

بررسی سه مدل فرآیند طراحی مهندسی در بستر یک موردکاوی: تلسکوپ فضایی هابل^۱

مصطفی تقوی^{۱*} و سیده پریسا موسوی طباطبایی^۲

^۱مدیر گروه سیاست علم و فناوری مرکز تحقیقات سیاست علمی کشور

^۲دانشجوی دکتری مطالعات علم و فناوری دانشگاه ورجینیا تک

چکیده

فرآیند طراحی، یکی از فرآیندهای اصلی در فعالیت مهندسی است. در این مقاله، پس از نشان دادن جایگاه مهندسی در مباحث مربوط به تکنولوژی، به فرآیند طراحی می‌پردازیم و آن را از دیدگاه سه مدل مختلف بررسی می‌کنیم. مدل اول، مدل وینسنتی نام دارد و با یک دید انتزاعی به موضوع می‌پردازد. مدل دوم، مدل بوکیارتی است که نگاهی اجتماعی دارد و فرآیند طراحی را تنها در زمینه و بستر فرهنگی‌اش قابل بررسی می‌داند؛ و مدل آخر، یعنی مدل پیت، مبتنی بر افراد و تصمیم‌گیری‌های عقلانی آنها است. پس از معرفی این سه مدل، پروژه تلسکوپ فضایی هابل را به عنوان یک نمونه عملی موردکاوی کرده و شایستگی مدل‌ها را، در توضیح پدیدارهای مربوط به آن، با هم مقایسه می‌نماییم.

واژه‌های کلیدی: طراحی مهندسی، مدل وینسنتی، مدل بوکیارتی، مدل پیت، تلسکوپ فضایی هابل

مقدمه

در دیدگاه فیلسوفان و جامعه‌شناسان نیز تکنولوژی چیزی فراتر از ابزار فیزیکی است. اما آنها، برخلاف مهندسان و مدیران، لزوم توسعه و گسترش تکنولوژی را پیش فرض نمی‌گیرند بلکه آن را مورد تأمل و انتقاد قرار می‌دهند. تأثیر تکنولوژی بر جامعه امر کم‌اهمیتی نیست. نیل پستمن (Postman, 2004)، جامعه‌شناس آمریکایی، در مورد تغییر تکنولوژیکی و فرهنگ زاییده‌ی آن هشدار می‌دهد و تأثیر تکنولوژی بر جامعه را مانند حل شدن قطره‌ی جوهر در آب می‌داند. از طرف دیگر مارتین هایدگر (Heidegger, 2003)، فیلسوف آلمانی، اعتقاد دارد ظهور تکنولوژی باعث شده است واقعیت‌ها را تنها به گونه‌ای خاص ببینیم و طبیعت را به مثابه منبع محاسبه‌پذیری برای رفع احتیاجات انسانی بیانگاریم. او هشدار می‌دهد که ممکن است تحت تأثیر این فرهنگ، سرانجام انسان‌ها نیز، به عنوان منابع محاسبه‌پذیر انگاشته شوند. نکته‌ی قابل تأملی که در اینجا وجود دارد این است که این‌گونه انتقادات، همیشه در چارچوب یک نظام ارزشی معنا پیدا می‌کنند. این درست است که ظهور یک تکنولوژی فرهنگ و ارزش‌های نوینی را با خود به همراه می‌آورد، اما اگر یک

فلسفه‌ی تکنولوژی معمولاً از دو زاویه مورد بررسی قرار گرفته است. یکی دیدگاه مهندسان و مدیران است و دیگری دیدگاه فیلسوفان و جامعه‌شناسان. مهندسان و مدیران، به تکنولوژی خوشبین هستند و نگاهشان معطوف به گسترش و توسعه‌ی تکنولوژی است. درحالی‌که فیلسوفان و جامعه‌شناسان بیشتر درباره‌ی تکنولوژی نگران‌اند و درمورد عواقب ناخواسته‌ی آن هشدار می‌دهند. اغلب مردم تکنولوژی را مترادف با ابزار می‌دانند، زیرا آنها بیشتر با مصادیق تکنولوژی نظیر رایانه‌ها و گوشی‌های تلفن همراه سروکار دارند؛ اما دیدگاه توسعه‌طلبانه‌ی مهندسان و مدیران تکنولوژی، ما را به شناخت ابعاد غیر فیزیکی تکنولوژی رهنمون می‌شود. مهندسان و مدیران تکنولوژی دریافته‌اند که هیچ ابزاری، تا زمانی که زمینه‌ی فرهنگی جامعه برای آن مساعد نباشد، مورد استفاده قرار نخواهد گرفت. از نظر آنان، برای این که یک ابزار تکنولوژی محسوب شود، باید بازار خوبی داشته باشد؛ و برای این که بازار خوبی داشته باشد، باید فرهنگ استفاده از آن در جامعه موجود باشد. پس درواقع، این استفاده از ابزار است که باید تکنولوژی نامیده شود، نه خود ابزار.

تکنولوژی نیز اشخاصی هستند که فعالیت‌شان موجب گسترش تکنولوژی می‌شود. به عقیده‌ی پیت، چنین اشخاصی باید مانند دانشمندان، خلاق و مملو از معرفت باشند. او هم‌پای دانشمند را، در عرصه تکنولوژی، مهندس امروزی می‌داند.

پیت، در کتاب‌اش، پس از بررسی تعاریف مختلف مهندسی^۳، آن را به این صورت تعریف می‌کند: مهندسی عبارت است از عملیات سامان‌دهی طراحی^۴، ساخت^۵ و اجرائی هر ایده‌ی^۶ که جهان فیزیکی و اجتماعی اطراف ما را تغییر دهد تا یکی از نیازهای شناخته شده ما را برآورده سازد.

در این تعریف، مهندسی به‌عنوان یک عملیات مورد توجه واقع شده است؛ زیرا هم‌پای تولید معرفت علمی در حوزه‌ی علم، انجام پروژه‌ی مهندسی در حوزه‌ی تکنولوژی است. حال اگر بخواهیم درک‌مان از مهندسی را بسنجیم و نظرات مختلف درمورد آن را ارزیابی کنیم، باید با یک دید روش‌شناختی به آن بنگریم. روش اساسی در مهندسی، طراحی است. بنابراین در پرداختن به روش‌شناسی، باید سعی کنیم معیارهایی برای ارزیابی فرآیند طراحی^۸ پیدا کنیم. مدل‌های فرآیند طراحی چنین کاری انجام می‌دهند و در واقع هم‌پای نظریه‌های مختلف در معرفت‌شناسی هستند.

در ادامه‌ی مقاله، در بخش دوم بر روی مدل‌های فرآیند طراحی، به‌عنوان روش‌شناسی اصلی مهندسی، تمرکز کرده و سه مدل مختلف را مطالعه می‌نماییم. در بخش سوم مورد تلسکوپ فضایی هابل^۹ را، به‌عنوان یک پروژه‌ی تکنولوژیکی ناموفق، شرح می‌دهیم. در بخش چهارم شایستگی مدل‌های طراحی را، برای توضیح این مورد عملی، با یکدیگر مقایسه می‌کنیم؛ و در بخش پنجم بحث را با یک نتیجه‌گیری به پایان می‌بریم.

