

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۰۱/۲۸

تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۶/۰۴/۲۸

سعید علیتاجر<sup>۱</sup>، سیدایمان سجادی هزاوه<sup>۲</sup>

## تأثیر درس هندسه کاربردی بر توانایی فضایی دانشجویان معماری بررسی میزان تأثیر روش‌های آموزش مرسوم هندسه ترسیمی در معماری<sup>۳</sup>

### چکیده

با توجه به تأثیرگذاری افزایش توانایی فضایی دانشجویان بر درک فضاها و احجام، هدف این پژوهش بررسی میزان اثربخشی یکی از دروس پایه کارشناسی بر افزایش توانایی فضایی است. لذا پرسش اساسی این است که آیا تدریس هندسه کاربردی، با شیوه مرسوم می‌تواند به هدف اصلی تبیین شده در برنامه مصوب شورای عالی برنامه‌ریزی که همانا افزایش توانایی فضایی دانشجویان است، پاسخ گوید؟ برای پاسخ دادن به این پرسش، با مرور سابقه مطالعات مربوط به توانایی فضایی و تأثیر هندسه ترسیمی (به‌عنوان بخش اصلی درس هندسه کاربردی) بر آن، مفاهیم و نظریه‌های مرتبط گردآوری شد. برای تدقیق نتایج تحقیق، بر طبق دو زیرمجموعه توانایی فضایی دو آزمون انتخاب شد و این آزمون‌ها با استفاده از روش تحقیق شبه‌تجربی پیش‌آزمون و پس‌آزمون با گروه گواه در دو دانشگاه با دو برنامه مختلف آموزشی برگزار و نتایج تحلیل گردید. نتایج آزمون‌ها نشان داد که نه تنها گذراندن درس هندسه کاربردی باعث افزایش توانایی فضایی دانشجویان نشده است، بلکه موجب کاهش معنادار در هر دو گروه آزمون شده است. این در صورتی است که داده‌های گروه گواه افزایشی غیرمعنادار را نشان می‌دهد. یکی از علل احتمالی این نتایج را می‌توان تغییر استراتژی دانشجویان در حل مسائل فضایی دانست.

**کلیدواژه‌ها:** توانایی فضایی، هندسه کاربردی، هندسه ترسیمی، آموزش معماری.

<sup>۱</sup> استادیار دانشکده هنر و معماری، دانشگاه بوعلی سینا، استان همدان، شهر همدان (نویسنده مسئول مکاتبات)

E-mail: tajer1966@gmail.com

<sup>۲</sup> کارشناس ارشد معماری، دانشگاه بوعلی سینا، استان همدان، شهر همدان

E-mail: iman.sajadi313@gmail.com

<sup>۳</sup> این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد سیدایمان سجادی هزاوه با عنوان «تأثیر درس هندسه کاربردی بر توانایی تجسم فضایی دانشجویان رشته معماری» با راهنمایی دکتر سعید علیتاجر است که در دانشگاه بوعلی سینا به انجام رسیده است.

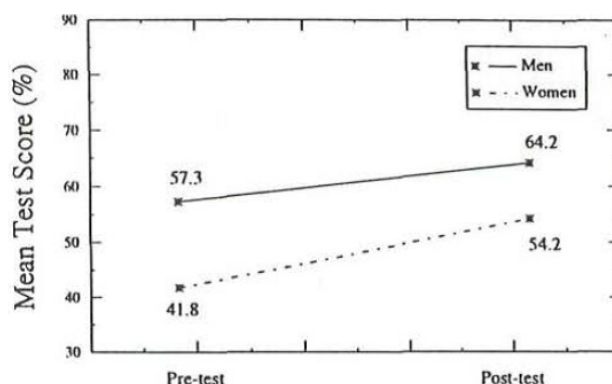
## مقدمه

توانایی درک احجام و فضا یکی از مهم‌ترین توانمندی‌ها در معماری است که در آموزش معماری سعی در پرورش آن بوده است. در طی چند دهه اخیر، مطالعات بسیاری درباره وجوه مختلف توانایی فضایی و پرورش آن در عرصه پژوهشی انجام شده است. هرچند در هسته مرکزی این مطالعات، منظر روشن و رشد یافته‌ای درباره ماهیت توانایی فضایی شکل نگرفته است، اما درباره تأثیرگذاری افزایش این مهارت در درک احجام و فضاها اتفاق نظر وجود دارد. از جمله مطالعات و دسته‌بندی‌های ذکر شده برای توانایی فضایی می‌توان به مطالعات مایر (۱۹۹۴)، تارتره (۱۹۹۰)، لومن (۱۹۸۸) و کارول (۱۹۹۳) اشاره کرد. با وجود چنین منظری، روش‌ها و رویکردهای بسیاری برای تقویت این مهارت و برطرف کردن ضعف‌های دانشجویان، چه در رشته معماری و چه در سایر رشته‌هایی که نیاز به درکی جامع از حجم یا فضا وجود دارد، ایجاد شده است. اما به نظر می‌رسد در ایران عموماً با اتکای صرف به روش‌های قدیمی ترسیم برای افزایش این مهارت مهم، مانعی در جهت بهبود قابل توجه آن ایجاد شده است. آموزگاران و استادان هندسه ترسیمی - به‌عنوان تنها محثی که به تمامی درخمدت افزایش این مهارت است - برای توجیه رویکردها و روش‌های آموزشی خود به سرفصل و اهداف تعیین شده برای این محث اشاره می‌کنند. هرچند به‌تازگی برخی از استادان دست به ابداعاتی برای افزایش درک دانشجویان از فضای دوبعدی و سه‌بعدی زده‌اند، اما به‌طور کلی در ایران هنوز در این عرصه نظریه‌های جامع و توسعه یافته‌ای درباره رشد توانایی فضایی در قالب محث «هندسه ترسیمی» در درس هندسه کاربردی تکوین نیافته است. به منظور توسعه مطالعات در زمینه توانایی فضایی در معماری، تحقیق حاضر با بهره‌گیری از آزمون‌های سنجش توانایی فضایی، درصد ارائه درکی بهتر از میزان اثربخشی درس هندسه کاربردی بر توانایی فضایی دانشجویان معماری بوده است.

## پیشینه تحقیق

با وجود اثبات قطعی تأثیر مستقیم آموزش هندسه ترسیمی بر افزایش توانایی فضایی (Kospentaris, 2005; Gittler & Gluck, 1998; Spyrou, 2010; Leopold, 2005)، در سال‌های اخیر مشاهده می‌شود که یکی از دغدغه‌های محققان این حوزه عدم تأثیر برخی روش‌های تدریس هندسه بر افزایش این مهارت است. برخی دلیل این ناکارآمدی را وجود تصاویر دوبعدی پیچیده دانسته‌اند که امکان فهم از طریق تجزیه و تحلیل را برای دانشجویان فراهم نمی‌کند (Martin-Gutierrez et al., 2010) و برخی دیگر جایگزینی روش‌های ترسیم دستی و ساختن مدل‌های سه‌بعدی در آموزش‌های پایه، با نرم‌افزارهای ترسیم با کامپیوتر (CAD-systems) را موجب کاهش توانایی فضایی در برخی مؤسسات دانسته‌اند (Leopold, 2005). به آزمون گذاشتن انواع شیوه‌های تدریس هندسه ترسیمی، مانند آموزش از طریق نرم‌افزار اتوکد و برگزاری کارگاه با ساخت احجام قابل لمس (Takeyama, Maeguchi, Chibana & Yoshida, 1999) برای یافتن شیوه‌های مناسب‌تر راهی است که بسیار به آن توجه شده است؛ مانند: تأثیر آموزش اریگامی بر روند آموزش هندسه (Boakes & Pomona, 2009)، ایجاد برنامه‌های کاربردی که دانشجویان می‌توانند آزادانه زاویه دید را تغییر و به دانشجویان آزادی عمل بالایی دهند، همانند نرم‌افزار 3D-DIEDRO (Martin-Gutierrez et al., 2010)؛ و سیستم آموزشی هندسه پویا (Nagy-Kondor, 2010) که موجب افزایش ارتباط دانشجویان با مسائل هندسه ترسیمی و البته بهبود توانایی فضایی دانشجویان شود و دوره‌ای لذت‌بخش را فراهم آورد. علاوه بر برنامه‌های مختلف، ابزارهای رایانه‌ای جدید برای درک هندسه سه‌بعدی محرک

