

تطبيق برنامه دروس گرافیک مهندسی با رویکردهای مدرن طراحی با استفاده از یک روش داده‌کاوی هایپریدی مبتنی بر به‌کارگیری تابع کیفیت و تحلیل چندمعیاره DEMATEL به صورت فازی

حمید حق شناس گرگانی^۱ و علیرضا جهانتیغ پاک^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۹/۳۰، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱/۲۶

DOI: 10.22047/ijee.2020.212668.1708

چکیده: درس نقشه‌کشی همواره به‌عنوان یک آموزش پایه و اجباری در برنامه درسی رشته‌های مهندسی مطرح بوده است. تغییر رویکرد طراحی مهندسی در سال‌های اخیر از روش خطی مرحله‌ای به سمت مهندسی همزمان، که در آن کلیه افراد شاغل در پروژه در قالب یک تیم یکپارچه عمل می‌کنند، همواره این سؤال را مطرح می‌کند که آیا همچنان به آموزش گرافیک مهندسی مانند گذشته نیاز هست یا خیر و چنانچه نیاز وجود دارد، محتوای آن چه تغییراتی باید داشته باشد؟ روش پیشنهادی در این پژوهش یک روش هایپریدی پردازش داده‌هاست که بر مبنای به‌کارگیری تابع کیفیت (QFD) - به‌عنوان روشی بسیار ساده، مؤثر و کارا در طراحی محصول مطابق نیازهای مشتریان - پایه‌ریزی شده است. یکی از نقاط ضعف اساسی روش QFD فرض استقلال بین ویژگی‌های فنی محصول است که برای برطرف کردن آن، روش DEMATEL با این مدل ترکیب و همچنین برای هر چه قانونمندتر بودن اولویت‌بندی نیازها، از روش تحلیل سلسله‌مراتبی استفاده شد. نتایج نشان داد که گرافیک مهندسی همچنان به‌عنوان یک درس ضروری در آموزش مهندسی مدرن مطرح است، لیکن محتوای آن باید متناسب با نیازهای جدید تغییر کند. این تغییرات در بخش نتایج ارائه و سرفصل دروس جدید پیشنهاد شده است.

واژگان کلیدی: گرافیک مهندسی، مهندسی همزمان، برنامه درسی، DEMATEL، QFD

۱- عضو هیئت علمی مرکز گرافیک مهندسی، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران. (نویسنده مسئول). h_haghshenas@sharif.edu

۲- عضو هیئت علمی مرکز گرافیک مهندسی، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران. jahantigh@sharif.edu

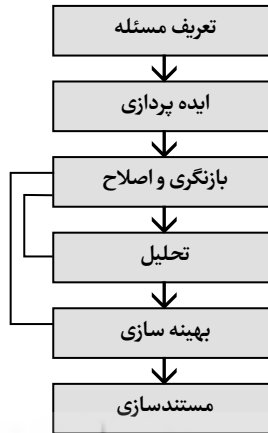
۱. مقدمه

بررسی برنامه درسی رشته‌های مهندسی از نیمه دوم قرن بیستم به بعد و تا کنون نشان می‌دهد که درس نقشه‌کشی همواره به‌عنوان یک درس اجباری مطرح بوده است. البته، برخی از دانشگاه‌ها در سال‌های آغازین قرن بیست و یکم برای کمزنگ کردن یا حذف آن اقدام کردند، اما نیازهای بعدی موجب شد تا دوباره به گنجاندن آن در برنامه درسی بازگردند (Have & Van den Toorn, 2012). در بخش علوم نیز در حال حاضر، جایگاه تجسم در پیشبرد آنها چشمگیر است (Judelman, 2004).

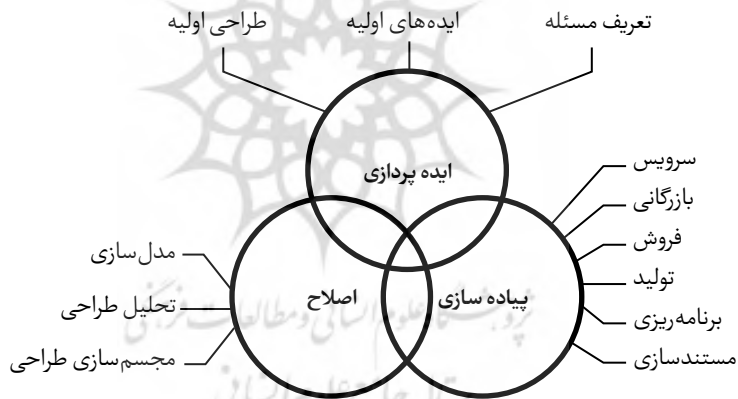
گرافیک مهندسی یک زبان واقعی و کامل است که در فرایند طراحی استفاده می‌شود (Bertoline et al., 2010). نقشه‌ها نمایشی گرافیکی از اشیاء و ساختارها هستند که طی هزاران سال به شکل منظم امروزی درآمده‌اند. حجم استانداردهای ایجاد شده در مؤسسه استاندارد ملی آمریکا (ANSI) با عنوان ANSI Y14 شما را متقاعد می‌کند که رسم فنی، یک زبان دقیق و رسمی است (Bertoline et al., 2010).

طراحی مهندسی عبارت از سازماندهی فرایندهای خلاقانه و تحلیلی است که برای برآوردن یک نیاز یا حل یک مشکل استفاده می‌شود (Gorgani, 2016; Haiket et al., 2018; Weisbrod & Kroll, 2018). به‌طور سنتی، فرایند طراحی فعالیتی خطی شامل شش مرحله اصلی مطابق شکل ۱ است (McKilligan et al., 2018). در این فرایند مراحل ۴ و ۵ ممکن است چند بار تکرار شوند (Whitaker & Mancini, 2018). در مرحله ۶ این طرح باید با جزئیات کافی به‌منظور ساخت، تولید، ارجاعات بعدی و الزامات قانونی مستند شود (Hautmann & Neill, 2018; Whitaker & Mancini, 2018). از طرح‌های نادقیق مرحله ۱ تا مدل‌های دقیق مرحله ۶، مهندس یا تکنسین نمی‌تواند بدون تسلط داشتن به زبان رسمی ارتباطات گرافیکی نقش مؤثری داشته باشد. روش مدرن طراحی مهندسی با رویکرد تیمی یکپارچه، مطابق شکل ۲، مهندسی همزمان نامیده می‌شود (Martelo et al., 2018). همپوشانی دواپس نشان می‌دهد که طراحی همزمان شامل بسیاری از افراد از جمله مشتری می‌شود (Jahantigh & Daeian, 2017). در نتیجه، مهندسان به‌عنوان متخصصان هندسه باید قادر به طراحی، تجزیه و تحلیل و نیز تجسم و برقراری ارتباط بین دیدگاه‌ها و افراد فنی و غیرفنی باشند (Salomone, 2019). از سوی دیگر، گروه‌های متنوعی غیر از مهندسان؛ یعنی دانشمندان، مدیران و تکنسین‌های مختلف نیاز ضروری به خواندن و تفسیر اطلاعات فنی به‌صورت سریع، کارآمد و دقیق دارند.

شکل‌ها



شکل ۱. فرایند سنتی طراحی مهندسی به عنوان یک فرایند خطی سلسله مراتبی که از شناسایی مسئله آغاز و به مستندسازی ختم می‌شود



شکل ۲. رویکرد مدرن طراحی (مهندسی همزمان)

بر اساس آنچه گفته شد، لازم است که انتظارات جدید از درس گرافیک مهندسی شناسایی شود. برخی از این انتظارات در گذشته نیز مطرح بوده‌اند، اما ممکن است میزان اهمیت آنها تغییر کرده باشد. در مقابل، برخی از انتظارات گذشته دیگر وجود ندارد یا ممکن است نیازهای جدیدی پدیدار شده باشند که پیش از این اساساً مطرح نبوده‌اند. بنابراین، سه پرسش زیر سؤالات اصلی این پژوهش بوده‌اند:

۱. با توجه به رویکرد طراحی مدرن امروزی، مباحثی که دانشجوی مهندسی باید از گرافیک فرا بگیرد

کدام‌اند و اولویت آنها چگونه است؟

۲. برای پاسخگویی به سؤال اول، آیا ضرورتی برای ارائه یک درس مستقل به عنوان گرافیک مهندسی وجود دارد؟ یا اینکه دانشجویان در بدو ورود بخشی از این معلومات را دارند و مابقی را می‌توانند در خلال دروس دیگر بیاموزند و امروزه، نیاز به یک درس مستقل در این زمینه نداریم.

۳. اگر به یک درس مستقل نیاز نداریم، کدام مهارت‌ها را دانشجو در بدو ورود به دانشگاه دارد و کدام یک و در خلال محتوای چه دروسی و به چه میزان باید گنجانده شود؟ اگر نیاز به یک درس مستقل وجود دارد، محتوا و زمانبندی آن چگونه باید باشد؟

روش اجرای پژوهش به‌کارگیری تابع کیفیت (QFD) و ایجاد ارتباط میان ویژگی‌های فنی (محتوا یا سرفصل درس) و نیازهای مشتری بود. مدل QFD را نخستین بار در دهه ۱۹۷۰ Akao در کشور ژاپن مطرح کرد (Prabhushankar et al., 2015) و سپس، این مدل در دهه ۱۹۸۰ در کشورهای غربی گسترش یافت. این روش به تیم‌های چندتخصصی کمک می‌کند تا نیازهای مشتری را بشناسند و آنها را اولویت‌بندی کنند و سپس، آن نیازها را به مشخصات محصول یا خدمات مد نظر مرتبط سازند. کاربرد QFD در آموزش عالی را می‌توان به سه دسته تقسیم کرد: اثربخشی تدریس، طراحی برنامه تحصیلی و تدوین منابع آموزشی. برای نمونه، کلایتون (Clayton, 1995) از QFD به منظور ایجاد یادگیری با کیفیت استفاده کرده است. جرایدی و ریتز (Jaraiedi & Ritz, 1994) روش QFD را برای بهبود فرایندهای تدریس و راهنمایی دانشجویان در دانشگاه ویرجینیای غربی به‌کار بردند. همچنین چن و بولینگتون (Chen & Bullington, 1993) از QFD در ایجاد یک برنامه استراتژیک دانشگاهی استفاده کردند. پس از آن، شانی و همکاران (Sahney et al., 2003) برای بهبود کیفیت آموزش و رضایت دانشجویان در نظام آموزشی هند، این الگوریتم را به‌کار بردند. دنتون و همکاران (Denton et al., 2005) از QFD به منظور طراحی یک برنامه درسی آموزش عالی برای رشته‌های مدیریت بهره‌جستند. همچنین سون و کیم (Sohn & Kim, 2009) روشی مبتنی بر مدل QFD برای بازطراحی برنامه درسی مهندسی در کشور کره ارائه کردند. پس از آن در سال ۲۰۱۴ پرابوشانکار و همکاران (Prabhushankar et al., 2015) از این مدل در بازطراحی برنامه آموزش عالی در کشور هند استفاده کردند.

برای پیاده‌سازی روش یادشده، چنان‌که در بخش ۲ خواهیم دید، در گام نخست فرایند مشتریان شناسایی می‌شوند و سپس، با نظرسنجی از آنان، تعیین و اولویت‌بندی نیازها با روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) انجام می‌شود. یکی از نقاط ضعف مدل QFD شرط استقلال نیازها از هم و همچنین مستقل فرض کردن ویژگی‌های محصول از یکدیگر است. این موضوع در تدوین یک سرفصل درسی شاید چندان صحیح نباشد. لذا، در این پژوهش یک روش داده‌کاوی جدید با ترکیب مدل QFD و الگوریتم DEMATEL، که مبتنی بر نظریات خبرگان (در اینجا مشتریان) است، ارائه شده است. در تمام مراحل از آنجا که با قضاوت‌ها و استنتاجات انسانی، که ماهیتی نسبی و مبهم دارند، سروکار داریم، از منطق فازی برای انطباق بیشتر استفاده شده است. نتایج پیاده‌سازی در بخش ۳ ارائه و در بخش ۴

درباره آن بحث و درنهایت، در بخش ۵ جمع‌بندی شده است.

