زیبایی‌شناسی عصب‌محور فضاهای معماری [۱]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۲۳ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۰۱

آنجان چاترجی[۲]، الکس کوبرن[۳]، آدام واینبرگر[۴]

مترجم و گردآورنده: سمیه موسویان[۵]

دکتری تخصصی معماری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران.

چکیده

مردم کشورهای توسعه‌یافته بیش از ۹۰ درصد از وقت خود را در محیط‌های ساخته‌شده می‌گذرانند. با این وجود، دانش اندکی در مورد تأثیرات فراگیر و اغلب پنهان آن بر وضعیت ذهنی و مغز انسان در اختیار است. علی‌رغم توجه روزافزون به عصب‌شناسی معماری، اکثر این پژوهش‌ها توصیفی هستند. رویکرد رایج چنین است که دانش مغز را بر روی ساختارهای مهم معماری پیاده کنند. لذا چگونه می‌توان معماری عصب‌محور توصیفی را بر اساس یک خط پژوهشی برنامه‌محور به یک علم تجربی تبدیل کرد؟ ما ابتدا به بررسی ادبیاتی می‌پردازیم که نشان می‌دهد چگونه می‌توان معماری تجربی را با بررسی نقش ویژگی‌های طبیعی در محیط معماری مدنظر قرار داد. سپس به تجربهٔ انسانی ساکنان می‌پردازیم و سپس این فرضیه را مطرح می‌کنیم که پاسخ‌های زیبایی‌شناسانه در فضای داخلی معماری به ابعاد کلیدی روان‌شناسی تبدیل می‌شوند. با انجام تحلیل شبکهٔ روان‌سنجی[۶] و تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی[۷] بر روی پاسخ‌های ارائه شده نسبت به تصاویر منتخب، سه مؤلفه شناسایی شدند: *انسجام*[۸] (سهولت در سازمان‌دهی و درک یک صحنه)، *شیفتگی*[۹] (غنای اطلاعاتی و علاقهٔ ایجاد شده)، و *راحتی*[۱۰] (سهولت و راحتی شخصی). *انسجام* و *شیفتگی*، ابعاد ثابتی برای مناظر طبیعی هستند. *راحتی* بعد جدیدی است که به فضای داخلی معماری مربوط می‌شد. و در تحلیل‌های شبکه‌ای روان‌سنجی در کانون هر سه موضوع، ظرفیت عاطفی قرار داشت. ما هم‌چنین به تحلیل مجدد داده‌های یک مطالعه پیشین افام‌آرآی[۱۱] پرداختیم که در آن شرکت‌کنندگان تصمیمات زیبایی‌شناسی و نزدیکی- اجتناب را در حین مشاهدهٔ تصاویر مشابه اتخاذ کردند. صرف‌نظر از فعالیت، میزان شیفتگی با فعالیت عصبی در شکنج زبانی سمت راست متغیر بود. در مقابل آن، انسجام، فقط وقتی با فعالیت عصبی در شکنج پس‌سری تحتانی چپ، متغیر بود که مشارکت‌کنندگان به قضاوت‌های زیبایی‌شناسی می‌پرداختند و راحتی تنها زمانی با فعالیت عصبی در کونئوس چپ متغیر بود که تصمیمات نزدیکی-اجتناب اتخاذ می‌شد. لذا مغز بصری حساسیت‌های پنهانی نسبت به فضای داخلی معماری دارد که با ابعاد *انسجام*، *شیفتگی* و *راحتی* تسخیر می‌شود. این یافته‌ها نشان‌دهندهٔ گام‌های اولیه به سوی یک معماری عصب‌محور تجربی است.

واژگان کلیدی: معماری عصب‌محور، زیبایی‌شناسی عصبی، فضا، عصب‌شناسی شناختی

---

[۱] Cognitive Processing (2021) 22 (Suppl 1): S115-S120. https://doi.org/10.1007/s10339-021-01043-4

[۲] Anjan Chatterje: مرکز زیبایی‌شناسی عصب‌محور پن، دانشگاه پنسیلوانیا، فیلادلفیا، ایالات متحدهٔ آمریکا.

[۳] Alex Coburn: دانشگاه کالیفرنیا، سان‌فرانسیسکو، ایالات متحدهٔ آمریکا.

[۴] Adam Weinberger: آزمایشگاه شناخت رابطه‌ای جورج‌تاون، دانشگاه جورج‌تاون، واشنگتن دی‌سی، ایالات متحدهٔ آمریکا.

[۵] مترجم مسئول: m.moosaviyan@gmail.com

[6] PNA

[7] PCA

[8] Coherence

[9] Fascination

[10] Hominess

[11] fMRI: تصویربرداری تشدید مغناطیسی کارکردی

در کشورهای توسعه‌یافته، مردم بیشتر عمر خود را در ساختمان‌ها می‌گذرانند (Evans 2003). کیفیت‌های زیبایی‌شناسانهٔ محیط ساخته‌شده تأثیر عمیقی بر حالات روانی افراد دارد (Adams 2014; Cooper and Burton 2014; Ellaway 2014; Kyttä et al. 2011; Kyttä and Broberg 2014). ما در اینجا به بررسی وضعیت زیبایی‌شناسی عصب‌محور معماری پرداخته و در صورت نیاز با روش‌های دقیق‌تر جهت پیش‌برد این پژوهش بحث می‌کنیم.

این ایده که کیفیت‌های زیبایی‌شناسی محیط ساخته‌شده بر حس خوشایندی انسان تأثیر می‌گذارد، موضوع جدیدی نیست. در طول هزاران سال، تمدن‌ها در سرتاسر جهان به دنبال درک این موضوع بودند که چگونه طراحی محیط مصنوع و طبیعی می‌تواند جنبه‌های اجتماعی، عملکردی و معنوی تجربهٔ انسانی را بهبود بخشد. از روم باستان تا امپراتوری چین، فرهنگ‌ها در سراسر جهان قوانین زیبایی‌شناسی پیچیده‌ای را برای هدایت ساخت ساختمان‌ها، محله‌ها و شهرها توسعه دادند، با انگیزه به این باور که این اصول زیبایی‌شناسی به همان اندازه که هنر هستند، یک علم‌اند (Coburn et al. 2017; Mak and Thomas Ng 2005; Patra 2009; Vitruvius Pollio et al. 1914).

