

کاربرد هوش مصنوعی در ارتقای بهره‌وری بخش صنعت ایران





معاونت مطالعات اقتصادی و آینده پژوهی
اتاق بازرگانی، صنایع، معادن و کشاورزی تهران

کاربرد هوش مصنوعی در ارتقای بهره‌وری بخش صنعت ایران

از طریق پست الکترونیکی زیر می‌توانید پیشنهادها و نظرات اصلاحی خود را به واحد

مربوطه منعکس نمایید:

economic_research@tccim.ir

مواضع این گزارش، الزاما مواضع اتاق بازرگانی، صنایع، معادن و کشاورزی تهران نیست.
استفاده از مطالب این گزارش با ذکر منبع بلامانع است.

ویرایش دوم - شهریور ۱۴۰۵

فهرست مطالب

پیش‌گفتار	۱۰
خلاصه مدیریتی	۱۲
۱- مقدمه، هدف و روش‌شناسی	۱۸
۱-۱- مقدمه	۱۸
۱-۲- رویکرد سیاستی سند	۱۹
۱-۳- روش‌شناسی تدوین سند	۱۹
۱-۴- محدودیت‌های سند	۲۳
۲- بیان مسئله و اهمیت سیاستی	۲۶
۲-۱- مسئله اصلی	۲۶
۲-۲- زنجیره علّی مسئله	۲۷
۲-۳- فرضیه‌های تشخیصی برای ایران	۲۷
۲-۴- چرا مسئله برای ایران فوریت دارد؟	۲۸
۱-۴-۲- محدودیت سرمایه‌گذاری	۲۸
۲-۴-۲- ناترازی انرژی	۲۸
۳-۴-۲- رقابت‌پذیری و صادرات	۲۸
۴-۴-۲- شکاف بنگاه‌های بزرگ و کوچک	۲۸
۵-۴-۲- ریسک استفاده کنترل نشده	۲۹
۲-۵- اهمیت موضوع برای اتاق بازرگانی	۲۹
۳- چارچوب مفهومی هوش مصنوعی و بهره‌وری صنعتی	۳۰
۳-۱- تعریف هوش مصنوعی صنعتی	۳۰
۳-۲- تمایز هوش مصنوعی با دیجیتالی‌سازی پایه	۳۰
۳-۳- زنجیره خلق ارزش	۳۱
۳-۴- مسیرهای اثرگذاری بر بهره‌وری	۳۱
۳-۵- سرمایه‌های مکمل	۳۳
۴- شواهد علمی و تجربه‌های تطبیقی	۳۳
۴-۱- شواهد تجربی بهره‌وری	۳۳
۴-۲- ظرفیت اقتصادی و محدودیت تفسیر برآوردهای کلان	۳۶
۴-۳- آمادگی داده	۳۷
۴-۴- تجربه شبکه جهانی فانوس‌های دریایی	۳۷
۴-۵- آلمان	۳۷
۴-۶- چین	۳۸
۴-۷- ایالات متحده	۳۸
۴-۸- کره جنوبی	۳۹
۴-۹- سنگاپور	۳۹
۴-۱۰- اتحادیه اروپا	۳۹
۴-۱۱- جمع‌بندی تطبیقی	۳۹

۴۱	۵- وضعیت ایران و چارچوب تهیه خط پایه
۴۱	۵-۱- تصویر اولیه
۴۳	۵-۲- اهداف خط پایه
۴۴	۵-۳- اجزای خط پایه
۴۶	۵-۴- روش نمونه‌گیری و اعتبارسنجی
۴۶	۵-۵- بلوغ داده
۴۷	۵-۶- فرصت‌های ایران
۴۷	۵-۷- چالش‌ها و مداخلات
۵۰	۶- کاربردها و صنایع اولویت‌دار
۵۰	۶-۱- منطق انتخاب کاربرد
۵۰	۶-۲- کاربردهای اصلی
۵۰	۶-۲-۱- نگهداری پیش‌بینانه
۵۰	۶-۲-۲- کنترل کیفیت تصویری
۵۰	۶-۲-۳- بهینه‌سازی انرژی
۵۱	۶-۲-۴- پیش‌بینی تقاضا
۵۱	۶-۲-۵- مدیریت موجودی و زنجیره تأمین
۵۱	۶-۲-۶- زمان‌بندی تولید
۵۱	۶-۲-۷- هوش مصنوعی مولد مدیریتی
۵۱	۶-۲-۸- طراحی مولد
۵۱	۶-۳- ارزیابی اولیه کاربردها
۵۲	۶-۴- روش امتیازدهی کاربردها
۵۳	۶-۵- معیارهای انتخاب صنعت
۵۴	۶-۶- فهرست اولیه صنایع
۵۴	۶-۷- تحلیل ذی‌نفعان
۵۵	۷- گزینه‌ها و توصیه‌های سیاستی
۵۵	۷-۱- گزینه‌های نهادی
۵۵	۷-۱-۱- گزینه اول: تداوم وضع موجود
۵۵	۷-۱-۲- گزینه دوم: مداخله مستقیم دولت
۵۵	۷-۱-۳- گزینه سوم: مرکز دائمی در اتاق
۵۵	۷-۱-۴- گزینه چهارم: برنامه آزمایشی محدود
۵۶	۷-۱-۵- گزینه پنجم: مدل تشکل‌محور
۵۶	۷-۱-۶- گزینه ششم: کنسرسیوم یا مجری مستقل
۵۶	۷-۲- مقایسه گزینه‌ها
۵۷	۷-۳- توصیه‌های سیاستی برای اتاق بازرگانی
۵۹	۷-۳-۱- توصیه ۱: ایجاد دفتر یا برنامه آزمایشی محدود
۶۰	۷-۳-۲- توصیه ۲: تصویب منشور حکمرانی
۶۲	۷-۳-۳- توصیه ۳: تدوین ماتریس مسئولیت
۶۳	۷-۳-۴- توصیه ۴: تدوین نقشه مسائل قابل حل با هوش مصنوعی

۶۴	۵-۳-۷- توصیه ۵: تدوین مدل مالی
۶۵	۶-۳-۷- توصیه ۶: طراحی مدل تأمین مالی
۶۶	۷-۳-۷- توصیه ۷: اجرای پروتکل مرحله‌دروازه‌ای
۶۹	۸-۳-۷- توصیه ۸: تدوین قراردادهای نمونه
۷۰	۹-۳-۷- توصیه ۹: چارچوب داده و امنیت صنعتی
۷۳	۱۰-۳-۷- توصیه ۱۰: بازارگاه مشروط
۷۴	۱۱-۳-۷- توصیه ۱۱: کوپن مشروط
۷۴	۱۲-۳-۷- توصیه ۱۲: آموزش و انتشار گزارش سالانه
۷۵	۴-۷- توصیه‌های سیاستی برای بخش خصوصی
۷۵	۵-۷- مدیریت تغییر و نیروی انسانی
۷۶	۷-۵-۱- از آموزش عمومی تا تسلط کاربردی و تخصصی
۷۶	۷-۵-۲- آمادگی نیروی انسانی و مدیریت تغییر
۷۸	۷-۵-۳- ماتریس تسلط - تحول انسانی
۷۸	۶-۷- توصیه‌های سیاستی برای دولت
۸۰	۷-۶-۱- ملاحظات تکمیلی برای سیاست‌گذاری ایران
۸۱	۸- نقشه راه اجرایی مشروط
۸۱	۸-۱- منطق دو مسیر پیگیری
۸۳	۸-۲- فاز اول: آماده‌سازی، خط پایه و امکان‌سنجی
۸۵	۸-۳- فاز دوم: طرح آزمایشی محدود و اثبات ارزش
۸۶	۸-۴- فاز سوم: مقیاس‌دهی انتخابی
۸۷	۸-۵- فاز چهارم: نهادینه‌سازی مشروط
۸۷	۸-۶- پیامدهای اقدام و عدم اقدام
۸۸	۸-۷- نظام پایش و ارزیابی
۸۹	۸-۸- فرهنگ‌نامه شاخص‌ها
۹۰	۸-۹- روش انتساب اثر
۹۱	۸-۱۰- ثبت ریسک
۹۵	۹- جمع‌بندی و تصمیم پیشنهادی
۹۶	۱۰- پیوست‌های اجرایی
۹۶	۱- پیوست ۱- بسته تصمیم پیش از تصویب برنامه
۹۶	۲- پیوست ۲- چک‌لیست ورود طرح آزمایشی
۹۷	۳- پیوست ۳- چک‌لیست قرارداد و امنیت
۹۸	۴- پیوست ۴- چارچوب‌های تکمیلی آمادگی، حکمرانی و تحول نیروی انسانی
۹۸	۴-۱- زنجیره انتقال فناوری به بهره‌وری
۹۸	۴-۲- شواهد کلان جدید درباره ایران
۱۰۰	۴-۳- ساختار سه‌سطحی آمادگی
۱۰۱	۴-۴- ریسک‌های سامانه‌ای هوش مصنوعی صنعتی
۱۰۱	۴-۵- اصول کنترل‌پذیری
۱۰۲	۴-۶- گذار از حکمرانی الگوریتم به حکمرانی سامانه

- پ ۴-۷- طبقه‌بندی ریسک کاربردهای صنعتی ۱۰۲
- پ ۴-۸- سطوح پیشنهادی قابلیت اتکای عملیاتی ۱۰۳
- پ ۴-۹- آمادگی برای هوش مصنوعی عامل محور ۱۰۳
- پ ۴-۱۰- سطوح خودمختاری عامل‌ها ۱۰۵
- پ ۴-۱۱- ماتریس تسلط نیروی انسانی و تحول سازمانی ۱۰۵
- پ ۴-۱۲- پیمان تحول هوش مصنوعی صنعتی ۱۰۷
- پ ۴-۱۳- شاخص‌های تکمیلی پایش ۱۰۷
- پ ۴-۱۴- رصد افق فناوری ۱۰۸
- پ ۴-۱۵- چرخه آمادگی پویا ۱۰۹
- ۱۱- منابع ۱۰۹

فهرست جداول

جدول ۱ -	تصمیم در یک نگاه	۱۷
جدول ۲ -	سلسله‌مراتب و کارکرد شواهد مورد استفاده در سند	۲۱
جدول ۳ -	منطق انتخاب تجربه‌های تطبیقی	۲۲
جدول ۴ -	زنجیره مسئله، علل و پیامدهای بهره‌وری	۲۷
جدول ۵ -	حدود نقش پیشنهادی اتاق بازرگانی	۲۹
جدول ۶ -	مسیرهای اثرگذاری هوش مصنوعی بر بهره‌وری	۳۲
جدول ۷ -	لایه‌های آمادگی استقرار هوش مصنوعی صنعتی	۳۳
جدول ۸ -	خلاصه شواهد تجربی و دلالت آن برای سیاست صنعتی ایران	۳۴
جدول ۹ -	درس‌آموخته‌های تطبیقی و شروط انتقال به ایران	۳۹
جدول ۱۰ -	نمایه تطبیقی ابزار، مقیاس، ارزیابی و شرط انتقال تجربه‌های بین‌المللی	۴۰
جدول ۱۱ -	چارچوب خط پایه بنگاهی	۴۴
جدول ۱۲ -	مدل پیشنهادی بلوغ داده صنعتی	۴۶
جدول ۱۳ -	شکاف‌های ایران و مداخلات متناسب	۴۷
جدول ۱۴ -	قیود بومی اجرای هوش مصنوعی صنعتی در ایران و تدبیر طراحی	۴۸
جدول ۱۵ -	مشخصات اولیه کاربردهای هوش مصنوعی صنعتی	۵۱
جدول ۱۶ -	معیارها و وزن‌های اولویت‌بندی کاربرد	۵۲
جدول ۱۷ -	معیارها و وزن‌های انتخاب صنایع طرح آزمایشی	۵۳
جدول ۱۸ -	صنایع اولیه برای اعتبارسنجی و انتخاب طرح آزمایشی	۵۴
جدول ۱۹ -	تحلیل ذی‌نفعان هوش مصنوعی صنعتی	۵۴
جدول ۲۰ -	مقایسه گزینه‌های سیاستی	۵۶
جدول ۲۱ -	ارزیابی دوازده توصیه سیاستی برای اتاق تهران در قالبی یکسان	۵۷
جدول ۲۲ -	ارکان حکمرانی برنامه آزمایشی	۶۱
جدول ۲۳ -	ماتریس مسئولیت RACI	۶۲
جدول ۲۴ -	اجزای هزینه کل مالکیت پروژه	۶۴
جدول ۲۵ -	سناریوهای تأمین مالی	۶۵
جدول ۲۶ -	دروازه‌های تصمیم طرح آزمایشی	۶۷
جدول ۲۷ -	معیارهای عمومی توقف یا بازطراحی طرح آزمایشی	۶۸
جدول ۲۸ -	سطوح ارزیابی موفقیت پروژه هوش مصنوعی	۶۸
جدول ۲۹ -	سطوح قابلیت اتکای عملیاتی سامانه (APRL)	۶۹
جدول ۳۰ -	بندهای حداقلی قرارداد هوش مصنوعی صنعتی	۶۹
جدول ۳۱ -	الزامات حداقلی داده، امنیت، فناوری عملیاتی و سامانه‌های عامل‌محور	۷۲
جدول ۳۲ -	برنامه پیشنهادی توانمندسازی	۷۴
جدول ۳۳ -	چارچوب مدیریت تغییر و نیروی انسانی	۷۷

جدول ۳۴ - ماتریس تسلط - تحول در سازمان	۷۸
جدول ۳۵ - سیاست‌های پیشنهادی برای دولت	۷۹
جدول ۳۶ - دو مسیر پیگیری برنامه	۸۲
جدول ۳۷ - اقدامات و خروجی‌های فاز اول	۸۳
جدول ۳۸ - اقدامات و شاخص‌های فاز دوم	۸۵
جدول ۳۹ - اقدامات مشروط فاز سوم	۸۶
جدول ۴۰ - تصمیم‌های فاز چهارم	۸۷
جدول ۴۱ - پیامدهای اجرای بسته و عدم اقدام	۸۷
جدول ۴۲ - نظام شاخص‌های پایش برنامه	۸۸
جدول ۴۳ - تعریف، منبع و آستانه شاخص‌ها	۸۹
جدول ۴۴ - روش‌های ارزیابی و انتساب اثر	۹۰
جدول ۴۵ - ثبت اولیه ریسک برنامه	۹۱
جدول ۴۶ - اجزای بسته تصمیم	۹۶
جدول ۴۷ - چک‌لیست ورود به طرح آزمایشی	۹۶
جدول ۴۸ - چک‌لیست قرارداد، داده و امنیت	۹۷
جدول ۴۹ - نمایه آمادگی دیجیتال تولید ایران در چارچوب بریکس پلاس	۹۹
جدول ۵۰ - تفکیک سه سطح آمادگی	۱۰۱
جدول ۵۱ - سه الگوی ریسک سامانه‌ای	۱۰۱
جدول ۵۲ - اصول شش‌گانه کنترل‌پذیری و الزامات اجرایی	۱۰۱
جدول ۵۳ - مقایسه حکمرانی مدل و حکمرانی سامانه صنعتی	۱۰۲
جدول ۵۴ - طبقه‌بندی پیشنهادی ریسک کاربردها	۱۰۳
جدول ۵۵ - سطوح پیشنهادی APRL و ارتباط با تصمیم طرح آزمایشی	۱۰۳
جدول ۵۶ - پنج ستون آمادگی عامل محور	۱۰۴
جدول ۵۷ - تناسب خودمختاری عامل با کنترل حکمرانی	۱۰۵
جدول ۵۸ - مداخله مناسب در هر وضعیت	۱۰۶
جدول ۵۹ - الگوی بومی‌شده پیمان تحول هوش مصنوعی صنعتی	۱۰۷
جدول ۶۰ - شاخص‌های تکمیلی تحول و پایداری	۱۰۷
جدول ۶۱ - روندهای نوظهور و پیامد آن‌ها برای سند	۱۰۸

فهرست اشکال

شکل ۱ - مسیر مرحله‌دروازه‌ای تبدیل شواهد به تصمیم	۲۵
شکل ۲ - زنجیره خلق ارزش هوش مصنوعی صنعتی	۳۱
شکل ۳ - چرخه مرحله‌دروازه‌ای طرح آزمایشی	۶۷
شکل ۴ - گاه‌نگار چهار فاز نقشه راه و دروازه‌های تصمیم	۸۱
شکل ۵ - تفکیک مسیر اقدام و مطالبه‌گری	۸۲
شکل ۶ - زنجیره انتقال هوش مصنوعی به بهره‌وری صنعتی	۹۸
شکل ۷ - نمایه چهاربعدی آمادگی دیجیتال تولید ایران	۹۹
شکل ۸ - ارتباط آمادگی کشور، بنگاه و سامانه	۱۰۰
شکل ۹ - برنامه ۹۰ روزه آمادگی عامل محور	۱۰۴
شکل ۱۰ - ماتریس تسلط تحول	۱۰۶
شکل ۱۱ - چرخه بازگشتی آمادگی و یادگیری	۱۰۹

پیش‌گفتار

تحول دیجیتال در صنعت را نمی‌توان به خرید نرم‌افزار، نصب حسگر یا ایجاد پایگاه داده تقلیل داد. این تحول تنها زمانی معنا پیدا می‌کند که فناوری فرایندها را بازطراحی کند، شیوه تصمیم‌گیری را تغییر دهد، ارتباط با ذی‌نفعان را بهبود بخشد و در نهایت ارزش اقتصادی بیافریند. پژوهش‌های حوزه تولید هوشمند نیز همین نکته را تأیید می‌کنند: ارزش واقعی فناوری از ادغام داده، سامانه‌های تولید، دانش فرایندی و قابلیت‌های سازمانی به دست می‌آید، نه از نصب مجزای یک ابزار (Kagermann et al., 2013; Lee et al., 2018; Mikalef & Gupta, 2021).

در میان فناوری‌های تحول دیجیتال، هوش مصنوعی جایگاهی ویژه دارد؛ چون به یک فرایند، یک صنعت یا یک نوع داده محدود نمی‌شود. این فناوری می‌تواند داده‌های عملیاتی و مدیریتی را به پیش‌بینی، تشخیص، توصیه، بهینه‌سازی یا حتی اقدام مستقیم تبدیل کند و همین ویژگی است که آن را در محیط صنعتی کاربردی می‌سازد: از نگهداری تجهیزات و کنترل کیفیت تا مصرف انرژی، برنامه‌ریزی تولید، مدیریت موجودی، زنجیره تأمین، طراحی محصول و پشتیبانی تصمیم (Carvalho et al., 2019; Ghobakhloo et al., 2024; Lee et al., 2018).

با این همه، تجربه جهانی نشان می‌دهد صرف دسترسی به یک الگوریتم یا خرید یک راهکار، بهره‌وری را تضمین نمی‌کند. توانمندی واقعی هوش مصنوعی در سطح بنگاه از ترکیب منابع ملموس و انسانی با داده، مهارت مدیریتی و منابع ناملموسی مثل هماهنگی سازمانی و توان بازطراحی فرایند شکل می‌گیرد. به همین دلیل، «دسترسی به فناوری» و «توان تبدیل آن به عملکرد واقعی» دو چیز کاملاً متفاوت‌اند (Mikalef & Gupta, 2021).

همین فاصله را یکی از تازه‌ترین پیمایش‌های جهانی هم به‌روشنی نشان می‌دهد: از میان ۳۰۲۳۵ مدیر ارشد و مدیر فناوری در ۲۴ کشور، تنها ۲۵ درصد گفته‌اند سازمانشان تا زمان پیمایش، ۴۰ درصد یا بیشتر از آزمایش‌های هوش مصنوعی را به محیط عملیاتی رسانده است؛ در برابر آن، ۵۴ درصد امیدوار بودند طی سه تا شش ماه آینده به این سطح برسند. همین داده‌ها می‌گویند فقط ۳۴ درصد سازمان‌ها واقعاً به دنبال تحول عمیق کسب‌وکار با هوش مصنوعی‌اند، ۳۰ درصد در حال بازطراحی فرایندهای کلیدی هستند و ۳۷ درصد صرفاً استفاده سطحی و تغییرات جزئی را تجربه می‌کنند؛ ۸۴ درصد نیز هنوز ماهیت مشاغل خود را متناسب با قابلیت‌های این فناوری بازطراحی نکرده‌اند (Deloitte AI Institute, 2026).

این یافته‌ها یک نکته مهم را روشن می‌کنند: مسئله اصلی، تعداد طرح‌های آزمایشی^۱ نیست، بلکه کیفیت انتخاب پروژه، آماده‌سازی سازمان، ادغام با فرایند واقعی، پذیرش کاربران و توان عبور از آزمایش به ارزش اقتصادی است. شبکه جهانی فانوس‌های دریایی هم به همین جمع‌بندی رسیده: کارخانه‌های پیشرو، کاربردهای دیجیتال را به قابلیت سازمانی قابل تکرار تبدیل کرده‌اند، کارکنان خط مقدم را در بومی‌سازی راهکار مشارکت داده‌اند و توسعه داده و مهارت را همراه با فناوری پیش برده‌اند (World Economic Forum, 2025, 2026).

برای صنعت ایران، این نکته اهمیت دوچندان دارد. این سند، محدودیت سرمایه‌گذاری، هزینه تأمین مالی، ناپایداری برخی نهاده‌ها، ناترازی انرژی، فرسودگی بخشی از دارایی‌های تولیدی و دشواری دسترسی پایدار به برخی فناوری‌ها را به‌عنوان زمینه‌های اولیه مسئله در نظر می‌گیرد. با این حال، شدت و پراکندگی این مشکلات میان صنایع و بنگاه‌ها یکسان نیست؛ تعیین دقیق آن باید از خلال مطالعه خط پایه انجام شود و نه با تعمیم بدون داده به کل بخش صنعت.

^۱ Pilot project

باید صریح گفت: هوش مصنوعی جایگزین نوسازی سرمایه‌ای، اصلاح سیاست‌های کلان، توسعه زیرساخت یا رفع محدودیت‌های محیط کسب‌وکار نیست. اما در فرایندهایی که مسئله‌شان با تحلیل داده، پیش‌بینی یا بهینه‌سازی حل‌شدنی است، می‌تواند بازده ظرفیت موجود را افزایش دهد. شواهد علمی هم تأکید می‌کنند اثر هوش مصنوعی به نوع وظیفه، کیفیت داده، تجربه کاربران و سرمایه‌های مکمل بستگی دارد؛ به همین دلیل، فرض یک نرخ ثابت بهره‌وری برای همه کاربردها و بنگاه‌ها نادرست است (Brynjolfsson et al., 2025; Dell'Acqua et al., 2026; Filippucci et al., 2024).

بر همین اساس، این سند حول یک پرسش محوری شکل گرفته است:

چگونه می‌توان هوش مصنوعی را از مجموعه‌ای از ابزارها و طرح‌های آزمایشی پراکنده به سازوکاری مسئله‌محور، قابل سنجش و قابل اعتماد برای ارتقای بهره‌وری صنعت ایران تبدیل کرد و اتاق بازرگانی در این مسیر چه نقشی باید ایفا کند؟

این گزارش یک مطالعه سیاستی اولیه و غیرالزام‌آور برای صورت‌بندی مسئله، مرور شواهد، مقایسه گزینه‌ها و تسهیل گفت‌وگوی سیاستی درباره کاربرد هوش مصنوعی در ارتقای بهره‌وری بخش صنعت ایران است.

خلاصه مدیریتی

این سند به یک پرسش اصلی پاسخ می‌دهد: اتاق بازرگانی چگونه می‌تواند به بنگاه‌های صنعتی کمک کند تا هوش مصنوعی را به افزایش واقعی و سنجش‌پذیر بهره‌وری تبدیل کنند، بی‌آنکه منابع محدود صرف پروژه‌های نمایشی، خرید پراکنده فناوری یا ایجاد ساختارهای زود هنگام شود؟ پاسخ سند بر پایه مرور شواهد علمی، بررسی تجربه آلمان، چین، ایالات متحده، کره جنوبی، سنگاپور، اتحادیه اروپا و شبکه جهانی کارخانه‌های پیشرو، تحلیل اولیه وضعیت ایران، ارزیابی کاربردها و صنایع اولویت‌دار و مقایسه شش گزینه نهادی تدوین شده است.

پیام اصلی سند روشن است: گره اصلی صنعت ایران در این حوزه کمبود الگوریتم یا شرکت فناور نیست، بلکه نبود سازوکاری قابل اعتماد برای تبدیل نیاز واقعی بنگاه به پروژه‌های سنجش‌پذیر است. از این رو، سند به جای برنامه‌ای گسترده و پرهزینه، مسیری مرحله‌ای و مشروط پیشنهاد می‌کند که با تهیه خط پایه بنگاهی آغاز می‌شود و هر گام بعدی آن تنها پس از اثبات نتیجه گام پیشین و تصویب رسمی برداشته می‌شود.

این خلاصه در هفت محور تنظیم شده است: مسئله سیاستی، دلالت شواهد جهانی، وضعیت ایران، کاربردها و صنایع اولویت‌دار، نقش اتاق بازرگانی، گزینه‌ها و توصیه‌های سیاستی، و نقشه راه و تصمیم پیشنهادی. تصمیم‌هایی که سند پیش روی اتاق قرار می‌دهد، در پایان خلاصه و در قالب یک جدول جمع‌بندی شده است.

۱) مسئله سیاستی

صنعت ایران با مسائلی آشنا روبه‌روست: بهره‌برداری پایین از دارایی‌ها، توقف‌های ناخواسته، ضایعات، شدت بالای مصرف انرژی، ضعف در پیش‌بینی بازار، دشواری تأمین مواد اولیه، مدیریت موجودی، و تصمیم‌گیری بدون داده کافی. شدت این مسائل میان صنایع و بنگاه‌ها یکسان نیست و تعیین دقیق آن نیازمند خط پایه بنگاهی است؛ با این حال، همین فهرست نشان می‌دهد که استفاده بهتر از دارایی‌ها، داده‌ها و توان مدیریتی می‌تواند یکی از محورهای اصلی سیاست ارتقای بهره‌وری صنعتی باشد.

هوش مصنوعی می‌تواند به حل بخشی از این مسائل کمک کند: نگهداری پیش‌بینانه احتمال خرابی را پیش از توقف تجهیزات برآورد می‌کند؛ بینایی ماشین به شناسایی عیوب محصول یاری می‌رساند؛ الگوریتم‌های بهینه‌سازی می‌توانند مصرف انرژی یا زمان‌بندی تولید را بهبود دهند؛ و ابزارهای پیش‌بینی می‌توانند تصمیم‌های مرتبط با تقاضا، موجودی و تأمین را تقویت کنند. مرور نظام‌مند پژوهش‌های نگهداری پیش‌بینانه نیز نشان می‌دهد که روش‌های یادگیری ماشین در تشخیص وضعیت و پیش‌بینی خرابی کاربرد گسترده‌ای یافته‌اند، هرچند کیفیت داده، انتخاب ویژگی و شرایط واقعی بهره‌برداری بر عملکرد آن‌ها اثر تعیین‌کننده دارد. (Carvalho et al., 2019)

با این حال، مسئله اصلی ایران فقدان الگوریتم یا شرکت فناور نیست؛ گره اصلی، نبود مسیری نهادی و اقتصادی منسجم برای تبدیل نیاز واقعی بنگاه به پروژه‌های مشخص است؛ پروژه‌ای با مسئله روشن، داده قابل استفاده، شریک مناسب، قرارداد امن و منبع مالی معین که نتیجه آن با خط پایه و شاخص‌های مشخص سنجیده شود و در صورت موفقیت، قابل گسترش باشد.

این مسئله برای ایران فوریت دارد، زیرا چند محدودیت هم‌زمان فشار بر بنگاه‌ها را افزایش داده است: کمبود منابع سرمایه‌گذاری، ناترازی انرژی، فشار رقابتی در بازارهای صادراتی، شکاف رو به افزایش میان بنگاه‌های بزرگ و کوچک در دسترسی به داده و مهارت، و گسترش استفاده کنترل‌نشده از ابزارهای هوش مصنوعی بدون قواعد روشن امنیت و حکمرانی

داده. در چنین شرایطی، هر ریال سرمایه‌گذاری باید به نتیجه‌ای سنجش‌پذیر برسد و خطا در انتخاب پروژه هزینه سنگینی دارد.

۲) دلالت شواهد جهانی

شواهد تجربی درباره بهره‌وری هوش مصنوعی مثبت است، اما یکسان نیست. برای نمونه، در مطالعه‌ای میدانی بر ۵۱۷۲ کارشناس پشتیبانی مشتریان، دسترسی به دستیار هوش مصنوعی شمار مسائل حل‌شده در هر ساعت را به‌طور میانگین ۱۵ درصد افزایش داد و کارکنان کم‌تجربه بیشترین بهره را بردند. (Brynjolfsson et al., 2025)

آزمایشی دیگر با مشارکت ۴۵۳ دانش‌آموخته دانشگاهی نیز نشان داد استفاده از هوش مصنوعی مولد در وظایف نوشتاری حرفه‌ای، هم زمان انجام کار را کاهش داد و هم کیفیت میانگین خروجی را ارتقا داد. با این حال، این یافته به وظایف دانشی و نوشتاری محدود است و نباید مستقیماً به محیط‌های تولیدی تعمیم داده شود. (Noy & Zhang, 2023)

پژوهشی دیگر از مفهومی با عنوان «مرز ناهموار فناوری» سخن می‌گوید: هوش مصنوعی ممکن است در بعضی وظایف عملکرد را به‌طور محسوس بهبود دهد، اما در وظایفی خارج از محدوده قابلیت آن، احتمال خطا و اتکای نابجا را افزایش دهد. به همین دلیل، به‌کارگیری هر مدل باید متناسب با وظیفه‌ای مشخص باشد و با آزمون، نظارت انسانی و سازوکار تشخیص خطا همراه شود. (Dell'Acqua et al., 2026)

¹OECD هوش مصنوعی را دارای ویژگی‌های یک فناوری همه‌منظوره می‌داند که می‌تواند از طریق خودکارسازی، بهبود تصمیم، نوآوری و سرمایه‌های نامشهود بر بهره‌وری اثر بگذارد؛ اما درباره سرعت پذیرش، آثار بلندمدت، تمرکز فناوری و پیامدهای توزیعی عدم قطعیت قابل توجهی وجود دارد. برای نمونه، یکی از سناریوهای OECD طی یک افق ده‌ساله، افزایش سالانه ۰.۲۵ تا ۰.۶ واحد درصدی در رشد بهره‌وری کل عوامل و ۰.۴ تا ۰.۹ واحد درصدی در رشد بهره‌وری نیروی کار را برآورد می‌کند؛ این ارقام سناریویی و وابسته به نرخ پذیرش، پوشش وظایف و سرمایه‌های مکمل‌اند و نباید به‌عنوان پیش‌بینی قطعی برای ایران استفاده شوند. (Filippucci et al., 2024a, 2024b)

تجربه کشورهای منتخب نیز نشان می‌دهد هیچ کشور موفقی تنها بر یک ابزار تکیه نکرده است. در این کشورها زیرساخت، مهارت، داده، نهاد واسط، طرح‌های آزمایشی، استانداردها و تنظیم‌گری متناسب در قالب بسته‌ای هماهنگ به کار رفته‌اند و ترکیب آن‌ها به ساختار نهادی و ظرفیت مالی هر کشور بستگی داشته است. تجربه کارخانه‌های پیشرو موسوم به «فانوس‌های دریایی» هم نشان می‌دهد مقیاس‌دهی موفق بدون مشارکت نیروی کار خط مقدم، توسعه مهارت‌های داخلی و تغییر مدل عملیاتی سازمان ممکن نیست. (World Economic Forum, 2025, 2026) بنابراین، درس اصلی برای ایران الگوبرداری از یک کشور خاص نیست، بلکه انتقال مشروط و سنجیده اجزایی است که با ظرفیت نهادی و داده‌ای کشور سازگار باشد.

۳) وضعیت ایران

آمادگی برای بهره‌گیری از هوش مصنوعی در صنعت را نمی‌توان با یک عدد یا با شمردن پروژه‌ها سنجید. آمادگی دست‌کم در سه سطح متمایز شکل می‌گیرد: نخست، آمادگی محیط ملی شامل زیرساخت، توان تولید، نظام نوآوری و قابلیت‌های دیجیتال؛ دوم، آمادگی بنگاه شامل مسئله، داده، معماری، مهارت، حکمرانی و توان مالی؛ و سوم، قابلیت اتکای عملیاتی سامانه مشخص هوش مصنوعی در محیط واقعی. ضعف هر یک از این سطوح می‌تواند زنجیره تبدیل فناوری به

¹ Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD)

بهره‌وری را قطع کند. چارچوب جدید UNIDO¹ نیز میان آمادگی کشور، آمادگی بنگاه و قابلیت اتکای سامانه تمایز قائل می‌شود و تأکید دارد که این سه سطح باید به‌صورت مکمل ارزیابی شوند (United Nations Industrial Development Organization [UNIDO], 2026).

مطالعه جدید UNIDO درباره آمادگی دیجیتال تولید در کشورهای بریکس پلاس²، برای ایران امتیاز ۰.۴۳ در زیرساخت توانمندساز، ۰.۳۳ در قابلیت‌های تولیدی، ۰.۹۱ در قابلیت‌های نوآوری و ۰.۴۱ در قابلیت‌های دیجیتال گزارش می‌کند. مجموع امتیاز ایران ۲.۰۸ است که در میان کشورهای با درآمد متوسط پایین مورد بررسی، پس از هند و پیش از اندونزی و مصر قرار می‌گیرد. ایران در بعد نوآوری بالاترین امتیاز را در گروه درآمدی خود و سومین امتیاز را در کل بریکس پلاس دارد، اما در قابلیت‌های تولیدی و دیجیتال از هند و اندونزی عقب‌تر است. این ترکیب، این فرض را تقویت می‌کند که ایران در تبدیل ظرفیت نوآوری به توان تولیدی و استقرار فناوری دیجیتال با شکاف روبه‌روست؛ فرضی که باید در خط پایه بنگاهی آزموده شود و نمی‌توان تنها بر پایه شاخص‌های کلان درباره آن حکم قطعی داد (Rodriguez et al., 2026a).

شواهد جدید یک نکته دیگر را هم روشن می‌کند: آمادگی را نباید فقط پیش از اجرای پروژه سنجید. با ورود هوش مصنوعی³ از طریق نرم‌افزارهای سازمانی، خدمات ابری، قراردادهای فروشنده، ابزارهای عمومی و قابلیت‌های تعبیه‌شده، ممکن است پذیرش فناوری پیش از تدوین راهبرد رسمی آغاز شده باشد. از این رو، خط پایه باید علاوه بر پروژه‌های رسمی، استفاده‌های غیررسمی، قابلیت‌های هوش مصنوعی تعبیه‌شده در نرم‌افزارها، تصمیم‌های تدارکاتی و وابستگی‌های ایجادشده به فروشندگان را نیز شناسایی کند (Hradecky et al., 2026).

در ایران، داده عمومی و قابل اتکای کافی برای تعیین دقیق نرخ پذیرش هوش مصنوعی صنعتی، تعداد پروژه‌های عملیاتی، هزینه متوسط، بازگشت سرمایه، سطح بلوغ داده یا تفاوت صنایع وجود ندارد. گزارش «شاخص هوش مصنوعی ایران ۱۴۰۳» نیز ضمن فراهم کردن تصویری از اکوسیستم هوش مصنوعی کشور، به محدودیت سنجش برخی شاخص‌ها، از جمله توان پردازشی، میزان استفاده توسعه‌دهندگان و بخشی از فعالیت شرکت‌ها اشاره می‌کند (مرکز استراتژی و تحول هوش مصنوعی شریف، ۱۴۰۳).

بنابراین، گزاره‌هایی مانند پایین بودن بلوغ داده، کمبود مهارت میان‌رشته‌ای، پراکندگی پروژه‌ها یا ضعف قراردادهای در این سند، **فرضیه‌های تشخیصی اولیه** هستند و باید پیش از تخصیص منابع از طریق پیمایش، مصاحبه، ممیزی داده و مطالعه موردی اعتبارسنجی شوند.

۴) کاربردها و صنایع اولویت‌دار

سند هشت کاربرد اصلی هوش مصنوعی صنعتی را بررسی کرده است: نگهداری پیش‌بینانه، کنترل کیفیت تصویری، بهینه‌سازی انرژی، پیش‌بینی تقاضا، مدیریت موجودی و زنجیره تأمین، زمان‌بندی تولید، هوش مصنوعی مولد در امور مدیریتی و طراحی مولد. انتخاب کاربرد برای هر طرح آزمایشی باید بر پایه روش امتیازدهی وزن‌دار و شفاف سند (بخش ۶-۴) انجام شود، نه بر پایه جذابیت فناوری یا پیشنهاد فروشنده.

فهرست اولیه صنایع برای اعتبارسنجی شامل فولاد و معدن، پتروشیمی و پالایش، خودرو و قطعه‌سازی، صنایع غذایی، دارو و تجهیزات پزشکی، سیمان، نساجی و پوشاک، لوازم خانگی، صنایع شیمیایی و ماشین‌سازی است. این فهرست

¹ United Nations Industrial Development Organization (UNIDO)

² گروهی متشکل از برزیل، روسیه، هند، چین و آفریقای جنوبی و کشورهای عضو جدید آن: (BRICS Plus) بریکس پلاس (۲)

³ Artificial intelligence (AI)

انتخاب قطعی نیست؛ از میان آن‌ها سه تا پنج صنعت برای تهیه خط پایه برگزیده می‌شوند و صنایع نهایی طرح‌های آزمایشی پس از خط پایه و گفت‌وگو با تشکلهای تعیین خواهند شد.

۵) نقش اتاق بازرگانی

نقش مناسب اتاق، تصدی‌گری فناوری یا انتخاب مستقیم برندگان بازار نیست. اتاق می‌تواند به‌عنوان نهاد واسطه بخش خصوصی، پنج نقش اصلی بر عهده گیرد:

۱. شناسایی و تجمیع مسائل مشترک بنگاه‌ها؛
۲. کاهش هزینه هماهنگی میان صنعت، فناوری، دانشگاه و نظام مالی؛
۳. تهیه الگوهای قراردادی و معیارهای داوطلبانه؛
۴. توانمندسازی مدیران و تشکلهای؛
۵. مطالبه‌گری درباره زیرساخت، مشوق‌ها و قواعد داده.

این نقش با کارکرد قانونی اتاق در کمک به رشد و توسعه اقتصاد، تبادل نظر فعالان اقتصادی، ارائه نظر مشورتی و همکاری در امور آموزشی و پژوهشی سازگار است؛ بنابراین مسئولیت تعریف، اجرا و پاسخ‌گویی این برنامه بر عهده اتاق تهران است و هرگونه گسترش آن به سطح ملی یا استانی، تنها با تصمیم مستقل نهادهای ذی‌ربط ممکن خواهد بود (قانون اتاق بازرگانی و صنایع و معادن جمهوری اسلامی ایران، ۱۳۶۹، اصلاحی ۱۳۷۳).

برای انطباق پیشنهادها با شرایط ایران، هر اقدام باید از چهار فیلتر عبور کند: نخست، فیلتر نهادی، یعنی سازگاری با مأموریت قانونی اتاق و پرهیز از تصدی‌گری؛ دوم، فیلتر اقتصادی، یعنی امکان اجرا با سقف تعهد محدود و بدون اتکا به یارانه پایدار؛ سوم، فیلتر فنی و داده‌ای، یعنی وجود داده قابل استفاده و امکان استقرار امن در محیط صنعتی؛ و چهارم، فیلتر رقابت و اعتماد، یعنی جلوگیری از انتخاب دستوری عرضه‌کننده، افشای تعارض منافع و وجود ارزیابی مستقل. اقدامی که حداقل شرایط هر چهار فیلتر را احراز نکند، نباید وارد مرحله طرح آزمایشی شود.

اتاق نباید هم‌زمان حامی مالی، انتخاب‌کننده عرضه‌کننده، مجری فنی و ارزیاب پروژه باشد. تفکیک این نقش‌ها، افشای تعارض منافع، وجود مرجع شکایت و ارزیابی مستقل، پیش‌شرط اعتماد به برنامه است.

۶) گزینه‌ها و توصیه‌های سیاستی

توصیه این سند ایجاد فوری یک مرکز دائمی یا اجرای یک برنامه گسترده نیست؛ پیشنهاد می‌شود اتاق تهران، در صورت تصویب داخلی، ابتدا خط پایه بنگاهی و امکان‌سنجی فنی، مالی، حقوقی و امنیتی را تکمیل کند. تصمیم درباره آغاز یک برنامه آزمایشی محدود با دوره نخست حداکثر ۱۸ ماهه تنها پس از تصویب سقف تعهد، تفکیک نقش‌ها و معیارهای توقف اتخاذ می‌شود. الزامات طراحی و اجرای این برنامه در فهرست زیر آمده است.

این توصیه حاصل مقایسه شش گزینه نهادی است: تداوم وضع موجود، مداخله مستقیم دولت، ایجاد مرکز دائمی در اتاق، برنامه آزمایشی محدود، مدل تشکل‌محور و سپردن اجرا به کنسرسیوم یا مجری مستقل. ترکیب گزینه چهارم و ششم، یعنی برنامه‌ای موقت که اجرای آن به مجری تخصصی و ارزیابی آن به ارزیاب مستقل سپرده می‌شود، کمترین تعهد برگشت‌ناپذیر و بیشترین امکان یادگیری را فراهم می‌کند و به همین دلیل گزینه برگزیده سند است.

