادراکات افراد رابطه دارد. به‌ویژه هندسه نامنظم (انتشار غیریکنواخت نور) نسبت به هندسه منظم نما (انتشار یکنواخت نور) به‌شکل معناداری حس خوشایندی، جذابیت و هیجان بیشتری را در فضا شکل می‌دهد. همچنین، یافته‌های این پژوهش حاکی از آن است که الگوهای متفاوت انتشار نور در فضا بر میانگین ضربان قلب افراد تأثیرگذار و بر سطح هدایت پوستی آنان بی‌تأثیر است؛ زمانی‌که افراد در معرض الگوی انتشار نور نامنظم در فضا قرار می گیرند در مقایسه با الگوی انتشار خطی افقی، میانگین ضربان قلب آن‌ها پایین‌تر است که این موضوع بر توجه بیشتر افراد بر الگوی نامنظم انتشار نور اشاره دارد. این یافته با پژوهش‌های پیشین آنان (Chamilothori et al, 2016) نیز هم‌راستا است. لازم به توضیح است که یافته‌های ارزیابی رابطه نوع فعالیت فضا با واکنش‌های ذهنی و عینی آزمودنی‌ها حکایت از رابطه معنادار نوع فعالیت‌ها با حس هیجان و جذابیت فضا و میزان هدایت پوستی آزمودنی‌ها دارد. برای مثال، الگوی انتشار نامنظم به شکل معناداری جذابیت بصری و حس هیجان بالاتری را نسبت به الگوی خطی در بستر فعالیت‌های اجتماعی ایجاد می‌نماید؛ ولی این موضوع در بستر فعالیت کاری صادق نیست. همچنین سطح هدایت پوستی آزمودنی‌ها در بستر فعالیت‌های اجتماعی هنگام مشاهده الگوی منظم و الگوی خطی افقی نسبت به فعالیت کاری در مواجهه با الگوهای مطروحه به شکل معناداری بالاتر است.

تصویر۱۰- به‌ترتیب: الگوی انتشار خطی افقی، الگوی انتشار منظم، الگوی انتشار نامنظم و فضای خنثی (Chamilothori et al; 2019)

چمیلوتوری (2019) رابطه شش نوع هندسه متفاوت نما (تصویر۱۱) با ۴۰ درصد سطح قابل نفوذ نور بر آمده از یافته‌های تحقیق فریدنبرگ و لیبی[۱۷] (2016) و تجربه فضایی آزمودنی‌ها را ارزیابی نمود. در این پژوهش تجربه فضایی آزمودنی‌ها از طریق شاخص‌های ادراک حسی چون حس خوشایندی، جذابیت، هیجان و آرامش و شاخص‌های ظاهر بصری چون پیچیدگی، شفافیت، دلبازی و رضایت از میزان دید به بیرون در واقعیت مجازی (VR) سنجیده شده است.

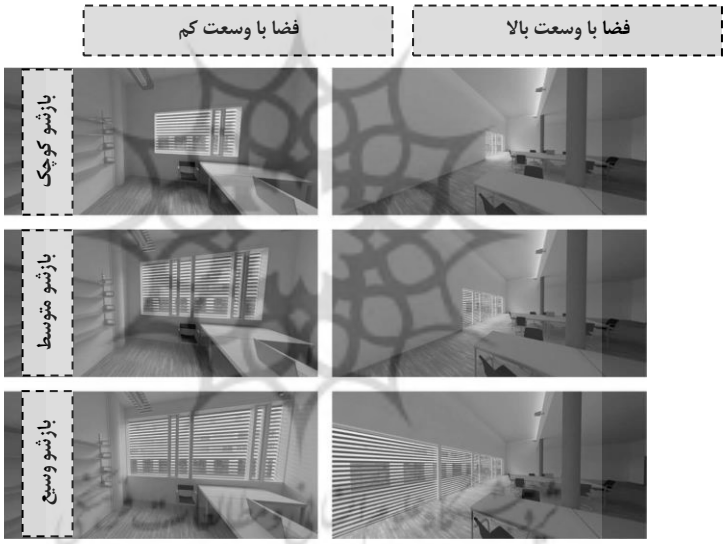


تصویر۱۱- شش نوع هندسه متفاوت نمای مورد مطالعه (Chamilothori, 2019)

یافته‌های این تحقیق حاکی از تشابه الگوی اول و دوم با یکدیگر و الگوی پنجم و شش در ایجاد حس هیجان است و الگوی سوم به شکل معناداری حس خوشایندی، جذابیت، هیجان، آرامش بیشتری نسبت به الگوی دوم ترغیب می‌نماید؛ این درحالی است که تنها تفاوت این دو الگو اندکی مورب شدن خطوط عمودی در الگوی سوم است که این یافته بر تفاوت ادراکات برآمده از این دو الگوی به ظاهر متشابه و تأثیر قابل ملاحظه مشخصه‌های طراحی جداره‌های نور گذر بر بهبود تجربه فضایی ساکنان صحه می‌گذارد. همچنین تفسیر یافته‌های این تحقیق بر رابطه U شکل معکوس بین میزان پیچیدگی و خوشایندی فضا که تحقیقات پیشین (Berlyne, 1971; Friedenberg and Liby, 2016; Abboushi et al, 2019) نیز به آن اذعان داشته‌اند، دلالت دارد.

موسکوسو و همکاران (2020) رابطه سه نوع ابعاد متفاوت کوچک، متوسط و بالای بازشوها (تصویر۱۲) با الگوهای انتشار نور یکسانِ خطی افقی در دو فضا با وسعت بالا و کم و در بستر دو نوع فعالیت اجتماعی و کاری و سه شرایط متفاوت آسمان (دو حالت آسمان صاف با زاویه تابش کم و بالا و آسمان ابری) و ابری را با واکنش‌های ذهنی افراد شامل خوشایندی، هیجان، آرامش،

جذابیت، پیچیدگی، دلبازی، رضایت از دید و منظر و روشنایی در واقعیت مجازی (VR) سنجیدند. یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهند که ابعاد بازشو و مقیاس فضا به شکل معناداری بر ادراکات افراد تأثیرگذار است. ابعاد وسیع‌تر پنجره موجب بهبود تمامی شاخص‌های ارزیابی ادراکات افراد می‌شود. همچنین، رابطه معناداری بین ابعاد بازشو و وسعت فضا به جهت رضایت از میزان دید و منظر وجود دارد. برای مثال، افراد در فضای با وسعت کم، ابعاد وسیع‌تری از پنجره را به‌دلیل میزان دید و منظر ترجیح می‌دهند؛ در حقیقت ابعاد بازشو بر چگونگی ادراک فضا مؤثر است و مقیاس فضا در ترجیح ابعاد پنجره نقش دارد که این امر بر اهمیت سنجش همزمان این دو متغیر به منظور ارزیابی اثرات ادراکی نور روز، دلالت دارد. رابطه مثبت و معنادار بین ابعاد بازشو و حس خوشایندی، هیجان، پیچیدگی و دلبازی فضا با یافته‌های پژوهش پیشین (Moscoso et al, 2015a) نیز هم‌راستا است.



تصویر۱۲- پرسپکتیو فضای داخلی شبیه‌سازی‌شده (وسعت بالا و وسعت کم) بر اساس سه نوع ابعاد متفاوت کوچک، متوسط و بالای بازشو در بستر فعالیت کاری و شرایط آسمان ابری (Moscoso et al, 2020, 7).

جدول۲ جمع‌بندی و مقایسه مشخصات اصلی‌ترین پژوهش‌های مرتبط با اثرات ادراکی نور روز و روند توسعه و پیشرفت آن‌ها به‌ویژه در حیطه روش‌ها و ابزارهای سنجش در طول زمان (به صورت کرونولوژیک) را نمایش می‌دهد.

جدول۲- جمع‌بندی و مقایسه‌ی مشخصات مصادیق پژوهشی اثراتِ ادراکی نور روز بر انسان در طول آ (به‌صورت کرونولوژیک)

پژوهش	متغیرهای مستقل	متغیرهای وابسته (شاخص‌های ذهنی و عینی)	روش‌ها و ابزارهای سنجش	مهم‌ترین یافته‌ها
بوبکری و همکاران (1991)	چهار ابعاد متفاوت بازشو	حس و حال فضا و رضایت‌مندی	پیمایشی (ابزار: پرسش‌نامه کتبی دو قطبی؛ افتراق معنایی؛ SDS) در محیط واقعی (۴۰ آزمودنی در فضای اداری)	نفوذ مستقیم آفتاب و پوشش ۱۰ تا ۴۵ درصدی سطح فضا توسط آن با احساس آرامش آزمودنی‌ها رابطه معناداری دارد.
ونگ و بوبکری (2010a)	سه نوع فعالیتِ کاری انفرادی، فعالیت کاری گروهی و استراحت	ترجیح نشستن	پیمایشی (ابزار: پرسش‌نامه خود-گزارشی) در محیط واقعی (۱۰۰ آزمودنی در فضای اداری)	افراد مجاورت به نور مستقیم آفتاب را برای کار انفرادی و استراحت ترجیح؛ ولی برای انجام کار گروهی ترجیح نمی‌دهند.
ونگ و بوبکری (2010b)	ده موقعیت نشستن	کارایی شناختی، حس و حال و ترجیحات	پیمایشی (ابزار: پرسش‌نامه خود-گزارشی) در محیط واقعی (۱۰۰ آزمودنی در فضای اداری)	موقعیت نشستن افراد و مجاورت آن‌ها با نور مستقیم آفتاب با کارایی شناختی، حس و حال و ترجیحات آن‌ها رابطه دارد.
امیدفر و همکاران (2015)	شش هندسه متفاوت الگوهای انتشار نور روز (تصویر ۸)	خوشایندی، راحتی و آسایش، نظم، پرت نمودن حواس و سادگی	پیمایشی (ابزار: پرسش‌نامه کتبی دوقطبی؛ افتراق معنایی؛ SDS) در محیط مجازی دوبعدی (نمایش دو بعدی تصاویر شبیه‌سازی شده در بستر فضای اداری توسط نرم افزارهای راینو و پلاگین دیوا برای راینو) نمایش داده شده به ۱۳۰ آزمودنی	بین شاخص‌های کمی (برای مثال شاخص کفایت نور روز: DA) و کیفیِ (ادراکات آزمودنی ها) نور روز تفاوت وجود دارد که این امر بر اهمیت سنجش توأمان هردویِ شاخص‌های کمی و کیفی نور روز جهت ارزیابی جامع و مطلوبِ فضاهای بهره‌مند از نور روز، دلالت دارد.
روکاسل و اندرسن (2017b)	- نه فضای معماری با الگوهای متفاوت انتشار نور روز - شرایط آسمان (صاف یا ابری)	سطح تضاد پایین و تضاد بالا، یکپارچگی و عدم یکپارچگی، متنوع و عدم تنوع، مستقیم و پخش شونده، ساده و پیچیده، آرامش و هیجان، ملایم و برانگیزاننده	پیمایشی (ابزار: پرسش‌نامه کتبی دو قطبی؛ افتراق معنایی؛ SDS) در محیط مجازیِ دو بعدیِ (تصاویر دیجیتال شبیه‌سازی شده در نه بستر متفاوت) * نمایش داده شده به ۱۶۸ آزمودنی توسط تبلت و لپ تاپ	الگوهای انتشار نور روز و وضعیت آسمان تاثیر معناداری بر تمامی شاخص‌های ذهنی مورد مطالعه دارد.
روکاسل و اندرسن (2017c)	- هشت فضای معماری با الگوهای متفاوت انتشار نور روز - زاویه دید ناظر - موقعیت ناظر	واکنش‌های ذهنی آزمودنی‌ها شاملِ خوشایندی، جذابیت بصری، هیجان و آرامش و واکنش‌های عینی آن‌ها شامل ردیابی حرکت سر (Head tracking)	پیمایشی (ابزار: پرسش‌نامه شفاهی تک قطبی) و مشاهده‌ای (حسگر ردیابی حرکت سر) در محیط مجازی سه بعدیِ (واقعیت مجازی غوطه‌ور کننده: IVR** در هشت بستر متفاوت) نمایش داده شده به ۶۵ آزمودنی در هدست واقعیت مجازی از نوع Oculus Rift CV1	الگوهای متفاوت انتشار نور روز اثر معناداری بر میانگین سه شاخص ذهنیِ خوشایندی، جذابیت و هیجان آزمودنی‌ها (PIE) دارد. حرکتِ سر آزمودنی‌ها عمدتاً در محدوده دید مثبت و منفی ۲۵ درجه عمودی و ۴۵ درجه افقی از مرکز میدان دید است که این موضوع موقعیت (محل) جذابیت بصری (سطح توجه بالا) برآمده از نور روز که خود متأثر از معیارهای معمارانه طراحی