در حدود نیمهٔ قرن بیستم، تغییری در حساسیت‌های غربی رخ داد که منجر به رد گستردهٔ اصول انسان‌گرایانهٔ ساخت‌وساز به نفع قوانین طراحی سودمندگرا[12] شد که در آن متغیرهای قابل اندازه‌گیری مانند هزینه، سرعت و کارایی نسبت به عواملی مانند زیبایی‌شناسی و تجربهٔ ساکنین در اولویت قرار می‌گرفتند که سنجش آنها چندان هم آسان نبود. اگرچه این تغییر منجر به پیشرفت در توسعهٔ شهری شد، اما پیامدهای ناخواستهٔ اجتماعی را به همراه داشت (Jacobs 1992). در اواسط قرن بیستم در دههٔ ۱۹۷۰ جنبش‌های طراحی مبتنی بر شواهد[13] در پاسخ به تولید انبوه معماری ظهور یافتند و راه را برای پژوهش در جامعه‌شناسی شهری و روان‌شناسی محیطی هموار کردند. این پژوهش‌های اولیه که تأثیرات طراحی معماری بر رفتار اجتماعی را بررسی می‌کردند، زمینه را برای تحقیقات اخیر در زمینهٔ علوم اعصاب معاصر در معماری فراهم ساختند.

علوم اعصاب معماری در سرآغاز پیشرفت دانشی درباره چرایی و چگونگی تأثیرگذاری ویژگی‌های معمارانهٔ خاص بر روی افراد است. ما این پژوهش را در چارچوب نظری *سه‌گانهٔ زیبایی‌شناسی* قرار می‌دهیم که مدلی مبتنی بر مغز است و جهت زیبایی‌شناسی عصب‌محور توسعه‌یافته (Chatterjee and Vartanian 2014, 2016) و در زمینهٔ معماری مجدداً فرمول‌بندی شده است (Coburn et al. 2017). نکتهٔ مهم این است که ما بین ادعاهای علوم اعصاب توصیفی و تجربی تمایز قائل می‌شویم. عصب‌شناسی توصیفی از دانش عملکرد مغز برای ترسیم ماهیت بیولوژیکی و شناختی یک تجربهٔ زیبایی‌شناسی استفاده می‌کند؛ نقشه‌برداری که از طریق آن می‌توان نظریه‌های ابطال‌پذیر را توسعه داد. در مقابل، عصب‌شناسی تجربی به صورت مستقیم فرضیه‌ها را می‌سنجد و از طریق پیش‌بینی، داده‌های کمّی ایجاد می‌کند. به عنوان مثال هنگامی که مشارکت‌کنندگان در طول تصویربرداری تشدید مغناطیسی[14] به قضاوت دربارهٔ فضاهای داخلی می‌پرداختند، وارتانیان و همکاران (۲۰۱۳) فعال شدن سینگولیت قدامی را شناسایی کردند که به صورت *تجربی* درگیری مسیرهای هیجان و پاداش را نشان می‌داد. اکثر پژوهش‌ها در حوزهٔ علوم اعصاب معماری تا به امروز توصیفی بوده‌اند. (see Barbara and Perliss 2006; Eberhard 2004; Eberhard and Patoine 2004) با این‌حال، پژوهش‌ها به تدریج به سمت استفاده از روش‌های تجربی تغییر می‌کنند که پایه و اساس تحقیقات برنامه‌محور را ایجاد می‌نماید (Coburn et al. 2019, 2020; Lavdas and Schirpke 2020; Vartanian et al. 2013, 2015).

در مدل تجربهٔ معماری (Coburn et al. 2017) که ریشه در *سه‌گانهٔ زیبایی‌شناسی* دارد، (Chatterjee and Vartanian 2014, 2016) ما پیشنهاد کردیم که تعاملات انسان-ساخت در سه شبکهٔ عصبی بزرگ‌مقیاس واقع می‌شوند: سیستم حسی-حرکتی، سیستم دانش-معنا و سیستم هیجان-ارزش‌گذاری. سیستم *حسی-حرکتی* به پردازش «پایین به بالا»ی ویژگی ساختمان‌ها از جمله ویژگی‌های بصری (رنگ، شکل، اندازه، جنس) و هم‌چنین ویژگی‌های صوتی، لامسه‌ای و حتی بویایی و مسیریابی محیط مصنوع می‌پردازد. مدار *دانش-معنای* مغز نقش مهمی در میانجی‌گری پردازش «بالا به پایین» محیط‌های معماری ایفا می‌کند. پاسخ اولیهٔ مغز به ویژگی‌های حسی ساختمان‌ها ممکن است با پیشینهٔ فرهنگی، هویت و تحصیلات افراد و هم‌چنین دانش آن‌ها در مورد یک فضا تضعیف یا تقویت شود. در نهایت، سیستم *هیجان-ارزش‌گذاری*، اطلاعات حاصل از

---

[12] Utilitarian design

[13] Evidence-based design: طراحی مبتنی بر شواهد (EBD)، فرایند ساخت یک ساختمان یا محیط فیزیکی براساس شواهد و تحقیقات علمی را برای دست‌یابی به بهترین نتایج ممکن می‌داند.

[14] fMRI

سیستم‌های حسی-حرکتی و دانش-معنا را یکپارچه کرده و در نهایت منجر به تجارب زیبایی‌شناسی می‌شود. این تجربیات ممکن است از احساس عمیق شادی یا لذّت تا علاقه یا حتی ترس و انزجار متغیر باشند. ما فرض کردیم که برای ایجاد یک حس کل‌نگر از فضاهای معماری، این سه سیستم با هم تعامل نزدیکی دارند.