مدل‌های فرآیند طراحی مهندسی

در این بخش، به بررسی سه ادعای مختلف درباره‌ی فرآیند طراحی می‌پردازیم. همان‌طور که گفتیم، مدل‌های مختلف برای فرآیند طراحی را می‌توانیم هم‌پای نظریه‌های مختلف در معرفت‌شناسی بدانیم. در معرفت‌شناسی، یک نظریه‌ی خوب دست‌کم قادر است به ما بگوید چه‌زمانی ممکن است یک حکم معرفتی غلط صادر کنیم. به‌این-ترتیب، یک مدل طراحی خوب نیز مدلی است که

نظام ارزشی را پیش‌فرض نگیریم، نمی‌توانیم به‌سادگی این فرهنگ و ارزش‌های جدید را محکوم کنیم.

ژوزف پیت، در کتاب‌اش با عنوان «اندیشیدن در باب تکنولوژی» (Pitt, 2000)، سعی می‌کند با یک رویکرد فلسفی به فیلسوفان مخالف تکنولوژی پاسخ داده و از تکنولوژی دفاع نماید. یکی از آموزه‌های مهم او این است که قبل از اینکه از تکنولوژی انتقاد کنیم، باید آن را خوب بفهمیم؛ مثلاً این درست نیست که نقش عنصر انسانی را در تکنولوژی ندیده بگیریم و برای تکنولوژی هویت و اراده مستقلی قائل شویم. آموزه‌ی دیگر پیت این است که نه تنها باید تکنولوژی را بفهمیم، بلکه باید از طریق تأملات معرفت‌شناختی، درک و فهم خودمان از تکنولوژی را نیز مورد مطالعه و سنجش قرار دهیم؛ مثلاً وقتی با یک پس-زمینه‌ی ارزشی به سراغ تکنولوژی می‌رویم، باید بدانیم هر حکمی که درباره‌ی تکنولوژی صادر کنیم، متأثر از این نظام ارزشی خواهد بود. لازم است به این نکته هم توجه کنیم که پیت تکنولوژی را منحصر به ابزارهای فیزیکی و به‌کارگیری آنها نمی‌داند. بلکه از نظر او، هر نظام یا نهادی که کاری را در جامعه انجام می‌دهد، در حکم یک ابزار اجتماعی است و می‌تواند تکنولوژی دانسته شود. او عقیده دارد تکنولوژی هم، مانند علم، یک فعالیت هدفمند انسانی است و تصمیم‌گیری انسان‌ها سرنوشت آن را تعیین می‌کند. او با تأکید ویژه‌ای که بر نقش تصمیم‌گیری انسانی در تکنولوژی دارد، در نهایت آن را «انسانیت در مقام کار»^۲ تعریف می‌کند.

به نظر پیت، یکی از راههای شناخت تکنولوژی این است که ببینیم چه شباهت‌ها و تفاوت‌هایی با نزدیکان‌اش دارد. یکی از همسایگان نزدیک تکنولوژی، که برای این منظور مناسب است، علم است. زیرا از یک طرف، اسم آن را همه‌جا همراه با تکنولوژی می‌شنویم و از طرف دیگر، مباحث مربوط به فلسفه علم خیلی قبل‌تر از فلسفه‌ی تکنولوژی مطرح بوده‌اند و منظم‌تر و پخته‌تر شده‌اند.

معرفت علمی و ماهیت آن، همواره یکی از مباحث مطرح در فلسفه‌ی علم بوده است. در تناظر با این مفهوم، می‌توانیم معرفت تکنولوژیک را قرار دهیم. با توجه به تعریف پیت از تکنولوژی، معرفت تکنولوژیک، شکل خاصی از معرفت است که درباره چگونگی انجام دادن کارها یا ساختن چیزها صحبت می‌کند. همان‌طور که در عرصه‌ی علم دانشمندان به رشد و توسعه علم می‌پردازند، در عرصه

وینسنتی در نهایت برای توصیف این فرآیند دست به دامن یک مدل انتزاعی شده است. او که خود مهندس هواپیمای است، برای شرح این مدل از مثال‌های مربوط به طراحی هواپیما استفاده کرده است؛ اما مراحل در نظر گرفته شده در مدل کاملاً عمومیت دارند و می‌توانیم آنها را در مورد فرآیندهای طراحی دیگر هم به کار ببریم. مدل وینسنتی، چنان‌که خواهیم دید، فرآیند طراحی را به مؤلفه‌های عمودی و افقی تجزیه کرده و اقدامات لازم در هر مرحله از کار را با ذکر جزئیات مشخص می‌سازد.

در این مدل، برای طراحی پنج مرحله در نظر گرفته شده است. این مراحل عبارت‌اند از: (۱) تعریف پروژه؛ (۲) طراحی کلی؛ (۳) طراحی قطعات اصلی؛ (۴) تقسیم قطعات اصلی به بخش‌های جزئی‌تر؛ و (۵) تقسیم بخش‌های جزئی به اجزای کاملاً تخصصی. در مرحله‌ی تعریف پروژه، مواردی که به‌خوبی مشخص نشده‌اند - مانند مسائل تجاری، اقتصادی و فنی - کاملاً تعریف می‌گردند. در مرحله‌ی بعد، طرح کلی کار ارائه می‌شود و در مراحل بعدی، این طرح کلی مرتباً به اجزای کوچکتری تقسیم شده و با جزئیات بیشتری بررسی می‌گردد. این روند در شکل (۱) نشان داده شده است.

آنچه در مدل وینسنتی حائز اهمیت است، این است که سطوح مختلف آن با یکدیگر دارای تعامل هستند و نتیجه هر مرحله، مراحل بعد را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بنابراین فرآیند طراحی به‌صورت سلسله‌مراتبی از بالا به پایین و در سطح افقی پیش می‌رود. آنچه در این مدل بدان پرداخته نمی‌شود، نقش افراد و محیط اجتماعی است. یعنی در این مدل جایی برای افرادی که در فرآیند طراحی سهیم هستند و تصمیمات لازم را می‌گیرند، در نظر گرفته نشده است. چنان‌که خواهیم دید، این مسئله نقطه ضعف مدل وینسنتی به‌شمار می‌رود و مدل‌های دیگر به‌نحوی درصدی اصلاح آن برآمده‌اند.

مدل بوکیارلی

لویی بوکیارلی، در کتابی با عنوان «مهندسان طراح» (Bucciarelli, 1994)، مدل دیگری از فرآیند طراحی ارائه کرده است که مهم‌ترین ویژگی آن توجه به اهمیت افراد و محیط اجتماعی است.