(تحت عنوان واقعیت مجازی یا VR) حتی امکان جبران کاستی دانشجویان و یکسان‌سازی سطح توانایی فضایی در یک کلاس را فراهم کرده‌اند (Kaufmann, Steinbügl, Dünser & Glück, 2005).  
سوربای پس از سال‌ها برگزاری کلاس‌های موفق هندسه ترسیمی در دانشگاه MTU آمریکا کلیت روش‌های مورد استفاده در این درس را برای تقویت تجسمات فضایی، ترسیم دستی (اسکیس)، ساختن مدل‌های سه‌بعدی، و شناسایی دانشجویان ضعیف و برگزاری کلاس‌های فوق برنامه برای آنها عنوان می‌کند (Sorby, 1999).



شکل ۱. نتایج نمرات به دست آمده در پیش‌آزمون و پس‌آزمون در ۳ آزمون MRT، MCT و PSVT در دانشگاه MTU توسط سوربای  
منبع: سوربای، ۱۹۹۹

در دانشگاه گراندای اسپانیا ابتدا میزان تأثیرگذاری روش‌های مرسوم آموزش معماری بر توانایی فضایی را بررسی و سپس متدهای تأثیرگذار را ارائه کردند. نتایج بدین شرح بود: «برنامه‌های درسی متوالی، مخصوصاً آنها که از حوزه آموزش عالی اروپا برداشت شده هستند، باعث کاهش قابل ملاحظه توانایی‌های فضایی دانشجویانی شده است که در پی کسب مدارج فنی هستند» (Sanjuán, Robles & Montes Tubío, 2014).

در ایران پژوهش‌ها و مقالات علمی در مورد توانایی فضایی همچون: تأثیر بازی‌های رایانه‌ای بر توانایی چرخش ذهنی نوجوانان (پورمحسنی و همکاران، ۱۳۸۳)، دست برتری و توانایی چرخش ذهنی در کودکان (علی‌پور، ۱۳۸۷)، مقایسه توانایی فضایی، چرخش ذهنی، تجسم دیداری و کشیدن سطح خط آب (وطن‌پرست و همکاران، ۱۳۹۰)، مقایسه چرخش ذهنی دانشجویان فعال و غیرفعال (دهقانی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۳) انجام گردیده است که به دلیل تفاوت‌هایی که در ابعاد و اهداف این تحقیقات وجود دارد نمی‌توانند از جمله اطلاعات پیشینه پژوهش محسوب گردند. لیکن تا تاریخ تنظیم این پژوهش، هیچ مطالعه کمی و یا کیفی در خصوص ارتباط یا تأثیر هندسه ترسیمی و توانایی فضایی در ایران صورت نگرفته است.

## مبانی نظری

### – توانایی فضایی<sup>۱</sup>

توانایی‌های فضایی قسمت اعظم تحقیقات در زمینه روان‌شناسی آموزشی را به خود اختصاص داده‌اند، اما از دهه ۱۹۲۰ یا ۱۹۳۰ که مطالعات تخصصی درباره این موضوع آغاز شده، برخلاف انواع دیگر مهارت‌ها، اجماعی کلی درباره معنی حقیقی عبارت «توانایی‌های فضایی» وجود ندارد. برای مثال، برخی بر این عقیده هستند که «توانایی‌های فضایی یک مهارت برای دستکاری اشیاء یا طرح‌ها در ذهن است» (Kahle, 1983)

و برخی بر این باورند که «توانایی فضایی دستکاری پیچیده و چندگانه اطلاعات فضایی ارائه شده» را شامل می‌شود (Linn & Petersen, 1985). در این بین، دیگران نیز عقیده دارند که «توانایی فضایی دستکاری ذهنی اطلاعات فضایی است که شخص انجام می‌دهد، به این صورت که یک شکل فضایی داده شده را با تغییراتی نظیر چرخش، تازدن، تغییر وضعیت<sup>۲</sup> و یا دیگر تغییرات آگاهانه دستکاری می‌کند» (Salthouse, 1990).

### عوامل اصلی

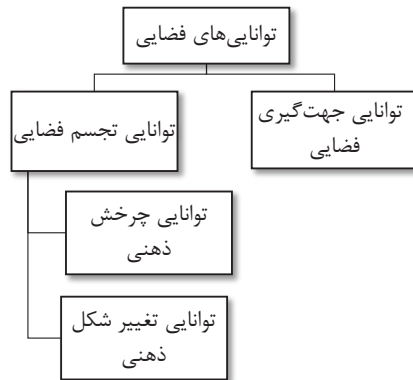
گیلفورد و لوسی<sup>۳</sup> (۱۹۵۶) دو عامل اصلی را تعریف کردند، چرخش فضایی و جهت‌گیری فضایی که پیش از این هم در «چرخش اجسام تجسم یافته در ذهن» تعریف شده بود. ترستون (۱۹۵۰)، عامل S1 را از طریق تأثیر چرخش‌ها در توانایی شناخت یک شکل (همان‌طور که از زوایای مختلف دیده می‌شود، مثلاً از جلو، بالا، و اطراف) معنی کرد.

### طبقه‌بندی عوامل توانایی فضایی

خلق چندین مقاله در زمینه دسته‌بندی مهارت‌های فضایی گواه بر این مطلب است که تعریف واحد و همه‌گیری از توانایی فضایی وجود ندارد. مایر (۱۹۹۴) توانایی‌های فضایی را متشکل از پنج عنصر می‌داند. این پنج عنصر به شرح زیر هستند: ادراک فضایی<sup>۴</sup>، تجسم فضایی<sup>۵</sup>، چرخش فضایی<sup>۶</sup>، ارتباطات فضایی<sup>۷</sup> و جهت‌یابی فضایی<sup>۸</sup>.

مشکلی که این دسته‌بندی با آن مواجه خواهد شد، همپوشانی دسته‌بندی‌ها روی یک فعالیت است. برای مثال چندین فعالیت هستند که می‌توانند هم در ارتباط فضایی و هم در جهت‌یابی فضایی گنجانده شوند. تارتره<sup>۹</sup> (۱۹۹۰) به دنبال تحقیقات قبلی مک‌گی<sup>۱۰</sup> (۱۹۷۹) یک طرح طبقه‌بندی جدید را برپایه فرایندهای ذهنی که برای اجرا و به ثمر رساندن یک عمل مورد استفاده قرار می‌گیرد ارائه نمود. او بر این باور است که دو عامل متمایز برای دسته‌بندی توانایی فضایی می‌توان در نظر گرفت: «تجسم فضایی» و «جهت‌گیری فضایی».