یک نقطهٔ منطقی برای شروع بحث، درک طبیعت و ویژگی‌های طبیعی در محیط ساخته‌شده است. طبیعت همواره به عنوان یک منبع مهم برای الهامات معماری عمل کرده و منعکس‌کنندهٔ یک تمایل دائمی برای ارتباط با طبیعت است (Ulrich 1993). برخی از برجسته‌ترین رویکردهای علمی به معماری به کیفیت‌های طبیعی مربوط می‌شوند. *فرضیهٔ بیوفیلیک*[۱۵]، تمایل گستردهٔ بشر به محیط‌های طبیعی در مقایسه با فضاهای شهری را مطرح می‌کند (Berman et al. 2008; Kaplan 1995). مردم برای تفریح و آرامش با طبیعت تعامل دارند؛ ترجیحی که در سطح جهانی و در بین همهٔ فرهنگ‌ها قابل مشاهده است (Chang et al. 2020). تعامل با طبیعت اثرات مثبتی بر عملکردهای فیزیولوژیکی، عاطفی و شناختی دارد (Joye 2007). نظریهٔ بازیابی توجه[۱۶] کاپلان[۱۷] (Kaplan 1995) استدلال می‌کند که طبیعت با پردازش شناختی سخت‌گیرانه‌ای کار می‌کند که منجر به بهبود توانایی تمرکز می‌گردد. این نظریه از ویلیام جیمز[۱۸] و تفاوتی که او بین توجه غیرارادی -که به طور خودکار توسط محرک‌های محیط جذب می‌شوند- و اشکال هدایت شدهٔ توجه که بر مکانیسم‌های کنترلی سخت‌گیرانه تکیه دارد، نشأت می‌گیرد (James 1985). توجه هدایت شده احتمالاً از طریق تعامل با طبیعت تکامل می‌یابد. زیرا محیط‌های طبیعی باری را که این نوع از توجه پرزحمت در محیط شهری وارد می‌کنند، کاهش می‌دهد (Berman et al. 2008; Joye 2007; Kaplan 1995). مطابق با نظریهٔ بازیابی توجه، پژوهش‌های تجربی بهبود اندکی را در توجه هدایت شده پس از قرار گرفتن در معرض محیط‌های طبیعی نشان می‌دهند (e.g., Berman et al. 2008; Bowler et al. 2010). اگرچه هم‌چنان سؤالاتی در مورد تفاوت‌های فردی و کنترل مناسب شرایط باقی می‌ماند.

تعداد چندی از گزارش‌ها استدلال می‌کنند که ترجیحات فضاهای طبیعی مبتنی بر تکامل[۱۹] است. چارچوب کاهش استرس اولریچ (Ulrich 1993) بیان می‌کند که وقتی انسان‌ها با محرک‌های تهدیدآمیز مواجه می‌شدند، این مسأله منجر به واکنش سریع کورتیزول[۲۰] می‌شد که تا زمان کاهش تهدید ماندگار بود. اما شرایط ایمن معمولاً باز، آرام و گرم بودند. لذا محیط‌های امروزی که غنی از این نوع ویژگی‌ها باشند، ممکن است استرس را کاهش دهند. راگلز و بواک (۲۰۲۰)، بر اهمیت طراحی ساختمان‌هایی تأکید دارند که درجهٔ پایهٔ سیستم عصبی خودمختار پاراسمپاتیک[۲۱] را با هدف کاهش استرس، افزایش می‌دهد. به طور مشابه، نظریهٔ *چشم‌انداز-پناهگاه*[۲۲] بحث می‌کند که محیط‌هایی که هم باز هستند (یعنی چشم‌انداز) و هم احساس امنیت (یعنی پناهگاه) را منتقل می‌کنند، از نظر تکاملی مفید بوده و در نتیجه از نظر زیبایی‌شناسانه ترجیح داده می‌شوند.

با توجه به این نوع از ترجیحات برای طبیعت -یعنی بیوفیلیک- بسیاری از طراحان سعی می‌کنند، زیبایی‌شناسی طبیعی را وارد محیط ساخته‌شده کنند. یک روش روشن برای انجام این کار، ترکیب مستقیم طبیعت با محیط است. این نوع استفاده از عناصر طبیعی می‌تواند به سادگی اضافه کردن گیاهان، آب‌نماها یا آتش‌دان‌های کوچک باشد (Joye 2007). معماران با تکیه بر ایدهٔ چشم‌انداز-پناهگاه، پنجره‌ها یا بالکن‌های بزرگی را وارد طراحیشان می‌کنند تا مناظر گسترده‌ای از محیط بیرون را فراهم نمایند. حتی به شکل ساده‌تر، افراد می‌توانند از تصاویر یا عکس‌هایی از فضای باز در یک فضای داخلی استفاده کنند.

در یک رویکرد جایگزین دیگر، *الگوهایی* را که به طور مکرر در طبیعت رخ می‌دهند، را در طراحی فضاهای انسان‌ساخت گنجانده‌اند. در یک مطالعه، شرکت‌کنندگان ۲۴۰ تصویر معماری داخلی و خارجی را براساس طبیعی بودن و اولویت‌های درک‌شده

---

[۱۵] Biophilia Hypothesis: به معنای زیست‌گرایی یا طبیعت‌بارگی؛ این اصطلاح اولین‌بار توسط اریش فروم برای توصیف جهت‌گیری روان‌شناسی و جذب شدن به هر چیزی که زنده و حیاتی است، به کار برده شد. این فرضیه بیان می‌کند که پیوندی غریزی و فطری بین انسان‌ها و دیگر سیستم‌های حیات وجود دارد.

[۱۶] Attention restoration theory: از دیدگاه تئوری (ART) افراد پس از گذراندن زمان در طبیعت یا حتی تماشای صحنه‌های طبیعت می‌توانند بهتر تمرکز کنند. محیط‌های طبیعی سرشار از «جاذبه‌های نرم» هستندکه فرد می‌تواند با «توجه بی‌زحمت» به آنها فکر کند، مانند ابرهایی که در آسمان حرکت می‌کنند.

[۱۷] Rachel and Stephen Kaplan: راشل و استفن کاپلان استادان روان‌شناسی در دانشگاه میشیگان متخصصان حوزهٔ روان‌شناسی محیطی‌اند و به دلیل تحقیقات خود در حوزهٔ تأثیر طبیعت بر روابط و سلامت افراد شناخته شده هستند.

[۱۸] William James: ویلیام جیمز (۱۸۴۲-۱۹۱۰)، فیلسوف آمریکایی و بنیان‌گذار مکتب پراگماتیسم.

[19] Evolutionarily-based

[20] Cortisol

[21] Parasympathetic

[22] Prospect-Refuge theory

ارزیابی کردند و ترجیحات زیادی برای ساختمان‌هایی وجود داشت که دارای تراکم بالایی از الگوهای بصری طبیعی مانند تراکم لبه‌ها و کنتراست (که به صورت کمّی اندازه‌گیری شدند) بودند. به طور ویژه، این الگوهای شبیه طبیعت، بیشترین تفاوت را در رتبه‌بندی ترجیحات نماهای معماری و صحنه‌های داخلی، حتی پس از کنترل میزان پوشش گیاهی واقعی در هر تصویر توضیح می‌دهد (Coburn et al. 2019). این یافته‌ها نشان می‌دهند که *طبیعی بودن ضمنی*[۲۳] درک‌شده در یک محیط معماری، ممکن است به همان اندازهٔ *عناصر طبیعی آشکار*[۲۴] (مانند آب، گیاهان، درختان) در صحنه‌ها حائز اهمیت باشند.