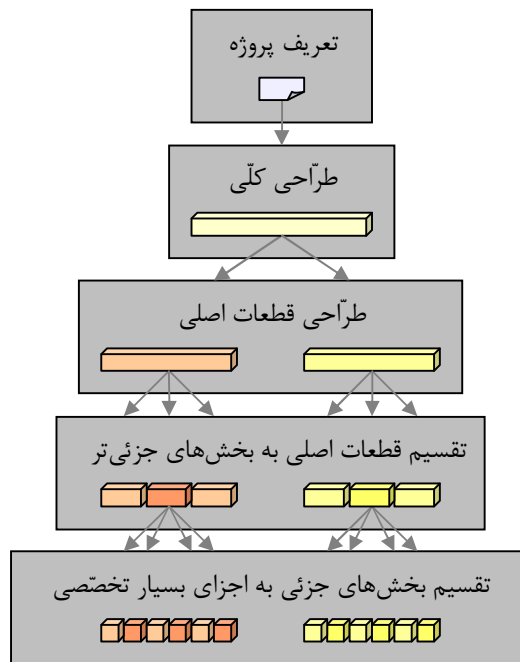
پیچیدگی‌های موجود در طراحی را روشن سازد و به ما بگوید یک پروژه مهندسی چه‌زمانی ناموفق می‌ماند.

اولین مدلی که در این بخش بررسی می‌کنیم، مدل وینسنتی است. این مدل با یک رویکرد انتزاعی به جزئیات مراحل طراحی در مهندسی می‌پردازد. مدل دوم، مدل بوکیارلی است و با یک نگاه جامعه‌شناختی به فرآیند طراحی می‌نگرد. در تقابل با این دو مدل، مدل سوم که همان مدل پیت از تکنولوژی است، بیش از همه بر نقش افراد و تصمیم‌گیری‌های آنها تأکید می‌کند.

مدل وینسنتی

والتر وینسنتی، در کتابی با عنوان «آنچه مهندسان می‌دانند و اینکه چگونه آن را می‌دانند» (Vincenti, 1988)، به مدلسازی فرآیند طراحی پرداخته است. او با توجه به تعریفی که از مهندسی ارائه کردیم، سه مؤلفه‌ی اصلی را در مهندسی تشخیص می‌دهد که عبارت از طراحی، ساخت و اجرا هستند. وینسنتی در میان این سه مؤلفه بر روی طراحی متمرکز می‌شود و تأکید می‌کند که منظور از طراحی در این تعریف طرح نیست؛ بلکه فرآیند طراحی است^۱. طرح به معنای نقشه‌ها و دستورالعمل‌هایی است که برای انجام یک کار، یا ساخت یک دستگاه، مورد استفاده قرار می‌گیرند. اما منظور از طراحی، دقیقاً مسیری است که برای دستیابی به این طرح باید طی شود.

فرآیند طراحی معمولاً این‌گونه انجام می‌شود که ابتدا ایده و روشی که قرار است پیاده شود، کاملاً مطالعه می‌گردد. در مرحله‌ی بعد، ابزارها و دستگاه‌هایی که می‌توانند برای پیاده‌سازی مورد استفاده قرار گیرند، با کمک تحلیل‌های ریاضی بررسی می‌شوند. پس از آن، کارایی این دستگاه‌ها با آزمون‌های عملی سنجیده می‌شود و تغییرات لازم برای اصلاح عملکرد آنها انجام می‌گیرد. از نظر وینسنتی، انجام این مراحل معمولاً نیازمند چندین بار تکرار است؛ زیرا اتفاقاتی که در طول فرآیند رخ می‌دهند، هر بار به شکل متفاوتی هستند و امکان برخورد با مشکلات پیش‌بینی‌نشده وجود دارد. با توجه به این موضوع، چون دانشی که از مسئله داریم از ابتدا کامل نیست، فرآیند طراحی به روش آزمون و خطا انجام می‌شود؛ یعنی مرتباً بر مبنای دانش ناکاملی که داریم، تصمیمی می‌گیریم و پس از دیدن نتیجه، آن را تکمیل و اصلاح می‌کنیم.



شکل ۱: مدل وینستی.

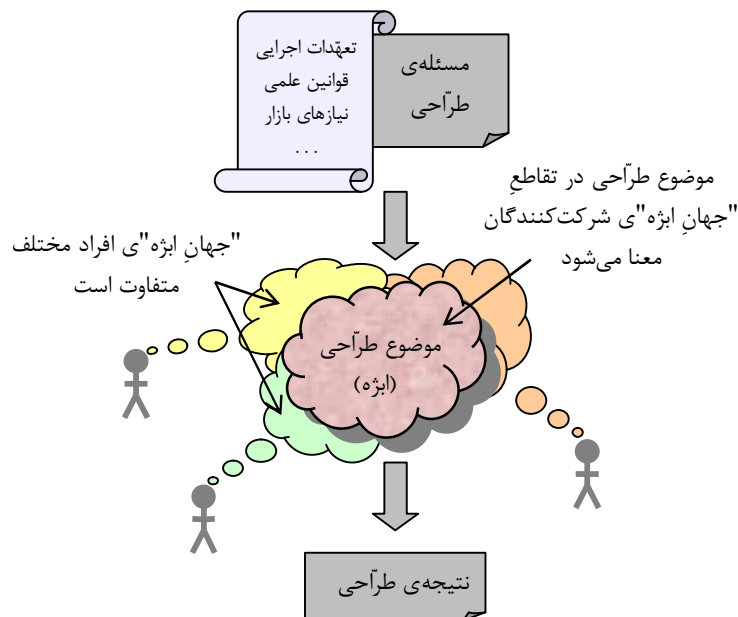
دلیل، هر فرد مسئله‌ی کاملاً متفاوتی برای حل کردن پیش رو دارد و برای حل این مسئله، از روش‌ها و ابزارهای متفاوتی استفاده می‌کند؛ چرا که در هر زمینه‌ی فنی خاص، شیوه‌ی مدل سازی و تفکر، زبان، ابزارهای طراحی، منابع مورد نیاز و ... با زمینه دیگر متفاوت است.

بوکیارتی از این مسئله نتیجه می‌گیرد که هر یک از شرکت‌کنندگان در طراحی، بسته به پارادایم حاکم بر تخصص و مسئولیت ویژه‌ی خود، موضوع طراحی را به شکل متفاوتی درک می‌کند. او برای این درک ویژه‌ی ذهنی، اصطلاح "جهان ابژه"^{۱۱} را به کار می‌برد. با توجه به آنچه که گفتیم، "جهان ابژه" به معنای جایگاه معنایی ابژه^{۱۲} در جهان ذهنی فرد است و بنابراین نمی‌تواند برای افراد مختلف یکسان باشد. به‌زعم بوکیارتی، این امر نشان می‌دهد که عینی‌ترین بخش فرآیند طراحی، یعنی موضوع طراحی، خود یک مفهوم ابری و بسیار فازی است و برای فهمیدن آن باید نسبت به پهنا و ژرفای کامل زمینه اجتماعی و تاریخی حساس باشیم. این مسئله در شکل (۲) نشان داده شده است.