				جداره‌های نور گذر است را آشکار می-سازد.
ابوشی و همکاران (2019)	سه نوع هندسه متفاوت الگوهای انتشار نور روز (تصویر۹)	جذابیت بصری، ترجیح بصری و حس و حال (هیجان و آرامش)	پیمایشی (ابزار: پرسش‌نامه کتبی دو گزینه‌ای؛ 2AFC و پرسش‌نامه تک قطبی) در محیط مجازی دو بعدیِ (تصاویر دو بعدی شبیه‌سازی‌شده در بستر فضای اداری) نمایش داده شده از طریق پروژکتور	الگوی انتشار فراکتال با سطح پیچیدگی متوسط و متوسط رو به بالا (۱،۵- ۱،۷) به شکل معناداری نسبت به سایر الگوها جذابیت بصری و ترجیح بصری بیشتر و همچنین حس و حال بهتری را از طریق شکل‌دهی تعادل بهتر بین حس آرامش و حس هیجان در فضای داخلی ایجاد می-نماید؛ به‌بیانی‌دیگر بین میزان پیچیدگی هندسه الگوهای انتشار نور روز و خوشایندی فضا رابطه U شکل معکوس وجود دارد.
چمیلوتوری و همکاران (2019)	- سه نوع هندسه متفاوت الگوهای انتشار نور روز (تصویر۱۰) -نوع فعالیت‌ها: فعالیت اجتماعی و کاری (انفرادی)	واکنش‌های ذهنی آزمودنی‌ها شاملِ حس خوشایندی، جذابیت، هیجان و واکنش‌های عینیِ (فیزیولوژیکی) آن-ها شاملِ ضربان قلب (HR) و هدایت پوستی (SC)	پیمایشی (ابزار: پرسش‌نامه شفاهی تک قطبی) و آزمایشگاهی (ابزار: حسگرEmpatica E4 wristband) در محیط مجازی سه بعدیِ (واقعیت مجازی غوطه‌ور کننده: IVR** در بستر فضای اداری) نمایش داده شده به ۷۲ آزمودنی در هدست واقعیت مجازی از نوع Oculus Rift CV1	هندسه نامنظم (انتشار غیریکنواخت نور) نسبت به هندسه منظم نما (انتشار یکنواخت نور) به‌شکل معناداری حس خوشایندی، جذابیت و هیجان بیشتری را در فضا شکل می‌دهد. الگوهای متفاوت انتشار نور در فضا بر میانگین ضربان قلب افراد تأثیرگذار و بر سطح هدایت پوستی آنان بی‌تأثیر است. نوع فعالیت‌ها با حس هیجان و جذابیت فضا و میزان هدایت پوستی آزمودنی‌ها رابطه دارد.
چمیلوتوری (2019)	شش هندسه متفاوت الگوهای انتشار نور روز (تصویر۱۱)	حس خوشایندی، جذابیت، هیجان و آرامش، پیچیدگی، شفافیت، دلبازی و رضایت از میزان دید به بیرون	پیمایشی (ابزار: پرسش‌نامه شفاهیِ تک قطبی) در محیط مجازیِ سه-بعدیِ (واقعیت مجازی غوطه‌ور کننده: IVR** در بستر فضای چند عملکردی در دانشکده) نمایش داده شده به ۲۵۸ آزمودنی در هدست واقعیت مجازی از نوع Oculus DK2	تأثیر قابل ملاحظه مشخصه‌های معمارانه جداره‌های نور گذر بر بهبود تجربه فضایی ساکنان و وجود رابطه U شکل معکوس بین میزان پیچیدگی هندسه الگوهای انتشار نور روز و خوشایندی فضا که تحقیقات پیشین (Abboushi et al, 2019) نیز به آن اذعان داشته‌اند.
امیدفر و چمیلوتوری (2019)	- شش هندسه متفاوت الگوهای انتشار نور روز - مبلمان - رنگِ مصالح	خوشایندی، جذابیت، پیچیدگی و رضایت از سطح روشنایی	پیمایشی (ابزار: پرسش‌نامه شفاهی تک قطبی) در محیط مجازی اداری سه بعدیِ (واقعیت مجازی غوطه‌ور کننده: IVR** در بستر فضای اداری) نمایش داده شده به ۱۰۰ آزمودنی در هدست واقعیت مجازی از نوع Oculus Go	الگوهای انتشار نور روز با جذابیت بصری بالا بر آسایش بصری افراد موثرند؛ در حقیقت، این الگوها می‌توانند آستانه تحمل ساکنان در شرایط ایجاد خیرگی را ارتقا بخشند. همچنین رنگِ مصالح تاثیر معناداری بر ارزیابی ساکنان از رضایت آن ها از سطح روشنایی دارد.
موسکوسو و همکاران (2020)	- ابعاد بازشو (تصویر۱۲) - مقیاس و یا وسعت فضا	خوشایندی، هیجان، آرامش، جذابیت، پیچیدگی، دلبازی، رضایت از دید و منظر و	پیمایشی (ابزار: پرسش‌نامه شفاهی تک‌قطبی) در محیط مجازی سه‌بعدیِ (واقعیت مجازی غوطه‌ور کننده: IVR**در دو بستر فضای چند	ابعاد بازشو رابطه مثبت و معناداری با ادراکات افراد دارد. در حقیقت، ابعاد وسیع‌تر پنجره موجب بهبود تمامی شاخص‌های ارزیابی ادراکات آزمودنی‌ها

	(مقیاس وسیع، مقیاس متوسط و مقیاس کوچک) - نوع فعالیت‌ها: فعالیت اجتماعی و کاری (انفرادی) - سه شرایط آسمان	روشنایی	عملکردی در دانشکده و فضای اداری) نمایش داده شده به ۱۵۰ آزمودنی در هدست واقعیت مجازی از نوع Oculus Rift CV1	می‌شود. رابطه معناداری بین ابعاد بازشو و مقیاس فضا به جهت رضایت از میزان دید و منظر وجود دارد که این امر بر اهمیت سنجش همزمان این دو متغیر به‌منظور ارزیابی اثرات ادراکی نور روز، دلالت دارد.

* تصاویر پرسپکتیو فضای داخلی (از یک نقطه دید ثابت) با استفاده از افزونه دیوا برای نرم‌افزار راینو و نرم افزار رادیانس، بر مبنای قوانین فیزیکی (PBR) و با محدوده درخشندگی بالا (HDR) شکل می‌گیرند؛ سپس سطح درخشندگی تصاویر با قابلیت سطح درخشندگی نمایشگرهای دو بعدی با بهره‌گیری از الگوریتم‌های نگاشت تن (Tone Mapping) منطبق شده و به آزمودنی‌ها نمایش داده می‌شود.

**تصاویر ۱۸۰ یا ۳۶۰ درجه‌ای با استفاده از افزونه دیوا برای نرم‌افزار راینو و نرم‌افزار رادیانس، بر مبنای قوانین فیزیکی (PBR) و با محدوده درخشندگی بالا (HDR) شکل می‌گیرند؛ سپس سطح درخشندگی تصاویر با قابلیت سطح درخشندگی نمایشگر هدست‌های واقعیت مجازی با بهره‌گیری از الگوریتم‌های نگاشت تن (Tone Mapping) منطبق و پس از ایجاد محیط غوطه‌ورکنندهٔ ۱۸۰ و یا ۳۶۰ درجه از طریق موتور بازی‌سازی یونیتی، فضا در هدست به آزمودنی‌ها نمایش داده می‌شود.

۳-۵- کمی‌سازی و پیش‌بینی کارایی ادراکی نور روز

طبق پیشینه، پیش‌بینی کارایی ادراکی نور روز (کیفی) از طریق روش‌های برآمده از علوم بصری و گرافیک رایانه‌ای که منتج به استخراج داده‌های کمی از طریق پردازش تصویر می‌شود به یکی از دغدغه‌های اصلی محققان مرتبط با موضوع تحقیق مبدل شده است (Ámundadóttir et al, 2017b; Chamilothori, 2019; Rockcastle, 2014; 2017a; 2017b; 2017c)؛ در حقیقت در این پژوهش‌ها قابلیت شاخص‌های متفاوت تصویر مبنا جهت پیش‌بینی واکنش‌های ذهنی و فیزیولوژیکی آزمودنی‌ها نسبت به هندسه‌های متفاوت نما سنجیده می‌شود و یا به‌بیانی‌دیگر میزان همبستگی بین شاخص‌های کمی و واکنش‌های ذهنی و عینی تعیین می‌شود. کمی‌سازی نقش نور روز بر ادراکات حسی ساکنان از فضا و ارائه شاخص‌های پیش‌بینِ قابل اتکا، معماران را قادر می‌سازد تا در مرحله فرآیند طراحی کارایی ادراکی طرح خود را ارزیابی و تحلیل نمایند.

بنابر آنچه‌که از پیشینه تحقیق برمی‌آید، پنج شاخص کمیِ سنجش متوسط درخشندگی و تغییرات درخشندگی، تضاد درخشندگی فضایی سالیانه[۱۸]، تغییرات درخشندگی سالیانه[۱۹] و سنجش سطح پیچیدگی[۲۰] در حیطه پژوهش‌های مرتبط با پیش‌بینی اثرات ادراکی نور روز و شاخص طیف دامنه فوریه دوبعدی[۲۱] (FFT2) در زمینه ارزیابی و پیش‌بینی اثرات ادراکی سایر محرک‌های بصری، شاخص‌های کمیِ پیش‌بینی هستند که محققان از آن‌ها بهره برده‌اند که در ادامه بر اساس توسعه و پیشرفت هریک در طول زمان (به‌صورت کرونولوژیک) به تشریح آن‌ها پرداخته‌شده است.

۳-۵-۱- تضاد درخشندگی سالیانه و تغییرات درخشندگی سالیانه

یافته‌های تحقیق تیلر و ویتچ[۲۲] (1995) نشان می دهد که کاربران در محیط اداری انتشار غیر یکنواخت نور را ترجیح می‌دهند و این شرایط درک آنان از روشنایی را افزایش می‌دهد. کتجن[۲۳] و همکاران (2008) دریافتند که با افزایش سطح متوسط درخشندگی رضایت کاربران از محدوده دید آن‌ها در محیط اداری ارتقا می‌یابد. همچنین، با افزایش تغییرات درخشندگی نور احساس هیجان کاربران در فضای اداری ترغیب می‌شود. نتایج تحقیق ویلمنبرگ و اینانیسی[۲۴] (2009) مرتبط با ترجیح چگونگی پخش نور از سایبان‌های افقی در محیط اداری نیز حاکی از آن است که علی‌رغم آنکه تغییرات در میزان درخشندگی سبب پویایی محیط می‌شود؛ ولی تغییرات بیش‌ازحد آن آسایش محیطی را کاهش می‌دهد. طبق پیشینه، اگرچه اجماع بسیاری بین محققان پیرامون چگونگی سنجش سطح روشنایی (Brighness) در فضا وجود دارد؛ ولی پژوهش‌های اندکی به معرفی و تبیین روشی جهت سنجش تغییرات درخشندگی در فضا پرداخته‌اند.

