فصلنامه تازه‌های علوم شناختی
سال ۱۸، شماره۳، پاییز ۱۳۹۵

Advances in Cognitive Sceince
Vol. 18, No. 3, 2016

ارائه‌ی یک مدل رایانشی برای تصور خلاق با الهام از فلسفه‌ی اسلامی

طیبه رفیعی آتانی
دانشـــجوی دکتری، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران
مژده هاشمی نمین
دانشجوی دکتری، هوش مصنوعی، دانشگاه علم و صنعت ایران
محمدرضا جاهد مطلق*
دانشـــیار، هوش مصنوعی، دانشگاه علم و صنعت ایران
بهروز مینایی بیدگلی
دانشـــیار، هوش مصنوعی، دانشگاه علم و صنعت ایران

***نشانی تماس:** دانشـــگاه علم و صنعت ایران، دانشکده مهندسی کامپیوتر
رایانامه: jahedmr@iust.ac.ir

مقدمه: "تصور" چند شـــکل می‌تواند داشته باشد. به خاطرآوری تصاویری که قبلا دیده شده؛ انتزاع یک تصویر از روی همه‌ی تصاویری که از یک مفهوم در ذهن وجود دارد؛ ایجاد یک تصویر جدید با استفاده از تصاویر دیده شده‌ی قبلی برای مفهومی که به ازای آن تصویری در ذهن وجود ندارد. منظور ما از تصور خلاق، نوع آخر اســـت. **روش:** مدل‌سازی محاسباتی تصور به عنوان یک فرایند شناختی به توصیف دقیق ساختارها (به عنوان جنبه‌های ایستا) و فرایندها (به عنوان جنبه‌های پویا) می‌پردازد و آن را در قالب الگوریتم‌ها و برنامه‌هایی مبتنی بر علوم و فن‌آوری کامپیوتر توصیف می‌کند. در این پژوهش سعی شده تا فرایند تصور خلاق انسان با استفاده از فلسفه‌ی اسلامی توضیح داده شده و بر مبنای آن یک الگوریتم قابل اجرا در رایانه ارائه شـــود. **یافته‌ها:** طبق فلسفه‌ی اسلامی، متخیله قوه‌ای است که با ترکیب و یا تجزیه‌ی تصاویر و معانی موجود در خیال و حافظه، عمل تصور خلاق را شکل می‌دهـــد. نقش متخیله را می‌توان با یک الگوریتم چندمرحله‌ای احتمالاتی مدل کرد. به عنوان نمونه، مسیر اجرای الگوریتم پیشنهادی برای تصورِ مفهوم جدید به وسیله‌ی «درخت دارای چشم و دهان» نشان داده شده است. این مدل رایانشی قادر است تصاویری را تولید کند که انسان با استفاده از تصاویر دیده شده‌ی قبلی برای این مفهوم جدید خلق می‌کند. **نتیجه گیری:** خلق تصویر جدید با ترکیب اجزای پایه (صور و معانی) صورت می‌گیرد، بنابراین برای مدل‌سازی تصور خلاق می‌بایست به دو جنبه‌ی اساسی توجه داشت: اول، بازنمایی مناسب صور و معانی؛ دوم، کشف و مدل‌سازی فرایندهای ذهنی برای ترکیب این اجزا.

واژه‌های کلیدی: مدل رایانشی، تصور خلاق، متخیله، هوش مصنوعی، فلسفه‌ی اسلامی

A Computational model of creative mental imagery inspired by Islamic Philosophy

Tayebe Rafiei-Atani
phD student, Artificial Intelligence, Iran University of Science and Technology, Tehran
Mojdeh Hashemi-Namin
PhD Student of Artificial Intelligence, Iran University of Science and Technology
Mohammad-Reza Jahed-Motlagh *
Associate Professor of Artificial Intelligence, Iran University of Science and Technology
Behrouz Minaei-Bidgoli
Associate Professor of Artificial intelligence, Iran University of Science and Technology

*Corresponding Author:
Email: jahedmr@iust.ac.ir

Introduction: Three types of images can be considered in the mind: Remembering images which have already been seen, making abstract image from all images of a concept already existing in the mind or creating new images for new concepts using existing images and concepts. "Creative Imagery" refers to the latter. **Method:** Computational modelling of Imagery – as a cognitive process – describes mechanisms and processes of imagery. It embodies the description based on computer science. In this paper, the process of human creative imagery is described using Islamic Philosophy approach. **Results:** According to the Islamic Philosophy, Imaginative faculty can compose and decompose concepts (existing in memory) and forms (existing in Imaginative Faculty) for Creative Mental Imagery. Role of Imaginative Faculty can be modeled with a multi-level probabilistic algorithm. As an example, running path of the algorithm for creating image of "tree with eye and mouth" is shown. The computational model is able to produce those images which human produce for the new concept. **Conclusion:** Creating new image uses composition of basic elements (forms and concepts). Thus for modelling creative imagery two fundamental aspects should be considered: Appropriate representation of forms and concepts and discovery and modeling mental processes combining these components.

Keywords: *Computational Model, Creative Imagery, Imaginative Faculty, Artificial Intelligence, Islamic Philosophy*

مقدمه

پژوهشـــگران هوش مصنوعی با مدل‌ســـازی محاسباتی فرایندهای شـــناختی انســـان، به دنبال نوعی مهندســـی معکوس ذهن هستند ؛ به این معنا که با شناخت دقیق این فرایندها بتوانند از آنها الگوبرداری کنند و سیســـتم‌هایی تولید کنند که ویژگی‌های ذهن انسان ـ هوشمندی، کسب دانش انتزاعی و درک روابط علّی میان مفاهیم ـ را داشته باشد(۱). تصورخلاق یکی از فرایندهای شناختی انسان اســـت که با فرایندها و قوای شناختی دیگر مثل حافظه ارتباط تنگاتنگـــی دارد(۲)، بنابراین پرداختن به موضوع تصـــور، به نوعی ویژگی‌های مهم دیگر قوای شـــناختی مانند حافظه را نیز آشـــکار می‌سازد و طراح را به سوی ویژگی‌های کلّی مورد نیاز یک سیستم شناختی رهنمون می‌سازد. علاوه بر این، تولید تصاویر با استفاده از مفاهیم و تصاویری که در حافظه‌ی سیستم ذخیره شده می‌تواند به سیســـتم‌هایی که به دنبال پویانمایی هستند کمک کند. بسیاری از معماری‌های شناختی[1] نیز به این سمت رفته‌اند که خود را با اضافه کردن ماژول تصور توسعه دهند(۳). تصویرســـازی ذهنی یا تصور، چند شکل می‌تواند داشته باشد: به خاطرآوری تصاویری که قبلاً دیده شده است؛ انتزاع یک تصویر از روی همه‌ی تصاویری که برای یک مفهوم در ذهن وجـــود دارد و ایجاد یک تصویر جدید با اســـتفاده از تصاویر قبلی برای مفهومی که به ازای آن تصویری در ذهن وجود ندارد. اغلب مدل‌های محاسباتی که برای تصور ارائه شده‌اند، مربوط به نوع اول‌اند. اولین سؤالی که در بحث‌های پیرامون این نوع از تصور وجود دارد این است که آیا تصاویر ذهنی لزوماً تصویر هستند؟ پاسخ این پرسش یکی از بحث‌برانگیزترین مناقشات حول موضوع تصور بوده است[2]. مدت‌های زیادی دانشمندان در پاســـخ به این ســـؤال به دو گـــروه تصویرگرایان[3] و توصیف‌گرایان[4] تقسیم می‌شدند. تصویرگرایان معتقدند کـــه تصاویر ذهنی لزومـــاً دارای بازنمودهـــای دیداری و فضایی در ذهن هســـتند. به نظـــر آنها این تصاویر در محلی روی نورون‌های مغزی تشکیل می‌شوند(٤-۱۰). در مقابـــل، توصیف‌گرایان ضرورت وجود بازنمایی‌های تصویـــری در مغز را نفـــی کرده و معتقدنـــد هر زبانی می‌تواند توصیف‌کننده یا بازنمود تصاویر باشـــد و هیچ شـــاهدی وجود ندارد که تصویری روی نورون‌ها ثبت می‌شود (۱۱-۱٤). در میان فیلسوفان اسلامی نیز ابوعلی ســـینا جزو تصویرگراها به شـــمار مـــی‌رود و در مقابل ملاصـــدرا در آثار خود کوشـــیده تصویرگرایی او را به چالش بکشـــد(۱۵). زمانی که مناقشه‌ی تصویرگرایان و توصیف‌گرایان به اوج رســـید، نظریه‌ی دیگری (فعالیت ادراکی[5]) مطرح شـــد که از اســـاس وجود بازنمایی‌های ذهنی را زیر ســـؤال می‌برد(۲، ۱٦، ۱۷). طبق این نظریه لازم نیســـت هیچ بازنمایی ذهنی صریحی (چه تصویری و چه توصیفی) از عناصر خارجی در ذهن انسان وجود داشـــته باشـــد، بلکه با دیدن هر ماهیت خارجی یک کد تحریک عصبی در سیســـتم عصبی انسان ثبت و هنگام تصور مجـــددا همان کد تحریک فعال می‌شـــود. اغلب مدل‌های محاســـباتی که برای تصور ارائه شده‌اند، به دو رویکرد تصویرگرایی و توصیف‌گرایی نزدیگ بوده‌اند(۳, ۸، ۱۸-۲۰)، به همین دلیل دو رویکرد نخســـت بیشـــتر از رویکرد ســـوم مورد اقبال جامعه‌ی علمی قرار گرفته و مطالعات و بحث‌های زیادی حول آنها شـــکل گرفته اســـت. اما از آنجا که به نظر می‌رســـید نظریه‌ی فعالیت ادراکی به لحاظ محاسباتی قابل پیاده‌سازی نیست، کمتر به آن پرداخته شـــده اســـت. تا اینکه با توجه به حرکات چشـــم و بر اســـاس رویکرد فعالیت ادراکی، یک مدل کامپیوتـــری برای خلاقیت(۲۱) و یک مدل محاســـباتی بـــرای تصور(۲۲-۲۵) ارائه و معلوم شـــد این نظریه نیز به طور محاســـباتی قابل پیاده‌سازی است. با وجود این، هنوز هم اغلب سیستم‌های کامپیوتری و هوش مصنوعی از بازنمایی‌های تصویری و/یا توصیفی استفاده می‌کنند. اغلب نظریه‌هایی که درباره‌ی تصور مطرح شدند، تحت تأثیر جریـــان ماده‌باوری[1]، برای ذهن و فیزیک انســـان

