

## تحلیل راهبردی حوزه فناوری‌های عصبی در کشور

علی ترابی\*، حنیف کازرونی\*\*، حسین حسن پور\*\*\*

### چکیده

فناوری‌های عصبی به دلیل ارتباط مستقیم با سلامت انسان و نیز کاربردهای متنوع آن‌ها، دارای دورنمای بسیار روشنی هستند و از این‌رو، کشورهای توسعه‌یافته توجه ویژه‌ای به این مسأله دارند. به دلیل نوظهور بودن این فناوری‌ها، تاکنون در کشورمان پژوهش مناسبی در راستای شناسایی وضعیت فناوری و نیز تحلیل راهبردی این حوزه انجام نشده است. هدف از پژوهش تعیین سطوح آمادگی فناورانه و نیز شناسایی و اولویت‌بندی راهبردهای متناسب با وضعیت کشور در حوزه فناوری‌های عصبی است. جهت نیل به این هدف، از توزیع پرسش‌نامه بین جامعه آماری شامل ۴۰ خبره دانشگاهی و اجرایی حوزه مهندسی عصبی استفاده شده است. در ادامه با استفاده از روش ماتریس نقاط ضعف، قوت، فرصت و تهدید شناسایی شده و به دنبال آن، با وزن‌دهی به عوامل خارجی و داخلی، جایگاه راهبردی کشور مشخص گردیده است. نتایج نشان‌دهنده آن است که کشورمان در زیرشاخه واسط مغز به رایانه دارای بیشترین سطح آمادگی فناوری (سطح ۶) و در زیر شاخه واسط مغز به مغز دارای کمترین سطح آمادگی فناوری (سطح ۱) است. تحلیل راهبردی عوامل داخلی و خارجی حاکی از آن است که ایران در حوزه فناوری‌های عصبی در جایگاه راهبردی محافظه‌کارانه (ضعف-فرصت) قرار دارد. در انتها، راهبردهای متناسب با این جایگاه، با استفاده از روش مقایسات زوجی مورد ارزیابی قرار گرفته و راهبردهای منتخب در این مرحله، با استفاده از ماتریس برنامه‌ریزی راهبردی کمی اولویت‌بندی شده‌اند.

کلیدواژه‌ها: فناوری‌های عصبی، سطح آمادگی فناوری، برنامه‌ریزی راهبردی، تجزیه و تحلیل SWOT، ماتریس برنامه‌ریزی راهبردی کمی.

پژوهش‌های مدیریت و مطالعات فرسنگی  
پرتال جامع علوم انسانی

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۱۰/۲۶، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۴/۱۳.

\* پژوهشگر، دانشگاه و پژوهشگاه عالی دفاع ملی و تحقیقات راهبردی، تهران، ایران.

\*\* استادیار، دانشگاه و پژوهشگاه عالی دفاع ملی و تحقیقات راهبردی، تهران، ایران.

\*\*\* استادیار، دانشگاه و پژوهشگاه عالی دفاع ملی و تحقیقات راهبردی، تهران، ایران (نویسنده مسئول)

## ۱. مقدمه

علوم و فناوری‌های عصبی به روش‌ها و ابزارهایی که برای ارزیابی، دسترسی و تحت تأثیر قرار دادن سیستم عصبی به کار می‌روند، دلالت می‌کند [۲۳]. علوم اعصاب در حقیقت یک تلاش علمی برای فهمیدن و درک کارکرد مغز و ذهن انسان است که بر روی تصویربرداری و ثبت فعالیت مغزی و مدل‌سازی آن استوار است. از این‌رو، علوم اعصاب دانش پیچیده و گسترده‌ای است که شامل شیوه‌های متنوعی از محاسبات، بیولوژی عمومی، ژنتیک، فیزیولوژی، بیولوژی مولکولی، شیمی عمومی، شیمی آلی، بیوشیمی، فیزیک، روانشناسی رفتاری، روانشناسی شناختی، روانشناسی ادراکی، فلسفه و دانش رایانه است.

انقلاب‌های عظیم در این وادی با پیشرفت‌های بزرگ در حوزه تصویربرداری مغزی نظیر تصویربرداری تشدید مغناطیسی، تصویربرداری تشدید مغناطیسی کارکردی رخ داد. این روش‌ها فعالیت‌های مغزی را توسط جریان خون یا میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی مشخص می‌کنند و باعث می‌شوند که بینش عمیق‌تر و درک صحیح‌تری نسبت به مغز به دست آید. مکمل این رویداد، پیشرفت نرم‌افزاری و سخت‌افزاری در حوزه واسط‌های مغز و ماشین است که امکان برقراری ارتباط مؤثر با مغز را فراهم آورد [۲۶].

علوم مغزی در دنیای فناوری‌های نوین، تشخیص پزشکی، و مراکز توانبخشی نیز نقش اساسی ایفا می‌کند. فناوری‌های عصبی در حوزه‌هایی نظیر هدایت مستقیم به‌وسیله مغز و حتی در دنیای علم روانشناسی نیز می‌توانند کاربرد داشته باشند [۱۶]. استفاده از داده‌های مغزی روشی آسان و به‌نسبت کم هزینه برای تشخیص بیماری‌ها در مراحل اولیه است و علاوه بر صرفه‌جویی اقتصادی به‌دلیل تشخیص زود هنگام بیماری، می‌تواند از تلفات جانی ناشی از آن نیز به‌طرز چشم‌گیری بکاهد. بیماری آلزایمر به‌تنهایی یک معضل اساسی در جوامع روبه‌پیری محسوب می‌گردد.

در ایالات متحده، ۳۲ درصد از افراد مسن بالای ۸۵ سال به آن مبتلا می‌شوند و آمار افراد بین ۶۵-۷۴ سال مبتلا به آن ۱۷ درصد است [۱۲]. عامل مهم دیگر برای توسعه پژوهش‌های مرتبط با علوم و فناوری‌های عصبی وجود دارد که شامل افزایش طول زندگی انسان و امکان فناپذیری ذهن او می‌شود. فارغ از امکان عملی شدن ایده‌های بسیاری که در راستای تحقق فرابشریت ارائه می‌شوند، این تلاش‌ها مؤید آن هستند که منابع وسیع جهانی با اهداف مختلف به سمت درک مغز هدایت شده‌اند [۱۰].

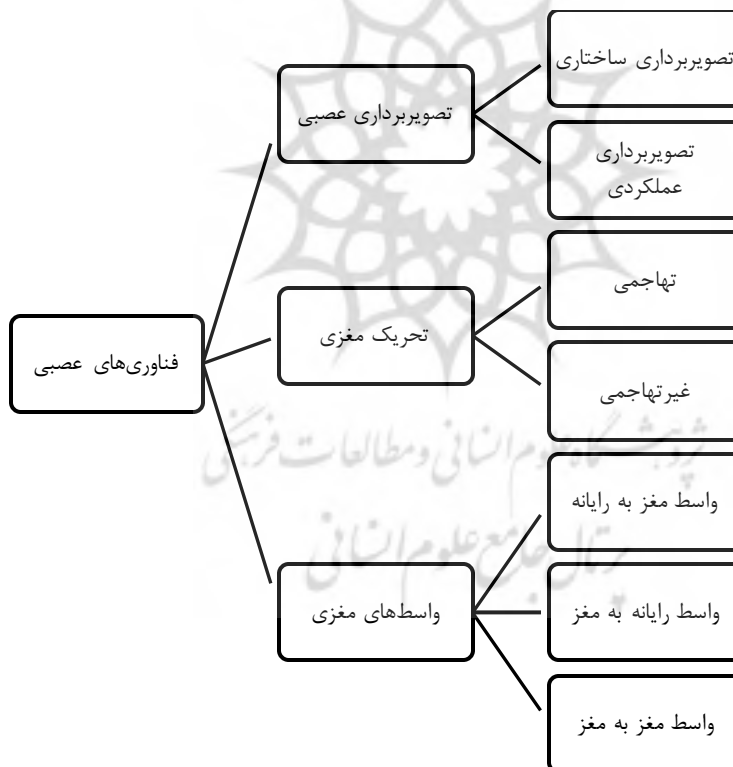
دنیای آینده متعلق به سیستم‌های هوشمند است و نقش فناوری‌های عصبی در این حوزه انکارناپذیر است. فناوری‌های مرتبط با مغز با فراهم آوردن امکان مشاهده روند بیماری‌ها نقش مهمی را در ارتقاء سطح سلامت جامعه ایفا می‌کنند. افزون بر آن، توسعه پژوهش‌ها مرتبط با علوم و فناوری‌های عصبی گام بسیار مهمی در جهت تحقق ایده‌های آینده‌نگرانه است. همچنین پیشرفت در حوزه فناوری‌های عصبی و متعاقب آن ساخت فناوری‌های مرتبط با مغز، امکان صادرات این محصولات بسیار مهم را فراهم می‌سازد که به نوبه خود می‌تواند از نظر اقتصادی برای کشورمان بسیار مفید واقع شود. فقدان ارائه راهبرد مناسب در مورد فناوری‌های عصبی نظیر اندام مصنوعی و رباتیک عصبی باعث می‌شود تا افراد معلول و ناتوان حرکتی نتوانند کیفیت زندگی خود را بالاتر ببرند و حضوری فعال در جامعه داشته باشند [۱۱، ۱۳]. با در نظر گرفتن موارد ذکر شده، برای ارائه راهبردهای مناسب جهت توسعه فناوری، باید وضعیت کشور در حوزه فناوری عصبی مشخص و نقاط قوت، ضعف، فرصت و تهدید تبیین شود.

