فصلنامه علمی - پژوهشی فرماندهی و کنترل، سال دهم، شماره دو، تابستان ۱۴۰۵

طراحی چارچوب مفهومی ادغام هوش مصنوعی توضیح‌پذیر در سامانه‌های فرماندهی و کنترل شناختی: یک چارچوب انسان‌محور مبتنی بر چرخه DOODA

امین امینی*[1]، محسن نورزوی[2]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۴/۰۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۷/۱۳

چکیده

با افزایش پیچیدگی محیط‌های عملیاتی و گسترش کاربرد هوش مصنوعی در سامانه‌های فرماندهی و کنترل، ارتقای شفافیت، قابلیت اعتماد و هم‌راستایی شناختی میان انسان و سامانه‌های هوشمند به یکی از چالش‌های اساسی تبدیل شده است. اگرچه هوش مصنوعی توضیح‌پذیر (XAI) ظرفیت قابل‌توجهی برای افزایش شفافیت تصمیم‌گیری دارد، تاکنون چارچوبی یکپارچه و مبتنی بر شواهد تجربی برای ادغام آن در سامانه‌های فرماندهی و کنترل شناختی ارائه نشده است. هدف این پژوهش، توسعه یک چارچوب مفهومی برای یکپارچه‌سازی قابلیت‌های XAI در سامانه‌های فرماندهی و کنترل شناختی مبتنی بر چرخه DOODA است. این پژوهش با رویکرد کیفی و روش تحلیل تماتیک انجام شد. داده‌ها از طریق مصاحبه‌های نیمه‌ساختاریافته و جلسات بارش فکری ساختاریافته با گروهی از خبرگان حوزه‌های فرماندهی و کنترل، هوش مصنوعی، علوم شناختی و سامانه‌های تصمیم‌یار گردآوری و مطابق رویکرد براون و کلارک تحلیل شدند. اعتبار یافته‌ها نیز بر اساس معیارهای لینکلن و گوبا ارزیابی شد. یافته‌های پژوهش نشان داد که ادغام XAI در سامانه‌های فرماندهی و کنترل شناختی بر پنج مضمون اصلی استوار است: معناسازی وضعیت، برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری، اجرای عملیات، توضیح‌پذیری شناختی و امکان‌پذیری استقرار. این مضامین، مجموعه‌ای از مؤلفه‌های عملیاتی، شناختی و فناورانه را در بر می‌گیرند که از طریق نگاشت بر مراحل چرخه شناختی DOODA، چارچوب مفهومی نهایی پژوهش را شکل می‌دهند. چارچوب توسعه‌یافته، تعامل میان قابلیت‌های کلیدی XAI، تصمیم‌گیرنده انسانی و فرآیندهای شناختی را تبیین کرده و پیامدهایی نظیر افزایش آگاهی موقعیتی، بهبود کیفیت تصمیم‌گیری، ارتقای اعتماد، کاهش بار شناختی و افزایش اثربخشی عملیاتی را به همراه دارد. این پژوهش با ارائه یک چارچوب مفهومی مبتنی بر داده‌های تجربی، شکاف موجود میان ادبیات هوش مصنوعی توضیح‌پذیر و سامانه‌های فرماندهی و کنترل شناختی را کاهش داده و می‌تواند مبنایی برای طراحی، توسعه و ارزیابی نسل آینده سامانه‌های تصمیم‌یار هوشمند در محیط‌های پیچیده و پویا فراهم آورد..

واژگان کلیدی: پشتیبانی تصمیم، چرخه DOODA، فرماندهی و کنترل شناختی، طراحی انسان‌محور، هوش مصنوعی توضیح‌پذیر.

[1]* استادیار دانشکده هوش مصنوعی و علوم شناختی، دانشگاه جامع امام حسین (ع)؛ تهران؛ ایران. aminamini@ihu.ac.ir

[2] پژوهشگر و مدرس هوش مصنوعی و رباتیکز؛ دانشکده کامپیوتر؛ دانشگاه جامع امام حسین (ع)؛ تهران؛ ایران. m.norouzi@ihu.ac.ir

[Downloaded from ic4i-journal.ir on 2026-11-21]

۱. کلیات

تحولات شتابان در حوزه هوش مصنوعی[۱] طی دهه اخیر، ماهیت سامانه‌های تصمیم‌یار در محیط‌های پیچیده، پویا و با عدم قطعیت بالا را به‌طور بنیادین دگرگون کرده است [۱]. یکی از مهم‌ترین حوزه‌هایی که این تحولات تأثیر عمیق و راهبردی بر آن گذاشته‌اند، سامانه‌های فرماندهی و کنترل[۲] در سطوح تاکتیکی، عملیاتی و راهبردی است [۲]. سامانه‌های C۲ به‌عنوان ستون فقرات تصمیم‌گیری در محیط‌های چندبعدی با محدودیت زمانی، وظیفه هم‌ترازی ادراک وضعیت، تفسیر معنا، برنامه‌ریزی و اقدام هماهنگ را بر عهده دارند [۳], [٤]. با افزایش حجم داده‌ها، تنوع منابع اطلاعاتی و سرعت تغییر شرایط عملیاتی، اتکای صرف به توان شناختی انسان دیگر پاسخ‌گوی نیازهای تصمیم‌گیری مؤثر در این سامانه‌ها نیست [۵].

در این بستر، هوش مصنوعی به‌عنوان یک توانمندساز کلیدی، به‌طور فزاینده‌ای در نقش دستیار تصمیم‌گیر[۳] وارد سامانه‌های C۲ شده است [٦]. پژوهش‌های اخیر نشان می‌دهند که الگوریتم‌های یادگیری ماشین، یادگیری عمیق، استدلال مبتنی بر دانش و شبیه‌سازی‌های هوشمند می‌توانند در تولید تصویر عملیاتی مشترک، پیش‌بینی رفتار دشمن، ارزیابی مسیرهای اقدام و تسریع چرخه تصمیم‌گیری نقش مؤثری ایفا کنند [۸] ,[۷]. مفهوم ادغام انسان – هوش مصنوعی[٤] در سامانه‌های C۲ جدید، بر این ایده استوار است که عملکرد بهینه نه از جایگزینی انسان با ماشین، بلکه از هم‌افزایی میان قابلیت‌های شناختی انسان و توان پردازشی و تحلیلی هوش مصنوعی حاصل می‌شود [۹].

با وجود این ظرفیت‌ها، یکی از چالش‌های بنیادین در به‌کارگیری هوش مصنوعی در سامانه‌های فرماندهی و کنترل، مسأله اعتماد، فهم‌پذیری و مسئولیت‌پذیری تصمیم‌ها است [۱۱]. بخش عمده‌ای از سامانه‌های هوش مصنوعی پیشرفته، به‌ویژه آن‌هایی که مبتنی بر شبکه‌های عصبی عمیق هستند، به‌صورت جعبه سیاه[۵] عمل می‌کنند [۱۲]؛ به این معنا که منطق درونی تولید خروجی‌ها برای کاربران انسانی شفاف نیست. در محیط‌های فرماندهی و کنترل که تصمیم‌ها پیامدهای حیاتی، اخلاقی و راهبردی دارند، عدم امکان تفسیر و توضیح تصمیم‌های پیشنهادی توسط هوش مصنوعی می‌تواند منجر به بی‌اعتمادی، استفاده محدود یا حتی رد کامل این سامانه‌ها شود [۱۳], [۱٤].

در پاسخ به این چالش، رویکرد هوش مصنوعی توضیح‌پذیر (XAI)[٦] به‌عنوان یکی از جریان‌های نوظهور و حیاتی در پژوهش‌های هوش مصنوعی مطرح شده است. هوش مصنوعی توضیح‌پذیر بر توسعه مدل‌ها، معماری‌ها و روش‌هایی تمرکز دارد که نه‌تنها دقت عملکرد بالایی دارند، بلکه قادرند منطق، دلایل و عدم قطعیت تصمیم‌های خود را به شکلی قابل فهم برای انسان توضیح دهند [۱۵]. در حوزه سامانه‌های کنترلی و تصمیم‌یار، پژوهش‌های اخیر نشان داده‌اند که توضیح‌پذیری می‌تواند نقش کلیدی در افزایش اعتماد اپراتورها [۱٦]، بهبود تعامل انسان – ماشین [۱۷] و ارتقای کیفیت تصمیم‌گیری [۱۸] ایفا کند.

با این حال، مرور ادبیات موجود نشان می‌دهد که اغلب پژوهش‌ها در حوزه هوش مصنوعی برای C۲، تمرکز اصلی خود را بر کارایی الگوریتمی [۱۹]، سرعت پردازش [۲۰], [۲۱] و بهینه‌سازی تصمیم‌ها [۲۲] قرار داده‌اند و مسئله توضیح‌پذیری عمدتاً به‌صورت ثانویه یا افزوده‌ای پس از طراحی مدل در نظر گرفته شده است. در بسیاری از چارچوب‌های پیشنهادی، هوش مصنوعی توضیح‌پذیر به‌عنوان یک لایه توضیحی بیرونی به مدل‌های تصمیم‌یار افزوده می‌شود، نه به‌عنوان بخشی ذاتی از معماری شناختی سامانه فرماندهی و کنترل [۲۳]. این رویکرد، به‌ویژه در محیط‌های پیچیده چندعاملی و چنددامنه‌ای، محدودیت‌های جدی در انتقال معنا، توجیه تصمیم و هم‌ترازی شناختی میان انسان و ماشین ایجاد می‌کند [۲٤].

از سوی دیگر، مفهوم سامانه‌های فرماندهی و کنترل شناختی[۷] بر این ایده تأکید دارد که C۲ نه صرفاً یک فرآیند

[۱] Artificial Intelligence
[۲] Command and control – C۲
[۳] Decision-making assistant
[٤] Human–AI Integration
[۵] Black box
[٦] Explainable Artificial Intelligence: XAI
[۷] Cognitive C۲ Systems

[Downloaded from ic4i-journal.ir on 2026-11-21]

محاسباتی، بلکه یک سامانه شناختی توزیع‌شده است که شامل انسان‌ها، فناوری‌ها، رویه‌ها و بازنمایی‌های معنایی می‌شود [۲۵]. در این چارچوب، تصمیم‌گیری نتیجه تعامل مداوم میان ادراک، تفسیر، پیش‌بینی، قضاوت و اقدام است [۲۷] ,[۲۶]. بنابراین، ادغام هوش مصنوعی در چنین سامانه‌هایی مستلزم توجه هم‌زمان به جنبه‌های محاسباتی و شناختی تصمیم‌گیری است.

بر این اساس، خلأ پژوهشی مهمی در ادبیات موجود قابل شناسایی است؛ فقدان یک چارچوب منسجم که بتواند هوش مصنوعی توضیح‌پذیر را به‌صورت درون‌زاد و همسو با فرآیندهای شناختی در سامانه‌های فرماندهی و کنترل ادغام کند. بخش عمده مطالعات پیشین یا بر توسعه قابلیت‌های تحلیلی و تصمیم‌یار هوش مصنوعی در سامانه‌های C۲ تمرکز داشته‌اند [۳۰] ,[۲۹] ,[۲۸]، یا به‌صورت مستقل به توسعه روش‌های توضیح‌پذیری در سامانه‌های هوشمند پرداخته‌اند [۳۱] ,[۲٤] [۳۲]. در نتیجه، ارتباط نظام‌مند میان توضیح‌پذیری، شناخت انسانی و چرخه تصمیم‌گیری فرماندهی و کنترل کمتر مورد توجه قرار گرفته است.

با وجود افزایش مطالعات در حوزه فرماندهی و کنترل شناختی، هوش مصنوعی توضیح‌پذیر و تعامل انسان و هوش مصنوعی، بررسی نظام‌مند نحوه ادغام این حوزه‌ها در قالب یک چارچوب واحد همچنان محدود است. برای روشن‌تر شدن وضعیت دانش موجود، پژوهش‌های منتخب در جدول ۱ مقایسه شده‌اند.

جدول ۱. مقایسه پژوهش‌های منتخب در حوزه هوش مصنوعی، فرماندهی و کنترل و هوش مصنوعی توضیح‌پذیر.

مطالعه	منبع	AI در C۲	XAI	رویکرد انسان‌محور	فرماندهی و کنترل شناختی
Alberts & Hayes (۲۰۰۳)	[۳۳]	✓	✗	✗	✓
Endsley (۲۰۱۷)	[۳٤]	✓	✗	✓	✓
Gunning & Aha (۲۰۱۹)	[۳۵]	✗	✓	✓	✗
Arrieta et al. (۲۰۲۰)	[۱۵]	✗	✓	✓	✗
Wood (۲۰۲٤)	[۳٦]	✓	✓	△	✗
Tsamados et al. (۲۰۲۲)	[۳۷]	△	△	✓	✗
Ridley (۲۰۲۵)	[۳۸]	△	✓	✓	✗
Veitch & Alsos (۲۰۲۱)	[۳۹]	△	△	✓	△
McDowell et al (۲۰۲٤)	[٤۰]	✓	△	△	△
پژوهش حاضر		✓	✓	✓	✓

* ✓ پوشش مستقیم؛ △ پوشش محدود یا غیرمستقیم؛ ✗ عدم پوشش.

همان‌گونه که جدول ۱ نشان می‌دهد، پژوهش‌های موجود هر یک بخشی از ابعاد مسئله را پوشش داده‌اند، اما هیچ‌یک به‌طور همزمان چهار مؤلفه کلیدی شامل کاربرد هوش مصنوعی در فرماندهی و کنترل، هوش مصنوعی توضیح‌پذیر، طراحی انسان‌محور و فرماندهی و کنترل شناختی را در قالب یک چارچوب یکپارچه مورد توجه قرار نداده‌اند. این موضوع نشان می‌دهد که شکاف اصلی ادبیات نه در فقدان فناوری‌های هوش مصنوعی یا روش‌های توضیح‌پذیری، بلکه در نبود یک رویکرد شناخت‌محور برای ادغام این قابلیت‌ها در فرآیندهای واقعی تصمیم‌گیری فرماندهی و کنترل قرار دارد.

از منظر نظری، فرماندهی و کنترل شناختی بر این فرض استوار است که تصمیم‌گیری حاصل تعامل پویا میان مشاهده، جهت‌یابی، تصمیم و اقدام است [٤۲] ,[٤۱]. یکی از چارچوب‌های مطرح در این زمینه، چرخه DOODA[۱] است که با افزودن لایه داده و پردازش شناختی به چرخه کلاسیک OODA[۲]، امکان تبیین نقش فناوری‌های هوشمند در شکل‌گیری معنا، قضاوت و اقدام را فراهم می‌سازد [٤۰]، [٤۳]، [٤٤]. با این حال، هنوز مشخص نیست که قابلیت‌های توضیح‌پذیری چگونه باید در مراحل مختلف این چرخه تعبیه شوند تا ضمن حفظ کارایی تحلیلی سامانه‌های هوشمند، شفافیت، اعتماد و هم‌راستایی شناختی میان انسان و ماشین نیز تضمین شود.

[۱] Data–Observe–Orient–Decide–Act

[۲] Observe–Orient–Decide–Act

[Downloaded from ic4i-journal.ir on 2026-11-21]

در میان چارچوب‌های مختلف تصمیم‌گیری در فرماندهی و کنترل، چرخه OODA ارائه‌شده توسط بویـد[1] (۲۰۱۸) یکی از تأثیرگذارترین مدل‌ها برای تبیین تصمیم‌گیری در محیط‌های پویا محسوب می‌شود. با گسترش سامانه‌های داده‌محور و شناختی، نسخه‌های توسعه‌یافته این مدل نظیر DOODA مطرح شده‌اند که با افزودن مؤلفه داده و تأکید بیشتر بر پردازش شناختی، امکان تحلیل نقش فناوری‌های هوشمند در تصمیم‌گیری را فراهم می‌کنند [٤٤] ,[٤٣] ,[٤١]. از این رو، پژوهش حاضر چرخه DOODA را به‌عنوان چارچوب نظری اصلی برای بررسی طراحی چارچوب مفهومی ادغام هوش مصنوعی توضیح‌پذیر در سامانه‌های فرماندهی و کنترل شناختی برگزیده است. بر این اساس، پرسش اصلی پژوهش حاضر عبارت است از: هوش مصنوعی توضیح‌پذیر چگونه می‌تواند به‌صورت نظام‌مند در سامانه‌های فرماندهی و کنترل شناختی ادغام شود تا از تصمیم‌گیری شفاف، قابل اعتماد و اثربخش در محیط‌های پیچیده و پویا پشتیبانی کند؟

در پاسخ به این پرسش، پژوهش حاضر با بهره‌گیری از دیدگاه فرماندهی و کنترل شناختی و با اتکا به چرخه DOODA، چارچوبی انسان‌محور برای طراحی چارچوب مفهومی ادغام هوش مصنوعی توضیح‌پذیر در سامانه‌های C۲ ارائه می‌کند. در این چارچوب، توضیح‌پذیری نه به‌عنوان یک قابلیت پسینی برای توجیه خروجی‌های الگوریتمی، بلکه به‌عنوان یک اصل طراحی بنیادین در سراسر چرخه تصمیم‌گیری در نظر گرفته می‌شود.

نوآوری پژوهش حاضر در سه بعد قابل تبیین است. نخست، ارائه یک چارچوب مفهومی یکپارچه برای پیوند میان هوش مصنوعی توضیح‌پذیر، فرماندهی و کنترل شناختی و طراحی انسان‌محور است. دوم، تبیین نقش‌ها و کارکردهای XAI در مراحل مختلف چرخه DOODA و شناسایی نقاط ادغام آن در فرآیندهای معناسازی[2]، برنامه‌ریزی و اجرای عملیات است. سوم، معرفی رویکردی که در آن توضیح‌پذیری به‌عنوان یک مؤلفه شناختی و معماری ذاتی سامانه، و نه یک لایه جانبی توضیح، در طراحی نسل آینده سامانه‌های فرماندهی و کنترل مورد استفاده قرار می‌گیرد.

انتظار می‌رود یافته‌های این پژوهش ضمن گسترش مبانی نظری حوزه فرماندهی و کنترل شناختی، مبنایی برای توسعه سامانه‌های تصمیم‌یار شفاف‌تر، قابل اعتمادتر و سازگارتر با توانایی‌های شناختی انسان فراهم سازد و در نهایت به ارتقای کیفیت تصمیم‌گیری در شرایط عدم قطعیت، شتاب عملیاتی و ازدحام اطلاعات منجر شود.

۱-۱. مقدمه

۱-۱-۱. مرور پیشینه پژوهش

تحول دیجیتال در محیط‌های دفاعی طی دهه گذشته موجب تغییر بنیادین در شیوه جمع‌آوری، پردازش و بهره‌برداری از اطلاعات عملیاتی شده است. در این میان، هوش مصنوعی به یکی از فناوری‌های کلیدی برای ارتقای آگاهی موقعیتی، تسریع چرخه تصمیم‌گیری و افزایش اثربخشی سامانه‌های فرماندهی و کنترل تبدیل شده است. پژوهش‌های اولیه در این حوزه عمدتاً بر توسعه الگوریتم‌های تحلیل داده، پیش‌بینی تهدیدها و بهینه‌سازی تصمیم‌های عملیاتی تمرکز داشتند[٤٠] ,[٣٠] ,[٢٢]. نتایج این مطالعات نشان داد که بهره‌گیری از سامانه‌های هوشمند می‌تواند سرعت پردازش اطلاعات و توان تحلیل محیط عملیاتی را به شکل چشمگیری افزایش دهد.

در ادامه، پژوهش‌های متعددی به بررسی نقش یادگیری ماشین و یادگیری عمیق در تولید تصویر عملیاتی مشترک، تحلیل رفتار دشمن، پشتیبانی از برنامه‌ریزی مأموریت و مدیریت منابع پرداختند [٤٧] ,[٤٦] ,[٤٥] ,[٤٠]. با وجود پیشرفت‌های حاصل‌شده، بسیاری از این مطالعات موفقیت سامانه‌های هوشمند را عمدتاً بر مبنای شاخص‌هایی نظیر دقت پیش‌بینی، سرعت پردازش یا عملکرد محاسباتی ارزیابی کرده‌اند و کمتر به ابعاد شناختی، اعتماد کاربر و هم‌راستایی انسان–هوش مصنوعی توجه داشته‌اند [٤٩] ,[٤٨] ,[٤٥].

همزمان با افزایش پیچیدگی مدل‌های هوش مصنوعی، مسئله جعبه سیاه بودن بسیاری از الگوریتم‌ها به یکی از چالش‌های اساسی حوزه دفاعی تبدیل شد [٤٠], [٣٧]. در محیط‌های نظامی، تصمیم‌ها اغلب با پیامدهای راهبردی، اخلاقی و عملیاتی گسترده همراه هستند و بنابراین کاربران انسانی نیاز دارند منطق تولید

[1] Boyd

[2] Sensemaking

[Downloaded from ic4i-journal.ir on 2026-11-21]

توصیه‌ها و پیش‌بینی‌های سامانه را درک کنند. در پاسخ به این نیاز، حوزه هوش مصنوعی توضیح‌پذیر (XAI) شکل گرفت و به سرعت به یکی از موضوعات محوری پژوهش‌های هوش مصنوعی تبدیل شد [۱۵], [۳۵].