❖ ساختار موقت و مأموریت محدود؛

❖ سقف بودجه و تعهد مشخص؛

- ❖ تعداد طرح آزمایشی مبتنی بر ظرفیت واقعی؛
- ❖ تفکیک نقش حامی، مجری و ارزیاب؛
- ❖ خط پایه و هدف کمی برای هر پروژه؛
- ❖ پروتکل مرحله‌دروازه‌ای؛
- ❖ معیار صریح اصلاح و توقف؛
- ❖ پیوست امنیت داده و فناوری عملیاتی؛
- ❖ برنامه خروج از فروشنده؛
- ❖ ارزیابی مستقل؛
- ❖ بند خاتمه خودکار؛
- ❖ ممنوعیت تبدیل خودکار به ساختار دائمی .

برای هر اقدام اجرایی باید مسئله هدف، مسئول اصلی، پیش‌نیاز تصمیم، سقف تعهد، ریسک اصلی، شاخص موفقیت و تصمیم بعدی ثبت شود. این اقدامات شامل تهیه خط پایه بنگاهی، تدوین قرارداد نمونه داده و مدل، طراحی چارچوب امنیت داده و فناوری عملیاتی، آموزش مدیران و تشکل‌ها، اجرای طرح آزمایشی محدود، ارزیابی مستقل و تصمیم درباره مقیاس‌دهی، بازطراحی یا توقف است. ثبت یکپارچه این اطلاعات، مبنای تهیه بسته تصمیم و پیگیری اجرای هر فاز خواهد بود.

سند این توصیه محوری را در قالب دوازده توصیه اجرایی برای اتاق بازرگانی تفصیل می‌دهد: ایجاد دفتر یا برنامه آزمایشی محدود، تصویب منشور حکمرانی، تدوین ماتریس مسئولیت، تهیه نقشه مسائل قابل حل با هوش مصنوعی، تدوین مدل مالی، طراحی مدل تأمین مالی، اجرای پروتکل مرحله‌دروازه‌ای، تدوین قراردادهای نمونه، تدوین چارچوب داده و امنیت صنعتی، راه‌اندازی بازارگاه مشروط، طراحی کوپن مشروط، و آموزش مدیران همراه با انتشار گزارش سالانه.

در کنار اتاق، بنگاه‌ها نیز می‌توانند بدون انتظار برای حمایت بیرونی اقدام کنند؛ از جمله با تدوین نقشه راه داده و هوش مصنوعی هم‌راستا با اهداف بهره‌وری، تعیین مالک فرایند و داده، ثبت مقدار پایه شاخص‌ها پیش از هر مداخله، محاسبه هزینه کل مالکیت و پیش‌بینی برنامه خروج از فروشنده در قراردادهای نقش دولت نیز باید بر ایجاد شرایط توانمندساز، یعنی زیرساخت صنعتی، مهارت، داده، مراکز آزمون، تأمین مالی و استاندارد، و تقویت توان جذب فناوری در بنگاه‌ها متمرکز باشد، نه انتخاب مستقیم پروژه‌ها و شرکت‌های برنده. موفقیت همه این اقدامات به مدیریت تغییر و توسعه نیروی انسانی وابسته است؛ زیرا هوش مصنوعی بیش از آنکه مشاغل را حذف کند، ترکیب وظایف و مهارت‌ها را تغییر می‌دهد.

۷) نقشه راه، پایش و تصمیم‌پیشنهادی

نقشه راه در چهار فاز و افق سه تا پنج سال تنظیم شده است:

۱. آماده‌سازی، خط پایه و امکان‌سنجی (ماه ۱ تا ۶)؛
۲. اجرای طرح‌های آزمایشی محدود و اثبات ارزش (ماه ۷ تا ۱۸)؛
۳. مقیاس‌دهی انتخابی پروژه‌های موفق (ماه ۱۹ تا ۳۶)؛
۴. نهادینه‌سازی مشروط (سال چهارم و پنجم).

پیشرفت برنامه با نظامی پایش می‌شود که میان ورودی، فعالیت، خروجی، نتیجه و اثر تمایز قائل است؛ زیرا تعداد کارگاه، شرکت‌کننده یا طرح آزمایشی به‌تنهایی نشان‌دهنده بهره‌وری نیست. هر طرح آزمایشی در سه مقطع، یعنی پایان طرح، شش ماه و دوازده ماه پس از استقرار، ارزیابی می‌شود و ریسک‌های آن، از جمله ریسک‌های آشناری، پنهان و مرکب، در دفتر ثبت ریسک و با مالک مشخص پیگیری می‌شوند.

به‌طور خلاصه، شکاف اصلی کمبود یک فناوری خاص نیست؛ کمبود سازوکاری قابل اعتماد است که مسئله بنگاه را به پروژه‌ای سنجش‌پذیر تبدیل کند و در صورت ناکامی، توقف آن را ممکن سازد. تصمیم فوری پیشنهادی، تصویب مطالعه خط پایه و اسناد امکان‌سنجی است. تصمیم درباره اجرای طرح آزمایشی، مقیاس‌دهی یا ایجاد ساختار دائمی باید در پایان هر فاز، پس از ارزیابی مستقل و با تصویب رسمی اتخاذ شود. نقش اتاق نیز باید بر هماهنگی، کاهش هزینه مبادله، استانداردسازی داوطلبانه و توانمندسازی متمرکز باشد، نه انتخاب عرضه‌کننده یا اجرای مستقیم فناوری.

جدول ۱ تصمیم‌های پیش روی اتاق بازرگانی را در یک نگاه جمع‌بندی می‌کند. هر سطر این جدول یک تصمیم مستقل است: تأیید مطالعه اولیه و تهیه خط پایه، تشکیل برنامه آزمایشی موقت، اجرای طرح‌های آزمایشی، مقیاس‌دهی انتخابی و نهادینه‌سازی مشروط. هر تصمیم تنها پس از تحقق پیش‌نیاز تصمیم پیشین قابل تأیید است و هیچ‌یک به‌خودی‌خود تعهد مالی ایجاد نمی‌کند.

جدول ۱ - تصمیم در یک نگاه

تصمیم	پیشنهاد سند	سقف تعهد	زمان	مالک تصمیم	معیار توقف یا خروج
تأیید مطالعه اولیه و تهیه خط پایه بنگاهی	پیمایش، ممیزی داده و مطالعه موردی در ۳ تا ۵ صنعت منتخب	بودجه مطالعاتی مصوب در بسته تصمیم	ماه ۱ تا ۶	معاونت پژوهشی اتاق	نرخ پاسخ کمتر از حد نصاب یا نبود داده قابل اتکا
تشکیل برنامه آزمایشی موقت	ساختار موقت با دوره نخست حداکثر ۱۸ ماه با مجری مستقل و ارزیاب مستقل	سقف بودجه و نیرو در سند مأموریت	پس از تکمیل خط پایه	دبیرخانه اتاق	عدم تصویب سند مأموریت یا نبود مجری واجد شرایط
اجرای طرح‌های آزمایشی	تعداد مبتنی بر ظرفیت واقعی، با پروتکل مرحله‌دروازه‌ای	هزینه هر طرح آزمایشی در بسته تصمیم	ماه ۷ تا ۱۸	مجری و بنگاه میزبان	عدم عبور از دروازه دوم یا نبود خط پایه پروژه
مقیاس‌دهی انتخابی	فقط پروژه‌های دارای اثر اثبات‌شده در ارزیابی مستقل	مشروط به ارزیابی مستقل	ماه ۱۹ تا ۳۶	اتاق و تشکله‌ها	نبود اثر معنادار بر شاخص بهره‌وری
نهادینه‌سازی	تصمیم درباره ساختار دائمی بر پایه ارزیابی، نه پیش‌فرض	مشروط	سال ۴ تا ۵	اتاق بازرگانی	خاتمه خودکار در صورت عدم تحقق معیارها

منبع: تدوین گزارش.

۱- مقدمه، هدف و روش‌شناسی

۱-۱- مقدمه

هوش مصنوعی به تدریج از یک فناوری تخصصی در حوزه علوم رایانه به زیرساختی برای تحول مدل‌های عملیاتی، مدیریتی و کسب‌وکار تبدیل شده است. این فناوری همه‌منظوره است؛ یعنی آثار آن به یک صنعت یا فعالیت محدود نمی‌شود و می‌تواند در تولید، خدمات، انرژی، حمل‌ونقل، تجارت، سلامت و مدیریت عمومی به کار گرفته شود. همین گستردگی هم فرصت می‌سازد و هم ارزیابی سیاستی را دشوار می‌کند؛ زیرا آنچه یک ابزار عمومی را به کاربردی بهره‌وری‌زا تبدیل می‌کند، شیوه استقرار و سرمایه‌های مکمل آن است (Gupta, 2021 & Filippucci et al., 2024a; Mikalef).

هوش مصنوعی در صنعت بر پایه داده‌های واقعی فرایندهای تولید و عملیات کار می‌کند. داده‌های مربوط به تجهیزات، کیفیت، فروش، انرژی، نگهداری، موجودی و زنجیره تأمین را می‌توان برای شناسایی الگوها و پشتیبانی از تصمیم‌گیری به کار گرفت. اما داده به تنهایی کافی نیست. مدل تنها زمانی بر عملکرد بنگاه اثر می‌گذارد که به فرایند عملیاتی متصل شود، مسئولیت تصمیم‌گیری درباره خروجی آن روشن باشد، کارکنان آن را بپذیرند و نتیجه‌اش با شاخص‌های اقتصادی سنجیده شود (Lee et al., 2018; Mikalef & Gupta, 2021).

پژوهش‌ها نشان می‌دهد توانمندی سازمان در هوش مصنوعی به مهارت فنی یا دسترسی به مدل محدود نمی‌شود، بلکه از هماهنگی منابع ملموس، انسانی و ناملموس شکل می‌گیرد. بنابراین باید به زیرساخت، داده، مهارت، هماهنگی میان واحدها و ظرفیت مدیریتی به طور هم‌زمان توجه کرد (Gupta, 2021 & Mikalef).

این نکته برای ایران اهمیتی دوچندان دارد. در شرایط کمبود منابع، نباید هوش مصنوعی را راه‌حلی کم‌هزینه برای همه مسائل ساختاری معرفی کرد. این فناوری نمی‌تواند فرسودگی شدید تجهیزات، کمبود انرژی، بی‌ثباتی محیط کسب‌وکار یا محدودیت مالی را به تنهایی برطرف کند؛ اما در فرایندهایی که مسئله‌شان با تحلیل داده، پیش‌بینی یا بهینه‌سازی حل‌شدنی است، می‌تواند بازده ظرفیت موجود را افزایش دهد و به تصمیم‌های دقیق‌تر کمک کند.

از منظر سیاست‌گذاری، مسئله اصلی انتخاب «فناوری جذاب‌تر» نیست، بلکه تعیین حوزه‌هایی است که به کارگیری هوش مصنوعی در آن‌ها توجیه اقتصادی دارد، داده مناسب برایش در دسترس است، ریسک آن مدیریت‌پذیر است و تجربه‌اش را می‌توان در بنگاه‌های دیگر تکرار کرد. همین تغییر نگاه، این سند را از گزارشی ترویجی درباره فناوری به سندی سیاستی درباره بهره‌وری تبدیل می‌کند.

این گزارش به سه پرسش پاسخ می‌دهد:

۱. هوش مصنوعی از چه مسیرهایی می‌تواند بر بهره‌وری صنعتی اثر بگذارد؟
۲. برای تحقق این اثر، چه پیش‌شرط‌های داده‌ای، مالی، سازمانی، حقوقی و امنیتی لازم است؟
۳. اتاق بازرگانی، بخش خصوصی و دولت هر یک چه نقشی باید ایفا کنند؟

۲-۱- رویکرد سیاستی سند

این سند قصد ندارد همه مباحث فنی، حقوقی یا اخلاقی هوش مصنوعی را پوشش دهد. تمرکز آن بر نقطه تلاقی چهار حوزه است:

- هوش مصنوعی؛
 - بهره‌وری صنعتی؛
 - حکمرانی و حمایت سیاستی؛
 - نقش نهاد واسط بخش خصوصی.
- از این رو، توصیه‌های گزارش بر کاربردهایی متمرکزند که نتیجه آن‌ها با شاخص‌هایی مانند توقف، ضایعات، مصرف انرژی، کیفیت، موجودی، زمان تحویل و بازگشت سرمایه قابل سنجش است.
- سند همچنین میان سه نوع گزاره تمایز قائل می‌شود:
- **یافته مبتنی بر شواهد:** گزاره‌ای که به مطالعه علمی، سند رسمی یا داده قابل ردیابی متکی است؛
 - **فرضیه تشخیصی:** گزاره‌ای درباره ایران که باید با داده داخلی آزمون شود؛
 - **پیشنهاد سیاستی:** گزینه‌ای تجویزی که برای بررسی و تصمیم‌گیری پیشنهاد می‌شود.
- این تفکیک از آن رو ضروری است که پیشنهادهای سیاستی با واقعیت اثبات‌شده یا تعهد مصوب اشتباه گرفته نشوند.

۳-۱- روش‌شناسی تدوین سند

فرایند تدوین این نسخه از گزارش در چهار گام انجام شده است: نخست، صورت‌بندی مسئله سیاستی، تعیین حدود مطالعه و مرور شواهد علمی، استانداردها و اسناد رسمی؛ دوم، انتخاب تجربه‌های تطبیقی و استخراج ابزارهای قابل انتقال با توجه به شروط بومی‌سازی؛ سوم، تحلیل اولیه شرایط ایران و تفکیک یافته‌های مستند، فرضیه‌های تشخیصی و پیشنهادهای سیاستی؛ و چهارم، طراحی مقدماتی خط پایه، معیارهای اولویت‌بندی، گزینه‌های نهادی، نقشه راه، مدل مالی، حکمرانی و نظام ارزیابی. مراحل تفصیلی که در ادامه این بخش آمده است، روش تدوین خود گزارش نیست، بلکه پروتکلی پیشنهادی برای مطالعات تکمیلی و تهیه خط پایه است که باید با داده بنگاهی، مصاحبه، ممیزی فنی و گفت‌وگوی چنددلی‌نفعی اجرا شود.

روش‌شناسی مطالعات تکمیلی و تهیه خط پایه نباید به پرسشنامه ادراکی محدود شود. برای کاهش خطای اندازه‌گیری، سوگیری پاسخ‌دهندگان و وابستگی نتیجه به یک منبع، باید از **سه‌سوسازی شواهد**، یعنی مقایسه یافته‌ها از منابع گوناگون، استفاده کرد. در این رویکرد، یک گزاره زمانی معتبرتر تلقی می‌شود که از چند منبع مستقل، مانند داده عملیاتی، اسناد مالی، مصاحبه، پیمایش و ممیزی فنی پشتیبانی شود.

الگوی ارزیابی چشم‌انداز هوش مصنوعی^۱ UNDP چهار منبع اصلی را با یکدیگر ترکیب می‌کند (Hradecky et al.,)

: (۲۰۲۶)

- مصاحبه با خبرگان و مسئولان؛

^۱ United Nations Development Programme (UNDP)

- پیمایش چندذی‌نفعی؛
- بررسی اسناد، سیاست‌ها و برنامه‌ها؛
- شاخص‌ها و داده‌های خارجی .

یافته‌های اولیه سپس در کارگاه‌های چندذی‌نفعی با حضور نمایندگان دولت، بخش خصوصی، دانشگاه، جامعه مدنی و سایر ذی‌نفعان اعتبارسنجی می‌شوند. هدف این کارگاه‌ها دستیابی به تأیید صوری نیست، بلکه بررسی اختلاف دیدگاه، کشف خلأهای شواهد و اصلاح تفسیر نتایج است. (Hradecky et al., 2026)

بر این اساس، خط پایه صنعت ایران دست کم باید این اجزا را داشته باشد:

۱. پیمایش طبقه‌بندی‌شده بنگاه‌ها بر حسب صنعت، اندازه، استان، سطح بلوغ دیجیتال و تجربه استفاده از هوش مصنوعی؛
 ۲. مصاحبه نیمه‌ساختاریافته با مدیران تولید، فناوری، مالی، منابع انسانی، امنیت، حقوقی و مالکان فرایند؛
 ۳. ممیزی نمونه‌ای داده‌ها، زیرساخت‌ها و سامانه‌های عملیاتی؛
 ۴. بررسی قراردادهای خریدها و نرم‌افزارهای دارای قابلیت هوش مصنوعی؛
 ۵. تحلیل پروژه‌های موفق، متوقف‌شده، بازطراحی‌شده و شکست‌خورده؛
 ۶. تطبیق ادعاهای ادراکی با داده‌های تولید، مالی، تعمیرات، کیفیت و سوابق ثبت‌شده در سامانه‌ها؛
 ۷. برگزاری کارگاه‌های اعتبارسنجی بخشی با حضور تشکل‌ها، بنگاه‌ها، عرضه‌کنندگان و خبرگان؛
 ۸. تطبیق نتایج با شاخص‌ها و مطالعات ملی و بین‌المللی؛
 ۹. ثبت موارد توافقی، اختلاف نظر، داده‌های مفقود و دامنه عدم قطعیت؛
 ۱۰. بازنگری خط پایه پس از هر موج آزمایشی و به‌روزرسانی فرضیه‌ها .
- برای جلوگیری از خلط میان انواع منابع، شواهد در سطوح مختلف طبقه‌بندی شده‌اند. همان‌گونه که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، مطالعات تجربی، مطالعات علمی تولید، استانداردها، اسناد سیاستی، پیمایش‌ها، منابع داخلی، نظر خبرگان و منابع آینده‌نگر، هر یک برای نوع خاصی از پرسش مناسب‌اند و محدودیت متفاوتی دارند.

در ردیف استانداردها و راهنماهای رسمی، علاوه بر NIST¹ AI RMF² و ISO³/IEC⁴ 42001، راهنمای NIST SP 800-82 Rev. 3 نیز صریحاً منظور شده است؛ زیرا محیط صنعتی، علاوه بر ریسک‌های عمومی هوش مصنوعی، با الزامات خاص فناوری عملیاتی، قابلیت اطمینان، ایمنی و تداوم تولید مواجه است (Autio et al., 2024; International Organization for Standardization [ISO], 2023; Stouffer et al., 2023; Tabassi, 2023).

¹ National Institute of Standards and Technology (NIST)

² Risk Management Framework (RMF)

³ International Organization for Standardization (ISO)

⁴ International Electrotechnical Commission (IEC)

جدول ۲ - سلسله‌مراتب و کارکرد شواهد مورد استفاده در سند

سطح	نوع شواهد	نمونه منابع یا روش‌ها	کاربرد در سند	محدودیت اصلی
۱	مطالعات تجربی داورى شده	Brynjolfsson et al.; Noy and Zhang; Dell'Acqua et al.	شناخت جهت، اندازه و ناهمگنی اثر هوش مصنوعی	تعمیم‌پذیری محدود به صنایع و بنگاه‌های ایران
۲	مطالعات علمی تولید و سازمان	Lee et al.; Carvalho et al.; Mikalef and Gupta; Ghobakhloo et al.	شناخت کاربرد صنعتی، آمادگی سازمانی و سرمایه‌های مکمل	تفاوت محیط مطالعه با شرایط بنگاه ایرانی
۳	استانداردها و راهنماهای رسمی	NIST AI RMF 1.0; NIST AI 600-1.0; ISO/IEC 1; NIST SP 42001 800-82 Rev. 3	طراحی حکمرانی، چرخه ریسک، امنیت هوش مصنوعی، امنیت OT ^۱ و مدیریت سامانه	نیازمند بومی‌سازی حقوقی، صنعتی و قراردادی
۴	مطالعات موردی صنعتی	شبکه جهانی فانوس‌های دریایی	شناخت عوامل موفقیت در استقرار، پذیرش و مقیاس‌دهی	سوگیری انتخاب بنگاه‌های پیشرو و موفق
۵	اسناد سیاستی کشورها و سازمان‌های بین‌المللی	آلمان، چین، کره جنوبی، سنگاپور، اتحادیه اروپا، UNIDO، OECD و UNDP	مقایسه ابزارها، ساختارها، سیاست‌ها و قواعد	تفاوت ساختار دولت، بازار، منابع و نظام حقوقی
۶	پیمایش‌های بین‌المللی بنگاه‌ها	MIT; Deloitte Technology Review Insights	شناخت روندهای پذیرش، آمادگی، مهارت و موانع	وابستگی به نمونه، خوداظهاری و ادراک مدیران
۷	منابع داخلی ثانویه	شاخص هوش مصنوعی ایران و مطالعات داخلی	صورت‌بندی اولیه ظرفیت‌ها و محدودیت‌های کشور	پوشش محدود صنعت، بنگاه و داده عملیاتی
۸	شواهد میدانی بنگاه‌ها	پیمایش طبقه‌بندی شده، داده تولید، اسناد مالی، ممیزی فنی و قراردادهای	تهیه خط پایه، سنجش آمادگی و ارزیابی نتیجه	هزینه گردآوری، محرمانگی و احتمال داده مفقود
۹	نظر خبرگان و اعتبارسنجی چنددلی نفعی	مصاحبه و پنل تخصصی	آزمون فرضیه‌ها، تفسیر نتایج و بومی‌سازی معیارها	احتمال سوگیری انتخاب، تعارض منافع و تفاوت دیدگاه

فناوری‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری کنترل‌کننده تجهیزات و فرایندهای صنعتی: (Operational Technology) فناوری عملیاتی^۱

سطح	نوع شواهد	نمونه منابع یا روش‌ها	کاربرد در سند	محدودیت اصلی
۱۰	منابع مشاوره‌ای و آینده‌نگر	Gartner و سایر منابع رصد فناوری	رصد افق، شناسایی روندهای نوظهور و طراحی سناریو	مناسب نبودن برای اثبات اثر، تعیین خط پایه یا هدف کمی

منبع: تدوین گزارش بر پایه منابع علمی، رسمی و روش‌شناسی. (Hradecky et al. (2026)

جدول ۲ رتبه‌بندی مطلق منابع نیست و سطح بالاتر لزوماً به معنای مناسب‌تر بودن منبع برای همه پرسش‌ها نیست. برای مثال، یک مطالعه تجربی درباره بهره‌وری کار دانشی نمی‌تواند الزامات امنیت فناوری عملیاتی را تعیین کند؛ همان‌گونه که یک استاندارد امنیتی نیز نمی‌تواند اندازه اثر اقتصادی یک کاربرد را برآورد کند. معیار کیفیت هر استاندارد، تناسب آن با نوع پرسش است، نه رتبه آن در جدول.

منابع مشاوره‌ای و آینده‌نگر نیز در این گزارش تنها برای رصد افق و شناسایی موضوعات نوظهور به کار می‌روند. پیش‌بینی‌ها، سناریوها و نظرات این منابع نباید مستقیماً به موارد زیر تبدیل شوند:

- هدف کمی برنامه؛
- برآورد قطعی بازگشت سرمایه؛
- خط پایه وضعیت ایران؛
- پیش‌بینی قطعی اشتغال یا بهره‌وری؛
- مبنای انتخاب یک فناوری یا فروشنده .

کارکرد درست این منابع، شناسایی روندهایی است که باید پایش شوند، در سناریوها دیده شوند یا در قالب طرح آزمایشی محدود آزموده شوند.

انتخاب کشورهای مورد مطالعه نیز با هدف رتبه‌بندی آن‌ها انجام نشده است. هر کشور یا منطقه برای بررسی یک ابزار یا الگوی نهادی خاص انتخاب شده است. جدول ۳ معیار انتخاب تجربه‌های تطبیقی و دلیل ورود هر مورد به گزارش را توضیح می‌دهد.

جدول ۳ - منطق انتخاب تجربه‌های تطبیقی

کشور یا منطقه	دلیل انتخاب	محور مورد مطالعه	قابلیت انتقال به ایران
آلمان	قدرت صنعتی، نقش بنگاه‌های متوسط و سابقه صنعت ^۱ ۴,۰	نهادهای واسط، انتقال فناوری، مراکز شایستگی و استاندارد	بالا در سطح اصول نهادی؛ مشروط در سطح مالی و اجرایی
چین	سیاست صنعتی مأموریت‌گرا و توسعه کاربردهای صنعتی	طرح آزمایشی، داده صنعتی، سناریوهای کاربرد و حمایت دولتی	متوسط؛ نیازمند پرهیز از تقلید مستقیم مدل مالی و اجرایی

^۱ Industrie 4.0

کشور یا منطقه	دلیل انتخاب	محور مورد مطالعه	قابلیت انتقال به ایران
ایالات متحده	نقش بخش خصوصی و چارچوب‌های داوطلبانه NIST	نوآوری، مدیریت ریسک، ارزیابی، امنیت هوش مصنوعی و امنیت OT	بالا در اصول ریسک و ارزیابی؛ مشروط به بومی‌سازی حقوقی و صنعتی
کره جنوبی	توجه به بنگاه‌های کوچک و متوسط و برنامه کارخانه هوشمند	بسته‌های حمایتی، زیرساخت، آموزش، مشاوره و توسعه کاربرد	متوسط؛ مشروط به طراحی شفاف، رقابتی و ضدرانت
سنگاپور	حکمرانی عملیاتی و بازنگری مستمر راهبرد	اعتماد، مسئولیت‌پذیری، توسعه توان و هماهنگی ملی	بالا در اصول حکمرانی، هماهنگی و بازنگری
اتحادیه اروپا	تنظیم‌گری مبتنی بر سطح ریسک	تناسب الزام با ریسک، سواد هوش مصنوعی، شفافیت و مسئولیت	بالا در سطح اصول؛ نیازمند تطبیق با نظام حقوقی ایران
شبکه جهانی فانوس‌های دریایی	نمونه‌های صنعتی دارای استقرار فناوری در مقیاس	مقیاس‌دهی، نیروی کار، تاب‌آوری، یادگیری و انتشار تجربه	متوسط؛ با توجه به سوگیری انتخاب نمونه‌های پیشرو
UNIDO و UNDP	چارچوب‌های آمادگی، توسعه صنعتی و حکمرانی	آمادگی چندسطحی، خط پایه، قابلیت جذب، کنترل‌پذیری و سیاست صنعتی	بالا در سطح چارچوب؛ نیازمند داده و اعتبارسنجی داخلی

منبع: تدوین گزارش بر پایه اسناد رسمی کشورهای منتخب، گزارش‌های مجمع جهانی اقتصاد^۱ و چارچوب‌های UNIDO و UNDP.

هدف مطالعه تطبیقی فقط استخراج «درس قابل انتقال» است، نه الگوبرداری کامل. هر ابزار باید پیش از انتقال به ایران از نظر ظرفیت نهادی، ساختار مالی، قوانین، بلوغ بنگاه‌ها، دسترسی به داده و فناوری، ریسک تعارض منافع و قابلیت اجرای رقابتی ارزیابی شود. بنابراین، موفقیت یک ابزار در کشوری دیگر به‌تنهایی دلیل کافی برای اجرای آن در ایران نیست؛ معیار انتقال این است که ابزار با مسئله ایران تناسب داشته باشد، در شرایط ایران اجراشدنی باشد و نتیجه‌اش سنجش‌پذیر باشد.

گزارش‌های مجمع جهانی اقتصاد در این سند صرفاً به‌عنوان منبع مطالعه موردی برای شناخت سازوکارهای مقیاس‌دهی، یادگیری سازمانی، مشارکت کارکنان و انتشار تجربه به کار گرفته شده‌اند و مبنای تعیین هدف کمی یا تضمین موفقیت پروژه در ایران نیستند.

۴-۱- محدودیت‌های سند

محدودیت‌های اصلی گزارش عبارت‌اند از:

- پیمایش اختصاصی از بنگاه‌های صنعتی ایران در چارچوب این نسخه انجام نشده است؛
- مصاحبه نظام‌مند و مستند با بنگاه‌ها و تشکلات انجام نشده است؛
- موجودی جامع و رسمی پروژه‌های هوش مصنوعی صنعتی در دسترس نیست؛

^۱ World Economic Forum (WEF)

- اطلاعات هزینه و نتیجه مالی پروژه‌های داخلی و خارجی محدود است؛
- شرایط ایران با کشورهای مورد مطالعه تفاوت نهادی، مالی و فناورانه دارد؛
- آثار هوش مصنوعی میان صنعت، وظیفه، بنگاه و سطح بلوغ متفاوت است؛
- بخشی از شواهد تجربی مربوط به کارهای دانشی است، نه خطوط تولید؛
- مطالعات موردی موفق ممکن است با سوگیری انتخاب و انتشار همراه باشند؛
- فناوری، استانداردها و مقررات در حال تحول‌اند؛ برای نمونه، NIST اعلام کرده است که AI RMF 1.0 در حال بازنگری است و در سال ۲۰۲۶ نیز کار بر نمایه مرتبط با زیرساخت‌های حیاتی ادامه دارد (National Institute of Standards and Technology [NIST], ۲۰۲۶).

یکی از محدودیت‌های اساسی ادبیات موجود، فاصله میان اندازه‌گیری عملکرد مدل و اندازه‌گیری اثر اقتصادی سامانه مستقر است. گزارش هیئت مستقل علمی بین‌المللی هوش مصنوعی تأکید می‌کند که آنچه باید ارزیابی شود فقط مدل نیست، بلکه سامانه اجتماعی-فنی شامل مدل، ابزارها، داده‌ها، محیط استقرار، کاربران و فرایندهای تصمیم‌گیری است. ارزیابی مدل در یک مجموعه آزمون نمی‌تواند به‌تنهایی نشان دهد که سامانه در محیط واقعی ایمن، قابل اعتماد یا بهره‌وری‌زا خواهد بود (Independent International Scientific Panel on Artificial Intelligence, 2026).

همین گزارش تصریح می‌کند که شواهد مربوط به اثرات بهره‌وری کلان هنوز محدود است و نمی‌توان افزایش عملکرد در یک وظیفه یا گروه کاربری را مستقیماً به رشد بهره‌وری کل بنگاه، صنعت یا اقتصاد تعمیم داد. برآوردهای کلان به فرضیات مربوط به سرعت انتشار، بازطراحی فرایند، سرمایه‌های مکمل، هزینه اجرا و نحوه توزیع منافع حساس‌اند (Independent International Scientific Panel on Artificial Intelligence, 2026).

بنابراین، سند حاضر میان پنج سطح نتیجه تمایز قائل می‌شود:

۱. عملکرد فنی مدل؛
 ۲. قابلیت اتکای سامانه در محیط واقعی؛
 ۳. استفاده و پذیرش عملیاتی؛
 ۴. تغییر قابل اندازه‌گیری در فرایند؛
 ۵. منفعت اقتصادی قابل انتساب.
- ارزیابی هر طرح آزمایشی باید هر پنج سطح را جداگانه بسنجد. برای هر سطح، خط پایه، هدف، روش اندازه‌گیری، تناوب گزارش‌دهی، مسئول داده و معیار توقف در برگه ارزیابی پروژه ثبت می‌شود. شاخص‌های منتخب باید با مسئله همان طرح آزمایشی متناسب باشند و می‌توانند شامل کاهش توقف ناخواسته، کاهش ضایعات، کاهش شدت مصرف انرژی، بهبود دقت پیش‌بینی تقاضا، کاهش موجودی راکد، کاهش زمان تصمیم یا نسبت منفعت به هزینه باشند.

موفقیت در یک سطح، به‌خودی‌خود موفقیت در سطح بعدی را تضمین نمی‌کند.

ازاین‌رو، این سند برای موارد زیر قابل استفاده است:

- تعریف مسئله؛
- گفت‌وگوی سیاستی؛

- طراحی خط پایه؛
 - تدوین معیارهای انتخاب؛
 - طراحی مقدماتی برنامه آزمایشی؛
 - تهیه اسناد امکان‌سنجی.
- اما به‌تنهایی برای موارد زیر کافی نیست:
- تخصیص بودجه؛
 - تعیین تعداد قطعی طرح آزمایشی؛
 - تعیین هدف ثابت بهره‌وری؛
 - انتخاب صنعت یا بنگاه نهایی؛
 - رتبه‌بندی عرضه‌کنندگان؛
 - ایجاد مرکز دائمی؛
 - تضمین بازگشت سرمایه.

مسیر منطقی استفاده از گزارش باید از شواهد عمومی به اعتبارسنجی داخلی و سپس تصمیم اجرایی حرکت کند. این منطق در شکل ۱ نمایش داده شده است. چنان‌که این شکل نشان می‌دهد، طرح آزمایشی جایگزین خط پایه و امکان‌سنجی نیست، بلکه پس از آن‌ها اجرا می‌شود؛ نتیجه آن نیز لزوماً به مقیاس‌دهی نمی‌انجامد.



شکل ۱ - مسیر مرحله‌دروازه‌ای تبدیل شواهد به تصمیم

گام	محتوای گام	خروجی
۱	شواهد و تجربه بین‌المللی	مجموعه یافته‌های قابل استناد

گام	محتوای گام	خروجی
۲	تبدیل یافته به فرضیه تشخیصی برای ایران	فهرست فرضیه‌های قابل آزمون
۳	آزمون فرضیه با داده داخلی و خط پایه بنگاهی	تصویر مستند از وضعیت
۴	طراحی و مقایسه گزینه‌های سیاستی	جدول مقایسه گزینه‌ها
۵	تصمیم مشروط و مرحله دروازه‌ای	بسته تصمیم
۶	ارزیابی مستقل و بازخورد به گام ۲	به‌روزرسانی فرضیه‌ها

منبع: تدوین گزارش.

عبور از هر گام فقط در صورت تحقق شرط مربوط مجاز است: کفایت و قابلیت ردیابی شواهد برای ورود به مرحله فرضیه‌سازی؛ تأیید داخلی فرضیه‌ها برای طراحی گزینه؛ احراز آمادگی داده، توجیه اقتصادی، سازگاری حقوقی و امنیت فناوری عملیاتی برای آغاز طرح آزمایشی؛ و اثبات اثر قابل انتساب در ارزیابی مستقل برای مقیاس‌دهی. اگر هر یک از این شرط‌ها محقق نشود، طرح باید بازطراحی یا متوقف شود.

شکل ۱ سه پیام سیاستی روشن می‌دهد. نخست، یافته‌های بین‌المللی باید به فرضیه‌هایی قابل آزمون در ایران تبدیل شوند، نه آنکه مستقیماً مبنای هدف اجرایی قرار گیرند. دوم، طرح آزمایشی تنها پس از احراز پیش‌شرط‌هایش آغاز می‌شود. سوم، خروجی ارزیابی مستقل یکی از سه تصمیم مقیاس‌دهی، بازطراحی یا توقف است.

۲- بیان مسئله و اهمیت سیاستی

۲-۱- مسئله اصلی

مسئله اصلی این سند آن است که صنعت ایران هنوز به‌صورت نظام‌مند، گسترش‌پذیر و با هدف افزایش بهره‌وری از هوش مصنوعی استفاده نمی‌کند. منظور از استفاده نظام‌مند، استفاده‌ای است که:

- از مسئله واقعی بنگاه آغاز شود؛
- به خط پایه و شاخص کمی متصل باشد؛
- داده، بودجه و مسئول مشخص داشته باشد؛
- در محیط واقعی فرایند آزموده شود؛
- ریسک‌های حقوقی و امنیتی آن مدیریت شود؛
- نتیجه آن به‌طور مستقل ارزیابی شود؛
- در صورت ناکامی، متوقف شود؛
- در صورت موفقیت، در بنگاه‌ها و فرایندهای دیگر تکرارپذیر باشد.

در غیاب چنین مسیری، پروژه‌ها ممکن است به خرید ابزار، ایجاد داشبورد، نمونه نمایشی یا اثبات مفهوم فنی محدود شوند، بدون آنکه اثر آن‌ها بر هزینه، کیفیت یا بهره‌وری روشن باشد. پیمایش‌های بین‌المللی نیز نشان می‌دهد که گذر از مرحله آزمایشی به بهره‌برداری عملیاتی یکی از مهم‌ترین نقاط توقف برنامه‌های هوش مصنوعی در سازمان‌هاست (Deloitte AI Institute, 2026).

۲-۲- زنجیره علی مسئله

برای فهم درست مسئله، باید میان نشانه‌ها، علت‌های محتمل، پیامدها در سطح پروژه و پیامدها در سطح بنگاه تمایز قائل شد. برای نمونه، پراکندگی داده فقط یک مشکل فنی نیست؛ می‌تواند زمان آماده‌سازی را افزایش دهد، کیفیت مدل را کاهش دهد و اعتماد مدیران و کاربران را تضعیف کند. همچنین، ابهام قراردادی ممکن است حتی بنگاهی را که مسئله و داده مناسبی دارد از ورود به پروژه بازدارد.

جدول ۴ این زنجیره را نشان می‌دهد. روابط مندرج در این جدول فرضیه‌هایی تشخیصی‌اند و درستی آن‌ها باید در مطالعه خط پایه آزموده شود.

جدول ۴ - زنجیره مسئله، علل و پیامدهای بهره‌وری

نشانه یا شکاف	علت محتمل	پیامد پروژه‌ای	پیامد بنگاهی
نبود مسئله روشن	تعریف پروژه از سمت فناوری	انتخاب راهکار نامتناسب	اتلاف منابع
نبود خط پایه	ضعف داده یا اندازه‌گیری	عدم امکان سنجش اثر	ادعای موفقیت صوری
داده پراکنده	جزیره‌ای بودن سامانه‌ها	زمان و هزینه آماده‌سازی بالا	کاهش دقت تصمیم
کیفیت پایین داده	نبود مالک و کنترل کیفیت	خطای مدل	بی‌اعتمادی کاربران
قرارداد مبهم	ابهام مالکیت و مسئولیت	اختلاف با عرضه‌کننده	عدم مشارکت بنگاه
بازگشت سرمایه نامشخص	ناتوانی در انتساب منفعت	عدم تأمین مالی	توقف سرمایه‌گذاری
مهارت ناکافی	جدایی تیم فنی و عملیاتی	استقرار ناقص	وابستگی به پیمانکار
مشارکت کم کارکنان	طراحی از بالا به پایین	استفاده صوری	مقاومت سازمانی
امنیت ناکافی	اتصال کنترل نشده IT و OT	رخداد و توقف	ریسک ایمنی و تولید
برنامه خروج ضعیف	وابستگی اختصاصی	قفل‌شدگی فروشنده	افزایش هزینه بلندمدت
ارزیابی غیرمستقل	هم‌پوشانی مجری و ارزیاب	جانبداری در گزارش نتیجه	تصمیم مقیاس‌دهی نادرست
حکمرانی مبهم	تداخل نقش‌ها	تأخیر و اختلاف	ریسک شهرت و پاسخ‌گویی

منبع: تدوین گزارش.

۲-۳- فرضیه‌های تشخیصی برای ایران

به دلیل محدودیت داده داخلی، موارد زیر به‌عنوان فرضیه‌های قابل آزمون مطرح می‌شوند، نه احکام قطعی:

۱. بخشی از بنگاه‌ها هنوز مشخص نکرده‌اند کدام مسائلشان با هوش مصنوعی قابل حل است.
۲. داده‌های عملیاتی در برخی بنگاه‌ها پراکنده است یا کیفیت کافی ندارد.
۳. بخشی از تصمیم‌های فناوری بدون خط پایه اقتصادی اتخاذ می‌شوند.

¹ Information Technology (IT)

۴. قراردادهای نمونه برای مالکیت داده، مالکیت مدل و شرایط خروج از قرارداد هنوز به اندازه کافی تدوین نشده‌اند.
 ۵. نیروی انسانی‌ای که هم‌زمان با صنعت، داده و اقتصاد پروژه آشنا باشد، کمیاب است.
 ۶. برخی طرح‌های آزمایشی به راهکارهایی تبدیل نمی‌شوند که بتوان آن‌ها را در بنگاه‌های دیگر تکرار کرد.
 ۷. بنگاه‌های کوچک و متوسط هزینه ورود بالاتری نسبت به بنگاه‌های بزرگ دارند.
 ۸. استفاده کنترل نشده از ابزارهای هوش مصنوعی مولد می‌تواند ریسک افشای داده را افزایش دهد.
 ۹. ظرفیت ارزیابی مستقل پروژه‌های صنعتی محدود است.
 ۱۰. نهادهای واسط میان صنعت و عرضه‌کنندگان فناوری هنوز نقش مؤثری ندارند.
- هدف از طرح این فرضیه‌ها، پیش‌داوری درباره ضعف بنگاه‌ها نیست. ممکن است خط پایه نشان دهد بعضی صنایع یا بنگاه‌ها در برخی ابعاد آمادگی بالایی دارند. مطالعه خط پایه باید این تفاوت‌ها را آشکار کند تا برای همه بنگاه‌ها نسخه‌ای یکسان تجویز نشود.

۴-۲- چرا مسئله برای ایران فوریت دارد؟

۴-۲-۱- محدودیت سرمایه‌گذاری

در محیطی که تأمین مالی و واردات تجهیزات می‌تواند دشوار باشد، استفاده بهتر از دارایی‌های موجود اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. پروژه‌هایی مانند کاهش توقف تولید، ضایعات و مصرف انرژی می‌توانند مکمل سرمایه‌گذاری جدید باشند، نه جایگزین آن.

۴-۲-۲- ناترازی انرژی

محدودیت انرژی می‌تواند از یک هزینه عملیاتی به ریسک استمرار تولید تبدیل شود. استفاده از هوش مصنوعی در این حوزه تنها زمانی موجه است که مصرف به‌درستی اندازه‌گیری شود، فرایند قابل کنترل باشد و بتوان صرفه‌جویی را به‌روشنی به خود پروژه نسبت داد. در غیر این صورت، تغییر مصرف ممکن است به عوامل دیگری مانند تغییر حجم تولید، ترکیب محصول یا شرایط آب‌وهوایی مربوط باشد.

