The Role of Computer in Design Ideation

Leyla Alipour, PhD

Assistant Professor, School of Architecture, College of Fine Arts, University of Tehran

Designers use a variety of tools to express their ideas. The traditional tools including hand drawing, sketching and physical modelling, have gradually been replaced by computer tools. Formal education emphasises on hand drawing skills, but design graduates inevitably move away from hand-drawing in the profession. Design students usually learn both manual and digital tools during their education, only to find hand drawing skills useless in profession. The aim of this research is to identify the role of computer aided design tools in the ideation stage of design and the varied aspects of its substitution to find practical solutions for education. Besides, we investigated which tool is preferred by the graduates who have commanded both tools.

Sketching has a crucial role in design ideation. Designers use sketching to express their idea and to communicate. The designer's unconscious explorations of sketches are rich sources to create new design ideas. But replacing hand sketching with digital sketching is a challenging subject. Lawson, a thinker of design theories, stated that the computer makes the idea look unrealistically good and leads to a false instead of real creativity. But some other theorists find computer simulation vital in creating complex forms, and essential in ideation and concept creation, and not just presentation stage.

This research includes two stages. At the first stage, we investigated 23 new empirical studies that have compared traditional and computational tools in ideation phase. The fields of these studies are architectural, industrial, product, and graphical design. At the second stage, we asked 50 architecture graduate participants which type of tools they prefer for ideation and why. Their reasons can be categorised into the digital tools' capabilities, college education, professional environment requirements and limitations, personal choice based on individual interests and abilities, and being up to speed with contemporary technologies. The advantage of sketching is seen as the fluency and flexibility of ideation and the advantage of computer the ease of modification. One strong reason for their preference was the emphasis on good presentation in sketching instead of the expression of ideas. Besides, they just use sketching for 2D drawings and computers

for 3D illustrations of ideas. The latter renders the amount of time spent learning perspective unnecessary. In conclusion it is shown that adjustments are needed in design and architecture teaching in connection with hand skills drawings and teaching digital tools' usage.

Keywords: Computer, Tool, Sketch, Ideation, Design process.

جایگاه رایانه در ایده‌آفرینی طراحی

لیلا علی‌پور[1]

استادیار دانشکدهٔ معماری، پردیس هنرهای زیبا، دانشگاه تهران

دریافت: ۲۵ شهریور ۱۳۹۹
پذیرش: ۲۳ مرداد ۱۴۰۰
(صفحهٔ ۷۰-۵۷)

کلیدواژگان: رایانه، ابزار، اسکیس، ایده‌آفرینی، فرایند طراحی.

چکیده

طراحان برای بیان ایده‌های خود از ابزار متنوعی استفاده می‌کنند که در گذشته بیشتر به صورت ترسیمات دستی، مدل‌سازی فیزیکی، و اسکیس بودند و به‌تدریج با ابزار رایانه‌ای جانشین می‌شوند. هدف در این پژوهش شناخت جایگاه ابزار رایانه‌ای در مرحلهٔ ایده‌آفرینی طراحی و بررسی ابعاد این جانشینی است تا راهکاری کاربردی برای آموزش معماری به‌دست آید. در مرحلهٔ اول ۲۳ پژوهش تجربی، که در آن‌ها ابزار دستی و رایانه‌ای در مرحله ایده‌آفرینی با هم مقایسه شده‌اند، تحلیل و بررسی شد. در مرحلهٔ دوم از ۵۰ دانش‌آموختهٔ معماری واردشده به عرصهٔ حرفه نظرسنجی شد که از کدام نوع ابزار در مرحلهٔ ایده‌آفرینی استفاده می‌کنند و دلیل این انتخاب چیست. مرحلهٔ اول پژوهش نشان داد که مزیت اسکیس بالاتر بودن تعداد و تنوع ایده‌های طراحی و مزیت ابزار رایانه‌ای سهولت اصلاحات است، گرچه این کاربر است که باید به شیوهٔ درست از ابزار استفاده کند. برآمد مرحلهٔ دوم پژوهش این بود که اکثر دانش‌آموختگان معماری از رایانه در مرحلهٔ ایده‌آفرینی استفاده می‌کنند و دلیل این انتخاب را قابلیت بالای نرم‌افزار و نقص در آموزش ترسیمات دستی می‌دانند. نتایج این پژوهش مسئولیت آموزش در ارتقای مهارت اسکیس ایده‌آفرینی و استفادهٔ صحیح از ابزار رایانه‌ای را نشان می‌دهد.

مقدمه

یکی از مهم‌ترین گام‌های فرایند طراحی مرحلهٔ ایده‌آفرینی است. ترسیمات دستی و اسکیس از ابزار رایج در مرحلهٔ ایده‌آفرینی است. صاحب‌نظران و پژوهشگران تئوری‌های طراحی بسیار بر اهمیت اسکیس و ترسیمات دستی در این مرحله تأکید دارند و بیان کرده‌اند که این ترسیمات تنها به معنی بیرون ریختن ایده‌های درون ذهن نیستند، بلکه ایده‌ها روی کاغذ شکل می‌گیرند. طراح با تعامل با ترسیم خودْ آن را پیش می‌برد و این تعامل سرچشمهٔ شکل‌گیری ایده‌های بیشتر است[2]. در بسیاری از نتایج و یافته‌های مطالعات تجربی و مطالعه‌های طراحان حین عملْ درستی این تئوری‌ها در کار طراحان مشخص شده است[3].

از سوی دیگر، با پیشرفت در فناوری و قرارگیری رایانه در دسترس همگانْ بسیاری از جنبه‌های زندگی بشر تغییر کرده است. این تحولْ حرفه‌های مرتبط با طراحی مانند طراحی صنعتی،

1. leila.alipour@ut.ac.ir

۲. نک:
N. Cross, "Forty Years of Design Research"; D.A. Schon & G. Wiggins, "Kinds of Seeing and their Functions in Designing".

۳. نک
M. Dinar, et al, "Empirical Studies of Designer Thinking: Past, Present, and Future"; X. Mao, et al, "Evidence of Cognitive Chunking in Freehand Sketching during Design Ideation".

پرسش‌های تحقیق

۱. مزایا و معایب جانشینی ابزار رایانه‌ای به جای ترسیمات دستی در مرحلهٔ ایده‌آفرینی طراحی چیست؟

۲. طراحان حرفه‌ای استفاده از کدام ابزار را در مرحلهٔ ایده‌آفرینی ترجیح می‌دهند و چرا؟

معماری، و طراحی گرافیک را نیز ارتقا داده است. کاربرد ابزار کمک طراحی رایانه‌ای در فرایند طراحی گرچه، از یک سو، از نظر علمی مبنای چالش‌ها، بحث‌ها، و نظریه‌های فراوان بوده است، از سوی دیگر، رواج این ابزار در محیط حرفه‌ای استفاده از ابزار رایانه‌ای را اجتناب‌ناپذیر می‌نمایاند. بسیاری از صاحب‌نظران طراحی بر استفاده از ترسیمات دستی در مرحلهٔ ایده‌آفرینی تأکید دارند و رایانه را ابزار مناسبی برای جانشینی قلم و کاغذ نمی‌دانند. به عقیدهٔ لاوسون رایانه محدودکننده است، به نظر او بسیاری از معماران برجسته از نرم‌افزار برای ایده‌آفرینی و خلاقیت استفاده نمی‌کنند[۴]. در شیوهٔ آموزش دروس دانشگاهی همچنان بر مهارت‌های ترسیم دستی تأکید می‌شود و استفاده از ابزار رایانه‌ای در مرحلهٔ ایده‌آفرینی طراحی بخصوص برای سال‌های اول آموزش در برخی مدارس معماری ممنوع است. اما رواج این ابزار در محیط حرفه‌ای موجب نوعی شکاف بین آموزش دانشگاه و حرفه شده است. یوهانی پالاسما، با انتقاد از مرحلهٔ کاملاً رایانه‌ای‌شده، بیان می‌کند که در مراحل اولیهٔ آموزش طراحی کار با دست و با مدل‌های فیزیکی صورت گیرد، همهٔ دانشجویان معماری نخست با دست‌هایشان به کار فکر کنند و بعد به آنان اجازهٔ استفاده از رایانه داده شود؛ او معتقد است دانشجو باید ابتدا بیاموزد چگونه از تخیلش استفاده کند و فرایند تجسد بخشیدن را درونی کند.[۵] با وجود تأکیدی که در دوره‌های آموزش دانشگاهی بر مهارت‌های ترسیم دستی می‌شود، فارغ‌التحصیلان رشتهٔ معماری در محیط حرفه‌ای به‌ناچار از ترسیمات دستی دور می‌شوند. برخی نیز آموزش را مشکل‌دار می‌دانند؛ زیرا بر مهارتی تأکید دارند که در محیط حرفه‌ای به کار نمی‌آید. گرچه معمولاً دانشجویان هر دو نوع ابزار را در محیط دانشگاه می‌آموزند، اما مهارت‌های ترسیمی را در محیط حرفه‌ای بی‌استفاده می‌یابند.

در این پژوهش دو موضوع کنکاش می‌شود، اول مزایا و معایب جانشینی ابزار رایانه‌ای به جای ترسیمات دستی در مرحلهٔ ایده‌آفرینی و دوم بررسی انتخاب هرکدام از این ابزار در بین طراحان حرفه‌ای وارد به کار با هر دو در مرحلهٔ ایده‌آفرینی و چرایی آن. ابتدا نتایج پژوهش‌های تجربی محققانی که استفاده از دو نوع ابزار دستی و رایانه‌ای را در مرحله ایده‌آفرینی به‌صورت آزمایش در رشته‌های طراحی معماری، طراحی محصول، طراحی صنعتی، و طراحی گرافیک مطالعه کرده‌اند، گردآوری و تحلیل می‌شود، این تحلیل‌ها مزایا و معایب هر دو نوع روش را نشان می‌دهد. سپس نظر ۵۰ نفر از دانش‌آموختگان

۴. نک:
B. Lawson, "CAD and Creativity: Does the Computer Really Help?".