1- Cognitive Architecture
2- Imagery debate
3- Pictorial
4- Descriptive
5- Perceptual activity

فقط یـــک نوع ماهیت واحد در نظـــر می‌گیرند. از آنجا که بارزتریـــن محلی که می‌توان ایـــن فرایندها را به آن نســـبت داد مغز اســـت، ذهن و مغز را معادل می‌گیرند. این رویکرد به ذهن و مغز، اصطلاحاً رویکرد این‌همانی[2] نام گرفته است. براساس این نظریه، حالات ذهنی همان حالات مغزی هستند(۲۶)، هرچند حالات ذهنی ممکن است به صورت مفهومی باشند یا به صورت غیرفیزیکی بـــه نظر آیند، امـــا در واقع حالات ذهنـــی و مغزی یک چیزند(۲۷). نظریه‌هایی که ذهن انســـان را معادل با مغز او در نظـــر می‌گیرند، طبیعتاً تصور می‌کنند هوشـــمندی انسان در فرایندهای مغزی او نهفته است، بنابراین برای اینکه هوشمندی در یک سیستم مصنوعی نیز شبیه‌سازی شود، می‌بایست بتوان به نحوی همان فرایندهای مغزی را شبیه‌ســـازی کرد. این رویکرد، مورد علاقه‌ی بسیاری از محققان علوم شـــناختی است. در این زمینه تحقیقات بســـیاری در دست اســـت. اما در حال حاضر چگونگی تحریک سیســـتم عصبـــی برای هـــر ورودی قابل رصد نیست. تولید سیستم‌های هوشمند با این رویکرد، مستلزم پیشـــرفت نظریه‌های حوزه‌ی عصب‌شناسی و هم‌چنین تکنولوژی مورد نیاز برای بررسی دقیق مغز است.

امـــا اگر ماده‌باوری را نپذیریم، نظریه‌هایی که برای ذهن نوعی ماهیت غیرمادی متصورند، چگونه می‌توانند به تولید سیستم‌های هوشمند مصنوعی کمک کنند؟ کارکردگرایان[3] بر اساس ورودی‌های حســـی، حالات درونی و ارتباط آنها با یکدیگر و هم‌چنین خروجی‌های قابل مشـــاهده به بیان حـــالات ذهنی می‌پردازند. رویکرد کارکردگرایی ذهن را همچون یک ماشـــین یا جـــدول پیچیده در نظر می‌گیرد که با دریافت ورودی‌های حسی، خروجی‌های رفتاری قابل مشاهده را بروز می‌دهد(۲۷). کارکردگرایی برخلاف «این‌همانی»، کـــه طبق آن حالات ذهنی و مغز یک چیزند و فقط جســـمی می‌تواند محقق‌کننده‌ی ذهن باشـــد که ســـاختار و فرایندهایی کاملاً مشابه مغز داشته باشـــد، چنین تعصبی ندارد. از نظـــر کارکردگرایان ذهن می‌تواند در هر ســـخت‌افزاری تحقق پیدا کند(۲۷). این نتیجه‌ی مهـــم کارکردگرایی اجازه می‌دهد تا برای ایجاد ذهن و سیستم‌های هوشمند به دنبال مدل‌هایی به غیر از مغز برویم(۲۸). کارکردگرایی از بسیاری جهات حالات ذهنـــی را مانند حالات «نرم‌افزاری» یک کامپیوتر در نظر می‌گیرد که می‌تواند در قالب رابطه‌ی میان «ورودی‌ها»، دیگر حالات نرم‌افـــزاری کامپیوتر و «خروجی»های آنها تبیین شـــود. از این رو، اگر تســـلیم ماده‌باوری نشـــویم می‌توانیم با توصیف کارکردی یا عملکردی ذهن انســـان (بدون انحصار آن در مغز) به شناخت خوبی دست یابیم و با نوعی مهندســـی معکوس بر اساس آنها سیستم‌های هوشمند مصنوعی را طراحی کنیم. در این میان، فلسفه از دیرباز به مسأله‌ی ذهن، فرایندهای ذهنی و عملکردهای ذهن توجه ویژه داشته است. فیلسوفان ایرانی نیز همواره به این مســـأله پرداخته و گاه به دستاوردهای شگفتی نیز دســـت یافته‌اند، اما این دستاوردها فقط در سطح نظریه و کتاب‌های حاوی اصطلاحات ســـنگین فلسفی هستند. بدیهی است هرگونه مدل‌سازی این نظریه‌ها به توسعه‌ی آنهـــا کمک خواهد کرد، در عین حال که ممکن اســـت شـــناخت خوبی از عملکرد و ســـاختار ذهن انسان ارائه کند و پژوهشگران هوش مصنوعی با الهام از آنها بتوانند سیستم‌های هوشمند خود را بهبود بخشند.

در این پژوهش تلاش شـــده تا با الهـــام از دیدگاه‌های موجود در فلسفه‌ی اسلامی، برای تصور خلاق یک مدل محاسباتی ارائه شود. ابتدا نحوه‌ی انجام فرایند شناختی تصور در ذهن انســـان بررسی و بر اساس این شناخت و با اســـتفاده از ظرفیت‌های علوم کامپیوتر، یک توصیف محاسباتی ایجاد می‌شود و نهایتاً با استفاده از این توصیف محاسباتی امید است سیستم‌هایی تولید بشوند که بتوانند مانند انســـان تصـــور کنند. در ادامه، روش مدل‌ســـازی شناختی محاسباتی به عنوان روش این پژوهش معرفی و هم‌چنین توضیح داده شده که چرا این روش مورد توجه محققان هوش مصنوعی و علوم‌شناختی قرار گرفته است. در بخش بعد به ارائه‌ی نظریه‌ی محاسباتی تصور خلاق پرداخته و ســـپس بازنمایی‌ها و الگوریتم‌های پیشنهادی

1- Materialism
2- Identity theory
3- Functionalists

برای تولید سیستم‌های مصنوعی ارائه شده است.

۱. دیدگاه‌های موجود در باره‌ی مدل‌سازی محاسباتی با تأکید بر وجوه شناختی

در علوم شناختی مدل‌ها را می‌توان به سه دسته‌ی محاسباتی، ریاضیاتی و مفهومی ـ لفظی تقسیم کرد. مدل محاسباتی جزئیات فرایند را با استفاده از توصیف الگوریتمی و مدل ریاضیاتی روابط میان متغیرها را با بهره‌گیری از معادلات ریاضی بیان می‌کند. مدل لفظی ـ مفهومی نیز هویت عناصر مختلف، روابط بین آنها و فرایندها را با کاربرد زبان طبیعی توصیف می‌کند. نظریه‌هایی که در فلسفه و روان‌شناسی مطرح می‌شوند، نمونه‌هایی از مدل‌های مفهومی هستند(۲۹). «مدل‌سازی محاسباتی شناخت به توصیف دقیق سازوکارها[1] (به عنوان جنبه‌های ایستا) و فرایندهای شناختی (به عنوان جنبه‌های پویای شناخت) می‌پردازد و شناخت را در قالب الگوریتم‌ها و برنامه‌هایی مبتنی بر علوم و فن‌آوری کامپیوتر توصیف می‌کند»(۳۰). مدل‌سازی شناختی محاسباتی می‌تواند از نظر سطح اطلاع از جزئیات و تعیین دقیق ورودی و خروجی متفاوت باشد و بنابراین در سطوح مختلف انجام شود. هر سطح شامل میزان متفاوتی از اطلاعات درباره‌ی جزئیات محاسباتی است(۳۱). بر اساس تئوری مارر(۳۲)، اولین سطح، سطح نظریه‌ی محاسباتی است که می‌بایست در آن محاسبات موردنیاز، اهداف آن و منطق استراتژی‌هایی که محاسبات می‌بایست بر اساس آنها انجام شود، معین شود. سطح بعدی، سطح بازنمایی و الگوریتم است که فرض می‌شود نظریه‌ی محاسباتی در سطح اول آن تولید شده است. در این سطح، به طور خاص، بازنمایی برای ورودی‌ها و خروجی‌ها و الگوریتم تبدیل این ورودی‌ها به خروجی‌ها تعیین می‌شود. سطح سوم، سطح فیزیکی و سخت‌افزاری است. در این سطح می‌بایست بتوان جزئیات فیزیکی و سخت‌افزاری تحقق این الگوریتم‌ها را توضیح داد. به گفته‌ی مارر این سه مرحله تقریباً مستقل از هم هستند، بنابراین آرایه‌ی گسترده‌ای از انتخاب‌ها در هر سطح وجود دارد که از دو سطح دیگر مستقل است. برخی پدیده‌ها ممکن است فقط در یک یا دو سطح توضیح داده شوند. مارر تأکید می‌کند که اهمیت «حیاتی» فرموله‌سازی در سطح نظریه‌ی محاسباتی است؛ سطحی که اهداف و مقاصد فرایند شناختی در آن مشخص می‌شود؛ محدودیت‌های درونی و بیرونی که فرایند را ممکن می‌سازد، رابطه‌ی هر یک از آنها با یکدیگر و اهداف محاسبه تعیین می‌شود. مدل‌های محاسباتی شناخت انسان می‌بایست بتوانند فرایندهای شناختی انسان را مدل کنند، بنابراین باید با داده‌های انسانی یا رفتار انسانی نوعی مطابقت داشته باشند. مدل‌های محاسباتی می‌توانند از طرق مختلف بر داده‌های انسانی واقعی منطبق و بنابراین با روش‌های گوناگون اعتبارسنجی[2] شوند. مدل‌های محاسباتی می‌توانند گسترده (داده‌های زیادی از انسان را پوشش بدهند) یا محدود (بسیار خاص) باشند؛ کاملاً دقیق و یا غیردقیق، و توصیفی[3] یا قاعده‌مند[4] باشند(۳۰). در هر حال می‌بایست میان مدل‌های محاسباتی و رفتارهای انسان حداقل یکی از انواع مطابقت‌های زیر وجود داشته باشد(۳۳):

۱. مدل‌سازی رفتاری: یک مدل محاسباتی می‌بایست تقریباً همان خروجی‌های رفتاری انسان را تولید کند. به عنوان مثال با فرض وجود مجموعه‌ای از سناریوها برای تصمیم‌گیری، مدل تقریباً باید همان تصمیم‌های انسانی را اتخاذ کند.