روی هم‌رفته بوکیارتی معتقد است که فرآیند طراحی، با وجود اینکه خودمختار نیست، کاملاً اجتماعی و پیچیده

بوکیارتی، برخلاف وینستی، طراحی را به‌مثابه یک فرآیند اجتماعی می‌بیند که در یک زیرفرهنگ و در تعامل با فرهنگِ دربرگیرنده رخ می‌دهد. نقش فرهنگ و زمینه‌ی اجتماعی از نظر بوکیارتی آن‌قدر مهم و اساسی است که باعث می‌شود اصلاً نتوانیم فرآیند طراحی را به خوبی بشناسیم و مطالعه کنیم؛ چرا که هدف یا موضوع فرآیند طراحی، کاملاً تحت تأثیر این زمینه‌ی فرهنگی قرار گرفته و از معنایی که پیش از طراحی برای آن لحاظ شده فاصله می‌گیرد.

برای این که ادعای بوکیارتی درباره فرآیند طراحی را بهتر بفهمیم، لازم است به این موضوع توجه کنیم که او، به‌طور ضمنی، میان دو چیز تفاوت قائل می‌شود: (۱) این که فرآیند طراحی، خود چگونه است؛ و (۲) این که هر یک از افراد شرکت‌کننده در طراحی، آن را چگونه درک می‌کنند. برای نشان دادن اهمیت این تمایز، بوکیارتی تأکید می‌کند که طراحی مهندسی با هم‌کاری طیف وسیعی از افراد انجام می‌شود که توانایی‌ها، مسئولیت‌ها و گرایش‌های فنی متفاوتی دارند. در حقیقت، هر یک از این افراد تنها مسئول یک بخش جزئی یا یک زیرسیستم از طراحی است و در زمینه‌ی فنی خاص خودش فعالیت می‌کند. به همین



شکل ۲: مدل بوکیارلی.

لحاظ شده در قرارداد مهندسی، قوانین علمی و نیازهای بازار ورودی‌های این کارخانه هستند؛ اما آنچه تأثیرگذارتر است، هنجارها و فرهنگ حاکم بر این کارخانه است، زیرا در این فرهنگ است که موضوع طراحی معنای خود را پیدا می‌کند.

به‌طور کلی اگر نظر بوکیارلی را بپذیریم، به این جا می‌رسیم که طراحی یک فرآیند کاملاً اجتماعی و حاصل مذاکرات و اجماع نظرهای بی‌شمار است و در این فرآیند، هیچ‌کس نمی‌تواند شکل محصول نهایی را تعیین کند؛ یعنی هیچ‌کسی شکل و کارکرد ماشین‌ها، ساختارها و نظام‌هایی را که بخشی از زندگی معاصر هستند و ثمره‌ی یک فعالیت تکنولوژیکی یعنی فرآیند طراحی به‌شمار می‌آیند، مشخص نمی‌کند.

مدل پیت

همان‌طور که در مقدمه‌ی مقاله اشاره کردیم، ژوزف پیت تکنولوژی را یک فعالیت هدفمند انسانی می‌داند و آن را به‌صورت "انسانیت در مقام کار" تعریف می‌کند. او در کتاب خود اشاره نموده که این تعریف جامع است، یعنی همه‌ی انواع تکنولوژی را دربرمی‌گیرد؛ اما مانع نیست، یعنی هر فعالیت انسانی و هدفمندی را، که ممکن است برای آن اصطلاح تکنولوژی هم به‌کار نرود، شامل می‌شود.

است. او تأکید دارد که ابهام جزء ذاتی فرآیند طراحی است؛ یعنی به هیچ وجه چیزی مثل یک اصل علمی بر این فرآیند حاکم نیست. او می‌گوید ما نباید انتظار داشته باشیم که با مطالعه این فرآیند به قانون حاکم در پس پرده‌ی آن پی ببریم، یا امیدوار باشیم که یک روش بهینه برای آن پیدا کنیم. در واقع هیچ راهی برای درک فرآیند طراحی، در معنایی که شرکت‌کنندگان در طراحی آن را می‌فهمند، وجود ندارد. این بدان معنا نیست که بگوییم فرآیند طراحی غیرعقلانی است، یا نمی‌توانیم توصیفی برای چگونگی رخداد آن در نظر بگیریم و از آن برای دستیابی به پیشرفت بهره ببریم. موضوع این است که این توصیف، هیچ‌گاه نمی‌تواند دربرگیرنده‌ی درک تمام شرکت‌کنندگان از طراحی باشد؛ زیرا درک این افراد ممکن است در تناقض با یکدیگر باشد. بنابراین، با اینکه هر شرکت‌کننده به صورت کاملاً عقلانی در فرآیند طراحی شرکت می‌کند، عقلانیت کلّ این فرآیند، از یک نگاه بیرونی و فارغ از اجزاء، قابل درک و پیش‌بینی نیست.

بنابراین، همان‌طور که در شکل (۲) دیده می‌شود، فرآیند طراحی نقطه‌ی تقاطع جهان‌های ذهنی متفاوت است. اگر فرآیند طراحی را مانند یک کارخانه در نظر بگیریم، می‌توانیم بگوییم مواردی مانند تعهدات اجرایی

نفت تصفیه شده تبدیل می‌کند؛ یا مثلاً یک نظام حقوقی، اختلاف میان افراد را به برابری و عدالت تبدیل می‌کند. به این ترتیب، ابزار را هم می‌توانیم نوعی تبدیل در نظر بگیریم.

پیت این دو نوع تبدیل یعنی تصمیم‌گیری و ابزار را به موازات یکدیگر بررسی می‌کند و آن‌ها را به ترتیب "تبدیل درجه اول"^{۱۳} و "تبدیل درجه دوم"^{۱۴} می‌نامد. با توجه به چیزی که در مورد انواع تصمیم‌گیری گفتیم، نتیجه تصمیم‌گیری می‌تواند یک تصمیم‌گیری دیگر یا به کارگیری یک ابزار باشد. به بیان دیگر، خروجی "تبدیل درجه اول" می‌تواند یک "تبدیل درجه اول" یا یک "تبدیل درجه دوم" باشد. این مطلب در شکل (۳) دیده می‌شود. نکته‌ی مهمی که در اینجا وجود دارد این است که "تبدیل درجه دوم" همیشه نتیجه‌ی یک "تبدیل درجه اول" است. یعنی تمام ابزارها، چه در هنگام خلق شدن و چه در هنگام به-کارگیری، نتیجه یک تصمیم‌گیری هستند.

پس از قرار دادن این دو تبدیل در مدل، پیت می‌گوید که مدل سازی هنوز کامل نیست و به یک بخش اساسی دیگر نیاز دارد. این عنصر حیاتی، بازخورد ارزیابی^{۱۵} نام دارد و شامل بازنگری نتایج بدست آمده از این دو تبدیل است. در واقع، زمانی که تأثیر تصمیمات گرفته شده و ابزارهای به‌کاربرده شده روشن می‌شود، یک تجربه حاصل شده است، که باید برای تکمیل معرفت به کار گرفته شود. بدین ترتیب، با هر بار تجربه، معرفت و دانشی که داریم کامل‌تر می‌شود و می‌توانیم تصمیمات بهتری بگیریم.