ازنظر روکاسل و اندرسن (2014, 321) کاستیِ پژوهش‌هایی که از شاخص‌های متوسط درخشندگی و تغییرات درخشندگی بهره برده‌اند، عدم توجه به تفاوت درخشندگی (تضاد تیرگی و روشنی) در محدوده دید ساکنان در فضا است. اگرچه این رویه شرایط متفاوت نور روز را گونه بندی و تعیین می‌کند؛ ولی این شاخص‌ها نمی‌تواند پویایی نور انتشاریافته در محیط که عاملی بسیار مهم در تجربه فضاست (به‌واسطه حس بینایی) را بسنجند.

پارپیری[۲۵] و همکاران (2002) جهت صحه گذاردن بر اهمیت تغییرات انتشار نور در فضا، شاخص تفاوت درخشندگی (LD) را پیشنهاد دادند؛ این شاخص مبتنی بر سنجش درخشندگی در تراز چشم ناظر، جهت ارزیابی میزان تنوع درخشندگی در زوایای دید از پیش تعیین‌شده (طبق حرکت سر و چشم) در محیط واقعی است. یافته‌های این تحقیق نشان می‌دهد که با افزایش تفاوت درخشندگی (تضاد تیرگی و روشنی) میزان خوشایندی افراد از فضای بهره‌مند از نور روز ارتقا می‌یابد. درمجموع می‌توان بیان داشت که نتایج تحقیقاتی که از شاخص تفاوت درخشندگی بهره برده‌اند نشان می‌دهد که رضایت ساکنان از متغیر بودن درخشندگی نسبت به‌شدت روشنایی تأثیر-پذیری بیشتری دارد.

روکاسل و اندرسن (2014) معتقدند که اگرچه شاخص تفاوت درخشندگی، تنوع فضایی میزان درخشندگی در محدوده دید ساکنان در جهات مختلف را ارزیابی می‌کند؛ ولی تأثیرات لحظه‌ای فضاهای بهره‌مند از نور روز بر افراد را که بنا بر زمان (ساعات، روز، ماه، فصل) و شرایط آسمان متغیر است (ادراک پویای نور روز)، نادیده می گیرد. همچنین ازآنجایی‌که این روش مبتنی بر سنجش کالبدی در محیط واقعی است محققان را با چالش‌های متعددی در دست‌کاری و کنترل متغیرها پیشرو می‌سازد.

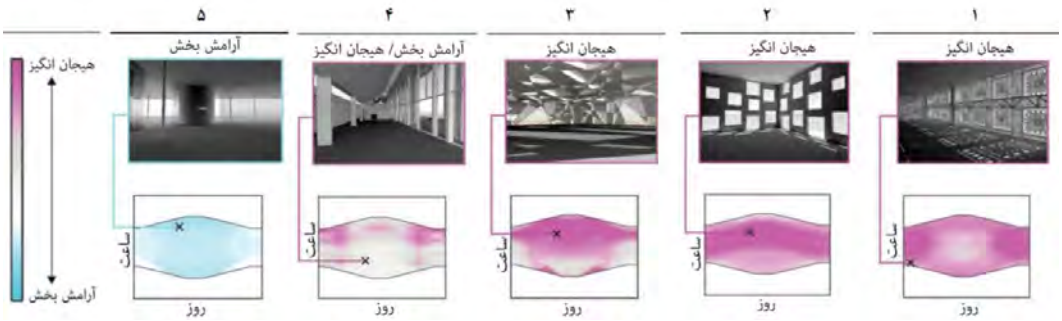
روکاسل و اندرسن (2014) با تبیین ماهیت پویای نور روز دو شاخص تضاد درخشندگیِ فضایی

سالیانه و تغییرات درخشندگی سالیانه را پیشنهاد دادند که به‌واسطه آن تضاد سایه و روشن و تغییرات درخشندگی در موقعیت‌های متفاوت فضا، زوایای دید و شرایط متفاوت آسمان در طول سال با استفاده از داده‌های برآمده از پردازشِ تصاویر شبیه‌سازی شده، قابل ارزیابی است. به‌بیانی‌دیگر، چنانچه میزان تضاد درخشندگی فضایی سالیانه و تغییرات درخشندگی سالیانه شبیه‌سازی و کمی سازی شود، با ارزیابی ادراکات ساکنان در چند محدوده دید می‌توان به الگوریتم و مدلی پیش‌بین دست‌یافته و آن‌را به موقعیت‌ها، زوایای دید و شرایط متفاوت آسمان در طور سال تعمیم داد. با استفاده از این دو معیار محققان قادر خواهند بود تأثیر معیارهای طراحی جداره‌های نور گذر که شرایط و الگوهای متفاوت انتشار نور از آن منتج می‌شود را بر ادراکات ساکنان پیش‌بینی نمایند. روکاسل و همکاران (2017b) در پژوهش بعدی خود به به نوع اصلاح شده‌ای از شاخص تضاد فضایی (**mSC**) دست یافتند.

مصادیق پیش‌بینی کارایی ادراکی نور روز با بهره‌گیری از شاخص تضاد فضایی اصلاح شده (mSC)

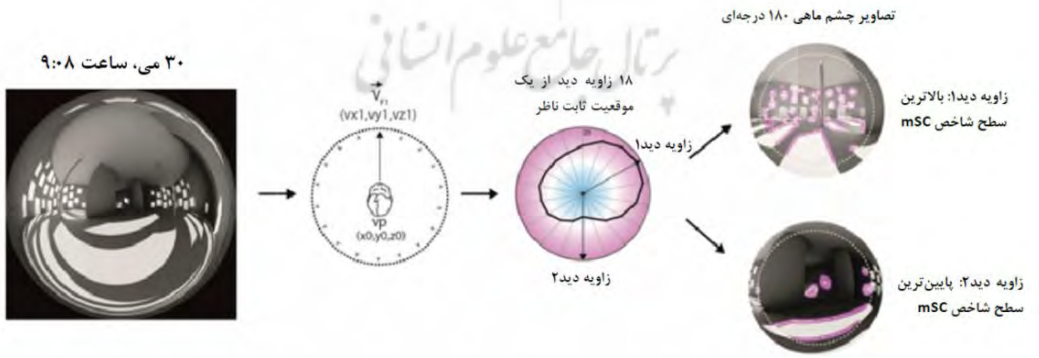
روکاسل و همکاران (2017b) با تأکید بر ادراک پویای نور روز به‌دلیل ماهیت متغیر آن بر مبنای ساعت، روز و فصول متفاوت سال و شبیه‌سازی موردهای مطالعاتی با هندسه‌های متفاوت به بررسی رابطه بین روش‌های موجودِ سنجش تضاد تیرگی و روشنی در پردازش تصاویر و داده‌های کمی برآمده از آن و داده‌های خودگزارشی برآمده از پرسش‌نامه، به‌منظور تعیین روش سنجشی که بالاترین همبستگی را با واکنش‌های ذهنی آزمودنی‌ها دارد، پرداخته‌اند[۲۶]. دستاورد این تحقیق ارائه مدلی پیش‌بین با استفاده از شاخص سنجش تضاد مرتبه پنجم RAMMG مطروحه توسط ریزی (2004) جهت ارزیابی واکنش‌های ادراکیِ هیجان و آرامش افراد نسبت به ترکیب‌بندی انتشار نور روز در ۵۶ مقطع زمانی که طبق مطالعات پیشین (Kleindienst et al, 2008) تغییرات روزانه و فصلی نور روز را به‌خوبی پوشش می‌دهد، در طول سال است. این مدل معماران را قادر می‌سازد که تأثیرات متفاوت ادراکی از لحاظ شاخص‌های هیجان‌انگیز و یا آرامش‌بخش بودن الگوهای انتشار نور روز در فضای داخل بر ساکنان را از زاویه دید ثابت در طول سال ارزیابی نمایند (تصویر۱۳).

همان‌طور که تصویر۱۳ نمایش می‌دهد ادراکِ هیجان و آرامش افراد، متأثر از الگوهای متفاوت انتشار نور از زاویه دید ثابت در طول ساعات روز و ماه‌های سال (از چپ به راست نمودار ماه‌های فصلِ زمستان، بهار، تابستان و پاییز) قابل ارزیابی و پیش بینی است. برای مثال، الگوی انتشار اول عمدتاً حس هیجان را در طول سال ایجاد می‌نماید و این حس در ماه‌های زمستان و پاییز (ابتدا و انتهای نمودار) که زاویه تابش کمتر است و ترکیب‌بندی پیچیده‌تری از نور و سایه شکل می‌گیرد بیشتر ترغیب می‌شود. همچنین، در چهارمین الگوی انتشار (آرامش‌بخش/ هیجان‌انگیز) حس هیجان عمدتاً در بعدازظهر و ساعات انتهایی روز در فصول زمستان و پاییز بالاتر است.



تصویر۱۳- پیش‌بینی حس هیجان و آرامش در ۵۶ مقطع زمانی در طول سال با زاویه دید ثابت بر اساس شاخص کمی تضاد درخشندگی فضایی (Rockcastle et al, 2017b)

روکاسل و همکاران (2017c) در پژوهشی دیگر نیز با سنجش ادراکات افراد از طریق نمایش نمونه های شبیه‌سازی‌شده ۱۸۰ درجه در محیط واقعیت مجازی غوطه‌ورکننده (IVR) و مقایسه آن‌ها با شاخص‌های سنجش تصویر مبنا (تضاد تیرگی و روشنی) برآمده از پیشینه، مجدداً به شاخص تضاد فضایی اصلاح شده (mSC) به‌عنوان پیش‌بینی کننده‌ترین شاخصِ حس هیجان و آرامش آزمودنی‌ها دست یافتند و از طریق آن به ارائه مدل پیش‌بین از حس هیجان و آرامش در نمونه‌های مورد مطالعه بر مبنای موقعیت ثابت افراد (ناظر)؛ ولی شرایط متفاوت آسمان صاف و یا ابری و زوایای دید متفاوت (با تقسیم فضای ۳۶۰ درجه به ۱۸ زاویه دید در تصاویر چشم ماهی ۱۸۰ درجه) در طول سال پرداختند. برای مثال، همان‌طور که در تصویر۱۴ مشخص است؛ در تصویر شبیه‌سازی‌شده ۳۶۰ درجه در یکی از نمونه‌های موردمطالعه در تاریخ سی‌ام ماه می ساعت نه و هشت دقیقه صبح در شرایط آسمان صاف بالاترین حس هیجان مربوط به زاویه دید۱ و بالاترین حس آرامش در زاویه دید۲ است.