تجسم فضایی دارای متعلقاتی است که حرکات ذهنی یک جسم را دربرمی‌گیرد و جهت‌گیری فضایی، توانایی ذهن برای تغییر نقطه دید است، درحالی‌که شیء در فضا ثابت است. روابط فضایی خود به دو زیرمجموعه چرخش ذهنی<sup>۱۱</sup> و تغییر شکل ذهنی<sup>۱۲</sup> بسط داده می‌شوند. تفاوت مهم این دو زیرمجموعه این است که با «چرخش ذهنی» کل شیء جابجا می‌شود، درحالی‌که با «تغییر شکل ذهنی»، تنها قسمتی از شیء به طرفی جابجا می‌شود. این طرح طبقه‌بندی در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲. طبقه‌بندی تارتره برای توانایی‌های تجسم فضایی

منبع: تارتره، ۱۹۹۰.

پژوهش در مورد توانایی‌های تجسم فضایی برای کشف عوامل جدید و تولید آزمون‌های جدید در خصوص این عوامل همچنان ادامه دارد. یکی از این توانایی‌ها، توانایی فضایی پویا<sup>۱۳</sup> است که برای اولین بار توسط پالگرینو<sup>۱۴</sup> (۱۹۹۱) شناسایی شد و عموماً به صورت کامپیوتری و به عنوان آزمون‌های ورودی به کار می‌رود. همانند شناسایی یک حجم که به یک هدف نزدیک می‌شود، یا تشخیص محل برخورد دو جسم که همزمان در حال حرکت هستند.

### اهمیت توانایی فضایی

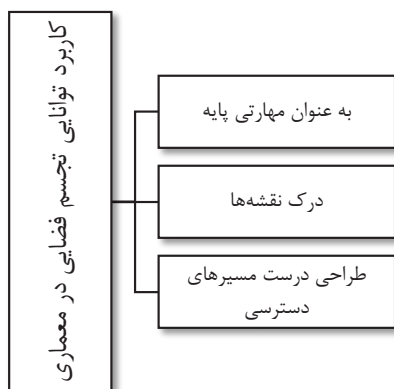
در سال‌های اخیر چندین مقاله آموزشی در مورد اهمیت توانایی فضایی ارائه شده است. از این بین می‌توان به مقاله اسمیت<sup>۱۵</sup> (۱۹۶۴) اشاره کرد. او به این نتیجه رسید که ۸۴ شغل وجود دارد که توانایی فضایی نقش بسزایی در انجام آنها ایفا می‌کند. نتیجه تحقیق مایر<sup>۱۶</sup> (۱۹۹۴) نشان داد برای حرفه‌های فنی مثل مهندسی، توانایی فضایی، بالاخص توانایی «چرخش ذهنی» از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. در تحقیقی که نورمن<sup>۱۷</sup> (۱۹۹۴) انجام داد، نتیجه حاصل شده بدین شرح بود که سطح توانایی فضایی یک فرد بهترین تخمین‌زننده موفقیت افراد در توانایی تعامل و استفاده از کامپیوتر است.

بریک<sup>۱۸</sup> (۱۹۹۳) همچنین می‌گوید توانایی‌های فضایی قوی برای درک شیمی ساختاری و شیمی پایه لازم و ضروری است. مک‌کیم<sup>۱۹</sup> (۱۹۸۰) به این نکته اشاره می‌کند که توانایی تفکر بصری نه تنها برای هنرمندان ضروری است بلکه برای کسانی که در شغل‌های علمی و فنی خدمت می‌کنند نیز لازم است. او چندین مثال از کشفیات و /یا ارتقاء در پیشرفت‌های تکنولوژی در طول تاریخ را که با دیدن و تجسم ایجاد شده‌اند و تأثیر بلندمدتی بر جامعه داشته‌اند آورده است؛ به عنوان مثال کشف پنیسلین توسط فلمینگ، کشف ساختار حلقه بنزین توسط ککول<sup>۲۰</sup>، کشف ساختار مارپیچ DNA توسط واتسون<sup>۲۱</sup>، اختراعاتی همچون لامپ فلوروسنت و مولد A-C توسط تسلا<sup>۲۲</sup>. او همچنین به تداوم استفاده انشتین از فکرش از طریق تفکر بصری و تصاویر اشاره می‌کند و می‌گوید برای انشتین سخت بود که افکارش را در قالب کلمات به عنوان ساختار ثانویه بگنجانند.

### اهمیت توانایی فضایی در معماری

محورهای اصلی درس پیش‌نیاز برای تقویت مهارت‌های پایه دانشجویان معماری در مصوبه شورای عالی برنامه‌ریزی عبارت‌اند از تخیل، تجسم فضایی و مهارت‌های بیانی و تقویت خلاقیت. در سال ۲۰۱۰ خانم یاگمور کلیمکی<sup>۲۳</sup> از دانشگاه تکنولوژی جورجیا اهمیت تجسم سه‌بعدی فضا در معماری را این‌گونه بیان می‌کند: «بسیاری از معماران درباره ابعاد مختلف تجسم سه‌بعدی ذهنی مؤثر بر روند طراحی‌شان، به‌ویژه زمانی که به سهولت در حال کار با نقشه‌های دوبعدی از طرحشان هستند، مطالبی را بیان کرده‌اند. درک اطلاعات مربوط به یک ساختمان از طریق نقشه‌ها و تصاویر دوبعدی، به‌طور کلی نشان‌دهنده این است که هر معمار باید با نگاه کردن به طرح‌های دوبعدی، در ذهن خود به تصویرسازی سه‌بعدی از آن ساختمان بپردازد و از این طریق، یعنی تجسم سه‌بعدی از یک ساختمان، ابعاد مختلفی از آن ساختمان را به‌راحتی درک کند. این تحقیقات در حوزه آموزش معماری نشان داده است که «توانایی تجسم فضایی» نقش مهمی در انجام طراحی معماری ایفا می‌کند. همچنانکه «توانایی فضایی»، به عنوان مهارتی ضروری برای معماران در تصویرسازی سه‌بعدی ذهنی، شناخته شده است. در این زمینه تحقیقاتی صورتی گرفته است که مؤید ارتباط مستقیم تجسم سه‌بعدی و توانایی فضایی با استفاده از

آزمون‌های مختلف بوده است (Yukhina, 2007; Ho, 2006). مارتین بروسامل و کریستوف هولشر<sup>۲۴</sup> در سال ۲۰۰۷ در مورد توانایی‌های معماران در طراحی، مقاله‌ای با عنوان «معماران از دید استفاده‌کنندگان از بنا می‌نگرند» واژه‌ای را به‌عنوان مسیریابی<sup>۲۵</sup> مطرح می‌کنند. آنها در تعریف این واژه مدعی هستند که «مسیریابی» در حوزه طراحی معماری استفاده می‌شود و به توانایی فرد در «جهت‌یابی فضایی» اشاره دارد که به طراحی درست مسیرهای دسترسی در ساختمان می‌انجامد. به کمک طراحی درست مسیرهای دسترسی خواهیم توانست از جایی که در آن هستیم به سهولت به مسیر/مکان مورد نظر خود برسیم.