در این راستا، ابتدا با استفاده از معیار سطح آمادگی فناوری، موقعیت کنونی کشور در شاخه‌های اصلی این حوزه مشخص می‌شود. سپس با استفاده از تحلیل راهبردی SWOT جایگاه راهبردی کشور در حوزه فناوری‌های عصبی تعیین می‌گردد. در انتها به اولویت‌بندی راهبردهای مناسب با استفاده از مقایسات زوجی و ماتریس برنامه‌ریزی راهبردی کمی پرداخته می‌شود.

## ۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش فناوری‌های مرتبط با مغز

در این قسمت به فناوری‌های مرتبط با مغز پرداخته می‌شود. این وادی که فناوری عصبی نیز خوانده می‌شود، درحقیقت به فناوری‌هایی می‌پردازد که تأثیر اساسی بر درک چگونگی کارکرد مغز و جنبه‌های مختلف آن نظیر هوشیاری، تفکر و شناخت دارند. علاوه بر آن، شامل فناوری‌هایی که برای تقویت و یا بهبود عملکرد مغز کاربرد دارند نیز می‌گردد. در این پژوهش، فناوری‌های مغزی به سه دسته اصلی تصویربرداری عصبی<sup>۱</sup>، تحریک‌کننده‌های مغزی<sup>۲</sup> و واسط‌ها تقسیم‌بندی می‌شوند. تصویربرداری عصبی شاخه‌ای از مهندسی پزشکی است که بر روی تصویربرداری از مغز و سیستم اعصاب متمرکز است.

این حوزه علاوه بر تشخیص سلامتی و بیماری می‌تواند در چگونگی کار کردن مغز و نیز تأثیر فعالیت‌های مختلف بر روی آن، مورد استفاده قرار بگیرد. تصویربرداری عصبی به دو دسته اصلی تصویربرداری عصبی ساختاری و تصویربرداری عصبی عملکردی تقسیم‌بندی می‌شود. تصویربرداری ساختاری به ثبت از ساختار مغز و اعصاب اشاره دارد و در این حالت، تفاوت بین بافت‌ها، مایع مغزی-نخاعی و دیگر قسمت‌های ساختاری مشخص می‌گردد. در تصویربرداری عملکردی، عملکرد مغز به صورت غیرمستقیم اندازه‌گیری می‌شود. در این دسته، فهم ارتباطات بین فعالیت قسمت‌های مختلف مغز مورد توجه واقع می‌شود [۴، ۲۸].



شکل ۱. سیمای فناوری‌های عصبی

تحریک مغز از روش‌های نوین درمان بیماری‌های مغزی نظیر صرع، افسردگی و مانند آن است. این روش همچنین برای تقویت و افزایش کارکرد برخی فرآیندهای مغزی نظیر حافظه نیز به کار گرفته شده است. در

<sup>1</sup> Neuroimaging

<sup>2</sup> Brain Stimulators

تحریک مغزی، با استفاده از روش‌هایی مبتنی بر الکتروسیسته، مغناطیس و یا حتی مواد شیمیایی، قسمتی از مغز که دچار عملکرد غیرعادی شده است مورد تحریک واقع می‌گردد. در نتیجه این فرآیند، عملکرد آن قسمت بهبود می‌یابد و فرد در مسیر درمان یا افزایش قابلیت قرار می‌گیرد [۲۷]. تحریک مغزی به دو دسته کلی تهاجمی یا غیرتهاجمی تقسیم‌بندی می‌شود. در دسته تهاجمی، با کاشت الکتروود یا تحریک‌های بسیار شدید، قسمت مورد نظر مورد تحریک قرار می‌گیرد. به همین دلیل این نوع تحریک‌ها اثرات ماندگارتری دارند؛ اما این تحریک‌ها می‌توانند عوارض جانبی جدی نیز به دنبال داشته باشند.

از این‌رو، این روش‌ها فقط در مواردی که کاملاً ضروری هستند، استفاده می‌گردند [۱۹]. در دسته غیرتهاجمی، عموماً روش‌های فراجمه‌ای برای تحریک مغز به کار گرفته می‌شوند. در این حالت، بافت و قسمت مورد نظر مورد تهاجم واقع نمی‌شود و به همین سبب اثرات جانبی بسیار کمتری دارند. از طرف دیگر، مانایی و زمان مؤثر بودن این نوع تحریک‌ها نسبت به روش تهاجمی کمتر است [۲۱].

واسط‌های مغزی شاخه‌ای از فناوری‌های مرتبط با مغز هستند که امکان برقراری ارتباط با مغز را فراهم می‌کنند. در دو دهه اخیر تغییری شگرف در حوزه واسط‌های مغز و رایانه صورت پذیرفته است. پژوهشگران با استفاده از فناوری‌های جدید، به وسیله حس‌گرها، پیشرفت‌های بزرگی را در حوزه واسط‌های مغز و رایانه رقم زدند. واسط‌های مغزی ترکیبی از نرم‌افزار و سخت‌افزار هستند که می‌تواند شامل برقراری ارتباط مغز به رایانه، رایانه به مغز و یا بین دو مغز باشند. واسط‌های مغز به رایانه متداول‌ترین نوع واسط‌های مغزی هستند که اطلاعات را از مغز کاربر دریافت می‌کنند و به سیگنال‌های مغزی اجازه می‌دهند تا ابزارهای خارجی و حتی رایانه‌ها را کنترل کنند. هدف از استفاده از واسط‌ها این است که به افراد بسیار ناتوان کمک شود تا در حد امکان همانند یک فرد عادی زندگی کنند.

علاوه بر آن، این واسط‌ها می‌توانند در اموری نظیر بازی و سرگرمی نیز کاربرد داشته باشند [۲۲]. واسط‌های رایانه به مغز برای ارسال سیگنال از یک رایانه به مغز استفاده می‌شوند. در این نوع، در حقیقت عکس واسط‌های مغز به رایانه عمل می‌گردد و سیگنال ارسالی از رایانه توسط این واسط‌ها به ناحیه مشخصی در مغز می‌رسد و فعالیت مورد نظر را در آن‌جا صورت می‌دهد. به‌طور مثال، در برقراری ارتباط مغز با واقعیت مجازی، سیگنال از رایانه به مغز منتقل شده و این حس را در فرد ایجاد می‌کند که واقعاً در آن محیط قرار دارد و یا مثلاً یک شیء را به‌صورت واقعی لمس می‌کند [۱۷]. جدیدترین نوع واسط‌ها، واسط‌های مغز به مغز هستند که امکان ارتباط بین دو مغز را فراهم می‌سازند. این فرآیند می‌تواند بین مغز یک انسان و یک حیوان، مغز حیوان و حیوان و یا مغز انسان با انسان صورت پذیرد و بر دو اصل استوار است: نخست توانایی خواندن و رمزگشایی از اطلاعات مفید موجود در فعالیت‌های عصبی و در قدم بعدی، رمزگذاری و القای اطلاعات خواننده شده، به فعالیت‌های عصبی [۳۰].

### سطوح آمادگی فناوری

از معیارهایی که برای ارزیابی بلوغ فناوری‌ها بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرد، سطح آمادگی فناوری نام دارد. سطوح آمادگی فناوری برای تخمین بلوغ فناوری و مقدار خطرپذیری ناشی از آن به کار می‌روند. این سطوح اولین بار توسط ناسا در دهه ۱۹۷۰ میلادی معرفی شدند. این معیار از ۹ سطح تشکیل شده که از بازه پژوهش‌های بنیادی تا کاربری عملیاتی را شامل می‌گردد.

- ۱) سطح اول آمادگی فناوری: این سطح نشان‌دهنده پژوهش‌های علمی صرف است و بخش خاصی از یک فناوری نیست. در این سطح مفاهیم علمی تقویت می‌گردند.
- ۲) سطح دوم آمادگی فناوری: در این مرحله اصول نظری و علمی بر روی حوزه‌های کاربردی خاص متمرکز می‌شود. به عبارتی کاربردهای گفته شده تحلیل می‌گردند.

- ۳) سطح سوم آمادگی فناوری: در این قدم مطالعات آزمایشگاهی برای بررسی درستی فرضیات مطرح شده انجام می‌گردد.
- ۴) سطح چهارم آمادگی فناوری: اجزای فناوری به صورت جداگانه بررسی و آزمایش می‌شوند. اطلاعات اولیه درباره محصول داده می‌شود.
- ۵) سطح پنجم آمادگی فناوری: در این قدم جنبه‌ها و ویژگی‌های اصلی مربوط به محیط عملیاتی شبیه‌سازی می‌گردد و اجزای زیر مجموعه‌ای آن ارزیابی می‌شوند. شکل اولیه سیستم در این مرحله بسته می‌شود.
- ۶) سطح ششم آمادگی فناوری: سیستم به صورت یک نمونه مهندسی درآمده است و آزمایش آن در محیط انجام می‌پذیرد.
- ۷) سطح هفتم آمادگی فناوری: ادامه مرحله ششم است و سیستم از دیدگاه شکل و اندازه و کارکرد عین سیستم واقعی است و باید با سیستم‌های دیگر نیز تعامل داشته باشد.
- ۸) سطح هشتم آمادگی فناوری: پایان توسعه سیستم را نشان می‌دهد. در این مرحله بلوغ فناوری به اتمام می‌رسد.
- ۹) سطح نهم آمادگی فناوری: تمام فناوری‌ها بالغ هستند و می‌توان به صورت انبوه از آن‌ها استفاده کرد [۱۸، ۲۹].