۴-۲-۳- رقابت‌پذیری و صادرات

کیفیت یکنواخت، زمان تحویل، قابلیت ردیابی، کنترل هزینه و انعطاف زنجیره تأمین از عوامل رقابت صنعتی‌اند. هوش مصنوعی می‌تواند بخشی از این قابلیت‌ها را تقویت کند؛ اما اگر داده و فرایند ضعیف باشد، ممکن است نتیجه‌ای معکوس به بار آورد.

۴-۲-۴- شکاف بنگاه‌های بزرگ و کوچک

بنگاه‌های بزرگ معمولاً داده، نیروی انسانی و بودجه بیشتری دارند. اگر برای انتشار فناوری به بنگاه‌های کوچک‌تر سیاستی طراحی نشود، ممکن است هوش مصنوعی به افزایش شکاف بهره‌وری میان بنگاه‌های بزرگ و SME^۱‌ها منجر شود. OECD نیز بر ناهمگونی پذیرش و اهمیت سیاست‌های دسترسی، رقابت، مهارت و انتشار فناوری میان بنگاه‌ها تأکید دارد (Filippucci et al., 2024a).

¹ Small and Medium Enterprises (SMEs)

۲-۴-۵- ریسک استفاده کنترل نشده

در نبود سیاست داخلی، کارکنان ممکن است از ابزارهای عمومی برای پردازش اسناد، قراردادهای، اطلاعات تولید یا داده‌های مشتری استفاده کنند. این وضعیت می‌تواند محرمانگی، مالکیت فکری و قابلیت پاسخ‌گویی را تضعیف کند. نمایه هوش مصنوعی مولد NIST نیز بر ریسک‌هایی مانند افشای اطلاعات، خطای محتوایی، سوءاستفاده و وابستگی به زنجیره تأمین مدل تأکید دارد (Auto et al., 2024).

۲-۵- اهمیت موضوع برای اتاق بازرگانی

اتاق بازرگانی به دلیل ارتباط با بنگاه‌ها، تشکلهای، دولت، دانشگاه و شبکه اتاق‌ها می‌تواند بخشی از ناهماهنگی میان این بازیگران را برطرف کند. با این حال، حدود نقش اتاق باید روشن باشد تا ورود به این حوزه به گسترش بی‌حدومرز مأموریت‌ها یا تعارض منافع نینجامد.

اتاق می‌تواند الگوها و معیارهای داوطلبانه تهیه کند، اما در جایگاه تنظیم‌گر اجباری یا مرجع صدور مجوز قرار ندارد. همچنین، این سند برنامه را در قلمرو اتاق تهران تعریف می‌کند و اتاق تهران مسئول تصمیم‌گیری و پاسخ‌گویی درباره آن است؛ گسترش برنامه به خارج از این قلمرو، مستلزم تصمیم جداگانه نهادهای ذی‌ربط خواهد بود. این تفکیک با ساختار قانونی اتاق و استقلال ارکان آن سازگار است (قانون اتاق بازرگانی و صنایع و معادن جمهوری اسلامی ایران، ۱۳۶۹، اصلاحی ۱۳۷۳).

در جدول ۵، فعالیت‌ها در سه گروه دسته‌بندی شده‌اند: آنچه در دامنه بررسی اتاق تهران است، آنچه به تصویب نهادهای دیگر نیاز دارد و آنچه خارج از نقش مستقیم اتاق است.

جدول ۵ - حدود نقش پیشنهادی اتاق بازرگانی

خارج از نقش مستقیم اتاق	نیازمند تصویب مستقل	در دامنه قابل بررسی اتاق تهران
صدور مجوز فنی	اجرای برنامه ملی	پژوهش و تهیه خط پایه اعضا
تضمین بازگشت سرمایه	ایجاد شبکه ملی	مسئله‌یابی با تشکلهای
تضمین عملکرد فروشنده	ایجاد مرکز دائمی ملی	تدوین قرارداد نمونه
تنظیم‌گری اجباری	بودجه مشترک با سایر اتاق‌ها	آموزش مدیران
تعیین استاندارد ملی اجباری	ایجاد مراکز منطقه‌ای در حوزه اتاق تهران	تسهیل طرح آزمایشی محدود
انتخاب دستوری برندگان	نظام ملی پایش	انتشار تجربه و شاخص
پذیرش مسئولیت خطای مدل	ابزار مالی عمومی	مطالبه‌گری سیاستی
تأیید ایمنی یا امنیت سامانه	تعهد رسمی فراتر از قلمرو اتاق تهران	تهیه معیار داوطلبانه
ورود به فروش یا توسعه محصول	اجرای برنامه توسط تشکل مستقل	تجمع تقاضای اعضا

منبع: تدوین گزارش با توجه به قانون اتاق بازرگانی و ملاحظات حکمرانی برنامه.

۳- چارچوب مفهومی هوش مصنوعی و بهره‌وری صنعتی

۳-۱- تعریف هوش مصنوعی صنعتی

هوش مصنوعی صنعتی به مجموعه‌ای از سامانه‌ها، مدل‌ها و الگوریتم‌هایی گفته می‌شود که از داده‌های تولیدی، عملیاتی، مهندسی، مدیریتی یا بازار برای انجام یکی از کارکردهای زیر استفاده می‌کنند:

- **پیش‌بینی:** برآورد خرابی، تقاضا، قیمت، زمان تحویل یا مصرف؛
- **تشخیص:** شناسایی عیب، ناهنجاری یا انحراف فرایند؛
- **بهینه‌سازی:** انتخاب ترکیب مناسب منابع، زمان یا تنظیمات؛
- **خودکارسازی:** انجام کنترل‌شده فعالیت‌های تکراری؛
- **توصیه:** ارائه گزینه به تصمیم‌گیر؛
- **تولید محتوا یا طراحی:** ایجاد متن، کد، تصویر، طرح یا مستند فنی.

این حوزه می‌تواند از یادگیری ماشین، یادگیری عمیق، بینایی ماشین، پردازش زبان طبیعی، هوش مصنوعی مولد، سامانه‌های پیشنهادگر، رباتیک هوشمند و روش‌های بهینه‌سازی استفاده کند. در ادبیات هوش مصنوعی صنعتی، پیوند میان تحلیل داده، دانش مهندسی، سامانه‌های سایبری-فیزیکی و تصمیم‌عملیاتی از ارکان اصلی به شمار می‌رود (Lee et al., 2018).

۳-۲- تمایز هوش مصنوعی با دیجیتالی‌سازی پایه

هوش مصنوعی بدون زیرساخت‌های پایه به‌ندرت عملکرد پایدار خواهد داشت. وجود حسگر، سامانه کنترل، ERP، MES^۱، پایگاه داده، شبکه و امنیت لزوماً به معنای استفاده از هوش مصنوعی نیست؛ اما فقدان این زیرساخت‌ها می‌تواند هزینه استقرار را افزایش دهد.

در نتیجه، هر پروژه هوش مصنوعی ممکن است در عمل شامل سه نوع سرمایه‌گذاری باشد:

۱. جبران عقب‌ماندگی دیجیتال؛
۲. آماده‌سازی داده و یکپارچه‌سازی؛
۳. توسعه و استقرار مدل.

برای آنکه بازگشت سرمایه درست برآورد شود، باید این هزینه‌ها را از هم جدا کرد. اگر هزینه حسگر، پاک‌سازی داده یا اتصال سامانه‌ها از محاسبه کنار گذاشته شود، پروژه ممکن است در ظاهر سودآور به نظر برسد، اما در عمل توجیه اقتصادی نداشته باشد.

¹ Enterprise Resource Planning (ERP)

² Manufacturing Execution System (MES)

۳-۳- زنجیره خلق ارزش

اثر اقتصادی هوش مصنوعی در یک زنجیره شکل می‌گیرد. همان‌گونه که در شکل ۲ نمایش داده شده، آغاز زنجیره «مسئله بهره‌وری» و پایان آن «منفعت مالی قابل انتساب» است. اگر هر یک از حلقه‌ها نادیده گرفته شود، زنجیره از هم می‌گسلد و ارزشی پدید نمی‌آید.



شکل ۲ - زنجیره خلق ارزش هوش مصنوعی صنعتی

منبع: تدوین گزارش.

بر اساس شکل ۲، هر حلقه تنها زمانی به حلقه بعدی می‌رسد که شرط آن برآورده شود. این زنجیره نشان می‌دهد که دقت مدل به‌تنهایی شاخص موفقیت نیست. مدلی ممکن است از نظر آماری دقیق باشد، اما هیچ اثری بر عملیات نگذارد؛ زیرا هشدار را دیر می‌دهد، امکان واکنش به آن وجود ندارد یا کارکنان به آن اعتماد ندارند.

۳-۴- مسیرهای اثرگذاری بر بهره‌وری

برای آنکه بحث فناوری به زبان مدیریت صنعتی ترجمه شود، باید کاربرد، داده، شاخص فنی و شاخص بهره‌وری را به هم وصل کرد. جدول ۶ این مسیر را برای مهم‌ترین کاربردها نشان می‌دهد. کاربردهای جدول بر پایه ادبیات هوش مصنوعی صنعتی، نگهداری پیش‌بینانه و تولید هوشمند انتخاب شده‌اند (Carvalho et al., 2019; Ghobakhloo et al., 2024; Lee et al., 2018).

جدول ۶ - مسیرهای اثرگذاری هوش مصنوعی بر بهره‌وری

هدف	نمونه کاربرد	داده اصلی	شاخص فنی	شاخص بهره‌وری
کاهش توقف	نگهداری پیش‌بینانه	لرزش، دما، فشار، تعمیرات	دقت و زمان پیش‌آگاهی	ساعت توقف و OEE ^۱
کاهش ضایعات	کنترل کیفیت تصویری	تصویر و برچسب عیب	دقت، بازیابی ^۲ و نرخ رد نادرست ^۳	نرخ عیب و دوباره‌کاری
کاهش انرژی	بهینه‌سازی مصرف	کنترل، تولید و تنظیمات	خطای مدل و پایداری توصیه	انرژی به ازای تولید سالم
بهبود پیش‌بینی تقاضا	پیش‌بینی فروش	فروش، قیمت، فصل و بازار	MAPE ^۴ یا معیار مصوب	موجودی، کمبود و خدمت
کاهش موجودی	بهینه‌سازی انبار	ورود، مصرف و زمان تأمین	دقت پیش‌بینی و سطح خدمت	روزهای موجودی
بهبود زمان‌بندی	برنامه‌ریزی تولید	ظرفیت، سفارش و محدودیت	زمان حل و کیفیت برنامه	زمان تحویل و بهره‌برداری ظرفیت
افزایش کیفیت	تشخیص انحراف	پارامترهای فرایند	نرخ کشف و هشدار غلط	نرخ قبولی محصول
کاهش زمان طراحی	طراحی مولد	الزامات و مدل مهندسی	انطباق طرح با محدودیت‌ها	زمان توسعه و تعداد تکرار
بهبود تصمیم	دستیار مدیریتی	گزارش، قرارداد و دانش	صحت، استناد و نرخ خطا	زمان تصمیم و دوباره‌کاری
مدیریت تأمین	تحلیل ریسک تأمین‌کننده	سفارش، تأخیر، کیفیت و بازار	دقت طبقه‌بندی ریسک	تأخیر، کمبود و هزینه اضطراری

منبع: تدوین گزارش با اقتباس از (Lee et al و (۲۰۲۴). Ghobakhloo et al, Carvalho et al. (2019). (۲۰۱۸).

۳-۵- سرمایه‌های مکمل

خلق ارزش از هوش مصنوعی به مجموعه‌ای از سرمایه‌های مکمل بستگی دارد. پژوهش‌های قابلیت‌سازمانی هوش مصنوعی نشان می‌دهند که منابع فنی بدون مهارت انسانی، هماهنگی سازمانی و ظرفیت استفاده مدیریتی، لزوماً به عملکرد بهتر منجر نمی‌شوند (Gupta, 2021 & Mikalef). پیمایش‌های جدید نیز نشان می‌دهند بسیاری از بنگاه‌ها در سطح راهبرد آماده‌اند، اما در داده، زیرساخت، مدیریت ریسک و نیروی متخصص هنوز آمادگی عملیاتی ندارند (Deloitte AI Institute, 2026). برای آنکه این مفهوم در عمل قابل سنجش باشد، جدول ۷ آمادگی استقرار را در شش لایه دسته‌بندی می‌کند. این جدول ابزاری پیشنهادی برای غربالگری اولیه است، نه یک استاندارد رسمی.

¹ Overall Equipment Effectiveness (OEE)

² Recall

³ False reject rate

⁴ Mean Absolute Percentage Error (MAPE)

جدول ۷ - لایه‌های آمادگی استقرار هوش مصنوعی صنعتی

لایه	پرسش کلیدی	حداقل آمادگی
مسئله	چه مشکلی حل می‌شود؟	مالک فرایند، KPI ^۱ و هزینه وضع موجود
داده	آیا داده کافی و معتبر است؟	کیفیت، دسترسی، پوشش و نمایندگی دوره
فناوری	آیا راهکار قابل استقرار است؟	معماری، زیرساخت، یکپارچه‌سازی و قابلیت پایش
سازمان	چه کسی از خروجی استفاده می‌کند؟	حمایت مدیریت، مشارکت کاربر و فرایند اقدام
حکمرانی	مسئولیت و مالکیت چگونه است؟	قرارداد، امنیت، نظارت و ثبت تصمیم
اقتصاد	آیا منفعت بیش از هزینه است؟	TCO ^۲ ، روش انتساب، تحلیل حساسیت و معیار توقف

منبع: تدوین گزارش با استفاده از (Mikalef and Gupta (2021), NIST AI RMF و یافته‌های Deloitte AI Institute (۲۰۲۶).

دسترسی به فناوری فقط نخستین حلقه مسیر خلق ارزش است. گزارش هیئت مستقل علمی بین‌المللی هوش مصنوعی میان فناوری، دسترسی، پذیرش، انتشار و پیامد اقتصادی تمایز می‌گذارد. دسترسی زمانی به پذیرش مؤثر تبدیل می‌شود که بنگاه مهارت، داده، امکان آزمایش، توان شناسایی کاربردهای مناسب، اعتماد و ظرفیت بازطراحی فرایند داشته باشد. پذیرش بنگاه نیز تنها در صورتی به انتشار و اثر اقتصادی گسترده منجر می‌شود که دانش، زیرساخت، منابع مالی و تجربه میان بنگاه‌ها قابل انتقال باشد (Independent International Scientific Panel on Artificial Intelligence, 2026).

این چارچوب دو نتیجه برای سیاست اتاق دارد. نخست آنکه شاخص‌هایی مانند تعداد مجوز نرم‌افزار، شمار کاربران یا تعداد طرح آزمایشی، شاخص نهایی موفقیت نیستند. دوم آنکه برنامه اتاق باید به‌طور هم‌زمان بر دسترسی، توان جذب، بازطراحی فرایند و انتشار تجربه متمرکز باشد. شکل ۶ در پیوست ۴، این زنجیره را به‌صورت عملیاتی نشان می‌دهد.

۴- شواهد علمی و تجربه‌های تطبیقی

۴-۱- شواهد تجربی بهره‌وری

شواهد موجود نشان می‌دهند هوش مصنوعی می‌تواند عملکرد را بهبود دهد؛ اما اندازه این اثر به نوع وظیفه، سطح تجربه کاربر، کیفیت ورودی، نحوه طراحی استفاده و امکان اقدام بر اساس خروجی بستگی دارد.

یک مطالعه میدانی بر ۵۹۱۷۲ کارشناس پشتیبانی مشتریان، افزایش متوسط ۱۵ درصدی بهره‌وری را گزارش می‌کند. اثر برای کارکنان کم‌مهارت‌تر و کم‌تجربه‌تر بیشتر بود و نویسندگان این نتیجه را با انتقال بخشی از الگوهای عملکرد کارکنان باتجربه از طریق ابزار هوش مصنوعی مرتبط می‌دانند (Brynjolfsson et al., 2025).

در آزمایشی دیگر با مشارکت ۴۵۳ دانش‌آموخته دانشگاهی، پژوهشگران در مجموعه‌ای از وظایف نوشتاری حرفه‌ای، کاهش زمان انجام کار و افزایش کیفیت را مشاهده کردند. با این حال، محیط مطالعه، کار دانشی و کنترل شده بود و نتایج آن نباید مستقیماً به خطوط تولید، تعمیرات یا کنترل فرایند تعمیم داده شود (Zhang, 2023 & Noy).

^۱ Key Performance Indicator (KPI)

^۲ مجموع هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم یک پروژه یا سامانه در طول عمر آن (Total Cost of Ownership) هزینه کل مالکیت

پژوهشی دیگر نشان می‌دهد توانایی هوش مصنوعی در همه وظایف یکسان نیست. در وظایف داخل مرز قابلیت، کارکنان ممکن است سریع‌تر و باکیفیت‌تر عمل کنند؛ اما در وظایف خارج از آن، استفاده از هوش مصنوعی می‌تواند احتمال پاسخ نادرست و اعتماد بیش‌ازحد را افزایش دهد. به همین دلیل، هر کاربرد باید برای همان وظیفه مشخص آزموده شود، زیر نظارت انسانی باشد و محدودیت‌های مدل ثبت شود (Dell'Acqua et al., 2026).

در تولید نیز مطالعات، ظرفیت‌هایی مانند طراحی، نگهداری، کاهش ضایعات و تصمیم‌گیری داده‌محور را شناسایی کرده‌اند، اما بر ضرورت هم‌افزایی میان فناوری، انسان، پایداری و حکمرانی تأکید دارند. برای نمونه، بخش مهمی از ظرفیت‌های هوش مصنوعی مولد در تولید هنوز در عمل آزموده نشده و سازوکار خلق ارزش آن روشن نیست؛ بنابراین نباید ظرفیت نظری را با اثر اثبات‌شده یکی گرفت (Ghobakhloo et al., 2024).

شواهد جدید بر ضرورت تفکیک میان «بهره‌وری فردی»، «بهره‌وری فرایند» و «بهره‌وری سازمانی» تأکید دارند. ممکن است یک کاربر با کمک هوش مصنوعی وظیفه خود را سریع‌تر انجام دهد، اما زمان آزادشده به کارهای کم‌ارزش منتقل شود، بازبینی خطا زمان بیشتری بگیرد یا سایر اجزای فرایند بدون تغییر باقی بمانند. در این حالت، افزایش عملکرد فردی الزاماً به افزایش خروجی بنگاه تبدیل نمی‌شود.

یکی از گزارش‌های اخیر این وضعیت را «شکاف پذیرش-اثر» توصیف می‌کند و میان خرید ابزار و بازطراحی واقعی کار تمایز می‌گذارد. این گزارش تأکید دارد که سنجش تحول باید بر تغییر وظایف، گردش کار و شیوه مدیریت متمرکز شود، نه صرفاً تعداد مجوزها یا دوره‌های تکمیل‌شده (Asia Tech Alliance, 2026).

برخی منابع مشاوره‌ای نیز، که در این سند تنها برای رصد افق به کار می‌روند، در چارچوب عمومی معماری سازمانی پیشنهاد می‌کنند فرصت‌های هوش مصنوعی با استفاده از مدل قابلیت‌های کسب‌وکار ارزیابی شوند تا منفعت، پیامد، ریسک و توجیه مقیاس‌دهی به فرایندهای واقعی متصل شود. این منبع همچنین ایجاد محیط‌های آزمایشی کنترل‌شده را به‌جای اعمال قواعد سنگین و یکسان بر همه آزمایش‌ها توصیه می‌کند (Gartner, 2026).

برای جمع‌بندی، جدول ۸ نوع شواهد، یافته و دلالت آن برای سیاست صنعتی ایران را مقایسه می‌کند.

جدول ۸ - خلاصه شواهد تجربی و دلالت آن برای سیاست صنعتی ایران

مطالعه یا منبع	محیط مطالعه	یافته اصلی	دلالت برای ایران	قابلیت انتقال
Brynjolfsson et al. (۲۰۲۵)	خدمات پشتیبانی	افزایش متوسط ۱۵ درصدی بهره‌وری؛ اثر بیشتر برای کم‌تجربه‌ها	اهمیت آموزش، انتشار دانش و طراحی سازوکارهای انتقال تجربه	متوسط
Noy and Zhang (۲۰۲۳)	نوشتار حرفه‌ای	کاهش زمان انجام کار و بهبود کیفیت خروجی	ظرفیت کاربردهای مدیریتی، کارشناسی و مستندسازی	متوسط

مطالعه یا منبع	محیط مطالعه	یافته اصلی	دلالت برای ایران	قابلیت انتقال
Dell'Acqua et al. (۲۰۲۶)	خدمات مشاوره	اثر مثبت یا منفی بر اساس نوع وظیفه و نحوه ترکیب توانمندی انسانی و هوش مصنوعی	ضرورت آزمون وظیفه‌محور، تعیین سطح خودکارسازی و حفظ نظارت انسانی	بالا در سطح اصل
Mikalef and Gupta (۲۰۲۱)	سطح سازمان	ارتباط قابلیت هوش مصنوعی با خلاقیت و عملکرد بنگاه؛ نقش مکمل سرمایه‌های فنی، انسانی و سازمانی	ضرورت توسعه همزمان داده، مهارت، فرایند و حکمرانی	بالا در سطح چارچوب
Carvalho et al (۲۰۱۹)	نگهداری پیش‌بینانه در صنعت	گسترش کاربرد یادگیری ماشین در پیش‌بینی خرابی تجهیزات	اولویت داده، کیفیت ویژگی‌ها، یکپارچه‌سازی داده‌های صنعتی و ارزیابی واقعی	متوسط
Ghobakhloo et al. (۲۰۲۴)	تولید و صنعت ۵.۰ ^۱	ظرفیت هوش مصنوعی در افزایش بهره‌وری تولید، پایداری و تصمیم‌گیری؛ همراه با عدم قطعیت اجرایی	ضرورت پرهیز از تبدیل ظرفیت نظری فناوری به انتظار قطعی بهره‌وری	متوسط
Filippucci et al. (2024a)	تحلیل اقتصاد کلان و بازار کار	ظرفیت هوش مصنوعی برای رشد بهره‌وری همراه با تفاوت زیاد میان بخش‌ها، کشورها و بنگاه‌ها	ضرورت سیاست‌گذاری مرحله‌ای و توجه به شکاف آمادگی بنگاه‌ها	بالا در سطح سیاست
Deloitte AI Institute (2026)	پیمایش سازمان‌ها	وجود شکاف میان آزمایش اولیه، استقرار عملیاتی و بازطراحی واقعی کار	تمرکز سیاست حمایتی بر فعال‌سازی قابلیت سازمانی، نه صرفاً خرید فناوری	متوسط
World Economic Forum (۲۰۲۵)، (۲۰۲۶)	کارخانه‌های پیشرو و شبکه‌های تولیدی	سازمان‌های موفق هوش مصنوعی بر مقیاس‌دهی، تغییر مدل عملیاتی و مشارکت نیروی انسانی تمرکز دارند	ساخت قابلیت پایدار در بنگاه‌ها مهم‌تر از اجرای پروژه منفرد است	متوسط
Asia Tech Alliance (۲۰۲۶)	تحلیل پذیرش سازمانی هوش مصنوعی	وجود «شکاف پذیرش - اثر»؛ استفاده از ابزار الزاماً به بهبود بهره‌وری سازمانی منجر نمی‌شود و تحقق اثر نیازمند تغییر وظایف، گردش کار و شیوه مدیریت است	ارزیابی برنامه‌های هوش مصنوعی در ایران باید بر تغییر فرایند، ارزش ایجادشده و شاخص‌های عملیاتی متمرکز باشد، نه	بالا در سطح چارچوب

¹ Industry 5.0

مطالعه یا منبع	محیط مطالعه	یافته اصلی	دلالت برای ایران	قابلیت انتقال
Gartner (2026g)	معماری سازمانی و آمادگی سازمان برای هوش مصنوعی	ارزیابی فرصت‌های هوش مصنوعی باید بر مبنای قابلیت‌های کسب‌وکار انجام شود تا منفعت، ریسک، پیامد و امکان مقیاس‌دهی به فرایندهای واقعی متصل شود؛ محیط‌های آزمایشی کنترل شده برای یادگیری سریع‌تر توصیه می‌شود	تعداد کاربران، مجوزها یا دوره‌های آموزشی	متوسط؛ در حد رصد افق و طراحی اولیه
Brynjolfsson) et al., 2025; Dell'Acqua et al., 2026	سطح فرد، وظیفه و فرایند	افزایش سرعت یا کیفیت عملکرد فردی ممکن است به افزایش بهره‌وری سازمانی تبدیل نشود؛ زیرا زمان آزادشده، کیفیت بازبینی، هماهنگی بین واحدها و طراحی فرایند تعیین‌کننده هستند	طرح‌های آزمایشی صنعتی باید اثر هوش مصنوعی را در سه سطح «فرد»، «فرایند» و «سازمان» اندازه‌گیری کنند	بالا در سطح روش ارزیابی

منبع: تدوین گزارش بر پایه مطالعات منتخب.

این مقایسه نشان می‌دهد که اگرچه شواهد بین‌المللی ظرفیت قابل توجه هوش مصنوعی برای ارتقای بهره‌وری را تأیید می‌کنند، این آثار خودبه‌خود به سطح بنگاه منتقل نمی‌شوند. تفاوت میان «بهره‌وری فردی»، «بهره‌وری فرایند» و «بهره‌وری سازمانی» یک ملاحظه کلیدی در طراحی سیاست‌های حمایتی است؛ زیرا ممکن است یک ابزار هوش مصنوعی موجب کاهش زمان انجام یک فعالیت شود، اما در صورت نبود بازطراحی گردش کار، تغییر شاخص‌های مدیریتی، اصلاح ساختار تصمیم‌گیری یا ارتقای مهارت کارکنان، اثر اقتصادی قابل توجهی ایجاد نکند. بنابراین، در شرایط ایران، هدف‌گذاری طرح‌های آزمایشی نباید بر مبنای درصدهای استخراج‌شده از مطالعات خارجی انجام شود، بلکه باید بر اساس خط پایه هر بنگاه، هزینه مسئله، کیفیت داده، آمادگی سازمانی، سطح مهارت نیروی انسانی و امکان تغییر فرایند تعریف شود. از این منظر، ارزیابی موفقیت طرح‌های آزمایشی هوش مصنوعی باید علاوه بر شاخص‌های فناوریانه، شاخص‌های عملیاتی، مالی، انسانی و سازمانی را نیز دربر گیرد (Asia Tech Alliance, 2026; Filippucci et al., 2024a; Gartner, 2026f).

۲-۴- ظرفیت اقتصادی و محدودیت تفسیر برآوردهای کلان

یکی از مؤسسات مشاوره مدیریت بین‌المللی، ظرفیت اقتصادی سالانه هوش مصنوعی مولد را در ۶۳ کاربرد و ۱۶ حوزه کسب‌وکار، بین ۲۰۶ تا ۴۰۴ تریلیون دلار برآورد کرده است. این عدد، برآورد ظرفیت نظری در صورت استقرار کاربردهاست و

ارزش تحقق‌یافته یا پیش‌بینی قطعی محسوب نمی‌شود. بخش بزرگی از کاربردهای بررسی‌شده نیز به عملیات مشتری، بازاریابی و فروش، مهندسی نرم‌افزار و تحقیق و توسعه مربوط است و نه مستقیماً به خطوط تولید (McKinsey Global Institute, 2023). از منظر سیاست صنعتی ایران، اهمیت این برآورد در بزرگی عدد نیست، بلکه در روش آن است: ارزش باید از مجموعه‌ای از کاربردهای مشخص و پیامدهای قابل اندازه‌گیری محاسبه شود. بنابراین، محاسبه ارزش بالقوه برای صنعت ایران نیز باید از پایین به بالا و بر پایه مسائل واقعی بنگاه‌ها انجام شود.

۳-۴- آمادگی داده

پیمایشی بین‌المللی از بیش از ۲۷۵ مدیر در سال ۲۰۲۴ نشان داد ۷۲ درصد پاسخ‌دهندگان افزایش کارایی یا بهره‌وری را از اهداف اصلی هوش مصنوعی مولد می‌دانستند، اما فقط ۲۲ درصد زیرساخت داده سازمان خود را «بسیار آماده» ارزیابی کردند. حکمرانی، امنیت، حریم خصوصی، کیفیت و یکپارچگی داده در زمره موانع اصلی گزارش‌شده بودند (MIT Technology Review, Insights, 2024).

این یافته از منطق فصل خط پایه پشتیبانی می‌کند: برنامه هوش مصنوعی صنعتی نباید فقط آمادگی مدل یا عرضه‌کننده را بررسی کند، بلکه باید وضعیت داده، دسترسی، مالکیت، کیفیت و اتصال به فرایند را پیش از ورود به طرح آزمایشی بسنجد.

۴-۴- تجربه شبکه جهانی فانوس‌های دریایی

شبکه جهانی فانوس‌های دریایی مجمع جهانی اقتصاد، نمونه‌هایی از کارخانه‌ها و زنجیره‌هایی را گردآوری می‌کند که فناوری‌های دیجیتال را در مقیاس عملیاتی به کار گرفته‌اند. گزارش ۲۰۲۵ بر سه عامل تأکید داشت: تبدیل کاربردها به قابلیت‌های سازمانی قابل تکرار، مشارکت نیروی کار خط مقدم در بومی‌سازی راهکار و توسعه داده و همکاری در سطح زنجیره ارزش (World Economic Forum, 2025).

در گزارش ۲۰۲۶، شبکه به ۲۲۳ سایت در بیش از ۳۰ کشور و ۴۰ صنعت گسترش یافت و تمرکز آن بر تاب‌آوری عملیاتی، تعبیه هوش مصنوعی در عملیات اصلی و مقیاس‌دهی از سطح طرح آزمایشی به شبکه‌های تولید قرار گرفت. این تجربه‌ها شواهد مفیدی ارائه می‌کنند، اما به دلیل انتخاب بنگاه‌های پیشرو نباید میانگین عملکرد صنعت تلقی شوند (World Economic Forum, 2026).

۵-۴- آلمان

سیاست صنعتی دیجیتال آلمان بر پیوند میان تحقیق، استاندارد، بنگاه‌های متوسط، مراکز انتقال، پلتفرم‌های همکاری و آموزش استوار بوده است. راهبرد هوش مصنوعی دولتی فدرال در سال ۲۰۲۰ به‌روزرسانی و در سال ۲۰۲۳ با یک برنامه اقدام جدید تکمیل شد. این اسناد بر انتقال پژوهش به کاربرد، توسعه زیرساخت، تقویت شرکت‌ها، مهارت و استفاده مسئولانه تأکید دارند (Federal Government of Germany, 2020; Federal Ministry of Education and Research, 2023).

درس اصلی برای ایران، اهمیت «واسط انتقال» است؛ نهادی که به بنگاه کمک کند مسئله را تعریف، بلوغ را ارزیابی، عرضه‌کننده را انتخاب و نتیجه را مستند کند. با این حال، این درس نباید به این معنا گرفته شود که اتاق بی‌درنگ مرکزی دائمی تأسیس کند. ابتدا باید تقاضا، مدل خدمت، بودجه، ظرفیت تخصصی و مرز مسئولیت بررسی شود.

۶-۴- چین

چین در برنامه توسعه نسل جدید هوش مصنوعی سال ۲۰۱۷، توسعه فناوری، صنعت، کاربرد، نیروی انسانی و حکمرانی را در یک چارچوب بلندمدت قرار داد. رویکرد چین به‌طور سنتی مأموریت‌گرا و همراه با نقش فعال دولت، مناطق آزمایشی و شرکت‌های پیشرو بوده است (State Council of the People's Republic of China, 2017).

در تازه‌ترین تحول مرتبط با موضوع این گزارش، دولت چین در سال ۲۰۲۶ برنامه‌ای برای تعمیق ادغام هوش مصنوعی و صنعت ساخت تا سال ۲۰۲۷ اعلام کرد که از جمله شامل توسعه داده‌های صنعتی، مدل‌های تخصصی، سناریوهای کاربرد و ارائه‌دهندگان خدمات آشنا با فناوری و صنعت است. اعداد و ابزارهای این برنامه بازتاب ظرفیت نهادی و مالی چین‌اند و قابل انتقال مستقیم به ایران نیستند؛ اما جهت‌گیری آن بر داده صنعتی، کاربردهای مشخص و تربیت ارائه‌دهندگان میان‌رشته‌ای برای ایران قابل توجه است (State Council of the People's Republic of China, 2026).

۷-۴- ایالات متحده

مدل ایالات متحده بر نوآوری بخش خصوصی، دانشگاه، سرمایه‌گذاری و استانداردهای داوطلبانه استوار است. چارچوب مدیریت ریسک هوش مصنوعی NIST چارچوبی داوطلبانه است که به بخش اقتصادی خاصی محدود نمی‌شود و در سراسر چرخه عمر هوش مصنوعی به کار می‌رود. چهار کارکرد اصلی آن عبارت‌اند از:

- حکمرانی^۱؛
- شناسایی و ترسیم زمینه^۲؛
- سنجش^۳؛
- مدیریت^۴.

این چارچوب برای سازمان‌های طراح، توسعه‌دهنده، استقراردهنده و استفاده‌کننده تدوین شده و هدف آن کمک به مدیریت ریسک و توسعه هوش مصنوعی قابل اعتماد است (Tabassi, 2023).

نمایه هوش مصنوعی مولد NIST در سال ۲۰۲۴ نیز ریسک‌های ویژه مدل‌های مولد را به AI RMF متصل کرد. برای صنعت، این نمایه می‌تواند در کاربردهای مستندسازی، تحلیل قرارداد، تولید کد و مدیریت دانش مورد استفاده قرار گیرد، اما جایگزین الزامات امنیت فناوری عملیاتی نیست (Autio et al., 2024).

در محیط‌های صنعتی باید از NIST SP 800-82 Rev. 3 نیز استفاده شود. این راهنما امنیت فناوری عملیاتی را با توجه به الزامات خاص عملکرد، قابلیت اطمینان و ایمنی بررسی می‌کند و حوزه‌هایی مانند سامانه‌های کنترل صنعتی، SCADA^۵، PLC^۶، سامانه‌های حمل‌ونقل و تجهیزات تعامل‌کننده با محیط فیزیکی را پوشش می‌دهد (Stouffer et al., 2023).

¹ Govern

² Map

³ Measure

⁴ Manage

⁵ Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA)

⁶ Programmable Logic Controller (PLC)

۸-۴- کره جنوبی

کره جنوبی در راهبرد ملی هوش مصنوعی سال ۲۰۱۹، توسعه زیرساخت، رقابت‌پذیری فناوری، آموزش، انتشار هوش مصنوعی در صنعت و رویکرد انسان‌محور را در قالب ۹ راهبرد و ۱۰۰ اقدام دولتی مطرح کرد. یکی از جهت‌گیری‌های آن، گسترش استفاده از هوش مصنوعی در بخش‌های اقتصادی و تقویت بنگاه‌ها بود (Ministry of Science and ICT, 2019). درس اصلی برنامه‌های حمایت از بنگاه‌های کوچک و متوسط و کارخانه هوشمند این است که حمایت مالی نباید صرفاً هزینه خرید نرم‌افزار را پوشش دهد؛ بلکه مسئله‌یابی، آماده‌سازی داده، امنیت، آموزش و ارزیابی را نیز شامل شود. در غیر این صورت، کوپن یا یارانه ممکن است به خرید ابزار بدون نتیجه عملیاتی منجر شود.

۹-۴- سنگاپور

سنگاپور بر پیوند میان راهبرد ملی، حکمرانی عملیاتی، اعتماد، توسعه توان سازمانی و استفاده برای منفعت عمومی تأکید دارد. راهبرد ملی هوش مصنوعی ۲۰۲۰ در دسامبر ۲۰۲۳ منتشر شد. در مه ۲۰۲۶ نیز این راهبرد با ۱۰ اولویت بازنگری‌شده به‌روزرسانی شد و شورای ملی هوش مصنوعی برای هدایت راهبردی برنامه شکل گرفت (Smart Nation Singapore, 2023, 2026). این تجربه نشان می‌دهد راهبرد هوش مصنوعی باید سازوکار بازنگری داشته باشد؛ زیرا در محیطی که به‌سرعت تغییر می‌کند، برنامه ثابت به‌زودی کارایی خود را از دست می‌دهد. برای برنامه پیشنهادی اتاق نیز بازنگری میان‌دوره‌ای و بند خاتمه ضروری است.

۱۰-۴- اتحادیه اروپا

قانون هوش مصنوعی اتحادیه اروپا، رویکرد مبتنی بر ریسک را دنبال می‌کند و میان ممنوعیت برخی کاربردها، الزامات کاربردهای پرریسک، قواعد شفافیت و الزامات مدل‌های عمومی تمایز قائل می‌شود. قانون همچنین بر سواد هوش مصنوعی کارکنان، حکمرانی و حمایت از نوآوری، به‌ویژه برای بنگاه‌های کوچک و نوپا، تأکید دارد (Council of the European Union, 2024). اجرای قانون مرحله‌ای است؛ برخی مقررات از فوریه و اوت ۲۰۲۵ اجرا شده‌اند و بخش عمده آن از ۲ اوت ۲۰۲۶ قابل اعمال است. درس سیاستی برای ایران، پرهیز از دو افراط است: نبود کامل قاعده و اعمال یکسان مقررات سنگین بر همه کاربردها (Council of the European Union, 2024 & European Parliament).

۱۱-۴- جمع‌بندی تطبیقی

مطالعه تطبیقی نشان می‌دهد هیچ کشور موفقی تنها بر یک ابزار تکیه نکرده است. زیرساخت، مهارت، داده، نهاد واسط، طرح آزمایشی، استاندارد و تنظیم‌گری متناسب باید در یک بسته هماهنگ قرار گیرند. باین‌حال، ترکیب و وزن این ابزارها به ساختار نهادی و ظرفیت مالی هر کشور بستگی دارد. درس‌های اصلی در جدول ۹ جمع‌بندی شده‌اند. ستون آخر مشخص می‌کند انتقال هر درس به ایران نیازمند چه شرطی است.

جدول ۹ - درس‌آموخته‌های تطبیقی و شروط انتقال به ایران

تجربه	ابزار اصلی	درس سیاستی	شرط انتقال
آلمان	مراکز شایستگی، انتقال فناوری و استاندارد	نقش نهاد واسط و توجه به بنگاه‌های کوچک و متوسط	اثبات تقاضا، ظرفیت و مدل مالی
چین	طرح آزمایشی مأموریت‌گرا، داده صنعتی و سناریوهای کاربرد	تبدیل هدف کلی به پروژه مشخص	پرهیز از تقلید مدل سرمایه‌گذاری دولتی
ایالات متحده	نوآوری خصوصی، AI RMF و راهنمای امنیت OT	حکمرانی چرخه عمر و ارزیابی ریسک	بومی‌سازی حقوقی، قراردادی و صنعتی
کره جنوبی	بسته حمایت از بنگاه‌های کوچک و متوسط و کارخانه هوشمند	ترکیب مشاوره، فناوری، آموزش و مالی	طراحی شفاف، رقابتی و ضدرانت
سنگاپور	راهبرد بازنگری‌پذیر و حکمرانی عملی	اعتماد، هماهنگی و بازنگری مستمر	انطباق با اندازه و ظرفیت داخلی
اتحادیه اروپا	تنظیم‌گری ریسک‌محور	تناسب الزام با سطح ریسک	هماهنگی با قوانین و نهادهای ایران
فانوس‌های دریایی	قابلیت سازمانی، نیروی کار و شبکه تولید	مقیاس‌دهی فراتر از اثبات مفهوم ^۱	توجه به سوگیری نمونه‌های پیشرو

منبع: تدوین گزارش بر پایه اسناد رسمی معرفی‌شده در بخش ۴.

مقایسه تطبیقی تنها زمانی به تصمیم کمک می‌کند که ابزار، مقیاس، سازوکار ارزیابی و شرط انتقال هر تجربه روشن باشد. جدول ۱۰ این چهار عنصر را کنار هم می‌گذارد و ستون آخر مشخص می‌کند برای استفاده از هر تجربه در ایران، چه داده رسمی باید در مرحله امکان‌سنجی گردآوری شود.