شکل ۳. نمودار اهمیت توانایی فضایی در معماری

### افزایش توانایی فضایی

لیتل، ترلیکی و نیوکامب<sup>۲۶</sup> (۲۰۰۸) نشان دادند که پیشرفت توانایی فضایی که از طریق آموزش حاصل شود بادوام و دیرپاست و آموزش مداوم در تمرینات چرخش برای زنها بسیار مهم‌تر است. این اظهارات برای این عقیده که تمام افراد می‌توانند به‌طور بالقوه مهارت‌های فضایی خود را با تمرینات مناسب و آموزش بهبود بخشند و داشتن توانایی ذاتی برتر لزوماً پیش‌نیاز موفقیت نیست، بسیار ضروری و حیاتی می‌نماید. همچنین یافته‌ها بر اهمیت پایایی تمرینات و توزیع مناسب زمان تمرین و آموزش برای مهارت‌های فضایی تأکید کردند. بنابراین تحقیقات نشان دادند که توانایی‌های فضایی تغییرناپذیر نیستند و می‌توان آنها را بهبود بخشید.

در علوم مهندسی مطالعات تأویلی سوربای<sup>۲۷</sup> (۲۰۰۹) نشان از توسعه مهارت‌های سه‌بعدی، بالاخص برای زنان داشته است. دانشگاه تکنولوژی میشیگان در یک ترم کنفرانس و دوره کارگاهی را جهت افزایش توانایی‌های فضایی دانشجویان برگزار کرد و دوره‌ای هم برای دانشجویانی که در تست چرخش فضایی پوردو (PSVT:R) کمتر از ۶۰٪ گرفته بودند تشکیل داد. زنانی که این دوره را گذرانده بودند نمره بالاتری نسبت به سایر زنان گرفتند. بنابراین با نتایج به‌دست آمده به‌نظر رسید که تأثیر مثبتی که در توانایی فضایی آنها ایجاد شد و این تأثیرات پایدار بوده است.

### افزایش توانایی فضایی در مؤسسه‌ها و دانشکده‌های معماری

در دانشکده‌ها و مؤسسات معماری، اغلب از همان سال اول آموزش و معمولاً از طریق ارائه واحدهای تخصصی یا واحدهای کارگاهی، به کمک ترسیمات دوبعدی و سه‌بعدی به آموزش و ترسیم و طراحی از ساختمان می‌پردازند و طی این آموزش هدف مؤسسات و دانشکده‌ها و انتظار آنها از دانشجویان این

است که توانایی تجسمات ذهنی خود از فضا و اشکال سه بعدی را پرورش دهند (Yagmur, 2010). در مشخصات کلی، برنامه و سرفصل دروس شورای عالی برنامه‌ریزی مصوب آبان ۱۳۷۷، اهداف و نوع تمرینات و ارائه دروس به تفصیل ذکر شده است. دروس پایه برای تقویت توانایی‌های پایه و ضروری برای رشته معماری در نظر گرفته شده است. برای افزایش «توانایی فضایی» به‌عنوان مهارتی بنیادین در معماری، دروسی باید تأثیر مستقیم و دروسی باید به‌طور بالقوه تأثیراتی داشته باشند. «هندسه کاربردی» اولین درسی است که هدف اصلی خود را «افزایش توانایی درک فضا و احجام» قرار داده است و تنها درسی در طول دوره معماری است که اغلب اهداف ذکر شده در آن در خدمت افزایش «توانایی فضایی» است (شورای عالی برنامه‌ریزی، ۱۳۷۷). پس از این درس، درس هندسه مناظر و مرایا، به‌دلیل دارا بودن محتوای ترسیم سه‌بعدی را می‌توان درسی تأثیرگذار در این زمینه به‌حساب آورد. سایر دروس پایه، همانند مقدمات طراحی ۱ و ۲، بیان معماری ۱ و ۲ را تنها به‌دلیل تمرینات ترسیمی می‌توان دارای تأثیراتی بر این توانایی به‌حساب آورد.

### هندسه کاربردی

درس هندسه کاربردی شامل دو هدف است، یکی تقویت توانایی فضایی و دیگری آشنایی با استانداردهای نقشه‌کشی. همان‌طور که اشاره شد غالب مباحث این درس در خدمت افزایش توانایی‌های فضایی و شامل مباحث «هندسه ترسیمی» است.

### هندسه ترسیمی

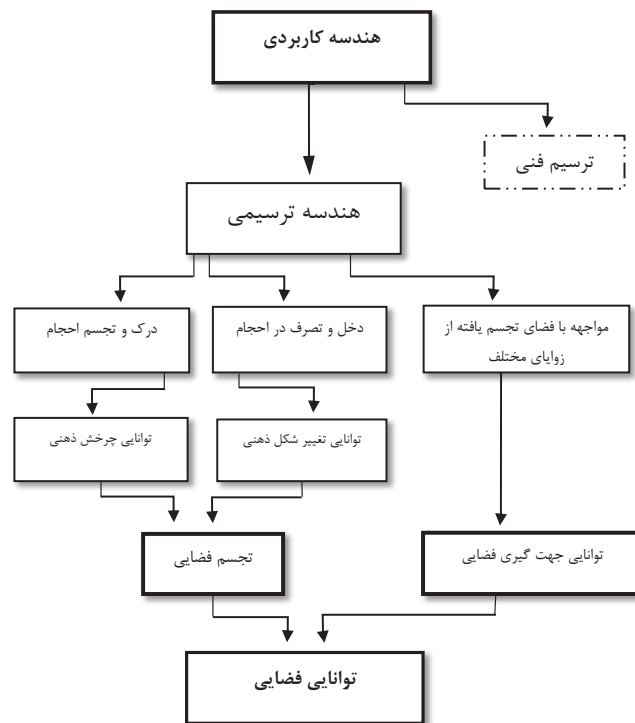
هندسه ترسیمی<sup>۲۸</sup> در اغلب رشته‌های مهندسی و برخی رشته‌های هنری برای «افزایش توانایی فضایی» دانشجویان در ابتدای ورود به دانشگاه به‌کار می‌رود. «هندسه ترسیمی» زیرساخت‌هایی برای ایجاد و یادگیری رسم‌های دوبعدی از اشیاء سه‌بعدی فراهم می‌کند و به «ارتقای توانایی‌های فضایی» کمک می‌کند. هندسه به‌عنوان یکی از زیرشاخه‌های ریاضیات با مباحثی همچون رابطه‌ها، فاصله نقاط، خطوط، صفحات و احجام و همچنین تغییر شکل‌ها سر و کار دارد (Leopold, 2005).

### تحقیق تجربی

این بخش از مقاله به گزارش یک تحقیق شبه‌آزمایشی برای آزمون روش‌های مرسوم تدریس درس هندسه کاربردی اختصاص دارد.

### – فرضیه‌ها و متغیرهای اصلی تحقیق

با توجه به چهارچوب نظری تحقیق می‌توان فرضیه زیر را مطرح نمود: روش‌های مرسوم و سنتی تدریس درس هندسه کاربردی نمی‌تواند تأثیر معناداری بر افزایش توانایی فضایی دانشجویان معماری داشته باشد.



شکل ۴. چهارچوب نظری تحقیق

بر پایه فرضیه اصلی تحقیق، درس هندسه کاربردی و توانایی فضایی دانشجویان به ترتیب متغیرهای مستقل و وابسته هستند. مشاهده و اندازه‌گیری توانایی فضایی به‌عنوان رفتار نهان، چالش‌برانگیز است. با این حال، در پژوهش‌های روان‌شناسی تربیتی توانایی فرد را از طریق رفتار آشکار وی، یعنی عملکرد او در تکالیف مشاهده و اندازه‌گیری می‌کنند (سیف، ۱۳۸۲). بنابراین، عملکرد دانشجویان در آزمون‌های توانایی فضایی به‌عنوان متغیر وابسته تحقیق تعیین شد.