۲. مواد و روش‌ها

۱-۲. اعداد فازی

نظریه فازی به منظور استخراج نتایج از اطلاعاتی که با عبارات نادقیق و مبهم بیان شده بودند، شکل گرفت (Zadeh, 1965). هر مجموعه فازی با یک تابع عضویت شناخته می‌شود که هر آیتیم را در بازه $[0,1]$ تصویر می‌کند، به نحوی که بتوان آن را با عبارات زبانی بیان کرد (Lee et al., 2008). حالت خاصی از اعداد فازی اعداد فازی مثلثی (TFN) هستند. یک عدد فازی P روی X به عنوان یک TFN شناخته می‌شود. عدد فازی P به صورت $P = (l, m, u)$ نشان داده می‌شود (Van Laarhoven et al., 1983). الگوهای متعددی برای معادلسازی اعداد فازی مثلثی با عبارات زبانی وجود دارد که یکی از رایج‌ترین آنها در این پژوهش استفاده شده و مطابق جدول ۱ است (Awasthi et al., 2018). درنهایت، برای تبدیل یک عدد فازی به معادل قطعی (غیرفازی) روش‌های مختلفی وجود دارد که یکی از متداول‌ترین آنها به صورت زیر است (Yager, 1981):

$$\text{CrisP}(\tilde{P}) = \frac{l + 2m + u}{4} = P \quad (1)$$

جدول ۱. اعداد فازی مثلثی معادل عبارات زبانی

عدد فازی مثلثی معادل	علامت اختصاری	عبارت زبانی (اثرگذاری)	علامت اختصاری	عبارت زبانی (مقایسه)
(0,0,0)	N	تأثیر بسیار کم	N	مطلقاً بی اثر
(1,1,1)	NA	تأثیر تعریف نشده	NA	اهمیت دقیقاً یکسان
(1,1,3)	VL	تأثیر بسیار کم	VL	اهمیت تقریباً یکسان
(1,3,5)	L	تأثیر کم	L	کمی مهم‌تر
(3,5,7)	M	تأثیر متوسط	M	مهم‌تر
(5,7,9)	H	تأثیر زیاد	H	خیلی مهم‌تر
(7,9,9)	VH	تأثیر خیلی زیاد	VH	بی نهایت مهم‌تر

۲-۲. روش به‌کارگیری تابع کیفیت (QFD)

QFD عبارت از یک فرایند سازمان‌یافته است که به تیم‌های چندتخصصی کمک می‌کند تا نیازهای مشتری را بشناسند، آنها را اولویت‌بندی کنند و سپس، آن نیازها را به مشخصات محصول یا خدمات مد نظر مرتبط سازند. روش QFD بر اساس پر کردن مندرجات خانه کیفیت یا HOQ شکل گرفته است. گونه‌ای از HOQ در شکل ۳ دیده می‌شود. مراحل اساسی یک مدل QFD به شرح زیر است (Gupta & Modi, 2018):

الف) تهیه فهرستی از نیازهای مشتری و ثبت آن در بخش What's جدول HOQ با عنوان CRi ها که در آن $i=1$ to m خواهد بود.

ب) تعیین درجه اهمیت نیازهای مشتری نسبت به یکدیگر (اولویت بندی نیازها) که برای روشمند بودن می تواند با روش های مختلفی از جمله AHP صورت بگیرد. این درجه اهمیت نسبی به صورت وزن های نرمال سازی شده خواهد بود. در فرم HOQ وزن ها در ماتریس $[NCRW]$ که در آن هر $ncrwi$ وزن نرمال سازی شده CRi متناظر خود است، ذخیره می شود.

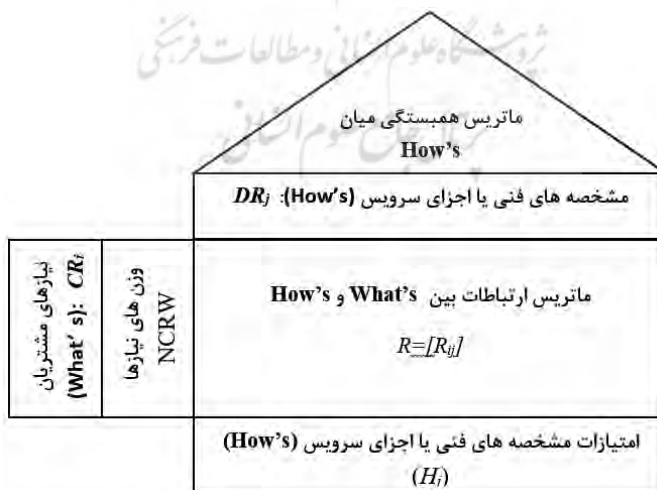
ج) تهیه فهرستی از مشخصه های فنی یا اجزای سرویس که در واقع، روش های برآورده کردن نیازهای مشتری هستند و درج آن در بخش How's فرم خانه کیفیت با عنوان DRz است که در آن $z=1$ to n خواهد بود.

د) تعیین میزان ارتباط دو به دو بین هر یک از آیتم های ماتریس CR و ماتریس DR و ثبت آن در ماتریس ارتباطات $R=[R_{ij}]$ که در آن هر R_{ij} میزان تأثیر DRz در برآورده کردن نیاز CRi را نشان می دهد. ه) تعیین امتیاز (Hj) هر مشخصه فنی به عنوان عددی که تعیین کننده میزان اثرگذاری هر DRz برآورده کردن نیازهای مشتری است. این امتیازات به صورت زیر محاسبه می شوند:

$$H = NCRW^T \times R \quad (2)$$

و برای نرمال سازی وزن های نهایی QFD خواهیم داشت:

$$NH_i = \frac{H_i}{\sum_{i=1}^n H_i} \quad (3)$$



شکل ۳. اجرای HOQ در روش QFD

۲-۳. تعیین درجه اهمیت عوامل به روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) فازی با استفاده از تجربه و

تحلیل توسعه چانگ

این روش را نخستین بار ساعتی (Gupta & Modi, 2018) برای پاسخگویی به نیاز تصمیم‌گیری‌های پیچیده چندمعیاره ارائه کرد. از سوی دیگر، با توجه به نحوه استنتاج و تصمیم‌گیری ذهنی انسان با عبارات زبانی و وجود داشتن ابهام در آن، استفاده از نظریه فازی در این خصوص بسیار راهگشاست (Gorgani et al., 2019). تلفیق روش AHP با نظریه فازی به صورت‌های مختلفی انجام می‌شود که یکی از پرکاربردترین آنها الگوریتمی است که چانگ (Chang, 1996) آن را در سال ۱۹۹۶ و بر مبنای اعداد فازی مثلثی ارائه کرد. در این روش مطابق پرسشنامه‌ای که در اختیار خبرگان قرار می‌گیرد، عوامل مؤثر در اینجا نیازهای مشتریان) در یک پرسشنامه ماتریسی با عبارات زبانی مقایسه زوجی (دو به دو) و سپس، در ماتریسی مانند C به اعداد فازی مثلثی تبدیل و ثبت می‌شود. عنصر C_{ij} بیانگر میزان اهمیت CR_i نسبت به CR_j است. چنانچه ماتریس حاصل از پرسشنامه مقایسات زوجی که توسط مشتری z-ام تکمیل شده است را Cz بنامیم و با فرض آنکه در مجموع k نفر مشتری پرسشنامه را تکمیل کرده باشند، ماتریس مقایسات زوجی نهایی C از میانگین هندسی آنها به صورت زیر به دست می‌آید:

$$\tilde{C} = [\tilde{C}_{ij}] = \left[\frac{\sum_{z=1}^k \tilde{C}_{ij}^z}{k} \right] \quad (4)$$

بدیهی است در صورت وجود m نیاز مشتری، $(m-1)/2$ مقایسه زوجی خواهیم داشت. همچنین واضح است که:

$$C_{ij} = \frac{1}{C_{ji}}, \quad C_{ii} = 1, \quad (i, j = 1 \dots m) \quad (5)$$

در مرحله بعد، اعداد فازی هر سطر از ماتریس \tilde{C} با هم جمع و ماتریس $C\tilde{S}R$ به صورت زیر تشکیل می‌شود:

$$C\tilde{S}R = \left[\sum_{j=1}^m C_{ij} \right] = [C\tilde{S}R_i] \quad (6)$$

$C\tilde{S}R$ یک بردار فازی است و $C\tilde{S}T$ از مجموع اعضای $C\tilde{S}R$ حاصل می‌شود:

$$C\tilde{S}T = \sum_{i=1}^m C\tilde{S}R_i = (\ell_{C\tilde{S}T}, m_{C\tilde{S}T}, u_{C\tilde{S}T}) \quad (7)$$

پس از آن معکوس عدد فازی $C\tilde{S}T$ به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$C\tilde{S}T^{-1} = \left(\frac{1}{u_{CST}}, \frac{1}{m_{CST}}, \frac{1}{l_{CST}} \right) \quad (8)$$

حال، بردار فازی $C\tilde{W}$ از حاصل ضرب $C\tilde{S}T^{-1}$ در تک تک اعضای بردار $C\tilde{S}R$ به دست می آید:

$$C\tilde{W} = C\tilde{S}T \otimes C\tilde{S}R \quad (9)$$

اینک در مقابل هریک از CR ها (نیازهای مشتریان) یک عدد فازی $C\tilde{W}_j$ به عنوان وزن اولیه وجود خواهد داشت. در مرحله بعد، ماتریس V را به شکل زیر ایجاد می کنیم:

$$V = [V_{ij}] = [V(C\tilde{W}_i > C\tilde{W}_j)] \quad (10)$$

که در آن مطابق تعریف چانگ:

$$V(\tilde{a} > \tilde{b}) = \begin{cases} 1 & m_a \geq m_b \\ 0 & l_b \geq u_a \\ \frac{(l_b - u_a)}{(m_a - u_a) - (m_b - l_b)} & \text{سایر} \end{cases} \quad (11)$$

با مینیمم گیری از هر سطر ماتریس V ، ماتریس اوزان خام (غیرنرمال) یا CRW به صورت زیر به دست می آید:

$$CRW = \left[\text{Min}(V_{ij}) \right]_{j=1 \dots m} = \begin{bmatrix} \text{Min}(V_{11}, V_{12}, \dots, V_{1m}) \\ \vdots \\ \text{Min}(V_{m1}, V_{m2}, \dots, V_{mm}) \end{bmatrix} \quad (12)$$

بدیهی است بردار CRW و ماتریس V به صورت اعداد قطعی غیرفازی هستند. در نهایت، اوزان قطعی نرمال شده هر یک از نیازهای مشتریان به صورت زیر حاصل می شود:

$$NCRW [NCRW_i] = \left[\frac{CRW_i}{\sum_{i=1}^m CRW_i} \right] \quad (13)$$

از طرف دیگر، کیفیت خروجی روش AHP به شدت به سازگاری مقایسات زوجی وابسته است و لذا، برای اطمینان از وجود داشتن سازگاری منطقی بین مقایسات زوجی باید نرخ ناسازگاری محاسبه شود. بدین منظور، ابتدا باید بزرگ ترین مقدار ویژه ماتریس مقایسات زوجی λ_{max} مطابق روش گوگوس و

بوچر (Gogus & Boucher, 1997) محاسبه و سپس، شاخص ناسازگاری از رابطه (۱۴) یک بار برای مقادیر میانی (M) و یک بار برای واسطه هندسی مقادیر ابتدایی و انتهای اعداد فازی ماتریس مقایسات زوجی (G) هر مشتری محاسبه شود:

$$II = \frac{\lambda \max - n}{n - 1} \quad (14)$$

که در این معادله مقدار n به تعداد نیازها یا CRi ها اشاره می‌کند. اینک، نرخ ناسازگاری با معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$IR = \frac{II}{IRI} \quad (15)$$

که در آن IRI (شاخص ناسازگاری تصادفی) از جدول مربوط استخراج می‌شود. حال، در صورتی که حداقل یکی از دو نرخ ناسازگاری محاسبه شده برای هر مشتری کوچک‌تر یا مساوی ۰/۱ باشد؛ به عبارت دیگر، $\text{Min}(IRG, IRM) \leq 0.1$ باشد، نتیجه می‌گیریم که در مقایسات زوجی آن مشتری سازگاری وجود دارد و در غیر این صورت، لازم است در آنها تجدید نظر شود.

