نقش نرم‌افزارهای دست‌نگاری رایانه‌ای (CAS) در مرحلهٔ ایده‌پردازی فرایند طراحی

حمیدرضا شریف[1]

دانشیار دانشکدهٔ هنر و معماری، دانشگاه شیراز

نگین عبداله‌پور رفیعی[2]

دریافت: ۱۲ اردیبهشت ۱۴۰۰
پذیرش: ۲۹ مهر ۱۴۰۰
(صفحهٔ ۳۰- ۱۹)

کلیدواژگان: ترسیم با دست آزاد، ترسیم به کمک رایانه، تفکر طراحی معماری، کروکی، خلاقیت.

چکیده

اهمیت ترسیم با دست، از یک سو، و کاربرد روزافزون نرم‌افزارهای رایانه‌ای در مراحل مختلف فرایند طراحی معماری، از سوی دیگر، انتخاب شیوه‌های مناسب طراحی را به موضوعی بحث‌برانگیز تبدیل کرده است. با وجود پیشرفت روزافزون رایانه‌ها و نرم‌افزارهای طراحی، هنوز استفاده از دست‌نگاره‌ها در ایده‌پردازی بین طراحان رایج است. امروزه ابزارها و نرم‌افزارهای مختلف CAS برای دست‌نگاری، با هدف از بین بردن شکاف میان ایده‌پردازی و کاربرد رایانه، به بازار آمده است، به‌طوری‌که گرایش برخی از طراحان بخصوص دانشجویان به استفاده از آنها مشهود است. هدف در پژوهش حاضر بررسی امکان جانشینی نرم‌افزارهای CAS با دست‌نگاره و تأثیر آنها بر تفکر خلاق طراح برای ایده‌پردازی بوده است. برای این منظور، با استفاده از روش توصیفی- تحلیلی، تأثیر دست‌نگاره‌ها و نرم‌افزارهای CAS، به‌مثابهٔ عوامل بیرونی مؤثر بر مهارت شناختی طراحی، مقایسه می‌گردد. بر طبق نتایج، با وجود اینکه تلاش‌های بسیار صورت‌گرفته در زمینهٔ توسعهٔ نمونه‌های پیشرفته از ابزارها و نرم‌افزارهای CAS، که هم از ویژگی‌های مثبت دست‌نگاری بهره‌مند هستند و هم در آنها از قابلیت‌های تکنولوژی استفاده می‌شود، اما آنها هنوز در فرایند ایده‌پردازی خلاق قابل‌رقابت با دست‌نگاره‌ها نیستند و ارجحیت دست‌نگاره‌ها حفظ شده است.

مقدمه

با پیشرفت روزافزون رایانه‌ها، نرم‌افزارهای مختلف توانسته‌اند به مراحل مختلف فرایند طراحی معماری راه یابند. شاید نتوان نقش مثبت رایانه‌ها را در برخی از مراحل مانند ارزیابی و ارائهٔ طراحی انکار کرد، اما هنوز استفاده از دست‌نگاره‌ها[3] در مراحل اولیهٔ طراحی و ایده‌پردازی بین طراحان رایج است و یکی از مشکلاتْ استفاده نکردن برخی طراحان از رایانه در مراحل اولیهٔ طراحی است. امروزه نرم‌افزارهای CAS[4] زیادی، با هدف کمک به طراحان و از بین بردن این جدایی، به بازار آمده است. هرچند نقش مثبت رایانه‌ها در فرایند طراحی انکارناپذیر است، اما به نظر می‌رسد در مراحل اولیهٔ طراحی، که با هدف پردازش ایده است، استفاده از رایانه مانعی برای

۱. نویسندهٔ مسئول
hsharif@shirazu.ac.ir
۲. کارشناس ارشد معماری، دانشکدهٔ هنر و معماری، دانشگاه شیراز
n.abdolahpoor@shiraz.ac.ir
3. Sketches
4. Computer Aided Sketching

شاپا: X ۸۷۰-۱۶۸۳

پرسش تحقیق

آیا ابزارها و نرم‌افزارهای CAS را می‌توان جانشین مناسبی برای دست‌نگاره در فرایند خلاقانهٔ ایده‌پردازی دانست؟

تفکر خلاقانهٔ طراح محسوب می‌گردد. نظر به گرایشی که دانشجویان معماری به استفاده از این برنامه‌ها از همان ابتدای روند طراحی دارند، سؤال پژوهش این است که آیا ابزارها و نرم‌افزارهای CAS را می‌توان جانشین مناسبی برای دست‌نگاره در فرایند خلاقانه ایده‌پردازی دانست؟ در این پژوهش که ماهیتی کیفی دارد تلاش بر این است که، با شیوهٔ توصیفی- تحلیلی و با استفاده از یافته‌های اندیشمندان روان‌شناسی شناختی و طراحی‌پژوهی در زمینهٔ خلاقیت و تفکر خلاق، در بررسی نرم‌افزارهای CAS موجود و تأثیر دست‌نگاره‌های دستی و رایانه‌ای در ایده‌پردازی، چشم‌انداز روشن‌تری برای کارایی ابزار و نرم‌افزارهای موجود عرضه شود. این بررسی به تحلیل دقیقی از شناخت و نقش دست‌نگاره‌ها در تفکر خلاق طراح برای ایده‌پردازی نیاز دارد.

۱. نرم‌افزارهای رایانه‌ای و فرایند طراحی معماری

از زمان ورود رایانه‌ها به فرایند طراحی معماری، بررسی زیادی در خصوص به‌کارگیری و مفید بودن رایانه در طراحی معماری انجام شد. شروع آن را می‌توان بررسی براون و هارتون[۵] دانست که با بررسی انواع مختلف ترسیم در روند طراحی، به تعیین ویژگی‌ها و تأثیر سازندهٔ نرم‌افزارهای رایانه‌ای پرداختند. در ابتدا با توسعهٔ نرم‌افزارهای CAD، برخی مانند درووِ[۶] استفاده و کارآمدی رایانه را مانند دست‌نگاره و ترسیم‌های دستی در فرایند طراحی قلمداد می‌کردند؛ اما برخی دیگر مانند راهول[۷] بعد از بررسی نرم‌افزارهای رایانه‌ای موجود، جانشینی نرم‌افزارهای رایانه‌ای را با دست‌نگاره غیرممکن می‌دانستند.

هاشم‌نژاد و همکاران[۸] در پژوهش میدانی خود، که تأثیرات نرم‌افزار Sketch up را آزموده‌اند، نشان می‌دهند که این نرم‌افزار در جایگاه ابزار طراحی نتوانسته جانشین مناسبی در مراحل اولیهٔ طراحی باشد. مارتنز و براون[۹] به بررسی دو گروه از دانشجویان، از دو دانشگاه مختلف اروپایی، در حین طراحی با یک موضوع یکسان پرداختند. آنها طراحی را در گروه اول با ابزارهای کاملاً دیجیتال (نرم‌افزار Sketch up) و در گروه دوم با ابزارهای سنتی (قلم و کاغذ) شروع و در انتها با نرم‌افزار CAD آن را عرضه کردند. مطالعات آنها نمایانگر تفاوت مدت زمان طراحی بین دو گروه بود. گروه اول پنج روز اما گروه دوم تقریباً پنج هفته مشغول طراحی بودند. از دلایل این اختلافْ صرف زمان گروه دوم در استفاده از دو ابزارهای دستی دست‌نگاری برای ایده‌پردازی

۵. نک:
A.G.P. Brown & F.F. Horton. "Computer Aids for Design Development".

۶. نک:
R. Daru, "Sketch as Sketch Can-Design Sketching with Imperfect Aids and Sketchpads of the Future".

۷. نک:
K. Rauhala, "Playing Games: The Role of Computers in Sketching".

۸. نک: هاشم هاشـــم‌نژاد و همکاران، «تأثیرات نرم‌افزار Sketch up بر فرایند ترسیم اسکیس‌های معماری».

۹. نک:
B. Martens & A. Brown, "Computer Aided Architectural Design Futures".

و عرضه توسط CAD بود. آنها چند روز به دست‌نگاری در محل پرداختند و بیشتر زمان خود را صرف بررسی و ارزیابی گزینه‌های مختلف طراحی کردند. درحالی‌که گروه اول همهٔ وقت خود را در آتلیه با رایانه‌ها مشغول کار بودند و اغلب اولین ایده‌ها را به طرح نهایی تبدیل می‌کردند. در فیلم ضبط‌شده از آتلیهٔ طراحی مشاهده می‌شد که گروه اول، در ابتدای کار، در آتلیه در جستجوی کاغذ برای رسم ایدهٔ اولیهٔ خود بودند و این حاکی از تمایل آنها به ترسیم دست‌نگاره‌ها بود. از طرف دیگر، با بررسی روشن شد که کار با نرم‌افزار موجب کاهش تمرکز در تفکر طراحی می‌شود. از پژوهش‌های دیگری که با این هدف بین گروه‌های مختلف معماران انجام شد، نتایج تقریباً مشابهی به‌دست آمد[۱۰].