مطالعات اخیر نشان داده‌اند که توضیح‌پذیری می‌تواند نقش مهمی در افزایش اعتماد کاربران، ارتقای همکاری انسان و هوش مصنوعی و بهبود پذیرش عملیاتی سامانه‌های هوشمند ایفا کند [۵۳] ,[۵۲] ,[۵۱] ,[٤٠]. با این حال، بخش عمده این پژوهش‌ها در حوزه‌هایی نظیر پزشکی، حمل‌ونقل هوشمند، مدیریت ریسک و سامانه‌های توصیه‌گر انجام شده‌اند و کاربردهای دفاعی همچنان سهم محدودی از ادبیات XAI را به خود اختصاص داده‌اند [۱۵], [٤٠].

از سوی دیگر، در سال‌های اخیر مفهوم همکاری انسان و هوش مصنوعی[۱] به‌عنوان پارادایم غالب طراحی سامانه‌های هوشمند مطرح شده است. در این رویکرد، هوش مصنوعی به‌عنوان جایگزین انسان تلقی نمی‌شود، بلکه به‌عنوان عضوی از یک تیم شناختی عمل می‌کند که باید قادر به تعامل، توضیح و توجیه تصمیم‌های خود باشد [٤٩], [٥٤]. پژوهش‌های انجام‌شده در این حوزه نشان می‌دهند که کیفیت همکاری انسان و ماشین بیش از آنکه به قدرت پردازشی الگوریتم‌ها وابسته باشد، به میزان شفافیت، قابلیت پیش‌بینی و فهم‌پذیری رفتار سامانه بستگی دارد [٤٠], [٥١], [٥٢].

در حوزه فرماندهی و کنترل نیز طی سال‌های اخیر رویکردهای شناختی جایگزین نگرش‌های سنتی شده‌اند. در این رویکردها، فرماندهی و کنترل نه یک فرآیند خطی انتقال اطلاعات، بلکه یک سامانه شناختی توزیع‌شده تلقی می‌شود که در آن تصمیم‌گیری حاصل تعامل مستمر میان انسان‌ها، فناوری‌ها، ساختارهای سازمانی و محیط عملیاتی است [۳۳], [٤٤]. با وجود این تحول نظری، بررسی ادبیات نشان می‌دهد که پژوهش‌های موجود عمدتاً یکی از ابعاد هوش مصنوعی در C۲، هوش مصنوعی توضیح‌پذیر، تعامل انسان و هوش مصنوعی یا فرماندهی و کنترل شناختی را به‌صورت مجزا مطالعه کرده‌اند [۱۵], [٤٠], [٥٥].

به‌طور مشخص، مطالعات حوزه C۲ بیشتر بر افزایش سرعت و کارایی تصمیم‌گیری تمرکز داشته‌اند، پژوهش‌های XAI عمدتاً بر توسعه روش‌های فنی تولید توضیح متمرکز بوده‌اند، و تحقیقات همکاری انسان و هوش مصنوعی نیز بر اعتماد و همکاری میان انسان و سامانه‌های هوشمند تأکید کرده‌اند. با این حال، هنوز چارچوبی جامع که این چهار حوزه را در قالب یک معماری شناختی یکپارچه برای سامانه‌های فرماندهی و کنترل تلفیق کند، در ادبیات مشاهده نمی‌شود.

بر این اساس، شکاف اصلی دانش موجود را می‌توان در نبود یک چارچوب انسان‌محور برای ادغام درون‌زاد هوش مصنوعی توضیح‌پذیر در چرخه تصمیم‌گیری فرماندهی و کنترل شناختی دانست. پژوهش حاضر با تمرکز بر این شکاف، تلاش می‌کند سازوکاری را تبیین کند که در آن توضیح‌پذیری نه به‌عنوان یک قابلیت افزوده، بلکه به‌عنوان بخشی از معماری شناختی سامانه فرماندهی و کنترل در نظر گرفته شود. این رویکرد زمینه را برای توسعه نسل آینده سامانه‌های فرماندهی و کنترل دفاعی فراهم می‌سازد؛ سامانه‌هایی که علاوه بر توانمندی محاسباتی، از شفافیت، اعتمادپذیری و هم‌راستایی شناختی لازم نیز برخوردار باشند.

۱-۱-۲. مبانی نظری پژوهش

- فرماندهی و کنترل شناختی و تحول پارادایم تصمیم‌گیری دفاعی

فرماندهی و کنترل در ادبیات کلاسیک عمدتاً به‌عنوان سازوکاری برای جمع‌آوری اطلاعات، تصمیم‌گیری و صدور دستورات تعریف می‌شد [٥٦] ,[۳۳]. با این حال، افزایش پیچیدگی محیط‌های عملیاتی، ظهور جنگ‌های چنددامنه‌ای و گسترش سامانه‌های هوشمند موجب شکل‌گیری پارادایم جدیدی تحت عنوان فرماندهی و کنترل شناختی شده است [٥٧] ,[٤٣] ,[٤٠]. در این پارادایم، تصمیم‌گیری نه یک فعالیت فردی بلکه یک فرآیند شناختی توزیع‌شده تلقی می‌شود که میان انسان‌ها، سامانه‌های اطلاعاتی، حسگرها، ساختارهای سازمانی و فناوری‌های هوشمند توزیع شده است [٥٨] ,[٤٤] ,[۳۳].

[۱] Human–AI Teaming

[Downloaded from ic4i-journal.ir on 2026-11-21]

در فرماندهی و کنترل شناختی، کیفیت تصمیم بیش از آنکه تابع حجم اطلاعات باشد، به توانایی بازیگران در معناسازی، تفسیر و ایجاد درک مشترک از وضعیت وابسته است [٤٩], [٥٤], [٥٩]. بنابراین، هر فناوری جدید باید علاوه بر قابلیت‌های فنی، توانایی پشتیبانی از فرآیندهای شناختی کاربران را نیز داشته باشد [٤٠], [٤٩].

- چرخه DOODA به‌عنوان چارچوب شناختی تصمیم‌گیری

مبنای نظری این پژوهش بر توسعه شناختی چرخه OODA بویـد (٢٠١٨) استوار است. چرخه OODA شامل چهار مرحله مشاهده[١]، جهت‌یابی[٢]، تصمیم[٣] و اقدام[٤] است و یکی از شناخته‌شده‌ترین مدل‌های تصمیم‌گیری در محیط‌های رقابتی، نظامی و پویا محسوب می‌شود [٤٢], [٦٠]. در این مدل، مزیت تصمیم‌گیری نه صرفاً در سرعت واکنش، بلکه در توانایی بازیگران برای درک، تفسیر و انطباق سریع با تغییرات محیطی نهفته است [٤٤], [٦٠].

تحولات اخیر در حوزه فرماندهی و کنترل شناختی موجب توسعه این مدل به چارچوب‌های پیشرفته‌تر مبتنی بر داده و شناخت شده است. در این چارچوب‌ها، فرآیند کشف، تلفیق و معناسازی اطلاعات پیش از تصمیم‌گیری اهمیت ویژه‌ای پیدا می‌کند و تصمیم‌گیری به‌عنوان نتیجه تعامل مستمر میان ادراک، تحلیل، پیش‌بینی و اقدام تلقی می‌شود[٤٤] ,[٤٣] ,[٣٣] . بر همین اساس، نسخه‌های توسعه‌یافته‌ای نظیر چرخه DOODA با افزودن لایه داده[٥] و تأکید بیشتر بر پردازش شناختی و تعامل انسان–فناوری مطرح شده‌اند که امکان تحلیل نقش فناوری‌های شناختی، سامانه‌های هوش مصنوعی و هوش مصنوعی توضیح‌پذیر را در محیط‌های پیچیده دفاعی فراهم می‌کنند [٤٠], [٦١]. از این منظر، چرخه DOODA بستری مناسب برای تبیین نحوه ادغام هوش مصنوعی توضیح‌پذیر در فرآیندهای معناسازی، برنامه‌ریزی و اقدام در سامانه‌های فرماندهی و کنترل شناختی فراهم می‌آورد.

- هوش مصنوعی توضیح‌پذیر به‌عنوان سازوکار شفافیت شناختی

هوش مصنوعی توضیح‌پذیر (XAI) مجموعه‌ای از روش‌ها، مدل‌ها و معماری‌ها را شامل می‌شود که هدف آن‌ها قابل فهم ساختن فرآیندهای تصمیم‌گیری سامانه‌های هوشمند برای کاربران انسانی است [٢٤] ,[١٥]. برخلاف رویکردهای سنتی که موفقیت سامانه‌های هوش مصنوعی را عمدتاً بر اساس شاخص‌هایی نظیر دقت پیش‌بینی و عملکرد محاسباتی ارزیابی می‌کردند، XAI بر شفافیت، قابلیت تفسیر، مسئولیت‌پذیری و اعتمادپذیری سامانه‌ها تأکید دارد [٦٢] ,[١٥] ,[١١].

در محیط‌های دفاعی، توضیح‌پذیری صرفاً یک ویژگی فنی محسوب نمی‌شود، بلکه یک الزام شناختی و عملیاتی است. فرماندهان و تصمیم‌گیرندگان نیاز دارند بدانند چرا یک سامانه گزینه خاصی را پیشنهاد کرده، چه فرضیاتی در تحلیل دخیل بوده و سطح عدم قطعیت توصیه ارائه‌شده تا چه میزان است [٤٠] ,[٢٤]. مطالعات حوزه همکاری انسان و هوش مصنوعی نشان می‌دهد که اعتماد به سامانه‌های هوشمند زمانی شکل می‌گیرد که کاربران بتوانند منطق تصمیم‌ها را درک کرده و پیامدهای آن‌ها را ارزیابی کنند [٥١], [٥٢], [٥٤]. از این منظر، توضیح‌پذیری را می‌توان به‌عنوان مکانیزمی برای ایجاد شفافیت شناختی و تسهیل معناسازی مشترک در تعامل انسان و ماشین تعریف کرد [١١], [٣٤].

- هم‌افزایی انسان و هوش مصنوعی در سامانه‌های دفاعی آینده

یکی از مهم‌ترین روندهای آینده‌پژوهی دفاعی، حرکت از اتوماسیون صرف به سمت همکاری شناختی انسان و هوش مصنوعی است. در این رویکرد، سامانه‌های هوشمند باید نه‌تنها قادر به تولید تحلیل و پیشنهاد باشند، بلکه بتوانند منطق خود را به شکلی متناسب با نقش، تخصص و شرایط عملیاتی کاربر ارائه کنند [٢٨], [٤٨], [٥١], [٦٣].

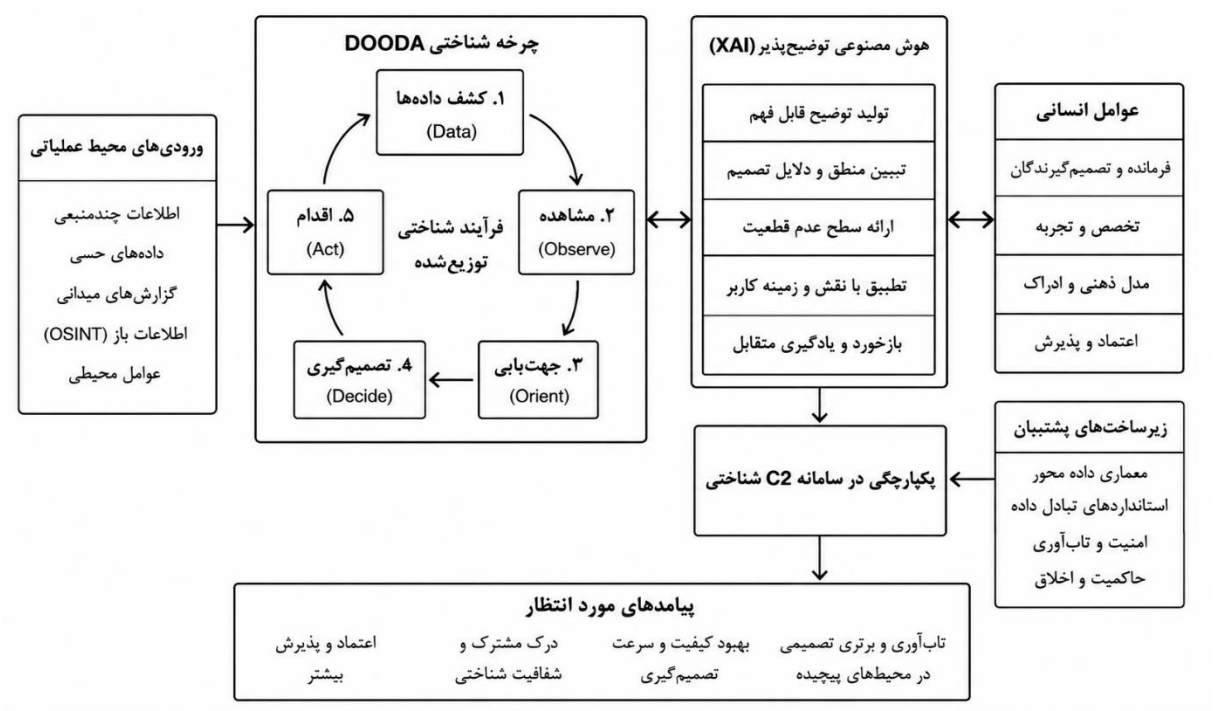
[١] Observe
[٢] Orient
[٣] Decide
[٤] Act
[٥] Data

[Downloaded from ic4i-journal.ir on 2026-11-21]

چنین دیدگاهی با مفهوم همکاری انسان و هوش مصنوعی همسو است که انسان و هوش مصنوعی را اعضای مکمل یک تیم تصمیم‌گیر می‌داند. موفقیت این همکاری وابسته به وجود اعتماد متقابل، درک مشترک و قابلیت توضیح رفتار سامانه است [۳۷]، [٦٤]. بنابراین، توضیح‌پذیری را می‌توان حلقه اتصال میان توان محاسباتی هوش مصنوعی و قضاوت انسانی در محیط‌های دفاعی آینده دانست؛ حلقه‌ای که زمینه شکل‌گیری اعتماد، آگاهی موقعیتی مشترک و تصمیم‌گیری مؤثر در محیط‌های پیچیده و زمان‌بحرانی را فراهم می‌کند [۱۱]، [٦٣]، [٦٥].

۱-۱-۳. چارچوب مفهومی پژوهش

بر اساس مبانی نظری فوق، پژوهش حاضر بر این فرض استوار است که ارزش عملیاتی هوش مصنوعی توضیح‌پذیر صرفاً به قابلیت تولید توضیح محدود نمی‌شود، بلکه به میزان ادغام آن با فرآیندهای شناختی تصمیم‌گیری بستگی دارد. از این منظر، XAI زمانی می‌تواند به بهبود تصمیم‌گیری دفاعی منجر شود که به‌صورت درون‌زاد در چرخه شناختی DOODA ادغام گردد. در چنین چارچوبی، توضیح‌پذیری نه یک قابلیت پسینی برای توجیه خروجی‌های الگوریتمی، بلکه یک مؤلفه شناختی فعال در فرآیند معناسازی وضعیت، برنامه‌ریزی، ارزیابی گزینه‌ها و اجرای عملیات محسوب می‌شود که از شکل‌گیری درک مشترک، اعتماد و همکاری مؤثر انسان و هوش مصنوعی پشتیبانی می‌کند [٦٧] ,[٦٦] ,[٦٥] ,[٣٣] ,[١١].



شکل ۱. چارچوب نظری و تحلیلی اولیه پژوهش برای بررسی نقش XAI در مراحل چرخه شناختی DOODA.

شکل ۱ چارچوب نظری و تحلیلی مورد استفاده در پژوهش را نشان می‌دهد. در این چارچوب، نقش‌های بالقوه XAI در مراحل مختلف چرخه DOODA شامل جمع‌آوری و پردازش داده، مشاهده، جهت‌یابی، تصمیم‌گیری و اقدام مورد بررسی قرار گرفته و مبنای طبقه‌بندی یافته‌های پژوهش را تشکیل می‌دهد. دستاورد نظری این پژوهش برای ادبیات دفاعی، ارائه پیوندی نظام‌مند میان چهار حوزه هوش مصنوعی توضیح‌پذیر، فرماندهی و کنترل شناختی، تعامل انسان و هوش مصنوعی و چرخه DOODA است. همچنین از منظر آینده‌پژوهی دفاعی، این مطالعه نشان می‌دهد که مزیت رقابتی سامانه‌های فرماندهی و کنترل آینده صرفاً در افزایش توان پردازشی نخواهد بود، بلکه در توانایی ایجاد شفافیت شناختی، اعتماد عملیاتی و هم‌افزایی مؤثر میان انسان و ماشین نهفته است. از این رو، چارچوب پیشنهادی می‌تواند مبنایی نظری برای طراحی نسل آینده

فصلنامهٔ علمی - پژوهشی فرماندهی و کنترل، سال دهم، شمارهٔ دو، تابستان ۱۴۰۵

[Downloaded from ic4i-journal.ir on 2026-11-21]

سامانه‌های فرماندهی و کنترل شناختی مبتنی بر هوش مصنوعی توضیح‌پذیر در محیط‌های دفاعی و امنیتی باشد.

۲. روش تحقیق

۲-۱. طرح پژوهش

پژوهش حاضر از نوع کیفی اکتشافی و مبتنی بر رویکرد طراحی انسان‌محور[1] است. هدف اصلی پژوهش، شناسایی نیازمندی‌ها، فرصت‌ها، چالش‌ها و نقاط طراحی چارچوب مفهومی ادغام هوش مصنوعی توضیح‌پذیر (XAI) در سامانه‌های فرماندهی و کنترل شناختی (C۲) و در نهایت توسعه یک چارچوب مفهومی برای طراحی سامانه‌های تصمیم‌یار شناختی مبتنی بر چرخه DOODA بوده است. با توجه به ماهیت نوظهور موضوع و محدود بودن دانش نظری موجود در زمینه ادغام همزمان هوش مصنوعی توضیح‌پذیر، فرماندهی و کنترل شناختی و تعامل انسان–هوش مصنوعی، استفاده از رویکرد کیفی اکتشافی برای استخراج دانش خبرگان و توسعه چارچوب مفهومی مناسب تشخیص داده شد.

مبنای نظری پژوهش بر مفهوم فرماندهی و کنترل شناختی استوار است؛ رویکردی که فرآیند تصمیم‌گیری را حاصل تعامل مستمر میان ادراک، معناسازی، قضاوت، تصمیم و اقدام می‌داند. در این پژوهش، چرخه DOODA به‌عنوان چارچوب مرجع برای تحلیل فرآیندهای شناختی و شناسایی نقاط بالقوه ادغام XAI مورد استفاده قرار گرفت. این چرخه توسعه‌ای از مدل کلاسیک OODA ارائه‌شده توسط جان بویـد (۱۹۹۵) است که با افزودن لایه داده و تأکید بر پردازش شناختی، نقش فناوری‌های هوشمند را در شکل‌گیری آگاهی موقعیتی، معناسازی و تصمیم‌گیری بهتر تبیین می‌کند [۶۸]. از آنجا که هدف پژوهش حاضر بررسی نحوه طراحی چارچوب مفهومی ادغام هوش مصنوعی توضیح‌پذیر در فرآیندهای شناختی فرماندهی و کنترل است، چرخه DOODA به‌عنوان مبنای مفهومی تحلیل داده‌ها، سازمان‌دهی مضامین استخراج‌شده و توسعه چارچوب پیشنهادی اولیه انتخاب شد.

۲-۲. مشارکت‌کنندگان و راهبرد نمونه‌گیری

جامعه مشارکت‌کنندگان پژوهش را خبرگان دارای دانش و تجربه مرتبط با حوزه‌های فرماندهی و کنترل، هوش مصنوعی، علوم شناختی و سامانه‌های تصمیم‌یار تشکیل دادند. انتخاب مشارکت‌کنندگان با استفاده از نمونه‌گیری هدفمند مبتنی بر تخصص انجام شد. معیار ورود به مطالعه، برخورداری از حداقل یکی از شرایط زیر بود: سابقه علمی یا پژوهشی مرتبط با فرماندهی و کنترل؛ تجربه عملیاتی یا مدیریتی در سامانه‌های C۲؛ سابقه پژوهش یا توسعه سامانه‌های مبتنی بر هوش مصنوعی؛ یا تخصص و سابقه فعالیت پژوهشی در علوم و فناوری‌های شناختی و تعامل انسان–ماشین. بدین ترتیب، تلاش شد نمونه پژوهش از میان افرادی انتخاب شود که بتوانند مسئله ادغام XAI در سامانه‌های C۲ را از منظرهای عملیاتی، فناورانه و شناختی بررسی کنند.

در مجموع، ۵۶ نفر از استادان دانشگاه، پژوهشگران و متخصصان نیروهای مسلح در پژوهش مشارکت کردند. ترکیب چندرشته‌ای مشارکت‌کنندگان با هدف دستیابی به تنوع دیدگاه و جلوگیری از غلبه یک رویکرد تخصصی بر سایر ابعاد مسئله در نظر گرفته شد. همچنین، بیش از ۵۷ درصد مشارکت‌کنندگان بیش از ۱۵ سال سابقه حرفه‌ای داشتند که نشان‌دهنده سطح قابل توجه تجربه حرفه‌ای در گروه خبرگان است.

جدول ۲. ویژگی‌های جمعیت‌شناختی و تخصصی مشارکت‌کنندگان پژوهش.