۴-۲. روش تحلیل DEMATEL فازی

روش DEMATEL مخفف عبارت Decision Making Trial And Evaluation است که گابوس و فونتلا (Gabus & Fontela, 1972) آن را سال ۱۹۷۱ ارائه کردند. هدف در این روش شناسایی الگوی روابط علی میان یک دسته معیار است. در این روش شدت ارتباطات به صورت امتیازدهی و نیز بازخوردها همراه با میزان اهمیت آنها بررسی و روابط انتقال ناپذیر پذیرفته می‌شود. با توجه به دلایل ذکر شده در بخش مقدمه، در این پژوهش روش DEMATEL برای بیان میزان اثرگذاری هر یک از مشخصه‌های فنی (DRj) بر سایر مشخصه‌ها یا اثرپذیری از آنها انتخاب شده است. در پیاده‌سازی این روش مراحل زیر به ترتیب طی شده است.

ابتدا فهرستی از مشخصه‌های فنی تهیه و در یک پرسشنامه ماتریسی قرار گرفت و سپس، هر فرم در اختیار هر مشتری قرار داده شد تا آنها را بر اساس عبارات کلامی فازی مانند آنچه در جدول ۱ آمده است، پر کنند. پس از اخذ پرسشنامه‌های تکمیل شده از مشتریان، هر یک از آنها به یک ماتریس $\tilde{X}^Z = [\tilde{x}_{ij}^Z]$ که در آن پارامتر z به شماره ردیف مشتری اشاره می‌کند و \tilde{x}_{ij}^Z بیانگر میزان اثرگذاری مشخصه DRi روی مشخصه DRj از دیدگاه مشتری z-ام است، تبدیل شد:

$$\tilde{X}^Z = [\tilde{x}_{ij}^Z] = [(\ell_{ij}^Z, m_{ij}^Z, u_{ij}^Z)] \quad (16)$$

در ادامه برای تجمیع نتایج، با فرض نظرسنجی از k نفر، مانند روش AHP، به صورت زیر عمل شد:

$$\tilde{X}^{avg} = [(\ell_{ij}^{avg}, m_{ij}^{avg}, u_{ij}^{avg})] = [\tilde{x}_{ij}^{avg}] \quad (17)$$

$$\ell_{ij}^{avg} = \frac{\sum_{z=1}^k \ell_{ij}^z}{k}; \quad m_{ij}^{avg} = \frac{\sum_{z=1}^k m_{ij}^z}{k}; \quad u_{ij}^{avg} = \frac{\sum_{z=1}^k u_{ij}^z}{k} \quad (18)$$

برای تبدیل ماتریس اثرهای مستقیم از حالت فازی به قطعی، ماتریس A مطابق فرمول زیر تشکیل می‌شود:

$$a_j = \frac{l_j^{avg} + 2m_j^{avg} + u_j^{avg}}{4}, \quad A = [a_{ij}] \quad (19)$$

لازم است که قبل از هرگونه عملیات بعدی، به منظور کنار گذاشتن داده‌های پرت و اتفاقی، با استفاده از فرمول زیر مقدار $a_{ij}^{(f)} = (l_j^{(f)}, m_j^{(f)}, u_j^{(f)})$ به دست آید:

$$l_j^{(f)} = \frac{\sum_{K=1}^P, l_j^k}{P-1} \quad (20)$$

$$m_j^{(f)} = \frac{\sum_{K=1}^P, m_j^k}{P-1} \quad (21)$$

$$u_j^{(f)} = \frac{\sum_{K=1}^P, u_j^k}{P-1} \quad (22)$$

$$a_j^{(f)} = \frac{l_j^{(f)} + 2m_j^{(f)} + u_j^{(f)}}{4} \quad (23)$$

بدیهی است که $a_{ij}^{(f)}$ میانگین داده‌های مربوط، به استثنای نظرهای مشتری f-ام است. اکنون Af را مطابق فرمول زیر برای هر یک از مشتریان محاسبه می‌کنیم:

$$A_f = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n \frac{|a_j - a_j^{(f)}|}{a_j} \quad (24)$$

حدی به عنوان حد آستانه برای Af توسط خبرگان تعیین می‌شود و چنانچه Af هر یک از پرسشنامه‌ها از حد مد نظر تجاوز کند، آن پرسشنامه کنار گذاشته یا از خبره مد نظر خواسته می‌شود تا در نظرهای خود بازنگری کند. برای به دست آوردن ماتریس اثرهای کل، مقدار aM را به صورت زیر محاسبه می‌کنیم:

$$a_M = \max \left\{ \max_{1 \leq j \leq n} \left(\sum_{i=1}^n a_{ij} \right), \max_{1 \leq i \leq n} \left(\sum_{j=1}^n a_{ij} \right) \right\} \quad (25)$$

حال، ماتریس B را به عنوان نرمال شده ماتریس A به شکل زیر به دست می‌آوریم:

$$B = \frac{1}{a_M} \{A\} = \left[\frac{a_j}{a_M} \right] = [b_j] \quad (26)$$

بدیهی است که $\lim_{h \rightarrow \infty} B^h = [0]_{n \times n}$ $0 \leq b_j \leq 1$ است. هر یک از ماتریس‌های اثرهای غیرمستقیم از به توان رساندن ماتریس‌های اثرهای مستقیم به دست می‌آید (Chen & Lin, 2018; Chiu et al., 2013; Hsu et al., 2012) و لذا، B^2, B^3, \dots, B^h اثرهای غیرمستقیم را نشان می‌دهند. بنابراین، برای به دست آوردن ماتریس اثرهای کل (T_c) که دربرگیرنده کلیه اثرهای مستقیم و غیرمستقیم است، باید تمام توان‌های ماتریس B با هم جمع شوند؛ به عبارت دیگر، داریم:

$$\begin{cases} T_c = B + B^2 + \dots + B^h \\ h \rightarrow \infty \end{cases} \quad (27)$$

$$\begin{aligned} T_c &= B(I + B + B^2 + \dots + B^{h-1}) (I - B)^{-1} \\ T_c &= B(I - B^h) (I - B)^{-1} \Rightarrow T_c = B(I - B)^{-1} \end{aligned} \quad (28)$$

اگر $T_c = [t_{ij}]$ ، $i, j = 1, \dots, n$ باشد، اثرگذاری هر عامل به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$r = [r_i]_{n \times 1} = \left[\sum_{j=1}^n t_j \right]_{n \times 1} \quad (29)$$

همچنین اثرپذیری هر عامل به صورت زیر خواهد بود:

$$s = [s_j]_{1 \times n} = \left[\sum_{i=1}^n t_j \right]_{1 \times n} \quad (30)$$

چنان‌که مشخص است، r_i جمع عناصر سطر i -ام و S_j جمع عناصر ستون j -ام ماتریس T_e هستند؛ به عبارت دیگر، r_i میزان مجموع اثرگذاری مستقیم و غیرمستقیم عامل DR_i بر سایر عوامل را نشان می‌دهد. در حالی که S_j مجموعه اثرپذیری مستقیم و غیرمستقیم عامل DR_j از سایر عوامل را بیان می‌کند. مقدار اثرگذاری نرمال‌سازی شده برای هر ویژگی را با nr_i نشان می‌دهیم. همچنین $r_i + s_i$ برای هر عامل بیانگر میزان تعاملات کل آن عامل است (Huang et al., 2010) و $r_i - s_i$ اثرگذاری خالص آن عامل را نشان می‌دهد (Tzeng et al., 2007).

۲-۵. روش تحلیل هایبریدی پیشنهادی

این الگوریتم شامل ۷ گام به ترتیب زیر است:

گام اول: شناسایی مشتریان و تعیین نیازمندی‌های آنان

در این گام از مشتریان خواسته می‌شود تا برحسب فرایند طراحی سنتی و فرایند مدرن طراحی یا مهندسی همزمان، نیازمندی‌های خود را در فرم‌های از پیش تعیین شده‌ای درج کنند. سپس، مشترکات پرتکرار در فرم‌ها به‌عنوان نیازهای فرایندهای طراحی استخراج می‌شود. برای صحت‌سنجی، تعدادی از مقالات مرتبط در این زمینه بررسی و نتایج با آنها مقایسه می‌شود. حاصل این گام ماتریس CR است که در بخش What's در HOQ گنجانده خواهد شد.

گام دوم: تعیین ویژگی‌های فنی

ویژگی‌های فنی بخش How's از جدول HOQ را تشکیل می‌دهند. این ویژگی‌ها در واقع، بخش‌های محتوایی دروس نقشه‌کشی و گرافیک در رشته‌های مهندسی هستند. تعیین این ویژگی‌ها از طریق مشورت با بخشی از مشتریان (خبرگان) و سپس، بررسی کتب درسی معتبر نقشه‌کشی صنعتی و انطباق ویژگی‌های به‌دست آمده با محتوای ارائه شده در دانشکده‌های مهندسی معتبر جهانی سنجیده می‌شود. این ویژگی‌ها پارامترهای قابل تنظیم و کنترل هستند که با عنوان ماتریس DR ثبت می‌شوند.

گام سوم: تکمیل ماتریس ارتباطات

این بخش با استفاده از نظرهای خبرگان (مشتریان) و بر مبنای عبارات زبانی مندرج در جدول ۱ تکمیل می‌شود. در مرحله بعد، هر یک از ماتریس‌های تکمیل شده مشتریان از حالت متغیرهای زبانی به اعداد فازی مثلثی تبدیل می‌شود؛ سپس، میانگین گرفته و با استفاده از رابطه (۳) از فرمت فازی به قطعی تبدیل و در HOQ با عنوان ماتریس R ثبت می‌شود.

گام چهارم: اولویت بندی نیازهای مشتریان

ورودی این بخش فهرست نیازهای به دست آمده در گام اول است که در یک پرسشنامه ماتریسی قرار می‌گیرد و مشتریان با استفاده از متغیرهای زبانی مندرج در جدول ۱ مقایسات زوجی انجام می‌دهند. پس از آن، درایه‌های زبانی ماتریس‌های به دست آمده به درایه‌های فازی مثلثی تبدیل و میانگین گرفته می‌شود و سپس، وزن‌های نرمال‌سازی شده با استفاده از روش AHP فازی بر اساس مدل توسعه چانگ تعیین می‌شود (ماتریس NCRW).

گام پنجم: تعیین وزن‌های هر یک از ویژگی‌های فنی

مطابق دستورالعمل QFD و با استفاده از ماتریس ارتباطات (R) و وزن‌های محاسبه شده در روش AHP فازی (NCRW)، وزن هر یک از ویژگی‌های فنی به دست می‌آید (ماتریس H) و حاصل نرمال‌سازی می‌شود (ماتریس NH).