۵. نک: یوهانی پالاسما، *دست متفکر حکمت وجود متجسد در معماری*.

رشتهٔ معماری که بین سه تا ۱۳ سال از فراغت از تحصیل آن‌ها گذشته و تجربیاتی در محیط کار حرفه‌ای کسب کرده‌اند در خصوص نوع ابزار مورد استفاده در مرحلهٔ ایده‌آفرینی پرسیده می‌شود. یافته‌های این تحقیق می‌تواند رویکرد جدیدی را برای آموزش دروس طراحی معماری ایجاد کند.

۱. مرور ادبیات

۱. ۱. اهمیت اسکیس در مرحلهٔ ایده‌آفرینی

مرحلهٔ آفریدن ایده‌های طراحی مهم‌ترین و تأثیرگذارترین مرحله از فرایند طراحی است و محققان طراحی مطالعات بسیاری دربارهٔ ایده‌آفرینی از نظر خلاقیت، لحظهٔ روشنگری، و روش‌ها و فنون ایده‌آفرینی کرده‌اند. یکی از دستاوردهای این مطالعات و نظریه‌پردازی‌ها نشان دادن مزایای اسکیس و ترسیمات دستی در این مرحله است. محققان اسکیس را ابزار مناسبی برای مرحلهٔ خلق ایده و تولید طرحواره[۶] می‌دانند[۷]. اسکیس زدن در مرحلهٔ ایده‌آفرینی علاوه بر اینکه ایده‌ها را به دنیای بیرون از ذهن می‌آورد، آن‌ها را به سایرین نیز نشان می‌دهد، و برای استفادهٔ آتی ضبط می‌کند[۸]. طراحان از اسکیس زدن برای برقراری ارتباط با خودشان استفاده می‌کنند.[۹] طراح با ترسیم ایده مکالمه‌ای را با آن برقرار می‌کند و با ارزیابی آن طرح خود را به جلو میراند.[۱۰] یکی از قابلیت‌های اسکیسْ امکان تفسیر مجدد است که طرحوارههای جدید را پدیدار می‌کند.[۱۱] مسیر اسکیس می‌تواند به طراح کمک کند تا راه‌ها و موقعیت‌های جدیدی را برای جستجو و توسعهٔ طراحی بیابد که قبلاً تصور نمی‌کرده است.[۱۲] کشفیات ناخودآگاه یک طراح از ترسیم خویش می‌تواند منبعی سرشار برای شکل‌گیری ایده‌های طراحی جدید باشد.[۱۳] اسکیس در مقایسه با گفتن ایده یا نوشتنش این برتری را دارد که ایده‌ها را مستقیماً به‌صورت تصویری بیان می‌کند، بنابراین مؤثرتر از روش‌های کلامی است.[۱۴] همچنین اسکیس بیانگر ویژگی‌های فردی و احساسات طراح در لحظه ایده‌آفرینی است.[۱۵] بنابراین با توجه به لزوم ترسیمات دستی ایده به‌صورت اسکیس و جایگاهی که در تئوری‌های فرایند طراحی دارد، آیا دانشجویان و دانش‌آموختگان می‌توانند از این مهارت در زمان ورود به حرفه به درستی استفاده کنند؟

۱. ۲. رایانه و ایده‌آفرینی

پیشرفت ابزار جدید رایانه‌ای و توسعهٔ آن‌ها برای کاربرد در طراحی و ایده‌آفرینی لزوم بررسی علمی مزایا و معایب را می‌رساند. محققین در خصوص کاربرد رایانه در مرحلهٔ ایده‌آفرینی اختلاف‌نظر دارند. برخی بر استفاده از این ابزار تنها برای مرحلهٔ عرضهٔ نهایی کار معتقد هستند و ترسیمات دستی را برای مرحلهٔ ایده‌آفرینی ضروری می‌دانند. ازجمله به نظر غریب‌پور ترسیم با دست در بخش‌های ذهنی طراحی و ترسیم با رایانه در مراحل معرفی و نهایی مفیدتر هستند. هرچه فرایند طراحی از مرحلهٔ زایش فکری فاصله گیرد و به مرحلهٔ معرفی فکر نزدیک گردد کاربرد رایانه مفیدتر می‌شود[۱۶]. به عقیدهٔ محققان دیگری با وجود پیشرفت‌های اخیر در توسعهٔ نرم‌افزارهای کمک طراحی برای استفاده در مرحلهٔ ایده‌آفرینی، این ابزار هنوز نتوانسته‌اند جای ترسیمات دستی را بگیرند و به کارآمدی و انعطاف‌پذیری آن‌ها باشند.[۱۷] به زعم لاوسون، که از متفکران تئوری‌های طراحی است، رایانه باعث می‌شود ایده به‌صورت غیرواقعی خوب به نظر برسد؛ او اصطلاح خلاقیت دروغین[۱۸] در مقابل خلاقیت واقعی[۱۹] را بیان می‌کند.[۲۰] لاوسون حتی این نرم‌افزارها را ابزار کمک ترسیم به جای طراحی[۲۱] می‌نامد.[۲۲] وی به استفاده از رایانه بی‌طرف نمی‌نگرد، بلکه معتقد است نرم‌افزارها کاربر را به طراحی بی‌کیفیت تشویق می‌کنند. لاوسون این تأثیر را به‌دلیل روند کسب مهارت در سیستم دستی می‌داند و رایانه قابلیت‌هایی را به افرادی که این مهارت‌ها را به‌مرور کسب نکرده‌اند می‌دهد و توهم خلاقیت در آن‌ها پدید می‌آورد، درحالی‌که دروغین است.[۲۳] یوهانی پالاسما

6. concept

۷. نک:
Z. Bilda, et al, "To Sketch or not to Sketch? That Is the Question".

۸. نک:
B. Tversky, "What Do Sketches Say about Thinking"; M. Prats, et al, "Transforming Shape in Design: Observations from Studies of Sketching".

۹. نک:
Tversky, ibid.

۱۰. نک:
Schon & Wiggins, ibid.

۱۱. نک:
Prats, et al, ibid.

۱۲. نک:
R.F. Woodbury & A.L. Burrow, "Whither Design Space?".

۱۳. نک:
Tversky, ibid.

۱۴. نک:
J.S. Linsey, et al, "An Experimental Study of Group Idea Generation Techniques".

۱۵. نک:
L. Alipour, "The Perception of Students' Pre-sketching by Architecture Educators".

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

استفاده از رایانه را در مراحل حساس و آسیب‌پذیر شروع فرایند طراحی دارای ایرادات فراوان می‌داند[۲۴].

از سوی دیگر، برخی محققان استفاده از ابزار رایانه‌ای را در مرحلهٔ ایده‌آفرینی برای شکل‌گیری بسیاری از فرم‌ها و طرحوارهها ضروری می‌دانند، به نظر آن‌ها بدون این ابزار بسیاری از جلوه‌های طراحی هرگز وجود نداشتند. ایشان طـرح کرده‌اند که رایانه توانایی تولید فرم‌های خلاقانه را بالا می‌برد، باعث ایجاد سبک‌های جدید می‌شود، نوآوری را بیشتر می‌کند، و سبب خلق گزینه‌های بیشتر در فرایند طراحی می‌گردد. آن‌ها این ابزار را کمکی برای تفکر طراح و یا حتی موازی و همدوش آن می‌دانند و معتقد هستند که بدون نرم‌افزارْ خلق فرم متناسب با ویژگی‌های معاصر امکان‌پذیر نیست.[۲۵] به اعتقاد برخی دیگر نیز این دیدگاه رایج که اگر رایانه تنها برای عرضه و نهایتاً ترسیم طرح استفاده شود، موجب این اندیشه می‌شود که رایانه از میزان خلاقیت طراح می‌کاهد، درحالی‌که رایانه به پرورش خلاقیت و عرضهٔ ایده‌های بدیع کمک می‌کند.[۲۶] بنابراین برخی تحقیقات به این سو رفته‌اند که با قابلیت‌های ابزار رایانه‌ای طراحی را در مرحلهٔ خلق ایده ارتقا دهند و به کمک این ابزار تولید ایده‌های خلاقانه را تسهیل کنند.[۲۷] به‌طور مثال ابزاری طراحی کردند که قابلیت ترکیب‌بندی‌های فرمی را آسان می‌کند و در مرحلهٔ خلق فرم سه‌بعدی می‌تواند ایده‌آفرینی را ارتقا دهد.[۲۸] بنابراین باید دید آیا این ابزار در عمل در مرحلهٔ ایده‌آفرینی مفید بوده‌اند یا محدودیت ایجاد کرده‌اند؟

دسته	توضیح
دستهٔ اول	مزایای استفاده از ترسیمات دستی در مرحلهٔ ایده‌آفرینی
دستهٔ دوم	مزایای استفاده از ابزار رایانه‌ای در مرحلهٔ ایده‌آفرینی
دستهٔ سوم	این ابزار مزیتی بر دیگری ندارند
دستهٔ چهارم	مزایا و معایب استفاده از ابزار رایانه‌ای برای توسعهٔ آن
دستهٔ پنجم	اهمیت رفتار و تعامل طراح با ابزار

جدول ۱. دسته‌بندی پژوهش‌های تجربی مقایسهٔ ابزار دستی و رایانه‌ای در مرحلهٔ ایده‌آفرینی، تدوین: نگارنده.