مطابق با پژوهش دیگری اتاق‌هایی با ویژگی‌های معمولی محیط طبیعی مانند فضاهای منحنی شکل نسبت به فضاهایی با ویژگی‌های غیرطبیعی همچون لبه‌های مستقیم ترجیح داده شدند (Vartanian et al. 2013). اثرات سودمند تعامل با طبیعت ممکن است از این ترجیحات الگویی زیربنایی نشأت بگیرند؛ اخیراً در یک مطالعه، زمانی که شرکت‌کنندگان تصاویر شهری و طبیعی را به یک اندازه ترجیح دادند، هیچ تفاوتی در حالت عاطفی آنها مشاهده نشد (Meidenbauer et al. 2020). به این معنا که مردم به دلیل رواج ورودی‌های بصری ترجیح داده شده در محیط‌های طبیعی، احساسات مثبت را تجربه کردند، نه به دلیل ویژگی‌های منحصربه‌فرد خود طبیعت. بنابراین، ویژگی‌های سطح پایین مشخصه‌های محیط‌های طبیعی، اگر در محیط ساخته‌شده گنجانده شوند، ممکن است اثرات مثبت و ستایش زیبایی‌شناسانهٔ فرد را حتی بدون عناصر طبیعی آشکار برانگیزد.

به صورت تجربی نتایجی مشابه در یک مطالعه (Kravitz et al. 2011) نشان داده شد، مشارکت‌کنندگان یک سری از فضاهای ساخته‌شده و طبیعی را در طول انجام افام‌آرآی مشاهده کردند. نتایج نشان داد، عامل اولیه‌ای که بر فعال‌سازی ناحیهٔ پاراهیپوکامپ[۲۵] مغز تأثیر می‌گذارد، طبیعی یا ساختگی بودن فضا نیست، بلکه گشودگی القاء شده در هر تصویر است. یعنی منطقهٔ پاراهیپوکامپی مغز، صرف‌نظر از دسته‌بندی تصاویر (یعنی طبیعی در مقابل ساخته‌شده) به یک ویژگی به خصوص (یعنی باز بودن فضا) حساس بود. هم‌چنین مشاهدهٔ فضاهای گشوده و باز با فعال‌سازی ساختارهای لوب گیجگاهی حساس به حرکت بصری نیز همراه است (Vartanian et al. 2015)، که ارتباط بین باز بودن و میل به حرکت در فضا را پیشنهاد می‌کند (Coburn et al. 2017). هم‌راستا با این احتمالات، فضاهای داخلی باز به عنوان فضاهایی طبیعی‌تر (Coburn et al. 2019) و زیبا (Vartanian et al. 2015) رتبه‌بندی می‌شوند و بر فضاهای بسته ارجحیت دارند (Dosen and Ostwald 2016).

یکی دیگر از ویژگی‌های سطح پایین که بر تجربهٔ زیبایی‌شناسی تأثیر می‌گذارد، مقیاس‌بندی فراکتال[۲۶] است (یعنی «فرکتال‌ها»). فراکتال‌ها، سلسله مراتبی از الگوهای خودمتشابه‌اند که در مقیاس‌های مختلف تکرار می‌شوند و حس «پیچیدگی سازمان‌یافته» را القا می‌کنند. فراکتال‌ها در طبیعت رایج‌اند؛ ابرها، درختان، گیاهان، امواج، آتش، رعد و برق و کوه‌ها همگی از عناصر الگودار تکرارشونده تشکیل شده‌اند. هنگامی که فراکتال‌ها در محیط ساخته‌شده گنجانده می‌شوند، احساس طبیعی بودن را برمی‌انگیزند و بر طراحی غیرفراکتال ترجیح داده می‌شوند (Joyea 2007; Lavdas and Schirpke 2020; Taylor 2021). به لحاظ تاریخی، طراحی فراکتال در بسیاری از تمدن‌ها و فعالیت‌های معماری مورد استفاده قرار گرفته‌اند. همان‌طور که تیلور (۲۰۲۱) بیان می‌کند، فراکتال‌ها در سکونت‌گاه‌های سنتی آفریقا، معابد قرن هشتم میلادی، قلعه‌های امپراتوری مقدس روم در قرن سیزدهم، کاتدرال‌های دورهٔ گوتیک، معابد بودایی، مناره‌های اسلامی، بنای ساگرادا فامیلیا اثر گائودی[۲۷] و خانه‌های ارگانیک طراحی شده توسط فرانک لوید رایت[۲۸] به کار گرفته شده‌اند. ابتکارات جدیدتر، کاربرد فراکتال‌ها را در طراحی کف، کف‌پوش، دیوار، پنل‌های خورشیدی و سایبان پنجره‌ها گنجانده است.

در واقع پژوهش عصب‌شناسی، بینشی را در مورد جذابیت فراکتال‌ها ارائه می‌دهد. اولاً، سیستم بصری در گروه‌بندی عناصر تکرارشونده با هم مهارت دارد (Biederman 1987; Reber et al. 2004) و فراکتال‌ها را به صورت خودکار و روان پردازش می‌کند (Spehar et al. 2015). علاوه بر این، به نظر می‌رسد که نورون‌های موجود در قشر بینایی اولیه، پاسخ‌های ترجیحی به فراکتال‌ها نشان می‌دهند؛ بنابراین، این نوع الگوها در انطباق سیستم بینایی با محیط طبیعی نقش مهمی ایفا می‌کنند

---

[23] Implicit naturalness

[24] Explicit natural elements

[25] PPA

[۲۶] Fractal: ساختاری هندسی است که با بزرگ کردن هر بخش از این ساختار به نسبت معین، همان ساختار نخستین به دست آید. به عبارت دیگر فراکتال ساختاری است که هر بخش از آن با کلش همانند است که به این ویژگی خودهمانندی می‌گویند.

[۲۷] Antoni Gaudí i Cornet: آنتونی گائودی ای کُرنت (۱۸۲۵-۱۹۲۶)، معمار اسپانیایی.

