

ترجمه انگلیسی این مقاله نیز با عنوان:
Geometric Patterns of Daylight Distribution and Sensory
Perceptions of Residents in Residential Buildings
در همین شماره مجله به چاپ رسیده است.

مقاله پژوهشی

الگوهای هندسی انتشار نور روز و ادراکات حسی ساکنان در
ساختمان های مسکونی*

سهراب رضایی^۱، علی شرقی^{۲*}

۱. دانشجوی دکتری معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران.

۲. دانشیار گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران.

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۵/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۲۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۱۹

چکیده

بیان مسئله: نور روز ماهیتی پویا و متغیر دارد که می تواند با توجه به مشخصه های معمارانه طراحی جداره های نورگذر، به خصوص هندسه آن، لکه های تیره و روشن متفاوتی در فضای داخلی خلق کند و با تأثیر بر حواس و ادراکات حسی ساکنان که از طریق واکنش های احساسی آن ها بروز می یابد، تجربه فضایی متمایز و معناداری برای آن ها فراهم کند. با این حال، به نظر می رسد ساختمان های مسکونی امروزی، حد مطلوبی از تأثیرات ادراکی نور روز در فضاهای داخلی را برای ساکنان خود فراهم نمی آورند که این امر می تواند ریشه در عدم آگاهی قاعده مند، شفاف و دقیق معماران از اثرات ادراکی نور روز داشته باشد.

هدف پژوهش: این پژوهش با هدف تبیین رابطه الگوهای هندسی انتشار نور روز، ادراکات حسی ساکنان و شناسایی قابل اتکاترین شاخص های عددی پردازش تصویر به منظور پیش بینی رابطه بین این دو در بستر ساختمان های مسکونی انجام شده است.

روش پژوهش: این پژوهش با استفاده از روش تحقیق پیمایشی و روش پردازش تصویر در محیط شبیه سازی شده انجام شده است.

نتیجه گیری: یافته های پژوهش پیمایشی نشان می دهد با تغییر الگوهای هندسی انتشار نور روز، میانگین شاخص های ارزیابی ادراکات حسی به شکل معناداری تغییر می کند که این امر به اهمیت توجه معماران بر هندسه جداره های نورگذر و دستکاری آن برای خلق حس یا مجموعه حس های مطلوب محیطی تأکید دارد. همچنین یافته های ارتباط بین پژوهش پیمایشی با شاخص های پردازش تصویر مطالعه شده حاکی از آن است که شاخص های -Mean, Fractal D, RMS, GIF و RAW-PRIM8، به ترتیب قابل اتکاترین شاخص ها در پیش بینی حس خوشایندی، شاخص های TIFF-SOBEL, JPEG-PERIM, Michelson، حجم فایل در قالب JPEG و حجم فایل در قالب PNG به ترتیب قابل اتکاترین شاخص ها در پیش بینی حس جذابیت، شاخص های TIFF-SOBEL, Mean، حجم فایل در قالب JPEG-PERIM8 و حجم فایل در قالب JPEG-PERIM4 و JPEG-PERIM8، به ترتیب قابل اتکاترین شاخص ها در پیش بینی حس هیجان و شاخص های RAW-PRIM 4، RAW-PRIM 8، Michelson، Fractal D و CANNY و RAW-2014 به ترتیب قابل اتکاترین شاخص ها در پیش بینی حس آرامش فضا هستند.

واژگان کلیدی: نور روز، ادراکات حسی، واکنش های احساسی، محیط شبیه سازی شده، شاخص های پردازش تصویر.

مقدمه

و براساس موقعیت جغرافیایی ساختمان، زمان (ساعت، روز، فصل)، شرایط آسمان (صاف یا ابری)، لکه های متضاد و پویای تیره و روشن، درخشندگی مختلفی در فضای داخلی خلق کند و با تأثیر بر حواس و ادراکات حسی متفاوت ساکنان که از طریق واکنش های احساسی آن ها بروز می یابد، تجربه فضایی متمایز و معناداری برای افراد به وجود آورد (Abboushi et al., 2019; Andersen, 2015; Chamilothoni et al., 2019;

عوامل کیفی محیطی همیشه طراحان، معماران و محققان نور روز ماهیتی پویا و متغیر دارد که می تواند با توجه به ویژگی های معمارانه طراحی جداره های نورگذر، به خصوص هندسه آن

* این مقاله مستخرج از رساله دکتری «سهراب رضایی» با عنوان «تبیین رابطه هندسه الگوهای انتشار نور روز و ادراکات حسی ساکنان در ساختمان های مسکونی» است که به راهنمای دکتر «علی شرقی» در دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی در حال انجام است.
* نویسنده مسئول: sharghi@sru.ac.ir، ۰۹۱۲۱۴۴۸۱۱۵

در محیط شبیه‌سازی شده به دنبال تبیین رابطه بین «الگوهای هندسی انتشار نور روز» و «ادراکات حسی ساکنان» و همچنین شناسایی و استخراج قابل‌اتکاترین «شاخص‌های عددی پردازش تصویر» جهت پیش‌بینی رابطه بین این دو است. معماران در فرایند طراحی با بهره‌گیری از یافته‌های پژوهش می‌توانند اثرات ادراکی نور روز را در طرح‌های پیشنهادی خود ارزیابی، مقایسه و تحلیل کنند و ضمن تشویق ساکنان بر استفاده بیشتر از نور روز در فضای داخلی، تجربه فضایی متمایز و معناداری را برای آن‌ها خلق نمایند و ارتقای سلامت روان و بهزیستی برای آنان فراهم آورند که این موضوع به طراحی از راه علم یا طراحی شواهد مبنای که طبق آن در فرآیند طراحی معماری از نتایج و دستاوردهای پژوهش‌های پیشین بهره گرفته می‌شود، تأکید دارد.

مبانی نظری

• ادراکات حسی

در حوزه روان‌شناسی محیط، فرایند ادراک انسان از محیط شامل سه گام متوالی و به هم پیوسته «حواس انسان»، «ادراک حسی» و «ادراک عقلی» است (تصویر ۱). نخست حواس انسان، آغازگر هر گونه واکنش حسی است که به واسطه حواس و سیستم عصبی انسان انجام می‌شود. در مرحله بعد یعنی ادراک حسی، اطلاعات از میان داده‌های حسی انتخاب و پردازش می‌شوند. در این گام داده‌های نخستین طبق مشخصه‌هایشان در ذهن ثبت و تقسیم‌بندی می‌شوند. در واقع، این مرحله، تصویرسازی در ذهن است. کنکاش ذهنی که ارزیابی، نتیجه‌گیری و شکل‌گیری تصورات ذهنی را شامل می‌شود در مرحله نهایی یعنی ادراک عقلی انجام می‌شود. هر سه مرحله با هم سبب متمایز و معنادار شدن محیط برای انسان شده است که منجر به بروز رفتار می‌شود (سرمدی و همکاران، ۱۳۹۹). تصاویر ۲ و ۳ نیز جایگاه و نقش ادراکات حسی در فرایند ارتباط بین انسان و محیط که در نهایت منجر به بروز رفتار می‌شود را بر مبنای دو نظریه چهارچوب مفهومی پاسخ‌های محیطی از دیدگاه نسر (Nasar, 2011) و فرآیند کلی ادراک و شناخت از دیدگاه لنگ (Lang, 2014) تبیین می‌سازد. همان‌طور که این دو دیدگاه بیان می‌کنند، ادراکات حسی از طریق واکنش‌های احساسی یا ذهنی افراد بروز یافته و مفهومی میانی در فرایند رابطه بین انسان و محیط است؛ به این معنا که ادراکات حسی از محرک‌های محیطی تأثیر پذیرفته و بر تمایز و معناداری محیط برای انسان و در نهایت بر نوع رفتار انسان در محیط تأثیر گذار است.

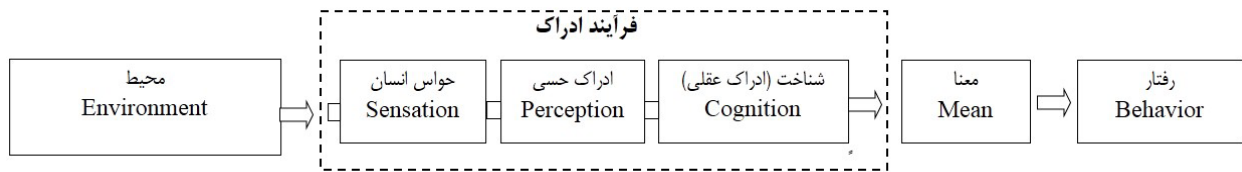
شاخص‌های ارزیابی ادراکات حسی نور روز

پیشینه مطالعات مرتبط با اثرات ادراکی نور روز حاکی از آن است که تأثیر نور طبیعی و مصنوعی بر ادراکات حسی افراد از طریق

تعدادی (Moscoso et al., 2020; Rockcastle et al., 2017c) از معماران و طراحان داخلی بر این قابلیت بالقوه نور روز گرایش یافته و تلاش می‌کنند در طراحی جداره‌های نورگذر علاوه بر توجه بر نیازهای جسمانی و متغیرهای کمی و عددی نور روز، به مؤلفه‌های کیفی و نیازهای روان‌شناختی ساکنان شامل تأثیرات نور روز بر حواس و ادراکات حسی ساکنان، چشم‌انداز و حریم شخصی در فضای داخلی و عوامل زیبایی‌شناختی از نمای خارجی ساختمان پردازند که این امر آن‌ها را به استفاده از الگوهای هندسی مختلفی در جداره‌های نورگذر ساختمان‌ها شامل نماهای دوپوسته یا چندلایه و پوسته‌های متخلخل سوق داده است. ولی ارزیابی آن‌ها عموماً شخصی، شهودی یا بر پایه تجارب کاری پیشین است و از تأثیرات طیف متفاوت الگوهای هندسی انتشار نور روز بر ادراکات حسی ساکنان به شکل قاعده‌مند، شفاف و دقیق آگاهی ندارند. بنابراین، به نظر می‌رسد بهره‌مندی ایده‌آل از توانایی ذاتی نور روز در بهبود حس و حال فضای داخلی و سلامتی جسمی و روحی ساکنان، با تمرکز بر طراحی جداره‌های نورگذر از طریق راهکارهای برآمده از نتایج و دستاوردهای پژوهش‌های تجربی پیوند می‌یابد.

پیشینه پژوهش نشان می‌دهد، اگرچه برخی پژوهشگران رابطه تعداد محدودی از الگوهای هندسی متفاوت انتشار نور روز را با ادراکات حسی افراد تبیین کرده‌اند (Abboushi et al., 2019; Chamilothoni., 2019; Moscoso et al., 2020; Rockcastle et al., 2017a; Rockcastle et al., 2017b; Rockcastle et al., 2017c)، ولی خلاء مطالعاتی قابل توجهی در پیشینه پژوهش در زمینه تبیین رابطه طیف متنوعی از الگوهای هندسی انتشار نور روز از لحاظ شکل و توزیع فضایی و لکه‌های نور برآمده از آن‌ها بر ادراکات حسی افراد به‌خصوص در بستر ساختمان‌های مسکونی مشاهده می‌شود. همچنین تعداد نامحدودی الگوهای هندسی انتشار نور روز هستند که می‌توانند بر جداره‌های نورگذر ساختمان‌ها قرار گرفته و با تغییرات اندک در هندسه خود تفاوت معناداری بر نوع حس فضای منتج از آن ایجاد کنند که این موضوع ارائه یک گونه‌بندی و دستورالعمل جامع برای معماران به‌منظور بهره‌گیری از یافته‌های این پژوهش‌ها را دشوار می‌سازد؛ از این رو، یکی از بهترین راه‌حل‌ها برای برون‌رفت از این چالش، بهره‌گیری از علوم مرتبط با پردازش تصویر است؛ به این معنا که با تبیین رابطه اثرات ادراکی تعدادی از این الگوها با شاخص‌های پردازش تصویر بتوان به نتایجی با قابلیت اطمینان بالا دست یافت و این نتایج را به جامعه بزرگتری تعمیم داد (Amundadottir et al., 2017; Chamilothoni, 2019; Rockcastle & Andersen, 2014; Rockcastle et al., 2017a., Rockcastle et al., 2017b; Rockcastle et al., 2017c).