۲. مدل‌سازی کیفی: یک مدل محاسباتی باید به صورت کیفی همان رفتارهایی را تولید کند که کارآیی انسانی را مشخص می‌سازد. به عبارت دیگر، باید مشخصه‌های کیفی رفتارهای انسانی را داشته باشد. به عنوان مثال، اگر کارآیی افراد انسانی با تغییر یک یا چند متغیر کنترلی بدتر می‌شود، مدل نیز می‌بایست در چنین شرایطی همین تغییر را نشان دهد. در این صورت گفته می‌شود مدل به صورت کیفی توانسته با داده‌های انسانی مطابقت کند.

۳. مدل‌سازی کمی: یک مدل محاسباتی دقیقاً همان

1- Mechanisms
2- Validation
3- Descriptive
4- Normative

رفتارهای کمی انسان را بروز می‌دهد. این رفتارهای کمی با معیارهای کمی مختلفی قابل اندازه‌گیری هستند. به عنوان مثال، یک نفر می‌تواند منحنی یادگیری انسان را نقطه به نقطه با منحنی یادگیری مدل محاسباتی آن مقایسه یا کارآیی مدل را قدم به قدم با کارآیی انسانی مقایسه کند.

پیش از آغاز مدل‌سازی، اولین تصمیم انتخاب سطوح مدل‌سازی است. در این پژوهش، با توجه به اهمیت سطوح اول (نظریه‌ی محاسباتی مدل‌سازی) و دوم (الگوریتم و بازنمایی)، مدل‌سازی محاسباتی تصور خلاق انسان در دو سطح اول بر اساس نظریه‌ی مارر در پیش گرفته شد. چنان که در ادامه به تفصیل اشاره خواهد شد، در سطح اول مدل‌سازی (تبیین نظریه‌ی محاسباتی) از نظریه‌های موجود در فلسفه‌ی اسلامی پیرامون فرایند تصور خلاق انسان (که در فلسفه‌ی اسلامی بخشی از تخیل به شمار می‌رود[1]) بهره گرفته شده و در سطح دوم سعی شد با تعریف بازنمایی‌ها و الگوریتم‌های مناسب، اهداف مذکور در نظریه‌ی محاسباتی محقق شود. همان‌طور که در جدول ۱ به طور خلاصه اشاره شده است، در بخش اول (شناخت فرایند تصور در انسان) و در فلسفه‌ی اسلامی پاسخ سه سؤال به دست آمد:

۱. تصور خلاق با کدام بخش از ذهن یا نفس (یا کدام قوه[2]) شکل می‌گیرد؟

۲. ارتباط این قوه با قوای دیگر چگونه است؟

۳. عملکرد خود این قوه چگونه است؟

اما دانش فلسفه فاقد جزئیات عملکردی لازم برای ارائه‌ی الگوریتم مورد نظر بود، بنابراین با استفاده از تجارب افراد مختلف و هم‌چنین به صورت شهودی سعی شد جزئیات عملکردی مورد نظر تکمیل شود. در نهایت با پاسخ فلسفه به سؤال‌های اول و دوم، معماری مدل و به کمک پاسخ سؤال سوم و تجارب افراد جزئیات عملکردی قوه‌ی مورد نظر استخراج و مدل پیشنهادی با دو روش مدل‌سازی رفتاری و کیفی ارزیابی شد.

جدول ۱- سطح اول و دوم مدل‌سازی محاسباتی تصور خلاق

شناخت (نظری)	**فلسفهٔ اسلامی**	تصور خلاق توسط کدام قوه انجام می‌شود؟	معماری پیشنهادی
		ارتباط این قوه با قوه‌های دیگر چگونه است؟	
	شهود و تفکر	عملکرد این قوه چگونه است؟	عملکرد متخیله
		جزئیات عملکردی	
بازنمایی و الگوریتم	**جنبه‌های ایستا**	حافظه	بازنمایی (ساختمان داده)
		خیال	
	جنبه‌های پویا	متخیله	الگوریتم (توابع)
		واهمه	

دیدگاه فلسفه‌ی اسلامی در مورد تصور خلاق

در فلسفه‌ی اسلامی قوای مدرکه نیروهایی هستند که کار آنها درک و رساندن اطلاعات به ذهن، تجزیه و تحلیل یا تفصیل و ترکیب صورت‌های ذهنی یا حفظ و نگهداری آنهاست. ملاصدرا در تقسیمی ابتدایی قوای مدرکه را به دو دسته‌ی حواس ظاهری و باطنی تقسیم می‌کند. حواس ظاهری همان حواس پنج‌گانه‌ی مشهور هستند. ما حصل فعالیت این حواس پنج‌گانه کسب صورت‌هایی از محیط پیرامون انسان است که به آن محسوسات گفته می‌شود. و حواس باطنی شامل حس مشترک[3]، واهمه[4]، حافظه، خیال[5] و متخیله[6] است. حفظ و نگهداری صورت‌های کسب شده و تفصیل و ترکیب آنها (تصور) به عهده‌ی حواس باطنی است(۳٤). اطلاعاتی که حواس

۱- این تخیل ممکن است با تخیل با لفظ imagination که در متون مختلف به آن اشاره شده است متفاوت باشد.

2- Faculty
3- Common sense
4- Fancy
5- Imagination
6- Imaginative faculty

ظاهری کسب می‌کنند به حس مشترک می‌رسد. حس مشترک درک می‌کند که آنچه بینایی در یک لحظه حس کرده (مثلاً رنگ قرمز) و بویایی هم حس می‌کند متعلق به شیء واحدی است که گل سرخ است(۳۵). مهم‌ترین حلقه‌ی ارتباطی میان عالم خارج و عالم ذهن، حس مشترک است(۳۵). این قوه صور موجودات عالم طبیعت را به صورت‌های ذهنی تبدیل می‌کند، بنابراین بازنمایی تصاویر خارجی در واقع بر عهده‌ی حس مشترک است. انسان می‌تواند درباره‌ی چیزهایی که صورت ندارند، قضاوت کند. به عبارت دیگر، برخی چیزهایی که به ذهن انسان می‌آیند، دارای هیچ‌گونه صورت حسی (اعم از تصاویر بینایی، شنوایی و ...) نیستند. به این نوع ادراکات معنا گفته می‌شود. معانی به وسیله‌ی قوه‌ی واهمه درک می‌شوند. تصاویر درک‌شده با حس مشترک، در خیال ذخیره شده و سپس در خیال به وسیله‌ی قوای دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرند. واهمه می‌تواند معانی آنها را درک و متخیله با دخل و تصرف در آنها تصویر جدیدی خلق کند. از نظر ملاصدرا استنباط معانی فقط از مجرای خیال ممکن است. برخی فیلسوفان غربی نیز معتقدند که کسب دانش با خیال ارتباط دارد و فقط از طریق خیال ممکن است(۳۶). حافظه وظیفه‌ی حفظ و نگهداری از معانی جزئی را به عهده دارد. به عبارت دیگر، حافظه محل نگهداری تمام چیزهایی است که واهمه درک می‌کند. نسبت این قوه به واهمه، مثل نسبت خیال و حس مشترک است(۳۷) و در نهایت کار ویژه‌ی متخیله، ترکیب و تفصیل صورت‌ها و معانی جزئی است. بنابراین برای کار قوه‌ی متخیله می‌توان سه حالت درنظر گرفت:

۱. ترکیب و تفصیل صور موجود در اختیار خیال و حس مشترک: متخیله می‌تواند جزئی از یک تصویر را از آن جدا کند (مثلاً انسان را بدون سر تصور کند) یا جزئی از یک تصویر را با یک تصویر دیگر ترکیب کند (مثلاً برای سیب، بال و برای درخت چشم و دهان تصور کند و..).

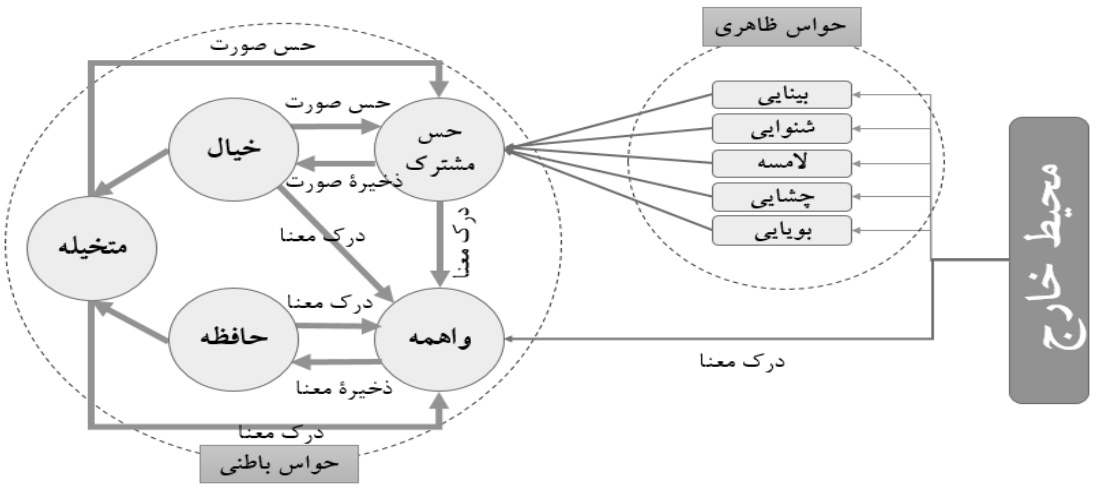
۲. ترکیب صور با معانی: متخیله می‌تواند برای یک تصویر، معنایی را تصور کند که آن تصویر و معنا را با هم قبلا درک نکرده است. مثلاً معنای مهربانی را به تصویر یک گرگ نسبت بدهد.

۳. ترکیب معانی با هم: متخیله می‌تواند دو معنا را با هم ترکیب کند. مثلاً تصور کند که مهربانی دارای رنگ آبی است (به صورت مفهومی). البته این بخش به این پژوهش مربوط نمی‌شود و آنچه مورد نظر ماست اولین وظیفه‌ی متخیله است.

ارتباط میان قوای مختلف در شکل ۱ نشان داده شده است.

تصور خلاق به معنای خلق یک تصویر جدید در ذهن انسان با استفاده از تصاویری که قبلاً دیده شده‌اند، به

شکل ۱- ارتباط میان قوای مختلف در فلسفهٔ اسلامی



عهده‌ی قوه‌ی متصرفه (یا متخیله) اســت. تصاویری که فرد تا کنون مشاهده کرده، در خیال و مفاهیمی که درک کرده، در حافظه ذخیره شده است. محتوایی که متصرفه بــرای خلق یک تصویر در اختیار دارد، محتوای مخزون در خیال و حافظه است. کار قوه‌ی حس مشترک، درک صورت‌های حسی با اســتفاده از حواس پنج‌گانه است و کار قــوه‌ی واهمه درک مفاهیم و معانیی اســت که با حواس پنج‌گانه درک نمی‌شوند. حس مشترک و واهمه قوای ادراکی و سه قوه‌ی دیگر معین بر ادراک هستند.