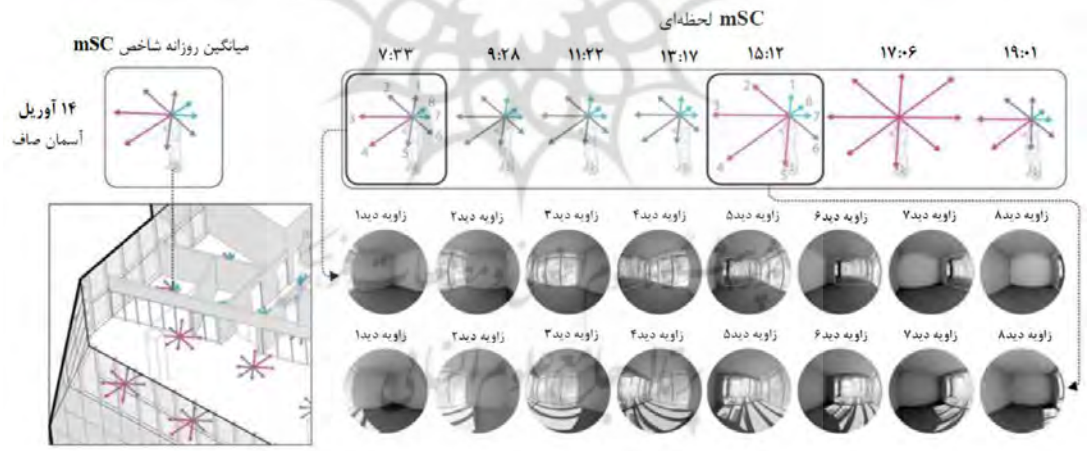


تصویر۱۴- پیش‌بینی حس هیجان و آرامش در موقعیت ناظر ثابت و زاویه دید متغیر بر اساس شاخص کمی تضاد درخشندگی فضایی (Rockcastle et al, 2017c)

آماندادوتیر و همکاران (2017b) نیز بر پایه یافته‌های پژوهش روکاسل و همکاران (2017b) به ارزیابی کارایی ادراکی نور روز (هیجان و آرامش) بنابر زوایای دید متفاوت (۱۸ زاویه دید با تغییر۲۰ درجه‌ای)، در شرایط آسمان ابری و صاف در یک مورد مطالعاتی پرداختند. اهمیت نقش زاویه دید متفاوت بر ادراکات ساکنان توسط یافته‌های تحقیق ابوشی و همکاران (2018a) نیز مورد تأکید قرارگرفته است.

روکاسل و همکاران (2017a) بر پایه یافته‌های پژوهش‌های پیشین خود که در آن شاخص تضاد فضایی اصلاح شده (mSC) پیش‌بینی کننده‌ترین شاخص کمیِ حس هیجان و آرامش آزمودنی‌ها شناخته شد، به ارائه مدلی پیش‌بینِ فضایی- زمانی از حس هیجان و آرامش در یک مورد مطالعاتی بر مبنای موقعیت متفاوت ناظر (در تحقیقات پیشین موقعیت ناظر ثابت در نظر گرفته‌شده بود)، شرایط متفاوت آسمان صاف و یا ابری و زوایای دید متنوع (۸ زاویه در هر موقعیت ناظر) در طول سال پرداختند.

تصویر۱۵ تجربه پویای فضاییِ مورد مطالعاتی را بر اساس ساعات روز در یک موقعیت ناظر نمایش می‌دهد؛ همان‌طور که در این تصویر مشخص است در روز ۱۴ آوریل و در شرایط آسمان صاف، حس هیجان (بردارهای صورتی‌رنگ) افراد به شکل قابل‌ملاحظه‌ای در هر زاویه دید وابسته به ساعت روز و به‌تبع آن تغییر در زاویه تابش خورشید متفاوت است.



تصویر۱۵- پیش‌بینی حس هیجان و آرامش در موقعیت ناظر زاویه دید متغیر بر اساس شاخصِ کمی تضاد درخشندگی فضایی (Rockcastle et al, 2017a)

شایان ذکر است که روکاسل و همکاران (2018) بر پایه یافته‌های پژوهش‌های تجربی پیشین خود، به معرفی نرم‌افزار اکوویس[۲۷] پرداخته‌اند که قادر است با شبیه‌سازی سه‌بعدی فضای موردنظر و شرایط نور روز میزان شاخص‌های انسان‌محور نور روز (در سطح چشم ناظر) چون کارایی سلامت‌محور، کارایی ادراکی (هیجان، آرامش) و آسایش بصری را در موقعیت‌ها و زوایای دید متفاوت ناظر و شرایط آسمان (صاف، ابری) در طول سال، پیش‌بینی و نمایش دهد.

۳-۵-۲- سطح پیچیدگی

تحقیقات نشان می‌دهند که سطح پیچیدگی محرک‌های بصری، ادراکات حسی افراد را متأثر می‌سازد. برای مثال، ارزیابی ذهنی پیچیدگی محرک‌های بصری با احساس برانگیختگی (آرامش و یا هیجان) آزمودنی‌ها رابطه دارد (Marin and Leder, 2013, (2016; Rockcastle, 2017. همچنین، رابطه سطح پیچیدگی و احساس خوشایندی محرک‌های بصری، معکوس نمودار U شکل است؛ به‌این‌معنا که محرک‌های بصری با سطح پیچیدگی متوسط نسبت به محرک‌هایی با سطح پیچیدگی کم و یا زیاد احساس خوشایندی بالاتری دارند (Abboushi et al, 2019; Berlyne, 1971; Chamilothori, 2019; Friedenberg and Liby, 2016).

طبق آنچه‌که از پیشینه برمی‌آید، محققان جهت کمی‌سازی سطح پیچیدگی محرک‌های بصری از روش‌های متعدد محاسباتی تصویر مبنا بهره برده اند. این روش‌ها در دو دسته کلیِ روش فشرده-سازی تصاویر که طبق آن حجم تصویر فشرده-سازی شده در قالب‌های متفاوت GIF, JPEG, PNG TIFF بیان‌گر سطح پیچیدگی است (برای مثال، حجم بالاتر تصویر فشرده‌سازی شده نشان‌گر سطح بالاتری از پیچیدگی تصویر است) و روش-های تشخیص تعداد لبه چون Sobel, Canny, Bw Perim که طبق آن‌ها سطح پیچیدگی با افزایش میزان لبه‌های تصویر بیشتر می‌شود، مقوله‌بندی می-شوند. همچنین، آنتروپی شدت هیستوگرام تصاویر (Enropy) و ابعاد فراکتال (D) نیز دو شاخص دیگری هستند که یافته‌های تحقیقات پیشین بر رابطه آن‌ها با ادراک سطح پیچیدگی محرک‌های بصری متفاوتِ محیط طبیعی و انسان ساخت صحه می‌گذارد (Chamilothori, 2019).

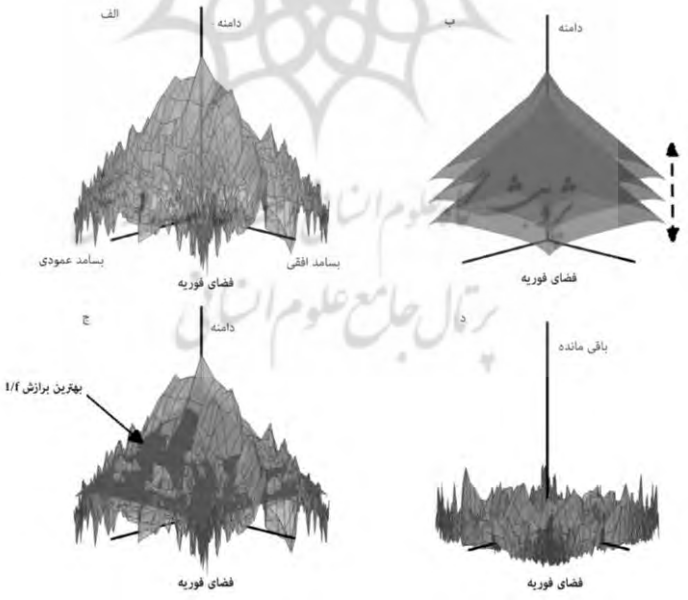
چمیلوتوری (2019) به ارزیابی قابلیت ۳۲ شاخص سنجش سطح پیچیدی تصاویر در پیش‌بینی اثراتِ ادراکی الگوهای انتشار نور روز پرداخت. یافته‌های این تحقیق نشان می‌دهد که روش سنجش سطح فشردگی تصاویر در قالب JPEG و الگوریتم تشخیص تعداد لبه PNG- PERIM8 بالاترین قابلیت را در پیش‌بینی تأثیرات ادراکی نور روز دارند.

۳-۵-۳- طیف دامنه فوریه دو بعدی (FFT2)

تحقیقات مرتبط با علوم بصری و گرافیک محاسباتی نشان می‌دهند که مناظر طبیعی و تصاویر آن ساختاری دارند که خوشایند بوده و سامانه بصری انسان با آن‌ها سازگارتر است (Geisler, 2008; Field, 1987; Penacchio and wilkins; 2015; wilkins et al; 2018). طبق این پژوهش ها، تصاویر مناظر طبیعی عمدتاً انرژی ثابتی دارند، به‌این‌معناکه انرژی حاصل از تضاد تیرگی و روشنی و یا فراوانی فضایی[۲۸] در این تصاویر در تمامی مقیاس‌های فضایی تقریبا یکسان است. طبق پیشینه، یکی از روش‌های پردازش و تمایزدهی ساختار فضایی تصاویر، بهره‌گیری از روش طیف دامنه فوریه دوبعدی (FFT2) است.

یافته‌های تحقیقاتی که به پردازش تصاویر طبیعی با استفاده از روش طیف دامنه فوریه دو بعدی

پرداخته‌اند نشان می‌دهد که در تصاویر طبیعی نسبت فراوانی فضایی به دامنه 1/f است؛ ازاین‌رو، هنگامی‌که نمودار نسبت فراوانی فضایی به دامنه در مختصات لگاریتمی (log- log) ترسیم شود، شیب نمودار نزدیک به ۱- است (Baker and Graf, 2009; Parraga et al, 1998). بر اساس این یافته، پناچیو و ویلکینس (2015) الگوریتمی را ارائه دادند که آسایش بصری و عدم آسایش بصریِ منتج از مشاهده تصاویر را از طریق داده‌های برآمده از پردازش تصویر، کمی‌سازی و پیش‌بینی می‌نماید. این مدل بر پایه دو اصلِ ساختار فضایی مناظر طبیعی و حساسیت سامانه بصری انسان شکل گرفته است. طبق این الگوریتم که بر اساس طیف دامنه فوریه دو بعدی انرژی تصاویر را در تمام جهاتِ عمودی، افقی و مورب می‌سنجد، به‌میزانی که ساختار تصاویرِ محیط‌های انسان ساخت با ساختار تصاویر طبیعی متفاوت باشد؛ به‌این‌معناکه نسبت فروانی فضایی به دامنه از 1/f بیشتر و یا کمتر باشد و یا پس از تفریق مخروطی با شیب 1/f از طیف دامنه فوریه مقدار باقی مانده بیشتر باشد (تصویر ۱۶) به احتمال بالا آن تصاویر در هنگام مشاهده با مغز انسان سازگاری کم و پردازش پیچیده‌تری داشته و سبب واکنش‌های شدیدتری از سوی مغز در ارسال نورون‌ها به سیستم بینایی شده که این موضوع منتج به افزایش نرخ متابولیسم، ناخوشایندی و عدم آسایش بصری افراد می‌شود (Le et al, 2017; Penacchio and wilkins; 2015; Penacchio et al, 2015; wilkins et al; 2018).



تصویر۱۶- شماتیک روش. الف) طیف دامنه فوریه دو بعدی تصاویر مناظر طبیعی در مختصات رگاریتمی (log- log)؛ هر راس در صفحه دارای سه مختصات بوده که این مختصات در صفحه افقی شامل فراوانی فضایی افقی و فراوانی فضایی عمودی در فضای تبدیل دو بعدی فوریه است. در صفحه عمودی مختصات مربوط به لگاریتم، طیف دامنه تصاویر در دو بسامد افقی و

عمودی است. ب) مخروط‌های همسان‌گرد دایره‌ای با شیب 1/f. ج) طیف دامنه فوریه تصویر الف با بهترین متناسب‌سازی مخروط دو بعدی د) باقی مانده با تفریق بهترین برازش مخروط با شیب 1/f از طیف دامنه فوریه (penacchio and wilkins; 2015, 3).