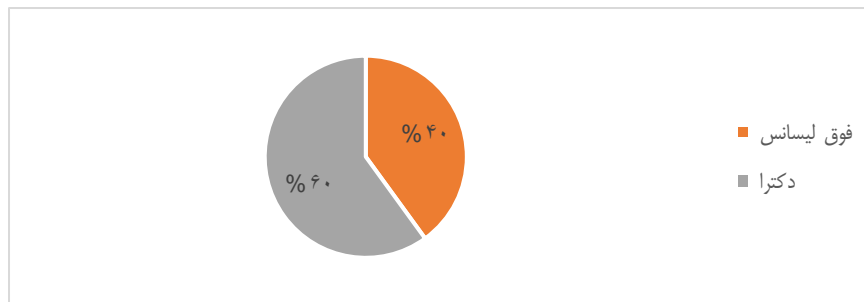
### ۳. روش‌شناسی پژوهش

در این پژوهش با استفاده از روش توصیفی - پیمایشی پس از انجام مطالعه کتابخانه‌ای (شامل مقالات به‌روزی که به تحلیل و ارائه نگرش‌ها و روش‌های جدید می‌پردازند)، جستجو در منابع مختلف و رصد وضعیت حاضر و آخرین دستاوردها، نقاط فرصت، ضعف، قوت و تهدید در این حوزه مشخص می‌شوند. سپس با توزیع پرسشنامه در بین خبرگان و استفاده از نظر آنان به تعیین سطوح فناوری پرداخته می‌شود. علاوه بر آن با استفاده از نظر خبرگان، ضرایب وزنی عوامل داخلی و خارجی نیز تعیین می‌گردند. پس از مشخص شدن راهبردها، در قسمت‌های مقایسات زوجی بین راهبردها و ماتریس برنامه‌ریزی کمی نیز از نظرات خبرگان استفاده می‌شود.

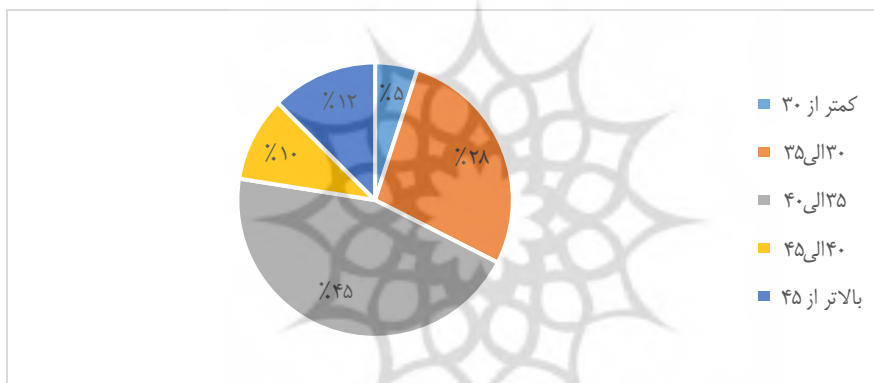
در این پژوهش، به‌دلیل این که خبرگان حوزه مهندسی عصبی و فناوری‌های مغزی مورد پرسش قرار می‌گیرند، نمونه‌برداری غیرتصادفی و هدفمند است و با استفاده از روش گلوله‌برفی انجام شده است. دلیل انتخاب این شیوه آن است که این پژوهش نیازمند درک پیچیدگی وضعیت در حوزه فناوری‌های عصبی در کشور است و با استفاده از این روش، اطمینان حاصل گشته است که خبرگان پرسش شونده به گونه‌ای انتخاب شده‌اند که اطلاعات کافی و نگرش همه‌جانبه‌ای نسبت به حوزه فناوری عصبی داشته باشند.

برای ارزیابی سطح بلوغ فناوری با استفاده از پرسشنامه (جدول ۱) نظرات ۴۰ خبره و صاحب نظر در حوزه علوم مغزی گردآوری گشته است. در ادامه فراوانی پاسخ‌دهندگان با توجه به تحصیلات ذکر می‌گردد (شکل ۳).

اکثریت افراد پاسخگو دارای مدرک دکتری، با تعداد ۲۴ نفر و درصد فراوانی ۶۰ درصد هستند. ۴۰ درصد باقیمانده دارای مدرک کارشناسی ارشد هستند. از نظر سنی، بیشترین فراوانی مربوط به بازه سنی ۳۵ تا ۴۰ سال با تعداد ۱۸ نفر و با درصد فراوانی ۴۵ درصد است. در رتبه بعدی، بازه سنی ۳۰ الی ۳۵ سال و با فراوانی ۱۱ و درصد فراوانی ۲۸ درصد قرار گرفته است (شکل ۴). نمودارهای شکل‌های ۳ و ۴ با استفاده از نرم‌افزار مایکروسافت اکسل، ترسیم شده‌اند.



شکل ۳. نمودار دایره‌ای سطح تحصیلات خبرگان پاسخگو



شکل ۴. نمودار دایره‌ای فراوانی سنی خبرگان پاسخگو

این پرسشنامه برای هر شاخه اصلی از فناوری‌های عصبی، شامل تصویربرداری ساختاری عصبی، تصویربرداری عملکردی عصبی، تحریک درون جمجمه‌ای، تحریک فراجمجمه‌ای، واسط‌های مغز به رایانه، واسط‌های رایانه به مغز، واسط‌های مغز به مغز ارائه شده است. سوالات پرسش‌نامه به سطوح نه‌گانه بلوغ فناوری مربوط است و برای پاسخ از گزینه‌های «بله»، «خیر» و «نظری ندارم» استفاده می‌شود (جدول ۱). فراوانی پاسخ‌دهندگان خبره، معیار تعیین سطح بلوغ در هر شاخه اصلی علوم مغزی خواهد بود. پس از بررسی پاسخ‌های خبرگان و تعیین سطح فناوری از نظر هر خبره، سطحی که بیشترین فراوانی را در نظرات خبرگان داشته باشد، به عنوان سطح بلوغ فناوری مشخص می‌گردد.