۲. روش تحقیق

این پژوهش در دو مرحله صورت گرفته است. در مرحلهٔ اول با کنکاش در پایگاه‌های علمی[۲۹]، به جستجوی کلیدواژه‌های ابزار کمک طراحی رایانه‌ای[۳۰]، طراحی[۳۱]، ایده‌آفرینی[۳۲] و خلاقیت[۳۳] پرداختیم. از بین مقالات یافت‌شده و از میان آن‌ها که دارای سه ویژگی تجربی بودند (آزمایش تجربی در محیط واقعی و نه نظریه‌پردازی)، مقالات در حوزهٔ مرتبط و جدید را جدا کردیم. بنابراین تعداد ۲۳ پژوهش تجربی یافت شد. این مطالعات در حوزه‌های معماری[۳۴]، طراحی صنعتی[۳۵]، طراحی محصول[۳۶]، و طراحی گرافیک[۳۷] انجام شده است. سپس در این ۲۳ مقاله به‌دنبال این بودیم که ابزار مناسب‌تر در مرحلهٔ ایده‌آفرینی و مزایا و معایب هرکدام را شناسایی کنیم. در مرحلهٔ دوم برای یافتن پاسخ به این سؤال که طراحان حرفه‌ای، که در محیط دانشگاه هر دو نوع ابزار را آموخته‌اند، در محیط حرفه‌ای استفاده از کدام ابزار را در مرحله ایده‌آفرینی ترجیح می‌دهند؟ از ۵۰ نفر از دانش‌آموختگان بین سه تا سیزده سال گذشته از رشتهٔ معماری خواسته شد تا به این پرسش باز پاسخ دهند: در مرحلهٔ ایده‌آفرینی از روش ترسیمات دستی استفاده می‌کنید یا ابزار دیجیتال؟ دلیل این انتخاب چیست؟ در ادامه پاسخ این افراد به‌صورت کدگذاری، آمار توصیفی، و استدلالْ تجزیه‌وتحلیل می‌شود.

۳. یافته‌ها

۳. ۱. مقایسهٔ ابزار ترسیمی دستی با ابزار رایانه‌ای

همان‌طور که گفته شد، مطالعات تجربی شامل ۲۳ مقاله در حوزه‌های مرتبط با طراحی است که نویسندگانشان استفاده از ابزار دستی و رایانه‌ای را مقایسه و مزایا و معایب هر ابزار را تحلیل کرده‌اند. در این پژوهش نظرات و یافته‌های متفاوت و

۱۷. نک:
S.B. Abdalla, et al, "Plausibility of CAAD in Conceptual Design: Challenges in Architectural Engineering for Early-Stage Digital Design Tools"; G. Goldschmidt, "Manual Sketching: Why is it Still Relevant?"; M. Rossoni, et al, "Survey of Digital Tools for the Generation of Ideas".
18. fake creativity
19. real creativity

۲۰. نک:
Lawson, "'Fake' and 'Real' Creativity Using Computer Aided Design: Some Lessons from Herman Hertzberger".
21. Computer aided drafting به جای Computer aided design

۲۲. نک:
Idem, *How Designers Think: The Design Process Demystified*.

۲۳. نک:
Idem, "CAD and Creativity: Does the Computer Really Help?"; Idem, "'Fake' and 'Real' Creativity Using Computer Aided Design: Some Lessons from Herman Hertzberger".

۲۴. پالاسما، همان، ص ۱۰۳.

متنوع این محققان در پنج رویکرد دسته‌بندی و در «جدول ۱» مشخص شده‌اند.

در مطالعات دستهٔ اول نظریهٔ برخی از صاحب‌نظران فرایند طراحی در خصوص کارایی بالاتر ابزار دستی در مرحلهٔ ایده‌آفرینی تأیید می‌شود. یافتهٔ تجربی این محققان نشان داده است که استفاده از ترسیمات دستی فوایدی را نسبت به دیجیتالی دارد. ازجمله مقایسهٔ دو گروه دانشجویان در مرحلهٔ ایده‌آفرینی با ابزار ترسیم دستی یا ابزار رایانه‌ای نشان داده است که دانشجویان با اسکیس ایده‌های بیشتری تولید می‌کنند و عملکرد بهتری دارند. اسکیس در دو مؤلفهٔ تعداد ایده و تنوع ایده بهتر از رایانه عمل می‌کند.[۳۸] محققان با مقایسهٔ دو گروه دانشجویان معماری که از ترسیمات دستی و ابزار رایانه‌ای استفاده می‌کردند نشان دادند فواید ترسیمات دستی نسبت به ابزار دیجیتال مزیت‌هایی شامل ویژگی‌های بصری فضایی، ارتباطات عملکردی، و تولید گزینه‌های بیشتر و متنوع‌تر و درک بهتر طراحی دارد.[۳۹] محققان به این نتیجه رسیدند که اسکیس دستی برای تولید طرحواره مناسب‌تر است و ابزار رایانه‌ای خلاقیت دانشجویان را در ایده‌آفرینی شهودی محدود می‌کند.[۴۰] فرایند دیدن و کشف کردن که منجر به تولید ایده‌های جدید می‌شود، در اسکیس نسبت به رایانه بهتر اتفاق میافتد[۴۱].

دستهٔ دوم مربوط به مطالعهٔ مزایای استفاده از ابزار رایانه‌ای کمک طراحی در مرحلهٔ ایده‌آفرینی است. ازجمله گروهی از محققان نشان دادند که استفاده از ابزار رایانه‌ای در مرحلهٔ خلق ایده کمک مؤثری است و خلاقیت را ارتقا می‌دهد.[۴۲] گروه دیگری از محققان با مطالعهٔ ۲۱۵ دانش‌آموز هنرستان با سطوح مختلف توانایی بیان بصری نشان دادند که ابزار سه‌بعدی دیجیتال تأثیر خوبی در خلاقیت آنان دارد. دانش‌آموزان ناموفق در ترسیمات دستی با کمک این ابزار می‌توانند به‌مانند سایرین خلاقیت بیشتری از خود نشان دهند.[۴۳] در مطالعه‌ای که عملکرد دانشجویان طراحی صنعتی در دو حالت ماکت‌سازی و مدل‌سازی رایانه‌ای بررسی گردیده بود، نشان داده شد که فرایند طراحی در دو حالت یادشده متفاوت است. از چند گروه از داوران شامل طراحان حرفه‌ای، استفاده‌کنندگان، مدرسان، و فروشندگان خواسته شد تا از نظر مؤلفه‌های زیبایی، اصالت، عملکردپذیری، و مقبولیت در بازار به ایده‌ها امتیاز دهند و یافته‌ها نشان داد که نمونه‌های تولیدشده با رایانه امتیازات بالاتری دریافت کردند. آن‌ها این قابلیت را منطبق بر قابلیت بازگشت‌پذیری و اصلاح اشتباهات در رایانه دانستند که به طراحان کمک می‌کند تا طرحوارههایی با زیبایی و نوآوری بسازند.[۴۴] دیگران ابزار رایانه‌ای کمک طراحی را در طراحی‌های تیمی به میزان قابل‌توجهی تأثیرگذار و مفید دانستند.[۴۵] همچنین محققان نشان دادند که استفاده از ابزار رایانه‌ای بر تفکر همگرا تأثیر مثبت دارد[۴۶].

در دسته سوم تحقیقاتی قرار می‌گیرند که برتری و ارجحیتی در هیچ‌کدام از ابزار دستی و رایانه‌ای نسبت به یکدیگر نداشتند. ازجمله محققانی در این دسته فرایند ایده‌آفرینی دستی و رایانه‌ای را مقایسه کرده و نتیجه گرفته‌اند که فرایند در حالت دستی و رایانه‌ای تفاوت خاصی ندارد و این ابزار فرایند طراحی را تغییر نداده‌اند. این محققان فرایندهای تفکر مانند هدف‌گذاری، استدلال، ارزیابی، و سایر فعالیت‌های شناختی را در هر دو حالت مشابه یافتند.[۴۷] محقق دیگری مدل‌سازی فیزیکی یا رایانه‌ای را مقایسه کرده و به این نتیجه رسیده است که نرم‌افزارهای کمک طراحی تفاوتی با دستی ندارند، گرچه برای عرضهٔ نهایی برتری دارند.[۴۸] از طرف دیگر، گرچه محققان استفاده از ابزار دستی و رایانه‌ای را در طراحی معماری متفاوت دانستند و نشان دادند طراحان در هر دو حالت متفاوت عمل می‌کنند، اما هرکدام را دارای ارزش خود دانستند و بیان کردند که این ابزار ارجحیتی بر یکدیگر ندارند[۴۹].

در دستهٔ چهارم، در کنار تحقیقاتی که در آن‌ها ابزاری را بر دیگری برتری داده و یا آن‌ها را مشابه دانسته‌اند، در مطالعاتی

۲۵. نک: منوچهر تمیزی و همکاران، «نقش علوم دیجیتال در طراحی معماری»؛
۲۶. نک: مهدی خاکزند و فرهنگ مظفر، «به‌کارگیری تکنولوژی در فرایند طراحی معماری».
۲۷. نک:
M. Bernal, et al, "On the Role of Computational Support for Designers in Action"; J.E. Harding & P. Shepherd, "Meta-Parametric Design".
۲۸. نک:
J. Alcaide-Marzal, et al, "A 3D Shape Generative Method for Aesthetic Product Design".
29. Scopus, Science Direct, Google Scholar
30. Computer Aided Design Tool
31. Design
32. ideation
33. creativity
۳۴. به‌طور مثال:
Pourrahimian & R. Ibrahim, "Impacts of VR 3D Sketching on Novice Designers' Spatial Cognition in Collaborative Conceptual Architectural Design".
۳۵. به‌طور مثال:
B.F. Robertson, & D.F. Radcliffe, "Impact of CAD Tools on Creative Problem Solving in Engineering Design".