روتا[۲۹] و همکاران (2019) رابطه چهار نوع نما با هندسه منحنی، راست گوشه، ترکیبی و تیز گوشه با ترجیحات افراد از دید ناظر بیرونی ساختمان را از طریق پرسش‌نامه خودگزارشی و شاخص طیف دامنه فوریه دو بعدی ارزیابی نمودند. یافته‌های این تحقیق حاکی از مشابه بودن نتایج برآمده از پرسش‌نامه و پردازش تصویر است. در حقیقت، هندسه نمایی که بیشترین ترجیح را از دیدگاه آزمودنی‌ها دارد، ساختار تصویر آن دارای کمترین فاصله با ساختار تصاویر طبیعی (1/f) است.

جدول۳ جمع‌بندی و مقایسه مشخصات پژوهش‌های مرتبط با پیش‌بینی اثرات ادراکی نور روز و سایر محرک‌های بصری در طول زمان (به‌صورت کرونولوژیک) را نمایش می‌دهد.

جدول۳- جمع‌بندی و مقایسه مشخصات پژوهش‌های مرتبط با پیش‌بینی اثرات ادراکی (کیفی) نور روز و سایر محرک‌های بصری در طول زمان (به‌صورت کرونولوژیک)

پژوهش	محرک بصری	شاخص کمی	شاخص کیفی	مهم‌ترین یافته‌ها
کتجن و همکاران (1991)	نور روز	سطح متوسط درخشندگی* تغییرات درخشندگی نور*	رضایت از محدوده دید، احساس هیجان در فضای اداری	با افزایش سطح متوسط درخشندگی رضایت کاربران از محدوده دید آن‌ها در محیط اداری ارتقا می‌یابد. همچنین، با افزایش تغییرات درخشندگی نور احساس هیجان کاربران در فضای اداری ترغیب می‌شود.
ویلمنبرگ و اینانیسی (2009)	نور روز	سطح متوسط درخشندگی* تغییرات درخشندگی نور*	ترجیحات ساکنان در فضای اداری	علی‌رغم آنکه تغییرات در میزان درخشندگی سبب پویایی محیط می‌شود؛ ولی تغییرات بیش‌ازحد آن آسایش محیطی را کاهش می‌دهد.
پارپیری و همکاران (2002)	نور روز	تفاوت درخشندگی (LD)*	ترجیحات کاربران در فضای اداری	با افزایش تفاوت درخشندگی (تضاد تیرگی و روشنی) میزان خوشایندی افراد از فضای بهره‌مند از نور روز ارتقا می‌یابد.
روکاسل و اندرسن (2017b)	نور روز	شاخص تضاد فضایی اصلاح شده (mSC)	آرامش و هیجان	ارائه مدل پیش‌بین از اثرات ادراکی نور روز بر اساس زاویه دید ثابت ناظر و شرایط آسمان متفاوت
روکاسل و اندرسن (2017c)	نور روز	شاخص تضاد فضایی اصلاح شده (mSC)	آرامش و هیجان	ارائه مدل پیش‌بین از اثرات ادراکی نور روز بر اساس زاویه دید و شرایط آسمان متغیر
آماندادوتیر و همکاران (2017b)	نور روز	شاخص تضاد فضایی اصلاح شده (mSC)	جذابیت بصری (هیجان‌انگیز، آرامش‌بخش، خنثی)	ارائه مدل پیش‌بین از جذابیت بصری (حس هیجان، آرامش و یا خنثی بودن) در یک مورد مطالعاتی بر مبنای زوایای دید متنوع و شرایط آسمان صاف و یا ابری
روکاسل و اندرسن	نور روز	شاخص تضاد فضایی اصلاح شده (mSC)	هیجان و آرامش	ارائه مدل پیش‌بینِ فضایی- زمانی از حس هیجان و آرامش در یک مورد مطالعاتی بر مبنای موقعیت متفاوت ناظر، شرایط متفاوت آسمان

(2017a)				صاف و یا ابری و زوایای دید متغیر در طول سال
چمیلوتوری (2019)	نور روز	شاخص تضاد فضایی مرتبه یکم (mSC1)، سطح فشردگی تصاویر در قالب JPEG و الگوریتم تشخیص میزان لبه PNG-PERIM8	پیچیدگی، هیجان و آرامش	شاخص تضاد فضایی مرتبه یکم (mSC1) جهت سنجش سطح تیرگی و روشنی تصاویر و شاخص‌های فشردگی تصاویر در قالب JPEG و الگوریتم تشخیص میزان لبه PNG-PERIM8 جهت سنجش سطح پیچیدگی بالاترین قابلیت را در پیش‌بینی تأثیرات ادراکی نور روز دارند.
پناچیو و ویلکینس (2015)	تصاویر محیط انسان ساخت و طبیعی	شاخص طیف دامنه فوریه دو بعدی (FFT2)	آسایش بصری	پس از پردازش تصاویر با استفاده از شاخص طیف دامنه فوریه دو بعدی (FFT2)، به میزانی که ساختار تصاویرِ محیط‌های انسان ساخت با ساختار تصاویر طبیعی متفاوت باشد؛ به احتمال بالا آن تصاویر در هنگام مشاهده با مغز انسان سازگاری کم و پردازش پیچیده‌تری داشته و سبب واکنش‌های شدیدتری از سوی مغز در ارسال نورون‌ها به سیستم بینایی شده که این موضوع منتج به افزایش نرخ متابولیسم، ناخوشایندی و عدم آسایش بصری افراد می‌شود.

*قابلیت اتکای این شاخص‌ها در پیش‌بینی اثرات ادراکی نور روز ، توسط روکاسل و اندرسن (2014) به چالش کشیده شد.

٤- یافته‌ها و بحث

در این بخش ضمن تفسیر و جمع‌بندی موارد مطروحه در مباحث پیشین (تصویر۱۷) به معرفی خلأهای پژوهشی مرتبط با موضوع تحقیق و ارائه پیشنهادات به پژوهش‌های آینده پرداخته شده است.

همان‌طور که پیش‌تر نیز بیان گشت، ادراکات ساکنان از الگوهای متفاوت انتشار نور روز عمدتاً با واکنش‌های احساسی افراد پیوند یافته و از طریق آن‌ها بروز می‌یابد. واکنش‌های احساسی افراد وابسته به کاربری و فعالیت‌های فضا و طبق مدل دایره‌ای احساسات راسل (1980) از طریق دو بعد خوشایندی و برانگیختگی قابل تبیین است. همچنین، درک جذابیت و پیچیدگی فضا مشخصه‌های دیگری هستند که در پیشینه تحقیق جهت ارزیابی ادراکات افراد از شرایط نور روز استفاده شده‌اند. ارزیابی ذهنیِ آسایش بصری که در برخی از مطالعات ترجیحات بصری بیان شده، شاخصه دیگری است که در پژوهش‌های پیشین جهت ارزیابی کارایی ادراکی نور روز از آن بهره گرفته شده است. در مجموع می‌توان بیان داشت که شاخص‌های میزان خوشایندی، حس هیجان و آرامش (سطح برانگیختکی)، جذابیت بصری و ارزیابی ذهنیِ آسایش بصری آزمودنی‌ها از فضاهای بهره‌مند از نور روز، پنج شاخص اصلی برآمده از پیشینه تحقیق هستند.

طبق پیشینه، محققان عمدتاً به ارزیابی الگوهای متفاوت انتشار نور روز بر ادراکاتِ مطلوب فضایی ساکنان پرداخته‌اند و از احتمال شکل‌گیری حس های نامطلوب محیطی نشأت گرفته از شرایط متفاوت انتشار نور روز مغفول مانده‌اند؛ درواقع به نظر می‌رسد محققان به تعیین حد بالا (مطلوب) و پایین (نامطلوب) ادراکات ساکنان متأثر از الگوهای متفاوت انتشار نور نپرداخته‌اند. برای مثال، ممکن است یک الگوی انتشار در طول زمان از حس مطلوب آرامش‌بخشی به حس نامطلوبِ کسل‌کننده شدن فضا مبدل شود و یا از حس مطلوبی چون احساس هیجان به ادراکات نامطلوبی

چون احساس هیجان بیش‌ازحد، گیج‌کنندگی و اختلالات بصری منتج شود. همچنین، شواهدی وجود دارد که نشان می‌دهد درصورتی‌که الگوهای انتشار نور جذابیت بصری بالایی را ایجاد نمایند موجب می‌شود که ساکنان سطح بالاتری از خیرگی را تحمل کنند؛ ازاین‌رو، ارزیابی رابطه بین شاخص‌های خیرگی نور روز و سطح بالای جذابیت بصری برآمده از الگوهای انتشار نور نیز می‌تواند موضوع تحقیقات در آینده باشد.

پیشینه پژوهش نشان می‌دهد که الگوهای انتشار نور (متغیر مستقل) به ده گونهٔ کلی مقوله‌بندی می شوند. این الگوها می‌تواند بر اساس تعداد بسیاری از هندسه‌های متنوع شکل گرفته و شرایط انتشار متفاوتی را ایجاد نماید. همان‌طور که در مباحث پیشتر بیان شده نیز مشخص است، محققان عمدتاً رابطه تعدادی محدودی از الگوهای رایج موجود و سطح نظم و پیچیدگی آن‌ها را با ادراکات ساکنان ارزیابی نموده‌اند. بررسی رابطه هر نوع هندسه دیگر نما و سطح نظم و پیچیدگی (شکل و توزیع فضایی) آن‌ها با ادراکات ساکنان می‌تواند موضوع پژوهش‌های دیگری در این حوزه در آینده باشد. همچنین، اغلب تحقیقات پیشین در بستر فضاهای اداری انجام‌شده‌اند و به فضاهای مسکونی کمتر پرداخته‌شده است؛ بنابراین، خلأ پژوهشی قابل ملاحظه‌ای در ارزیابی کارایی ادراکی نور روز در بستر فضاهای مسکونی در پیشینه تحقیق مشاهده می‌شود.

پیشینه تحقیق حاکی از آن است که درصد سطح نفوذ نور و یا به‌بیانی‌دیگر نسبت روزنه‌های ورود نور به‌کل سطح جداره نما متغیر قابل اهمیت دیگری است که نحوهٔ انتشار نور در فضا را متأثر می‌سازد؛ این در حالی است که تحقیقات پیشین یا از سطح نفوذ نور در الگوهای متفاوت انتشار سخنی به میان نیاورده‌اند و یا برای آن نسبتی ثابت چون اعداد ۲۵ و ۴۰ درصد را در نظر گرفته‌اند؛ ازاین‌رو، به نظر می‌رسد تمرکز بر روی درصد نفوذ نور در هندسه‌های متفاوت نما و ارزیابی تأثیر آن بر ادراکات ساکنان می‌تواند موضوع پژوهش دیگری برای محققان در آینده باشد؛ در واقع می توان نوع (هندسه) و سطح پیچیدگی جداره نور گذر را ثابت و درصد سطح نفوذ را متغیر در نظر گرفت و تأثیر تغییرات آن را بر ادراکات ساکنان از فضا ارزیابی نمود. همچنین در اغلب پژوهش‌ها مصالح و عمق نما یکسان (دو بعدی) در نظر گرفته شده‌اند؛ ازاین‌رو، تحقیقات آتی می‌توانند تأثیرات ادراکی طراحی سه بعدی نما با عمق، عناصر چرخشی و مصالح متفاوت را ارزیابی نمایند.