جدول ۱. پرسشنامه تعیین سطح آمادگی فناوری

| ردیف | گویه   | جهان | ایران |
|------|--|------|-------|
| ۱    | آیا مؤلفه‌های فناوری مشخص شده‌اند؟   |      |       |
| ۲    | آیا مطالعات نظری مؤلفه‌های فناوری را تأیید کرده‌اند؟   |      |       |
| ۳    | آیا اجزای اولیه فناوری مشخص شده‌اند؟   |      |       |
| ۴    | آیا مطالعات تحلیلی مفصل، اصول فناوری را تأیید کرده‌اند؟  |      |       |
| ۵    | آیا ظرفیت عملی سیستم یا کاربردهای اجزای فناوری شناسایی شده است؟                                  |      |       |
| ۶    | آیا تجربیات و آزمایشات مورد نیاز که باید انجام شوند، مشخص شده‌اند؟                               |      |       |
| ۷    | آیا کاربردی بودن فناوری از طریق تجربیات و آزمایشات تأیید شده است؟                                |      |       |
| ۸    | آیا روش‌های طراحی شناسایی و ایجاد شده‌اند؟   |      |       |
| ۹    | آیا پیش‌بینی عملکردی برای فناوری انجام شده است؟  |      |       |
| ۱۰   | آیا نمونه آزمایشگاهی یا رومیزی ساخته شده است؟  |      |       |
| ۱۱   | آیا مطالعات بر روی نمونه با ابعاد کوچک ادامه یافته و به نمونه‌های بزرگ ارتقا یافته است؟          |      |       |
| ۱۲   | آیا فناوری از نمونه آزمایشگاهی به یک نمونه واقعی تبدیل شده است؟                                  |      |       |
| ۱۳   | آیا سخت‌افزارهای پیش‌تولید در دسترس هستند؟   |      |       |
| ۱۴   | آیا عملکرد فناوری در یک محیط عملیاتی شبیه‌سازی شده است؟  |      |       |
| ۱۵   | آیا محیط آزمون‌ها به محیط عملیاتی تبدیل شده است؟   |      |       |
| ۱۶   | آیا طرح تولید کامل شده است؟  |      |       |
| ۱۷   | آیا نمونه آزمایشی از آزمون‌های میدانی موفق بیرون آمده است؟                                       |      |       |
| ۱۸   | آیا کیفیت سیستم بر روی پلت فرم واقعی تست و ارزیابی شده است؟                                      |      |       |
| ۱۹   | آیا سیستم در یک مأموریت واقعی با موفقیت عمل کرده است؟  |      |       |
| ۲۰   | آیا مباحث ایمنی و عوارض جانبی شناسایی شده‌اند؟   |      |       |
| ۲۱   | آیا برنامه‌های استراتژیک برای رسیدن به بلوغ فناوری ایجاد شده است؟                                |      |       |
| ۲۲   | آیا منابع اطلاعاتی برای فهم بلوغ فناوری و کارکرد آن ایجاد شده است؟                               |      |       |
| ۲۳   | آیا استراتژی‌های فنی برای تصحیح فرآیندهای کاری در جهت ایجاد بلوغ فناوری ایجاد شده است؟           |      |       |
| ۲۴   | آیا سرمایه‌گذاری مالی در خصوص بلوغ فناوری انجام شده است؟   |      |       |
| ۲۵   | آیا مدیریت سود و زیان و مدیریت برنامه‌های سرمایه‌گذاری در سازمان ایجاد شده است؟                  |      |       |
| ۲۶   | آیا ارتباط بین بخش‌های مختلف سازمانی برای افزایش هماهنگی اطلاعاتی در بلوغ فناوری ایجاد شده است؟  |      |       |
| ۲۷   | آیا منابع انسانی خیره و متخصص برای افزایش دانش‌های مرتبط با فناوری تأمین شده است؟                |      |       |
| ۲۸   | آیا مدیریت ریسک در سازمان برای افزایش پیامدهای مثبت بلوغ فناوری انجام می‌شود؟                    |      |       |
| ۲۹   | آیا نرم‌افزارهای خاصی برای کاهش هزینه‌های فناورانه به کار برده می‌شود؟                           |      |       |
| ۳۰   | آیا زیرساخت‌های اقتصادی برای ایجاد بستر فناوری ایجاد می‌شود؟                                     |      |       |
| ۳۱   | آیا نیروی انسانی برای به کار بردن این فناوری آموزش می‌بینند؟                                     |      |       |
| ۳۲   | آیا ظرفیت مدیریتی و تولیدی در سازمان مورد ارزیابی و تغییر قرار می‌گیرند؟                         |      |       |
| ۳۳   | آیا خدمات حاصل از فناوری به صورت مداوم ارائه خواهند شد؟  |      |       |
| ۳۴   | آیا هزینه‌های مربوط به تغییر و ایجاد بسترهای فناوری مورد ارزیابی و پیش‌بینی قرار گرفته است؟      |      |       |
| ۳۵   | آیا امنیت سیستم‌های فناوری مورد ارزیابی و سنجش قرار گرفته است؟                                   |      |       |
| ۳۶   | آیا هزینه‌های مربوط به تعمیر و نگهداری و افزایش فناوری در آینده پیش‌بینی شده‌اند؟                |      |       |
| ۳۷   | آیا حوادث احتمالی پیش‌بینی شده و اقدامات مدیریتی برای آن انجام شده است؟                          |      |       |
| ۳۸   | آیا بخش‌های مدیریت داده و امنیت در سازمان ایجاد شده‌اند؟   |      |       |
| ۳۹   | آیا قوانین و مقررات خاصی برای استفاده از فناوری در نظر گرفته شده است؟                            |      |       |
| ۴۰   | آیا از نظر حقوقی قوانین و تمهیداتی درباره‌ی استفاده از فناوری و مشکلات ناشی از آن ایجاد شده است؟ |      |       |

**روایی.** در این روش سؤال‌های آزمون در اختیار متخصصان گذاشته می‌شود و از آن‌ها می‌خواهند که مشخص کنند آیا سؤالات آزمون، صفت مورد نظر را اندازه‌گیری می‌کند و این که آیا سؤال‌ها کل محتوای آزمون را دربردارد [۸]؟ برای بررسی روایی محتوایی پرسشنامه از دو معیار نسبت روایی محتوایی<sup>۱</sup> و شاخص روایی محتوایی<sup>۲</sup> استفاده می‌گردد.

نسبت روایی محتوایی (CVR). جهت به‌دست آوردن CVR نظرات خبرگان درباره محتوای آزمون اخذ می‌شود. پس از آشنایی آن‌ها با اهداف آزمون، از خبرگان درخواست می‌گردد تا هریک از سؤالات را در گروه‌های «ضروری است»، «مفید است ولی ضروری نیست» و «ضرورتی ندارد» دسته‌بندی کنند.

بر اساس تعداد خبرگانی که به ارزیابی سؤال پاسخ داده‌اند، مقدار CVR قابل قبول ویژه‌ای وجود دارد. برای تعداد ۱۰ خبره این مقدار ۰/۶۲ است و سؤالات با مقدار CVR کمتر، باید از پرسشنامه حذف گردند [۱۵]. در این پژوهش، پیش از توزیع پرسشنامه، ارزیابی سؤالات به کمک ۱۰ خبره انجام شد و نسبت روایی محتوایی سؤالات تأیید گردید.

شاخص روایی محتوایی (CVI): جهت بررسی شاخص روایی محتوا بدین صورت عمل می‌گردد که خبرگان هر سؤال را از دیدگاه مرتبط بودن به گروه‌های (۱ نامربوط ۲) نیاز به بازبینی اساسی (۳) تاحدی مرتبط و (۴) کاملاً مرتبط تقسیم‌بندی می‌کنند. کمترین مقدار قابل قبول برای شاخص CVI برابر با ۰/۷۹ است و اگر شاخص CVI پرسشی کمتر از ۰/۷۹ باشد، آن پرسش باید حذف گردد [۱۵]. در این پژوهش، به کمک ۱۰ خبره، شاخص روایی محتوا برای هر یک از سؤالات پرسشنامه بررسی شد و هر سؤال از نظر شاخص روایی محتوایی تأیید گردید.

**پایایی.** در این پژوهش جهت بررسی پایایی پرسشنامه از روش ضریب آلفای کرونباخ استفاده شده است. با توجه به این که پرسشنامه به صورت طیف لیکرت طراحی شده و در واقع از نوع نگرش سنج است، مناسب‌ترین روش برای محاسبه اعتبار، ضریب آلفای کرونباخ است. اگر ضریب آلفای کرونباخ بالاتر از ۰/۷ باشد، پرسشنامه از نظر پایایی مورد تأیید قرار می‌گیرد [۹]. برای سنجش پایایی تعداد ۱۰ پرسشنامه در میان خبرگان مربوطه توزیع و ضریب آلفای کرونباخ محاسبه می‌شود. ضریب آلفای کرونباخ ۰/۸۷ است و این نشان‌دهنده تأیید شدن پایایی پرسشنامه است.

### عوامل داخلی و عوامل خارجی

تحلیل نقاط قوت، ضعف، فرصت و تهدید، بستری برای ارزیابی شرایط و ارائه طرح راهبردی است. این تحلیل، عوامل داخلی (ضعف‌ها، قوت‌ها) و عوامل خارجی (فرصت‌ها و تهدیدها) را شناسایی می‌کند؛ همچنین در ارزیابی پتانسیل کنونی و آینده نیز مؤثر است [۱، ۱۴]. نقاط قوت، ضعف، تهدید و فرصت با استفاده از منابعی نظیر [۲-۳، ۵-۷، ۲۰، ۲۴-۲۵] استخراج می‌گردند. برای به‌دست آوردن ماتریس ارزیابی عوامل داخلی و خارجی<sup>۳</sup>، پرسشنامه تعیین وزن و درجه اهمیت نقاط قوت، ضعف، فرصت و تهدید به خبرگان ارائه شده و ضریب وزنی هر عامل به‌دست می‌آید [۳۱]. جامعه آماری خبرگان پاسخگو، همان ۴۰ خبره پرسشنامه قبل است.

لازم به ذکر است که در این قسمت نیز، روایی پرسشنامه توسط ۱۰ تن از خبرگان مورد تأیید قرار گرفته است. شاخص آلفای کرونباخ نیز مقدار ۰/۸۳ به‌دست آمده است که نشان‌گر پایایی قابل قبول پرسشنامه است.

با استفاده از نظر خبرگان درباره وزن عوامل داخلی و خارجی، موقعیت علوم و فناوری‌های مغزی در تحلیل SWOT مشخص می‌شود و سپس به‌وسیله مقایسه زوجی بین راهبردها و همچنین ماتریس برنامه‌ریزی راهبردی کمی، که با نظر خبرگان صورت می‌پذیرند، راهبردهای منتخب معرفی خواهند شد.