جدول ۱۰ - نمایه تطبیقی ابزار، مقیاس، ارزیابی و شرط انتقال تجربه‌های بین‌المللی

کشور یا منطقه	ابزار اصلی	مقیاس قابل استناد	سازوکار ارزیابی	شرط انتقال به ایران و داده لازم
آلمان	شبکه مراکز «دیجیتال برای بنگاه‌های متوسط» ^۲ ؛ خدمات رایگان برای بنگاه‌های کوچک و متوسط	شبکه‌ای ملی در حدود ۲۶ تا ۲۹ مرکز منطقه‌ای و موضوعی	ارزیابی مستقل همراه و پسینی سفارش وزارت اقتصاد فدرال (۱۴۰۱ تا ۱۴۰۳)	نیازمند نهاد واسط با بودجه چندساله و ارزیاب مستقل؛ داده لازم: هزینه سرانه هر بنگاه پشتیبانی‌شده
چین	سیاست مأموریت‌گرا و برنامه اقدام ادغام هوش مصنوعی و تولید	برنامه ملی با هدف‌گذاری بخشی و طرح‌های آزمایشی کارخانه‌ای	گزارش‌دهی دولتی و هدف‌گذاری کمی بخشی	نیازمند ظرفیت هماهنگی و تأمین مالی بلندمدت دولتی؛ داده لازم: سهم بودجه عمومی در هر طرح آزمایشی
ایالات متحده	چارچوب داوطلبانه مدیریت ریسک هوش مصنوعی و	پذیرش بازارمحور، بدون الزام قانونی	پذیرش داوطلبانه و ممیزی خصوصی	قابل انتقال با کمترین هزینه؛ داده لازم: میزان آمادگی بنگاه‌های ایرانی برای پذیرش چارچوب داوطلبانه

^۱ Proof of Concept (PoC)

^۲ Mittelstand-Digital

کشور یا منطقه	ابزار اصلی	مقیاس قابل استناد	سازوکار ارزیابی	شرط انتقال به ایران و داده لازم
	راهنمای امنیت فناوری عملیاتی			
کره جنوبی	کوپن فناوری و برنامه هوشمندسازی بنگاه‌های کوچک و متوسط	برنامه ملی با تخصیص اعتبار خرد به بنگاه	پایش تخصیص و نتیجه در سطح بنگاه	نیازمند سازوکار پرداخت شفاف و فهرست عرضه‌کننده معتبر؛ داده لازم: مبلغ کوپن، تعداد بنگاه و نرخ تبدیل به پروژه عملیاتی
سنگاپور	راهبرد ملی هوش مصنوعی و ابزارهای حکمرانی عملیاتی و آزمون اعتماد	اقتصاد کوچک با تمرکز بر اعتماد و استاندارد	آزمون و گواهی‌دهی نهادی	قابل انتقال در سطح ابزار حکمرانی، نه در سطح مقیاس اقتصادی؛ داده لازم: هزینه انطباق برای بنگاه متوسط
اتحادیه اروپا	تنظیم‌گری مبتنی بر ریسک	بازار واحد با الزام قانونی	نظام انطباق و نظارت بازار	انتقال کامل پرهزینه است؛ توصیه: اقتباس طبقه‌بندی ریسک به‌صورت داوطلبانه. داده لازم: برآورد هزینه انطباق برای بنگاه کوچک ایرانی

منبع: تدوین گزارش بر پایه منابع بخش ۴.

۵- وضعیت ایران و چارچوب تهیه خط پایه

۵-۱- تصویر اولیه

گزارش «شاخص هوش مصنوعی ایران ۱۴۰۳» ضمن برجسته‌کردن ظرفیت علمی و سرمایه انسانی کشور، به محدودیت‌های مرتبط با داده، بازار، زیرساخت، سرمایه‌گذاری و سنجش برخی مؤلفه‌های اکوسیستم هوش مصنوعی نیز اشاره می‌کند. این گزارش برای شناخت کلی وضعیت اکوسیستم ملی مفید است، اما به‌تنهایی نمی‌تواند میزان آمادگی صنایع، تفاوت بنگاه‌ها، هزینه استقرار، بازگشت سرمایه یا اولویت کاربردهای هوش مصنوعی صنعتی را تعیین کند؛ زیرا بخش مهمی از این مؤلفه‌ها باید در سطح بنگاه، فرایند و پروژه اندازه‌گیری شوند (مرکز استراتژی و تحول هوش مصنوعی شریف، ۱۴۰۳).

برای تکمیل این تصویر، مطالعه UNIDO-GIZ^۱ آمادگی دیجیتال تولید را در چهار بعد اصلی ارزیابی می‌کند:

۱. **زیرساخت توانمندساز:** شامل زیرساخت‌های ارتباطی، انرژی، سرمایه و سایر شرایط پایه موردنیاز برای جذب فناوری؛
۲. **قابلیت‌های تولیدی:** شامل ظرفیت صنعتی، پیچیدگی تولید، توان صادراتی و قابلیت جذب فناوری در بخش تولید؛
۳. **قابلیت‌های نوآوری:** شامل سرمایه انسانی، تحقیق و توسعه، تولید دانش و توان توسعه یا انطباق فناوری؛
۴. **قابلیت‌های دیجیتال:** شامل میزان مشارکت کشور در تولید، تجارت و به‌کارگیری فناوری‌های پیشرفته دیجیتال مرتبط با صنعت.

این چارچوب با استفاده از ۱۷ شاخص کلان، وضعیت کشورها را از سه منظر مقایسه می‌کند:

- عملکرد هر کشور در مقایسه با سایر کشورهای گروه مورد مطالعه؛
- عملکرد در مقایسه با کشورهای دارای سطح درآمد مشابه؛

^۱ Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ)

- روند تغییر شاخص‌ها طی دوره ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۲.

در این مطالعه، قابلیت‌های دیجیتال از طریق شاخص‌های مرتبط با تجارت و مشارکت در فناوری‌های تولید پیشرفته دیجیتال سنجیده شده‌اند. بنابراین، این بعد صرفاً دسترسی به اینترنت یا استفاده عمومی از ابزارهای دیجیتال را نشان نمی‌دهد، بلکه تا حدی بیانگر جایگاه کشور در تولید، جذب و مبادله فناوری‌های دیجیتال صنعتی است. (Rodriguez et al., 2026a)

نتایج مربوط به ایران نشان می‌دهد که کشور از نظر قابلیت‌های نوآوری، سرمایه علمی و ظرفیت دانشی جایگاه قابل توجهی دارد؛ اما این ظرفیت هنوز به همان نسبت در قابلیت‌های تولیدی و مشارکت در فناوری‌های پیشرفته تولید دیجیتال منعکس نشده است. به بیان دیگر، میان ظرفیت تولید دانش و نوآوری از یک سو و تبدیل آن به کاربرد صنعتی، استقرار بنگاهی و توسعه بازار از سوی دیگر، شکافی وجود دارد که باید بررسی شود.

این شکاف ممکن است با عواملی مانند محدودیت سرمایه‌گذاری، ضعف ارتباط میان دانشگاه و صنعت، دشواری تجاری‌سازی، کمبود تقاضای سازمان‌یافته، محدودیت دسترسی به زیرساخت و فناوری، ضعف توان جذب بنگاه‌ها یا نبود سازوکارهای انتقال فناوری مرتبط باشد. با این حال، داده‌های کلان این مطالعه برای تعیین سهم هر عامل کافی نیستند و این موارد باید به‌عنوان فرضیه‌های تشخیصی در خط پایه بنگاهی آزمون شوند.

همچنین، نتایج سطح کشور نباید به معنای آمادگی یا ناآمادگی یکسان همه بنگاه‌های ایرانی تفسیر شود. ممکن است برخی بنگاه‌های بزرگ یا صنایع خاص از نظر داده، زیرساخت، مهارت و حکمرانی در سطح بالایی قرار داشته باشند، درحالی که بنگاه‌های کوچک‌تر یا صنایع دیگر همچنان با محدودیت‌های پایه مواجه باشند. بنابراین، شاخص‌های ملی صرفاً زمینه کلان را نشان می‌دهند و جایگزین ارزیابی بنگاه، فرایند و سامانه نیستند.

بر این اساس، این سند از رتبه‌بندی قطعی صنایع یا اعلام نرخ عمومی پذیرش هوش مصنوعی صنعتی پرهیز می‌کند و پیشنهاد می‌دهد پیش از تصویب هر برنامه اجرایی، خط پایه‌ای طبقه‌بندی شده تهیه شود. این خط پایه باید به‌طور مشخص بررسی کند:

- چه موانعی از تبدیل ظرفیت علمی و نوآوری کشور به کاربرد صنعتی جلوگیری کرده‌اند؛
- تفاوت آمادگی میان صنایع، اندازه بنگاه‌ها و مناطق چیست؛
- کدام بنگاه‌ها داده، زیرساخت، مهارت و مسئله مناسب برای ورود به طرح آزمایشی دارند؛
- چه نوع مداخله‌ای برای هر گروه لازم است: آماده‌سازی داده، توسعه زیرساخت، آموزش، تأمین مالی یا اجرای طرح آزمایشی؛
- چگونه می‌توان ظرفیت‌های علمی و فناورانه موجود را به پروژه‌های قابل سنجش، قابل تکرار و دارای توجیه اقتصادی متصل کرد.

در نتیجه، ترکیب گزارش «شاخص هوش مصنوعی ایران ۱۴۰۳» و چارچوب UNIDO-GIZ تصویری دوسطحی فراهم می‌کند: نخست، شناخت ظرفیت‌ها و محدودیت‌های کلان کشور؛ و دوم، ضرورت سنجش دقیق شرایط در سطح بنگاه. این دو سطح باید مکمل یکدیگر باشند و هیچ‌یک نباید جایگزین دیگری شود.

۲-۵- اهداف خط پایه

خط پایه باید تصویری واقعی، مستند و قابل به‌روزرسانی از وضعیت آمادگی بنگاه برای استفاده از هوش مصنوعی ارائه دهد. هدف خط پایه صرفاً شناسایی تعداد پروژه‌های هوش مصنوعی نیست، بلکه باید مشخص کند هوش مصنوعی در چه نقاطی از سازمان وارد شده، چه ارزشی آفریده، چه ریسک‌هایی به همراه داشته و چه ظرفیت‌هایی برای مقیاس‌دهی وجود دارد.

خط پایه باید به پرسش‌های زیر پاسخ دهد:

- چه تعداد بنگاه از هوش مصنوعی استفاده می‌کنند؟
- هوش مصنوعی از چه مسیرهایی وارد بنگاه شده است؟ (پروژه رسمی هوش مصنوعی، نرم‌افزارهای سازمانی مانند ERP و MES، تجهیزات هوشمند، خدمات ابری، قراردادهای خدماتی، ابزارهای عمومی مولد یا استفاده غیررسمی کارکنان)
- کدام کاربردها در مرحله ایده، آزمایش، طرح آزمایشی، بهره‌برداری عملیاتی یا گسترش قرار دارند؟
- چه قابلیت‌های هوش مصنوعی به‌صورت تعبیه‌شده در نرم‌افزارها و تجهیزات موجود فعال است، حتی اگر به‌عنوان پروژه هوش مصنوعی ثبت نشده باشد؟
- چه میزان داده عملیاتی در دسترس است؟
- کیفیت، یکپارچگی، مالکیت و قابلیت استفاده مجدد داده‌ها در چه سطحی قرار دارد؟
- مهم‌ترین مسائل بهره‌وری هر صنعت چیست و کدام‌یک قابلیت حل با هوش مصنوعی دارند؟
- هزینه و منفعت پروژه‌های موجود چه بوده است؟
- چه تفاوتی میان صنایع، اندازه بنگاه و سطح بلوغ دیجیتال وجود دارد؟
- موانع اصلی فنی، مالی، حقوقی، امنیتی، سازمانی و مهارتی چیست؟
- آمادگی بنگاه برای ورود به طرح آزمایشی چقدر است؟
- چه عرضه‌کنندگان، شرکای فناوری و ظرفیت‌های ارزیابی مستقل در دسترس‌اند؟
- سطح خودمختاری هر سامانه هوش مصنوعی چیست و آیا سامانه صرفاً توصیه ارائه می‌دهد یا امکان اقدام و تغییر در فرایند دارد؟
- مالک سامانه هوش مصنوعی، مسئول تصمیم‌های ناشی از آن و سازوکار پاسخ‌گویی مشخص است یا خیر؟
- امکان اصلاح، اعتراض، بازبینی انسانی یا بازگردانی تصمیم‌های هوش مصنوعی وجود دارد یا خیر؟
- میزان وابستگی بنگاه به فروشندگان فناوری و قابلیت جابه‌جایی میان عرضه‌کنندگان چقدر است؟

خط پایه باید علاوه بر پیمایش ادراکی مدیران، تا حد امکان از شواهد مستند مانند داده تولید، اسناد مالی، گزارش تعمیرات، قراردادهای فناوری، سوابق ثبت‌شده در سامانه‌ها و مستندات امنیتی استفاده کند. پاسخ مدیران به‌تنهایی برای تأیید آمادگی یا نتیجه پروژه کافی نیست؛ زیرا بخشی از استفاده واقعی از هوش مصنوعی ممکن است خارج از پروژه‌های رسمی و در سطح واحدهای عملیاتی یا کاربران شکل گرفته باشد. (Hradecky et al., 2026)

همچنین خط پایه نباید به‌عنوان یک ارزیابی ایستا و یک‌باره در نظر گرفته شود. با آغاز پذیرش هوش مصنوعی، محدودیت‌های جدید، وابستگی‌های فناورانه، نیازهای مهارتی و فرصت‌های جدید آشکار می‌شوند. بنابراین، خط پایه باید پس از هر

موج طرح آزمایشی و در دوره‌های مشخص بازنگری شود تا مبنای تصمیم‌گیری برای مراحل بعدی باقی بماند (Hradecky et al., 2026).

۳-۵- اجزای خط پایه

در جدول ۱۱ علاوه بر شاخص و روش گردآوری، «مسئول داده» و «تاریخ اعتبار» درج شده است؛ زیرا داده صنعتی بدون مشخص بودن دوره زمانی، منبع و مالک داده نمی‌تواند مبنای تصمیم قرار گیرد. همچنین برای جلوگیری از نادیده گرفتن کاربردهای واقعی هوش مصنوعی، دو محور تکمیلی شامل نقشه ورود هوش مصنوعی به بنگاه و سطح کنترل‌پذیری و خودمختاری سامانه‌ها به چارچوب خط پایه افزوده شده است.

جدول ۱۱ - چارچوب خط پایه بنگاهی

بعد	شاخص نمونه	روش گردآوری	تفکیک	مسئول داده	تاریخ اعتبار
مشخصات بنگاه	صنعت، اندازه، استان، صادرات، ساختار مالکیت	پرسشنامه و اسناد ثبتی	بنگاه	دبیرخانه	تاریخ پاسخ
نقشه ورود هوش مصنوعی	پروژه رسمی هوش مصنوعی، MES, ERP، تجهیزات هوشمند، خدمات ابری، ابزارهای عمومی و استفاده غیررسمی کارکنان	مصاحبه، ممیزی سامانه‌ها و بررسی قراردادهای	مسیر ورود فناوری	مدیر فناوری / مالک فرایند	تاریخ ممیزی
عملکرد عملیاتی	توقف، ضایعات، انرژی، کیفیت، زمان چرخه	داده عملیاتی	خط، محصول و فرایند	مدیر تولید	آخرین دوره کامل
بلوغ دیجیتال	MES, ERP، حسگر، اتصال تجهیزات، زیرساخت داده	ممیزی دیجیتال	سطح بلوغ	ارزیاب	تاریخ ممیزی
کیفیت داده	صحت، کامل بودن، به‌هنگامی، قابلیت استفاده مجدد و مالکیت داده	آزمون نمونه و ممیزی داده	حوزه داده	مالک داده	تاریخ استخراج
پذیرش هوش مصنوعی	ایده، آزمایش، طرح آزمایشی، بهره‌برداری عملیاتی و گسترش	پرسشنامه، اسناد پروژه و سوابق ثبت‌شده سامانه	کاربرد	مدیر فناوری / مالک فرایند	تاریخ ارزیابی
قابلیت‌های هوش	مدل‌ها، ابزارها و قابلیت‌های هوش مصنوعی تعبیه‌شده در نرم‌افزارها و تجهیزات	بررسی فنی و قراردادهای	سامانه	مدیر فناوری	تاریخ بررسی

بعد	شاخص نمونه	روش گردآوری	تفکیک	مسئول داده	تاریخ اعتبار
مصنوعی موجود					
سطح خودمختاری هوش مصنوعی	توصیه‌گر، تصمیم‌یار، اقدام با تأیید انسانی، اقدام خودکار	ممیزی معماری و فرایند	کاربرد	مالک سامانه	تاریخ ارزیابی
کنترل‌پذیری و پاسخ‌گویی	امکان بازبینی، اعتراض، اصلاح، توقف و بازگشت تصمیم	بررسی طراحی سامانه و رویه‌ها	ریسک و کاربرد	واحد حقوقی / امنیت / مالک فرایند	نسخه رویه
اقتصاد پروژه	هزینه، منفعت، ROI ¹ ، هزینه چرخه عمر	اسناد مالی	پروژه	مدیر مالی	دوره مالی
مهارت و انتقال دانش	نقش، شایستگی، آموزش، توان داخلی و وابستگی به متخصص بیرونی	ارزیابی منابع انسانی و مصاحبه	گروه شغلی	منابع انسانی	تاریخ سنجش
حکمرانی	مالکیت، دسترسی، سیاست استفاده، مسئول پیامد و سازوکار نظارت	بررسی سند	بنگاه و سامانه	واحد حقوقی / مدیریت	نسخه سیاست
امنیت	کنترل IT و OT، حفاظت داده، امنیت مدل و دسترسی‌ها	ارزیابی فنی	سطح ریسک	مدیر امنیت	تاریخ آزمون
فروشنده	وابستگی، انتقال‌پذیری، امکان مهاجرت و انتقال دانش	بررسی قرارداد	پروژه و سامانه	واحد حقوقی	تاریخ قرارداد
مدیریت تغییر	مشارکت کاربران، پذیرش، آموزش و تغییر گردش کار	مصاحبه، پیمایش و سوابق استفاده از سامانه	گروه کاربر	مالک فرایند	دوره ارزیابی
نتیجه پروژه	فنی، عملیاتی، مالی، انسانی و سازمانی	ارزیابی مستقل	پروژه	ارزیاب مستقل	تاریخ گزارش

منبع: تدوین گزارش با استفاده از چارچوب پیشنهادی خط پایه بنگاهی و. (Hradecky et al. (2026)

¹ Return on Investment (ROI)

۴-۵- روش نمونه‌گیری و اعتبارسنجی

برای آنکه نتایج پیمایش نماینده واقعی صنعت باشد، نمونه باید به روش طبقه‌بندی شده انتخاب شود و دست کم طبقات زیر را پوشش دهد:

- صنعت؛
 - اندازه بنگاه؛
 - استان؛
 - صادراتی یا غیرصادراتی؛
 - سطح دیجیتالی شدن؛
 - بنگاه دارای پروژه هوش مصنوعی یا فاقد پروژه.
- برای پرهیز از سوگیری، لازم است جامعه آماری، روش انتخاب نمونه، نرخ پاسخ، الگوی پاسخ‌دادن و داده‌های گم‌شده به روشنی گزارش شود. افزون بر این، نتایج نباید تنها بر پاسخ مدیران فناوری تکیه کند؛ برداشت‌ها و ارزیابی‌های پاسخ‌دهندگان باید با اسناد عملیاتی، مالی و قراردادی بنگاه سنجیده و تطبیق داده شود.
- اعتبارسنجی کیفی نیز باید با تشکلهای صنعتی، مدیران تولید، شرکتهای فناوری، متخصصان امنیت، کارشناسان مالی و نمایندگان کارکنان انجام شود. هدف این مرحله، مهر تأیید زدن بر سیاست‌های از پیش تعیین شده نیست؛ بلکه شناسایی اختلاف دیدگاه و اصلاح فرضیه‌هاست.

۵-۵- بلوغ داده

کیفیت داده را نمی‌توان با دو حالت ساده «هست» یا «نیست» توصیف کرد. ممکن است داده وجود داشته باشد اما فاقد پوشش زمانی، استاندارد یا کنترل کیفیت باشد. جدول ۱۲ یک مدل پنج‌سطحی پیشنهادی ارائه می‌کند که می‌تواند برای غربالگری اولیه بنگاه‌ها استفاده شود. این مدل ادعای انطباق با استاندارد رسمی ندارد.

جدول ۱۲ - مدل پیشنهادی بلوغ داده صنعتی

سطح	ویژگی	وضعیت استفاده از هوش مصنوعی	اقدام مقدماتی
۱. پراکنده	داده دستی، ناقص یا نامنظم	نامناسب برای طرح آزمایشی اصلی	دیجیتالی‌سازی، تعریف مالک و استاندارد ثبت
۲. قابل دسترسی	داده وجود دارد اما استاندارد نیست	مناسب برای تحلیل محدود	پاک‌سازی، تبدیل و یکپارچه‌سازی
۳. قابل اعتماد	داده دارای کنترل کیفیت و پوشش کافی است	مناسب برای اثبات مفهوم	تهیه خط پایه و آزمون نمایندگی
۴. یکپارچه	اتصال چند سامانه و فرایند برقرار است	مناسب برای استقرار عملیاتی	حکمرانی، امنیت و پایش مدل

سطح	ویژگی	وضعیت استفاده از هوش مصنوعی	اقدام مقدماتی
۵. مدیریت شده	چرخه عمر، کیفیت، امنیت و تبارنامه داده ^۱ مدیریت می‌شود	مناسب برای مقیاس‌دهی	ممیزی، بهبود مستمر و آزمون تاب‌آوری

منبع: تدوین گزارش با توجه به ادبیات آمادگی سازمانی و مدیریت داده.

سطح پایین بلوغ لزوماً به معنای کنار گذاشتن بنگاه نیست. در چنین حالتی، نوع مداخله باید از «طرح آزمایشی هوش مصنوعی» به «آماده‌سازی دیجیتال و داده» تغییر کند. این تفکیک از آغاز پروژه‌ای جلوگیری می‌کند که بخش اصلی هزینه آن صرف جبران زیرساخت پایه شود، اما در بودجه و زمان‌بندی پروژه دیده نشده باشد.

۶-۵- فرصت‌های ایران

فرصت‌های زیر باید در خط پایه اعتبارسنجی و تفکیک شوند:

- وجود سرمایه انسانی فنی و مهندسی؛
 - تنوع صنایع و فرایندهای قابل بررسی؛
 - نیاز بنگاه‌ها به کاهش هزینه، انرژی و ضایعات؛
 - حضور شرکت‌های فناوری و دانش‌بنیان؛
 - ظرفیت تشکلهای و اتاق‌ها برای تجمیع تقاضا؛
 - وجود داده در برخی بنگاه‌های بزرگ؛
 - امکان توسعه راهکارهای بومی و استقرار داخلی؛
 - ظرفیت بنگاه‌های لنگر برای انتشار تجربه؛
 - امکان تشکیل کنسرسیوم برای مسائل مشترک؛
 - امکان استفاده از آموزش‌های نقش‌محور برای کاهش شکاف مهارت.
- این موارد، فرصت‌های بالقوه‌اند و نه شواهد اثبات‌شده درباره همه بنگاه‌ها. خط پایه باید مشخص کند کدام فرصت در چه صنعت و با چه محدودیتی قابل استفاده است.

۷-۵- چالش‌ها و مداخلات

هیچ ابزار واحدی برای همه چالش‌ها کافی نیست. برای نمونه، آموزش نمی‌تواند جایگزین دسترسی به داده شود و کوپن مالی نیز نمی‌تواند ابهام مالکیت یا ریسک امنیتی را برطرف کند. جدول ۱۳ شکاف‌های اصلی را به مداخله متناسب متصل می‌کند.

جدول ۱۳ - شکاف‌های ایران و مداخلات متناسب

حوزه	فرضیه وضعیت	پیامد	مداخله
مسئله‌شناسی	تعریف پروژه از سمت فناوری	انتخاب نامتناسب	نقشه مسائل قابل حل با هوش مصنوعی

^۱ Data lineage

حوزه	فرضیه وضعیت	پیامد	مداخله
داده	پراکندگی و کیفیت پایین	افزایش خطا و هزینه	استاندارد حداقلی و ممیزی
اعتماد	نگرانی از افشا	عدم اشتراک داده	قرارداد، محیط امن و حداقل سازی
تأمین مالی	ROI نامشخص	عدم شروع پروژه	تحلیل TCO و پرداخت مرحله‌ای
مهارت	کمبود نیروی ترکیبی	وابستگی به پیمانکار	آموزش نقش محور
مقیاس‌دهی	توقف در اثبات مفهوم	ارزش محدود	بسته قابل تکرار
حکمرانی	ابهام مالکیت	اختلاف حقوقی	منشور داده و مدل
فناوری	وابستگی خارجی	ریسک دسترسی	انتقال پذیری و برنامه خروج
نیروی انسانی	مشارکت ناکافی	مقاومت و استفاده صوری	مدیریت تغییر
امنیت OT	اتصال کنترل نشده	توقف و ریسک ایمنی	ارزیابی تخصصی OT
ارزیابی	نبود مرجع مستقل	موفقیت صوری	پروتکل ارزیابی مستقل
سیاست	مخلوط شدن نقش‌ها	تعارض منافع	تفکیک نهادی و RACI ^۱
بازار	نبود اطلاعات قابل اتکا از عرضه	افزایش هزینه جست‌وجو	معیار داوطلبانه و امکان‌سنجی بازارگاه
هماهنگی	پراکندگی تقاضای بنگاه‌های کوچک و متوسط	هزینه ورود بالا	تجمیع تقاضا و کنسرسیوم

منبع: تدوین گزارش.

افزون بر شکاف‌های عمومی، شش قید بومی بر امکان‌سنجی و طراحی هر پروژه هوش مصنوعی صنعتی در ایران اثر مستقیم دارد. این قیود جزو مفروضات طراحی برنامه‌اند و باید در بسته تصمیم، قرارداد و دروازه‌های ارزیابی به‌صراحت لحاظ شوند، نه آنکه به‌عنوان ریسک عمومی در پیوست باقی بمانند. جدول ۱۴ این قیود و تدبیر طراحی متناسب با هر یک را نشان می‌دهد.

جدول ۱۴ - قیود بومی اجرای هوش مصنوعی صنعتی در ایران و تدبیر طراحی

قیود بومی	اثر بر پروژه	تدبیر طراحی در برنامه	شاخص پایش
محدودیت دسترسی به فناوری خارجی	قطع دسترسی به شتاب‌دهنده، ابر، لایسنس و به‌روزرسانی؛ احتمال توقف سرویس در میانه پروژه	اولویت راهکارهای قابل اجرا بر زیرساخت داخلی؛ الزام تحویل مدل و مستندات؛ برنامه خروج از فروشنده؛ سپرده‌گذاری مستندات	سهم پروژه‌های دارای برنامه خروج مصوب
ناترازی برق و گاز	قطعی فصلی، محدودیت مصرف مراکز داده و توقف خطوط تولید که داده آموزش را ناهمگن می‌کند	انتخاب کاربردهای کم‌مصرف و لیه‌محور؛ لحاظ سناریوی قطعی در طراحی؛ ثبت قطعی به‌عنوان متغیر کنترلی در ارزیابی اثر	مصرف پردازشی پروژه؛ ساعات توقف ناشی از انرژی
نوسان ارز و تورم	بی‌اعتبار شدن برآورد هزینه کل مالکیت و توقف پروژه در میانه راه	قرارداد با ارز مرجع و بند تعدیل؛ بازبینی هزینه کل مالکیت در هر دروازه؛ تحلیل حساسیت به نرخ ارز	انحراف هزینه واقعی از برآورد در هر دروازه

^۱ پاسخ‌گویی نهایی = A، مجری = R (Responsible)، چارچوبی برای تعیین نقش هر ذی‌نفع در یک فعالیت؛ (RACI): ماتریس مسئولیت راسی (Informed)، مطلع = I، (Consulted)، مورد مشورت = C، (Accountable).

قید بومی	اثر بر پروژه	تدبیر طراحی در برنامه	شاخص پایش
خلأ مقررات داده صنعتی	ابهام در مالکیت، انتقال و استفاده مجدد داده؛ بی‌میلی بنگاه به اشتراک داده	الگوی قرارداد داده با تعیین مالکیت، سطح دسترسی و محدوده استفاده مجدد؛ توافق محرمانگی چندجانبه در کنسرسیوم داده	سهم پروژه‌های دارای قرارداد داده امضاشده
کمبود مهارت میان‌رشته‌ای	وابستگی به مشاور بیرونی و از دست رفتن دانش پس از پایان پروژه	الزام تیم داخلی همراه؛ انتقال دانش و مستندسازی به‌عنوان تحویل‌شدنی قراردادی	سهم پروژه‌های دارای تیم داخلی فعال پس از تحویل
کیفیت و افق کوتاه داده تاریخی	نبود برچسب خرابی و کوتاهی سری زمانی، کاهش اعتبار مدل	پذیرش دوره گردآوری داده پیش از مدل‌سازی؛ تعریف دروازه صفر «آمادگی داده»	طول افق داده معتبر در هر پروژه

منبع: تدوین گزارش

۶- کاربردها و صنایع اولویت‌دار

۶-۱- منطق انتخاب کاربرد

کاربرد اولویت‌دار لزوماً پیشرفته‌ترین فناوری نیست. یک کاربرد زمانی برای طرح آزمایشی مناسب است که مسئله آن مهم، داده آن قابل دسترسی، نتیجه آن قابل سنجش و ریسک آن قابل کنترل باشد. از این منظر، یک پروژه نسبتاً ساده پیش‌بینی تقاضا با داده معتبر ممکن است ارزش بیشتری از یک پروژه پیچیده رباتیک بدون زیرساخت ایجاد کند.

برای انتخاب کاربرد، دست‌کم باید این چهار عنصر را با هم سنجید:

- هزینه یا شدت مسئله موجود؛
- امکان فنی و داده‌ای؛
- زمان دستیابی به نتیجه؛
- ریسک و هزینه کل مالکیت.

۶-۲- کاربردهای اصلی

۶-۲-۱- نگهداری پیش‌بینانه

با تحلیل داده‌های لرزش، دما، فشار، صدا، جریان و سابقه تعمیر، می‌توان وضعیت تجهیز یا احتمال خرابی را برآورد کرد. مرور پژوهش‌ها نشان می‌دهد یادگیری ماشین در نگهداری پیش‌بینانه به‌طور گسترده برای تشخیص عیب، پیش‌بینی خرابی و برآورد عمر باقی‌مانده بررسی شده است؛ با این حال، کیفیت داده، عدم توازن نمونه‌های خرابی و تفاوت شرایط بهره‌برداری از چالش‌های اصلی‌اند (Carvalho et al., 2019).

شرط اصلی این کاربرد، وجود داده زمانی قابل اعتماد و امکان اقدام نگهداری در فاصله میان هشدار و خرابی است. اگر قطعه جایگزین یا امکان توقف برنامه‌ریزی شده وجود نداشته باشد، ارزش هشدار کاهش می‌یابد.

۶-۲-۲- کنترل کیفیت تصویری

بینایی ماشین می‌تواند عیوب ظاهری، مونتاژ، بسته‌بندی یا ابعاد را شناسایی کند. موفقیت آن به کیفیت تصویر، شرایط نور، تنوع نمونه عیب و هزینه دو نوع خطا، یعنی رد نادرست محصول سالم و تشخیص ندادن محصول معیوب، وابسته است. نرخ دقت کلی به‌تنهایی کافی نیست؛ زیرا ممکن است مدل در تشخیص عیب‌های کم‌تکرار اما پرهزینه ضعیف باشد.

۶-۲-۳- بهینه‌سازی انرژی

هوش مصنوعی می‌تواند رابطه میان تولید، تنظیمات تجهیزات، شرایط محیطی و مصرف انرژی را تحلیل کند. برای اثبات صرفه‌جویی، باید مصرف را به‌طور مستقل اندازه‌گیری کرد، مصرف پایه را جدا کرد و اثر عوامل دیگری مانند تغییر حجم تولید یا شرایط آب‌وهوایی را کنار گذاشت.

۶-۲-۴- پیش‌بینی تقاضا

پیش‌بینی تقاضا می‌تواند برنامه‌ریزی تولید و موجودی را بهبود دهد، اما در محیطی که در معرض تکانه‌های سیاسی، ارزی و تجاری است، باید از مدل‌های سناریویی، بازآموزی مستمر و نظارت انسانی استفاده شود.

۶-۲-۵- مدیریت موجودی و زنجیره تأمین

هوش مصنوعی می‌تواند زمان تأمین، ریسک عرضه‌کننده، احتمال تأخیر و سطح موجودی را تحلیل کند. ارزش آن زمانی بیشتر است که داده سفارش، انبار، کیفیت و تأمین‌کننده یکپارچه باشد.

۶-۲-۶- زمان‌بندی تولید

الگوریتم‌ها می‌توانند محدودیت ماشین، نیروی انسانی، مواد، تعمیرات و سفارش را هم‌زمان در نظر بگیرند. ادغام این کاربرد با فرایندهای موجود معمولاً پیچیده‌تر است و موفقیت آن به کیفیت مدل محدودیت‌ها و امکان اجرای برنامه در محیط واقعی بستگی دارد.

۶-۲-۷- هوش مصنوعی مولد مدیریتی

کاربردهایی مانند خلاصه‌سازی، تحلیل قرارداد، تولید مستند فنی، آموزش، تولید کد و مدیریت دانش سریع‌تر قابل اجرا هستند؛ اما پیش از به‌کارگیری آن‌ها باید قواعد استفاده از داده محرمانه، کنترل صحت خروجی، ثبت منبع و مسئولیت انسانی روشن باشد. NIST در نمایه هوش مصنوعی مولد، ریسک‌هایی مانند اطلاعات نادرست، افشای داده، سوءاستفاده، مالکیت فکری و وابستگی زنجیره تأمین را مطرح کرده است (Autio et al., 2024).

۶-۲-۸- طراحی مولد

این حوزه می‌تواند تعداد گزینه‌های طراحی را افزایش و زمان جست‌وجو را کاهش دهد، اما نیازمند بلوغ بالای مهندسی، شبیه‌سازی، آزمون، کنترل محدودیت و تعیین مالکیت فکری است.

۳-۶- ارزیابی اولیه کاربردها

جدول ۱۵ تصویری توصیفی از کاربردها ارائه می‌کند. این جدول رتبه‌بندی قطعی نیست و باید پس از خط پایه بازنگری شود. واژه‌هایی مانند «بالا» و «متوسط» صرفاً فرضیه اولیه برای طراحی پیمایش‌اند.

جدول ۱۵ - مشخصات اولیه کاربردهای هوش مصنوعی صنعتی

کاربرد	منفعت بالقوه	نیاز داده	پیچیدگی	ریسک اصلی	وضعیت اولیه
نگهداری پیش‌بینانه	بالا	متوسط تا بالا	متوسط	هشدار نادرست یا دیر هنگام	فرضیه اولویت
کنترل کیفیت	بالا	متوسط	متوسط	نمونه عیب ناکافی	فرضیه اولویت

کاربرد	منفعت بالقوه	نیاز داده	پیچیدگی	ریسک اصلی	وضعیت اولیه
بهینه‌سازی انرژی	بالا	متوسط تا بالا	متوسط	انتساب نادرست صرفه‌جویی	فرضیه اولویت
پیش‌بینی تقاضا	متوسط تا بالا	متوسط	پایین تا متوسط	شوک بازار و رانش مدل ^۱	قابل بررسی
مدیریت موجودی	متوسط	متوسط	متوسط	داده ناقص تأمین	قابل بررسی
زمان‌بندی تولید	متوسط	بالا	بالا	ادغام فرایند و عدم اجرای برنامه	بنگاه بالغ
هوش مصنوعی مولد مدیریتی	متوسط	پایین تا متوسط	پایین	محرمانگی و خطای محتوا	سریع‌بازده مشروط
طراحی مولد	متوسط	بالا	بالا	مالکیت فکری و ایمنی طرح	بنگاه بالغ
مدیریت ریسک تأمین	متوسط تا بالا	بالا	متوسط	داده بیرونی و خطای طبقه‌بندی	قابل بررسی
بهینه‌سازی فرایند	بالا	بالا	بالا	ریسک کنترل و ایمنی	فقط با آمادگی بالا

منبع: تدوین گزارش با توجه به (Lee et al. (2018, Carvalho et al. (۲۰۱۹) و Ghobakhloo et al. (۲۰۲۴).

۴-۶- روش امتیازدهی کاربردها

برای آنکه اولویت‌بندی تنها به داوری کیفی متکی نباشد، جدول ۱۶ معیارها و وزن‌ها را مشخص می‌کند. وزن‌ها پیشنهاد اولیه گزارش‌اند و باید با مشارکت تشکلهای و خبرگان بازنگری شوند.

جدول ۱۶ - معیارها و وزن‌های اولویت‌بندی کاربرد

معیار	وزن	پرسش ارزیابی
اثر بر بهره‌وری	۲۵٪	مسئله چه میزان هزینه، اتلاف یا ریسک ایجاد می‌کند؟
آمادگی داده و فنی	۲۰٪	داده، حسگر، زیرساخت و ادغام در چه سطحی است؟
زمان دستیابی به ارزش	۱۵٪	چه مدت تا نتیجه قابل سنجش لازم است؟
شدت سرمایه‌گذاری	۱۰٪	هزینه اولیه و تکرارشونده چقدر است؟
ریسک حقوقی، امنیتی و ایمنی	۱۵٪	پیامد خطا، رخداد یا استفاده نادرست چیست؟
قابلیت تکرار	۱۵٪	آیا راهکار در بنگاه‌های مشابه قابل استفاده است؟

منبع: تدوین گزارش.

امتیاز هر معیار از ۱ تا ۵ تعیین می‌شود:

^۱ Model drift

$$Score_j = \sum_{i=1}^n w_i \times \frac{s_{ij}}{5}$$

در این فرمول:

- w_i وزن معیار؛
 - s_{ij} امتیاز کاربرد j در معیار i ؛
 - $Score_j$ امتیاز نهایی بین ۰٫۲ و یک، یا پس از ضرب در ۱۰۰، بین ۲۰ و ۱۰۰ است.
- امتیاز نهایی باید همراه با شواهد، منبع داده، ارزیاب و سطح اطمینان ارائه شود. هیچ امتیازی نباید بدون داده پشتیبان منتشر شود. همچنین، در دو معیار «شدت سرمایه‌گذاری» و «ریسک حقوقی، امنیتی و ایمنی»، امتیاز بالاتر به معنای هزینه کمتر و ریسک مدیریت‌پذیرتر است تا جهت همه معیارها یکسان بماند.

۵-۶- معیارهای انتخاب صنعت

انتخاب صنعت صرفاً بر اساس سهم تولید یا جذابیت فناوری انجام نمی‌شود. ممکن است صنعتی از نظر اقتصادی مهم باشد، اما برای طرح آزمایشی اولیه داده یا ظرفیت مدیریتی کافی نداشته باشد. در مقابل، یک خوشه کوچک‌تر ممکن است مسئله روشن، داده معتبر و قابلیت تعمیم بالاتری داشته باشد.

جدول ۱۷ معیارهای پیشنهادی انتخاب صنایع طرح آزمایشی را نشان می‌دهد. این وزن‌ها نیز مقدماتی‌اند و باید پس از خط پایه و اعتبارسنجی بازتنظیم شوند.

جدول ۱۷ - معیارها و وزن‌های انتخاب صنایع طرح آزمایشی

وزن	معیار
۲۰٪	شدت و اهمیت مسئله بهره‌وری
۲۰٪	اهمیت اقتصادی، صادراتی یا زنجیره‌ای
۲۰٪	آمادگی داده و زیرساخت
۱۵٪	تعهد مدیریت و کارکنان
۱۰٪	قابلیت تعمیم تجربه
۱۰٪	ریسک ایمنی و امنیت
۵٪	امکان انتقال تجربه به بنگاه‌های کوچک و متوسط

منبع: تدوین گزارش.

در معیار ریسک، امتیاز بالاتر باید به معنای «ریسک قابل مدیریت‌تر» باشد تا جهت همه معیارها یکسان بماند. همچنین، حداقل آستانه‌ای برای امنیت و ایمنی لازم است؛ به‌گونه‌ای که امتیاز بالای اقتصادی نتواند ریسک غیرقابل قبول را جبران کند.

۶-۶- فهرست اولیه صنایع

فهرست اولیه صنایع در جدول ۱۸ برای طراحی خط پایه و گفت‌وگو با تشکله‌ها حفظ شده است؛ اما این فهرست باید اعتبارسنجی شود و به معنای انتخاب قطعی نیست.

جدول ۱۸ - صنایع اولیه برای اعتبارسنجی و انتخاب طرح آزمایشی

صنعت	کاربردهای محتمل	ملاحظه اصلی
فولاد و معدن	نگهداری، انرژی، کیفیت و برنامه‌ریزی	اهمیت توقف و انرژی؛ نیاز به داده تجهیزات
پتروشیمی و پالایش	پایش فرایند، خرابی، ناهنجاری و انرژی	ریسک بالای OT، ایمنی و محرمانگی
خودرو و قطعه‌سازی	کیفیت، برنامه‌ریزی، تأمین و نگهداری	تنوع تأمین‌کننده و پراکندگی داده
صنایع غذایی	ضایعات، کیفیت، تقاضا و سردخانه	تنوع اندازه بنگاه و محصول
دارو و تجهیزات پزشکی	کیفیت، ردیابی، موجودی و مستندسازی	الزامات تنظیمی و اعتبارسنجی بیشتر
سیمان	انرژی، نگهداری و کیفیت	ظرفیت بالقوه کاهش شدت مصرف
نساجی و پوشاک	کیفیت، تقاضا و برنامه تولید	ناهمگونی بالای بلوغ بنگاه‌ها
لوازم خانگی	کیفیت، موجودی، خدمات و تأمین	پیوند داده تولید و خدمات
صنایع شیمیایی	کنترل فرایند، کیفیت و انرژی	الزامات ایمنی و داده فرایندی
ماشین‌سازی	نگهداری، طراحی و خدمات پس از فروش	امکان توسعه خدمات داده‌محور

منبع: تدوین گزارش؛ انتخاب نهایی مشروط به خط پایه است.