طبق پیشینهٔ روش‌شناسی مرتبط با موضوع تحقیق، روش سنجش تجربی در محیط مجازی غوطه‌ور کننده (IVR) به‌دلیل ماهیت پویای نور روز و امکان دست‌کاری و کنترل متغیرها می‌تواند مناسب‌ترین روش نام‌برده شود. طبق این روش در ابتدا تصاویر عمدتاً با استفاده از افزونه دیوا برای نرم‌افزار راینو و نرم افزار رادیانس، بر مبنای قوانین فیزیکی (PBR) و با محدوده درخشندگی بالا (HDR) شکل می‌گیرند؛ سپس سطح درخشندگی تصاویر با قابلیت سطح درخشندگی نمایشگرِ هدست‌های واقعیت مجازی با بهره‌گیری از الگوریتم‌های نگاشت تن (Tone Mapping)

منطبق و پس از ایجاد محیط غوطه‌ورکنندهٔ ۱۸۰ و یا ۳۶۰ درجه از طریق موتور بازی‌سازی یونیتی، فضا در هدست به آزمودنی‌ها نمایش داده می‌شود. پس از نمایش فضا در واقعیت مجازی، ادراکات و حالات افراد از طریق سه روش پیمایشی به منظور ارزیابی واکنش‌های ذهنی افراد (برای سنجش دو بعد خوشایندی و برانگیختگی و شاخص جذابیت بصری) مبتنی‌بر استخراج داده‌های خودگزارشی از طریق ابزار پرسش‌نامه کتبی و شفاهی، آزمایشگاهی جهت ارزیابی واکنش‌های عینی افراد بر پایه استخراج داده‌های فیزیولوژیکی چون فعالیت‌های مغزی و حالت چهره (جهت سنجش هر دو بعد خوشایندی و برانگیختگی) و ضربان قلب و هدایت پوستی (به‌منظور سنجش سطح توجه و سطح برانگیختگی) به‌ترتیب از طریق حسگرهای الکتروانسفالوگرام (EEG)، الکترومیوگراف چهره (f-EMG)، فوتوپلیتیسموگرام (PPG)، پاسخ گالوانیکی پوست (GSR) و مشاهده‌ای برای ارزیابی واکنش‌های عینی افراد بر اساس داده‌های حرکت سر و چشم (جهت شناسایی نواحی مورد تمرکز و نقاط با جذابیت بصری بالا) از طریق حسگر ردیابی حرکت سر و چشم (Eye-tracking Head and) ارزیابی می‌شود که خلاء پژوهشی قابل ملاحظه‌ای در پیوند و بهره‌گیری همزمان این سه روش گردآوری داده‌ها و مقایسه، تحلیل و تفسیر همزمان آن‌ها جهت نیل به نتایجی با قابلیت تعمیم و روایی بالا در پیشینه تحقیق مشهود است. شایان‌ذکر است که متأثر شدن عوامل فیزیولوژیکی از الگوهای انتشار متفاوت نور، انگیزش و دریچه گسترده‌ای را برای محققان در جهت سنجش کارایی ادراکی نور روز با بهره‌گیری از داده‌های فیزیولوژیکی در مطالعات آتی فراهم می‌آورد. به ویژه بهره‌گیری از حسگر الکتروانسفالوگرام (EEG) و استخراج فعالیت‌های مغزی که قابلیت ارزیابی هر دو بعد خوشایندی و برانگیختگی احساسات آزمودنی‌ها را داشته و خلاء پژوهشی در بهره‌گیری از آن در پیشینه تحقیق قابل مشاهده است؛ می‌تواند منجر به کسب دستاوردهای بدیع در این زمینه شود.

طبق آنچه‌که از پیشینه بر می‌آید، سنجش ادراکات آزمودنی‌ها در واقعیت مجازی از طریق نمایش فضای شبیه‌سازی شده در مدت زمان اندک را می توان یکی از محدودیت‌های مهم پژوهش‌های پیشین تلقی نمود که می‌تواند قابلیت تعمیم‌دهی یافته‌های این مطالعات به فضاهای متفاوت را محدود سازد (ممکن است که یافته‌های این پژوهش‌ها صرفاً برای محیط‌هایی چون ورودی‌ها، راهروها و یا سرسرای ساختمان‌ها که فضاهایی عبوری هستند و افراد در واقعیت هم معادل همین میزان در آن حضور دارند قابلیت تعمیم داشته باشند). ازاین‌رو، ارزیابی قابلیت اتکا به یافته‌های پژوهش‌های پیشین از طریق سنجش واکنش‌های ذهنی و عینی آزمودنی‌ها در واقعیت مجازی برای بازه زمانی طولانی‌تر و یا به‌بیانی‌دیگر، تبیین نقش مدت زمان غوطه‌وری آزمودنی‌ها در محیط مجازی بر ادراکات آن‌ها می‌تواند موضوع پژوهش‌های نوین دیگری در آینده باشد.

طبق پیشینه، تبیین رابطه روش‌های پردازش تصویر و ادراکات ساکنان می‌تواند منتج به کمی‌سازی و پیش‌بینی کارایی ادراکی نور روز شود. طبق آنچه که از پیشینه تحقیق برمی‌آید، شاخص تضاد فضایی اصلاح‌شده (mSC یا RAAMG5) برای سنجش تضاد تیرگی و روشنی و شاخص حجم تصویر فشرده‌سازی شده در قالب JPEG و شاخص تشخیص تعداد لبه PNG-PERIM8 جهت سنجش سطح پیچیدگی تصاویر، قابل اتکاترین شاخص های کمیِ تصویر مبنا در پیش‌بینی اثرات ادراکی نور روز هستند. همچنین خلاء پژوهشی در بهره-گیری از پردازش تصویر با استفاده از روش طیف دامنه فوریه دو بعدی (FFT2) در ارزیابی اثرات ادراکی نور روز و مقایسه یافته‌های آن با سایر روش‌های سنجش تضاد تیرگی و روشنی و سطح پیچیدگی و تعیین همبستگی آن با واکنش‌های ذهنی و عینی (فیزیولوژیکی) مشهود است که توصیه می‌شود تحقیقات آتی به منظور کمی‌سازی، پیش‌بینی روشن‌تر و ارائه نتایج قابل تعمیم‌ترِ اثرات ادراکی برآمده از معیارهای طراحی جداره‌های نور گذر به آن بپردازند.

تصویر۱۷ جمع‌بندی مباحث مطروحه در پژوهش حاضر شاملِ توصیف و تبیین متغیرها و معرفی روش‌های قابل اتکای سنجش، کمی‌سازی و پیش بینی رابطه آن‌ها بر اساس سایر متغیرهای مرتبط با ناظر، شرایط بستر مورد مطالعه و محیط پیرامون آن که همزمان با متغیرهای مرتبط با طراحی جدار نور گذر می‌توانند بر ادراکات افراد تأثیرگذار باشند را نمایش می‌دهد.

درمجموع می‌توان بیان داشت که شناسایی، کمی-سازی و پیش‌بینیِ رابطه بین الگوهای متفاوت انتشار نور روزِ برآمده از معیارهای طراحی جداره-های نورگذر و ادراکات حسی ساکنان بر مبنای موقعیت قرارگیری ناظر در فضا، زاویه دید ناظر، ارتفاع سطح چشم ناظر، نوع فعالیت‌های فضا، ابعاد و وسعت فضا، مبلمان و سطوح (مصالح)، دید و منظر، موقعیت جغرافیایی ساختمان، زمان (ساعت، روز، فصل)، شرایط آسمان (صاف، ابری) دستاورد اصلی پژوهش‌های پیشین و آتیِ مرتبط با موضوع تحقیق است. لازم به توضیح است که متغیرهای مرتبط با ناظر، شرایط بستر مورد مطالعه و محیط پیرامون آن که همزمان با متغیرهای مرتبط با طراحی جداره‌های نور گذر می‌توانند بر ادراکات افراد تأثیرگذار باشند ممکن است در مطالعات آینده بنا بر اهداف پژوهش، به‌عنوان متغیرهای کنترلی در نظر گرفته شده و تأثیر آن‌ها در ارزیابی اثرات ادراکی نور روز حذف شود و یا نقش آن‌ها به‌شکل مستقل و توأمان با مشخصه‌های معمارانه جداره‌های نور گذر سنجیده و تبیین شود.

تصویر۱۷- جمع‌بندی؛ توصیف و تبیین متغیرها و معرفی روش‌های قابل اتکا جهت سنجش، کمی‌سازی و پیش‌بینی رابطه آن‌ها در پیشینه تحقیق

۵- نتیجه‌گیری

این تحقیق با تمرکز بر روی کارایی ادراکی نور روز که یکی از مؤلفه‌های انسان‌محور نور روز به‌شمار می‌رود؛ به‌دنبال تبیین رابطه بین الگوهای متفاوت انتشار نور روزِ برآمده از معیارهای معمارانه جداره‌های نورگذر (متغیر مستقل) و ادراکات افراد (متغیر وابسته) در فضاهای داخلی و شناسایی روش‌ها و ابزارهای قابل اتکا جهت سنجش، کمی‌سازی و پیش‌بینیِ رابطه بین این دو در پیشینه پژوهش است. برای این منظور، در ابتدا کارایی (اثرات) ادراکی نور روز تبیین و شاخص‌های ارزیابی آن شناسایی و تشریح شده است؛ سپس الگوهای متفاوت انتشار نور روز در فضای داخلی بر مبنای مشخصه‌های طراحی جداره‌های نور گذر توصیف و روش‌ها (ارزیابی ذهنی و عینی) و ابزارهای سنجشِ اثرات ادراکیِ نور روز و سایر محرک‌های بصری تحلیل شده‌اند؛ در ادامه مصادیق پژوهشی مرتبط با اثرات ادراکی نور روز در طول زمان (به‌صورت کرونولوژیک) تشریح شده‌اند و با تأکید بر اهمیت کمی‌سازی و پیش‌بینیِ

رابطه الگوهای متفاوت انتشار نور روز و ادراکات افراد، روش‌های پیش‌بینِ کارایی ادراکی نور روز (کیفی) و سایر محرک‌های بصری از طریق شاخص‌های کمی با بیان مصادیق پژوهشی و روند توسعه و پیشرفت آن‌ها در طول زمان، تبیین شده‌اند؛ در آخر نیز بر اساس نتایج مباحث پیشین به جمع‌بندی، معرفی خلأهای پژوهشی مرتبط با موضوع و ارائه پیشنهادات به پژوهش‌های آینده پرداخته‌شده است.

یافته‌های این تحقیق که منجر به تبیین متغیرها، روش‌ها و ابزارهای سنجش آن‌ها، شاخص‌های کمیِ پیش‌بین، بیان مصادیق و همچنین شناسایی خلأهای پژوهشی مرتبط با موضوع شده است می‌تواند زمینه‌ساز شکل‌گیری طیف گسترده‌ای از تحقیقات بدیع مرتبط با موضوع پژوهش در آینده شود. ارزیابی رابطه الگوهای متفاوت انتشار نور روز و ادراکات ساکنان از فضا و همچنین پیش‌بینی این رابطه بر اساس شاخص‌های کمی، معماران را قادر می‌سازد تا در مرحله فرآیند طراحی (مرحلهٔ ایده‌پردازی و ارزیابی راه‌حل‌های پیشنهادی و توسعه آن‌ها) بر مبنای کاربری یا نوع فعالیت‌های فضا، موقعیت جغرافیایی و مشخصه‌های طراحی جداره‌های نور گذر مدنظرِ ساختمان دریابند که در هر موقعیت ساکنان (ناظر) در فضا، جهت دید و ارتفاع سطح چشم آنان و همچنین زمان و شرایط آسمان صاف و یا ابری چه نوع حس‌وحالی و به چه میزان در فضای داخلی طرح خود ترغیب می شود که این امر به طراحی شواهد مبنا و یا طراحی از راه علم که در آن روش‌های علمی با طراحی معماری پیوند می‌یابند، دلالت دارد.