ویژگی	طبقه‌بندی	تعداد (n)	درصد (٪)
حوزه تخصصی	فرماندهی و کنترل	۱۸	۳۲.۱
	هوش مصنوعی و علوم داده	۱۴	۲۵.۰
	علوم و فناوری‌های شناختی	۱۲	۲۱.۴
	سامانه‌های تصمیم‌یار و مهندسی سیستم‌ها	۱۲	۲۱.۴
	۵ تا ۱۰ سال	۹	۱۶.۱

[1] Human-Centered Design

[Downloaded from ic4i-journal.ir on 2026-11-21]

ویژگی	طبقه‌بندی	تعداد (n)	درصد (٪)
سطح تجربه حرفه‌ای	۱۱ تا ۱۵ سال	۱۵	۲۶.۸
	۱۶ تا ۲۰ سال	۱۸	۳۲.۱
	بیش از ۲۰ سال	۱۴	۲۵.۰
نوع فعالیت اصلی	دانشگاهی/پژوهشی	۲۳	۴۱.۱
	عملیاتی/اجرایی	۱۹	۳۳.۹
	ترکیبی (پژوهشی–عملیاتی)	۱۴	۲۵.۰
کل مشارکت‌کنندگان		۵۶	۱۰۰

جدول ۲ توزیع تخصصی و حرفه‌ای مشارکت‌کنندگان پژوهش را نشان می‌دهد. ترکیب نمونه به‌صورت هدفمند انتخاب شد تا دیدگاه‌های فنی، شناختی و عملیاتی به‌صورت هم‌زمان در تحلیل حضور داشته باشند. حضور متخصصان فرماندهی و کنترل، هوش مصنوعی، علوم شناختی و سامانه‌های تصمیم‌یار امکان بررسی مسئله از زوایای مختلف را فراهم کرد. همچنین، بیش از ۵۷ درصد مشارکت‌کنندگان دارای بیش از ۱۵ سال سابقه حرفه‌ای بودند که نشان‌دهنده سطح بالای تجربه و تخصص گروه خبرگان است.

۲-۳. روش گردآوری داده‌ها

داده‌های پژوهش از طریق ۱۶ مصاحبه نیمه‌ساختاریافته و ۳ جلسه بارش فکری ساختاریافته[۱] گردآوری شد. هر جلسه به‌طور متوسط ۹۰ دقیقه به طول انجامید. نمونه‌گیری و گردآوری داده‌ها به‌صورت تدریجی و همزمان با تحلیل داده‌ها ادامه یافت و توقف گردآوری داده‌ها بر اساس دستیابی به اشباع نظری صورت گرفت. به این معنا که در جلسات و مصاحبه‌های پایانی، داده‌های جدید عمدتاً کدها و مفاهیم شناسایی‌شده قبلی را تأیید و غنی‌تر می‌کردند و کد یا مضمون مفهومی جدید و معناداری به ساختار تحلیلی اضافه نشد. بر این اساس، پس از دستیابی به ثبات مفهومی در یافته‌ها و عدم ظهور مضمون جدید در داده‌های پایانی، فرآیند گردآوری داده‌ها خاتمه یافت.

فرآیند گردآوری داده‌ها در سه مرحله انجام شد. در مرحله نخست، مشارکت‌کنندگان به‌صورت فردی به پرسش محوری زیر پاسخ دادند: هوش مصنوعی توضیح‌پذیر در کدام بخش‌های چرخه فرماندهی و کنترل، توسط چه افرادی و با چه اهدافی می‌تواند بیشترین ارزش افزوده را ایجاد کند؟

در این مرحله از مشارکت‌کنندگان خواسته شد محدودیت‌های موجود نظیر محدودیت‌های فنی، مالی یا حقوقی را موقتاً کنار گذاشته و بر بیان آزادانه ایده‌ها تمرکز کنند.

در مرحله دوم، ایده‌های تولیدشده در جلسات گروهی مورد بحث قرار گرفتند. ایده‌های مشابه با استفاده از توافق جمعی در قالب خوشه‌های مفهومی سازمان‌دهی شدند و حوزه‌های کاربردی، نیازهای شناختی و چالش‌های مشترک شناسایی گردیدند.

در مرحله سوم، مشارکت‌کنندگان مهم‌ترین حوزه‌های کاربردی و نیازهای شناسایی‌شده را بر اساس اهمیت و تأثیر بالقوه آن‌ها در موفقیت سامانه‌های فرماندهی و کنترل شناختی اولویت‌بندی کردند. این مرحله به استخراج مضامین کلیدی و تعیین اولویت‌های طراحی کمک نمود.

۲-۴. روش تحلیل داده‌ها

تحلیل داده‌ها با استفاده از روش سنتز موضوعی[۲] انجام شد. این روش به دلیل توانایی آن در تلفیق دیدگاه‌های خبرگان و استخراج الگوهای مفهومی از داده‌های کیفی انتخاب گردید.

فرآیند تحلیل داده‌ها در چهار گام شامل آشنایی اولیه و بازخوانی مکرر داده‌ها، کدگذاری باز و استخراج مفاهیم اولیه مرتبط با نیازهای توضیح‌پذیری، اعتماد، بار شناختی، آگاهی موقعیتی و پشتیبانی تصمیم، تجمیع کدهای مشابه و تشکیل مضامین فرعی، و در نهایت سازمان‌دهی مضامین فرعی در قالب

[۱] Structured Brainstorming

[۲] Thematic Synthesis

[Downloaded from ic4i-journal.ir on 2026-11-21]

مضامین اصلی و نگاشت آن‌ها به مراحل مختلف چرخه DOODA انجام شد. در نتیجه این فرآیند، سه حوزه اصلی ادغام XAI شامل معناسازی وضعیت، برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری و اجرای عملیات استخراج شد که مبنای توسعه چارچوب مفهومی پژوهش را تشکیل دادند. در این فرآیند، تمامی کدهای استخراج‌شده به‌صورت مستقل توسط دو پژوهشگر بررسی شدند و اختلاف‌نظرها از طریق بحث و توافق نهایی رفع گردید.

جدول ۳. فرآیند تحلیل موضوعی و نمونه‌ای از تبدیل کدهای اولیه به مضامین فرعی و اصلی.

گزاره یا ایده اولیه خبرگان	کد اولیه	مضمون فرعی	مضمون اصلی
سامانه باید توضیح دهد چرا این گزارش را مهم تشخیص داده است.	شفافیت در انتخاب اطلاعات	جستجوی هدفمند و توضیح‌پذیر	معناسازی وضعیت
فرمانده باید بداند هر منبع چه سهمی در تصویر عملیاتی داشته است.	نمایش سهم منابع اطلاعاتی	تلفیق شفاف داده‌ها	معناسازی وضعیت
سیستم باید علت تشخیص ناهنجاری را مشخص کند.	توضیح علل هشدار	تشخیص ناهنجاری توضیح‌پذیر	معناسازی وضعیت
پیشنهاد مسیر اقدام بدون توضیح قابل اعتماد نیست.	توجیه مسیر اقدام (COA)	پشتیبانی تصمیم توضیح‌پذیر	برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری
ریسک‌های هر گزینه باید برای فرمانده روشن باشد.	تبیین ریسک تصمیم	ارزیابی ریسک توضیح‌پذیر	برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری
در شرایط بحرانی باید خلاصه‌ای سریع و قابل فهم ارائه شود.	خلاصه‌سازی شناختی	مدیریت اطلاعات در زمان واقعی	اجرای عملیات
نوع توضیح باید با نقش کاربر تغییر کند.	توضیح تطبیقی	توضیح‌پذیری زمینه‌آگاه	توضیح‌پذیری شناختی
برخی قابلیت‌های AI هنوز برای محیط عملیاتی قابل اتکا نیستند.	محدودیت بلوغ فناوری	آمادگی فناوری	امکان‌پذیری استقرار

جدول ۳ نمونه‌ای از فرآیند تحلیل موضوعی به‌کاررفته در پژوهش را نشان می‌دهد. در این فرآیند، اظهارات و ایده‌های ثبت‌شده توسط خبرگان ابتدا به کدهای اولیه تبدیل شدند. سپس کدهای مشابه در قالب مضامین فرعی سازمان‌دهی شده و در نهایت در سطح بالاتر در قالب مضامین اصلی طبقه‌بندی شدند. این رویکرد امکان ردیابی مسیر تبدیل داده‌های خام به چارچوب مفهومی نهایی پژوهش را فراهم می‌کند و شفافیت فرآیند تحلیل را افزایش می‌دهد.

[Downloaded from ic4i-journal.ir on 2026-11-21]



شکل ۲. فرآیند استخراج مضامین از داده‌های خام تا چارچوب مفهومی نهایی

شکل ۲ روند تبدیل داده‌های خام خبرگان به چارچوب مفهومی نهایی پژوهش را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، فرآیند تحلیل از استخراج کدهای اولیه آغاز شده و پس از تشکیل مضامین فرعی و اصلی، در نهایت به نگاشت یافته‌ها بر مراحل چرخه DOODA و توسعه چارچوب مفهومی پیشنهادی پژوهش منجر شده است. پس از تکمیل مراحل کدگذاری باز، محوری و انتخابی، مضامین استخراج‌شده در قالب چند مضمون اصلی و فرعی سازمان‌دهی شدند. به‌منظور ارائه تصویری روشن‌تر از توزیع داده‌های کیفی و میزان تمرکز خبرگان بر حوزه‌های مختلف، فراوانی نسبی کدهای منتسب به هر مضمون اصلی محاسبه شد.

۲-۵. اعتباریابی و قابلیت اعتماد داده‌ها[1]

به‌منظور افزایش اعتبار، قابلیت اعتماد[2] و استحکام یافته‌های پژوهش، از چارچوب چهارگانه لینکلن و گوبا[3] (۱۹۸۵) شامل اعتباریذیری[4]، انتقال‌پذیری[5]، قابلیت اتکا[6] و تأییدپذیری[7] [۶۹]، [۷۰] استفاده شد.

داده‌ها از طریق ۱۶ مصاحبه نیمه‌ساختاریافته و ۳ جلسه بارش فکری ساختاریافته با مشارکت خبرگان حوزه‌های فرماندهی و کنترل، هوش مصنوعی، علوم شناختی و سامانه‌های تصمیم‌یار گردآوری شد. هر جلسه به‌طور متوسط ۹۰ دقیقه به طول انجامید. فرآیند نمونه‌گیری و گردآوری داده‌ها تا دستیابی به اشباع نظری[8] ادامه یافت؛ به‌گونه‌ای که در جلسات پایانی، کد یا مضمون مفهومی جدیدی استخراج نشد. علاوه بر این، خلاصه نتایج تحلیل برای تعدادی از مشارکت‌کنندگان ارسال و از طریق

[1] Trustworthiness
[2] Trustworthiness
[3] Lincoln & Guba
[4] Credibility
[5] Transferability
[6] Dependability
[7] Confirmability
[8] Theoretical Saturation

[Downloaded from ic4i-journal.ir on 2026-11-21]

بازبینی اعضا[1] درباره درستی تفسیرها و انطباق آن‌ها با دیدگاه‌های خبرگان بازخورد دریافت شد.

برای افزایش قابلیت انتقال یافته‌ها، ویژگی‌های مشارکت‌کنندگان، معیارهای انتخاب خبرگان، مراحل گردآوری داده‌ها و فرآیند تحلیل تماتیک به‌صورت شفاف گزارش شده است تا پژوهشگران بتوانند درباره قابلیت به‌کارگیری نتایج در زمینه‌های مشابه قضاوت کنند.

تمامی مراحل پژوهش، از طراحی پرسش‌های مصاحبه، گردآوری داده‌ها، استخراج کدهای اولیه، بازبینی و ادغام کدها، تشکیل مضامین فرعی و اصلی تا توسعه چارچوب مفهومی نهایی، مستندسازی شد. این ردپای ممیزی[2] امکان بازبینی و پیگیری فرآیند تصمیم‌گیری پژوهش را فراهم می‌کند. در مجموع، ۱۸۶ کد اولیه استخراج شد که پس از پالایش، ادغام و حذف موارد تکراری، به ۱۲۷ کد نهایی و پنج مضمون اصلی سازمان‌دهی شدند. به‌منظور کاهش سوگیری پژوهشگر، فرآیند کدگذاری و استخراج مضامین به‌صورت بازگشتی انجام شد و نتایج در چندین مرحله با همکاران پژوهش و خبرگان مرور و اصلاح گردید. همچنین پژوهشگر با به‌کارگیری بازاندیشی پژوهشگر تلاش کرد پیش‌فرض‌های شخصی را از فرآیند تحلیل تفکیک کرده و تصمیم‌های تحلیلی را بر مبنای شواهد حاصل از داده‌های کیفی اتخاذ کند. استفاده از نقل‌قول‌های منتخب خبرگان، نمونه کدهای استخراج‌شده و ارائه چارچوب مفهومی مبتنی بر تحلیل تماتیک نیز به افزایش تأییدپذیری یافته‌ها کمک کرده است.

جدول ٤. راهبردهای تضمین کیفیت پژوهش بر اساس معیارهای Lincoln و Guba.

معیار کیفیت	تعریف	راهبردهای به‌کاررفته در پژوهش حاضر
اعتبار	میزان انطباق یافته‌ها با واقعیت مورد مطالعه	بازبینی یافته‌ها توسط خبرگان، مشارکت خبرگان چندرشته‌ای
قابلیت انتقال	امکان استفاده از یافته‌ها در زمینه‌های مشابه	توصیف دقیق زمینه پژوهش، ویژگی مشارکت‌کنندگان و فرآیند گردآوری داده‌ها
قابلیت اتکا	ثبات و قابلیت تکرار فرآیند پژوهش	مستندسازی کامل مراحل گردآوری و تحلیل داده‌ها، استفاده از پروتکل واحد جلسات
تأییدپذیری	کاهش تأثیر سوگیری پژوهشگر بر یافته‌ها	تحلیل مستقل توسط دو پژوهشگر، توافق جمعی در خصوص مضامین نهایی، نگهداری مستندات تحلیلی

به‌منظور افزایش قابلیت اعتماد یافته‌ها، پژوهش حاضر از چارچوب ارزیابی کیفیت پژوهش‌های کیفی ارائه‌شده توسط Lincoln و Guba استفاده کرد. این چارچوب یکی از پرکاربردترین الگوهای تضمین کیفیت در پژوهش‌های کیفی است و کیفیت یافته‌ها را بر اساس چهار معیار اصلی شامل اعتبارپذیری۳، انتقال‌پذیری٤، وابستگی یا ثبات‌پذیری۵ و تأییدپذیری٦ ارزیابی می‌کند [۷۱]. اعتبارپذیری به میزان انطباق یافته‌ها با واقعیت ادراک‌شده توسط مشارکت‌کنندگان اشاره دارد؛ انتقال‌پذیری بیانگر امکان استفاده از نتایج در زمینه‌های مشابه است؛ وابستگی بر ثبات و قابلیت پیگیری فرآیند پژوهش تأکید دارد؛ و تأییدپذیری نشان می‌دهد که یافته‌ها تا چه اندازه مبتنی بر داده‌ها بوده و تحت تأثیر سوگیری پژوهشگر قرار نگرفته‌اند. همان‌گونه که در جدول ٤ مشاهده می‌شود، برای هر یک از این ابعاد، مجموعه‌ای از راهبردهای عملیاتی شامل بازبینی توسط مشارکت‌کنندگان، مرور همتایان، مستندسازی مراحل تحلیل و ثبت مسیر حسابرسی پژوهش به‌کار گرفته شد. این اقدامات موجب شد یافته‌های حاصل از تحلیل دیدگاه‌های خبرگان از اعتبار، ثبات و قابلیت استناد بیشتری برخوردار باشند و چارچوب پیشنهادی پژوهش بر پایه شواهد قابل اعتماد توسعه یابد.

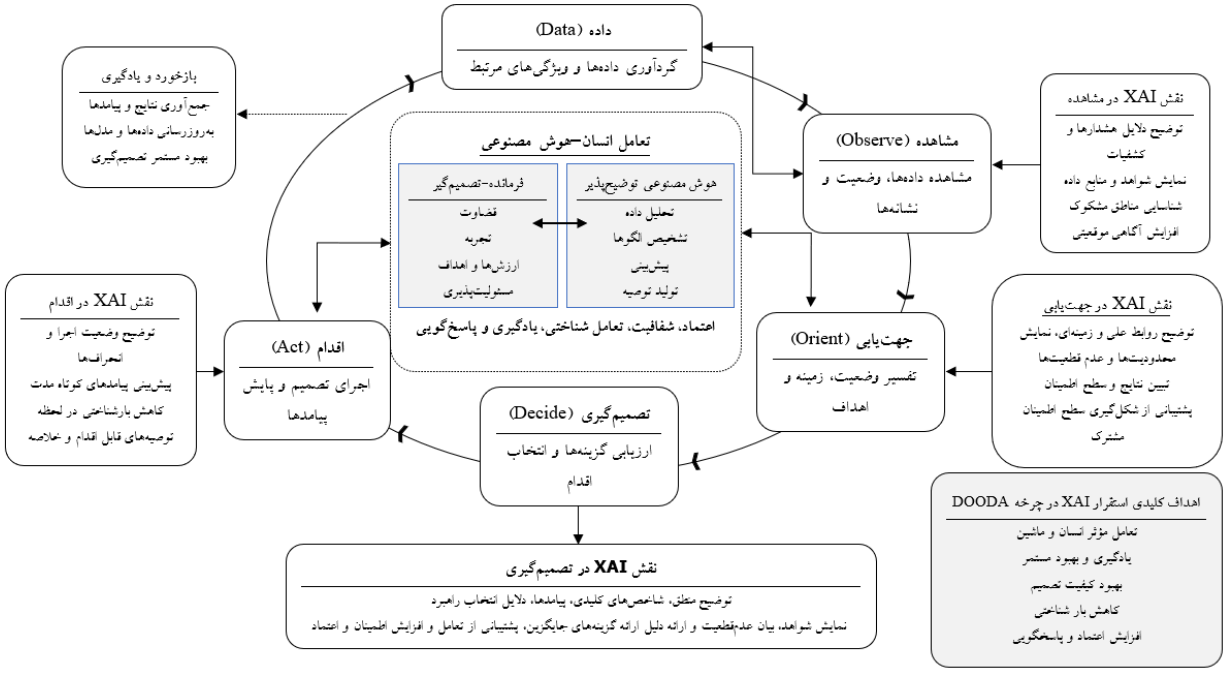
[1] Member Checking
[2] Audit Trail
[3] Credibility
[4] Transferability
[5] Dependability
[6] Confirmability

[Downloaded from ic4i-journal.ir on 2026-11-21]

۲-٦. توسعه چارچوب مفهومی

خروجی تحلیل موضوعی به‌عنوان مبنای توسعه چارچوب مفهومی طراحی چارچوب مفهومی ادغام هوش مصنوعی توضیح‌پذیر در سامانه‌های فرماندهی و کنترل شناختی مورد استفاده قرار گرفت. در این مرحله، مضامین استخراج‌شده به مراحل مختلف چرخه DOODA نگاشت شدند و نقش‌های بالقوه XAI در پشتیبانی از ادراک وضعیت، تفسیر اطلاعات، ارزیابی گزینه‌ها، تصمیم‌گیری و اجرای عملیات مشخص گردید.

بر مبنای یافته‌های حاصل از تحلیل موضوعی دیدگاه‌های خبرگان و با اتکا به چارچوب نظری ارائه‌شده در شکل ۱، چارچوب مفهومی نهایی پژوهش توسعه یافت. این چارچوب نحوه ادغام درون‌زاد هوش مصنوعی توضیح‌پذیر در سامانه‌های فرماندهی و کنترل شناختی را تبیین می‌کند و نشان می‌دهد که توضیح‌پذیری باید به‌عنوان یک مؤلفه شناختی در سراسر چرخه تصمیم‌گیری طراحی شود (شکل ۳). این چارچوب بیان می‌کند که توضیح‌پذیری باید به‌عنوان یک ویژگی ذاتی در سراسر چرخه تصمیم‌گیری فرماندهی و کنترل طراحی شود و نه صرفاً به‌عنوان یک لایه جانبی برای توجیه خروجی‌های الگوریتمی. بر این اساس، XAI به‌عنوان یک مؤلفه شناختی در تعامل انسان و ماشین عمل کرده و به شکل‌گیری اعتماد، کاهش بار شناختی و بهبود کیفیت تصمیم‌گیری کمک می‌کند.



شکل ۳. چارچوب مفهومی پیشنهادی برای ادغام درون‌زاد XAI در سامانه‌های فرماندهی و کنترل شناختی.

این چارچوب نشان می‌دهد که قابلیت‌های هوش مصنوعی توضیح‌پذیر چگونه می‌توانند به‌صورت درون‌زاد در مراحل مختلف چرخه شناختی DOODA شامل داده، مشاهده، جهت‌یابی، تصمیم‌گیری و اقدام ادغام شوند. در این مدل، XAI صرفاً به‌عنوان یک لایه پسینی برای توجیه خروجی‌های الگوریتمی در نظر گرفته نشده، بلکه به‌عنوان یک مؤلفه شناختی در تعامل مستمر انسان و ماشین عمل می‌کند. نقش XAI در مرحله مشاهده شامل شفاف‌سازی منابع اطلاعاتی، تشخیص ناهنجاری‌ها و افزایش آگاهی موقعیتی است؛ در مرحله جهت‌یابی به تفسیر وضعیت، تبیین روابط علّی و شکل‌گیری تصویر عملیاتی مشترک کمک می‌کند؛ در مرحله تصمیم‌گیری فرضیات، ریسک‌ها و منطق ارزیابی گزینه‌ها را آشکار می‌سازد؛ و در مرحله اقدام با ارائه توضیح‌های مختصر و زمینه‌محور از اجرای مؤثر عملیات پشتیبانی می‌کند. بر اساس این چارچوب،

[Downloaded from ic4i-journal.ir on 2026-11-21]

توضیح‌پذیری به‌عنوان یک اصل طراحی بنیادین در سراسر چرخه تصمیم‌گیری عمل کرده و از طریق افزایش شفافیت، اعتماد، هم‌راستایی شناختی و کاهش بار شناختی، کیفیت تصمیم‌گیری انسان–هوش مصنوعی را در محیط‌های پیچیده و دارای عدم قطعیت ارتقا می‌دهد.