۶-۷- تحلیل ذی‌نفعان

اجرای برنامه به هماهنگی چند گروه نیاز دارد. هر ذی‌نفع منافع، نگرانی‌ها و ظرفیت متفاوتی دارد. بی‌توجهی به این تفاوت‌ها می‌تواند به مقاومت، تعارض منافع یا شانه‌خالی کردن ذی‌نفعان از مسئولیت بینجامد. منافع، نگرانی‌ها و نقش پیشنهادی هر ذی‌نفع در جدول ۱۹ آمده است.

جدول ۱۹ - تحلیل ذی‌نفعان هوش مصنوعی صنعتی

ذی‌نفع	منفعت	نگرانی	نقش پیشنهادی
اتاق تهران	ارتقای رقابت اعضا و نقش سیاستی	ظرفیت اجرایی و ریسک شهرت	حامی سیاستی و تسهیلگر
تشکل صنعتی	حل مسئله بخشی	محدودیت ظرفیت و نمایندگی	مسئله‌یابی و تجمیع تقاضا
بنگاه بزرگ	کاهش هزینه و کیفیت	افشای داده و اختلال	بنگاه لنگر و میزبان طرح آزمایشی
بنگاه‌های کوچک و متوسط	دسترسی کم‌هزینه	کمبود منابع و مهارت	مشارکت در بسته مشترک
شرکت فناوری	توسعه بازار صنعتی	نبود داده و قرارداد	اجرای راهکار
دانشگاه	پژوهش و آموزش کاربردی	فاصله با محیط عملیاتی	آموزش، آزمون و ارزیابی
دولت	بهره‌وری و رقابت‌پذیری	بودجه و تنظیم‌گری	زیرساخت، مشوق و قواعد عمومی
بانک و صندوق	بازده سرمایه	ریسک فنی و انتساب منفعت	تأمین مالی مرحله‌ای

ذی‌نفع	منفعت	نگرانی	نقش پیشنهادی
کارکنان	مهارت و ایمنی بهتر	حذف نقش یا تشدید کار	مشارکت، نظارت و بازآموزی
ارزیاب مستقل	اعتبار نتایج	دسترسی به داده	ارزیابی اثر و انطباق
عرضه‌کننده زیرساخت	توسعه بازار	عدم قطعیت تقاضا	ارائه خدمت با SLA ¹
واحد حقوقی و امنیت	کاهش ریسک	ورود دیر هنگام به پروژه	مشارکت از دروازه نخست

منبع: تدوین گزارش.

۷- گزینه‌ها و توصیه‌های سیاستی

۷-۱- گزینه‌های نهادی

۷-۱-۱- گزینه اول: تداوم وضع موجود

در این گزینه، بنگاه‌ها و عرضه‌کنندگان فناوری مانند گذشته پروژه‌ها را به ابتکار خود پیش می‌برند و نقش اتاق به برگزاری نشست، اطلاع‌رسانی و انتشار عمومی تجربه‌ها محدود می‌ماند.

مزیت: هزینه نهادی اندکی دارد و اتاق را به تعهد تازه‌ای وادار نمی‌کند.

محدودیت: پراکندگی تجربه‌ها ادامه می‌یابد، خطاهای مشابه در بنگاه‌های مختلف تکرار می‌شود و بنگاه‌های کوچک و متوسط همچنان دسترسی کمتری به دانش و راهکارها خواهند داشت.

۷-۱-۲- گزینه دوم: مداخله مستقیم دولت

در این گزینه، دولت خود عهده‌دار انتخاب، تأمین مالی و اجرای پروژه‌ها می‌شود.

مزیت: امکان بسیج منابع گسترده و توسعه زیرساخت‌های عمومی فراهم می‌شود.

محدودیت: خطر دیوان‌سالاری، دورشدن برنامه از نیاز واقعی بنگاه‌ها و تخصیص ناکارای منابع وجود دارد.

۷-۱-۳- گزینه سوم: مرکز دائمی در اتاق

در این گزینه، ساختاری دائمی در اتاق برای ارائه خدمات هوش مصنوعی به اعضا ایجاد می‌شود.

مزیت: تمرکز فعالیت‌ها، استمرار خدمات و انباشت تجربه را ممکن می‌کند.

محدودیت: تعهد مالی و سازمانی ثابتی ایجاد می‌کند، خطر گسترش بی‌رویه مأموریت و تعارض منافع را بالا می‌برد و ساختاری را پیش از اثبات ارزش آن تثبیت می‌کند.

۷-۱-۴- گزینه چهارم: برنامه آزمایشی محدود

در این گزینه، اتاق ساختاری موقت با سقف زمانی و بودجه‌ای مشخص ایجاد می‌کند و مسئولیت اجرا را از ارزیابی جدا می‌سازد.

¹ Service Level Agreement (SLA)

مزیت: امکان یادگیری و انعطاف را فراهم می‌کند، تعهد اتاق را در کنترل نگه می‌دارد و در صورت ناکامی به‌آسانی خاتمه‌پذیر است.

محدودیت: به حکمرانی دقیق و ظرفیت هماهنگی کافی نیاز دارد.

۷-۱-۵- گزینه پنجم: مدل تشکل محور

در این گزینه، تشکل‌های صنعتی برنامه‌های ویژه بخش خود را اجرا می‌کنند و اتاق ابزارهای مشترکی مانند قرارداد نمونه و چارچوب ارزیابی را در اختیار آن‌ها می‌گذارد.

مزیت: برنامه به مسائل واقعی هر صنعت نزدیک‌تر است و مشارکت اعضا را افزایش می‌دهد.

محدودیت: ظرفیت تشکل‌ها یکسان نیست و احتمال دارد استانداردها و رویه‌ها میان بخش‌ها پراکنده شوند.

۷-۱-۶- گزینه ششم: کنسرسیوم یا مجری مستقل

در این گزینه، اجرای برنامه به یک کنسرسیوم تخصصی یا مجری حرفه‌ای سپرده می‌شود و اتاق در نقش حامی سیاستی باقی می‌ماند.

مزیت: از تخصص مجری بهره می‌گیرد، نقش‌ها را به‌روشنی تفکیک می‌کند و انعطاف قراردادی دارد.

محدودیت: تنظیم قرارداد، تعیین سازوکار پاسخ‌گویی و انتخاب مجری شایسته دشوار است.

۷-۲- مقایسه گزینه‌ها

برای آنکه گزینه اتاق از پیش انتخاب‌شده تلقی نشود، همه گزینه‌ها با پنج معیار اثربخشی، انطباق با مأموریت اتاق، پایداری مالی، کنترل تعارض منافع و قابلیت خاتمه مقایسه شده‌اند. جدول ۲۰ این مقایسه را ارائه می‌کند. این ارزیابی کیفی و مقدماتی است و باید در مرحله امکان‌سنجی با داده‌های هزینه و ظرفیت تکمیل شود.

جدول ۲۰ - مقایسه گزینه‌های سیاستی

گزینه	اثربخشی	انطباق مأموریتی	پایداری مالی	کنترل تعارض	قابلیت خاتمه	جمع‌بندی
وضع موجود	پایین	بالا	بالا	بالا	بالا	کم‌اثر و فاقد سازوکار انتشار
دولت محور	متوسط	پایین برای اتاق	وابسته به بودجه عمومی	متوسط	پایین	مناسب‌تر برای زیرساخت و قواعد عمومی
مرکز دائمی	متوسط	متوسط	پرریسک پیش از اثبات تقاضا	متوسط	پایین	زود هنگام برای شروع
برنامه موقت	بالا	بالا	قابل کنترل	بالا با طراحی مناسب	بالا	گزینه مقدماتی
تشکل محور	متوسط	بالا	متفاوت میان تشکل‌ها	متوسط	بالا	گزینه مکمل بخشی

گزینه	اثر بخشی	انطباق مأموریتی	پایداری مالی	کنترل تعارض	قابلیت خاتمه	جمع‌بندی
مجری مستقل	بالا	بالا برای نقش حامی اتاق	قراردادی	بالا با تفکیک نقش	متوسط	گزینه مناسب اجرای فنی

منبع: تدوین گزارش.

بر پایه این مقایسه، گزینه پیشنهادی برای آغاز کار، ترکیبی از گزینه چهارم و ششم است: برنامه‌ای آزمایشی و محدود که اجرای فنی آن به مجری یا مجریان تخصصی و ارزیابی آن به ارزیاب مستقل سپرده می‌شود. این انتخاب به معنای تصویب برنامه نیست و باید پس از تهیه بسته تصمیم نهایی شود.

۳-۷- توصیه‌های سیاستی برای اتاق بازرگانی

برای آنکه توصیه‌های این بخش قابل تصمیم‌گیری و پیگیری باشند، هر دوازده توصیه در جدول ۲۱ در قالبی یکسان و از شش جنبه معرفی شده‌اند: مالک (کدام رکن مجری و کدام رکن ارزیاب است)، پیش‌نیاز (اجرای توصیه به کدام توصیه یا داده وابسته است)، زمان (در کدام فاز نقشه راه اجرا می‌شود)، هزینه (سقف تعهد مالی و منبع آن)، شاخص موفقیت و معیار توقف یا بازطراحی. ارقام دقیق هزینه در بسته تصمیم هر توصیه (پیوست ۱) تعیین می‌شود و توصیه‌ای که این شش جنبه آن در بسته تصمیم تکمیل نشده باشد، آماده تصویب نیست. شرح هر توصیه در ادامه آمده است.

جدول ۲۱ - ارزیابی دوازده توصیه سیاستی برای اتاق تهران در قالبی یکسان

توصیه	مالک (مجری / ارزیاب)	پیش‌نیاز	زمان اجرا	سقف هزینه و منبع	شاخص موفقیت	معیار توقف یا بازطراحی
۱- ایجاد دفتر یا برنامه آزمایشی محدود	اتاق تهران / ارزیاب مستقل بیرونی	تکمیل خط پایه بنگاهی و تصویب سند مأموریت	فازهای اول و دوم؛ ماه ۱ تا ۱۸	سقف مصوب در بسته تصمیم؛ بودجه پژوهشی اتاق	تشکیل دبیرخانه و آغاز دست‌کم یک طرح آزمایشی در موعد مقرر	تصویب نشدن سند مأموریت یا عبور نکردن از دروازه پایان فاز دوم
۲- تصویب منشور حکمرانی	اتاق تهران / کمیته حکمرانی با عضو مستقل	تصویب توصیه ۱	فاز اول؛ ماه ۱ تا ۳	هزینه کارشناسی محدود؛ بودجه پژوهشی اتاق	تصویب منشور پیش از آغاز نخستین طرح آزمایشی	آغاز هر طرح آزمایشی بدون منشور مصوب
۳- تدوین ماتریس مسئولیت	دبیرخانه برنامه / کمیته حکمرانی	تصویب منشور حکمرانی	فاز اول؛ ماه ۲ تا ۴	بدون هزینه مستقل؛ در بودجه دبیرخانه	تعیین مجری، پاسخ‌گو، مشاور و مطلع برای همه فعالیت‌های اصلی	بروز تعارض منافع یا خلأ مسئولیت در بازبینی میان‌دوره‌ای

توصیه	مالک (مجری / ارزیاب)	پیش‌نیاز	زمان اجرا	سقف هزینه و منبع	شاخص موفقیت	معیار توقف یا بازطراحی
۴- تدوین نقشه مسائل قابل حل با هوش مصنوعی	دبیرخانه با مشارکت تشکلهای / ارزیاب مستقل	نتایج خط پایه بنگاهی	فاز اول؛ ماه ۳ تا ۶	هزینه پیمایش و کارگاه‌ها؛ بودجه پژوهشی اتاق	فهرست اولویت‌دار مسائل با امتیاز ارزش، داده و امکان‌پذیری	کافی نبودن داده یا تقاضای بنگاه‌ها برای مسائل منتخب
۵- تدوین مدل مالی	دبیرخانه / کمیته مالی اتاق	نقشه مسائل و برآورد هزینه طرح‌های آزمایشی	فاز اول؛ ماه ۴ تا ۶	هزینه کارشناسی؛ بودجه پژوهشی اتاق	تعیین سقف هزینه، سهم هر طرف و نقطه سربه‌سر هر طرح	انحراف هزینه از سقف مصوب یا روشن نبودن منبع تأمین
۶- طراحی مدل تأمین مالی	دبیرخانه / کمیته مالی و ارزیاب مستقل	تصویب مدل مالی	پایان فاز اول تا پایان فاز دوم؛ ماه ۶ تا ۱۸	سهم بنگاه میزبان، تشکلهای و منابع حمایتی	تأمین سهم بنگاه میزبان و تعهد مالی شرکا پیش از آغاز اجرا	نبود سهم مالی بنگاه میزبان یا وابستگی کامل به یارانه
۷- اجرای پروتکل مرحله-دروازه‌ای	دبیرخانه / کمیته دروازه با عضو مستقل	تصویب منشور حکمرانی و معیارهای توقف	فازهای دوم تا چهارم؛ در پایان هر مرحله	بدون هزینه مستقل؛ در بودجه ارزیابی	ثبت تصمیم مستند ادامه، اصلاح یا توقف برای همه طرح‌ها	ادامه طرح بدون تصمیم دروازه یا نادیده گرفتن معیارهای توقف
۸- تدوین قراردادهای نمونه	دبیرخانه با مشاور حقوقی / ارزیاب مستقل	منشور حکمرانی و چارچوب داده	فاز اول؛ ماه ۳ تا ۶	هزینه مشاوره حقوقی؛ بودجه پژوهشی اتاق	به‌کارگیری قرارداد نمونه در همه طرح‌های آزمایشی	اختلاف بر سر مالکیت داده یا دارایی فکری که قرارداد پاسخ‌گوی آن نباشد
۹- چارچوب داده و امنیت صنعتی	دبیرخانه با کارشناس امنیت / بنگاه میزبان	قراردادهای نمونه	فاز اول و پیش از آغاز فاز دوم	هزینه ارزیابی امنیتی؛ سهم بنگاه میزبان	تکمیل چک‌لیست امنیت پیش از اتصال سامانه و نبود رخدادهای امنیتی جدی	بروز رخداد امنیتی جدی یا دسترسی خارج از حدود مجاز
۱۰- بازارگاه مشروط	دبیرخانه / ارزیاب مستقل	نتایج مثبت طرح‌های آزمایشی و معیارهای شفاف	فاز سوم؛ ماه ۱۹ تا ۳۶	هزینه راه‌اندازی محدود؛ کارمزد	تعداد تطبیق‌های موفق بنگاه و شرکت فناور با	تبدیل بازارگاه به ابزار تبلیغ یا تضمین ضمنی فروشندگان

توصیه	مالک (مجری / ارزیاب)	پیش‌نیاز	زمان اجرا	سقف هزینه و منبع	شاخص موفقیت	معیار توقف یا بازطراحی
		پذیرش شرکت‌های فناوری		خدمات و بودجه اتاق	نتیجه سنجش‌پذیر	
۱۱- کوپن مشروط	دبیرخانه / ارزیاب مستقل	راه‌اندازی بازارگاه مشروط و طراحی سازوکار ضد رانت	فاز سوم؛ ماه ۱۹ تا ۳۶	سقف حمایت مصوب؛ منابع حمایتی همراه با سهم بنگاه	منفعت تأییدشده برای بنگاه‌های کوچک و متوسط نسبت به خط پایه	نشانه رانت‌جویی، تمرکز کوپن‌ها در گروهی محدود یا نبود منفعت تأییدشده
۱۲- آموزش و انتشار گزارش سالانه	دبیرخانه با مراکز آموزشی / ارزیاب مستقل	نتایج پایش و ارزیابی طرح‌ها	از فاز دوم و پس از آن سالانه	هزینه آموزش و انتشار؛ بودجه اتاق و مشارکت بنگاه‌ها	انتشار به‌موقع گزارش سالانه همراه با طرح‌های موفق و متوقف‌شده	انتشار گزارش بدون ارزیابی مستقل یا حذف تجربه‌های ناموفق

منبع: تدوین گزارش.

۱-۳-۷- توصیه ۱: ایجاد دفتر یا برنامه آزمایشی محدود

پس از تکمیل خط پایه و تصویب در ارکان اتاق، اتاق تهران می‌تواند برنامه‌ای موقت ایجاد کند که دوره نخست آن حداکثر ۱۸ ماه است و با فازهای اول و دوم نقشه راه (بخش ۸) منطبق است؛ ادامه برنامه پس از این دوره تنها با تصمیم رسمی در دروازه پایان فاز دوم ممکن خواهد بود. مأموریت این برنامه باید به هماهنگی، تهیه ابزارهای مشترک، توانمندسازی و پایش محدود بماند.

این برنامه باید دست‌کم ویژگی‌های زیر را داشته باشد:

- سند مأموریت؛
- تاریخ آغاز و پایان؛
- سقف بودجه؛
- تعداد نیروی محدود؛
- بند بازنگری میان‌دوره‌ای؛
- بند خاتمه خودکار؛
- ممنوعیت تضمین فروشنده؛
- ممنوعیت تبدیل خودکار به مرکز دائمی؛
- ارزیابی مستقل؛
- گزارش نهایی درباره ادامه، اصلاح یا خاتمه.

۲-۳-۷- توصیه ۲: تصویب منشور حکمرانی

ساختار حکمرانی باید پیش از آغاز هر پروژه آزمایشی هوش مصنوعی تصویب شود. حکمرانی نباید صرفاً به کنترل الگوریتم یا بررسی عملکرد مدل محدود شود؛ زیرا در محیط صنعتی، پیامدهای هوش مصنوعی حاصل تعامل میان مدل، داده، حسگرها، تجهیزات، عملگرها، اپراتورها، نرم‌افزارهای سازمانی و قواعد عملیاتی سازمان است. ممکن است یک مدل هوش مصنوعی به‌تنهایی عملکرد قابل قبولی داشته باشد، اما تعامل آن با سایر سامانه‌های تولید، نگهداری، انرژی یا لجستیک ریسک‌هایی ایجاد کند که در ارزیابی مستقل مدل قابل مشاهده نیست. (UNIDO, 2026)

از این رو، چارچوب حکمرانی برنامه آزمایشی باید از سطح «مدیریت مدل» به سطح «حکمرانی سامانه هوش مصنوعی صنعتی» ارتقا یابد. در این رویکرد، موضوع حکمرانی شامل تعیین مسئولیت، کنترل دسترسی، ارزیابی ریسک، پایش عملکرد، مدیریت تغییر، امنیت، امکان توقف یا بازگردانی تصمیم و پاسخ‌گویی نسبت به پیامدهای سامانه است. چارچوب مدیریت ریسک هوش مصنوعی NIST نیز حکمرانی را یک کارکرد فراگیر می‌داند که باید در تمام مراحل چرخه عمر هوش مصنوعی شامل شناسایی، اندازه‌گیری، مدیریت و پایش ریسک حضور داشته باشد و صرفاً به مرحله پیش از استقرار محدود نشود. (Tabassi, 2023)

برای محیط صنعتی، حکمرانی باید علاوه بر ساختار سازمانی، الگوهای خاص ریسک سامانه‌های هوش مصنوعی را نیز پوشش دهد. UNIDO سه الگوی اصلی ریسک در هوش مصنوعی صنعتی را شناسایی می‌کند:

- **ریسک آبشاری:** خطا یا انحراف در یک بخش از سامانه که به مراحل پایین‌دست منتقل شده و اثر آن در بخش‌های دیگر تولید یا عملیات ظاهر می‌شود؛ برای مثال، خطای یک مدل پیش‌بینی که باعث تصمیم نادرست در برنامه‌ریزی تعمیرات یا تولید شود.
- **ریسک پنهان:** کاهش تدریجی عملکرد سامانه، تغییر رفتار داده‌ها یا رانش مدل که بدون نشانه آشکار ادامه می‌یابد و ممکن است کیفیت تصمیم‌ها را در طول زمان کاهش دهد.
- **ریسک مرکب:** ایجاد پیامدهای پیش‌بینی نشده در اثر تعامل چند سامانه، چند مدل یا چند فروشنده که هیچ‌کدام به‌تنهایی چنین ریسکی ایجاد نمی‌کنند. (UNIDO, 2026)

این سه الگو نشان می‌دهد که ارزیابی امنیت و ریسک نباید فقط در سطح یک مدل یا نرم‌افزار انجام شود، بلکه باید کل زنجیره فناوری، فرایند و سازمان را دربرگیرد.

برای مدیریت این ریسک‌ها، مفهوم **کنترل‌پذیری^۱** باید به‌عنوان یکی از ارکان اصلی منشور حکمرانی افزوده شود. کنترل‌پذیری به توان سازمان و افراد مسئول برای فهم عملکرد سامانه، پایش رفتار آن، اعمال محدودیت، اصلاح تصمیم و در صورت ضرورت توقف یا لغو عملکرد سامانه اشاره دارد. این مفهوم به‌ویژه برای کاربردهای صنعتی که هوش مصنوعی ممکن است بر تجهیزات فیزیکی، ایمنی کارکنان یا تداوم تولید اثر بگذارد، اهمیت اساسی دارد. (UNIDO, 2026)

منشور حکمرانی باید بر شش اصل مکمل استوار باشد:

¹ Controllability

۱. ایمنی^۱: اطمینان از اینکه سامانه در شرایط عادی و بحرانی، خطر غیرقابل قبول برای افراد، تجهیزات و عملیات ایجاد نمی‌کند.
 ۲. قابلیت اتکا^۲: حفظ عملکرد مورد انتظار در طول زمان و شرایط متغیر.
 ۳. شفافیت^۳: امکان مشاهده منبع داده، منطق تصمیم، نسخه سامانه و سوابق عملکرد.
 ۴. پاسخ‌گویی^۴: تعیین روشن مسئولیت سازمانی برای تصمیم‌ها و پیامدهای سامانه.
 ۵. فراگیری^۵: اطمینان از اینکه الزامات حکمرانی برای بنگاه‌های مختلف، به‌ویژه بنگاه‌های کوچک و متوسط، قابل اجرا است.
 ۶. پایداری^۶: توجه به آثار بلندمدت اقتصادی، انسانی، انرژی و محیط‌زیستی سامانه (UNIDO, 2026).
- این اصول نباید به‌صورت مستقل و جدا از یکدیگر اجرا شوند. برای مثال، افزایش شفافیت بدون تعیین مسئولیت ممکن است تنها به تولید مستندات منجر شود، اما نتواند پاسخ‌گویی ایجاد کند. همچنین امنیت بدون کنترل‌پذیری ممکن است مانع استفاده عملیاتی شود، در حالی که هدف حکمرانی ایجاد تعادل میان نوآوری، بهره‌وری و کنترل ریسک است.
- جدول ۲۲ ارکان حکمرانی برنامه آزمایشی را نشان می‌دهد. در کنار نقش‌های سازمانی، هر رکن باید محدودیت اختیار و حوزه عدم مداخله خود را نیز مشخص کند تا از تعارض منافع، تمرکز بیش از حد اختیار و ضعف پاسخ‌گویی جلوگیری شود.

جدول ۲۲ - ارکان حکمرانی برنامه آزمایشی

رکن	مسئولیت	محدودیت
حامی سیاستی اتاق	تصویب دامنه، اولویت‌ها و سقف منابع برنامه	عدم ارزیابی مستقیم فروشنده یا انتخاب مجری
شورای راهبری	کنترل جهت‌گیری، ریسک، اولویت‌ها و تعارض‌های راهبردی	عدم ورود به تصمیم‌هایی که دارای تعارض منافع است
دفتر برنامه	هماهنگی، مستندسازی، گزارش‌دهی، مدیریت زمان و پیگیری مصوبات	عدم تضمین نتیجه تجاری یا نقش فروشنده فناوری
کمیته انتخاب	ارزیابی مسئله، آمادگی بنگاه، ارزش بالقوه و تناسب طرح آزمایشی	عدم اجرای همان پروژه یا دریافت منفعت از نتیجه انتخاب
کمیته فنی مستقل	بررسی معماری، داده، امنیت، قابلیت اتکا و تناسب فناوری	منع هرگونه منفعت مستقیم از برنده یا مجری پروژه
ارزیاب مستقل	سنجش اثر، انطباق، ریسک، نتیجه عملیاتی و اقتصادی	منع مشارکت اجرایی در طراحی یا پیاده‌سازی
دبیرخانه شکایت و بازخورد	ثبت، بررسی، پیگیری و گزارش شکایت‌ها و رخدادها	استقلال از کمیته انتخاب و ارزیابی

¹ Safety

² Reliability

³ Transparency

⁴ Accountability

⁵ Inclusiveness

⁶ Sustainability

رکن	مسئولیت	محدودیت
واحد حقوقی و امنیت	کنترل قرارداد، مالکیت داده، امنیت، دسترسی و الزامات انطباق	عدم ورود صرفاً پس از انتخاب فناوری؛ حضور از مرحله طراحی
مالک سامانه هوش مصنوعی	پاسخ‌گویی نسبت به عملکرد، پایش، تغییرات و رخدادهای سامانه	عدم انتقال کامل مسئولیت به فروشنده فناوری
مالک فرایند کسب‌وکار	تعریف مسئله، سنجش ارزش، پذیرش عملیاتی و مدیریت تغییر	عدم واگذاری کامل تصمیم عملیاتی به سامانه هوش مصنوعی

منبع: تدوین گزارش با استفاده از (Tabassi (2023 و (UNIDO (2026

۷-۳-۲-۱- مدیریت تعارض منافع

هر یک از اعضای ارکان برنامه باید منافع مالی، حرفه‌ای و سازمانی مرتبط با موضوع را افشا کند. فرد دارای تعارض باید از دسترسی به اسناد محرمانه و رأی‌گیری مربوط کنار گذاشته شود. تصمیم‌ها، امتیازها و دلایل انتخاب باید ثبت شوند.

مصادیق تعارض می‌تواند شامل موارد زیر باشد:

- سهام‌داری یا رابطه استخدامی با عرضه‌کننده؛
- دریافت حق‌المشاوره از بنگاه یا فروشنده؛
- مشارکت در طراحی پیشنهادی که ارزیابی می‌شود؛
- رابطه سازمانی مستقیم یا متقاضی؛
- منفعت مالی از ادامه یا مقیاس‌دهی پروژه.

۷-۳-۲-۲- سازوکار شکایت

رسیدگی به هر شکایت باید مراحل زیر را طی کند:

- ثبت شکایت در دبیرخانه مستقل؛
- اعلام دریافت و شماره پیگیری؛
- بررسی اولیه قابلیت رسیدگی؛
- ارجاع فنی، حقوقی یا مالی؛
- پاسخ مستدل در مهلت مصوب؛
- امکان تجدیدنظر؛
- ثبت و گزارش تجمیعی بدون افشای اطلاعات محرمانه.

۷-۳-۳- توصیه ۳: تدوین ماتریس مسئولیت

برای جلوگیری از تداخل نقش‌ها، جدول ۲۳ ماتریس RACI را ارائه می‌کند.

جدول ۲۳ - ماتریس مسئولیت RACI

فعالیت	اتاق	دفتر برنامه	تشکل	بنگاه	فروشنده	ارزیاب
تعیین دامنه	A	R	C	C	I	C
خط پایه	C	A	R	R	I	C
انتخاب پروژه	A	R	C	C	I	C
انتخاب فروشنده	C	A	C	R	I	C
اجرای فنی	I	C	I	A	R	I
امنیت و داده	C	A	I	R	R	C
مدیریت تغییر	C	C	I	A/R	C	I
ارزیابی اثر	I	C	I	C	I	A/R
تصمیم ادامه یا توقف	A	R	C	C	I	C
انتشار نتایج	A	R	C	C	I	C
رسیدگی به شکایت	I	C	I	I	I	C
آزمون خروج	I	C	I	A	R	C

منبع: تدوین گزارش

R: مجری، A: پاسخ‌گوی نهایی، C: مورد مشورت، I: مطلع

ماتریس باید برای هر طرح آزمایشی با ذکر نام شخص یا واحد تکمیل شود. درج نام نهاد بدون تعیین واحد پاسخ‌گو برای مدیریت عملیاتی کافی نیست.

۴-۳-۷- توصیه ۴: تدوین نقشه مسائل قابل حل با هوش مصنوعی

هر مسئله باید در قالب یک برگه استاندارد ثبت شود:

- عنوان مسئله؛
- مالک فرایند؛
- هزینه یا پیامد وضع موجود؛
- شاخص پایه؛
- داده موردنیاز؛
- اقدام فعلی؛
- محدودیت؛
- ریسک؛
- منفعت مورد انتظار؛
- قابلیت تعمیم؛
- تصمیم موردنیاز در صورت هشدار یا توصیه مدل.

این برگه باید پیش از جست‌وجوی عرضه‌کننده تهیه شود. در غیر این صورت، ممکن است پروژه به‌جای نیاز بنگاه، بر اساس قابلیت‌های محصولی که فروشنده در اختیار دارد تعریف شود.

۵-۳-۷- توصیه ۵: تدوین مدل مالی

هیچ طرح آزمایشی نباید فقط با هزینه توسعه مدل برآورد شود. هزینه کل مالکیت باید همه اجزا را در بر گیرد:

$$TCO = C_{diagnosis} + C_{data} + C_{infrastructure} + C_{solution} + C_{integration} + C_{security} + C_{change} + C_{evaluation} + C_{operation} + C_{exit}$$

اجزای هزینه کل مالکیت در جدول ۲۴ آمده است.

جدول ۲۴ - اجزای هزینه کل مالکیت پروژه

جزء	نمونه هزینه
تشخیص	تحلیل فرایند، مسئله و KPI
داده	استخراج، پاک‌سازی، تبدیل و برچسب‌گذاری
زیرساخت	حسگر، شبکه، سرور، ذخیره‌سازی و پردازش
راهکار	توسعه، مجوز، اشتراک یا استفاده از API ^۱
یکپارچه‌سازی	اتصال به ERP، MES، SCADA و داشبورد
امنیت	ارزیابی، آزمون، سخت‌سازی و پایش
تغییر	آموزش، ارتباطات و بازطراحی نقش
ارزیابی	خط پایه، طراحی روش و ارزیاب مستقل
عملیات	نگهداری، به‌روزرسانی، پشتیبانی و پایش رانش مدل
خروج	انتقال داده، مستندات، مهاجرت و حذف
انطباق حقوقی	بررسی قرارداد، مالکیت و مسئولیت
تداوم	نسخه پشتیبان، خدمت جایگزین و آزمون بازیابی

منبع: تدوین گزارش.

منفعت باید به‌صورت زیر محاسبه شود:

$$Net\ Benefit = Benefit_{downtime} + Benefit_{scrap} + Benefit_{energy} + Benefit_{inventory} + Benefit_{quality} - Recurring\ Costs$$

$$ROI = \frac{Net\ Benefit - TCO}{TCO} \times 100$$

علاوه بر ROI، در پروژه‌های چندساله باید ارزش فعلی خالص، دوره بازگشت و تحلیل حساسیت بررسی شود:

^۱ Application Programming Interface (API)

$$NPV = \sum_{t=0}^T \frac{CF_t}{(1+r)^t}$$

در این فرمول، CF_t جریان نقدی خالص و r نرخ تنزیل مصوب بنگاه است.

۶-۳-۷- توصیه ۶: طراحی مدل تأمین مالی

سناریوهای مالی در جدول ۲۵ ارائه شده‌اند. انتخاب مدل باید بر اساس ماهیت منفعت، میزان بهره‌مندی بنگاه‌های دیگر از نتایج پروژه و توان بنگاه انجام شود.

جدول ۲۵ - سناریوهای تأمین مالی

مدل	کاربرد	مزیت	شرط
تأمین کامل بنگاه	منفعت خصوصی روشن	مسئولیت‌پذیری بالا	توان مالی و توجیه اقتصادی
تأمین تطبیقی	طرح آزمایشی قابل تعمیم	کاهش ریسک ورود	سهم مالی بنگاه و سقف حمایت
کنسرسیوم بخشی	مسئله مشترک	صرفه مقیاس	قرارداد داده و تقسیم منفعت
پرداخت مرحله‌ای	عدم قطعیت بالا	کنترل ریسک	عبور از دروازه‌ها
پرداخت مبتنی بر نتیجه	KPI بسیار روشن	هم‌راستایی انگیزه	انتساب مستقل
تأمین زیرساخت مشترک	مشکل عمومی داده یا آزمون	کاهش هزینه تکراری	دسترسی منصفانه و مدل بهره‌برداری

منبع: تدوین گزارش.

تعداد طرح‌های آزمایشی باید بر پایه ظرفیت واقعی تعیین شود:

$$N_{pilot} = \min \left(D_{ready}, C_{delivery}, C_{evaluation}, \frac{B_{approved}}{UC_{pilot}} \right)$$

که در آن:

- D_{ready} : تعداد بنگاه‌های دارای مسئله، داده و مدیریت آماده؛
- $C_{delivery}$: ظرفیت مجریان واجد صلاحیت؛
- $C_{evaluation}$: ظرفیت ارزیابی مستقل؛
- $B_{approved}$: بودجه مصوب؛
- UC_{pilot} : هزینه کل واحد هر طرح آزمایشی.

بنابراین، اعدادی مانند ۲۰ طرح آزمایشی، ۱۰۰ کوپن، ۲۰۰ بنگاه یا ۱۰ مرکز منطقه‌ای را نباید بدون خط پایه، هزینه واحد و بودجه مصوب به‌عنوان هدف قطعی تعیین کرد.

۷-۳-۷- توصیه ۷: اجرای پروتکل مرحله-دروازه‌ای

چرخه تصمیم پروژه در شکل ۳ ترسیم شده است. هدف این چرخه جلوگیری از وضعیتی است که در آن تکمیل فنی یک اثبات مفهوم به‌طور خودکار به‌عنوان موفقیت اقتصادی و مجوز مقیاس‌دهی تلقی شود.

در پروژه‌های هوش مصنوعی صنعتی، رسیدن از آزمایش فنی به استقرار واقعی چند لایه بررسی متفاوت می‌خواهد. یک مدل ممکن است در محیط آزمون عملکرد قابل قبول داشته باشد، اما در محیط واقعی به دلیل تغییر شرایط تولید، تغییر رفتار داده‌ها، محدودیت‌های عملیاتی، تعامل با سایر سامانه‌ها یا ضعف فرایندهای سازمانی نتواند ارزش پایدار ایجاد کند.

ازاین‌رو، تصمیم‌گیری درباره ادامه یا توقف پروژه باید بر اساس چهار سطح ارزیابی انجام شود:

۱. **عملکرد فنی:** آیا مدل یا راهکار در شرایط آزمون، معیارهای فنی مصوب را برآورده می‌کند؟
 ۲. **قابلیت اتکای سامانه:** آیا سامانه در محیط واقعی، تحت تغییر شرایط و در طول زمان عملکرد پایدار و قابل کنترل دارد؟
 ۳. **موفقیت عملیاتی:** آیا راهکار در فرایند واقعی مورد استفاده قرار گرفته و به تصمیم یا اقدام عملیاتی منجر شده است؟
 ۴. **موفقیت اقتصادی:** آیا اثر قابل انتساب بر بهره‌وری، هزینه، کیفیت، درآمد یا کاهش ریسک ایجاد کرده است؟
- برای ارزیابی سطح دوم، یعنی قابلیت اتکای سامانه، می‌توان از چارچوب پیشنهادی **سطوح آمادگی عملکرد هوش مصنوعی (APRL^۱)** استفاده کرد. این چارچوب قابلیت اتکای سامانه را از تعریف دامنه و آزمون آزمایشگاهی تا عملکرد پایدار در شرایط واقعی دسته‌بندی می‌کند.

لازم به تأکید است که APRL در وضعیت فعلی یک ابزار تحلیلی پیشنهادی برای افزایش شفافیت تصمیم‌گیری است و استاندارد رسمی یا روش تثبیت‌شده UNIDO محسوب نمی‌شود. بنابراین، در این سند از APRL به‌عنوان ابزار مقایسه و ارزیابی داخلی پروژه‌ها استفاده می‌شود و هیچ ادعایی درباره صدور گواهی یا انطباق رسمی بر اساس آن مطرح نیست. (UNIDO, 2026)

¹ AI Performance Readiness Levels (APRL)



شکل ۳ - چرخه مرحله-دروازه‌ای طرح آزمایشی

منبع: تدوین گزارش.

جزئیات دروازه‌ها در جدول ۲۶ ارائه شده‌اند. هر دروازه باید دارای مستندات مشخص، مسئول تصمیم، معیار عبور و نتیجه ثبت شده باشد. همچنین، سطح قابلیت اتکای سامانه باید در دروازه‌های میانی و پیش از مقیاس دهی ثبت شود تا پروژه‌هایی که صرفاً عملکرد آزمایشگاهی دارند، بدون شواهد کافی وارد مرحله استقرار گسترده نشوند.

جدول ۲۶ - دروازه‌های تصمیم طرح آزمایشی

دروازه	الزامات	خروجی	تصمیم
صفر	مسئله، مالک، KPI، اهمیت اقتصادی و فرضیه ارزش آفرینی	برگه مسئله	ورود یا رد
یک	داده، خط پایه، آمادگی سازمان، مهارت و زیرساخت	گزارش آمادگی	آماده، اصلاح یا رد
دو	قرارداد، امنیت، بودجه، معماری، مسئولیت، الزامات خروج و کنترل ریسک	بسته اجرای مصوب	امضای مشروط
سه	اجرای کنترل شده، ثبت تغییر، پایش عملکرد، ثبت رخداد و ارزیابی قابلیت اتکا	گزارش میانی	ادامه، تعلیق یا توقف
چهار	ارزیابی مستقل فنی، قابلیت اتکای سامانه، عملیاتی و اقتصادی	گزارش اثر	تأیید، عدم تأیید یا آزمون تکمیلی
پنج	ارزیابی مالی، ریسک، انتقال دانش، پذیرش سازمانی و آمادگی مقیاس	بسته تصمیم	مقیاس، اصلاح یا خاتمه

منبع: تدوین گزارش با استفاده از (UNIDO 2026).

۷-۳-۱- معیارهای توقف

برای هر پروژه باید معیارهای توقف اختصاصی تعیین شود. معیارهای عمومی در جدول ۲۷ ارائه شده‌اند. علاوه بر معیارهای سنتی پروژه، در پروژه‌های هوش مصنوعی صنعتی باید امکان توقف یا بازطراحی در صورت کاهش قابلیت اتکای سامانه نیز پیش‌بینی شود.

جدول ۲۷ - معیارهای عمومی توقف یا بازطراحی طرح آزمایشی

حوزه	معیار توقف یا بازطراحی
مسئله	تغییر اساسی دامنه، تغییر اولویت کسب‌وکار یا از بین رفتن ارزش مورد انتظار
داده	عدم کفایت، سوگیری، کیفیت غیرقابل اصلاح یا نبود دسترسی پایدار
فنی	عدم دستیابی به حداقل عملکرد مصوب
قابلیت اتکا	افت عملکرد پایدار، رانش کنترل نشده، عدم حفظ عملکرد در شرایط واقعی یا نبود شواهد کافی برای اعتماد عملیاتی
ایمنی	ایجاد ریسک غیرقابل قبول یا نبود حالت امن
امنیت	رخداد شدید یا کنترل نشده امنیتی
مالی	عبور از سقف هزینه یا منفعت ناکافی
زمانی	تأخیر خارج از دامنه تحمل
سازمانی	عدم پذیرش کاربران اصلی یا نبود مالک فرایند
حقوقی	تعارض مالکیت، مسئولیت یا داده حل نشده
فروشنده	عدم انتقال‌پذیری، قفل‌شدگی یا وابستگی غیرقابل قبول
ارزیابی	عدم امکان انتساب اثر یا سنجش نتیجه
انطباق	نقض الزام قانونی یا قراردادی

منبع: تدوین گزارش.

۷-۳-۲- سطوح موفقیت و قابلیت اتکای سامانه

در ارزیابی پروژه‌های هوش مصنوعی باید میان موفقیت فنی، قابلیت اتکای سامانه، موفقیت عملیاتی و موفقیت اقتصادی تفکیک شود. جدول ۲۸ چارچوب پیشنهادی ارزیابی موفقیت را نشان می‌دهد.

جدول ۲۸ - سطوح ارزیابی موفقیت پروژه هوش مصنوعی

سطح ارزیابی	تعریف	پرسش کلیدی	شواهد مورد نیاز
موفقیت فنی	مدل یا راهکار در محیط آزمون معیارهای عملکردی را برآورده می‌کند	آیا فناوری کار می‌کند؟	نتایج آزمون، معیارهای فنی و مقایسه با خط پایه
قابلیت اتکای سامانه	سامانه در محیط واقعی، تحت تغییر شرایط و در طول زمان قابل اعتماد و کنترل است	آیا می‌توان به عملکرد پایدار سامانه اعتماد کرد؟	پایش عملکرد، رخدادها، رانش، قابلیت بازگشت و ارزیابی APRL
پذیرش عملیاتی	راهکار در فرایند واقعی استفاده شده و کاربران آن را پذیرفته‌اند	آیا سازمان واقعاً از هوش مصنوعی استفاده می‌کند؟	داده استفاده و پذیرش کاربران

سطح ارزیابی	تعریف	پرسش کلیدی	شواهد مورد نیاز
تغییر فرایند	خروجی راهکار به تصمیم یا اقدام عملیاتی منجر شده و تغییری قابل اندازه‌گیری در فرایند ایجاد کرده است	آیا فرایند واقعاً تغییر کرده است؟	مقایسه شاخص‌های فرایندی با خط پایه، مانند زمان توقف، ضایعات یا زمان تصمیم
موفقیت اقتصادی	اثر قابل انتساب بر بهره‌وری، هزینه، کیفیت، درآمد یا کاهش ریسک ایجاد شده است	آیا هوش مصنوعی ارزش اقتصادی ایجاد کرده است؟	تحلیل مالی، KPI عملیاتی و ارزیابی مستقل

منبع: تدوین گزارش با استفاده از. UNIDO (2026)

۷-۳-۷-۳- ارتباط APRL با دروازه‌های تصمیم برنامه اتاق

برای افزایش شفافیت تصمیم‌گیری، سطوح APRL می‌توانند به صورت پیشنهادی با مراحل مختلف برنامه آزمایشی مرتبط شوند. این ارتباط به معنای استانداردسازی رسمی نیست، بلکه ابزاری برای مقایسه سطح بلوغ عملکرد سامانه‌ها است. جدول ۲۹ این سطوح را نشان می‌دهد.