۲. معماری پیشــنهادی برای مدل‌ســازی محاسباتی تصور خلاق با الهام از فلسفه‌ی اسلامی

در ایــن بخش، اجــزای معماری پیشــنهادی و بازنمود کامپیوتری آنها معرفی و ســپس انواع ساختمان‌های داده که در مدل مورد اســتفاده قرار گرفته و انواع توابعی که در مدل پیاده‌ســازی شــده‌اند توصیف می‌شود. حافظه و خیــال که محل ذخیره‌ی معانی و تصاویر هســتند، به عنوان جنبه‌های ایســتای فرایند تصــور خلاق در نظر گرفته شده‌اند. به این ترتیب معانی در حافظه و تصاویر در خیال «بازنمایی» می‌شــوند. چنان‌که ذکر شد، واهمه و متخیلــه نیز به عنوان فرایندهای پویای عمل تصور در نظر گرفته شــده‌اند و در مدل محاســباتی پیشنهادی به عملکرد آنها "الگوریتم" هایی نســبت داده شــده که با توابعی پیاده‌سازی شــده‌اند. در جدول ۲ ، اجزای مدل رایانشی پیشنهادی به اختصار بیان شده است.

۲-۱- مؤلفه‌ها و بازنمایی‌ها در مدل پیشنهادی

در این پژوهش فرض شــده که مراحل ادراک سپری و

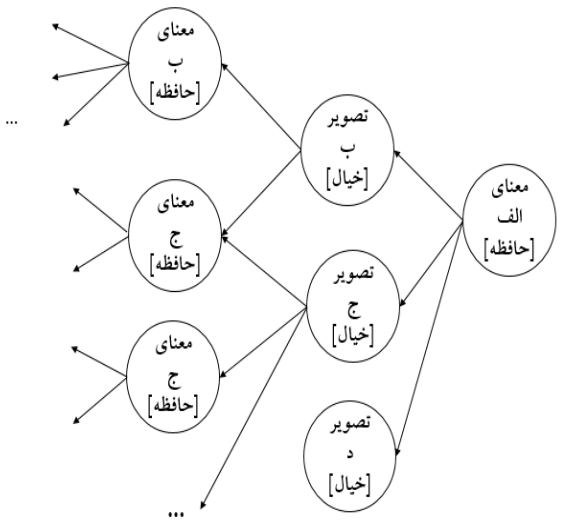
جدول ۲ - اجزای مدل رایانشی متخیله

مدل تصور	ساختمان داده‌ها	خیال / حافظه	بازنمایی	آرایهٔ دوبعدی تصویر / کلمات
	پردازش اطلاعات	واهمه / متخیله	الگوریتم	سلسله‌ای از توابع

تعــدادی تصویر و معنا در خیال و حافظه ذخیره شــده اســت. بنابراین نحوه‌ی ترکیب و تفصیل این تصاویر و مفاهیم که به وســیله‌ی قوه‌ی متصرفــه (متخیله) انجام می‌شود، مدل‌سازی شده است. این مدل رایانشی دارای چهــار مؤلفه‌ی اصلی اســت: خیال، حافظــه، واهمه و متخیله. حافظــه مجموعه‌ای از مفاهیم یا معانی ذهنی را نگهداری می‌کند. خیال، مجموعه‌ای از تصاویر ذهنی را ذخیره می‌کند. هر یک از این تصاویر به یک یا چند معنا در حافظه اشاره دارند. هم‌چنین هریک از معانی موجود در حافظه به یک یا چند تصویر در خیال اشــاره دارند. بنابراین هر معنایی که به ذهن می‌آید (مورد ادراک واهمه یا در دسترس متخیله قرار می‌گیرد) به چندین صورت و معنای دیگر دسترسی خواهد داشت، بنابراین زنجیره‌ی تصاویر و معانی جزئی که به یکدیگر اشــاره می‌کنند، به نوعی دانش زمینه‌ای فرد راجع به یک معنا یا یک تصویر را تشــکیل می‌دهند (شــکل ۲). در این شکل، پیکان‌ها اشــاره‌گر هســتند و هر کدام با احتمال به خصوصی به وقوع می‌پیوندند.

متخیله حــاوی روال‌هایی برای ترکیب و تجزیه تصاویر اســت. برای عمل تصور، ترکیــب و تجزیه‌ی تصاویر

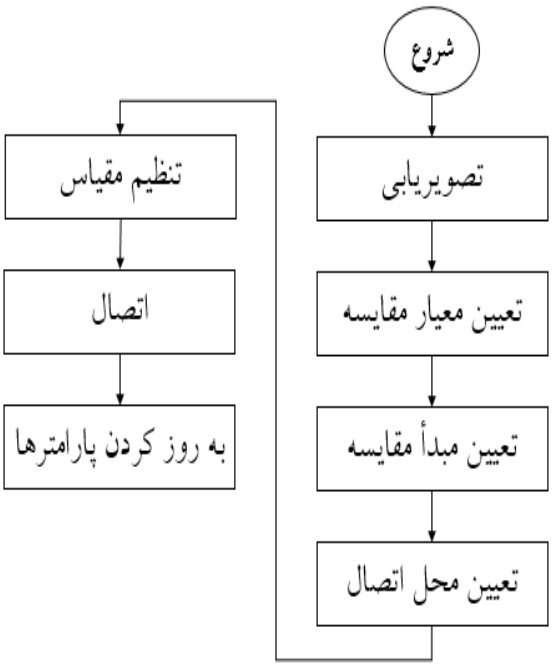
شکل ۲- شبکهٔ معانی و تصاویر



جزئی مفید اســـت. تجزیه‌ی تصاویر به این معناســـت که جزئـــی از تصویر از آن جدا شـــود و ترکیب به این معناســـت که دو تصویر یا دو جزء از تصویر با یکدیگر ترکیب شوند. متخیله، قوه‌ای است که به خیال و حافظه دسترسی دارد. وقتی قرار است دو تصویر ترکیب شود، دو تصویر را از خیال اســـتخراج و دو جزئی را که باید با یکدیگر ترکیب شوند مشخص می‌کند (تصویریابی). بـــه کمک واهمه، محل اتصال دو جزء (یا یک جزء جدا شـــده و یک تصویر) را تعییـــن و از همان نقطه دو جزء مورد نظر را به یکدیگر متصل می‌کند. مراحل این کار در شکل ۳ نشان داده شده است.

واهمه نیز حاوی روال‌هایی است که به متخیله در انجام وظیفه‌اش یاری می‌رســـاند. روال‌های موجود در واهمه

شکل ۳- الگوریتم فرایند تصور خلاق



می‌توانند درباره‌ی تصاویر و معانی حکم و آنها را با هم مقایسه کنند.

۲-۲- انواع داده‌های مورد استفاده در مدل پیشنهادی

۲-۲-۱- ساختار داده‌های ذخیره شده در خیال

تصاویری که فرد تاکنون دیده است و یا تصاویر جدیدی که به وســـیله‌ی متخیله ساخته شـــده‌اند، در قالب یک ساختمان داده به صورت زیر ذخیره می‌شوند:

Image:=address, maskBound[][2], pointTo[], prob[];

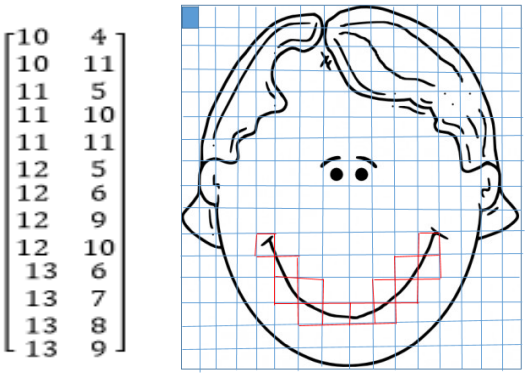
که در آن:

Address: آدرس محل ذخیره‌ی تصویر یا آدرسی که با آن می‌توان به تصویر دسترسی داشت.

maskBound: یک آرایه‌ی دو بعدی، با دو ستون و c سطر، مشابه شکل ٤، که از شماره‌ی خانه‌هایی از تصویر اصلـــی که این جزء از تصویر را دربر می‌گیرد، نگهداری می‌کند.

pointTo: آرایه‌ای اســـت حاوی آدرس معانی مختلف در حافظه که این تصویر یا جزئی از تصویر به نحوی به

شکل ۴- صفحه نمایش تصویر (سمت راست) و آرایهٔ نشان‌دهندهٔ مرز جزئی از تصویر(سمت چپ)



آن اشاره می‌کند. به عبارت دیگر، با استفاده از این آرایه، معانـــی مختلفی که با دیدن این تصویـــر به ذهن متبادر می‌شوند، قابل دست‌یابی است.

prob: آرایه‌ای است که احتمال حضور هر یک از معانی متناظر با آرایـــه‌ی pointTo را در ذهن تعیین می‌کند. همان‌طور که گفته شـــد، این احتمال می‌تواند هر عددی بین صفر تا یک باشـــد. باید توجه داشـــت لزومی ندارد جمع احتمال‌ها یک باشد احتمال حضور هر یک از معانی در ذهن، مستقل از دیگر معانی در نظر گرفته شده است. مقادیر احتمال موجود در این آرایه، از جمله پارامترهای مدل محسوب می‌شوند. در اینجا برای سادگی کار مقدار آنها با استفاده از یک توزیع یکسان تخمین زده می‌شود.

۲-۲-۲- ساختار داده‌های ذخیره شده در حافظه

حافظه در این مدل و در نظریه‌ای که پیش‌تر توضیح داده شـــد، محل ذخیره‌ی معانی جزئی است. معانی جزئی به آن دســـته از معانی گفته می‌شود که به تصویر یا تصاویر

خاصی در خیال اشـــاره می‌کنند. هـــر معنای مخزون در حافظـــه می‌تواند به یک یا چند تصویر در خیال اشـــاره کند، همان طور که هر تصویر در خیال می‌توانســـت به یک یـــا چندین معنا در حافظه اشـــاره کند. برای معانی جزئـــی مخزون در حافظه می‌توان ســـاختمان داده‌ای به شکل زیر در نظر گرفت:

Mean := address , pointTo[] , prob[]

که در آن:

pointTo: در این آرایه، اشیایی از نوع تصاویری که در خیال ذخیره شده‌اند، وجود دارد. تصاویری که این معنا به آنها اشاره می‌کند و همراه و ملازم آنهاست.