فیلیپ و همکارانش[۱۱] مشکل نرم‌افزارها را استفاده از سیستم WIMP[۱۲] بیان می‌کنند و آن را در تضاد با دست‌نگاره‌ها و مزیت‌های آن می‌دانند و به باور جانسون نرم‌افزارهای CAS باید تقلیدی از دست‌نگاره‌ها باشند[۱۳]. محققان دیگری با بررسی فرایند طراحی و دست‌نگاره‌ها، به ساخت نرم‌افزارهای آزمایشیCAS مشغول شدند که در این نمونه‌ها سعی شده محیطی شبیه به ابزار ترسیم‌های دست آزاد فراهم شود تا علاوه بر ویژگی‌های مثبت دست‌نگاره‌ها، از امکانات رایانه نیز بهره بگیرند. در این میان می‌توان به گروه صنعتی دانشگاه واشنگتن، مارک گراس و الن دوو اشاره کرد که در این زمینه پژوهش‌های گسترده‌ای انجام داده‌اند و چند نمونهٔ آزمایشی نیز ساختند[۱۴]. از نمونه‌های دیگر می‌توان به نرم‌افزارهایی اشاره کرد که دانشگاه MIT درکارگاه علوم رایانه عرضه کرده است.[۱۵] ترسیم در این برنامه‌ها با کمک قلم الکترونیکی و صفحهٔ هوشمند و با تقلید از ابزارهای دست آزاد انجام می‌شوند. در پژوهش تانگ و همکارانش[۱۶] که میان دو گروه از طراحان، یکی ترسیم با ابزارهای سنتی قلم و کاغذ و دیگری به کمک نرم‌افزارهایی که به تقلید از دست‌نگاری انجام شد، نتیجه گرفتند که تفاوت محسوسی بین عملکرد دو گروه قابل‌مشاهده نیست و استفاده از این برنامه‌ها مشکلی در روند طراحی ایجاد نمی‌کنند.

انسان سه‌بعدی فکر می‌کند[۱۷] و طراحان در فرایند طراحی به‌شدت به استفاده از مدل‌های سه‌بعدی متکی هستند[۱۸]، پژوهش‌هایی انجام شده تا سیستم‌هایی که ترسیم‌های دوبعدی طراحان را به اشکال سه‌بعدی تبدیل می‌کنند[۱۹]، بتوانند به طراحان کمک کنند. ایجاد ارتباط بین نرم‌افزارهای CAS و نرم‌افزارهای نمایش سه‌بعدی، که اغلب با نام CAGM[۲۰] طـرح شده‌اند، و استفاده از مزیت‌های هر دوی آنها از سوی پژوهشگران بررسی گردیده و به شاخه‌ای فعال در بین پژوهش‌های نرم‌افزارهای CAS تبدیل شده است[۲۱].

بسیاری از پژوهشگران روش‌های شناخت دست‌نگاره را عرضه کرده‌اند[۲۲] و با برخی سیستم‌های CAS مانند CIGRO می‌توان مدل‌های سه‌بعدی از دست‌نگاره‌های طراحان را تولید کرد[۲۳]. علاوه بر نمایش سه‌بعدی ایده‌ها، کار با مدل‌های فیزیکی از ایده‌های اولیه، برای طراحان مفیدتر به نظر می‌رسید، از نمونه‌های اولیهٔ نرم‌افزارهای CAD که مخصوص ساخت مدل‌های فیزیکی از ترسیم هستند، می‌توان به Sketch–N–Make اشاره کرد[۲۴]. با پیشرفت‌های حاصل‌شده در سیستم‌های شناختی دست‌نگاره‌های دست آزاد[۲۵]، نرم‌افزارهایی طراحی شده‌اند که می‌توانند از دست‌نگاره‌های طراحانْ مدل‌های سه‌بعدی فیزیکی تهیه کنند[۲۶]. از مشکلات ساخت این نرم‌افزارها شناخت دست‌نگاره‌هاست؛ زیرا آنها شامل ترسیم‌های هندسی و غیرهندسی هستند که تشخیص آن‌ها با رایانه مشکل است[۲۷].

از نمونه‌های آزمایشی دیگر برنامه‌های CAS می‌توان به برنامه Sketch painter اشاره کرد. سان و همکاران با بررسی دست‌نگاره‌های طراحان و رابطهٔ آنها با طرح نهایی متوجه شدند که این دست‌نگاره‌ها بسیار پراکنده و نامنظم هستند[۲۸]. طراح مدام از یک ایده به ایدهٔ دیگر می‌رود و گاه

۱۰. نک:
Z. Bilda & H. Demirkan, "An Insight on Designers' Sketching Activities in Traditional Versus Digital Media"; R. Ibrahim & F. PourRahimian, "Comparison of Cad and Manual Sketching Tools for Teaching Architectural Design"; C. Stones & T. Cassidy, "Comparing Synthesis Strategies of Novice Graphic Designers Using Digital and Traditional Design Tools".

۱۱. نک:
J. Farrugia Philip, et al, "Drawing Standards for Early Design: Where Do We Stand?".

12. Windows Icon Menus Pointing Device

۱۳. نک:
G. Johnson, et al, "Computational Support for Sketching in Design: A Review".

14. Digital Clay, The Electronic Cocktail Napkin Project, Gesture Modeling, Sketch VR

15. Sketch Understanding

۱۶. نک:
H.H. Tang, et al, "Comparing Collaborative Co-Located and Distributed Design Processes in Digital and Traditional Sketching Environments".

۱۷. نک:
J.H. Israel, et al, "Investigating Three-Dimensional Sketching for Early Conceptual Design—Results from Expert Discussions and User Studies".

حرکت برگشتی دارد. در این برنامه سعی شده، با استفاده از ویژگی‌های مثبت دست‌نگاره‌ها، ساختار روشن‌تری برای نگهداری آنها در اختیار طراح قرار گیرد. به این منظور، تئوری «درخت بازه‌ای خلاق»[۲۹] پیشنهاد گردید. در این تئوری هر ایدهٔ جدیدی به‌منزلهٔ عملی خلاق شناسایی می‌شود و ایجاد یک گره می‌کند. تغییرات و اصلاحات آن، با عنوان فعالیت‌های خلاقانه، از آن گره منشعب می‌شوند که درمجموع ساختاری روشن و قابل‌مشاهده از روند تکامل ایده‌ها را در اختیار طراح قرار می‌دهد. با توجه به اینکه فرایند ترسیمی فرایندی شخصی است، در این برنامه سعی شده تا جای ممکن کاربر کنترل برنامه را در دست بگیرد. طراح در هر مرحله می‌تواند با کلیک کردن روی هر بازه‌ای، به آن ایده برگردد و آن را با بقیه مقایسه و اصلاح کند. آزمایش این برنامه بر روی گروهی از معماران اثرهای مثبت آن را مشخص کرد. طبق گزارش‌های این بررسی، طراحان هنگامی که به بن‌بست برخورد می‌کنند و دست از کار می‌کشند، به سراغ این ساختار می‌روند، که این کار به آنها کمک بسیاری می‌کند. از ویژگی‌های دیگر این برنامه می‌توان به بازبینی سوابق طرح، قرار گرفتن طرح در بستر طرح، و ارتباط داشتن با مجموعه‌ای از اطلاعات ضروری مورد نیاز طراح در هنگام طراحی مانند ابعاد، اندازه‌ها، و استانداردها اشاره کرد[۳۰].

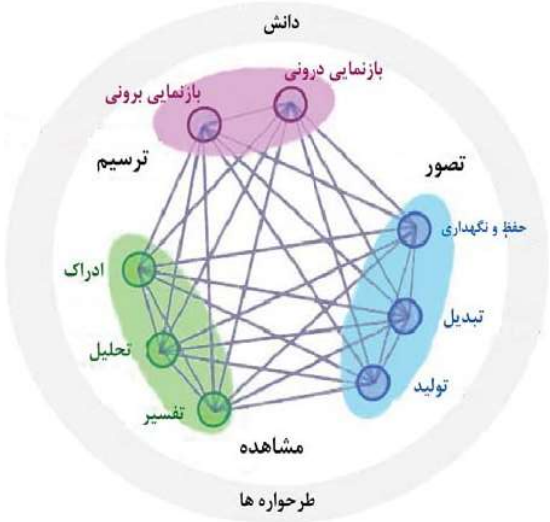
نسل جدیدی از نرم‌افزارهای CAS به تقلید از دست‌نگارهٔ دستی و با هدف از بین بردن مشکلات نرم‌افزارهای ترسیمی در فرایند ایده‌پردازی تولید شده است. هرچند تلاش شده که در آنها محیطی شبیه به ابزارهای دست‌نگاره دستی مهیا گردد، تا علاوه بر استفاده از قابلیت‌های تکنولوژی، شرایط سازندهٔ دست‌نگاره‌ها را نیز داشته باشند، اما به نظر می‌رسد که در مقایسه با دست‌نگارهٔ دستی در مرحلهٔ ایده‌پردازی، هنوز تفاوت‌هایی در سازوکارهای ذهنی و مهارت‌های شناختی خلاقانهٔ طراح وجود دارد که عملکرد تفکر خلاقانه طراح را تحت تأثیر قرار می‌دهند.