جدول ۲۹ - سطوح قابلیت اتکای عملیاتی سامانه (APRL)

مرحله APRL	وضعیت سامانه	ارتباط پیشنهادی با دروازه
تعریف دامنه و آزمون اولیه	هدف، محدوده و معیار عملکرد مشخص شده است	دروازه صفر و یک
عملکرد آزمایشگاهی تأییدشده	عملکرد فنی روی داده نماینده تأیید شده است	دروازه یک و دو
آزمون شرایط متغیر	رفتار سامانه در شرایط مرزی و تغییرات بررسی شده است	دروازه سه
استقرار کنترل شده	سامانه در محیط واقعی با نظارت انسانی فعال است	دروازه سه و چهار
عملکرد پایدار	عملکرد و کنترل ریسک در دوره زمانی مشخص اثبات شده است	دروازه چهار
ارزیابی مستقل	شواهد قابلیت اتکا و اثر مستقل بررسی شده است	دروازه چهار و پنج
آمادگی مقیاس دهی	سامانه از نظر فنی، عملیاتی و اقتصادی آماده توسعه است	دروازه پنج

منبع: تدوین گزارش با استفاده از. UNIDO (2026)

۸-۳-۷- توصیه ۸: تدوین قراردادهای نمونه

قرارداد باید علاوه بر قیمت و زمان تحویل، چرخه عمر داده، مدل، امنیت، تغییر و خروج را پوشش دهد. موضوعات اصلی در جدول ۳۰ آمده‌اند.

جدول ۳۰ - بندهای حداقلی قرارداد هوش مصنوعی صنعتی

حوزه	بندهای لازم
دامنه	مسئله، خروجی، KPI، استتนา و محدودیت
داده	مالکیت داده خام، پردازش شده و مشتق شده
مدل	مالکیت مدل، کد، وزن، پیکربندی و مستندات
استفاده ثانویه	آموزش مدل، استفاده مجدد و انتقال به ثالث

بندهای لازم	حوزه
طبقه‌بندی، مدت و مسئولیت	محرمانگی
SLA، پشتیبانی، دسترسی‌پذیری و زمان پاسخ	خدمت
کنترل دسترسی، آزمون و پاسخ به حادثه	امنیت
نسخه‌بندی، آزمون و تأیید	تغییر مدل
مسئولیت، حدود اتکا و فرایند اصلاح	خطا
حق بررسی، لاگ و دسترسی ارزیاب	ممیزی
نسخه پشتیبان و خدمت جایگزین	تداوم
انتقال داده، مستندات، حذف و گواهی	خروج
قالب باز، API و آزمون مهاجرت	انتقال‌پذیری
مذاکره، کارشناسی و داوری مشروط	اختلاف
علل، آثار و تعهدات پس از خاتمه	خاتمه

منبع: تدوین گزارش با توجه به NIST AI RMF، ISO/IEC 42001 و NIST SP 800-82.

استفاده از مرکز داوری اتاق برای اختلافات هوش مصنوعی تنها پس از بررسی حقوقی، احراز صلاحیت و ایجاد ظرفیت کارشناسی تخصصی قابل پیشنهاد است.

۹-۳-۷- توصیه ۹: چارچوب داده و امنیت صنعتی

امنیت هوش مصنوعی صنعتی نباید صرفاً به حفاظت از داده یا جلوگیری از نفوذ سایبری محدود شود. در محیط صنعتی، سامانه هوش مصنوعی ممکن است با تجهیزات، حسگرها، سامانه‌های کنترل، نرم‌افزارهای سازمانی، اپراتورها و عرضه‌کنندگان متعدد تعامل داشته باشد. در نتیجه، ضعف امنیتی می‌تواند علاوه بر افشای اطلاعات، به تصمیم نادرست، اختلال تولید، آسیب به تجهیزات یا ایجاد خطر ایمنی منجر شود.

راهنمای 3 NIST SP 800-82 Rev. تأکید می‌کند که امنیت فناوری عملیاتی باید ضمن حفاظت سایبری، الزامات عملکرد، قابلیت اطمینان و ایمنی را نیز رعایت کند. از این رو، قواعد امنیتی سامانه‌های اداری را نمی‌توان بدون تطبیق به محیط کنترل صنعتی تعمیم داد؛ زیرا در فناوری عملیاتی، دسترسی‌پذیری، زمان پاسخ، حالت امن و امکان کنترل دستی اهمیت ویژه‌ای دارند (Stouffer et al., 2023).

ISO/IEC 42001 نیز الزامات ایجاد، اجرا، نگهداری و بهبود مستمر نظام مدیریت هوش مصنوعی را مشخص می‌کند و رویکردی سازمانی برای مدیریت ریسک و فرصت در سراسر چرخه عمر سامانه ارائه می‌دهد. این استاندارد بر تعیین مسئولیت، پایش عملکرد، مدیریت تغییر و بهبود مستمر تأکید دارد. (ISO, 2023)

بر این اساس، امنیت هوش مصنوعی باید سه جریان مکمل را هم‌زمان پوشش دهد:

۱. **ایمن‌سازی هوش مصنوعی:** حفاظت از داده، مدل، عامل، رابط‌ها، زیرساخت، کتابخانه‌ها و زنجیره تأمین؛
۲. **استفاده ایمن از هوش مصنوعی:** تعیین حدود دسترسی، اختیار اقدام، نظارت انسانی، امکان مداخله، توقف و بازگشت؛

۳. استفاده از هوش مصنوعی برای امنیت: بهره‌گیری کنترل‌شده از هوش مصنوعی برای کشف تهدید، تحلیل رخداد،

اولویت‌بندی هشدار و پشتیبانی از پاسخ امنیتی .

این سه جریان باید در یک نقشه راه واحد مدیریت شوند. ایمن‌سازی مدل بدون کنترل نحوه استفاده از آن کافی نیست؛ همان‌گونه که استفاده از هوش مصنوعی برای امنیت نیز نباید بدون ارزیابی خطا، سوگیری، هشدار کاذب و مسئولیت تصمیم انجام شود.

دامنه امنیت باید همه اشکال ورود هوش مصنوعی به بنگاه را دربرگیرد:

- راهکار یا خدمت خریداری‌شده از بیرون؛
- سامانه توسعه‌یافته در داخل بنگاه؛
- مدل یا عامل متصل به خدمات ابری؛
- قابلیت هوش مصنوعی تعبیه‌شده در ERP، MES، نرم‌افزار نگهداری یا سایر سامانه‌ها؛
- قابلیت هوشمند موجود در تجهیزات و ماشین‌آلات؛
- ابزارهای عمومی مورد استفاده رسمی یا غیررسمی کارکنان .

بنابراین، نبود «پروژه رسمی هوش مصنوعی» به معنای نبود ریسک هوش مصنوعی نیست. موجودی سامانه‌ها باید به‌طور دوره‌ای به‌روزرسانی شود و تغییر در نسخه، فروشنده، سطح دسترسی، دامنه داده یا میزان خودمختاری، موجب بازبینی کنترل‌ها شود.

۷-۳-۹-۱ تناسب کنترل با سطح خودمختاری

در سامانه‌های عامل‌محور، شدت کنترل باید با میزان اختیار اقدام متناسب باشد. چهار سطح کلی را می‌توان از یکدیگر تفکیک کرد:

- **دسترسی فقط خواندنی:** سامانه فقط اطلاعات را بازبایی یا خلاصه می‌کند؛
- **ارائه توصیه:** سامانه پیشنهاد می‌دهد، اما اقدام توسط انسان انجام می‌شود؛
- **اقدام با تأیید انسانی:** سامانه اقدام را آماده می‌کند، ولی اجرای آن نیازمند تأیید است؛
- **اقدام خودمختار:** سامانه در محدوده تعریف‌شده بدون تأیید موردی اقدام می‌کند .

اعمال کنترل یکسان بر همه این سطوح مناسب نیست. کنترل بیش‌ازحد می‌تواند کاربردهای کم‌ریسک را غیرعملی کند و کنترل ناکافی در سامانه‌های خودمختار می‌تواند ریسک جدی ایجاد کند. با افزایش سطح خودمختاری، الزامات زیر باید تشدید شوند:

- احراز هویت و هویت مستقل عامل؛
- محدودیت دامنه داده و ابزار؛
- محدودیت نوع و مقدار اقدام؛
- ثبت کامل زنجیره تصمیم و اقدام؛
- پایش مستمر؛
- تأیید چندمرحله‌ای برای اقدامات حساس؛
- امکان بازگشت یا لغو اقدام؛

- قطع اضطراری؛
 - تعیین مالک سامانه و مسئول پیامد؛
 - آزمون سناریوهای شکست و تعامل میان عامل‌ها .
- حداقل الزامات پیشنهادی در جدول ۳۱ ارائه شده‌اند.

جدول ۳۱ - الزامات حداقلی داده، امنیت، فناوری عملیاتی و سامانه‌های عامل‌محور

حوزه	الزام
دامنه امنیت هوش مصنوعی	پوشش هم‌زمان ایمن‌سازی هوش مصنوعی، استفاده ایمن از هوش مصنوعی و استفاده از هوش مصنوعی برای امنیت
موجودی سامانه‌ها	ثبت سامانه خریداری‌شده، توسعه داخلی، قابلیت تعبیه‌شده، خدمت ابری و استفاده غیررسمی
طبقه‌بندی داده	عمومی، داخلی، محرمانه و حساس صنعتی
حداقل‌سازی داده	استفاده فقط از داده لازم برای هدف مصوب
مالکیت داده	تعیین مالک، مسئول کیفیت، حقوق استفاده و محدودیت انتقال
دسترسی	کمترین سطح دسترسی و بازبینی دوره‌ای
هویت عامل	شناسه مستقل، احراز هویت، مجوز مشخص و امکان لغو دسترسی
سطح خودمختاری	طبقه‌بندی به فقط خواندنی، توصیه‌گر، اقدام با تأیید و اقدام خودمختار
محدودیت اقدام	تعیین دامنه، ابزار، سقف، زمان و نوع اقدام مجاز
محل نگهداری	ثبت محل ذخیره، پردازش و نسخه پشتیبان
نگهداری و حذف	دوره نگهداری، بایگانی، حذف و گواهی حذف
ثبت رخداد	لاگ دسترسی، تغییر مدل، تصمیم، اقدام عامل و خروجی حساس
قابلیت ردیابی	ثبت نسخه مدل، داده ورودی، ابزار فراخوانی‌شده و زنجیره تصمیم
پاسخ به حادثه	تعیین مسئول، زمان اعلان، مهار، بازیابی و گزارش
تفکیک IT/OT	شبکه‌بندی، دروازه کنترل‌شده و محدودیت اتصال مستقیم
ایمنی	عملکرد ایمن در زمان خرابی ^۱ ، توقف امن، حالت جایگزین و امکان بازگشت دستی
قطع اضطراری	امکان توقف فوری سامانه یا عامل در شرایط غیرعادی
بازگشت اقدام	امکان لغو، اصلاح یا بازگردانی به وضعیت قبل ^۲ برای اقدامات قابل بازگشت
تغییر مدل	نسخه‌بندی، آزمون، تأیید و ثبت پیش از استقرار
تغییر سطح اختیار	ارزیابی مجدد پیش از افزایش خودمختاری یا دسترسی
پایش مدل	دقت، خطا، رانش داده و رانش عملکرد
پایش عامل	رفتار، دامنه اقدام، فراخوانی ابزار، هزینه و انحراف از هدف
تعامل عامل‌ها	شناسایی وابستگی، تعارض و رفتار مرکب میان چند عامل
نظارت انسانی	تعیین نقطه تأیید، مداخله، لغو دستی ^۳ و مسئول تصمیم نهایی
تداوم کسب‌وکار	خدمت جایگزین، نسخه پشتیبان، بازیابی و آزمون دوره‌ای
انتقال‌پذیری	قالب باز، مستندات، API و امکان مهاجرت

^۱ Fail-safe

^۲ Rollback

^۳ Override

حوزه	الزام
خروج	تحويل داده و مستندات، حذف دسترسی و گواهی خاتمه
زنجیره تأمین	بررسی مدل، کتابخانه، مؤلفه، API و خدمات ثالث
آزمون امنیت	متناسب با ریسک و پیش از اتصال عملیاتی
آزمون سناریوی شکست	بررسی داده نادرست، خروجی غیرمنتظره، قطع ارتباط و اقدام خارج از دامنه
استفاده از هوش مصنوعی برای امنیت	کنترل کیفیت هشدار، تأیید انسانی و جلوگیری از اقدام خودکار نامتناسب
ممیزی	دسترسی ارزیاب به شواهد، لاگ‌ها، نسخه‌ها و رخدادها
بازنگری تطبیقی	به‌روزرسانی کنترل‌ها با تغییر فناوری، تهدید، فروشنده و سطح خودمختاری
پاسخ‌گویی	تعیین مالک سامانه، مالک فرایند و مسئول پیامد هر اقدام

منبع: تدوین گزارش بر پایه (Autio et al. (2024)، ISO (2023)، Stouffer et al. (2023)، Tabassi (2023) و Gartner (2026d).

کنترل‌های جدول ۳۱ باید بر اساس سطح ریسک و خودمختاری هر کاربرد تنظیم شوند. برای یک ابزار فقط‌خواندنی، ثبت دسترسی، کنترل داده و بازبینی خروجی ممکن است کافی باشد؛ اما سامانه‌ای که به ERP، سامانه نگهداری یا تجهیزات عملیاتی فرمان می‌دهد، به محدودیت اجرایی، پایش بلادرنگ، حالت امن، قطع اضطراری و مسئولیت سازمانی روشن نیاز دارد. نقشه راه امنیت نیز نباید یک سند ثابت باشد. تغییر مدل، اضافه‌شدن عامل، اتصال به سامانه جدید، تعویض فروشنده، افزایش سطح دسترسی یا تغییر تهدیدها باید موجب بازبینی ارزیابی ریسک و کنترل‌های امنیتی شود. به این ترتیب، امنیت از یک کنترل اولیه پیش از استقرار به فرایندی مستمر در سراسر چرخه عمر سامانه تبدیل می‌شود.

۱۰-۳-۷- توصیه ۱۰: بازارگاه مشروط

بازارگاه نباید به فهرستی تبلیغاتی تبدیل شود و حضور یک شرکت در آن نیز نباید به معنای تضمین اتاق تلقی شود. پیش‌شرط‌های بررسی عبارت‌اند از:

- اثبات تقاضا؛
- امکان‌سنجی مالی و حقوقی؛
- کمیته فنی مستقل؛
- معیارهای عمومی و منتشرشده؛
- افشای تعارض منافع؛
- حق اعتراض؛
- بازبینی دوره‌ای؛
- محدودیت مسئولیت اتاق؛
- امکان تعلیق یا حذف منصفانه؛
- تفکیک عضویت در بازارگاه از تضمین نتیجه؛
- انتشار روش ارزیابی، نه اطلاعات محرمانه متقاضی.

۱۱-۳-۷- توصیه ۱۱: کوپن مشروط

کوپن باید به مسئله، خط پایه و نتیجه متصل باشد. یارانه عمومی خرید نرم‌افزار، بدون ارزیابی مسئله و داده، توصیه نمی‌شود. پرداخت کوپن باید دست کم به شرط‌های زیر مقید باشد:

- سهم مالی بنگاه؛
- پرداخت مرحله‌ای؛
- انتخاب غیرانحصاری؛
- استفاده از عرضه‌کننده واجد شرایط؛
- ارزیابی مستقل؛
- منع پوشش هزینه‌های نامرتبط؛
- سقف حمایت؛
- بند خاتمه؛
- ثبت مالکیت داده و خروج؛
- انتشار نتیجه تجمیعی.

۱۲-۳-۷- توصیه ۱۲: آموزش و انتشار گزارش سالانه

آموزش باید از دوره‌های عمومی آشنایی فراتر رود. جدول ۳۲ سرفصل‌ها و گروه هدف را نشان می‌دهد.

جدول ۳۲ - برنامه پیشنهادی توانمندسازی

گروه هدف	محتوای اصلی	خروجی
هیئت‌مدیره و مدیرعامل	فرصت، ریسک، حکمرانی و سرمایه‌گذاری	تصمیم آگاهانه
مدیر تولید	کاربرد، KPI، داده و ادغام فرایند	تعریف مسئله
مدیر مالی	ROI، TCO، NPV ^۱ و حساسیت	مدل اقتصادی
مدیر فناوری	داده، معماری، مدل و فروشنده	طراحی فنی
مدیر منابع انسانی	نقش، مهارت، اعتماد و تغییر	برنامه نیروی کار
واحد حقوقی	داده، مدل، مسئولیت و خروج	قرارداد
واحد امنیت	IT/OT، رخداد، تداوم و زنجیره تأمین	کنترل ریسک
کارشناسان عملیاتی	کار با ابزار، تشخیص خطا و لغو دستی	استفاده عملیاتی
تشکل‌ها	تجمیع مسئله و مدیریت برنامه بخشی	بسته تقاضای مشترک
ارزیابان	طراحی ارزیابی، انتساب و ممیزی	ظرفیت ارزیابی مستقل

منبع: تدوین گزارش.

^۱ Net Present Value (NPV)

گزارش سالانه باید علاوه بر پروژه‌های موفق، پروژه‌های متوقف‌شده و دلایل توقف را نیز منتشر کند. انتشار تجربه‌های ناموفق مانع می‌شود که فقط موفقیت‌ها دیده شوند و همان خطاها در بنگاه‌های دیگر تکرار شوند. گزارش باید روش‌شناسی، نرخ پاسخ، محدودیت داده و تفاوت میان خروجی، نتیجه و اثر را نیز بیان کند.

۴-۷- توصیه‌های سیاستی برای بخش خصوصی

بنگاه‌ها باید هوش مصنوعی را بخشی از نقشه راه داده و بهره‌وری بدانند، نه مجموعه‌ای از ابزارهای مستقل. توسعه توانمندی هوش مصنوعی مستلزم هماهنگی منابع فنی، انسانی و سازمانی است (Gupta, 2021 & Mikalef).

مهم‌ترین اقدام‌هایی که بنگاه‌ها می‌توانند بدون انتظار برای حمایت بیرونی آغاز کنند، عبارت‌اند از:

۱. تدوین نقشه راه سه‌ساله داده و هوش مصنوعی، هم‌راستا با اهداف بهره‌وری بنگاه؛
۲. تعیین مالک فرایند و مالک داده؛
۳. آغاز با مسئله‌هایی که نتیجه آن‌ها در کوتاه‌مدت سنجش‌پذیر است؛
۴. ثبت مقدار پایه شاخص‌ها پیش از هر مداخله؛
۵. تشکیل کارگروهی میان‌رشته‌ای از واحدهای تولید، فناوری، مالی، حقوقی و منابع انسانی؛
۶. تدوین سیاست داخلی استفاده از ابزارهای هوش مصنوعی مولد، به‌ویژه درباره داده‌های محرمانه؛
۷. مدیریت ریسک و ممیزی دوره‌ای سامانه‌ها؛
۸. محاسبه هزینه کل مالکیت؛
۹. مشارکت دادن کارکنان در طراحی و آزمون راهکارها؛
۱۰. پیش‌بینی برنامه خروج از فروشنده در قرارداد؛
۱۱. تعیین تصمیم‌هایی که بدون تأیید انسانی اجرا نمی‌شوند؛
۱۲. ثبت نسخه مدل‌ها و همه تغییرات آن‌ها.

۵-۷- مدیریت تغییر و نیروی انسانی

هوش مصنوعی در محیط صنعتی الزاماً به معنای حذف مشاغل نیست، بلکه در بسیاری از موارد موجب تغییر ترکیب وظایف، مهارت‌ها و نحوه انجام کار می‌شود. شواهد تجربی نشان می‌دهد اثر هوش مصنوعی بر عملکرد کارکنان به نوع وظیفه، سطح تجربه، میزان پیچیدگی کار و نحوه ترکیب توانمندی انسانی با ابزار هوش مصنوعی وابسته است. بنابراین، ارزیابی اثر هوش مصنوعی نباید صرفاً بر تعداد مشاغل ایجادشده یا حذف‌شده متمرکز باشد، بلکه باید تغییر در وظایف، کیفیت تصمیم‌گیری، گردش کار و بهره‌وری فرایند را بررسی کند. (Brynjolfsson et al., 2025; Dell'Acqua et al., 2026; Noy & Zhang, 2023)

تجربه شبکه کارخانه‌های پیشرو موسوم به «فانوس‌های دریایی» نیز نشان می‌دهد که مقیاس‌دهی موفق فناوری‌های دیجیتال و هوش مصنوعی بدون مشارکت نیروی کار خط مقدم، توسعه مهارت‌های داخلی و تغییر مدل عملیاتی سازمان امکان‌پذیر نیست. سازمان‌هایی که صرفاً فناوری را وارد کرده‌اند، اما در بازطراحی کار، توسعه مهارت و مدیریت تغییر سرمایه‌گذاری نکرده‌اند، معمولاً با محدودیت در تحقق ارزش مواجه شده‌اند. (World Economic Forum, 2025, 2026)

۷-۵-۱- از آموزش عمومی تا تسلط کاربردی و تخصصی

یکی از خطاهای رایج در برنامه‌های توسعه هوش مصنوعی، برابر دانستن آموزش کارکنان با آمادگی سازمانی است. شرکت در دوره آموزشی یا آشنایی با ابزارهای هوش مصنوعی به‌تنهایی تضمین نمی‌کند که کارکنان بتوانند از این فناوری به‌صورت اثربخش و مسئولانه استفاده کنند.

برای بهره‌برداری مؤثر از هوش مصنوعی باید میان سه سطح توانمندی تفکیک شود:

۱. سواد هوش مصنوعی^۱:

شناخت مفاهیم پایه، قابلیت‌ها، محدودیت‌ها، فرصت‌ها و ریسک‌های هوش مصنوعی.

۲. تسلط کاربردی^۲:

توان تشخیص اینکه هوش مصنوعی در کدام وظیفه ارزش ایجاد می‌کند، چه زمانی خروجی آن قابل اعتماد نیست، چگونه باید نتیجه آن بررسی شود و چه زمانی لازم است تصمیم‌گیری انسانی جایگزین یا اصلاح‌کننده باشد.

۳. تسلط تخصصی^۳:

توان بازطراحی فرایندهای تخصصی، ترکیب دانش حوزه با هوش مصنوعی، مدیریت کیفیت خروجی و کنترل ریسک در یک محیط واقعی عملیاتی.

تجربه‌ها نشان می‌دهد تسلط کاربردی صرفاً با آموزش نظری ایجاد نمی‌شود، بلکه نیازمند تمرین در وظایف واقعی، کار با داده‌های واقعی و تجربه مستقیم در گردش کار سازمان است. کارکنان باید یاد بگیرند چه زمانی به هوش مصنوعی اعتماد کنند، چه زمانی خروجی آن را بررسی کنند و چه زمانی تصمیم آن را رد یا اصلاح کنند (Asia Tech Alliance, 2026). از این منظر، برنامه‌های آموزش هوش مصنوعی در صنایع نباید صرفاً بر آموزش ابزار متمرکز باشند، بلکه باید به توسعه توانایی حل مسئله، ارزیابی خروجی، طراحی مجدد کار و تصمیم‌گیری مبتنی بر هوش مصنوعی توجه کنند.

۷-۵-۲- آمادگی نیروی انسانی و مدیریت تغییر

آمادگی نیروی انسانی یکی از مهم‌ترین عوامل موفقیت یا شکست برنامه‌های هوش مصنوعی است. تحلیل‌های مؤسسات مشاوره‌ای نیز نشان می‌دهد که بسیاری از سازمان‌ها با وجود سرمایه‌گذاری فناورانه، هنوز آمادگی سازمانی و مهارتی لازم برای بهره‌برداری کامل از هوش مصنوعی را ندارند. در یکی از این تحلیل‌ها، ۷۱ درصد از مدیران ارشد فناوری اطلاعات^۴ مورد بررسی اعلام کرده‌اند که نیروی کار سازمان آن‌ها برای هوش مصنوعی آماده نیست. با توجه به اینکه جزئیات کامل نمونه و روش‌شناسی این پیمایش در منبع عمومی ارائه نشده است، این عدد در این گزارش به‌عنوان **نشانه مدیریتی از اهمیت شکاف مهارتی** استفاده می‌شود و نه به‌عنوان برآوردی از وضعیت ایران (Gartner, ۲۰۲۶e).

^۱ AI Literacy

^۲ Applied Fluency

^۳ Domain Mastery

^۴ Chief Information Officers (CIOs).

همچنین، ارزیابی آثار هوش مصنوعی بر نیروی انسانی باید بر مبنای مهارت، وظیفه و ارزش اقتصادی انجام شود، نه صرفاً بر اساس تغییر تعداد کارکنان. کاهش تعداد کارکنان به‌تنهایی نشانه موفقیت نیست؛ زیرا ممکن است سازمان با کاهش نیروی انسانی، هم‌زمان با افت کیفیت، افزایش ریسک یا از دست دادن دانش سازمانی مواجه شود. بنابراین، معیار اصلی باید میزان بهبود فرایند، افزایش کیفیت تصمیم، کاهش دوباره کاری، توسعه مهارت و خلق ارزش پایدار باشد (Gartner, 2026f). جدول ۳۳ چارچوب پیشنهادی مدیریت تغییر و نیروی انسانی را نشان می‌دهد.

جدول ۳۳ - چارچوب مدیریت تغییر و نیروی انسانی

شاخص	اقدام	حوزه
نقشه وظایف قبل و بعد	تفکیک وظایف قابل پشتیبانی، قابل خودکارسازی و نیازمند قضاوت انسانی	تحلیل وظیفه
ماتریس نقش - مهارت	شناسایی تغییر نقش‌ها، مسئولیت‌ها و مهارت‌های مورد نیاز	طراحی نقش
نرخ مشارکت کاربران	حضور کاربران نهایی و کارکنان خط مقدم در طراحی و آزمون	مشارکت
نتیجه ارزیابی مهارت	آموزش متناسب با نقش شامل سواد، تسلط کاربردی و تخصص حوزه‌ای	آموزش
تعداد سناریوهای اجرا شده	استفاده از هوش مصنوعی در وظایف واقعی و گردش کار واقعی	تمرین عملی
رخداد و شبه‌حادثه ^۱	بررسی اثر هوش مصنوعی بر ایمنی، کیفیت و فرایند	ایمنی
نرخ مداخله انسانی	تعیین نقاط تأیید انسانی، لغو دستی و شرایط توقف	نظارت انسانی
مقایسه قبل و بعد	سنجش تغییر خطا، دوباره کاری و کیفیت خروجی	کیفیت کار
ساعات کار و پیمایش کارکنان	سنجش تغییر شدت کار و زمان صرف شده	بار کاری
تعداد افراد بازآموزی شده	ایجاد مسیر توسعه مهارت برای نقش‌های متأثر	بازآموزی
شکایت و تفاوت اثر	تحلیل اثر بر گروه‌های شغلی و جلوگیری از نابرابری	عدالت
سطح آگاهی و پذیرش	توضیح هدف، منفعت، محدودیت و پیامدهای هوش مصنوعی	ارتباطات
پیمایش و رفتار واقعی	سنجش اعتماد مناسب و جلوگیری از اتکای بیش از حد	اعتماد
ثبت مسئولیت	تعیین مسئول تصمیم نهایی و پیامدهای ناشی از هوش مصنوعی	پاسخ‌گویی

منبع: تدوین گزارش با توجه به (Gartner, OECD (2023), Dell'Acqua et al. (2026), Brynjolfsson et al. (2025), World Economic Forum (2025), و Asia Tech Alliance (2026), (2026e, 2026f)

در کاربردهای مرتبط با ایمنی، کیفیت حیاتی، منابع انسانی یا تصمیم‌های پراثر، واگذاری کامل اختیار به مدل بدون نظارت انسانی توصیه نمی‌شود. سطح خودمختاری باید متناسب با میزان ریسک، قابلیت بازگشت تصمیم و امکان کنترل انسانی تعیین شود.

^۱ Near miss

۷-۳- ماتریس تسلط - تحول انسانی

برای جلوگیری از این تصور که افزایش تعداد کاربران یا برگزاری دوره‌های آموزشی به‌تنهایی نشان‌دهنده تحول سازمانی است، آمادگی نیروی انسانی باید در کنار آمادگی سازمانی ارزیابی شود. ماتریس «تسلط - تحول» با ترکیب دو بعد قابلیت نیروی انسانی و قابلیت سازمانی، چهار وضعیت اصلی را مشخص می‌کند. (Asia Tech Alliance, 2026) این چهار وضعیت در جدول ۳۴ آمده است.

جدول ۳۴ - ماتریس تسلط - تحول در سازمان

قابلیت سازمانی پایین		قابلیت سازمانی بالا
قابلیت نیروی انسانی بالا	سرخورده: کارکنان آموزش دیده‌اند، اما فرایند، اختیار و ساختار سازمانی تغییر نکرده است	تحول یافته: تسلط کارکنان و بازطراحی سازمانی یکدیگر را تقویت می‌کنند
قابلیت نیروی انسانی پایین	در معرض: ابزار وجود دارد، اما سازمان و کارکنان آمادگی کافی ندارند	استخراجی: سازمان از هوش مصنوعی برای خودکارسازی و کاهش هزینه استفاده می‌کند، اما توسعه قابلیت انسانی را دنبال نمی‌کند

(۲۰۲۶). Asia Tech Alliance منبع: اقتباس از

تفسیر سیاستی ماتریس:

- **در معرض:** رایج‌ترین وضعیت در سازمان‌هایی است که ابزار هوش مصنوعی خریداری کرده‌اند، اما مسئله، مهارت و حاکمیت مشخصی ندارند .
- **سرخورده:** نشان می‌دهد آموزش بدون اصلاح فرایند و اختیار سازمانی اثر محدودی دارد .
- **استخراجی:** ممکن است در کوتاه‌مدت کاهش هزینه ایجاد کند، اما در بلندمدت موجب وابستگی فناورانه و کاهش توان داخلی شود .
- **تحول یافته:** وضعیت هدف است که در آن هوش مصنوعی بخشی از مدل عملیاتی سازمان و توسعه توان انسانی می‌شود . این چارچوب کمک می‌کند ارزیابی برنامه‌های هوش مصنوعی از شاخص‌های ساده‌ای مانند تعداد کاربران، تعداد مجوزهای خریداری‌شده یا تعداد دوره‌های آموزشی فراتر رود و بر تغییر واقعی در مهارت، وظایف، فرایندها و عملکرد سازمان تمرکز کند (Asia Tech Alliance, 2026).

۶-۷- توصیه‌های سیاستی برای دولت

نقش دولت در توسعه کاربرد هوش مصنوعی در صنعت باید بر ایجاد شرایط توانمندساز، جبران نارسایی‌های بازار، توسعه قابلیت جذب فناوری و حمایت از انتشار پایدار فناوری متمرکز باشد؛ نه انتخاب مستقیم همه پروژه‌ها، فناوری‌ها یا شرکت‌های برنده. تجربه بین‌المللی نشان می‌دهد که موفقیت در هوش مصنوعی صنعتی صرفاً به دسترسی به نرم‌افزار یا خرید فناوری وابسته نیست، بلکه حاصل ترکیب زیرساخت، داده، مهارت، ظرفیت تولیدی، نظام نوآوری، تحقیق و توسعه، استانداردها و توان سازمانی بنگاه‌ها است (Filippucci et al., 2024a; Rodriguez et al., 2026a).

شواهد UNIDO درباره آمادگی دیجیتال تولید نشان می‌دهد که توسعه صنعتی مبتنی بر هوش مصنوعی به زیرساخت اتصال محدود نمی‌شود، بلکه به مجموعه‌ای از قابلیت‌ها شامل زیرساخت توانمندساز، قابلیت‌های تولیدی، قابلیت‌های نوآوری و قابلیت‌های دیجیتال وابسته است. بنابراین، سیاست عمومی در ایران باید از رویکرد محدود «حمایت از خرید ابزار هوش مصنوعی» عبور کرده و به سمت ایجاد یک اکوسیستم توانمندساز شامل زیرساخت صنعتی، مهارت، داده، مراکز آزمون، تأمین مالی، استاندارد و توسعه توان جذب بنگاه‌ها حرکت کند. (Rodriguez et al., 2026a, 2026b)

همچنین، سیاست صنعتی هوش مصنوعی نباید بر فرض خوداتکایی کامل فناوری استوار باشد. در بسیاری از کشورها، هدف واقع‌بینانه ایجاد توان انتخاب آگاهانه فناوری، تطبیق راهکارها با نیاز صنعتی، مذاکره مؤثر با عرضه‌کنندگان، نظارت بر عملکرد، انتقال دانش و کاهش وابستگی‌های غیرقابل بازگشت است. (Hradecky et al., 2026)

بر این اساس، سیاست‌های پیشنهادی برای دولت در محورهای جدول ۳۵ دسته‌بندی شده‌اند.

جدول ۳۵ - سیاست‌های پیشنهادی برای دولت

سیاست	هدف	شرط طراحی و ملاحظات اجرایی
مشوق مالیاتی	کاهش هزینه سرمایه‌گذاری بنگاه‌ها در هوش مصنوعی و فناوری‌های مکمل	اتصال مشوق به هزینه واقعی، ارزیابی نتیجه و جلوگیری از حمایت صرفاً خرید
خط اعتباری و تأمین مالی طرح آزمایشی	کاهش ریسک سرمایه‌گذاری اولیه	پرداخت مرحله‌ای، ارزیابی آمادگی بنگاه و محدودکردن ریسک حمایت
زیرساخت پردازشی و محاسباتی	کاهش مانع دسترسی به ظرفیت محاسباتی	رقابت، امنیت، دسترسی منصفانه و استفاده از زیرساخت مشترک برای بنگاه‌های کوچک و متوسط
اتصال صنعتی و زیرساخت داده	فراهم کردن بستر استقرار هوش مصنوعی در محیط تولید	تمرکز بر خوشه‌های صنعتی منتخب و صنایع دارای ظرفیت جذب
قواعد داده صنعتی	ایجاد اعتماد و امکان تبادل امن داده	تعیین مالکیت، سطح دسترسی، امنیت و قواعد استفاده مجدد
کنسرسیوم‌های داده صنعتی	افزایش دسترسی بنگاه‌ها به داده باکیفیت	مدل‌های مشارکتی، حفاظت محرمانگی و تعیین حقوق استفاده
تنظیم‌گری ریسک‌محور	مدیریت خطر بدون توقف نوآوری	طبقه‌بندی کاربردها بر اساس اثر و سطح ریسک
استاندارد، آزمون و گواهی	افزایش کیفیت و اعتماد به راهکارهای هوش مصنوعی	استقلال آزمایشگاه، شفافیت روش آزمون و توسعه مراکز آزمون مشترک
مراکز آزمون مشترک صنعتی	کاهش هزینه آزمایش برای بنگاه‌های کوچک و متوسط	دسترسی عمومی، مشارکت صنعت و دانشگاه و تمرکز بر مسائل واقعی تولید
دیپلماسی فناوری	کاهش محدودیت دسترسی و افزایش یادگیری	تنوع شریک، انتقال دانش و مدیریت وابستگی فناورانه
حمایت از بنگاه‌های کوچک و متوسط	کاهش شکاف انتشار فناوری	استفاده از زیرساخت مشترک، سهم مشارکت بنگاه، جلوگیری از رانت و ارزیابی اثر
توسعه مهارت	ایجاد نیروی انسانی میان‌رشته‌ای	اتصال آموزش به پروژه واقعی و توسعه مهارت‌های ترکیبی شامل داده، مکترونیک، امنیت OT و مهندسی فرایند

سیاست	هدف	شرط طراحی و ملاحظات اجرایی
حمایت از تحقیق و توسعه صنعتی	تقویت توان بومی‌سازی و تطبیق فناوری	تمرکز بر مسائل واقعی صنایع و پیوند دانشگاه و صنعت
پایش ملی آمادگی هوش مصنوعی صنعتی	ایجاد تصمیم‌گیری داده‌محور	روش‌شناسی شفاف، به‌روزرسانی دوره‌ای و تفکیک آمادگی ملی و بنگاهی
خرید دولتی نوآورانه	ایجاد تقاضای اولیه برای راهکارهای صنعتی	رقابت، تعریف مسئله واقعی و ارزیابی نتیجه
اتصال حمایت مالی به آمادگی و نتیجه	افزایش اثربخشی منابع عمومی	تخصیص حمایت بر اساس خط پایه، بلوغ بنگاه و نتایج قابل اندازه‌گیری

منبع: تدوین گزارش با توجه به (Rodriguez et al. (2026a, 2026b), Filippucci et al. (2024a) و تجربه‌های تطبیقی (2026).

۷-۶-۱- ملاحظات تکمیلی برای سیاست‌گذاری ایران

بر پایه شواهد بین‌المللی، در طراحی سیاست‌های دولتی باید به سه اصل زیر توجه کرد:

۱-۶-۷- توسعه قابلیت به‌جای خرید فناوری

حمایت دولتی نباید صرفاً به خرید نرم‌افزار یا مجوز هوش مصنوعی محدود شود. تجربه کشورها نشان می‌دهد ارزش اقتصادی زمانی ایجاد می‌شود که فناوری با داده، مهارت، بازطراحی فرایند و ظرفیت مدیریتی همراه شود.

۲-۶-۷- ایجاد زیرساخت مشترک برای بنگاه‌های کوچک و متوسط

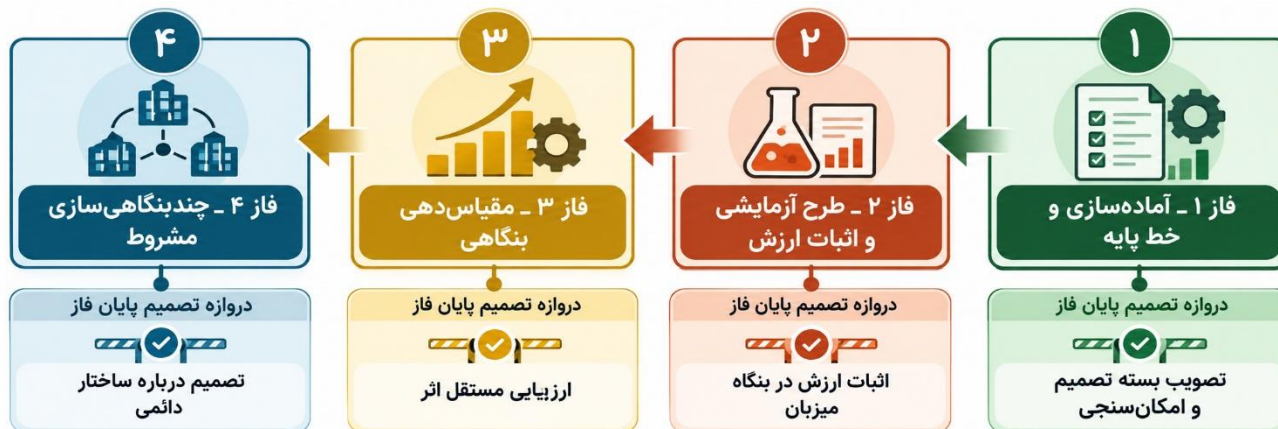
بسیاری از بنگاه‌های کوچک و متوسط توان سرمایه‌گذاری مستقل در زیرساخت پردازشی، داده، امنیت و ارزیابی را ندارند. بنابراین، توسعه مراکز آزمون، زیرساخت پردازشی مشترک، خدمات ارزیابی و کنسرسیوم‌های داده می‌تواند هزینه ورود این بنگاه‌ها را کاهش دهد.

۳-۶-۷- حرکت از سیاست فناوری به سیاست قابلیت‌سازی

هدف نهایی سیاست دولت نباید صرفاً افزایش تعداد پروژه‌های هوش مصنوعی باشد، بلکه باید ایجاد توان پایدار در بنگاه‌ها برای انتخاب، استقرار، ارزیابی و توسعه فناوری باشد. این رویکرد، وابستگی فناورانه را کاهش داده و امکان سازگاری با تغییرات سریع فناوری را افزایش می‌دهد.

۸- نقشه راه اجرایی مشروط

شکل ۴ توالی چهار فاز و دروازه تصمیم پایان هر فاز را نشان می‌دهد. عبور از هر فاز خودکار نیست و به تصمیم رسمی در دروازه همان فاز مشروط است.



شکل ۴ - گاه‌نگار چهار فاز نقشه راه و دروازه‌های تصمیم

منبع: تدوین گزارش.

۸-۱- منطق دو مسیر پیگیری

نقشه راه باید دو مسیر را از یکدیگر تفکیک کند:

۱. اقداماتی که اتاق و بخش خصوصی می‌توانند مستقل از تصمیم دولت آغاز کنند؛

۲. اقداماتی که نیازمند مطالبه‌گری و تصمیم دولت‌اند.

این تفکیک از آن جلوگیری می‌کند که کل برنامه به تصویب یک مشوق یا زیرساخت دولتی وابسته شود. در عین حال، اتاق

باید محدودیت‌های خود را بپذیرد و اقداماتی را که خارج از اختیار آن است، به‌عنوان مطالبه سیاستی تعریف کند.