Prob: ممکن است برای هر معنا چندین تصویر ملازم وجود داشـــته باشـــد (که در آرایـــه pointTo ذخیره شـــده‌اند). در این آرایه احتمـــال انتخاب هر یک از آنها قـــرار دارد. مقادیر موجود در این آرایه نیز از پارامترهای مدل به حساب می‌آیند؛ به این معنا که ابتدا با یک سری مقادیر اولیه مقداردهی می‌شـــوند و سپس در اجراهای مختلف مقادیر آنها به روز می‌شود.

۲-۳- توابع مورد استفاده در مدل پیشنهادی

هدف این مدل، ایجاد تصویر برای معنایی[1] اســـت که به ازای آن تصویـــری[2] در حافظه‌ی تصاویر[3] یا خیال وجود ندارد. این تصاویر با اســـتفاده از متخیله ایجاد می‌شوند. متخیلـــه تصاویر جدیـــد را از دو طریـــق ایجاد می‌کند: ترکیـــب[4] و تفصیل[5]. متخیله به ایـــن منظور از همکاری قوای دیگر مانند واهمه و حس مشترک نیز بهره می‌برد. واهمـــه دو عمل مهم انجام می‌دهد: ۱. تخمین چگونگی ترکیب و یا تفصیل تصاویر با استفاده از قیاس در حیطه‌ی تصاویر جزئـــی و ۲. درک معنای تصویر جدید و اینکه تصویر ایجاد شده چقدر به آنچه مورد نظر است، نزدیک است. چنانچه در جدول ۲ نیز نشان داده شده ، عملکرد متخیله و واهمه به وسیله‌ی تعدادی تابع مدل‌سازی شده است که در ادامه توضیح داده شده است:

۲-۳-۱- توابع مورد استفاده برای مدل‌سازی عملکرد متخیله

• تفصیل

یکی از اعمالی که متخیله انجام می‌دهد، جدا کردن یک بخش از تصویر اســـت. تجزیه‌ی تصاویر با ســـاختاری که برای ذخیره‌ی تصاویر تعریف شـــده به آسانی انجام می‌شـــود. مرز هر بخش از تصویـــر در آرایه‌ی مرز آن مشـــخص است؛ فقط کافی اســـت خانه‌های موجود در آرایه‌ی مرز جزئی از تصویر که باید جدا شود، در تصویر اصلی خالی شوند. البته تصویر اصلی تغییر نمی‌کند، بلکه این تغییر روی یک تصویر جدید انجام می‌شود.

Function decompose (Image image1 , Image image2);
Function decompose (Image image1 , Mean tag);

علاوه بر دو تصویر می‌توان یک تصویر و یک مفهوم را به این تابع ارسال کرد تا تصویر متعلق به آن مفهوم را در تصویر اول بیابد و آن را جدا کند. مثلاً می‌توان سر انسان را از آن جدا کند و یک انســـان بی‌سر تصور کند. پس از آن این تصویر جدید در اختیار واهمه و حس مشـــترک قرار می‌گیرد. پس از آنکه ادراک شـــد، ممکن اســـت به صورت یـــک تصویر جدید در خیال ذخیره و به اجزای مختلف آن معانی موجود در حافظه نســـبت داده شود و یا اگر معنای معادل آن در حافظه وجود نداشـــت، معنای جدیدی به آن نسبت داده شود. البته این کارها، مربوط به متخیله و لذا در حیطه‌ی این پژوهش هم نیست.

• ترکیب

وظیفه‌ی دوم متخیله ترکیب تصاویر اســـت. مثلاً تصویر ســـیب و بال. به یک تابلو مفهوم محبت را نسبت دهد و ... . فـــرض می‌کنیم ترکیب‌ها به صورت دو به دو انجام می‌شـــوند، به این ترتیب، ترکیب تصاویر ۱ و ۲ و ۳ و ... به صورت ترکیب تصاویر ۱ و ۲ و سپس ترکیب نتیجه‌ی ترکیـــب قبلی با تصویر ۳ و تـــا آخر. در هر یک از این اعمال، تصاویر اولیه دســـت نمی‌خورند و تغییرات روی یک کپی از آنها انجام می‌شود.

compose (image1,image2,image3)= compose (com-

1- Intention
2- Image
3- Imaginative store
4- Composition
5- Decomposition

pose (image1,image2),image3);

بنابراین ترتیب فراخوانی تصاویر در ترکیب مهم است و ترتیب‌های متفاوت ممکن است به نتایج متفاوت بینجامد.

از تابع ترکیب می‌تواند نسخه‌های مختلفی وجود داشته باشد:

Compose(mean1,mean2);
Compose(mean1,image1);
Compose(image1,image2);

پس از انجام چند مرحله، دو نسخه‌ی نخست مجدداً تابع سوم را درون خود فراخوانی می‌کنند. در صورتی که به تابع ترکیب دو معنا ارسال شده باشد (نسخه‌ی ۱)، می‌بایست بررسی شود چند تا از اجزای تصویری که در آن معنای۲ یافته شده دارای معنای۲ هستند. مثلاً اگر معنای۲ «بال» باشد، در تصویری که «بال» یافته شود، به احتمال زیاد دو «بال» وجود خواهد داشت. بنابراین می‌بایست ترکیب تصاویر برای هر دو بال صورت بگیرد. این تعداد از جمله عرض‌های یک مفهوم است که با استفاده از accident(argument)[2] مشخص می‌شود. متخیله در انجام عمل ترکیب از واهمه کمک می‌گیرد. در بخش بعد، نحوه‌ی تعامل متخیله و واهمه توضیح داده شده است.

۲-۳-۲- توابع مورد استفاده برای مدل‌سازی عملکرد واهمه

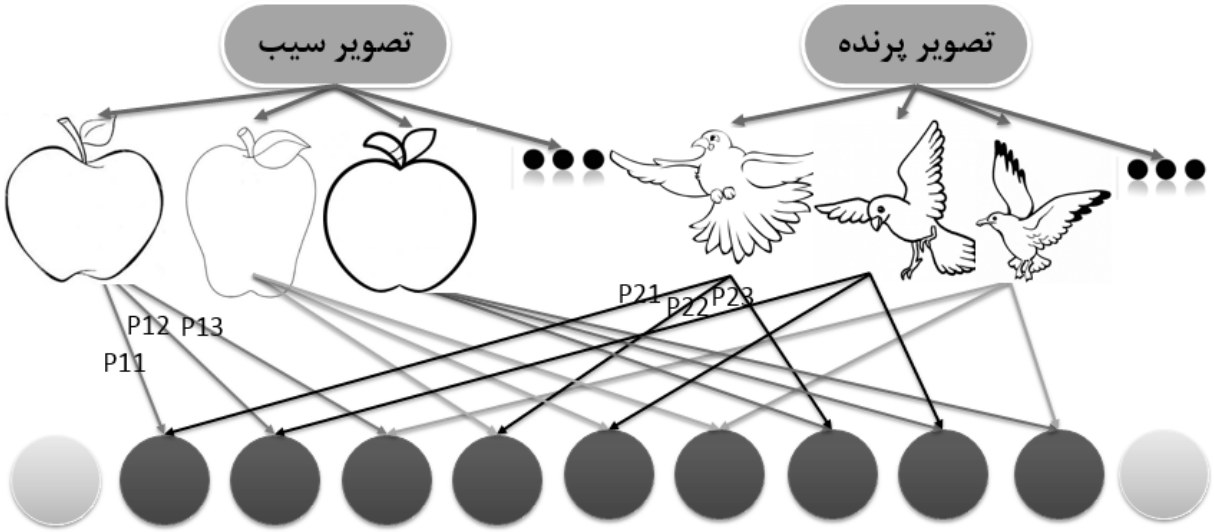
• تصویریابی

در اولین مرحله از ترکیب دو تصویر می‌بایست یک تصویر برای معنای۱ و یک تصویر برای معنای ۲ انتخاب شود. این تصویر یک تصویر از نوع Image است، بنابراین در این مرحله اولین رجوع به خیال به وسیله‌ی متخیله اتفاق می‌افتد. اگر تعداد n_1 تصویر برای معنای۱ و تعداد n_2 تصویر برای معنای ۲ در خیال وجود داشته باشد، در مجموع برای انتخاب دو تصویر $n_1 \times n_2$ انتخاب مختلف وجود خواهد داشت. مثالی از عملکرد الگوریتم تصویریابی در شکل ۵ نشان داده شده است. هر یک از تصاویر با احتمال خاصی انتخاب می‌شوند. میزان احتمال انتخاب یک تصویر می‌تواند میزان توجه یا علاقه‌ی فرد به انتخاب آن تصویر را نشان‌دهد.

• یافتن محل اتصال

متخیله در عمل تجزیه، جزئی از یک تصویر را جدا (تصویریابی) و باید طی یک عمل ترکیب این جزء را با تصویر دیگری ترکیب کند. متخیله، محل اتصال دو تصویر را در یک عمل ترکیب چگونه تشخیص می‌دهد؟

شکل ۵- تصویریابی: دایره‌ها نمایانگر حالات مختلف انتخاب دو تصویر هستند



همان طور که در بخش‌های پیش مطرح شد، قوه‌ی وهم همه چیز را با محسوسات قیاس می‌کند. اینجاست که واهمه می‌بایست با یک عمل قیاس جزئی محل اتصال

را پیدا کند و در اختیار متصرفه قرار دهد.