۲. دست‌نگاری و تفکر خلاق طراحی

طبق پژوهش‌های انجام‌شده در مرکز «طراحی خلاق و سیستم آموزش هوشمند»[۳۱] دربارهٔ خلاقیت در طراحی، مشخص گردید که عوامل درونی[۳۲] و برونی[۳۳] بسیاری در طراحی خلاق دخالت دارند. یکی از عوامل مؤثرْ توانایی «استدلال بصری»[۳۴] است.[۳۵]

پارک و کیم[۳۶] با بررسی فعالیت‌های طراحان در طول فرایند طراحی، استدلال بصری را فرایندی تکرارشونده بین مشاهده، تصور، و ترسیم تعریف می‌کنند. تصور به‌منظور کاوش در ذهن، ترسیم به‌منظور نمایش افکار ذهنی، و مشاهده به‌منظور آنالیز افکار صورت می‌گیرد که این خود شامل مراحل ادراک[۳۷]، تحلیل[۳۸]، تفسیر[۳۹]، تولید[۴۰]، تبدیل[۴۱]، حفظ و نگهداری[۴۲]، و همچنین بازنمایی درونی[۴۳] و بازنمایی برونی[۴۴]است. در مدلی که آنها ارائه داده‌اند (ت ۱)، تصورات ذهنی تابع دو نوع تفکر بصری و تفکر ترسیمی است.

موضوع تفکر بصری به‌صورت عمده از مطالعات خلاقیت در روان‌شناسی توسعه یافته است. از نظر شناختی، منظور از تفکر بصری همهٔ عملیات ذهنی مانند ادراکات حسی، حافظه، تفکر،



ت ۱. مدل استدلال بصری در طراحی، مأخذ:
Park & Kim. "Visual Reasoning and Design Processes".

۱۸. نک:
M. Cölln, et al, "Comparing Two Types of Engineering Visualizations: Task-Related Manipulations Matter".

۱۹. نک:
M. Keshavarzi et al, "Sketchopt: Sketch-Based Parametric Model Retrieval for Generative Design". 20. Computer Aided Geometric Modelling

۲۱. نک:
D.G. Fernández-Pachecoet al, "An Agent-Based Paradigm for Free-Hand Sketch Recognition", PP. 592-603.

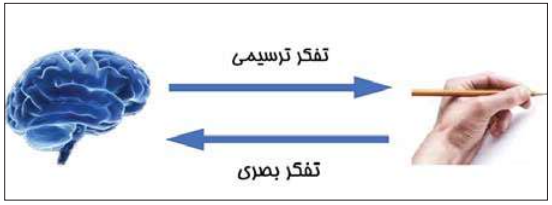
۲۲. نک:
L.B. Kara & Thomas F. Stahovich, "An Image-Based, Trainable Symbol Recognizer for Hand-Drawn Sketches"; A.Ch. Long, et al, "Visual Similarity of Pen Gestures"; D. Rubine, "Specifying Gestures by Example"; J.O. Wobbrock, et al, "Gestures without Libraries, Toolkits or Training: A $1 Recognizer for User Interface Prototypes".

و یادگیری است که در دریافت، ذخیره، و پردازش اطلاعات دخیل هستند[۴۵]. تفکر بصری تفکری است که در آن از مشاهده و تصور استفاده می‌شود. تفکر ترسیمی فرایند ذهنی است که از تصور و ترسیم شکل می‌گیرد و نحوهٔ تفکر و بیان آن به کمک ترسیم را بیان می‌کند (ت ۲). تکامل ایده‌های طراحی حاصل تعامل میان تفکر و دست‌نگاره است.

در معماری معمولاً تفکر ترسیمی در مراحل ایده‌یابی و ایده‌پردازی برای دستیابی به راه حل بهینه استفاده می‌شود. ایده‌پردازی که گاه پیچیده و مبهم است، دست‌نگاره‌ها به‌منزلهٔ منابع مفید و از دیدگاهی دانش بالقوه‌ای هستند که طراحان به کار می‌برند[۴۶]. دست‌نگاره‌ها در این مرحله از طراحی از اصلی‌ترین ابزار تفکر هستند که علاوه بر برقراری ارتباط طراح با دیگران، به او در ثبت، روشن‌سازی[۴۷]، و درک بهتر افکار و ایده‌ها[۴۸] کمک می‌کنند. در این مرحله از طراحی، اغلب طراحان، با مراجعه به دست‌نگاره‌های خود، فرایند طراحی را کنترل و بازبینی و گاه ایده را با دست‌نگاره یا ترسیم‌های ناتمام تفسیر و اصلاح می‌کنند[۴۹]. و درواقع «طراح درگیر گفتگویی ترسیمی از جنس طراحی است»[۵۰] یا همان‌گونه که لاوسون بیان می‌کند: «طراح با طرح سخن می‌گوید»[۵۱].

حفظ، نگهداری، و ثبت روند فکری طراح از ابتدا تا انتها از ضروریات برای طراح است و استفاده از دست‌نگاره‌ها می‌تواند توالی مراحل مختلف طراحی را ثبت کند و در یک نظام منطقی در اختیار طراح قرار دهد.[۵۲] برخی صاحب‌نظران دست‌نگاره‌ها را به «حافظهٔ خارجی»[۵۳] برای طراح تشبیه کرده[۵۴] و برخی آن را «دست‌نگاره‌های ذخیره‌ای»[۵۵] نامیده‌اند.[۵۶] گلدشمیت و همکاران معتقدند که دست‌نگاره علاوه بر داشتن نقش حافظهٔ خارجی برای طراح، به استدلال و درک بصری موضوع و هدف طراحی نیز کمک می‌کند.[۵۷] آنها استدلال بصری را عاملی ضروری در طراحی خلاق می‌دانند که می‌تواند فرایند استدلال بصری در طراحی را تسهیل کند.

هرچند ارتباط دست‌نگاره با تفکر طراحی بررسی شده اما، از یک طرف، بسیاری از انواع فعالیت‌ها در فرایند طراحی و از طرف دیگر، دست‌نگاره‌های متنوع مورد استفادهٔ طراحان[۵۸] باعث پیچیدگی موضوع شده است. تفکر طراحی نیاز به بیان بصری متنوع دارد. خطوط ترسیمی علاوه بر بیان روند طراحی، هدف و نیت طراح را نشان می‌دهند. این بیان را می‌توان به چهار جفت ویژگی متضاد، یعنی انتزاعی- واقعی، خصوصی- عمومی، ذهنی- عینی، و دیاگرامی- نمایشی، توصیف کرد، که نحوهٔ استفاده از تنوع ترسیمی را مشخص می‌کنند[۵۹]. دست‌نگاره‌های انتزاعی و واقعی هرکدام در واکنش نسبت به دو نوع «تفکر ذهنی» و «تفکر عینی» شکل می‌گیرند؛ تفکر ذهنی که به‌دنبال ساختار، نظم، معانی پنهان و کسب تجربه است، تلاشی برای مقایسهٔ تجربه کسب‌شده با تجربیات دیگر است و مبانی شناختی طراح را نسبت به واقعیت تفسیر می‌کند، درحالی‌که تفکر عینی به‌دنبال تجربهٔ مستقیم از محیط و فارغ از عناصر تشکیل‌دهنده یا واکنش شخصی نسبت به آنهاست. دست‌نگاره‌های انتزاعی از نوع اکتشافی هستند و بیشتر در حوزهٔ خاص تفکر خلاق طراح استفاده می‌شوند. با این توصیف که «دست‌نگاره‌ها نوعی تندنویسی گرافیکی و دیاگرام‌گونه هستند که با استفاده از آنها امکان نقد مجموعه از متغیرهای مؤثر مهیا می‌شود»، می‌توان بیان کرد دست‌نگاره‌های واقعی از نوع توصیفی هستند و بیشتر در روند عمومی طراحی برای نمایش تصمیم‌های طراح استفاده می‌شوند[۶۰]. طراح باید نسبت به نوع تفکر خود هوشیار باشد و بتواند تشخیص دهد چه زمانی از چه نوع دست‌نگاره و ابزاری استفاده کند. همچنین تفکر فعال



ت ۲. چرخهٔ دست‌نگاری، طرح و ترسیم: حمیدرضا شریف.

۲۳. نک:
Sang-Uk Cheon, et al, "A Procedural Method to Exchange Editable 3d Data from a Free-Hand 2d Sketch Modeling System into 3d Mechanical Cad Systems"; M. Contero, et al, "Cigro: A Minimal Instruction Set Calligraphic Interface for Sketch-Based Modeling".

۲۴. نک:
M. Bloomenthal et al, "Sketch-N-Make: Automated Machining of Cad Sketches".

۲۵. نک:
P. Xu & Chaitanya K. Joshi & Xavier Bresson, "Multigraph Transformer for Free-Hand Sketch Recognition".

۲۶. نک:
H. Lipson & M. Shpitalni, "Correlation-Based Reconstruction of a 3d Object from a Single Freehand Sketch"; M. Masry & D. Kang & H. Lipson, "A Freehand Sketching Interface for Progressive Construction of 3d Objects"; Y. Oh, et al, "The Designosaur and the Furniture Factory".