مزایا و معایب هر ابزار بررسی و به این ترتیب تلاش شده است تا با شناخت کمبودهای ابزار رایانه‌ای در ایده‌آفرینی، برای پیشرفت آن‌ها راهکار داده شود. رابرتسون و همکارانش مطالعات متعددی را در زمینهٔ مقایسهٔ ابزار در ایده‌آفرینی در طراحی صنعتی انجام داده‌اند. محققان در یکی از مطالعات صورت‌گرفته در چندین کشور و در محیط حرفه‌ای نشان دادند که استفاده از نرم‌افزارهای کمک طراحی هم تأثیرات مثبت و هم تأثیرات منفی در فرایند خلق اثر داشته است و تأثیرات مثبت آن را شامل ارتقای تجسم و ارتباط برقرار کردن و تأثیرات منفی را شامل درجا زدن سریع در ایده‌های اولیه[۵۰]، محدود کردن تفکر، و مرزبندی ایده‌آفرینی[۵۱] دانسته‌اند؛ همین‌طور یافته‌اند که مهارت‌هایی مانند اسکیس زدن، ارتباط برقرار کردن، و کار تیمی می‌توانند نسبت به ابزار رایانه‌ای تأثیرات مثبت بیشتری در مراحل اولیه تولید طرحواره داشته باشند. این محققان تحلیل کردند که گرچه رایانه به تجسم کمک می‌کند، اما با محدودیت‌هایی که در فرایند تفکر ایجاد می‌کند باعث القای این تصور اشتباه به دانشجو می‌شود که طرح بهتری ایجاد کرده است.[۵۲] در ادامه راه‌هایی را برای کنترل تأثیرات منفی ابزار رایانه‌ای کمک طراحی پیشنهاد دادند که مبتنی بر شناخت مدرسان از تأثیرات منفی این ابزار و تلاش برای آشنایی بیشتر دانشجویان با واقعیت‌های حرفه و محدودیت‌های مسائل طراحی و فراتر رفتن از امکانات و قابلیت‌هایی است که این ابزار در اختیارشان می‌گذارند.[۵۳] گروه دیگری از محققان از دانشجویان خواستند تا مدل سه‌بعدی خود را در دو نرم‌افزار سه‌بعدی بسازند و قبل از استفاده از نرم‌افزار و بعد از آن اسکیس دستی بزنند. تحقیقات آن‌ها برخی از محدودیت‌ها و ایرادات این ابزار را نشان داد. همچنین مقایسهٔ اسکیس قبل و بعد از مدل‌سازی رایانه‌ای نشان داد که محدودیت‌های این نرم‌افزارها بر اسکیس دانشجویان تأثیر می‌گذارد و برخی از محدودیت‌های فرمی نرم‌افزار در ترسیمات بعد از مدل‌سازی سه‌بعدی مشاهده می‌شود؛ بنابراین نتیجه گرفتند که دانشجویان تنها بعد از شناخت تأثیر فرم‌های بصری بر ارزش‌های طراحی به سراغ استفاده از نرم‌افزار روند؛ زیرا به نظر می‌رسد ایده‌هایشان را با محدودیت‌ها و قابلیت‌های نرم‌افزار وفق می‌دهد.[۵۴] در مطالعهٔ دیگری ثابت شده است که ایده‌آفرینی با ابزار دیجیتال به زمان بیشتری نسبت به ابزار دستی نیاز دارد و موجب خستگی می‌شود.[۵۵] گروه دیگری از محققان مزایای ابزار رایانه‌ای را تفسیر مجدد در مدل‌سازی حجمی، امکانات تغییرات حجمی، و تولید فرم‌ها با جزئیات بیشتر توسط طراحان یافتند، اما طراحان در هنگام ایده‌آفرینی با این ابزار تعداد گزینه‌های ایدهٔ کمتری تولید می‌کنند؛ بنابراین اسکیس دستی با تولید ایدهٔ بیشتر و انعطاف‌پذیری بالاتر در خلاقیت ارجحیت دارد و یافتهٔ تحقیقات قبلی را تأیید می‌کند. همچنین نشان دادند که افرادی که مهارت‌های ترسیمی بالاتری در اسکیسهای دستی دارند، مدل‌های سه‌بعدی بهتری تولید می‌کنند و برخی اوقات از ویژگی‌های هر دو شیوه توأمان بهره می‌برند.[۵۶] محققان با بررسی تعامل بین انسان و رایانه در مرحلهٔ ایده‌آفرینی تأکید کردند که همان‌گونه که ابزار دستی در زمان طراحی فراموش می‌شود و مستقیماً فرد با ایده‌اش تعامل می‌کند، ابزار رایانه‌ای نیز به همان میزان باید فراموش و نامرئی شوند و امکان تعامل بی‌واسطهٔ فرد با ایده فراهم آید. بنابراین پیشنهاد دادند که توسعهٔ ابزار دیجیتال کمک طراحی به جای کارکردپذیری بیشتر باید در جهت تعامل خلاقه باشد[۵۷].

در دستهٔ پنجم مطالعات تجربی هستند که بیشتر از سایر تحقیقات می‌توانند دستاوردهایی را برای آموزش طراحی داشته باشند. این دسته از محققان تحلیل کرده‌اند که این ابزار نیست که بر خلاقیت، ایده‌آفرینی، و فرایند طراحی تأثیر می‌گذارد، بلکه نوع استفاده از آن و رفتار فرد در استفاده از ابزار در این زمینه مؤثر است؛ بنابراین معتقد هستند که رایانه می‌تواند خلاقیت را بالا برد یا محدود کند، و این بستگی دارد به اینکه

۳۶. به‌طور مثال:
A.H. Musta'amal, et al, "Gathering Empirical Evidence Concerning Links between Computer Aided Design (CAD) and Creativity".

۳۷. به‌طور مثال:
C. Stones & T. Cassidy, "Seeing and Discovering: How Do Student Designers Reinterpret Sketches and Digital Marks during Graphic Design Ideation?".

۳۸. نک:
Stones & Cassidy, "Comparing Synthesis Strategies of Novice Graphic Designers Using Digital and Traditional Design Tools".

۳۹. نک:
Z. Bilda & H. Demirkan, "An Insight on Designers' Sketching Activities in Traditional versus Digital Media"

۴۰. نک:
R. Ibrahim & F. Pourrahimian, "Comparison of CAD and Manual Sketching Tools for Teaching Architectural Design"

۴۱. نک:
Stones & Cassidy, "Seeing and Discovering: How Do Student Designers Reinterpret Sketches and Digital Marks during Graphic Design Ideation?".

۴۲. نک:
Musta'amal, et al, ibid.

طراح از آن به‌منزلهٔ واسط[۵۸] استفاده می‌کند یا ابزار.[۵۹] این طراح است که در هنگام استفاده از این ابزار باید خلاق بماند، نه اینکه به دنبال ابزاری باشد که تولید پاسخ‌های متعدد را ایجاد کند.[۶۰] محققان دیگری که استفاده از ابزار رایانه‌ای را بر روانی، تکامل، اصالت، انعطاف‌پذیری، و تجربهٔ تعامل، و غرق شدن در کار به‌منزلهٔ نشانه‌هایی از خلاقیت بررسی کردند، تعامل طراح و ابزار را با کمک مؤلفهٔ میزان تجربهٔ تعامل و غرق شدن در ابزار اندازه‌گیری کردند.[۶۱] دیگر محققانی نیز تجربهٔ استفاده از ابزار رایانه‌ای کمک طراحی را از طریق مفهوم تجربهٔ شناور شدن و روانی[۶۲] مطالعه کردند، این تجربه را به‌صورت «حالت عمیقاً درگیر شدن» توصیف کردند. تعامل، بازخورد بدون ابهام، اهداف روشن، تعادل بین چالش و مهارت، احساس کنترل،

جدول ۲. جمع‌بندی نظرات و یافته‌های پژوهش‌های تجربی مقایسهٔ ابزار دستی و رایانه‌ای در مرحلهٔ ایده‌آفرینی، تدوین: نگارنده.

دسته‌بندی	یافته	منبع	راهکار
دستهٔ اول	ویژگی‌های بصری فضایی، ارتباطات عملکردی، تولید گزینه‌های بیشتر و متنوع‌تر و درک بهتر مسئلهٔ طراحی	Bilda, & Demirkan. "An Insight on Designers' Sketching Activities in Traditional versus Digital Media".	از اسکیس و ترسیمات دستی در مرحلهٔ ایده‌آفرینی استفاده شود.
	محدود کردن آفریدن شهودی طرحواره	Ibrahim & Pourrahimian, "Comparison of CAD and Manual Sketching Tools for Teaching Architectural Design".	
	ایده‌های بیشتر و تنوع بهتر ایده	Stones & Cassidy, "Comparing Synthesis Strategies of Novice Graphic Designers Using Digital and Traditional Design Tools".	
	تفسیر مجدد و تولید ایده‌های جدید	Stones & Cassidy, "Seeing and Discovering: How Do Student Designers Reinterpret Sketches and Digital Marks during Graphic Design Ideation?".	
دستهٔ دوم	ارتقای خلاقیت	Musta'amal, et al, "Gathering Empirical Evidence Concerning Links between Computer Aided Design (CAD) and Creativity"; Chang, et al, "Effects of 3D CAD Applications on the Design Creativity of Students with Different Representational Abilities".	از ابزار رایانه‌ای در مرحلهٔ ایده‌آفرینی استفاده شود.
	زیبایی، اصالت، عملکردپذیری، و مقبولیت در بازار	Wojtczuk & Bonnardel, "Designing and Assessing Everyday Objects".	
	تفکر همگرا	Frich, et al, "How Digital Tools Impact Convergent and Divergent Thinking in Design Ideation".	
	طراحی تیمی	Pourrahimian & Ibrahim, "Impacts of VR 3D Sketching on Novice Designers' Spatial Cognition in Collaborative Conceptual Architectural Design".	
دستهٔ سوم	فرایند طراحی تفاوت خاصی در دو حالت ندارد	Tang, et al, "Comparing Collaborative Co-located and Distributed Design Processes in Digital and Traditional Sketching Environments"; Charlesworth, "Student Use of Virtual and Physical Modelling in Design Development - An Experiment in 3D Design Education".	بدون راهکار
	فرایند متفاوت بدون ارجحیت بر یکدیگر	Salman, et al, "The Impact of Computer Aided Architectural Design Programs on Conceptual Design in an Educational Context"; Shih, et al, "Using Suitable Design Media Appropriately".	
دستهٔ چهارم	ارتقای تجسم و ارتباط برقرار کردن درجا زدن سریع در ایده‌های اولیه، محدود کردن تفکر و مرزبندی ایده‌آفرینی	Robertson & Radcliffe, "Impact of CAD Tools on Creative Problem Solving in Engineering Design"; Robertson, et al, "Creativity and the Use of CAD Tools"; Walther, et al, "Avoiding the Potential Negative Influence of CAD Tools on the Formation of Students' Creativity".	راهکارهایی برای ارتقای ابزار رایانه‌ای
	محدودیت‌های فرمی نرم‌افزار	Lee & Yan, "The Impact of 3D CAD Interfaces on User Ideation".	
	تولید ایدهٔ بیشتر و انعطاف‌پذیری بالاتر در ترسیمات دستی	Alcaide-Marzal, et al, "An Exploratory Study on the Use of Digital Sculpting in Conceptual Product Design".	
	خستگی دست	Lorusso, et al, "Conceptual Modeling in Product Design within Virtual Reality Environments".	
	توسعهٔ ابزار دیجیتال در جهت تعامل خلاق	Yamamoto & Nakakoji, "Interaction Design of Tools for Fostering Creativity in the early Stages of Information Design".	
دستهٔ پنجم	خلاق ماندن طراح حین استفاده از ابزار	Alcaide-Marzal, et al, "A 3D Shape Generative Method for Aesthetic Product Design".	راهکارهایی برای ارتقای رفتار طراحان
	اهمیت شیوهٔ تعامل طراح و ابزار	Dawoud, et al, "The Role of Flow Experience and CAD Tools in Facilitating Creative Behaviours for Architecture Design Students"; Iordanova, et al, "Parametric Methods of Exploration and Creativity during Architectural Design".	