#### - روش‌شناسی تحقیق

در این تحقیق از طرح تحقیق شبه‌آزمایشی با گروه گواه استفاده شد. به گونه‌ای از این طرح‌ها که در آن به هر دلیل انتخاب و انتساب آزمودنی‌ها به صورت تصادفی انجام نمی‌شود، «طرح دوگروهی ناهمسان با پیش‌آزمون و پس‌آزمون» گفته می‌شود (سرمد و دیگران، ۱۳۹۵). در این روش متغیر وابسته یک‌بار قبل از دستکاری و متغیر مستقل و بار دیگر پس از اجرای آزمایش و دستکاری متغیر آزمایشی اندازه‌گیری می‌شود. جدول ۱ طرح تحقیق شبه‌آزمایشی مورد استفاده در تحقیق را نشان می‌دهد.

#### - آزمودنی‌ها

دانشجویان کارشناسی مهندسی معماری دانشگاه‌های ایران در بدو ورود به آموزش پایه جامعه آماری این تحقیق را شکل می‌دهند. بر این اساس دانشجویان گروه آزمون برای حذف تأثیر مدرس و تأثیر سایر دروس، از بین دانشجویان ترم اول کارشناسی پیوسته مهندسی معماری دانشگاه بوعلی سینا و دانشگاه آزاد اسلامی همدان انتخاب شدند (مدرسان و سایر دروس ارائه شده در نیمسال اول تحصیلی در دو دانشگاه متفاوت است). آزمون‌ها در نیمسال اول سال تحصیلی ۱۳۹۴-۱۳۹۵ اجرا شد. انتخاب



و انتساب آزمودنی‌ها در گروه‌های آزمایشی از طریق نمونه‌گیری در دسترس انجام شد. ۲۴ نفر از دانشجویان ورودی مهندسی معماری دانشگاه بوعلی سینا و ۵۰ نفر از دانشجویان ورودی دانشگاه آزاد اسلامی همدان به‌عنوان گروه آزمون در نظر گرفته شدند. دانشجویان گروه گواه، به دلیل حذف عامل استعداد تحصیلی و تأثیر دروس مؤثر بر توانایی فضایی، ۳۰ نفر از بین دانشجویان ورودی رشته مهندسی کامپیوتر دانشگاه بوعلی سینا انتخاب شدند.

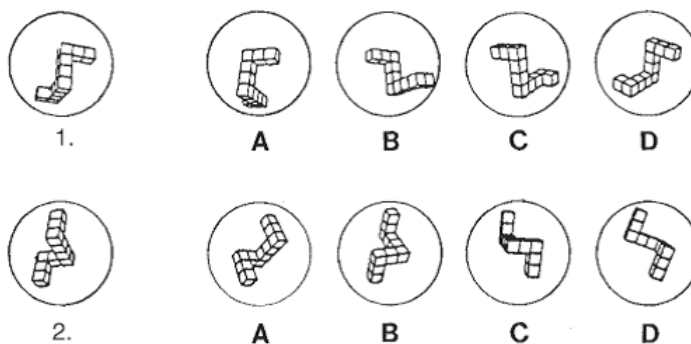
جدول ۱. طرح پیش‌آزمون و پس‌آزمون با گروه کنترل برای پژوهش پیش‌رو

گروه	پیش‌آزمون	متغیر مستقل	پس‌آزمون
گروه آزمون	عملکرد آزمودنی‌ها در آزمون‌های معین	روش آموزش مرسوم	عملکرد آزمودنی‌ها در آزمون‌های معین
گروه گواه	عملکرد آزمودنی‌ها در آزمون‌های معین	—	عملکرد آزمودنی‌ها در آزمون‌های معین

### -آزمون‌ها

#### MRT آزمون

همان‌طور که در بخش «طبقه‌بندی عوامل توانایی فضایی» توضیح داده شد، «تجسم فضایی» و «جهت‌گیری فضایی» دو بعد توانایی فضایی هستند. تجسم فضایی دارای متعلقاتی است که حرکات ذهنی یک جسم را در برمی‌گیرد و معتبرترین آزمون در دسترس در این زمینه تست چرخش ذهنی وندنبرگ و کیوز (MRT) است. این آزمون شامل مواردی است که در آن شکل بلوک (قطعه) نمایش داده شده، سپس حول یک یا دو محور چرخانده می‌شود. سپس باید دو تا از چهار پاسخ داده شده که با ترتیب (چینش) بلوک (قطعه) داده شده یکسان است انتخاب شود. دو موردی که در شکل ۲ نشان داده شده از نمونه سؤالات تست MRT است. این تست در قالب بازترسیم شده هم در دسترس است (Mohler, 2006).



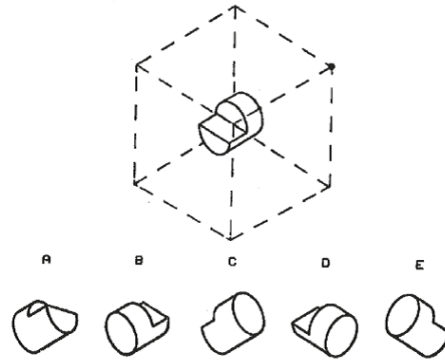
شکل ۵. آیتم ۱ و ۲ از تست چرخش ذهنی وندنبرگ و کیوز

منبع: Mohler, 2006

#### PSVT آزمون

«جهت‌گیری فضایی» دربرگیرنده توانایی ذهن برای تغییر نقطه دید است، درحالی‌که شیء در فضا ثابت در نظر گرفته شده است. آزمون منتخب در این بخش آزمون زاویه دید PSVT (۱۹۷۶) است. آزمون‌های

فضایی به دلیل سهولت چرخش جسم توسط آزمودنی‌ها، عموماً مورد انتقاد قرار داشته‌اند. گوآی<sup>۲۹</sup> سعی کرد با رسیدگی به این مسئله در سال ۱۹۷۶ آزمونی معتبر با نام آزمون چرخش فضایی پوردو (PSVT) را که شامل تجسم، چرخش و نمایش (جهت) بود طراحی کند. بخش زاویه دید (جهت) نیاز به تجسم کردن یک شیء از زوایای مختلف داشت. زاویه دید از گوشه‌های مختلف یک مکعب شفاف که در شکل ۶ نمایش داده شده است (Guay, 1977).



شکل ۶. تست PSVT بخش زاویه دید

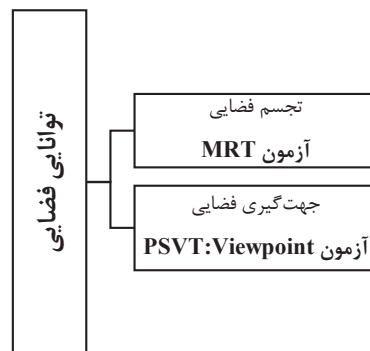
منبع: Guay, 1977

### - رویه آزمایش

رویه آزمایش شامل یک پرسش‌نامه محقق ساخته برای دریافت اطلاعاتی در مورد جنسیت، معدل، سابقه تحصیلی، میزان تسلط و آشنایی با نرم‌افزارهای سه‌بعدی سازی، تکنیک‌های ترسیم دستی (اسکیس و کروکی) و میزان استفاده از بازی‌ها و اپلیکیشن‌ها و نوع محیط آنها و اجرای آزمون‌های مشابه سنجش توانایی فضایی طبق طرح آزمایش در دو مرحله پیش‌آزمون و پس‌آزمون بود.