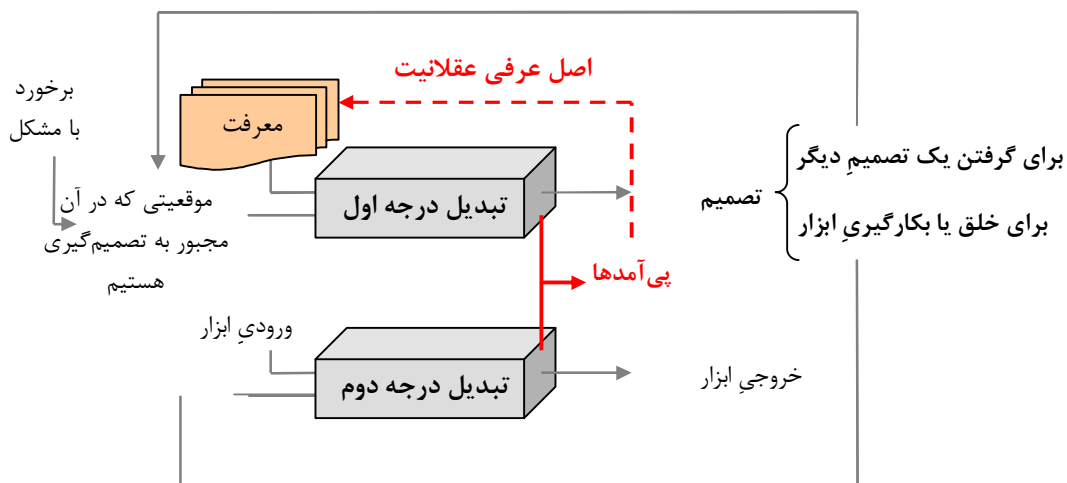
بازخورد ارزیابی را می‌توانیم نوع خاصی از تصمیم‌گیری عقلانی بدانیم که پیت آن را استفاده از "اصل عرفی عقلانیت"^{۱۶} نامیده است. منظور از عقلانیت این نیست که شیوه‌ی خاصی را بکار ببریم که موفقیت نهایی را تضمین می‌کند. موفقیت به عوامل زیادی بستگی دارد و نمی‌توان آن را تضمین کرد. اما اگر از تجربه‌هایمان استفاده کنیم، می‌توانیم حداقل از تکرار اشتباهات پرهیز کنیم و تا حدود زیادی جلوی شکست را بگیریم. پیت عقلانیت را در این معنا به کار می‌برد، و "اصل عرفی عقلانیت" را درس آموختن از تجربه می‌داند. با اضافه کردن این بازخورد، مدل پیت کامل می‌شود. بدین ترتیب این مدل سه بخش دارد که عبارت‌اند از: "تبدیل درجه اول"؛ "تبدیل درجه دوم"؛ و بازخورد ارزیابی. این سه بخش و جایگاهشان در مدل پیت، در شکل (۳) نشان داده شده‌اند.

یک ویژگی مهم در تعریف پیت این است که در این تعریف، تکنولوژی نه خود ابزار، بلکه به‌کارگیری ابزار دانسته شده است. به همین دلیل، نقش عنصر انسانی، که باید برای خلق یا به‌کارگیری ابزار تصمیم بگیرد، در آن کاملاً مشخص است. پیت در مدلسازی تکنولوژی به‌ویژه تأکید دارد که هدف از مدلسازی یک فرآیند، ساده کردن پدیدارها نیست؛ بلکه می‌خواهد اجزای آن فرآیند را بیشتر شکافته و نقش آن‌ها را بهتر مشخص نماید. به این ترتیب، او در این مدلسازی نقش ویژه‌ای برای تصمیم‌گیری در نظر گرفته است.

مدلی که پیت ارائه کرده است، در واقع برای تکنولوژی و با توجه به تعریف "انسانیت در مقام کار" ارائه شده است. اما از آن جا که این مدل هم، مانند تعریف، بسیار جامع است، و فرآیند طراحی، به‌عنوان بخشی از فعالیت مهندسی، یک فعالیت تکنولوژیکی به‌شمار می‌رود، می‌توانیم مدل را به‌عنوان مدلی برای فرآیند طراحی نیز در نظر بگیریم. بنابراین، سومین مدلی که برای فرآیند طراحی مطالعه می‌کنیم، مدل پیت است که در این بخش به آن می‌پردازیم.

از نظر پیت، هر جا که انسان‌ها حضور دارند و فعالیتی انجام می‌دهند، تصمیم‌گیری نیز حضور دارد. او در مدل خود، تصمیم‌گیری را به‌صورت یک تبدیل در نظر می‌گیرد که چند ورودی و یک خروجی دارد. خروجی این تبدیل، تصمیم است و معرفتی که در تصمیم‌گیری از آن استفاده می‌شود، ورودی آن را تشکیل می‌دهد. وقتی با موقعیتی روبه‌رو می‌شویم که نیاز به تصمیم‌گیری دارد، با استفاده از دانش و اطلاعاتی که داریم، سعی می‌کنیم بهترین تصمیم ممکن را بگیریم. مثلاً وقتی به مشکلی برخوردیم، ممکن است تصمیم بگیریم برای رفع آن از به خلق یا استفاده از یک ابزار متوسل شویم، و یا این‌که به اینجا برسیم که برای رفع مشکل تصمیم‌گیری دیگری لازم است. پیت این دو نوع تصمیم را از یکدیگر جدا می‌کند. در حالت اول، نتیجه‌ی تصمیم‌گیری به‌کارگیری یک ابزار است، و در حالت دوم، یک تصمیم‌گیری دیگر.

گفتیم که منظور پیت از ابزار، تنها افزارها و ماشین‌های فیزیکی نیستند؛ بلکه در دیدگاه او، نظام‌ها و نهادهای اجتماعی نیز ابزار شمرده می‌شوند. در واقع، ابزار هم مانند تبدیلی است که ما را از چند ورودی به یک خروجی می‌رساند. به عنوان مثال، یک پالایشگاه نفت، نفت خام را به



شکل ۳: مدل پیت.

نیز هست.

پیشینه تلسکوپ

تلسکوپ فضایی هابل، اولین تلسکوپ است که برای مشاهده اجرام آسمانی در خارج از جو زمین قرار گرفته است و تحول مهمی در تاریخ نجوم به شمار می‌رود. ایده اولیه این تلسکوپ در سال ۱۹۴۶ مطرح شد. از آنجا که وجود گازها و گردوغبار موجود در جو زمین، باعث افت کیفیت تصاویر اجرام آسمانی می‌شد، استفاده از تلسکوپ در خارج از اتمسفر پیشنهاد شد. در آن زمان، امکان قرار دادن یک تلسکوپ بزرگ در مدار زمین وجود نداشت. اما بعدها و در سال ۱۹۹۰، یک تلسکوپ فضایی با همکاری ناسا^{۱۷} و آژانس فضایی اروپا^{۱۸} ساخته و به فضا پرتاب شد. این تلسکوپ به یاد ستاره‌شناس بزرگ آمریکایی، هابل نام گرفت.