با توجه به ماهیت فرآیندمحور چرخه DOODA، مضامین استخراج‌شده صرفاً به‌صورت مجموعه‌ای از قابلیت‌های مستقل XAI در نظر گرفته نشدند، بلکه بر اساس نقش شناختی و عملیاتی هر مضمون در مراحل مختلف چرخه فرماندهی و کنترل مورد تحلیل و نگاشت قرار گرفتند. این نگاشت با هدف مشخص‌کردن این موضوع انجام شد که هر یک از مضامین اصلی در کدام مرحله از فرآیند شناختی–عملیاتی بیشترین نقش را ایفا می‌کند و XAI در آن مرحله چه نوع پشتیبانی را برای تصمیم‌گیرنده انسانی فراهم می‌سازد.

بر این اساس، مضمون معناسازی وضعیت عمدتاً با مراحل مشاهده و جهتیابی در چرخه DOODA مرتبط است. در این مرحله، نقش XAI در کاهش پیچیدگی اطلاعات، تلفیق داده‌های ناهمگون، شناسایی روابط و الگوهای معنادار، ارائه اطلاعات مرتبط با نقش کاربر و فراهم‌کردن توضیح درباره منشأ و منطق استنتاج‌های سامانه تعریف می‌شود. بنابراین، توضیح‌پذیری در این مرحله باید به تصمیم‌گیرنده کمک کند تا علاوه بر دریافت خروجی سامانه، درک کند چه اطلاعاتی مبنای تحلیل قرار گرفته، چه الگو یا وضعیتی شناسایی شده و چرا سامانه چنین تفسیری را ارائه کرده است. یافته‌های پژوهش نیز نشان می‌دهد که جست‌وجوی هدفمند و نقش‌محور، تلفیق داده‌ها و کاهش حجم اطلاعات نامرتبط از مهم‌ترین فرصت‌های XAI در این حوزه هستند.

مضمون برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری عمدتاً به مرحله تصمیم‌گیری مربوط می‌شود، هرچند زمینه اطلاعاتی آن از مراحل Observe و Orient تأمین می‌شود. در این مرحله، XAI باید امکان مقایسه و ارزیابی گزینه‌های اقدام، آشکارسازی منطق پیشنهادها، تبیین مزایا و محدودیت‌های هر گزینه، ارائه عوامل مؤثر بر رتبه‌بندی گزینه‌ها و نمایش عدم‌قطعیت و ریسک را فراهم کند. بنابراین، نقش XAI در این مرحله صرفاً ارائه یک توصیه نیست، بلکه پشتیبانی از قضاوت انسانی از طریق ارائه دلایل، شواهد و عوامل مؤثر بر توصیه سامانه است. در یافته‌های پژوهش نیز بیشترین ارزش افزوده XAI در مرحله برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری، در پشتیبانی از توسعه و ارزیابی COAها شناسایی شده است.

مضمون اجرای عملیات با مرحله عمل (Act) در چرخه DOODA متناظر است. در این مرحله، XAI از طریق پایش پیامدهای تصمیم، ارائه بازخورد درباره وضعیت اجرای اقدام، آشکارسازی انحراف از برنامه و فراهم‌کردن توضیح درباره تغییرات ایجادشده در محیط، از تصمیم‌گیرنده و تیم عملیاتی پشتیبانی می‌کند. بر این اساس، توضیح‌پذیری در مرحله اجرا باید ماهیتی پویا و زمینه‌آگاه داشته باشد؛ زیرا اهمیت و نوع توضیح مورد نیاز پس از اجرای یک اقدام می‌تواند با تغییر وضعیت عملیاتی تغییر کند. بنابراین، XAI باید علاوه بر توضیح تصمیم یا توصیه اولیه، امکان تفسیر بازخورد حاصل از اقدام و پشتیبانی از اصلاح تصمیم در چرخه بعدی را نیز فراهم کند.

مضمون توضیح‌پذیری شناختی ماهیتی عرضی دارد و برخلاف سه مضمون فوق به یک مرحله منفرد از DOODA محدود نمی‌شود. این مضمون بیانگر انطباق نوع، سطح و زمان‌بندی توضیح با ویژگی‌های شناختی و نقش تصمیم‌گیرنده است. در مرحله Observe، توضیح باید به کاهش ابهام و فیلترکردن اطلاعات کمک کند؛ در Orient، از شکل‌گیری یک برداشت صحیح از وضعیت پشتیبانی کند؛ در Decide، منطق و شواهد گزینه‌های پیشنهادی را روشن سازد؛ و در Act، متناسب با پیامدهای اقدام و تغییر وضعیت عملیاتی، بازخورد قابل‌فهم ارائه دهد. از این منظر، توضیح‌پذیری شناختی به‌عنوان یک لایه پشتیبان در سراسر چرخه DOODA عمل می‌کند و تضمین می‌کند که توضیحات XAI صرفاً از نظر فنی صحیح نباشند، بلکه از نظر شناختی نیز متناسب با نیاز کاربر باشند.

در نهایت، مضمون امکان‌پذیری استقرار نیز ماهیتی فراگیر و ناظر بر تمامی مراحل چرخه DOODA دارد. این مضمون مشخص می‌کند که قابلیت‌های XAI شناسایی‌شده تا چه اندازه از نظر فنی، زمانی، ارتباطی، امنیتی و سازمانی قابلیت استفاده در سامانه‌های C۲ را دارند. بنابراین، امکان‌پذیری استقرار را

[Downloaded from ic4i-journal.ir on 2026-11-21]

نمی‌توان صرفاً به مرحله Act محدود کرد؛ بلکه این مضمون به‌عنوان یک لایه محدودکننده و پشتیبان در سراسر چرخه تعیین می‌کند که قابلیت‌های XAI در هر مرحله با چه سطحی از پیچیدگی، زمان پاسخ و الزامات عملیاتی قابل استفاده هستند.

در نتیجه، نگاشت مضامین به DOODA یک نگاشت یک‌به‌یک و کاملاً منفصل نیست؛ بلکه سه مضمون نخست عمدتاً با جریان اصلی فرآیند شناختی–عملیاتی متناظر هستند، در حالی که توضیح‌پذیری شناختی و امکان‌پذیری استقرار به‌صورت لایه‌های عرضی بر کل چرخه عمل می‌کنند. این صورت‌بندی نشان می‌دهد که چارچوب پیشنهادی صرفاً فهرستی از قابلیت‌های XAI نیست، بلکه جایگاه و کارکرد این قابلیت‌ها را در مراحل مختلف فرآیند فرماندهی و کنترل و همچنین الزامات شناختی و اجرایی حاکم بر کل چرخه مشخص می‌کند.

تحلیل داده‌های حاصل از جلسات بارش فکری ساختاریافته و سنتز موضوعی منجر به استخراج مجموعه‌ای از مفاهیم، کدها و مضامین مرتبط با طراحی چارچوب مفهومی ادغام هوش مصنوعی توضیح‌پذیر در سامانه‌های فرماندهی و کنترل شناختی شد. در مجموع، ۱۲۷ کد اولیه از داده‌های خام استخراج گردید که پس از پالایش و ادغام، در قالب ۱۸ مضمون فرعی و ۵ مضمون اصلی سازمان‌دهی شدند. مضامین نهایی شامل معناسازی وضعیت، برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری، اجرای عملیات، توضیح‌پذیری شناختی و امکان‌پذیری استقرار بودند. جدول ۵ توزیع مضامین اصلی، مضامین فرعی و فراوانی نسبی کدهای منتسب به هر مضمون را نشان می‌دهد، همچنین شمارش فراوانی فقط برای نشان دادن تأکید استفاده شد و نشان دهنده اهمیت آماری نیست.

۳. یافته‌ها

جدول ۵. خلاصه نتایج تحلیل موضوعی.

مضمون اصلی	مضامین فرعی	دلالت برای طراحی سامانه XAI	تعداد کدها	درصد از کل کدها
معناسازی وضعیت	جستجوی هوشمند، تلفیق داده، تشخیص ناهنجاری	ارتقای آگاهی موقعیتی و شفاف‌سازی اطلاعات	٤١	٣٢.٣٪
برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری	تحلیل COA، تحلیل ریسک، توسعه تاکتیک	پشتیبانی از ارزیابی گزینه‌ها و تصمیم‌گیری	٣٤	٢٦.٨٪
اجرای عملیات	بازبرنامه‌ریزی، مدیریت اطلاعات، تصمیم‌گیری بلادرنگ	پشتیبانی از اجرای تطبیقی عملیات	٢٦	٢٠.٥٪
توضیح‌پذیری شناختی	اعتماد، شفافیت، همراستایی شناختی	افزایش اعتماد و تعامل انسان–هوش مصنوعی	١٥	١١.٨٪
امکان‌پذیری استقرار	بلوغ فناوری، زیرساخت، آمادگی فناوری	الزامات پیاده‌سازی عملی سامانه	١١	٨.٦٪
جمع			١٢٧	١٠٠٪

همان‌گونه که جدول ۵، نشان می‌دهد، بیشترین سهم کدهای استخراج‌شده به مضمون معناسازی وضعیت اختصاص دارد که بیانگر تأکید خبرگان بر نقش هوش مصنوعی توضیح‌پذیر در افزایش آگاهی موقعیتی، شفاف‌سازی اطلاعات و تسهیل تفسیر داده‌های عملیاتی است. پس از آن، مضامین برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری و اجرای عملیات بیشترین فراوانی را به خود اختصاص داده‌اند که اهمیت نقش XAI را در حمایت از تصمیم‌گیری و مدیریت عملیات در محیط‌های پویا نشان می‌دهد. علاوه بر این، دو مضمون توضیح‌پذیری شناختی و امکان‌پذیری استقرار بیانگر آن هستند که از دیدگاه خبرگان، موفقیت استقرار XAI صرفاً به قابلیت‌های فنی آن وابسته نیست، بلکه مستلزم ایجاد اعتماد، هم‌راستایی شناختی و فراهم بودن زیرساخت‌ها و بلوغ فناوری نیز هست. این یافته‌ها مبنای نگاشت

[Downloaded from ic4i-journal.ir on 2026-11-21]

مضامین بر مراحل مختلف چرخه شناختی DOODA و توسعه چارچوب مفهومی پیشنهادی پژوهش را فراهم کردند.

۳-۱. نگاشت یافته‌ها بر چرخه شناختی DOODA

به‌منظور سازماندهی یافته‌ها، مضامین استخراج‌شده بر اساس مراحل چرخه شناختی DOODA طبقه‌بندی شدند. این نگاشت امکان شناسایی نقاطی از چرخه تصمیم‌گیری را فراهم ساخت که در آن‌ها استفاده از هوش مصنوعی توضیح‌پذیر می‌تواند بیشترین ارزش عملیاتی و شناختی را ایجاد کند.



شکل ٤. نگاشت فرصت‌های شناسایی‌شده برای طراحی چارچوب مفهومی XAI در مراحل مختلف چرخه شناختی DOODA.

شکل ٤ نحوه نگاشت فرصت‌های شناسایی‌شده برای طراحی چارچوب مفهومی ادغام هوش مصنوعی توضیح‌پذیر در مراحل مختلف چرخه شناختی DOODA را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، یافته‌های پژوهش در سه حوزه اصلی معناسازی وضعیت، برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری، و اجرای عملیات سازمان‌دهی شده‌اند که به‌ترتیب مراحل مشاهده و جهت‌یابی، مرحله تصمیم‌گیری و مرحله عمل را پوشش می‌دهند. این قابلیت‌ها در نهایت از طریق افزایش شفافیت، اعتماد، کاهش بار شناختی و بهبود کیفیت تصمیم‌گیری، به ارتقای اثربخشی سامانه‌های فرماندهی و کنترل شناختی منجر می‌شوند.

۳-۲. فرصت‌های طراحی چارچوب مفهومی ادغام هوش مصنوعی توضیح‌پذیر در فرماندهی و کنترل شناختی

تحلیل دیدگاه‌های خبرگان نشان داد که قابلیت‌های هوش مصنوعی توضیح‌پذیر می‌توانند در طیف گسترده‌ای از فعالیت‌های فرماندهی و کنترل به کار گرفته شوند. این فرصت‌ها در سه حوزه اصلی تحلیل، برنامه‌ریزی و اجرا سازمان‌دهی شدند.

[Downloaded from ic4i-journal.ir on 2026-11-21]

جدول ٦. فرصت‌های طراحی چارچوب مفهومی ادغام هوش مصنوعی توضیح‌پذیر در فعالیت‌های اصلی فرماندهی و کنترل.

ماهیت چرخه C۲	حوزه کاری	قابلیت/فرصت کلیدی XAI	ماهیت توضیح مورد نیاز	هدف شناختی اصلی
تحلیل	یافتن اطلاعات	جست‌وجوی هدفمند و نقش‌محور	منطق ربط‌سنجی، اعتبار منبع، اولویت‌بندی	کاهش حجم اطلاعات نامرتبط
	ترکیب اطلاعات	تلفیق داده‌ها برای به‌روزرسانی COP	سهم منابع، سطح عدم قطعیت، فرضیات ترکیب	ایجاد تصویر عملیاتی منسجم و شفاف
	تشخیص ناهنجاری	شناسایی تناقض‌ها و ناسازگاری‌ها	عناصر داده‌ای مؤثر، پیامدهای عملیاتی	هشدار زودهنگام و پیشگیری از خطا
برنامه‌ریزی	پشتیبانی برنامه‌ریزی	تحلیل زمین، پیش‌بینی دشمن، پیشنهاد COA	فرضیات مدل، معیارهای ارزیابی، برآورد ریسک	تسهیل قضاوت و مقایسه گزینه‌ها
	توسعه تاکتیک‌ها	کشف الگوهای رفتاری (RL)	ترجمه رفتار به قواعد/روایت مفهومی	درک و به‌کارگیری تاکتیک‌های جدید
اجرا	تصمیم‌گیری در زمان واقعی	ارزیابی سریع گزینه‌های اقدام	خلاصه پیامدها، منطق ارزیابی فوری	کاهش بار شناختی تحت فشار
	مدیریت اطلاعات	خلاصه‌سازی خودکار گزارش‌ها	معیار انتخاب و حذف اطلاعات	حفظ آگاهی موقعیتی در شلوغی اطلاعات

نتایج جدول ٦ نشان می‌دهد که بیشترین ظرفیت کاربردی XAI در فعالیت‌هایی ظاهر می‌شود که نیازمند تفسیر اطلاعات، ارزیابی عدم قطعیت و توجیه تصمیم‌ها هستند. در تمامی موارد، خبرگان تأکید داشتند که ارزش واقعی سامانه‌های هوشمند نه صرفاً در تولید خروجی، بلکه در توانایی توضیح منطق تولید آن خروجی نهفته است.

۳-۳. یافته‌های مرحله معناسازی وضعیت[۱]

نخستین و پرتکرارترین مضمون استخراج‌شده مربوط به مرحله معناسازی وضعیت بود. خبرگان معتقد بودند که شکل‌گیری تصویر عملیاتی مشترک[۲] مهم‌ترین نقطه ورود هوش مصنوعی توضیح‌پذیر به سامانه‌های فرماندهی و کنترل است. یکی از خبرگان با تأکید بر اهمیت تبیین‌پذیری در مرحله معناسازی وضعیت بیان کرد: «*در محیط‌های عملیاتی، صرف ارائه خروجی توسط سامانه کافی نیست. فرمانده باید بداند سامانه بر چه اساسی یک تهدید را شناسایی کرده، چرا آن را نسبت به سایر گزینه‌ها اولویت داده و کدام داده‌ها بیشترین نقش را در این نتیجه داشته‌اند. در غیر این صورت، اعتماد به سامانه شکل نخواهد گرفت.*»

سه زیرحوزه اصلی در این بخش شناسایی شد:

- جستجوی هدفمند و نقش‌محور اطلاعات؛
- تلفیق داده‌ها و نمایش عدم قطعیت؛
- تشخیص ناهنجاری‌ها و ناسازگاری‌های اطلاعاتی.

در حوزه جستجوی اطلاعات، خبرگان تأکید داشتند که سامانه باید علاوه بر بازیابی اطلاعات، معیارهای انتخاب، سطح اعتبار منابع و میزان ارتباط آن‌ها با وضعیت جاری عملیات را نیز توضیح دهد. در حوزه تلفیق داده‌ها نیز نمایش سهم هر منبع اطلاعاتی در شکل‌گیری تصویر عملیاتی مشترک یکی از مهم‌ترین نیازهای شناسایی‌شده بود.

[۱] Sensemaking

[۲] Common Operational Picture

[Downloaded from ic4i-journal.ir on 2026-11-21]

جدول ۷. فراوانی ارجاعات خبرگان به فرصت‌های XAI در مرحله معناسازی وضعیت.

مضمون اصلی	مضمون فرعی	نمونه کدهای استخراج‌شده	فراوانی ارجاعات(n=۵۶)	درصد از کل ارجاعات(%)
معناسازی وضعیت	جستجوی هدفمند و نقش‌محور اطلاعات	جستجوی هوشمند، بازیابی مبتنی بر مأموریت، نمایش معیارهای انتخاب، اعتبار منبع	۱۸	۳۲.۱
	تلفیق داده‌ها و نمایش عدم قطعیت	ادغام داده‌های چندمنبعی، سهم منابع، نمایش سطح اطمینان، تصویر عملیاتی مشترک(COP)	۲۱	۳۷.۵
	تشخیص ناهنجاری‌ها و ناسازگاری‌های اطلاعاتی	کشف تناقض، هشدار هوشمند، تشخیص داده غیرعادی، توضیح علت هشدار	۱۷	۳۰.٤
جمع	—	—	۵٦	۱۰۰

بررسی نتایج جدول ۷ نشان می‌دهد که تلفیق داده‌ها همراه با نمایش میزان عدم قطعیت بیشترین فراوانی ارجاعات خبرگان را به خود اختصاص داده است (۳۷.۵ درصد). از دیدگاه مشارکت‌کنندگان، ارزش عملیاتی تصویر عملیاتی مشترک زمانی افزایش می‌یابد که سامانه بتواند سهم هر منبع اطلاعاتی، میزان اطمینان به داده‌ها و منطق تلفیق آن‌ها را به‌صورت شفاف ارائه کند. پس از آن، جستجوی هدفمند و نقش‌محور اطلاعات با ۳۲.۱ درصد در رتبه دوم قرار گرفت که بیانگر نیاز کاربران به درک چرایی انتخاب اطلاعات و میزان ارتباط آن‌ها با مأموریت جاری است. همچنین تشخیص ناهنجاری‌های توضیح‌پذیر با ۳۰.٤ درصد از ارجاعات، یکی دیگر از مضامین کلیدی این مرحله بود؛ خبرگان تأکید داشتند که هشدارهای سامانه زمانی قابل اعتماد خواهند بود که علاوه بر اعلام وجود ناهنجاری، دلایل تشخیص، داده‌های مؤثر و پیامدهای احتمالی آن نیز برای تصمیم‌گیرنده تبیین شود.

۳-٤. یافته‌های مرحله برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری

دومین مضمون اصلی استخراج‌شده مربوط به مرحله برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری بود. یافته‌ها نشان دادند که خبرگان بیشترین ارزش افزوده XAI را در پشتیبانی از توسعه و ارزیابی مسیرهای اقدام (COA)[1] مشاهده می‌کنند. یکی از مشارکت‌کنندگان درباره نقش XAI در برنامه‌ریزی عملیاتی اظهار داشت: «*فرمانده زمانی می‌تواند یک گزینه عملیاتی را بپذیرد که علاوه بر نتیجه نهایی، منطق انتخاب، مزایا، محدودیت‌ها و میزان ریسک هر گزینه نیز برای او روشن باشد. توضیح‌پذیری، تصمیم‌گیری را از یک فرایند مبهم به یک فرایند قابل دفاع تبدیل می‌کند.*»

مهم‌ترین فرصت‌های شناسایی‌شده عبارت بودند از:

- تحلیل زمین و محیط عملیات؛
- پیش‌بینی رفتار دشمن؛
- ارزیابی ریسک؛
- پیشنهاد مسیرهای اقدام؛
- توسعه تاکتیک‌های جدید مبتنی بر یادگیری تقویتی.

ویژگی مشترک تمامی این فرصت‌ها، ضرورت شفاف‌سازی فرضیات، معیارهای ارزیابی و منطق تصمیم‌گیری بود. به اعتقاد خبرگان، هیچ پیشنهاد عملیاتی نباید بدون ارائه استدلال، سطح اطمینان و پیامدهای احتمالی آن ارائه شود.

جدول ۸. فراوانی ارجاعات خبرگان به فرصت‌های XAI در مرحله برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری.