این پژوهش با استفاده از روش پیمایشی و روش پردازش تصویر

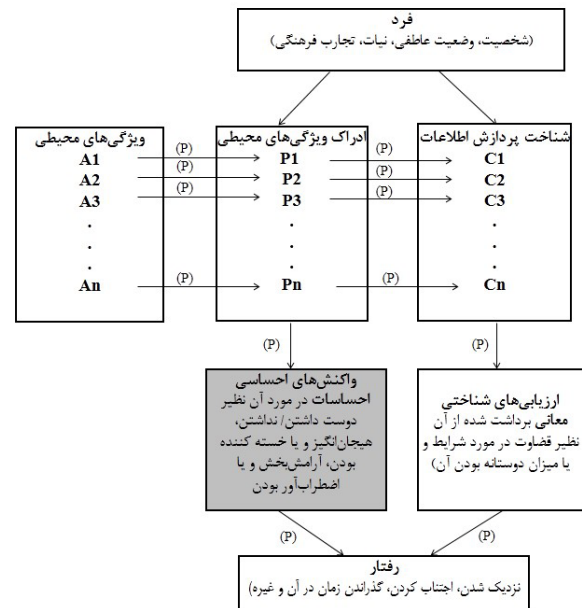


تصویر ۱. فرآیند حواس انسان، ادراک و شناخت. مأخذ: سرمدی و همکاران، ۱۳۹۹.

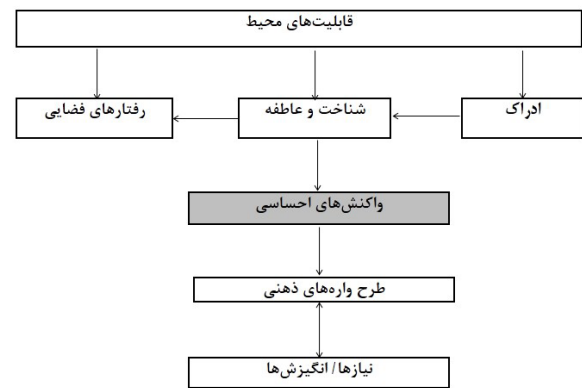
از محیط، ادراکات حسی است که از طریق حواس متفاوت شناسایی شده انسان حاصل و از طریق واکنش‌های احساسی افراد بروز می‌یابد. دیدگاه‌های متفاوتی (تصویر ۴) برای دسته‌بندی واکنش‌های احساسی در حوزه روان‌شناسی و روان‌شناسی محیطی ارائه شده‌اند (Ekman & Davidson, 1994; Plutchik, 1980; Russell et al., 1981; Russell et al., 1981). طبق آنچه که از پیشینه پژوهش برمی‌آید، مدل دایره‌ای احساسات راسل و همکاران (Russell et al., 1981) قابل‌اتکاترین نظریه در مطالعات مرتبط با سنجش رابطه بین الگوهای هندسی انتشار نور روز و ادراکات حسی افراد بوده است (Abboushi et al., 2019; Boubekri, 1991). برای این مدل (تصویر ۴)، واکنش‌های احساسی انسان نسبت به محیط از طریق دو وجه خوشایندی که تمایز یا جهت‌گیری مطلوب شامل هیجان‌انگیز یا آرامش‌بخش بودن یا نامطلوب شامل اضطراب‌آور یا کسل‌کننده بودن احساسات فرد نسبت به محیط را بیان کرده و برانگیختگی که شدت آن احساسات چون میزان و شدت هیجان‌انگیز یا آرامش‌بخش بودن یا اضطراب‌آور یا کسل‌کننده بودن فضا را نمایان می‌سازد، در یک فضای دو بعدی دایره‌ای شکل، قابل تشریح و تبیین است. وگلس (Vogels, 2008)، بیان می‌کند راحتی و سرزندگی در فضا، عناصری هستند که می‌توانند حال و هوای آن را آشکار سازند که به نظر می‌رسد این دو عامل با دو وجه خوشایندی و برانگیختگی که راسل و همکاران (Russell et al., 1981) بیان کرده‌اند، هم‌پوشانی داشته و هم‌راستا است.

• کمی‌سازی و پیش‌بینی اثرات ادراکی نور روز

طبق پیشینه پژوهش، یکی از مهمترین دغدغه‌های محققان، پیش‌بینی رابطه بین الگوهای هندسی انتشار نور روز و ادراکات حسی افراد از طریق روش پردازش تصویر و استخراج داده‌های کمی تصویر مبنا است (Amundadottir et al., 2017; Chamilothori, 2019; Rockcastle & Andersen, 2014; Rockcastle et al., 2017a; Rockcastle et al., 2017b; Rockcastle et al., 2017c). در واقع در این مطالعات توانایی معیارهای متفاوت تصویر مبنا برای پیش‌بینی واکنش‌های احساسی آزمودنی‌ها نسبت به الگوهای انتشار نور روز سنجیده می‌شود. به بیانی دیگر سطح همبستگی بین شاخص‌های عددی پردازش تصویر با واکنش‌های احساسی آزمودنی‌ها مشخص می‌شود. با کمی‌سازی تأثیر نور روز بر ادراکات حسی ساکنان از فضا و استخراج و معرفی شاخص‌های قابل‌اتکا، معماران و



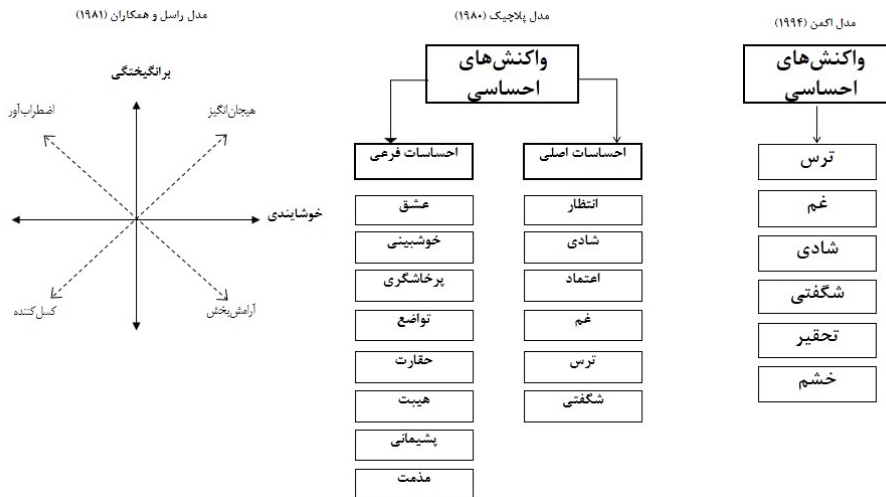
تصویر ۲. چهار چوب مفهومی پاسخ‌های محیطی از دیدگاه نسر. مأخذ: Nasar, 2011.



تصویر ۳. فرآیند کلی ادراک و شناخت از دیدگاه لنگ. مأخذ: lang, 2014.

واکنش‌های احساسی یا ذهنی آن‌ها سنجیده می‌شود (Boubekri, 2001; Veitch, 2008; Van Erp, 1991; et al., 2008). پژوهشگران همواره به اهمیت محرک‌های بصری برای ارزیابی واکنش‌های متفاوت احساسی آزمودنی‌ها تأکید داشته‌اند (Ergan et al., 2018; Chamilothori et al., 2019; Lang et al., 1993; lang, 1995; Leite et al., 2019; Zou & Ergan, 2019a; Zou & Ergan, 2019b).

همان‌طور که اشاره شد، مرحله میانی از فرآیند ادراک انسان



تصویر ۴. دیدگاه‌های متفاوت نظریه پردازان در دسته‌بندی واکنش‌های احساسی افراد در حوزه روان‌شناسی و روان‌شناسی محیطی. مأخذ: نگارندگان.

داده‌ها و شاخص‌های کمی پردازش تصویر مطالعه شده در این پژوهش تشریح و تبیین شده‌اند.

متغیرهای مستقل

هندسه و الگوهای پایه (شکل پایه) در این پژوهش شامل هندسه خطی افقی، هندسه خطی عمودی و هندسه مشبک که رایج‌ترین گونه هندسه‌های نمای ساختمان‌های مسکونی (به‌ویژه سایبان‌های خارجی) هستند و پیشینه پژوهش نیز به آن صحنه می‌گذارد (Chamilothori, 2019) می‌شوند. این سه هندسه با عمق یکسان (بدون عمق، دو بعد)، سطح نفوذ یکسان (۴۰ درصد برآمده از (Friedenberg and Liby, 2016) و فراوانی (۱۳ بسامد فضایی در زاویه دید ناظر) و دوره تناوب یکسان (توزیع فضایی یکسان؛ شکل‌گیری هندسه با فواصل یکسان) با مصالحی یکسان در بازشویی با نسبت طول به عرض یکسان (۲/۶ در ۲/۶ متر) فرض شده‌اند. علاوه بر این سه هندسه پایه، ۱۶ هندسه دیگر با تغییر نظام‌مند در توزیع فضایی آن‌ها (دوره تناوب یا فواصل متفاوت) ایجاد شده‌اند. این ۱۶ هندسه دارای درصد نفوذ یکسان ۴۰ درصد (شکل‌گیری سطح روشنایی یکسان) و فراوانی ثابت ۱۳ بسامد فضایی در زاویه دید ناظر، ولی با توزیع فضایی قاعده‌مند متفاوت (با کاهش و افزایش طیفی ۱۰ درصدی سطح نفوذ نور) ایجاد شده‌اند که هندسه‌ای طیفی را شکل می‌دهند (تصویر ۶). بنابراین، ۱۹ هندسه متفاوت نما و نفوذ نور مستقیم آفتاب از آن‌ها در محیط شبیه‌سازی شده و در شرایط آسمان صاف و یکسان، متغیرهای مستقل این پژوهش هستند.