[۲۸] Frank Lloyd Wright: فرانک لوید رایت (۱۸۶۷-۱۹۵۹)، معمار اهل ایالات متحدهٔ آمریکا.

(Yu et al. 2005). هم‌چنین فراکتال‌ها ممکن است تا حدودی روابط بین طبیعت (که اغلب سرشار از الگوهای فراکتال است) و کاهش استرس را توضیح دهند (Joye 2007).

ویژگی‌های بصری و معنایی سطح بالاتر یک محیط به وضوح بر تجربهٔ زیبایی‌شناسی تأثیر می‌گذارند. اخیراً در یک مطالعهٔ افام‌آرآی، پژوهشگران بازنمایی‌های عصبی قابل رمزگشایی از سبک‌های معماری و ساختمان‌ها را در مناطق بصری سطح بالا شناسایی کردند، اما نه در مناطق قشری که به ویژگی‌های سطح پایین مانند قشر بینایی اولیه اختصاص یافته است (Choo et al. 2017). هم‌چنین ایبارا و همکاران (۲۰۱۷) نشان دادند که ویژگی‌های سطح بالای یک چشم‌انداز - مانند شکل و موج خط افق، وجود آب در منظره، و توزیع ساختمان‌ها - با توضیح بیش از نیمی از واریانس آماری مشترک آنها، رابطهٔ بین ویژگی‌های سطح پایین چشم‌انداز و رتبه‌بندی اولویت‌های زیبایی‌شناسی را میانجی‌گری می‌کند. بنابراین، قضاوت‌های زیبایی‌شناسی محیط‌های مصنوع احتمالاً شامل تعاملاتی پیچیده بین ویژگی‌های سطح پایین و سطح بالای محرک‌هاست.

انسان‌ها نسبت به اشیاء زیبا از جمله معماری، واکنش‌های عاطفی را تجربه می‌کنند (Chatterjee and Vartanian 2014, 2016). چارچوب‌های کاهش استرس استدلال می‌کنند که ویژگی‌های بصری خاصی، احساس آرامش یا گرما را القا می‌نمایند (Tyrväinen et al. 2014; Ulrich et al. 1991). در مطالعه‌ای که به بررسی پاسخ‌های نزدیکی-اجتناب پرداخته است، قشر سینگولیت میانی قدامی[۲۹] زمانی درگیر می‌شد که افراد فضاهای داخلی محصور و بسته را مشاهده می‌کردند و تصمیمات خروج را برای آنها برمی‌انگیخت (وارتانیان و همکاران ۲۰۱۵). از آنجا که قشر سینگولیت میانی قدامی، پیش‌بینی‌هایی را از آمیگدال دریافت می‌کند -که نشان‌دهندهٔ نقش بالقوه در پردازش ترس است - احساسات منفی ممکن است در پردازش فضاهای معماری، به‌ویژه فضاهایی که افراد می‌خواهند از آنها خارج شوند، دخیل باشد. برخی دیگر گزارش می‌کنند که وقتی افراد در یک فضای شبیه‌سازی مجازی از یک اتاق بسته قرار می‌گیرند، ترس، استرس و سطح کورتیزول افزایش می‌یابد (Fich et al. 2014). در مجموع این کار یک مؤلفهٔ احساسی منفی را برجسته می‌کند (به عنوان مثال ترس) که می‌تواند تجربیات زیبایی‌شناسی محیط مصنوع را هدایت نماید. با این حال، در نظر گرفتن این نکته مهم است که پاسخ‌های احساسی لزوماً خودکار نیستند. دخالت نواحی پیشانی و هیپوکامپ مغز در قضاوت‌های زیبایی‌شناسی معماری نشان می‌دهند که استدلال آگاهانه و بازیابی حافظه از بالا به پایین روی واکنش‌های هیجانی اولیه و خودکار تأثیرگذار است (Coburn et al. 2017; Vartanian et al. 2013; Kirk et al. 2009).

کوبورن و همکاران (۲۰۲۰) با ادامه دادن پژوهش‌های قبلی، مطالعه‌ای را انجام دادند که در آن شرکت‌کنندگان ۲۰۰ تصویر معماری داخلی را در طیف‌های مختلف مقیاس‌های زیبایی‌شناسی ارزیابی کردند و ۱۶ پاسخ روان‌شناسی بررسی شد. تحلیل‌های شبکهٔ روان‌سنجی و مؤلفه‌های اصلی انجام شده برای جست‌وجوی الگوهای آماری، در میان هزاران رتبه‌بندی هم‌پوشانی داشتند. تقریباً ۹۰ درصد واریانس در پاسخ‌ها تنها با سه بعد روان‌شناسی زیربنایی توضیح داده می‌شود: انسجام، شیفتگی و راحتی. *انسجام*، توصیف‌کنندهٔ میزان احساس سازمان‌دهی یک فضا از نظر بیننده است. *شیفتگی* به غنا و پیچیدگی بصری یک فضا اشاره دارد و ارتباط تنگاتنگی با حس هیجان و تمایل بیننده برای کشف آن دارد. *راحتی* بیانگر میزان احساس راحتی، شخصی و «شبیه خانه»[۳۰] بودن یک فضا از نظر بیننده است. هر بعد بر یک پایه لنگر انداخته‌اند - پایه‌ای‌ترین ارزیابی از این‌که فضا چه احساسی را در بینندگان ایجاد می‌کند.