اعوجاج زمان[۶۳]، و این تجربه که کاری را برای قصد درونی خود انجام دهند[۶۴] را با عنوان شاخص‌های تجربهٔ شناور شدن در ابزار شناختند. آن‌ها فهمیدند که نوع مسئلهٔ طراحی و تعامل با نرم‌افزار تعیین‌کنندهٔ احساس تجربهٔ شناوری در ابزار است و این تجربهٔ شناور همچون واسطه‌ای عمل می‌کند که استفاده از ابزار دیجیتال به رفتارهای خلاقانه در طراحی بیانجامد.[۶۵] نتایج این گروه از تحقیقات به طراحان کمک می‌کند تا با تغییر در رفتارها و ارتقای مهارت‌های خود از ابزار در جهت ایده‌آفرینی بهتر استفاده کنند. در «جدول ۲» جمع‌بندی نظرات در دسته‌بندی نتایج و یافته‌های پژوهش‌های تجربی مختلف نشان داده شده است.

۲.۳. طراحان حرفه‌ای و انتخاب بین اسکیس و رایانه

در مرحلهٔ دوم از ۵۰ نفر از فارغ‌التحصیلان رشتهٔ معماری که در دانشگاهْ کار با هر دو نوع ابزار دستی و رایانه‌ای را آموخته‌اند و اکنون در محیط حرفه‌ای مشغول به کار هستند، پرسیده شد که: «در مرحلهٔ ایده‌آفرینی از روش ترسیمات دستی استفاده می‌کنید یا از ابزار دیجیتال؟ دلیل این انتخاب چیست؟». پاسخ این افراد نشان می‌دهد که تعداد ۳۵ نفر از ۵۰ نفر از رایانه، ۸ نفر از ترسیمات دستی، و ۷ نفر از هر دو نوع ابزار به تناسب شرایط در مرحلهٔ ایده‌آفرینی طراحی استفاده می‌کنند. این افراد برای انتخاب خود دلایل متنوعی از بین یک تا چهار دلیل را ذکر کرده‌اند. این دلایل کدگذاری و دسته‌بندی شدند. یافته‌ها نشان داد دلایل را می‌توان در ۵ گروه اصلی دسته‌بندی کرد. این دسته‌ها به‌ترتیب بر اساس فراوانی در «جدول ۳» آمده است.

الف. برخی از طراحان حرفه‌ای دلیل انتخاب ابزار رایانه‌ای کمک طراحی را قابلیت‌های نرم‌افزار ذکر کرده‌اند. این دلیل بیشترین میزان فراوانی را در بین سایر دلایل برای انتخاب نوع ابزار دارد و ۲۱ نفر به قابلیت‌های نرم‌افزار به بیان‌های مختلف اشاره کرده‌اند. ازجمله یکی از آن‌ها بیان کرده است:

> با وجود اینکه می‌دانم طراحی دستی در روند خلاقیت تأثیر مثبتی دارد، ولی طراحی دیجیتال را ترجیح می‌دهم. چون دقت و سرعت نرم‌افزار دید دقیق‌تری نسبت به طراحی پروژه می‌دهد. همچنین سرعت ذهنم از دستم بیشتر است و در طراحی دستی اجرای ایده برایم سخت‌تر است.

ازجمله مواردی که با عنوان قابلیت نرم‌افزار ذکر شده شامل کنترل راحت‌تر تناسبات و مقیاس، دقت بالا، امکان اضافه کردن جزئیات بسیار، سرعت، رندرهای قوی و پرجلوه، امکان اصلاح اشتباهات و برگشت‌پذیری، دیدن حجم از زوایای مختلف، تولید هم‌زمان مدارک عرضهٔ نهایی، امکان ایجاد فرم‌های پیچیده، تولید چندین خروجی از یک مدل اولیه، امکان ویرایش‌های فراوان، و کپی کردن و تست کردن چندین رنگ روی یک مدل است.

ب. برخی دیگر از شرکت‌کنندگان در نظرسنجی دلیل انتخاب نوع ابزار را به آموزشی که در دانشگاه دیده‌اند مرتبط می‌دانند. این دلایل ممکن است نقد به سیستم آموزش در دانشگاه باشد. احساس اجبار به ترسیمات دستی یا شیوهٔ آموزش مهارت‌های ترسیمی گاهی دانشجویان را از این ابزار دل‌زده می‌کند. تعداد ۱۹ نفر از این طراحان شیوهٔ آموزش دانشگاه را در انتخاب خود مؤثر دانسته‌اند. ازجمله یکی از آن‌ها بیان کرده است:

> آموزش اسکیس در دانشکده‌ها بیشتر از آنکه به طراحی و اجرای ایده‌ها ذهنی مربوط باشد به تکنیک اجرا و یاد گرفتن آن‌ها محدود شده است. مشکل ترس از اسکیس از اینجا نشئت می‌گیرد و دانشجو نگران است که فلان خط را درست نکشد یا اصول طراحی را رعایت نکرده باشد و از طرفی سهولت کار با نرم‌افزارها دانشجویان را به یادگیری اسکیس بی‌میل کرده است. درصورتی‌که با یاد گرفتن مدل‌سازی و رندر می‌توانند چندین خروجی در دقیق‌ترین حالت ممکن را داشته باشند و این درواقع میان‌بری برای محدودیت‌هایی است که دانشکده‌ها برای ایجاد طرح می‌تراشند.

۴۳. نک:
Y-S. Chang, et al, "Effects of 3D CAD Applications on the Design Creativity of Students with Different Representational Abilities".

۴۴. نک:
A. Wojtczuk & N. Bonnardel, "Designing and Assessing Everyday Objects".

۴۵. نک:
Rahimian & Ibrahim, "Impacts of VR 3D Sketching on Novice Designers' Spatial Cognition in Collaborative Conceptual Architectural Design"

۴۶. نک:
J. Frich, et al, "How Digital Tools Impact Convergent and Divergent Thinking in Design Ideation".

جدول ۳. دسته‌بندی عوامل تأثیرگذار بر انتخاب ابزار در مرحلهٔ ایده‌آفرینی توسط دانش‌آموختگان معماری، تدوین: نگارنده.

دسته	توضیح
الف	قابلیت‌های نرم‌افزار
ب	آموزش دانشگاه
پ	الزامات محیط حرفه‌ای
ت	علایق و انتخاب شخصی طراحان
ث	هماهنگی با فناوری روز

مسائل مورد ذکر این طراحان در مورد آموزش را می‌توان در مواردی خلاصه کرد: مانند تأکید بیش از حد به فنون عرضه و انتظار برخی از مدرسین از ترسیم دستی که به‌صورت یک تابلوی زیبا دیده شود، ایجاد ترس در دانشجویان از اسکیس، سوق دادن دانشجویان از سوی برخی از اساتید به سوی شروع با رایانه، و فقدان آموزش صحیح شیوهٔ بیان ایده و ترسیم دستی ایده و اسکیس. همچنین تأکید در سال‌های اول بر ترسیمات دستی و فقدان رایانه در سال‌های اول و بعد مجاز بودن استفاده از رایانه در سال‌های بالاتر موجب می‌شود ترسیمات دستی به‌کلی فراموش شود.

پ. ۱۵ نفر از طراحان حرفه‌ای الزاماتی که در محیط حرفه‌ای با آن روبه‌رو هستند را دلیل برای انتخاب خود ذکر کرده‌اند. ازجمله یکی از آن‌ها بیان کرده است:

> معمولاً در محیط‌های کار چون سریع‌تر به‌دنبال محصول نهایی هستند، به‌شخصه به علت زمان محدود و اینکه نشان دادن ترسیمات و اتودهای دستی وجههٔ حرفه‌ای ندارد، مرحلهٔ ایده‌پردازی دستی را تا جای ممکن کوتاه کردم تا سریع‌تر بتوانم در محیط نرم‌افزار به آلترناتیوهای مدل‌شده و قابل‌ارائه برسم.