شبیه‌سازی

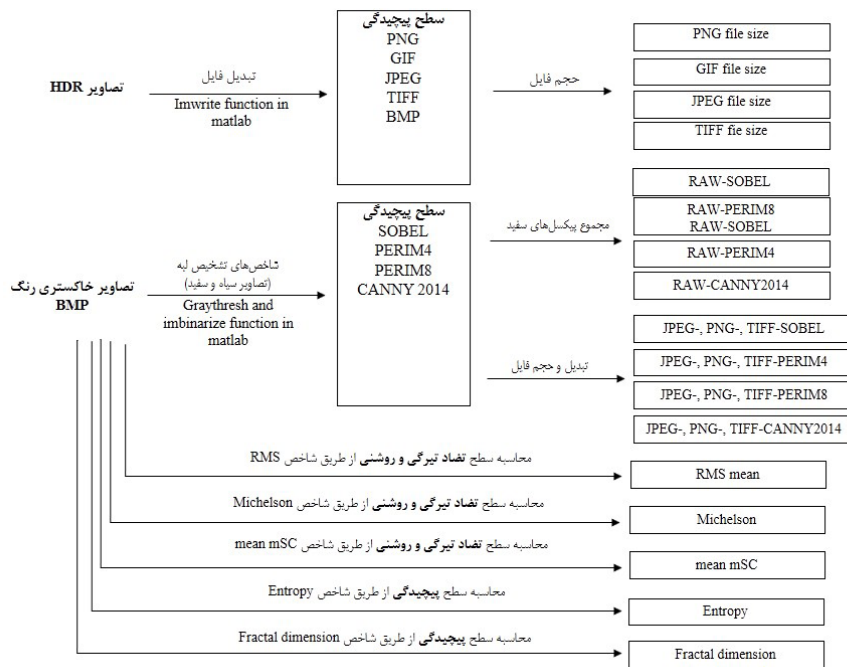
به‌منظور شکل‌دهی بستر مطالعه شده و شبیه‌سازی الگوهای متفاوت انتشار نور روز در این پژوهش، ابتدا از نرم‌افزار راینو^۲ برای مدل‌سازی ۱۹ هندسه متفاوت استفاده شده است. تمامی هندسه‌های سنجیده شده در این پژوهش در پنجره مربعی و به ابعاد ۲/۶ در ۲/۶ متر و در سمت جنوب

طراحان قادر هستند تا در مرحله فرآیند طراحی، اثرات ادراکی طرح‌های پیشنهادی خود را ارزیابی، مقایسه و تحلیل کنند و در نهایت طرحی که بهترین پاسخ را به اهداف و مسئله‌های طراحی پیش‌رومی دهد برگزینند.

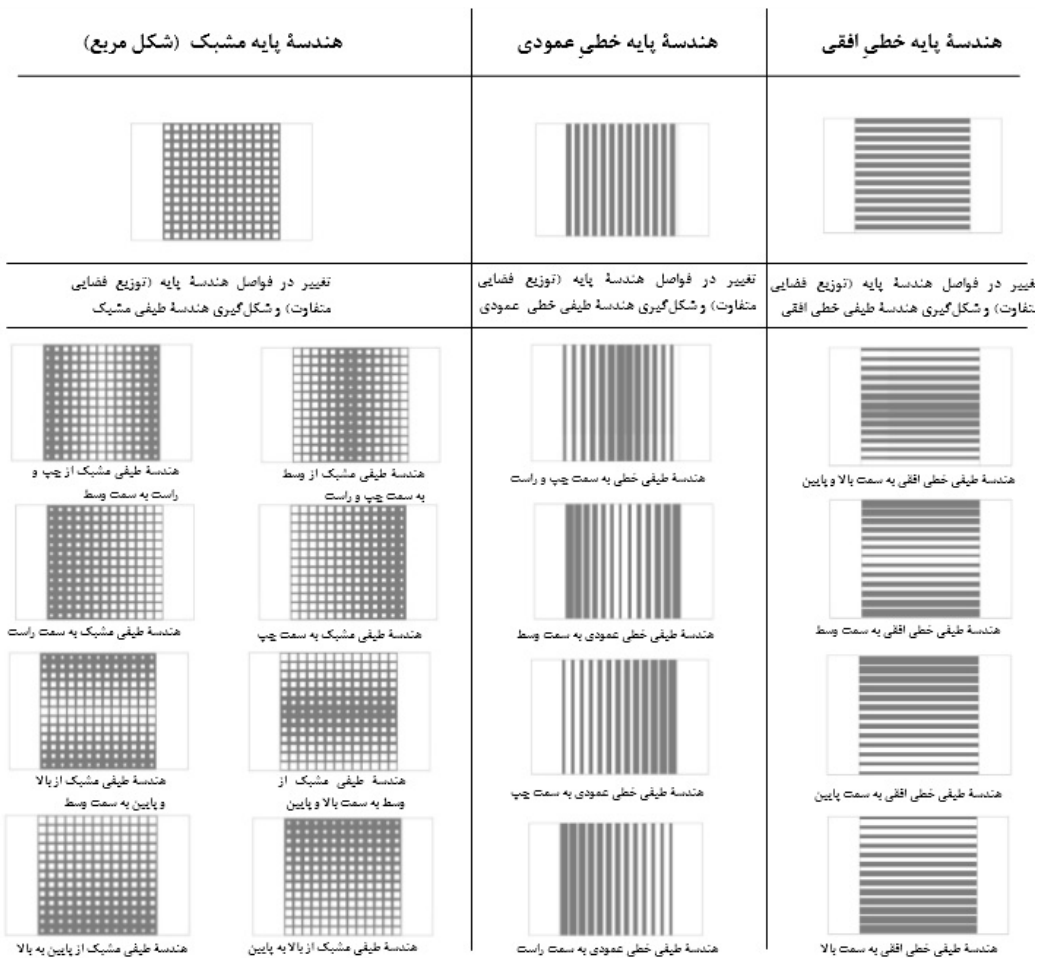
طبق آنچه که از پیشینه پژوهش برمی‌آید (تصویر ۵) شاخص‌های کمی پردازش تصویر شامل سه شاخص سنجش تضاد تیرگی و روشنی فضا (mSC, MRS و Michelson) و ۲۲ شاخص سنجش سطح پیچیدگی فضا (سطح فشردگی تصاویر در قالب GIF، JPEG، PNG، TIFF، شاخص‌های تشخیص میزان لبه، RAW-PERIM8، RAW-CANNY2014، RAW-PERIM4، RAW-SOBEL، JPEG-، PNG-، TIFF-SOBEL، JPEG-، PNG-، JPEG-، PNG-، TIFF-CANNY، JPEG-، PNG-، TIFF-PERIM4، TIFF-PERIM8 و 2014) و شاخص ابعاد فراکتال D و آنتروپی (Entropy) برآمده از مطالعات مرتبط با نور روز هستند (رضایی و شرقی، ۱۳۹۹).

روش پژوهش

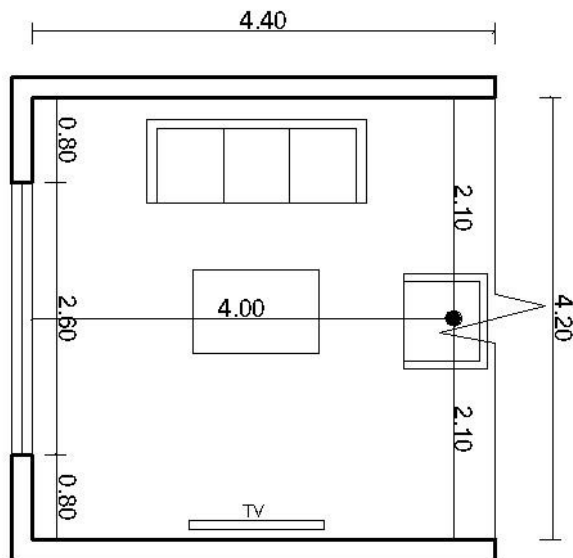
این پژوهش از نوع درون‌موردی یا درون‌آزمودنی است؛ به این معنا که هر آزمودنی، الگوهای متفاوت انتشار در محیط شبیه‌سازی شده را تجربه کرده و داده‌های خودگزارشی (روش پیمایشی) برآمده از آزمودنی‌ها، مقایسه شده و از این طریق رابطه بین الگوهای هندسی انتشار نور روز و ادراکات حسی آزمودنی‌ها ارزیابی می‌شود. همچنین به دلیل شناسایی قابل‌اتکاترین شاخص‌های عددی تصویر مینا برای پیش‌بینی رابطه بین الگوهای هندسی انتشار نور روز و ادراکات حسی افراد، ارتباط یافته‌های پژوهش پیمایشی با یافته‌های پژوهش پردازش تصویر، سنجیده می‌شوند. در ادامه متغیرهای مستقل، متغیرهای وابسته، متغیرهای کنترلی، بستر انجام پژوهش، آزمودنی‌ها، شیوه گردآوری داده‌ها و روایی آن‌ها، روش‌های آماری تجزیه و تحلیل



تصویر ۵. شمای کلی از ۲۵ شاخص عددی پردازش تصویر مطالعه شده در این پژوهش برآمده از پیشینه پژوهش. مأخذ: رضایی و شرقی، ۱۳۹۹.



تصویر ۶. متغیرهای مستقل سنجیده شده در این پژوهش شامل الگوی خطی افقی ساده و خطی افقی طیفی، الگوی خطی عمودی و خطی عمودی طیفی و مشبک و مشبک طیفی (کاهش و افزایش طیفی ۱۰ درصدی سطح نفوذ نور) با فراوانی (۱۳ بسامد فضایی) و درصد نفوذ یکسان ۴۰ درصد (سطح روشنایی یکسان). مأخذ: نگارندگان.



تصویر ۷. موقعیت و زاویه دید ثابت ناظر فرضی در بستر مطالعه شده. مأخذ: نگارندگان.

این معنا که در هر گروه دو الگو با تضاد تیرگی و روشنی بالا، دو الگو با تضاد متوسط و دو الگو با تضاد کم در سه گروه شش تایی تقسیم‌بندی شدند (تصویر ۹). لازم به ذکر است که الگوی مشبک سیزدهم به دلیل نزدیکی سطح تضاد تیرگی و روشنی آن (کمتر از ۰/۲) با الگوی مشبک چهاردهم، حذف شده است.

- نمایش الگوهای انتشار در محیط شبیه‌سازی شده

پس از گروه‌بندی الگوهای انتشار، با استفاده از نرم‌افزار رادیانس، تصاویر نهایی با دامنه پویایی بالا (HDR) و زاویه دید ثابت ۸۰ درجه افقی و ۶۰ درجه عمودی و طبق ویژگی‌های مصالح و متغیرهای مشخص شده در **جدول ۱** و **۳** با سطح کیفیت بالاتر از بخش قبل، شبیه‌سازی شده و پس از منطبق ساختن سطح درخشندگی آن‌ها و نمایشگر از طریق الگوریتم‌های انگاشت تن^۵ و تبدیل آن به تصاویر خاکستری، به آزمودنی‌ها نمایش داده می‌شوند.

• متغیر وابسته

همان‌طور که بیان شد، ادراکات حسی آزمودنی‌ها (متغیر وابسته) از طریق ارزیابی واکنش‌های احساسی آن‌ها سنجیده می‌شود.