نکته‌ای که در مورد تلسکوپ فضایی هابل حائز اهمیت است، این است که مسائل حاشیه‌ای در آن نقش زیادی داشتند. گستره‌ی افراد علاقمند به سرنوشت این پروژه بسیار وسیع بود و گروه‌هایی از قبیل سیاستمداران، دانشمندان، مهندسان و مأموران دولتی را دربرمی‌گرفت. به همین دلیل، از طرفی محدودیت‌های سیاسی، علمی، فنی و اقتصادی بسیاری بود که باید برآورده می‌شد و از طرف دیگر، پای مسائلی مانند منافع گروه‌های رقیب نیز در میان بود.

نکته‌ی اصلی در مورد مدل پیت این است که در آن بر روی تصمیم‌گیری، ارزیابی پی‌آمدها، و ترکیب مستمر معرفت با تجربه تأکید می‌شود. اگر فرآیند طراحی را به این صورت ملاحظه کنیم، هم نقش افراد شرکت‌کننده در طراحی، به علت تصمیماتی که می‌گیرند، دیده می‌شود و هم امکان پیشرفت و دستیابی به اهداف از پیش تعیین شده باقی می‌ماند. در واقع مدل پیت، در مورد غیر قابل پیش‌بینی بودن محصول طراحی، با بوکیارلی موافق نیست. همان‌طور که دیدیم، بوکیارلی می‌گفت هیچ‌کس شکل نهایی محصول را تعیین نمی‌کند؛ اما پیت اعتقاد دارد که حداقل ویژگی‌های خاصی در مورد محصول وجود دارند که شکل آنها از پیش تعیین می‌شود. مثلاً در قراردادهایی که دولت‌ها با یکدیگر امضا می‌کنند، مواردی ذکر می‌شود که باید حتماً برآورده شود.

مورد تلسکوپ فضایی هابل

تلسکوپ فضایی هابل، مثالی از عدم موفقیت یک پروژه مهندسی است. به همین دلیل، برای ارزیابی سه مدل فرآیند طراحی، مورد مناسبی به شمار می‌رود. از طرف دیگر، این مثال موردی را نشان می‌دهد که در آن موفقیت یک مأموریت علمی به موفقیت یک پروژه‌ی تکنولوژیک بستگی دارد؛ زیرا برای انجام اکتشافات نجومی نیاز به تلسکوپ است که باید به فضا برده شود. بنابراین این مثال نمونه‌ی خوبی از وجود زیرساخت‌های تکنولوژیک در علم

برای وسیله‌ای که دقت‌اش در حد یک میلیونیم اینچ است، چنین کاری نیاز به گزارش ناهم‌خوانی دارد؛ اما چنین گزارشی ارائه نشد.

۲- نتایج غیر منتظره‌ی دستگاه معکوس

اصلاح‌کننده‌ی خنثای معکوس^{۲۱}، دستگاه دیگری است که می‌تواند میزان پایداری و تراز بودن دستگاه قبلی را نشان دهد. نتایجی که از آزمایش با این وسیله به دست آمد، با نتایج مورد انتظار مطابقت نداشت و وجود خطا در دستگاه بازتابی را نشان می‌داد. اما این نتایج به این صورت تعبیر شد که احتمالاً خود دستگاه معکوس ایرادی دارد و تصمیم گرفتند که بعداً آن را بررسی کنند. به این ترتیب با این که دستگاه بازتابی خطا داشت، از آن برای آزمایش آینه اصلی تلسکوپ استفاده کردند. برحسب اتفاق، چون هم آینه و هم دستگاه بازتابی ایراد داشتند، نتیجه‌ی آزمایش خوب شد! جالب این جا است که بعداً وقتی دستگاه بازتابی و معکوس را دوباره بررسی کردند و مشخص شد دستگاه بازتابی خطا دارد، این آزمایش را دوباره تکرار نکردند.

۳- ناهم‌خوانی نتایج دستگاه‌های بازتابی و

انکساری

در مراحل بعدی، دستگاه دیگری به نام اصلاح‌کننده‌ی خنثای انکساری^{۲۲} برای آزمایش آینه مورد استفاده قرار گرفت. نتایج این آزمایشات، با نتایج دستگاه بازتابی همخوانی نداشت؛ اما این بار هم نتیجه‌ی بد آزمایش به عوامل دیگری مانند خشن بودن سطح آینه و دقت وسایل اندازه‌گیری نسبت داده شد و تحلیل زیادی بر روی آن صورت نپذیرفت.

۴- عدم انجام آزمون‌های توصیه‌شده

به دلیل وجود این همه خطای فاحش، هیئتی از محققان ارشد شرکت سازنده موضوع را بررسی کردند. نتیجه‌ی کار این هیئت این بود که باید آزمون‌های جداگانه‌ای با استفاده از دستگاه‌های دیگر بر روی آینه انجام بگیرد. اما با وجود اهمیت موضوع، هیچ‌یک از این آزمون‌ها در عمل انجام نشد. روشن است که انجام نشدن این آزمون‌ها نتیجه‌ی غفلت و بی‌دقتی نبوده است، بلکه در پی تصمیمی آگاهانه و احتمالاً به دلیل ملاحظات اقتصادی صورت گرفته است.

درواقع، این تلسکوپ از زمان مطرح شدن ایده‌ی اولیه تا انجام شدن مراحل برنامه‌ریزی، ساخت و پرتاب آن به فضا، با ماجراها و مشکلات زیادی روبه‌رو بود. ساختن یک جسم ناظر دوآر، نسبت به ساختن یک تلسکوپ ساده، پیچیدگی‌های بسیار بیشتری داشت. مشکلات اقتصادی و تأخیراتی که در زمان‌بندی آن به وجود آمد نیز باعث شد که مراحل ساخت آن کاملاً مطابق طراحی انجام نشود. از طرفی، فاجعه‌ی شاتل فضایی چلنجر^{۱۹} در سال ۱۹۸۶، و کشته شدن هفت نفر در آن، پرتاب هابل را چهار سال به تأخیر انداخت. این مسئله، خود هزینه‌های نگهداری بسیار سنگینی را به پروژه تحمیل کرد و باعث شد بسیاری از آزمون‌هایی که برای سنجش کارایی تلسکوپ در نظر گرفته شده بود، انجام نشود (Chaisson, 1994).

سرانجام، پس از اینکه هابل به فضا پرتاب شد، متوجه شدند که در آینه‌ی اصلی تلسکوپ یک انحنای مارپیچ وجود دارد. در واقع به دلیل معیوب بودن این آینه، امکان بهره‌برداری کامل از تلسکوپ وجود نداشت و مجبور شدند برای تعمیر آن اقدام کنند.