مضمون اصلی	مضمون فرعی	نمونه کدهای استخراج‌شده	فراوانی ارجاعات(n=٦٨)	درصد از کل ارجاعات(%)
	تحلیل زمین و محیط عملیات	تحلیل عوارض زمین، محدودیت‌های محیطی، ارزیابی مسیرها، تحلیل لجستیکی	۱۰	۱٤.۷

[1] Courses of Action: COA

[Downloaded from ic4i-journal.ir on 2026-11-21]

مضمون اصلی	مضمون فرعی	نمونه کدهای استخراج‌شده	فراوانی ارجاعات(n=۶۸)	درصد از کل ارجاعات(%)
برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری	پیش‌بینی رفتار دشمن	پیش‌بینی اقدامات دشمن، تحلیل الگوهای رفتاری، سناریوهای احتمالی	۱۱	۱۶.۲
	ارزیابی ریسک توضیح‌پذیر	تحلیل ریسک، نمایش عدم قطعیت، برآورد پیامدها، حساسیت فرضیات	۱۵	۲۲.۱
	پیشنهاد مسیرهای اقدام (COA) همراه با توجیه	مقایسه گزینه‌ها، بیان منطق انتخاب، رتبه‌بندی گزینه‌ها، توضیح معیارهای تصمیم	۱۹	۲۷.۹
	توسعه تاکتیک‌های جدید مبتنی بر یادگیری تقویتی	کشف تاکتیک‌های نوظهور، استخراج قواعد تصمیم، یادگیری تقویتی، تبیین رفتار عامل	۱۳	۱۹.۱
جمع	—	—	۶۸	۱۰۰

بررسی نتایج جدول ۸ نشان می‌دهد که پیشنهاد مسیرهای اقدام (COA) همراه با توجیه با ۲۷.۹ درصد بیشترین فراوانی ارجاعات خبرگان را به خود اختصاص داده است. مشارکت‌کنندگان معتقد بودند که ارائه هر مسیر اقدام باید همراه با تشریح منطق انتخاب، معیارهای ارزیابی، فرضیات به‌کاررفته و سطح اطمینان سامانه باشد تا امکان قضاوت و مقایسه آگاهانه برای فرمانده فراهم شود. پس از آن، ارزیابی ریسک توضیح‌پذیر با ۲۲.۱ درصد در رتبه دوم قرار گرفت که بیانگر اهمیت نمایش پیامدهای احتمالی و میزان عدم قطعیت گزینه‌های پیشنهادی است. همچنین توسعه تاکتیک‌های جدید مبتنی بر یادگیری تقویتی، پیش‌بینی رفتار دشمن و تحلیل زمین و محیط عملیات نیز از جمله مضامین مهم این مرحله بودند که خبرگان بر ضرورت شفاف‌سازی فرضیات، قواعد استنتاج و دلایل ارائه هر پیشنهاد در این حوزه‌ها تأکید داشتند.

۳-۵. یافته‌های مرحله اجرای عملیات

در مرحله اجرا، تمرکز اصلی خبرگان بر کاهش بار شناختی و افزایش سرعت تصمیم‌گیری در شرایط فشار زمانی بود. یافته‌ها نشان داد که XAI می‌تواند از طریق مدیریت هوشمند اطلاعات و ارائه توضیح‌های مختصر و متناسب با زمینه، عملکرد تصمیم‌گیرندگان را بهبود بخشد. یکی از خبرگان در خصوص مرحله اجرای عملیات بیان کرد: «*در عملیات واقعی شرایط دائماً تغییر می‌کند. سامانه باید علاوه بر پیشنهاد اقدام جدید، توضیح دهد که چرا برنامه قبلی دیگر مناسب نیست و چه تغییری در محیط باعث این بازبرنامه‌ریزی شده است.*»

فرصت‌های اصلی این مرحله شامل:

- ارزیابی سریع گزینه‌های اقدام؛
- بازبرنامه‌ریزی پویا؛
- مدیریت جریان اطلاعات؛
- خلاصه‌سازی خودکار گزارش‌ها؛
- پشتیبانی از آگاهی موقعیتی در زمان واقعی بود.

جدول ۹. فراوانی ارجاعات خبرگان به فرصت‌های XAI در مرحله اجرای عملیات.

مضمون اصلی	مضمون فرعی	نمونه کدهای استخراج‌شده	فراوانی ارجاعات(n=۶۱)	درصد از کل ارجاعات(%)
اجرای عملیات	ارزیابی سریع گزینه‌های اقدام	مقایسه فوری گزینه‌ها، اولویت‌بندی اقدامات، نمایش پیامدهای احتمالی، پشتیبانی تصمیم در زمان واقعی	۱۶	۲۶.۲
	بازبرنامه‌ریزی پویا	اصلاح برنامه عملیات، انطباق با تغییرات محیط، پیشنهاد اقدامات جایگزین، به‌روزرسانی مستمر برنامه	۱۱	۱۸.۰
	مدیریت جریان اطلاعات	اولویت‌بندی اطلاعات، حذف داده‌های غیرضروری، مدیریت حجم اطلاعات، هدایت توجه فرمانده	۱۳	۲۱.۳

[Downloaded from ic4i-journal.ir on 2026-11-21]

مضمون اصلی	مضمون فرعی	نمونه کدهای استخراج‌شده	فراوانی ارجاعات(n=۶۱)	درصد از کل ارجاعات(%)
	خلاصه‌سازی خودکار گزارش‌ها	تولید خلاصه هوشمند، استخراج نکات کلیدی، تبدیل گزارش‌های حجیم به اطلاعات قابل استفاده	۹	۱۴.۸
	پشتیبانی از آگاهی موقعیتی در زمان واقعی	نمایش وضعیت جاری عملیات، هشدارهای زمینه‌محور، پایش مستمر وضعیت، ارائه توضیح‌های کوتاه و متناسب	۱۲	۱۹.۷
جمع	—	—	۶۱	۱۰۰

بررسی نتایج جدول ۹ نشان می‌دهد که ارزیابی سریع گزینه‌های اقدام با ۲۶.۲ درصد بیشترین فراوانی ارجاعات خبرگان را در مرحله اجرای عملیات به خود اختصاص داده است. مشارکت‌کنندگان تأکید داشتند که در شرایط فشار زمانی، سامانه باید علاوه بر ارائه گزینه‌های اقدام، دلایل انتخاب، پیامدهای احتمالی و میزان اطمینان هر گزینه را به‌صورت مختصر و قابل فهم بیان کند. مدیریت هوشمند جریان اطلاعات با ۲۱.۳ درصد در رتبه دوم قرار گرفت که بیانگر اهمیت کاهش بار شناختی از طریق اولویت‌بندی و پالایش اطلاعات دریافتی است. همچنین پشتیبانی از آگاهی موقعیتی در زمان واقعی، بازبرنامه‌ریزی پویا و خلاصه‌سازی خودکار گزارش‌ها نیز از دیگر فرصت‌های مهم شناسایی‌شده بودند. یافته‌های این مرحله نشان می‌دهد که در محیط‌های عملیاتی، ارزش توضیح‌پذیری بیش از آنکه در ارائه توضیحات طولانی باشد، در تولید توضیح‌های کوتاه، زمینه‌محور، متناسب با نقش کاربر و سازگار با محدودیت‌های زمانی تصمیم‌گیری نهفته است.

۳-۶. یافته‌های مرتبط با مضامین فرابخشی: توضیح‌پذیری شناختی

تحلیل دیدگاه‌های خبرگان نشان داد که موفقیت سامانه‌های فرماندهی و کنترل شناختی صرفاً به دقت الگوریتم‌های هوش مصنوعی وابسته نیست، بلکه کیفیت تعامل شناختی میان تصمیم‌گیرنده انسانی و سامانه هوشمند نیز نقش تعیین‌کننده‌ای در پذیرش و اثربخشی این سامانه‌ها دارد. در این راستا، توضیح‌پذیری شناختی به‌عنوان یکی از مضامین اصلی پژوهش استخراج شد که بیانگر ضرورت ارائه توضیحاتی متناسب با نیازهای شناختی کاربران، افزایش شفافیت فرآیند استدلال سامانه و ایجاد اعتماد در تصمیم‌گیری مشترک انسان و هوش مصنوعی است. یکی از مشارکت‌کنندگان با اشاره به تعامل انسان و سامانه هوشمند اظهار داشت: «*توضیح خوب فقط نمایش داده‌ها نیست؛ توضیح باید با شیوه تفکر فرمانده هماهنگ باشد. اگر توضیح متناسب با مدل ذهنی کاربر نباشد، حتی بهترین الگوریتم هم مورد اعتماد قرار نخواهد گرفت.*»

بررسی کدهای استخراج‌شده نشان داد که خبرگان بیش از هر چیز بر سه مؤلفه شفافیت تصمیم، اعتمادپذیری، و هم‌راستایی با مدل ذهنی فرمانده تأکید داشته‌اند. از دیدگاه آنان، توضیح باید علاوه بر تشریح چرایی یک پیشنهاد، بتواند میزان اطمینان سامانه، داده‌های مؤثر در تصمیم و منطق استدلال را نیز به شکلی قابل فهم برای کاربر بیان کند. چنین قابلیتی موجب افزایش اعتماد، کاهش ابهام، تسهیل ارزیابی تصمیم و بهبود همکاری انسان و سامانه هوشمند خواهد شد. جدول ۱۰ فراوانی ارجاعات خبرگان به فرصت‌های XAI در مضمون فرابخشی «توضیح‌پذیری شناختی» را نشان می‌دهد.

جدول ۱۰. فراوانی ارجاعات خبرگان به فرصت‌های XAI در مضمون فرابخشی توضیح‌پذیری شناختی.

مضمون اصلی	مضمون فرعی	نمونه کدهای استخراج‌شده	فراوانی ارجاعات (n=۱۵)	درصد از کل ارجاعات(%)
توضیح‌پذیری شناختی	شفافیت تصمیم	تشریح منطق تصمیم، نمایش دلایل انتخاب گزینه، ارائه مسیر استدلال سامانه	۶	۴۰.۰

[Downloaded from ic4i-journal.ir on 2026-11-21]

مضمون اصلی	مضمون فرعی	نمونه کدهای استخراج‌شده	فراوانی ارجاعات (n=۱۵)	درصد از کل ارجاعات(%)
توضیح‌پذیری شناختی	اعتماد و پذیرش کاربر	افزایش اعتماد فرمانده، قابلیت اتکاء به توصیه‌ها، کاهش ابهام در تصمیم	۵	۳۳.۳
توضیح‌پذیری شناختی	هم‌راستایی شناختی	انطباق توضیحات با مدل ذهنی کاربر، ارائه توضیح متناسب با سطح تخصص، پشتیبانی از تصمیم مشترک انسان–هوش مصنوعی	٤	۲٦.۷
جمع			۱۵	۱۰۰

همان‌گونه که جدول ۱۰ نشان می‌دهد، بیشترین ارجاعات خبرگان به «شفافیت تصمیم» اختصاص دارد. این یافته نشان می‌دهد که از دیدگاه مشارکت‌کنندگان، ارزش اصلی XAI صرفاً در تولید خروجی دقیق نیست، بلکه در تبیین چرایی و چگونگی شکل‌گیری تصمیم نهفته است. همچنین دو مضمون «اعتماد و پذیرش کاربر» و «هم‌راستایی شناختی» بیانگر آن هستند که اثربخشی سامانه‌های فرماندهی و کنترل شناختی به میزان سازگاری توضیحات سامانه با نیازهای شناختی و مدل ذهنی تصمیم‌گیرندگان وابسته است. این یافته‌ها مؤید آن است که توضیح‌پذیری شناختی، یک قابلیت فرابخشی است که تمامی مراحل چرخه DOODA را پشتیبانی می‌کند.

۳-۷. یافته‌های مرتبط با مضامین فرابخشی: امکان‌پذیری استقرار

علاوه بر ابعاد شناختی و عملیاتی، تحلیل داده‌ها نشان داد که استقرار موفق هوش مصنوعی توضیح‌پذیر در سامانه‌های فرماندهی و کنترل مستلزم فراهم بودن مجموعه‌ای از پیش‌نیازهای فناورانه، سازمانی و مدیریتی است. بر همین اساس، «امکان‌پذیری استقرار» به‌عنوان پنجمین مضمون اصلی پژوهش شناسایی شد. این مضمون بیانگر آن است که اثربخشی XAI تنها به قابلیت‌های الگوریتمی وابسته نیست، بلکه عواملی نظیر بلوغ فناوری، آمادگی زیرساخت، قابلیت یکپارچه‌سازی با سامانه‌های موجود و آموزش کاربران نقش اساسی در موفقیت پیاده‌سازی آن دارند.

خبرگان بر این باور بودند که نبود زیرساخت مناسب، عدم آمادگی سازمان، ضعف در استانداردسازی داده‌ها و فقدان آموزش تخصصی می‌تواند مانع بهره‌برداری مؤثر از قابلیت‌های XAI شود. بنابراین، استقرار موفق این فناوری نیازمند برنامه‌ریزی جامع، توسعه زیرساخت‌های فنی، ارتقای بلوغ سازمانی و تعریف سازوکارهای ارزیابی مستمر عملکرد سامانه است.

جدول ۱۱ فراوانی ارجاعات خبرگان به فرصت‌های XAI در مضمون فرابخشی امکان‌پذیری استقرار را نشان می‌دهد.

جدول ۱۱. فراوانی ارجاعات خبرگان به فرصت‌های XAI در مضمون فرابخشی امکان‌پذیری استقرار.

مضمون اصلی	مضمون فرعی	نمونه کدهای استخراج‌شده	فراوانی ارجاعات (n=۱۱)	درصد از کل ارجاعات(%)
امکان‌پذیری استقرار	آمادگی فناوری	توسعه زیرساخت پردازشی، استانداردسازی داده‌ها، پشتیبانی نرم‌افزاری	٤	۳٦.٤
امکان‌پذیری استقرار	قابلیت یکپارچه‌سازی	اتصال به سامانه‌های فرماندهی و کنترل، سازگاری با سامانه‌های موجود، تبادل داده	٤	۳٦.٤
امکان‌پذیری استقرار	بلوغ سازمانی	آموزش کاربران، توسعه دستورالعمل‌ها، آمادگی سازمان برای پذیرشXAI	۳	۲۷.۲
جمع			۱۱	۱۰۰

[Downloaded from ic4i-journal.ir on 2026-11-21]

نتایج جدول ۱۱ نشان می‌دهد که خبرگان بیشترین تأکید را بر دو مؤلفه آمادگی فناوری و قابلیت یکپارچه‌سازی داشته‌اند. این یافته بیانگر آن است که استقرار موفق XAI مستلزم وجود زیرساخت‌های فنی مناسب و قابلیت تعامل با سامانه‌های فرماندهی و کنترل موجود است. علاوه بر این، «بلوغ سازمانی» نیز به‌عنوان یک پیش‌نیاز اساسی مطرح شده است؛ به‌گونه‌ای که آموزش کاربران، تدوین رویه‌های اجرایی و آمادگی سازمان برای پذیرش فناوری، نقش مهمی در تحقق مزایای XAI ایفا می‌کنند. در مجموع، یافته‌های این بخش نشان می‌دهد که امکان‌پذیری استقرار، همانند توضیح‌پذیری شناختی، یک مضمون فرابخشی است که موفقیت تمامی مراحل چرخه شناختی DOODA را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

۳-۸. اولویت‌بندی فرصت‌های شناسایی‌شده

برای مقایسه اهمیت نسبی فرصت‌های استخراج‌شده، نتایج مرحله اولویت‌بندی خبرگان مورد تحلیل قرار گرفت.

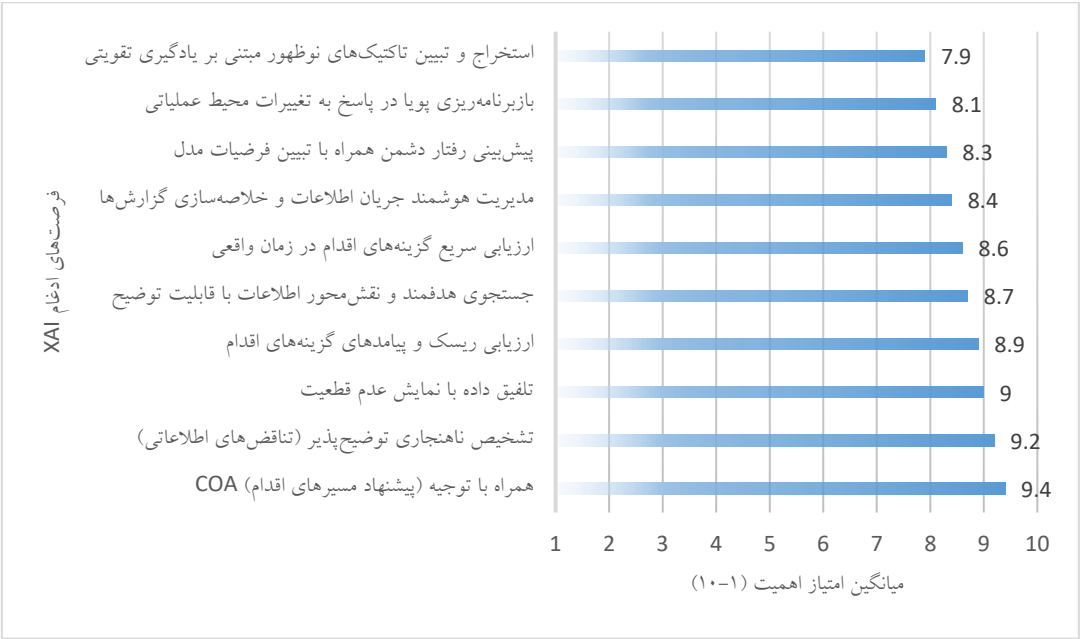
جدول ۱۲. اولویت فرصت‌های طراحی چارچوب مفهومی ادغام هوش مصنوعی توضیح‌پذیر از دیدگاه خبرگان.

رتبه	فرصت کاربردی XAI	حوزه C۲	میانگین اهمیت (۱-۱۰)	انحراف معیار	درصد توافق خبرگان (%)
۱	پیشنهاد مسیرهای اقدام (COA) همراه با توجیه و استدلال	برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری	۹.٤	۰.۷	۹۱.۱
۲	تشخیص ناهنجاری‌ها و تناقض‌های اطلاعاتی همراه با توضیح	معناسازی وضعیت	۹.۲	۰.۸	۸۹.۳
۳	تلفیق داده‌ها همراه با نمایش سطح عدم قطعیت	معناسازی وضعیت	۹.۰	۰.۹	۸۵.۷
٤	ارزیابی ریسک و پیامدهای احتمالی گزینه‌های اقدام	برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری	۸.۹	۰.۹	۸۳.۹
۵	جستجوی هدفمند و نقش‌محور اطلاعات با قابلیت توضیح	معناسازی وضعیت	۸.۷	۱.۰	۸۰.٤
٦	ارزیابی سریع گزینه‌های اقدام در زمان واقعی	اجرای عملیات	۸.٦	۱.۱	۷۸.٦
۷	مدیریت هوشمند جریان اطلاعات و خلاصه‌سازی گزارش‌ها	اجرای عملیات	۸.٤	۱.۲	۷۵.۰
۸	پیش‌بینی رفتار دشمن همراه با تبیین فرضیات مدل	برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری	۸.۳	۱.۲	۷۳.۲
۹	بازبرنامه‌ریزی پویا در پاسخ به تغییرات محیط عملیاتی	اجرای عملیات	۸.۱	۱.۳	٦۹.٦
۱۰	استخراج و تبیین تاکتیک‌های نوظهور مبتنی بر یادگیری تقویتی	برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری	۷.۹	۱.٤	٦٦.۱

نتایج ارائه شده در جدول ۱۲ نشان می‌دهد که خبرگان بیشترین اهمیت را برای قابلیت‌هایی قائل بوده‌اند که مستقیماً از تصمیم‌گیری فرماندهان در شرایط پیچیده و عدم قطعیت بالا پشتیبانی می‌کنند. در میان تمامی فرصت‌های شناسایی‌شده، پیشنهاد مسیرهای اقدام (COA) همراه با توجیه و استدلال با میانگین امتیاز ۹.٤ از ۱۰ و توافق ۹۱.۱ درصدی، به‌عنوان مهم‌ترین کاربرد بالقوه هوش مصنوعی توضیح‌پذیر شناخته شد. پس از آن، تشخیص ناهنجاری‌های توضیح‌پذیر و تلفیق داده‌ها همراه با نمایش عدم قطعیت در رتبه‌های دوم و سوم قرار گرفتند. بررسی الگوی رتبه‌بندی نشان می‌دهد که خبرگان بیش از هر چیز به قابلیت‌هایی اهمیت داده‌اند که موجب افزایش شفافیت، اعتماد و آگاهی موقعیتی در فرآیند تصمیم‌گیری می‌شوند.

[Downloaded from ic4i-journal.ir on 2026-11-21]

همچنین، فرصت‌های مرتبط با مرحله معناسازی وضعیت و برنامه‌ریزی نسبت به فرصت‌های مرحله اجرای عملیات امتیاز بالاتری کسب کردند که بیانگر نقش محوری توضیح‌پذیری در مراحل اولیه شکل‌گیری تصمیم است. این یافته‌ها تأیید می‌کنند که ارزش اصلی XAI در محیط‌های فرماندهی و کنترل نه صرفاً در خودکارسازی تصمیم‌ها، بلکه در فراهم‌سازی دلایل، فرضیات و منطق لازم برای پشتیبانی از قضاوت انسانی نهفته است.



شکل ۵. اهمیت نسبی فرصت‌های هوش مصنوعی توضیح‌پذیر از دیدگاه خبرگان.

(نکته: امتیازها براساس میانگین ارزیابی ۵۶ خبره در مقیاس ۱ تا ۱۰ محاسبه شده‌اند.)

شکل ۵ توزیع امتیازات اختصاص‌یافته به فرصت‌های مختلف را نشان می‌دهد و بیانگر تمرکز خبرگان بر قابلیت‌هایی است که بیشترین تأثیر را بر کیفیت تصمیم‌گیری دارند.