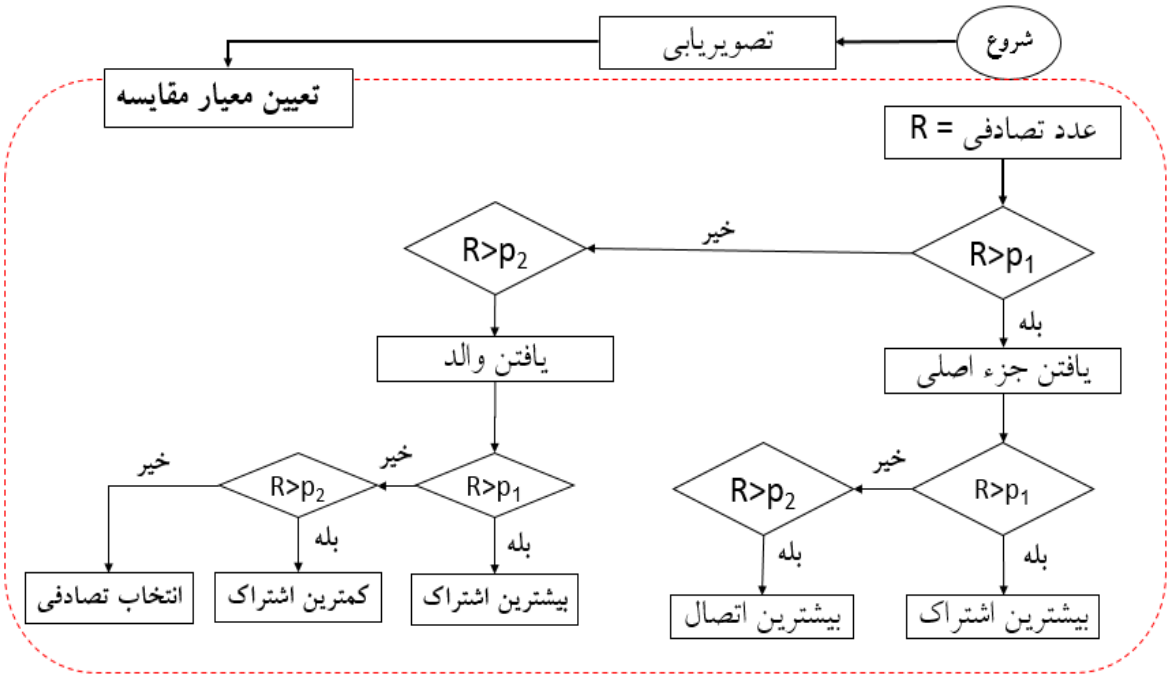
• **تعیین معیار مقایسه**

چنین قیاسی می‌تواند چنین عمل کند: جزء جدا شده قبل از عمل تجزیه و در تصویر اصلی نسبت به سایر اجزای تصویر چه جایگاهی داشته است؟ می‌توان مشابه همان جایگاه را در تصویر جدید برای جزء جدید در نظر گرفت. تصویر قبلی ممکن است بسیار بزرگ و پیچیده باشد، یعنی از اجزای زیادی تشکیل شده باشد، بنابراین شاید قیاس یک جزء کوچک نسبت به کل آن تصویر خیلی منطقی نباشد، از این رو یک راه می‌تواند این باشد که واهمه جزئی از تصویر را بیابد که جزء جداشده بدون واسطه، جزئی از آن باشد. البته اگر واهمه یک محل ظاهراً غیرمنطقی را به عنوان محل ترکیب و اتصال معرفی کند، که اصلاً هم بعید نیست، ایرادی ندارد. همان طور که در شکل ٦ مشاهده می‌شود، برای تعیین محل ترکیب می‌توان چندین راه حل در چند مرحله پیشنهاد کرد.

• **تعیین مبدأ مقایسه**

محل ترکیب یا الصاق جزء جدید یک تصویر را می‌توان با مقایسه با محل قرارگرفتن این جزء در تصویر اصلی تعیین کرد. برای مقایسه، می‌توان دو نقطه‌ی خاص از تصویر اصلی و جزء مورد نظر و موقعیت آنها را نسبت به یکدیگر در نظر گرفت. منظور از مبدأ مقایسه، محلی است که دو تصویر از آنجا با هم مقایسه می‌شوند که ممکن است این مبدأ، مرکز تصاویر، گوشه‌ی سمت راست بالای تصاویر یا محل‌های دیگری باشد.

شکل ۶ - فلوچارت الگوریتم یکی از مراحل تصور خلاق (مرحلهٔ تعیین معیار مقایسه)



• **تعیین محل اتصال**

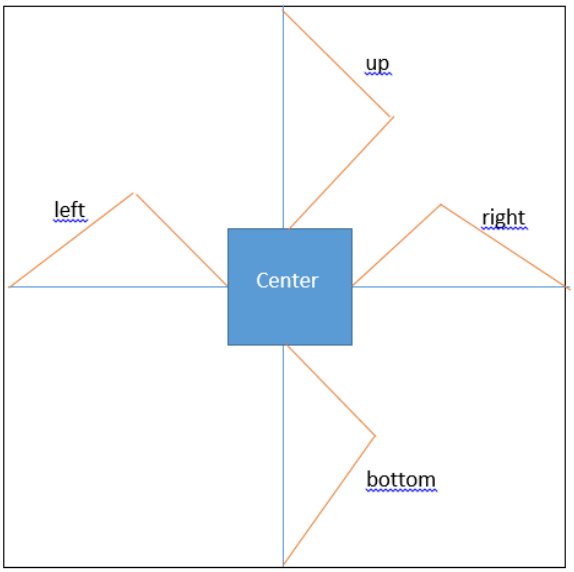
دو نقطه از تصویر اولیه، که برای مقایسه انتخاب شده‌اند، نسبت به یکدیگر چه جایگاهی دارند؟ در مدل پیشنهادی برای بیان این جایگاه دو روش پیشنهاد شده است:

۱. بیان محل جزئی که باید جدا شود نسبت به معیار مقایسه به صورت عبارات «خارج/داخل ـ بالا/پایین ـ چپ/راست».

مطابق شکل ۷ هر کدام از این عبارات به صورت یک عدد فازی و متناسب با میزان به عنوان مثال راست بودن یک توزیع احتمال در نقاط مختلف در نظر گرفته شده است.

۲- محاسبه‌ی دقیق محل قرار گرفتن تصاویر از طریق فرمول زیر:

شکل ۷- حدود مقادیر راست و چپ یک نقطه



$$h = \frac{H_1}{H_1 + H_2} \times Hn$$
$$w = \frac{w_1}{w_1 + w_2} \times Wn$$

اگر فرض کنیم p موقعیت معیار مقایسه باشد:

H1: فاصله‌ی عمودی از بالای p تا مرز تصویر والد

H2: فاصله‌ی عمودی از پایین p تا مرز تصویر والد

w1: فاصله‌ی افقی از راست p تا مرز تصویر والد

w2: فاصله‌ی افقی از چپ p تا مرز تصویر والد

Hn: ارتفاع تصویر جدید

Wn: عرض تصویر جدید

w: نسبت فاصله‌ی آن از سمت راست تصویر

h: نسبت فاصله‌ی آن از بالای تصویر

• تنظیم مقیاس

اندازه‌های تصاویری که در خیال ذخیره شده‌اند، می‌توانند مختلف باشند. اگر قرار باشد تصویر دست یک انسان جدا شود و به تصویر یک توپ کوچک اضافه شود، شاید بهتر باشد اندازه‌ی تصویر دست کوچک‌تر شود تا با اندازه‌ی توپ تناسب داشته باشد، بنابراین یک مجموعه توابع برای تنظیم مقیاس تصاویر در کلاس scale در نظر گرفته می‌شود. مانند موارد قبلی هر کدام از توابع این کلاس یک احتمالی برای انتخاب شدن دارند. البته یکی از توابع موجود در این مجموعه می‌تواند noScale باشد؛ به این معنا که مقیاس تصاویر تغییر نکند. ترکیب تصاویری که مقیاس آنها یکی نیست، نباید برای متخیله ناممکن باشد.

یکی از توابع می‌تواند مقیاس‌ها را به شکل زیر تنظیم کند:

اول: واهمه نسبت مساحت تصویر اول را نسبت به مساحت تصویر دوم محاسبه می‌کند. فرض کنیم این نسبت برابر a باشد.

دوم: متخیله اندازه‌ی هر ضلع هر خانه (در صفحه‌ی چهارخانه‌ای) را برای تصویر دوم در جذر a ضرب می‌کند تا اندازه‌ی تصویر تغییر کند.

سوم: سپس برای این تصویر، صفحه‌ی چهارخانه‌ای با اندازه‌ی خانه‌های پیش‌فرض در نظر می‌گیرد.

بنابراین این کلاس هم دارای یک جدول احتمالات به شکل جدول ۳ است.

• اصلاح پارامترها

همان‌طور که گفته شد، تصویر خلق شده برای ادراک در

جدول ۳ ـ جدول احتمالات برای تعیین مقیاس

تابع	میزان احتمال
noscale()	P1
setscale1()	P2
setscale2()	P3
...	...

اختیار واهمه و حس مشترک قرار گرفته و سپس ارزیابی می‌شود. این ارزیابی به صورت مقادیر فازی «خوب» یا «بد» خواهد بود. نتیجه‌ی ارزیابی به کلاس اصلاح پارامترها ارسال می‌شود. هدف الگوریتم در هر یک از این مراحل ممکن است از طریق یک یا چند رویه محقق شود. در صورت وجود چند رویه، اینکه کدام‌یک اجرا شود از یک توزیع احتمال پیروی می‌کند. این مقادیر احتمال جزء پارامترهای مدل هستند. این پارامترها پس از هر بار خلق تصویر می‌توانند به‌روز شوند. به این ترتیب به مرور احتمال اجرا شدن رویه‌هایی که منجر به تصاویر «جالب‌تری» شده‌اند افزایش می‌یابد.

نتیجه گیری

در این پژوهش برای مدل‌سازی تصور خلاق از دستگاه فلسفه‌ی اسلامی الهام گرفته شده است. مدل محاسباتی پیشنهادی برای تصور خلاق انسان سه ویژگی بارز دارد: یکم، تصاویری که تاکنون مشاهده شده‌اند در خیال ذخیره و معانیی که فرد آنها را می‌شناسد در حافظه ذخیره می‌شود. تصاویر به صورت تصاویر دو بعدی و معانی به صورت کلمه ذخیره شده‌اند.

دوم، بین تصاویری که در خیال و معانیی که در حافظه ذخیره می‌شوند، پیوند وجود دارد. فرض شده است که این پیوند بین یک تصویر و یک معنا زمانی وجود دارد که از آن تصویر یا بخشی از تصویر، آن معنای خاص برداشت شده باشد. این امکان وجود دارد که از یک تصویر معانی متعددی برداشت شده و بنابراین هر تصویر با معانی متعددی پیوند داشته باشد؛ وزن هر یک از این پیوندها می‌تواند متفاوت باشد. در مدل پیشنهادی، برای تنظیم این وزن‌ها توابعی پیش‌بینی شده است. در این مدل، پیوندهایی که منجر به خلق تصاویر جالب‌تری بشوند، وزن بیشتری خواهند داشت. یک مطالعه‌ی مفید در تکمیل این پژوهش بررسی این مسأله است که به لحاظ روان‌شناختی چه عواملی باعث قوت و ضعف این پیوندها در ذهن انسان می‌شود. از این دانش می‌توان در پیاده‌سازی توابعی که در مدل کامپیوتری وزن پیوندها را تنظیم می‌کنند، بهره گرفت.