یکی دیگر از طراحان متمایل به ترسیمات دستی گفته است:

> من با توجه به تجربیاتی که کسب کردم متوجه شدم شروع و پیشبرد طرح به‌صورت دستی خیلی مناسب‌تر است و ذهن آزادتر می‌تواند عمل کند و محصول هر مرحله بی‌واسطه‌تر و خالص‌تر به‌صورت درمی‌آید، درصورتی‌که برای ارائهٔ آن با نرم‌افزار به احتمال قوی بر مبانی کشیدن آن نرم‌افزار روی محصول تأثیرگذار بوده است. با علم به این قضیه همیشه سعی داشته‌ام از شروع نرم‌افزاری اجتناب کنم، اما زمان‌هایی هم بوده است که به‌دلیل درخواست ارائهٔ محصول به‌صورت نرم‌افزاری و جلوگیری از اتلاف وقت و دوباره‌کاری با نرم‌افزار شروع کنم.

ازجمله الزامات محیط کار ذکرشده شامل این موارد است: کمبود وقت و نیاز به سریع رسیدن به محصول نهایی، بی‌علاقگی کارفرمایان به ترسیمات دستی و وجههٔ حرفه‌ای نداشتن ترسیمات دستی، توجه محیط کار به عرضه‌های قوی نرم‌افزاری و رسمی‌تر بودن این شیوهٔ عرضه، اجبار برخی از شرکت‌ها به شروع کار با نرم‌افزار، و الزاماتی که در شروع کار و یافتن کار برای تازه دانش‌آموختگان جویای کار وجود دارد که اغلب شرکت‌ها به‌دنبال افرادی هستند که با نرم‌افزارهای سه‌بعدی بتوانند به‌خوبی کار کنند.

ت. تعداد ۱۳ نفر از طراحان، علایق و انتخاب شخصی خود را، با توجه به ویژگی‌ها و توانایی‌هایشان، ملاک انتخاب قرار داده‌اند. ازجمله یکی از طراحان گفته است:

> برای من شروع کار طراحی با گرفتن قلم در دستم آغاز می‌شود، با کشیدن اولین خط احساس می‌کنم یک قدم به خیال ذهنی‌ام نزدیک شده‌ام. خط‌های کمرنگ روی هم می‌آیند و به‌تدریج تصویر واضح می‌شود؛ تصویری که رنگ و بوی واقعیت به خود گرفته است. شاید این موضوع از علاقه‌ام به نقاشی و طراحی از کودکی نشئت می‌گیرد. دنیای خط و رنگ برایم جولانگاه خیال است.

ث. بخشی از دلایل ذکرشده از سوی طراحان حرفه‌ای (تعداد ۸ مورد) مربوط به توسعه و رشد فناوری روز و هماهنگی با این فناوری است. ازجمله ذکر کرده‌اند: «دلیل اصلی آن رایانه‌ای شدن و رفتن به سمت تکنولوژی در همهٔ عرصه‌های زندگی است». بنابراین بیان داشته‌اند که به‌ناچار باید با فناوری روز همراه شد.

بنابراین بیشترین دلیل انتخاب رایانه، برخلاف پیش‌بینی ما، الزامات و اجباری نیست که در محیط کار وجود دارد، بلکه این خود افراد هستند که، با توجه به قابلیت‌ها و کاربردهای موجود در رایانه، استفاده از آن‌ها را ترجیح می‌دهند. ازآنجاکه تعداد افراد در دو گروه دستی و هر دو ابزار بسیار اندک است، استفاده از تحلیل‌های آماری معتبر نیست. اما آمار توصیفی نشان می‌دهد افراد انتخاب‌کنندهٔ رایانه بیشتر به قابلیت‌های

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

۴۸. نک:
C. Charlesworth, "Student Use of Virtual and Physical Modelling in Design Development - An Experiment in 3D Design Education".

۴۹. نک:
H.S. Salman, et al, "The Impact of Computer Aided Architectural Design Programs on Conceptual Design in an Educational Context"; Y.T. Shih, et al, "Using Suitable Design Media Appropriately".

50. premature fixation

51. circumscribed thinking and bounded ideation.

۵۲. نک:
Robertson & Radcliffe, ibid; Robertson, et al, "Creativity and the Use of CAD Tools: Lessons for Engineering Design Education from Industry".

۵۳. نک:
J. Walther, et al, "Avoiding the Potential Negative Influence of CAD Tools on the Formation of Students' Creativity".

نرم‌افزار اشاره کرده‌اند، انتخاب‌کنندگان ابزار دستی بیشتر به علاقه و انتخاب شخصی اشاره دارند، و افرادی که از هر دو استفاده کرده‌اند به محیط کار به‌منزلهٔ عامل تأثیرگذار بر انتخاب ابزار اشاره دارند. در «جدول ۴» رابطه بین انتخاب ابزار و دلیل دیده می‌شود. ازآنجاکه طراحان ممکن است بیش از یک دلیل ذکر کرده باشند، در برخی موارد مجموع درصدها بیشتر از ۱۰۰٪ می‌شود.

۴. تحلیل و نتیجه‌گیری

بخشی از آموزش طراحی و معماری بخصوص در سال‌های اول به آموزش مهارت‌های ترسیمی، پرسپکتیو، رنگ، و پرزانته اختصاص دارد؛ یعنی مهارت‌هایی که برخی از افراد آن‌ها را در حرفهٔ غیرکاربردی می‌بینند. دانش‌آموختگان معماری شرکت‌کننده در این تحقیق استفاده از رایانه را در مرحلهٔ ایده‌آفرینی ترجیح می‌دهند و دلیل این انتخاب را قابلیت بالای نرم‌افزار و نقص در آموزش ترسیمات دستی می‌دانند. سایر محققان که نظر دانشجویان معماری یا طراحان حرفه‌ای را در مورد ابزار ایده‌آفرینی بررسی کردند به نتایج مشابهی رسیدند.[۶۶] اسکیس‌ها و ترسیمات دستی ایده در آموزش معماری جایگاه ویژه‌ای دارند. معمولاً فرض بر این است که این اسکیس‌ها توانایی ایده‌پردازی، خلاقیت، و تحقق بخشیدن به ایده‌ها را در دانشجویان نشان می‌دهد. در تفسیر و ارزیابی مدرسان از کیفیت ایده‌ها در اسکیسْ کیفیتِ ترسیم یک مسئلهٔ جدی است. اسکیس‌هایی که به‌خوبی ترسیم نشده‌اند ممکن است به‌درستی تفسیر نشوند.[۶۷] ترسیم اسکیس با کیفیت ترسیمی بالاتر باعث می‌شود ایده به نظر خلاقانه‌تر برسد.[۶۸] اما به‌تدریج با آشنایی دانشجویان با ابزار رایانه‌ای این مهارت‌های ترسیم دستی به فراموشی سپرده می‌شود و چنانچه یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد بیشتر دانش‌آموختگان معماری از مهارت‌های ترسیم دستی در ایده‌آفرینی استفاده نمی‌کنند و مستقیماً به سراغ رایانه می‌روند.

یکی از مهارت‌های مورد نیاز برای اسکیسْ توانایی درک و استفاده از پرسپکتیو است. استفاده از پرسپکتیو در اسکیس‌ها برای دانشجویان اغلب مشکل‌ترین بخش است.[۶۹] معمولاً بر آموزش این مهارت در سال‌های اولیهٔ دانشگاه تأکید بسیاری می‌شود و بخشی از برنامهٔ دروس معماری به آموزش پرسپکتیو اختصاص دارد؛ و این مهارتی است که به‌محض ورود به دنیای نرم‌افزارهای سه‌بعدیْ بلااستفاده به نظر می‌رسد. در این پژوهش حتی بیشتر افراد استفاده‌کننده از ترسیمات دستی در مرحلهٔ ایده‌آفرینی ذکر کرده‌اند که تنها ایده‌آفرینی دوبعدی را با ترسیمات دستی انجام می‌دهند و به محض نیاز به دیدن سه‌بعدی ایدهٔ خود، به سراغ نرم‌افزار می‌روند. بنابراین شاید بتوان بخشی از این تلاش‌ها، به جای تأکید بر ترسیم صحیح پرسپکتیو، در ارتقای تجسم سه‌بعدی دانشجویان صرف شود. مطالعات سایر محققان نشان داده است که توانایی تصور سه‌بعدی با تمایل به استفاده از اسکیس رابطهٔ مستقیم دارد. به این معنی که دانشجویان به هر میزان که تصور سه‌بعدی قوی‌تری دارند، تمایل بیشتری به اسکیس و ترسیم از خود نشان می‌دهند.[۷۰]

۵۴. نک:
S. Lee & J. Yan, "The Impact of 3D CAD Interfaces on User Ideation".

۵۵. نک:
M. Lorusso, et al, "Conceptual Modeling in Product Design within Virtual Reality Environments".

۵۶. نک:
J. Alcaide-Marzal, et al, "An Exploratory Study on the Use of Digital Sculpting in Conceptual Product Design".

جدول ۴. رابطهٔ عوامل تأثیرگذار با نوع ابزار مورد استفاده در مرحلهٔ ایده‌آفرینی در محیط حرفه‌ای، تدوین: نگارنده.