این منطق در شکل ۵ نمایش داده شده است.



شکل ۵ - تفکیک مسیر اقدام و مطالبه‌گری

منبع: تدوین گزارش.

جزئیات دو مسیر در جدول ۳۶ آمده است.

جدول ۳۶ - دو مسیر پیگیری برنامه

مسیر اقدام اتاق و بخش خصوصی	مسیر مطالبه از دولت
تهیه خط پایه	مشوق مالیاتی
نقشه مسائل	خط اعتباری
قرارداد نمونه	زیرساخت پردازشی
آموزش مدیران	قواعد داده
طرح آزمایشی محدود	تنظیم‌گری ریسک‌محور
ارزیابی مستقل	استاندارد و آزمون
انتشار تجربه	دیپلماسی فناوری
مدیریت فروشنده	حمایت هدفمند از بنگاه‌های کوچک و متوسط
جمعیت تقاضا	توسعه داده صنعتی
تدوین معیار داوطلبانه	خرید دولتی نوآورانه

منبع: تدوین گزارش.

۸-۲ فاز اول: آماده‌سازی، خط پایه و امکان‌سنجی

ماه ۱ تا ۶

فاز نخست به ایجاد توان تصمیم‌گیری و طراحی سازوکارهای نهادی و ارزیابی برنامه اختصاص دارد، نه به اجرای گسترده فناوری. هدف این فاز، کاهش عدم قطعیت درباره مسئله، داده، هزینه، اختیار، تقاضا، ریسک و ظرفیت اجرایی است. در پایان این مرحله باید مشخص شود چه مسائلی برای ورود به طرح آزمایشی مناسب‌اند، کدام بنگاه‌ها آمادگی اولیه دارند، مسئولیت هر نهاد چیست و موفقیت یا شکست پروژه‌ها چگونه اندازه‌گیری خواهد شد.

خط پایه این فاز نباید صرفاً تصویری مقطعی از وضعیت موجود ارائه دهد. بخشی از ارزش برنامه هوش مصنوعی ممکن است در ماه‌های نخست مشاهده شود، اما بر اثر تغییر داده، جابه‌جایی کارکنان، کاهش استفاده کاربران، پایان پشتیبانی فروشنده، افزایش هزینه‌های عملیاتی یا تغییر شرایط بازار از بین برود. از این رو، فاز نخست باید مبنای یک نظام پایش طولی را نیز ایجاد کند تا پایداری تغییر در وظایف، گردش کار، مهارت، اعتماد، بهره‌وری و وابستگی فناورانه در دوره‌های بعد سنجیده شود.

پیمایش مقطعی برای تشخیص تفاوت میان آشنایی اولیه و تسلط کاربردی، یا میان پذیرش ابزار و تحول واقعی سازمانی، کافی نیست. به همین دلیل، باید گروهی ثابت از بنگاه‌ها، پروژه‌ها و کارکنان منتخب در قالب یک **پنل طولی** تعیین شوند و داده‌های آن‌ها در چند مقطع زمانی گردآوری شود. این روش امکان می‌دهد مشخص شود که تغییرات مشاهده‌شده موقتی بوده‌اند یا پس از استقرار نیز استمرار یافته‌اند. (Asia Tech Alliance, 2026)

برای هر طرح آزمایشی، حداقل سه مقطع ارزیابی پیش‌بینی می‌شود:

۱. **پایان طرح آزمایشی:** سنجش عملکرد فنی، قابلیت اتکای سامانه، پذیرش اولیه و آثار عملیاتی؛
۲. **شش ماه پس از استقرار:** سنجش استمرار استفاده، پایداری عملکرد، تغییر مهارت و هزینه‌های واقعی بهره‌برداری؛
۳. **دوازده ماه پس از استقرار:** سنجش ماندگاری تغییر در گردش کار، شیوه مدیریت، بهره‌وری، وابستگی فروشنده و ارزش اقتصادی.

بر این اساس، موفقیت برنامه نباید با تعداد مجوزهای خریداری‌شده، کاربران ثبت‌شده، دوره‌های آموزشی یا طرح‌های آزمایشی تکمیل‌شده سنجیده شود. معیار اصلی آن است که آیا پس از دوازده ماه، فرایندها و شیوه انجام کار همچنان تغییر کرده‌اند و ارزش عملیاتی و اقتصادی قابل اندازه‌گیری ایجاد می‌کنند یا خیر. (Asia Tech Alliance, 2026)

خروجی‌های این فاز در جدول ۳۷ ارائه شده‌اند.

جدول ۳۷ - اقدامات و خروجی‌های فاز اول

اقدام	مسئول پیشنهادی	همکار	خروجی
تصویب دامنه محدود	اتاق	کمیسیون‌ها	مصوبه محدوده، اهداف و حدود تعهد
تشکیل ساختار موقت	اتاق	تشکل‌ها	منشور، مدت مأموریت و بند خاتمه
تهیه خط پایه	دفتر برنامه	بنگاه‌ها و ارزیاب	گزارش طبقه‌بندی‌شده وضعیت بنگاه‌ها
تهیه موجودی پروژه‌ها	دفتر برنامه	تشکل‌ها و بنگاه‌ها	پایگاه پروژه‌های رسمی، غیررسمی، موفق، متوقف و شکست‌خورده

اقدام	مسئول پیشنهادی	همکار	خروجی
اعتبارسنجی مسائل	تشکل‌ها	بنگاه‌ها و خبرگان	فهرست مسائل تأییدشده و قابل سنجش
تدوین RACI	شورای راهبری	واحد حقوقی و امنیت	ماتریس مسئولیت و پاسخ‌گویی
تدوین قرارداد نمونه	اتاق	متخصصان حقوقی، فنی و امنیتی	الگوهای قراردادی داده، مدل، خدمت، خروج و مسئولیت
طراحی ابزار بلوغ	ارزیاب	دانشگاه و خبرگان صنعتی	ابزار ارزیابی آمادگی بنگاه، داده و سامانه
امکان‌سنجی مالی	تیم مالی	بنگاه و ارزیاب	سناریوهای هزینه، منفعت، TCO و تأمین مالی
تدوین پیوست امنیت	متخصص مستقل	بنگاه، واحد IT و OT	چک‌لیست امنیت داده، هوش مصنوعی، IT و OT
انتخاب مقدماتی صنایع	کمیته انتخاب	تشکل‌ها	فهرست قابل بازنگری صنایع و خوشه‌های اولویت‌دار
بررسی حقوقی اختیارات	واحد حقوقی	مشاور مستقل	یادداشت حقوقی درباره حدود نقش، مسئولیت و تعهد اتاق
طراحی نظام پایش و ارزیابی	ارزیاب مستقل	دفتر برنامه، بنگاه و تیم مالی	چارچوب شاخص‌ها، روش انتساب اثر، منابع داده و آستانه تصمیم
تشکیل پنل طولی	دفتر برنامه	بنگاه‌ها، کارکنان منتخب و ارزیاب	نمونه ثابت بنگاه‌ها، پروژه‌ها و گروه‌های شغلی برای پیگیری دوره‌ای
ثبت خط پایه پنل	ارزیاب مستقل	مالکان فرایند، منابع انسانی و مدیران داده	مقادیر پایه وظایف، مهارت، اعتماد، گردش کار، بهره‌وری و وابستگی فروشنده
تدوین تقویم ارزیابی	دفتر برنامه	ارزیاب و بنگاه	برنامه سنجش در پایان طرح آزمایشی، شش ماه و دوازده ماه پس از استقرار
طراحی سازوکار حفظ پنل	دفتر برنامه	بنگاه‌ها و تشکل‌ها	روش جایگزینی نمونه، مدیریت ریزش و حفظ قابلیت مقایسه
تدوین پروتکل ثبت تغییرات	ارزیاب مستقل	بنگاه و فروشنده	رویه ثبت تغییر داده، مدل، کارکنان، بازار، پشتیبانی و فرایند
طراحی گزارش پایداری تحول	ارزیاب مستقل	دفتر برنامه	قالب گزارش استمرار اثر و تغییر سازمانی در افق دوازده‌ماهه

منبع: تدوین گزارش با استفاده از چارچوب برنامه و Asia Tech Alliance (2026)

نظام پایش طراحی‌شده در فاز نخست باید میان پنج سطح تمایز قائل شود:

- **ورودی:** بودجه، نیروی انسانی، داده و زیرساخت؛
- **فعالیت:** آموزش، توسعه، آزمون و استقرار؛
- **خروجی:** مدل، سامانه، گزارش یا فرایند طراحی‌شده؛
- **نتیجه:** استفاده واقعی، تغییر وظیفه و اصلاح گردش کار؛
- **اثر پایدار:** استمرار منفعت عملیاتی، مالی و سازمانی در دوره شش‌ماهه و دوازده‌ماهه .

در تشکیل پنل طولی، باید تا حد امکان همان بنگاه‌ها، فرایندها و گروه‌های شغلی در همه مقاطع بررسی شوند. در صورت خروج یک بنگاه یا کارمند از نمونه، دلیل ریزش باید ثبت شود؛ زیرا خروج نمونه‌های ناموفق می‌تواند نتایج برنامه را به صورت مصنوعی مثبت نشان دهد. همچنین، تغییرات مهمی مانند تعویض مدیر، تغییر فروشنده، به‌روزرسانی مدل، تغییر ترکیب تولید یا توقف پشتیبانی باید ثبت شوند تا اثر هوش مصنوعی با سایر عوامل خلط نشود.

دروازه عبور از فاز اول

عبور از فاز نخست به اجرای طرح آزمایشی فقط زمانی مجاز است که:

- خط پایه بنگاهی و پروژه‌های تهیه شده باشد؛
- مسائل اولویت‌دار و شاخص‌های آن‌ها اعتبارسنجی شده باشند؛
- مسئولیت‌ها و حدود اختیار تصویب شده باشند؛
- بودجه و سقف ریسک مشخص باشند؛
- قرارداد، امنیت و برنامه خروج آماده باشند؛
- ارزیاب مستقل تعیین شده باشد؛
- نمونه پنل طولی و داده‌های پایه آن ثبت شده باشند؛
- تقویم ارزیابی پایان طرح آزمایشی، شش ماهه و دوازده ماهه تصویب شده باشد؛
- روش سنجش پایداری اثر و مدیریت ریزش نمونه مشخص شده باشد.

به این ترتیب، فاز نخست فقط پروژه‌ها را برای آغاز آماده نمی‌کند، بلکه از ابتدا زیرساخت لازم برای تشخیص تفاوت میان

بهبود کوتاه‌مدت و تحول پایدار سازمانی را نیز ایجاد می‌کند.

۳-۸- فاز دوم: طرح آزمایشی محدود و اثبات ارزش

ماه ۷ تا ۱۸

در این فاز، تعداد محدودی پروژه انتخاب می‌شود. هدف این نیست که کارایی فناوری به‌طور کلی اثبات شود؛ بلکه باید آزمود

که آیا یک راهکار مشخص می‌تواند مسئله‌ای مشخص را با نتیجه‌ای سنجش‌پذیر حل کند.

اقدامات فاز دوم در جدول ۳۸ آمده‌اند.

جدول ۳۸ - اقدامات و شاخص‌های فاز دوم

اقدام	مسئول	شاخص
انتخاب بنگاه	کمیته انتخاب	رعایت معیار آمادگی
انتخاب فروشنده	بنگاه با نظارت فرایندی	رقابت و مستندسازی
ثبت خط پایه	بنگاه و ارزیاب	تأیید کیفیت داده
اجرای کنترل شده	بنگاه و فروشنده	تکمیل فنی
پایش امنیت	تیم امنیت	رخداد و انطباق
مدیریت تغییر	بنگاه	مشارکت و پذیرش کاربر
ثبت هزینه	بنگاه و دفتر	انحراف از بودجه

اقدام	مسئول	شاخص
ارزیابی مستقل	ارزیاب	اثر فنی، عملیاتی و مالی
تصمیم	شورای راهبری	ادامه، اصلاح یا توقف
انتشار درس آموخته	اتاق	گزارش تجمیعی
آزمون خروج	بنگاه و ارزیاب	انتقال موفق داده و مستندات
ثبت محدودیت	فروشنده و بنگاه	فهرست محدودیت‌های مدل

تعداد طرح‌های آزمایشی در این فاز با فرمول ظرفیت‌سنجی توصیه ۶ تعیین می‌شود، نه با عددی از پیش تعیین شده.

۴-۸- فاز سوم: مقیاس‌دهی انتخابی

ماه ۱۹ تا ۳۶

مقیاس‌دهی به معنای افزایش تعداد پروژه‌ها بدون ارزیابی نیست. در این فاز فقط پروژه‌هایی وارد توسعه می‌شوند که:

- اثر آن‌ها به‌طور مستقل تأیید شده باشد؛
 - هزینه کل مالکیت و منفعت قابل قبول داشته باشند؛
 - ریسک کنترل شده باشد؛
 - کارکنان از راهکار استفاده کنند؛
 - امکان انتقال به بنگاه‌های مشابه وجود داشته باشد؛
 - خروج از فروشنده قابل انجام باشد؛
 - ظرفیت پشتیبانی و نگهداری وجود داشته باشد.
- اقدامات فاز سوم در جدول ۳۹ آمده‌اند.

جدول ۳۹ - اقدامات مشروط فاز سوم

اقدام	پیش‌شرط	شاخص
بسته تکرارپذیر	حداقل تجربه معتبر	مستندات کامل
کنسرسیوم بخشی	مسئله و تقاضای مشترک	قرارداد همکاری
بازارگاه آزمایشی	امکان‌سنجی مستقل	استفاده واقعی و شکایت
کوپن آزمایشی	بودجه و طراحی ضررانت	منفعت تأییدشده
تصویب اتاق تهران	احراز آمادگی	ظرفیت اجرایی
توسعه عرضه‌کنندگان	معیار و ارزیابی	کیفیت خدمات
مقیاس‌دهی پروژه	تأیید دروازه پنج	استقرار عملیاتی
آموزش مربیان صنعتی	تجربه مستند	ظرفیت آموزش
استانداردسازی داده	مسئله مشترک	پذیرش اعضا
انتشار مطالعه موردی	رضایت بنگاه	گزارش غیرمحرمانه

منبع: تدوین گزارش.

۵-۸- فاز چهارم: نهادینه‌سازی مشروط

سال ۴ تا ۵

این فاز خودبه‌خود آغاز نمی‌شود. تصمیم درباره دائمی‌شدن ساختار، گسترش استانی یا ایجاد ابزارهای ملی، به ارزیابی و تصویب دوباره نیاز دارد.

جدول ۴۰ تصمیم‌های احتمالی و پیش‌شرط‌های آن‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۴۰ - تصمیم‌های فاز چهارم

اقدام	پیش‌شرط	مرجع تصمیم
ساختار دائمی	اثبات ارزش و پایداری مالی	مرجع داخلی ذی‌صلاح
مراکز منطقه‌ای در حوزه اتاق تهران	تقاضا و آمادگی هر خوشه صنعتی	اتاق تهران
پایش ملی	توافق نهادهای و روش مشترک	اتاق تهران با همکاری نهادهای ملی
گواهی مهارت	استاندارد شایستگی	نهادهای ذی‌صلاح
صادرات خدمات	توان فنی و بازار	بخش خصوصی
استاندارد داده	مشارکت تنظیم‌گر	دولت و نهاد استاندارد
ابزار مالی پایدار	ارزیابی اثربخشی	دولت و نظام مالی
بازارگاه دائمی	عملکرد موفق نسخه آزمایشی	مرجع ذی‌صلاح اتاق
شبکه ارزیابان	معیار صلاحیت	نهاد مسئول برنامه
خاتمه برنامه	عدم اثبات ارزش	مرجع تصویب‌کننده

منبع: تدوین گزارش.

هیچ سهمیه ثابتی برای تعداد مراکز منطقه‌ای یا پروژه‌ها تعیین نمی‌شود. انتخاب منطقه باید بر اساس آمادگی خوشه صنعتی، بنگاه، داده، نیروی انسانی و ظرفیت اتاق تهران انجام شود.

۶-۸- پیامدهای اقدام و عدم اقدام

پیامدها در جدول ۴۱ در سه سطح بنگاه، اکوسیستم و سیاست مقایسه شده‌اند. پیامدهای مثبت مشروط به اجرای صحیح و تحقق معیارها هستند و تضمین‌شده محسوب نمی‌شوند.

جدول ۴۱ - پیامدهای اجرای بسته و عدم اقدام

سطح	پیامد اجرای موفق	پیامد عدم اقدام
بنگاه	کاهش اتلاف و بهبود تصمیم	تداوم هزینه و پروژه پراکنده

سطح	پیامد اجرای موفق	پیامد عدم اقدام
بنگاه‌های کوچک و متوسط	دسترسی به بسته مشترک	افزایش شکاف با بنگاه بزرگ
فناوری	بازار صنعتی معتبر	محدود شدن به پروژه نمایشی
نیروی انسانی	مهارت، مشارکت و نظارت	استفاده غیررسمی و مقاومت
داده	حکمرانی و کیفیت	افشا و جزیره‌ای شدن
امنیت	کنترل OT و تداوم	رخداد و توقف
اتاق	نقش سیاستی معتبر	محدود شدن به ترویج عمومی
دولت	سیاست مبتنی بر شواهد	تخصیص غیرهدفمند
رقابت	افزایش تاب‌آوری	تعمیق شکاف بهره‌وری
نظام مالی	شناخت بهتر ریسک پروژه	اجتناب از تأمین مالی
تشکل‌ها	نقش فعال در مسئله‌یابی	مشارکت موردی و پراکنده
عرضه‌کنندگان	معیار روشن و بازخورد	رقابت مبتنی بر ادعا

منبع: تدوین گزارش.

۷-۸- نظام پایش و ارزیابی

نظام پایش باید میان ورودی، فعالیت، خروجی، نتیجه و اثر تفکیک کند. تعداد کارگاه، شرکت‌کننده یا طرح آزمایشی، به‌تنهایی شاخص بهره‌وری نیست.

- **ورودی:** بودجه، نیروی انسانی و زمان؛
 - **فعالیت:** پیمایش، آموزش و اجرای طرح آزمایشی؛
 - **خروجی:** گزارش، مدل یا سامانه نصب‌شده؛
 - **نتیجه:** استفاده واقعی و تغییر فرایند؛
 - **اثر:** کاهش هزینه، توقف، ضایعات یا ریسک.
- شاخص‌های کلیدی در جدول ۴۲ دسته‌بندی شده‌اند.

جدول ۴۲ - نظام شاخص‌های پایش برنامه

سطح	شاخص	واحد
حکمرانی	تصویب منشور و RACI	بله/خیر
خط پایه	بنگاه دارای داده معتبر	بنگاه
مشارکت	بنگاه‌های واردشده به برنامه	بنگاه
پروژه	طرح‌های آزمایشی آغازشده	پروژه
تصمیم	پروژه ادامه، اصلاح یا متوقف‌شده	پروژه

سطح	شاخص	واحد
بهره‌وری	کاهش توقف	ساعت یا درصد
کیفیت	کاهش ضایعات	درصد
انرژی	کاهش شدت مصرف	انرژی بر تولید
مالی	NPV, ROI و دوره بازگشت	درصد، مبلغ و زمان
امنیت	پروژه دارای ارزیابی	پروژه
رخداد	حادثه و شدت آن	مورد
مهارت	افراد آموزش دیده و ارزیابی شده	نفر
پذیرش	کاربران فعال	درصد
مقیاس	پروژه عبور کرده از اثبات مفهوم	پروژه
خروج	پروژه دارای برنامه انتقال	پروژه
تعارض منافع	موارد افشا شده و مدیریت شده	مورد
شکایت	شکایت ثبت و رسیدگی شده	مورد و زمان
انتقال دانش	مطالعه موردی منتشر شده	گزارش

منبع: تدوین گزارش.

پایش برنامه باید علاوه بر خروجی اقتصادی کوتاه مدت، پایداری تحول را نیز بررسی کند. به همین دلیل، هر طرح آزمایشی باید در سه مقطع (پایان طرح آزمایشی، شش ماه و دوازده ماه پس از استقرار) و با استفاده از پل طولی ای که در فاز نخست (بخش ۸-۲) تشکیل می‌شود، ارزیابی شود (Asia Tech Alliance, ۲۰۲۶).

۸-۸- فرهنگ‌نامه شاخص‌ها

برای تعیین دقیق تعریف، منبع، مسئول، زمان و آستانه تصمیم برای هر شاخص، جدول ۴۳ فرهنگ‌نامه پایش را ارائه می‌کند.

جدول ۴۳ - تعریف، منبع و آستانه شاخص‌ها

شاخص	تعریف یا فرمول	منبع	مسئول	تناوب	آستانه تصمیم
توقف	توقف برنامه‌ریزی نشده	MES/نگهداری	مدیر تولید	ماهانه	هدف پروژه
ضایعات	محصول معیوب ÷ تولید	کنترل کیفیت	مدیر کیفیت	ماهانه	هدف پروژه
انرژی	انرژی ÷ تولید سالم	کنترل و تولید	مدیر انرژی	ماهانه	هدف پروژه
خطای پیش‌بینی	معیار مصوب مانند MAPE	فروش	مالک فرایند	ماهانه	حد پروژه
ROI	منفعت خالص ÷ TCO	مالی	مدیر مالی و ارزیاب	دروازه ۴	حد مصوب
NPV	ارزش فعلی جریان‌های نقدی	مالی	مدیر مالی	دروازه ۴ و ۵	مثبت یا حد مصوب

شاخص	تعریف یا فرمول	منبع	مسئول	تناوب	آستانه تصمیم
کیفیت داده	ترکیب صحت، کامل بودن و به‌هنگامی	ممیزی	مالک داده	هر دروازه	حداقل مصوب
رانش مدل	تغییر عملکرد مدل	سامانه پایش	فروشنده و بنگاه	مستمر	دامنه قرارداد
پذیرش	کاربران فعال ÷ کاربران هدف	سوابق سامانه و پیمایش	منابع انسانی	ماهانه	حد مصوب
هزینه	هزینه واقعی ÷ بودجه	مالی	دفتر برنامه	ماهانه	دامنه تحمل
رخداد	تعداد و شدت حادثه	SOC ¹ /OT	امنیت	فوری	توقف احتمالی
انتقال پذیری	موفقیت آزمون خروج	آزمون فنی	ارزیاب	پیش از مقیاس	قبول یا رد
زمان پاسخ	فاصله رخداد تا اقدام	لاگ	مالک فرایند	ماهانه	SLA
مداخله انسانی	لغو دستی ÷ تصمیم‌های مدل	لاگ	مالک فرایند	ماهانه	دامنه مصوب

منبع: تدوین گزارش.

هر شاخص باید پیش از طرح آزمایشی دارای تعریف عملیاتی باشد. عباراتی مانند «بهبود کیفیت» یا «افزایش بهره‌وری» بدون فرمول، واحد و دوره اندازه‌گیری برای ارزیابی کافی نیستند.

۸-۹- روش انتساب اثر

برای جلوگیری از نسبت دادن تغییرات بازار، تعمیرات، قیمت، نیروی انسانی یا ترکیب محصول به هوش مصنوعی، ارزیابی باید شامل موارد زیر باشد:

- دوره پایه نماینده؛
 - دوره پس از اجرا؛
 - گروه یا خط مقایسه در صورت امکان؛
 - تعدیل حجم و ترکیب تولید؛
 - ثبت تعمیرات هم‌زمان؛
 - ثبت تغییرات بازار و قیمت؛
 - تحلیل حساسیت؛
 - گزارش دامنه عدم قطعیت؛
 - ثبت تغییرات فرایند و نیروی انسانی.
- روش‌های پیشنهادی در جدول ۴۴ مقایسه شده‌اند.

جدول ۴۴ - روش‌های ارزیابی و انتساب اثر

¹ Security Operations Center (SOC)

روش	کاربرد	مزیت	محدودیت
قبل و بعد	فرایند نسبتاً ثابت	ساده و قابل فهم	اثر عوامل بیرونی
خط مقایسه	خطوط یا سایت‌های مشابه	کنترل بهتر	دشواری تطابق
اختلاف در اختلاف	داده چنددوره‌ای و گروه مقایسه	انتساب قوی‌تر	نیازمند داده کافی
آزمون کنترل‌شده	امکان مداخله محدود	اعتبار بالا	محدودیت عملیاتی و ایمنی
مدل مهندسی	انرژی، خرابی و فرایند	استفاده از دانش فنی	وابسته به فرضیات
تحلیل حساسیت	همه پروژه‌ها	نمایش عدم قطعیت	نیازمند سناریو
تحلیل وقفه زمانی	داده پرتکرار	بررسی تغییر روند	حساس به رخدادهای هم‌زمان
نظر کارشناسی ساختاریافته	داده محدود	استفاده از دانش ضمنی	احتمال سوگیری

منبع: تدوین گزارش.

انتخاب روش باید پیش از مشاهده نتیجه انجام شود. تغییر روش ارزیابی پس از مشخص شدن نتیجه می‌تواند به جانبداری منجر شود و باید فقط با دلیل مستند و تأیید ارزیاب صورت گیرد.

۱۰-۸- ثبت ریسک

ریسک‌ها باید از ابتدای برنامه شناسایی، ثبت و به مالک مشخص تخصیص داده شوند. ثبت ریسک یک سند ثابت نیست و باید در هر دروازه تصمیم، پس از هر تغییر مهم در داده، مدل، معماری، فروشنده، سطح دسترسی یا فرایند و نیز پس از وقوع هر رخداد به‌روزرسانی شود.

در پروژه‌های هوش مصنوعی صنعتی، ارزیابی ریسک نباید به مدل یا پروژه منفرد محدود بماند. تعامل میان مدل‌ها، سامانه‌های سازمانی، تجهیزات عملیاتی، فروشندگان و کاربران می‌تواند ریسک‌هایی ایجاد کند که در ارزیابی جداگانه هر جزء قابل مشاهده نیست. از این رو، علاوه بر ریسک‌های عمومی پروژه، سه الگوی سامانه‌ای باید به‌طور مستقل ثبت شوند:

۱. **ریسک آبشاری:** خطا یا تصمیم نادرست در یک مدل، سامانه یا مرحله فرایند به مراحل پایین دست منتقل می‌شود و دامنه

اثر آن افزایش می‌یابد؛

۲. **ریسک پنهان:** افت عملکرد، رانش مدل، تغییر داده یا تغییر شرایط عملیاتی بدون تشخیص به‌موقع ادامه می‌یابد؛

۳. **ریسک مرکب:** تعامل چند مدل، عامل، فروشنده یا فرایند، پیامدی ایجاد می‌کند که از عملکرد هیچ جزء منفردی قابل پیش‌بینی نیست.

برای سامانه‌های عامل محور نیز باید ریسک‌های مرتبط با هویت، اختیار، دامنه اقدام، قابلیت بازگشت، نظارت انسانی و تعامل میان عامل‌ها ثبت شود. با افزایش سطح خودمختاری، احتمال و اثر این ریسک‌ها باید مجدداً ارزیابی شود.

احتمال‌ها و آثار مندرج در جدول ۴۵، ارزیابی اولیه و پیشنهادی‌اند و باید برای هر پروژه بر اساس صنعت، سطح خودمختاری، اتصال به فناوری عملیاتی، حساسیت داده و پیامد خطا تنظیم شوند.

جدول ۴۵ - ثبت اولیه ریسک برنامه

ریسک	احتمال اولیه	اثر اولیه	مالک	پاسخ پیشنهادی
داده ناکافی	بالا	بالا	بنگاه و مالک داده	ممیزی پیش از ورود، تعیین حداقل کیفیت و اصلاح دامنه پروژه
تعارض منافع	متوسط	بالا	شورای راهبری	افشا، ثبت تعارض، کناره‌گیری از تصمیم و ممیزی
تجاوز هزینه	متوسط	بالا	دفتر برنامه و مدیر مالی	سقف هزینه، ذخیره احتیاطی، پرداخت مرحله‌ای و توقف در صورت انحراف
رخداد فناوری عملیاتی	پایین تا متوسط	بسیار بالا	مدیر امنیت و مالک فرایند	تفکیک IT/OT، آزمون پیش از اتصال، حالت امن و قطع اضطراری
عدم پذیرش کارکنان	متوسط	بالا	بنگاه و منابع انسانی	مشارکت در طراحی، آموزش نقش‌محور و مدیریت تغییر
قفل‌شدگی فروشنده	متوسط	بالا	واحد حقوقی و فناوری	الزام انتقال‌پذیری، مستندات، API، آزمون خروج و گزینه جایگزین
موفقیت صوری	متوسط	بالا	ارزیاب مستقل	خط پایه معتبر، روش انتساب مستقل و تفکیک موفقیت فنی، عملیاتی و اقتصادی
توسعه مأموریت برنامه	متوسط	متوسط	حامی سیاستی	تعیین دامنه، سقف تعهد، بازنگری رسمی و بند خاتمه
رانت در تخصیص کوپن یا حمایت	متوسط	بالا	مرجع مالی و شورای راهبری	معیار عمومی، رقابت، افشای امتیازها و ممیزی
افشای داده	متوسط	بسیار بالا	بنگاه، مالک داده و فروشنده	حداقل‌سازی داده، کنترل دسترسی، رمزنگاری و پاسخ به رخداد
رانش مدل	متوسط	متوسط تا بالا	مالک مدل و مالک سامانه	پایش مستمر، آستانه هشدار، بازاعتبارسنجی و بازگشت به نسخه قبلی
تغییر مقررات	متوسط	متوسط	واحد حقوقی	پایش مقررات، بازبینی دوره‌ای و انعطاف قراردادی
وابستگی زیرساختی	متوسط	بالا	مدیر فناوری	معماری جایگزین، ظرفیت پشتیبان و تنوع عرضه‌کننده
خطای انسانی ناشی از اتکای بیش‌ازحد	متوسط	بالا	مالک فرایند	آموزش اتکای مناسب، نظارت انسانی، هشدار محدودیت و ثبت تصمیم
ریسک آشکاری بین سامانه‌ها	متوسط	بسیار بالا	مالک سامانه و مالک فرایند	نقشه وابستگی، ایزوله‌سازی، کنترل‌های مستقل، توقف امن و آزمون یکپارچه
ریسک پنهان	متوسط	بالا	مالک مدل و ارزیاب	پایش رانش، شاخص هشدار زود هنگام، بازبینی دوره‌ای و آزمون شرایط متغیر

ریسک	احتمال اولیه	اثر اولیه	مالک	پاسخ پیشنهادی
ریسک مرکب	پایین تا متوسط	بسیار بالا	شورای فنی و مالک معماری	تحلیل تعاملات، آزمون سامانه‌ای، ثبت وابستگی‌ها و محدود کردن اتصال
گسترش بی‌ضابطه دامنه دسترسی عامل	متوسط	بسیار بالا	مدیر امنیت و مالک عامل	اصل کمترین دسترسی، مجوز زمان‌دار، بازبینی دوره‌ای و لغو خودکار
اقدام خارج از هدف یا محدوده مصوب	متوسط	بالا تا بسیار بالا	مالک عامل و مالک فرایند	تعریف دامنه اقدام، محدودیت ابزار، محدودیت‌های حفاظتی ¹ ، ثبت اقدام و قطع اضطراری
خستگی تأیید انسانی	متوسط	بالا	مالک فرایند و منابع انسانی	اولویت‌بندی هشدار، طراحی مناسب گردش تأیید، نمونه‌گیری و سنجش کیفیت نظارت
نبود امکان بازگشت سریع	پایین تا متوسط	بسیار بالا	مدیر فناوری و مالک فرایند	بازگردانی، نسخه پشتیبان، حالت دستی، سناریوی بازیابی و آزمون دوره‌ای
زنجیره اقدام غیرقابل ردیابی	متوسط	بالا	مالک سامانه و مدیر امنیت	ثبت کامل ورودی، تصمیم، ابزار فراخوانی‌شده، اقدام، زمان و هویت عامل
هویت یا مجوز نامشخص عامل	متوسط	بالا	مدیر هویت و دسترسی	شناسه مستقل عامل، احراز هویت، تفکیک نقش و مدیریت چرخه عمر مجوز
تعامل پیش‌بینی نشده میان عامل‌ها	پایین تا متوسط	بسیار بالا	مالک معماری و کمیته فنی	ثبت عامل‌ها، محدودیت ارتباط، محیط آزمایشی، پایش تعامل و قطع‌کننده خودکار ²
افزایش هزینه عملیاتی پس از طرح آزمایشی	متوسط	بالا	مدیر مالی و مالک سامانه	محاسبه TCO، پایش مصرف پردازش و API، سقف هزینه و تحلیل حساسیت
افزایش خودمختاری بدون ارزیابی مجدد	متوسط	بسیار بالا	شورای فنی و مالک سامانه	الزام عبور مجدد از دروازه امنیت و ریسک پیش از افزایش اختیار
تغییر کنترل نشده مدل یا ابزار عامل	متوسط	بالا	مالک مدل و مدیر فناوری	نسخه‌بندی، مدیریت تغییر، آزمون مجدد و تأیید پیش از استقرار
استفاده غیررسمی از عامل یا ابزار عمومی	متوسط تا بالا	بالا	مدیر فناوری، امنیت و منابع انسانی	موجودی ابزار، سیاست استفاده، کنترل داده و آموزش کارکنان
از دست رفتن دانش داخلی	متوسط	متوسط تا بالا	منابع انسانی و مالک فرایند	انتقال دانش، مستندسازی، آموزش تیم داخلی و الزام تحویل فنی

¹ Guardrails

² Circuit breaker

ریسک	احتمال اولیه	اثر اولیه	مالک	پاسخ پیشنهادی
توقف پشتیبانی فروشنده	پایین تا متوسط	بالا	واحد قرارداد و فناوری	SLA، تداوم خدمت، سپرده‌گذاری کد نزد امین ¹ یا دسترسی به مستندات و برنامه جایگزین

منبع: تدوین گزارش بر پایه چارچوب مدیریت ریسک برنامه و ملاحظات ریسک سامانه‌ای و عامل‌محور.

برای هر ریسک باید علاوه بر احتمال، اثر، مالک و پاسخ، اطلاعات زیر نیز در ثبت تفصیلی درج شود:

- علت و سناریوی وقوع؛
- سامانه‌ها و فرایندهای تحت تأثیر؛
- کنترل‌های موجود؛
- ریسک باقیمانده پس از کنترل؛
- شاخص یا علامت هشدار؛
- آستانه توقف یا ارجاع؛
- مسئول اجرای پاسخ؛
- مهلت اقدام؛
- وضعیت باز یا بسته؛
- تاریخ آخرین بازنگری .

ریسک‌های عامل‌محور باید با سطح اختیار سامانه تطبیق داده شوند. سامانه فقط خواندنی معمولاً با ریسک محدودتری نسبت به عاملی مواجه است که می‌تواند سفارش ایجاد کند، تنظیمات را تغییر دهد یا بر تجهیزات عملیاتی اثر بگذارد. بنابراین، افزایش سطح دسترسی یا خودمختاری نباید یک تغییر فنی عادی تلقی شود، بلکه باید به‌عنوان تغییر سطح ریسک ثبت شده و پیش از اجرا، دوباره از ارزیابی امنیت، حقوقی و عملیاتی عبور کند.

همچنین، رخدادی که در یک پروژه روی می‌دهد نباید تنها در همان پروژه بررسی شود. رخدادهای مرتبط با داده، مدل، عامل، فروشنده یا فناوری عملیاتی باید در سطح کل برنامه تحلیل شوند تا مشخص شود آیا ریسک مشابه در سایر طرح‌های آزمایشی نیز وجود دارد یا خیر. به این ترتیب، ثبت ریسک از یک فهرست اداری به سازوکار یادگیری و پیشگیری در سطح برنامه تبدیل می‌شود.

¹ Escrow

۹- جمع‌بندی و تصمیم‌پیشنهادهی

هوش مصنوعی ظرفیت آن را دارد که در برخی فرایندهای صنعتی به کاهش توقف، ضایعات، مصرف انرژی، خطای پیش‌بینی و هزینه موجودی کمک کند. اما این ظرفیت خودبه‌خود محقق نمی‌شود. فناوری زمانی به بهره‌وری تبدیل می‌شود که مسئله، داده، فرایند، کارکنان، قرارداد، امنیت و اقتصاد پروژه در یک زنجیره منسجم قرار گیرند.

شواهد علمی نشان می‌دهند آثار هوش مصنوعی ناهمگون‌اند. برخی وظایف بهبود قابل توجهی تجربه می‌کنند و برخی دیگر ممکن است با خطا یا اتکای بیش‌ازحد مواجه شوند. تفاوت سطح تجربه کاربران نیز بر نتیجه اثر می‌گذارد (Brynjolfsson et al., 2023; Zhang, 2023 & 2025; Dell'Acqua et al., 2026; Noy).

بنابراین، سیاست مناسب برای ایران، اعلام اهداف بزرگ و یکسان نیست؛ بلکه ایجاد سازوکاری برای انتخاب دقیق، آزمون محدود، ارزیابی مستقل و مقیاس‌دهی انتخابی است. اعداد مربوط به تعداد پروژه، میزان حمایت یا هدف بهره‌وری باید پس از خط پایه، تحلیل هزینه و سنجش ظرفیت تعیین شوند.

مسئله اصلی ایران، فقدان کامل فناوری یا نیروی متخصص نیست، بلکه نبود مسیر نهادی قابل اعتماد برای اتصال نیاز صنعت به عرضه فناوری و سنجش ارزش است. اتاق بازرگانی می‌تواند در رفع این ناهماهنگی نقش داشته باشد؛ مشروط بر آنکه:

- وارد تصدی‌گری فناوری نشود؛
 - نقش‌های حامی، مجری و ارزیاب را تفکیک کند؛
 - اعداد را بدون خط پایه به تعهد تبدیل نکند؛
 - امنیت، داده و نیروی انسانی را هم‌زمان ببیند؛
 - پروژه ناموفق را متوقف کند؛
 - دائمی‌شدن ساختار را نتیجه ارزیابی بداند، نه پیش‌فرض؛
 - تعهد سایر اتاق‌ها و نهادها را بدون تصویب مستقل فرض نکند؛
 - نتایج موفق و ناموفق را مستند و منتشر کند.
- بر این اساس، تصمیم‌پیشنهادهی سند عبارت است از:

تأیید گزارش به‌عنوان مطالعه سیاستی اولیه و چارچوب گفت‌وگو؛ صدور مجوز تهیه خط پایه بنگاهی و اسناد امکان‌سنجی در سقف بودجه مطالعاتی مصوب؛ عدم تلقی گزارش به‌عنوان برنامه اجرایی یا مجوز تخصیص منابع اجرایی؛ و ارجاع طراحی هر برنامه آزمایشی، مرکز، بازارگاه، کوپن، شبکه منطقه‌ای یا تعهد مالی به تهیه بسته تصمیم، امکان‌سنجی و تصویب مستقل.

۱۰- پیوست‌های اجرایی

پیوست ۱- بسته تصمیم پیش از تصویب برنامه

بسته تصمیم باید همه اجزای مندرج در جدول ۴۶ را پوشش دهد. نبود هر جزء باید به‌صراحت در تصمیم نهایی ثبت شود.

جدول ۴۶- اجزای بسته تصمیم

جزء	محتوای الزامی
خط پایه	صنعت، اندازه، بلوغ و پروژه‌های موجود
اعتبارسنجی	نظر تشکله‌ها، بنگاه‌ها و خبرگان
زنجیره منتخب	دو یا سه زنجیره دارای توجیه
مسئله	KPI و هزینه وضع موجود
مدل مالی	TCO، منفعت، سناریو و حساسیت
بودجه	سقف، منبع و پرداخت مرحله‌ای
حکمرانی	ساختار موقت، RACI و تعارض منافع
امنیت	داده، سایبری و OT
حقوقی	اختیار، مسئولیت و قرارداد
ارزیابی	روش انتساب و ارزیاب مستقل
نیروی انسانی	مشارکت، مهارت و بازآموزی
توقف	معیار و نقطه خروج
ریسک	ثبت، مالک و پاسخ
خروج فروشنده	انتقال، مستندات و حذف
تصمیم	اجراء، اصلاح یا عدم اجرا

منبع: تدوین گزارش.

پیوست ۲- چک‌لیست ورود طرح آزمایشی

چک‌لیست جدول ۴۷ باید پیش از دروازه دوم تکمیل شود. وضعیت «اصلاح» باید دارای مسئول و مهلت باشد.

جدول ۴۷- چک‌لیست ورود به طرح آزمایشی

سؤال	وضعیت
مسئله دقیق و قابل سنجش است؟	تأیید/اصلاح/رد
مالک فرایند مشخص است؟	تأیید/اصلاح/رد
KPI و مقدار پایه وجود دارد؟	تأیید/اصلاح/رد
داده کافی و نماینده است؟	تأیید/اصلاح/رد
مدیریت ارشد متعهد است؟	تأیید/اصلاح/رد
کاربران اصلی مشارکت دارند؟	تأیید/اصلاح/رد

سؤال	وضعیت
بودجه و سقف هزینه روشن است؟	تأیید/اصلاح/رد
قرارداد و مسئولیت مشخص است؟	تأیید/اصلاح/رد
ارزیابی امنیت انجام شده است؟	تأیید/اصلاح/رد
ارزیاب مستقل تعیین شده است؟	تأیید/اصلاح/رد
معیار توقف ثبت شده است؟	تأیید/اصلاح/رد
برنامه خروج وجود دارد؟	تأیید/اصلاح/رد
روش انتساب اثر مشخص است؟	تأیید/اصلاح/رد
برنامه مدیریت تغییر وجود دارد؟	تأیید/اصلاح/رد
حالت امن و بازگشت دستی تعریف شده است؟	تأیید/اصلاح/رد

منبع: تدوین گزارش.