۳-۹. چالش‌های ادغام هوش مصنوعی توضیح‌پذیر

در کنار فرصت‌ها، خبرگان مجموعه‌ای از چالش‌های کلیدی را نیز شناسایی کردند. این چالش‌ها در دو دسته اصلی امکان‌پذیری استقرار و توضیح‌پذیری مؤثر طبقه‌بندی شدند.

جدول ۱۳. چالش‌های کلیدی ادغام XAI در سامانه‌های فرماندهی و کنترل شناختی بر اساس تحلیل دیدگاه‌های خبرگان.

مضمون اصلی	چالش کلیدی	فراوانی ارجاعات (n=۵۶)	درصد از کل ارجاعات(%)	نمونه دیدگاه خبرگان	راهکارهای پیشنهادی
امکان‌پذیری استقرار	ناهمگونی بلوغ فناوری‌های هوش مصنوعی	۱۹	۳۳.۹	برخی قابلیت‌ها مانند تحلیل زبان طبیعی هنوز برای محیط‌های عملیاتی کاملاً قابل اتکا نیستند.	توسعه تدریجی، اعتبارسنجی میدانی، استفاده از معماری‌های ترکیبی
	محدودیت دسترسی به داده‌های آموزشی معتبر	۱۶	۲۸.۶	کمبود داده‌های واقعی و طبقه‌بندی‌شده آموزش مدل‌ها را محدود می‌کند.	شبیه‌سازی، داده‌های مصنوعی، یادگیری انتقالی
توضیح‌پذیری مؤثر	عدم هم‌راستایی شناختی میان توضیح و نیاز کاربر	۲۴	۴۲.۹	توضیح فنی برای فرمانده ارزش عملیاتی ندارد؛ توضیح باید متناسب با نقش فرد باشد.	تولید توضیح زمینه‌آگاه و نقش‌محور

[Downloaded from ic4i-journal.ir on 2026-11-21]

مضمون اصلی	چالش کلیدی	فراوانی ارجاعات (n=۵۶)	درصد از کل ارجاعات(%)	نمونه دیدگاه خبرگان	راهکارهای پیشنهادی
	تعارض میان دقت مدل و قابلیت توضیح	۲۱	۳۷.۵	مدل‌های دقیق‌تر معمولاً کمتر قابل تفسیر هستند.	استفاده از معماری‌های عصبی–نمادین و مدل‌های ترکیبی
	طراحی ایستای توضیحات	۱۵	۲۶.۸	همه کاربران و همه شرایط عملیاتی به یک نوع توضیح نیاز ندارند.	طراحی موتور توضیح تطبیقی مبتنی بر زمان، مأموریت و کاربر

بررسی نتایج جدول ۱۳ نشان می‌دهد که خبرگان، چالش‌های استقرار هوش مصنوعی توضیح‌پذیر را صرفاً فنی تلقی نکرده‌اند، بلکه مهم‌ترین موانع را در هم‌راستایی شناختی میان توضیحات سامانه و نیازهای کاربران دانسته‌اند. بیشترین فراوانی ارجاعات مربوط به عدم تطابق توضیح‌ها با سطح تخصص، نقش سازمانی و شرایط تصمیم‌گیری کاربران بود. پس از آن، تعارض میان دقت مدل‌های هوش مصنوعی و قابلیت توضیح و همچنین ناهمگونی بلوغ فناوری‌های موردنیاز بیشترین توجه خبرگان را به خود اختصاص داد. این یافته‌ها نشان می‌دهد که موفقیت عملیاتی XAI در سامانه‌های فرماندهی و کنترل بیش از آنکه به افزایش دقت الگوریتم‌ها وابسته باشد، به طراحی توضیح‌های تطبیقی، زمینه‌آگاه و شناخت‌محور وابسته است؛ موضوعی که مبنای توسعه چارچوب مفهومی نهایی پژوهش نیز قرار گرفته است.

جدول ۱۴. میزان توافق خبرگان درباره چالش‌های طراحی چارچوب مفهومی ادغام هوش مصنوعی توضیح‌پذیر در سامانه‌های فرماندهی و کنترل شناختی.

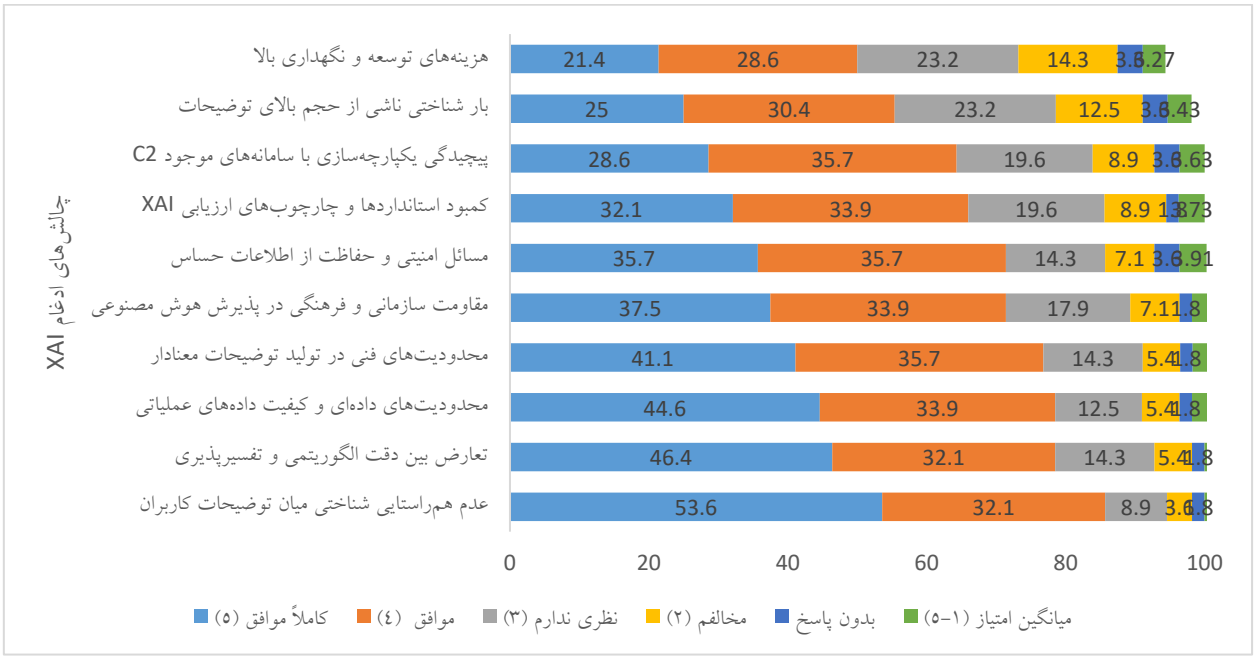
چالش	تعداد ارجاعات خبرگان(n)	درصد توافق(%)	میانگین اهمیت (۱۰–۱)	رتبه
عدم هم‌راستایی شناختی میان توضیحات سامانه و نیاز کاربران	۴۹	۸۷.۵	۹.۲ ± ۰.۸	۱
تعارض میان دقت الگوریتمی و توضیح‌پذیری	۴۶	۸۲.۱	۸.۹ ± ۰.۹	۲
ناهمگونی بلوغ فناوری‌های مورد نیاز	۴۲	۷۵.۰	۸.۵ ± ۱.۱	۳
طراحی ایستا و غیرانطباقی توضیحات	۴۰	۷۱.۴	۸.۳ ± ۱.۲	۴
محدودیت دسترسی به داده‌های آموزشی عملیاتی	۳۷	۶۶.۱	۸.۱ ± ۱.۳	۵
دشواری نمایش عدم قطعیت به کاربران	۳۵	۶۲.۵	۷.۸ ± ۱.۴	۶
افزایش بار شناختی ناشی از توضیحات طولانی	۳۱	۵۵.۴	۷.۵ ± ۱.۵	۷
نبود استانداردهای عملیاتی برای ارزیابیXAI	۲۸	۵۰.۰	۷.۲ ± ۱.۶	۸

نتایج ارائه‌شده در جدول ۱۴ نشان می‌دهد که چالش‌های مرتبط با عامل انسانی و تعامل شناختی، نسبت به محدودیت‌های صرفاً فناورانه، از اهمیت بیشتری در مسیر استقرار موفق سامانه‌های هوش مصنوعی توضیح‌پذیر برخوردار هستند. بیشترین میزان توافق خبرگان مربوط به عدم هم‌راستایی شناختی میان توضیحات تولیدشده و نیازهای کاربران بود (۸۷.۵ درصد توافق؛ میانگین اهمیت ۹.۲ از ۱۰). این یافته نشان می‌دهد که حتی در صورت دستیابی به عملکرد فنی مطلوب، توضیحاتی که با مدل ذهنی، سطح تخصص و نیاز اطلاعاتی کاربران سازگار نباشند، نمی‌توانند اعتماد لازم را ایجاد کنند.

پس از آن، تعارض میان دقت الگوریتمی و توضیح‌پذیری و ناهمگونی بلوغ فناوری‌ها به‌عنوان مهم‌ترین موانع فنی شناسایی شدند. همچنین نتایج نشان داد که خبرگان نسبت به رویکردهای توضیح‌پذیری ایستا دیدگاه انتقادی داشته و بر ضرورت توسعه

[Downloaded from ic4i-journal.ir on 2026-11-21]

سازوکارهای توضیح‌پذیری پویا، زمینه‌آگاه و متناسب با نقش کاربر تأکید می‌کنند. در مجموع، یافته‌های این بخش بیانگر آن است که موفقیت سامانه‌های XAI در محیط‌های فرماندهی و کنترل بیش از آنکه به پیچیدگی الگوریتم‌ها وابسته باشد، به توانایی آن‌ها در انتقال مؤثر معنا و ایجاد هم‌فهمی شناختی میان انسان و ماشین وابسته است.



شکل ٦. میزان توافق خبرگان درباره چالش‌های ادغام XAI در سامانه‌های فرماندهی و کنترل شناختی.

۳-۱۰. الزامات طراحی توضیح‌پذیری تطبیقی در سامانه‌های فرماندهی و کنترل شناختی

بر اساس مضامین فرعی شفافیت تصمیم، اعتماد و پذیرش کاربر و هم‌راستایی شناختی، خبرگان مجموعه‌ای از الزامات طراحی را برای پیاده‌سازی توضیح‌پذیری تطبیقی در سامانه‌های فرماندهی و کنترل شناختی مطرح کردند. یکی از یافته‌های مهم پژوهش آن بود که توضیح‌پذیری در سامانه‌های فرماندهی و کنترل شناختی نباید به‌صورت ثابت و یکسان برای تمامی کاربران طراحی شود. تحلیل دیدگاه‌های خبرگان نشان داد که اثربخشی توضیحات ارائه‌شده توسط سامانه به میزان انطباق آن‌ها با شرایط عملیاتی، نقش تصمیم‌گیرنده، محدودیت‌های زمانی و سطح تخصص کاربران وابسته است. بر این اساس، خبرگان بر ضرورت توسعه سازوکارهای توضیح‌پذیری تطبیقی و زمینه‌آگاه تأکید کردند؛ به‌گونه‌ای که نوع، سطح جزئیات و شیوه ارائه توضیحات متناسب با ویژگی‌های موقعیت تصمیم‌گیری تنظیم شود.

[Downloaded from ic4i-journal.ir on 2026-11-21]



شکل ۷. الزامات طراحی سازوکار توضیح‌پذیری تطبیقی و زمینه‌آگاه در سامانه‌های فرماندهای و کنترل شناختی.

همان‌گونه که در شکل ۷ نشان داده شده است، توضیح تولیدشده توسط سامانه باید به‌طور پویا بر اساس چهار عامل اصلی شامل مرحله چرخه شناختی DOODA، شرایط عملیاتی و فشار زمانی، نقش تصمیم‌گیرنده و سطح تخصص یا تجربه کاربر تنظیم شود. در این رویکرد، سامانه به جای ارائه توضیحی یکسان برای همه کاربران، محتوای توضیح، میزان جزئیات و نحوه نمایش آن را متناسب با نیازهای شناختی هر کاربر و شرایط مأموریت تطبیق می‌دهد. این یافته، بعد کاربردی مضمون توضیح‌پذیری شناختی را تبیین می‌کند و نشان می‌دهد که طراحی سامانه‌های XAI در محیط‌های فرماندهی و کنترل باید بر پایه اصول توضیح‌پذیری انسان‌محور، انعطاف‌پذیری شناختی و سازگاری با زمینه عملیاتی استوار باشد.

۳-۱۱. چارچوب نهایی پیشنهادی پژوهش

یافته‌های حاصل از تحلیل موضوعی نشان داد که فرصت‌ها و چالش‌های ادغام هوش مصنوعی توضیح‌پذیر در سامانه‌های فرماندهی و کنترل شناختی را می‌توان در قالب مجموعه‌ای از سازوکارهای به‌هم‌پیوسته سازمان‌دهی کرد. از یک سو، فرصت‌های شناسایی‌شده در سه حوزه معناسازی وضعیت، برنامه‌ریزی و تصمیم‌سازی، و اجرای عملیات توزیع شده‌اند و از سوی دیگر، تحقق اثربخش این قابلیت‌ها مستلزم توجه هم‌زمان به الزامات شناختی، شفافیت تصمیم و انطباق توضیحات با زمینه عملیاتی است. بر مبنای یکپارچه‌سازی مضامین استخراج‌شده، چارچوب نهایی پژوهش برای ادغام هوش مصنوعی توضیح‌پذیر در سامانه‌های فرماندهی و کنترل شناختی در جدول ۱۵ ارائه شده است.

[Downloaded from ic4i-journal.ir on 2026-11-21]

جدول ۱۵. چارچوب مفهومی نهایی پژوهش برای ادغام هوش مصنوعی توضیح‌پذیر در سامانه‌های فرماندهی و کنترل شناختی؛ توسعه‌یافته بر اساس یافته‌های تحلیل تماتیک خبرگان.

مضامین اصلی استخراج شده	۱-معناسازی وضعیت	۲-برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری	۳-اجرای عملیات	٤-توضیح‌پذیری شناختی	٥-امکان‌پذیری استقرار
مضامین فرعی (نمونه)	- جستجوی هوشمند - تطبیق داده - تشخیص ناهنجاری	- تحلیل مسیرها و گزینه‌های عمل - تحلیل ریسک - توسعه تاکتیک	- بازبرنامه‌ریزی تطبیقی - مدیریت اطلاعات - تصمیم‌گیری بلادرنگ	- اعتماد - شفافیت - همراستایی شناختی	- بلوغ فناوری - زیرساخت - آمادگی فناوری
نگاشت مضامین به چرخه شناختی DOODA	مشاهده	جهت‌یابی	تصمیم‌گیری	اجرا	بازخورد
قابلیت‌های کلیدی هوش مصنوعی توضیح‌پذیر (XAI)	- ارائه دلایل و منابع تصمیم - تحلیل قابل فهم داده‌ها - نمایش اطمینان و کیفیت داده	- نمایش روابط و الگوها - تحلیل سناریوها و گزینه‌ها - تبیین منطق استنتاج و اولویت‌بندی	- تولید و تبیین مسیرها و گزینه‌ها - ارزیابی پیامدها و ریسک‌ها - تبیین چرایی پیشنهادها	- توضیح اقدامات و فرماندهی - بازخوردپذیری پویا - پایش و تبیین نتایج عملیات	- توضیح نتایج و انحرافات - یادگیری از تجربه و بازخورد - بهوبد مستمر مدل‌ها
تعامل انسان و هوش مصنوعی	انسان (کاربر/فرماند) قضاوت و تجربه، تعیین اهداف و اولویت‌ها، خروجی،و ... تصمیم نهایی و نظارت بر اجرا		تعامل مستمر و دوسویه انسان و هوش مصنوعی	هوش مصنوعی توضیح‌پذیر تحلیل داده‌ها، شناسایی الگوها، استنتاج، تولید پیشنهادها و توضیح دلایل و منطق تصمیمات	
پیامدهای شناختی مورد انتظار	افزایش آگاهی موقعیتی و درک بهتر محیط	بهبود کیفیت تصمیم‌گیری و انتخاب گزینه‌های بهینه	اجرای مؤثر و تطبیقی عملیات در محیط‌های پویا	افزایش اعتماد و شفافیت انسان به سیستم	یادگیری سازمانی و بهبود مستمر عملکرد
هدف نهایی چارچوب	ارتقای قابلیت تصمیم‌گیری انسان‌محور در محیط‌های پیچیده عملیات نظامی از طریق ادغام هوش مصنوعی توضیح‌پذیر در سامانه‌های فرماندهی و کنترل شناختی				

همان‌گونه که در جدول ۱۵ مشاهده می‌شود، چارچوب نهایی پژوهش از یک فرآیند استقرایی مبتنی بر داده‌های کیفی توسعه یافته است. در این چارچوب، مضامین اصلی استخراج‌شده از تحلیل تماتیک به‌عنوان هسته مفهومی مدل عمل می‌کنند و از طریق نگاشت بر مراحل چرخه شناختی DOODA، نقش هر مضمون در پشتیبانی از تصمیم‌گیری شناختی تبیین می‌شود. بر این اساس، معناسازی وضعیت، برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری و اجرای عملیات به‌عنوان مؤلفه‌های عملیاتی چرخه شناختی، در تعامل مستقیم با قابلیت‌های توضیح‌پذیری، استدلال و شفاف‌سازی هوش مصنوعی قرار می‌گیرند؛ در حالی که دو مضمون توضیح‌پذیری شناختی و امکان‌پذیری استقرار به‌عنوان الزامات فرابخشی، اعتماد کاربران، همراستایی شناختی، آمادگی فناورانه و قابلیت استقرار سامانه را تقویت می‌کنند.

از دیدگاه نظری، این چارچوب شکاف موجود میان ادبیات هوش مصنوعی توضیح‌پذیر و مدل‌های شناختی فرماندهی و کنترل را با ارائه یک مدل تلفیقی مبتنی بر شواهد تجربی برطرف می‌کند. از منظر کاربردی نیز، چارچوب پیشنهادی می‌تواند به‌عنوان مبنایی برای طراحی، ارزیابی و استقرار سامانه‌های فرماندهی و کنترل شناختی مبتنی بر هوش مصنوعی توضیح‌پذیر مورد استفاده قرار گیرد؛ به‌گونه‌ای که ضمن افزایش شفافیت و قابلیت اعتماد سامانه، کیفیت تصمیم‌گیری انسانی، آگاهی موقعیتی، انطباق‌پذیری عملیاتی و یادگیری مستمر سازمانی نیز ارتقا یابد.

٤. بحث

هدف این پژوهش، تبیین چگونگی ادغام نظام‌مند هوش مصنوعی توضیح‌پذیر در سامانه‌های فرماندهی و کنترل شناختی و ارائه چارچوبی انسان‌محور مبتنی بر چرخه DOODA بود. یافته‌های حاصل از تحلیل موضوعی داده‌های خبرگان نشان داد که فرصت‌ها و چالش‌های ادغام XAI را می‌توان در امتداد سه فعالیت اصلی فرماندهی و کنترل شامل معناسازی وضعیت، برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری، و اجرای عملیات سازمان‌دهی کرد. نتایج همچنین نشان داد که ارزش عملیاتی XAI در محیط‌های فرماندهی و کنترل صرفاً به بهبود عملکرد الگوریتمی محدود

[Downloaded from ic4i-journal.ir on 2026-11-21]

نمی‌شود، بلکه به میزان توانایی سامانه در انتقال معنا، کاهش عدم قطعیت ادراک‌شده و پشتیبانی از قضاوت انسانی وابسته است.

یکی از مهم‌ترین یافته‌های پژوهش حاضر، اولویت بالای قابلیت‌های توضیح‌پذیر در مرحله معناسازی وضعیت بود. خبرگان مشارکت‌کننده تلفیق داده‌های توضیح‌پذیر، تشخیص ناهنجاری‌های همراه با تبیین و بازیابی هدفمند اطلاعات را مهم‌ترین حوزه‌های کاربردی XAI ارزیابی کردند. این نتیجه با دیدگاه‌های مطرح در ادبیات فرماندهی و کنترل شناختی همسو است که معناسازی را هسته اصلی تصمیم‌گیری در محیط‌های پیچیده و پویا می‌دانند. مطالعات آلبرتز و هیز[1] (۲۰۰۳) و نیز اندزلی[2] (۲۰۱۷) نشان داده‌اند که کیفیت تصمیم‌گیری بیش از آنکه تابع حجم اطلاعات باشد، به کیفیت درک و تفسیر وضعیت بستگی دارد [۴۹] ,[۳۳]. پژوهش‌های جدیدتر در حوزه فرماندهی و کنترل شناختی و حس‌سازی مشترک انسان—ماشین[3] نشان می‌دهند که چالش اصلی محیط‌های عملیاتی آینده دیگر صرفاً گردآوری یا پردازش حجم عظیم داده‌ها نیست، بلکه تبدیل این داده‌ها به درکی مشترک، معنادار و قابل اعتماد برای تصمیم‌گیرندگان انسانی است [۷۲], [۷۳], [۷٤], [۷۵]. یافته‌های پژوهش حاضر این دیدگاه را بسط می‌دهد و نشان می‌دهد که در سامانه‌های مبتنی بر هوش مصنوعی، شفافیت فرآیند تولید دانش به همان اندازه کیفیت خود خروجی‌های تحلیلی اهمیت دارد. به بیان دیگر، فرماندهان صرفاً به توصیه نهایی سامانه نیاز ندارند، بلکه انتظار دارند منشأ داده‌ها، نحوه تلفیق اطلاعات، منطق استنتاج، فرضیات به‌کاررفته و میزان عدم‌قطعیت موجود در تحلیل‌ها نیز برای آنان قابل مشاهده و قابل درک باشد. این یافته با مطالعات جدید حوزه هوش مصنوعی توضیح‌پذیر و شفافیت شناختی همخوانی دارد که نشان می‌دهند اعتماد مؤثر به سامانه‌های هوشمند زمانی شکل می‌گیرد که توضیح‌ها بتوانند با نیازهای شناختی، نقش سازمانی و زمینه تصمیم‌گیری کاربران سازگار شوند و صرفاً به ارائه دلایل فنی یا ریاضی مدل محدود نباشند [۷۷] ,[۷٦], [۳۹] ,[۱۱].