۲۷. نک:
Farrugia Philip, et al, ibid.

و خلاق ناشی از ائتلاف و یکپارچگی عینیت و ذهنیت است. این دو به هم معنی می‌دهند و همدیگر را تقویت می‌کنند[۶۱]. با پیشرفت رایانه‌ها و ورود آنها به فرایند طراحی، معماران در ابتدا ایدهٔ خود را به‌صورت دست‌نگاری و پس از شکل‌گیری نسبی ایده، آن را با ابزارهای CAD دوباره ترسیم می‌کنند، که این موجب جدایی میان تفکر خلاق (که اغلب با دست‌نگاره نمود می‌یابد) از بقیهٔ مراحل طراحی (که به کمک رایانه‌ها ترسیم می‌شود[۶۲]) شده است.

۳. دست‌نگاری و مهارت‌های شناختی تفکر خلاق

مهارت‌های شناختی خاص مانند روانی و سیالی[۶۳]، سازندگی و آفرینندگی[۶۴]، انعطاف‌پذیری[۶۵]، اصالت و تازگی[۶۶]، گسترش[۶۷]، و سامان‌دهی[۶۸] زمینه‌ساز رفتارهای خلاقانهٔ حل مسئله هستند. تفکر خلاق در طراحی شامل مواردی مانند حقیقت‌یابی[۶۹]، مسئله‌یابی[۷۰]، ایده‌یابی[۷۱]، راه حل‌یابی[۷۲]، و مقبولیت‌یابی[۷۳] است[۷۴]. هرچند این مهارت‌ها ویژگی‌های شخصیتی و درونی هستند، اما عوامل برونی نقش عمده‌ای در خلاقیت دارند.[۷۵] با بررسی دست‌نگاره‌ها، به‌منزلهٔ بخشی از عوامل برونی اثرگذار بر تفکر خلاق، می‌توان نقش عمدهٔ آنها را در ایده‌پردازی تشخیص داد.

۳. ۱. روانی و سیالی

روانی و سیالی بیانگر سرعت و سهولت استفاده از اطلاعات ذخیره‌شده است. بینش ذهن نوعی بینش درونی است که تصورات را فراتر از مرزهای طبیعی زمان و مکان شکل می‌دهد، دستکاری، و دگرگون می‌کند. این تصورات اغلب مبهم و غیرواقعی هستند. پندارها و تصاویر اغلب به‌طور خودانگیخته در واکنش به محرک‌های حسی فراخوانی یا پدیدار می‌شوند و می‌توانند به‌طور ناگهانی و به‌سهولت از ضمیر هشیار انسانْ مفقود یا به‌صورتی دیگر در جریان سیال ذهن جانشین شوند[۷۶] یا جزئیات آنها در یک الگوی ساختاری قرار گیرند و با مختصرسازی بصری در حافظه ذخیره شوند[۷۷].

طراح به‌منظور جلوگیری از فراموشی تفکر خود، به ثبت راحت و سریع اطلاعات، افکار، و ایده‌های خود بدون در نظر گرفتن قاعده و جزئیات نیاز دارد. دست‌نگاره‌های بسیار سریع و آزادانه به طراح برای ثبت ایده‌ها به‌منظور استفاده از آنها در مراحل بعدی و بررسی گزینه‌های مختلف طراحی کمک می‌کنند.[۷۸]

هنگامی که طراح ایده‌ای آنی به ذهنش برسد یا خیلی سریع تصمیم خاصی اتخاذ کند، او طرح مختصر و کلی از چیزی که در ذهن دارد را به‌صورت دست‌نگاره ترسیم می‌کند تا بتواند افکارش را ثبت و در طی فرایند طراحی آن را ارزیابی و در صورت لزوم اصلاح کند یا تکامل دهد[۷۹]. بنابراین طراحی را نوعی گفتگویی ادامه‌دار از جنس ترسیم، در غالب چرخه‌ای میان خلق ایده، ادراک، ارزیابی، تفسیر، و خلق مجدد ایده‌ها تعریف می‌کنند.[۸۰] در این چرخه است که ذهن، دست، و چشم هماهنگ و در ارتباط با هم عمل می‌کنند.[۸۱] از نظر تئوری، اطلاعاتی که در یک چرخهٔ جریانی قرار می‌گیرد، فرصت بیشتری برای تغییر دارند،[۸۲] اما موفقیت در ترسیمْ زمانی حاصل می‌شود که چرخهٔ ترسیم به‌درستی و با هماهنگی کامل عمل کند؛ به این معنا که سرعت انتقال اطلاعات از مغز به دست، با سرعت حرکت دست در ایجاد تصویر، انتقال اطلاعات از تصویر به چشم، و از چشم به مغز مطابقت و هماهنگی داشته باشد (ت ۲). فرایند تفکر تا وقتی که با تأثیرات دیگر مختل نشود، خودکار، چابک، و ناخودآگاه است، اما با قرار گرفتن رایانه در این چرخهٔ سریع، ماهیت تعامل پردازش ذهن و عمل ترسیم طراح تغییر می‌کند. دست و ذهن افزون بر خلق تصاویر ذهنی، درگیر انتقال داده‌ها به رایانه می‌شوند. تصویر به جای ترجمهٔ مستقیم افکار ذهنی طراح، ابتدا به زبان رایانه ترجمه و پس

۲۸. نک:
L. Sun, et al, "Creative Segment: A Descriptive Theory Applied to Computer-Aided Sketching".
29. Creative Segment Tree

۳۰. نک:
Sun, et al, ibid; P. Yuan, et al, "Experimental Study on the Associations among Sketches Based on Design Cognition".
31. Creative Design and Intelligent Tutoring Systems

۳۲. نک:
Yong Se Kim & Byung Gu Kang, "Personal Characteristics and Design-Related Performances in a Creative Engineering Design Course".

۳۳. نک:
H. Casakin & A. Wodehouse, "A Systematic Review of Design Creativity in the Architectural Design Studio".
34. Visual reasoning

۳۵. نک:
Yong Se Kim & Mi Hyun Kim & Sun Tai Jin, "Cognitive Characteristics and Design Creativity".

۳۶. نک:
Jung Ae Park & Yong Se Kim., "Visual Reasoning and Design Processes".
37. Perception
38. Analysis
39. Interpretation

از فرایند پردازش رایانه‌ای، به تصویری الکترونیکی تبدیل می‌شود[۸۳]، که نتیجهٔ آن اختلال در چرخهٔ سریع میان تفکر و ترسیم خواهد بود (ت ۳).

۳. ۲. سازندگی و آفرینندگی

سازندگی و آفرینندگی به‌مثابهٔ ابزارهای مکاشفه و جستجو برای یافتن هستند. هنگام دست‌نگاری، بین چشم، مغز، و دست برای درک جزئیات از جنبه‌های مختلف بخصوص برای مقایسه، شبیه سازی بصری، و تحلیل موضوع ارتباط بهتری روی می‌دهد.

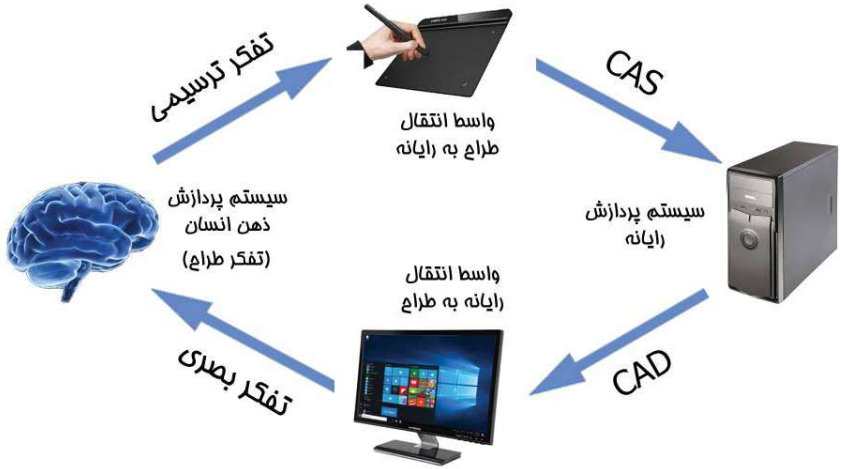
برای شبیه‌سازی بصری، طراح باید به مجموعه‌ای از حافظهٔ بصری دسترسی داشته باشد. یادآوری از طریق دست‌نگاره‌های حاصل از نمونه‌های مشابه موجب بازیابی حافظه در مواقع لزوم می‌شود.[۸۴] غنای این حافظه به درک بصری فعال و پرورش‌یافته بستگی دارد. به همین دلیل معماران را به جای دیدن عکس، به دست‌نگاری تشویق می‌کنند[۸۵].