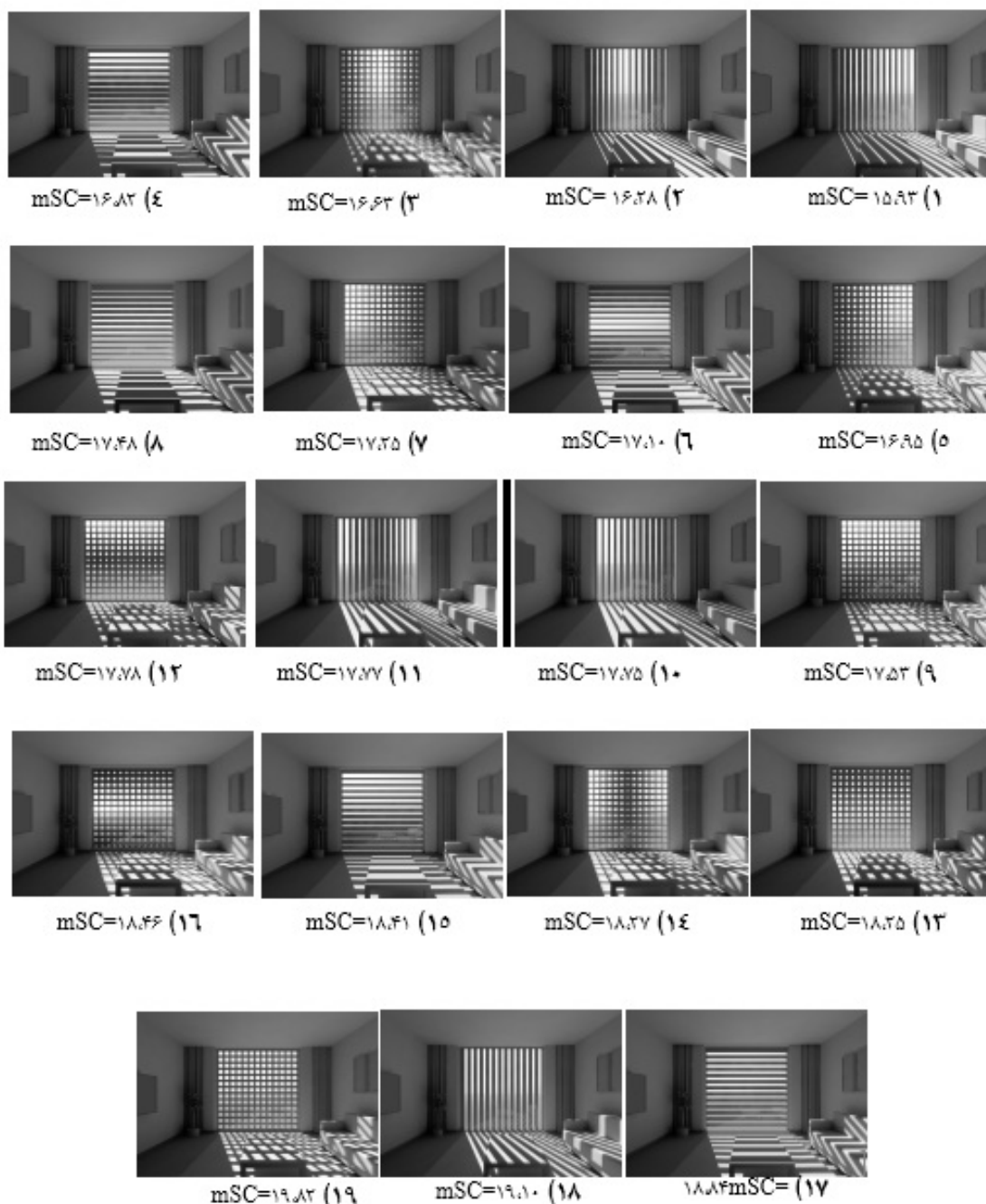
- واکنش‌های احساسی (داده‌های خودگزارشی)

در این پژوهش شش فضای شبیه‌سازی شده با ترتیب تصادفی به آزمودنی‌های هر یک از گروه‌ها نمایش داده می‌شود. در حالی که افراد محیط شبیه‌سازی شده را مشاهده می‌کنند و حضور در نشیمن خصوصی فرضی (تصویر ۷) و گفت و گو با سایر اعضای خانواده و دوستان را متصور هستند، از آن‌ها راجع به میزان خوشایندی، جذابیت بصری، حس هیجان و آرامش در قالب طیف ۱۱ گانه لیکرت (۰: اصلا و ۱۰: بسیار زیاد) به صورت شفاهی پرسش می‌شود. شاخصه‌های

جغرافیایی فضای نشیمن خصوصی فرضی (با مساحت متوسط برگرفته شده از نویفرت) و مربعی به ابعاد ۴/۲۰ در ۴/۴۰ متر و ارتفاع ۲/۷ متر در محدوده دید ناظری فرضی در طبقه اول ساختمان مسکونی در شهرستان تفرش قرار داده می‌شوند (تصویر ۷). همان‌طور که در تصویر ۷ مشخص است پس از مبلمان فضای نشیمن، موقعیت ناظر فرضی (موقعیت و زاویه دید ثابت)، عمود بر محور پنجره و در چهار متری پنجره و ۲/۱ متری از طرفین (وسط فضا) و ۱/۲۱ متری از کف که با ارتفاع چشم ناظر نشسته همتراز است، تعیین شده است. تمامی سطوح فضا و مبلمان بدون رنگ و پنجره سمت جنوب جغرافیایی است و این فضا با یک مبل سه نفره به ابعاد استاندارد ۲/۱۰ در ۰/۹۰ متر و یک مبل تک نفره به ابعاد ۰/۹۰ در ۰/۸۰ متر و یک میز جلو مبلی به ابعاد ۱/۲۰ در ۰/۸۰ متر (با فاصله ۰/۷ متری)، پرده و یک گلدان مبلمان شده است. پس از مدل‌سازی ۱۹ هندسه سنجیده شده (محرک‌ها)، تمامی آن‌ها از طریق افزونه دیوا برای نرم‌افزار راینو بر مبنای قوانین فیزیکی رواسازی شده (PBR) و جهت تهیه تصاویر نهایی برای نرم‌افزار رادیانس^۴ خروجی گرفته می‌شوند. بستر مطالعه شده در نرم‌افزار رادیانس در شهرستان تفرش، در شرایط آسمان صاف، بدون مانع خارجی انسداد نور، بدون دید و منظری خاص و در مقطع زمانی ۷ آذر ماه (۲۸ نوامبر) که طبق پیشینه پژوهش (Rockcastle & Andersen, 2014) یکی از مقاطع زمانی است که بیشترین تضاد تیرگی و روشنی در فضای داخلی می‌تواند در آن شکل بگیرد، تعیین می‌شود.

- گروه‌بندی متغیرهای مستقل پژوهش

به منظور کاهش خستگی آزمودنی‌ها و جلوگیری از احساس تکرار و یکنواختی الگوهای انتشار از جانب آن‌ها، حداکثر شش فضا به جای ۱۹ فضا نمایش داده شد. برای مقوله‌بندی متغیرهای مستقل، در ابتدا پرسپکتیو فضاهای داخلی با دامنه درخشندگی بالا (HDR) در بستر، موقعیت و زاویه دید بیان شده در بخش قبل با استفاده از نرم‌افزار رادیانس و ویژگی‌های مصالح و متغیرهای مشخص شده در **جدول ۱** و **۲** با سطح کیفیت متوسط، شبیه‌سازی و سپس این تصاویر به قالب BMP یا خاکستری‌رنگ تبدیل شدند؛ در ادامه شاخص تضاد فضایی اصلاح شده (mSC) که طبق مطالعات پیشین قابل اتکاترین شاخص برای سنجش تضاد تیرگی و روشنی شناسایی شده است برای ۱۹ الگوی مطرح شده در نرم‌افزار متلب (2017b) سنجش شده است. تصویر ۸ رتبه‌بندی پرسپکتیو الگوهای شبیه‌سازی به همراه سطح تیرگی و روشنی آن‌ها را بر اساس شاخص تضاد فضایی اصلاح شده نمایش می‌دهد. بر اساس یافته‌های سنجش این شاخص، ۱۹ الگو به تعداد مساوی و به شکل متناسب به



تصویر ۸. رتبه‌بندی سطح تیرگی و روشنی تصاویر با استفاده از شاخص تضاد فضایی اصلاح شده (mSC). مأخذ: نگارندگان.

جدول ۱. ویژگی‌های مصالح سطوح اصلی بستر مطالعه‌شده در نرم افزار رادیانس. مأخذ: نگارندگان.

TVis	Specularity	Reflectance	R	G	B	نوع	سطح
.	.	۸۰ درصد	۸/۰	۸/۰	۸/۰	پلاستیک	سقف
.	.	۴۰ درصد	۴/۰	۴/۰	۴/۰	پلاستیک	کف
.	.	۷۰ درصد	۷/۰	۷/۰	۷/۰	پلاستیک	دیوار
.	.	۷۰ درصد	۷/۰	۷/۰	۷/۰	پلاستیک	نما
.	.	۵۰ درصد	۵/۰	۵/۰	۵/۰	پلاستیک	مبلمان
۸۰/۰	.	۸۰ درصد	۸۷/۰	۸۷/۰	۸۷/۰	شیشه	پنجره

جدول ۲. متغیرهای IPICT رادیناس برای شبیه‌سازی پرسپکتیو فضای داخلی با سطح کیفیت متوسط. مأخذ: نگارندگان.

ps-	pt-	pj-	dj-	ds	dt-	dc-	dr-	dp-	st-	ab-	aa-	ar-	ad-	as-	lr-	lw-	vv-	vh-
۲	۵/۰	۰	۰	۰/۱۵	۰/۵	۰/۷۵	۳	۵۱۲	۰/۱۵	۵	۱/۰	۵۱۲	۴۰۹۶	۲۰۴۸	۸	۰/۰۰۵	۶۰	۸۰

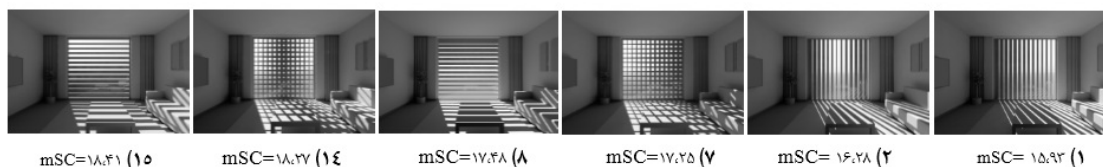
رزولوشن: ۱۰۲۴×۱۴۸۸ پیکسل

جدول ۳. متغیرهای IPICT رادیناس برای شبیه‌سازی پرسپکتیو فضای داخلی با سطح کیفیت بالا. مأخذ: نگارندگان.

ps-	pt-	pj-	dj-	ds	dt-	dc-	dr-	dp-	st-	ab-	aa-	ar-	ad-	as-	lr-	lw-	vv-	vh-
۱	۰/۵	۰	۰	۰/۱۵	۰/۵	۰/۷۵	۳	۵۱۲	۰/۰۵۵	۵	۰/۰۵	۵۱۲	۲۰۰۰۰	۱۰۰۰۰	۸	۰/۰۰۲	۶۰	۸۰

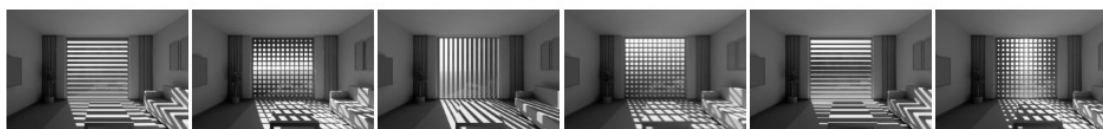
رزولوشن: ۲۹۷۶×۲۰۴۸ پیکسل

گروه اول



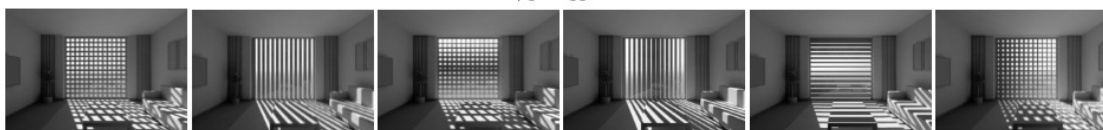
mSC=۱۸,۴۱ (۱۵) mSC=۱۸,۲۷ (۱۴) mSC=۱۷,۲۸ (۸) mSC=۱۷,۲۵ (۷) mSC=۱۶,۲۸ (۲) mSC=۱۵,۹۲ (۱)

گروه دوم



۱۸,۸۴mSC= (۱۷) mSC=۱۸,۴۶ (۱۶) mSC=۱۷,۲۸ (۱۰) mSC=۱۷,۵۲ (۹) mSC=۱۶,۸۲ (۴) mSC=۱۶,۶۲ (۳)

گروه سوم



mSC=۱۹,۸۲ (۱۹) mSC=۱۹,۱۰ (۱۸) mSC=۱۷,۲۸ (۱۲) mSC=۱۷,۷۷ (۱۱) mSC=۱۷,۱۰ (۶) mSC=۱۶,۹۵ (۵)

تصویر ۹. گروه‌بندی متغیرهای مستقل پژوهش بر اساس شاخص تضاد فضایی اصلاح‌شده (mSC) به تعداد مساوی و به شکل متناسب در سه گروه شش‌تایی. مأخذ: نگارندگان.