داستان آینه تلسکوپ

در این جا به مراحل برنامه‌ریزی، پرتاب و تعمیر تلسکوپ کاری نداریم و تنها بر روی مشکلات ساخت آن متمرکز می‌شویم. پس از مشخص شدن اینکه آینه‌ی تلسکوپ معیوب است، ناسا بازرسی‌های گسترده‌ای را انجام داد و سرانجام شرکت سازنده‌ی آینه را مقصر شناخت. در گزارشی که ناسا ارائه کرد (U. S. Congress, 1994)، مواردی به عنوان دلایل اصلی نقص آینه آمده است، که به ذکر آنها می‌پردازیم.

۱- واشرهای تأیید نشده در دستگاه بازتابی

اصلاح‌کننده خنثای بازتابی^{۲۰} که آن را به اختصار دستگاه بازتابی می‌نامیم، یک دستگاه اندازه‌گیری است که برای آزمایش آینه به کار می‌رود. خود این وسیله از دو آینه و یک عدسی تشکیل شده است. تکنسین‌هایی که می‌خواستند فاصله‌ی آینه و عدسی این وسیله را تنظیم کنند، متوجه شدند که نمی‌توانند عدسی را در جای مشخص شده در طرح قرار دهند. در این مرحله، بر طبق قرارداد، می‌بایست با طراح مشورت می‌شد؛ اما شرکت سازنده، خودسرانه تصمیم گرفت، که برای رفع مشکل، زیر پیچ‌های عدسی واشرهای معمولی بگذارد.

۵- پنهان کردن خطای کشف شده

مهم‌ترین اتفاق زمانی افتاد که دستگاه انکساری برای اندازه‌گیری مرکز تقعر آینه بکار رفت و نتیجه‌ی آزمایش نشان داد که در آینه یا احتمالاً یکی از دستگاه‌های اندازه‌گیری خطایی وجود دارد. این بار دیگر دستگاه‌های اندازه‌گیری را کاملاً بررسی کردند و مشخص شد که خطا از دستگاه بازتابی بوده است. با این حال، نتایج را به خارج از شرکت منتقل نکردند و عملاً نقص موجود در آینه را مخفی نمودند. این جا نیز کاملاً مشخص است که کسی تصمیم گرفته است این نتایج را پنهان کند و حقایق را به گونه‌ای دیگر جلوه دهد.

مقایسه‌ی سه مدل در توضیح ناکامی پروژه

برای مقایسه‌ی سه مدل طراحی و بررسی اینکه هر یک از آنها شکست پروژه‌ی هابل را چگونه توضیح می‌دهند، مشکلات این پروژه را به سه دسته‌ی اصلی تقسیم کرده- ایتم: (۱) اصلاح نکردن طراحی؛ (۲) تعبیر نادرست نتایج آزمون‌ها؛ و (۳) پنهان کردن نواقص. در ادامه، به طور جداگانه، به هر یک از این سه مورد می‌پردازیم.

اصلاح نکردن طراحی

یکی از مواردی که باعث شکست پروژه شد، مشورت - نکردن با طراح پروژه بود. چنان که گفتیم، در طراحی پروژه، فاصله‌ی خاصی برای عدسی و آینه‌ی دستگاه بازتابی در نظر گرفته شده بود که در هنگام ساخت، تنظیم این فاصله دچار مشکل شد. شرکت سازنده خودش به - تهایی برای رفع این مشکل اقدام کرد؛ درحالی که در قرارداد ذکر شده بود هر جا مشکلی پیش می‌آید، باید با طراح پروژه مشورت شود. حداقل کاری که شرکت سازنده می‌توانست بکند، این بود که در گزارشی این موضوع را ذکر کند؛ اما این کار را هم انجام نداد. حال ببینیم هر یک از سه مدل فرآیند طراحی درباره‌ی این پدیده چه می‌گویند:

مدل وینسنتی: طراحی تلسکوپ بد بوده است.

مدل بوکیارلی: طراحی تلسکوپ بد بوده است و این به - دلیل بد بودن زمینه و فرهنگی است که طراحی در آن انجام شده است.

مدل پیت: طراحی تلسکوپ بد نبوده است، بلکه تنها به خاطر استفاده نشدن از حلقه‌ی بازخورد، به طور

کامل مورد بهره‌برداری قرار نگرفته است.

نکته ظریفی که در این جا وجود دارد، این است که مدل وینسنتی و بوکیارلی هیچ‌کدام حلقه‌ی بازخورد ندارند. بنابراین هر دوی آنها، پس از انجام شدن طراحی، کار را تمام شده می‌دانند. البته مدل وینسنتی به تکرارشونده بودن فرآیند طراحی اشاره می‌کند، اما این تکرار تنها در طول فرآیند طراحی و برای کامل شدن طراحی بخش‌ها آورده شده است. درحالی که در مدل پیت، حلقه‌ی بازخوردی وجود دارد که امکان اصلاح طراحی پس از مشاهده‌ی "پی‌آمدهای" آن را ممکن می‌سازد. در مورد تلسکوپ فضایی نیز اتفاقاً در هنگام ساخت مشکلی پیش می‌آید که نشان می‌دهد طراحی باید اصلاح شود. این جا است که مدل پیت، که وسیع‌تر به مسئله‌ی طراحی نگریسته است، قادر است به ما بگوید اشکال کار در عدم به‌کارگیری حلقه‌ی بازخورد ارزیابی بوده است؛ درحالی که مدل وینسنتی تنها از بد بودن طراحی خبر می‌دهد و مدل بوکیارلی حداکثر بد بودن طراحی را به بد بودن فرهنگ کاری شرکت ربط می‌دهد.

تعبیر نادرست نتایج آزمون‌ها

مشکل دیگری که باعث بروز خطاهای بسیاری در آزمایش آینه شد، اشتباهاتی بود که سهواً اتفاق افتاد؛ مثلاً اینکه نتایج بد آزمایشات، به عوامل دیگر نسبت داده شد؛ یا اینکه آزمایش آینه‌ی اصلی، پس از مشخص شدن وجود خطا در دستگاه اندازه‌گیری، تکرار نشد. در مورد این مشکل هم توضیح هر یک از مدل‌ها را بررسی می‌کنیم:

مدل وینسنتی: مهندسان شرکت، مهندسان خوبی نبوده‌اند.

مدل بوکیارلی: فرهنگ و فضای درونی شرکت باعث شده است که افراد، از نتایج آزمون‌ها برداشت اشتباهی داشته باشند.

مدل پیت: کامل نبودن معرفت و فرضیات غلط باعث شده‌اند که درمورد نتایج آزمون‌ها به اشتباه تصمیم‌گیری شود.

چنان که گفتیم، مدل وینسنتی، یک مدل کاملاً انتزاعی است و در آن نقشی برای افراد در نظر گرفته نشده است. بنابراین اگر بخواهیم این پدیده را با مدل وینسنتی توضیح دهیم، تنها می‌توانیم بگوییم که عملیات تکرارشونده‌ای که وینسنتی بر آن تأکید می‌کند، انجام نشده است. با توجه

زیاد، عوامل بیرونی مانند فشارهای سیاسی و زمان‌بندی پروژه مشکل را ایجاد کرده‌اند. مدل پیت، در اینجا هم ریشه مشکل را تصمیم‌گیری آگاهانه‌ی انسانی می‌داند. بدیهی است که این تصمیم‌گیری می‌تواند به خاطر عوامل درونی یا بیرونی اتفاق افتاده باشد. به‌هرحال، اگر این تصمیم‌گیری اشتباه و سودجویانه صورت نمی‌گرفت، تلسکوپ معیوب به فضا فرستاده نمی‌شد.