با دست‌نگاره و ترسیم تصورات، نوعی تعامل بین ذهن و عمل به‌وجود می‌آید، تصاویر ذهنی قابل‌رؤیت، بازیابی، و دستخوش تغییر می‌شوند، جزئیات آشکارشده که خود موجب ذهن‌کاوی برای توسعه و شفاف‌سازی ایده‌ها می‌شود، با استفاده از مجموعه‌ای از ذهن‌کاوی‌ها در کنار هم، رشته‌ای از افکار بدیع ثبت می‌گردد و فرصت مقایسه، ارزیابی، و اصلاح مهیا می‌شود.[۸۶] این نکته از ویژگی دست‌نگاره است که اغلب نرم‌افزارهای رایانه‌ای فاقد آن هستند، هنگام ترسیم جدید با رایانه، ترسیم‌های گذشته حذف یا از دید مخفی می‌شوند و نمی‌توان توالی تفکر طراحی و ایده‌ها را به‌طور هم‌زمان مشاهده و مقایسه کرد[۸۷].

در گونه‌ای از مقایسه، طراح نمونهٔ مشابه موجود را با طرح خود مقایسه می‌کند.[۸۸] مقایسهٔ تطبیقی یکی از توانایی‌های عمومی انسان است که در طراحی و هنر اهمیت زیادی دارد. این مقایسه به طراح کمک می‌کند تا با سرعت بیشتری به تکامل و بهبود ایده‌ها بپردازد. قدرت فرد برای سازندگی و آفرینندگی به توانایی او در تشخیص نتایج حاصل از مقایسه بستگی دارد؛ این یعنی طراح بتواند، از میان نمونه‌های مشابه، موارد غیرمنتظره را کشف کند و از طرفی، از میان نتایج مقایسه و نتایج واقعی دیگری، که قبلاً دیده، شباهت‌هایی را تشخیص دهد[۸۹] و از نکات مثبت آنها الگوبرداری و با مشاهدهٔ مشکلات طرح‌های گذشته، از تکرار آنها دوری گزینند[۹۰]. از طرف دیگر، دست‌نگاره از ایده‌ها باعث خلق و آفرینش ایده‌ها به‌صورت تصاعدی می‌شوند؛ چنانچه لازیو بیان می‌کند اگر از هر طرح تنها دو نکته حاصل شود، رشد ایده‌ها شگفت‌انگیز خواهد بود[۹۱].

۳. ۳. انعطاف‌پذیری

انعطاف‌پذیری شامل توانایی برای غلبه بر موانع فکری و یافتن راه‌های متفاوت است. در مطالعات حوزهٔ آموزش تفکر خلاق و طراحی خلاق به ضرورت ویژگی‌هایی مانند آزادی و انعطاف‌پذیری تأکید شده است. رفتارهایی مانند آزادی در کسب تجربه‌های درونی و بیرونی، تحمل ابهام، بی‌نظمی، تمایل شدید



ت ۳. چرخهٔ ترسیم با رایانه، طرح و تدوین: ح.ر. شریف.

40. Generation
41. Transformation
42. Maintenance
43. Internal representation
44. External representation
45. R. Arnheim, *Visual Thinking*, p. 13.
46. B. Lawson, *How Designers Think: The Design Process Demystified*, P. 47

۴۷. نک:
M. Dinar, et al, "Empirical Studies of Designer Thinking"

۴۸. نک:
Ellen Yi-Luen Do & Mark D. Gross, "Thinking with Diagrams in Architectural Design".

به استقلال، و گرایش به درک مستقیم در همهٔ افراد خلاق مشترک است[۹۲]، که در ایده‌پردازی با استفاده از دست‌نگاره‌های آزاد، مبهم، بدون نظم، و بی‌قاعده میسر می‌شود. چنانچه لازیو بیان می‌کند: «بگذاریم ذهنمان سرگردان شود و آن را برای نتایج غیرمنتظره آزاد بگذاریم»[۹۳].

گوئل در کتاب خود[۹۴] زیر عنوان «تئوری محاسباتی ذهن»[۹۵]، برای توضیح چگونگی عملکرد طراحان، بیان می‌کند که اکثر ترسیم‌های دقیق و محدود نمی‌توانند به اندازهٔ دست‌نگاره به ایجاد طرح‌مایهٔ طراحی کمک کنند. دست‌نگاره علاوه بر نمایش عینی ایده‌ها، به‌دلیل مبهم، بی‌قاعده، و ناتمام بودن، به طراح امکان می‌دهد که با نگرشی دیگر به دست‌نگاره‌ها توجه و مجدداً آنها را تفسیر کند، که منتج به ایجاد شکل‌های جدید و ایده‌های بدیع می‌شود[۹۶]. لازیو این نوع دست‌نگاره‌ها را دست‌نگارهٔ آزاد و روشی برای رسیدن به آزادی‌های مبهم و ناتمام[۹۷] و لاوسون آن را «دست‌نگارهٔ داستانی» می‌نامد؛ این دست‌نگاره‌ها تا حدودی باعث رشد و شکوفایی ایده‌ها می‌شوند. آن‌ها اغلب انتزاعی هستند و در واقعیت وجود ندارند، بنابراین شک، نقد، و واقع‌گرایی را موقتاً به تعویق می‌اندازند که این ویژگی در برخی مراحل در کمک به رشد و تفکر خلاق مهم هستند[۹۸].

در دست‌نگاره هر خط برای طراح معنی خاص دارد. خطوط ضخیم و ناتمام یادآور این است که کار هنوز ناتمام است. بعضی خطوط آزمایشی و شاید نشانهٔ تمایل به جستجوی ایده‌های جدیدتر باشند[۹۹]؛ درحالی‌که خطوط سنجیده‌تر ممکن است بازگوکنندهٔ اولویت طراح برای منظم بودن و خاتمهٔ تصمیم‌گیری باشند[۱۰۰] و به همین دلیل است که در مراحل اولیهٔ فرایند طراحی، طراحان تمایل به ابزارهای انعطاف‌پذیر دارند. آنها با ابزارهای بسیار ضخیم و خطوط مبهم کار می‌کنند تا، بدون دقت و الزام بیش از حد، به‌آسانی و باسرعت خطوط را ترسیم کنند[۱۰۱] و با استفاده از سرعت و فشار قلم روی کاغذ، معانی متفاوت و خاصی را برای خود ترسیم و تصور می‌کنند[۱۰۲].

بنابراین نمی‌توان استانداردی برای دست‌نگاره‌ها در نظر گرفت و یا آن‌ها را قاعده‌مند و مدل‌سازی کرد.

در نرم‌افزارهای CAS موجود، طراح مجبور است با زبان رایانه ترسیم کند که این کار مستلزم دادن داده‌های کمّی به رایانه و ترسیم اشکالی با هندسهٔ مشخص است که اغلب آنها بسیار قاعده‌مند هستند و همهٔ خطوط و اشکال بسیار دقیق و منظم هستند و با یک میزان تأکید ترسیم می‌شوند. در پژوهش‌هایی که هدف در آنها توسعه و پیشرفت نرم‌افزارهای CAS بر روی ترسیم‌های طراحان است[۱۰۳]، آن ترسیم‌ها فرایندهایی سیستماتیک و از پیش تعریف‌شده قلمداد می‌شوند. ابراهیم و رحیمیان با بررسی‌های خود بر روی فرایند طراحی گروهی از دانشجویان که به جای دست‌نگاره دستی، از برنامهٔ "Sketch up" در مراحل اولیهٔ طراحی استفاده کرده بودند، نشان دادند که اغلب، ایده‌های اولیه به طرح نهایی تبدیل شده‌اند.[۱۰۴] دو و گراس و همچنین تانگ و همکاران در بررسی‌های خود نشان دادند که طراحان در طول فرایند طراحی تمایل دارند ترسیم‌های هندسی را حفظ، ارزیابی، و اصلاح کنند و خطوط منظم و دقیقی که توسط نرم‌افزارها ترسیم می‌شوند، اغلبْ نقشهٔ تمام‌شده تلقی می‌شوند. بنابراین این‌گونه نرم‌افزارها را مانع بروز ایده‌های بدیع و خلاق در طراحی می‌دانند[۱۰۵].

۳. ۴. تصور و تجسم فکری

تصور و تجسم فکری نمایانگر عملکرد ذهن طراح برای رسیدن به یک پاسخ غیرمعمول یا نادر است. دست‌نگاره‌ها، برخلاف تصاویر لحظه‌ای عکاسی، می‌توانند از دیدگاه طراحْ گزینشی باشند؛ یعنی در طراحی از قابلیت خاص برای تمایز اطلاعات از زمینه یا تمرکز و توجه به ویژگی‌ها یا جنبه‌های مرتبط با نیازها استفاده می‌شود، بدین ترتیب که طراح تصاویر ادراکی را انتزاع می‌بخشد و بر موارد مهم تأکید می‌کند. بنابراین دست‌نگاری را می‌توان تصور بصری از تصاویر ادراکی با تأکید بر موارد مهم یا قابل‌توجه دانست.

۴۹. نک:
Johnson, et al, ibid; H.H. Tang, "Visual Reasoning and Knowledge in the Design Process".

۵۰. نک:
D.A. Schon & G. Wiggins, "Kinds of Seeing and Their Functions in Designing".

۵۱. نک:
Lawson, ibid.

۵۲. نک:
G. Goldschmidt, "The Dialectics of Sketching".
53. External memory

۵۴. نک:
Ellen Yi-Luen Do & Mark D. Gross & Bennett Neiman & Craig Zimring, "Intentions in and Relations among Design Drawings"; Tang, ibid.
55. Storing Sketches

۵۶. نک:
R. Van der Lugt, "How Sketching Can Affect the Idea Generation Process in Design Group Meetings".