			عوامل تأثیرگذار				
			انتخاب شخصی	قابلیت نرم‌افزار	محیط کار	فناوری روز	آموزش
نوع ابزار در مرحلهٔ ایده‌آفرینی	ابزار رایانه‌ای	فراوانی	۸	۱۷	۸	۸	۱۵
		درصد	٪۲۳	٪۴۹	٪۲۳	٪۲۳	٪۴۳
	ابزار دستی	فراوانی	۵	۰	۱	۰	۲
		درصد	٪۶۳	٪۰	٪۱۳	٪۰	٪۲۵
	هر دو	فراوانی	۰	۴	۶	۰	۲
		درصد	٪۰	٪۵۷	٪۸۶	٪۰	٪۲۹
	کل	فراوانی	۱۳	۲۱	۱۵	۸	۱۹
		درصد	٪۲۶	٪۴۲	٪۳۰	٪۱۶	٪۳۸

تأکید و توجه بیش از حد به مهارت‌های رنگ و راندو، پرزانته و عرضهٔ نهایی، رنگ کردن دستی آسمان در ابعاد بزرگ، و تمرین‌های طولانی و طاقت‌فرسای ترسیم سه‌بعدی به‌صورت پرسپکتیو گاهی نتیجهٔ بالعکس دارد. به‌طوری‌که برخی از دانش‌آموختگان شرکت‌کننده در نظرسنجی ما بیان داشته‌اند که تأکید بیش از حد در دانشگاه بر مهارت‌های پرزانته موجب شده است تا اعتمادبه‌نفس آن‌ها در مورد ترسیمات دستی از بین برود و همواره از اسکیس احساس ترس داشته باشند و توانایی خود را در عرضهٔ دستی بسیار پایین حس کنند. درحالی‌که اسکیس‌های معماران حرفه‌ای نشان می‌دهد که این ترسیمات از نظر رنگ و راندو بسیار ساده هستند، اما مسیر تفکر و ایده‌آفرینی آن‌ها را نشان می‌دهد[۷۱]. بنابراین سبب شده است که دانشجویان به‌محض آشنایی با ابزار رایانه‌ای، بخصوص در ترسیمات سه‌بعدی، دیگر به سراغ ترسیمات دستی نروند.

نتیجه‌گیری و پیشنهادات این پژوهش در سه سطح آموزش معماری، طراح و محیط، و فناوری عرضه می‌شود که در «جدول ۵» آمده است. یکی از نقاط ضعف آموزش مورد اشارهٔ شرکت‌کنندگان در این نظرسنجی این است که به جای آموزش چگونگی بیان ایده‌ها، به آن‌ها روش‌های رنگ و راندو آموخته شده است و همچنان نمی‌توانند ایده‌هایشان را به‌صورت ترسیمی بیان کنند. انتظار دیده شدن یک ترسیم دستی به‌صورت یک تابلوی زیبا و فقدان آموزش صحیح شیوهٔ بیان و ترسیم دستی ایده و اسکیس از موارد مهم دل‌زدگی از ترسیمات دستی گفته شده است. ازجمله موارد دیگر بیان‌شده دربارهٔ آموزش این است که در سال‌های اول بر ترسیمات دستی و نبود رایانه تأکید می‌شود، اما، بعد از مجاز بودن استفاده از رایانه در سال‌های بالاتر، ترسیمات دستی به‌کلی فراموش شود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در آموزش دانشگاه یک دوقطبی وجود دارد که در برخی از دروس یا برخی از سال‌های تحصیلی به ترسیمات دستی تأکید بیش از حد می‌شود و در مواردی کاملاً همه‌چیز به رایانه سپرده می‌شود و نتیجهٔ مناسبی در بر ندارد. پیشنهاد می‌شود نقاط قوت و ضعف هر دو نوع ابزار در نظر گرفته شود و هر فرد با توجه به مؤلفه‌های استعداد و علاقهٔ طراح، مرحلهٔ فرایند طراحی، نوع ایده، و میزان پیچیدگی حجم تلاش کند تا بتواند از ابزار مناسب بهره گیرد.

قابلیت‌ها و توانایی ابزار رایانه‌ای کمک طراحی همواره در حال پیشرفت است. این ابزار که در گذشته تنها برای عرضهٔ نهایی مناسب دیده می‌شدند و کاربرد فراوانی در ترسیمات نقشه و عرضه و پرزانتهٔ نهایی داشتند، امروزه به‌خوبی می‌توان ادعا کرد که در حال جانشینی ترسیمات دستی و ماکت‌سازی در مرحلهٔ ایده‌آفرینی هستند. این ابزار از برخی جهات مانند سرعت، امکان اصلاح اشتباهات و برگشت‌پذیری، تولید هم‌زمان مدارک عرضهٔ نهایی، و امکان ایجاد فرم‌های پیچیده نسبت به ابزار ترسیم دستی قابلیت بالاتری دارند. بیشتر دانش‌آموختگان شرکت‌کننده در نظرسنجیْ این قابلیت‌ها را دلیل انتخاب ابزار رایانه‌ای در مرحلهٔ ایده‌آفرینی ذکر کرده‌اند.

ابعاد تأثیرگذار	تأثیر بر انتخاب ابزار	پیشنهاد
آموزش معماری	آموزش نامناسب ترسیمات دستی و تأکید بر عرضهٔ زیبا	ـ تأکید بر بیان ایده در آموزش ترسیمات دستی و تأکید بر قدرت تجسم و نه راندو و فنون پرسپکتیو ـ آشنا نمودن دانشجو با نقاط قوت و ضعف هر ابزار
طراح (دانشجو/ معمار)	علایق شخصی	ـ تعامل مناسب طراح و ابزار ـ خلاق ماندن طراح در هر شرایط و ابزار
محیط و فناوری	الزامات محیط کار قابلیت‌ها و محدودیت‌های نرم‌افزار	ـ توسعهٔ ابزار برای استفاده انعطاف‌پذیرتر و تعامل خلاقه در مرحلهٔ ایده‌آفرینی

جدول ۵. نتایج کاربردی پژوهش، تدوین: نگارنده.

۵۷. نک:
Y. Yamamoto & K. Nakakoji, "Interaction Design of Tools for Fostering Creativity in the early Stages of Information Design".

58. medium

۵۹. نک:
T. Fischer, "Enablement or Restriction?".

۶۰. نک:
Alcaide-Marzal, et al, "A 3D Shape Generative Method for Aesthetic Product Design".

۶۱. نک:
I. Iordanova, et al, "Parametric Methods of Exploration and Creativity during Architectural Design".

62. flow experience

۶۳. time distortion: زمانی که به کاری چنان مشغول می‌شویم که متوجه گذشت زمان نمی‌شویم.

64. autotelic experience

۶۵. نک:
H.M. Dawoud, et al, "The Role of Flow Experience and CAD Tools in Facilitating Creative Behaviours for Architecture Design Students".

یافته‌های این تحقیق، که در گام اول با مرور سایر پژوهش‌های تجربی حاصل شده است، نشان دادند که ابزار رایانه‌ای از برخی جهات همچنان نسبت به ترسیمات دستی نقطه‌ضعف‌هایی دارند. ازجملهٔ نقطه‌ضعف‌ها این است که هر نرم‌افزار ممکن است کاربر را در استفاده از فرم‌های خاص محدود کند؛ البته موضوع محدودیت‌های فرمی در ابزار جدید به‌صورت مداوم در حال پیشرفت است و شاید به‌زودی با نرم‌افزارهایی مواجه شویم که محدودیت فرمی کمتری داشته باشند. نقطه‌ضعف دیگر ابزار فوق این است که معمولاً طراحان در هنگام ایده‌آفرینی با آن‌ها تعداد گزینه‌های ایدهٔ کمتری تولید می‌کنند، گزینه‌های تولیدی تنوع کمتری دارند، و اغلب در ایده‌های اولیه درجا می‌زنند و تلاش می‌کنند تا همان ایده را بپرورانند و جزئیات بیشتری به آن اضافه کنند، بدون اینکه آن را رها کنند و به سراغ گزینه بعدی روند؛ گرچه به نظر برخی از محققان این ابزار از این جهت باید ارتقا یابند، از طرف دیگر، برخی از محققان معتقدند این خود طراح است که باید به‌درستی آموزش ببیند؛ همچنین موفقیت در کار با ابزار رایانه‌ای را منوط به شیوهٔ درست بهره‌گیری از آن‌ها از سوی کاربر می‌دانند. بنابراین وظیفهٔ دانشگاه است که شیوهٔ برخورد صحیح با ابزار دستی (نه به‌منزلهٔ ابزاری برای عرضهٔ زیبا و رنگ و راندو، بلکه به‌منزلهٔ ابزاری برای تفکر طراحی و ایده‌آفرینی) و ابزار رایانه‌ای (فراتر رفتن از ویژگی‌های اولیه نرم‌افزار و اسیر نشدن در محدودیت‌های فرمی و جلوه‌های دروغین) را به دانشجویان آموزش دهد.

منابع و مآخذ

پالاسما، یوهانی. *دست متفکر حکمت وجود متجسد در معماری*، ترجمهٔ علی اکبری، تهران: انتشارات پرهام نقش، ۱۳۹۵.

تمیزی، منوچهر و لیلا نظری‌پور گل سفیدی و رؤیا شعبانی. «نقش علوم دیجیتال در طراحی معماری»، گرجستان: *سومین کنفرانس بین‌المللی پژوهش در علوم و تکنولوژی*، خرداد ۱۳۹۵.

خاکزند، مهدی و فرهنگ مظفر. «به‌کارگیری تکنولوژی در فرایند طراحی معماری»، در *نشریه بین‌المللی علوم مهندسی دانشگاه علم و صنعت ایران*، جلد ۱۹، ش ۶ (۱۳۸۷)، ص ۵۳–۷۲.

غریب‌پور، افرا. «مقایسهٔ تحلیلی ترسیم با دست و رایانه در فرایند طراحی معماری»، در *نشریه هنرهای زیبا- معماری و شهرسازی*، دورهٔ ، ش۱ (بهار ۱۳۹۳)، ص ۵–۱۴.

Abdalla, S.B. & M. Rashid & D.R. Ara. "Plausibility of CAAD in Conceptual Design: Challenges in Architectural Engineering for Early-Stage Digital Design Tools", in *Journal of Architectural Engineering*, 27(2) (2021), 04021004.

Alcaide-Marzal, J. & J.A. Diego-Mas & G. Acosta-Zazueta. "A 3D Shape Generative Method for Aesthetic Product Design", in *Design Studies*, 66 (2020), pp. 144-176.

Alcaide-Marzal, J. & J.A. Diego-Más & S. Asensio-Cuesta & B. Piqueras-Fiszman. "An Exploratory Study on the Use of Digital Sculpting in Conceptual Product Design", in *Design Studies*, 34(2) (2013), pp. 264-284.