گام ششم: تعیین ارتباطات درونی ویژگی‌های فنی

در گام ششم ارتباطات درونی ویژگی‌های فنی مطابق روش DEMATEL فازی از طریق ارائه پرسشنامه ماتریسی به مشتریان و اخذ نظرهای آنان بر اساس متغیرهای زبانی صورت می‌گیرد. سپس، این فرم‌های ماتریسی از طریق معادلسازی متغیرهای زبانی با اعداد فازی مثلثی مطابق جدول ۱ به ماتریس‌های فازی تبدیل و سپس، از آنها میانگین گرفته می‌شود و نتایج مطابق بخش ۲-۴ به دست می‌آید. این مرحله یک بار برای طراحی سنتی و یک بار برای طراحی مدرن به صورت مستقل صورت می‌گیرد.

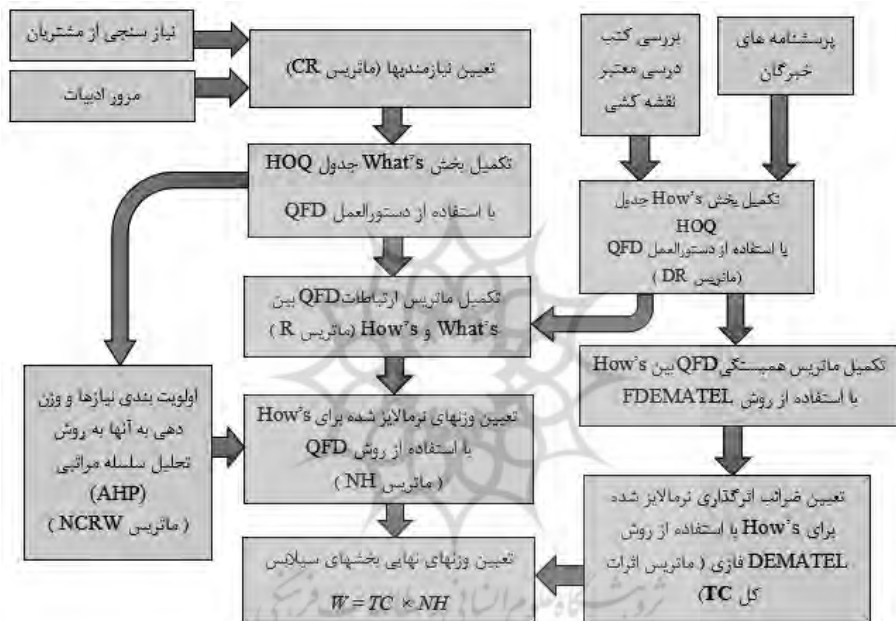
گام هفتم: تعیین وزن نهایی بخش‌های سیلابس (ویژگی‌های فنی)

مرحله هفتم بر این اساس استوار است که چه بسا یک ویژگی به علت اثرگذاری زیاد بر ویژگی‌های دیگر در مجموع، به صورت غیرمستقیم بتواند در میزان تأمین نیازهای مشتری تأثیر زیادی داشته باشد. لذا، سطر i -ام از ماتریس اثرهای کل که اثرگذاری‌های ویژگی i را بر سایر ویژگی‌ها نشان می‌دهد، در ماتریس وزن‌های QFD ضرب می‌شود. عدد حاصل بیانگر مجموع اثرهای مستقیم و غیرمستقیم DR_i در تأمین نیازهای مشتریان است و تعیین‌کننده وزن ویژگی i در سرفصل نهایی درس خواهد بود. لذا، برای به دست آوردن وزن همه DR_i ها به روش زیر عمل می‌کنیم:

$$W = TC \times NH \quad (31)$$

که در آن W_i (درایه‌های ماتریس W) وزن نهایی هر DR_i در سرفصل درس خواهد بود. انجام دادن

این گام به صورت مستقل یک بار برای روش سنتی و بار دیگر برای طراحی مدرن صورت می‌گیرد. بخش بالای نمودار HOQ روابط میان ویژگی‌های فنی را که در اینجا سرفصل درس است، نشان می‌دهد. در فرایند اصلاح شده پیشنهادی در این مطالعه از روش DEMATEL فازی برای لحاظ کردن اثرگذاری متقابل پارامترها بریکدیگر استفاده شده و این تأثیرات متقابل، خود را در وزن و ویژگی‌های فنی نشان داده و در آن مستتر شده است. لذا، نیازی به درج بخش بالای نمودار نیست. فلوجارت روش پیشنهادی در شکل ۴ دیده می‌شود.



شکل ۴. فلوجارت روش هایبریدی پیشنهادی برای تغییرات ضروری در سرفصل درس نقشه‌کشی مهندسی

۳. پیاده‌سازی روش پیشنهادی بر روی داده‌های به دست آمده

در گام اول لازم است مشتریان شناسایی شوند. در این پژوهش مشتریان شامل چهار گروه اصلی شامل دانشجویان، اعضای هیئت علمی، دانش‌آموختگان رشته‌های مهندسی مرتبط با طراحی و کارکنان بخش صنعت بودند (Prabhushankar et al., 2015).

دسته آماری مورد بررسی شامل ۵۸ دانشجو، ۱۰ عضو هیئت علمی، ۱۸ دانش‌آموخته و ۲۱ شاغل در بخش صنعت (۱۰۷ نفر) بود. جمع‌آوری اطلاعات و تکمیل فرم‌ها از طریق توزیع پرسشنامه، مصاحبه شفاهی مستقیم و ارسال ایمیل صورت گرفت. در این نظرسنجی از افراد خواسته شد تا با توجه به رویکردهای مختلف طراحی، یک بار برای رویکرد سنتی و بار دیگر برای طراحی مدرن (مهندسی همزمان)، نیازهایی را که از ابتدا تا انتهای فرایند وجود دارد، بیان کنند. حاصل جمع‌بندی نظرهای

مشتریان فرایند و مقایسه آن با نمودارهای ۱ و ۲ به صورت جداول ۲ و ۳ است.

جدول ۳. نیازهای مشتریان در فرایندهای طراحی مدرن

ردیف	عنوان	کد
۱	تعریف مسئله	CR1
۲	ایده‌های اولیه	CR2
۳	بازنگری و اصلاح طرح	CR3
۴	تحلیل و بهینه‌سازی	CR4
۵	مستندسازی	CR5
۶	برنامه‌ریزی، بازرگانی و فروش	CR6
۷	مجسم‌سازی طرح	CR7

جدول ۲. نیازهای مشتریان در فرایندهای طراحی سنتی

ردیف	عنوان	کد
۱	تعریف مسئله	CR1
۲	ایده‌های اولیه	CR2
۳	بازنگری و اصلاح طرح	CR3
۴	تحلیل و بهینه‌سازی	CR4
۵	مستندسازی	CR5

در گام دوم، از تعدادی از مشتریان (به‌طور خاص اعضای هیئت علمی) خواسته شد تا سرفصل دروس رسم فنی ارائه شده در دانشگاه محل تدریس خود را فهرست کنند. استادان مصاحبه‌شونده در این بخش از دانشگاه‌های صنعتی شریف، تهران، علم و صنعت ایران، صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، صنعتی اصفهان، شیراز، گیلان و همچنین دانشگاه‌های ویرجینیاتک و هانوفر بودند. همچنین تعداد چشمگیری از کتب مرجع قدیمی و جدید (Luzadder, 1977, 1992; Maguire, 1998; Paré, 1959) (در بازه زمانی ۱۹۱۸ تا ۲۰۱۹) در زمینه نقشه‌کشی مهندسی بررسی و فهرست مندرجات آن با هم مقایسه شد. مقالات مختلفی نیز درباره محتوای دروس رسم فنی بررسی شد (Dintu et al., 2019; George et al., 2017; Gorgani, 2016; Have & Van den Toorn, 2012; Lagenbach, et al., 2015; Violante & Vezzetti, 2017). در نهایت، یک سرفصل مشترک میان موارد یادشده به صورت تجمیعی از محتوای سنتی و مدرن درس نقشه‌کشی مهندسی (که ممکن است الزاماً تمام آنها شامل کلیه بخش‌های سرفصل نباشند) به عنوان ویژگی‌های فنی یا آیتم‌های سرویس برای درج در بخش How's از جدول HOQ و با عنوان ماتریس DR استخراج شد (جدول ۴).

در گام سوم، یک پرسشنامه ماتریسی در اختیار مشتریان (هر ۴ گروه) قرار گرفت که با متغیرهای زبانی ارزیابی و سپس، به اعداد مثلثی فازی تبدیل شد. ماتریس میانگین روابط What's و How's که ابتدا با اعداد فازی مثلثی و سپس، به صورت اعداد قطعی درآمده است، برای طراحی سنتی و همین ماتریس برای طراحی مدرن محاسبه شد.

در گام چهارم، مشتریان پرسشنامه ماتریسی مقایسه زوجی نیازها را بر اساس متغیرهای زبانی تکمیل کردند. سپس، متغیرهای زبانی به اعداد فازی مثلثی مطابق جدول ۱ تبدیل و ماتریس میانگین آنها به عنوان جدول مقایسه زوجی AHP در نظر گرفته شد. توجه شود که چون ماتریس مقایسات زوجی الزاماً باید متقارن باشد، لازم نیست تمام خانه‌های آن پر شود و برخی خانه‌ها از درایه متقارن

خود محاسبه می‌شوند. ماتریس میانگین مقایسات زوجی فازی محاسبه و وزن‌های نرمال‌سازی شده و اولویت‌نیازها بر اساس نظرهای مشتریان و طبق روش AHP فازی در جدول ۵ برای طراحی سنتی مشاهده می‌شوند. در جدول ۶ همین موارد برای طراحی مدرن نشان داده شده است.

در گام پنجم، بر اساس دستورالعمل QFD مقادیر وزن‌های هریک از ویژگی‌ها یک بار برای طراحی سنتی و یک بار برای طراحی مدرن به دست آمد و حاصل نرمال‌سازی شد. نتایج به دست آمده از این مرحله در جدول ۷ آورده شده است.

سپس، مطابق گام ششم بخش ۵-۲، دو پرسشنامه ماتریسی مشابه با عنوان پرسشنامه اثرهای مستقیم ویژگی‌های فنی بر یکدیگر، در اختیار مشتریان قرار گرفت که باید آنها آن را یک بار برای طراحی سنتی و بار دیگر برای طراحی مدرن تکمیل می‌کردند. متغیرهای زبانی مانند حالت‌های قبل به متغیرهای فازی مثلثی تبدیل و میانگین گرفته شدند و به حالت قطعی در آمدند. پس از آن، با توجه به دستورالعمل DEMATEL و با استفاده از رابطه (۲۸) ماتریس اثرهای کل به دست آمد. سپس، مقدار اثرگذاری و اثرپذیری هر متغیر و همچنین مجموع تعاملات هر ویژگی با سایر ویژگی‌ها و اثرگذاری خالص هر ویژگی مطابق روابط (۲۹) و (۳۰) تعیین شد که نتیجه آن در جدول ۸ برای طراحی سنتی و در جدول ۹ برای طراحی مدرن درج شده است.

در گام هفتم، وزن نهایی از حاصل ضرب ماتریس اثرهای کل DEMATEL در بردار وزن‌های روش QFD متداول به دست آمد. این وزن‌ها و رتبه هریک از ویژگی‌ها و نیز تغییرات وزن از طراحی سنتی به طراحی مدرن در جدول ۱۰ ارائه شده است. بدیهی است که چون تغییرات بر مبنای وزن‌های نرمال‌سازی شده بود، جمع جبری تغییرات برابر صفر است.