انتزاعی و بدون بدون رنگ)، فعالیت‌های فضا (تعامل اجتماعی، تصور گفت و گو با سایر اعضای خانواده و دوستان در فضای نشیمن خصوصی)، طبقه ساختمان (طبقه اول)، دید و منظر (بدون دید و منظر خاص)، موانع انسداد نور روز (بدون مانعی خاص) و در شبیه‌سازی شامل موقعیت جغرافیایی ساختمان (طول و عرض جغرافیایی شهرستان تفرش)، ضریب عبور نور مرئی، ارتفاع چشم ناظر (ناظر نشسته ۲/۱)، موقعیت و زاویه دید ناظر (تصویر ۷)، شرایط آسمان (صاف) و مقطع زمانی (۲۸ نوامبر مصادف با ۷ آذرماه ساعت ۱۱:۱۰ صبح) هستند.

• **بستر انجام پژوهش**

این پژوهش در بازه زمانی اردیبهشت تا شهریورماه سال ۱۴۰۲ در دفتر طراحی پژوهشگر در شهرستان تفرش انجام شده است (تصویر ۱۰). دلیل انتخاب شهر تفرش به‌عنوان بستر مطالعه شده، هوای پاک و ساختمان‌های با ارتفاع کم و به تبع آن عدم سایه‌اندازی ساختمان‌های مجاور است که برآیند این دو، آفتابی پر رنگ‌تر و ملموس‌تر برای ساکنان در ساختمان‌های مسکونی این شهر را فراهم می‌کند. برای نمایش فضای شبیه‌سازی شده، در ابتدا سطح درخشندگی تصاویر HDR (تصاویر شبیه‌سازی شده با کیفیت بالا منطبق با مشخصات

خوشایندی، هیجان و آرامش برآمده از مدل دایره‌ای عواطف روسل و همکاران (Russell et al., 1981) هستند و شاخص جذابیت بصری دیگر شاخص برآمده از مطالعات مرتبط با اثرات ادراکی نور روز است (Abboushi et al., 2019; Spehar, 2012; Van den Wymelenberg, 2015; et al.) که از شرایط متفاوت درخشندگی (تیرگی و روشنی) فضا متأثر می‌شوند.

• **متغیرهای کنترلی**

همان‌طور که بیان شد، این پژوهش به دنبال ارزیابی نقش هندسه الگوهای انتشار نور روز (شکل و توزیع فضایی) بر ادراکات حسی ساکنان است؛ از این رو طبق پیشینه پژوهش سایر متغیرهایی که ممکن در این رابطه تأثیرگذار باشند، ثابت و خنثی در نظر گرفته شده‌اند. همان‌طور که جدول ۴ نمایش می‌دهد این متغیرها در جداره نورگذر شامل ابعاد بازشو (کف تا سقف ۱/۶ در ۲/۶ متر)، سطح نفوذ نور (۴۰ درصد)، مصالح (بدون رنگ)، فراوانی سطوح باز و بسته (۱۳ فراوانی فضایی در زاویه دید ناظر)، عمق سایه‌بان (بدون عمق، دوبعدی)، بیرون زدگی و تورفتگی بازشو و تابش‌بند (بدون بیرون زدگی و تورفتگی بازشو، بدون تابش‌بند)، در بستر و محیط پیرامون آن شامل ابعاد فضا (طول ۴/۴ و عرض ۲/۴ و ارتفاع ۶/۲)، مبلمان و سطوح

جدول ۴. شمای کلی از متغیرهای مستقل، وابسته و کنترلی پژوهش. مأخذ: نگارندگان.

جدارۀ نورگذر (نما)

متغیر	نوع متغیر	متغیر	نوع متغیر
جهت‌گیری بازشو	کنترلی (سمت جنوب)	توزیع فضایی (دوره تناوب)	مستقل (کاهش و افزایش طیفی ۱۰ درصدی سطح نفوذ نور (تصویر ۶).
ابعاد بازشو	کنترلی (۶/۲ در ۶/۲ متر)	فراوانی (سطوح باز و بسته)	کنترلی (۱۳ بسامد فضایی در زاویه دید ناظر)
سطح نفوذ نور	کنترلی (۴۰ درصد)	عمق	کنترلی (بدون عمق؛ دوبعدی)
مصالح	کنترلی (یکسان؛ بدون رنگ)	تابش بند بیرونی	کنترلی (بدون تابش بند بیرونی)
شکل	مستقل (خط افقی، خط عمودی، مشبک)	بیرون‌زدگی و تورفتگی بازشو	کنترلی (بدون بیرون‌زدگی و تورفتگی)

بستر مطالعه‌شده و محیط پیرامون آن

متغیر	نوع متغیر	متغیر	نوع متغیر
ابعاد فضا	کنترلی (طول ۴/۴ و عرض ۲/۴ و ارتفاع ۶/۲)	طبقه ساختمان	کنترلی (طبقه اول)
مبلمان و سطوح	کنترلی، یکسان (بدون رنگ)	دید و منظر	کنترلی (بدون دید منظر خاص)
فعالیت‌های فضا	کنترلی (تعامل اجتماعی؛ گفت و گو با سایر اعضای خانواده یا دوستان در نشیمن مسکونی)	موانع انسداد نور روز	کنترلی (بدون مانع انسداد)

شبیه‌سازی

متغیر	نوع متغیر	متغیر	نوع متغیر
موقعیت جغرافیایی	کنترلی (شهرستان تفرش)	موقعیت و زاویه دید ناظر	کنترلی (یکسان) (تصویر ۷)
ضریب عبور نور مرئی از شیشه	کنترلی (۸۸ درصد)	شرایط آسمان	کنترلی (آسمان صاف)
ارتفاع چشم ناظر	کنترلی (ارتفاع چشم ناظر نشسته (۱/۲۱))	مقطع زمانی	کنترلی (۲۸ نوامبر مصادف با ۷ آذرماه ساعت ۱۰:۱۱ صبح)

ادراکات حسی (متغیر وابسته)

سنجش از طریق واکنش‌های احساسی آزمودنی‌ها (داده‌های خودگزارشی) شامل: حس خوشایندی، حس جذابیت، حس هیجان و حس آرامش

سنی آن‌ها، برآمده از یافته‌های مطالعات پیشین است (Chamilothori et al., 2019).

• شیوه گردآوری داده‌ها و روایی آن‌ها

در این پژوهش ابتدا توضیحاتی پیرامون تعاریف شاخص‌های احساسی مطالعه‌شده در قالب گفتاری به آزمودنی‌ها داده شده است. در ادامه پس از پرسش شفاهی سن و جنس آزمودنی‌ها، به هر یک از آن‌ها به شکل تصادفی یک گروه شش‌تایی از فضای شبیه‌سازی شده با ترتیب تصادفی نمایش داده شده است. به منظور تبیین بستر مسکونی شبیه‌سازی شده مطالعه‌شده برای آن‌ها، پس از نمایش اولین فضا این گونه بیان می‌شود که «همان‌طور که از مبلمان فضای پیش‌رو مشخص است این محیط، فضای نشیمن خصوصی یک منزل مسکونی است، تصور کنید در آن حضور داشته و روی میلی نشسته‌اید و با اعضای خانواده یا دوستان در حال گفت و گو هستید، لطفاً زمانی که به سؤالات به شکل شفاهی پاسخ می‌دهید به این موضوع توجه داشته باشید». قبل از نمایش هر فضا، تصویری تک‌رنگ بر اساس

بیان‌شده در جدول ۳) با استفاده از الگوریتم‌های نگاشت تن با محدوده درخشندگی ابزار نمایش (تلویزیون ال‌ای‌دی هوشمند دوو مدل EM-DSI ۴۳s۷۱۰۰ سایز ۴۳ اینچ) منطبق شده و سپس طبق تصویر ۱۰ به آزمودنی‌ها نمایش داده شده است. همان‌طور که در تصویر ۱۱ مشخص است به منظور افزایش غوطه‌وری آزمودنی‌ها در فضای شبیه‌سازی شده، در زمان نمایش تصاویر مرحله به مرحله عوامل محیطی مداخله‌گر در بستر پژوهش حذف شده و نور مصنوعی و طبیعی محیط نیز در کم‌ترین حد خود است.

• آزمودنی‌ها

آزمودنی‌های این پژوهش شامل ۱۲۰ نفر زن و ۱۲۰ نفر مرد در بازه سنی ۲۰ تا ۵۰ از افرادی با شرایط بینایی مطلوب و ساکن شهرستان تفرش هستند که به شکل تصادفی و در دسترس انتخاب شده و به شکل تصادفی نیز در سه گروه ۸۰ نفری مقوله‌بندی شده‌اند. انتخاب آزمودنی‌های غیرمتخصص و تعادل بین تعداد آزمودنی‌های مرد و زن و چگونگی بازه



تصویر ۱۰. بستر انجام پژوهش و فراهم‌سازی شرایط انجام پژوهش با حذف عوامل محیطی مداخله‌گر. مأخذ: نگارندگان.

بین دو توزیع احتمالی شاخص‌های ذهنی (خوشایندی، جذابیت، هیجان و آرامش) سنجش ادراکات نور روز در بخش پژوهش پیمایشی شامل تعداد ۲۴۰ آزمودنی و ۲۵ شاخص پردازش تصویر مطالعه‌شده را مشخص می‌سازد. چنانچه رقم این آزمون به صفر نزدیک‌تر باشد تفاوت توزیع دو شاخص کمتر است و بالعکس؛ بدین معنا که مقدار نزدیک به صفر برای واگرایی کولبک‌لیبر نشان می‌دهد می‌توان انتظار رفتار مشابهی از دو توزیع داشت، درحالی‌که مقدار نزدیک به یک برای این معیار نشان می‌دهد دو توزیع رفتارهای متضادی دارند (Kullback & Leibler, 1951). کلیه تجزیه و تحلیل‌های آماری در این پژوهش با بهره‌گیری از نرم‌افزار متلب نسخه ۲۰۱۷ انجام شده است.