پیوست ۳- چکلیست قرارداد و امنیت

جدول ۴۸ باید متناسب با سطح ریسک هر کاربرد تکمیل شود. وجود یک بند کلی امنیت یا محرمانگی به تنهایی کافی نیست.

جدول ۴۸ - چکلیست قرارداد، داده و امنیت

موضوع	کنترل
مالکیت داده	تعیین شده
استفاده ثانویه	محدود و مصوب
محل نگهداری	ثبت شده
دسترسی	حداقلی و ثبت شده
نگهداری و حذف	زمان بندی شده
ثبت رخداد	فعال
پاسخ به حادثه	مسئول مشخص
تغییر مدل	نسخه بندی و تأیید
امنیت OT	ارزیابی شده
نظارت انسانی	تعریف شده
تداوم کسب و کار	آزموده شده
انتقال پذیری	قابل آزمون
خروج	مستند
حل اختلاف	تعیین شده
اجزای ثالث	شناسایی و ارزیابی شده
رائش مدل	پایش و آستانه تعریف شده
عملکرد ایمن در زمان خرابی	تعریف و آزمون شده
گواهی حذف	پیش بینی شده

منبع: تدوین گزارش بر پایه NIST AI RMF، NIST AI 600-1، ISO/IEC 42001 و NIST SP 800-82 Rev. 3.

پیوست ۴- چارچوب‌های تکمیلی آمادگی، حکمرانی و تحول نیروی انسانی

ب ۴-۱- زنجیره انتقال فناوری به بهره‌وری

برای آنکه فناوری به اثر اقتصادی تبدیل شود، عبور از پنج حلقه لازم است. شکل ۶ از منطق گزارش هیئت مستقل علمی بین‌المللی هوش مصنوعی اقتباس شده و برای محیط بنگاه صنعتی بومی‌سازی شده است.



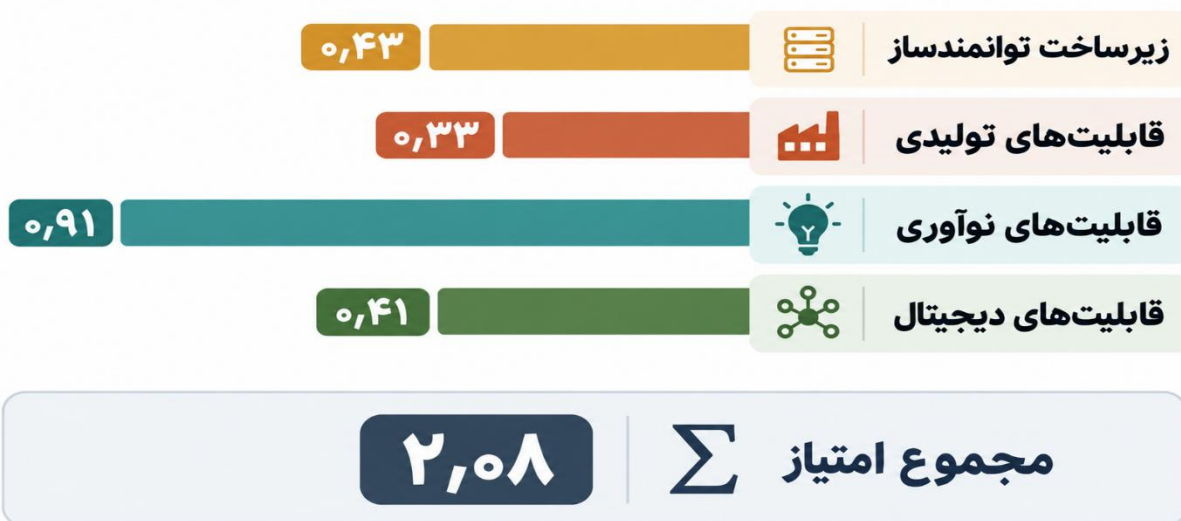
شکل ۶- زنجیره انتقال هوش مصنوعی به بهره‌وری صنعتی

منبع: اقتباس و بومی‌سازی بر پایه (Independent International Scientific Panel on Artificial Intelligence (2026).

این شکل نشان می‌دهد زنجیره ممکن است در هر حلقه‌ای گسسته شود. برای مثال، ممکن است فناوری و دسترسی وجود داشته باشد، اما بنگاه مسئله روشن یا داده مناسب نداشته باشد. همچنین، ممکن است طرح آزمایشی موفق باشد، اما نبود الگوی تکرار، تأمین مالی یا نیروی متخصص مانع انتشار شود.

ب ۴-۲- شواهد کلان جدید درباره ایران

شکل ۷ نمایه چهاربعدی ایران را بر پایه داده آمادگی دیجیتال تولید نشان می‌دهد. الگوی نمایه، نامتوازن است: امتیاز بعد نوآوری بسیار بالاتر از سه بعد دیگر است و همین فاصله، این گمان را تقویت می‌کند که ایران در تبدیل ظرفیت نوآوری به توان تولیدی و استقرار فناوری دیجیتال با شکاف روبه‌روست. طول میله‌ها گرد شده و مقدار دقیق در ستون امتیاز آمده است.



شکل ۷ - نمایه چهاربعدی آمادگی دیجیتال تولید ایران

منبع: تدوین گزارش بر پایه داده آمادگی دیجیتال تولید UNIDO در چارچوب بریکس پلاس (Rodriguez et al., 2026a).

جدول ۴۹ - نمایه آمادگی دیجیتال تولید ایران در چارچوب بریکس پلاس

بعد	امتیاز ایران	وضعیت در میان کشورهای با درآمد متوسط پایین	تفسیر سیاستی
زیرساخت توانمندساز	۰,۴۳	پس از هند؛ بالاتر از اندونزی و مصر	زیرساخت پایه وجود دارد، اما هنوز مزیت آشکار ایجاد نکرده است
قابلیت‌های تولیدی	۰,۳۳	پس از هند و اندونزی؛ بالاتر از مصر	ضعف نسبی در جذب و به‌کارگیری فناوری در ساختار تولید
قابلیت‌های نوآوری	۰,۹۱	رتبه اول گروه درآمدی؛ رتبه سوم بریکس پلاس	ظرفیت علمی و نوآوری مهم‌ترین نقطه قوت
قابلیت‌های دیجیتال	۰,۴۱	پس از اندونزی و هند؛ بالاتر از مصر	مشارکت و استقرار فناوری‌های تولید دیجیتال محدودتر از ظرفیت نوآوری
امتیاز کل	۲,۰۸	رتبه دوم گروه درآمدی، پس از هند	وضعیت میانه با عدم توازن شدید میان ابعاد
شاخص‌های فراتر از متوسط گروه درآمدی	۱۱ از ۱۷	عملکرد نسبتاً مناسب	مزیت‌ها در همه ابعاد توزیع نشده‌اند
شاخص‌های دارای روند مثبت	۷ از ۱۶	روند مثبت، اما نه فراگیر	سرعت بهبود برای جبران شکاف کافی نیست

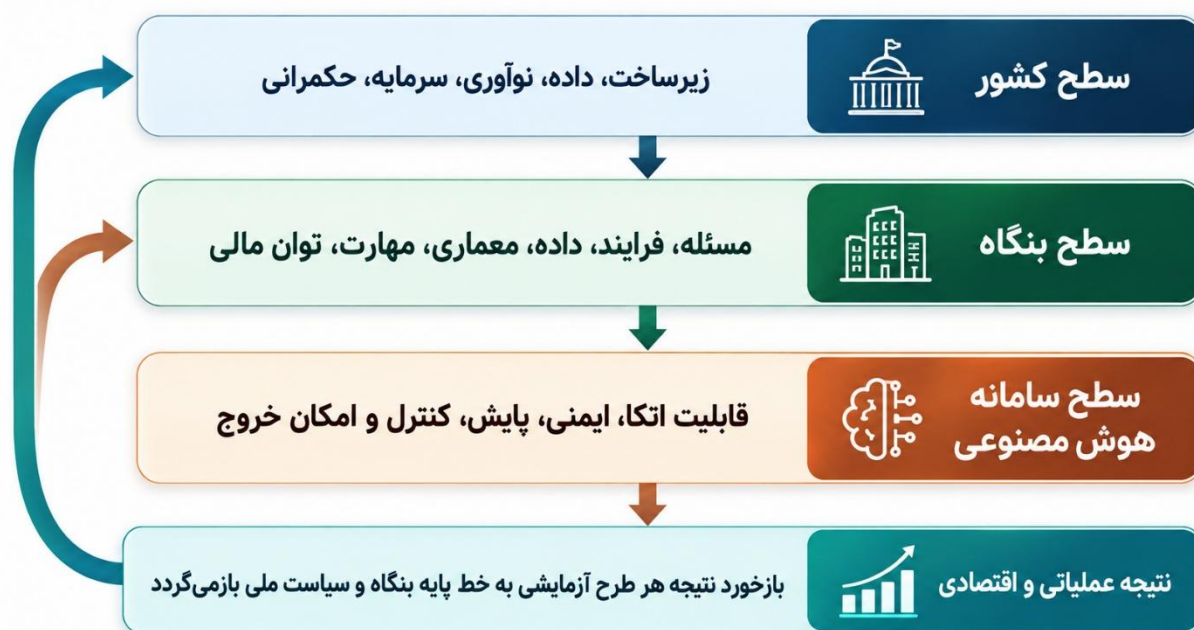
منبع: Rodriguez et al. (۲۰۲۶a)، شکل ۱۸ گزارش مرجع (پانل‌های A تا C).

یادداشت روش‌شناختی: این امتیازها مقادیر نرمال شده‌اند و نباید به‌عنوان درصد آمادگی، احتمال موفقیت طرح آزمایشی یا امتیاز بنگاه تفسیر شوند. همچنین، برای رفع ناسازگاری چینش برخی برچسب‌ها در جدول ۵ منبع، ارقام ابعاد از پانل A و تعداد شاخص‌ها از پانل‌های B و C شکل ۱۸ گزارش مرجع استخراج شده‌اند.

مهم‌ترین نتیجه جدول ۴۹، وجود ظرفیت نوآوری نسبتاً بالا در کنار ضعف نسبی قابلیت تولیدی و دیجیتالی است. این وضعیت می‌تواند ناشی از ضعف تجاری‌سازی، محدودیت سرمایه‌گذاری، نبود تقاضای سازمان‌یافته، گسست دانشگاه و صنعت، محدودیت دسترسی به فناوری یا کمبود توان جذب بنگاه باشد. تعیین سهم هر عامل مستلزم خط پایه است.

پ ۴-۳- ساختار سه‌سطحی آمادگی

آمادگی برای هوش مصنوعی صنعتی را باید در سه سطح کشور، بنگاه و سامانه سنجید. شکل ۸ ارتباط این سه سطح و جدول ۵۰ تفکیک آن‌ها را نشان می‌دهد.



شکل ۸ - ارتباط آمادگی کشور، بنگاه و سامانه

منبع: تدوین گزارش با استفاده از UNIDO (2026) و Hradecky et al. (2026).

جدول ۵۰ - تفکیک سه سطح آمادگی

سطح	واحد ارزیابی	پرسش اصلی	ابزار مناسب	تصمیم
کشور	اقتصاد و محیط نهادی	آیا شرایط عمومی جذب و انتشار هوش مصنوعی وجود دارد؟	داشبورد آمادگی دیجیتال ^۱ ، راهنمای هوش مصنوعی و دیجیتال برای صنعت ^۲ و شاخص‌های ملی	اولویت زیرساخت و سیاست
بنگاه	سازمان، خط و فرایند	آیا بنگاه مسئله، داده، مهارت و توان مالی دارد؟	خط پایه بنگاهی و ممیزی بلوغ	ورود یا عدم ورود به طرح آزمایشی
سامانه	کاربرد مشخص	آیا سامانه در دامنه واقعی قابل اعتماد و کنترل است؟	آزمون، پایش، ارزیابی مستقل و APRL پیشنهادی	استقرار، اصلاح، توقف یا مقیاس

منبع: تدوین گزارش با اقتباس از. (UNIDO (2026)

پ-۴-۴- ریسک‌های سامانه‌ای هوش مصنوعی صنعتی

جدول ۵۱ سه الگوی اصلی ریسک سامانه‌ای در کاربردهای صنعتی هوش مصنوعی را معرفی می‌کند.

جدول ۵۱ - سه الگوی ریسک سامانه‌ای

نوع ریسک	سازوکار	نمونه صنعتی	کنترل لازم
آبشاری	انتقال خطا در شبکه تولید به مراحل بعدی	خطای کنترل فرایند که محصول معیوب را از چند ایستگاه عبور می‌دهد	محدود کردن اتصال، توقف امن، کنترل کیفیت مستقل و ایزوله‌سازی
پنهان	افت تدریجی مدل بدون هشدار روشن	کاهش دقت تشخیص عیب یا خروج ربات از تفرانس	پایش رانش، آستانه هشدار، بازاعبارسنجی و آزمون دوره‌ای
مركب	تعامل چند مدل، سامانه یا فروشنده	تعارض میان زمان‌بندی تولید، انرژی، نگهداری و لجستیک	آزمون یکپارچه، ثبت وابستگی، مالک سامانه و تحلیل اثر متقابل

منبع: اقتباس از. (UNIDO (2026)

پ-۴-۵- اصول کنترل پذیری

جدول ۵۲ اصول شش‌گانه کنترل‌پذیری و الزامات اجرایی هر اصل را نشان می‌دهد.

جدول ۵۲ - اصول شش‌گانه کنترل‌پذیری و الزامات اجرایی

اصل	معنای عملیاتی	کنترل‌های حداقلی	دلالت برای اتاق
ایمنی	کاهش ریسک فیزیکی و اقتصادی به سطح قابل قبول	تحلیل خطر، حالت امن، ارزیابی اثر و مستند ایمنی	شرط ورود پروژه‌های پرریسک

^۱ برای سنجش آمادگی کشورها در دیجیتالی‌سازی صنعت GIZ و UNIDO؛ ابزار مشترک (Digital Readiness Dashboard (DRD)

^۲ برای سنجش بلوغ هوش مصنوعی و دیجیتال در صنعت UNIDO؛ ابزار (AI & Digital for Industry Navigator (AIDIN)

اصل	معنای عملیاتی	کنترل‌های حداقلی	دلالت برای اتاق
قابلیت اتکا	حفظ عملکرد در زمان و شرایط متغیر	معیار عملکرد، پایش، رانش و گزارش افت	الزام گزارش عملکرد پس از طرح آزمایشی
شفافیت	امکان ردیابی داده، نسخه، تصمیم و نظارت	مستند فنی، منشأ داده، سوابق ثبت‌شده و نسخه‌بندی	بندهای قراردادی و ممیزی
پاسخ‌گویی	تعیین مسئول پیامد در همه حلقه‌ها	مالک سامانه، RACI، ارزیاب و رسیدگی به رخداد	منع نقش دوگانه و مسئولیت روشن
فراگیری	قابل اجرا بودن قواعد برای بنگاه‌های کوچک و متوسط	الزامات متناسب با ریسک و حمایت فنی	ابزارهای ساده و کم‌هزینه
پایداری	توجه به هزینه‌های بلندمدت محیطی و انسانی	انرژی، پسماند، مهارت، حذف نقش و هزینه چرخه عمر	افزودن پایداری به TCO و ارزیابی

منبع: اقتباس از. (UNIDO 2026)

پ ۴-۶- گذار از حکمرانی الگوریتم به حکمرانی سامانه

جدول ۵۳ حکمرانی مدل را با حکمرانی سامانه صنعتی مقایسه می‌کند.

جدول ۵۳ - مقایسه حکمرانی مدل و حکمرانی سامانه صنعتی

بعد	حکمرانی محدود به مدل	حکمرانی سامانه‌ای پیشنهادی
واحد تحلیل	مدل و داده آموزشی	مدل، حسگر، عملگر، اپراتور، فرایند و زیرساخت
تمرکز ریسک	کیفیت خروجی مدل	رفتار نوظهور، ریسک آشکاری و مرکب
مرز اتصال	معمولاً کم‌توجه	API، جریان داده، رابط کنترل و اختیار اقدام
نظارت انسانی	دوگانه انسان در حلقه یا خودمختار	تأیید پیشینی، بازبینی پسینی یا پایش مستمر متناسب با پیامد
تغییر در زمان	مدل نسبتاً ثابت فرض می‌شود	رانش، بازآموزی، نسخه‌بندی و ارزیابی مجدد
دامنه سازمانی	تیم فناوری یا داده	مالک فرایند، فناوری، امنیت، حقوقی، منابع انسانی و مدیریت
ارزیابی	دقت روی داده آزمون	عملکرد واقعی، بازایی، ایمنی و اثر اقتصادی
پاسخ‌گویی	توسعه‌دهنده مدل	توسعه‌دهنده، یکپارچه‌ساز، فروشنده، بهره‌بردار و مالک سامانه

منبع: اقتباس از. (UNIDO 2026)

پ ۴-۷- طبقه‌بندی ریسک کاربردهای صنعتی

جدول ۵۴ طبقه‌بندی پیشنهادی ریسک کاربردهای صنعتی هوش مصنوعی را ارائه می‌کند.

جدول ۵۴ - طبقه‌بندی پیشنهادی ریسک کاربردها

سطح	ویژگی	نمونه	الزام پیشنهادی
پایین	غیرایمنی، برگشت‌پذیر و با خطای قابل تشخیص	مدیریت موجودی و پیش‌بینی تقاضای غیرحیاتی	مستندات، کنترل دسترسی و پایش پایه
متوسط	احتمال زیان عملیاتی یا اقتصادی مهم؛ نظارت انسانی ممکن	نگهداری پیش‌بینانه و کنترل کیفیت کمکی	ارزیابی انطباق، ثبت سامانه، پایش و تأیید انسانی
بالا	خودمختار، ایمنی محور یا متصل به زیرساخت حیاتی	کنترل خودکار فرایند شیمیایی، توقف ایمنی و وسیله صنعتی خودران	مستند ایمنی، ارزیابی مستقل، ثبت، پایش مستمر و امکان توقف

منبع: اقتباس از (UNIDO 2026).

یادداشت: این جدول طبقه‌بندی قانونی ایران نیست. کاربرد آن، تناسب‌دادن کنترل‌های برنامه آزمایشی با سطح پیامد است.

پ ۴-۸- سطوح پیشنهادی قابلیت اتکای عملیاتی

جدول ۵۵ سطوح پیشنهادی قابلیت اتکای عملیاتی و ارتباط هر سطح با تصمیم‌های طرح آزمایشی را نشان می‌دهد.

جدول ۵۵ - سطوح پیشنهادی APRL و ارتباط با تصمیم طرح آزمایشی

سطح	آنچه باید اثبات شود	شیوه اطمینان	ارتباط با برنامه
۱	دامنه، هدف و خطرها تعریف شده‌اند	خوداظهاری مستند	دروازه صفر
۲	عملکرد روی داده نماینده دامنه تأیید شده است	آزمون مستند	دروازه یک
۳	تغییر شرایط، موارد مرزی و حالت امن آزموده شده است	آزمون تنش	دروازه یک و دو
۴	سامانه در محیط واقعی یا نماینده با نظارت انسان کار می‌کند	ممیزی داخلی مستقل از مجری	دروازه سه
۵	عملکرد در زمان پایدار و تشخیص رانش و بازگشت آزموده شده است	خودارزیابی انطباق و ممیزی	دروازه سه
۶	ریسک باقیمانده مستند و ارزیابی مستقل شده است	تأیید شخص ثالث	دروازه چهار
۷	عملکرد در تمام دامنه عملیاتی طی دوره مشخص اثبات شده است	ممیزی معتبر	دروازه پنج
۸	عملکرد در تغییر واقعی، رخداد نادر یا ورودی خصمانه حفظ شده است	ممیزی و پایش مستمر	مقیاس‌دهی محدود
۹	پایش، بازاعتبارسنجی و یادگیری از رخداد به‌صورت پایدار برقرار است	نظارت مستمر و بازگواهی دوره‌ای	عملیات بالغ

منبع: اقتباس از چارچوب پیشنهادی APRL در (UNIDO 2026).

محدودیت: APRL هنوز استاندارد هماهنگ‌شده یا ابزار رسمی ارزیابی نیست. استفاده از آن در این گزارش صرفاً تحلیلی و آزمایشی

است.

پ ۴-۹- آمادگی برای هوش مصنوعی عامل‌محور

جدول ۵۶ پنج ستون آمادگی سازمان برای هوش مصنوعی عامل‌محور را معرفی می‌کند و شکل ۹ برنامه ۹۰ روزه دستیابی

به این آمادگی را نشان می‌دهد.

جدول ۵۶ - پنج ستون آمادگی عامل محور

ستون	پرسش تشخیصی	حداقل کنترل
داده	عامل به چه داده‌ای دسترسی دارد و منشأ آن چیست؟	دامنه دسترسی، طبقه‌بندی، تبارنامه داده و ثبت استفاده
فرایند	چه وظیفه‌ای واگذار می‌شود و استثناها چگونه مدیریت می‌شوند؟	نقشه وظیفه، قواعد استثنا و مسیر ارجاع
فناوری	عامل از چه ابزار، API و سامانه‌ای استفاده می‌کند؟	هویت ماشین، محدودیت ابزار، محیط آزمون ایزوله ^۱ و بازگردانی
حکمرانی	چه کسی مسئول اقدام و پیامد عامل است؟	مالک، سطح خودمختاری، سوابق ثبت‌شده، آستانه توقف و رسیدگی به رخداد
نیروی انسانی	مدیر و کاربر چگونه عامل را هدایت و کنترل می‌کنند؟	آموزش، سطح اتکا، تأیید، نظارت و مدیریت تغییر

منبع: بومی‌سازی چارچوب پنج‌ستونی معرفی‌شده در Gartner (2026a).



شکل ۹ - برنامه ۹۰ روزه آمادگی عامل محور

منبع: تدوین گزارش با اقتباس از Gartner (2026a) و پروتکل مرحله‌دروازه‌ای سند.

¹ Sandbox

پ ۴-۱۰- سطوح خودمختاری عامل‌ها

هرچه خودمختاری عامل بیشتر شود، کنترل‌های حکمرانی نیز باید سخت‌گیرانه‌تر شوند. جدول ۵۷ این تناسب را نشان می‌دهد.

جدول ۵۷ - تناسب خودمختاری عامل با کنترل حکمرانی

سطح	اختیار عامل	نمونه	کنترل
مشاهده	دسترسی فقط خواندنی و ارائه اطلاعات	بازیابی سند و خلاصه‌سازی	احراز هویت، محدودیت داده و ثبت استفاده
مشاوره	ارائه پیشنهاد؛ اقدام فقط توسط انسان	پیشنهاد برنامه تولید یا تعمیر	آزمون کیفیت، آموزش اتکای مناسب و ثبت تصمیم
اقدام با تأیید	نوشتن یا تغییر پس از تأیید هر اقدام	ایجاد سفارش تعمیر پس از تأیید	گردش تأیید، ردپای ممیزی و پاسخ به رخداد
اقدام خودمختار	اقدام در محدوده تعریف‌شده بدون تأیید موردی	تنظیم خودکار پارامتر در محدوده مجاز	پایش مستمر، محدودیت‌های حفاظتی، قطع‌کننده خودکار، بازگردانی و مالک روشن

منبع: اقتباس از (Gartner (2026b)

پ ۴-۱۱- ماتریس تسلط نیروی انسانی و تحول سازمانی

شکل ۱۰ ماتریس تسلط تحول را نشان می‌دهد و جدول ۵۸ مداخله مناسب برای هر یک از وضعیت‌های این ماتریس را پیشنهاد می‌کند.



شکل ۱۰ - ماتریس تسلط-تحول

منبع: اقتباس از (Asia Tech Alliance (2026).

جدول ۵۸ - مداخله مناسب در هر وضعیت

وضعیت	نشانه	ریسک	مداخله
در معرض	ابزار خریداری شده، اما کاربرد و مسئولیت روشن نیست	استفاده سطحی، افشای داده و اتکای نادرست	موجودی ابزار، سیاست استفاده و آموزش پایه
سرخورده	کارکنان آموزش دیده‌اند، اما فرایند تغییر نکرده است	بازگشت به روش قدیم و اتلاف آموزش	بازطراحی وظیفه، اختیار مدیریتی و پروژه واقعی
استخراجی	خودکارسازی پیش رفته، اما کارکنان توسعه نیافته‌اند	فرسایش مهارت، مقاومت و شکنندگی	بازآموزی، مشارکت کارکنان و طراحی نقش
تحول یافته	مهارت و فرایند یکدیگر را تقویت می‌کنند	خطر از دست رفتن اثر در زمان	پایش، یادگیری مستمر و انتشار تجربه

منبع: تدوین گزارش بر پایه (Asia Tech Alliance (2026).

پ ۴-۱۲- پیمان تحول هوش مصنوعی صنعتی

مدل «پیمان تحول هوش مصنوعی»^۱ می‌تواند با تعدیل نهادی، به‌عنوان یکی از شیوه‌های اجرای برنامه آزمایشی اتاق بررسی شود. این مدل، برنامه‌ای محدود، بخشی و زمان‌دار است که عرضه فناوری را با بازطراحی فرایند و توسعه نیروی انسانی پیوند می‌دهد. جدول ۵۹ الگوی بومی‌شده این پیمان را نشان می‌دهد.

جدول ۵۹ - الگوی بومی‌شده پیمان تحول هوش مصنوعی صنعتی

طرف	تعهد
اتاق یا نهاد واسط	انتخاب بخش، تجمیع تقاضا، ابزار مشترک و انتشار تجربه
دولت یا صندوق	تأمین مالی تطبیقی، تعیین قواعد و حمایت زیرساختی
تشکل صنعتی	تعریف مسئله، جذب بنگاه و انتقال دانش بخشی
بنگاه‌های عضو	اختصاص زمان، داده، مالک فرایند و سهم مالی
عرضه‌کنندگان	ابزار، پشتیبانی، مستندات، انتقال دانش و پذیرش ارزیابی
کارکنان و نمایندگان آنان	مشارکت در طراحی، آزمون و بازخورد
ارزیاب مستقل	سنجش وظیفه، فرایند، اثر مالی، امنیت و نیروی انسانی

منبع: بومی‌سازی بر پایه Asia Tech Alliance (2026) الگوی اصلی چهار طرف دولت، نهاد واسط صنعتی، عرضه‌کنندگان و گروه کارفرمایان را برای یک برنامه ۱۲ تا ۲۴ ماهه پیشنهاد می‌کند.

موفقیت این پیمان با تعداد مجوز یا دوره آموزشی سنجیده نمی‌شود؛ معیار اصلی آن تغییر پایدار گردش کار، عملکرد وظیفه، توان کارکنان و ارزش اقتصادی است.

پ ۴-۱۳- شاخص‌های تکمیلی پایش

جدول ۶۰ شاخص‌های تکمیلی برای پایش تحول سازمانی و پایداری نتایج برنامه را ارائه می‌کند.

جدول ۶۰ - شاخص‌های تکمیلی تحول و پایداری

شاخص	تعریف	زمان سنجش
تغییر گردش کار	درصد مراحل فرایند که به‌طور مستند بازطراحی شده‌اند	پیش و پس از طرح آزمایشی
تسلط وظیفه‌ای	توان تشخیص محل استفاده، خطا و زمان مداخله	سه‌ماهه
آمدگی مدیران	توان تعریف کاربرد، KPI و مدیریت تغییر	شش‌ماهه
کیفیت نظارت انسانی	سهم مداخلات معنادار و خطاهای کشف‌شده	ماهانه
دوام اثر	حفظ منفعت عملیاتی پس از ۶ و ۱۲ ماه	شش و دوازده‌ماهه
قابلیت داخلی باقی‌مانده	توان اجرای فعالیت بدون وابستگی کامل به فروشنده	پایان پروژه
وابستگی فروشنده	هزینه و زمان مهاجرت یا خروج	هر دروازه

^۱ AI Transformation Compact

شاخص	تعریف	زمان سنجش
قابلیت اتکای سامانه	سطح پیشنهادی APRL و شواهد آن	هر دروازه
سطح خودمختاری	مشاهده، مشاوره، اقدام با تأیید یا خودمختار	هنگام هر تغییر
اثر پایداری	انرژی، پردازش، پسماند و آثار مهارتی	سالانه
یادگیری بین‌نگاهی	تعداد ابزارها و تجربه‌های قابل استفاده مجدد	سالانه
رخداد و اصلاح	زمان کشف، مهار، بازگشت و جلوگیری از تکرار	برای هر رخداد

منبع: تدوین گزارش بر پایه (UNIDO (2026)، Hradecky et al. (2026) و Asia Tech Alliance (2026).

پ ۴-۱۴ - رصد افق فناوری

اطلاعات منابع آینده‌نگر در این بخش تنها برای رصد افق و شناسایی نشانه‌های آینده به کار می‌رود و نباید به هدف قطعی یا برآورد مسلم تبدیل شود. جدول ۶۱ این روندها و پیامد هر یک برای سند را نشان می‌دهد.

جدول ۶۱ - روندهای نوظهور و پیامد آن‌ها برای سند

روند	ادعای منبع	پیامد برای صنعت ایران	اقدام پیشنهادی
مدل‌های تخصصی دامنه	پیش‌بینی می‌شود تا ۲۰۳۰ بیشتر راهکارهای مولد از مدل‌های تخصصی استفاده کنند	اهمیت داده و دانش صنعتی بومی	توسعه مدل یا لایه دانش تخصصی در طرح‌های آزمایشی
هوش مصنوعی عامل محور	خطر عدم بازگشت سرمایه در صورت انتخاب نادرست کاربرد	ضرورت ارزیابی پنج‌ستونی و سطح خودمختاری	آغاز با کاربردی محدود و برگشت‌پذیر
هوش مصنوعی فیزیکی	گسترش هوش مصنوعی در ربات، پهپاد و زیرساخت	افزایش ریسک ایمنی و سایبری-فیزیکی	اعمال طبقه‌بندی پریسک و امنیت OT
شبیه‌سازی هوشمند	رشد استفاده از داده مصنوعی و شبیه‌سازی تصمیم	فرصت برای صنایع دارای کمبود داده خرابی	اعتبارسنجی فاصله شبیه‌سازی و واقعیت
مسلح‌شدن هوش مصنوعی	استفاده مهاجمان از هوش مصنوعی و گسترش حمله به سامانه‌های خودمختار	افزایش ریسک جعل، دست‌کاری و اقدام فیزیکی	امنیت سایبری-جنیشی، اصالت محتوا و قطع اضطراری
معماری ترکیبی و قابل ترکیب	حرکت از ابزار منفرد به لایه هوشمند در معماری سازمان	ضرورت مدیریت API، هویت عامل و بدهی فنی	معماری مرجع و نقشه سفر داده

منبع: (Gartner (2026c). پیش‌بینی‌های کمی این منبع، از جمله سهم مدل‌های تخصصی، عملکرد اقتصادی عامل‌ها و گسترش هوش مصنوعی فیزیکی، سناریوهای این مؤسسه‌اند، نه واقعیت تحقق‌یافته.

پ ۴-۱۵ - چرخه آمادگی پویا

شکل ۱۱ چرخه بازگشتی آمادگی و یادگیری را نشان می‌دهد.



شکل ۱۱ - چرخه بازگشتی آمادگی و یادگیری

منبع: تدوین گزارش با استفاده از منطق «خواندن آمادگی از مسیر اجرا» در Hradecky et al. (2026).

این چرخه نشان می‌دهد آمادگی نقطه آغاز ثابت نیست. اجرای هر پروژه باید اطلاعات جدیدی درباره داده، مهارت، فروشنده، ریسک و قابلیت سازمان ایجاد کند و این اطلاعات به انتخاب‌های بعدی بازگردد.

۱۱- منابع

- قانون اتاق بازرگانی و صنایع و معادن جمهوری اسلامی ایران. (۱۳۶۹)، اصلاحی (۱۳۷۳). <https://nezamat.ir/post-28892>
- مرکز استراتژی و تحول هوش مصنوعی شریف. (۱۴۰۳). شاخص هوش مصنوعی ایران ۱۴۰۳. دانشگاه صنعتی شریف.
- <https://news.sharif.ir/fa/w> -رونمایی -از-گزارش-شاخص-هوش-مصنوعی-ایران-۱۴۰۳
- Asia Tech Alliance. (2026). *Making AI work: A practical agenda for APAC workers and firms—Bridging AI adoption and workforce transformation*.
- Autio, C., Schwartz, R., Dunietz, J., Jain, S., Stanley, M., Tabassi, E., Hall, P., & Roberts, K. (2024). *Artificial intelligence risk management framework: Generative artificial intelligence profile* (NIST AI 600-1). National Institute of Standards and Technology. <https://doi.org/10.6028/NIST.AI.600-1>

- Brynjolfsson, E., Li, D., & Raymond, L. (2025). Generative AI at work. *The Quarterly Journal of Economics*, 140(2), 889–942. <https://doi.org/10.1093/qje/qjae044>
- Carvalho, T. P., Soares, F. A. A. M. N., Vita, R., Francisco, R. P., Basto, J. P., & Alcalá, S. G. S. (2019). A systematic literature review of machine learning methods applied to predictive maintenance. *Computers & Industrial Engineering*, 137, 106024. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106024>
- Dell’Acqua, F., McFowland, E., Mollick, E., Lifshitz-Assaf, H., Kellogg, K. C., Rajendran, S., Kraymer, L., Candelon, F., & Lakhani, K. R. (2026). Navigating the jagged technological frontier: Field experimental evidence of the effects of artificial intelligence on knowledge worker productivity and quality. *Organization Science*, 37(2), 403–423. <https://doi.org/10.1287/orsc.2025.21838>
- Deloitte AI Institute. (2026). *The state of AI in the enterprise: The untapped edge*. Deloitte. <https://www.deloitte.com/content/dam/assets-zone3/us/en/docs/services/consulting/2026/state-of-ai-2026.pdf>
- European Parliament, & Council of the European Union. (2024). *Regulation (EU) 2024/1689 laying down harmonised rules on artificial intelligence*. Official Journal of the European Union. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1689/oj>
- Federal Government of Germany. (2020). *The German federal government’s artificial intelligence strategy: 2020 update*. <https://www.ki-strategie-deutschland.de/>
- Federal Ministry of Education and Research. (2023). *Artificial intelligence action plan*. Federal Republic of Germany. <https://www.ki-strategie-deutschland.de/>
- Filippucci, F., Gal, P., Jona-Lasinio, C., Leandro, A., & Nicoletti, G. (2024a). *The impact of artificial intelligence on productivity, distribution and growth: Key mechanisms, initial evidence and policy challenges*. OECD Artificial Intelligence Papers, 15. <https://doi.org/10.1787/8d900037-en>
- Filippucci, F., Gal, P., & Schief, M. (2024b). *Miracle or myth? Assessing the macroeconomic productivity gains from artificial intelligence*. OECD Artificial Intelligence Papers, 29. <https://doi.org/10.1787/b524a072-en>
- Gartner. (2026a). *How ready is your organization for agentic AI and AI agents?* Gartner Webinars.
- Gartner. (2026b). *Applying uniform governance across AI agents will lead to enterprise AI agent failure*. Gartner Newsroom.
- Gartner. (2026c). *12 disruptive emerging technologies for product leaders*. Gartner. <https://www.gartner.com/en/articles/emerging-tech-trends-for-product-leaders>
- Gartner. (2026d). *AI and cybersecurity: Securing AI while strengthening defense*. Gartner Webinars.
- Gartner. (2026e). *Why workforce readiness—not technology—determines AI success*. Gartner Webinars.
- Gartner. (2026f). *Beyond the hype: AI’s impact on headcount and business value*. Gartner Webinars.
- Gartner. (2026g). *The role of head of enterprise architecture in driving digital transformation*. Gartner.
- Ghobakhloo, M., Fathi, M., & Iranmanesh, M. (2024). Generative artificial intelligence in manufacturing: Opportunities for actualizing Industry 5.0 sustainability goals. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 35(9), 94–121. <https://doi.org/10.1108/JMTM-12-2023-0530>
- Hradecky, A., Mujica Ramirez, M. P., Nyoni, M., & Aslan, H. S. (2026). *Reading AI readiness backwards: What country experience reveals once AI adoption is already underway*. United Nations Development Programme. <https://www.undp.org/publications/reading-ai-readiness-backwards-country-insights-ai-adoption-and-implementation>
- Independent International Scientific Panel on Artificial Intelligence. (2026). *Preliminary report of the Independent International Scientific Panel on AI: Evidence-based assessment of opportunities, risks and impacts of artificial intelligence*. United Nations.
- International Organization for Standardization. (2023). *ISO/IEC 42001:2023—Information technology—Artificial intelligence—Management system*. <https://www.iso.org/standard/42001>

- Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2013). *Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0*. Acatech—National Academy of Science and Engineering. <https://en.acatech.de/publication/recommendations-for-implementing-the-strategic-initiative-industrie-4-0-final-report-of-the-industrie-4-0-working-group/>
- Lee, J., Davari, H., Singh, J., & Pandhare, V. (2018). Industrial artificial intelligence for Industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, 18, 20–23. <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2018.09.002>
- McKinsey Global Institute. (2023). *The economic potential of generative AI: The next productivity frontier*. McKinsey & Company. <https://www.mckinsey.com/capabilities/tech-and-ai/our-insights/the-economic-potential-of-generative-ai-the-next-productivity-frontier>
- Mikalef, P., & Gupta, M. (2021). Artificial intelligence capability: Conceptualization, measurement calibration, and empirical study on its impact on organizational creativity and firm performance. *Information & Management*, 58(3), 103434. <https://doi.org/10.1016/j.im.2021.103434>
- Ministry of Science and ICT. (2019). *National strategy for artificial intelligence*. Government of the Republic of Korea. <https://www.msit.go.kr/eng/bbs/view.do?bbsSeqNo=46&mId=10&mPid=9&nttSeqNo=9&sCode=eng>
- MIT Technology Review Insights. (2024). *Data strategies for AI leaders*. MIT Technology Review Insights and Snowflake. <https://www.snowflake.com/resource/data-strategies-for-ai-leaders/>
- National Institute of Standards and Technology. (2026). *AI risk management framework*. U.S. Department of Commerce. Retrieved October 12, 2026, from <https://www.nist.gov/itl/ai-risk-management-framework>
- Noy, S., & Zhang, W. (2023). Experimental evidence on the productivity effects of generative artificial intelligence. *Science*, 381(6654), 187–192. <https://doi.org/10.1126/science.adh2586>
- OECD. (2023). *OECD employment outlook 2023: Artificial intelligence and the labour market*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/08785bba-en>
- Rodriguez, F. S., Heredia Zurita, A., Suarez, D., & Savrasov, A. (2026a). *Exploring the BRICS Plus readiness for digitalization in manufacturing (2015–2022)*. United Nations Industrial Development Organization.
- Rodriguez, F. S., Heredia Zurita, A., Savrasov, A., Rodousakis, N., & Suarez, D. (2026b). *From scale to synergies: Digital readiness for manufacturing in BRICS Plus*. UNIDO Policy Brief Series: Insights on Industrial Development, 34. <https://www.unido.org/sites/default/files/unido-publications/2026-05/Policy%20Brief%2034%20-%20Digital%20readiness%20in%20BRICS%20plus.pdf>
- Smart Nation Singapore. (2023). *Singapore national AI strategy 2.0: AI for the public good, for Singapore and the world*. Government of Singapore. <https://www.smartnation.gov.sg/initiatives/national-ai-strategy/>
- Smart Nation Singapore. (2026). *Update to the national AI strategy*. Government of Singapore. <https://www.smartnation.gov.sg/initiatives/national-ai-strategy/>
- State Council of the People's Republic of China. (2017). *Plan for development of the new generation of artificial intelligence*. https://english.www.gov.cn/archive/state_council_gazette/2017/08/10/content_281475782151912.htm
- State Council of the People's Republic of China. (2026). *Action plan to deepen the integration of artificial intelligence and manufacturing*. https://english.www.gov.cn/news/202601/08/content_WS695f1b55c6d00ca5f9a087b9.html

- Stouffer, K., Pease, M., Tang, C., Zimmerman, T., Pillitteri, V., Lightman, S., Hahn, A., Saravia, S., Sherule, A., & Thompson, M. (2023). *Guide to operational technology security* (NIST SP 800-82 Rev. 3). National Institute of Standards and Technology. <https://doi.org/10.6028/NIST.SP.800-82r3>
- Tabassi, E. (2023). *Artificial intelligence risk management framework (AI RMF 1.0)* (NIST AI 100-1). National Institute of Standards and Technology. <https://doi.org/10.6028/NIST.AI.100-1>
- United Nations Industrial Development Organization. (2026). *AI for industry: A governance framework for responsible deployment, system-level reliability, safety, and controllability*. UNIDO.
- World Economic Forum. (2025). *Global Lighthouse Network: The mindset shifts driving impact and scale in digital transformation*. <https://www.weforum.org/publications/global-lighthouse-network-the-mindset-shifts-driving-impact-and-scale-in-digital-transformation/>
- World Economic Forum. (2026). *Global Lighthouse Network: Rewiring operations for resilience and impact at scale*. <https://www.weforum.org/publications/global-lighthouse-network-rewiring-operations-for-resilience-and-impact-at-scale/>