جدول ۵. وزن‌های نرمال‌سازی شده و اولویت‌بندی نیازها برای طراحی سنتی

اولویت	وزن	نیازمندی‌های طراحی سنتی
۳	۰/۱۱۸	تعریف مسئله
۴	۰/۰۸۷	ایده‌های اولیه
۲	۰/۳۴۵	بازنگری و اصلاح طرح
۱	۰/۳۷۶	تحلیل و بهینه‌سازی
۵	۰/۰۷۳	مستندسازی

جدول ۴. سرفصل تجمیعی آئیم‌های درس نقشه‌کشی

ردیف	عنوان	کد
۱	تئوری نماهای اورتوگرافیک	DR1
۲	طراحی دستی آزاد	DR2
۳	هندسه کاربردی	DR3
۴	اندازه‌گذاری، علائم و اختصارات	DR4
۵	نقشه‌های اجرایی	DR5
۶	ترسیم اجزای استاندارد	DR6
۷	مدلسازی دو بعدی رایانه‌ای	DR7
۸	مدلسازی سه بعدی رایانه‌ای	DR8
۹	Render گیری و ارائه گرافیکی	DR9

جدول ۶. وزن‌های نرمال‌سازی شده و اولویت‌بندی نیازها برای طراحی مدرن

اولویت	وزن	نیازمندی‌های طراحی مدرن
۷	۰/۰۳۹	تعریف مسئله
۶	۰/۰۸۱	ایده‌های اولیه
۴	۰/۱۳۷	بازنگری و اصلاح طرح
۳	۰/۱۸۶	تحلیل و بهینه‌سازی
۵	۰/۱۰۶	مستندسازی
۱	۰/۲۳۲	برنامه‌ریزی، بازرگانی و فروش
۲	۰/۲۱۹	مجسم‌سازی

جدول ۷. وزن‌های خام، نرمال‌سازی شده و رتبه‌بندی ویژگی‌ها برای طراحی سنتی و مدرن بر اساس مدل QFD

علامت اختصاری	شرح	طراحی سنتی			طراحی مدرن		
		وزن خام	وزن نرمال‌سازی شده	رتبه	وزن خام	وزن نرمال‌سازی شده	رتبه
DR1	اورتوگرافیک	۳/۳۹۹	۰/۰۹۵	۶	۳/۶۴۹	۰/۰۹۷	۴
DR2	دستی آزاد	۵/۰۵۶	۰/۱۴۱	۲	۴/۹۵۵	۰/۱۳۱	۳
DR3	هندسه	۶/۴۷۱	۰/۱۸۱	۱	۲/۴۸۶	۰/۰۶۶	۹
DR4	اندازه و علایم	۴/۱۶۵	۰/۱۱۶	۵	۳/۶۰۵	۰/۰۹۵	۵
DR5	نقشه اجرایی	۲/۷۹۸	۰/۰۷۸	۸	۲/۶۷۹	۰/۰۷۱	۸
DR6	اجزای استاندارد	۲/۹۵۸	۰/۰۸۳	۷	۲/۹۱۶	۰/۰۷۷	۶
DR7	CAD دو بعدی	۴/۷۹۹	۰/۱۳۴	۳	۲/۸۵۵	۰/۰۷۶	۷

جدول ۸. ماتریس اثرهای کل، میزان اثرگذاری، اثرپذیری، تعامل و خالص اثرگذاری ویژگی‌ها بر اساس DEMATEL برای طراحی سنتی

جدول اثرهای کل DEMATEL	DR1	DR2	DR3	DR4	DR5	DR6	DR7	DR8	DR9	r	s	r+s	r-s	r-Nor	
اورتوگرافیک	DR1	۰/۱۶۸	۰/۲۳۱	۰/۲۲۶	۰/۱۶۴	۰/۲۹۳	۰/۲۹۵	۰/۳۴۷	۰/۳۲۷	۰/۳۹۱	۲/۵۴۳	۱/۵۳۲	۴/۰۷۵	۱/۰۱۱	۰/۱۶۷
دستی آزاد	DR2	۰/۲۰۲	۰/۰۹۵	۰/۱۴۸	۰/۱۴۲	۰/۲۵۴	۰/۱۷۸	۰/۱۹۳	۰/۱۸۵	۰/۲۶۳	۱/۶۶۱	۱/۳۲۱	۲/۹۸۲	۰/۳۴۰	۰/۱۰۹
هندسه	DR3	۰/۳۶	۰/۲۲۰	۰/۰۹۲	۰/۱۲۱	۰/۲۵۶	۰/۱۷۸	۰/۱۷۵	۰/۱۶۳	۰/۲۱۲	۱/۶۵۳	۱/۲۳۷	۲/۸۹۰	۰/۴۱۵	۰/۱۰۹
اندازه و علایم	DR4	۰/۱۵۶	۰/۱۴۱	۰/۱۳۵	۰/۰۹۶	۰/۳۳۱	۰/۲۷۸	۰/۲۴۴	۰/۱۹۷	۰/۳۲۴	۱/۹۰۲	۱/۱۵۰	۳/۰۵۳	۰/۷۵۲	۰/۱۲۵
نقشه اجرایی	DR5	۰/۱۵۳	۰/۱۲۴	۰/۱۳۹	۰/۱۱۳	۰/۱۴۴	۰/۱۶۵	۰/۲۰۸	۰/۱۶۸	۰/۲۷۰	۱/۴۸۵	۲/۳۳۵	۳/۸۲۰	۰/۱۸۵	۰/۰۹۸
اجزای استاندارد	DR6	۰/۱۴۹	۰/۱۳۳	۰/۱۲۷	۰/۱۷۰	۰/۳۱۳	۰/۱۲۲	۰/۲۳۰	۰/۱۸۴	۰/۳۰۵	۱/۷۳۳	۱/۶۶۹	۳/۴۰۲	۰/۶۴	۰/۱۱۴
CAD دو بعدی	DR7	۰/۱۶۰	۰/۱۲۱	۰/۱۲۲	۰/۱۳۵	۰/۲۴۳	۰/۱۶۶	۰/۱۲۶	۰/۲۳۳	۰/۲۲۳	۱/۵۲۹	۱/۸۷۰	۳/۳۹۹	۰/۴۱	۰/۱۰۰
CAD سه بعدی	DR8	۰/۲۰۸	۰/۱۴۱	۰/۱۶۰	۰/۱۲۵	۰/۲۶۷	۰/۱۸۰	۰/۲۳۶	۰/۱۳۰	۰/۳۲۴	۱/۷۷۲	۱/۶۹۴	۳/۴۶۶	۰/۰۷۸	۰/۱۱۶
ارائه	DR9	۰/۱۰۱	۰/۱۱۵	۰/۰۸۷	۰/۰۸۳	۰/۱۳۳	۰/۱۰۶	۰/۱۱۲	۰/۱۰۶	۰/۰۹۷	۰/۹۶۱	۲/۴۱۰	۳/۳۵۱	۰/۴۶۹	۰/۰۶۲

جدول ۹. ماتریس اثرهای کل، میزان اثرگذاری، اثرپذیری، تعامل و خالص اثرگذاری ویژگی‌ها براساس DEMATEL برای طراحی مدرن

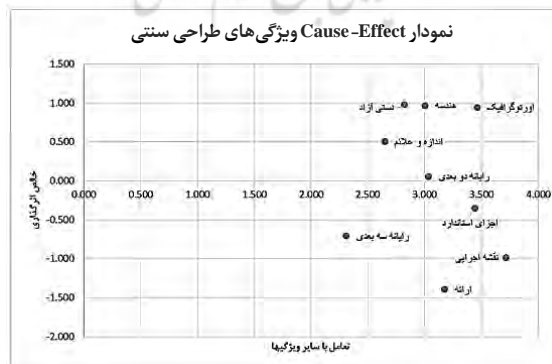
جدول اثرهای کل DEMATEL		DR1	DR2	DR3	DR4	DR5	DR6	DR7	DR8	DR9	r	s	r+s	r-s	r-Nor
اورتوگرافیک	DR1	۰/۳۸	۰/۱۹۴	۰/۲۱۲	۰/۱۲۷	۰/۳۱۶	۰/۲۵۱	۰/۳۰۹	۰/۳۲۱	۰/۳۹۷	۲/۱۶۶	۱/۲۳۹	۳/۴۰۵	۰/۹۲۷	۰/۱۵۷
دستی آزاد	DR2	۰/۳۴۹	۰/۰۹۷	۰/۷۰	۰/۱۰۹	۰/۲۸۶	۰/۱۵۸	۰/۳۴۶	۰/۳۰۲	۰/۲۸۳	۱/۸۹۸	-۰/۹۴۵	۲/۸۴۳	-۰/۹۵۳	۰/۱۳۸
هندسه	DR3	۰/۱۳۷	۰/۰۹۵	۰/۰۶۵	۰/۱۱۰	۰/۱۳۸	۰/۱۱۴	۰/۸۸۳	۰/۱۹۰	۰/۱۴۰	۱/۱۷۲	۱/۰۶۶	۲/۲۳۸	۰/۱۰۶	۰/۰۸۵
اندازه و علایم	DR4	۰/۱۰۲	۰/۰۸۶	۰/۰۹۳	۰/۰۵۰	۰/۲۲۴	۰/۱۷۰	۰/۱۴۷	۰/۱۵۳	۰/۲۲۵	۱/۲۵۰	-۰/۸۱۶	۲/۰۶۶	-۰/۴۳۴	۰/۰۹۱
نقشه اجرایی	DR5	۰/۰۷۴	۰/۰۶۴	۰/۰۷۸	۰/۰۶۹	۰/۰۵۹	۰/۰۸۲	۰/۱۱۵	۰/۰۹۷	۰/۰۹۵	۰/۷۳۳	۱/۶۳۸	۲/۳۷۱	-۰/۰۹۶	۰/۰۵۳
اجزای استاندارد	DR6	۰/۰۸۷	۰/۰۶۷	۰/۰۸۲	۰/۰۶۹	۰/۱۲۲	۰/۰۴۸	۰/۱۰۱	۰/۱۰۵	۰/۱۰۱	-۰/۷۸۲	۱/۲۲۷	۲/۰۰۹	-۰/۴۴۵	۰/۰۵۷
CAD دو بعدی	DR7	۰/۰۹۰	۰/۰۸۵	۰/۰۸۷	۰/۰۷۶	۰/۱۱۵	۰/۰۹۶	۰/۰۶۹	۰/۱۶۷	۰/۱۱۷	-۰/۸۹۲	۱/۵۲۲	۲/۴۱۴	-۰/۶۲۹	۰/۰۶۵
CAD سه بعدی	DR8	۰/۲۷۱	۰/۱۹۰	۰/۲۰۴	۰/۱۴۲	۰/۲۵۶	۰/۳۱۹	۰/۲۵۰	۰/۱۶۹	۰/۳۱۱	۲/۰۱۲	۱/۶۲۸	۳/۶۴۰	-۰/۳۸۵	۰/۱۴۶
ارائه	DR9	۰/۰۹۱	۰/۰۷۸	۰/۰۷۴	۰/۰۶۳	۰/۱۲۲	۰/۰۹۰	۰/۱۰۲	۰/۱۲۴	۰/۰۶۸	-۰/۸۱۲	۱/۶۳۷	۲/۴۴۹	-۰/۸۲۵	۰/۰۵۹

جدول ۱۰. وزن‌های خام، نرمال‌سازی شده، رتبه، درصد نسبی تغییرات وزن و میزان تغییر اولویت ویژگی‌ها برای طراحی سنتی و مدرن