<sup>1</sup> Content Validity Ratio(CVR)

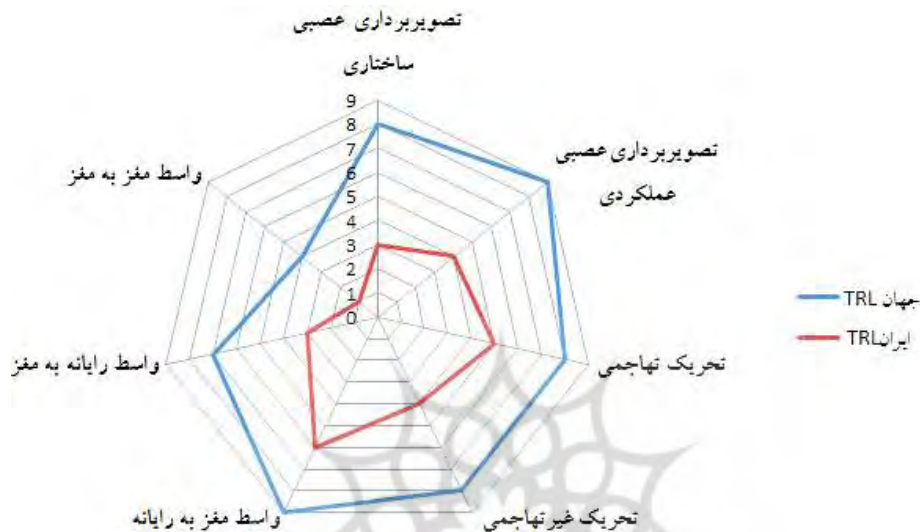
<sup>2</sup> Content Validity Index(CVI)

<sup>3</sup> IFE & EFE matrix



#### ۴. تحلیل داده‌ها و یافته‌ها

سطح آمادگی فناوری برای هر ۷ شاخه اصلی فناوری‌های مغز شامل تصویربرداری عصبی ساختاری، تصویربرداری عصبی عملکردی، تحریک تهاجمی، تحریک غیرتهاجمی، واسط مغز به رایانه، واسط رایانه به مغز و واسط مغز به مغز در جهان و ایران تعیین می‌گردد. در شکل ۵ نمودار عنکبوتی نتایج تعیین سطوح آمادگی فناوری ترسیم شده است.



شکل ۵. نمودار عنکبوتی سطوح آمادگی فناوری برای شاخه‌های فناوری‌های مغزی در جهان و ایران

#### عوامل داخلی

عوامل داخلی به نقاط قوت و ضعف که از درون سیستم ناشی می‌شوند، اشاره دارند. وزن‌دهی به عوامل داخلی توسط نظر خبرگان صورت می‌پذیرد و امتیاز وزنی نیز از ضرب وزن در درجه اهمیت به دست می‌آید. درجه اهمیت به صورت زیر به عوامل داخلی نسبت داده می‌شود: قوت شدید: ۴، قوت ضعیف: ۳، ضعف ضعیف: ۲، ضعف شدید: ۱. نتایج مربوط به وزن‌دهی به عوامل داخلی در جدول ۲ ذکر شده است.

جدول ۲. ضریب عوامل داخلی در تحلیل SWOT

| ردیف       | قوت‌ها و ضعف‌ها   | وزن درصد | درجه | امتیاز وزنی |
|------------|---|----------|------|-------------|
| <b>قوت</b> |   |          |      |             |
| S1         | درمان بیماری‌های مغزی (صرع؛ پارکینسون، افسردگی و...) با استفاده از روش‌های تحریک فراجمله‌ای که عوارض جانبی کمتری نسبت به روش‌های دارویی و یا درون جمجمه‌ای دارند.   | ۷/۴      | ۴    | ۲۹/۶        |
| S2         | آشنایی نوجوانان با حوزه علوم مغزی با برگزاری آزمون‌هایی نظیر Brainbee و ایجاد امکانات جهت آشنایی عموم مردم با مغز (نظیر پردیس مغز من)   | ۶/۹      | ۳    | ۲۰/۷        |
| S3         | وجود دپارتمان و کلینیک تخصصی حافظه در کشور  | ۷/۳      | ۴    | ۲۹/۲        |
| S4         | کشف و به دست آوردن اطلاعات جدید در رابطه با مغز و عملکرد پیچیده آن در پی پیشرفت‌های عظیم در حوزه تصویربرداری عصبی و استفاده عصب‌شناسان از مناسب‌ترین روش‌های تصویربرداری و تحریک مغزی (با توجه به موضوع و شرایط بیمار) برای کاربردهای پژوهشی و بالینی | ۶/۲      | ۳    | ۱۸/۶        |

| ردیف          | قوت‌ها و ضعف‌ها   | وزن درصد | درجه | امتیاز وزنی |
|---------------|---|----------|------|-------------|
| S5            | تسهیل شرایط زندگی برای افراد ناتوان عصبی با استفاده از واسط‌های مغزی  | ۶/۷      | ۴    | ۲۶/۸        |
| S6            | جایگاه اول در منطقه در حوزه علوم شناختی   | ۶        | ۳    | ۱۸          |
| <b>ضعف</b>    |   |          |      |             |
| W1            | هزینه بسیار زیاد ساخت دستگاه‌های تصویربرداری عصبی   | ۶/۶      | ۲    | ۱۳/۲        |
| W2            | وجود عوارض جانبی در روش‌های تحریک عمقی مغز که می‌تواند مانا و پایدار باشند  | ۷/۵      | ۱    | ۷/۵         |
| W3            | فقدان توجه کافی به حوزه امنیت سایبری و اطلاعات عصبی - پزشکی   | ۶/۳      | ۱    | ۶/۳         |
| W4            | فراهم نکردن بستر لازم برای علوم بین رشته‌ای مرتبط با مغز در بسیاری از دانشگاه‌های کشور (به‌ویژه در شهرستان‌ها)  | ۶/۲      | ۲    | ۱۲/۴        |
| W5            | فقدان تعریف یک راهبرد بومی برای پیشبرد علوم شناختی  | ۶/۱      | ۲    | ۱۲/۲        |
| W6            | جایگاه ۲۷ در جهان در حوزه علوم شناختی و نیز نادیده گرفتن و همکاری نکردن با برخی کشورهای اصلی و پیش‌رو در زیرمجموعه علوم مرتبط با مغز که امکان همکاری و پژوهش‌های مشترک وجود دارد (نظیر چین و روسیه) | ۶/۲      | ۲    | ۱۲/۴        |
| W7            | کمیود شرکت‌های دانش‌بنیان در این حوزه که می‌توانند نقش اساسی را در تأمین قطعات تحریم شده ایفا کنند.   | ۷/۴      | ۱    | ۷/۴         |
| W8            | فقدان وجود استاندارد واحد و جهانی برای محصولات مرتبط با واسط‌های مغزی   | ۵/۳      | ۲    | ۱۰/۶        |
| W10           | فقدان توجه به سالمند شدن کشور و رو به رو شدن با موج بیماری‌هایی نظیر آلزایمر، پارکینسون و...  | ۷/۹      | ۱    | ۷/۹         |
|               |   | ۱۰۰      |      |             |
| <b>جمع</b>    |   |          |      |             |
| <b>امتیاز</b> |   | ۲/۳۲۸    |      |             |

**عوامل خارجی.** عوامل خارجی به نقاط فرصت و تهدید که از محیط خارجی ناشی می‌شوند، دلالت دارند. ضریب عوامل خارجی با استفاده از نظر خبرگان به‌دست می‌آید و امتیاز وزنی نیز از ضرب وزن در درجه اهمیت حاصل می‌شود. تعریف درجه اهمیت در عوامل خارجی به شرح زیر است:

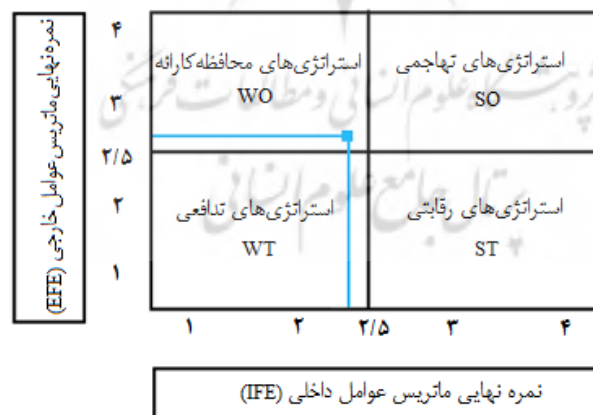
فرصت قوی: ۴؛ فرصت ضعیف: ۳؛ تهدید ضعیف: ۲؛ تهدید قوی: ۱. ضرایب مربوط به عوامل خارجی در جدول ۳ ذکر شده است.

جدول ۳. ضریب عوامل خارجی در تحلیل SWOT

| فرصت‌ها و تهدیدها | وزن %   | درجه | امتیاز وزنی |      |
|-------------------|---|------|-------------|------|
| <b>فرصت</b>       |   |      |             |      |
| O1                | همکاری مشترک دانشگاه‌های کشور با دانشگاه‌های برتر جهان (در صورتی که امکان آن فراهم باشد) و نیز ایجاد همکاری میان دانشگاه‌های شهرستان و تهران با ایجاد چند مرکز اصلی مرتبط با علوم مغزی (علاوه بر تهران) | ۷/۵  | ۴           | ۳۰   |
| O2                | جذب دانشجویان علاقه‌مند و مستعد از انواع رشته‌ها (از پزشکی و فیزیولوژی تا مهندسی برق و مهندسی بافت) به این دانش بین رشته‌ای در مقاطع تحصیلات تکمیلی   | ۷/۱  | ۳           | ۲۱/۳ |
| O3                | استفاده از ظرفیت شرکت‌های دانش‌بنیان برای توسعه و نیز تولید محصولات داخلی با کیفیت در حوزه‌های تصویربرداری و تحریک مغزی برای بازارهای کشورهای متقاضی  | ۷/۷  | ۴           | ۳۰/۸ |
| O4                | ایجاد اطمینان در کاربران برای امکان ثبت داده مغزی بدون عارضه و جلب بازار و به-دنبال آن استفاده از واسط‌ها در کاربردهای تسهیلی و سرگرمی (صنعت بازی)  | ۷/۱  | ۳           | ۲۱/۳ |
| O5                | الکترودهای هوشمند پوشیدنی و منعطف که امکان ثبت را برای هر فرد به راحتی فراهم می‌سازد  | ۶/۹  | ۳           | ۲۰/۷ |
| O6                | واسط‌های مغزی ابری و استفاده از اینترنت اشیا در این حوزه  | ۶/۸  | ۴           | ۲۷/۲ |