• شاخص‌های کمی پردازش تصویر مطالعه‌شده

همان‌طور که در بخش مبانی نظری پژوهش بیان شد (تصویر ۵)، شاخص‌های کمی تصویر مبنای مطالعه‌شده در این پژوهش شامل سه معیار ارزیابی تضاد تیرگی و روشنی فضا (MRS, mSC) و (Michelson) و ۲۲ شاخص سنجش سطح پیچیدگی فضا (سطح فشردگی تصاویر در قالب GIF, JPEG, PNG, TIFF, RAW-PERIM8, RAW-SOBEL, JPEG-, PNG-, TIFF-SOBEL, JPEG- PNG- TIFF- CANNY2014, JPEG-, PNG-, TIFF-PERIM8, JPEG-, PNG-, TIFF-PERIM8) و شاخص ابعاد فراکتال D و آنتروپی (Entropy) برآمده از مطالعات مرتبط با نور روز هستند. در این مرحله، از تصاویر شبیه‌سازی شده در بخش نمایش الگوهای انتشار در محیط شبیه‌سازی شده، با وضوح 1480×1024 و مجموع 1523712 پیکسل برای سنجش شاخص‌های مطرح‌شده برای ۱۸ فضای مطالعه‌شده در نرم‌افزار متلب (۲۰۱۷b) بهره‌گرفته می‌شود.

یافته‌ها

نتایج آزمون واریانس یک‌طرفه برای شش الگو از گروه اول



تصویر ۱۱. شرایط انجام پژوهش و نحوه نمایش تصاویر شبیه‌سازی شده به آزمودنی‌ها با حذف مرحله به مرحله عوامل محیطی مداخله‌گر به منظور افزایش غوطه‌وری آن‌ها در تصاویر شبیه‌سازی شده. مأخذ: نگارندگان.

میانگین کل RGB شش تصویر شبیه‌سازی شده در هر گروه برای اطمینان از سازگاری رنگی، به آزمودنی‌ها نمایش داده شده است؛ سپس از آن‌ها خواسته شد به مدت ۳۰ ثانیه صحبت نکنند و در این مدت بر مشاهده محیط شبیه‌سازی شده متمرکز شوند. پس از گذشت این زمان محقق آزمودنی‌ها را مطلع کرده و پس از اعلام آمادگی، از آن‌ها پیرامون شاخص‌های ذهنی مطالعه‌شده به صورت شفاهی پرسش شده و سپس در چک‌لیست تنظیم‌شده نگارش و ثبت می‌شود.

• روش‌های آماری تجزیه و تحلیل داده‌ها

در این پژوهش با بهره‌گیری از آزمون تحلیل واریانس درون گروهی (آزمون آنوای یک‌طرفه) به مقایسه میانگین و تفاوت نقش هر یک از الگوها بر شاخص‌های ذهنی ارزیابی شده پرداخته می‌شود. جهت ارزیابی قابلیت اتکای ۲۵ شاخص پردازش تصویر مطرح‌شده (تصویر ۵) در پیش‌بینی اثرات ادراکی نور روز از روش واگرایی کولبک‌لیبر استفاده شده است. این آزمون میزان تفاوت

(تصویر ۱۴) از نظر حس خوشایندی فضا نشان می‌دهد، الگوی اول نسبت به الگوی پنجم (F:4/1, Sig:0/05)، الگوی دوم نسبت به الگوی سوم (F:6/3, Sig:0/02) و الگوی دوم نسبت به الگوی پنجم (F:8/1, Sig:0/03) به شکل معناداری حس خوشایندی بیشتری در فضا ایجاد می‌کنند. از نظر حس جذابیت فضا، الگوی اول نسبت به الگوی ششم (F:4/1, Sig:0/05)، الگوی دوم نسبت به الگوی سوم (F:6/3, Sig:0/02) و الگوی دوم نسبت به الگوی پنجم (F:8/1, Sig:0/03) به شکل معناداری حس جذابیت بیشتری در فضا خلق می‌کنند. از نظر حس هیجان، الگوی اول نسبت به الگوی پنجم (F:6/3, Sig:0/03) و الگوی چهارم نسبت به الگوی پنجم (F:6/3, Sig:0/01) به شکل معناداری حس هیجان بیشتری در فضا ایجاد می‌کنند. از نظر حس آرامش، الگوی دوم نسبت به الگوی پنجم (F:6/8, Sig:0/03) به شکل معناداری حس آرامش بیشتری در فضا فراهم می‌آورد. تصویر ۱۵ نیز مختصات قرارگیری هر یک از الگوهای گروه‌های اول، دوم و سوم در مقایسه با یکدیگر منطبق بر مدل دایره‌ای واکنش‌های احساسی راسل و همکاران (Russell et al., 1981) نمایش می‌دهد. مقایسه یافته‌های شاخص‌های ارزیابی سطح پیچیدگی تصاویر شبیه‌سازی شده با واکنش احساسی خوشایندی فضا نشان می‌دهد رابطه سطح پیچیدگی فضاهای شبیه‌سازی شده و احساس خوشایندی نسبت به آن فضا، معکوس نمودار U شکل است؛ به این معنا که الگوهای انتشار نور روز با سطح پیچیدگی متوسط نسبت به الگوهای انتشار نور روز با سطح پیچیدگی کم یا زیاد احساس خوشایندی بالاتری دارند. جدول ۵ نتایج آزمون واگرایی کولبک‌لیبر برای هر یک از شاخص‌های خوشایندی، جذابیت، هیجان و آرامش و ۲۵ شاخص پردازش تصویر را بر اساس توزیع نرمال فراوانی پاسخ‌های مثبت (۵ به بالا) ۲۴۰ نفر آزمودنی به ترتیب از الگوی اول تا پنجم هر شاخص تصویر مبنای پیش‌بینی می‌دهد. اولویت اول تا پنجم هر شاخص تصویر مبنای پیش‌بینی

(تصویر ۱۲) از نظر حس خوشایندی فضا نشان می‌دهد، الگوی اول نسبت به الگوی چهارم (F: 3/8, Sig: 0/04) و الگوی ششم نسبت به الگوی دوم (F: 3/ 3, Sig: 0/008) به شکل معناداری حس خوشایندی بیشتری در فضا خلق می‌کنند. از نظر حس جذابیت فضا، الگوی سوم نسبت به الگوی اول (F: 4/2, Sig: 0/05) به شکل معناداری حس جذابیت بیشتری در فضا ایجاد می‌کند. از نظر حس هیجان، الگوی سوم نسبت به الگوی اول (F:5/8, Sig:0/04) به شکل معناداری حس هیجان بیشتری در فضا خلق می‌کند و از نظر حس آرامش، الگوی ششم نسبت به الگوی پنجم (F: 5/9, Sig: 0/03) به شکل معناداری حس آرامش بیشتری در فضا فراهم می‌کند. یافته‌های آزمون واریانس یک‌طرفه برای شش الگو از گروه دوم (تصویر ۱۳) از نظر حس خوشایندی فضا نشان می‌دهد، الگوی اول نسبت به الگوی چهارم (F:3/8, Sig:0/03)، الگوی اول نسبت به الگوی ششم (F:5/1, Sig:0/04)، الگوی پنجم نسبت به الگوی چهارم (F:7/1, Sig:0/007) و الگوی پنجم نسبت به الگوی ششم (F:4/6, Sig:0/03) به شکل معناداری حس خوشایندی بیشتری در فضا ایجاد می‌کنند. از نظر حس جذابیت فضا، الگوی اول نسبت به الگوی چهارم (F:6/4, Sig:0/02)، الگوی چهارم نسبت به الگوی پنجم (F:5/1, Sig:0/02) و الگوی پنجم نسبت به الگوی ششم (F:6/6, Sig:0/03) به شکل معناداری حس جذابیت بیشتری در فضا خلق می‌کند. از نظر حس هیجان، الگوی سوم نسبت به الگوی دوم (F:7/1, Sig:0/04) به شکل معناداری حس هیجان بیشتری در فضا ایجاد می‌کند. از نظر حس آرامش، الگوی پنجم نسبت به الگوی سوم (F:6/7, Sig:0/05) به شکل معناداری حس آرامش بیشتری در فضا خلق می‌کند. نتایج آزمون واریانس یک‌طرفه برای شش الگو از گروه سوم

الگوی ششم



الگوی پنجم



الگوی چهارم



الگوی سوم



الگوی دوم



الگوی اول



تصویر ۱۲. شش الگو از گروه اول مطالعه شده. مأخذ: نگارندگان.

الگوی ششم



الگوی پنجم



الگوی چهارم



الگوی سوم



الگوی دوم



الگوی اول



تصویر ۱۳. شش الگو از گروه دوم مطالعه شده. مأخذ: نگارندگان.



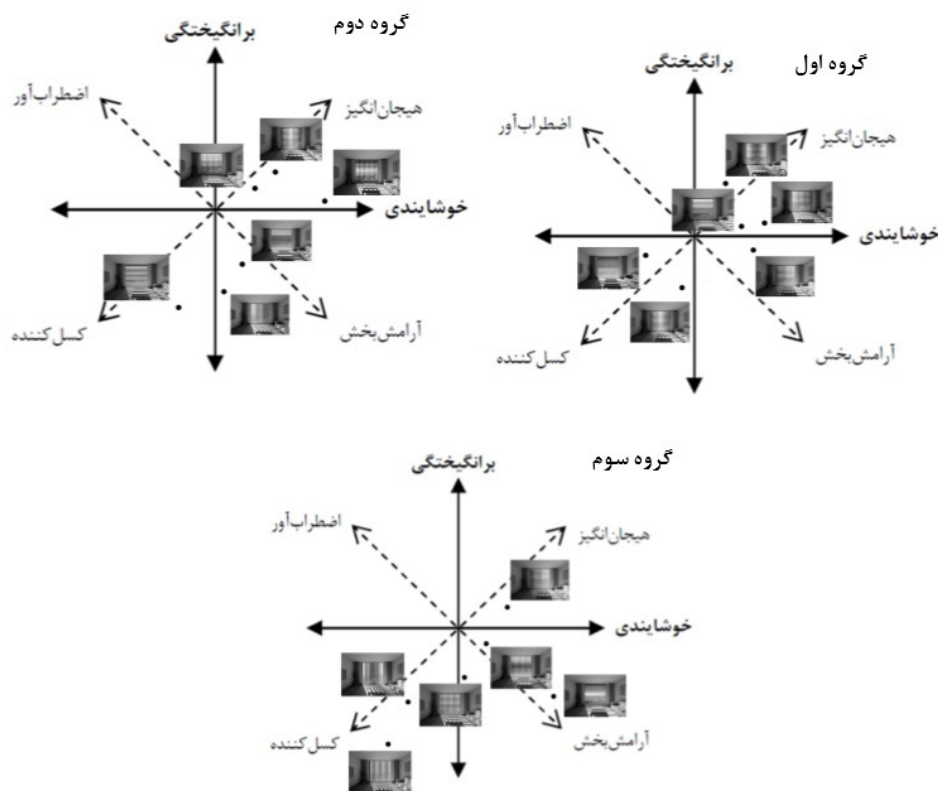
تصویر ۱۴. شش الگو از گروه سوم مطالعه شده. مأخذ: نگارندگان.

، به ترتیب قابل اتکاترین شاخص‌ها در پیش‌بینی حس آرامش
 Michelson، Fractal D و RAW 2014 CANNY-
 فضا شناسایی شدند.