### پیش‌آزمون

پیش‌آزمون از طریق برگزاری دو آزمون مذکور پیش از برگزاری جلسات درس هندسه کاربردی برای گروه‌های آزمون، و برای گروه گواه در هفته اول آغاز سال تحصیلی اجرا شد.



شکل ۷. آزمون‌ها بر طبق دسته‌بندی تارتره

### پس‌آزمون

پس‌آزمون با بهره‌گیری مجدد از آزمون‌های سنجش توانایی فضایی اجرا شد. توضیحات بسیاری همراه با مثال برای اطمینان از درک درست دانشجویان از روند آزمون‌ها، پیش از برگزاری داده شد.

### - پایایی (ضریب اطمینان) ابزارهای مورد نظر

به دلیل اینکه این آزمون، آزمون سرعت است و زمان و استراتژی حل مسئله در پاسخگویی بسیار مؤثر بوده و ممکن است تعدادی از پاسخ‌دهندگان نتوانند به موارد پایانی پاسخ گویند، لذا بهتر است برای دریافت میزان پایایی از «روش آزمون مجدد (بازآزمایی)» استفاده شود. با استفاده از این روش، پایایی آزمون MRT «۰/۹۲» و آزمون جهت‌یابی فضایی «۰/۸۹» بدست آمد.

### گروه آزمون

مطابق با طرح آزمایش، گروه‌های آزمون تحت شرایط مرسوم آموزش هندسه ترسیمی قرار گرفتند و یکسان نبودن مدرس و برنامه درسی دانشجویان در طول ترم موجب حذف متغیرهای مزاحم مدرس و سایر دروس شد.

### گروه گواه

مطابق با طرح آزمایش، گروه گواه هیچ‌گونه درسی را که موجب تأثیرگذاری در توانایی فضایی ایشان شود نگذراند.

### یافته‌های تحقیق

جدول ۲. نتایج عملکرد دانشجویان دانشگاه بوعلی سینا و دانشگاه آزاد در آزمون‌ها

آمار توصیفی نتایج آزمون PSVT و MRT				آمار توصیفی نتایج آزمون PSVT و MRT			
گروه آزمون دانشگاه بوعلی		میانگین	تعداد	گروه آزمون دانشگاه آزاد		میانگین	تعداد
آزمون اول	MRT پیش آزمون	۱۱/۱۸۱۸	۲۲	آزمون اول	MRT پیش آزمون	۶/۰۶۰۰	۵۰
	MRT پس آزمون	۹/۳۷۲۷	۲۲		MRT پس آزمون	۵/۲۲۰۰	۵۰
آزمون دوم	PSVT پیش آزمون	۱۱/۵۰۰۰	۲۲	آزمون دوم	PSVT پیش آزمون	۹/۸۲۰۰	۵۰
	PSVT پس آزمون	۱۰/۹۳۱۸	۲۲		PSVT پس آزمون	۹/۲۸۰۰	۵۰

جدول ۳. نتایج عملکرد دانشجویان دانشگاه بوعلی سینا (گروه کنترل) در آزمون‌ها

آمار توصیفی نتایج آزمون PSVT و MRT			
گروه کنترل		میانگین	تعداد
آزمون اول	MRT پیش آزمون	۵/۸۴۲۸	۲۲
	MRT پس آزمون	۶/۴۰۶۳	۲۲
آزمون دوم	PSVT پیش آزمون	۹/۱۲۵۰	۲۲
	PSVT پس آزمون	۹/۹۶۸۸	۲۲

جدول ۴. بررسی سطح معناداری تغییرات در نتایج پیش آزمون و پس آزمون MRT و PSVT برای تمامی گروه‌ها

سطح معنی داری	تعداد	گروه	آزمون	سطح معنی داری	تعداد	گروه	آزمون
۰/۵۰۳	۲۲	آزمون بوعلی	آزمون جهت یابی فضایی PSVT	۰/۰۰۱	۲۲	آزمون بوعلی	آزمون چرخش ذهنی MRT
۰/۰۰۰	۵۰	آزمون آزاد		۰/۰۰۰	۵۰	آزمون آزاد	
۰/۰۵۲	۳۲	گواه بوعلی		۰/۰۹۸	۳۲	گواه بوعلی	

### - بررسی سطح معناداری افزایش‌ها و کاهش‌ها

میزان کاهش عملکرد برای هر دو گروه آزمون دانشگاه بوعلی سینا و دانشگاه آزاد همدان معنی دار است ( $P > 0.05$ ). میزان افزایش عملکرد دانشجویان گروه گواه معنی دار نیست ( $P < 0.05$ ). کاهش عملکرد در نتایج آزمون PSVT برای دانشجویان دانشگاه آزاد معنادار است، اما کاهش عملکرد دانشجویان بوعلی سینا و افزایش عملکرد برای گروه گواه، معنادار نیست.

### - بررسی میزان همبستگی نتایج دو آزمون

میزان همبستگی نتایج دو آزمون برای دریافت میزان تناسب آنها در معنی کردن کلیتی واحد به‌عنوان توانایی فضایی به‌وسیله ضریب همبستگی پیرسون برای گروه آزمون دانشگاه بوعلی سینا  $0.683$  (با سطح معناداری  $0.000$ )، برای گروه آزمون دانشگاه آزاد  $0.783$  (با سطح معناداری  $0.000$ ) و برای گروه گواه  $0.471$  (با سطح معناداری  $0.001$ ) به‌دست آمد که نشان از همبستگی دو آزمون برای تمام گروه‌ها دارد.

### استراتژی در حل مسائل فضایی

پس از مشاهده کاهش نمرات دانشجویان در مطالعات انجام شده برای یافتن علل احتمالی، یک مورد بیش از سایر موارد توجه ما را به خود جلب کرد یعنی استراتژی‌ها (روش‌های) حل مسائل. پژوهش‌های بسیاری در مورد توانایی‌های فضایی گزارش شده است که آزمودنی‌ها سؤالات پیچیده فضایی را با راه حل‌های مختلفی انجام می‌دهند (Lohman, 1979). تغییر مسیر حل آزمون باعث پیچیده شدن تفسیر تمام آزمون‌های فضایی می‌شود. زیرا اعتبار آزمون‌ها بسته به این فرض است که تمامی آزمودنی‌ها از یک شیوه حل استفاده می‌کنند.

روش‌های کمی ثابت کرد که یک مانع عمده در این زمینه «روش‌های جایگزین در حل مسائل توانایی فضایی است» که تبدیل به یک منبع نگرانی شده است. محققان فرض کرده بودند که تمامی شرکت‌کنندگان از یک روش برای حل مسائل توانایی فضایی استفاده می‌کنند و از این‌رو به استفاده از معیارهای کمی ادامه دادند که باعث بی‌توجهی به سایر شیوه‌های حل مسئله شد. این روند ادامه داشت تا محققان استفاده از شیوه‌های کیفی را آغاز کردند که در آنها روش‌های مختلف حل کردن تعریف شده و تأثیرات تمرین و تکرار به‌روشنی در نظر گرفته شده بود. محققان با روش‌های کیفی دریافتند که آزمودنی‌ها از مسیر یکسانی در حل تست‌ها استفاده نمی‌کنند و اغلب روششان بر طبق سختی سؤالات تغییر می‌کند. به‌عنوان مثال مایرز<sup>۲۰</sup> در ۱۹۵۸ دریافت که آزمودنی‌ها از تکنیک‌های تجسمی (که به آن روش گشتالت یا

کل‌های معنی‌دار گفته می‌شود و آزمودنی‌ها در تست‌های چرخش استفاده از کلیت اشیاء را در نظر داشتند) برای حل مسائل سطحی و آسان استفاده می‌کنند و در مواجهه با مسائل مشکل‌تر، روش را به تکنیک‌های تجزیه و تحلیل تغییر می‌دهند. روشن است که استفاده از تکنیک‌های تجسمی به حل مسائل سرعت می‌بخشد و تکنیک‌هایی که وابسته به تجزیه و تحلیل هستند به دلیل ماهیت این گونه شیوه‌های حل مسئله زمان بیشتری لازم دارند.