| امتیاز وزنی  | درجه | وزن % | فرصت‌ها و تهدیدها   |
|--------------|------|-------|---|
| ۲۱/۳         | ۳    | ۷/۱   | هدایت و کنترل مغز حیوانات با استفاده از روش‌های تحریک مغزی  |
| ۲۸/۸         | ۴    | ۷/۲   | انتقال افکار و نیز احساسات و مواردی همچون گرسنگی بین انسان‌ها (واسط مغز به مغز انسان) و حیوانات (واسط مغز به مغز انسان-حیوان)                       |
| <b>تهدید</b> |      |       |   |
| ۱۳           | ۲    | ۶/۵   | امکان از دست رفتن جایگاه و برتری علمی منطقه‌ای (در رقابت با ترکیه و کشورهای حوزه خلیج فارس با توجه به فعالیت‌هایشان در این وادی در طی سال‌های اخیر) |
| ۱۲/۸         | ۲    | ۶/۴   | حمله سایبری به پایگاه‌های داده و یا رابط‌های رایانه‌ای مربوط به واسط‌های مغز و رایانه   |
| ۱۴/۲         | ۲    | ۷/۱   | وجود تعداد قابل توجهی از شرکت‌های فعال و پیشرو در حوزه واسط‌های مغزی در ایالات متحده و رژیم صهیونیستی   |
| ۷/۳          | ۱    | ۷/۳   | خوانش ذهن و شست‌وشوی مغزی توسط نیروهای مهاجم و رقیب که می‌تواند از نظر دفاعی امنیتی آسیب‌پذیری بسیاری ایجاد کند.                                    |
| ۷/۴          | ۱    | ۷/۴   | فرار مغزها و به کار گرفتن دانشمندان ایرانی در حوزه مغزی توسط کشورهای دیگر   |
| ۷/۹          | ۱    | ۷/۹   | تحریم قطعات مورد نیاز دستگاه‌های تصویربرداری عصبی، تحریک مغزی و واسط‌ها توسط کشورهای متخاصم   |
|              |      | ۱۰۰   | <b>جمع</b>  |
| ۲/۶۴         |      |       | <b>امتیاز</b>   |

**راهبردها.** امتیازهای نهایی به‌دست آمده برای عوامل داخلی و عوامل خارجی مشخص‌کننده وضعیت موجود خواهد بود. اگر امتیازها برای عوامل خارجی از مقدار ۲/۵ بزرگ‌تر باشد، حاکی از برتری نقاط فرصت به نقاط تهدید است و بالعکس. در عوامل داخلی نیز امتیاز نهایی بالاتر از ۲/۵ به غلبه نقاط قوت به نقاط ضعف دلالت دارد. با توجه به امتیازهای به‌دست آمده (عوامل داخلی ۲/۳۳ و عوامل خارجی ۲/۶۴) علوم و فناوری‌های مرتبط با مغز در کشور، در موقعیت راهبردی فرصت-ضعف قرار می‌گیرد (شکل ۶).



شکل ۶. موقعیت راهبردی علوم و فناوری‌های مغز در کشور

از این‌رو، راهبردهای محافظه‌کارانه (فرصت-ضعف) می‌توانند در این موقعیت مفید واقع گردند. در این نوع راهبرد، هدف بهبود ضعف‌ها یا برطرف کردن آن‌ها با استفاده از فرصت‌های محیطی است. با شناخت نقاط ضعف و فرصت، راهبردهای محافظه‌کارانه به‌صورت ذیل، تعریف می‌شوند.

۱. استفاده از ظرفیت شرکت‌های دانش‌بنیان برای ساخت قطعات مربوط به تجهیزات تصویربرداری

- پزشکی با قیمت تمام شده بسیار کمتر نسبت به محصولات وارداتی و یا تحریم شده
۲. همکاری با دانشگاه‌های مطرح جهان جهت استفاده از جدیدترین روش‌های تصویربرداری عصبی نظیر Clarity و BrainBow
  ۳. تدوین برنامه جهت بالا بردن سطح دانشگاه‌های شهرستان‌ها در حوزه‌های علوم مغزی با همکاری دانشگاه‌های مادر و پیش‌رو کشور
  ۴. تعریف یک راهبرد بومی در حوزه علوم مغزی و شناختی با همکاری پژوهشکده علوم شناختی و دانشگاه‌های برتر کشور
  ۵. امکان سنجی استفاده از اینترنت اشیا جهت انتقال اطلاعات مربوط به داده‌های مغزی
  ۶. دعوت و استفاده از پتانسیل نخبگان و فارغ‌التحصیلان رشته‌ها و گرایش‌های مختلف مرتبط با علوم مغزی در خارج از کشور برای برگزاری کارگاه‌ها، همایش‌ها و استارت‌آپ
  ۷. تبادل دانشجو با دانشگاه‌های مطرح در این حوزه و ایجاد فرصت‌های پژوهشی مشترک برای آشنایی دانشجویان داخلی با جدیدترین رویکردها و انتقال آن به کشور (علی‌الخصوص همکاری مشترک با دانشگاه‌های برتر چین و روسیه)
  ۸. برقراری پروتکل‌های امنیتی و سیستم‌های ضد هک برای دستگاه‌های واسط‌های مغزی جهت جلوگیری از سواستفاده سایبری
  ۹. برنامه‌ریزی و اقدامات لازم در برابر موج فراموشی (به دلیل افزایش جمعیت سالمندان کشور) توسط کلینیک تخصصی حافظه
  ۱۰. بررسی به‌کارگیری روش‌های نسبتاً بهینه برای ثبت داده مغزی که با تحلیل‌های ریاضی و آماری مناسب حاوی اطلاعات مفیدی برای تشخیص بیماری‌های مغزی هستند. (نظیر تحلیل سیگنال‌های الکتروانسفالوگرام و شبکه‌های عصبی مغز)

پس از آن‌که با توجه به جایگاه راهبردی سیستم، نوع راهبردها مشخص گردید، باید اولویت‌بندی آن‌ها صورت بپذیرد. در این راستا، ابتدا مقایسه زوجی بین راهبردهای محافظه‌کارانه با نظر خبرگان و با روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی<sup>۱</sup> به‌وسیله نرم‌افزار سوپردسیژن انجام می‌شود تا از بین ۱۰ راهبرد محافظه‌کارانه ۵ راهبرد برتر انتخاب گردند. در شکل ۷ خروجی مربوط به مقایسات زوجی و فضای نرم‌افزار سوپردسیژن نشان داده شده است. نرخ ناسازگاری ۰/۰۱۸ است که مطلوب بودن مقایسه را نشان می‌دهد.

<sup>1</sup> Analytic hierarchy process



شکل ۷. خروجی مربوط به اولویت‌بندی راهبردها در نرم‌افزار سوپر دسترن

در ادامه، برای ارزیابی بهتر، راهبردهای انتخاب شده توسط مقایسات زوجی، وارد ماتریس برنامه‌ریزی راهبردی کمی می‌شوند. در این ماتریس با استفاده از نظر خبرگان به راهبردهای مذکور، با توجه به مؤلفه‌های قدرت، ضعف، فرصت، تهدید، نمره جذابیت تعلق می‌گیرد و راهبردها از این طریق رتبه‌بندی می‌شوند (جدول ۴).