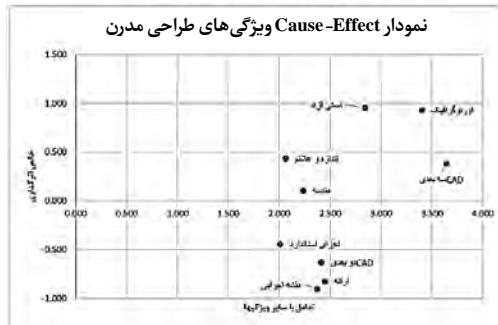
علامت اختصاری	شرح	طراحی سنتی			طراحی مدرن			تغییر از سنتی به مدرن	تغییر اولویت از سنتی به مدرن
		وزن خام	وزن نرمال‌ایز	رتبه	وزن خام	وزن نرمال‌ایز	رتبه		
DR1	اورتوگرافیک	۰/۲۳۱	۰/۱۶۵	۱	۰/۲۵۰	۰/۱۸۵	۱	۰/۰۲۱	۰
DR2	دستی آزاد	۰/۱۹۳	۰/۱۳۸	۳	۰/۲۲۳	۰/۱۶۵	۳	۰/۰۲۷	۰
DR3	هندسه	۰/۱۹۹	۰/۱۴۲	۲	۰/۱۳۸	۰/۱۰۲	۵	-۰/۰۴۰	-۳
DR4	اندازه و علایم	۰/۱۵۳	۰/۱۰۹	۶	۰/۱۴۴	۰/۱۰۷	۴	-۰/۰۰۲	+۲
DR5	نقشه اجرایی	۰/۱۳۷	۰/۰۹۸	۷	۰/۰۸۴	۰/۰۶۲	۹	-۰/۰۳۶	-۲
DR6	اجزای استاندارد	۰/۱۵۴	۰/۱۱۰	۵	۰/۰۸۹	۰/۰۶۶	۸	-۰/۰۴۴	-۳
DR7	CAD دو بعدی	۰/۱۵۵	۰/۱۱۱	۴	۰/۱۰۸	۰/۰۸۰	۶	-۰/۰۳۱	-۲
DR8	CAD سه بعدی	۰/۰۸۳	۰/۰۶۰	۹	۰/۲۲۳	۰/۱۶۵	۲	۰/۱۰۶	+۷
DR9	ارائه	۰/۰۹۴	۰/۰۶۷	۸	۰/۰۹۱	۰/۰۶۸	۷	۰/۰۰۰	+۱

۴. بحث در نتایج

برای انجام دادن یک بررسی جامع، ابتدا باید به تغییرات نیازها با توجه به تغییر رویکرد طراحی توجه کرد. مقایسه جداول ۵ و ۶ نشان می‌دهد که دو نیاز جدید به مجموعه نیازهای طراحی اضافه شده است که قبلاً وجود نداشتند. اول برنامه‌ریزی، بازگانی و فروش و دوم نیاز به مجسم‌سازی که هر دو از نظر اولویت قبل از تمام نیازهای قبلی قرار گرفته‌اند. دلیل این اهمیت آن است که یک بنگاه اقتصادی بر اساس تراز مالی خود تعریف می‌شود. همچنین درگیر شدن افراد غیر فنی به واسطه ماهیت مهندسی همزمان، نیاز به تجسم را برای افراد فنی و غیر فنی درگیر در پروژه ضروری می‌کند. از طرف دیگر، در فرایندهای امروزی گاهی «تعریف مسئله» به صورت اتوماتیک و در حین سایر فعالیت‌ها صورت می‌گیرد. نتایج به دست آمده از تحلیل DEMATEL و مقایسه ماتریس اثرهای کل برای طراحی سنتی و طراحی مدرن (جداول ۸ و ۹) و بازتاب آن در نمودار علی (شکل‌های ۵ و ۶) نشان می‌دهد که در گذشته سه عامل مهم اثرگذار و پرتعامل «تئوری تصاویر اورتوگرافیک»، «رسم دستی آزاد» و «هندسه کاربردی» و کم‌اثرترین و کم‌تعامل‌ترین بخش‌ها نیز «CAD سه بعدی» و «روش‌های ارائه» بوده‌اند. برای طراحی مدرن همچنان «تئوری تصاویر اورتوگرافیک» و «رسم دستی آزاد» اثرگذارترین و «CAD سه بعدی» پرتعامل‌ترین و «ترسیم نقشه‌های اجرایی» و «روش‌های ارائه» کم‌اثرترین هستند. در توجیه نتایج به دست آمده، نخستین نرم‌افزارهای سه بعدی با کاربرد گسترده در سال ۱۹۹۵ عرضه شدند (Martins et al., 2013) و انتظار نمی‌رود تا قبل از آن در فرایندهای آموزشی وابستگی زیادی به نرم‌افزارهای سه بعدی وجود داشته باشد. از طرف دیگر، پژوهش‌ها در طراحی دستی و علوم شناختی بیانگر رابطه مستقیم مغز با دست در حل مسئله، مفهوم‌سازی و تفکر بصری است؛ به عبارت دیگر، رسم دستی فقط یک روش قدیمی بیان نیست، بلکه راهی برای کسب دانش جدید است (Bodein et al., 2013). در عین حال، نمی‌توان از نقش نرم‌افزارهای سه بعدی در آموزش نظری تصاویر اورتوگرافیک نیز غافل ماند و لذا، میزان اثرگذاری CAD سه بعدی بر سایر بخش‌های سرفصل در سال‌های اخیر گسترش یافته است.

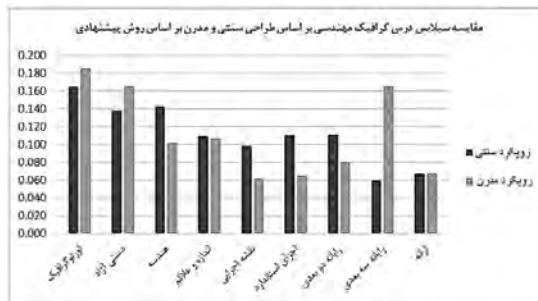


شکل ۵. نمودار علی تاثیرگذاری و تاثیر پذیری بخش‌های مختلف سیلابس درس نقشه کشی بر روی / از یکدیگر برای طراحی سنتی



شکل ۶. نمودار علّی اثرگذاری و اثرپذیری بخش‌های مختلف سرفصل درس نقشه‌کشی بر روی / از یکدیگر برای طراحی مدرن

بر اساس شکل ۷ و جدول ۱۰، وزن بخش «اندازه‌ها و علایم» و «روش‌های ارائه» تقریباً ثابت مانده، در حالی که وزن «CAD سه بعدی»، «ترسیم دستی آزاد» و «تئوری تصاویر اورتوگرافیک» رشد چشمگیری داشته است و در مقابل، وزن «هندسه کاربردی»، «CAD دوبعدی»، «نقشه اجرایی» و «ترسیم قطعات استاندارد» به طور چشمگیر کاهش نشان می‌دهد. این روند گویای آن است که عرضه نرم‌افزارهای سه بعدی به پاسخگویی بهتر به نیازهای مشتریان منجر شده و امروزه، استفاده از این نرم‌افزارها موجب شده است که مهندسان و گاهی تکنسین‌ها قادر به انجام دادن تحلیل‌هایی باشند که در گذشته فقط از متخصصان بسیار حرفه‌ای بر می‌آمد. اما آنچه بر خلاف انتظار صورت گرفته، افزایش بسیار در وزن دروس رسم دستی آزاد و تئوری تصاویر اورتوگرافیک است. پژوهش در کاربردهای طراحی دستی نشان داد که آن در ابتدا ابزاری برای برقراری ارتباط و به‌عنوان زبان مشترک و سپس، وسیله‌ای برای خلق ایده و انجام دادن آزمایش‌های طراحی و در نهایت، برنامه‌های توسعه‌ای بوده است (Treib, 2012). در آغاز فرایند طراحی، اولین ایده‌های مفهومی اغلب با نقشه‌های دستی کشیده می‌شوند و این فقط به دلیل سریع‌تر بودن آن نیست، بلکه به دلیل بازخورد مستقیم بهتر آن است، نسبت به آنچه در کامپیوتر صورت می‌گیرد (Have & Van den Toorn, 2012). در نهایت، نمودار شکل ۸ نشان‌دهنده محتوای درس نقشه‌کشی متناسب با نیازهای امروز طراحی است.



شکل ۷. مقایسه سهم هریک از بخش‌های سرفصل درس نقشه‌کشی در دو رویکرد سنتی و مدرن

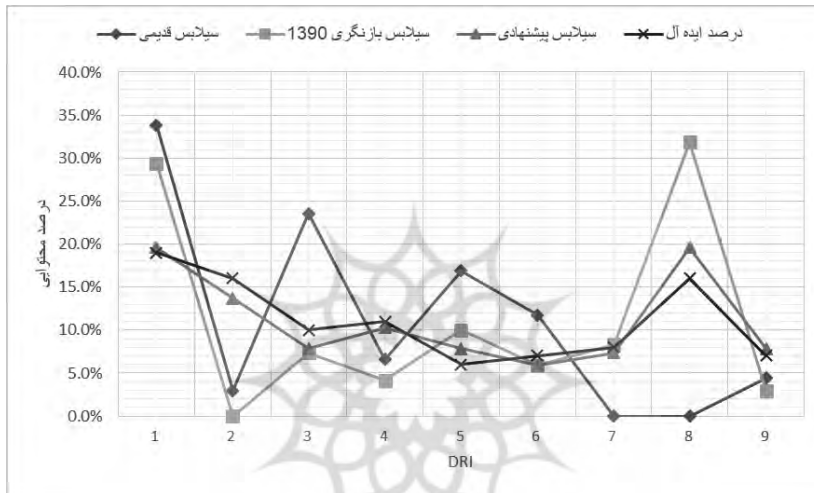


شکل ۸. تقسیم بندی محتوای درس نقشه‌کشی متناسب با نیازهای طراحی مدرن

پس از آن، در یک نظرسنجی از مشتریان خواسته شد تا امکان مهارت داشتن دانشجویان در بدو ورود به دانشگاه و همچنین امکان آموزش به‌عنوان بخشی از دروس دیگر برای هر یک از مهارت‌های مندرج در محتوای آموزشی را با عددی بین ۰ تا ۱۰۰ مشخص کنند. میانگین نتایج نظرسنجی در جدول ۱۱ نشان داده شده است. ضمن آنکه ستون آخر بیانگر میزان پوشش دهی درصدی از کل وزن محتوایی (از ۱۰۰) است که از دو طریق یادشده تأمین می‌شود. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، فقط حدود ۳۷٪ از کل محتوا قابل دستیابی از طرق نام برده شده است و حدود ۶۷٪ دیگر باید مستقلاً آموزش داده شوند. همچنین بخش‌هایی که کمترین امکان دستیابی به دو روش مذکور را دارند، دارای بالاترین وزن‌ها و تخصصی‌ترین محتوا و نیازمند روش آموزش اختصاصی خود هستند. لذا، می‌توان نتیجه گرفت که محتوای مذکور نیازمند وجود یک درس مستقل و نحوه آموزش مختص خود است. در پژوهش‌های متعددی به نادرست بودن فرضیه حذف یا کاهش ساعات دروس گرافیک مهندسی در برنامه درسی اشاره شده است (Ardebili, 2006; Sorby, 2001; Will & Johnson, 2004).