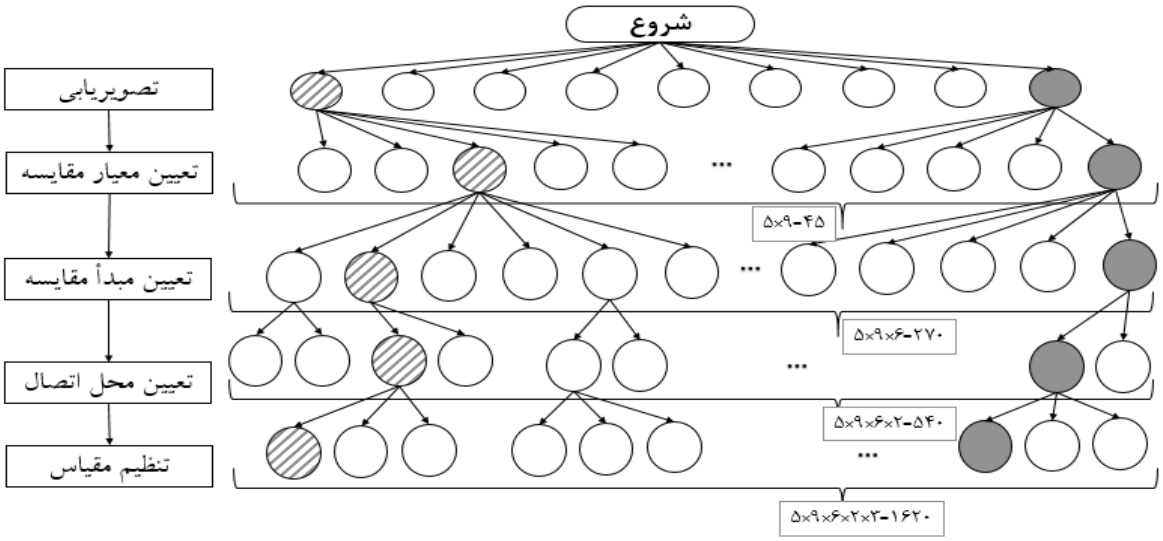
سوم، تصویر جدید از ترکیب و تفصیل تصاویر موجود خلق می‌شود. برای ترکیب تصاویر، چند سؤال در عملکرد متخیله وجود داشت که به آن پاسخ داده شد:

سؤال اول: هنگام اتصال دو تصویر به یکدیگر برای ایجاد یک مفهوم جدید چگونه می‌توان محل اتصال را یافت؟ در این مدل هیچ اطلاعات مجزایی درباره‌ی محل اتصال تصاویر مورد نیاز نیست، بلکه واهمه با استفاده از مقایسه با تصاویر قبلی محل اتصال را پیدا می‌کند و هر چه تصاویر بیشتری در گنجینه‌ی خود داشته باشد، احتمالاً به مقایسه‌ی مناسب‌تر و بنابراین تصویر قابل قبول‌تری دست پیدا می‌کند.

سؤال دوم: تنوع تصاویری که از اتصال دو تصویر به وجود می‌آید چگونه حاصل می‌شود؟ در این مدل تنوع با توزیع احتمالات نشان داده شده است. تمام فرایندهای پویای شناختی که به قوای مختلف باطنی نسبت داده شدند از طریق توابع گوناگونی محقق شدند، بنابراین برای هر وظیفه توابع مختلفی وجود دارد و باعث می‌شود تعداد حالات مختلفی برای اتصال تصاویر به وجود بیاید. ممکن است در هر ترکیب از یکی از توابع ترکیب استفاده شود و اینکه از کدام تابع استفاده شود، به وزن آن تابع در جدول احتمال بستگی دارد. در این مدل توابعی که منجر به ایجاد تصویر جالب‌تری شده باشند، وزن بیشتری دارند. مطالعه‌ی اینکه به لحاظ روان‌شناختی این ترکیب و تفصیل در ذهن انسان چه سازوکارهایی دارد و تصمیم انسان برای استفاده از هر یک از آن سازوکارها تابع چه عواملی است، می‌تواند در تنظیم بهتر این توابع در مدل کامپیوتری و وزن‌گذاری آنها مفید باشد.

برای اعتبارسنجی مدل‌های شناختی محاسباتی می‌بایست میزان مطابقت آنها با داده‌ها یا رفتار انسانی مد نظر قرار بگیرد. همان‌طور که اشاره شد یکی از روش‌های انطباق، انطباق رفتاری است. یعنی مدل شناختی محاسباتی مورد نظر می‌بایست بتواند در شرایط مشابه، رفتاری مشابه رفتار انسان نشان دهد. مدل شناختی محاسباتی که در این پژوهش به آن پرداخته شد، به دنبال مدل‌سازی محاسباتی فرایند تصور خلاق انسان بود. بنابراین برای اعتبارسنجی آن باید دید آیا این مدل می‌تواند تصاویری را تولید کند که انسان با استفاده از تصاویر دیده شده‌ی قبلی برای یک مفهوم جدید خلق می‌کند یا خیر. مطابق شکل ۸ در هر مرحله از اجرای الگوریتم ممکن است حالت‌های مختلفی به وجود بیاید. هر دنباله‌ای از حالت‌ها که در اجرای الگوریتم طی شود، یک مسیر اجرای الگوریتم نامیده می‌شود. الگوریتم با طی کردن هر کدام از این مسیرها به یک خروجی متفاوت دست خواهد یافت. به عنوان مثال، اگر ترکیب «درخت» و «چشم و دهان» را در نظر بگیریم، در صورتی که مسیر

شکل ۸- مسیرهای مختلف اجرای الگوریتم تصور خلاق



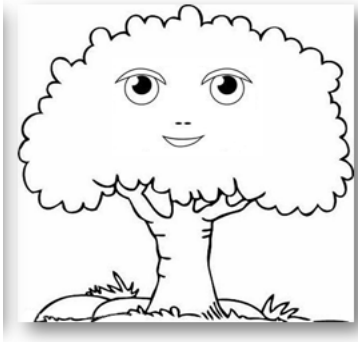
اول (که در شـــکل ۸ با دایره‌های خاکســـتری نشان داده شده است) طی شود خروجی الگوریتم به صورت شکل ۹ ـ الف خواهد بود و در صورتی که مســـیر دوم (که در شکل ۸ با دایره‌های هاشورخورده نشان داده شده است) طی شـــود، خروجی الگوریتم به صورت شـــکل ۹ ـ ب خواهد بود. چنان‌که ملاحظه می‌شود، دو تا از تصاویری که برای مفهوم «درختی که دارای چشـــم و دهان است» به نظر انســـان‌ها «جالب» است، به وســـیله‌ی الگوریتم پیشنهادی تولید خواهد شد. روشن است که در صورت طی هر کدام از مســـیرهای دیگر، خروجی الگوریتم به صورت‌های دیگری خواهد بود.

مبنای ما در تقســـیم وظایف بین اجـــزای مختلف مدل، نظریاتی بود که در فلســـفه‌ی اســـلامی (عموماً ابن‌سینا و ملاصدرا) مطرح شـــده بود که البتـــه در منابع اصلی

شکل ۹- خروجی الگوریتم به ازای دو مسیر خاص

الف

ب



برهان‌های فلسفی، برای تعدد قوا و اختصاص وظیفه به هر یک از قوا بیان شـــده است(۳۹). به عنوان مثال، یکی از مواردی که در نظریه‌های فلسفی وجود داشته، تفکیک قوه‌ی خیال (محل ذخیره‌ی صور جزئی) و حافظه (محل ذخیره‌ی معانی جزئی) است. در یک آزمایش تجربی دو گونه‌ی متفاوت ذخیره‌ی اطلاعات در حافظه‌ی بلندمدت آزمایش شد. طبق این آزمایش مدل‌هایی که در آنها محل ذخیره‌ی صور با محل ذخیـــره‌ی موضوع یا معنای آنها جدا از هم فرض شده، به داده‌های انسانی نزدیک‌تر بوده است(۴۱، ۴۰). بنابراین، این آزمایش هم می‌تواند معیار صحت مدعای ما در مدل پیشنهادی باشد.

اغلب مدل‌هایـــی که تحت عنوان مدل‌های تصور مطرح شده‌اند، تمرکز خود را بر نحوه‌ی حضور تصاویر در مغز یا ذهن انســـان قرار داده‌اند. اما به تصور به معنای خلق

تصاویر جدید با استفاده از تصاویر قبلی نپرداخته‌اند. در پژوهش حاضر، تمرکز از نحوه‌ی حضور تصاویر در ذهن (که عملکرد دو قوه‌ی حس مشترک و خیال است) برداشته بر ـ بخشی از ـ کار قوه‌ی متخیله (یعنی ترکیب و تفصیل صورت‌ها و خلق صورت‌های جدید) قرار داده شد. در برخی از سیستم‌های مصنوعی نیز به مسأله‌ی تولید تصاویر جدید برای مفاهیمی که تصویری از آنها وجود ندارد پرداخته شده است(٤٢). برای مثال، دارسی می‌تواند برای مفهوم جنگ یک نقاشی بکشد. دارسی به این منظور اسامی و صفت‌های مرتبط با کلمه‌ی «جنگ» را از وردنت استخراج می‌کند. در حافظه‌ی این سیستم به ازای اسامی، آیکون‌های تصویری وجود دارد و به ازای صفات فیلترهای تصویری متفاوت تعریف شده است. حاصل کار این سیستم، تصویری است که از کنار هم قرار دادن آیکون‌های تصویری به وجود آمده و چندین فیلتر تصویری نیز روی این مجموعه اعمال شده است. اما این سیستم برای عبارت‌های ترکیبی که در وردنت وجود ندارد، مثل سیب پرنده یا درخت خندان، ایده‌ای ندارد. هم‌چنین حاصل کار آن یک تابلوی نقاشی است و نه یک موجودیت واحد. در حالی‌که در مدل پیشنهادی، تمرکز بر تولید یک موجودیت واحد برای معانی جدید است.