مؤلفین پا را فراتر از این تحلیل گذاشته و این موضوع را بررسی کردند که آیا این ابعاد روان‌شناسانه با آثار عصبی خاص مرتبط هستند یا خیر (Coburn et al. 2020). این فرضیه با ادغام امتیازهای تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی صحنه‌های معماری با داده‌های افام‌آرآی از مطالعهٔ وارتانیان و همکاران (۲۰۱۳)، که قبلاً همان تصاویر را در اسکنر با استفاده از روش‌های نزدیکی-اجتناب و قضاوت زیبایی‌شناسی ارزیابی کرده بودند، مورد آزمایش قرار گرفت. میزان شیفتگی با فعالیت عصبی در شکنج زبانی سمت راست برای هر دو مورد متغیر بود. *انسجام*، فقط در زمان قضاوت زیبایی‌شناسی توسط مشارکت‌کنندگان با فعالیت عصبی در شکنج پس‌سری تحتانی چپ مغز مرتبط بود و *راحتی* هم صرفاً برای موضوع نزدیکی-اجتنابی با فعالیت عصبی کونئوس چپ مغز متغیر بود. لذا به شکل منتقدانه‌ای، سال‌ها پیش از شناسایی این سه بعد روان‌شناسی، این داده‌های عصبی در گروه متفاوتی از مشارکت‌کنندگان جمع‌آوری شده بود. نویسندگان به این نتیجه رسیدند که قشر بینایی به این سه بعد از تجربهٔ روان‌شناسی حساس است و هر بعد دارای اثر عصبی متمایز خود می‌باشد. لذا اگر این بینش‌ها فراتر از محرک‌های خاص مورد استفاده در این مطالعه به سایر فضاهای معماری تعمیم یابند، می‌تواند به صورت منتقدانه‌ای اطلاعاتی را دربارهٔ نحوهٔ احتمالی طراحی و ارزیابی ساختمان‌ها و محیط‌های شهری

[29] aMCC

[30] Home-like

فراهم سازد.

از بینش‌های کسب شده از عصب‌شناسی معماری می‌توان جهت بهبود مدل‌هایی از نحوهٔ چرایی و چگونگی و دلیل تأثیرگذاری ویژگی‌های خاص معمارانه بر افراد به طرق مشخص استفاده کرد. با این حال، همان‌طور که پیش‌تر بیان شد (Coburn et al. 2017)، بسیاری از چالش‌های پژوهشی باید مورد توجه قرار گیرند. ما در اینجا به صورت مختصر به مسائل بارز پرداختیم و استراتژی‌های بالقوه برای حل کردن آنها را برجسته کردیم.

فضاهای معماری، طیفی وسیع از عملکردها و شرایط را در بر می‌گیرند. بنابراین، ویژگی‌هایی که به تجربهٔ زیبایی‌شناسی محیط ساخته‌شده مربوط می‌شوند، ممکن است به صورت جهان‌شمول به اشتراک گذاشته نشوند. زیرا محدودیت‌های کارکردی براساس شرایط فیزیکی وجود دارند. یک معمار نمی‌تواند صرفاً یک پنجرهٔ بزرگ مشرف به آب یا جنگل را در هر ساختمان قرار دهد. محدودیت‌های فیزیکی و مالی، گزینه‌های بالقوهٔ طراحی را محدودتر می‌کنند؛ و موضوع کارکرد یک فضا را هم از نظر ویژگی‌های طراحانه و هم از نظر تجربیات ساکنان آن نمی‌توان نادیده گرفت. به عنوان مثال، تجربیات یک بیمار در بیمارستان از تجربیات یک دانش‌آموز در مدرسه یا یک فرد در خانهٔ خودش متمایز است. عناصر طراحی که سلامتی را بهبود می‌بخشند، بعید است که در شرایط مختلف دیگر سازگار باشند، و این موضوع باعث پیچیدگی توانایی تعمیم دادن یافته‌ها از مجموعه‌ای از محرک‌ها به محرکی دیگر یا تعمیم‌های گسترده‌تر شود.

سنجش تجربهٔ زیبایی‌شناسی در معماری یک چالش دیگر محسوب می‌شود. تا به امروز، اکثر مطالعات عصب‌شناسی معماری از تصاویر دو بعدی استفاده کرده‌اند (اغلب با شرکت‌کنندگانی که به صورت افقی در یک اسکنر ام‌آرآی[۳۱] دراز می‌کشند). این رویکرد ویژگی‌هایی مانند مقیاس و بافت را نادیده می‌گیرد، حرکت را رد می‌کند، و آشفتگی‌های اضافی مرتبط با ارائه تصاویر در یک ماشین پر سروصدا را ایجاد می‌نماید. البته معمولاً محرک‌های تجربی جهت کنترل متغیرهای بالقوه گیج‌کننده مانند روشنایی و پیکسلی شدن[۳۲]، انتخاب و/یا اصلاح می‌شوند. در حالی که این رویکرد کنترل‌شده، شناسایی منبع یک اثر مشاهده شده را آسان‌تر می‌کند (به عنوان مثال، تفاوت در قضاوت‌های زیبایی‌شناسی به «شکنندگی[۳۳]» یک تصویر مربوط نمی‌شود)، اما تعمیم‌پذیری دشوار می‌گردد. این مشکلات پیچیده‌تر هم می‌شوند، زیرا ساختمان‌ها به صورت سه بعدی‌اند، دارای حس غوطه‌وری[۳۴]، تعاملی و چندحسی هستند. طیف گسترده‌ای از عوامل زمینه‌ای (برای مثال، سروصدای بیرونی، محیط پیرامونی) و عملکردی (برای مثال، بیمارستان، موزه، مدرسه) را نمی‌توان به اندازهٔ کافی به وسیلهٔ تصاویر به افراد انتقال داد. پیشرفت در واقعیت مجازی پتانسیل کاهش برخی از این مشکلات را دارد، اما هنوز بعید است که بتواند تجربهٔ چندبعدی و چندوجهی معماری را به طور کامل به تصویر بکشد.

چالش دیگر به پویایی زمانی تجارب زیبایی‌شناسانه مرتبط است. بنابراین گذراندن زمان بیشتر در یک ساختمان احتمالاً با تغییراتی در قضاوت‌های زیبایی‌شناسی مرتبط است. اکثر مطالعات پژوهشی، یک تصویر را تنها برای چند ثانیه در اختیار مشارکت‌کنندگان قرار می‌دهند، هرچند که این مسأله به خوبی ثابت شده است که تجارب زیبایی‌شناسی در بازه‌های زمانی طولانی‌تر تغییر می‌کنند. این موضوع هم از نظر روش‌شناسی (مثلاً، شرکت‌کنندگان چه مدت باید یک تصویر را ببینند؟) و هم به لحاظ نظری (چه زمانی می‌توان تجربهٔ زیبایی‌شناسی را با دقت بیشتری اندازه گیری کرد؟ آیا نیاز به قضاوت‌های زیبایی‌شناسی متعدد در مقاطع زمانی مختلف داریم؟) باعث بروز مسائلی می‌شود.