جدول ۴. ماتریس برنامه‌ریزی راهبردی کمی

| WO <sub>10</sub> |        | WO <sub>9</sub> |        | WO <sub>7</sub> |        | WO <sub>6</sub> |        | WO <sub>1</sub> |        | وزن    | عوامل          |
|------------------|--------|-----------------|--------|-----------------|--------|-----------------|--------|-----------------|--------|--------|----------------|
| نمره             | جذابیت | نمره            | جذابیت | نمره            | جذابیت | نمره            | جذابیت | نمره            | جذابیت |        |                |
| +۰.۷۴            | ۲      | -۰.۱۴۸          | ۴      | -۰.۷۴           | ۲      | -۰.۷۴           | ۲      | -۰.۱۴۸          | ۴      | -۰.۳۷  | S <sub>1</sub> |
| +۰.۳۴۵           | ۱      | -۰.۳۴۵          | ۱      | -۰.۳۴۵          | ۱      | -۰.۰۶۹          | ۲      | -۰.۳۴۵          | ۱      | -۰.۳۴۵ | S <sub>2</sub> |
| +۰.۱۰۹۵          | ۳      | -۰.۱۴۶          | ۴      | -۰.۷۳           | ۲      | -۰.۷۳           | ۲      | -۰.۱۰۹۵         | ۳      | -۰.۳۶۵ | S <sub>3</sub> |
| +۰.۰۹۳           | ۳      | -۰.۱۲۴          | ۴      | -۰.۰۹۳          | ۳      | -۰.۰۶۲          | ۲      | -۰.۰۹۳          | ۳      | -۰.۳۱  | S <sub>4</sub> |
| +۰.۳۳۵           | ۱      | -۰.۳۳۵          | ۱      | -۰.۰۶۷          | ۲      | -۰.۳۳۵          | ۱      | -۰.۱۳۴          | ۴      | -۰.۳۳۵ | S <sub>5</sub> |
| +۰.۰۳            | ۱      | -۰.۰۳           | ۱      | -۰.۰۹           | ۳      | -۰.۰۶           | ۲      | -۰.۰۳           | ۱      | -۰.۰۳  | S <sub>6</sub> |
| +۰.۱۳۲           | ۴      | -۰.۰۹۹          | ۳      | -۰.۳۳           | ۱      | -۰.۳۳           | ۱      | -۰.۱۳۲          | ۴      | -۰.۳۳  | W <sub>1</sub> |
| +۰.۳۷۵           | ۱      | -۰.۳۷۵          | ۱      | -۰.۳۷۵          | ۱      | -۰.۳۷۵          | ۱      | -۰.۳۷۵          | ۱      | -۰.۳۷۵ | W <sub>2</sub> |
| +۰.۳۱۵           | ۱      | -۰.۳۱۵          | ۱      | -۰.۰۶۳          | ۲      | -۰.۰۶۳          | ۲      | -۰.۰۶۳          | ۲      | -۰.۳۱۵ | W <sub>3</sub> |
| +۰.۱۲۴           | ۴      | -۰.۳۱           | ۱      | -۰.۰۹۳          | ۳      | -۰.۳۱           | ۱      | -۰.۳۱           | ۱      | -۰.۳۱  | W <sub>4</sub> |
| +۰.۰۹۱۵          | ۳      | -۰.۳۰۵          | ۱      | -۰.۰۶۱          | ۲      | -۰.۳۰۵          | ۱      | -۰.۳۰۵          | ۱      | -۰.۳۰۵ | W <sub>5</sub> |
| +۰.۰۹۳           | ۳      | -۰.۰۶۲          | ۲      | -۰.۰۹۳          | ۳      | -۰.۱۲۴          | ۴      | -۰.۰۹۳          | ۳      | -۰.۳۱  | W <sub>6</sub> |
| +۰.۰۳۷           | ۱      | -۰.۳۷           | ۱      | -۰.۰۷۴          | ۲      | -۰.۱۱۱          | ۳      | -۰.۱۴۸          | ۴      | -۰.۳۷  | W <sub>7</sub> |
| +۰.۰۵۳           | ۲      | -۰.۲۶۵          | ۱      | -۰.۲۶۵          | ۱      | -۰.۲۶۵          | ۱      | -۰.۲۶۵          | ۱      | -۰.۲۶۵ | W <sub>8</sub> |
| +۰.۰۷۹           | ۲      | -۰.۱۵۸          | ۴      | -۰.۳۹۵          | ۱      | -۰.۳۹۵          | ۱      | -۰.۰۷۹          | ۲      | -۰.۳۹۵ | W <sub>9</sub> |
| +۰.۱۱۲۵          | ۳      | -۰.۱۱۲۵         | ۳      | -۰.۱۵           | ۴      | -۰.۱۵           | ۴      | -۰.۰۷۵          | ۲      | -۰.۳۷۵ | O <sub>1</sub> |
| +۰.۱۴۲           | ۴      | -۰.۰۷۱          | ۲      | -۰.۱۴۲          | ۴      | -۰.۱۴۲          | ۴      | -۰.۰۷۱          | ۲      | -۰.۳۵۵ | O <sub>2</sub> |
| +۰.۰۷۷           | ۲      | -۰.۰۷۷          | ۲      | -۰.۰۷۷          | ۲      | -۰.۱۱۵۵         | ۳      | -۰.۱۵۴          | ۴      | -۰.۳۸۵ | O <sub>3</sub> |
| +۰.۰۷۱           | ۲      | -۰.۳۵۵          | ۱      | -۰.۳۵۵          | ۱      | -۰.۳۵۵          | ۱      | -۰.۳۵۵          | ۱      | -۰.۳۵۵ | O <sub>4</sub> |
| +۰.۱۰۳۵          | ۳      | -۰.۳۴۵          | ۱      | -۰.۳۴۵          | ۱      | -۰.۰۶۹          | ۲      | -۰.۱۰۳۵         | ۳      | -۰.۳۴۵ | O <sub>5</sub> |

| عوامل          | وزن    | WO <sub>1</sub> |        | WO <sub>6</sub> |        | WO <sub>7</sub> |        | WO <sub>9</sub> |        | WO <sub>10</sub> |        |
|----------------|--------|-----------------|--------|-----------------|--------|-----------------|--------|-----------------|--------|------------------|--------|
|                |        | نمره            | جذابیت | نمره            | جذابیت | نمره            | جذابیت | نمره            | جذابیت | نمره             | جذابیت |
| O <sub>6</sub> | ۰/۰۳۴  | ۲               | ۰/۰۶۸  | ۱               | ۰/۰۳۴  | ۲               | ۰/۰۶۸  | ۱               | ۰/۰۳۴  | ۱                | ۰/۰۳۴  |
| O <sub>7</sub> | ۰/۰۳۵۵ | ۱               | ۰/۰۳۵۵ | ۱               | ۰/۰۳۵۵ | ۲               | ۰/۰۷۱  | ۱               | ۰/۰۳۵۵ | ۱                | ۰/۰۳۵۵ |
| O <sub>8</sub> | ۰/۰۳۶  | ۱               | ۰/۰۳۶  | ۱               | ۰/۰۳۶  | ۲               | ۰/۰۷۲  | ۱               | ۰/۰۳۶  | ۲                | ۰/۰۷۲  |
| T <sub>1</sub> | ۰/۰۳۲۵ | ۳               | ۰/۰۹۷۵ | ۳               | ۰/۰۹۷۵ | ۴               | ۰/۱۳   | ۱               | ۰/۰۳۲۵ | ۱                | ۰/۰۳۲۵ |
| T <sub>2</sub> | ۰/۰۳۲  | ۱               | ۰/۰۳۲  | ۲               | ۰/۰۶۴  | ۱               | ۰/۰۳۲  | ۱               | ۰/۰۳۲  | ۱                | ۰/۰۳۲  |
| T <sub>3</sub> | ۰/۰۳۵۵ | ۳               | ۰/۱۰۶۵ | ۳               | ۰/۱۰۶۵ | ۲               | ۰/۰۷۱  | ۲               | ۰/۰۷۱  | ۱                | ۰/۰۳۵۵ |
| T <sub>4</sub> | ۰/۰۳۶۵ | ۱               | ۰/۰۳۶۵ | ۱               | ۰/۰۳۶۵ | ۱               | ۰/۰۳۶۵ | ۱               | ۰/۰۳۶۵ | ۲                | ۰/۰۷۳  |
| T <sub>5</sub> | ۰/۰۳۷  | ۲               | ۰/۰۷۴  | ۴               | ۰/۱۴۸  | ۴               | ۰/۱۴۸  | ۲               | ۰/۰۷۴  | ۲                | ۰/۰۷۴  |
| T <sub>6</sub> | ۰/۰۳۹۵ | ۴               | ۰/۱۵۸  | ۳               | ۰/۱۱۸۵ | ۲               | ۰/۰۷۹  | ۳               | ۰/۱۱۸۵ | ۴                | ۰/۱۵۸  |
| جمع            | ۱      | ۲/۲۷۲۵          | ۲/۰۵۶  | ۲/۰۹۸۵          | ۱/۸۲۹۵ | ۲/۱۰۵۵          |        |                 |        |                  |        |

راهبردهای منتخب به ترتیب اولویت شامل WO<sub>1</sub>، WO<sub>6</sub>، WO<sub>7</sub>، WO<sub>10</sub> و WO<sub>9</sub>.

### ۵. نتیجه‌گیری و پیشنهاد

تعیین سطوح آمادگی فناوری در مشخص شدن جایگاه و وضعیت کشورمان در حوزه فناوری‌های عصبی نقش اساسی ایفا می‌کند. ارزیابی شاخه‌های اصلی فناوری‌های عصبی در کشورمان حاکی از آن است که ایران در زیرمجموعه‌های واسط‌های مغز به رایانه (سطح آمادگی فناوری ۶)، تحریک تهاجمی مغز (سطح آمادگی فناوری ۵) و تصویربرداری عصبی عملکردی (سطح آمادگی فناوری ۴) در وضعیت نسبتاً مطلوبی قرار دارد؛ اما در حوزه‌های واسط مغز به مغز (سطح آمادگی فناوری ۱)، واسط رایانه به مغز (سطح آمادگی فناوری ۳) و تصویربرداری عصبی ساختاری (سطح آمادگی فناوری ۳) نیازمند تلاش بیشتری است.

در حالت کلی، به دلیل این‌که حوزه فناوری‌های عصبی در کشور نوپا است و اکثر زیرساخت‌های مورد نیاز آن در مراحل ابتدایی قرار دارد، سطوح آمادگی فناوری در شاخه‌های آن به بلوغ نرسیده است. از این‌رو، کشورمان نیازمند ارائه یک برنامه دقیق و مدون و سرمایه‌گذاری هدفمند در این حوزه است تا با استفاده از ظرفیت‌هایی نظیر جذب نخبگان خارج از کشور و فراهم آوردن زمینه کار پژوهشی مشترک با کشورهای پیشرو، موجب بلوغ سطوح فناوری در زیرمجموعه‌های مربوطه گردد.