سپاسگزاری

این مقاله در راستای پایان‌نامه دکتری نویسنده اول با عنوان "تبیین رابطه هندسه الگوهای انتشار نور روز و ادراکات حسی ساکنان در ساختمان‌های مسکونی " است که با راهنمایی نویسنده دوم در دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی در حال انجام است.

پی‌نوشت‌ها

1. Evidence Base Design
2. Critical Appraisal Skills Program Checklist (CASP)

۳. به‌دلیل هم‌پوشانی برخی تحقیقات استخراج شده در ارزیابی و تبیین موضوعات متفاوت؛ مقوله‌بندی و ارائه تعداد پژوهش بر اساس محوریت و موضوع اصلی مورد بحث در این مطالعات و نقش آن‌ها در تبیین مباحث پژوهش حاضر صورت پذیرفته است.

4. Plutchik
5. Russell
6. Ekman
7. Vogels
8. Rockastle and Andersen
9. Radiance
10. Stereoscopy

۱۱. جهت نمایش تصاویر شبیه‌سازی‌شده و یا تصویربرداری شده به آزمودنی‌ها، سطح روشنایی به‌دقت توسط روش‌های ایجاد تصاویر با دامنه پویایی بالا (HDR) تعیین‌شده و توسط نمایشگرهای مختلفی که دارای محدوده مشخصی از سطح درخشندگی هستند نمایش داده می‌شود. به‌منظور فشرده‌سازی و منطبق ساختن محدوده درخشندگی تصاویر با محدوده درخشندگی نمایشگرهای متفاوت محققان از الگوریتم‌های متفاوت tone mapping بهره می‌برند (Amundadottir et al, 2017b). چمیلوتوری

(2019) به مقایسه و رتبه‌بندی کارایی چهار الگوریتم tone mapping پرکاربرد در پیشینه تحقیق پرداخت. یافته‌های این تحقیق نشان می‌دهد که به‌ترتیب Reinhard02، Durand02، Ward97 و Drago03 الگوریتم‌های قابل اتکا جهت منطبق‌سازی سطح درخشندگی تصاویر شبیه‌سازی‌شده با هدست‌های واقعیت مجازی هستند.

12. Immersive Virtual Environment
13. Unity game engine
14. Virtual Reality Headset
15. Physically-Based Renderings

به‌منظور شبیه‌سازی محیط بر مبنای قوانین فیزیکی(PBR)، ابتدا فضای مدنظر در نرم‌افزار راینو (Rhino) سه‌بعدی سازی شده و سپس جهت ایجاد تصاویر با دامنه پویایی بالا (HDR) فضای شبیه‌سازی‌شده با استفاده از پلاگین دیوا (Diva) در راینو، برای نرم‌افزار رادیانس (Radiance) خروجی گرفته می‌شوند و در آخر با استفاده از نرم‌افزار رادیانس تصاویر نهایی از فضا و شرایط انتشار نور روز در آن شکل می‌گیرند (Chamilothori et al, 2019).

۱۶. کفایت این روش توسط سه عاملِ صحت ارزیابی ذهنی آزمودنی‌ها (خوشایندی، پیچیدگی، هیجان، جذابیت، رضایت از سطح دید به بیرون)، تأثیر هدست‌های واقعیت مجازی بر واکنش‌های جسمانی (فیزیولوژیکی) و درک حضور آن‌ها در محیط مجازی سنجیده شده است (Chamilothori et al, 2018a).

17. Friedenberg and Liby
18. Annual spatial contrast
19. Annual luminance variability
20. Complexity measures
21. Two-dimensional Fast Fourier Transform (FFT2)
22. Tiller and Veitch
23. Cetegen
24. Wymelenberg and Inanici
25. Parpairi

۲۶. در این پژوهش رابطه بین شاخص‌های کمی سنجش تضاد تیرگی و روشنیِ Michelson, RMS, DOG, SC, RAMMG, RSC با واکنش‌های ذهنیِ دو سویه‌ی افراد (پرسش‌نامه افتراق معنایی) نسبت به تصاویر فضای شبیه‌سازی شده (شامل: سطح تضاد پایین و تضاد بالا، یکپارچگی و عدم یکپارچگی، متنوع و عدم تنوع، مستقیم و پخش‌شونده، ساده و پیچیده، آرامش و هیجان، ملایم و برانگیزاننده) برآمده از داده‌های پرسشنامه خودگزارشی سنجش شدند؛ که دراین‌بین، سطح پنجم شاخص RMMG مرتبط‌ترین شاخص با واکنش‌های ادراکیِ حس آرامش و هیجان افراد شناسایی شد. این الگوریتم، شاخص اصلاح‌شده تضاد درخشندگی فضایی (mSC) نام‌گذاری گشت که تفاوت درخشندگی بین پیکسل‌های مجاور در تصویر را ارزیابی می‌کند. شایان‌ذکر است که در این تحقیق شاخص mSC با بهره‌گیری از نرم‌افزار MATLAB R2012b تجزیه‌وتحلیل شده است (Rockcastle et al, 2017b).

27. OCUVIS
28. Spatial Frequency
29. Ruta

فهرست منابع

- Abbouhhi, ,, and ll zeyad,, ,, yy mennnbegg ,, aacobeen, G. 2018), "oo vuuually nneeennng uuniight pattennm mpact occupan''' peccevved geeee," nnSSSee eeacch Sympouuum 2018, Atlanta, GA, USA, p. 11.
- Abboushi, B., & Elzeyadi, I. (2018). The Relationship between Sunlight Pattern Geometry and Visual Comfort in Daylit Offices. In ARCC Conference Repository.
- Abboushi, B., Elzeyadi, I., Taylor, R., & Sereno, M. (2019). Fractals in architecture: The visual interest, preference, and mood response to projected fractal light patterns in interior spaces. Journal of Environmental Psychology, 61, 57-70.
- Abd-Alhamid, F., Kent, M., Bennett, C., Calautit, J., & Wu, Y. (2019). Develop an innovative method for visual perception evaluation in a physical-based virtual environment. Building and Environment, 106278.
- Amundadottir, M. L., Rockcastle, S., Khanie, M. S., & Andersen, M. (2017b). A human-centric approach to assess daylight in buildings for non-visual health potential, visual interest and gaze behavior. Building and Environment, 113, 5-

- Andersen, M. (2015). Unweaving the human response in daylighting design. Building and Environment, 91, 101-117.
- Baehr-Bruyère, J., Chamilothori, K., Vassilopoulos, A. P., Wienold, J., & Andersen, M. (2019). Shaping light oonnfuuence occupan''' expennnne of ppace: a knreiic hhadnng sytt em wtth compoeeeee ate..... .. Journal of Physics: Conference Series (Vol. 1343, No. 1, p. 012162). IOP Publishing
- Baker, D. H., & Graf, E. W. (2009). Natural images dominate in binocular rivalry. Proceedings of the National Academy of Sciences, 106(13), 5436-5441.
- Banaei, M., Hatami, J., Yazdanfar, A., & Gramann, K. (2017). Walking through architectural spaces: the impact of interior forms on human brain dynamics. Frontiers in human neuroscience, 11, 477.
- Bernat, E., Patrick, C. J., Benning, S. D., & Tellegen, A. (2006). Effects of picture content and intensity on affective physiological response. Psychophysiology, 43(1), 93-103.
- Boubekri, M., Hull, R. B., and Boyer, L. L. (1991). Impact of Window Size and Sunlight Penetration on fff cœ Wokke''' Mood and Saiiffaciion A oo vel Way of ss eesnng Suniight. nn voonment and ee havoo, 23(4):474–493.
- Boyce, P. R. (2014). Human factors in lighting. Crc Press.
- Bülow-Hübe, H. (1995). Subjective reactions to daylight in rooms: effect of using low-emittance coatings on windows. International Journal of Lighting Research and Technology, 27(1), 37-44.
- Cauwerts, C. (2013). Influence of presentation modes on visual perceptions of daylit spaces. Université catholique de Louvain (UCL), Louvain-la-Neuve, Belgium.
- Cauwerts, C., & Piderit, M. B. (2018). Application of High-Dynamic Range Imaging Techniques in Architecture: A Step toward High-Quality Daylit Interiors?. Journal of Imaging, 4(1), 19.
- Cetegen, D., Veitch, J., & Newsham, G. (2008). View size and office illuminance effects on employee satisfaction. Proceedings of Balkan light, 2008, 242-252.
- Cha, S. H., Koo, C., Kim, T. W., & Hong, T. (2019). Spatial perception of ceiling height and type variation in immersive virtual environments. Building and Environment, 163, 106285.
- Chamilothori, K. (2019). Perceptual effects of daylight patterns in architecture (No. THESIS). EPFL.
- Chamilothori, K., Chinazzo, G., Rodrigues, J., Dan-Glauser, E. S., Wienold, J., & Andersen, M. (2019). Subjective and physiological responses to façade and sunlight pattern geometry in virtual reality. Building and Environment, 150, 144-155.
- Chamilothori, K., Wienold, J., & Andersen, M. (2016). Daylight patterns as a means to influence the spatial ambiance: a preliminary study. In Proceedings of the 3rd International Congress on Ambiances (No. CONF).
- Chamilothori, K., Wienold, J., & Andersen, M. (2018a). Adequacy of immersive virtual reality for the perception of daylit spaces: Comparison of real and virtual environments. Leukos, 1-24.
- Chamilothori, K., Wienold, J., & Andersen, M. (2018b). Façade design and our experience of space: the joint impact of architecture and daylight on human perception and physiological responses. In Proceedings of the Light Symposium 2018 (No. CONF).
- Chen, Y., Cui, Z., & Hao, L. (2019). Virtual reality in lighting research: Comparing physical and virtual lighting environments. Lighting Research & Technology, 51(6), 820-837.
- Ching, F. D. (2007). Architecture: Form, Space, & Order. John Wiley & Sons.
- Corrodi, M., & Spechtenhauser, K. (2008). Illuminating: Natural light in residential architecture.
- Dan-Glauser, E. S., & Scherer, K. R. (2011). The Geneva affective picture database (GAPED): a new 730-picture database focusing on valence and normative significance. Behavior research methods, 43(2), 468.
- Ekman, P. E., & Davidson, R. J. (1994). The nature of emotion: Fundamental questions. Oxford University Press.
- Ergan, S., Shi, Z., & Yu, X. (2018). Towards quantifying human experience in the built environment: A crowdsourcing based experiment to identify influential architectural design features. Journal of Building Engineering, 20, 51-59.
- kkkan, .. (2018). Examining wayfinding behaviours in architectural spaces using brain imaging with electroencephalography (EEG). Architectural Science Review, 61(6), 410-428.
- Field, D. J. (1987). Relations between the statistics of natural images and the response properties of cortical cells. Josa a, 4(12), 2379-2394.
- Figner, B., & Murphy, R. O. (2010). Using skin conductance in judgment and decision making research. A Handbook of Process Tracing Methods for Decision Research: A Critical Review and User's Guide, 163-84
- Friedenberg, J., & Liby, B. (2016). Perceived beauty of random texture patterns: A preference for complexity. Acta psychologica, 168, 41-49.
- Geisler, W. S. (2008). Visual perception and the statistical properties of natural scenes. Annu. Rev. Psychol., 59, 167-192.
- Heydarian, A., Carneiro, J. P., Gerber, D., Becerik-Gerber, B., Hayes, T., & Wood, W. (2015). Immersive virtual environments versus physical built environments: A benchmarking study for building design and user-built environment explorations. Automation in Construction, 54, 116-126.
- Heydarian, A., Pantazis, E., Wang, A., Gerber, D., & Becerik-Gerber, B. (2017). Towards user centered building design: Identifying end-user lighting preferences via immersive virtual environments. Automation in Construction, 81, 56-66.