شاید بهترین راه برای رسیدگی به مسائل فوق، انتقال آزمایش‌ها به خارج از محیط آزمایشگاه و به «محیط واقعی» باشد. به جای نمایش دادن تصاویر به افراد، می‌توان داده‌ها را در ساختمان‌ها یا ساختارهای واقعی جمع‌آوری کرد. این رویکرد به شکلی موفق برای سنجش احساس نوستالژی در اماکن تاریخی مورد استفاده قرار گرفته است (Prayag and Del Chiappa 2021). روش‌های نمونه‌گیری تجربه را می‌توان جهت دست‌یابی به قضاوت‌های زیبایی‌شناسی در مقیاس‌های زمانی و مکانی متفاوت با این رویکرد ترکیب کرد. برای مثال، شرکت‌کنندگان می‌توانند در زمان‌ها یا مکان‌های خاصی به یک سری درخواست‌ها در تلفن همراه خود پاسخ دهند.

علاوه بر این، به لطف پیشرفت‌های اخیر در ای‌ای‌جی[۳۵] و

---

[31] MRI

[32] Pixilation

[33] Crispness

[34] Immersive

[۳۵] نوار مغزی، الکتروانسفالوگرافی (Electroencephalography) یا EEG، ثبت فعالیت الکتریکی مغز از طریق نصب الکترودهای سطحی بر روی سر و به صورت غیرتهاجمی می‌باشد.

افان‌آی‌آراس[۳۶] سیّار، پژوهشگران می‌توانند به طور بالقوه رتبه‌بندی‌های رفتاری را با داده‌های عصبی در طیف گسترده‌ای از شرایط ترکیب کنند. تکنیک‌های تصویربرداری سیّار در حال آغاز ارائهٔ بینش‌های جدید در مورد پردازش عصبی در موزه‌های هنری (Kontson et al. 2015) و همکاری در کلاس درس (Dikker et al. 2017) هستند و اکنون در معماری به کار گرفته شده‌اند (Djebbara et al. 2021). اگرچه این داده‌ها ذاتاً «بی‌نظم» هستند، اما نتایج به‌دست‌آمده در این زمینه ممکن است از نظر زیست‌محیطی مرتبط‌تر از نتایج جمع‌آوری‌شده در آزمایشگاه باشند.

عصب‌شناسی معماری یک حوزهٔ بسیار نوپا در میانهٔ یک دهه پیشرفت چشم‌گیر است. این حوزه نشان‌دهندهٔ بخش مهم پژوهش‌های معماری مبتنی بر شواهد است که بر درک ابعاد روان‌شناسی تجربیات انسانی در پاسخ به طراحی معماری تمرکز دارد. بسیاری از جنبه‌های ظریف تجربه معماری و زیبایی‌شناسی با ابزارهای مدرن پژوهشی قابل دست‌یابی هستند که محققان را قادر می‌سازد تا مکانیسم‌های ذهن و مغز را که واسطهٔ تعاملات انسان-معماری است، با دقت بیشتری مشاهده کنند. ما برای فراتر رفتن از رویکردهای توصیفی جهت سنجش فرضیات خاص در مورد چگونگی درک و واکنش افراد از محیط ساخته‌شده آمادگی داریم

.

منابع

- Adams M (2014) Quality of urban spaces and wellbeing. In: Wellbeing and the environment, vol 2. Wiley, pp 249–270
- Barbara A, Perliss A (2006) Invisible architecture: experiencing places through the sense of smell. Skira
- Berman MG, Jonides J, Kaplan S (2008) The cognitive benefts of interacting with nature. Psychol Sci 19(12):1207–1212
- Biederman I (1987) Recognition-by-components: a theory of human image understanding. Psychol Rev 94(2):115
- Bornstein RF, D'agostino PR (1992) Stimulus recognition and the mere exposure efect. J Pers Soc Psychol 63(4):545
- Bowler DE, Buyung-Ali LM, Knight TM, Pullin AS (2010) A systematic review of evidence for the added benefts to health of exposure to natural environments. BMC Public Health 10(456):1–10. https://doi.org/10.1186/147-2458-10-456
- Chang C, Cheng GJY, Nghiem TPL, Song XP, Oh RRY, Richards DR, Carrasco LR (2020) Social media, nature, and life satisfaction: global evidence of the biophilia hypothesis. Sci Rep 10(1):4125. https://doi.org/10.1038/s41598-020-60902-w
- Chatterjee A, Vartanian O (2014) Neuroaesthetics. Trends Cogn Sci 18(7):370–375. https://doi.org/10.1016/j.tics.2014.03.003
- Chatterjee A, Vartanian O (2016) Neuroscience of aesthetics. Ann N Y Acad Sci 1369(1):172–194. https://doi.org/10.1111/nyas.13035
- Choo H, Nasar JL, Nikrahei B, Walther DB (2017) Neural codes of seeing architectural styles. Sci Rep 7(1):40201. https://doi.org/ 10.1038/srep40201
- Coburn A, Vartanian O, Chatterjee A (2017) Buildings, beauty, and the brain: a neuroscience of architectural experience. J Cogn Neurosci 29(9):1521–1531. https://doi.org/10.1162/jocn_a_01146
- Coburn A, Kardan O, Kotabe H, Steinberg J, Hout MC, Robbins A, MacDonald J, Hayn-Leichsenring G, Berman MG (2019) Psychological responses to natural patterns in architecture. J Environ Psychol 62:133–145

---

[۳۶] طیف‌نگاری کارکردی مادون قرمز نزدیک یا fNIRS یک تکنولوژی تصویربرداری کارکردی نوری است که فعالیت عصبی و پاسخ‌های همودینامیک در مغز را اندازه‌گیری می‌کند.