نتیجه‌گیری

در این مقاله، به فرآیند طراحی مهندسی پرداختیم و سه مدل مختلف را برای آن بررسی کردیم. سپس مورد تلسکوپ فضایی هابل را شرح دادیم و سعی کردیم عوامل مؤثر در ناکامی آن را، به کمک سه مدل، توضیح دهیم.

مدل وینسنتی با این که دید ساختاری دارد و بر پیش‌رونده بودن فرآیند طراحی تأکید می‌کند، با خارج کردن افراد سازوکاری برای تصمیم گرفتن درمورد این پیش‌روی ندارد. درست است که وجود افراد پیش‌فرض است، اما بدون این که آنها را در مدل بیاوریم، نمی‌توانیم بر تصمیمات آنها تمرکز نماییم.

بوکیارلی با یادآور شدن زمینه‌های اجتماعی ما را به مسیر درست هدایت می‌کند، اما با تمرکز بر فرهنگ داخلی خود کارخانه یا شرکت، نقش عوامل بیرونی را در نظر نمی‌گیرد. از طرف دیگر، مدل او، با محوریت دادن به ابژه‌ها، نقش انسان را کم‌رنگ جلوه می‌دهد.

مدل پیت بر افراد و تصمیمات آنها تمرکز می‌کند و امکان بررسی جزئیات در مورد تصمیم‌گیری را فراهم می‌کند. به‌علاوه، این مدل با اضافه کردن حلقه‌ی بازخورد، امکان پیشرفت و بهبود تصمیم‌گیری را در نظر می‌گیرد. دیدیم که در مورد تلسکوپ فضایی هابل افراد و تصمیمات آنها نقش مهمی داشتند. به همین دلیل، مدل پیت مناسب‌ترین مدل برای توضیح این پروژه است.

به پیش‌فرض بودن نقش مهندسان در طراحی، حداکثر می‌توانیم بگوییم مهندسان شرکت خوب عمل نکرده‌اند؛ اما نمی‌توانیم بگوییم که علت انجام نشدن تکرار واقعاً چیست. مدل بوکیارلی هم حرف زیادی برای گفتن ندارد. به خاطر داریم که بوکیارلی عقیده داشت ابهام جزء ذاتی هر پدیدار اجتماعی است. بنابراین مدل او هرگونه اشتباه و سوءتعبیری را، در جهان ابژه‌های ابری طراحی، امری طبیعی می‌داند. برخلاف این دو مدل، مدل پیت با تأکید بر نقش معرفت در تصمیم‌گیری، علت اصلی بروز اشتباه یعنی کامل نبودن معرفت را روشن می‌سازد. بنابراین، باز هم تنها مدل پیت است که می‌تواند این پدیده را به‌خوبی توضیح دهد.

پنهان کردن نواقص

آخرین مشکل و در واقع علت اصلی باقی‌ماندن نقص در آینه، پنهان کردن نواقص بود. بعد از تحقیقاتی که انجام شد، معلوم گردید که کارکنان بخش تضمین کیفیت در شرکت سازنده، با این که در جلسات روزانه‌ی مربوط به تلسکوپ حضور داشتند، از نتایج بد آزمایشات آگاه نبوده‌اند. این امر نشان می‌دهد که این مسائل هیچ وقت در جلسه‌های شرکت مطرح نشده‌اند. این مطلب را نیز از نگاه هر یک از سه مدل بررسی می‌کنیم:

مدل وینسنتی: مدیران شرکت، مدیران خوبی نبوده‌اند. مدل بوکیارلی: فرهنگ و فضای درونی شرکت باعث شده است، که مدیران تحت فشار قرار بگیرند و نتوانند نواقص آینه را در جلسات مطرح کنند.

مدل پیت: مدیران شرکت، به خاطر ملاحظات اقتصادی و سیاسی، آگاهانه تصمیم گرفته‌اند، نواقص آینه را پنهان کنند.

این بار هم، مدل انتزاعی وینسنتی، چیزی در مورد علت بروز این مشکل به ما نمی‌گوید. از طرف دیگر، مدل بوکیارلی ریشه‌های مشکلات را در زمینه فرهنگی خود شرکت جستجو می‌کند. این در حالی است که به احتمال

مراجع

- 1 - Bucciarelli, L. (1994). *Designing Engineers*. Cambridge, Mass.: MIT Press.
- 2 - Chaisson, E.J. (1994). *The Hubble Wars*. New York: HarperCollins.
- 3 - Heidegger, M. (2003). "The Question Concerning Technology." In R. C. Scharff, & V. Dusek (Eds.), *Philosophy of Technology: the Technological Condition: an Anthology* (PP. 252-264). Blackwell Publishing.

- 4 - Pitt, J. (2000). *Thinking About Technology*. New York: Seven Bridges Press.
- 5 - Postman, N. (2004). "Five Things We Need to know about Technological Change." *Computers in Society 04/05* (pp. 11-15). McGraw-Hill/Dushkin CT.
- 6 - Vincenti, W. (1988) *What Engineers Know and How They Know It: Analytical Studies from Aeronautical History*. Baltimore: John Hopkins University Press.
- 7 - U. S. Congress (1994) *Hubble Space Telescope: Hearing Before the Subcommittee on Science, Space, and Technology*, U. S. House of Representatives, 103rd Congress, First Session, November 16, 1993. Washington: U. S. Government Printing Office.

واژه های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

۱ - این مقاله با حمایت مرکز تحقیقات سیاست علمی کشور به سامان رسیده است.

- 2 - Humanity at Work
- 3 - Engineering
- 4 - Design
- 5 - Construction
- 6 - Operation
- 7 - Artifice
- 8 - Design Process
- 9 - Hubble Space Telescope
- 10 - Object World

۱۱ - این تأکید، ظاهراً به این خاطر است که در زبان انگلیسی برای "طراحی" و "طرح" یک کلمه‌ی مشترک (Design) به کار می‌رود. با این حال، به دلیل اهمیت موضوع، آن را اینجا آورده‌ایم.

۱۲ - بوکیارلی اصطلاح ابژه (Object) را در معنای وسیعی به کار می‌گیرد که هم به معنای شیء و رخداد است، و هم در زمینه‌ی فرآیند طراحی، می‌تواند به معنای هدف و موضوع طراحی فهمیده شود. به همین دلیل، خود اصطلاح ابژه را برای آن به کار برده‌ایم.

- 13 - First-order Transformation
- 14 - Second-order Transformation
- 15 - Assessment Feedback
- 16 - Commonsense Principle of Rationality
- 17 - NASA
- 18 - European Space Agency
- 19 - Space Shuttle Challenger disaster
- 20 - Reflective Null Corrector
- 21 - Inverse Null Corrector
- 22 - Refractive Null Corrector