حال، محتوای مورد نیاز برای یک مهندس در رویکرد طراحی مدرن حاصل از روش QFD را به‌عنوان نیازمندی‌ها (محتوای ایدئال) در نظر می‌گیریم. برنامه درسی که مربوط به برنامه گذشته (قبل از بازنگری برنامه دروس نقشه‌کشی در سال ۱۳۹۰)، برنامه‌ای که هم اکنون در دانشگاه‌ها ارائه می‌شود و برنامه درسی پیشنهادی در این پژوهش است، به ترتیب در جداول ۱۲، ۱۳ و ۱۴ نشان داده شده است. گفتنی است که برای مجموع دروس گرافیک مهندسی با عناوین نقشه‌کشی ۱ و ۲، دو ترم ۱۷ جلسه‌ای -که زمان هر جلسه آن سه و نیم ساعت است- در نظر گرفته شده است. در هر یک از سه جدول مذکور در ستون آخر بیان شده که هر کدام از بخش‌های سرفصل پاسخگوی کدام نیاز است. در برخی موارد، یک بخش از سرفصل به بیش از یک نیاز پاسخ می‌دهد که در این حالت، زمان اختصاص یافته به آن بخش از سرفصل به‌طور مساوی بین نیازهای مربوط تقسیم شده است. در نهایت، در نمودار شکل ۹، مقایسه بین سرفصل قدیم، سرفصل حال حاضر و سرفصل پیشنهادی این پژوهش همراه با محتوای

ایدئال صورت گرفته است. این مقایسه بیانگر تفاوت چشمگیر میان سرفصل پیشنهادی با روش قدیم و روش حال حاضر است. اندک اختلاف موجود به دلیل پیمایش تعداد جلسات بر حسب سرفصل است. بررسی کتب موجود بیانگر آن است که در حال حاضر، کتاب جامعی که تمام محتوای یادشده را با توجه به زمان بندی ارائه شده در برگیرد، وجود ندارد و نیاز است که در این زمینه کتاب مناسبی تدوین شود، لیکن می توان محتوای کتب موجود را با توجه به زمان بندی پیشنهادی و با حسن سلیقه مدرس ارائه کرد.



شکل ۹. نمودار مقایسه برنامه قدیم، برنامه کنونی و برنامه پیشنهادی دروس گرافیک مهندسی با حالت ایدئال

جدول ۱۱. بررسی امکان مهارت داشتن دانشجویان با ارائه در خلال دروس دیگر یا خودآموزی برای بخش های مختلف سرفصل مورد نیاز

ردیف	عنوان بخش	درصد وزنی	امکان مهارت دانشجویان در بدو ورود	امکان ارائه در دروس دیگر	میزان پوشش دهی کل نیاز
۱	تئوری تصاویر اورتوگرافیک	۱۸/۵	۱۰/۳	۱/۵	۰/۶۶
۲	رسم دستی آزاد	۱۶/۵	۱۰/۳	۷/۲	۲/۷۷
۳	هندسه کاربردی	۱۰/۲	۴۵/۱	۶۰/۱	۷/۹۷
۴	اندازه و علایم	۱۰/۷	۱/۸	۲	۰/۴۰
۵	نقشه اجرایی	۶/۲	۲/۱	۷	۰/۵۶
۶	اجزای استاندارد	۶/۰۶	۱/۷	۲۷/۱	۲/۵۲
۷	CAD دوبعدی	۸/۰	۱۸/۱	۸۰/۴	۶/۷۲
۸	CAD سه بعدی	۱۶/۵	۲۲/۳	۷۵/۶	۱۳/۳۷
۹	روش های ارائه	۶/۸	۱۲	۱۹/۸	۲/۰۰
	جمع	۱۰۰			۳۶/۹۶

جدول ۱۲. برنامه دروس گرافیک مهندسی ارائه شده در دانشگاه‌ها قبل از سال ۱۳۹۰

ردیف	عنوان	تعداد جلسات	نیازهای مرتبط
۱	روش‌های ترسیم اجزای هندسی	۱	DR3
۲	استانداردهای کاغذ، خطوط و ...	۱	DR2
۳	اندازه‌گذاری	۱	DR4
۴	رسم سه نما	۲	DR1
۵	ارتباط میان تصاویر	۱	DR1
۶	آنالیز اجسام	۱	DR1
۷	آنالیز سطوح	۲	DR1
۸	تصویر مجسم	۲	DR1/DR9
۹	برش	۴	DR1
۱۰	پرسپکتیو	۱	DR1/ DR9
۱۱	نمودارهای تجربی	۱	DR3
۱۲	تقاطع‌ات اجسام	۳	DR3
۱۳	گسترش اجسام	۳	DR3/ DR5
۱۴	ترسیم چرخنده	۱	DR6
۱۵	ترسیم پیچ و مهره	۱	DR6
۱۶	ترسیم سایر اجزا	۲	DR6
۱۷	ترسیم منحنی‌های صنعتی	۱/۵	DR3
۱۸	انطباقات و تفرانس‌های عددی	۱	DR4/ DR5
۱۹	انطباقات و تفرانس‌های هندسی	۱	DR4/ DR5
۲۰	کیفیت سطوح	۰/۵	DR4/ DR5
۲۱	نقشه‌های مرکب	۳	DR5

جدول ۱۳. برنامه جاری دروس گرافیک مهندسی ارائه شده در دانشگاه‌ها در حال حاضر

ردیف	عنوان	تعداد جلسات	نیازهای مرتبط
۱	AutoCAD دوبعدی	۱	DR7
۲	AutoCAD سه بعدی	۱	DR8
۳	رسم سه نما	۲	DR1
۴	ارتباط میان تصاویر	۱	DR1
۵	آنالیز احجام	۱	DR1
۶	آنالیز سطوح	۲	DR1
۷	ادامه دستورات سه بعدی نرم افزار	۲	DR8
۸	تصویر مجسم	۲	DR1/DR9
۹	برش	۳	DR1
۱۰	جمع بندی و تکمیل مطالب نرم افزار	۲	DR8
۱۱	تقاطعات اجسام	۳	DR3/DR8
۱۲	گسترش اجسام	۳	DR3/ DR5/DR8
۱۳	ترسیم چرخنده	۱	DR6/DR8
۱۴	ترسیم پیچ و مهره	۱	DR6/DR8
۱۵	ترسیم سایر اجزا	۲	DR6/DR8
۱۶	انطباقات و تolerانس های عددی	۱	DR4/ DR5/DR8
۱۷	علایم و نوت گذاری	۱/۵	DR4/DR5/DR7
۱۸	اندازه گذاری و چاپ	۱	DR4/DR5/DR7
۱۹	کیفیت سطوح	۰/۵	DR4/ DR5
۲۰	نقشه های مرکب	۳	DR5/DR7/DR8

جدول ۱۴. برنامه پیشنهادی دروس گرافیک مهندسی

ردیف	عنوان	تعداد جلسات	نیازهای مرتبط
۱	ترسیم دستی آزاد	۲	DR2
۲	مبانی ترسیم دوبعدی دستی و نرم افزاری	۲	DR7/DR3
۳	مبانی ترسیم سه بعدی در نرم افزار	۲	DR7/DR8
۴	رسم سه نما	۳	DR1/DR2/DR3
۵	آنالیز احجام	۱	DR1
۶	آنالیز سطوح (مسطح و غیر مسطح)	۲	DR1
۷	تصویر مجسم (قائم و مایل) و اصول سایه زنی	۲	DR1/DR9/DR2
۸	برش (ساده، شکسته و ...)	۲	DR1
۹	ترسیم نقشه های مونتاژی در نرم افزار	۱	DR8/DR9
۱۰	گسترش اجسام (شیت متال در نرم افزار)	۲	DR3/ DR5/DR8
۱۱	ترسیم چرخنده (نرم افزار)	۱	DR6/DR8
۱۲	ترسیم پیچ و مهره (نرم افزار)	۱	DR6/DR8
۱۳	ترسیم سایر اجزا (فنر، بلبرینگ و ...) در نرم افزار	۲	DR6/DR8
۱۴	انطباقات و تolerانس های عددی (محاسبه و نرم افزار)	۱/۵	DR4/ DR5/DR8
۱۵	علایم (جوش و کیفیت سطح و ...) و نوت گذاری (نرم افزار)	۲	DR4/DR5
۱۶	اندازه گذاری، گرفتن نقشه اجرایی و چاپ	۱/۵	DR4/DR5/DR7
۱۷	نقشه های مرکب (نقشه خوانی دستی و نرم افزاری)	۳	DR4/ DR8
۱۸	اصول رندرگیری و ارائه مطالب	۲	DR9/DR2
۱۹	متحرک سازی و معرفی تحلیل در نرم افزار	۱	DR8/DR9

جدول ۱۵. جدول مقایسه برنامه قدیم، برنامه کنونی و برنامه پیشنهادی دروس گرافیک مهندسی با حالت ایدئال

مقایسه سرفصل ها	سرفصل قدیمی		سرفصل بازنگری شده در سال ۱۳۹۰		سرفصل پیشنهادی		درصد ایدئال
	تعداد جلسات	درصد	تعداد جلسات	درصد	تعداد جلسات	درصد	
DR1	۱۱/۵	٪۳۳/۸	۱۰	٪۲۹/۴	۶/۶۶	٪۱۹/۶	٪۱۹/۰
DR2	۱	٪۲/۹	۰	٪۰/۰	۴/۶۶	٪۱۳/۷	٪۱۶/۰
DR3	۸	٪۲۳/۵	۲/۵	٪۷/۴	۲/۶۶	٪۷/۸	٪۱۰/۰
DR4	۲/۲۵	٪۶/۶	۱/۴۱	٪۴/۱	۳/۵	٪۱۰/۳	٪۱۱/۰
DR5	۵/۷۵	٪۱۶/۹	۳/۴۱	٪۱۰/۰	۲/۶۶	٪۷/۸	٪۶/۰
DR6	۴	٪۱۱/۸	۲	٪۵/۹	۲	٪۵/۹	٪۷/۰
DR7	۰	٪۰/۰	۲/۸۳	٪۸/۳	۲/۵	٪۷/۴	٪۸/۰
DR8	۰	٪۰/۰	۱۰/۸۳	٪۳۱/۹	۶/۶۶	٪۱۹/۶	٪۱۶/۰
DR9	۱/۵	٪۴/۴	۱	٪۲/۹	۲/۶۶	٪۷/۸	٪۷/۰

۵. جمع بندی و نتیجه گیری

پیشرفت های عصر دیجیتال و تغییر رویکرد طراحی مهندسی در سال های اخیر از روش خطی مرحله ای به سمت مهندسی همزمان، باعث ایجاد نیازهای جدید یا تغییر اولویت نیازهای گرافیکی مهندسان شده است. به منظور بررسی ضرورت و نیز متناسب سازی محتوای این درس، در این مطالعه یک روش هایبریدی پردازش داده ها بر مبنای به کارگیری تابع کیفیت (QFD) - به عنوان روشی بسیار ساده، مؤثر و کارا در طراحی محصول مطابق نیازهای مشتریان با استفاده از نظرسنجی - پایه ریزی شد. روش DEMATEL با این مدل ترکیب و همچنین برای هر چه قانونمندتر بودن اولویت بندی نیازها، از روش تحلیل سلسله مراتبی استفاده شد. از طرف دیگر، منطق فازی برای استنتاج مبتنی بر داده های غیرقطعی استنتاج انسان به کار گرفته شد.

در این پژوهش دو نیاز جدید به مجموعه نیازهای طراحی اضافه شده است که قبلاً وجود نداشتند: ۱. برنامه ریزی، بازرگانی و فروش؛ ۲. نیاز به مجسم سازی که هر دو از نظر اولویت، قبل از تمام نیازهای قبلی قرار گرفته اند. وزن بخش «اندازه ها و علایم» و «روش های ارائه» تقریباً ثابت مانده، در حالی که وزن «CAD سه بعدی»، «ترسیم دستی آزاد» و «تئوری تصاویر اورتوگرافیک» رشد چشمگیری داشته است. در مقابل، وزن «هندسه کاربردی»، «CAD دوبعدی»، «نقشه اجرایی» و «ترسیم قطعات استاندارد» کاهش چشمگیری داشته است. طراحی دستی و طراحی کامپیوتری باید با هم ترکیب شوند تا در یک پروژه طراحی به دستیابی به محصولات بهتر، ارزان تر و قابلیت ساخت سریع تر، به منظور رقابت در بازار کنونی، منجر شوند.