- Coburn A, Vartanian O, Kenett YN, Nadal M, Hartung F, Hayn-Leichsenring G, Navarrete G, González-Mora JL, Chatterjee A (2020) Psychological and neural responses to architectural interiors. Cortex 126:217–241. https://doi.org/10.1016/j.cortex.2020.01.009
- Cooper R, Burton E (2014) Wellbeing and the environmental implications for design. In: Wellbeing and the environment, vol 2. Wiley, pp 653–668
- Dikker S, Wan L, Davidesco I, Kaggen L, Oostrik M, McClintock J, Rowland J, Michalareas G, Van Bavel JJ, Ding M (2017) Brainto-brain synchrony tracks real-world dynamic group interactions in the classroom. Curr Biol 27(9):1375–1380
- Djebbara Z, Fich LB, Gramann K (2021) The brain dynamics of architectural afordances during transition. Sci Rep 11(1):2796. https:// doi.org/10.1038/s41598-021-82504-w
- Dosen AS, Ostwald MJ (2016) Evidence for prospect-refuge theory: a meta-analysis of the fndings of environmental preference research. City, Terri Arch 3(1):4. https://doi.org/10.1186/ s40410-016-0033-1
- Eberhard JP, Patoine B (2004) Architecture with the Brain in Mind. Cerebrum 6(2):71–84
- Eberhard JP (2004) Neuroscience and architecture: the new frontier. Design with spirit. In: Proceedings of the 35th annual conference of the Environmental Design Research Association, pp 2–6
- Ellaway A (2014) The impact of the local social and physical local environment on wellbeing. In: Wellbeing and the environment, vol 2. Wiley, pp 51–68
- Evans GW (2003) The built environment and mental health. J Urban Health: Bull New York Academy Med 80(4):536
- Fich LB, Jönsson P, Kirkegaard PH, Wallergård M, Garde AH, Hansen Å (2014) Can architectural design alter the physiological reaction to psychosocial stress? A virtual TSST experiment. Physiol Behav 135:91–97. https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2014.05.034
- Ibarra FF, Kardan O, Hunter MR, Kotabe HP, Meyer FAC, Berman MG (2017) Image feature types and their predictions of aesthetic preference and naturalness. Front Psychol. https://doi.org/10.3389/ fpsyg.2017.00632NotreDame:UofNotreDameP
- Jacobs J (1992) The death and life of great American cities (Reissue edition). Vintage
- James W (1892) Psychology, briefer course .
- Henry Holt & Company Joye Y (2007) Architectural lessons from environmental psychology: the case of biophilic architecture. Rev Gen Psychol 11(4):305– 328. https://doi.org/10.1037/1089-2680.11.4.305
- Kaplan S (1995) The restorative benefts of nature: toward an integrative framework. J Environ Psychol 15(3):169–182. https://doi.org/ 10.1016/0272-4944(95)90001-2
- Kirk U, Skov M, Christensen MS, Nygaard N (2009) Brain correlates of aesthetic expertise: a parametric fMRI study. Brain Cogn 69(2):306–315. https://doi.org/10.1016/j.bandc.2008.08.004
- Kontson K, Megjhani M, Brantley JA, Cruz-Garza JG, Nakagome S, Robleto D, White M, Civillico E, Contreras-Vidal JL (2015) 'Your Brain on Art': emergent cortical dynamics during aesthetic experiences. Front Hum Neurosci. https://doi.org/10.3389/fnhum. 2015.00626
- Kravitz DJ, Peng CS, Baker CI (2011) Real-world scene representations in high-level visual cortex: It's the spaces more than the places. J Neurosci 31(20):7322–7333
- Kyttä M, Kahila M, Broberg A (2011) Perceived environmental quality as an input to urban infll policy-making. Urban Design International 16(1):19–35. https://doi.org/10.1057/udi.2010.19
- Kyttä M, Broberg A (2014) The multiple pathways between environment and health. In: Wellbeing and the environment, vol 2. Wiley, pp 627–652
- Lavdas AA, Schirpke U (2020) Aesthetic preference is related to organized complexity. PLoS ONE 15(6):e0235257. https://doi.org/10. 1371/journal.pone.0235257
- Mak MY, Thomas Ng S (2005) The art and science of Feng Shui— A study on architects' perception. Build Environ 40(3):427–434. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2004.07.016

- Meidenbauer KL, Stenfors CUD, Bratman GN, Gross JJ, Schertz KE, Choe KW, Berman MG (2020) The afective benefts of nature exposure: what's nature got to do with it? J Environ Psychol 72:101498
- Patra R (2009) Vaastu Shastra: towards sustainable development. Sustain Dev 17(4):244–256. https://doi.org/10.1002/sd.388
- Prayag G, Del Chiappa G (2021) Nostalgic feelings: motivation, positive and negative emotions, and authenticity at heritage sites. J Heritage Tourism. https://doi.org/10.1080/1743873X.2021.18740 00
- Reber R, Schwarz N, Winkielman P (2004) Processing fuency and aesthetic pleasure: is beauty in the perceiver's processing experience? Pers Soc Psychol Rev 8(4):364–382
- Ruggles DH, Boak J (2020) Bonding with beauty: the connection between facial patterns, design and our well-being. In: Urban experience and design. Routledge, pp 40–57
- Spehar B, Wong S, van de Klundert S, Lui J, Cliford CWG, Taylor R (2015) Beauty and the beholder: the role of visual sensitivity in visual preference. Front Hum Neurosci. https://doi.org/10.3389/ fnhum.2015.00514
- Taylor R (2021) The potential of biophilic fractal designs to promote health and performance: a review of experiments and applications. Sustainability 13(2):823. https://doi.org/10.3390/su13020823
- Tyrväinen L, Ojala A, Korpela K, Lanki T, Tsunetsugu Y, Kagawa T (2014) The infuence of urban green environments on stress relief measures: a feld experiment. J Environ Psychol 38:1–9. https:// doi.org/10.1016/j.jenvp.2013.12.005
- Ulrich RS (1993) Biophilia, biophobia, and natural landscapes. The Biophi Hypothe 7:73–137
- Ulrich RS, Simons RF, Losito BD, Fiorito E, Miles MA, Zelson M (1991) Stress recovery during exposure to natural and urban environments. J Environ Psychol 11(3):201–230
- Vartanian O, Navarrete G, Chatterjee A, Fich LB, Leder H, Modroño C, Nadal M, Rostrup N, Skov M (2013) Impact of contour on aesthetic judgments and approach-avoidance decisions in architecture. Proc Natl Acad Sci 110(Supplement 2):10446–10453
- Vartanian O, Navarrete G, Chatterjee A, Fich LB, Gonzalez-Mora JL, Leder H, Modroño C, Nadal M, Rostrup N, Skov M (2015) Architectural design and the brain: efects of ceiling height and perceived enclosure on beauty judgments and approach-avoidance decisions. J Environ Psychol 41:10–18. https://doi.org/10.1016/j. jenvp.2014.11.006
- Vitruvius Pollio M (1960) Vitruvius: the ten books on architecture (MH Morgan, Trans.). Dover Publications
- Yu Y, Romero R, Lee TS (2005) Preference of sensory neural coding for 1/f signals. Phys Rev Lett 94(10):108103