نتیجه‌گیری

نور روز ماهیتی پویا و متغیر دارد که می‌تواند با توجه به ویژگی‌های معمارانه طراحی جداره‌های نورگذر، به‌خصوص هندسه آن، لکه‌های تیره و روشن متفاوتی را در فضای داخلی خلق کرده و با تأثیر بر حواس و ادراکات حسی متفاوت ساکنان که از طریق واکنش‌های احساسی آن‌ها بروز می‌یابد، تجربه فضایی متمایز و معناداری را برای افراد به‌وجود آورد. این پژوهش با بهره‌گیری از روش پیمایشی و ۲۵ روش پردازش تصویر در محیط شبیه‌سازی شده، به دنبال تبیین رابطه الگوهای هندسی انتشار نور روز و ادراکات حسی ساکنان در ساختمان‌های مسکونی و شناسایی قابل اتکاترین شاخص‌های کمی پردازش

هر یک از شاخص ذهنی ارزیابی ادراکات حسی با عدد بالا نویس ۱ تا ۵ روی آن مشخص شده است.
 همان‌طور که جدول ۵ نمایش می‌دهد:
 - شاخص‌های Michelson، mean-RMS، Fractal D، حجم فایل در قالب GIF و RAW-PRIM⁴، به ترتیب قابل اتکاترین شاخص‌ها در پیش‌بینی حس خوشایندی فضا هستند.
 - شاخص‌های TIFF-SOBEL، JPEG -PERIM8، حجم فایل در قالب PNG، به ترتیب قابل اتکاترین شاخص‌ها در پیش‌بینی حس جذابیت فضا شناسایی شدند.
 - شاخص‌های TIFF-SOBEL، Mean mSC، JPEG -PERIM8، حجم فایل در قالب JPEG و JPEG -PERIM4، به ترتیب قابل اتکاترین شاخص‌ها در پیش‌بینی حس هیجان فضا هستند.
 - شاخص‌های RAW-PRIM 4، RAW-PRIM8،



تصویر ۱۵. مختصات قرارگیری هر یک از الگوهای گروه‌های اول، دوم و سوم در مقایسه با یکدیگر منطبق بر مدل دایره‌ای ادراکات حسی راسل و همکاران (Russell et al., 1981). مأخذ: نگارندگان.

جدول ۵. یافته‌های آزمون واگرایی کولبک‌لیبر برای هر یک از شاخص‌های خوشایندی، جذابیت، هیجان و آرامش و ۲۵ شاخص پردازش تصویر (اولویت هر شاخص تصویر مبنا در پیش‌بینی هر یک از شاخص‌های ذهنی با عدد بالا نویسی ۱ تا ۵ روی آن مشخص شده است). مأخذ: نگارندگان.

شاخص‌ها	خوشایندی	جذابیت	هیجان	آرامش	
حجم فایل در قالب PNG	۰/۰۲۸	۰/۰۳۴۵	۰/۰۷۵	۰/۰۴۵	
حجم فایل در قالب GIF	۰/۰۱۸ ^۴	۰/۰۳۸	۰/۰۴۲	۰/۰۵۳	شاخص‌های تبدیل فایل
حجم فایل در قالب JPEG	۰/۰۳۰	۰/۰۲۳ ^۴	۰/۰۲۵ ^۴	۰/۰۵۷	
حجم فایل در قالب TIFF	۰/۰۳۸	۰/۰۴۵	۰/۰۵۹	۰/۱۸۲	
RAW-SOBEL	۰/۰۹۲	۰/۰۳۶	۰/۰۳۲	۰/۱۵۶	
RAW-PRIM4	۰/۰۳۱	۰/۰۷۹	۰/۰۹۴	۰/۰۱۰ ^۱	شاخص‌های تشخیص لبه (مجموع پیکسل‌های سفید)
RAW-PRIM8	۰/۰۲۵ ^۵	۰/۰۶۶	۰/۰۷۳	۰/۰۱۳ ^۲	
RAW-CANNY2014	۰/۰۲۷	۰/۰۳۸	۰/۰۵۰	۰/۰۲۹ ^۵	
JPEG-SOBEL	۰/۱۹۱	۰/۱۰۵	۰/۰۸۹	۰/۳۱	
PNG-SOBEL	۰/۱۵۶	۰/۰۷۳	۰/۰۶۵	۰/۲۶۰	
TIFF-SOBEL	۰/۰۴۲	۰/۰۰۸ ^۱	۰/۰۰۶ ^۱	۰/۰۹۷	
PERIM4- JPEG	۰/۰۳۴	۰/۰۳۸	۰/۰۲۷ ^۵	۰/۰۷۸	
PERIM4- PNG	۰/۱۷۰	۰/۰۷۴	۰/۱۱۷	۰/۲۳۵	
TIFF-PRIM4	۰/۰۷۱	۰/۰۹۸	۰/۱۱۴	۰/۰۸۶	شاخص‌های تشخیص لبه (تبدیل و حجم فایل)
JPEG -PERIM8	۰/۰۳۶	۰/۰۱۶ ^۲	۰/۰۲۱ ^۳	۰/۰۷۶	
PNG- PERIM8	۰/۱۴۰	۰/۰۵۷	۰/۰۵۳	۰/۲۲۰	
TIFF-PRIM8	۰/۱۱۲	۰/۱۳۱	۰/۱۳۶	۰/۰۹۷	
JPEG-CANNY2014	۰/۰۵۹	۰/۱۵۵	۰/۱۷۴	۰/۰۷۸	
PNG-CANNY2014	۰/۲۵۰	۰/۴۲۰	۰/۴۵۳	۰/۱۷۰	
TIFF-CANNY2014	۰/۲۱۰	۰/۱۸۵	۰/۱۹۶	۰/۲۰۵	
mean-RMS	۰/۰۱۶ ^۳	۰/۰۴۱	۰/۰۵۸	۰/۱۴۳	
Michelson	۰/۰۰۹ ^۱	۰/۰۱۸ ^۳	۰/۰۷۱	۰/۰۱۶ ^۳	شاخص‌های تضاد تیرگی و روشنی
Mean mSC	۰/۰۶۱	۰/۰۸۴	۰/۰۱۴ ^۲	۰/۱۰۸	
Entropy	۰/۰۲۷	۰/۰۵۵	۰/۱۴۶	۰/۰۶۳	شاخص‌های سنجش سطح پیچیدگی
Fractal D	۰/۰۱۳ ^۲	۰/۰۵۹	۰/۰۶۷	۰/۰۲۷ ^۴	

نشان می‌دهد، میانگین تعدادی از شاخص‌های ذهنی ارزیابی شده به‌شکل معناداری با ایجاد تفاوت در الگوهای هندسی انتشار نور روز تغییر می‌کند که این امر بر اهمیت توجه و دستکاری معماران و طراحان در هندسهٔ جداره‌های نورگذر برای خلق حس یا مجموعهٔ حس‌های مطلوب محیطی تأکید دارد. همچنین یکی دیگر از مهم‌ترین یافته‌های پژوهش حاکی از آن است که رابطهٔ سطح پیچیدگی فضاهای شبیه‌سازی شده و احساس خوشایندی نسبت به آن فضا، معکوس نمودار U شکل است؛ به این معنا که الگوهای انتشار نور روز با سطح پیچیدگی متوسط نسبت به

تصویر برای پیش‌بینی رابطهٔ بین این دو است. برای این منظور ادراکات حسی افراد از طریق واکنش‌های احساسی خوشایندی، جذابیت، هیجان و آرامش فضا تبیین و سنجیده شد و الگوهای هندسی انتشار نور روز بر اساس سه هندسهٔ پایهٔ خطی افقی، هندسهٔ خطی عمودی و هندسهٔ مشبک و ۱۵ هندسهٔ منتج از این سه هندسهٔ پایه با توزیع فضایی نظام‌مند و متفاوت شامل کاهش و افزایش طیفی ۱۰ درصدی سطح نفوذ نور ایجاد شده‌اند که هندسه‌ای طیف‌گونه شکل دادند، سنجش شده است. یافته‌های پژوهش پیمایشی در محیط شبیه‌سازی شده

در بخش روش پژوهش شبیه‌سازی کرده و سپس با تعیین میزان شاخص‌های کمی پردازش تصویر قابل اتکا برآمده از یافته‌های این پژوهش به ارزیابی، مقایسه و تحلیل الگوهای هندسی انتشار متفاوت پیشنهادی خود بپردازند.

برای این منظور طراحان در ابتدا شاخص‌های مرتبط با حس خوشایندی فضا که نوع جهت‌گیری واکنش‌های احساسی مطلوب یا نامطلوب را در هر الگو مشخص می‌سازد را می‌سنجند و سپس با ارزیابی دیگر شاخص‌های مرتبط با حس هیجان و آرامش، هیجان‌انگیز بودن یا اضطراب‌آور بودن، آرامش‌بخش بودن یا کسل‌آور بودن الگوهای پیشنهادی خود را ارزیابی می‌کنند. بنابراین سنجش شاخص‌های قابل اتکای بیان‌شده این گونه تفسیر می‌یابد که:

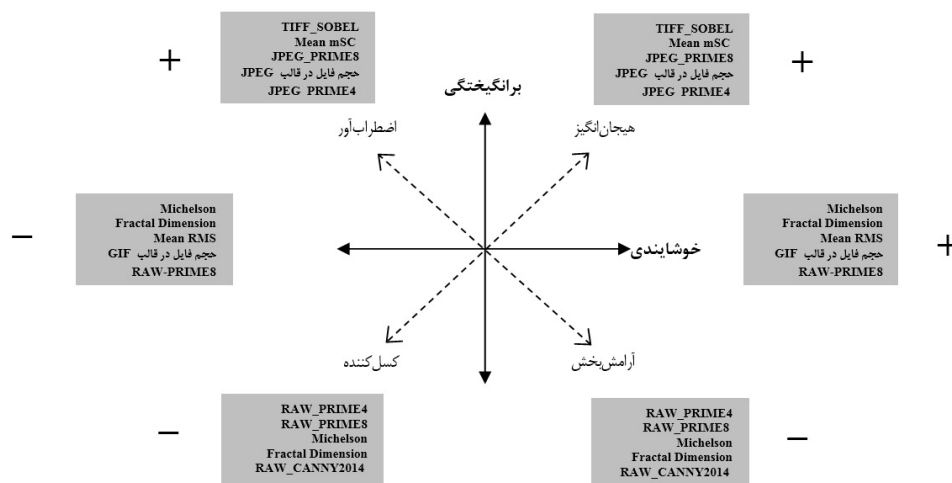
- الگویی که در آن میزان شاخص‌های مرتبط با حس خوشایندی، بالاترین حد و سطح شاخص‌های مرتبط با حس هیجان نسبت به دیگر الگوها در بیشترین حد باشد؛ می‌توان انتظار داشت این الگوی انتشار نسبت به الگوهای دیگر حس مطلوب هیجان‌انگیزی بیشتری در فضا خلق می‌کند.

- الگویی که در آن سطح شاخص‌های مرتبط با حس خوشایندی، بیشترین حد و میزان شاخص‌های مرتبط با حس آرامش نسبت به دیگر الگوها در کمترین حد باشد؛ انتظار می‌رود این الگوی انتشار نسبت به الگوهای دیگر حس مطلوب آرامش‌بخشی بالاتری در فضا ایجاد کند.

- الگویی که در آن میزان شاخص‌های مرتبط با حس خوشایندی، پایین‌ترین حد و سطح شاخص‌های مرتبط با حس هیجان در آن نسبت به دیگر الگوها در بالاترین حد باشد؛ می‌توان انتظار داشت این الگوی انتشار نسبت به الگوهای دیگر حس نامطلوب اضطراب‌آوری بیشتری در فضا خلق می‌کند.