Alias, M. & D.E. Gray & T.R. Black. "Attitudes towards Sketching and Drawing and the Relationship with Spatial Visualisation Ability in Engineering Students", in *International Education Journal*, 3(3) (2002), pp. 165-175.

Alipour, L. & M. Faizi. "A New Strategy to Reduce Design Fixation: The Middle Sketching Stage", Paper presented at the *DS86: Proceedings of The Fourth International Conference on Design Creativity*, GA, USA, Atlanta: Georgia Institute of Technology, 2016.

Alipour, L. "The Perception of Students' Pre-sketching by Architecture Educators", *in International Journal of Education Through Art*, 17(3) (2021), pp. 389-406.

Bernal, M. & J.R. Haymaker & C. Eastman. "On the Role of Computational Support for Designers in Action", i*n Design Studies*, 41 (2015), pp. 163-182.

Bilda, Z. & H. Demirkan. "An Insight on Designers' Sketching Activities in Traditional versus Digital Media", in *Design Studies*, 24(1) (2003), pp. 27-50.

Bilda, Z. & J.S. Gero & T. Purcell. "To Sketch or not to Sketch? That Is the Question", in Design Studies, 27(5) (2006), pp. 587-613.

Chang, Y-S. & Y-H. Chien & H-C. Lin & M.Y. Chen & H-H. Hsieh.

۶۶. نک:
P. Ekströmer & R. Wever, "Ah, I See What You Didn't Mean, Exploring Computer Aided Design Tools for Design Ideation"; M. Fakhry, et al, "CAD Using Preference Compared to Hand Drafting in Architectural Working Drawings Coursework".

۶۷. نک:
Dinar, et al, ibid.

۶۸. نک:
B. Kudrowitz, et al, "The Influence of Sketch Quality on Perception of Product-idea Creativity".

۶۹. نک:
E. Jenkins, Drawn to Design: Analyzing Architecture through Freehand Drawing .

۷۰. نک:
M. Alias, et al, "Attitudes towards Sketching and Drawing and the Relationship with Spatial Visualisation Ability in Engineering Students".

۷۱. نک:
L. Alipour & M. Faizi, "A New Strategy to Reduce Design Fixation: The Middle Sketching Stage".

"Effects of 3D CAD Applications on the Design Creativity of Students with Different Representational Abilities", in *Computers in Human Behavior*, 65 (2016), pp. 107-113.

Charlesworth, C. "Student Use of Virtual and Physical Modelling in Design Development - An Experiment in 3D Design Education", in *The Design Journal*, 10(1) (2007), pp. 35-45.

Cross, N. "Forty Years of Design Research", in *Design Studies*, 28(1) (2007), pp. 1-4.

Dawoud, H.M. & H. Al-Samarraie & F. Zaqout. "The Role of Flow Experience and CAD Tools in Facilitating Creative Behaviours for Architecture Design Students", in *International Journal of Technology and Design Education*, 25(4) (2015), pp. 541-561.

Dinar, M. & J.J. Shah & J. Cagan & L. Leifer & J. Linsey & S.M. Smith & N.V. Hernandez. "Empirical Studies of Designer Thinking: Past, Present, and Future", in *Journal of Mechanical Design*, 137(2) (2015), 021101.

Ekströmer, P. & R. Wever. "Ah, I See What You Didn't Mean, Exploring Computer Aided Design Tools for Design Ideation", in *The Design Journal*, 22(1) (2019), pp. 1883-1897.

Fakhry, M. & I. Kamel & A. Abdelaal. "CAD Using Preference Compared to Hand Drafting in Architectural Working Drawings Coursework", in *Ain Shams Engineering Journal*, 12(3) (2021), pp. 3331-3338.

Fischer, T. "Enablement or Restriction?", in *Computer-Aided Architectural Design Futures (CAADFutures), 2007 Proceedings of the Twelfth International Conference on CAAD Futures, Springer Verlag, Dordrecht*, 2007, pp. 585-598.

Frich, J. & M. Nouwens & K. Halskov & P. Dalsgaard. "How Digital Tools Impact Convergent and Divergent Thinking in Design Ideation", Paper Presented at the *Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 2021.

Goldschmidt, G. "Manual Sketching: Why is it Still Relevant?", in *The Active Image, Springer*, 2017, pp. 77-97.

Harding, J. E., & P. Shepherd. "Meta-Parametric Design", in *Design Studies*, 52 (2017), pp. 73-95.

Ibrahim, R. & F. Pourrahimian. "Comparison of CAD and Manual Sketching Tools for Teaching Architectural Design", in *Automation in Construction*, 19(8) (2010), pp. 978-987.

Iordanova, I. & T. Tidafi & M. Guité & G. De Paoli & J. Lachapelle. "Parametric Methods of Exploration and Creativity during Architectural Design: A Case Study in the Design Studio", in *Proceedings of 13th International Conference on Computer Aided Architectural Design Futures*, Montréal, Canada, 17–19 June 2009, pp. 423-439.

Jenkins, E. *Drawn to Design: Analyzing Architecture through Freehand Drawing*, Walter de Gruyter, 2013.

Kudrowitz, B. & P. Te & D. Wallace. "The Influence of Sketch Quality on Perception of Product-idea Creativity", in *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing*, 26(3) (2012), pp. 267-279.

Lawson, B. "'Fake' and 'Real' Creativity Using Computer Aided Design: Some Lessons from Herman Hertzberger", in Paper Presented at the *Proceedings of the 3rd Conference on Creativity & Cognition*, 1999.

_____ . "CAD and Creativity: Does the Computer Really Help?", in *Leonardo*, 35(3) (2002), pp. 327-331.

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

Lee, S. & J. Yan. "The Impact of 3D CAD Interfaces on User Ideation: A Comparative Analysis Using SketchUp and Silhouette Modeler", in *Design Studies*, 44 (2016), pp. 52-73.

Linsey, J.S. & E. Clauss & T. Kurtoglu & J. Murphy & K. Wood & A. Markman. "An Experimental Study of Group Idea Generation Techniques: Understanding the Roles of Idea Representation and Viewing Methods", in *Journal of Mechanical Design*, 133(3) (2011), 031008.

Lorusso, M. & G. Colombo & M. Rossoni. "Conceptual Modeling in Product Design within Virtual Reality Environments: Interaction and Geometry Representation", Paper presented at the CAD'20: *17th annual International CAD Conference*, 6-8 (July 2020).

Mao, X. & O. Galil & Q. Parrish & C. Sen. "Evidence of Cognitive Chunking in Freehand Sketching during Design Ideation", in *Design Studies*, 67 (2020), pp. 1-26.

Musta'amal, A.H. & E. Norman & T. Hodgson. "Gathering Empirical Evidence Concerning Links between Computer Aided Design (CAD) and Creativity", in *Design and Technology Education: An International Journal*, 14(2) (2009).

Prats, M. & S. Lim & I. Jowers & S.W. Garner & S. Chase. "Transforming Shape in Design: Observations from Studies of Sketching", in *Design Studies*, 30(5) (2009), pp. 503-520.

Pourrahimian, F. & R. Ibrahim. "Impacts of VR 3D Sketching on Novice Designers' Spatial Cognition in Collaborative Conceptual Architectural Design", in *Design Studies*, 32(3) (2011), pp. 255-291.

Robertson, B.F. & D.F. Radcliffe. "Impact of CAD Tools on Creative Problem Solving in Engineering Design", in *Computer-Aided Design*, 41(3) (2009), pp. 136-146.

Robertson, B.F. & J. Walther & D.F. Radcliffe. "Creativity and the Use of CAD Tools: Lessons for Engineering Design Education from Industry", in *Journal of Mechanical Design*, 129(7) (2007), DOI:10.1115/1.2722329.

Rossoni, M. & P. Bolzan & G. Colombo & M. Bordegoni & M. Carulli. "Survey of Digital Tools for the Generation of Ideas", Paper presented at the *International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference*, 2020.

Salman, H.S. & R. Laing & A. Conniff. "The Impact of Computer Aided Architectural Design Programs on Conceptual Design in an Educational Context", in *Design Studies*, 35(4) (2014), pp. 412-439.

Schon, D.A. & G. Wiggins. "Kinds of Seeing and their Functions in Designing", in *Design Studies*, 13(2) (1992), pp. 135-156.

Shih, Y.T., & W.D. Sher & M. Taylor. "Using Suitable Design Media Appropriately: Understanding How Designers Interact with Sketching and CAD Modelling in Design Processes", in *Design Studies*, 53 (2017), pp. 47-77.

Stones, C. & T. Cassidy. "Comparing Synthesis Strategies of Novice Graphic Designers Using Digital and Traditional Design Tools", in *Design Studies*, 28(1) (2007), pp. 59-72.

Stones, C. & T. Cassidy. "Seeing and Discovering: How Do Student Designers Reinterpret Sketches and Digital Marks during Graphic Design Ideation?", in *Design Studies*, 31(5) (2010), pp. 439-460.

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*, 32(1) (2011), pp. 1-29.

Tversky, B. "What Do Sketches Say about Thinking", Paper presented at the *2002 AAAI Spring Symposium, Sketch Understanding Workshop, Stanford University*, AAAI Technical Report SS-02-08, 2002.

Walther, J. & B. Robertson & D. Radcliffe. "Avoiding the Potential Negative Influence of CAD Tools on the Formation of Students' Creativity", in *Department of Computer Science and Software Engineering, The University of Melbourne*, 2007.

Wojtczuk, A. & N. Bonnardel. "Designing and Assessing Everyday Objects: Impact of Externalisation Tools and Judges' Backgrounds", in *Interacting with Computers*, 23(4) (2011), pp. 337-345.

Woodbury, R.F. & A.L. Burrow. "Whither Design Space?", in *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing: AI EDAM*, 20(2) (2006), p. 63.

Yamamoto, Y. & K. Nakakoji. "Interaction Design of Tools for Fostering Creativity in the early Stages of Information Design", in *International Journal of Human-Computer Studies*, 63(4) (2005), pp. 513-535.