یکی از قدیمی‌ترین مسایل در مطالعات حول تصور انسان این بوده که آیا تصاویر ذهن انسان لزوماً تصویرند و یا از جنس توصیف و گزاره‌اند؟ در حال حاضر، عموماً پذیرفته شده که پردازش‌های آنالوگ و عددی و نیز پردازش‌های تصویری و توصیفی هر دو اتفاق می‌افتند. طبق نظریه‌ی رمزگذاری دوگانه عناوین می‌توانند با رمزهای کلامی و تصویری بازنمایی شوند. توانایی به خاطر آوردن موضوعات عینی مثل گربه آسان‌تر است، زیرا برای آنها هم یک رمز کلامی و هم یک بازنمایی تصویری وجود دارد(٤٣) یکی دیگر از ویژگی‌های مدل حاضر توجه توأم به بازنمایی تصویری و گزاره‌ای است. یکی از چالش‌های عمده‌ای که در تازه‌ترین پژوهش مفصل درباره‌ی تصویرسازی ذهنی مطرح شده(٢٤)، چالش دانش زمینه‌ای و نحوه‌ی مدل کردن آن است. در مدل پیشنهادی ما، زنجیره‌ی تصاویر و معانی جزئی، دانش زمینه‌ای فرد راجع به یک معنا را تشکیل می‌دهد. در این پژوهش هدف مدل کردن حافظه‌ی انسان نبود؛ اما برای مدل‌سازی تصور خلاق، در چارچوب نظری فلسفه‌ی اسلامی، فرض مدلی از حافظه اجتناب‌ناپذیر بود. تاکنون از حافظه‌ی معنایی مدل‌های محاسباتی مختلفی ارائه شده است(٤٤). بررسی انواع مختلف این مدل‌ها نشان داد که هیچ‌یک محقق‌کننده‌ی آنچه از حافظه انتظار می‌رود نیست. بنابراین بر اساس صور موجود در خیال، یک مدل ساخت حافظه‌ی معنایی پیشنهاد شد. دست‌یابی به چنین مدلی از حافظه با نظریه‌ی کسب معرفت از طریق خیال مطابقت دارد. تصاویر موجود در ذهن هر فرد و ارتباط معنایی آنها یک دانش معنایی منحصر به فرد ایجاد می‌کند.

تصویر جدیدبا ترکیب اجزای پایه، یعنی صور و معانی، خلق می‌شود. بنابراین برای مدل‌سازی تصور خلاق می‌بایست به دو جنبه‌ی اساسی توجه داشت: یکم، بازنمایی مناسب صور و معانی؛ دوم، کشف و مدل‌سازی فرایندهای ذهنی برای ترکیب این اجزا. صورت‌های حسی (اعم از صور بینایی، بویایی و ...) در کنار معانی و مفاهیم چگونه در ذهن بازنمایی شوند تا به بهترین شکل خصوصیات حافظه و خیال را مدل کنند؟ چه عواملی بر فرایندهای ترکیب و تفصیل بازنمایی صورت‌ها مؤثر هستند و چگونه می‌توان آنها را به کمک دانش کامپیوتر مدل کرد؟ به کمک فلسفه می‌توان گفت که این بازنمایی‌ها و فرایندها منطقاً چگونه انجام می‌شوند. اما شناخت دقیق آنها مستلزم بررسی عوامل دیگری همچون جامعه و فرهنگ، خصوصیات و باورهای فردی و نیز ویژگی‌های فیزیکی و زیستی انسان است، بنابراین در تکمیل بخش نظریه‌ی محاسباتی لازم است علاوه بر سطح شناخت فلسفی در سطوح فرهنگ‌شناسی، روان‌شناسی و زیست‌شناسی، شناخت جنبه‌های ایستا و پویای تصور خلاق نیز ادامه یابد. روشن است که با توجه به این اطلاعات، بازنمایی‌ها و الگوریتم‌هایی

که در سطح رایانشی در نظر گرفته می‌شوند، دقیق‌تر خواهند بود.

دریافت مقاله: ۹٤/۲/۱۳ ; پذیرش مقاله: ۹٤/۱۰/٤

منابع

1. Tenenbaum JB, Kemp C, Griffiths TL, Goodman ND. How to grow a mind: Statistics, structure, and abstraction. *science* 2011;331(6022):1279-85.

2. Thomas, Nigel J.T., Mental Imagery, The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Fall 2013 Edition), cited: 12-7-2013, Edward N. Zalta (ed.), Available from: http://plato.stanford.edu/archives/fall2013/entries/mental-imagery

3. Wintermute S. Imagery in cognitive architecture: Representation and control at multiple levels of abstraction. *Cognitive Systems Research* 2012;19:1-29.

4. Kosslyn SM. *Image and mind*, Cambridge, Massachusetts, Harvard University Press; 1980.

5. Kosslyn SM. *Image and brain: The resolution of the imagery debate*: Cambridge, Massachusetts, MIT press; 1996.

6. Kosslyn SM, Ball TM, Reiser BJ. Visual images preserve metric spatial information: evidence from studies of image scanning. *Journal of experimental psychology: Human perception and performance* 1978;4(1):47.

7. Kosslyn SM, Ganis G, Thompson WL. Mental imagery: against the nihilistic hypothesis. *Trends in Cognitive Sciences* 2003;7(3):109-11.

8. Kosslyn SM, Shwartz SP. A simulation of visual imagery. *Cognitive Science* 1977;1(3):265-95.

9. Kosslyn SM, Thompson WL, Ganis G. *The case for mental imagery*: United Kingdom, Oxford University Press 2006.

10. Kosslyn SM, Thompson WL, Sukel KE, Alpert NM. Two types of image generation: Evidence from PET. *Cognitive, affective, & behavioral neuroscience* 2005;5(1):41-53.

11. Pylyshyn Z. Is vision continuous with cognition?: The case for cognitive impenetrability of visual perception. *Behavioral and brain sciences* 1999;22(03):341-65.

12. Pylyshyn Z, Dupoux E. *Is the imagery debate over? If so, what was it about. Language, brain, and cognitive development*: Cambridge, MA essays in honor of Jacques Mehler, Cambridge, MIT Press. 2001:59-83.

13. Pylyshyn ZW. The imagery debate: Analogue media versus tacit knowledge. *Psychological review* 1981;88(1):16.

14. Pylyshyn ZW. Mental imagery: In search of a theory. *Behavioral and brain sciences* 2002;25(02):157-82.

15. Borqei Z. *Ibn sina and mulla sadra's concepts of imagination*. Qom: Boustan-e ketab; 2011.[Persian]

16. O'Regan JK, Noë A. A sensorimotor account of vision and visual consciousness. *Behavioral and brain sciences* 2001;24(5):939-72.

17. Thomas NJ. Are theories of imagery theories of imagination?: An active perception approach to conscious mental content. *Cognitive science* 1999;23(2):207-45.

18. Brooks RA. Intelligence without representation. *Artificial intelligence* 1991;47(1):139-509

19. Glasgow J, editor Artificial intelligence and imagery. Tools for Artificial Intelligence, 1990, Proceedings of the 2nd International IEEE Conference on 1990: IEEE.

20. Glasgow J, Papadias D. Computational imagery. *Cognitive science* 1992;16(3):355-394

21. Blain PJ. A Computer Model of Creativity Based on Perceptual Activity Theory[dissertation]: Australia, Griffith University, engineering; 2007.

22. Sima JF. A Computational Account of Complex Mental Image Construction. Proceedings of the 10th International Conference on Cognitive Modeling; Philadelphia, PA: Drexel University2009.

23. Sima JF, editor The nature of mental images–an integrative computational theory. Proceedings of the 33rd Annual Conference of the Cognitive Science Society, Berlin, 2011:Springer

24. Sima JF. A Computational Theory of Visuo-Spatial Mental Imagery [dissertation], Germany, university of Breman, Mathematic and informatic . 2014.

25. Sima JF, Freksa C. Towards computational cognitive modeling of mental imagery. *KI-Künstliche Intelligenz* 2012;26(3):261-7.

26. Smart JJC. The Mind/Brain Identity Theory. The Stanford Encyclopedia of Philosophy, cited: 10/02/2013, available at: http://plato.stanford.edu/archives/win2012/entries/mind-identity

27. Sheikh-Rezaei H. *Introduction to Philosophy of Mind*. Iran: Hermes; 2013. [Persian]

28. Safi N, Rafiei-Atani T, Hashemi-Namin M, Jahed-Motlagh M-R. Classifying Different Approaches to Nature of Human Mind with the Purpose of Computational Modeling. 4th International Conference On Information Technology Management, Communication and Computer; Tehran, Iran2014. [Persian]

29. Sun R. Introduction to computational cognitive modeling. *Cambridge handbook of computational psychology*: US, university of Cambridge, 2008:3-19.

30. Sun R. Theoretical status of computational cognitive modeling. *Cognitive Systems Research* 2009;10(2):124-40.

31. Sun R, Coward LA, Zenzen MJ. On levels of cognitive modeling. *Philosophical Psychology* 2005;18(5):613-37.

32. Marr D. *Vision: A Computational Investigation into the Human Representation and Processing of Visual Information*: US, Henry Holt and Company; 1983.

33. Sun R, Ling CX. Computational cognitive modeling, the source of power, and other related issues. *AI Magazine* 1998;19(2):113.

34. Motahhari M. *Explenation of Manzoume*. Tehran,Iran: Sadra; 1995. {Persian}

35. Hossein-Zadeh M. Internal faculties from view of epistemology. *Philosophical Epistem* 2007;3(2):65-108. [Persian]

36. Lagerlund H. *Forming the Mind: Essays on the Internal Senses and the Mind/Body Problem from Avicenna to the Medical Enlightenment*: America, Springer; 2007.

37. Taheri E. *Soul and its faculties from view of Aristotle, Ibn-Sina and Mulla Sadra*: Qom, boustan-e ketab; 2010. [Persian]

38. Sowa JF. Semantic networks. Encyclopedia of Cognitive Science, cited: 12-7-2013, available at: http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/0470018860.s00065/abstract

39. Rezaee M. Epistemic and non-epistemic origins of human action, the view of Mulla Sadra[dissertation]:Tehran. Imam Sadeq University; 2013. [Persian]

40. Gottlieb JF. *Semantic memory structure:How what we know about the world is organized in the mind*: US,Carnegie Mellon University; 2003.

41. Gottlieb JF. The Structure of Semantic Memory: Category-based vs. Modality-based[dissertation], US, Carthage College, 2001.

42. Besold, T. Schorlemmer M, Smaiil A., *Computational Creativity Research: Towards creative machines*, US, Atlantic press, 2015, 65-93

43. Paivio, A. *Mind and its evolution: A dual coding theoretical approach*: US, Psychology Press, 2014.

44. Jones M. N, Willits J, Dennis S. models of semantic memory [dissertation]. ed. US, Indiana University, faculty of Computer Science, 2013.