- الگویی که در آن سطح شاخص‌های مرتبط با حس خوشایندی،

الگوهای انتشار با سطح پیچیدگی کم یا زیاد احساس خوشایندی بالاتری دارند که این یافته با نتایج پژوهش‌های پیشین هم‌راستا است (Abboushi et al., 2019; Chamilothori, 2019; Friedenberg & Liby, 2016) و بر آن صحنه می‌گذارد. یافته‌های ارتباط بین پژوهش پیمایشی با پژوهش پردازش تصویر نشان می‌دهند شاخص‌های Michelson, mean-RMS, Fractal در حجم فایل در قالب GIF و RAW-PRIM 8 به ترتیب قابل اتکاترین شاخص‌ها در پیش‌بینی حس خوشایندی فضا، شاخص‌های TIFF-SOBEL, JPEG-PERIM8, Michelson در حجم فایل در قالب PNG و حجم فایل در قالب JPEG و حجم فایل در قالب JPEG-PERIM 4 و JPEG-PERIM 8 به ترتیب قابل اتکاترین شاخص‌ها در پیش‌بینی حس جذابیت فضا، شاخص‌های TIFF-SOBEL, Mean mSC, JPEG-PERIM8، حجم فایل در قالب JPEG و JPEG-PERIM 4 به ترتیب قابل اتکاترین شاخص‌ها در پیش‌بینی حس هیجان فضا و شاخص‌های RAW-PRIM 4, RAW-PRIM 8, Michelson, Fractal D و CANNY ۲۰۱۴ به ترتیب قابل اتکاترین شاخص‌ها در پیش‌بینی حس آرامش فضا هستند. لازم به توضیح است که قابلیت اتکای شاخص mean mSC در پیش‌بینی حس هیجان فضا در این پژوهش با نتایج پژوهش‌های پیشین هم‌راستا است (Chamilothori, 2019; Rockcastle, 2017)؛ درحقیقت می‌توان بیان داشت که این یافته به قابلیت اطمینان و تعمیم بالای این شاخص در پیش‌بینی شاخص ذهنی حس هیجان فضا تأکید دارد. تصویر ۱۶ کاربرد نتایج این پژوهش در پیش‌بینی رابطه بین الگوهای هندسی انتشار نور روز و ادراکات حسی ساکنان، طبق مدل دایره‌ای ادراکات حسی راسل و همکاران به شکل شماتیک نمایش می‌دهد. طبق این نمودار معماران می‌توانند در فرایند طراحی الگوهای هندسی انتشار نور روز طرح‌های پیشنهادی خود را طبق دستورالعمل‌های بیان‌شده



تصویر ۱۶. شماتیک کاربرد نتایج این پژوهش در در پیش‌بینی رابطه بین الگوهای هندسی انتشار نور روز و ادراکات حسی ساکنان بر اساس مدل دایره‌ای ادراکات حسی راسل و همکاران. مأخذ: نگارندگان.

فهرست منابع

- رضایی، سهراب و شرقی، علی. (۱۳۹۹). کارایی ادراکی نور روز: یک مطالعه مروری ساختاریافته از نقش الگوهای انتشار نور روز بر ادراکات ساکنان در فضاهای داخلی. *معماری اقلیم گرم و خشک*، ۸ (۱۱)، ۲۵۱-۲۱۱. <https://doi.org/10.29252/ahdc.2020.1988>
- سرمدی، صدف؛ شاه چراغی، آزاده و کریمی فرد، لیلا. (۱۳۹۹). فرایند ادراک منظر بر پایه‌ی ادراکات حسی و عقلی. *باغ نظر*، ۱۷ (۸۸)، ۲۷-۳۸. <https://doi.org/10.22034/bagh.2020.195136.4236>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2018.12.005>
- Amundadottir, M. L., Rockcastle, S., Khanie, M. S., & Andersen, M. (2017). A human-centric approach to assess daylight in buildings for non-visual health potential, visual interest and gaze behavior. *Building and Environment*, 113, 5-21. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.09.033>
- Andersen, M. (2015). Unweaving the human response in daylighting design. *Building and Environment*, 91, 101-117. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.03.014>
- Boubekri, M., Hull, R. B., & Boyer, L. L. (1991). Impact of Window Size and Sunlight Penetration on Office Workers' Mood and Satisfaction A Novel Way of Assessing Sunlight. *Environment and Behavior*, 23(4), 474-493. <https://doi.org/10.1177/0013916591234004>
- Boyce, P. R. (2014). *Human factors in lighting*. Crc Press.
- Chamilothoni, K. (2019). *Perceptual effects of daylight patterns in architecture*. EPFL. <https://doi.org/10.5075/epfl-thesis-9553>
- Chamilothoni, 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. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.01.009>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.07.004>
- Friedenber, J., & Liby, B. (2016). Perceived beauty of random texture patterns: A preference for complexity. *Acta Psychologica*, 168, 41-49. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2016.04.007>
- Kullback, S., & Leibler, R. A. (1951). On Information and Sufficiency. *The Annals of Mathematical Statistics*, 22(1), 79-86. <http://www.jstor.org/stable/2236703>
- Lang, P. J. (1995). The emotion probe: studies of motivation and

پایین ترین حد و میزان شاخص های مرتبط با حس هیجان نیز در آن نسبت به دیگر الگوها در کمترین حد باشد؛ انتظار می رود این الگوی انتشار نسبت به الگوهای دیگر حس نامطلوب یکنواختی و کسل کنندگی بیشتری در فضا فراهم آورد.

پیش بینی اثرات ادراکی نور روز نیازمند به انجام مطالعات متعدد دیگری در آینده با الگوهای هندسی متفاوتی از انتشار نور روز است که با هم پوشانی یافته های آن ها بتوان به نتایجی با قابلیت اطمینان و تعمیم بالا دست یافت. توصیه می شود در مطالعات آینده به منظور دست یابی به نتایجی با قابلیت اطمینان و تعمیم بالا، واکنش های احساسی افراد توأمان از طریق سه روش پیمایشی، روش آزمایشگاهی شامل سنجش فعالیت های مغزی (حسگرهای الکتروانسفالوگرام: EEG) و حالت چهره (حسگر الکترومیوگراف چهره: f-EMG) جهت ارزیابی هر دو وجه خوشایندی و برانگیختگی و سنجش ضربان قلب (حسگر فوتوپلیتیسیموگرام: PPG) و هدایت پوستی (حسگر پاسخ گالوانیکی پوست: GSR) با هدف ارزیابی میزان توجه و سطح برانگیختگی و روش مشاهده ای شامل سنجش حرکت سر و چشم (حسگر ردیابی حرکت سر و چشم: Eye-tracking and Head) ارزیابی شود. در مجموع می توان بیان داشت با گسترش پژوهش ها در این زمینه در نهایت یکی از دستاوردهای اصلی مطالعات در آینده دست یابی به نرم افزاری خواهد بود که معماران و طراحان داخلی با استفاده از آن در مرحله ایده پردازی و ارزیابی راه حل های پیشنهادی و توسعه آن ها در فرایند طراحی بتوانند براساس موقعیت جغرافیایی ساختمان، زمان (ساعت، روز، فصل)، شرایط آسمان صاف یا ابری، موقعیت قرارگیری ناظر در فضا، زاویه دید ناظر، ارتفاع سطح چشم ناظر، جنس فعالیت های فضا، ابعاد و مترای فضا، مبلمان و مصالح و دید و منظر، اثرات ادراکی نور روز را در طرح های پیشنهادی خود ارزیابی، مقایسه و تحلیل کرده و در نهایت طرحی که بهترین پاسخ را به اهداف و مسئله های طراحی پیش رو می دهد را برگزینند که این موضوع به طراحی از راه علم یا طراحی شواهد مبنا که طبق آن در فرایند طراحی معماری از نتایج و دستاوردهای پژوهش های پیشین بهره گرفته می شود، تأکید دارد.

عدم تعارض منافع

نویسندگان اعلام می دارند که در انجام این پژوهش هیچ گونه تعارض منافی برای ایشان وجود نداشته است.

پی نوشت ها

۱. Evidence Base Design
۲. Diva for Rhino plugin
۳. Physically-Based Renderings
۴. Radiance
۵. Tone Mapping

attention. *American Psychologist*, 50(5), 372-385. <https://psycnet.apa.org/doi/10.1037/0003-066X.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. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1993.tb03352.x>
- 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. <https://doi.org/10.3390/s19112447>
- Moscoso, C., Chamilothoni, 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*, 17(3), 242-264. <https://doi.org/10.1080/15502724.2020.1726183>
- Nasar, J.L. (2011). *Environment Psychology and Urban Design*. Routledge.
- Plutchik, R. (1980). A general psychoevolutionary theory of emotion. In R. Plutchik & H. Kellerman (eds.), *Theories of emotion*. Academic Press. (pp. 3-33). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-558701-3.50007-7>
- Rockcastle, S. F. (2017). *Perceptual Dynamics of Daylight in Architecture*. Lausanne, EPFL. <https://doi.org/10.5075/epfl-thesis-7677>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.06.012>
- Rockcastle, S. F., Chamilothoni, K., & Andersen, M. (2017a). An Experiment in Virtual Reality to Measure Daylight-Driven Interest in Rendered Architectural Scenes. *Proceedings of Building Simulation*. San Francisco, USA. <https://doi.org/10.26868/25222708.2017.828>
- Rockcastle, S., Amundadottir, M. L., & Andersen, M. (2017b). A simulation-based workflow to assess human-centric daylight performance. *Proceedings of the 8th Symposium on Simulation for Architecture and Urban Design*. Toronto.

- Rockcastle, S., Amundadottir, M. L., & Andersen, M. (2017c). Contrast measures for predicting perceptual effects of daylight in architectural renderings. *Lighting Research & Technology*, 49(7). <https://doi.org/10.1177/1477153516644292>
- Russell, J. A., Ward, L. M., & Pratt, G. (1981). Affective quality attributed to environments: A factor analytic study. *Environment and Behavior*, 13(3). <https://doi.org/10.1177/0013916581133001>
- Spehar, B., Wong, S., Van de Klundert, S., Lui, J., Clifford, C. W. G., & Taylor, R. P. (2015). Beauty and the beholder: the role of visual sensitivity in visual preference. *Frontiers in Human Neuroscience*, 9, 514. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2015.00514>
- 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 Manuscript for Philips Research, Eindhoven, Netherlands.
- Veitch, J. A. (2001). Psychological processes influencing lighting quality. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 30(1), 124-140. <https://doi.org/10.1080/00994480.2001.10748341>
- Vogels, I. (2008). Atmosphere metrics. In W. JHDM (Ed.), *Probing experience: from assessment of user emotions and behaviour to development of products*. Springer. (p.p. 25-41). http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4020-6593-4_3
- Zou, Z., & Ergan, S. (2019a). *A Framework towards Quantifying Human Restorativeness in Virtual Built Environments*. EDRA50. arXiv:1902.05208. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1902.05208>
- Zou, Z., & Ergan, S. (2019b). Where do we look? An eye-tracking study of architectural features in building design. *Advances in Informatics and Computing in Civil and Construction Engineering: Proceedings of the 35th CIB W78 2018 Conference: IT in Design, Construction, and Management*, 439-446. https://doi.org/10.1007/978-3-030-00220-6_52
- in architecture: isovists and occlusion maps in AutoLISP. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 37(6), 1128-1136. <https://doi.org/10.1068/b36076>

COPYRIGHTS

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to the Bagh-e Nazar Journal. This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



نحوه ارجاع به این مقاله:
رضایی، سهراب و شرقی، علی. (۱۴۰۳). الگوهای هندسی انتشار نور روز و ادراکات حسی ساکنان در ساختمان‌های مسکونی. باغ نظر، ۲۱ (۱۳۴)، ۲۰-۵.

DOI: 10.22034/BAGH.2024.451479.5587
URL: https://www.bagh-sj.com/article_198606.html