۵۷. نک:
G. Goldschmidt, "On Visual Design Thinking: The Vis Kids of Architecture"; Park & Kim, ibid; Tang, ibid.

۵۸. نک:
Do & Gross, ibid; Johnson, et al, ibid.

۵۹. نک:
Ellen Yi-Luen Do & Mark D. Gross, "Drawing as a Means to Design Reasoning".
60. R.H. McKim, Experiences in Visual Thinking, p. 22.

تجسم علاوه بر دید سه‌بعدی از واقعیت بصری، اغلب بر اساس درک و شناختی است که وابسته به علایق و دانسته‌هاست و طراحان می‌توانند به شیوه‌های متفاوتی آنها را بیان کنند. گلداشمیت با تأکید بر تفاوت‌های مشاهده و تصور، بیان می‌کند که تصورات طراح در مقابل مشاهده به‌دست می‌آید و نقش مهمی در فرایند حل مسئله دارد، بخصوص زمانی که مسئله به درجهٔ زیادی از نوآوری می‌رسد. این تصور دلالت بر نقش نمایش بصری در فرایند طراحی دارد[۱۰۶]. در نظریهٔ ادراکی بین آنچه در ذهن طراح رخ می‌دهد با تصویری که ترسیم می‌شود نوعی انطباق وجود دارد. دست‌نگاره‌ها به‌مثابهٔ دریچه‌ای به ذهن طراح تلقی می‌گردند و درنتیجه توسط دانش و شیوهٔ تصویرسازی ذهن طراح ارزیابی می‌شوند[۱۰۷].

هرچند دست‌نگارهٔ تجسم را بر روی سطوح بازنمایی می‌کند، اما هر ترسیمی، به‌منزلهٔ نمونهٔ عینی از افکار طراح، نشان‌دهندهٔ حجم زیادی از اطلاعات است که گاه فقط برای خود طراح قابل‌فهم است و این ویژگیِ منحصربه‌فرد دست‌نگاره است که آن را از ترسیم و تصاویر رایانه‌ای متمایز می‌کند.[۱۰۸] دینر و همکاران بیان کردند اگرچه امروز به طور گسترده از رایانه‌ها برای آنالیز طرح و ترسیم هندسی استفاده می‌شود، اما همچنان طراحی در ذهن صورت می‌گیرد و برای تولید نسل جدید نرم‌افزارها به بررسی تفکر طراح در مرحلهٔ ایده‌یابی نیاز هست و باید دست‌نگاره را ابزاری برای تفکر طراح دانست که بیانگر درک شخصی طراح از موضوع است[۱۰۹]، به همین دلیل فقدان روش مشخص و جامع از دست‌نگاره‌ها مشکل اساسی برای ساخت نرم‌افزارهای CAS محسوب می‌شود[۱۱۰].

۳. ۵. گسترش و سامان‌دهی

دو و گراس، با مشاهدهٔ نحوهٔ کار طراحی معماران، یکی از عوامل ارجحیت دست‌نگاره نسبت به رایانه‌ها را امکان ترسیم دست‌نگاره‌های مکرر می‌دانند. معماران در حین فرایند طراحی، خطی را چندین بار ترسیم می‌کنند تا جنبه‌های مختلف آن را به‌خوبی درک و بر روی موضوع تمرکز کنند. ترسیم مکرر ممکن است در یک صفحهٔ کاغذ یا بر روی کاغذهای پوستی متعدد اتفاق بیافتد[۱۱۱]. طراح با حرکت دست، ادای ترسیم را درمی‌آورد، بدون اینکه عملاً چیزی ترسیم کند[۱۱۲] و به نظر می‌رسد این فعالیت حرکتی دست‌نگاره به طراحان کمک می‌کند تا بر روی مسائل تمرکز و روابط بین قسمت‌های مختلف طرح را درک کنند[۱۱۳].

دست‌نگاره‌ها علاوه بر ذخیره‌سازی و نمایش افکار ذهنی طراح، ایده‌های ذهنی، که هنوز شکل نگرفته‌اند، را دنبال می‌کنند. این خط‌خطی کردن‌ها ایده‌های طرح را خلق می‌کنند و این بیانگر تفکر طراحی است[۱۱۴] که از طریق آن طرح مورد نظر از میان همین خطوط بیرون کشیده و سامان‌دهی و اصلاح می‌شوند.[۱۱۵] در نرم‌افزارهای رایانه‌ای نمی‌توان خطی را چند بار ترسیم کرد، غالباً با رسم شکل‌های جدید، شکل‌های قبلی پاک می‌شوند، یا با رنگی دیگر نمایش داده می‌شوند، اما با دست‌نگاری این فرایند، روی کاغذ راحت و به‌طور مستمر تکرار می‌شود. ایجاد اشکال مختلف هم‌زمان در ترسیم‌ها که از تداخل خطوط به‌دست می‌آید، در فرایند استدلال بصری، به رشد و گسترش تفکرخلاق طراحی کمک می‌کنند[۱۱۶]. همچنین طراحان می‌توانند از این خطوط آزاد و بی‌قاعده (و گاه بی‌معنی برای دیگران) به‌منظور درک، سامان‌دهی، و استدلال موضوع کمک بگیرند.

۴. تحلیل و نتیجه‌گیری

ابزارها و نرم‌افزارهای مختلف CAS برای دست‌نگاری با رایانه با هدف کمک و از بین بردن مشکلات نرم‌افزارهای مختلف ترسیمی در فرایند طراحی، بخصوص فرایند ایده‌پردازی، به بازار آمده‌اند، در این باره برخی پژوهشگران نمونه‌هایی از نرم‌افزار CAS را طراحی کرده‌اند که در آنها تلاش شده که برای طراحان محیطی شبیه به ابزارهای دست آزاد فراهم گردد

۶۱. پل لازیــو، تفکر ترســیمی برای معماران و طراحان، ص۱۸۹.

۶۲. نک:
Ibrahim & PourRahimian, ibid.

63. Fluency
64. Creation
65. Flexibility
66. Originality
67. Elaboration
68. Organizing
69. Fact-finding
70. Problem-finding
71. Idea- finding
72. Solution-finding
73. Acceptance-finding

۷۴. نک:
A.B. VanGundy, *Creative Problem Solving*.

۷۵. نک:
T.M. Amabile, "The Social Psychology of Creativity: A Componential Conceptualization".

۷۶. نک: فرانســیس دی. کی. چینگ، طراحی فرایندی خلاقانه.

77. J.S. Bruner, *On Knowing: Essays for the Left Hand*, p. 123.

۷۸. نک:
M. Prats, et al, "Transforming Shape in Design: Observations from Studies of Sketching".

۷۹. نک:
Johnson, et al, ibid.

۸۰. نک:
Y. Jin & P. Chusilp, "Study of Mental Iteration in Different Design Situations"; Schon & Wiggins, ibid.

تا هم ویژگی‌های سازندهٔ دست‌نگاره‌ها را داشته باشد و هم از قابلیت‌های تکنولوژی استفاده شود. با بررسی‌ها مشخص شد که در فرایند ایده‌پردازی طراحی، سازوکار ذهنی تفکر خلاق هنگام استفاده از دست‌نگاره‌ها با زمان استفاده از نرم‌افزارهای رایانه‌ای متفاوت است. تفاوت یادشده ناشی از آن است که برخی عوامل بیرونی، چون دست‌نگاره‌ها و نرم‌افزارها، زمینه‌ساز برخی سازوکارهای ذهنی تفکر خلاق هستند و مهارت‌های شناختی طراح را در ایده‌پردازی تحت تأثیر قرار می‌دهند.

تأمل بر نقش و اهمیت دست‌نگاره‌ها در فرایند تفکر خلاق طراح ویژگی‌های بارزی را برای این عامل بیرونی، در قیاس با نرم‌افزارهای رایانه‌ای، آشکار می‌کند:

ـ سرعت و آزادی عمل طراح در تولید دست‌نگاره‌ها، به‌مثابهٔ نوعی حافظهٔ خارجی، باعث سهولت ثبت اطلاعات و ایده‌ها می‌شود و زمینهٔ روانی سیالی تفکر ترسیمی را فراهم می‌کند؛

ـ دست‌نگاره‌ها زمینه را برای مکاشفه مهیا می‌کنند، کشف و یافتن حقیقت، مسئله، ایده، راه حل، معیارها ارزیابی و راه‌های پذیرش، که دلالت بر سازندگی و آفرینندگی تفکر طراح دارد؛

ـ دست‌نگاره‌ها آزاد، مبهم، و بی‌قاعده و با چارچوب نامنظم و قابل‌تکرار هستند و غلبه بر موانع فکری نیز انعطاف‌پذیری در تفکر ترسیمی را امکان‌پذیر می‌کند؛

ـ دست‌نگاره‌ها، بدون واسطه، نمایشگر تفکر بصری و تجسم ذهنی طراح هستند و او را در رسیدن به پاسخ‌های خلاق یاری می‌کنند،

ـ دست‌نگاره‌ها، با نمایش بی واسطهٔ تجسم ذهنی طراح، رابطهٔ دوسویه میان تفکر ترسیمی و تفکر بصری را تسهیل می‌کنند. رابطهٔ دوسویه‌ای که از سازوکارهای مهم فرایند ایده‌پردازی است.