از طرف دیگر، بیش از ۶۷ درصد محتوای گرافیکی لازم برای دانشجویان رشته های مهندسی مهارت هایی نیستند که دانشجویان در ابتدای ورود به دانشگاه آنها را داشته باشند و امکان آموزش آنها در خلال دروس دیگر وجود ندارد که ضرورت وجود یک درس مستقل و ارائه آن توسط آموزش دهنده متخصص در این زمینه را نشان می دهد. مقایسه بین سرفصل قدیم، سرفصل حاضر و سرفصل پیشنهادی، بیانگر تفاوت چشمگیر میان سرفصل پیشنهادی با روش قدیم و روش حال حاضر است. از آنجا که در حال حاضر کتابی که تمام محتوای یادشده را با زمان بندی پیشنهادی ارائه کند وجود ندارد، نیاز به تدوین چنین کتابی احساس می شود و در عین حال، می توان از محتوای کتب موجود با توجه به زمان بندی پیشنهادی و با حسن سلیقه مدرس استفاده کرد.

References

- Ardebili, M. (2006). Using solid modeling and multimedia software to improve spatial visualization skills. Paper presented at the *Proceedings of the 2006 ASEE Annual Conference & Exposition* [in Persian].
- Awasthi, A., Govindan, K., & Gold, S. (2018). Multi-tier sustainable global supplier selection using a

- fuzzy AHP-VIKOR based approach. *International Journal of Production Economics*, 195, 106-117.
- Bodein, Y., Rose, B., & Caillaud, E. (2013). A roadmap for parametric CAD efficiency in the automotive industry. *Computer-Aided Design*, 45(10), 1198-1214.
 - Chang, D. Y. (1996). Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. *European Journal of Operational Research*, 95(3), 649-655.
 - Chen, C. L., & Bullington, S. F. (1993). Development of a strategic research plan for an academic department through the use of quality function deployment. *Computers Industrial Engineering*, 25(1-4), 49-52.
 - Chen, S. H., & Lin, W. T. (2018). Analyzing determinants for promoting emerging technology through intermediaries by using a DANP-based MCDA framework. *Technological Forecasting Social Change*, 131, 94-110.
 - Chiu, W. Y., Tzeng, G. H., & Li, H. L. (2013). A new hybrid MCDM model combining DANP with VIKOR to improve e-store business. *Knowledge-Based Systems*, 37, 48-61.
 - Clayton, M. (1995). Treading the quality path: A progress report from Aston University. *Total Quality Management* (pp. 450-453). Springer.
 - Denton, J. W., Franke, V., & Surendra, K. N. (2005). Curriculum and course design: A new approach using quality function deployment. *Journal of Education for Business*, 81(2), 111-117.
 - Dintu, S., Suletea, A., & Graphics, E. (2019). The use of software in descriptive geometry and technical drawing courses. *Journal of Industrial Design Engineering Graphics*, 14(1), 285-288.
 - French, T. E. (1918). *A manual of engineering drawing for students and draftsmen*: McGraw-Hill book Company, Incorporated.
 - French, T. E., & Vierck, C. J. (1978). *The fundamentals of engineering drawing and graphic technology*. McGraw-Hill Companies.
 - Gabus, A., & Fontela, E. (1972). World problems, an invitation to further thought within the framework of DEMATEL. *Battelle Geneva Research Center, Geneva, Switzerland*, 1-8.
 - George, G., Dragos, T., & Dragos, P. (2017). Evolution in technical drawing for mechanical products. *Journal of Industrial Design Engineering Graphics*, 12(1), 105-110.
 - Gogus, O., & Boucher, T. O. (1997). A consistency test for rational weights in multi-criterion decision analysis with fuzzy pairwise comparisons. *Fuzzy Sets & Systems*, 86(2), 129-138.
 - Gorgani, H. (2016). Innovative conceptual design on a tracked robot using TRIZ method for passing narrow obstacles. *Indian Journal of Science Technology*, 9(7).
 - Gorgani, H. H. (2016). Improvements in teaching projection theory using failure mode and effects analysis (FMEA). *Journal of Engineering Applied Sciences*, 100(1), 37-42.
 - Gorgani, H. H., Pak, A. J., & Sadeghi, S. (2019). 3D Model reconstruction from two orthographic views using fuzzy surface analysis. *European Journal of Sustainable Development Research*, 3(2), em0081.
 - Gupta, A. K., & Modi, B. (2018). Selection of sustainable technology for VOC abatement in an industry: An integrated AHP-QFD approach. *Journal of The Institution of Engineers: Series A*, 99(3), 565-578.
 - Haik, Y., Sivaloganathan, S., & Shahin, T. M. (2018). *Engineering design process*: Nelson Education.
 - Hautmann, U. A., & Neill, D. R. (2018). Technical engineering documentation for the construction, operation and maintenance of the LSST, large synoptic survey telescope. Paper presented at the *Ground-based and Airborne Telescopes VII*.
 - Have, R., & Van den Toorn, M. (2012). The role of hand drawing in basic design education in the digital age. Paper presented at the ENMA 2012: *Proceedings of the 2012 International Conference on Engineering and Mathematics*, Bilbao, Spain, 18-19 June 2012.
 - Hoelscher, R. P., & Springer, C. H. (1956). *Engineering drawing and geometry*. John Wiley.
 - Hsu, C. H., Wang, F. K., & Tzeng, G. H. (2012). The best vendor selection for conducting the recycled material based on a hybrid MCDM model combining DANP with VIKOR. *Resources, Conservation Recycling*, 66, 95-111.

- Huang, C. Y., Chen, H., Tzeng, G. H., & Hu, K. H. (2010). Enhancing the performance of a SOC design service firm by using a novel DANP based MCDM framework on the balanced scorecard. Paper presented at the *The 40th International Conference on Computers & Industrial Engineering*.
- Jahantigh, A., & Daeian, M. A. (2017). The importance and applications of 3D computer modeling in engineering design and the necessity of teaching its principles to engineering students. *Iranian Journal of Engineering Education*, 18(72), 119-136. doi:10.22047/ijee.2016.31971 [in Persian].
- Jaraiedi, M., & Ritz, D. (1994). Total quality management applied to engineering education. *Quality Assurance in Education*, 2(1), 32-40.
- Judelman, G. B. (2004). Knowledge visualization: Problems and principles for mapping the knowledge space. *International School of New Media*.
- Lagenbach, J., Wächter, M., Lohrengel, A., & Müller, N. (2015). The teaching engineering drawing in a technology changing environment. Paper presented at the DS 82: *Proceedings of the 17th International Conference on Engineering and Product Design Education (E&PDE15)*, Great Expectations: Design Teaching, Research & Enterprise, Loughborough, UK, 03-04.09. 2015.
- Lee, A. H., Chen, W. C., & Chang, C. J. (2008). A fuzzy AHP and BSC approach for evaluating performance of IT department in the manufacturing industry in Taiwan. *Expert Systems with Applications*, 34(1), 96-107.
- Lee, Y. C., Hong, T. P., & Wang, T. C. (2008). Multi-level fuzzy mining with multiple minimum supports. *Expert Systems with Applications*, 34(1), 459-468.
- Luzadder, W. J. (1977). *Fundamentals of engineering drawing for design, product development, and numerical control*. Prentice-Hall.
- Luzadder, W. J. (1992). *Introduction to engineering drawing: The foundations of engineering design and computer aided drafting*. Prentice Hall PTR.
- Maguire, D. E. (1998). *Engineering drawing from first principles: Using AutoCAD*. Butterworth-Heinemann.
- Martelo, A., Jahnke, S., Fischer, P., & Romberg, O. (2018). Considerations and first steps towards the implementation of concurrent engineering in later project phases. Paper presented at the *8th International Systems & Concurrent Engineering for Space Applications Conference (SECESA 2018)*. Glasgow.
- Martins, J. A., Freir, E. J., & Romão, E. C. (2013). An unpretentious view of technical drawings—historic evolution (managerial approach). *Ind. Eng. Manag.*, 2(2), 2169-0316.1000108.
- McKilligan, S., Jablow, K. W., Daly, S. R., & Silk, E. M. (2018). Usability tests of ideation flexibility tools with engineering design practitioners. *CoDesign*, 14(4), 293-313.
- Paré, E. G. (1959). *Engineering drawing*. Holt.
- Prabhushankar, G., Shankar, B. L., & Veena, T. (2015). Curriculum redesign in higher education using qfd: A case study. Paper presented at the *Proceedings of the International Conference on Transformations in Engineering Education*.
- Sahney, S., Banwet, D. K., & Karunes, S. (2003). Enhancing quality in education: Application of quality function deployment—an industry perspective. *Work Study*, 52(6), 297-309.
- Salomone, T. A. (2019). *What every engineer should know about concurrent engineering*. Routledge.
- Sohn, S. Y., & Kim, A. (2009). Quality function deployment for engineering curriculum redesign. Paper presented at the *20th Annual Conference for the Australasian Association for Engineering Education*, 6-9 December 2009: Engineering the Curriculum.
- Sorby, S. A. (2001). A “new and improved” course for developing spatial visualization skills. *Age*, 6, 1.
- Treib, M. (2012). *Drawing/thinking: Confronting an electronic age*. Routledge.
- Tzeng, G. H., Chiang, C. H., & Li, C. W. (2007). Evaluating intertwined effects in e-learning programs: A novel hybrid MCDM model based on factor analysis and DEMATEL. *Expert Systems with Applications*, 32(4), 1028-1044.
- Van Laarhoven, P. J., Pedrycz, W. J. F. S., & Systems (1983). A fuzzy extension of Saaty’s priority

- theory. 11(1-3), 229-241.
- Violante, M. G., & Vezzetti, E. (2017). Guidelines to design engineering education in the twenty-first century for supporting innovative product development. *European Journal of Engineering Education*, 42(6), 1344-1364.
 - Weisbrod, G., & Kroll, E. (2018). Idea-configuration-evaluation (ICE): Development and demonstration of a new prescriptive model of the conceptual engineering design process based on parameter analysis and C-K theory. *Research in Engineering Design*, 29(2), 203-225.
 - Whitaker, J. C., & Mancini, R. K. (2018). *Technical documentation and process*: CRC Press.
 - Will, J. D., & Johnson, E. W. (2004). Scientific visualization for undergraduate education. *Age*, 9, 1.
 - Yager, R. R. (1981). A procedure for ordering fuzzy subsets of the unit interval. *Information Sciences*, 24(2), 143-161.
 - Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information Control*, 8(3), 338-353.



◀ **حمید حق شناس گرگانی:** فارغ التحصیل رشته مهندسی مکانیک

گرایش طراحی کاربردی از دانشگاه صنعتی شریف است. وی از سال ۱۳۹۱ تا کنون عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی شریف بوده و زمینه های پژوهشی ایشان، طراحی قالب های تزریق پلاستیک، مهندسی معکوس، بهینه سازی در طراحی با الگوریتم های متاهیوریستیک، پردازش داده های طراحی و روش های آموزش مهندسی است.



◀ **علیرضا جهانتیغ پاک:** فارغ التحصیل مهندسی مکانیک و مدیریت از

دانشگاه صنعتی شریف است. وی از سال ۱۳۹۱ عضو هیئت علمی مرکز گرافیک مهندسی دانشگاه صنعتی شریف بوده و از سال ۱۳۹۴ تاکنون ریاست این مرکز را به عهده داشته است. زمینه های پژوهشی ایشان آموزش مهندسی، تدوین دروس دانشگاهی مهندسی و خلاقیت می باشد.