یافته دیگر پژوهش به مرحله برنامه‌ریزی و توسعه مسیرهای اقدام مربوط می‌شود. مطابق نتایج، پیشنهاد مسیرهای اقدام همراه با توجیه و استدلال، بالاترین رتبه را در میان فرصت‌های شناسایی‌شده کسب کرد. این نتیجه با مطالعات جدید حوزه همکاری انسان و هوش مصنوعی همسو است که نشان می‌دهند پذیرش توصیه‌های مبتنی بر هوش مصنوعی بیش از دقت پیش‌بینی به قابلیت سامانه در توضیح چرایی تصمیم‌ها وابسته است. پژوهش‌های منتشرشده در سال‌های اخیر توسط بانسال و همکاران[4] (۲۰۱۹)، بوچینکا و همکاران[5] (۲۰۲۱)، احسان و ریدل[6] (۲۰۲۰)، میلر[7] (۲۰۱۹)، وود[8] (۲۰۲٤)، تسامادوس و همکاران[9] (۲۰۲۲)، و سایر پژوهشگران حوزه اعتماد به هوش مصنوعی نشان داده‌اند که کاربران زمانی توصیه‌های سامانه را می‌پذیرند که بتوانند منطق، فرضیات و پیامدهای آن را درک و ارزیابی کنند [۷۸] ,[۷٦] ,[٦۳] ,[۵۲] ,[۳۷] ,[۳٦] ,[۱۱]. با این حال، تفاوت مهم پژوهش حاضر با بخش عمده‌ای از مطالعات پیشین در آن است که توضیح‌پذیری صرفاً به‌عنوان یک ابزار تفسیر خروجی مدل در نظر گرفته نشده، بلکه به‌عنوان بخشی از فرآیند تصمیم‌سازی مفهوم‌سازی شده است. نتایج نشان می‌دهد که توضیح فرضیات، محدودیت‌ها، ریسک‌ها و معیارهای ارزیابی نه‌تنها موجب افزایش اعتماد می‌شود، بلکه امکان نقد، اصلاح و تکمیل خروجی‌های سامانه توسط تصمیم‌گیرندگان انسانی را نیز فراهم می‌کند. از این منظر، یافته‌های پژوهش حاضر از گذار تدریجی سامانه‌های فرماندهی و کنترل از تصمیم‌گیری خودکار به تصمیم‌سازی توضیح‌پذیر حکایت دارد؛ رویکردی که در آن هوش مصنوعی نقش تقویت‌کننده قضاوت انسانی را ایفا می‌کند.

نتایج مرحله اجرا نیز بر اهمیت طراحی توضیح‌های متناسب با زمینه عملیاتی تأکید داشت. برخلاف مراحل تحلیل و

[1] Alberts & Hayes
[2] Endsley
[3] Human-Machine Sensemaking
[4] Bansal et al
[5] Buçinca et al
[6] Ehsan & Riedl
[7] Miller
[8] Wood
[9] Tsamados et al

[Downloaded from ic4i-journal.ir on 2026-11-21]

برنامه‌ریزی که امکان ارائه توضیحات تفصیلی وجود دارد، در شرایط زمان‌بحرانی توضیح‌ها باید کوتاه، اولویت‌بندی‌شده و متناسب با نقش کاربر باشند. این یافته با ادبیات بار شناختی، تصمیم‌گیری تحت فشار و طراحی انسان‌محور سامانه‌های هوشمند همخوانی دارد؛ زیرا مطالعات نشان داده‌اند که ظرفیت پردازش شناختی کاربران در شرایط پویای عملیاتی محدود بوده و ارائه اطلاعات غیرضروری می‌تواند موجب کاهش کیفیت تصمیم‌گیری شود [۷۹], [۷٦], [۷٤]. همچنین پژوهش‌های اخیر در حوزه هوش مصنوعی توضیح‌پذیر نشان می‌دهند که توضیح‌های بیش از حد مفصل یا غیرمتناسب با نیاز کاربر نه‌تنها اعتماد را افزایش نمی‌دهند، بلکه ممکن است موجب افزایش بار شناختی، ایجاد اعتماد کاذب یا کاهش کارایی تصمیم‌گیرندگان شوند [۷٦], [۵۲], [۱۱] . یافته‌های پژوهش حاضر این موضوع را در بستر فرماندهی و کنترل شناختی تأیید می‌کند و نشان می‌دهد که اثربخشی توضیح‌پذیری بیش از آنکه به حجم اطلاعات وابسته باشد، به میزان انطباق آن با مرحله چرخه تصمیم‌گیری، فشار زمانی، نقش سازمانی و ویژگی‌های شناختی کاربر بستگی دارد. از این منظر، چارچوب پیشنهادی پژوهش حاضر با بسیاری از رویکردهای رایج XAI تفاوت دارد؛ زیرا توضیح را یک خروجی ثابت و مستقل از زمینه تلقی نمی‌کند، بلکه آن را فرایندی تطبیقی و پویا می‌داند که باید متناسب با شرایط عملیاتی و نیازهای شناختی تصمیم‌گیرندگان تغییر یابد. این دیدگاه با مطالعات جدید حوزه تعامل انسان و هوش مصنوعی نیز همسو است که طراحی توضیح‌های تطبیقی را یکی از الزامات توسعه سامانه‌های تصمیم‌یار قابل اعتماد در محیط‌های پرریسک معرفی کرده‌اند [٦۳], [۷٤], [۸۰].

از سوی دیگر، یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد که مهم‌ترین مانع استقرار موفق هوش مصنوعی توضیح‌پذیر در سامانه‌های فرماندهی و کنترل، صرفاً محدودیت‌های فنی مدل‌های هوش مصنوعی نیست، بلکه عدم هم‌راستایی شناختی میان توضیحات تولیدشده و نیازهای واقعی کاربران انسانی است. نتایج جدول مربوط به چالش‌ها نیز نشان داد که این عامل بیشترین میزان توافق را در میان خبرگان کسب کرده است. این یافته با مطالعات اخیر در حوزه هوش مصنوعی مسئولانه[۱] [۸۱]، هوش مصنوعی انسان‌محور[۲] [۸۲] و مهندسی شناختی [۷٤] همسو است که نشان می‌دهند شفافیت فنی مدل‌ها به‌تنهایی برای ایجاد اعتماد و استفاده مؤثر از سامانه‌های هوشمند کافی نیست؛ بلکه توضیح‌ها باید با اهداف، مدل ذهنی، سطح تخصص و زمینه تصمیم‌گیری کاربران سازگار باشند [۷٦], [٦۳], [۵۲], [۱۱] . همچنین پژوهش‌های جدید تأکید می‌کنند که عدم انطباق میان نحوه ارائه توضیح و نیازهای شناختی کاربران می‌تواند موجب کاهش اعتماد، افزایش بار شناختی و استفاده نادرست از توصیه‌های سامانه شود، حتی اگر مدل از منظر فنی عملکرد مطلوبی داشته باشد [۸۳], [۸۰], [۷۸] . از این منظر، یافته‌های پژوهش حاضر نشان می‌دهد که آنچه می‌توان از آن با عنوان توضیح‌پذیری شناختی یاد کرد، نه صرفاً تولید توضیح برای خروجی‌های الگوریتمی، بلکه طراحی توضیح‌هایی است که متناسب با نقش، تجربه، اهداف و شرایط عملیاتی تصمیم‌گیرندگان باشند. این نتیجه بیانگر آن است که توسعه سامانه‌های فرماندهی و کنترل آینده باید بیش از پیش بر شناخت کاربران و طراحی انسان‌محور توضیح‌ها مبتنی باشد.

یافته‌های پژوهش همچنین نشان داد که تعارض میان دقت الگوریتمی و توضیح‌پذیری همچنان یکی از چالش‌های اساسی توسعه سامانه‌های فرماندهی و کنترل مبتنی بر هوش مصنوعی است. این چالش در ادبیات XAI نیز به‌طور گسترده مورد توجه قرار گرفته است؛ به‌گونه‌ای که بسیاری از پژوهش‌ها نشان داده‌اند افزایش پیچیدگی مدل‌های یادگیری عمیق، اگرچه معمولاً به بهبود عملکرد پیش‌بینی منجر می‌شود، اما قابلیت تفسیر و اعتماد کاربران را کاهش می‌دهد [٦۲], [۱۵], [۱۱]. در پاسخ به این مسئله، پژوهش‌های جدید در حوزه هوش مصنوعی عصبی–نمادین[۳] بر ترکیب قابلیت یادگیری مدل‌های داده‌محور با توان استدلال سامانه‌های نمادین تأکید کرده‌اند تا ضمن حفظ دقت، امکان تولید استدلال‌های قابل فهم و قابل دفاع نیز فراهم شود [۸۷], [۸٦], [۸۵], [۸٤]. نتایج پژوهش حاضر نیز این دیدگاه را

[۱] Responsible AI

[۲] Human-Centered AI

[۳] Neuro-Symbolic AI

[Downloaded from ic4i-journal.ir on 2026-11-21]

تأیید می‌کند و نشان می‌دهد که معماری‌های عصبی–نمادین می‌توانند مسیر مناسبی برای ایجاد تعادل میان توان پیش‌بینی الگوریتم‌ها و نیاز کاربران به استدلال قابل دفاع فراهم کنند. این معماری‌ها امکان می‌دهند خروجی‌های پیچیده مدل‌های یادگیری ماشین در قالب قواعد، روابط علّی و استدلال‌های قابل فهم برای کاربران انسانی بازنمایی شوند و در نتیجه، اعتماد، شفافیت و قابلیت اتکای تصمیم‌های مبتنی بر هوش مصنوعی در سامانه‌های فرماندهی و کنترل شناختی افزایش یابد.

در مجموع، یافته‌های پژوهش حاضر شکاف شناسایی‌شده در ادبیات را تأیید می‌کند. همان‌گونه که در جدول شکاف پژوهشی نشان داده شد، بخش عمده مطالعات پیشین تنها بر یکی از ابعاد هوش مصنوعی در C۲، توضیح‌پذیری، طراحی انسان‌محور یا فرماندهی و کنترل شناختی تمرکز داشته‌اند. در مقابل، پژوهش حاضر تلاش می‌کند این چهار حوزه را در قالب یک چارچوب مفهومی یکپارچه مبتنی بر چرخه DOODA به یکدیگر پیوند دهد. از این رو، مهم‌ترین سهم نظری این پژوهش ارائه چارچوبی است که توضیح‌پذیری را نه یک قابلیت الحاقی، بلکه یک اصل طراحی در معماری فرماندهی و کنترل شناختی در نظر می‌گیرد. همچنین از منظر کاربردی، یافته‌ها مجموعه‌ای از الزامات طراحی برای نسل آینده سامانه‌های C۲ ارائه می‌کنند که شامل طراحی توضیح‌پذیری تطبیقی، سنجش هم‌راستایی شناختی، مدیریت بار شناختی و بهره‌گیری از معماری‌های عصبی–نمادین است.

۵. نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف بررسی چگونگی ادغام نظام‌مند هوش مصنوعی توضیح‌پذیر در سامانه‌های فرماندهی و کنترل شناختی انجام شد. نتایج حاصل از تحلیل دیدگاه‌های ۵۶ متخصص حوزه‌های فرماندهی و کنترل، هوش مصنوعی و علوم شناختی نشان داد که XAI می‌تواند در تمامی مراحل چرخه DOODAنقش مؤثری در ارتقای کیفیت تصمیم‌گیری ایفا کند. یافته‌ها نشان دادند که بیشترین ظرفیت کاربردی XAI در حوزه‌های معناسازی وضعیت، پشتیبانی از برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری، و مدیریت اجرای عملیات قرار دارد و اثربخشی این قابلیت‌ها به میزان شفافیت، اعتمادپذیری و هم‌راستایی شناختی توضیحات تولیدشده وابسته است.

نوآوری اصلی پژوهش حاضر در ارائه یک چارچوب انسان‌محور برای ادغام XAI در سامانه‌های فرماندهی و کنترل شناختی است؛ چارچوبی که توضیح‌پذیری را به‌عنوان یک اصل طراحی در سراسر چرخه DOODA وارد فرآیند تصمیم‌گیری می‌کند. برخلاف رویکردهای رایج که توضیح‌پذیری را به‌صورت یک لایه پسینی به سامانه‌های هوش مصنوعی اضافه می‌کنند، چارچوب پیشنهادی این پژوهش XAI را به‌عنوان بخشی از معماری شناختی سامانه در نظر می‌گیرد. این رویکرد امکان شکل‌گیری تعامل مؤثرتر میان انسان و هوش مصنوعی، افزایش اعتماد کاربران و بهبود کیفیت تصمیم‌گیری در شرایط پیچیده، پویا و مملو از عدم قطعیت را فراهم می‌کند.

با وجود این، پژوهش حاضر دارای محدودیت‌هایی نیز هست. نخست، یافته‌ها مبتنی بر قضاوت خبرگان بوده و هنوز در محیط‌های عملیاتی واقعی ارزیابی نشده‌اند. دوم، چارچوب ارائه‌شده ماهیتی مفهومی دارد و نیازمند آزمون تجربی در سناریوهای شبیه‌سازی‌شده و عملیاتی است. سوم، مطالعه حاضر بیشتر بر ابعاد شناختی و طراحی متمرکز بوده و جزئیات فنی پیاده‌سازی معماری‌های XAI را مورد بررسی قرار نداده است. از این رو، پژوهش‌های آینده می‌توانند بر توسعه نمونه‌های اولیه سامانه، ارزیابی تجربی چارچوب پیشنهادی، طراحی شاخص‌های سنجش شفافیت شناختی و بررسی ظرفیت معماری‌های عصبی–نمادین برای تولید توضیح‌های تطبیقی متمرکز شوند.

در نهایت، یافته‌های این مطالعه نشان می‌دهد که آینده سامانه‌های فرماندهی و کنترل شناختی در جایگزینی انسان با هوش مصنوعی خلاصه نمی‌شود، بلکه در توسعه سامانه‌های انسان–هوش مصنوعی توضیح‌پذیر نهفته است؛ سامانه‌هایی که بتوانند میان توان محاسباتی ماشین و قضاوت شناختی انسان توازن برقرار کرده و کیفیت تصمیم‌گیری، اعتماد عملیاتی و اثربخشی مأموریت را به‌صورت هم‌زمان ارتقا دهند.

با وجود تلاش برای افزایش اعتبار و قابلیت اعتماد یافته‌ها، پژوهش حاضر دارای محدودیت‌هایی است که باید در تفسیر

[Downloaded from ic4i-journal.ir on 2026-11-21]

نتایج و تعمیم چارچوب پیشنهادی مورد توجه قرار گیرد. نخست، چارچوب ارائه‌شده ماهیتی مفهومی دارد و اعتبار آن تاکنون در یک سامانه واقعی فرماندهی و کنترل یا یک محیط شبیه‌سازی‌شده با سناریوهای عملیاتی کنترل‌شده آزمون نشده است. ازاین‌رو، ادعاهای مربوط به پیامدهایی مانند بهبود کیفیت تصمیم‌گیری، افزایش آگاهی موقعیتی، ارتقای اعتماد یا کاهش بار شناختی باید به‌عنوان ظرفیت‌ها و پیامدهای مورد انتظار چارچوب تلقی شوند، نه نتایج تجربی اثبات‌شده. اعتبارسنجی تجربی چارچوب در محیط‌های شبیه‌سازی‌شده و در مراحل بعدی در محیط‌های عملیاتی، برای بررسی اثربخشی واقعی آن ضروری است.

دوم، بخش مهمی از یافته‌های پژوهش بر داده‌ها و قضاوت‌های خبرگان استوار است. اگرچه برای افزایش اعتبارپذیری و تأییدپذیری یافته‌ها از مشارکت خبرگان چندرشته‌ای، تحلیل مستقل داده‌ها توسط دو پژوهشگر، بازبینی مشارکت‌کنندگان، مرور همتایان، مستندسازی فرآیند تحلیل و بازاندیشی پژوهشگر استفاده شد، ماهیت قضاوت‌محور داده‌ها احتمال سوگیری ادراکی، حرفه‌ای و زمینه‌ای را به‌طور کامل منتفی نمی‌کند. به‌ویژه، تجربه حرفه‌ای، حوزه تخصصی و زمینه سازمانی خبرگان می‌تواند بر نحوه ادراک ارزش عملیاتی قابلیت‌های XAI و اولویت‌بندی آنها تأثیرگذار باشد. بنابراین، مطالعات آینده باید یافته‌های حاصل از خبرگان را با داده‌های رفتاری و عملکردی کاربران، آزمون‌های تجربی و ارزیابی‌های چندمنبعی مقایسه و اعتبارسنجی کنند.

سوم، پژوهش حاضر عمدتاً بر ابعاد شناختی، طراحی انسان‌محور و الزامات معماری تمرکز داشته و جزئیات فنی پیاده‌سازی XAI در یک سامانه واقعی C۲ را به‌صورت عمیق بررسی نکرده است. در نتیجه، موضوعاتی مانند انتخاب و مقایسه روش‌های XAI، نحوه اتصال موتور توضیح به مدل‌های تصمیم‌یار، مدیریت عدم‌قطعیت، الزامات محاسباتی و زمانی، محدودیت‌های ارتباطی، امنیت توضیح‌ها و نحوه ادغام خروجی XAI با رابط کاربر C۲ نیازمند بررسی‌های فنی و تجربی مستقل هستند. این محدودیت به‌ویژه در محیط‌های زمان‌بحرانی اهمیت دارد، زیرا توضیح‌های تولیدشده باید علاوه بر صحت فنی، از نظر زمان ارائه، حجم اطلاعات و تناسب با نقش و وضعیت شناختی کاربر نیز مناسب باشند.

بر این اساس، مسیر پژوهش‌های آینده می‌تواند در سه جهت اصلی دنبال شود: نخست، توسعه یک نمونه اولیه از چارچوب و ارزیابی آن در محیط‌های شبیه‌سازی‌شده C۲ با سناریوهای عملیاتی متنوع؛ دوم، سنجش تجربی تأثیر قابلیت‌های XAI بر شاخص‌هایی مانند کیفیت و زمان تصمیم‌گیری، آگاهی موقعیتی، اعتماد، بار شناختی و میزان اتکای مناسب کاربر به توصیه‌های سامانه؛ و سوم، توسعه و ارزیابی معماری فنی XAI متناسب با الزامات سامانه‌های C۲، با تمرکز بر توضیح‌های تطبیقی، زمینه‌آگاه و نقش‌محور و نیز ملاحظات زمان واقعی، امنیت و قابلیت استقرار.

تشکر و قدردانی

از کلیه اندیشمندان و پژوهشگرانی که در خلال تحقیق خالصانه دیدگاه‌ها و نقطه نظرات علمی و کارشناسی خود را ارائه نمودند، تشکر و قدردانی می‌گردد.

تضاد منافع

بدین وسیله نویسندگان تصریح می‌نمایند که هیچ گونه تضاد منافعی در خصوص پژوهش حاضر وجود ندارد.

٦. مراجع

[۱] Y. LeCun, Y. Bengio, and G. Hinton, "Deep learning," *Nature*, vol. ٥٢١, no. ٧٥٥٣, pp. ٤٣٦–٤٤٤, ٢٠١٥, doi: ١٠,١٠٣٨/nature١٤٥٣٩.

[۲] M. L. S. Jr, "Command and Control in the Information Age," *20th ICCRTS*, ٢٠١٤.

[۳] J. Lundberg, J. Stirna, and K. Andersson, "Designing Military Command and Control Systems as System of Systems – An Analysis of Stakeholder Needs and Challenges," in *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, ٢٠٢٤. doi: ١٠,١٠٠٧/٩٧٨-٣-٠٣١-٦١٠٥٧-٨_٢٠.

[٤] J. Zimmerman, A. Khorram-Manesh, E. Carlström, Y. Robinson, and J. Björås, "Developing a conceptual framework to facilitate inter-organizational partnership in disasters and public health emergencies," *Int. J. Emerg. Med.*, vol.

[Downloaded from ic4i-journal.ir on 2026-11-21]

[۱۸] J. D. Lee and K. A. See, "Trust in automation: Designing for appropriate reliance," ۲۰۰٤. doi: ۱۰,۱۵۱۸/hfes.٤٦,۱,۵۰_۳۰۳۹۲.

[۱۹] M. L. Cummings, "Automation bias in intelligent time critical decision support systems," in *Collection of Technical Papers - AIAA 1st Intelligent Systems Technical Conference*, ۲۰۰٤. doi: ۱۰,٤۳۲٤/۹۷۸۱۳۱۵۰۹۵۰۸۰-۱۷.

[۲۰] W. Koch, "Tracking and Sensor Data Fusion: Methodological Framework and Selected Applications," *Mathematical Engineering*, vol. ۸, ۲۰۱٤.