- Higuera-Trujillo, J. L., Maldonado, J. L. T., & Millán, C. L. (2017). Psychological and physiological human responses to simulated and real environments: A comparison between Photographs, 360 Panoramas, and Virtual Reality. Applied ergonomics, 65, 398-409.
- Holl S. (2011). Color Light Time. Zurich: Lars Muller Publishers.
- Houser, K. W., & Tiller, D. K. (2003). Measuring the subjective response to interior lighting: paired comparisons and semantic differential scaling. Lighting Research & Technology, 35(3), 183-195.
- Kleindienst, S., Bodart, M., & Andersen, M. (2008). Graphical representation of climate-based daylight performance to support architectural design. Leukos, 5(1), 39-61.
- Krier, R. (1983). Elements of architecture.st. Martins Press.
- Kuliga, S. F., Thrash, T., Dalton, R. C., & Hölscher, C. (2015). Virtual reality as an empirical research tool—Exploring user experience in a real building and a corresponding virtual model. Computers, Environment and Urban Systems, 54, 363-375.
- Lang, P. J. (1995). The emotion probe: studies of motivation and attention. American psychologist, 50(5), 372.
- Lang, P. J., Greenwald, M. K., Bradley, M. M., & Hamm, A. O. (1993). Looking at pictures: Affective, facial, visceral, and behavioral reactions. Psychophysiology, 30(3), 261-273.
- Le, A. T., Payne, J., Clarke, C., Kelly, M. A., Prudenziati, F., Armsby, E., ... & Wilkins, A. J. (2017). Discomfort from urban scenes: Metabolic consequences. Landscape and Urban Planning, 160, 61-68.
- Leite, S., Dias, M. S., Eloy, S., Freitas, J., Marques, S., Pedro, T., & Ourique, L. (2019). Physiological Arousal Quantifying Perception of Safe and Unsafe Virtual Environments by Older and Younger Adults. Sensors, 19(11), 2447.
- Mahdavi, A., & Eissa, H. (2002). Subjective evaluation of architectural lighting via computationally rendered images. Journal of the illuminating Engineering Society, 31(2), 11-20.
- Moscoso, C., Chamilothori, K., Wienold, J., Andersen, M., & Matusiak, B. (2020). Window Size Effects on Subjective Impressions of Daylit Spaces: Indoor Studies at High Latitudes Using Virtual Reality. LEUKOS, 1-23.
- Moscoso, C., Matusiak, B., & Svensson, U. P. (2015a). Impact of window size and room reflectance on the perceived quality of a room. Journal of Architectural and Planning Research, 294-306.
- Moscoso, C., Matusiak, B., Svensson, U. P., & Orleanski, K. (2015b). Analysis of stereoscopic images as a new method for daylighting studies. ACM Transactions on Applied Perception (TAP), 11(4), 1-13.
- Newsham, G. R., Cetegen, D., Veitch, J. A., & Whitehead, L. (2010). Comparing lighting quality evaluations of real scenes with those from high dynamic range and conventional images. ACM Transactions on Applied Perception (TAP), 7(2), 13.
- Newsham, G. R., Richardson, C., Blanchet, C., & Veitch, J. A. (2005). Lighting quality research using rendered images of offices. Lighting Research & Technology, 37(2), 93-112.
- Norwood, M. F., Lakhani, A., Maujean, A., Zeeman, H., Creux, O., & Kendall, E. (2019). Brain activity, underlying mood and the environment: A systematic review. Journal of Environmental Psychology, 101321.
- Omidfar, a., Chamilothori, K. (2019). Influence of Subjective Impressions of a Space on Brightness Satisfaction: an Experimental Study in Virtual Reality, Proceedings of Simulation For Architecture and Urban Design (SimAUD).
- Omidfar, A., Niermann, M., & Groat, L. N. (2015). The use of environmental aesthetics in subjective evaluation of daylight quality in office buildings. In Proceedings of IES Annual Conference.
- Pallasmaa, J. (2012). The eyes of the skin: Architecture and the senses. John Wiley & Sons.
- Parpairi, K., Baker, N. V., Steemers, K. A., and Compagnon, R. (2002). The Luminance Differences index: a new indicator of user preferences in daylit spaces. Lighting Research & Technology, 34(1):53–66.
- Párraga, C. A., Brelstaff, G., Troscianko, T., & Moorehead, I. R. (1998). Color and luminance information in natural scenes. JOSA A, 15(3), 563-569.
- Penacchio, O., & Wilkins, A. J. (2015). Visual discomfort and the spatial distribution of Fourier energy. Vision research, 108, 1-7.
- Penacchio, O., Otazu, X., Wilkins, A. J., & Harris, J. (2015). Uncomfortable images prevent lateral interactions in the cortex from providing a sparse code. Perception, 44(S1), 67-68.
- Plutchik, R. (1980). A general psychoevolutionary theory of emotion. In Theories of emotion (pp. 3-33). Academic press.
- Rizzi, A., Algeri, T., Medeghini, G., & Marini, D. (2004). A proposal for contrast measure in digital images. In Conference on colour in graphics, imaging, and vision (Vol. 2004, No. 1, pp. 187-192). Society for Imaging Science and Technology.
- Rockcastle, S. F. (2017). Perceptual Dynamics of Daylight in Architecture (No. THESIS). EPFL.
- Rockcastle, S. F., Chamilothori, K., & Andersen, M. (2017c). An Experiment in Virtual Reality to Measure Daylight-Driven Interest in Rendered Architectural Scenes (No. CONF).
- Rockcastle, S., & Andersen, M. (2014). Measuring the dynamics of contrast & daylight variability in architecture: A proof-of-concept methodology. Building and Environment, 81, 320-333.

- Rockcastle, S., Ámundadóttir, M. L., & Andersen, M. (2017a). A simulation-based workflow to assess human-centric daylight performance. In Proceedings of the Symposium on Simulation for Architecture and Urban Design (p. 3). Society for Computer Simulation International.
- Rockcastle, S., Ámundadóttir, M. L., & Andersen, M. (2017b). Contrast measures for predicting perceptual effects of daylight in architectural renderings. Lighting Research & Technology, 49(7), 882-903.
- Rockcastle, S., Ámundadóttir, M. L., & Andersen, M. (2018). OCUVIS: a web-based visualizer for simulated daylight performance. In Proceedings of the Symposium on Simulation for Architecture and Urban Design (p. 3). Society for Computer Simulation International.
- Russell, J. A. (1980). A circumplex model of affect. Journal of personality and social psychology, 39(6), 1161.
- Russell, J. A., Ward, L. M., & Pratt, G. (1981). Affective quality attributed to environments: A factor analytic study. Environment and behavior, 13(3), 259-288.
- Ruta, N., Mastandrea, S., Penacchio, O., Lamaddalena, S., & Bove, G. (2019). A comparison between preference judgments of curvature and. sharpness in architectural façades. Architectural Science Review, 62(2), 171-181.
- Shin, Y. B., Woo, S. H., Kim, D. H., Kim, J., Kim, J. J., & Park, J. Y. (2015). The effect on emotions and brain activity by the direct/indirect lighting in the residential environment. Neuroscience letters, 584, 28-32.
- Spehar, B., Wong, S., van de Klundert, S., Lui, J., Clifford, C. W. G., & Taylor, R. (2015). Beauty and the beholder: the role of visual sensitivity in visual preference. Frontiers in human neuroscience, 9, 514.
- Steane, M. A. (2012). The Architecture of Light: Recent approaches to designing with natural light. Routledge.
- Stokkermans, M., Vogels, I., de Kort, Y., & Heynderickx, I. (2018). A Comparison of Methodologies to Investigate the Influence of Light on the Atmosphere of a Space. Leukos, 14(3), 167-191.
- Tiller, D. K., & Veitch, J. A. (1995). Perceived room brightness: Pilot study on the effect of luminance distribution. International Journal of Lighting Research and Technology, 27(2), 93-101
- Van Den Wymelenberg, K. G. (2012). Evaluating human visual preference and performance in an office environment using luminance-based metrics. University of Washington.
- Van Erp, T. (2008). The effects of lighting characteristics on atmosphere perception. Unpublished Master hhesss for hhe Maeeesss degeee poogaam uu man ccc hnoogy nmaaaciion, depamment of ii ndhoven University of Technology.
- Veitch, J. A. (2001). Psychological processes influencing lighting quality. Journal of the Illuminating Engineering Society, 30(1), 124-140.
- Vogels, I. (2008). Atmosphere metrics. In Probing experience (pp. 25-41). Springer, Dordrecht.
- Wang, N. and Boubekri, M. (2010a). Design recommendations based on cognitive, mood and preference assessments in a sunlit workspace. Lighting Research & Technology, 43(1):55–72.
- Wang, N. and Boubekri, M. (2010b). Investigation of declared seating preference and measured cognitive performance in a sunlit room. Journal of Environmental Psychology, 30(2):226–238.
- Wilkins, A., Penacchio, O., & Leonards, U. (2018). The built environment and its patterns–a view from the vision sciences. Journal of Sustainable Design and Applied Research.
- Yin, J., Yuan, J., Arfaei, N., Catalano, P. J., Allen, J. G., & Spengler, J. D. (2020). Effects of biophilic indoor environment on stress and anxiety recovery: A between-subjects experiment in virtual reality. Environment International, 136, 105427.
- Wymelenberg K, Inanici M. A study of luminance distribution patterns and occupant preference in daylit offices. (2009). In: PLEA2009-26th
- Zou, Z., & Ergan, S. (2019a). A Framework towards Quantifying Human Restorativeness in Virtual Built Environments. arXiv preprint arXiv:1902.05208.
- Zou, Z., & Ergan, S. (2019b). Where Do We Look? An Eye-Tracking Study of Architectural Features in Building Design. In Advances in Informatics and Computing in Civil and Construction Engineering (pp. 439-446). Springer, Cham.
- Zumthor, P. (2006). Atmospheres: architectural environments, surrounding objects. Birkhauser Architecture.

Original Research Article

Perceptual Performance of Daylight; a Systematic Review of the Role of Daylight Patterns on Occupants' Perceptions in Interior Spaces

Sohrab Rezaei[1], Ali Sharghi[2*]

1- Ph.d candidate in architecture, faculty of Architecture and Urban Planning, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran
2- Assistant Professor of Architecture, faculty of Architecture and Urban Planning, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran

Abstract

The perceptual performance of daylight is focused on the assessment of daylight at the eye level and its relation to the psychological (perception, emotional state) needs of the occupants, which influenced by architectural elements that shape the way daylight enters the space, such as multilayered façade and perforated walls. However, it seems that the designers do not have a clear and systematic understanding of the physiological and psychological effects of these patterns in interior spaces.

through a structured review of previous research, this paper seeks to identify, quantify and predict the relationship between daylight distribution patterns linked to architectural elements that shape the way daylight enters the space (independent variable) and occupants perceptions (dependent variable) in daylit spaces.

The findings showed that Human experience can be represented with two dimensions, valence and arousal. To explore these two dimentions, subjective evaluations based on self reports using questionnaires, objective evaluations based on physiological data and observations based on physically based rendering (PBR) in virtual reality (VR) environment have been carried out. the results show that the best image-based computational measures of contrast in predicting perceptual effects of daylight are modified spatial contrast indicator (mSC) and the size of images compressed in JPEG format and PNG-PERIM8 edge detection indicator (for evaluating the complexity of images).for the evaluation of perceptual effects of other visual stimuli, two-dimensional Fourier amplitude spectrum metric (FFT2) is used.

In conclusion, the findings of this research can be the basis of a wide range of experimental research on this topic in the future.

Keywords: Daylight, perception, virtual reality, subjective evaluation, objective evaluation

[*]Email: sharghi@sru.ac.ir