وجوه تمایز عملکرد ذهنی طراح ناشی از ترسیم دستی و ترسیم با رایانه نشان می‌دهند که دست‌نگاری در ایده‌پردازی بیانگر رابطهٔ دوسویه و بی‌واسطهٔ ذهن و دست است که در یک چرخه از تعامل تفکر ترسیمی و تفکر بصری شکل می‌گیرد و بر تصورات ذهنی طراح اثرگذار است. زمانی که این چرخه به‌درستی و با هماهنگی کامل دست و چشم عمل کند، موفقیت در طراحی حاصل می‌شود. هرچند در نسل جدید نرم‌افزارها و ابزارهای رایانه‌ها، نوع ابزار مورد استفاده در ترسیم از قلم و کاغذ معمولی به قلم الکترونیکی و صفحهٔ هوشمند تبدیل شده و از طرف دیگر، قابلیت‌های رایانه‌ها مانند سیستم ارزیابی دقیق‌تر، اتصال به نرم‌افزارهای دیگر نیز به آنها اضافه شده است، اما نرم‌افزارهای رایانه‌ای در مقایسه با دست‌نگاری، به‌خاطر ایجاد واسطه در رابطهٔ دوسویه میان دست و ذهن، همچون مانعی برای چرخهٔ جریانی تعامل تفکر ترسیمی و تفکر بصری عمل می‌کنند. بر این اساس، می‌توان این‌گونه نتیجه گرفت که به‌رغم پیشرفت‌هایی که در توسعهٔ نرم‌افزارهای رایانه‌ای صورت گرفته، هنوز در فرایند تفکر خلاق ایده‌پردازی طراحی ارجحیت با دست‌نگاری است.

منابع و مآخذ

چینگ، فرانسیس دی. کی. طراحی فرایندی خلاقانه. ترجمهٔ محمدعلی احمدی‌نژاد. تهران: نشر خاک، ۱۳۹۰.

غریب‌پور، افرا. «مقایسهٔ تحلیلی ترسیم با دست و رایانه در فرایند طراحی معماری». در نشریهٔ هنرهای زیبا- معماری و شهرسازی، دورهٔ ۱۹، ش ۱ (بهار ۱۳۹۳)، ص۵-۱۴.

لازیو، پل. تفکر ترسیمی برای معماران و طراحان. ترجمهٔ سعید آقایی. تهران: گنج هنر، ۱۳۸۹.

هاشم‌نژاد، هاشم و احمد اخلاصی و بهرام صالح صدق‌پور و کاوه شکوهی دهکردی. «تأثیرات نرم‌افزار Sketch up بر فرایند ترسیم اسکیس‌های معماری». در فصلنامهٔ علمی پژوهشی باغ نظر، دورهٔ ۱۰، ش ۲۵ (تیرماه ۱۳۹۲)، ص۲۹-۳۸.

۸۱. نک:
V. Goel, *Sketches of Thought*; Sun, et al, ibid; T. Taura, et al, "Constructive Simulation of Creative Concept Generation Process in Design".

۸۲. لازیو، همان، ص۹.

۸۳. نک: افرا غریب‌پور، «مقایسهٔ تحلیلی ترسیم با دست و رایانه در فرایند طراحی معماری».

۸۴. نک:
Do & Gross, ibid.

۸۵. لازیو، همان، ص۱۸.

۸۶. چینگ، همان، ص۱۴۵.

۸۷. نک:
Tang, et al, "Comparing Collaborative Co-Located and Distributed Design Processes in Digital and Traditional Sketching Environments.

۸۸. نک
Do & Gross, ibid.

۸۹. نک:
D. Pye, *The Nature of Design*.

۹۰. نک:
Prats, et al, ibid.

۹۱. لازیو، همان، ص۱۳۴.

92. H. Rowan, "The Creative People: How to Spot Them", p. 13.

۹۳. لازیو، همان، ص۱۱۵.

94. Goel, *Sketches of Thought*.

95. Computational Theory of Mind

۹۶. نک:
Tang, et al., ibid.

۹۷. لازیو، همان، ص۱۱۶.

۹۸. نک:
Lawson, *How Designers Think: The Design Process Demystified* 99 . Van der Lugt, ibid.

۱۰۰. لازیو، همان، ص۶۴

۱۰۱. نک:
Lawson, ibid.

۱۰۲. نک:
P. Van Sommers, *Drawing and Cognition: Descriptive and Experimental Studies of Graphic Production Processes*. 10.3. M. Dinar, et al, ibid; Rauhala, ibid.

۱۰۴ نک:
Ibrahim & PourRahimian, ibid.

۱۰۵. نک:
Do, & Gross, "Thinking with Diagrams in Architectural Design"; Tang, et al, ibid.

۱۰۶. نک:
Goldschmidt, ibid.

۱۰۷. نک:
Lawson, ibid.

۱۰۸. نک:
D.G. Ullman, et al, "The Importance of Drawing in the Mechanical Design Process".

۱۰۹. نک:
Dinar, et al, ibid.

۱۱۰. نک:
Ibid; N.M. Segers, et al, "Towards Computer-Aided Support of Associative Reasoning in the Early Phase of Architectural Design"; Tang, et al, ibid.

Amabile, Teresa M. "The Social Psychology of Creativity: A Componential Conceptualization". In *Journal of Personality and Social Psychology*, Vol. 45, No. 2 (1983), pp. 357-376.

Arnheim, Rudolf. *Visual Thinking*. Univ of California Press, 1969.

Bilda, Zafer & Halime Demirkan. "An Insight on Designers' Sketching Activities in Traditional Versus Digital Media". in *Design Studies*, Vol. 24, No. 1 (2003), pp. 27-50.

Bloomenthal, Mark & Robert Zeleznik & Russell Fish & Loring Holden & Andrew Forsberg & Richard Riesenfeld & Matt Cutts, et al. "Sketch-N-Make: Automated Machining of Cad Sketches", In Conference: ASME 1998 Design Engineering Technical Conferences.

Brown, A.G.P. & F.F. Horton. "Computer Aids for Design Development". In Computers in *Architecture: Tools for Design*. London: Longman, 1990.

Bruner, Jerome Seymour. *On Knowing: Essays for the Left Hand*. Harvard University Press, 1979.

Casakin, Hernan & Andrew Wodehouse. "A Systematic Review of Design Creativity in the Architectural Design Studio". in *Buildings*, Vol. 11, No. 1 (2021), pp. 31-49.

Cheon, Sang-Uk & Byung Chul Kim & Duhwan Mun & Soonhung Han. "A Procedural Method to Exchange Editable 3d Data from a Free-Hand 2d Sketch Modeling System into 3d Mechanical Cad Systems". In *Computer-Aided Design*, Vol. 44, No. 2 (2012), pp. 123-131.

Cölln, Martin C. & Kerstin Kusch & Jens R. Helmert & Petra Kohler & Boris M. Velichkovsky & Sebastian Pannasch. "Comparing Two Types of Engineering Visualizations: Task-Related Manipulations Matter". In *Applied Ergonomics*, Vol. 43, No. 1 (2012), pp. 48-56.

Contero, Manuel & Ferran Naya & Joaquim Jorge & Julián Conesa. "Cigro: A Minimal Instruction Set Calligraphic Interface for Sketch-Based Modeling". In *Lecture Notes in Computer Science*, 2003. DOI:10.1007/3-540-44842-X_56

Daru, Roel. "Sketch as Sketch Can-Design Sketching with Imperfect Aids and Sketchpads of the Future". In *Experiences with CAAD in Education and Practice [eCAADe Conference Proceedings]*, 1991.

Dinar, Mahmoud & Jami J. Shah & Jonathan Cagan & Larry Leifer & Julie Linsey & Steven M. Smith & Noe Vargas Hernandez. "Empirical Studies of Designer Thinking: Past, Present, and Future". In *Journal of Mechanical Design*, Vol. 137, No. 2 (2015), 021101.

Do, Ellen Yi-Luen & Mark D. Gross & Bennett Neiman & Craig Zimring. "Intentions in and Relations among Design Drawings". In *Design Studies*, Vol. 21, No. 5 (2000), pp. 483-503.

Do, Ellen Yi-Luen & Mark D. Gross. "Drawing as a Means to Design Reasoning". In *AI and Design*, 1996.

Do, Ellen Yi-Luen & Mark D. Gross. "Thinking with Diagrams in Architectural Design". In *Artificial Intelligence Review* , 15(1) (2001), pp. 135-149.

Farrugia Philip, J. & C. Borg Jonathan & Xiu-Tian Yan & P. Camilleri Kenneth. "Drawing Standards for Early Design: Where Do We Stand?". Guidelines for a Decision Support Method Adapted to NPD Processes (2007).

Fernández-Pacheco, D.G. & Julián Conesa & Nuria Aleixos & M. Contero. "An Agent-Based Paradigm for Free-Hand Sketch Recognition". 2009. DOI:10.1007/978-3-642-10291-2_35

Goel, Vinod. *Sketches of Thought*. MIt Press, 1995.