### - فرضیه تغییر روش دانشجویان در پس آزمون

از این رو یکی از فرضیه‌های در نظر گرفته شده برای یافتن دلیل کاهش معنادار نتایج آزمون‌ها تغییر روش (استراتژی) دانشجویان در برخورد با مسائل بود. با مقایسه تعداد سؤالات پاسخ داده نشده در پیش آزمون و پس آزمون در گروه‌های آزمون دریافتیم که در مدت زمان یکسان دانشجویان در پس آزمون به سؤالات کمتری پاسخ داده‌اند. این در صورتی است که در هیچ‌کدام از آزمون‌ها اجباری به افراد برای ماندن تا انتهای زمان آزمون وجود نداشت و هیچ‌کدام از دانشجویان نیز جلسه آزمون را زودتر از موعد ترک نکردند.

جدول ۵. مقایسه میانگین و سطح معناداری تعداد سؤالات پاسخ داده نشده دانشجویان دانشگاه بوعلی سینا و دانشگاه آزاد همدان

سطح معناداری	میانگین	دانشگاه آزاد
	۲۱/۳۶۰۰	پیش آزمون MRT
۰/۰۰۰	۲۲/۳۸۰۰	پس آزمون MRT
	۵/۵۸۰۰	پیش آزمون PSVT
۰/۰۰۰	۶/۵۰۰۰	پس آزمون PSVT
		دانشگاه بوعلی
	۱۴/۵۹۰۹	پیش آزمون MRT
۰/۰۰۰	۲۱/۴۰۹۱	پس آزمون MRT
	۴/۴۵۴۵	پیش آزمون PSVT
۰/۱۰۴	۵/۹۰۹۱	پس آزمون PSVT

برطبق داده‌های جداول فوق، در اکثر موارد، به غیر از یک مورد افزایش تعداد سؤالات پاسخ داده نشده کاملاً معنادار است؛ از این رو می‌توان فرضیه تغییر استراتژی در حل مسائل فضایی را محتمل دانست.

### نتیجه‌گیری

یافته‌های تحقیق نشان می‌دهد که روش‌های مرسوم آموزش هندسه ترسیمی نه تنها موجب رشد توانایی‌های فضایی دانشجویان نمی‌شود (که در سرفصل و اهداف ذکر شده به روشنی به آن اشاره شده است)؛ بلکه نتایج عملکرد دانشجویان در هر دو دانشگاه نشان‌دهنده کاهش معنادار است. این در صورتی است که بررسی نتایج گروه کنترل در نظر گرفته شده در این پژوهش افزایشی غیرمعنادار را به دلیل تکرار آزمون نمایش داد. بررسی میزان موفقیت آموزش هندسه ترسیمی در نیل به اهداف مصوب در شورای عالی برنامه‌ریزی که در دو دانشگاه با دو برنامه مختلف آموزشی و دو مدرس مختلف و با بهره‌گیری از آزمون‌های استاندارد بین‌المللی سنجش توانایی فضایی، MRT و PSVT (که تمامی ابعاد توانایی فضایی

را مورد آزمون قرار می‌دهند) صورت گرفت، نشان‌دهندهٔ اختلال نگران‌کننده در توانایی‌های دانشجویان در حل مسائل فضایی و درک فضا است.

نتیجه فوق به‌نوبه خود اعلامیه‌ای برای آغاز بازنگری در سنت‌های معاصر آموزش معماری است. تجارب بسیاری از استادان باتجربه در ایران حاکی از لزوم خارج شدن مفاهیم معماری از کاغذ و لمس فضا توسط دانشجویان است، اما خلأ بررسی و نقدی علمی با بهره‌گیری از روش‌های بین‌المللی نیز باید توسط محققان پر شود.

مطابقت واژه‌های کلیدی راهنما که در جزوهٔ شورای عالی برنامه‌ریزی آمده با آنچه در حوزهٔ تحقیقات توانایی فضایی است، این سؤال را به ذهن متبادر می‌کند که آیا آنچه در این مصوبات ذکر شده است تنها بازنویسی و ترجمهٔ واژگانی پرکاربرد و سنگین، بدون دقت به کاربرد و معانی آن است یا خیر؟

این پژوهش به‌صورت کمی انجام شد. سؤالات پاسخ داده نشده در آزمون‌های فضایی افزایش معناداری یافته است. گمانه‌زنی‌ها برای یافتن علل کیفی این کاهش معنادار عملکرد در آزمون‌های فضایی، به تغییر در رویه فکری و استراتژی دانشجویان در حل مسائل فضایی مرتبط دانسته شده است. از این رو به علاقه‌مندان به تحقیق در این حوزه پیشنهاد می‌شود علاوه بر بررسی کمی عملکرد دانشجویان، روش‌های حل مسئله دانشجویان نیز به‌صورت کیفی مورد مطالعه قرار گیرد.

## پی‌نوشت‌ها

1. Spatial ability
2. repositioned
3. Guilford and Lacy
4. Spatial perception
5. Spatial visualization
6. Spatial rotation
7. Spatial relations
8. Spatial orientation
9. Tartre
10. McGee
11. Mental Rotation
12. Mental Transformation
13. Dynamic spatial ability
14. Pellegrino
15. Smith
16. Maier
17. Norman
18. Barke
19. McKim
20. Kekule
21. Watson
22. Tesla
23. Yagmur, E. K.
24. Martin Brosamle and Christoph Holsecher