[۲۱] X. Li *et al.*, "Data Fusion for Intelligent Crowd Monitoring and Management Systems: A Survey," ۲۰۲۱. doi: ۱۰,۱۱۰۹/ACCESS.۲۰۲۱,۳۰٦۰٦۳۱.

[۲۲] A. Kott, *Battle of Cognition: The Future Information-Rich Warfare and The Mind of The Commander*. ۲۰۰۷.

[۲۳] G. Ras, N. Xie, M. van Gerven, and D. Doran, "Explainable Deep Learning: A Field Guide for the Uninitiated," *Journal of Artificial Intelligence Research*, vol. ۷۳, ۲۰۲۲, doi: ۱۰,۱٦۱۳/JAIR.۱,۱۳۲۰۰.

[۲٤] D. Gunning and D. W. Aha, "DARPA's explainable artificial intelligence program," *AI Mag.*, vol. ٤۰, no. ۲, ۲۰۱۹, doi: ۱۰,۱٦۰۹/aimag.v٤۰i۲,۲۸۵۰.

[۲۵] J. R. Boyd, "A discourse on winning and losing," ۱۹۸۷.

[۲٦] D. Griffith, "Joint Cognitive Systems: Foundations of Cognitive Systems Engineering," *Ergonomics in Design: The Quarterly of Human Factors Applications*, vol. ۱۵, no. ۲, ۲۰۰۷, doi: ۱۰,۱۱۷۷/۱۰٦٤۸۰٤٦۰۷۰۱۵۰۰۲۰۸.

[۲۷] E. Hollnagel and D. D. Woods, *Joint cognitive systems: Foundations of cognitive systems engineering*. ۲۰۰۵.

[۲۸] NATO C۲COE, "Cognitive Warfare NATO Chief Scientist Research Report," ۲۰۲۵.

[۲۹] G. Li, W. Ma, G. Du, X. Li, P. Hu, and X. Zhao, "Human-AI Integration: The Next Generation Command and Control Paradigm," in *Lecture Notes in Electrical Engineering*, ۲۰۲٤. doi: ۱۰,۱۰۰۷/۹۷۸-۹۸۱-۹۷-۷۷۷۰-۹_۲.

[۳۰] A. , & A. D. S. Kott, "۲۰۲٤ International Conference on Military Communication and Information Systems, ICMCIS ۲۰۲٤," ۲۰۲٤.

[۳۱] F. K. Došilović, M. Brčić, and N. Hlupić, "Explainable artificial intelligence: A survey," in *2018 41st International convention on information and communication technology, electronics and microelectronics (MIPRO)*, IEEE, ۲۰۱۸, pp. ۲۱۰–۲۱۵.

[۳۲] P. Linardatos, V. Papastefanopoulos, and S. Kotsiantis, "Explainable ai: A review of machine learning interpretability methods," ۲۰۲۱. doi: ۱۰,۳۳۹۰/e۲۳۰۱۰۰۱۸.

[۳۳] D. S. Alberts and R. E. Hayes, "Power to the edge: Command... control... in the information age," ۲۰۰۳.

۱۸, no. ۱, ۲۰۲۵, doi: ۱۰,۱۱۸٦/s۱۲۲٤۵-۰۲۵-۰۱۰۲۷-۷.

[۵] M. T. Cox, "Metacognition in computation: A selected research review," ۲۰۰۵. doi: ۱۰,۱۰۱٦/j.artint.۲۰۰۵,۱۰,۰۰۹.

[٦] A. Selkowitz, S. Lakhmani, J. Y. C. Chen, and M. Boyce, "The effects of agent transparency on human interaction with an autonomous robotic agent," in *Proceedings of the human factors and ergonomics society annual meeting*, SAGE Publications Sage CA: Los Angeles, CA, ۲۰۱۵, pp. ۸۰٦–۸۱۰.

[۷] M. Bistron and Z. Piotrowski, "Artificial intelligence applications in military systems and their influence on sense of security of citizens," *Electronics (Switzerland)*, vol. ۱۰, no. ۷, ۲۰۲۱, doi: ۱۰,۳۳۹۰/electronics۱۰۰۷۰۸۷۱.

[۸] I. Szabadföldi, "Artificial Intelligence in Military Application – Opportunities and Challenges," *Land Forces Academy Review*, vol. ۲٦, no. ۲, ۲۰۲۱, doi: ۱۰,۲٤۷۸/raft-۲۰۲۱-۰۰۲۲.

[۹] J. Y. C. Chen, "Human-autonomy teaming in military settings," *Theor. Issues Ergon. Sci.*, vol. ۱۹, no. ۳, ۲۰۱۸, doi: ۱۰,۱۰۸۰/۱٤٦۳۹۲۲X.۲۰۱۷,۱۳۹۷۲۲۹.

[۱۰] T. Miller, "Explanation in Artificial Intelligence: Insights from the Social Sciences Article in Artificial Intelligence," ۲۰۱۷.

[۱۱] T. Miller, "Explanation in artificial intelligence: Insights from the social sciences," ۲۰۱۹. doi: ۱۰,۱۰۱٦/j.artint.۲۰۱۸,۰۷,۰۰۷.

[۱۲] Z. C. Lipton, "The mythos of model interpretability," *Commun. ACM*, vol. ٦۱, no. ۱۰, ۲۰۱۸, doi: ۱۰,۱۱٤۵/۳۲۳۳۲۳۱.

[۱۳] R. R. Hoffman, S. T. Mueller, G. Klein, and J. Litman, "Metrics for explainable AI: Challenges and prospects," *arXiv preprint arXiv:1812.04608*, ۲۰۱۸.

[۱٤] S. Sharma, "AI-Powered Cybersecurity: The Future of Threat Detection," *INTERNATIONAL JOURNAL OF SCIENTIFIC RESEARCH IN ENGINEERING AND MANAGEMENT*, vol. ۰۹, no. ۰٤, ۲۰۲۵, doi: ۱۰,۵۵۰٤۱/ijsrem٤۵۹٤۳.

[۱۵] A. Barredo Arrieta *et al.*, "Explainable Artificial Intelligence (XAI): Concepts, taxonomies, opportunities and challenges toward responsible AI," *Information Fusion*, vol. ۵۸, ۲۰۲۰, doi: ۱۰,۱۰۱٦/j.inffus.۲۰۱۹,۱۲,۰۱۲.

[۱٦] N. Wang, D. V. Pynadath, and S. G. Hill, "Trust calibration within a human-robot team: Comparing automatically generated explanations," in *ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*, ۲۰۱٦. doi: ۱۰,۱۱۰۹/HRI.۲۰۱٦,۷٤۵۱۷٤۱.

[۱۷] J. van Diggelen, K. van den Bosch, M. Neerincx, and M. Steen, "Designing for meaningful human control in military human-machine teams," in *Research Handbook on Meaningful Human Control of Artificial Intelligence Systems*, ۲۰۲٤. doi: ۱۰,٤۳۳۷/۹۷۸۱۸۰۲۲۰٤۱۳۱,۰۰۰۲۱.

[Downloaded from ic4i-journal.ir on 2026-11-21]

[۳٤] M. R. Endsley, “From Here to Autonomy: Lessons Learned from Human-Automation Research,” *Hum. Factors*, vol. ٥٩, no. ١, ٢٠١٧, doi: ١٠,١١٧٧/٠٠١٨٧٢٠٨١٦٦٨١٣٥٠.

[۳٥] D. Gunning, “DARPA’s explainable artificial intelligence (XAI) program,” ٢٠١٩. doi: ١٠,١١٤٥/٣٣٠١٢٧٥,٣٣٠٨٤٤٦.

[۳٦] N. G. Wood, “Explainable AI in the military domain,” *Ethics Inf. Technol.*, vol. ٢٦, no. ٢, ٢٠٢٤, doi: ١٠,١٠٠٧/s١٠٦٧٦-٠٢٤-٠٩٧٦٢-w.

[۳۷] A. Tsamados *et al.*, “The ethics of algorithms: key problems and solutions,” *AI Soc.*, vol. ٣٧, no. ١, pp. ٢١٥–٢٣٠, ٢٠٢٢.

[۳۸] M. Ridley, “Human-centered explainable artificial intelligence: An Annual Review of Information Science and Technology (ARIST) paper,” ٢٠٢٥. doi: ١٠,١٠٠٢/asi.٢٤٨٨٩.

[۳۹] E. Veitch and O. A. Alsos, “Human-centered explainable artificial intelligence for marine autonomous surface vehicles,” *J. Mar. Sci. Eng.*, vol. ٩, no. ١١, ٢٠٢١, doi: ١٠,٣٣٩٠/jmse٩١١١٢٢٧.

[٤٠] K. McDowell, E. Novoseller, A. Madison, V. G. Goecks, and C. Kelshaw, “Re-Envisioning Command and Control,” in *2024 International Conference on Military Communication and Information Systems, ICMCIS 2024*, ٢٠٢٤. doi: ١٠,١١٠٩/ICMCIS٦١٢٣١,٢٠٢٤,١٠٥٤٠٩٠١.

[٤١] D. S. Alberts and R. E. Hayes, “Power to the edge: Command... control... in the information age,” ٢٠٠٣.

[٤٢] J. R. Boyd, *A discourse on winning and losing*, vol. ٤٠٠. Air University Press Maxwell Air Force Base, AL, ٢٠١٨.

[٤٣] D. S. Alberts, “Agility, Focus, and Convergence: The Future of Command and Control,” *The International C2 Journal*, vol. ١, no. ١, ٢٠٠٧.

[٤٤] B. Brehmer, “The Dynamic OODA Loop: Amalgamating Boyd’s OODA Loop and the Cybernetic Approach to Command and Control,” in *10th International Command and Control Research and Technology Symposium The Future of C2*, ٢٠٠٥.

[٤٥] A. E. Murray and H. R. Leland, *Information Processing Relevant to Military Command: Survey, Recommendations and Bibliography*, vol. ١. System Design Laboratory, Electronic Systems Division, Air Force Systems …, ١٩٦٣.

[٤٦] D. Siddarth, “Four Battlegrounds: Power in the Age of Artificial Intelligence by Paul Scharre (review),” *Journal of Democracy*, vol. ٣٤, no. ٣, ٢٠٢٣, doi: ١٠,١٣٥٣/jod.٢٠٢٣.a٩٠٠٤٤٣.

[٤٧] Z. Lazar, “Four battlegrounds – power in the age of artificial intelligence,” *Defense & Security Analysis*, vol. ٤١, no. ١, ٢٠٢٥, doi: ١٠,١٠٨٠/١٤٧٥١٧٩٨,٢٠٢٥,٢٤٥٢٦٥٩.

[٤٨] M. J. McGrath, A. Duenser, J. Lacey, and C. Paris, “Collaborative human-AI trust (CHAI-T): A process framework for active management of trust in human-AI collaboration,” *Computers in Human Behavior: Artificial Humans*, vol. ٦, ٢٠٢٥, doi: ١٠,١٠١٦/j.chbah.٢٠٢٥,١٠٠٢٠٠.

[٤٩] M. R. Endsley, “From here to autonomy: lessons learned from human–automation research,” *Hum. Factors*, vol. ٥٩, no. ١, pp. ٥–٢٧, ٢٠١٧.

[٥٠] A. Tsamados *et al.*, “The ethics of algorithms: key problems and solutions,” *AI Soc.*, vol. ٣٧, no. ١, pp. ٢١٥–٢٣٠, ٢٠٢٢.

[٥١] U. Ehsan, P. Tambwekar, L. Chan, B. Harrison, and M. O. Riedl, “Automated rationale generation: A technique for explainable AI and its effects on human perceptions,” in *International Conference on Intelligent User Interfaces, Proceedings IUI*, ٢٠١٩. doi: ١٠,١١٤٥/٣٣٠١٢٧٥,٣٣٠٢٣١٦.

[٥٢] Z. Buçinca, M. B. Malaya, and K. Z. Gajos, “To Trust or to Think: Cognitive Forcing Functions Can Reduce Overreliance on AI in AI-assisted Decision-making,” *Proc. ACM Hum. Comput. Interact.*, vol. ٥, no. CSCW١, ٢٠٢١, doi: ١٠,١١٤٥/٣٤٤٩٢٨٧.

[٥٣] W. Wang and K. Siau, “Artificial intelligence, machine learning, automation, robotics, future of work and future of humanity: A review and research agenda,” *Journal of Database Management*, vol. ٣٠, no. ١, ٢٠١٩, doi: ١٠,٤٠١٨/JDM.٢٠١٩٠١٠١٠٤.

[٥٤] G. Klien, D. D. Woods, J. M. Bradshaw, R. R. Hoffman, and P. J. Feltovich, “Ten challenges for making automation a" team player" in joint human-agent activity,” *IEEE Intell. Syst.*, vol. ١٩, no. ٦, pp. ٩١–٩٥, ٢٠٠٤.

[٥٥] M. T. Fadlullah, A. Risdhianto, and H. Dewanto, “Integrating AI in Military Decision-Making: A Review of Opportunities, Risks, and Governance,” *Brilliance: Research of Artificial Intelligence*, vol. ٥, no. ٢, pp. ٨٧٩–٨٨٥, ٢٠٢٥.

[٥٦] P. Valdés Guía, “Command in war:,” *dianoesis*, vol. ١٢, ٢٠٢٤, doi: ١٠,١٢٦٨١/dia.٣٧٨٤٠.

[٥٧] NATO Science & Technology Organization, “Cognitive performance and human factors research,” ٢٠١٩.

[٥٨] M. Bloch and E. Hutchins, “Cognition in the Wild.,” *J. R. Anthropol. Inst.*, vol. ٤, no. ١, ١٩٩٨, doi: ١٠,٢٣٠٧/٣٠٣٤٤٥٥.

[٥٩] K. E. Weick, K. M. Sutcliffe, and D. Obstfeld, “Organizing and the process of sensemaking,” ٢٠٠٥. doi: ١٠,١٢٨٧/orsc.١٠٥٠,٠١٣٣.

[٦٠] F. P. B. Osinga, *Science, strategy and war: The strategic theory of John Boyd*. ٢٠٠٧. doi: ١٠,٤٣٢٤/٩٧٨٠٢٠٣٠٨٨٨٦٩.

[٦١] A. Bernal, C. Carter, I. Singh, K. Cao, and O. Madreperla, “Cognitive Warfare: An Attack on Truth and Thought,” ٢٠٢٠.

[٦٢] A. Adadi and M. Berrada, “Peeking Inside the Black-Box: A Survey on Explainable Artificial Intelligence (XAI),” *IEEE Access*, vol. ٦, ٢٠١٨, doi: ١٠,١١٠٩/ACCESS.٢٠١٨,٢٨٧٠٠٥٢.

[٦٣] G. Bansal, B. Nushi, E. Kamar, W. S. Lasecki, D. S. Weld, and E. Horvitz, “Beyond Accuracy: The Role of Mental Models in Human-AI Team

[Downloaded from ic4i-journal.ir on 2026-11-21]

Performance," in *Proceedings of the AAAI Conference on Human Computation and Crowdsourcing*, ۲۰۱۹. doi: ۱۰,۱۶۰۹/hcomp.v۷i۱,۵۲۸۵.

[٦٤] T. O'Neill, N. McNeese, A. Barron, and B. Schelble, "Human–Autonomy Teaming: A Review and Analysis of the Empirical Literature," *Hum. Factors*, vol. ٦٤, no. ٥, ۲۰۲۲, doi: ۱۰,۱۱۷۷/۰۰۱۸۷۲۰۸۲۰۹٦۰۸٦٥.

[٦٥] NATO Science and Technology Organization, "Human–Autonomy Teaming for Military Decision Support Systems," *STO Technical Report*, ۲۰۲۳.

[٦٦] G. Klein and B. Moon, "Making sense of sensemaking ۲: A macrocognitive model," ۲۰۰٦. doi: ۱۰,۱۱۰۹/MIS.۲۰۰٦,۱۰۰.

[٦٧] Y. Rong *et al.*, "Towards Human-Centered Explainable AI: A Survey of User Studies for Model Explanations," *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. ٤٦, no. ٤, ۲۰۲٤, doi: ۱۰,۱۱۰۹/TPAMI.۲۰۲۳,۳۳۳۱۸٤٦.

[٦٨] J. R. Boyd, "The Essence of Winning and Losing," *۲۸ Juin ۱۹۹٥*, no. September, ۱۹۹٥.

[٦٩] D. Jacobson, "Naturalistic Inquiry," in *International Encyclopedia of Human Geography, Second Edition*, ۲۰۱۹. doi: ۱۰,۱۰۱٦/B۹۷۸-۰-۰۸-۱۰۲۲۹٥-٥,۱۰٥۷۹-۷.

[۷۰] J. W. Creswell, *Qualitative Inquiry and Research Design: Choosing Among Five Approaches*, vol. ۱۱. ۲۰۰۷.

[۷۱] Y. Lincoln and E. G. Guba, "Criteria for Assessing Naturalistic Inquiries as Reports," in *American Educational Research Association*, ۱۹۸۸.

[۷۲] J. M. Johnson, "A Macrocognitive Design Taxonomy for Simulation-Based Training Systems: Bridging Cognitive Theory and Human–Computer Interaction," *Computers*, vol. ۱٥, no. ۲, p. ۱۱۰, ۲۰۲٦.

[۷۳] P. M. Salmon, N. A. Stanton, G. H. Walker, and D. P. Jenkins, *Distributed Situation Awareness: Theory, Measurement and Application to Teamwork*. ۲۰۱۷. doi: ۱۰,۱۲۰۱/۹۷۸۱۳۱٥٥۷۷٦٥٤.

[۷٤] M. R. Endsley, "Situation awareness misconceptions and misunderstandings," *J. Cogn. Eng. Decis. Mak.*, vol. ۹, no. ۱, ۲۰۱٥, doi: ۱۰,۱۱۷۷/۱٥٥٥۳٤۳٤۱٥٥۷۲٦۳۱.

[۷٥] NATO Science and Technology Organization, "Science & Technology Trends ۲۰۲٥–۲۰٤٥: Exploring the S&T Edge," *NATO STO*, ۲۰۲٤.

[۷٦] K. Sokol and P. Flach, "Explainability fact sheets: A framework for systematic assessment of explainable approaches," in *FAT* 2020 - Proceedings of the 2020 Conference on Fairness, Accountability, and Transparency*, ۲۰۲۰. doi: ۱۰,۱۱٤٥/۳۳٥۱۰۹٥,۳۳۷۲۸۷۰.

[۷۷] European Commission High-Level Expert Group on Artificial Intelligence., "HIGH-LEVEL EXPERT GROUP ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE SET UP BY THE EUROPEAN COMMISSION ETHICS GUIDELINES FOR TRUSTWORTHY AI," ۲۰۲۳. [Online]. Available: https://ec.europa.eu/digital-

[۷۸] U. Ehsan and M. O. Riedl, "Human-Centered Explainable AI: Towards a Reflective Sociotechnical Approach," in *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, ۲۰۲۰. doi: ۱۰,۱۰۰۷/۹۷۸-۳-۰۳۰-٦۰۱۱۷-۱_۳۳.

[۷۹] N. A. Stanton, P. M. Salmon, G. H. Walker, E. Salas, and P. A. Hancock, "State-of-science: situation awareness in individuals, teams and systems," ۲۰۱۷. doi: ۱۰,۱۰۸۰/۰۰۱٤۰۱۳۹,۲۰۱۷,۱۲۷۸۷۹٦.

[۸۰] S. Amershi *et al.*, "Guidelines for human-AI interaction," in *Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings*, ۲۰۱۹. doi: ۱۰,۱۱٤٥/۳۲۹۰٦۰٥,۳۳۰۰۲۳۳.

[۸۱] V. Dignum, "Responsible Artificial Intelligence --- From Principles to Practice," *ACM SIGIR Forum*, vol. ٥٦, no. ۱, ۲۰۲۲, doi: ۱۰,۱۱٤٥/۳٥۸۲٥۲٤,۳٥۸۲٥۲۹.

[۸۲] B. Shneiderman, *Human-Centered AI*. Oxford University Press, ۲۰۲۲. doi: ۱۰,۱۰۹۳/oso/۹۷۸۰۱۹۲۸٤٥۲۹۰,۰۰۱,۰۰۰۱.

[۸۳] NIST, "Artificial Intelligence Risk Management Framework: Generative Artificial Intelligence Profile Request for Comment," ۲۰۲٤.

[۸٤] A. d'Avila Garcez and L. C. Lamb, "Neurosymbolic AI: the ۳rd wave," *Artif. Intell. Rev.*, vol. ٥٦, no. ۱۱, ۲۰۲۳, doi: ۱۰,۱۰۰۷/s۱۰٤٦۲-۰۲۳-۱۰٤٤۸-w.

[۸٥] B. C. Colelough and W. Regli, "Neuro-Symbolic AI in ۲۰۲٤: A Systematic Review," in *CEUR Workshop Proceedings*, ۲۰۲٤.

[۸٦] B. P. Bhuyan, A. Ramdane-Cherif, R. Tomar, and T. P. Singh, "Neuro-symbolic artificial intelligence: a survey," ۲۰۲٤. doi: ۱۰,۱۰۰۷/s۰۰٥۲۱-۰۲٤-۰۹۹٦۰-z.

[۸۷] V. Belle, M. Fisher, A. Russo, E. Komendantskaya, and A. Nottle, "Neuro-Symbolic AI + Agent Systems: A First Reflection on Trends, Opportunities and Challenges," in *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, ۲۰۲٤. doi: ۱۰,۱۰۰۷/۹۷۸-۳-۰۳۱-٥٦۲٥٥-٦_۱۰.

[Downloaded from ic4i-journal.ir on 2026-11-21]