Goldschmidt, Gabriela. "The Dialectics of Sketching". In *Creativity Research Journal*, Vol. 4, No. 2 (1991), pp. 123-143.

_____ . "On Visual Design Thinking: The Vis Kids of Architecture". In *Design Studies*, Vol. 15, No. 2 (1994), pp. 158-174.

Ibrahim, Rahinah & Farzad PourRahimian. "Comparison of Cad and Manual Sketching Tools for Teaching Architectural Design". In *Automation in Construction*, Vol. 19, No. 8 (2010), pp. 978-987.

Israel, Johann Habakuk & Eva Wiese & Magdalena Mateescu & Christian Zöllner & Rainer Stark. "Investigating Three-Dimensional Sketching for Early Conceptual Design—Results from Expert Discussions and User Studies". In *Computers & Graphics*, Vol. 33, No. 4 (2009), pp. 462-473.

Jin, Yan & Pawat Chusilp. "Study of Mental Iteration in Different Design Situations". In *Design Studies*, Vol. 27, No. 1 (2006), pp. 25-55.

Johnson, Gabe & Mark D. Gross & Jason Hong & Ellen Yi-Luen Do. "Computational Support for Sketching in Design: A Review". In *Foundations and Trends in Human-Computer Interaction*, Vol. 2, No. 1 (2009), pp. 1-93.

Kara, Levent Burak & Thomas F. Stahovich. "An Image-Based, Trainable Symbol Recognizer for Hand-Drawn Sketches". In *Computers & Graphics*, Vol. 29, No. 4 (2005), pp. 501-517.

Keshavarzi, Mohammad & Clayton Hutson & Chin-Yi Cheng & Mehdi Nourbakhsh & Michael Bergin & Mohammad Rahmani Asl. "Sketchopt: Sketch-Based Parametric Model Retrieval for Generative Design". In arXiv preprint arXiv:2009.00261 (2020).

Kim, Yong Se & Byung Gu Kang. "Personal Characteristics and Design-Related Performances in a Creative Engineering Design Course". CAD Laboratory, School of Mechanical Engineering, Sungkyunkwan University, 2003.

Kim, Yong Se & Mi Hyun Kim & Sun Tai Jin. "Cognitive Characteristics and Design Creativity: An Experimental Study". In *Paper Presented at the International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference*, 2005, pp. 309-317.

Kim, Yong Se & Sang Won Lee & Jung Ae Park & Ji Yun Jeong. "Creativity Training Programs for Cognitive Components of Creativity". In Conference: International Associate of Societies of Design ResearchAt: Seoul, 2009.

Lawson, Bryan. *How Designers Think: The Design Process Demystified*. Routledge, 2006.

Lipson, Hod & Moshe Shpitalni. "Correlation-Based

Reconstruction of a 3d Object from a Single Freehand Sketch". SIGGRAPH '07: ACM SIGGRAPH 2007 courses.

Long, Allan Christian & James A. Landay & Lawrence A. Rowe & Joseph Michiels. "Visual Similarity of Pen Gestures". In Conference: Proceedings of the CHI 2000 Conference on Human factors in computing systems, The Hague, The Netherlands, April 1-6, 2000.

Martens, Bob & André Brown. "Computer Aided Architectural Design Futures". In Proceedings of the 11th International Caad Futures Conference Held at the Vienna University of Technology, Vienna, Austria, on June 20-22, 2005. Springer Science & Business Media, 2005.

Masry, Mark & D. Kang & Hod Lipson. "A Freehand Sketching Interface for Progressive Construction of 3d Objects". In *Computers & Graphics*, Vol. 29, No. 4 (2005), pp. 563-575.

McKim, Robert H. *Experiences in Visual Thinking*. Health, Fitness & Dieting, 1972.

Oh, Yeonjoo & Gaberial Johnson & Mark Gross & Ellen Yi-Luen Do. "The Designosaur and the Furniture Factory", In *Design Computing and Cognition'06, Springer*, 2006, pp. 123-140.

Park, Jung Ae & Yong Se Kim. "Visual Reasoning and Design Processes". In Conference: Proceedings of International Conference on Engineering Design, ICED 07, Design SocietyAt: Paris, 2007.

Prats, Miquel & Sungwoo Lim & Iestyn Jowers & Steve W. Garner & Scott Chase. "Transforming Shape in Design: Observations from Studies of Sketching", In *Design Studies*, Vol. 30, No. 5 (2009), pp. 503-520.

Pye, David. *The Nature of Design*. London: Studio Vista, 1964.

Rauhala, Kari. "Playing Games: The Role of Computers in Sketching". Digital Design [21th eCAADe Conference Proceedings / ISBN 0-9541183-1-6] Graz (Austria) 17-20 September 2003, pp. 631-635.

Rowan, Helen. "The Creative People: How to Spot Them", In *Think*, New York: IBM Corp, Vol. 28, No. 10 (Nov.- Dec. 1962).

Rubine, Dean. "Specifying Gestures by Example". In *Computer Graphics*, Vol. 25, No. 4 (July 1991), pp. 329-337.

Sannomiya, Machiko & Yosuke Yamaguchi. "Creativity Training in Causal Inference Using the Idea Post-Exposure Paradigm: Effects on Idea Generation in Junior High School Students". In *Thinking Skills and Creativity*, 22 (2016), pp. 152-158.

Schon, Donald A. & Glenn Wiggins. "Kinds of Seeing and Their Functions in Designing". In *Design Studies*, Vol. 13, No. 2 (1992), pp. 135-156.

Segers, N.M. & Bauke De Vries & H.H. Achten & H.J.P. Timmermans. "Towards Computer-Aided Support of Associative Reasoning in the Early Phase of Architectural Design". In *Proceedings of CAADRIA*, 2001 (2001), pp. 19-21.

Stones, Catherine & Tom Cassidy. "Comparing Synthesis Strategies of Novice Graphic Designers Using Digital and Traditional Design Tools". In *Design Studies*, Vol. 28, No. 1 (2007), pp. 59-72.

Sun, Lingyun & Wei Xiang & Chunlei Chai & Changlu Wang & Qi Huang. "Creative Segment: A Descriptive Theory Applied to Computer-Aided Sketching". In *Design Studies*, Vol. 35, No. 1 (2014), pp. 54-79.

Tang, H.H. & Y.Y. Lee & J.S. Gero. "Comparing Collaborative Co-Located and Distributed Design Processes in Digital and Traditional Sketching Environments: A Protocol Study Using the Function–Behaviour–Structure Coding Scheme". In *Design Studies*, Vol. 32, No. 1 (2011), pp. 1-29.

Tang, H.H. "Visual Reasoning and Knowledge in the Design Process". 2003. https://hobbydocbox.com/Drawing_and_Sketching/88771843-Visual-reasoning-and-knowledge-in-the-design-process.html

Taura, Toshiharu & Eiko Yamamoto & Mohd Yusof NorFasiha & Masanori Goka & Futoshi Mukai & Yukari Nagai & Hideyuki Nakashima. "Constructive Simulation of Creative Concept Generation Process in Design: A Research Method for Difficult-to-Observe Design-Thinking Processes". In *Journal of Engineering Design*, Vol. 23, No. 4 (2012), pp. 297-321.

Ullman, David G. & Stephen Wood & David Craig. "The Importance of Drawing in the Mechanical Design Process". In *Computers & Graphics*, Vol. 14, No. 2 (1990), pp. 263-274.

Van der Lugt, Remko. "How Sketching Can Affect the Idea Generation Process in Design Group Meetings". In *Design Studies*, Vol. 26, No. 2 (2005), pp. 101-122.

Van Gundy, Arthur B. *Creative Problem Solving: A Guide for Trainers and Management*. ABC-CLIO, 1987.

Van Sommers, Peter. *Drawing and Cognition: Descriptive and Experimental Studies of Graphic Production Processes*. Cambridge University Press, 1984.

Wobbrock, Jacob O. & Andrew D. Wilson & Yang Li. "Gestures without Libraries, Toolkits or Training: A $1 Recognizer for User Interface Prototypes". UIST '07: Proceedings of the 20th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, October 2007 pp. 159-168. https://doi.org/10.1145/1294211.1294238.

Xu, Peng & Chaitanya K. Joshi & Xavier Bresson. "Multigraph Transformer for Free-Hand Sketch Recognition". In *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, 2021.

Yuan, Ping & Yan Li & Jian Chen & Yan Xiong & Longfan Liu. "Experimental Study on the Associations among Sketches Based on Design Cognition". In *Journal of Mechanical Design*, Vol. 140, No. 10 (2018).

۱۱۱ نک:
Do & Gross, 1996, "Drawing as a Means to Design Reasoning".

۱۱۲ نک:
Prats, et al, ibid.

۱۱۳ نک:
Do & Gross, "Thinking with Diagrams in Architectural Design Thinking with Diagrams".

۱۱۴. نک:
Goldschmidt, ibid.

۱۱۵. نک:
Johnson, et al, ibid.

۱۱۶. نک:
Park & Kim, ibid.