25. Wayfinding
26. Little, Terlecki and Newcombe
27. Sorby
28. Descriptive Geometry
29. Guay
30. Myers

## فهرست منابع

- پورمحسنی کلوری، فرشته؛ وفایی، مریم و آزادفلاح، پرویز (۱۳۸۳). «اثر بازی‌های رایانه‌ای بر توانایی چرخش ذهنی نوجوانان»، *تازه‌های علوم شناختی*، ۶(۳-۴): ۷۵-۸۴.
- دهقانی‌زاده، جلال؛ محمدزاد، حسن و حسینی، فاطمه سادات (۱۳۹۳). «مقایسه چرخش ذهنی دانشجویان فعال و غیرفعال»، *رفتار حرکتی (پژوهشگاه تربیت بدنی و علوم ورزشی)*، ۱۶: ۹۳-۱۰۶.
- سرمد، زهره؛ بازرگان، عباس و حجازی، الهه (۱۳۹۵). *روش‌های تحقیق در علوم رفتاری*. انتشارات آگه، تهران.
- سیف، علی‌اکبر (۱۳۸۲). *روش‌های اندازه‌گیری و ارزشیابی آموزشی*، انتشارات دوران، تهران.
- شورای عالی برنامه‌ریزی وزارت فرهنگ و آموزش عالی (سابق) (۱۳۷۷). *مشخصات کلی، برنامه و سرفصل دروس دوره کارشناسی معماری، مصوب سیصد و شصت و پنجمین جلسه شورای عالی برنامه‌ریزی*.
- علیپور، احمد و باغبان پرشکوهی، علیرضا (۱۳۸۷). «دست برتری و توانایی چرخش ذهنی در کودکان»، *علوم روان‌شناختی*، ۱۰(۳): ۶۳-۷۴.
- وطن‌پرست، شعله؛ علی‌پور، احمد؛ زارع، حسین و یادگاری، امیدعلی (۱۳۹۰). «مقایسه توانایی فضایی (چرخش ذهنی، تجسم دیداری و کشیدن سطح خط آب) در زنان باردار سه ماهه سوم با زنان بعد از زایمان طبیعی»، *مجله دانشکده پرستاری و مامایی دانشگاه علوم پزشکی ارومیه*، ۹(۴): ۳۰۶-۳۱۴.
- Barke, H. D. (1993). "Chemical education and spatial ability", *Journal of Chemical Engineering*, 70 (12): 968-971.
- Boakes, N.J. & Pomona, N.J. (2009), "Origami Instruction in the Middle School Mathematics Classroom", *RMLE Online*, 32(7): 12-1.
- Carroll, J. B. (1993), *Human Cognitive Abilities: A Survey of Factor-Analytic Studies*, Cambridge University Press: Cambridge, England.
- Gittler, G., & Glueck, J. (1998). "Differential transfer of learning: Effects of instruction in descriptive geometry on spatial test performance", *Journal for Geometry and Graphics*, 2(1): 71-84.
- Guay, R. (1977), *Purdue Spatial Visualization Tests*, Purdue Research Foundation: West Lafayette, IN.
- Guilford, J. P., & Lacy, J. I. (1956) *Printed Classification Tests, AAF, Aviation Psychological Progress Research Report, 5*, U.S. Government Printing Office: Washington, DC.
- Ho, C. H. (2006). *Spatial Cognition in Design*. School of Architecture. Atlanta, Georgia Institute of Technology.
- Jesús M. S., Robles, C, L., Montes Tubío, F. P. (2014), *Spatial skills of students(in new technical degrees*. University of Granada, Spain.
- Kahle, J. B. (1983). "The disadvantaged majority: Science education for women", *AETS Outstanding Paper for 1983*, Burlington, NC, Carolina Biological Supply Company.

- Karpf, A. R., Bai, S., James, S. R., Mohler, J. L., and E. M. Wilson. (2009). *Increased expression of androgen receptor coregulator MAGE-11 in prostate cancer by DNA hypomethylation and cyclic AMP*.
- Kaufmann, H., Steinbügl, K., Dünser, A., & Glück, J. (2005). "Improving Spatial Abilities by Geometry Education in Augmented Reality", *Annual Review of CyberTherapy and Telemedicine: A Decade of VR*, 3(4): 65-76.
- Kospentaris, G., & Spyrou, P. (2010). "The Effects of High School Geometry Instruction on the Performance in Spatial Tasks", *Journal for Geometry and Graphics* 14(2): 227-244.
- Leopold, C. (2005). "Geometry Education for Developing Spatial Visualisation Abilities of Engineering Students", *The Journal of Polish Society for Geometry and Engineering Graphics*, 15: 39-45.
- Linn, M.C., & Petersen, A.C. (1985). "Emergence and characterization of sex differences in spatial ability: A meta-analysis", *Child Development*, 56: 1479-1498.
- Lohman, D. (1988). "Spatial abilities as traits, processes, and knowledge", In R. J. Sternberg (Ed.), *Advances in the psychology of human intelligence* (vol. 4, 181-248), Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Lohman, D. F. (1979). *Spatial Ability: A Review and Reanalysis of the Report No. 8, Aptitude Research Project*, School of Education, Stanford University: Palo Alto, CA.
- Maier, P. H. (1994). *Räumliches Vorstellungsvermögen*, Frankfurt a.M., Berlin, Bern, New York, Paris, Wien: Lang.
- Martin-Gutierrez J., Albert Gil F., Contero M., & Saorin J.L. (2013). "Dynamic three-dimensional illustrator for teaching descriptive geometry and training visualisation skills", *Computer Applications in Engineering Education*, 21(8): 8-25.
- McKim, R. H. (1980). *Experiences in visual thinking*. Boston, MA: PWS Publishers.
- McGee, M. G. (1979). "Human spatial abilities: Psychometric studies and environmental, genetic, hormonal, and neurological influences", *Psychological Bulletin*, 86(5): 889-918.
- Mohler, J. L. (2006). "Examining the spatial ability phenomenon from the student's perspective", In *Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Doctor of Philosophy August*, Purdue University.
- Myers, C. T. (1958). *Some Observations of Problem Solving in Spatial Relations Tests (ETS RB 58-16)*, Educational Testing Service: Princeton, NJ.
- Nagy-Kondor, R. (2010). "Spatial Ability, Descriptive Geometry and Dynamic Geometry Systems", *Annales Mathematicae et Informaticae*, 37: 199-210.
- Newcombe, N. S., Mathason, L., & Terlecki, M. (2002). "Maximization of spatial competence: More important than finding the cause of sex differences", In A. McGillicuddy-De Lisi & R. De Lisi (Eds.), *Advances in applied developmental psychology*, Vol. 21. Biology, society, and behavior: The development of sex differences in cognition (183-206). Westport, CT: Ablex Publishing.
- Norman, K. L. (1994). "Spatial visualization - A gateway to computer-based technology", *Journal of Special Educational Technology*, 3: 195-206.
- Pellegrino, J. W., Hunt, E. B. (1991). "Cognitive Models for Understanding and Assessing Spatial Abilities", In *Intelligence: Reconceptualization and Measurement*; Rowe, H. A. H., Ed.; Lawrence Erlbaum Associates: Hillsdale, NJ.



- Salthouse, T. A., Babcock, R. L., Skovronek, E., Mitchell, D. R. D., & Palmon, R. (1990). "Age and Experience Effects in Spatial Visualization", *Developmental Psychology*, 26(1): 128.
- Smith, I. M. (1964). *Spatial ability-Its educational and social significance*. London: University of London.
- Sorby, S. A. (1999). "Developing 3D spatial visualization skills", *Engineering Design Graphics Journal*, 63(2): 21-32.
- Sorby, S. A.(2009). "Educational Research in Developing 3-D Spatial Skills for Engineering Students", *International Journal of Science Education*, 31(3): 459-480.
- Takeyama, K., Maeguchi, R., Chibana, K., & Yoshida, K. (1999), *Journal for Geometry and Graphics* 3 (1): 99.
- Tartre, L. A. (1990). "Spatial skills, gender, and mathematics", In E. Fennema & G. C. Leder (Eds.), *Mathematics and gender* (27-59). New York: Teachers College Press.
- Terlecki, M. S., Newcombe, N. S., & Little, M. (2008). Durable and generalized effects of spatial experience on mental rotation: Gender differences in growth patterns. *Applied cognitive psychology*, 22(7), 996-1013.
- Thurstone, L. L. (1950). "Some Primary Abilities in Visual Thinking", *Proc. Am. Phil. Soc.* 94 (6): 517-521.
- Vandenberg, S. G., & Kuse, A. R. (1978). *Percept. Mot. Skills*, 47 (2): 599-604.
- Yagmur, E. K. (2010). *3D Mental Visualization in Architectural Design*, Georgia Institute of Technology.
- Yukhina, E. (2007). *Cognitive Abilities & Learning Styles in Design Processes and Judgments of Architecture Students*. Key Centre of Design Computing and Cognition, School of Architecture, Design Science and Planning, Faculty of Architecture. Sydney, The University of Sydney.