نتایج حاصل از تحلیل SWOT نشان داد که فرصت‌ها و ضعف‌ها بر قوت‌ها و تهدیدها غلبه دارد و از این‌رو، کشورمان در این حوزه در جایگاه راهبردی محافظه‌کارانه قرار گرفته است. بنابراین باید با استفاده از فرصت‌ها و در نظر گرفتن ضعف‌ها، شرایط موجود را بهبود بخشید. راهبردهای پیشنهادی و منتخب برای این امر به ترتیب اولویت به شرح زیر است:

(۱) WO<sub>1</sub>: استفاده از ظرفیت شرکت‌های دانش‌بنیان برای ساخت قطعات مربوط به تجهیزات تصویربرداری

پزشکی با قیمت تمام شده بسیار کمتر نسبت به محصولات وارداتی و یا تحریم شده. امتیاز ۲/۲۷۲۵

(۲) WO<sub>10</sub>: بررسی به‌کارگیری روش‌های نسبتاً بهینه برای ثبت داده مغزی که با تحلیل‌های ریاضی و آماری

مناسب حاوی اطلاعات مفیدی برای تشخیص بیماری‌های مغزی هستند. (نظیر تحلیل سیگنال‌های

الکتروانسفالوگرام و شبکه‌های عصبی مغز). امتیاز ۲/۱۰۵۵

(۳) WO<sub>7</sub>: تبادل دانشجو با دانشگاه‌های مطرح در این حوزه و ایجاد فرصت‌های پژوهشی مشترک برای

آشنایی دانشجویان داخلی با جدیدترین رویکردها و انتقال آن به کشور (به‌ویژه همکاری مشترک با

دانشگاه‌های برتر چین و روسیه). امتیاز ۲/۰۹۸۵

- (۴) WO<sub>6</sub>: دعوت و استفاده از پتانسیل نخبگان و فارغ التحصیلان رشته‌ها و گرایش‌های مختلف مرتبط با علوم مغزی در خارج از کشور برای برگزاری کارگاه‌ها، همایش‌ها و استارت‌آپ. امتیاز ۲/۰۵۶
- (۵) WO<sub>9</sub>: برنامه‌ریزی و اقدامات لازم در برابر موج آرزایمر توسط کلینیک تخصصی حافظه. امتیاز ۱/۸۲۹۵

در نهایت لازم به یادآوری است که یکی از دلایل اصلی ضعف کشورمان در این حوزه وابستگی موضوعات این مجموعه به سخت‌افزارهای جدید و پیشرفته نظیر ابر رایانه‌ها و پردازش‌گرهای قوی و سریع است؛ از این رو، باید توسعه زیرساخت‌ها در حوزه فناوری‌های عصبی و رایانه‌ای به صورت ویژه مدنظر قرار بگیرد. با رویکرد جدی به بومی‌سازی این دانش در کشور و تدوین راهبردهای بلندمدت، امید است که کشورمان در حوزه علوم و فناوری‌های مرتبط با مغز به یکی از قطب‌های علمی و فناوری تبدیل شده و جایگاه والایی را که شایسته‌ی آن است، کسب کند.



## منابع

1. Abdel-Basset, M., Mohamed, M., & Smarandache, F. (2018). An extension of neutrosophic AHP-SWOT analysis for strategic planning and decision-making. *Symmetry*, 10(4), 116.
2. Bahman, S., & Shamsollahi, M. B. (2019). Robot Control Using an Inexpensive P300 Based BCI. Paper presented at the 2019 26th National and 4th International Iranian Conference on Biomedical Engineering (ICBME).
3. Bidaki, R., Mirhosseini, H., Moosavipoor, S. A., & Mirhosseini, S. (2016). Effects of cranial electro stimulation (ces) on modulated brain waves. *Journal of Advance Research in Pharmacy & Biological Science (ISSN: 2208-2360)*, 2(4), 85-81.
4. Boly, M., Gosseries, O., Massimini, M., & Rosanova, M. (2016). Functional neuroimaging techniques. In *The Neurology of Consciousness*, 31-47.
5. Casson, A. J. (2019). Wearable EEG and beyond. *Biomedical engineering letters*, 9(1), 53-71.
6. Chai, R., Naik, G. R., Ling, S. H., & Nguyen, H. T. (2017). Hybrid brain-computer interface for biomedical cyber-physical system application using wireless embedded EEG systems. *Biomedical engineering online*, 16(1), 5.
7. Coogan, C. G., & He, B. (2018). Brain-computer interface control in a virtual reality environment and applications for the internet of things. *IEEE Access*, 6, 10840-10849.
8. Cooper, D. R., Schindler, P. S., & Sun, J. (2006). *Business research methods*, 9, McGraw-Hill Irwin New York.
9. Datascience site. (2019). Retrieved from <https://www.statisticshowto.datasciencecentral.com/cronbachs-alpha-spss/>
10. Dayan, P., & Abbott, L. (2003). Theoretical neuroscience: computational and mathematical modeling of neural systems. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 15(1), 154-155.
11. Eaton, M. L., & Illes, J. (2007). Commercializing cognitive neurotechnology—the ethical terrain. *Nature biotechnology*, 25(4), 393.
12. Gaugler, J., James, B., Johnson, T., Marin, A., & Weuve, J. (2019). Alzheimer's disease facts and figures. *Alzheimers & Dementia*, 15(3), 321-387.
13. Goering, S., & Yuste, R. (2016). On the necessity of ethical guidelines for novel neurotechnologies. *Cell*, 167(4), 882-885.
14. Gürel, E., & Tat, M. (2017). SWOT analysis: a theoretical review. *Journal of International Social Research*, 10(51).
15. Hosseini, Z., Ghorbani, Z., & Ebn Ahmady, A. (2015). Face and content validity and reliability assessment of change cycle questionnaire in smokers. *Journal of Mashhad Dental School*, 39(2), 147-154.
16. Ienca, M., & Andorno, R. (2017). Towards new human rights in the age of neuroscience and neurotechnology. *Life sciences, society and policy*, 13(1), 5.
17. Man, D., & Olchawa, R. (2018). *Brain Biophysics: Perception, Consciousness, Creativity*. *Brain Computer Interface (BCI)*. Paper presented at the International Scientific Conference BCI 2018 Opole.
18. Mankins, J. C. (1995). Technology readiness levels. *White Paper*, April, 6, 1995 .
19. Nguyen, J.-P., Nizard, J., Keravel, Y., & Lefaucheur, J.-P. (2011). Invasive brain stimulation for the treatment of neuropathic pain. *Nature Reviews Neurology*, 7(12), 699.
20. Panahi, R., Soor, B., Hashemin Nasab, Z., & Qaderpoor, E. (2018). *Quarterly Journal of Cognition and Brain*, 6, 14-17. Retrieved from [www.cogc.ir](http://www.cogc.ir)



21. Paulus, W. (2011). Transcranial electrical stimulation (tES-tDCS; tRNS, tACS) methods *Neuropsychological rehabilitation*, 21(5), 602-617.
22. Ramadan, R. A., & Vasilakos, A. V. (2017). Brain computer interface: control signals review. *Neurocomputing*, 223, 26-44.
23. Roelfsema, P. R., Denys, D., & Klink, P. C. (2018). Mind reading and writing: The future of neurotechnology. *Trends in cognitive sciences*, 22(7), 598-610.
24. Sheykhi, M. T. (2017). Aging and the Consequent Alzheimer's Disease in Iran: An Outlook. of 6. of, 6, 2.
25. Siar, H., & Teshnehlab, M. (2019). *Diagnosing and Classification Tumors and MS Simultaneous of Magnetic Resonance Images Using Convolution Neural Network*. Paper presented at the 2019 7th Iranian Joint Congress on Fuzzy and Intelligent Systems (CFIS).
26. Slaby, J., & Choudhury, S. (2018). Proposal for a critical neuroscience. In *The Palgrave handbook of biology and society*, 341-370, Springer.
27. Snowball, A., Tachtsidis, I., Popescu, T., Thompson, J., Delazer, M., Zamarian, L., & Kadosh, R. C. (2013). Long-term enhancement of brain function and cognition using cognitive training and brain stimulation. *Current Biology*, 23(11), 987-992.
28. Sumner, P. J., Bell, I. H., & Rossell, S. L. (2018). A systematic review of the structural neuroimaging correlates of thought disorder. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 84, 299-315.
29. Tomaschek, K., Olechowski, A., Eppinger, S., & Joglekar, N. (2016). *A Survey of Technology Readiness Level Users*. Paper presented at the INCOSE International Symposium.
30. Yoo, S.-S., Kim, H., Filandrianos, E., Taghados, S. J., & Park, S. (2013). Non-invasive brain-to-brain interface (BBI): establishing functional links between two brains. *PloS one*, 8(4), e60410.
31. Zulkarnain, A., Wahyuningtias, D., & Putranto, T. (2018). *Analysis of IFE, EFE and QSPM matrix on business development strategy*. Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.